

# 高温对番石榴实蝇不同虫态的致死效应研究

韦昌华<sup>1,2</sup>, 陆永跃<sup>1</sup>, 曾玲<sup>1</sup>

(1 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642; 2 增城出入境检验检疫局, 广东 增城 511340)

**摘要:**研究了高温下番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* (Bezzi) 各虫态的存活情况. 结果表明, 在高温条件下, 番石榴实蝇各虫态随着试验温度升高和处理时间延长, 死亡率显著升高. 处理 24.0 h 卵、幼虫、蛹、成虫的亚致死高温区分别为 43.0~44.0、44.0~45.0、38.1~42.3 和 38.2~43.8 °C, 致死高温区分别为 45.0~46.0、>46.0、42.4~45.5 和 43.8~45.7 °C. 番石榴实蝇蛹、成虫死亡率 ( $Y$ ) 与温度 ( $X_1$ )、处理时间 ( $X_2$ ) 之间的二次多项式方程分别为  $Y = 828.63 - 45.22X_1 - 11.45X_2 + 0.616X_1^2 + 0.3004X_1X_2$  和  $Y = 3902.87 - 194.73X_1 - 7.722X_2 + 2.424X_1^2 + 0.2004X_1X_2$ . 研究结果为该虫的检疫处理和风险预警等提供了科学依据.

**关键词:** 番石榴实蝇; 高温; 致死效应

中图分类号: Q968.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2012)03-0346-05

## The Lethal Effect of High Temperature on Different Stages of *Bactrocera correcta*

WEI Chang-hua<sup>1,2</sup>, LU Yong-yue<sup>1</sup>, ZENG Ling<sup>1</sup>

(1 College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;  
2 Zengcheng Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Zengcheng 511340, China)

**Abstract:** The lethal effect of high temperature at all stages of *Bactrocera correcta* (Bezzi) was studied in this paper. The results showed that the mortality of the fruit fly eggs, larvae, pupae, and adults increased significantly with the temperature rising from 38, 40, 42, 44 to 46 °C, with the treatment time prolonging from 1.5 h to 24.0 h. The sub-lethal high temperature zones for the eggs, larvae, pupae, and adults were 43.0–44.0, 44.0–45.0, 38.1–42.3, 38.2–43.8, respectively; the lethal high temperature zones for the eggs, larvae, pupae and adults were 45.0–46.0 °C, over 46.0, 42.4–45.5 and 43.8–45.7 °C, respectively. The relationship between the mortality ( $Y$ ) of the fruit fly pupae and adults, and temperature ( $X_1$ ), treatment time ( $X_2$ ) was simulated as equations  $Y = 828.63 - 45.22X_1 - 11.45X_2 + 0.616X_1^2 + 0.3004X_1X_2$ , and  $Y = 3902.87 - 194.73X_1 - 7.722X_2 + 2.424X_1^2 + 0.2004X_1X_2$ .

**Key words:** *Bactrocera correcta*; high temperature; lethal effect

温度是影响昆虫生长、发育、生殖和存活等生命活动的重要生态因子. 昆虫对极端温度的耐受能力是决定其分布区域和扩散的一个重要因素. 适宜的温度对昆虫正常生长发育是必要的, 温度过高或过低都会产生不利影响. 温度胁迫是指生物对正常生存温度之外的温度反应, 包括低温胁迫和高温胁迫<sup>[1]</sup>. 温度胁迫耐受性研究成为昆虫生态学研究中的一个热点, 其中对模式生物果蝇 *Drosophila melano-*

*gaste* 的研究较多. 大量研究报道了变温动物在温度胁迫下的生存适应策略<sup>[2-5]</sup>. 高温对昆虫的致死效应, 不仅取决于温度的高低, 还取决于暴露时间的长短. 温度越高, 处理时间越长, 昆虫死亡率越高. 高温会导致昆虫异常活跃、运动和呼吸速率增加, 当呼吸速率超出一个阈值后开始下降, 发生系统性的细胞死亡<sup>[6-7]</sup>. 高温还会瓦解昆虫表皮的蜡质层, 导致虫体大量失水<sup>[8]</sup>, 改变体内 DNA 和 RNA 二级结构和

