

# 不育胺对橘小实蝇的化学不育效果\*

张小亚\*\*

(宜昌市柑桔科学研究所, 宜昌 443000)

**摘要** 【目的】 为了解不育胺对橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 的化学不育效果。【方法】 通过喂食橘小实蝇不同浓度不育胺食料, 测定了其橘小实蝇的卵量及孵化率的影响。【结果】 结果表明: 喂食 0.08%-0.3%不育胺食料的橘小实蝇成虫交配始见期和产卵始见期与正常对照相比推迟 1-2 d, 均为 9-10 日龄开始交配, 11-12 日龄开始产卵; 橘小实蝇取食不同浓度不育胺食料后, 卵量和孵化率随浓度增加而降低。当取食 0.3%不育胺食料时, 处理 × ♂ 处理未见产卵, 正常 × ♂ 处理和 处理 × ♂ 正常均见产卵但卵量与对照相比显著降低且卵不孵化。取食 0.3%不育胺的橘小实蝇雄虫相对不育系数为 0.48, 表明其交配竞争能力与正常雄虫相当。【结论】 0.3%浓度的不育胺可作为橘小实蝇的化学不育剂。

**关键词** 橘小实蝇; 不育胺; 不育影响; 交配竞争力

## The sterilizing effect of metepa on *Bactrocera dorsalis* (Hendel)

ZHANG Xiao-Ya\*\*

(Yichang Research Institute of Citrus Science, Yichang 443000, China)

**Abstract** [Objectives] To assess the sterilizing effect of metepa on *Bactrocera dorsalis*. [Methods] *B. dorsalis* were fed an artificial diet containing 0.08-0.3% metepa, and the effects of these different concentrations of metepa on egg production and hatching rate were recorded and compared. [Results] Feeding adults different concentrations of metepa delayed mating and oviposition by 1 to 2 days compared to the control group. All adults began mating at 9-10 days of age and began laying at 11-12 days of age. The number of eggs laid and the hatching rate decreased with increasing concentrations of metepa in the diet. A mixed group of females and males fed a diet containing 0.3% metepa failed to produce eggs. Sexually segregated females fed the same diet produced significantly fewer eggs than the control group and their eggs failed to hatch. The Relative Sterility Index (RST) of males fed a diet containing 0.3% metepa was 0.48, and metepa seemed to have no effect on male mating competitiveness. [Conclusion] A 0.3% concentration of metepa added to an artificial diet acts as a chemosterilant for *B. dorsalis*.

**Key words** *Bactrocera dorsalis* (Hendel); metepa; sterile effects; mating competitiveness

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel), 隶属双翅目实蝇科, 是为害我国南方地区果蔬植物上重要的害虫, 素有果蔬“头号杀手”之称(黄素青和韩日畴, 2005; 黄月英和陈军, 2006)。国内外学者针对橘小实蝇生物学、生态学以及防治技术的研究颇多, 大田防治中常利用食物引诱剂和性诱剂综合防控(王波等, 2010; 梁帆等, 2014; 袁盛勇, 2015; 赵菊鹏等, 2017)。昆虫

辐射不育作为新兴的防控技术在综合防治实蝇科害虫方面已运用了多年, 我国学者利用橘小实蝇遗传性别品系做了相关不育研究(季清娥等, 2007)。然而, 利用辐射不育技术防控实蝇耗资较大且运用技术门槛较高, 同时因为地理结构的局限性, 使得辐射不育技术对实蝇科害虫的运用至今未在田间大面积推广应用。通过化学不育, 可造成昆虫雌性、雄性或雌雄两性的暂时或持久

\*资助项目 Supported projects: 浙江省农科院科技创新能力提升工程项目“桔小实蝇化学不育剂的筛选及应用研究(2011-2013)”

