

温度对甘蔗条螟生长发育和繁殖的影响

魏吉利 潘雪红* 黄诚华 商显坤 林善海

(广西农业科学院甘蔗研究所, 广西甘蔗遗传改良重点实验室, 南宁 530007)

摘要: 为明确温度对甘蔗条螟 *Chilo sacchariphagus* 生长发育和繁殖的影响, 在 20、23、26、29 和 32℃ 不同温度下测定甘蔗条螟各虫态的发育历期和成虫繁殖力。结果显示, 在 20~32℃ 范围内, 各虫态发育历期随温度升高而缩短, 20℃ 下完成 1 个世代需要 83.30 d, 而 32℃ 下仅需 35.56 d。各虫态的发育速率与温度呈显著正相关, 符合 Logistic 回归模型。卵期、幼虫期、蛹期、成虫产卵前期以及全世代的发育起点温度分别为 15.87、9.90、13.67、10.79 和 11.27℃, 有效积温分别为 69.49、490.99、142.95、26.72 和 717.68 d·℃。雌、雄成虫寿命均随温度的升高逐渐缩短, 雌成虫产卵量在 26℃ 时最高为 136.37 粒/头。卵和蛹在 26℃ 时的存活率最高, 分别为 94.71% 和 93.55%, 在 29℃ 时幼虫的存活率最高, 为 47.73%, 在 26℃ 时全世代的存活率最高, 为 42.08%。表明温度是影响甘蔗条螟生长发育和繁殖的关键因素, 26~29℃ 是甘蔗条螟生长发育和繁殖的适宜温度。

关键词: 甘蔗条螟; 温度; 发育历期; 发育速率; 发育起点温度; 有效积温

Effects of temperature on the development and reproduction of spotted borer *Chilo sacchariphagus* (Lepidoptera: Pyralidae)

Wei Jili Pan Xuehong* Huang Chenghua Shang Xiankun Lin Shanhai

(Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: In order to determine the effects of temperature on the development and reproduction of spotted borer *Chilo sacchariphagus*, the durations of different developmental stages and reproductive capacity of *C. sacchariphagus* were measured at 20, 23, 26, 29 and 32℃. The results showed that the average durations of various developmental stages of *C. sacchariphagus* shortened along with increasing temperature from 20 to 32℃. The durations to complete one lifecycle were 83.30 d at 20℃, and 35.56 d at 32℃ for *C. sacchariphagus*. The developmental rate of each developmental state was positively correlated with the temperature, which was consistent with the Logistic regression model. The developmental threshold temperatures for egg stage, larval stage, pupal stage, preoviposition stage and the whole generation were 15.87, 9.90, 13.67, 10.79 and 11.27℃, respectively. The effective accumulated temperatures were 69.49, 490.99, 142.95, 26.72 and 717.68 d·℃, respectively. The adult longevity shortened with increasing temperature, and the highest oviposition per moth (136.37 eggs) was observed at 26℃. The highest survival rates of eggs and pupae at 26℃ were 94.71% and 93.55%, respectively, and the highest survival rate of the larva was 47.73% at 29℃, and that of the whole generation was 42.08% at 26℃. The results indicated that temperature was the key factor affecting the development and reproduction of *C. sacchariphagus*, and the optimum temperature for development and reproduction ranged from 26℃ to 29℃.

基金项目: 国家自然科学基金(31660534), 广西自然科学基金(2016GXNSFBA380125), 国家现代农业(甘蔗)产业技术体系(CARS-170305)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: panxuehong218@163.com

收稿日期: 2018-11-14

Key words: *Chilo sacchariphagus*; temperature; developmental duration; developmental rate; developmental threshold temperature; effective accumulated temperature

甘蔗条螟 *Chilo sacchariphagus* 又名高粱条螟、斑点螟等,属鳞翅目螟蛾科,是为害甘蔗的一种重要钻蛀性害虫,在我国主要分布于广东、广西、福建、四川、云南、海南等省区;在国外主要分布于印度、巴基斯坦、法国等植蔗国。甘蔗条螟除为害甘蔗外,还可作为害高粱、玉米等作物,主要以幼虫蛀食甘蔗幼苗和蔗茎而造成受害,苗期受害造成枯心苗,伸长拔节后受害造成枯梢(死尾)或螟害节,对甘蔗的产量和糖分影响很大,每年对我国制糖业造成重大经济损失(谭裕模等,2011;管楚雄等,2012;许汉亮等,2013)。近年来,甘蔗种植面积不断增长,且连作年限增加,甘蔗品种单一,以及气候条件等多种因素的影响,导致甘蔗条螟发生严重。甘蔗条螟属于钻蛀性害虫,在防治上较困难,个别为害严重的蔗区平均螟害株率可达70%~80%,严重时几乎达到100%,甘蔗的枯梢(死尾)率超过50%(管楚雄等,2012)。

