

柑橘大实蝇觅食高峰期成虫量与产卵痕率的关系模型研究*

马海泉** 梁凌云** 程晓琴 王珊珊 张宏宇***

(华中农业大学植物科学技术学院, 中澳园艺和城市有害生物联合研究中心, 城市与园艺昆虫研究所, 武汉 430070)

摘要 【目的】 通过研究柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 觅食高峰期成虫发生量与产卵痕率的关系, 为柑橘大实蝇的预测预报和综合防治提供理论指导。【方法】 通过调查柑橘大实蝇觅食高峰期在全田、橘园、杂树林、橘园与杂树林交界带和橘园中心的诱虫量和产卵痕率, 建立二者在不同观测区域上的回归方程, 为根据柑橘大实蝇觅食高峰期成虫发生量来预测产卵痕率, 进而根据产卵痕率确定成虫期防治指标提供理论基础。【结果】 除了果园周边杂树林中柑橘大实蝇觅食高峰期成虫诱捕量的线性回归与非线性回归的分析均不理想, 不适宜用于产卵痕率的预测外, 其他观测区域柑橘大实蝇觅食高峰期成虫诱捕量与果实产卵痕率建立的线性回归与非线性回归方程的拟合效果好, 可以作为产卵痕率的预测模型。但不同区域的拟合效果存在差异, 其中橘园中心成虫量与产卵痕率回归方程拟合效果 ($R^2=0.957\ 5$, $RMSE=1.623$) 最好, 其他依次分别是: 整个橘园成虫量 ($R^2=0.945\ 4$, $RMSE=1.859$), 全田成虫量 ($R^2=0.898\ 2$, $RMSE=2.535$), 交界带成虫量 ($R^2=0.851\ 5$, $RSME=3.038$)。【结论】 这些回归方程均能够较好的预测产卵痕率。考虑到防治需要, 可以在橘园中心设置诱捕点, 以觅食高峰期的成虫量 (x) 预测产卵痕率 (y), $y = 0.031\ 3x^3 - 1.306\ 5x^2 + 17.206\ 0x - 17.036$, 达到为柑橘大实蝇预测预报和综合防治提供理论指导的目的。

关键词 柑橘大实蝇; 成虫发生量; 产卵痕率; 预测预报

Modelling the relationship between adult *Bactrocera minax* numbers and ratio of oviposition scars during the peak foraging period

MA Hai-Quan** LIANG Ling-Yun** CHENG Xiao-Qin WANG Shan-Shan ZHANG Hong-Yu***

(Institute of Urban and Horticultural Pests, China-Australia Joint Centre for Horticultural and Urban Pests, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract [Objectives] To provide a theoretical basis for predicting the ratio of oviposition scars, and identify adult control indicators, from adult numbers during the peak *B. minax* foraging period, thereby improving the ability to predict outbreaks of, and control, this pest. [Methods] Adult numbers and oviposition scars in fields, citrus orchards, hybrid forests, junction zones and the center of citrus orchards, were measured and a regression model of the relationship between adult numbers and oviposition scars in different habitats developed. [Results] With the exception of hybrid forest around citrus orchards where the relationship between adult numbers and oviposition scars was low ($R^2 < 0.800\ 0$), linear, and non-linear, regression models were able to predict the ratio of oviposition scars of *B. dorsalis* during the peak foraging period. However, the coefficient of determination for the ratio of oviposition scars was higher in the center of citrus orchards ($R^2=0.957\ 5$, $RMSE=1.623$) than in fields ($R^2=0.945\ 4$, $RMSE=1.859$), the junction zone between citrus orchards ($R^2=0.898\ 2$, $RMSE=2.535$) or hybrid forests ($R^2=0.851\ 5$, $RSME=3.038$). [Conclusion] The ratio of oviposition scars can be predicted from adult abundance with linear regression. Considering the need for control, a trapping point can be established in the center of citrus orchards and the ratio of

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划“长江中游柑橘化肥农药减施技术集成研究与示范”(2017YFD0202000); 国家现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项资金资助(CARS-26); 中央高校基本科研业务费专项基金资助(2662019PY055)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 631004005@qq.com; 873238329@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hongyu.zhang@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-04-02; 接受日期 Accepted: 2019-04-26

oviposition scars (y) can be predicted from adult numbers during the peak foraging period using the following equation: (x),
 $y = 0.031\ 3x^3 - 1.306\ 5x^2 + 17.206\ 0x - 17.036$.

