

临海柑橘园橘小实蝇种群数量消长规律

汪恩国^{1*}, 王永才², 余山红³, 王会福³

¹浙江省临海市植物保护站, 浙江 临海 317000; ²浙江省临海市农科所, 浙江 临海 317000;

³浙江省台州市农科院, 浙江 临海 317000

摘要:【背景】近年来,随着种植结构的改变以及南方携虫水果的频繁调运,橘小实蝇逐渐向北扩散危害,对水果生产造成严重威胁。【方法】2008~2010年应用性诱剂的监测方法对柑橘园橘小实蝇种群数量进行了定点、系统的跟踪监测;并结合气象资料和田间调查情况,通过对当旬成虫数量与当旬及其前延逐旬气象要素的筛选来建模,进而确定影响橘小实蝇种群数量的主要气象因子。【结果】临海柑橘园橘小实蝇种群数量时序变化呈单峰型曲线,其性诱成虫初见期在6月下旬至8月初,高峰期在9月上旬至11月上旬,11月中旬后成虫数量逐渐下降,到12月下旬未诱集到成虫。气象因子筛选和建模结果表明,柑橘园橘小实蝇成虫种群数量年度变动以旬平均温度为决定要素,季节性变化以旬降雨量为决定要素。【结论与意义】临海柑橘园橘小实蝇种群数量随温度和土壤湿度的增大而增长。本研究对提高橘小实蝇监测预警水平、有效控制橘小实蝇危害具有重要意义。

关键词: 橘小实蝇; 种群数量; 消长规律; 气象因子; 数学模型

Population dynamics of the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) in citrus orchard at Linhai, Zhejiang Province, China

En-guo WANG^{1*}, Yong-cai WANG², Shan-hong YU³, Hui-fu WANG³

¹Linhai Plant Protection Station, Linhai, Zhejiang 317000, China; ²Linhai Research Institute of Agriculture Science, Linhai, Zhejiang 317000, China; ³Taizhou Academy of Agricultural Science, Linhai, Zhejiang 317000, China

Abstract: 【Background】The oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis* Hendel) has been gradually spreading northwards in recent years due to the change of plantation structure and transportation of infested fruit from south to north. It became a great threaten to fruit industry in north. 【Method】Population dynamics of the oriental fruit fly in citrus orchard at Linhai, Zhejiang Province, was systematically monitored by sex pheromone traps during 2008~2010. Combining with meteorological data and field surveys, models were built, using the numbers of adults and meteorological data at 10-days intervals. 【Result】The oriental fruit fly at Linhai had a single-peak population curve. Adults started to appear in late June to early August and the population peaked between early September and early November. After this, the population decreased until late December when adults were not captured any more. The model analysis showed that the 10-days average temperature determined the annual peak, while rainfall was an important factor in seasonal population dynamics through influencing soil moisture. Both higher temperatures and higher soil moisture were positive factors. 【Conclusion and significance】The study will contribute to improving forecast and allowing for a more effective control of this invasive species.

Key words: oriental fruit fly; population dynamic; meteorological element; mathematic model

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是重要的世界性水果和蔬菜害虫,可危害 40 个科的 300 余种瓜果,对许多具有重要经济价值的热带和亚热带瓜果存在严重威胁 (Alyokhin *et al.*, 2001; Shukla & Prasad, 1985)。该害虫 1912 年首次报道于我国台湾,迄今已广泛分布在亚洲及环太平洋的多数国家和地区 (Christenson & Foot, 1960; Fullaway, 1953; Hsu, 1973)。近年来,随着种植结构的改变,

收稿日期 (Received): 2013-04-03 接受日期 (Accepted): 2013-05-03

基金项目: 台州市科技计划项目 (08KY01)

作者简介: 汪恩国,男,研究员。研究方向: 农业植物有害生物监测预警与综合治理技术

* 通讯作者 (Author for correspondence), E-mail: lhweg2011@163.com

且对外交往日趋频繁,橘小实蝇在我国南方部分地区暴发成灾,对水果生产造成严重的经济损失(陈鹏和叶辉,2006、2007;吕欣等,2008)。同时,随着冬季气候变暖以及南方携虫水果频繁调运,橘小实蝇逐渐向北扩散危害(李达林和汪恩国,2011;赵琳等,2008)。

