

变温下铃木氏果蝇年龄-阶段两性生命表研究

赵远鹏^{1,2}, 陈晓^{1,2}, 陈婷婷^{1,2}, 吴道慧^{1,2},
肖春^{1,2}, 张帅^{1,2}, 张立敏^{2,3*}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室, 昆明 650201; 3. 云南农业大学国际学院, 昆明 650201)

摘要 为进一步阐明温度对铃木氏果蝇生长发育和繁殖的影响, 补充铃木氏果蝇基础生物学信息, 本研究在室内 14~20℃、26~32℃ 变温条件下人工饲养铃木氏果蝇, 对比不同变温条件下铃木氏果蝇的发育历期、存活率和繁殖率, 并构建年龄-阶段两性生命表。结果表明: 与 26~32℃ 处理相比, 14~20℃ 变温处理下铃木氏果蝇的各阶段发育历期、成虫寿命及产卵前期均较长。14~20℃ 变温处理下该虫年龄-阶段特征存活率(s_{xj})、年龄-特征存活率(l_x)、年龄-阶段特征生殖能力(v_{xy})以及期望寿命(e_{xy})均高于 26~32℃ 处理, 而繁殖力(f_{xj} 、 m_x)低于 26~32℃ 处理。14~20℃ 变温处理下该虫的内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)低于 26~32℃ 处理, 而平均世代周期(T)和种群加倍时间(t)高于 26~32℃ 处理。在变温条件下, 高温相较于低温更利于铃木氏果蝇的种群增长。

关键词 铃木氏果蝇; 变温; 生长发育; 年龄-阶段两性生命表; 种群参数

中图分类号: Q 968 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2017355

Age-stage two-sex life table of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) at fluctuating temperatures

ZHAO Yuanpeng^{1,2}, CHEN Xiao^{1,2}, CHEN Tingting^{1,2}, WU Daohui^{1,2},
XIAO Chun^{1,2}, ZHANG Shuai^{1,2}, ZHANG Limin^{2,3}

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Key Laboratory of Agro-biodiversity and Pest Management of Education Ministry of China, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. International College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract Aimed to explore the effects of fluctuating temperature on the growth and reproduction of *Drosophila suzukii* and supplement its basic biological data, this study was carried out to establish a two-sex life table for *D. suzukii* under fluctuating temperatures. *D. suzukii* was reared at the fluctuating temperatures 14–20℃ and 26–32℃, respectively, in the laboratory for recording the developmental duration, survival rate and reproduction rate of *D. suzukii*. The age-stage two-sex life table was established with the parameters. The results showed that the developmental duration, preoviposition period and adult longevity of *D. suzukii* at the fluctuating temperature 14–20℃ were higher than at 26–32℃. Age-stage specific survival rate (s_{xj}), age-specific survival rate (l_x), age-stage specific life expectancies (e_{xy}) and age-stage specific reproductive value (v_{xy}) at 14–20℃ were higher than at 26–32℃, but the fecundity (f_{xj} , m_x) at 14–20℃ was lower than at 26–32℃. The intrinsic rate (r_m) and finite rate (λ) of *D. suzukii* at 14–20℃ were lower than at 26–32℃, while the mean generation time (T) and population-doubling time (t) were higher than at 26–32℃. Therefore, high temperature is more suitable for the survival and growth of *D. suzukii* at fluctuating temperatures.

Key words *Drosophila suzukii*; fluctuating temperature; growth and development; age-stage two-sex life table; population parameter

收稿日期: 2017-09-13 修订日期: 2017-11-09

基金项目: 欧盟第七框架计划(Dropsa, 613678)

* 通信作者 E-mail: limin0789@126.com

铃木氏果蝇 *Drosophila suzukii* 属双翅目 *Diptera* 果蝇科 *Drosophilidae* 果蝇属 *Drosophila*, 是在世界范围内为害软皮水果的一种重要害虫^[1], 该虫起源于亚洲地区, 在韩国、印度、缅甸、泰国及巴基斯坦等国均有分布^[2], 在我国云南、广西、河南、贵州、浙江、湖北等地区分布广泛^[3-5]。铃木氏果蝇雌虫的产卵器为坚硬的锯齿状, 可将卵直接产于成熟或即将成熟的软皮水果的果实内, 幼虫在果实内取食, 给果园造成严重损失。云南省石屏县的杨梅种植业在全国范围内已成为优势行业且具有大量名优杨梅种植基地^[6], 在前期石屏县杨梅园调查中发现铃木氏果蝇是为害杨梅的主要害虫, 对云南省杨梅种植造成严重经济损失。