国内外学者对其生活习性、发生规律、预测预报及综合防控技术等进行了研究,取得了一些重要的研究成果。如蒲蛰龙等(1956)研究利用繁殖赤眼蜂 *Trichogramma* 防治甘蔗条螟;黎教良(1983)发现并合成了甘蔗条螟性诱剂,并应用于测报;黄河清等(2001)对甘蔗条螟的发生规律进行了研究;林明江等(2007)研究了粤西蔗区甘蔗条螟成虫的发生动态;张亦诚等(2008)对甘蔗螟虫的形态特征、习性及防治技术进行了详细研究。欧伟兴等(2011)认为甘蔗条螟的发生情况与温度和降雨量等有相关性,发现7—9月是诱蛾量高峰集中期。许汉亮等(2013)研究了广东省雷州蔗区甘蔗条螟成虫发生高峰期与主要气象因子及上1代高峰期的相关性,建立了甘蔗条螟第2、3代成虫发生高峰期的预测模型。在国外,对甘蔗条螟的研究主要集中在甘蔗抗性品种、抗性机制(Nibouche & Tibère, 2010; Nibouch et al., 2012; Sallam et al., 2016)以及生物防控技术方面,包括赤眼蜂、信息素、病原线虫(Sankaranarayanan et al., 2008; Geetha et al., 2009)等方面均有报道。关于甘蔗条螟的发育起点温度和有效积温研究报道较少,Goebel(2006)研究了温度对甘蔗条螟生长发育的影响,描述了甘蔗条螟的发育起点温度和有效积温,以及雌雄成虫交配及产卵情况,而国内鲜见该方面的报道。

预测预报是适时防治害虫的主要依据,在防治适期上具有指导作用,目前,对甘蔗条螟的防治主要

运用化学防治、农业措施和生物技术等进行综合防治(张跃彬和吴才文,2017),而对甘蔗条螟的有效防治主要依赖于预测预报。预测预报可以提供准确的虫情测报,为甘蔗条螟的有效防治提供技术保障。有效积温预测法是害虫预测预报的主要方法之一,是利用昆虫的发育起点温度和有效积温,结合当地气候状况(主要为温度),预测害虫的发生期及在该地区发生的世代数(郭婷婷等,2016)。为了更好地了解当地甘蔗条螟的生物学特性,以便预测条螟发生期并指导田间有效防控,本研究不仅对甘蔗条螟的发育起点和有效积温进行研究,且对其存活率及雌雄成虫的寿命、产卵量进行测定,并对发育速率与温度之间的关系建立回归模型,以期为该虫发生期的预测预报,适时开展蔗区防治提供重要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:2018年1—2月,在广西壮族自治区(简称广西)崇左市为害严重的蔗区采集越冬代甘蔗条螟老熟幼虫,带回室内饲养。幼虫用玉米棒在养虫盒饲养,化蛹后在养虫笼内羽化并自由交配,产卵于甘蔗叶片上,卵块孵化为幼虫后进行循环饲养,饲养2代后备用。玉米棒为市场购买,砍成小段后放于养虫盒内供幼虫取食。甘蔗苗为在试验室提前桶栽的甘蔗苗,品种为新台糖22号,长至5~6叶期时剪下放入有水玻璃瓶中,每瓶4~6株,供成虫产卵。

仪器:RXZ-280B智能人工气候箱,温度波动范围 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,光照强度15 000 lx,宁波江南仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 不同温度下甘蔗条螟生物学指标的观察

本试验设置20、23、26、29和32 $^{\circ}\text{C}$ 共5个温度梯度,在相对湿度(75 $\pm$ 5)%、光周期14 L:10 D、光照强度9 000 lx的条件下培养,测定不同温度对甘蔗条螟各虫态存活率的影响。取室内饲养的甘蔗条螟成虫当天所产卵块,将具有卵块的甘蔗叶片一端用湿棉花保湿,放入铺有4层纱布的培养皿中,皿内放入湿棉球保湿,并将培养皿放入带盖养虫盒内,每盒约50~60粒卵,3次重复,每天观察卵块孵化情况,记录孵化时间和孵化幼虫数。

待甘蔗条螟卵粒变黑即将孵化时,放入新鲜甜玉米棒,盖上纱网盖,初孵幼虫孵化后自行爬入玉米棒内取食,每天观察各温度梯度时的培养箱内幼虫取食

情况,及时更换新鲜玉米棒直至化蛹,每处理20头幼虫,3次重复,观察记录幼虫化蛹时间及死亡情况。

化蛹后将蛹取出放入铺有4层纱布的培养皿中,皿内放入湿棉球保湿,并将培养皿放入带盖养虫盒内,每处理20头蛹,3次重复,每天观察蛹羽化情况,记录蛹羽化时间及羽化数。

成虫羽化后,将成虫雌雄1:1配对,放入玻璃瓶内,并提供用湿棉花保湿的新鲜甘蔗叶片供其在叶片上产卵,用纱布封口,每瓶1对,每处理20对,每天早晚观察成虫产卵情况直至死亡,记录产卵时间、日产卵量和成虫死亡时间,统计成虫产卵前期、寿命、单雌产卵量和产卵持续期(成虫从开始产卵到产卵结束持续的时间)。