临海地处浙江中部沿海地区(28°50'N、121°06'E),年平均温度 17℃,年降水量 1550 mm,5~6 月为梅雨季节,7~9 月以晴天为主,常年种植柑橘 11700 hm²,为浙江柑橘重要产区之一。橘小实蝇自 2007 年 10 月首次在临海柑橘园监测发现以来,危害不断加重,致使柑橘果实未成熟就变黄、腐烂或脱落成为“蛆果”(李云明等,2012)。各地对橘小实蝇的种群动态、空间分布型、预测预报、防治方法诸方面做了较深入的研究,但有关浙中南的柑橘园橘小实蝇种群数量消长规律,尤其以旬量为单位对橘小实蝇成虫数量与气象要素进行数学建模方面的研究较为鲜见(和万忠等,2002;张小亚等,2011)。为此,笔者应用性诱剂监测方法对橘小实蝇种群数量进行定点、系统的跟踪监测,并对其与气象要素的关系进行筛选,创建橘小实蝇成虫数量变动数学模型,进而分析影响橘小实蝇种群数量的主要气象因子,以期对橘小实蝇的监测预警和防控提供依据。

1 材料与方法

1.1 监测点概况

根据橘小实蝇入侵发生及分布情况,选择浙江省临海市古城街道伏龙村的柑橘园为监测点。柑橘园面积 15 hm²,品种为宫川;其生育期:3~4 月春芽萌动至现蕾开花期,5~6 月谢花至幼果生长期,7~9 月果实膨大期,10~11 月果实成熟采收期。

1.2 监测方法

监测时间为 2008 年 1 月 1 日~2010 年 12 月 30 日,每 7 d 调查 1 次,收集和记录每个诱捕器的成虫数量。以诱蝇醚(成份为甲基丁香酚,2 mL·支⁻¹)作为橘小实蝇引诱剂,将诱芯注入诱蝇醚并用专用诱捕器诱捕。按南北向双向悬挂 4 个诱捕器,以间距 50 m 布器监测。诱捕器悬挂在橘树枝中,并选取有利风向,避免被树叶直接遮蔽和阳光直射,在诱捕器的吊线上涂凡士林,以防止蚂蚁等昆虫取食。每 30 d 更换 1 次诱芯(明珂等,2010)。

1.3 发生危害调查

根据田间橘小实蝇性诱监测情况,在柑橘挂果期(10 月下旬至 11 月上旬)套透明袋观察成虫羽化与交配产卵习性,并调查果实危害情况。采用对角线 5 点取样法,每点调查 10 株,共 50 株橘树,随机调查 1000 个树上果,采集树上全部烂果,记录橘小实蝇危害株数,统计有虫株率,并剥查树上虫果数和每个虫果幼虫数;然后随机收集落地果 50 个,剥查落地果虫果数和每个虫果幼虫数。以落果率为权重,将地上果加权后计算综合有虫果率和综合果虫量。

综合有虫果率(%) = [树上有虫果率 × (1 - 平均落果率) + 地上有虫果率 × 平均落果率] × 100
综合果虫量计算方法同上。

1.4 气象因子影响分析

根据橘小实蝇种群存活动态和分布特征,结合气象资料和田间调查情况,通过对当旬成虫数量与当旬及其前延 5 个旬气象要素(旬平均温度、旬雨量、旬日照时数)进行逐旬单因素相关筛选,并以相关系数处于显著水平的旬气象要素进行单因素二项式建模;然后对此 3 个因素做逐步回归建模,依此对成虫盛发期(8 月上旬至 11 月下旬)3 个因素也做逐步回归建模,分析影响种群数量消长的主要气象因素。同时,以实测值为 A ,拟合值为 B ,则吻合率 = $[| 1 \pm (A - B) | / A] \times 100\%$,回测检验模型的拟合程度。

采用 DPS V5.12 分析调查数据,原始调查数据不做任何转换(唐启义和冯明光,2002)。所用 2008~2010 年的旬平均温度、旬降雨量及旬日照时数气象资料由当地气象部门提供。

