

室内环境养蛹预测柑橘大实蝇成虫发生期

赵巍巍¹, 朱群¹, 宋晓宇², 易继东¹, 邓安石^{1*}

(1. 湖南省常德市石门县农业农村局, 常德 415300; 2. 河南省科学院高新技术研究中心, 郑州 450002)

摘要 柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 是为害我国柑橘类果树的重要害虫。准确地预测柑橘大实蝇的羽化动态, 对提高其成虫时期的防治效果具有重要意义。本试验以石门县为例, 在 2014 年—2016 年连续 3 年采用室内环境和柑橘园观察圃中养蛹的方法, 逐日观察其羽化出土动态, 计算室内环境较柑橘园观察圃中柑橘大实蝇羽化盛期的提前程度, 并分析温度、湿度和降雨量等环境因素对提前程度的影响。结果显示, 柑橘大实蝇的羽化出土动态受到温度、降水等环境因素的综合影响, 温度较高降水充足的年份, 成虫的羽化进度和羽化周期相应提前和缩短。但室内环境下柑橘大实蝇羽化盛期较柑橘园观察圃中具有相对稳定的提前天数, 2014 年—2016 年室内环境下柑橘大实蝇羽化的始盛日、高峰日和盛末日分别比柑橘园观察圃中相应时期提前(5.7±1.2)d、(6.3±1.9)d 和(7.7±2.1)d。而且提前程度不受温度、湿度和降雨量等环境因素的影响。因此, 室内环境养蛹的方法可较为准确地预测柑橘大实蝇的羽化动态, 从而指导柑橘大实蝇的成虫诱杀。

关键词 柑橘大实蝇; 羽化动态; 发生期; 预测预报

中图分类号: S 436.66 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2019222

Forecasting eclosion dynamics of Chinese citrus fly based on pupal rearing under indoor environment

ZHAO Weiwei¹, ZHU Qun¹, SONG Xiaoyu², YI Jidong¹, DENG Anshi^{1*}

(1. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Shimen County, Changde, Hunan Province, Changde 415300, China;
2. High & New Technology Research Center of Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract The Chinese citrus fly *Bactrocera minax* causes serious damages to citrus in China. The forecast of eclosion dynamics of the citrus fruit fly is important for improving the control effect of this insect pest. In the three years from 2014 to 2016, we observed the eclosion dynamics of adults in Shimen county under indoor environment and in the observation nursery of orangery, calculated the interval days of eclosion under indoor environment and in orangery and analyzed the impact of environmental factors such as temperature, humidity and rainfall on the interval (days) of eclosion. The results showed that the eclosion dynamics of Chinese citrus fly was affected by environmental factors. When the temperature was high and the precipitation was sufficient, the eclosion progress of the adults would be advanced. However, the interval (days) of eclosion in indoor environment and orangery was relatively stable; the interval days for the start, peak and end of eclosion peak period from 2014 to 2016 were (5.7±1.2)days, (6.3±1.9)days and (7.7±2.1)days, respectively. Moreover, the interval days were not affected by environmental factors such as temperature, average relative humidity and total rainfall. Therefore, the method of pupal rearing in indoor environment can accurately predict the eclosion dynamics of the citrus fruit fly and thus provide guidance for the control of adult flies.

Key words *Bactrocera minax*; eclosion dynamics; occurring period; forecasting

柑橘大实蝇 *Bactrocera minax* 属于双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae 果实蝇属 *Bactrocera*^[1], 主要为害柑橘类果实。柑橘大实蝇将卵产在柑橘幼

果中, 卵孵化成幼虫后钻入果实内部取食瓢瓣, 致使果实未熟先黄, 提早脱落, 腐烂发臭, 失去食用价值, 严重影响柑橘的产量和品质^[2-3]。我国所有的柑橘

栽培品种都是柑橘大实蝇的寄主,如柑橘属 *Citrus* 的蜜橘、金橘属 *Fortunella* 的金橘、枳属 *Poncirus* 的枸橼等^[4-5]。同时,柑橘大实蝇广泛分布于我国的柑橘产地,如贵州、四川、重庆、湖北、湖南、广西、陕西等省份^[5-14],以及毗邻我国的不丹全境和印度西北部地区^[5,15]。柑橘大实蝇发生范围广、为害程度深,已对我国柑橘产业造成严重危害^[16-17]。

成虫诱杀具有简单有效,绿色环保等优点,是柑橘大实蝇防治的主要方法之一^[18-21],而准确预测柑橘大实蝇的田间羽化动态则是成虫诱杀的前提和关键^[22]。目前大多采用食物诱集的方法预测柑橘大实蝇的羽化期,并将其作为指导田间诱杀用药的依据^[23-24]。但柑橘大实蝇的诱集盛期相对于羽化盛期有十分明显的滞后性,因而对田间成虫诱杀的指导具有局限性^[25-26]。

石门县位于鄂西湘西宽皮柑橘优势产业带,自然条件适宜柑橘生长^[27]。全县柑橘种植面积为 2.93 万 hm^2 ,总产量 44 万 t,年产值约 8 亿元,是全国最大的柑橘生产基地^[28]。虽然石门县的柑橘大实蝇防治已经取得良好的效果^[4],但柑橘大实蝇仍是当地柑橘产业的最大潜在威胁,因此准确把握柑橘大实蝇的田间羽化动态,进而指导成虫诱杀,对当地柑橘产业的发展具有重要意义。