全世代发育历期为卵历期、幼虫历期、蛹历期和成虫产卵前期之和。取室内饲养的甘蔗条螟成虫当天所产卵块,将具有卵块的甘蔗叶片一端用湿棉花保湿,放入铺有4层纱布的培养皿中,皿内放入湿棉球保湿,并将培养皿放入带盖养虫盒内,每盒装70~80粒卵,3次重复,于不同温度梯度下饲养至成虫羽化,计算全世代的存活率,即羽化成虫数占总卵粒数的百分率。将甘蔗条螟各虫态在不同温度下的发育历期转换成发育速率后,经线性回归、二次回归和Logistic回归进行拟合(张孝羲,1997;董江水,2007;徐川峰等,2017),得到甘蔗条螟不同虫态及世代发育速率(v)与温度(t)之间的预测模型,线性回归模型 $v=a+bt$,二次回归模型 $v=a+bt+ct^2$,Logistic回归模型 $v=A/(1+e^{-bt})$,模型中 a 、 b 、 c 为参数, A 为发育速率的上限估计值,采用SPSS 22.0统计软件建立3种回归方程,并进行回归分析,通过相关系数 R^2 和 F 值来反映各回归模型下发育速率与温度间的相关显著

性,并以此为据得出最优的拟合模型。

1.2.2 发育起点温度和有效积温的计算

发育起点温度 C 和有效积温 K 的计算方法采用直线回归法(张孝羲,1997;赵明和鞠瑞亭,2010)。先将不同温度下各虫态和全世代的发育历期进行加权平均,求出各虫态及全世代的平均发育历期 N ,并将其换算成相应温度下的平均发育速率 v ($v=1/N$),再根据公式计算出甘蔗条螟各虫态及世代发育起点温度 C 和有效积温 K , $C=\frac{\sum v^2 \sum t - \sum v \sum vt}{n \sum v^2 - (\sum v)^2}$, $K=\frac{n \sum vt - \sum v \sum t}{n \sum v^2 - (\sum v)^2}$,以及标

准差 S_C 和 S_K , $S_C=\sqrt{\frac{\sum (t-t')^2}{n-2} [\frac{1}{n} + \frac{\bar{v}^2}{\sum (v-\bar{v})^2}]}$,

$S_K=\sqrt{\frac{\sum (t-t')^2}{(n-2) \sum (v-\bar{v})^2}}$,以上公式中 t 为试验温度,

t' 为理论温度, v 为温度 t 下的发育速率, $\bar{v}$ 为发育速率的平均值, K 为有效积温, C 为发育起点温度, S_C 和 S_K 分别为发育起点温度和有效积温的标准差, n 为试验温度组数。结合发育起点温度 C 和有效积温 K 的标准差估计值建立各发育阶段的发育历期 N 的预测式, $N=(K \pm S_K)/[t-(C \pm S_C)]$ 。

根据本试验所获得的甘蔗条螟全世代发育起点温度,参照广西气象台2017年发布的气象资料(表1),将大于甘蔗条螟发育起点温度所对应的有效积温和天数进行加和,即为年有效积温和年有效天数,并根据甘蔗条螟全世代发育起点温度和有效积温,推算出甘蔗条螟在广西全年发生的世代数(陈汉章等,2013),年发生世代数=(年有效积温-甘蔗条螟发育起点温度×年有效天数)/全世代有效积温。

表1 广西气象台2017年发布的气象资料

Table 1 Meteorological data released by Guangxi meteorological station in 2017

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
日均温度(℃)	14.2	14.4	16.2	21.6	24.6	23.0	27.4	27.7	27.6	22.7	17.6	13.0
Daily mean temperature												
积温(d·℃)	440.2	403.2	502.2	648.0	762.6	690.0	849.4	858.7	828.0	703.7	528.0	403.0
Accumulated temperature												

1.3 数据分析

试验数据采用DPS 14.5软件进行统计分析,用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度对甘蔗条螟各虫态发育历期的影响

在20~32℃范围内,温度与各虫态的发育历期

之间呈明显的负相关(表2),即随着温度的升高,发育历期逐渐缩短。在不同温度条件下,除成虫产卵前期外,其余各虫态及全世代的发育历期均存在显著差异,20℃下,成虫产卵前期显著高于其它温度处理,23~32℃下的成虫产卵前期无显著差异。在20℃条件下,甘蔗条螟完成1个世代的发育历期为83.30 d,而在32℃条件下只需35.56 d。在同一温度