Key words *Bactrocera minax*; adult occurrence amount; the ratio of oviposition scars; prediction and forecast

柑橘大实蝇 *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax*, 属双翅目 Diptera, 实蝇科 Tephritida, 果实蝇属 *Bactrocera* Macquart (汪兴鉴和罗禄怡 1995; 汪兴鉴, 1996)。主要分布在我国西南地区 and 印度次大陆北缘, 如印度, 锡金, 不丹一带 (Liang *et al.*, 1993; Dorji *et al.*, 2006; 唐松, 2012)。国内的贵州、四川、重庆、湖南、湖北、云南、广西、江苏、陕西、河南等省市地区均有分布, 且在柑橘主产区内呈片状蔓延趋势, 逐年加重 (杨文寿等, 2013), 是柑橘上一种毁灭性害虫 (张宏宇和李红叶, 2018)。

2009 年之前, 柑橘大实蝇是我国国内植物检疫性害虫, 防治措施强调植物检疫, 严格控制非疫区, 一经发现就要全部灭杀。但 2009 年柑橘大实蝇已经从“全国农业植物检疫性有害生物名单”删除, 柑橘大实蝇的防治强调综合治理 (Integrated pest management, IPM), 确定经济阈值 (Economic threshold, ET) 及经济危害允许水平 (Economic injury level, EIL) 就显得十分必要。但之前的研究多注重于监测、检疫与防除等方面, 对于柑橘大实蝇为害的预测预报理论及技术的研究严重缺失, 特别柑橘大实蝇成虫产卵于果实内, 幼虫果内潜食的为害特点决定了柑橘大实蝇的综合防治以成虫期防治为主 (张宏宇和李红叶, 2018)。因此对该虫成虫期发生规律和预测预报的研究显得尤为重要。

研究表明, 柑橘大实蝇成虫自羽化初期至羽化盛期, 活动区域主要以柑橘园和杂树林的交界带为主; 产卵期活动区域主要在柑橘园内, 且分布均匀 (李杖黎, 2012a)。在柑橘大实蝇羽化觅食高峰期对其成虫进行诱杀, 防治效果显著好于其他各时期 (李杖黎等, 2012b; Wang *et al.*, 2016)。所以, 本实验选取对柑橘大实蝇诱杀效果再好的觅食高峰期来测定其成虫量, 以最大程度地减少实验误差。目前, 虽已有研究表明柑橘大实蝇产卵时对果实的不同部位具有明显的选

择偏好性 (李杖黎等, 2012c), 但其成虫发生量与产卵痕率的关系研究仍无报道, 而此对于该虫的预测预报和综合防治又是至关重要的。

本研究通过调查, 期望阐明柑橘大实蝇觅食高峰期成虫密度与产卵痕率之间的关系。通过研究柑橘大实蝇觅食高峰期成虫发生量与产卵痕率的关系, 为根据柑橘大实蝇成虫发生量预测产卵痕率提供理论基础, 进而为确定柑橘大实蝇成虫期的经济阈值提供理论基础, 对于柑橘大实蝇预测预报和综合防治实践应用有重要指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