为了建立柑橘大实蝇的预测技术体系,本试验于石门县,通过 2014 年—2016 年连续 3 年观察室内环境与柑橘园观察圃中的柑橘大实蝇的羽化动态,研究室内环境与柑橘园观察圃中的柑橘大实蝇羽化动态的关联性,并分析与温度、湿度和降雨量等环境因素的相关性,得到更为准确的柑橘大实蝇田间羽化动态的预测方法,为田间柑橘大实蝇成虫诱杀提供可靠的依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2014 年—2016 年每年 10 月中旬在石门县果园收集柑橘蛆果约 100 个。

1.2 试验方法

将收集到的柑橘蛆果放入装有 2~3 cm 厚细沙土的小防虫网袋中,每个网袋放入 1 个蛆果。将网袋做好标记,其中 50 个网袋放在室内环境下,50 个网袋放在柑橘园内观察圃中。开始化蛹后,每个编

号小网袋另配 1 个小网袋放蛹,袋内同样放相同厚度细沙土,每个虫果的蛹放同一小网袋内。逐日观察羽化出土的雌、雄成虫数^[29-30]。

1.3 数据处理

将各日的羽化成虫数逐日累加,累计数占全期羽化成虫总数的百分比即为累计羽化率。将各日的累计羽化率(y)与羽化出土时间(t)拟合为逻辑斯蒂模型(logistic equation),在方程拟合时,将成虫初见日设为 1。根据拟合方程得出的累计羽化率是 16%、50%和 84%相对应的日期分别记作羽化的始盛日、高峰日和盛末日,始盛日与盛末日的日期间隔记作盛期时间。用 Microsoft Office Excel 2016 软件计算累计羽化率及建立逻辑斯蒂模型^[25,31]。

将室内环境下成虫初见日设为 1,统计柑橘大实蝇在柑橘园观察圃中始盛日、高峰日和盛末日等羽化各阶段时间,并与室内环境下对应时间进行 t 检验(Student's t test)分析差异显著性。

从石门县气象局获得 2014 年—2016 年的气象资料,计算 3 月—5 月石门县的平均气温、平均相对湿度和总降雨量等气象数据以及柑橘大实蝇室内环境各羽化时期到柑橘园观察圃中对应羽化时期的平均气温、平均相对湿度和总降雨量等气象数据。使用双变量皮尔森相关系数(Pearson correlation coefficient)和 t 检验对柑橘大实蝇成虫室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度与环境因素进行相关性分析。双变量皮尔森相关系数和 t 检验使用 SPSS 22.0 软件完成^[26]。

2 结果与分析

2.1 室内环境羽化出土动态

图 1 为 2014 年—2016 年石门县室内环境条件下柑橘大实蝇逐日羽化出土的雌性、雄性数目和成虫总数。图 2 为成虫累计羽化率实际值和模型拟合值的逻辑斯蒂增长曲线。表 1 为各年份的拟合方程和根据方程得出的羽化的始盛日、高峰日、盛末日和盛期时间。

由表 1 可知,2014 年—2016 年柑橘大实蝇成虫室内环境的羽化始盛日分别是 5 月 6 日、5 月 5 日和 4 月 30 日,高峰日分别是 5 月 8 日、5 月 8 日和 5 月 3 日,盛末日分别是 5 月 10 日、5 月 10 日和 5 月 5 日,盛期历时分别为 4、5 d 和 5 d。