2 结果与分析

2.1 橘小实蝇危害率

表 1 显示,临海柑橘园柑橘树有虫株率为 52%。其中,树上有虫果率为 1.43%,平均果虫量为 3.84 条·个⁻¹;而地上有虫果率达 49.33%,平均果虫量 3.27 条·个⁻¹。通过调查(10 月下旬),柑橘园落果率平均为 5.36%,将地上果按此权重加权后统计得出,综合有虫果率为 4.00% (2.47%~6.23%),综合果虫量为 3.81 (3.56~3.98) 条·个⁻¹。由此可知,柑橘园果实成熟期落果主要由橘小实蝇危害所致。

表1 临海柑橘园挂果期橘小实蝇发生危害情况

年度 Year	调查株数 Number of trees	有虫株数 Number of infected trees	有虫株率 Infected trees (%)	采集果数(个) Investigated fruits		有虫果数(个) Infected fruits		有虫果率 Infected fruits (%)		果虫量(条·个 ⁻¹) Amount of insects per fruit	
				树上果 Tree fruit	地上果 Fallen fruit	树上果 Tree fruit	地上果 Fallen fruit	树上果 Tree fruit	地上果 Fallen fruit	树上果 Tree fruit	地上果 Fallen fruit
2008	50	50 ± 0	100 ± 0	1000	50	25 ± 4	36 ± 8	2.5 ± 1.0	72 ± 15	3.95 ± 0.87	3.1 ± 0.7
2009	50	20 ± 4	40 ± 7	1000	50	10 ± 2	22 ± 3	1.0 ± 0.2	44 ± 7	4.02 ± 0.71	3.2 ± 0.9
2010	50	8 ± 4	16 ± 8	1000	50	8 ± 4	16 ± 4	0.8 ± 0.4	32 ± 8	3.56 ± 0.52	3.5 ± 0.6
平均 Average	50	26 ± 19	52 ± 37	1000	50	14.33 ± 8.50	24.67 ± 9.95	1.43 ± 0.85	49.33 ± 19.89	3.84 ± 0.25	3.27 ± 0.21

2.2 橘小实蝇种群数量消长规律

图1显示,柑橘园橘小实蝇种群数量时序变化呈单峰型曲线。成虫初见期年度之间差异大,2008年为8月3日,2009年为6月22日,2010年为7月20日;8月初为成虫数量增长拐点,其成虫诱集量为0.50~1.25头·器⁻¹;之后进入种群数量快速增长

长期,9、10月为成虫数量高峰期,其平均成虫诱集量达6.99头·器⁻¹(3.00~10.69头·器⁻¹),2008年持续至11月上旬(成虫诱集量10.25头·器⁻¹);随后成虫诱集量逐渐下降,到12月下旬未诱集到成虫。由此可见,临海柑橘园橘小实蝇盛发时间长,成虫对果实产卵危害突出。

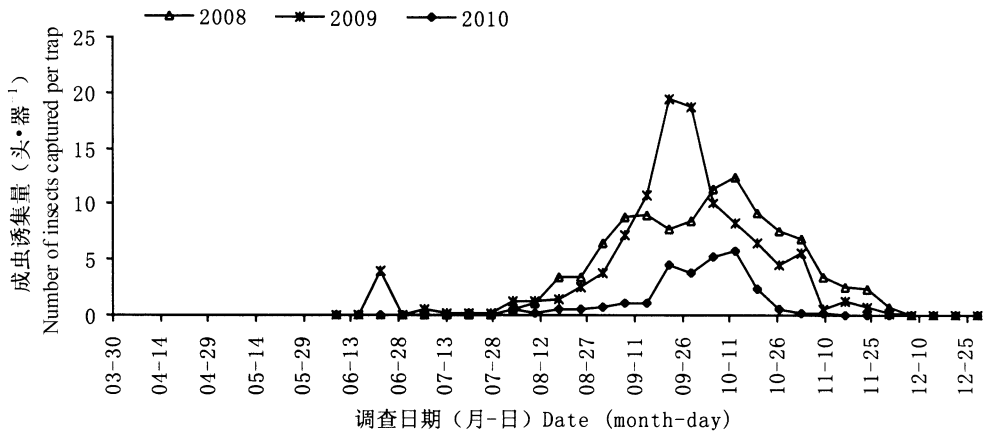


图1 2008~2010年临海柑橘园橘小实蝇种群数量消长动态

Fig.1 Seasonal dynamics of *B. dorsalis* from 2008 to 2010 in citrus orchards at Linhai, Zhejiang Province, China

