

温度对草小卷蛾发育的影响及其实验 种群生命表*

王 淼** 王小奇***

(沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110866)

摘 要 【目的】研究温度对草小卷蛾 *Celypha flavipalpana* Herrich-Schaffer 种群动态和繁殖情况的影响。

【方法】本研究在不同条件下 (20~32℃, 16L:8D, RH=70%~80%) 对草小卷蛾的发育起点温度和有效积温进行系统研究, 并于 26℃ 下建立实验种群生命表和生殖力表。【结果】经统计分析, 其卵、幼虫、蛹、成虫及全世代的发育起点温度(℃)分别为 14.30±2.43、6.45±1.57、11.01±1.78、12.40±2.7 和 9.48±2.19, 有效积温(日·度)分别为 45.05±8.88、492.01±42.48、107.53±13.63、65.51±12.39 和 671.86±94.19; 实验种群趋势指数 $T>1$, 次代种群数量呈 12.13 倍趋势增长, 净增值率 $R_0=15.85$, 世代平均周期 $T=39.99$, 内禀增长率 $r_m=0.0691$, 周限增长速率 $\lambda=1.0715$, 种群倍增时间 $t=10.0331$ 。【结论】在 20~28℃, 草小卷蛾各虫态发育历期随着温度的升高而逐渐缩短, 32℃ 下幼虫期和蛹期发育速率减慢, 部分幼虫出现休眠状态; 26℃ 下次代实验种群数量呈增长趋势。

关键词 草小卷蛾, 发育历期, 发育起点温度, 有效积温, 生命表, 生殖力

Influences of temperature on the development and life table parameters of a laboratory population of *Celypha flavipalpana* Herrich-Schaffer (Lepidoptera: Tortricidae)

WANG Miao** WANG Xiao-Qi***

(College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract [Objectives] To study the influences of temperature on the population dynamics and fecundity of a laboratory population of *Celypha flavipalpana* Herrich-Schaffer. [Methods] The developmental threshold and effective accumulated temperature at different temperatures (20–32℃, 16L:8D, RH=70%) were measured and data collected at 26℃ was used to compile age specific life and fecundity tables. [Results] The development threshold and effective accumulated temperature of each life-history stage, and one complete generation, were (14.30±2.43), (6.45±1.57), (11.01±1.78), (12.40±2.7), (9.48±2.19) °C and (45.05±8.88), (492.01±42.48), (107.53±13.63), (65.51±12.39), (671.86±94.19) degree-days, respectively. The index of population trend was 12.13, the net reproductive rate was 15.85, the mean generation time was 39.99 d, the intrinsic rate of natural increase was 0.0691, the finite rate of increase was 1.0715, and the doubling time was 10.0331. [Conclusion] The developmental duration of each instar decreased with increasing temperature from 20℃ to 28℃, whereas the developmental rate of larvae and pupae declined at 32℃ and a proportion of larvae appeared to become dormant. The experimental population tended to increase when kept at 26℃.

Key words *Celypha flavipalpana*, developmental duration, threshold of development, effective accumulated temperature, life table, fecundity

* 资助项目 Supported projects: 辽宁省农业攻关项目 (2011214002)

**第一作者 First author, E-mail: wang529734627@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wxq1120@sina.com

收稿日期 Received: 2014-09-02, 接受日期 Accepted: 2014-12-02

草小卷蛾 *Celypha flavipalpata* Herrich-Schaffer, 是辽宁省新记录种, 2012 年 5 月于阜新市彰武县玉米田苗期首次发生为害。其隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 卷蛾科 (Tortricidae), 国外分布于日本、韩国、俄罗斯、欧洲 (吕锦梅, 2007), 国内分布于河北、天津、北京、内蒙古、吉林、黑龙江、浙江、安徽、河南、湖北、湖南、四川、贵州、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、山东, 2012 年 5 月确定为辽宁省新记录种 (王小奇等, 2013)。