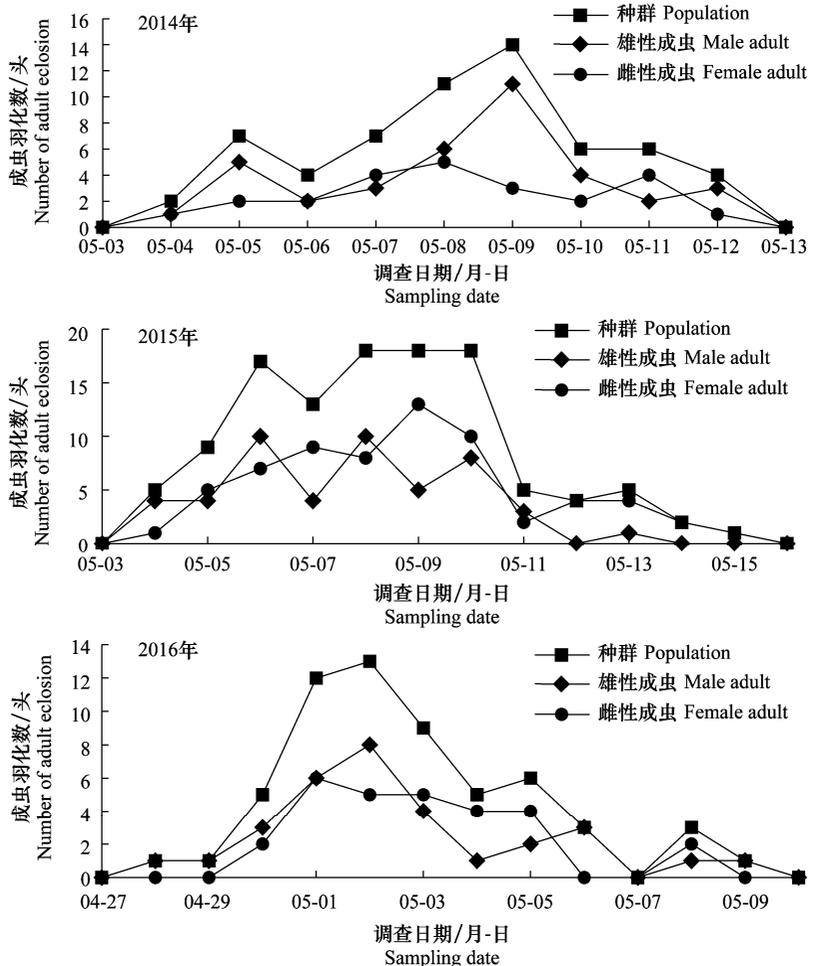


图 1 室内环境下柑橘大实蝇羽化动态

Fig. 1 Eclosion dynamics of Chinese citrus fly in indoor environment

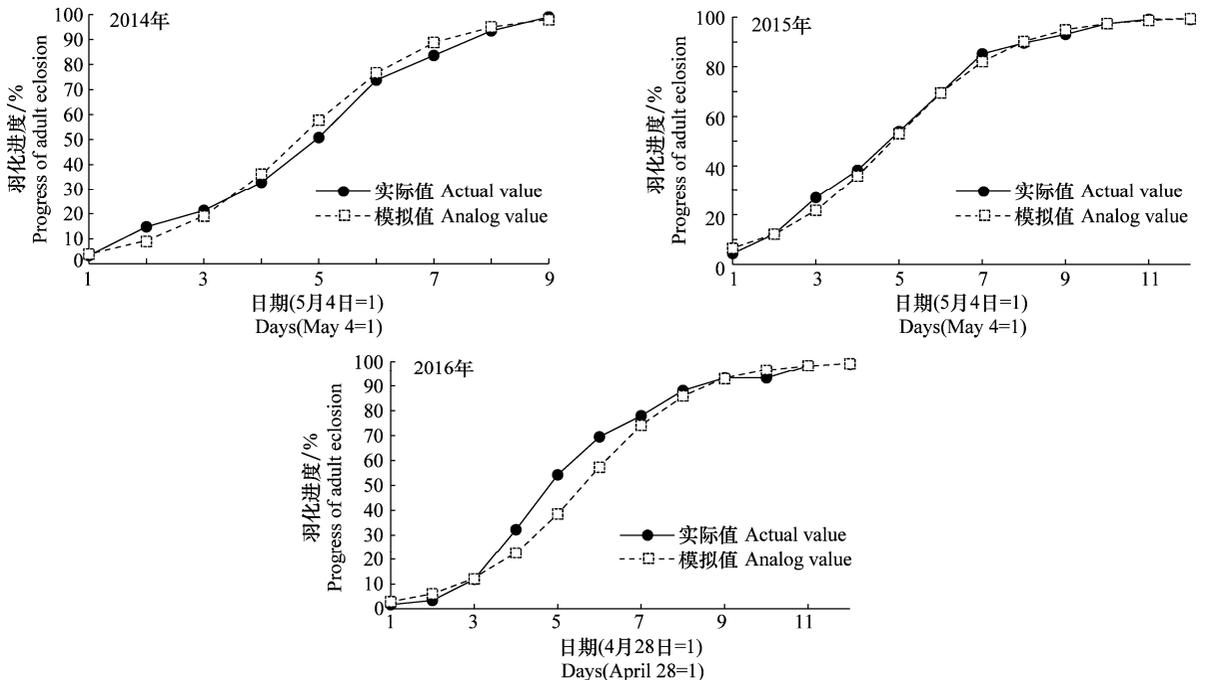


图 2 室内环境下柑橘大实蝇羽化逻辑斯蒂增长曲线

Fig. 2 Logistic growth model of eclosion for Chinese citrus fly in indoor environment

表 1 室内环境下柑橘大实蝇羽化的始盛日、高峰日和盛末日

Table 1 The start, peak and end of adult eclosion peak period for Chinese citrus fly in indoor environment

年份 Year	逻辑斯蒂方程 Logistic equation	R ²	始盛日/月-日 Start of eclosion peak	高峰日/月-日 Eclosion peak	盛末日/月-日 End of eclosion peak	盛期时间/d Eclosion peak period
2014	$y=100/(1+45.33 \times \text{Exp}(-0.79 \times t))$	0.971	05-06	05-08	05-10	4
2015	$y=100/(1+29.31 \times \text{Exp}(-0.70 \times t))$	0.989	05-05	05-08	05-10	5
2016	$y=100/(1+71.31 \times \text{Exp}(-0.76 \times t))$	0.973	04-30	05-03	05-05	5

2.2 柑橘园观察圃中羽化出土动态

图 3 为 2014 年—2016 年石门县柑橘园观察圃中柑橘大实蝇逐日羽化出土的雌性、雄性数目和成虫总数。图 4 为成虫累计羽化率实际值和模型拟合值的逻辑斯蒂增长曲线。表 2 为各年份的拟合方程和根据方程得出的羽化的始盛日、高峰日、盛末日和盛期时间。