收稿日期: 2011-05-20

作者简介: 韦昌华 (1973—), 男, 博士研究生; 通信作者: 曾玲 (1949—), 女, 教授, E-mail: zengling@scau.edu.cn

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (200903047)

三级结构,影响昆虫体内的乙酰胆碱酯酶等酶及酶促反应速率和正常的神经传递,影响脂质、低聚糖等物质的代谢等<sup>[9]</sup>。昆虫在高临界温度之上有一个停育高温区,在此温度范围内昆虫的生长发育因温度过高而停滞。温度再高,昆虫因过热而死亡,即进入致死高温区。

番石榴实蝇 *Bactrocera correcta* (Bezzi) 作为我国进境植物检疫性害虫,也被很多国家列为检疫性对象<sup>[10-11]</sup>。随着中国和东盟自由贸易区的建立,我国从东盟进口水果数量在逐年增加,进口水果携带番石榴实蝇入境的风险越来越高。从我国多年来在越南、泰国等东盟国家输入的水果中截获的大量番石榴实蝇疫情来看<sup>[12-15]</sup>,在目前全球气候变化异常和我国进口水果与日俱增的背景下,开展高温胁迫对番石榴实蝇的致死效应研究,为我国检疫处理该虫提供科学依据,对防止该虫传入和扩散均具有十分重要的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

从超市购买新鲜、光滑和健康的番石榴,用清水冲洗多遍后用 $\varphi$ 为75%的酒精棉擦洗,待干后放置-4℃冰箱中保鲜备用,1周更换1批。

将番石榴实蝇置于养虫室常温(26±1)℃条件下,用新鲜番石榴果饲养,获得健康虫体备用。将产卵杯置于养虫笼中,采集处于产卵盛期的雌虫所产的卵。取2龄幼虫、2日龄蛹、2日龄成虫作为试验材料。

### 1.2 试验方法

1.2.1 温、湿度和处理时间 试验设置的高温分别为38、40、42、44和46℃,湿度(RH)为75%±10%;各虫态另设常温(26±1)℃、RH50%~70%为对照。同一温度下分别处理1.5、3.0、6.0、12.0和24.0h,4次重复。

1.2.2 高温对卵孵化的影响 将卵粒接到培养皿内浸透番石榴果汁的湿滤纸上,分别放入已设定温度的人工气候箱中,处理1.5、3.0、6.0、12.0和24.0

h后,取出培养皿,放入(26±1)℃人工气候箱中。每天观察并记录卵孵化数量,以处理后5d仍未孵化者视为死亡。每个重复20粒卵。

1.2.3 高温对幼虫存活的影响 将2龄幼虫接到培养皿内的番石榴果肉中,用湿纱布蒙上培养皿并用橡皮筋束紧皿口,防止逃逸,分别放入设定温度的人工气候箱中处理1.5、3.0、6.0、12.0和24.0h,然后将幼虫取出放入内有新鲜番石榴果块的透气保鲜盒中(底部倒置培养皿,并附有2层滤纸,防止水果腐烂产生多余果汁溺死幼虫),再放入(26±1)℃人工气候箱中。每天观察并记录幼虫死亡数量。每个重复30头幼虫。

1.2.4 高温对蛹羽化的影响 将2日龄蛹放入培养皿内浸透番石榴果汁的湿滤纸上,再放入设定温度的人工气候箱中处理1.5、3.0、6.0、12.0和24.0h,然后将蛹取出放入含水量( $w$ )30%±5%的约5cm厚沙土玻璃瓶中,覆盖约2cm厚含水量10%±5%的细沙,再将盛蛹的玻璃瓶放入常温(26±1)℃人工气候箱中待成虫羽化。自接蛹后第8天开始每天观察并记录蛹羽化数量,处理后15d仍未羽化者视为死亡。每个重复20头蛹。