2.3 气象因子对橘小实蝇种群数量的影响

2.3.1 气象要素单因素分析 通过统计分析2008~2010年4月上旬至11月下旬72个旬期橘小实蝇成虫数量与旬平均温度的关系发现,橘小实蝇当旬成虫数量(M_n)与其前第3旬旬平均温度(T_{n-3})存在极显著相关关系(图2),其数学模型为 $M_n = 0.0269T_{n-3}^2 - 0.6586T_{n-3} + 3.6294$ ($n = 72, r = 0.4719, r_{0.01} = 0.3017$)。经拟合,单器旬诱集量3头以上存在拟合意义,平均吻合率为53%;对雨量、日照时数2个要素的统计分析发现,橘小实蝇当旬成虫数量无论与当旬还是前延逐旬的雨量、日照时数,相关性均不显著($n = 72, r_{雨} \leq 0.1780, r_{照} \leq$

0.2102)。由此可知,橘小实蝇是气温型害虫,其种群数量随着前一个月温度的升高而增长。

图2表明,旬平均温度15~16℃为其后过3旬橘小实蝇成虫起始活动的临界温度;当旬平均温度在15℃以下时成虫较难成活或无活动;当旬平均温度在16℃以上时其后过3旬橘小实蝇种群开始处于低位运行;当旬平均温度处于21℃以上时其后过3旬橘小实蝇种群数量快速增长;旬平均温度在25~30℃时其后过3旬橘小实蝇种群数量趋向高峰。因此,其峰期可持续到11月份,与柑橘挂果期相吻合。

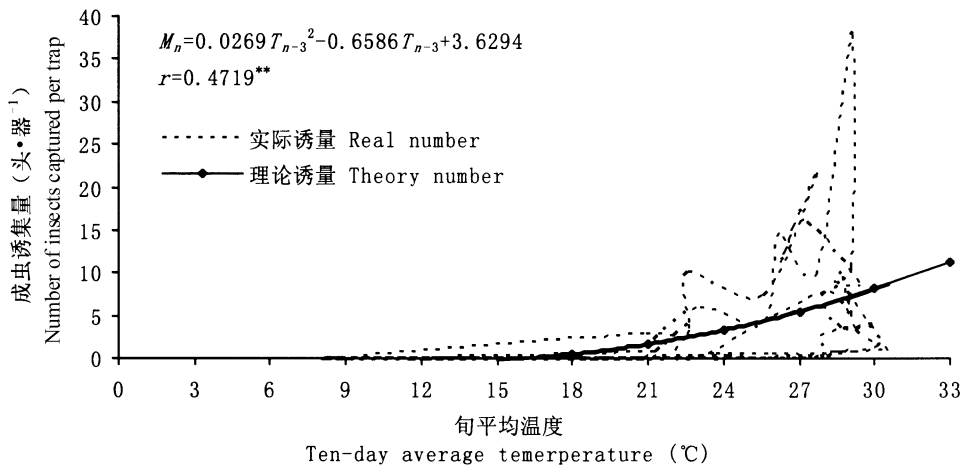


图 2 橘小实蝇当旬成虫数量与其前第 3 旬旬平均温度关系图

Fig.2 Correlation relationship between the insect number in ten days and average temperature in the former third ten-day

2.3.2 气象要素多因素复合分析 对 2008 ~ 2010 年的 4 月上旬至 11 月下旬 72 个旬期当旬成虫诱集量(M_n)与当旬日照时数(S_n)、当旬雨量(R_n)及其前第 3 旬旬平均温度(T_{n-3})进行多元逐步回归分析,其模型为 $M_n = 0.4426T_{n-3} + 0.0078R_n - 0.0232S_n - 5.8247$ ($n = 72$; $r_T = 0.4448$, $P = 0.0001$; $r_R = 0.1212$, $P = 0.3103$; $r_S = -0.1006$, $P = 0.4007$; $R = 0.4654$),表明橘小实蝇全年种群数量动态变化与其前第 3 旬旬平均温度的关系达极显著水平,而与当旬雨量和当旬日照时数的关系不显著。由此可见,橘小实蝇全年种群数量变化的气象要素以温度为主(图 3)。