由表 2 可知,2014 年—2016 年柑橘大实蝇成虫柑橘园观察圃中羽化始盛日分别是 5 月 13 日、5 月 11 日和 5 月 4 日,高峰日分别是 5 月 17 日、5 月 13 日和 5 月 8 日,盛末日分别是 5 月 20 日、5 月 15 日和 5 月 13 日,盛期历时分别为 7、4 和 9 d。

2.3 室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度分析

表 3 为 2014 年—2016 年石门县柑橘大实蝇室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度,由表可知 2014 年—2016 年柑橘大实蝇成虫室内环境较柑橘园观察圃中羽化始盛日分别提前了 7、6 d 和 4 d,高峰日分别提前了 9、5 d 和 5 d,盛末日分别提前了 10、5 d 和 8 d。也就意味着柑橘大实蝇成虫在室内环境比柑橘园观察圃中提前平均(5.7±1.2)d 到达始盛日,提前平均(6.3±1.9)d 到达高峰日,提前平均(7.7±2.1)d 到达盛末日;*t* 检验表明,柑橘大实蝇在室内环境下与柑橘园观察圃中羽化各阶段时间均有显著差异($P < 0.05$)。

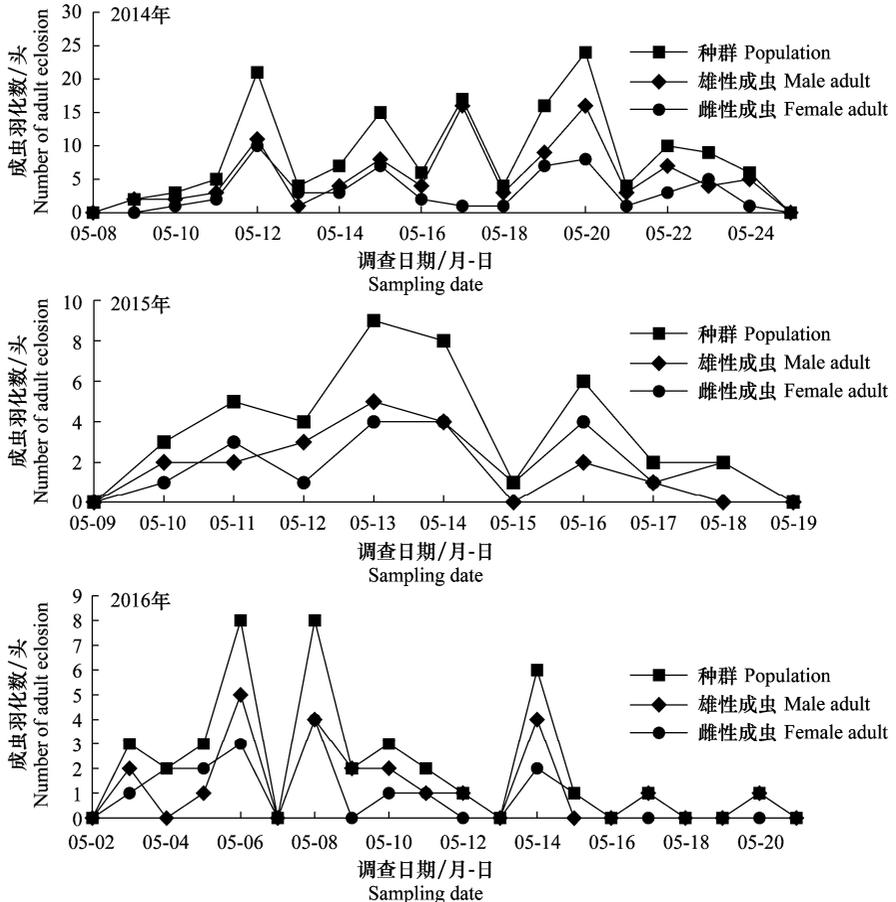


图 3 柑橘园观察圃中柑橘大实蝇羽化动态

Fig. 3 Eclosion dynamics of Chinese citrus fly in the observation nursery of orangery