温度是影响昆虫活动、地理分布以及生长发育、繁殖等生命活动的重要因素之一^[7-9], 目前, 关于温度对铃木氏果蝇生长发育及繁殖的研究主要集中在两个方面的对比: 第一, 单一恒温条件下建立实验种群生命表, 对比研究相同温度条件下铃木氏果蝇和黑腹果蝇生长发育间差异^[10]; 第二, 在不同恒温下建立实验种群, 对比研究不同恒温条件对铃木氏果蝇不同虫态生长发育历期的影响^[11]。

传统昆虫生命表缺少了雄虫对种群增长贡献的研究, 限制了生命表的实际应用^[12], Chi 等创建的两性生命表^[13-14], 系统地研究了雌雄虫生长发育及繁殖, 在分析昆虫生命活动中, 使用两性生命表得到昆虫的生长发育参数可以比较准确地评估温度对种群增长趋势的影响^[15-16]。此外, 自然环境下温度随昼夜波动变化, 人为设定恒温条件不能真实反映田间实际情况。已有研究表明变温对昆虫生长发育、繁殖及种群增长有一定的影响^[17-22]。

为系统分析铃木氏果蝇种群生命过程, 进一步了解掌握该果蝇的基础生物学特性及探索其种群数量变动机制, 本研究拟在室内变温条件下饲养铃木氏果蝇, 组建变温下的年龄-阶段两性生命表, 并对不同变温条件对不同阶段铃木氏果蝇生长发育的影响, 为云南省杨梅种植园制定害虫综合防治措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

在云南省红河州石屏县杨梅园采摘新鲜成熟的杨梅带回实验室, 把杨梅放在养虫箱内(有机玻璃

箱, 38 cm×38 cm×38 cm), 每天喷洒一定的水, 待成虫羽化后进行鉴定, 将铃木氏果蝇放入养虫箱内用香蕉饲养三代后用于后续试验。

1.2 饲养方法

铃木氏果蝇成虫饲养在养虫箱内, 卵产于装有香蕉的玻璃培养皿 A(直径 6 cm)内, 用保鲜膜密封好并用昆虫针穿孔, 待有初孵幼虫后, 将其转移至装有半人工饲料(专利公示号 cn105380017a)的培养皿 B(直径 6 cm)内饲养, 直至化蛹。收集蛹至指形管(直径 2.5 cm, 高 10 cm)内, 直至羽化。人工气候室的温度为(25±0.5)℃, 相对湿度为 70%±5%, 光周期为 L//D=14 h//10 h。

1.3 温度和光照设置

据前期田间调查发现, 夏季为铃木氏果蝇暴发高峰期, 进入秋季后其种群数量急剧下降但稳定在较低水平, 冬季至春季期间其种群数量极低甚至为零。昆明地区近 5 年内夏季极端高温 32℃, 极端低温 14℃, 平均昼夜温差约为 6℃, 故本试验设置变幅为 6℃的两个变温区间 14~20℃、26~32℃(误差±0.5℃)为试验处理温度。

每 24 h 为一个光照周期, 6:00—12:00 低温、光照, 12:00—16:00 设置高温、光照, 16:00—20:00 低温、光照, 20:00—6:00 设置低温、黑暗, 其中, 高温时长设置为 4 h, 低温时长设置为 20 h。不同变温处理均在人工气候箱(Kenron, RG-300, Kenot International Co, Ltd)中完成。

1.4 生命表研究

将新羽化的成虫按雌雄比 1:2 饲养于养虫箱(每次试验至少 3 箱, 每箱 5 头雌虫 10 头雄虫), 每天更换新鲜香蕉作为其取食及产卵场所, 每天记录产卵数; 将新孵化的 1 龄幼虫放入装有半人工饲料(同 1.2)的指形管(直径 1 cm、高 5 cm)中进行单管单头饲养, 直至化蛹、羽化。每天准确记录铃木氏果蝇各虫态的生长存活情况、后代雌雄比例, 直至成虫死亡, 组建生命表, 共记录 3 代。

1.5 数据分析

按照年龄-阶段两性生命表理论^[13-14]的统计方法记录原始数据, 年龄-阶段特征存活率(s_{xj})指个体从卵发育到年龄 x 、阶段 j 的概率; 雌虫年龄-阶段特征繁殖力(f_{xj})指雌性成虫在年龄 x 阶段 j 的产卵数; 种群年龄-特征存活率(l_x)指从卵发育达到年龄 x 的存活率; 种群年龄-特征繁殖力