\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhangxy0715@163.com

收稿日期 Received: 2018-11-18; 接受日期 Accepted: 2019-02-13

不育,或阻止幼体发育,使其不能达到性成熟期。不育成虫与正常成虫交配后,不能产生或少量产生可育性后代(郭奇珍,1963)。化学不育因具备不会产生农药公害和害虫不产生抗药性等特点,国内外学者相继开展了相关化学不育剂的室内研究和田间实践。国外学者自20世纪60年代开始相继发现了唑磷嗪、白菖蒲油、甲羟孕酮、虱螨脲等,对家蝇 *Musca vicina*(Macquart)、瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett)、大麻蝇 *Sarcophaga Bravicornis*、地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Wiedeman)等具有一定的不育效果(Abreque *et al.*, 1962; Nair *et al.*, 2001; Seth *et al.*, 2004), Vicente 连续4年在田间比较了化学不育剂虱螨脲与马拉硫磷对地中海实蝇的防治效果,结果表明虱螨脲化学不育剂对地中海实蝇种群的控制效果与农药马拉硫磷的防治效果相当,可作为地中海实蝇综合防控体系中一种有效、环保的防治措施(Vicente *et al.*, 2004)。我国学者也先后发现了噻替派、喜树碱、灭幼脲、六磷胺、棉酚等,对家蝇、松毛虫 *Dendrolimus punctatus* (Walker)、粘虫 *Mythimna separate* (Walker)、致乏库蚊 *Culex quinquefasciatus* (Say)、光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* (Motsch.)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*(Hubner)、橘小实蝇等具有不育作用(腾斌,1965;周石涓等,1980;赵文臣等,1986;张全新,1989;刘润玺等,1992;唐桦等,1996)。

不育胺是医药上常用的抗肿瘤药物,具有一定的雄性不育和雌性不育作用,同时也应用于导弹推进器材料。不育胺作为昆虫不育剂在20世纪50年代针对双翅目中家蝇和橄榄实蝇 *Bactrocera oleae* (Rossi)做了相关研究,发现可明显降低雌虫产卵量和孵化率(Al-Adil *et al.*, 1972; Haniotakis and Galachtiou, 1973)。采用不育胺对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius)、棉铃虫进行化学不育也取得成功(郑洪源等,2000;戴明勋等,2010)。不育胺的理化性质较稳定,水溶性较好便于配置食料,本文通过将饲喂橘小实蝇添加不育胺的食料,以评估不育胺对橘小实蝇的不育效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验虫源由室内人工饲料(自制成虫饲料各组分按照酵母粉:蔗糖:大豆蛋白粉:琼脂糖:水:苯甲酸钠=1.5:3.8:1:1:32.6:0.1质量比混配而成凝胶饲料;幼虫饲料参考陈毅超等饲养橘小实蝇的方法(陈毅超等,2013))继代饲养至第46代,室温(27±1)。不育胺(含量>95%)购自于孝感深远化工有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 不同浓度不育胺的橘小实蝇食料配制

先将上述成虫饲料各组分(水除外)按比例称量后置入烧杯中,加入相应比例的热开水并置于电热炉上边加热边搅拌至配料完全溶解,待溶液在室温冷却至65℃左右时,将相应浓度重量的不育胺加入食料溶液中并搅拌均匀,同时根据称量结果加入一定量热水用于补充加热煮沸过程中挥发减少的水分,待食料溶液自然冷却凝固后用保鲜膜封口并置入冰箱冷藏室保存。

#### 1.2.2 不育胺对橘小实蝇产卵量及卵孵化率的测定

在前期预备试验的基础上设定了3个不同试验处理,不育胺喂食处理雌虫(♀)与不育胺喂食处理雄虫(♂)配对、不育胺喂食处理雌虫与正常喂食雄虫配对、正常喂食雌虫与不育胺喂食处理雄虫配对。试验中,每个浓度处理分别用养虫笼饲养同批次刚羽化的橘小实蝇雌雄虫各20对(在4℃冷昏迷状态挑选),每个处理3个重复,正常喂食雌虫和雄虫为对照。饲养时先用正常食料喂食橘小实蝇2日,第3日分别放入不同浓度的不育胺食料并连续饲养5日,然后换成正常食料饲养至橘小实蝇开始交配,同时每天8:00至19:00观察和记录处理组和对照组交配始见期和产卵始见期。采卵器用一次性塑料杯内壁贴入浸润橙汁的滤纸制成(杯口用保鲜膜扎口),并用5号昆虫针刺刺杯壁后放入养虫笼内待橘小实蝇产卵。自产卵始见日后第3天、第6天、第9天、第12天、第20天的上午9:00至11:00期间,利用自制的产卵器收集该段时间内橘小实蝇在杯壁的产卵量,然后用小型手持喷水壶吹打