1.2.5 高温对成虫存活的影响 取出2日龄成虫,不分雌雄,放入到圆筒形养虫笼中,然后分别放入设定温度的人工气候箱中,处理1.5、3.0、6.0、12.0、24.0h后将养虫笼取出,放入常温(26±1)℃人工气候箱中,每天观察并记录成虫死亡数量,以处理后2d成虫的总死亡数作为成虫死亡数。每个重复20头成虫。

## 2 结果与分析

### 2.1 高温对番石榴实蝇卵孵化的影响

从表1可看出,番石榴实蝇卵对高温胁迫敏感性较强。42.0℃以下处理24.0h以内,卵都可以孵化。44.0℃时随着处理时间延长,卵死亡率不断增大,而处理12.0h以上,所有卵却可全部孵化。当达到46.0℃时,处理1.5h以上所有卵都不能孵化。由此可知卵的亚致死高温区在43.0~44.0℃,致死高温区在45.0~46.0℃。

表1 不同高温条件下番石榴实蝇卵死亡率<sup>1)</sup>

Tab.1 Mortality of *Bactrocera correcta* eggs under high temperatures

$\theta/^\circ\text{C}$	不同处理时间死亡率/%				
	1.5 h	3.0 h	6.0 h	12.0 h	24.0 h
38.0	0.00±0.00cA	0.00±0.00cA	0.00±0.00cA	0.00±0.00bA	0.00±0.00bA
40.0	0.00±0.00cA	0.00±0.00cA	0.00±0.00cA	0.00±0.00bA	0.00±0.00bA
42.0	0.00±0.00cA	0.00±0.00cA	0.00±0.00cA	0.00±0.00bA	0.00±0.00bA
44.0	20.00±2.04bB	36.25±1.25bA	40.00±3.54bA	0.00±0.00bC	0.00±0.00bC
46.0	100.00±0.00aA	100.00±0.00aA	100.00±0.00aA	100.00±0.00aA	100.00±0.00aA
对照	0.00±0.00cA	0.00±0.00cA	0.00±0.00cA	0.00±0.00bA	0.00±0.00bA

1)表中同列或同行数据后凡是具有一个相同小写或大写字母者,表示在5%水平上差异不显著(Duncan's法)。

## 2.2 高温对番石榴实蝇幼虫存活的影响

44.0 ℃以下高温处理 24.0 h 以内,然后恢复到常温,对番石榴实蝇幼虫的存活无明显影响.但当温

度达到 46.0 ℃时,所有幼虫都不能存活.可以认为,幼虫的亚致死高温区在 44.0 ~ 45.0 ℃左右,致死高温区在 46.0 ℃以上(表 2).

表 2 不同高温条件下番石榴实蝇幼虫死亡率<sup>1)</sup>

Tab. 2 Mortality of *Bactrocera correcta* larvae under high temperatures

$\theta/^\circ\text{C}$	不同处理时间死亡率/%				
	1.5 h	3.0 h	6.0 h	12.0 h	24.0 h
38.0	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00cA
40.0	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00cA
42.0	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00cA
44.0	0.00 ± 0.00bB	0.00 ± 0.00bB	0.00 ± 0.00bB	0.00 ± 0.00bB	10.83 ± 1.60bA
46.0	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA
对照	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00bA	0.00 ± 0.00cA

1)表中同列或同行数据后凡是具有一个相同小写或大写字母者,表示在 5% 水平上差异不显著(Duncan's 法).

## 2.3 高温对番石榴实蝇蛹羽化的影响

40.0 ~ 42.0 ℃处理 1.5 h 以上,番石榴实蝇蛹羽化受到明显抑制,处理时间在 24.0 h 以内蛹校正死亡率不超过 35%,死亡率随着处理时间的延长差

异不显著.当温度为 44.0 ~ 46.0 ℃时,随着处理时间的延长和温度的升高,蛹死亡率不断增大.46.0 ℃高温处理 12.0 h 以上蛹几乎全部死亡(表 3).