(m_x)指整个种群在年龄 x 的平均产卵数量; 年龄-阶段特征寿命期望值(e_{xy})是年龄为 x , 阶段为 y 的个体能够继续存活的天数; 年龄-阶段特征生殖能力(v_{xy})是表示年龄 x 阶段 y 的个体对未来种群的贡献。 s_{xj} 、 f_{xj} 、 l_x 、 m_x 、 $l_x m_x$ 、 e_{xy} 和 v_{xy} 使用 TWOSEX-MSChart 程序计算并用 SigmaPlot12.5 作图。内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)、净增殖率(R_0)、平均世代周期(T)以及种群加倍时间(t)计算公式分别为^[23]:

$$R_0 = \sum l_x m_x, T = \frac{\sum x l_x m_x}{\sum l_x m_x},$$

$$r_m = \frac{\ln R_0}{T}, \lambda = e^{r_m}, t = \frac{\ln 2}{r_m}$$

利用统计软件 SPSS 17.0 对不同温度处理下的生长发育历期和生命表参数进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 变温条件下铃木氏果蝇生长发育和繁殖研究

变温 14~20℃ 处理下铃木氏果蝇的卵期、幼虫期、蛹期以及成虫前期均长于 26~32℃ 处理($t =$

3.904, $P = 0.096$; $t = 0.479$, $P = 0.515$; $t = 12.926$, $P = 0.011$; $t = 0.010$, $P = 0.923$), 且蛹期两个处理间存在显著性差异; 变温 14~20℃ 处理下铃木氏果蝇的雌、雄成虫寿命、雌成虫产卵前期、单雌平均产卵量及单雌一生最高产卵量均高于 26~32℃ 处理($t = 1.731$, $P = 0.259$; $t = 0.412$, $P = 0.556$; $t = 0.000$, $P = 1.000$; $t = 6.950$, $P = 0.058$; $t = 0.738$, $P = 0.439$)(表 1, 2)。

表 1 变温条件下铃木氏果蝇不同阶段的发育历期¹⁾

Table 1 Developmental durations of different stages of *Drosophila sukuzii* under fluctuating temperatures

发育阶段 Developmental stage	发育历期/d Developmental duration		t	P
	14~20℃	26~32℃		
卵 Egg	1.93±0.02	1.15±0.08	3.904	0.096
幼虫 Larva	18.86±0.91	6.58±0.74	0.479	0.515
蛹 Pupa	13.02±0.25	4.53±0.01	12.926	0.011
成虫前期 Pre-adult	33.81±0.62	12.26±0.69	0.010	0.923

1) 表中数据是平均值±标准误, 同行数据的差异显著性以 P 值代表。下同。

Data in the table are represented as mean±SE. P represents the probability of significant difference between the data in the same row. The same below.

表 2 变温条件下铃木氏果蝇的成虫寿命和雌虫生殖力

Table 2 Adult longevity and female fecundity of *Drosophila sukuzii* under fluctuating temperatures

温度/℃ Temperature	成虫寿命/d Adult longevity		产卵前期/d Adult preoviposition period	单雌平均产卵量/粒 Mean number of eggs laid per female	单雌一生最高产卵量/粒 The most number of eggs laid per female
	雌虫 Male	雄虫 Female			
14~20℃	61.54±1.31	76.73±1.74	8.00±0.00	114.57±3.56	137.33±17.47
26~32℃	20.31±2.16	20.99±2.64	3.00±0.00	94.60±11.80	123.77±25.24
t	1.731	0.412	0.000	6.950	0.738
P	0.259	0.556	1.000	0.058	0.439

2.2 变温条件下铃木氏果蝇存活率和繁殖力研究

铃木氏果蝇在不同温度下的生长曲线均存在大量重叠, 变温 14~20℃ 处理的存活率较高, 约 90% 的幼虫能够成功化蛹; 变温 26~32℃ 处理的幼虫存活率较低, 化蛹率约 79%; 雌、雄成虫在不同温度处理下的羽化率相差较小, 雌成虫约为 35%, 雄成虫约为 45%(图 1)。变温条件下铃木氏果蝇的寿命期望值(e_{xy})均随着年龄 x 的增加而缩短, 14~20℃ 处理的寿命期望值高于 26~32℃ 处理(图 2)。

14~20℃ 处理的种群年龄-特征存活率(l_x) 在 0~70 d 的坡度较陡, 70 d 之后存活率指数迅速由 75% 下降为 0%; 26~32℃ 处理的 l_x 曲线在 0~20 d 内缓慢降至 80%, 然后缓慢降为 0%; 变温条件下雌