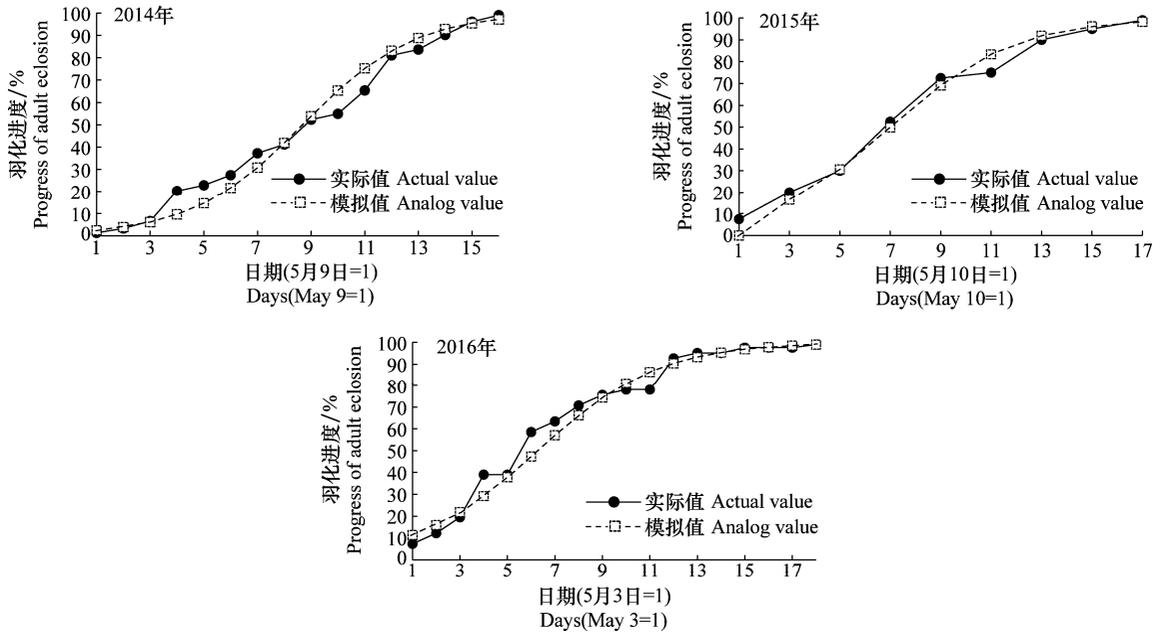


图 4 柑橘园观察圃中柑橘大实蝇羽化逻辑斯蒂增长曲线

Fig. 4 Logistic growth model of eclosion for Chinese citrus fly in the observation nursery of orangery

表 2 柑橘园观察圃中柑橘大实蝇羽化的始盛日、高峰日和盛末日

Table 2 The eclosion start, eclosion peak and eclosion end of the adult peak period for Chinese citrus fly in the observation nursery of orangery

年份 Year	逻辑斯蒂方程 Logistic equation	R^2	始盛日/月-日 Start of eclosion peak	高峰日/月-日 Eclosion peak	盛末日/月-日 End of eclosion peak	盛期时间/d Eclosion peak period
2014	$y=100/(1+64.54 \times \text{Exp}(-0.48 \times t))$	0.957	05-13	05-17	05-20	7
2015	$y=100/(1+25.71 \times \text{Exp}(-0.81 \times t))$	0.980	05-11	05-13	05-15	4
2016	$y=100/(1+11.54 \times \text{Exp}(-0.39 \times t))$	0.976	05-04	05-08	05-13	9

表 3 柑橘大实蝇室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度

Table 3 The interval days of eclosion for Chinese citrus fly in indoor environment and in the observation nursery of orangery

年份 Year	起始 计算 日期 Start date	始盛日/d Start of eclosion peak				高峰日 Eclosion peak				盛末日 End of eclosion peak			
		柑橘 园观 察圃 Observation nursery in orangery	室内 环境 Indoor envir- onment	间隔 天数 Interval days	平均 间隔 天数 Mean of interval days	柑橘 园观 察圃/d Observation nursery in orangery	室内 环境/d Indoor envir- onment	间隔 天数/d Interval days	平均 间隔 天数/d Mean of interval days	柑橘 园观 察圃/d Observation nursery in orangery	室内 环境/d Indoor envir- onment	间隔 天数/d Interval days	平均 间隔 天数/d Mean of interval days
2014	5月4 日=1	11	4	7		15	6	9		18	8	10	
2015	5月4 日=1	9	3	6	5.7± 1.2	11	6	5	6.3± 1.9	13	8	5	7.7± 2.1
2016	4月28 日=1	8	4	4		12	7	5		17	9	8	

2.4 室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度与环境因素的相关性分析

表 4 为 2014 年—2016 年 3 月—5 月石门县的平均气温、平均相对湿度和总降雨量等气象数据,表 5 为柑橘大实蝇室内环境各羽化时期到柑橘园观察圃中对应羽化时期间石门县的平均气温、平均相对

湿度和总降雨量等气象数据。表 6 为柑橘大实蝇成虫室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度与羽化时期温度、湿度和降雨量等环境因素的双变量皮尔森相关系数和 t 检验分析。

如表 6 所示,柑橘大实蝇成虫室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度与温度、湿度和降雨

量等环境因素的皮尔森相关系数 r 值为 $-0.93 \sim 0.96$, t 检验表明均无相关性 ($P > 0.05$)。说明柑橘

大实蝇成虫室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度与环境因素无关。

表 4 2014 年—2016 年 3 月—5 月石门县气象数据

Table 4 Meteorological data of Shimen county from March to May of 2014 to 2016

年份 Year	平均气温/°C Average temperature	最高气温/°C Maximum temperature	最低气温/°C Minimum temperature	平均相对湿度/% Average relative humidity	总降雨量/mm Total rainfall
2014	17.00	20.77	13.33	77.45	474.21
2015	17.04	20.43	13.21	77.59	514.62
2016	17.29	20.56	13.42	76.69	675.12

表 5 柑橘大实蝇室内环境各羽化时期到柑橘园观察圃中对应羽化时期气象数据

Table 5 Meteorological data of interval days of eclosion for Chinese citrus fly in indoor environment and in the observation nursery of orangery