条件下,各虫态的发育历期也存在明显差异,幼虫期发育历期最长,蛹期和卵期次之,成虫产卵前期最短。

表2 不同温度条件下甘蔗条螟各虫态及全世代发育历期

Table 2 Developmental durations of different stages and generations of <i>Chilo sacchariphagus</i> at different temperatures d					
发育阶段 Developmental stage	20℃	23℃	26℃	29℃	32℃
卵期 Egg	15.32±0.08 a	11.36±0.07 b	6.21±0.05 c	5.12±0.03 d	4.55±0.02 e
幼虫期 Larva	48.39±0.46 a	36.42±0.69 b	30.85±1.22 c	26.61±0.63 d	21.79±0.33 e
蛹期 Pupa	18.39±0.19 a	13.05±0.16 b	10.35±0.09 c	9.18±0.22 d	8.03±0.17 e
成虫产卵前期 Preoviposition stage	3.25±0.37 a	2.00±0.15 b	1.60±0.14 b	1.45±0.14 b	1.38±0.13 b
全世代 Whole generation	83.30±0.94 a	61.81±0.93 b	47.86±0.56 c	39.33±0.62 d	35.56±0.55 e

表中数据为平均数±标准误。同行数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by Dunca's new multiple range test.

2.2 各虫态及世代发育速率与温度的关系

通过统计软件建立了甘蔗条螟各虫态发育速率与温度的线性回归、二次回归和 Logistic 回归预测模型(表3),显著性检验结果表明,在3种回归模型中甘蔗条螟各虫态的发育速率与温度的关系均达到显著水平($P<0.05$);其中直线回归和 Logistic 回归模型中,甘蔗条螟各虫态的发育速率与温度的差异

均达到极显著水平($P\leq 0.01$)。从回归模型的决定系数 R^2 来看, Logistic 回归模型的决定系数最小为 0.98,而线性回归模型的决定系数最小为 0.91。因此,在 20~32℃ 范围内, Logistic 模型比线性回归模型和二次回归模型更能准确地模拟温度与甘蔗条螟发育速率之间的关系。

表3 甘蔗条螟各虫态发育速率与温度的预测模型

Table 3 Prediction models for predicting developmental rates of <i>Chilo sacchariphagus</i> at different temperatures						
发育阶段 Developmental stage	线性回归 Linear regression		二次回归 Quadratic regression		Logistic 回归 Logistic regression	
	模型 Model	检验 Test	模型 Model	检验 Test	模型 Model	检验 Test
卵 Egg	$v=0.014t-0.215$	$R^2=0.96$ $F=79.66$ $P<0.01$	$v=-0.0003t^2+0.027t-0.401$	$R^2=0.97$ $F=31.00$ $P=0.03$	$v=\frac{0.239}{1+e^{7.053-0.296t}}$	$R^2=0.98$ $F=200.63$ $P<0.01$
幼虫 Larva	$v=0.002t-0.020$	$R^2=0.99$ $F=338.69$ $P<0.01$	$v=0.00003t^2+0.001t-0.003$	$R^2=0.99$ $F=147.18$ $P=0.01$	$v=\frac{0.549}{1+e^{4.548-0.067t}}$	$R^2=0.98$ $F=221.70$ $P<0.01$
蛹 Pupa	$v=0.007t-0.094$	$R^2=0.99$ $F=286.99$ $P<0.01$	$v=0.00003t^2+0.001t-0.003$	$R^2=0.99$ $F=497.05$ $P=0.02$	$v=\frac{0.139}{1+e^{5.710-0.243t}}$	$R^2=0.99$ $F=1070.79$ $P<0.01$
成虫产卵前期 Preoviposition stage	$v=0.034t-0.317$	$R^2=0.91$ $F=30.61$ $P<0.01$	$v=-0.0003t^2+0.189t-2.281$	$R^2=0.99$ $F=2442.24$ $P<0.01$	$v=\frac{0.742}{1+e^{6.942-0.331t}}$	$R^2=0.99$ $F=788.54$ $P<0.01$
全世代 Whole generation	$v=0.001t-0.015$	$R^2=0.99$ $F=404.47$ $P<0.01$	$v=-0.00002t^2+0.003t-0.032$	$R^2=0.99$ $F=299.51$ $P<0.01$	$v=\frac{0.035}{1+e^{4.224-0.179t}}$	$R^2=0.99$ $F=1876.42$ $P<0.01$

2.3 甘蔗条螟的发育起点温度与有效积温

在不同温度梯度下饲养甘蔗条螟,计算求出其各虫态及全世代的发育起点温度(C)、有效积温(K)和标准差(S_c 和 S_k)及发育历期预测式,结果显示,卵期、幼虫期、蛹期、成虫产卵前期和全世代的发育起