产卵期杯壁,待卵粒全部落入杯底后用 100 目纱网滤出卵粒并倒入铺有用橙汁润湿滤纸的培养皿上盖中,并用细毛笔将卵粒排列整齐。卵粒统计结束后,将带有卵粒的培养皿上盖盖在同样铺有橙汁润湿滤纸的下盖上,然后置入到 28℃ 的人工气候中。2 d 后镜检和统计培养皿中卵的孵化情况。

### 1.2.3 不育胺对橘小实蝇交配竞争能力的影响

不育雄虫的获得和标记:将用于试验的同批次橘小实蝇老熟幼虫置入湿润的蛭石中待其化蛹,化蛹后挑选 2 份大小一致的蛹各 300 头。1 份蛹用于在羽化前 2 d 用荧光染色剂染色,羽化后额区会粘上染色剂,将羽化的橘小实蝇完全展翅后在冷昏迷状态分离雌雄虫备用,然后将染色的橘小实蝇雄虫按照前述方法喂食 0.3% 的不育胺食料待其性成熟。另 1 份蛹不用染色,羽化分离雌雄虫后均用正常食料喂食。交配竞争测试试验在室内进行(27±1)℃。每个处理设定为不育雄虫 20 头,正常雄虫 20 头,正常雌虫 40 头。将上述正常饲养至性成熟的橘小实蝇雌雄虫和不育雄虫置入到纱网养虫笼(长×宽×高:40 cm×40 cm×40 cm)中。根据橘小实蝇交配节律,自下午 4:00 至 6:00 期间观察并记录正在交配中的橘小实蝇类型,统计 2 h 期间不育雄虫与正常雌虫交配对数、正常雄虫与正常雌虫交配对数,最后确定相对不育系数(Relative sterile index, RSI), $RSI = \text{不育雄虫交配头数} / (\text{不育雄虫交配头数} + \text{正常雄虫交配头数})$ ,本试验处理共设 5 个重复。

### 1.3 数据统计与分析

利用 DPS 软件中试验统计-完全随机设计-单因素试验统计分析各处理及对照之间相关数据指标的差异性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不育胺不同处理浓度对橘小实蝇产卵始见期的影响

利用观察法,即 2 日龄成虫在喂食不育胺食

料 5 d 换成正常食料饲养后,每天下午 4:00 开始与正常对照观察比较交配和产卵日期发现:3 个不同浓度不育胺各处理橘小实蝇成虫交配和产卵始见期与正常对照相比推迟 1-2 d,均为 9-10 日龄开始交配,11-12 日龄开始产卵。

### 2.2 不育胺不同处理浓度对橘小实蝇卵量及孵化率的影响

不育胺不同处理浓度对橘小实蝇卵量的影响结果见表 1-表 3,结果表明:3 个处理浓度的各处理均可见雌雄虫交配和产卵行为,卵量随处理浓度的增高逐渐降低,且与对照相比卵量显著减少;当浓度在 0.3% 的处理时,我们观察到橘小实蝇雌虫仍有产卵行为发生,即伸出第 3 节产卵管入采卵杯孔洞内,但并无卵排出。

不育胺不同处理浓度对橘小实蝇卵的孵化率影响结果见表 4-表 6,结果表明:当不育胺浓度为 0.08% 时,各处理均产卵且孵化,但与对照相比差异降低显著;当不育胺浓度为 0.16% 时,处理/♂处理所产卵不孵化,其他处理雌虫均有产卵且孵化,但孵化率与对照相比差异降低显著;当不育胺浓度为 0.3% 时,处理/♂处理未见产卵,正常/♂处理和 处理/♂正常都可产卵但所产卵均不孵化。由此可见,当橘小实蝇雌雄虫按上述饲喂方法取食 0.3% 不育胺食料后,均可达到不排卵或卵不孵化的不育效果。