本实验于 2013 年 5 月初到 2013 年 10 月 10 日在湖北省十堰市丹江口市六里坪镇孙家湾村完成, 选取 5 个互不相邻的橘园作为实验用地。橘园主栽品种为尾张 (Owari, 中国主要温州蜜橘中熟品种之一), 部分橘园混栽早熟品系龟井 (Kamei, 温州蜜橘早熟品种)。该地区杂树林主要树种有马尾松 *Pinus massoniana* Lamb., 桃树 *Amygdalus persica* L., 栓皮栎 *Quercus variabilis* Bl., 麻栎 *Quercus variabilis* Carr. 栎树 *Koelreuteria paniculata* Laxm., 枣树 *Ziziphus jujuba* Mill.等; 林间灌木杂草主要属于蔷薇科 (Rosaceae), 菊科 (Compositae), 禾本科 (Poaceae) 等。间隔区主要农作物有水稻 *Oryza sativa* L., 黄瓜 *Cucumis sativus* L., 小白菜 *Brassica rapa* L. Chinensis Group 等。橘园土质为页岩风化石, 土质疏松, 遭受柑橘大实蝇危害严重, 与橘农协商实验年份 (2013) 不进行虫害防治, 地理特征丰富且具有代表性, 能够客观反映柑橘大实蝇发生量与危害情况。

自制黄色球型诱捕器 (丹江口植保站提供); 糖醋液, 配方为红糖 3 份, 白酒 1 份, 白醋 1 份, 水 10 份 (张宏宇和李红叶, 2018)。

1.2 试验方法

1.2.1 柑橘大实蝇觅食高峰期诱虫量的调查 柑橘大实蝇觅食高峰期每年大致在 5 月 31 日至 6 月 27 日之间 (李杖黎等, 2012b), 故在此期间内在实验田内设置诱捕点, 以果园为单位, 每单位设置 8 个诱捕点, 其中 5 个诱捕点设置在橘园内, 另外 3 个诱捕点设置在杂树林中, 一共设置 40 个诱捕点。每诱捕点悬挂 1 个自制黄色球型诱捕器, 悬挂高度为 1 m 左右, 饵料为糖醋液。自设置诱捕点开始, 每 3-4 d 调查 1 次诱捕到的成虫数量, 每 7 d 更换 1 次饵料, 直至连续 3 次观测不到成虫为止。

1.2.2 果园产卵痕率的调查 8 月 16 日至 10 月 10 日期间, 以果园为单位, 每单位标记 100 个果实, 根据果园内果树棵数及挂果量决定每棵树上随机标记 10 个或 20 个橘果。用白油漆笔在标记果实上直接写编号。自观测到实验田中有落果开始, 每隔 1 周观察记录 1 次标记果实上是否有产卵痕及其数目。调查之后对有落果的调查橘树进行标记果实的补充, 保证下一次调查时每单位仍有 100 个标记果实。调查持续到橘农摘果为止。产卵痕率(%)=该果园累计产卵痕数/该果园总标记果实数×100。

1.2.3 统计及分析方法 回归分析的数据处理及检验、绘图由 Microsoft Excel 2003 和 SPSS16.0 完成 (胡文冉等, 2013)。每组以各橘园平均每点诱虫数为 X , 以各橘园的产卵痕率为 Y , 选择几种不同的一元回归分方法予以分析, 比较判定系数 (R^2) 及均方根误差 (RMSE), 选择最优回归方程。

2 结果与分析

2.1 觅食高峰期全田诱虫量与产卵痕率的关系

觅食高峰期全田诱虫量与产卵痕率的回归分析效果如图 1 所示, 一元线性方程为 $y = 0.686 2x + 42.12$, $R^2 = 0.653 3$, $RMSE = 4.627 5$; 对数方程为 $y = 8.502 5 \ln(x) + 31.491$, $R^2 = 0.662 3$, $RMSE = 12.360 7$; 乘幂方程为 $y = 34.225x^{0.168 5}$, $R^2 = 0.677 6$, $RMSE = 18.402 9$; 一元三次方程为

$y = 0.011 8x^3 - 0.535 9x^2 + 7.365 2x + 21.335$, $R^2 = 0.898 2$, $RMSE = 2.535$ 。可以看出一元三次方程的拟合效果最好。