目前, 关于草小卷蛾的报道主要停留于地理分布和形态学鉴定, 如邵景文等 (1987) 在大兴安岭盘古地区发现草小卷蛾, 寄主为杂草; 郭森等 (1997) 在山西五台山小蛾类调查中发现草小卷蛾; 刘友樵和卢秀新 (1987) 在泰安市灯诱到草小卷蛾, 寄主为百里香等草本植物; 吕锦梅 (2007) 在天津蓟县八仙山国家自然保护区收集到草小卷蛾; 贾彦霞等 (2010) 在宁夏的六盘山、南华山、贺兰山和罗山 4 个地区进行系统调查均发现草小卷蛾, 且为贺兰山优势种, 捕获量占该地总捕获量的 15.21%; 张开龙等 (2007) 在南京溧水县白马镇黑莓园区发现草小卷蛾造成危害。而关于温度对其生长发育和种群动态的影响尚未见报道。

温度是影响制约昆虫发育繁殖的重要生态因子, 为了揭示草小卷蛾发生发展规律与环境温度因素的联系, 本文通过观察 5 种不同恒温下各虫态的发育历期, 系统地研究了发育起点温度和有效积温, 建立了室内种群的特定年龄生命表与生殖力表, 分析了草小卷蛾室内种群发生动态与存活曲线, 以期预测下一生长发育阶段的发生和防治提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2013 年 5 月于辽宁省阜蒙县采集草小卷蛾幼虫 230 余头带回沈阳室内饲养, 每 10 头放入养虫桶内以三叶期玉米苗饲养, 待羽化后进行鉴定供试。

1.2 试验仪器

温 (湿) 度记录仪: 12C-30B-CE, 上海精创电器制造有限公司; 微电脑人工气候箱: SPX-250 IC, 上海博迅医疗设备厂

1.3 发育起点与有效积温的测定

在人工气候箱内, 分别设置 20、24、26、28 和 32℃ 5 个温度梯度处理。光周期均为 16L : 8D, 相对湿度为 70%~80%。

将同日初产的卵块, 分组置于不同恒温的人工气候箱内, 观察卵期。将同日初孵的幼虫单头移入试管中饲以玉米苗, 每日早 8:00 进行观察记录, 清除异物, 保持卫生, 记载脱皮、死亡, 直到化蛹, 记录幼虫历期。同样观察各处理蛹, 待其羽化记载蛹历期。将当日羽化的雌雄成虫配对置于养虫桶中恒温饲养, 记录产卵前成虫历期, 并计算全世代发育历期。

在一定温度条件下昆虫的发育速率 (V) 与温度 (T) 呈线性关系, 利用其各发育阶段在不同温度条件下的发育历期 (N) 求得发育起点温度 (C)、有效积温 (K), 并建立发育速率与温度关系式。本文采用加权法测定各虫态不同温度下平均发育历期, 运用“最小二乘法”计算系数 C 、 K 。由 $T=C+KV$ 可计算不同发育历期 T' , 再算出发育起点的标准误差 S_c 、 S_k 。计算公式如下 (张孝羲, 2001)。

$$T = C + KV \quad V = 1/N$$

$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2}$$

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{n - 2} \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{V}^2}{\sum (V - \bar{V})^2} \right]}$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{(n - 2) \sum (V - \bar{V})^2}}$$

式中: C 为发育起点温度, K 为有效积温, n 为处理数, V 为发育速率, T 为处理温度, T' 为计算温度。

数据处理采用 SPSS18.0 统计软件进行线性回归分析, 描述性统计值均用平均值±标准差表示。

1.4 26℃实验种群生命表的建立

生命表是进行昆虫预测预报和了解种群动态的有效工具, 通常记述种群的死亡率和生存率、生殖力以及死亡原因。目前生态学中流行的主要有两种形式: 特定时间生命表和特定年龄生命表(张孝羲, 2001)。特定年龄生命表是以昆虫的年龄阶段作为划分时间的标准, 系统的记载不同年龄级或年龄间隔中真实的虫口变动情况和死亡原因以及种群趋势等动态变化指标(谢钦铭等, 2004), 而特定时间生命表一般所考虑的仅仅是静态的种群。因此本试验采用特定年龄生命表进行草小卷蛾的生命表建立, 试验方法如下:

待室内饲养的草小卷蛾成虫产卵, 取 6 h 内新产于保鲜袋上饱满完整的 100 粒卵, 放入一个装有湿棉球灭菌的培养皿内, 置于 26℃恒温培养箱(16L: 8D, RH70%~80%)。每天观察记录孵化情况, 将初孵幼虫轻轻挑于 75%酒精棉擦拭过的玉米叶片上, 置于试管内单头饲养, 每天观察并记录其发育情况、存活情况、化蛹时间及死亡原因; 羽化后进行性别鉴定, 并以♀: ♂=1: 2 配对放入一个玻璃瓶中(雄虫不足时以非供试虫补足), 每天记录产卵雌虫数和产卵数。

1.4.1 特定年龄生命表参数统计 根据观察记录分别统计出各虫态初始的存活数 l_x , x 期限内的死亡数 d_x , x 到 $x+1$ 期间的平均存活数 L_x , x 期后的平均存活数的总目数 T_x , x 期初始的平均生命期望数 e_x , 获得各虫态的死亡率 $100qx$ 及存活率 S_x 。在成虫期分别统计雌、雄虫数, 以获得性别比; 大多数观点认同雌虫数量应占种群数量的一半, 因此统计时通常以存活的雌虫数的 2 倍来进行运算; 最终统计产卵量小于 28 粒(平均产卵量)的计为死亡(孙宇廷等, 2013)。计算公式如下(张孝羲, 2001):

$$\begin{aligned} L_x &= (l_x + l_{x+1}) / 2, \\ T_x &= \sum L_x, \\ e_x &= T_x / l_x. \end{aligned}$$

种群数量趋势指标(I): 指种群下一世代某一特定阶段的虫量与上一世代相应阶段的虫量之比, 表示种群的增长倍数, $I = N_{n+1} / N_n$ 。通常当 $I=1$ 时, 表示下一代种群数量保持不变; $I>1$ 时, 表示下一代种群数量增加; $I<1$ 时, 下一代种群数量减少。

Morris (1963) 和 Watt (1963) 提出的数学模型种群趋势指数 I 值为 $I = S_1 \times S_2 \times S_3 \dots S_n \times P_{\frac{1}{2}} \times F \times P_F$

式中, $S_1 \times S_2 \times S_3 \dots S_n$ 表示昆虫各时期的成活率; $P_{\frac{1}{2}}$ 表示雌虫的百分比; F 表示雌蛾最高产卵量(标准产卵量); P_F 表示实际产出率=实际生殖力/最高生殖力。

1.4.2 实验种群生殖力表参数统计

净增值率(R_0): 表示种群中每一头雌虫在经历了一个世代后所产生的雌性数;

平均世代周期(T): 表示一个世代雌虫的加权平均寿命;

内禀增值率(r_m): 表示在给定的物理和生物条件下, 具有稳定年龄组配的种群的最大瞬时增长速率, 这一指标反映了一个种群在特定的环境条件下的数量增长能力;

周限增长率(λ): 表示每一雌虫在实验条件下, 经过单位时间后的数量增长倍数;

种群倍增时间(t): 表示种群倍增所需时间。计算公式如下(张孝羲, 2001):

$$\begin{aligned} R_0 &= \sum L_x M_x, \\ T &= \sum X L_x M_x / \sum L_x M_x, \\ r_m &= \ln R_0 / T, \\ \lambda &= e^{r_m}, \\ t &= \ln 2 / r_m. \end{aligned}$$

式中, X 表示时间间隔(d), L_x 表示生殖雌蛾在 X 期间存活的概率, M_x 表示在 X 期间平均每雌产雌数, M_x =每雌平均产卵数×雌性比, $L_x M_x$ 表示在 X 期间所生殖的且存活的雌后代总数(柳忠婉等, 1985)。

1.4.3 存活曲线的绘制 根据 Price (1975) 提出的存活曲线可推断昆虫死亡率较高的时期, 针对这一时期进行重点防治可大大提高防治效果(李

定旭等, 2010)。依据草小卷蛾存活及死亡情况, 以草小卷蛾各时期为横坐标, 全世代的存活率为纵坐标, 绘制草小卷蛾的存活曲线。

2 结果与分析

2.1 各虫态发育历期的统计

通过对试验观测数据的统计分析, 恒温下不同温度梯度对草小卷蛾各虫态的发育历期影响如表 1 所示。

在 16℃ 恒温饲养中卵孵化率低死亡率高, 且幼虫、成虫大量死亡, 数据结果不予列出。由表 1 可知, 在 20~28℃ 恒温下, 草小卷蛾各虫态均能正常完成世代, 且各发育历期随着温度的升高而逐渐缩短, 在 20℃ 完成一个世代平均需要 60.26 d, 世代历期最长, 28℃ 平均需要 35.32 d,