### 2.3 不育胺对橘小实蝇交配竞争能力的影响

交配竞争能力的确定依据 RST 值:RSI 的值在 0-1 之间变化,0 表示测试笼中正常雌虫都是和正常雄虫交配;1 表示测试笼中正常雌虫都是和不育雄虫交配;0.5 表示测试笼中正常雌虫一半与正常雄虫交配,一半与不育雄虫交配。正常雄虫和不育雄虫在同一养虫笼内与正常雌虫竞争交配的测定结果见表 7,结果表明:喂食 0.3% 不育胺食料的不育雄虫,相对不育系数(RSI)均值为 0.48,说明不育雄虫与正常雄虫交配竞争能力相当,0.3% 的不育胺可作为比较理想的橘小实蝇化学不育剂。

表 1 橘小实蝇成虫取食 0.08% 不育胺食料后的卵量  
Table 1 The egg amount of *Bactrocera dorsalis* adult after feeding the diet containing 0.08% metepa

处理 Treatments	卵量 (头) Egg amount				
	产卵第 3 天 The third day after spawning	产卵第 6 天 The sixth day after spawning	产卵第 9 天 The ninth day after spawning	产卵第 12 天 The twelfth day after spawning	产卵第 20 天 The twentieth day after spawning
处理 × ♂ 处理 Treated females × Treated males	9.2 ± 2.3b	9.2 ± 1.8b	6.4 ± 0.9c	3.4 ± 0.7b	2.4 ± 0.5c
处理 × ♂ 正常 Treated females × Normal males	9.5 ± 2.4b	10.3 ± 1.2b	8.1 ± 0.5bc	5.3 ± 1.7b	4.8 ± 0.7b
正常 × ♂ 处理 Normal females × Treated males	10.8 ± 2.6b	11.4 ± 1.7b	10.3 ± 1.1b	5.4 ± 0.8b	5.2 ± 1.0b
正常 × ♂ 正常 Normal females × Normal males	22.9 ± 3.6a	24.3 ± 1.0a	19.7 ± 1.9a	15.5 ± 1.9a	15.9 ± 2.0a

表中同列数据后标有不同英文字母者表示在  $P=0.05$  水平上差异显著 (Duncan's 多重比较检验)。下表同。

The data in the same column followed by the different letters indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple range tests. The same below.

表 2 橘小实蝇成虫取食 0.16% 不育胺食料后的卵量  
Table 2 The egg amount of *Bactrocera dorsalis* adult after feeding the diet containing 0.16% metepa

处理 Treatments	卵量 (头) Egg amount				
	产卵第 3 天 The third day after spawning	产卵第 6 天 The sixth day after spawning	产卵第 9 天 The ninth day after spawning	产卵第 12 天 The twelfth day after spawning	产卵第 20 天 The twentieth day after spawning
处理 × ♂ 处理 Treated females × Treated males	6.1 ± 0.6b	5.3 ± 1.6b	5.1 ± 1.7b	1.6 ± 0.5b	1.2 ± 0.2b
处理 × ♂ 正常 Treated females × Normal males	6.1 ± 0.7b	6.3 ± 1.1b	5.4 ± 1.1b	2.7 ± 0.6b	2.3 ± 0.1b
正常 × ♂ 处理 Normal females × Treated males	7.5 ± 0.6b	7.5 ± 1.1b	5.5 ± 0.7b	2.7 ± 0.3b	2.4 ± 0.3b
正常 × ♂ 正常 Normal females × Normal males	22.9 ± 3.6a	24.3 ± 1.0a	19.7 ± 1.9a	15.5 ± 1.9a	15.9 ± 2.0a

### 3 小结与讨论

根据不育胺 3 个不同浓度食料对橘小实蝇成虫交配、产卵行为和不育效果来看, 喂食不育胺的各处理雌雄虫交配时间较正常雌雄虫延迟 1-2 d。分析认为, 这可能与影响雌雄虫生殖系

统发育有关。从各浓度不育胺食料对橘小实蝇产卵和孵化率的效果来看, 喂食雄虫 0.3% 的不育胺食料可使与之交配的正常雌虫所产卵卵量显著降低且完全不孵化, 其交配竞争能力也与正常雄虫相当, 说明 0.3% 的不育胺可作为橘小实蝇雄性不育的化学不育剂。试验也发现, 正常雄虫