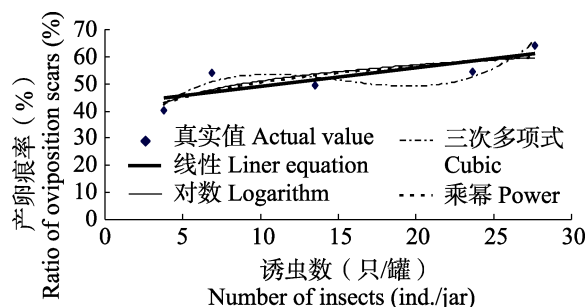


图 1 觅食高峰期全田诱虫量与产卵痕率回归分析结果
Fig. 1 Regression analysis results of the adult occurrence amount in whole field and the ratio of oviposition scars during foraging peak period

2.2 觅食高峰期橘园中诱虫量与产卵痕率的关系

觅食高峰期橘园中诱虫量与产卵痕率的回归分析效果如图 2 所示, 一元线性方程为: $y = 1.006 7x + 39.658$, $R^2 = 0.828 2$, $RMSE = 3.257 7$; 对数方程为: $y = 9.746 9 \ln(x) + 29.801$, $R^2 = 0.825 6$, $RMSE = 3.282 0$; 乘幂方程为 $y = 32.982x^{0.194 6}$, $R^2 = 0.857 9$, $RMSE = 19.466 3$; 一元三次方程为 $y = 0.011 8x^3 - 0.459 6x^2 + 5.891 6x + 27.309$, $R^2 = 0.945 4$, $RMSE = 1.859$ 。从中可以看出, 一元三次方程的拟合效果最好。图中 R^2 值为 0.828 2 的一元线性方程 $y = 1.007x + 39.66$, 也具有统计学意义, $P = 0.031 9^*$, 回归系数显著

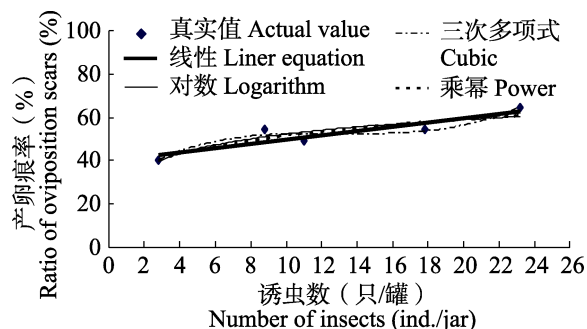


图 2 觅食高峰期橘园中诱虫量与产卵痕率回归分析结果

Fig. 2 Regression analysis results of the adult occurrence amount in citrus orchard and the ratio of oviposition scars during foraging peak period

有效。说明觅食高峰期橘园中诱虫量适合用于预测产卵痕率。

2.3 觅食高峰期杂树林中诱虫量与产卵痕率的关系

觅食高峰期杂树林中诱虫量与产卵痕率的回归分析效果如图 3 所示,一元线性方程为 $y = 0.4076x + 44.72$, $R^2 = 0.4761$, $RMSE = 5.6889$; 一元三次方程为 $y = 0.1426x^3 - 0.0020x^3 - 2.4093x + 55.987$, $R^2 = 0.5936$, $RMSE = 5.0205$; 从中可以看出,线性回归与非线性回归的分析结果均不理想, R^2 过低,说明觅食高峰期杂树林中的诱虫量不适宜用于产卵痕率的预测。

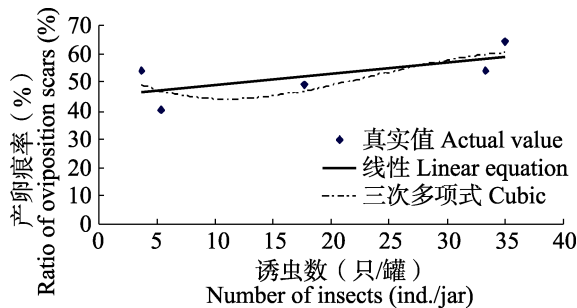


图 3 觅食高峰期杂树林中诱虫量与产卵痕率回归分析结果

Fig. 3 Regression analysis results of the adult occurrence amount in hybrid forest and the ratio of oviposition scars during foraging peak period