世代历期最短。而在 32℃ 恒温下幼虫期和蛹期发育速率减慢, 且观察到部分幼虫在 32℃ 恒温下出现休眠状态, 生长发育缓慢, 在卷曲叶片中基本不取食或很少取食。

2.2 发育起点温度与有效积温的测定

计算草小卷蛾各虫态的发育起点温度和有效积温 (表 2)。

由表 1 可知, 32℃ 下草小卷蛾幼虫期和蛹期发育速率减慢, 因此不选择 32℃ 下幼虫期和蛹期数据计算发育速率与温度关系式。

由表 2 可知, 草小卷蛾各虫态发育起点温度 (℃) 分别为 14.30±2.43、6.45±1.57、11.01±1.78、12.40±2.7 和 9.48±2.19, 有效积温 (日·度) 分别为 45.05±8.88、492.01±42.48、107.53±13.63、65.51±12.39 和 671.86±94.19。

表 1 不同温度下草小卷蛾的发育历期
Table 1 The developmental duration of *Celypha flavipalpna* at different temperatures

发育阶段 Developmental stage	发育历期 Developmental duration (d)				
	20℃	24℃	26℃	28℃	32℃
卵期 Egg	5.95±1.51a	5.27±0.99b	4.43±1.00c	3.05±0.72d	2.58±0.50e
幼虫期 Larva	35.44±4.89a	28.61±3.01b	25.64±4.99c	22.43±2.56d	35.09±3.86a
蛹期 Pupa	11.30±2.51a	8.61±1.27b	7.44±2.78c	6.14±0.94d	7.32±1.29c
成虫期 Adult	7.87±1.66a	6.17±2.46b	4.87±1.89c	3.73±1.24d	3.63±1.20d
世代历期 Generation time	60.26±6.60a	48.67±4.10b	41.69±6.97c	35.32±2.70d	47.38±3.42b

表中数据为平均值±标准差, 同一行数据后标有相同字母表示经 Duncan 多重比较后差异不显著 ($P \geq 0.05$), 下表同。
The data in the table are presented as mean±SD, and those in the same row followed by same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test ($P \geq 0.05$). The same below.

表 2 草小卷蛾各虫期发育起点温度和有效积温
Table 2 The threshold temperature and effective temperature of *Celypha flavipalpna*

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度 (℃) Threshold temperature	有效积温 (日·度) Effective temperature (degree·days)	发育速率与温度关系式 Development rate and temperature equation
卵期 Egg	14.30±2.43	45.05±8.88	$y=0.0199x-0.258$ ($R^2=0.8952$)
幼虫期 Larva	6.45±1.57	492.01±42.48	$Y=0.0022x-0.0178$ ($R^2=0.9953$)
蛹期 Pupa	11.01±1.78	107.53±13.63	$y=0.009x-0.0953$ ($R^2=0.9689$)
成虫期 Adult	12.40±2.7	65.51±12.39	$Y=0.0138x-0.1507$ ($R^2=0.9028$)
全世代 Whole generation	9.48±2.19	671.86±94.19	$y=0.0014x-0.0127$ ($R^2=0.9622$)

2.3 特定年龄生命表的建立

以卵、幼虫、预蛹、蛹和成虫将草小卷蛾分为 5 个生长阶段, 在 26℃ 下统计各阶段的存活率和繁殖力等, 建立实验种群特定年龄生命表 (表 3)。统计标准产卵量结果为 125 粒, 雌虫比率为 53.23%, 平均产卵量为 27.92 粒。

通过公式和统计分析可知, 草小卷蛾在 26℃ 下的实验种群趋势指数 I 值为 12.13, 通过 Morris-Watt 数学模型计算 I 值为 9.09, 两数值较为接近认为结果可信。说明在 26℃ 条件下实验种群趋势指数 $I>1$, 草小卷蛾次代种群数量呈增长趋势, 为上一世代的 12.13 倍。