表 3 橘小实蝇成虫取食 0.3% 不育胺食料后的卵量  
Table 3 The egg amount of *Bactrocera dorsalis* adult after the diet containing 0.3% metepa

处理 Treatments	卵量 (头) Egg amount				
	产卵第 3 天 The third day after spawning	产卵第 6 天 The sixth day after spawning	产卵第 9 天 The ninth day after spawning	产卵第 12 天 The twelfth day after spawning	产卵第 20 天 The twentieth day after spawning
处理 × ♂ 处理 Treated females × Treated males	0	0	0	0	0
处理 × ♂ 正常 Treated females × Normal males	2.7 ± 0.3b	3.7 ± 0.5b	3.0 ± 0.5b	2.1 ± 0.3b	2.3 ± 0.4b
正常 × ♂ 处理 Normal females × Treated males	2.9 ± 0.3b	3.3 ± 0.9b	2.8 ± 0.7b	1.9 ± 0.5b	1.9 ± 0.9b
正常 × ♂ 正常 Normal females × Normal males	22.0 ± 3.6a	24.0 ± 1.0a	19.0 ± 1.9a	15.0 ± 1.9a	15.0 ± 2.0a

表 4 橘小实蝇成虫取食 0.08% 不育胺食料后卵的孵化率  
Table 4 The egg hatching rate of *Bactrocera dorsalis* adult after feeding the diet containing 0.08% metepa

处理 Treatments	孵化率 (%) Hatching rate				
	产卵第 3 天 The third day after spawning	产卵第 6 天 The sixth day after spawning	产卵第 9 天 The ninth day after spawning	产卵第 12 天 The twelfth day after spawning	产卵第 20 天 The twentieth day after spawning
处理 × ♂ 处理 Treated females × Treated males	15.6 ± 3.4b	17.4 ± 5.3b	13.3 ± 2.9b	12.1 ± 2.4b	13.6 ± 2.2b
处理 × ♂ 正常 Treated females × Normal males	16.9 ± 5.3b	14.3 ± 2.9b	14.0 ± 2.2b	16.4 ± 5.5b	17.2 ± 5.8b
正常 × ♂ 处理 Normal females × Treated males	12.2 ± 1.0b	16.2 ± 2.2b	12.8 ± 1.7b	18.5 ± 3.8b	10.9 ± 6.3b
正常 × ♂ 正常 Normal females × Normal males	78.1 ± 4.4a	76.5 ± 2.4a	68.3 ± 4.3a	70.1 ± 2.0a	67.1 ± 4.2a

与喂食橘小实蝇雌虫 0.3% 的不育胺食料交配后, 所产卵量显著减少且卵不孵化。

化学不育剂对橘小实蝇产卵的影响, 国内外均有相关报道。邹寿发等 (2010) 探讨了喜树碱对橘小实蝇成虫发育的影响, 结果表明一定浓度的喜树碱不仅推迟橘小实蝇产卵前期, 同时可明显降低橘小实蝇平均产卵量。Chang 等 (2010) 测定了虱螨脲对橘小实蝇繁殖力的影响, 结果表

明成虫取食 50 μg/mL 含量的虱螨脲, 可导致雌虫繁殖力降低到正常雌虫的 46%。孟倩倩等 (2012) 研究了六磷胺对橘小实蝇的不育效果, 结果表明 0.2% 处理浓度的六磷胺可使橘小实蝇成虫完全不育。本研究发现 0.3% 的不育胺凝胶食料可导致橘小实蝇雌虫产卵量极低且所产卵不孵化, 有望成为人工大规模饲养进而田间释放的化学不育剂。

表 5 橘小实蝇成虫取食 0.16% 不育胺食料后卵的孵化率

Table 5 The egg hatching rate of *Bactrocera dorsalis* adult after feeding the diet containing 0.16% metepa