图 3 显示,橘小实蝇当旬平均温度处于 15 °C 以上时其后过 3 旬成虫起始活动;当旬平均温度在 20 ~ 26 °C 时其后过 3 旬成虫种群进入高位运行;当旬平均温度在 27 ~ 31 °C 时其后过 3 旬种群发展趋向高峰;当旬平均温度处于 33 °C 以上时其后过 3 旬种群数量趋向回落。这进一步表明橘小实蝇成虫活动的温度范围为 15 ~ 33 °C。但全年 4 ~ 6 月柑橘园生育期处于开花期至幼果期,且其前旬温度较低,不利于橘小实蝇成虫发生,因此,4 ~ 6 月基本无法诱集到橘小实蝇成虫。

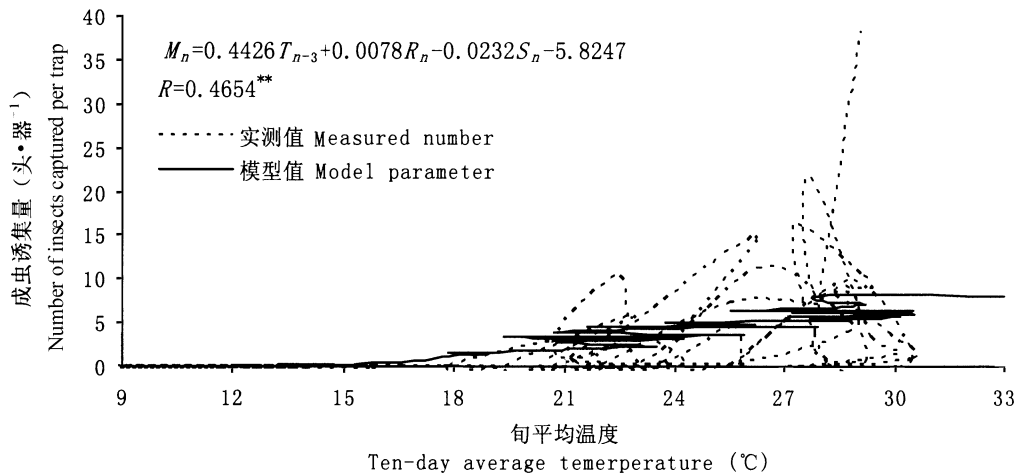


图 3 橘小实蝇成虫当旬模型数量与其前第 3 旬旬平均温度关系图

Fig.3 Correlation relationship between the insect number of model parameters in ten days and average temperature in the former third ten-day

对柑橘园橘小实蝇成虫盛发期(8 月上旬至 11 月下旬)的诱集量(M_n)与当旬日照时数(S_n)、当旬雨量(R_n)及其前第 3 旬旬平均温度(T_{n-3})进行多

元逐步回归分析,其数学模型为 $M_n = 0.5812T_{n-3} + 0.05351R_n - 0.0139S_n - 12.0814$ ($n = 36$; $r_R = 0.4522$, $P = 0.0056$; $r_T = 0.3196$, $P = 0.0574$; $r_S = -0.0068$, $P =$

0.9685; $R=0.5054$, $r_{0.01}=0.4182$),表明橘小实蝇成虫盛发期种群数量变化与当旬雨量的关系达极显著水平,而与其前第 3 句句平均温度和当旬日照时数的关系不显著。由此可见,橘小实蝇盛发期种群数量变化的气象要素以雨量为主(图 4)。