2.4 觅食高峰期交界带中诱虫量与产卵痕率的关系

觅食高峰期交界带中诱虫量与产卵痕率的回归分析结果如图 4 所示,一元线性方程为: $y = 0.59x + 43.166$, $R^2 = 0.6554$, $RMSE = 4.5619$; 一元三次方程为 $y = 0.0066x^3 - 0.3207x^2 + 4.7618x + 30.238$, $R^2 = 0.8515$, $RMSE = 3.038$ 。从中可以看出,拟合一元三次方程的效果较好。

2.5 觅食高峰期橘园中心诱虫量与产卵痕率的关系

觅食高峰期橘园中心诱虫量与产卵痕率的回归分析结果如图 5 所示,一元线性方程为: $y = 1.0068x + 38.503$, $R^2 = 0.6428$, $RMSE = 4.1953$; 一元三次方程为 $y = 0.0313x^3 - 1.3065x^2 + 17.2060x$

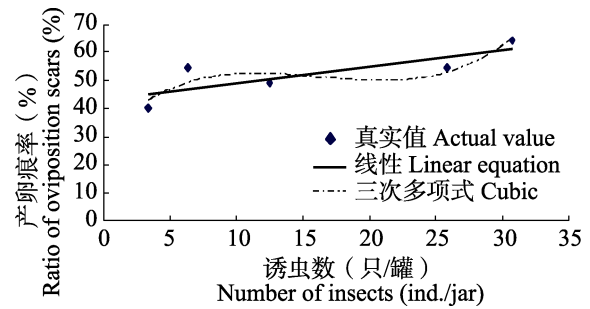


图 4 觅食高峰期交界带中诱虫量与产卵痕率回归分析结果

Fig. 4 Regression analysis results of the adult occurrence amount in the junction zone between the citrus orchard and hybrid forest and the ratio of oviposition scars during foraging peak period

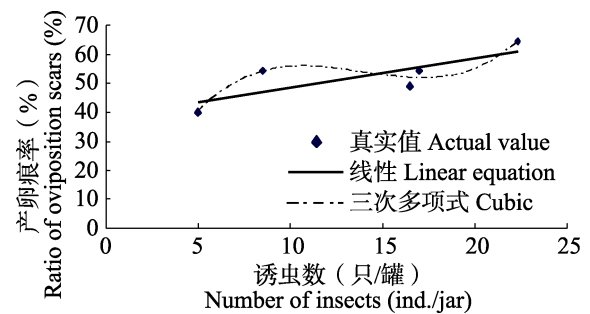


图 5 觅食高峰期橘园中心诱虫量与产卵痕率回归分析结果

Fig. 5 Regression analysis results of the adult occurrence amount in the center of citrus orchard and the ratio of oviposition scars during foraging peak period

-17.036 , $R^2 = 0.9575$, $RMSE = 1.623$ 。从中可以看出,一元三次方程的拟合效果最好。

2.6 小结

将觅食高峰期不同观测区域内诱虫数与产卵痕率各自拟合出的最优方程汇总,通过比较方程的判定系数及均方根误差,筛选出最适宜用来预测产卵痕率的成虫量,结果见表 1。综合表 1,预测产卵痕率使用一元三次方程效果较好,不同空间范围的柑橘大实蝇成虫量预测产卵痕率的效果不同,不同空间范围内柑橘大实蝇觅食高峰期成虫诱捕量(平均每点诱虫数)与产卵痕率建立的回归方程中,各拟合方程的拟合效果(按 R^2 大小排列)依次为:橘园中心成虫量 ($y = 0.0313x^3 - 1.3065x^2 + 17.2060x - 17.036$, $R^2 = 0.9575$, $RMSE = 1.623$) > 橘园成虫量 ($y = 0.0118x^3$

表 1 觅食高峰期诱虫量与产卵痕率回归分析最优结果
Table 1 The optimal result of regression analysis of adult occurrence amount and the ratio of oviposition scars during foraging peak period