成虫年龄-阶段特征繁殖力(f_{xj})和种群年龄-特征繁殖力(m_x)均表现为先增长后下降, f_{xj} 最高峰值在 26~32℃ 处理下的较大, 14~20℃ 下的较小; m_x 最高峰值 26~32℃ 处理下的较大, 14~20℃ 下的较小, 由 f_{xj} 和 m_x 曲线可以得出变温 26~32℃ 处理下铃木氏果蝇的繁殖力明显高于 14~20℃ 处理(图 3)。

变温条件下的年龄-阶段特征生殖能力(v_{xy}) 在雌成虫产生可孵化卵时开始升高, 14~20℃ 处理的在 30 d 时开始增加, 45 d 达到最高峰, 为 35; 26~32℃ 处理的在 10 d 时开始增加, 20 d 时达到最高峰, 为 32; 由此得知 14~20℃ 处理下的铃木氏果蝇生殖能力比 26~32℃ 处理下的强(图 4)。

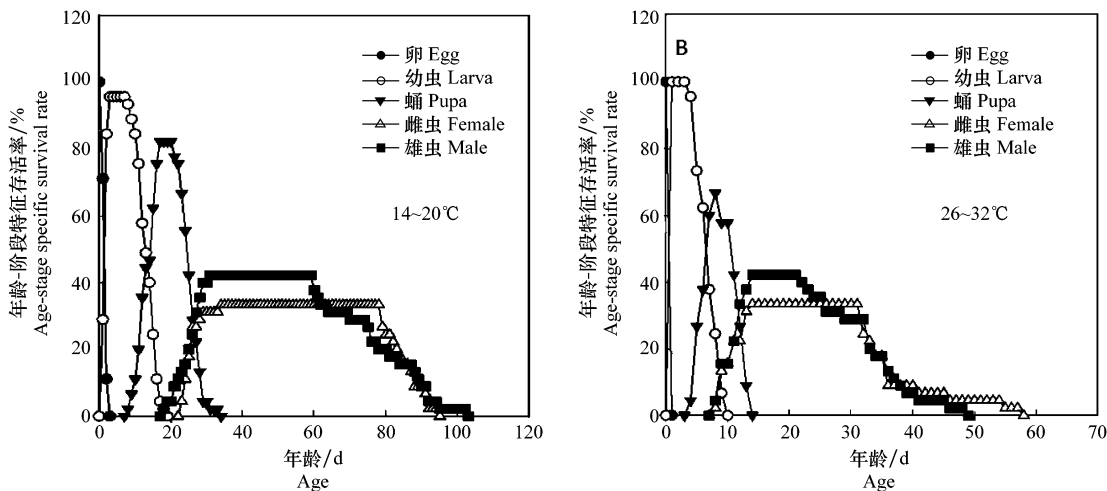


图 1 变温条件下铃木氏果蝇的年龄-阶段特征存活率 (s_{xj})

Fig. 1 Age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Drosophila sukuzii* under fluctuating temperatures

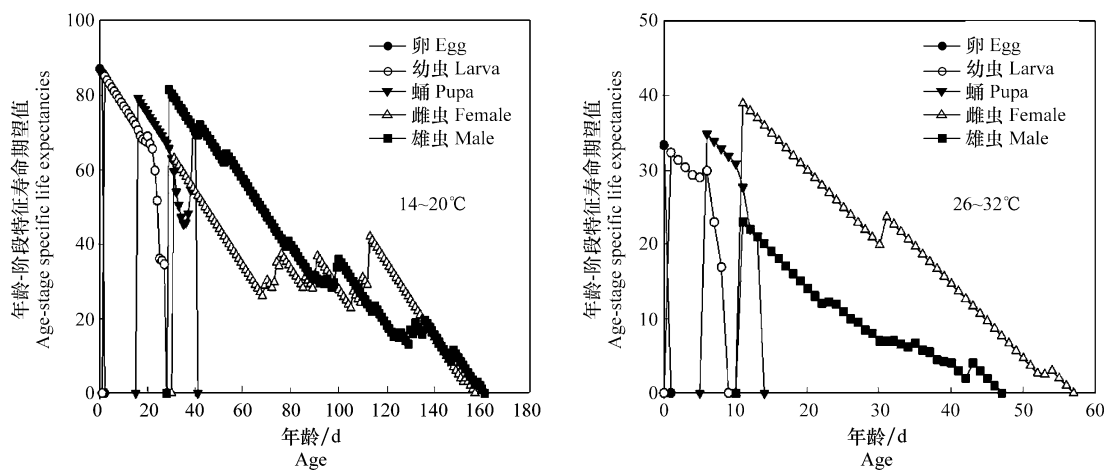


图 2 变温条件下铃木氏果蝇年龄-阶段特征寿命期望值 (e_{xy})