年份 Year	高峰阶段 Peak period	平均气温/°C Average temperature	最高气温/°C Maximum temperature	最低气温/°C Minimum temperature	平均相对湿度/% Average relative humidity	总降雨量/mm Total rainfall
2014	始盛日	20.81	23.40	18.10	76.88	81.29
	高峰日	19.71	22.80	17.00	81.40	122.19
	盛末日	19.94	23.90	17.00	79.09	96.79
2015	始盛日	20.74	24.30	15.80	77.86	53.85
	高峰日	20.12	22.70	15.80	77.67	50.29
	盛末日	20.87	25.00	15.80	79.50	51.81
2016	始盛日	21.90	24.30	18.70	77.00	80.53
	高峰日	20.58	25.80	14.20	79.67	70.36
	盛末日	20.87	26.50	14.20	75.44	47.49

表 6 柑橘大实蝇成虫室内环境较柑橘园观察圃中羽化盛期提前程度与环境因素的相关性分析

Table 6 Correlation analysis between the interval days of eclosion for Chinese citrus fly in indoor environment and the observation nursery of orangery and environmental factors

高峰阶段 Peak period	相关性 Correlation	平均气温/°C Average temperature	最高气温/°C Maximum temperature	最低气温/°C Minimum temperature	平均相对湿度/% Average relative humidity	总降雨量/mm Total rainfall
始盛期	r	-0.93	-0.76	-0.38	0.08	-0.17
Start of eclosion peak	P	0.25	0.45	0.75	0.95	0.89
高峰期	r	-0.85	-0.48	0.82	0.84	0.96
Eclosion peak	P	0.35	0.68	0.39	0.36	0.17
盛末期	r	-0.80	-0.31	0.32	-0.21	0.75
End of eclosion peak	P	0.41	0.80	0.79	0.87	0.46

3 讨论

通过观察不同年份柑橘大实蝇在室内环境和柑橘园观察圃中的羽化出土动态可以发现,柑橘大实蝇的羽化进度受到了温度的影响。2014 年—2016 年 3 月—5 月的平均气温分别为 17.00°C、17.04°C 和 17.29°C,温度越高的年份,室内环境和柑橘园观察圃中柑橘大实蝇的始盛日、高峰日和盛末日等羽化进度也都越提早。2016 年 3 月—5 月的平均气温最高,羽化的进度也相对提早最多。同时,在石门县所处的湘西北地区,春季的室内温度会比室外温度

高 2~3°C,而同年份柑橘大实蝇室内环境也都会比柑橘园观察圃中羽化进度提前。这些观察结果都表明,在适宜的范围内,成虫的羽化进度和羽化周期随着温度的提高而提前和缩短,这也与前人的研究结果相一致^[32-35]。同时也有证据表明,昼夜温差大小也会影响成虫的羽化进度^[36],这也可能是温差较小的室内环境比温差较大的柑橘园观察圃羽化进度提前的另一个原因。

除了温度之外,降水也是影响柑橘大实蝇羽化进度的重要因素。之前的研究表明,整体而言,降雨量多,土壤湿度大的年份,柑橘大实蝇的羽化进度提

前^[19, 25, 37]。本试验也发现了同样的现象,2014年—2016年3月—5月的总降雨量分别为474.21、514.62 mm和675.12 mm,降雨量越高的年份,柑橘园观察圃中柑橘大实蝇的始盛日、高峰日和盛末日等羽化进度也都越提早。进一步观察每天的羽化出土动态可以发现,下雨天气不利于柑橘大实蝇的羽化出土,而雨过天晴时羽化出土数量明显提升^[25, 29, 38]。比如,2014年5月8—11日连续大雨,柑橘大实蝇的羽化出土量分别为0、2、3头和5头,到2014年5月12日天气放晴时,羽化出土量增加为21头。

虽然在不同的年份,柑橘大实蝇在室内环境和柑橘园观察圃中的羽化动态都因为环境因素的不同而发生动态变化,但这种动态变化却总是同步的,即在同一年份两者总保持着稳定的间隔期。2014年—2016年室内环境柑橘大实蝇的始盛日、高峰日和盛末日分别比柑橘园观察圃中相应时期提前(5.7±1.2)d、(6.3±1.9)d和(7.7±2.1)d。并且皮尔森相关系数和 t 检验均表明柑橘大实蝇在室内环境和柑橘园观察圃中羽化出土动态的间隔并不受温度、湿度和降雨量等环境因素的影响。由于柑橘园观察圃中柑橘大实蝇的羽化动态最接近其自然发生状态^[38],因此通过在室内环境下饲养柑橘大实蝇蛹,观察其羽化动态,并结合温度、降水等环境因素,可以较为准确地预测当地柑橘园中柑橘大实蝇的羽化动态,指导对其成虫的诱杀。