处理 Treatments	孵化率 (%) Hatching rate				
	产卵第 3 天 The third day after spawning	产卵第 6 天 The sixth day after spawning	产卵第 9 天 The ninth day after spawning	产卵第 12 天 The twelfth day after spawning	产卵第 20 天 The twentieth day after spawning
处理 × ♂ 处理 Treated females × Treated males	0	0	0	0	0
处理 × ♂ 正常 Treated females × Normal males	7.7 ± 1.9b	9.8 ± 1.7b	7.6 ± 1.4b	7.6 ± 1.6b	8.6 ± 0.4b
正常 × ♂ 处理 Normal females × Treated males	7.1 ± 1.6b	9.9 ± 2.2b	7.3 ± 0.9b	8.1 ± 8.3b	8.2 ± 0.9b
正常 × ♂ 正常 Normal females × Normal males	78.1 ± 4.4a	76.5 ± 2.4a	68.3 ± 4.3a	70.1 ± 2.0a	67.1 ± 4.2a

表 6 橘小实蝇成虫取食 0.3% 不育胺食料后卵的孵化率

Table 6 The egg hatching rate of *Bactrocera dorsalis* adult after feeding the diet containing 0.3% metepa

处理 Treatments	孵化率 (%) Hatching rate				
	产卵第 3 天 The third day after spawning	产卵第 6 天 The sixth day after spawning	产卵第 9 天 The ninth day after spawning	产卵第 12 天 The twelfth day after spawning	产卵第 20 天 The twentieth day after spawning
处理 × ♂ 处理 Treated females × Treated males	0	0	0	0	0
处理 × ♂ 正常 Treated females × Normal males	0	0	0	0	0
正常 × ♂ 处理 Normal females × Treated males	0	0	0	0	0
正常 × ♂ 正常 Normal females × Normal males	78.1 ± 4.4a	76.5 ± 2.4a	68.3 ± 4.3a	70.1 ± 2.0a	67.1 ± 4.2a

表 7 喂食不育胺的不育雄虫与正常雄虫的交配竞争比较

Table 7 Comparison of mating competition between males fed with metepa diet and normal males

重复 Replication	交配头数 Mating number		相对不育系数 Relative sterile index
	不育雄虫 × 雌虫 Sterile male × Female	正常雄虫 × 雌虫 Normal male × Female	
1	8	9	0.47
2	7	11	0.39
3	6	5	0.55
4	7	8	0.47
5	7	6	0.53
平均值 ± 标准差 Mean ± SE	7.4 ± 1.1 a	7.8 ± 2.4 a	0.48 ± 0.06

为保障田间应用的有效性和安全性,下阶段至少应对以下问题进行探讨:1. 经 0.3%不育胺食料喂食的橘小实蝇雌雄虫,与正常野生型雌雄虫之间的交配竞争能力、交配后产卵量及孵化率等相关生物学特性还需进一步探讨。2. 即使经化学不育处理后的橘小实蝇雌雄虫与野生型雌雄虫交配后所产卵不孵化,可否在田间实践中将不育处理后的雌雄虫同时释放,以减少释放前从室内雌雄混合种群中人工选择雄虫的劳力。同时,释放至田间的处理雌虫对干扰野生雄虫与野生雌虫的交配次数及产卵有何影响还需进一步研究。3. 经化学不育处理后的雄虫释放量与田间野生型种群的数量及防治效果之间的关系也需进一步探讨。4. 不采用规模饲养后释放不育成虫到田间的方式,而是结合当地橘小实蝇各代成虫的发生规律引诱饲喂不育食料的方式,其防治效果如何也有必要开展相关研究。