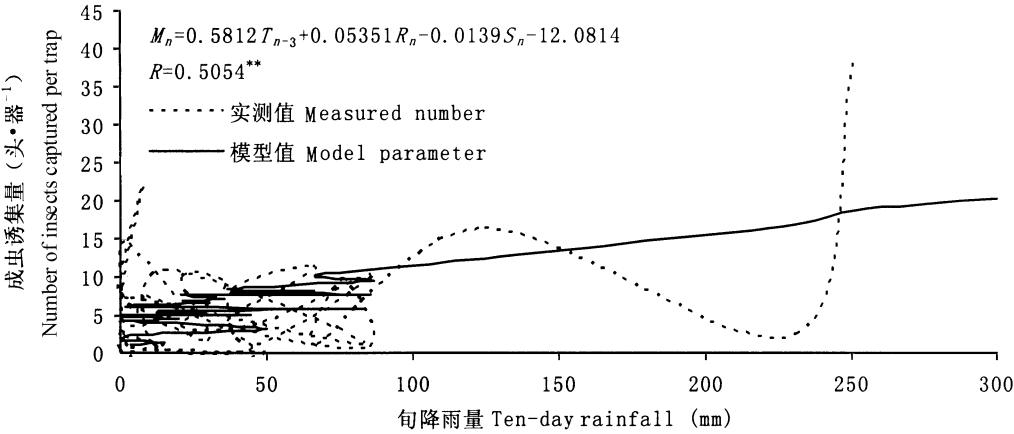


图 4 柑橘小实蝇成虫当旬模型数量与当旬降雨量关系图
Fig. 4 Correlation relationship between the insect number of model parameters in ten days and rainfall in the ten-day

模型拟合表明,单器句诱集量 3 头以上存在拟合意义,橘小实蝇全年种群数量动态变化与其前第 3 句句平均温度关系模型的平均吻合率为 60.25%,橘小实蝇成虫盛发期种群数量变化与当旬雨量关系模型的平均吻合率为 63.38%,具有良好的拟合效果。

3 结论与讨论

本研究发现,临海柑橘园橘小实蝇对柑橘的危害主要表现为入侵果实致其腐烂和落果,其地上落果近 50% 是由橘小实蝇危害造成,严重田块总有虫果率(含树上果和地上果)可达 6.23%,对柑橘产量和品质造成严重威胁。此外,临海柑橘园橘小实蝇种群数量时序变化呈单峰型曲线,成虫初见期在 6 月下旬至 8 月初,高峰期在 9 月上旬至 11 月上旬,年度之间较为稳定,11 月中旬后成虫数量逐渐下降,到 12 月下旬未诱集到成虫。这是由于柑橘园挂果生长、成熟采收和气候变化综合影响所致。

经单因素二项式相关分析表明,柑橘园橘小实蝇当句成虫数量与其前第 3 句句平均温度存在显著的相关关系,其数学模型为 $M_n = 0.0269 T_{n-3}^2 - 0.6586 T_{n-3} + 3.6294$ ($n = 72$, $r = 0.4719$),但与旬降雨量和旬日照时数的相关性不显著。多因素逐步回归分析表明,橘小实蝇当句成虫诱量与其前第 3

图 4 显示,当旬降雨量处于 85 mm 以下时橘小实蝇成虫盛发期种群数量不稳定;当旬降雨量为 100 ~ 300 mm 时成虫种群数量随降雨量增大而逐渐增长。

句句平均温度也存在显著相关性,其数学模型为 $M_n = 0.4426 T_{n-3} + 0.0078 R_n - 0.0232 S_n - 5.8247$ ($n = 72$; $r_T = 0.4448$, $P = 0.0001$; $r_R = 0.1212$, $P = 0.3103$; $r_S = -0.1006$, $P = 0.4007$; $R = 0.4654$)。该模型分析表明,橘小实蝇成虫起始活动的句平均温度为 15 ~ 16 ℃;当句平均温度处于 27 ~ 31 ℃ 时其后过 3 句种群发展趋向高峰;当句平均温度达 33 ℃ 以上时其后过 3 句种群数量趋向回落。这与吴佳教等(2000)、Arai (1975) 和 Vargas *et al.* (1996) 的研究结果基本一致,即橘小实蝇生长发育的温度范围为 15 ~ 34 ℃,最适温度为 18 ~ 30 ℃。