点温度分别为 15.87、9.90、13.67、10.79 和 11.27℃,有效积温分别为 69.49、490.99、142.95、26.72 和 717.68 d·℃,其中以幼虫期的发育起点温度最低,有效积温最高;卵期的发育起点温度最高;产卵前期的有效积温最低(表4)。

表4 甘蔗条螟各虫态发育起点温度和有效积温

Fig. 4 Developmental threshold temperature and effective accumulated temperature in each stage of *Chilo sacchariphagus*

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度 (°C) Developmental threshold temperature		有效积温 (d·°C) Effective accumulated temperature		发育历期预测式 Model of developmental duration	相关系数 R^2 Correlation coefficient
	C	S_C	K	S_K		
卵 Egg	15.87	1.23	69.49	7.79	$N = \frac{69.489 \pm 7.786}{t - (15.865 \pm 1.228)}$	0.96
幼虫 Larva	9.90	0.91	490.99	26.68	$N = \frac{490.985 \pm 26.679}{t - (9.895 \pm 0.905)}$	0.99
蛹 Pupa	13.67	0.77	142.95	8.41	$N = \frac{142.945 \pm 8.413}{t - (13.665 \pm 0.767)}$	0.99
产卵前期 Preoviposition stage	10.79	2.85	26.72	4.83	$N = \frac{26.721 \pm 4.830}{t - (10.788 \pm 2.845)}$	0.91
全世代 Whole generation	11.27	0.95	717.68	35.69	$N = \frac{717.681 \pm 35.685}{t - (11.269 \pm 0.952)}$	0.99

根据广西气象台2017年发布的气象资料显示(表1),广西地区月平均气温均高于甘蔗条螟全世代发育起点温度11.27℃,从而计算出全年的有效积温为7 617.00 d·°C,全年的有效天数为365 d,甘蔗条螟全年的有效积温为3 503.45 d·°C,年发生世代数为4.88代,因此,甘蔗条螟在广西地区全年可发生4.88代。

2.4 温度对甘蔗条螟各虫态存活率的影响

温度对甘蔗条螟各虫态的存活率有显著影响,温度过高或过低都不利于甘蔗条螟的存活。低温对卵的存活率影响较大,在20℃时卵存活率最低

为56.59%,在26℃时的卵存活率最高为94.71%,各温度下的卵存活率差异显著。幼虫期的存活率不高,均在47.73%以下,26℃和29℃下最高,分别为47.50%和47.73%,两者之间无显著差异,但与其它温度间差异显著。蛹期的存活率在26℃最高,为93.55%,与其它温度处理差异显著。从全世代的存活率来看,26℃时最高为42.08%,其次是29℃时为38.71%,26℃和29℃处理之间没有显著差异(表5)。表明甘蔗条螟卵和蛹在26℃时存活率最高,幼虫期及全世代的最适温度范围为26~29℃,温度过高或过低都不利于甘蔗条螟的存活。

表5 不同温度下甘蔗条螟各虫态的存活率

Table 5 Survival rates of *Chilo sacchariphagus* at different temperatures

发育阶段 Development stage	20℃	23℃	26℃	29℃	32℃
卵期 Egg	56.59±0.84 e	70.49±0.93 d	94.71±0.58 a	92.06±0.80 b	84.00±0.89 c
幼虫期 Larva	22.67±2.52 c	41.60±1.21 b	47.50±1.00 a	47.73±1.58 a	24.78±1.92 c
蛹期 Pupa	66.67±1.58 d	88.10±0.66 b	93.55±0.58 a	88.10±0.55 b	79.52±1.98 c
全世代 Whole generation	6.84±1.24 c	23.25±2.81 b	42.08±2.00 a	38.71±2.84 a	16.55±2.79 b

表中数据为平均数±标准误。同行数据后不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by Dunca's new multiple range test.

2.5 温度对甘蔗条螟成虫寿命和产卵量的影响

甘蔗条螟雌、雄成虫的寿命随温度的升高而缩短,且存在差异显著。在20℃时,雌、雄成虫的平均寿命最长,分别为8.70 d和6.44 d,温度升至32℃时,雌、雄成虫的平均寿命均最短,为4.58 d和3.92 d。除26℃外其余各温度下雌成虫的平均寿命均比雄成虫长,且在较低温度20℃下,雌成虫的平均寿命比雄成虫的长2.26 d。从雌、雄成虫寿命的范围来看,在20℃时雌、雄成虫的寿命最长可达到13.00 d和9.00 d(表6)。

温度较低或较高时不利于雌成虫产卵,只有在适宜温度下产卵较好。在26℃下单雌产卵量最高,为136.37粒,其次是29℃,为114.00粒;20℃和32℃下单雌产卵量较低,但与23、26和29℃处理差异不显著。个别甘蔗条螟在20℃和23℃条件下不产卵,甘蔗条螟产卵持续期最短仅1.00 d结束,最长可达7.00 d。甘蔗条螟单雌产卵量个体差异显著,26℃下单雌产卵量最大,在17.00~437.00粒之间(表6)。表明甘蔗条螟成虫生长和繁殖的适宜温度范围为26~29℃。