Fig. 2 Age-stage specific life expectancies (e_{xy}) of *Drosophila sukuzii* under fluctuating temperatures

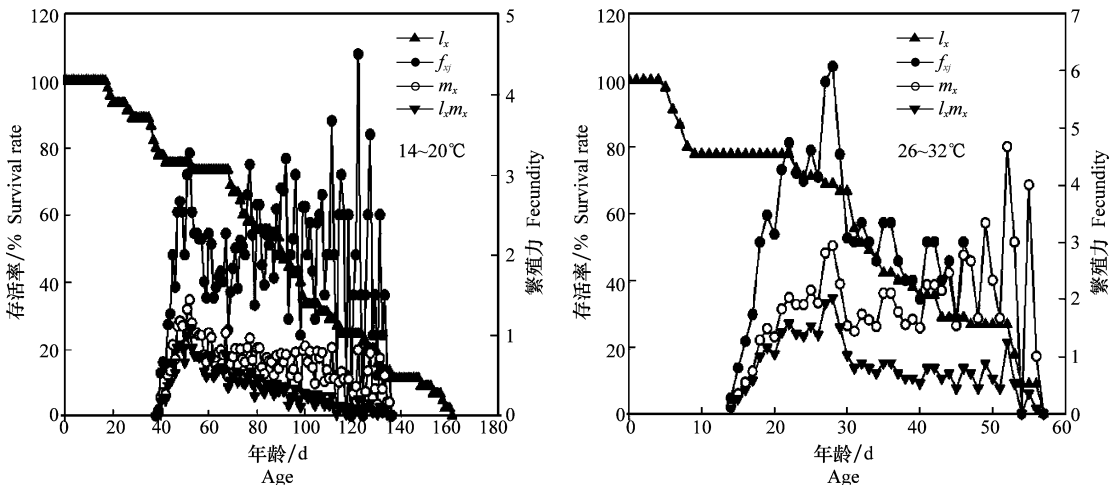


图 3 变温下铃木氏果蝇种群年龄-特征存活率 (l_x)、雌虫年龄-阶段特征繁殖力 (f_{xj})、种群年龄-特征繁殖力 (m_x) 和种群年龄-特征繁殖值 (l_xm_x)

Fig. 3 Age-specific survival rate (l_x), female age-stage specific fecundity (f_{xj}), age-specific fecundity of total population (m_x) and age-specific maternity (l_xm_x) of *Drosophila sukuzii* under fluctuating temperatures

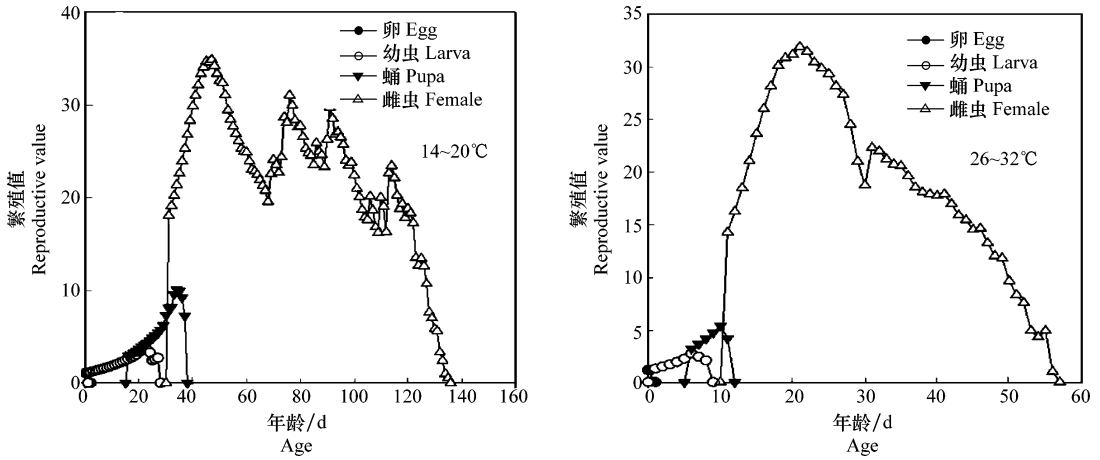


图 4 变温下铃木氏果蝇的年龄-阶段特征生殖能力 (v_{xy})

Fig. 4 Age-stage specific reproductive value (v_{xy}) of *Drosophila sukuzii* under fluctuating temperatures

2.3 变温条件下铃木氏果蝇种群参数研究

研究表明 14~20℃ 处理下铃木氏果蝇的内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)均小于 26~32℃ 处理($t=0.082, P=0.786; t=0.217, P=0.661$),而