多因素逐步回归分析还表明,临海柑橘园橘小实蝇成虫种群数量全年变动以句平均温度为决定要素,季节性变化以旬降雨量为决定要素 [$M_n = 0.5812 T_{n-3} + 0.0535 R - 0.0139 S - 12.0814$ ($n = 36$; $r_R = 0.4522$, $P = 0.0056$; $r_T = 0.3196$, $P = 0.0574$; $r_S = -0.0068$, $P = 0.9685$; $R = 0.5054$, $r_{0.01} = 0.4182$)]。这说明橘小实蝇全年整体发育与温度有关,种群数量随温度的上升而增长;橘小实蝇成虫盛发期种群数量随柑橘园土壤湿度的增大而增长,即当旬降雨量处于 100 ~ 300 mm 时成虫种群数量随降雨量增大而逐渐增长。这与陈鹏和叶辉(2007)对云南六库橘小实蝇盛发期成虫数量与月降雨量关系的研究结果一致。

参考文献

- 陈鹏, 叶辉. 2006. 云南瑞丽橘小实蝇成虫种群数量变动及其影响因子分析. *生态学报*, 26(9): 2802–2809.
- 陈鹏, 叶辉. 2007. 云南六库桔小实蝇成虫种群数量变动及其影响因子分析. *昆虫学报*, 50(1): 38–45.
- 和万忠, 孙兵召, 李翠菊, 龙忠保. 2002. 云南河口橘小实蝇生物学特性及防治. *昆虫知识*, 39(1): 50–52.
- 李达林, 汪恩国. 2011. 柑橘园柑橘小实蝇入侵扩散规律与危害动态模型研究. *农学学报*, (6): 23–28.
- 李云明, 顾云琴, 项顺尧, 明珂, 瞿伯友, 张仙平. 2012. 柑橘小实蝇对柑橘产量的影响. *北方园艺*, (9): 133–134.
- 吕欣, 韩诗畴, 徐洁莲, 黄鸿, 吴华, 欧剑峰, 孙力. 2008. 广州橘小实蝇 (*Bactrocera dorsalis* Hendel) 发生动态及气象因子. *生态学报*, 28(4): 1850–1856.
- 明珂, 郑章麟, 谢宝玉, 韦国栋, 陈文胜. 2010. 不同诱捕器对橘小实蝇引诱效果的研究. *浙江柑橘*, (3): 20–22.
- 唐启义, 冯明光. 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 367–373.
- 吴佳教, 染帆, 染广勤. 2000. 橘小实蝇发育速率与温度关系的研究. *植物检疫*, (6): 321–324.
- 张小亚, 陈国庆, 孟幼青, 黄振东. 2011. 台州果蔬混栽橘园用性诱剂监测实蝇种群动态及效果评价. *浙江农业科学*, (8): 1368–1370.
- 赵琳, 林云彪, 孟幼青. 2008. 橘小实蝇发生为害调查初报. *中国农技推广*, (8): 41–42.
- Alyokhin A V, Christian M and Russell H M. 2001. Selection of pupation habitats by oriental fruit fly larvae in the laboratory. *Journal of Insect Behavior*, 14(1): 57–67.
- Arai T. 1975. Diel activity rhythms in the life history of the oriental fruit fly. *Japan, Applied Entomology and Zoology*, 19: 253–259.
- Christenson L C and Foot B H. 1960. Biology of fruit flies. *Annual Review of Entomology*, 5: 171–192.
- Fullaway D T. 1953. The oriental fruit fly in Hawaii. *Proceedings of the Pacific Science Congress VII*, 4: 148–163.
- Hsu E S. 1973. Biological studies on the oriental fruit fly (*Dacus dorsalis*). ii The biological effects of temperature and humidity on oriental fruit fly (*Dacus dorsalis* Hendel). *Plant Protection Bulletin*, 5: 59–86.
- Shukla R P and Prasad V G. 1985. Population fluctuations of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* Hendel in relation to hosts and abiotic factors. *Tropical Pest Management*, 31: 273–275.
- Vargas R I, Walsh W A, Jang E B, Armstrong J W and Kanehisa D T. 1996. Survival and development of immature stages of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Annals of the Entomological Society of America*, 89(1): 64–69.

(责任编辑:杨郁霞)