表 6 温度对甘蔗条螟成虫寿命和单雌产卵量的影响

Table 6 Effects of temperature on adult longevity and fecundity of *Chilo sacchariphagus*

温度 (°C) Temperature	雌成虫寿命 (d) Female adult longevity		雄成虫寿命 (d) Male adult longevity		单雌产卵量 Number of eggs laid per female		
	平均数±标准误	范围	平均数±标准误	范围	平均数±标准误	范围	产卵持续期 (d)
	Mean±SE	Range	Mean±SE	Range	Mean±SE	Range	Duration
20	8.70±0.70 a	5.00–13.00	6.44±0.50 a	4.00–9.00	48.77±53.52 ab	0.00–288.00	3.00–6.00
23	7.38±0.45 a	5.00–10.00	6.45±0.55 a	3.00–9.00	101.84±19.62 a	0.00–255.00	2.00–7.00
26	5.10±0.36 b	2.00–8.00	5.20±0.36 ab	2.00–8.00	136.37±18.23 a	17.00–437.00	1.00–7.00
29	5.06±0.27 b	3.00–7.00	4.07±0.62 b	2.00–8.00	114.00±16.71 a	12.00–267.00	1.00–5.00
32	4.58±0.29 b	3.00–9.00	3.92±0.53 b	2.00–9.00	70.00±65.50 ab	10.00–163.00	1.00–3.00

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

3 讨论

温度是影响昆虫种群生长发育的一个重要因素,罗智心等(2009)认为在适温范围内,随着温度升高昆虫的发育速率加快,发育历期缩短。本研究也获得类似结果,即在 20~32℃ 范围内,甘蔗条螟各虫态的发育历期均随温度的升高而缩短,发育速率与温度呈显著正相关。温度与昆虫生长发育模型可用于研究温度对昆虫发育速率的影响(时培建等, 2011),也可用于推算和预测昆虫完成 1 个世代或某一虫态的发育历期,本研究发现 Logistic 模型能准确地模拟温度与甘蔗条螟发育速率之间的关系,并可运用此模型推算和预测甘蔗条螟完成 1 个世代或各虫态的发育历期。本试验明确了该虫的发育起点温度和有效积温,并获得发育历期预测式,可预测甘蔗条螟某一虫态发生的始盛期及高峰期,为甘蔗条螟发生期的预测预报,适时开展蔗区防治提供了重要的科学依据。根据广西气象台 2017 年发布的气象资料,计算得出甘蔗条螟在广西全年可发生 4.88 代,这与管楚雄等(2012)报道的甘蔗条螟在广西桂中、桂南地区 1 年发生 4~5 代的结论一致。

不同温度对甘蔗条螟的存活、寿命和单雌产卵量也存在一定影响,温度过高或过低都不利于甘蔗条螟生存和成虫产卵,本试验结果表明,26~29℃ 是甘蔗条螟生长发育和繁殖的适宜温度。本研究中甘蔗条螟世代存活率均较低,主要原因是幼虫的存活率较低,在 29℃ 条件下幼虫平均存活率最高为 47.73%。李继虎等(2016)报道的甘蔗条螟在 27±1℃ 室内人工饲养条件下幼虫存活率均在 70% 以上,产卵量达到 477.67~545.67 粒,明显高于本试验中的 136.37 粒,造成幼虫存活率和产卵量低的原因可能是由于饲料不同而造成,本研究选用玉米棒进行饲喂,在营养上较缺乏,导致甘蔗条螟幼虫存活率

和成虫产卵量较低,而李继虎等(2016)的配方饲料更有利于幼虫的生长发育和繁殖。今后可用人工配方饲料、玉米以及甘蔗进行饲养对比试验,以明确不同饲料对甘蔗条螟生长发育及繁殖的影响。本试验结果还发现,甘蔗条螟单雌产卵量在个体间差异显著,26℃ 条件下最高为 437.00 粒/头,最少仅有十几粒,有可能是由于甜玉米棒饲养多代,造成了种群退化而部分个体不够健康。虽然本研究中各温度下幼虫存活率和成虫产卵量较低,但仍然可以观察到其适宜温度在 26~29℃ 范围之间。

本研究是在恒温恒湿光照培养箱内进行,与田间自然条件下的实际情况可能存在一定的偏差,而且本试验仅研究了温度一种因素对甘蔗条螟生长发育的影响,湿度、光照、寄主等其它因素的影响还有待进一步研究。今后,应结合田间实际情况,可在自然变温条件下,用甘蔗饲养甘蔗条螟,研究其发育起点温度和有效积温,以期能够更科学更实际地反应温度对甘蔗条螟生长发育和繁殖的影响,从而为甘蔗条螟的预测预报提供更加准确可靠的理论依据。