表 3 不同高温条件下番石榴实蝇蛹死亡率<sup>1)</sup>

Tab. 3 Mortality of *Bactrocera correcta* pupae under high temperatures

$\theta/^\circ\text{C}$	不同处理时间死亡率/%				
	1.5 h	3.0 h	6.0 h	12.0 h	24.0 h
38.0	0.00 ± 0.00cA	0.00 ± 0.00dA	0.00 ± 0.00eA	0.00 ± 0.00eA	0.00 ± 0.00eA
40.0	7.50 ± 2.50bcA	10.00 ± 4.08cdA	12.50 ± 4.79cdA	15.00 ± 2.89cdA	20.00 ± 7.07dA
42.0	7.50 ± 2.50bcB	12.50 ± 4.79cdB	15.00 ± 5.00cdB	22.50 ± 8.54cAB	35.00 ± 2.89cdA
44.0	40.00 ± 4.08aB	45.00 ± 6.45bB	50.00 ± 4.08bB	72.50 ± 4.79bA	80.00 ± 4.08bA
46.0	45.00 ± 6.45aC	60.00 ± 4.08aB	60.00 ± 4.08aB	90.00 ± 4.08aA	100.00 ± 0.00aA
对照	0.00 ± 0.00cA	0.00 ± 0.00dA	0.00 ± 0.00eA	0.00 ± 0.00eA	0.00 ± 0.00eA

1)表中同列或同行数据后凡是具有一个相同小写或大写字母者,表示在 5% 水平上差异不显著(Duncan's 法).

采用二次多项式逐步回归方法分析,获得番石榴实蝇蛹死亡率( $Y$ )与温度( $X_1$ )、处理时间( $X_2$ )之间的关系方程是  $Y = 828.63 - 45.22X_1 - 11.45X_2 + 0.616X_1^2 + 0.3004X_1X_2$ ,拟合值与实测值之间相关系数( $R$ ) = 0.9709,达极显著水平. 通径分析结果(表 4)表明,温度( $X_1$ )和处理时间( $X_2$ )直接作用系数分别为 -4.253 和 -3.115,呈现较强的负作用;而  $X_1^2$ 、 $X_1X_2$  直接作用系数为 4.869、3.451,对番石榴实蝇蛹死亡的影响作用呈现强的正向作用.  $X_1$  通过  $X_1^2$ 、 $X_1X_2$  以及  $X_2$  通过  $X_1X_2$ 、 $X_1^2$  通过  $X_1X_2$ 、 $X_1X_2$  通过  $X_1^2$  对番石榴实蝇蛹死亡的影响均是正向的,其中仅  $X_1$  通过  $X_1^2$  间接作用系数较大,为 4.867;  $X_1^2$  通过  $X_1$  以及  $X_1X_2$  通过  $X_1$ 、 $X_2$  对番石榴实蝇蛹死亡的影响均是负向的,其中  $X_1^2$  通过  $X_1$ 、 $X_1X_2$  通过  $X_2$  间接作用系数较大,为 -4.251、-3.099. 由以上分析结果可以看出,对番石榴实蝇蛹死亡直接贡献最大的是  $X_1^2$ 、 $X_1X_2$ ,间接影响最大的是  $X_1$  通过  $X_1^2$ 、 $X_2$  通过  $X_1X_2$

的作用. 因此,可以认为导致番石榴实蝇蛹死亡主要是温度以及温度与处理时间的复合作用.

表 4 与番石榴实蝇蛹死亡相关的因子作用的通径分析<sup>1)</sup>

Tab. 4 Path analysis of factors function relative to the mortality of *Bactrocera correcta* pupae

变量	直接系数	间接系数			
		通过 $X_1$	通过 $X_2$	通过 $X_1^2$	通过 $X_1X_2$
$X_1$	-4.253		0	4.867	0.263
$X_2$	-3.115	0		0	3.433
$X_1^2$	4.869	-4.251	0		0.263
$X_1X_2$	3.451	-0.324	-3.099	0.371	

1)  $X_1$ : 温度;  $X_2$ : 处理时间.

根据所建立的方程,计算出番石榴实蝇蛹的亚致死高温区、致死高温区(表 5). 处理 12.0 ~ 24.0 h,该虫蛹能忍受的最高温度为 38.1 ℃. 处理 12.0 h,亚致死高温区为 38.1 ~ 43.7 ℃,致死高温区为 43.8 ~ 47.2 ℃. 处理 24.0 h,亚致死高温区为 38.1 ~ 42.3 ℃,致死高温区为 42.4 ~ 45.5 ℃.