观测区域 Location	拟合最优方程 The optimal regression analysis	R^2	RMSE
全田 Whole field	$y = 0.011\ 8x^3 - 0.535\ 9x^2 + 7.365\ 2x + 21.335$	0.898 2	2.535
橘园 Citrus orchard	$y = 0.011\ 8x^3 - 0.459\ 6x^2 + 5.891\ 6x + 27.309$	0.945 4	1.859
杂树林 Hybrid forest	$y = 0.142\ 6x^2 - 0.002\ 0x^3 - 2.409\ 3x + 55.987$	0.593 6	5.021
交界带 The junction zone	$y = 0.006\ 6x^3 - 0.320\ 7x^2 + 4.761\ 8x + 30.238$	0.851 5	3.038
橘园中心 The center of citrus orchard	$y = 0.031\ 3x^3 - 1.306\ 5x^2 + 17.206\ 0x - 17.036$	0.957 5	1.623

$-0.459\ 6x^2 + 5.891\ 6x + 27.309$, $R^2=0.945\ 4$, $RMSE=1.859$) > 全田成虫量 $y=0.011\ 8x^3 - 0.535\ 9x^2 + 7.365\ 2x + 21.335$, $R^2=0.898\ 2$, $RMSE=2.535$) > 交界带成虫量 ($y=0.006\ 6x^3 - 0.320\ 7x^2 + 4.761\ 8x + 30.238$, $R^2=0.851\ 5$, $RSME=3.038$), 而觅食高峰期杂树林中诱虫量与产卵痕率的线性回归与非线性回归的分析结果均不理想 ($R^2 < 0.8$)。

3 结论与讨论

柑橘大实蝇觅食高峰期不同观测区域的成虫量预测产卵痕率的效果不同, 拟合效果最好的拟合方程 ($R^2 > 0.900\ 0$) 按 R^2 值大小排列次为: 觅食高峰期橘园中心成虫量 ($y = 0.031\ 3x^3 - 1.306\ 5x^2 + 17.206\ 0x - 17.036$, $R^2=0.957\ 5$, $RMSE=1.623$) > 觅食高峰期橘园成虫量 ($y=0.011\ 8x^3 - 0.459\ 6x^2 + 5.891\ 6x + 27.309$, $R^2=0.945\ 4$, $RMSE=1.859$)。

对橘园产卵痕率的预测, 由于产卵痕率是累计值, 是整个橘园整体受害的结果, 因而使用某段时期的成虫量进行预测, 效果可能会不如使用整个成虫发生期的虫量更准确; 但同时考虑到是预测产卵痕率以指导防治为目的, 如用整个成虫发生期进行预测, 产卵痕率已经固定, 无法起到指导防治的作用, 同时也就失去了预测其产卵痕率的意义。综合两方面因素, 本实验只选取了柑橘大实蝇觅食高峰期时期各观测区域的成虫诱捕量来进行其产卵痕率的预测, 预测产卵痕率可以使用觅食高峰期橘园中心的诱虫量。

实验中将觅食高峰期之后的成虫期称为产

卵期, 但本实验并没有进行产卵进度的调查, 是因为在觅食高峰期之前柑橘大实蝇可能已经入园产卵, 进入产卵期。已有研究显示, 由于柑橘品种的多元化趋势, 在柑橘大实蝇连续多年发生且柑橘种类丰富的地区, 其产卵期向不整齐的方向发展, 产卵盛期难以预测 (罗禄怡和陈长凤, 1987), 而且使用产卵期的成虫量进行产卵痕率的预测, 也不利于对柑橘大实蝇进行防治。

建立模型最好使用同一块田地连续多年的观测数据, 以一年的数据作为一个样本, 由于时间有限, 本实验选用多个条件相似又相对独立的果园作为独立样本。如果要建立柑橘大实蝇成虫量与产卵痕率之间的动态模型, 就需要进行连续多年的持续观测, 建议考虑气象条件、果树品种、栽种方式等因素对模型的影响, 选用觅食高峰期、橘园内的成虫量进行相关的分析。

参考文献 (References)