参 考 文 献 (References)

- Chen HZ, Lin XQ, Chen SL, Zhu XH, Tang XH. 2013. Measurement and application of developmental threshold temperature and effective cumulative temperature of *Leptocybe invasa* Fisher et La Salle. Journal of Yangtze University, 10(29): 1–6, 10 (in Chinese) [陈汉章, 林秀琴, 陈顺立, 朱信华, 汤行昊. 2013. 桉树枝瘿姬小蜂发育起点温度和有效积温的测定. 长江大学学报, 10(29): 1–6, 10]
- Dong JS. 2007. Study on fitting logistic curve with SPSS software. Journal of Jinling Institute of Technology, 23(1): 21–24 (in Chinese) [董江水. 2007. 应用 SPSS 软件拟合 Logistic 曲线研究. 金陵科技学院学报, 23(1): 21–24]
- Geetha N, Shekinah ED, Rakkiyappan P. 2009. Comparative impact of release frequency of *Trichogramma chilonis* Ishii against *Chilo sacchariphagus indicus* (Kapur) in sugarcane. Journal of Biological Control, 23(4): 343–351

- Goebel R. 2006. The effect of temperature on development and reproduction of the sugarcane stalk borer, *Chilo sacchariphagus* (Bojer 1856) (Lepidoptera: Crambidae). *African Entomology*, 14(1): 103–111
- Guan CX, Xu HL, Lin MJ, Liang RB, Chen LJ, Li JH. 2012. Prediction and forecasting of sugarcane stem borer and integrated control measures. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 32(2): 42–46, 60 (in Chinese) [管楚雄, 许汉亮, 林明江, 梁瑞波, 陈立君, 李继虎. 2012. 甘蔗条螟的预测预报及其综合防治技术研究. *热带农业科学*, 32(2): 42–46, 60]
- Guo TT, Men XY, Yu Y, Chen H, Zhou XH, Zhuang QY, Wang ZY, Li LL. 2016. Effects of temperature on the development and reproduction of *Athetis dissimilis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(8): 865–870 (in Chinese) [郭婷婷, 门兴元, 于毅, 陈浩, 周仙红, 庄乾营, 王振营, 李丽莉. 2016. 温度对双委夜蛾实验种群生长发育及繁殖的影响. *昆虫学报*, 59(8): 865–870]
- Huang HQ, Tian JR, Xu ZD, Xiao BG. 2001. Occurrence rule of *Proceras venosatus* in sugarcane. *Sugarcane*, 8(4): 20–23 (in Chinese) [黄河清, 田际榕, 徐志德, 肖宝刚. 2001. 条螟发生规律. *甘蔗*, 8(4): 20–23]
- Li JH, Guan CX, Xu HL, Li HZ, Hu YW, Lin MJ, Huang ZW, Mao YL, Mao YK. 2016. Studies on artificial rearing of *Proceras venosatus* Walker. *Sugarcane and Canesugar*, (3): 19–22 (in Chinese) [李继虎, 管楚雄, 许汉亮, 李泓智, 胡玉伟, 林明江, 黄志武, 毛玉玲, 毛永凯. 2016. 甘蔗条螟的人工饲养技术研究. *甘蔗糖业*, (3): 19–22]
- Li JL. 1983. The discovery, synthesis and application to technical appraisal meeting of sugarcane sex attractant of *Chilo sacchariphagus* were held in Panyu, Guangdong. *Sugarcane and Canesugar*, (11): 36 (in Chinese) [黎教良. 1983. 甘蔗条螟性诱剂的发现、合成及应用于测报技术鉴定会议在广东番禺召开. *甘蔗糖业*, (11): 36]
- Lin MJ, Ou WX, Chen HJ, Chen MZ. 2007. Occurrence dynamics of the adult pest of *Chilo sacchariphagus* in west Guangdong in recent years. *Guangdong Agricultural Sciences*, 34(7): 69–70 (in Chinese) [林明江, 欧伟兴, 陈火君, 陈梅珠. 2007. 粤西蔗区甘蔗条螟成虫近年发生动态. *广东农业科学*, 34(7): 69–70]
- Luo ZX, Ren LL, Qi LY, Zhou SD, Dai HG. 2009. Effects of temperature on the development of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Chinese Journal of Ecology*, 28(5): 921–924 (in Chinese) [罗智心, 任荔荔, 祁力言, 周曙东, 戴华国. 2009. 温度对桔小实蝇种群发育的影响. *生态学杂志*, 28(5): 921–924]
- Nibouche S, Raboin LM, Hoarau JY, D'Hont A, Costet L. 2012. Quantitative trait loci for sugarcane resistance to the spotted stem borer *Chilo sacchariphagus*. *Molecular Breeding*, 29(1): 129–135
- Nibouche S, Tibère R. 2010. Mechanism of resistance to the spotted stalk borer, *Chilo sacchariphagus*, in the sugarcane cultivar R570. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 135(3): 308–314