表5 番石榴实蝇蛹的亚致死高温、致死高温区

Tab.5 Sub-lethal and lethal high temperature zones of *Bactrocera correcta* pupae

$t_{处理}/h$	不同死亡率致死高温/°C			
	0	50%	90%	100%
12.0	38.1	43.8	46.6	47.2
24.0	38.1	42.4	45.0	45.5

表6 不同高温条件下番石榴实蝇成虫死亡率<sup>1)</sup>

Tab.6 Mortality of *Bactrocera correcta* adults under high temperatures

$\theta/°C$	不同处理时间死亡率/%				
	1.5 h	3.0 h	6.0 h	12.0 h	24.0 h
38.0	0.00 ± 0.00cA	0.00 ± 0.00dA	0.00 ± 0.00dA	0.00 ± 0.00dA	0.00 ± 0.00dA
40.0	0.00 ± 0.00cB	0.00 ± 0.00dB	2.50 ± 1.44cdA	1.25 ± 1.25cdAB	2.50 ± 1.44cdA
42.0	0.00 ± 0.00cC	2.50 ± 1.44cdBC	7.50 ± 1.44cdA	5.00 ± 2.89cdAB	8.75 ± 1.25cdA
44.0	20.00 ± 2.04bC	20.00 ± 2.04bC	23.75 ± 2.39bC	48.75 ± 2.39bB	62.50 ± 3.23bA
46.0	66.25 ± 4.27aC	87.50 ± 3.23aB	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA	100.00 ± 0.00aA
对照	0.00 ± 0.00cA	0.00 ± 0.00dA	0.00 ± 0.00dA	0.00 ± 0.00dA	0.00 ± 0.00dA

1)表中同列或同行数据后凡是具有一个相同小写或大写字母者,表示在5%水平上差异不显著(Duncan's法)。

采用二次多项式逐步回归方法分析,获得番石榴实蝇成虫死亡率(Y)与温度( $X_1$ )、处理时间( $X_2$ )之间的关系方程是  $Y = 3902.87 - 194.73X_1 - 7.722X_2 + 2.424X_1^2 + 0.2004X_1X_2$ ,拟合值与实测值之间相关系数( $R$ ) = 0.978 0,达极显著水平. 通径分析结果(表7)表明,温度( $X_1$ )和处理时间( $X_2$ )直接作用系数分别为 -15.273 和 -1.752,温度负作用更强; $X_1^2$ 、 $X_1X_2$  直接作用系数分别为 15.977、1.920,温度单因子复合对番石榴实蝇成虫死亡的影响正向作用很强. $X_1$  通过  $X_1^2$  和  $X_1X_2$ 、 $X_2$  通过  $X_1X_2$ 、 $X_1^2$  通过  $X_1X_2$ 、 $X_1X_2$  通过  $X_1^2$  对番石榴实蝇成虫死亡的影响均是正向的,其中仅  $X_1$  通过  $X_1^2$  间接作用系数很大,为 15.971; $X_1^2$  通过  $X_1$ 、 $X_1X_2$  通过  $X_1$  和  $X_2$  对番石榴实蝇成虫死亡的影响均是负向的,其中  $X_1^2$  通过  $X_1$  间接作用系数较大,为 -15.267. 由以上分析结果可知,对番石榴实蝇成虫直接贡献最大的是  $X_1^2$ ,间接影响最大的是  $X_1$  通过  $X_1^2$  的作用. 因此,可认为导致番石榴实蝇成虫死亡主要是温度的非线性作用.

表7 与番石榴实蝇成虫死亡相关的因子作用的通径分析<sup>1)</sup>  
Tab.7 Path analysis of factors function relative to the mortality of *Bactrocera correcta* adults

变量	直接系数	间接系数		
		通过 $X_1$	通过 $X_2$	通过 $X_1^2$ 通过 $X_1X_2$
$X_1$	-15.273	0	15.971	0.146
$X_2$	-1.752	0	0	1.910
$X_1^2$	15.977	-15.267	0	0.146
$X_1X_2$	1.920	-1.163	-1.743	1.216

1)  $X_1$ :温度; $X_2$ :处理时间.