参考文献

- [1] 陈世襄, 谢蕴贞. 关于桔大实蝇的学名及其种征[J]. 昆虫学报, 1955, 5(1): 123-126.
- [2] 陈建华. 柑橘大实蝇的发生及综合防治措施研究[J]. 时代农机, 2018, 45(12): 33-34.
- [3] 张小亚. 柑橘大实蝇(*Bactrocera minax*)生物学、行为学及防治研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [4] XIA Yulu, MA Xingli, HOU Bohua, et al. A review of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in China for the purpose of safeguarding [J]. *Advances in Entomology*, 2018, 6(2): 35-61.
- [5] 汪兴鉴, 罗禄怡. 桔大实蝇的研究进展[J]. 应用昆虫学报, 1995, 32(5): 310-315.
- [6] 王涛, 任艳玲, 杨茂发, 等. 贵州兴义实蝇类昆虫多样性特征[J]. 昆虫学报, 2015, 58(5): 569-578.
- [7] 范京安. 四川柑桔大实蝇发生与防治[J]. 植物检疫, 2002, 16(3): 150-152.
- [8] 唐松, 赵志模, 王进军, 等. 重庆地区柑桔大实蝇系统监测研究[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(1): 44-50.
- [9] 王志静, 蒋迎春, 何利刚, 等. 武汉市柑橘园实蝇调查及成虫特征比较[J]. 湖北植保, 2011(6): 19-20.
- [10] 林文力, 肖伏莲, 杨水芝. 湖南省柑橘大实蝇研究初报[J]. 湖南农业科学, 2013(15): 84-86.
- [11] 邓亚评, 邱泉. 广西实蝇发生与监测调查 [J]. 广西园艺, 2008, 19(1): 22-24.
- [12] 段勇鹏. 陕西发现宽带寡鬃实蝇[J]. 植物保护, 1989, 15(6): 38-43.
- [13] 杨文寿, 李传仁, 兰杰, 等. 柑桔大实蝇的扩散方式及扩散历史[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(11): 8-11.
- [14] 高立志, 刘映红, 万宣伍, 等. 中国柑橘大实蝇遗传多样性分析[J]. 植物保护, 2016, 42(1): 51-55.
- [15] DORJI C, CLARKE A R, DREW R A, et al. Seasonal phenology of *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) in western Bhutan [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2006, 96(5): 531-538.
- [16] 唐松. 柑橘大实蝇发生的系统监测研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [17] 周红艳. 温度和激素对柑橘大实蝇发育的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [18] 陈玉娥, 史玉玲, 汪琴, 等. 柑橘大实蝇发生规律及其综合防治技术[J]. 湖北植保, 2017(4): 30-39.
- [19] 王志静, 蒋迎春, 吴黎明, 等. 柑橘大实蝇越冬蛹羽化初期观察及诱杀防治的试验[J]. 湖北植保, 2010(6): 12.
- [20] ZHOU Xiaowei, NIU Changying, HAN Peng, et al. Field evaluation of attractive lures for the fruit fly *Bactrocera minax* (Diptera: Tephritidae) and their potential use in spot sprays in Hubei Province (China) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2012, 105(4): 1277-1284.
- [21] 龚碧涯, 肖伏莲, 莫博城, 等. 诱杀球对橘大实蝇诱捕效果的研究[J]. 植物保护, 2017, 43(3): 218-221.
- [22] 赵毓潮, 郭士占, 张植敏. 柑桔大实蝇成虫羽化期和越冬蛹死亡率的观察[J]. 植物检疫, 2002, 16(6): 339-340.
- [23] 游兴, 颜斌成. 柑橘大实蝇的危害和防治[J]. 农业工程技术, 2017, 37(29): 31.
- [24] PAPAPOPOULOS N T, KATSOYANNOS B I, KOULOUSIS N A, et al. Early detection and population monitoring of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in a mixed-fruit orchard in northern Greece [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94(4): 971-978.
- [25] 宫庆涛, 武可明, 唐松, 等. 柑橘大实蝇羽化出土及橘园成虫诱集动态研究[J]. 生物安全学报, 2012, 21(2): 153-158.
- [26] 王福莲. 柑橘大实蝇成虫防控技术基础研究 [D]. 荆州: 长江大学, 2018.
- [27] 方元久, 杨奎玲, 易柏林, 等. 石门县柑橘产业发展的建议[J]. 湖南农业科学, 2015(5): 120-123.
- [28] 陈亚丹, 邓大海, 邱庆栋, 等. 石门县柑橘生产气候条件分析[J]. 园艺与种苗, 2012(8): 23-25.
- [29] 杨家祥, 胡光灿, 朱祚亮, 等. 宜昌市柑橘大实蝇羽化出土观察初报[J]. 湖北植保, 2013(1): 14-15.