净生殖率(R_0)、平均世代周期(T)及种群加倍时间(t)却高于 26~32℃ 处理($t=0.039, P=0.851; t=3.948, P=0.104; t=3.783, P=0.109$),但不存在显著性差异(表 3)。

表 3 变温下铃木氏果蝇的种群参数

Table 3 Population parameters of *Drosophila sukuzii* under fluctuating temperatures

种群参数 Population parameter	变温 Fluctuating temperature		t	P
	14~20℃	26~32℃		
内禀增长率(r_m) Intrinsic rate	0.07±0.00	0.13±0.01	0.082	0.786
周限增长率(λ) Finite rate	1.07±0.01	1.14±0.01	0.217	0.661
净生殖率(R_0) Net reproduction rate	56.06±6.69	50.41±7.01	0.039	0.851
平均世代周期(T)/d Mean generation time	62.42±7.03	29.44±2.18	3.948	0.104
种群加倍时间(t)/d Population doubling time	10.76±0.98	5.22±0.29	3.783	0.109

3 讨论

本试验研究了变温条件对铃木氏果蝇生长发育及繁殖的影响,结果表明该果蝇在低温处理下的生长发育历期长于高温处理,与刘玉娟等研究变温对二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 生长发育的影响结果一致^[24];该果蝇在低温处理下的产卵量高于高温处理,与 Philipp 等研究变温对棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella* 的影响结果一致^[20],这种情况可能是由于温度升高,成虫寿命缩短,导致其产卵期缩短,产卵量减少。14~20℃ 处理下的存活率显著高于 26~32℃,可知低温条件下的变温环境更适于该果蝇的生长存活,高温条件下的变温对存活率有不利影响,与 Rock 研究变温对苹果芽卷叶蛾 *Platynota idaeusalis* 的影响结果一致^[19]。本研究构建了变温下铃木氏果蝇的

年龄-阶段两性生命表,低温 14~20℃ 处理下的内禀增长率(r_m)和周限增长率(λ)均低于高温 26~32℃ 处理,而平均世代周期(T)及种群加倍时间(t)均高于高温 26~32℃ 处理,与 Kieckhefer 等观察麦双尾蚜 *Diuraphis noxia* 的结果一致^[25]。其中内禀增长率(r_m)作为衡量在特定环境条件下种群消长趋势的重要标准,可准确反映昆虫在不同温度下的生殖力^[23],本研究得出变温下的内禀增长率(r_m)均大于 0,周限增长率(λ)均大于 1,说明铃木氏果蝇的种群数量呈增长趋势。该果蝇在 26~32℃ 处理下的平均世代周期(T)短于 14~20℃,但内禀增长率(r_m)高于 14~20℃,说明在适温范围内该果蝇更适应于高温下的变温处理,因此,在生命表研究中,必须将整个种群的生长发育参数进行综合分析,才能较为准确地判断一个种群的发展趋势。

与传统生命表相比,两性生命表更为全面地考虑了雌雄及个体间发育的差异,能够计算得到种群内年龄结构分布的情况,还能通过对种群的存活率、期望寿命和繁殖力等指标更好地描述环境因子对种群动态变化的影响;而传统昆虫生命表只记录了雌性的产卵量和寿命,忽略了雄性个体在种群生长中的作用和龄期的差异性^[12],因此两性生命表是对传统生命表的补充和改进。

有研究报道,与恒温相比变温更利于昆虫的生长。例如 Kostal 等报道,与恒定低温相比,始红蝽 *Pyrrhocoris apterus* 在昼夜交替变温条件下存活时间更长^[26];Messenger 认为与恒温相比,日变温条件大大增加了苜蓿斑蚜 *Therioaphis maculata* 的繁殖力和寿命^[27];王海鸿等研究恒温和波动温度下西花蓟马的两性生命表,结果得出与自然的昼夜波动温度条件相比,恒温可能过高或过低地估计了生命表参数^[28];赵静等研究恒温和温室波动温度下异色瓢虫的两性生命表也得到与王海鸿等相同的结论^[16]。本研究得出高温相较于低温更利于铃木氏果蝇的种群增长。因此采用变温是为了得到的结果更接近于自然环境,从而为种群的准确预测奠定基础。

综上所述,本试验研究了不同变温对铃木氏果蝇生长发育、繁殖及存活等生物学特性和生命表参数的影响,总结了该果蝇在变温下的室内种群动态变化。铃木氏果蝇在高低变温下均呈增长趋势,但在 26~32℃ 下的繁殖能力更强,说明该果蝇会根据温度的变化来调节生长发育状况以适应外界环境,这也是铃木氏果蝇田间种群难以得到有效控制的主要因素之一。影响昆虫的生长发育及繁殖的环境因子很多,比如寄主、湿度、光周期等,今后可以从这些方面进行深入研究,以便更好地揭示环境因子对昆虫的影响。

参考文献

[1] HAUSER M. A historic account of the invasion of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) in the continental United States, with remarks on their identification [J]. Pest Management Science, 2011, 67(11):1352-1357.