## 2.4 高温胁迫对番石榴实蝇成虫存活力的影响

在低于 42.0 °C 的高温处理 24.0 h 以内,番石榴实蝇成虫校正死亡率不超过 10%. 但随着温度升高和处理时间延长,死亡率在不断增加. 当 46.0 °C 处理 6.0 h 以上,所有成虫都不能存活.

根据所建立的方程,计算出番石榴实蝇成虫的亚致死高温区、致死高温区(表8). 处理 12.0 h,亚致死高温区为 38.3 ~ 44.4 °C,致死高温区为 44.4 ~ 46.3 °C. 处理 24.0 h,亚致死高温区为 38.2 ~ 43.8 °C,致死高温区为 43.8 ~ 45.7 °C.

表8 番石榴实蝇成虫的亚致死高温、致死高温区  
Tab.8 Sub-lethal and lethal high temperature zones of *Bactrocera correcta* adults

$t_{处理}/h$	不同死亡率致死高温/°C			
	0	50%	90%	100%
12.0	38.3	44.4	45.9	46.3
24.0	38.2	43.8	45.4	45.7

## 3 讨论与结论

本文系统测定了高温对番石榴实蝇卵、幼虫、蛹、成虫的影响,建立了高温、处理时间与蛹、成虫死亡率之间关系的二次多项式方程,分析了温度、处理时间在番石榴实蝇死亡中的作用方式,并获得了各个虫态的亚致死高温区和致死高温区,为该虫的检疫处理和风险预警等提供了详细的科学依据. 研究表明,番石榴实蝇卵和幼虫在 46.0 °C 处理 1.5 h 以上,所有卵和幼虫死亡率可达到 100%. 这说明如果对水果进行高温处理,在果心温度达到 46.0 °C 后持续 1.5 h 以上可有效杀死果实中的番石榴实蝇卵和幼虫.

我国应用高温处理实施对实蝇卵和幼虫检疫除害已有一些研究. 例如,针对桔小实蝇的卵和幼虫,在鲜荔枝中需 46.5 °C 下持续 10 min,然后在 6 h 内将果肉温度下降到 2 °C 持续 40 h 以上<sup>[16]</sup>;在芒果中

需果心温度达到 47.0 °C 后持续处理 10 min<sup>[17]</sup>. 参照这些研究, 采用高温、低温交替处理检疫除害效率更高. 因此, 针对番石榴实蝇的检疫处理, 是今后需要进一步开展的工作.

在高温对卵存活影响的试验中, 44.0 °C 时处理 12.0 h 以上所有卵可全部孵化, 而处理时间短于 6.0 h 时死亡率增大至 20% ~ 40%. 出现这种现象可能的原因是在高温处理较长时间过程中, 卵发育速度加快, 全部孵化了. 如果未孵化, 将卵转入常温下后其死亡率应该更高些.

#### 参考文献:

- [1] KANG L, CHEN B, WEI J N, et al. Roles of thermal adaptation and chemical ecology in *Liriomyza* distribution and control [J]. *Annual Review of Entomology*, 2009, 54: 127-45.
- [2] LEE R E, DENLINGER D L. *Insects at low temperature* [M]. London: Chapman and Hall, 1991.
- [3] BALE J S. Insect cold hardiness: A matter of life and death [J]. *European Journal of Entomology*, 1996, 93: 369-382.
- [4] DANKS H V. The wider integration of studies on insect cold-hardness [J]. *European Journal of Entomology*, 1996, 93: 383-403.
- [5] SINCLAIR B J, ADDO-BEDIAKO A, CHOWN S L. Climatic variability and the evolution of insect freeze tolerance [J]. *Biological Review*, 2003, 78: 181-195.
- [6] VANNIER G. Mesure de la thermotempérature chez les insectes [J]. *Bull Soc Ecophysiol*, 1987, 12: 165-186.
- [7] NEVEN L G. Physiological responses of insects to heat

[J]. *Postharvest Biol Technol*, 2000, 21(1): 103-111.