致谢:感谢浙江省柑桔研究所陈国庆研究员、徐建国研究员、黄振东副研究员对本文的指导;感谢鹿连明副研究员、蒲占潜助理研究员在试验期间的大力支持。

### 参考文献 (References)

- Abrecque GC, Meifert DW, Smirh CN, 1962. Mating competitiveness of chemosterilized and normal male house flies. *Journal of Science*, (136): 388-389.
- Al-Adil KM, Kilgore WW, Painter RR, 1972. House fly lipids and the effect of chemosterilization with metepa. *Journal of Economic Entomology*, 65(3): 887-888.
- Chang CL, Cho K, Li QX, 2012. Laboratory evaluation of the chemosterilant lufenuron against the fruit flies *Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, *B. cucurbitae*, and *B. latifrons*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 15(1): 13-16.
- Chen YC, Chen L, Shang HW, 2013. Application of a mixture design to optimize the artificial diet for the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 29(3): 354-361. [陈毅超, 陈玲, 商晗武, 2013. 混料设计在优化橘小实蝇人工饲料中的应用, 29(3): 170-173.]
- Dai MX, Cheng GL, Du XL, Liu RX, 2010. Study of Chemosterilization of *Spodoptera liura* Fabricius. *Northern Horticulture*, (4): 170-173. [戴明勋, 程桂林, 杜学林, 刘润玺, 2010. 斜纹夜蛾化学不育研究初报. 北方园艺, (4): 170-173.]
- Guo QZ, 1963. Insect chemosterilization. *Bulletin of Biology*, (6): 19-20. [郭奇珍, 1963. 昆虫不育剂. 生物学通报, (6): 19-20.]
- Haniotakis GE, Galachtiou CG, 1973. Metepa sterilization of the olive fruit fly. *Journal of Economic Entomology*, 66(1): 55-61.
- Huang SQ, Han RC, 2005. Advance in the research on the quarantine pest *Bactrocera dorsalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42 (5): 479-484. [黄素青, 韩日畴, 2005. 桔小实蝇的研究进展. 昆虫知识, 42(5): 479-484.]
- Huang YY, Chen J, 2006. The propagation characteristic of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* and control technique. *Entomological Journal of East China*, 15(1): 63-66. [黄月英, 陈军, 2006. 橘小实蝇的发生特点与综合防治技术. 华东昆虫学报, 15(1): 63-66.]
- Ji QE, Hou WR, Chen JH, 2007. Development of a genetic sexing strain and the sterile male technique of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) *Acta Entomologica Sinica*, 50(10): 1002-1008. [季清娥, 侯伟荣, 陈家骅, 2007. 橘小实蝇遗传性别品系的建立及雄性不育技术. 昆虫学报, 50(10): 1002-1008.]
- Ji QE, Hou WR, Chen JH, 2007. Sterile insect technique of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel)-optimal pupal age and dose of irradiation treatment for male pupae. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*. 21(5): 523-526. [季清娥, 侯伟荣, 陈家骅, 2007. 橘小实蝇雄性不育技术—雄蛹辐照最佳时期和剂量. 核农学报, 21(5): 523-526.]
- Liang F, Liang GQ, Zhao JP, Zhou QX, Wu JJ, Kuang YW, Huang YH, Liu ZB, 2014. Study status of attractants for fruit flies. *Biological Disaster Science*, 37(3): 204-210 [梁帆, 梁广勤, 赵菊鹏, 周庆贤, 吴佳教, 邝业文, 黄跃辉, 刘志斌, 2014. 实蝇引诱物的研究概况. 生物灾害科学 37(3): 204-210.]
- Liu RX, Chen GL, Jiang YC, Lv ZQ, Liu SW, Yu GL, Wang ZX, Du XL, Hu MJ, Dai MX, Que KF, Jiang SJ, Xiao B, 1999. Study on the gossypol sterilant to control resistance cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*). *Pesticides*, 38(1): 12-14. [刘润玺, 程桂林, 姜延超, 吕昭芹, 刘士文, 于桂兰, 王振孝, 杜学林, 胡明江, 戴明勋, 薛克富, 姜士聚, 肖斌, 1999. 棉酚不育剂防治抗性棉铃虫的研究. 农药, 38(1): 12-14.]
- Meng QQ, Zhang Z, Lin YY, Li SG, Lu YY, 2012. Sterile effect of hexamethyl phosphoryl triamide on *Bactrocera dorsalis* Hendel adults. *Guangdong Agricultural Sciences*, 39(4): 62-64. [孟倩倩, 章珍, 林玉英, 李世广, 陆永跃, 2012. 六甲基磷酰三胺对桔小实蝇的不育效果研究. 广东农业科学, 39(4): 62-64.]
- Nair S, Thomas J, 2001. Evaluation of the chemosterilant effect of *Acorus calamus* L. extracts on melon fly, *Bactrocera cucurbitae*