[2] 张开春, 同国华, 郭晓军, 等. 斑翅果蝇 (*Drosophila suzukii*) 研究现状 [J]. 果树学报, 2014, 31(4): 717-721.

[3] 孙鹏, 廖太林, 袁克, 等. 水果害虫——斑翅果蝇 [J]. 植物检疫, 2011, 25(6):45-47.

[4] 于毅, 王静, 陶云荔, 等. 铃木氏果蝇不同地理种群中 *Wolbachia*

的检测和系统发育分析 [J]. 昆虫学报, 2013, 56(3): 323-328.

[5] 刘庆忠, 王晓芳, 王甲威, 等. 斑翅果蝇在甜樱桃、蓝莓等果树上的发生危害与防治策略 [J]. 落叶果树, 2014, 46(6): 1-3.

[6] 柏斌, 石屏成云南杨梅种植大县 [J]. 中国果业信息, 2009(4): 36-37.

[7] CHOWN S L, NICOLSON S W. Insect physiological ecology: mechanisms and patterns [J]. Oxford Biology, 2004.

[8] ANGILETTA M J J. Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis [M]. Oxford University Press, 2015: 1-302.

[9] DOUCET D, WALKER V K, QIN W. The bugs that came in from the cold: molecular adaptations to low temperatures in insects [J]. Cellular & Molecular Life Sciences, 2009, 66:1404-1418.

[10] LIN Qingcai, ZHAI Yifan, ZHANG Ansheng, et al. Comparative developmental times and laboratory life tables for *Drosophila suzukii* and *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) [J]. Florida Entomologist, 2014, 97(4): 1434-1444.

[11] 吴军, 廖太林, 孙鹏, 等. 铃木氏果蝇生物学特性研究 [J]. 植物检疫, 2013(5): 36-42.

[12] HUANG Y B, CHI H. Age-stage two-sex life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) with a discussion on the problem of applying female age-specific life tables to insect populations [J]. Insect Science, 2012, 19(2): 263-273.

[13] CHI H, LIU H. Two new methods for the study of insect population ecology [J]. Academia Sinica, 1985, 24(2): 225-240.

[14] CHI H. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals [J]. Environmental Entomology, 1988, 17(1): 26-34.

[15] 郝强, 黄倩, 梁炜博, 等. 不同温度下斜纹夜蛾的两性生命表 [J]. 昆虫学报, 2016, 59(6): 654-662.

[16] 赵静, 肖达, 张帆, 等. 恒温和温室波动温度下异色瓢虫种群生命表 [J]. 中国农业科学, 2015, 48(16): 3176-3185.

[17] MIRONIDIS G K. Development, survivorship, and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures [J]. Bulletin of Entomological Research, 2008, 37(1): 16-28.

[18] TAYLOR P S, SHIELDS E J. Development of the armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) under fluctuating daily temperature regimes [J]. Environmental Entomology, 1990, 19(5): 1422-1431.

[19] ROCK G C. Thermal and thermoperiodic effects on larval and pupal development and survival in tufted apple bud moth (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. Environmental Entomology, 1985, 14(5): 637-640.

[20] PHILIPP J S, WATSON T F. Influence of temperature on population growth of the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1971, 64(2): 334-340.

[21] STRONG F E, SHELDHL J A. The influence of temperature on longevity and fecundity in the bug *Lygus hesperus* (Hemiptera: Miridae) [J]. Annals of the Entomology Society of America, 1970, 63(6): 1509-1515.

气象环境因子的影响,因此,可利用气象因子对甜菜夜蛾发生程度进行预测。本文对甜菜夜蛾发生程度等级与前期各项气象因子进行单因子相关分析,找出显著相关且具有生物学意义的因子,采用多元线性回归统计分析方法,构建了甜菜夜蛾发生流行的气象等级预测模型,并对模型进行历史回代和独立样本预测检验。历史回代检验结果显示:76%的样本回代检验结果达基本一致以上;独立样本预测检验结果显示:63%的样本回代值达基本一致以上,模型总体预报结果较好,可靠性强。因此,可利用该模型开展甜菜夜蛾发生程度气象预测相关业务服务。