- [8] DENLINGER D L, YOCUM G D. Physiology of heat sensitivity [M] // HALLMAN G J, DENLINGER D L. *Temperature sensitivity in insects and application in integrated pest management*. Colorado: West-View Press, 1998: 7-54.
- [9] 杜尧, 马春森, 赵清华, 等. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展 [J]. *生态学报*, 2007, 27(4): 1565-1572.
- [10] WHITE I M, ELSON-HARRIS M M. *Fruit flies of economic their identification and bionomics* [M]. Wallingford: CAB International, 1992.
- [11] LIU X F, YE H. Effect of temperature on development and survival of *Bactrocera correcta* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Scientific Research and Essay*, 2009, 4(5): 467-472.
- [12] 陈乃中. 2002 年度进口水果截获害虫统计分析 [J]. *植物检疫*, 2003, 17(6): 354-356.
- [13] 郑建中, 张卫东, 万民伟. 2004—2006 年上海口岸进境水果和辣椒中截获的实蝇类害虫 [J]. *植物检疫*, 2007, 21(5): 328-329.
- [14] 管维, 王章根, 梁献祥, 等. 中山口岸从芒果中检出番石榴实蝇 [J]. *植物检疫*, 2008, 22(5): 335.
- [15] 林盛才, 吴毓南, 许玲, 等. 对泰国入境旅客携带植物及其产品的检疫监管 [J]. *植物检疫*, 2009, 23(4): 59-60.
- [16] 梁广勤, 梁帆, 姚文国, 等. 荔枝蒸热和冷藏综合杀虫检疫处理试验 [J]. *江西农业大学学报*, 1994, 16(3): 243-252.
- [17] 梁广勤, 梁帆, 杨国海等. 低温接入龙眼桔小实蝇杀虫试验研究 [J]. *江西农业大学学报*, 1999, 21(1): 33-36.

【责任编辑 周志红】

(上接第 345 页)

- [11] KHAN Z R, AMPONG-NYARKO K, CHILISWA P, et al. Intercropping increases parasitism of pests [J]. *Nature*, 1997, 388: 631-632.
- [12] 赵冬香, 陈宗懋, 程家安. 迷宫漏斗蛛对假眼小绿叶蝉的捕食功能反应 [J]. *植物保护*, 2001, 27(4): 1-3.
- [13] 沈斌斌, 徐宇斌, 邹一平. 拟水狼蛛和食虫沟瘤蛛雌蛛对稻褐飞虱的捕食作用研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2006, 28(2): 191-194.
- [14] HOOKS C R R, JOHNSON M W. Population densities of herbivorous lepidopterans in diverse cruciferous cropping habitats: Effects of mixed cropping and using a living mulch [J]. *Biological Control*, 2006, 51: 485-506.
- [15] SYMONDSON W O C, SUNDERLAND K D, GREENSTONE M H. Can generalist predators be effective biocontrol agents [J]. *Annual Review of Entomology*, 2002, 47: 561-594.
- [16] 刘雨芳, 古德祥, 张古忍. 广东省稻田生态系统中蜘蛛群落多样性研究 [J]. *蛛形学报*, 2003, 12(1): 27-31.

- [17] 宋备舟, 王美超, 孔云, 等. 梨园芳香植物间作区节肢动物群落的结构特征 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(4): 769-779.
- [18] 刘长仲, 王刚, 严林. 蚜虱净对苜蓿田节肢动物群落结构及动态的影响 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2379-2383.
- [19] ROOT R B. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: The fauna of collards (*Rassica*: *Oleraceae*) [J]. *Ecological Monographs*, 1973, 43: 95-124.
- [20] PLUESS T, OPATOVSKY I, GAVISH-TEGEV R, et al. Non-crop habitats in the landscape enhance spider diversity in wheat fields of a desert agroecosystem [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 137: 68-74.
- [21] SAMU F. Can field-scale habitat diversification enhance the biocontrol potential of spiders [J]. *Pest Management Science*, 2003, 59: 437-442.

【责任编辑 周志红】