2.4 实验种群生殖力表的建立

由表 4 可计算, 草小卷蛾净增值率 R_0

= 15.8486, 世代平均周期 $T=39.9948$, 内禀增长率 $r_m=0.0691$, 周限增长速率 $\lambda=1.0715$, 种群倍增时间 $t=10.0331$ 。说明在室内 26℃ 饲养条件下, 草小卷蛾经历一个世代每雌可产 15.8486 个雌性个体, 一个世代平均周期为 39.9948 d; 平均每雌的瞬时增长率为 0.0691, 表明种群数量呈增长趋势; 每雌每天的增长倍数是 1.0715 倍; 实验种群数量每增加 1 倍所需的时间是 10.0331 d。

2.5 草小种群的存活曲线分析

根据草小卷蛾全世代存活情况绘制草小卷蛾的存活曲线。由图 1 可知, 草小卷蛾实验种群的存活曲线为 Price (1975) 所提出的存活曲线中的第一种类型: 曲线整体呈下凹形, 死亡主要发生在幼年阶段, 在预蛹前的死亡率近 40%, 从

表 3 草小卷蛾特定年龄生命表
Table 3 The age-specific life table of *Celypha flavipalpana*

发育阶段 Development stages x	初始存活数 Initial survival number l_x	死亡数 Death number d_x	平均存活数 Average survival number L_x	平均存活总数 Average total survival T_x	平均生命期望值 Average expectation of life e_x	死亡率 Mortality rate (%) 100 qx	存活率 Survival rate (%) S_x
卵 Egg	100	27	87	316	3.16	27	0.73
幼虫 Larva	73	7	70	229	3.14	9.59	0.90
预蛹 Prepupa	66	3	65	159	2.41	4.55	0.95
蛹 Pupa	63	1	63	94	1.49	1.59	0.98
成虫 Adult	62	0	31	31	0.5	0	1
雌蛾×2 Double female	66						
正常雌蛾×2 Double natural female	19.41						
雌性比 (%) Sex ratio	53.23						
平均产卵量 Average fecundity	27.92						
标准产卵量 Maximum fecundity	125						
期望卵量 Expected fecundity	1 213.13						
种群趋势指数(I) Index of population growth	12.13						
世代总存活率(%) Total survival rate	62						

表 4 草小卷蛾实验种群生殖力表
Table 4 The fertility table of experimental population of *Celypha flavipalpana*

年龄 (d) Days x	存活率 Survival rate (%) l_x	平均产雌数 Average number of female production m_x	雌性存活总数 Total survival number of female $l_x m_x$	$x l_x m_x$
0	1	-	-	-
33	0.4857	0	0	0
34	0.4857	0	0	0
35	0.4857	0.9522	0.4625	16.1869
36	0.4857	1.0168	0.4939	17.7790
37	0.4857	1.8490	0.8981	33.2282
38	0.4857	3.3873	1.6452	62.5180
39	0.4857	6.5231	3.1683	123.5625
40	0.4571	7.7852	3.5586	142.3446
41	0.4571	4.3463	1.9867	81.4544
42	0.4286	3.5839	1.5361	64.5145
43	0.4286	2.4372	1.0446	44.9171
44	0.4	1.2034	0.4814	21.1798
45	0.3714	0.9306	0.3456	15.5531
46	0.2286	0.5762	0.1317	6.0591
47	0.1429	0.3864	0.0552	2.5952
48	0.1143	0.2833	0.0324	1.5543
49	0.0857	0.0983	0.0084	0.4128
50	0.0571	0	0	0
51	0	0	0	0
		R_0	15.8486	633.8596

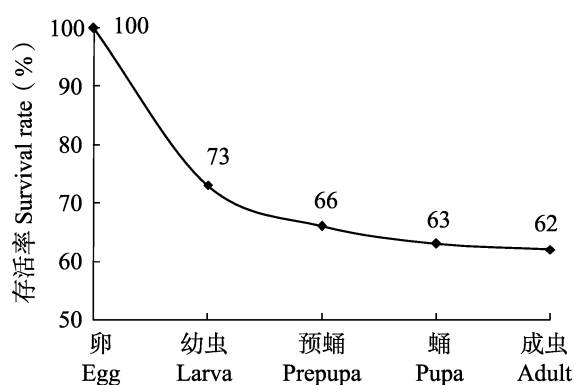


图 1 草小卷蛾存活曲线

Fig. 1 The survival curve of *Celypha flavipalpana*

预蛹到羽化成成虫这一阶段死亡率偏低,再结合室内饲养观察幼虫的存活情况,结果证明卵期和1~3龄幼虫是草小卷蛾生命力最薄弱的阶段,因此在卵期到1~3龄幼虫期间防治可达最佳效果。