一般而言,甜菜夜蛾幼虫发生量与前期成虫发生量成正比,且甜菜夜蛾成虫暴发后的10~15 d是幼虫暴发时间。预测到甜菜夜蛾成虫发生程度,一方面可提前采用人工除卵的方式减少幼虫量;另一方面,化学农药防治甜菜夜蛾的最佳时段为3龄幼虫期前,成虫的发生预测,对幼虫的防治有很好的指导意义。

本文中甜菜夜蛾仅有2009—2010年、2015年监测数据,数据资料序列偏短,应在以后的研究中不断增加样本序列,可对模型进行不断修正,进一步提高其预报精度。甜菜夜蛾是一种迁飞性害虫,其发生发展不仅受地面气象因子的影响,还与大气环流特征、虫源基数、天敌条件及人工防治等密切相关,而本文只讨论了在甜菜夜蛾成虫发生程度与气象因子的关系。在以后的研究工作中将继续对其他影响因素做进一步分析和探讨。

(责任编辑:田喆)

参考文献

- [1] 韩兰芝,翟保平,张孝羲.不同温度下的甜菜夜蛾实验种群生命表研究[J].昆虫学报,2003,6(2):184-189.
- [2] 张彬,刘怀,王进军,等.甜菜夜蛾研究进展[J].中国农学通报,2008,24(10):427-433.
- [3] 王瑞明,徐文华,林付根,等.江苏沿海农区甜菜夜蛾发生特点研究进展[J].华东昆虫学报2007,16(2):81-86.
- [4] 罗礼智,曹雅忠,江幸福.甜菜夜蛾发生危害特点及其趋势分析[J].植物保护,2001,27(4):41-43.
- [5] 周传金,徐学序.甜菜夜蛾的生物学特性及防治研究[J].中国甜菜,1993(1):24-27.
- [6] 江幸福,罗礼智.甜菜夜蛾暴发原因及防治对策[J].植物保护,1999,25(3):32-34.
- [7] 周利琳,司越,王香萍,等.2009年湖北省甜菜夜蛾发生动态的系统监测与调查[J].湖北农业科学,2016,55(9):2259-2271.
- [8] 徐爱仙,熊本江,汤少云,等.武汉市2016年蔬菜主要病虫害发生趋势预报[J].湖北植保,2016(2):40.
- [9] 薛敏生,高九思,李可兴.影响甜菜夜蛾发生程度的原因及预测模式研究[J].现代农业科技,2008(16):117-118.
- [10] 徐金汉,关雄,黄志鹏,等.不同温湿度组合对甜菜夜蛾生长发育及繁殖力的影响[J].应用生态学报,1999,10(3):335-337.
- [11] 李淑清.甜菜夜蛾的生长发育与温湿度的关系[J].华中农业大学学报,2002,21(4):352-355.
- [12] 缪为文,戴元才.棉田甜菜夜蛾发生规律及防治对策[J].安徽农业科学,2007,35(6):1718,1854.
- [13] 李志敏,何成兴,高纯林,等.影响甜菜夜蛾种群数量的非生物因子的灰色系统分析[J].云南大学学报(自然科学版),2008,30(S1):148-151.
- [14] 刘甲魁,王桂凤,马旭峰.山东聊城地区甜菜夜蛾突发原因及防治对策[J].植物医生,1998,11(1):25-26.
- [22] SIIDDIQUI W H, BARLOW C A. Population growth of *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) at constant and alternating temperatures [J]. Annals of the Entomology Society of America, 1972, 65(5): 993-1001.
- [23] 张孝羲.昆虫生态及预测预报[M].北京:中国农业出版社,2001:77-84.
- [24] 刘玉娟,张天涛,白树雄,等.不同变温组合条件下二点委夜蛾的生长发育[J].昆虫学报,2014,57(10):1198-1205.
- [25] KIECKHEFER W, ELLIOTT N C. Effect of fluctuating temperatures on development of immature Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) and demographic statistics [J]. Journal of Economic Entomology, 1989, 82(1): 119-122.
- [26] KOSTAL V, RENAULT D, MEHRABIANOVA A, et al. Insect cold tolerance and repair of chill-injury at fluctuating thermal regimes: role of ion homeostasis [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part A Molecular & Integrative Physiology, 2007, 147(1): 231-238.
- [27] MESSENGER P S. The influence of rhythmically fluctuating temperatures on the development and reproduction of the spotted alfalfa aphid *Therioaphis maculata* [J]. Journal of Economic Entomology, 1964, 57(1): 71-76.
- [28] 王海鸿,薛瑶,雷仲仁.恒温 and 波动温度下西花蓟马的实验种群生命表[J].中国农业科学,2014,47(1):61-68.

(责任编辑:田喆)

(上接91页)