- Coq. *Tropical Agriculture*, 39(2): 145–148.
- Teng B, 1965. A preliminary observation on the mechanism of sterilization of the House-flies (*Musca vicina* Macquart) treated with Thio-Tepa. *Acta Entomologica Sinica*, 14(3): 250–254. [滕斌, 1965. 噻替派对家蝇不育机制的初步观察. 昆虫学报, 14(3): 250–254.]
- Tang H, Liu YN, Zhang J, 1996. Hama's carried dynamic state in the trunk of populus and its sterile effect on *Anoplophora giabripennis*. *Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 24(2): 72–76. [唐桦, 刘益宁, 张剑, 1996. 六磷胺在树干内的输导动态及其对光肩星天牛的不育效应. 陕西师范大学学报(自然科学版), 24(2): 72–76.]
- Vicente NL, Juan SC, Idefonso A, Victor CG, Eduardo PY, 2004. Efficacy of lufenuron as chemosterilant against *Ceratitis capitata* in field trials. *Pest Manag. Sci.*, 60(9): 914–920.
- Vishal S, Sharma SK, 2004. Induction of sterility in flesh fly, *Sarcophaga Brivicornis* by chemosterilization of pupae. *Journey of Natcon*, 16(1): 31–33.
- Wang B, Huang JC, Ji QE, Yang JQ, Chen JH, 2010. A study on the production of protein bait for *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Acta Agriculurae Universitatis Jiangxiensis*, 32(2): 299–302. [王波, 黄居昌, 季清娥, 杨建全, 陈家骅, 2010. 酶解啤酒废酵母生产橘小实蝇蛋白饵剂的研究. 江西农业大学学报, 32(2): 299–302.]
- Yuan SY, Kong Q, Xue CL, Shen DR, Li X, Chen B, Qin WX, Zhang X, 2015. The trapping effect of several fruit flavor on oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *South China Fruits*, 44(1): 34–35. [袁盛勇, 孔琼, 薛春丽, 沈登荣, 李珣, 陈斌, 秦文旭, 张霞, 2015. 几种果实香精诱集桔小实蝇成虫的效果. 中国果树, 44(1): 34–35.]
- Zheng HY, Liu JP, Nan HL, Liu WP, Mao LP, 2000. Preliminary study on chemical sterility of cotton bollworm. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 28(1): 67–68. [郑洪源, 刘建平, 南怀林, 刘文萍, 毛丽萍, 2000. 棉铃虫化学不育试验初报. 山西农业科学, 28(1): 65–67.]
- Zhao JP, Liu LD, Lu YY, 2017. Trapping efficacy of 4 kinds of imported attractants on oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Journal of Environmental Entomology*, 39 (4): 830–834. [赵菊鹏, 刘龙地, 陆永跃, 2017. 4种引进的引诱剂对桔小实蝇引诱效果评价. 环境昆虫学报, 39(4): 830–834.]
- Zhang QX, 1989. The preliminary study on the mechanism of sterilization of the *Culex fatigans* treated with Hexamethyl phosphoryl triamide. *Guangzhou Medical Journal*, (2): 47–48. [张全新, 1989. 六磷胺使致乏库蚊雄蚊不育机制的初步研究. 广州医药, (2): 47–48.]
- Zhou SJ, Han MD, Li LX, Zhang XK, 1980. The control effect on the *Dendrolimus punctatus* Walker treated with camptothecin and sex pheromone. *Scientia Silvae Sinicae*, 16(3): 234–235. [周石涓, 韩明德, 倪乐湘, 张贤开, 1980. 性诱剂与植物不育剂—喜树碱结合应用防治松毛虫的效果初报. 林业科学, 16(3): 234–235.]
- Zou SF, Zhang YP, Cheng MY, Li DS, Zhang BX, 2010. Influence of camptothecin to *Bactrocera dorsalis* Hendel adults. *Guangdong Agricultural Sciences*, 37(2): 89–92. [邹寿发, 章玉苹, 陈明洋, 李敦松, 张宝鑫, 2010. 喜树碱对桔小实蝇成虫影响的研究. 广东农业科学, 37(2): 89–92.]
- Zhao WC, Jiao HS, Zhang SF, 1986. Studies on chemosterilant TH-6040 for armyworm moth. *Acta Agriculurae Boreali-Sinica*, 1(2): 111–114. [赵文臣, 焦惠生, 张淑芬, 1986. 灭幼脲一号致粘虫成虫产卵不育的研究-室内不育研究部分. 华北农学报, 1(2): 111–114.]