3 结论与讨论

温度是影响生物生长发育和存活繁殖的重要因素,在适宜的温度范围内,随着温度的升高生物的发育速率也逐渐加快 (Chaudhry, 1956; Tanaka and Yabuki, 1978)。张汉鹄 (1987) 曾报道在 19~28℃ 条件下,茶长卷蛾 *Homona magnanima* Diakonoff 各虫态发育速率随温度的升高而逐渐增大,平均发育历期相应缩短,遵循变温动物发育的基本规律。李文亮等 (2010) 研究也发现梨小食心虫 *Grapholitha molesta* Busck 在 17~29℃ 下,各虫态的发育历期随着温度的升高而缩短,各虫态的发育速率与温度之间具有良好的线性关系。同样本试验结果证明,草小卷蛾在 20~28℃ 恒温下,各虫态均能正常完成整个

世代, 且各发育历期随着温度的升高而逐渐缩短, 在 20℃ 完成一个世代平均需要 60.26 d, 世代历期最长, 28℃ 平均需要 35.32 d, 世代历期最短。而韩兰芝(2003)发现超过一定温度范围(20~29℃)后, 32℃ 下甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 生长发育受到抑制, 发育速率减慢。同样本试验结果发现, 在 32℃ 恒温下草小卷蛾幼虫期和蛹期生长发育缓慢, 且观察到部分幼虫出现休眠状态, 在卷曲叶片中基本不取食或很少取食。

发育起点温度和有效积温是昆虫生长发育的重要指标, 尤其在北方的气候下, 越冬虫态必须达到一定积温才能进入下一虫态。本试验在室内恒温条件下测定了草小卷蛾各虫态发育起点温度和有效积温, 结果显示, 草小卷蛾卵、幼虫、蛹、成虫产卵前及全世代的发育起点温度(℃)分别为 14.30±2.43、6.45±1.57、11.01±1.78、12.40±2.7 和 9.48±2.19, 有效积温(日·度)分别为 45.05±8.88、492.01±42.48、107.53±13.63、65.51±12.39 和 671.86±94.19。而相关研究发现, 不同种类的昆虫发育起点温度和有效积温不同, 同一种昆虫在不同地理环境(丁伟等, 2003)不同生态条件下受外界环境影响发育起点温度和有效积温差异较大(向玉勇等, 2011; 张娜等, 2013)。因而室内试验所得的数据会与田间的结果有一定程度的差异, 在室外昆虫的生长发育是在变温下进行的, 本文设置的恒温试验和田间的变温对昆虫生长发育的影响也定有差异, 通常自然界条件下昆虫发育历期要短。此外, 由于湿度、食物、卵孵化时间的判断差异, 影响了草小卷蛾的发育速率, 进而给试验结果带来一定的误差。

通过建立与分析种群的生命表, 可为其预测预报提供一定基础资料。本试验是在 26℃ 恒温条件下建立的草小卷蛾生命表和生殖力表, 结果表明, 实验种群趋势指数 $I > 1$, 次代种群数量呈 12.13 倍趋势增长, 每头草小卷蛾雌虫经历一个世代可产生 15.8486 个雌个体, 每个世代平均周期为 39.9948 d; 平均每雌瞬时增长率为 0.0691; 每雌每天的增长倍数为 1.0715 倍; 实验种群数量每增加 1 倍所需的时间是 10.0331 d。所计算

的参数可对草小卷蛾种群数量动态进行分析, 为人工饲养草小卷蛾提供理论指导, 并可供其短期预测, 但若要对其进行中、长期预测, 需组建一个平均生命表求得平均值。此外, 在 26℃ 下草小卷蛾平均产卵量为 27.92 粒, 而最适温度下三角新小卷蛾 *Olethreutes leucaspis* Meyrick 为 160 粒(陈泽坦, 2008), 苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* Linne 为 174.94 粒(杨富银, 2009), 与其他卷蛾科昆虫相比其产卵量偏低, 可能本试验条件存在不利于成虫产卵因素或者没有给予足够诱导因子, 这阻碍了后续试验的进行, 所以对提高草小卷蛾成虫产卵量的诱因研究十分重要。在实验室优越条件下, 对草小卷蛾的连代饲养诱发退化, 也会减弱生命力和生殖力; 而在自然气候下, 草小卷蛾会经历滞育或休眠, 导致其发生的世代数要少于室内, 所以实验种群生命表及各参数与自然种群差异很大, 但本试验结果可作为自然条件下对草小卷蛾短期预测的参考, 同时为进一步研究草小卷蛾提供基础资料。