- Ou WX, Lin MJ, Chen LJ, Chen MZ, Pan P, Yang LH. 2011. Monitoring on the occurrence trend of sugarcane borers with sex pheromone. *Guangdong Agricultural Sciences*, 38(15): 60–61, 75 (in Chinese) [欧伟兴, 林明江, 陈立君, 陈梅珠, 潘平, 杨林洪. 2011. 利用性诱剂监测甘蔗条螟发生趋势. *广东农业科学*, 38(15): 60–61, 75]
- Pu ZL, Deng DA, Liu ZC, Hong FC, Mo YS. 1956. On the rearing of *Trichogramma evanescens* West. and its utilization for the control of sugarcane borers. *Acta Entomologica Sinica*, 6(1): 1–35 (in Chinese) [蒲蛰龙, 邓德藻, 刘志诚, 洪福昌, 莫禹诗. 1956. 甘蔗螟虫卵赤眼蜂繁殖利用的研究. *昆虫学报*, 6(1): 1–35]
- Sallam N, Achadian EM, Putra L, Dianpratiwi T, Kristini A, Donald D, Magarey RC. 2016. In search of varietal resistance to sugarcane moth borers in Indonesia. *International Sugar Journal*, 118(1410): 450–452
- Sankaranarayanan C, Somasekhar N, Singaravelu B, Shanmugasundaram M. 2008. Pathogenicity of entomopathogenic nematodes to sugarcane internode borer, *Chilo sacchariphagus indicus* Kapur (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Biological Control*, 22(1): 1–5
- Shi PJ, Ikemoto T, Ge F. 2011. Development and application of methods for describing the effects of temperature on insects' growth and development. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1149–1160 (in Chinese) [时培建, 池本孝哉, 戈峰. 2011. 温度与昆虫生长发育关系模型的发展与应用. *应用昆虫学报*, 48(5): 1149–1160]
- Tan YM, Zhuo N, Li HG, Qin RL, Pan HC, Zhang WF. 2011. Cane borers, their loss to cane yield and sugar content and their biocontrol. *Sugarcane and Canesugar*, (4): 18–25 (in Chinese) [谭裕模, 卓宁, 黎焕光, 覃荣乐, 潘红春, 张文峰. 2011. 崇左蔗区螟虫为害造成产量和糖分损失及生防效果. *甘蔗糖业*, (4): 18–25]
- Xu CF, Luo D, Yin LX, Liu XP. 2017. Influence of temperature on the development and reproduction of the camphor sawfly *Mesoneura rufonota* (Hymenoptera: Tenthredinidae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(10): 1216–1225 (in Chinese) [徐川峰, 骆丹, 殷立新, 刘兴平. 2017. 温度对樟叶蜂生长发育和繁殖的影响. *昆虫学报*, 60(10): 1216–1225]
- Xu HL, Lin MJ, Li JH, Gong HL, An YX, Chen LJ, Ou WX, Guan CX. 2013. Predictive model of occurrence regularity of *Proceras venosatus* in sugarcane middle and later stage. *Guangdong Agricultural Sciences*, 40(12): 82–85 (in Chinese) [许汉亮, 林明江, 李继虎, 龚恒亮, 安玉兴, 陈立君, 欧伟兴, 管楚雄. 2013. 甘蔗生长中后期条螟发生高峰期预测模型. *广东农业科学*, 40(12): 82–85]
- Zhang XX. 1997. *Insect ecology and forecast*. 2nd edition. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [张孝羲. 1997. *昆虫生态及预测预报*. 第2版. 北京: 中国农业出版社]
- Zhang YB, Wu CW. 2017. Progress and development analysis of sugarcane industry in the world. *Sugar Crops of China*, 39(3): 47–50 (in Chinese) [张跃彬, 吴才文. 2017. 国内外甘蔗产业技术进展及发展分析. *中国糖料*, 39(3): 47–50]
- Zhang YC, Yi DY, Lei CY, Xie HY, Li XY. 2008. Morphological characteristic and living habit of sugarcane borers and its control techniques. *Guizhou Agricultural Sciences*, 36(1): 95–96, 94 (in Chinese) [张亦诚, 易代勇, 雷朝云, 谢惠珏, 李向勇. 2008. 甘蔗螟虫的形态特征、习性及其防治技术. *贵州农业科学*, 36(1): 95–96, 94]
- Zhao M, Ju RT. 2010. Effects of temperature on the development and fecundity of experimental population of *Rhyacionia ferrugineus*. *Journal of Plant Protection*, 37(6): 517–521 (in Chinese) [赵明, 鞠瑞亭. 2010. 温度对红棕象甲实验种群生长发育及繁殖的影响. *植物保护学报*, 37(6): 517–521]