- Dorji C, Clarke AR, Drew RAI, 2006. Seasonal phenology of *Bactrocera Minax* (Diptera: Tephritidae) in Western Bhutan. *Bull. Entomol. Res.*, 96(5): 531–538.
- Hu WR, Fan L, Tian XL, Cao SY, 2013. Application of excel in logistic curve fitting. *Agriculture Network Information*, (3): 14–16. [胡文冉, 范玲, 田晓莉, 曹双瑜, 2013. Excel 在 Logistic 曲线拟合中的应用. 农业网络信息, (3): 14–16.]
- Liang GQ, David LH, Xu W, Liang F, 1993. Notes on the dacinae of southern China (Diptera: Tephritidae). *Australian Journal of Entomology banner*, 2(32): 137–140.
- Luo LY, Chen XF, 1987. Biological characteristics of pupa to *Bactrocera minax*. *China Citrus*, 1(4): 9–10. [罗禄怡, 陈长凤, 1987. 柑橘大实蝇蛹的生物学特性. 中国柑橘, 1(4): 9–10.]
- Li ZL, 2012a. Studies on spatiotemporal distribution and control of

- Bactrocera minax*. Master dissertation. Wuhai: HuaZhong Agricultural University. [李杖黎, 2012a. 柑橘大实蝇成虫时空分布规律调查及防治技术研究. 学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Li ZL, Guo YC, Zheng WW, Yuan JS, Qi XH, Zhang HY, 2012b. Effect of the distribution of trapping point on the trapping effect of *Bactrocera minax*. *Journal of HuaZhong Agricultural University*, 31(6): 710–712. [李杖黎, 郭元成, 郑薇薇, 袁建设, 张宏宇, 2012b. 诱杀点分布对柑橘大实蝇诱杀效果的影响. 华中农业大学学报, 31(6): 710–712.]
- Li ZL, Li T, Shi ZH, Chen Z, Zhang HY, 2012c. Temporal and spatial distribution and oviposition regularity of adults of *Bactrocera minax*. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 31(5): 609–612. [李杖黎, 李涛, 石章红, 陈政, 张宏宇, 2012c. 柑橘大实蝇成虫的时空分布与产卵规律. 华中农业大学学报, 31(5): 609–612.]
- Tang S, 2012. Study on system monitoring of occurrence of *Bactrocera minax* (Enderlein). Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [唐松, 2012. 柑桔大实蝇发生的系统监测研究. 学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Wang SQ, Zhang HY, Li ZL, 2016. Small-scale spatio-temporal distribution of *Bactrocera minax* (Enderlein) (Diptera: Tephritidae) using probability kriging. *Neotropical Entomology*, 45(5): 453–462.
- Wang XJ, Luo LY, 1995. Research progress of *Bactrocera minax*. *Entomological Knowledge*, 32(5): 310–315. [汪兴鉴, 罗禄怡, 1995. 桔大实蝇的研究进展. 昆虫知识, 32(5): 310–315.]
- Wang XJ, 1996. A list of important pests of the genus *Drosophila* and a key list of subgenera and species (continued). *Plant Quarantine*, 10(3): 21–30. [汪兴鉴, 1996. 果实蝇属重要害虫的厘订名录和分亚属及种检索表(续). 植物检疫, 10(3): 21–30.]
- Yang WS, Li CR, Lan J, An HL, 2013. The diffusion pattern and history of *Bactrocera minax*. *Journal of Yangtze University (Nat. Sci. Edit.)*, 10(11): 8–11. [杨文寿, 李传仁, 兰杰, 安红柳, 2013. 柑桔大实蝇的扩散方式及扩散历史. 长江大学学报(自然科学版), 10(11): 8–11.]
- Zhang HY, Li HY, 2018. Color Atlas for Green Controls of Citrus Diseases and Insect Pests. Beijing: China Agriculture Press. 116–118. [张宏宇, 李红叶, 2018. 柑橘病虫害绿色防控彩色图谱. 北京: 中国农业出版社. 116–118.]
- Zhang LT, Bu QJ, Yang GH, Liu XL, 2007. The correct use of the mathematical statistics method in the academic papers in the field of environmental science. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 27(1): 171–173. [张利田, 卜庆杰, 杨桂华, 刘秀兰, 2007. 环境科学领域学术论文中常用数理统计方法的正确使用问题. 环境科学学报, 27(1): 171–173.]