参考文献(References)

- Chaudhry GU, 1956. The development and fecundity of the mental fruit moth, *Grapholite (Cydia) molesta* Buck, under controlled temperatures and humidities. *Bull. Entomol. Res.*, 46: 869–898.
- Chen ZT, Li RX, Zhong YH, Fu YG, 2008. Life table of the laboratory population of *Olethreutes leucaspis* Meyrick at different temperatures. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 29(1): 93–96. [陈泽坦, 李荣幸, 钟义海, 符悦冠, 2008. 不同温度条件下三角新小卷蛾实验种群生命表. 热带作物学报, 29(1): 93–96.]
- Ding W, Zhao ZM, Wang JJ, Chen GH, 2003. Niches analysis of three aphid populations on spring sowing maize. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14 (9): 1481–1484. [丁伟, 赵志模, 王进军, 陈贵红, 2003. 三种玉米蚜虫种群的生态位分析. 应用生态学报, 14 (9): 1481–1484.]
- Guo S, Bai JW, Guo GZ, 1997. Studies on the microlepidoptera in wutai mountain of Shanxi. *Journal of Shanxi University (Nat. Sci. Ed.)*, 20(3): 333–338. [郭森, 白九维, 郭广珍, 1997. 山西五台山小蛾类的研究. 山西大学学报(自然科学版), 20(3): 333–338.]
- Han LZ, Zhai BP, Zhang XX, 2003. Life table of the laboratory population of *Spodoptera exigua*(Hubner) at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 46(2): 184–189. [韩兰