- [9] LOHR B, GATHU R, KARIUKI C, et al. Impact of an exotic parasitoid on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) population dynamics, damage and indigenous natural enemies in Kenya [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 2007, 97(4): 337-350.
- [10] 全晓宇. 蜘蛛对小菜蛾的捕食作用及其捕食效应的分子检测[D]. 武汉: 湖北大学, 2011.
- [11] 孙丽娟, 衣维贤, 郑长英. 微小花螭对小菜蛾捕食控制能力[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(10): 3403-3408.
- [12] 陈元洲, 张大友, 张亚, 等. 小菜蛾主要捕食性天敌种类及捕食功能研究[J]. *河南职业技术学院学报*, 2004, 32(3): 32-34.
- [13] ALESSANDRA M V, SERGIO A D B, ROBERTO M G, et al. Comparison of eggs, larvae, and pupae of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) as prey for *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) [J]. *Arthropod Biology*, 2013, 106(2): 235-242.
- [14] 邹德玉, 徐维红, 刘佰明. 天敌昆虫蠊螭的研究进展与展望[J]. *环境昆虫学报*, 2016, 38(4): 857-865
- [15] 张晓军, 张健, 孙守慧. 蠊螭对榆紫叶甲的捕食作用[J]. *中国森林病虫*, 2016, 35(1): 13-15.
- [16] 潘明真, 张海平, 张长华, 等. 饲养密度和性比对蠊螭存活和繁殖生物学特性的影响[J]. *中国生物防治学报*, 2018, 34(1): 52-58.
- [17] 李娇娇, 张长华, 易忠经, 等. 三种猎物对蠊螭生长发育和繁殖的影响[J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(5): 552-561.
- [18] ZOU Deyu, COUDRON T A, LIU Chenxi, et al. Nutri-genomics in *Arma chinensis*; transcriptome analysis of *Arma chinensis* fed on artificial diet and Chinese oaksilk moth *Antheraea pernyi* pupae [J/OL]. *PLoS ONE*, 2013, 8(4): e60881. DOI:10.1371/journal.pone.0060881.g001.
- [19] 宋丽文, 陶万强, 关玲, 等. 不同宿主植物和饲养密度对蠊螭生长发育和生殖力的影响[J]. *林业科学*, 2010, 46(3): 105-110.
- [20] 廖平, 苗少明, 许若男, 等. 新型蠊螭若虫液体人工饲料效果评价[J]. *中国生物防治学报*, 2019, 35(1): 9-14.
- [21] 张健, 周毓麟, 孙守慧. 利用人工饲料连代饲养蠊螭若虫效果评价[J]. *中国森林病虫*, 2017, 36(4): 37-40.
- [22] 高长启, 王志明, 余恩裕. 蠊螭人工饲养技术的研究[J]. *吉林林业科技*, 1993(2): 16-18.
- [23] HOLLING C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism [J]. *The Canadian Entomologist*, 1959, 91(7): 385-398.
- [24] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 257-258, 303-304.
- [25] HASSELL M P. A population model for the interaction between *Cyzenis bicans* (Fall.) (Tachinidae) and *Opero phtherabrumata* (L.) (Geometridae) at Wytham, Berkshire [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1969, 38(3): 567-576.
- [26] 唐艺婷, 郭义, 何国玮, 等. 不同龄期的益螭对粘虫的捕食功能反应[J]. *中国生物防治学报*, 2018, 34(6): 825-830.
- [27] BÁRBARA D B, FRANCISCO S R, JOSÉ B M, et al. How predation by *Podisus nigrispinus* influenced by developmental stage and density of its prey *Alabama argillacea* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2016, 158: 142-151.
- [28] JOSÉ C Z, CARLOS A D, ERALDO R, et al. Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) [J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2008, 51(1): 121-125.
- [29] MOHAGHEGH J, CLERCQ P D, TIRRY L. Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het. Pentatomidae) to the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lep. Noctuidae): effect of temperature [J]. *Journal of Application Entomology*, 2001, 125(3): 131-134.
- [30] 李文华, 贾彩娟, 陈惠平, 等. 叉角厉螭对青野螟幼虫的捕食功能反应[J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37(4): 843-848.
- [31] 陈然, 梁广文, 张拯研, 等. 叉角厉螭对斜纹夜蛾的捕食功能反应[J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37(2): 401-406.
- [32] CARL W S, ANTONIO R P. *Heteroptera of economic importance* [M]. Florida: CRC Press, 2000: 737-769.

(责任编辑: 王 音)

(上接 143 页)

- [30] 兰杰, 赵强, 黎孔森, 等. 毒土封杀对柑橘大实蝇羽化的影响[J]. *植物保护*, 2010, 36(1): 159-161.
- [31] 宫锡鸿, 孙乃军, 赵飞, 等. 用 Excel 建立 Logistic 模型方法探讨[J]. *中国植保导刊*, 2011, 31(6): 13-15.
- [32] 刘浩强, 向可海, 李鸿筠, 等. 温度对柑橘大实蝇幼虫、化蛹和羽化的影响[J]. *中国园艺文摘*, 2013, 29(10): 13-14.
- [33] 唐松, 宫庆涛, 豆威, 等. 温度、土壤含水量和埋蛹深度对柑橘大实蝇羽化的影响[J]. *植物保护学报*, 2012, 39(2): 137-141.
- [34] 王小蕾, 张润杰. 桔大实蝇生物学、生态学及其防治研究概述[J]. *环境昆虫学报*, 2009, 31(1): 73-79.
- [35] 王福莲, 李再园, 马跃坤, 等. 短时低温对柑橘大实蝇 1~4 级蛹恒温代价的弥补效应[J]. *植物保护*, 2017, 43(5): 93-96.
- [36] 刘治才, 敖义俊, 丁德宽. 柑橘大实蝇生活史的调查及防控措施[J]. *果农之友*, 2010(9): 36.
- [37] 罗兴忠, 张凡, 王东岐, 等. 2003 年柑桔大实蝇大发生的成因浅析及防治对策[J]. *中国农村小康科技*, 2008(6): 53.
- [38] 李红丽, 田明华. 不同预埋方式对柑橘大实蝇越冬蛹羽化出土时间的影响[J]. *中国植保导刊*, 2017, 37(1): 56-58.

(责任编辑: 田 喆)