- 芝, 翟保平, 张孝羲, 2003. 不同温度下的甜菜夜蛾实验种群生命表研究. 昆虫学报, 46(2): 184–189.]
- Jia YX, Liu XL, Wang XP, 2010. Species diversity and fauna of Tortricids from Ningxia. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 19(8): 105–110. [贾彦霞, 刘晓丽, 王新谱, 2010. 宁夏卷蛾物种多样性与区系特征, 西北农业学报, 19(8): 105–110.]
- Li DX, Wang HW, Wang JY, 2010. Life tables of the laboratory population of the peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 53(7): 773–779. [李定旭, 王红伟, 王佳阳, 2010. 桃小食心虫在不同温度下的实验种群生命表. 昆虫学报, 53(7): 773–779.]
- Li WL, Li DX, Dong JF, Feng YQ, Li Y, 2010. The research of threshold temperature and effective accumulated temperature of Oriental Fruit Moth, *Grapholitha molesta* Busck. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, (10): 80–82. [李文亮, 李定旭, 董钧锋, 冯宇倩, 李艳, 2010. 梨小食心虫发育起点温度和有效积温研究. 河南农业科学, (10): 80–82.]
- Liu YJ, Lu XX, 1987. Research on Tortricidae in Taishan(一). *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, (4): 49–50. [刘友樵, 卢秀新, 1987. 泰山的卷蛾科调查(一). 山东林业科技, (4): 49–50.]
- Liu ZW, Zhang YJ, Yang YZ, 1985. Population dynamics of *Aedes(Stegomyia) albopictus* (Skuse) under laboratory conditions. *Acta Entomologica Sinica*, 28(3): 274–280. [柳忠婉, 张跃进, 杨亚钊, 1985. 白纹伊蚊实验种群动态的研究. 昆虫学报, 28(3): 274–280.]
- Lv JM, 2007. Research on Subfamily Olethreutinae Resources of Baxianshan Nature Reserve(Jixian County, Tianjin, China). *Journal of Tianjin Agricultural University*, 14(2): 17–22. [吕锦梅, 2007. 天津蓟县八仙山自然保护区新小卷蛾亚科资源调查. 天津农学院学报, 14(2): 17–22.]
- Morris RF, 1963. Predictive population equation based on key factors. *Mem. Ent. Soc. Can.*, 95(32): 16–21.
- Price PW, 1975. *Insect Ecology*. New York: Wiley & Sons. 265–267.
- Shao JW, Liu JQ, Qu SY, 1987. A preliminary report on the occurrence characteristics and insect fauna of forest pests in Tahe Forestry Bureau. *Journal of Northeast Forestry University*, 15(4): 25–133. [邵景文, 刘景全, 曲绍义, 1987. 塔河林业局森林害虫发生特点及昆虫区系初报. 东北林业大学学报, 15(4): 125–133.]
- Sun YT, Wang HP, Lv SX, 2013. Establishment and analysis of life table for experimental population of *Carposina sasakii* Matsumura. *Guangdong Agricultural Sciences*, 40(4): 54–56. [孙宇廷, 王洪平, 吕淑霞, 2013. 桃小食心虫实验种群生命表的建立与研究. 广东农业科学, 40(4): 54–56.]
- Tanaka F, Yabuki S, 1978. Forecasting oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* Buck, emergence time on the pheromone trap method by the estimate of temperature. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 22: 162–168.
- Wang XQ, Wang M, Lv CJ, Piao CS, Zhang ZL, 2013. A new insect pest, *Celypha flavipalpans* Herrich-Schaffer, infested on maize seedling stage recorded from Fuxin, Liaoning Province. *Plant Protection*, 39(4): 179–182. [王小奇, 王淼, 吕成军, 朴春树, 张治良, 2013. 辽宁阜新地区发现玉米苗期新害虫—草小卷蛾. 植物保护, 39(4): 179–182.]
- Watt KEF, 1963. Mathematical population models for five agricultural crop pests. *Mem. Ent. Soc. Can.*, 95(32): 83–91.
- Xiang YY, Yin PF, Wang MY, Luo X, Zhang YC, 2011. Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Heterolocha jinyinhuaephaga*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 152–155. [向玉勇, 殷培峰, 汪美英, 罗侠, 张元昶, 2011. 金银花尺蠖发育起点温度和有效积温的研究. 应用昆虫学报, 48(1): 152–155.]
- Xie QM, Liang GW, Zeng L, Lu YY, 2004. The life table of the experimental population of *Tessaratomia papillosa* on litchi tree caged. *Entomological Knowledge*, 40(1): 34–35. [谢钦铭, 梁广文, 曾玲, 陆永跃, 2004. 荔枝蜡的实验种群生命表. 昆虫知识, 40(1): 34–35.]
- Yang FY, 2009. Bionomics of *Cydia pomonella* L. and the effects of different host plants on growth, development and reproduction. Thesis for Masters Degree. Lanzhou: Gansu Agricultural University. [杨富银, 2009. 苹果蠹蛾生物学特性及不同寄主植物对其生长发育的影响. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学.]
- Zhang HH, 1987. Study of threshold for development and effective thermal summation of *Homona magnanima*. *Journal of Anhui Agricultural University*, 14(3): 31–35. [张汉鹄, 1987. 茶长卷蛾发育起点与有效积温的研究. 安徽农学院学报, 14(3): 31–35.]
- Zhang KL, Xie HF, Wang BX, Pan Z, 2008. A preliminary report on pest survey of Blackberry in Nanjing. The paper abstract of the twelfth member representative conference of Jiangsu province Entomological Institute. Jingsu. 46–48. [张开龙, 谢洪芳, 王备新, 潘昭, 2008. 南京市黑莓害虫调查初报. 江苏省昆虫学会第十二届会员代表大会论文摘要集. 江苏. 46–48.]
- Zhang N, Wang XQ, Han XJ, Lv XH, 2013. The threshold temperature and effective accumulated temperature of each stage of *Euchorthippus cheui*. *Plant Protection*, 39(3): 124–125. [张娜, 王小奇, 韩秀军, 吕欣航, 2013. 邱氏异爪蝗各虫态发育起点温度和有效积温. 植物保护, 39(3): 124–125.]
- Zhang XX, 2001. *Insect Ecology and Forecast*. Beijing: China Agriculture Press. 77–84. [张孝羲, 2001. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社. 77–84.]