

食芽象甲成虫在陕北枣园的空间分布格局

洪 波, 张 锋, 李英梅, 张淑莲, 陈志杰*

(陕西省生物农业研究所, 西安 710043)

摘要 为有效防控食芽象甲 *Scythropus yasumatsui* Kôno et Morimoto 在陕西榆林地区枣园的危害, 在田间调查的基础上, 使用 Iwao 回归分析法、Taylor 幂法则和 5 种常用指标参数, 探明了成虫在不同枣园样地中的分布格局、理论抽样数及成虫的序贯抽样方法。食芽象甲成虫在枣树上的空间格局为聚集型, 个体间相互吸引, 其聚集性随密度的增大而增加。对成虫进行序贯抽样, 当每株成虫达到 30 头, 置信水平为 1.96 时, 序贯抽样进行抽样的防治下限与上限方程分别为: $d_0 = 30n - 34.33\sqrt{n}$ 和 $d_1 = 30n + 34.33\sqrt{n}$, 当调查 10 株枣树上的虫数超过 409 头时, 需要进行防治。食芽象甲成虫空间分布型及抽样方法的确定, 对于揭示该虫的种群空间结构动态, 提高田间测报准确率及防治效果都具有十分重要的意义。

关键词 食芽象甲; Iwao 指数; Taylor 指数; 序贯取样; 空间分布; 防治阈值

中图分类号: S 436.629 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.06.018

Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* Kôno et Morimoto adults in jujube orchard of Northern Shaanxi

Hong Bo, Zhang Feng, Li Yingmei, Zhang Shulian, Chen Zhijie

(Bio-Agriculture Institute of Shaanxi, Xi'an 710043, China)

Abstract To effectively control the damage caused by *Scythropus yasumatsui* Kôno et Morimoto in jujube orchards of Yulin, Shaanxi Province, the spatial distribution pattern, sequential sampling and theoretical sampling number of adults in different plots were analyzed by using Iwao's regression analysis, Taylor's power law and five aggregation indices through field investigation. The adults were of aggregative distribution pattern in jujube trees with an individual fundamental component, and their aggregation increased as the population density of adults grew. Below the control threshold of adults with 30 individual / plant and the confidence level with 1.96, the lower limit and upper limit formula of sequential sampling was $d_0 = 30n - 34.33\sqrt{n}$ and $d_1 = 30n + 34.33\sqrt{n}$, respectively. Measures needed to be taken if the amount of adults was over 409 in 10 jujube trees. The spatial distribution and sampling technique of adults could have significant implications for clearing the weevil's space structure and improving the prediction and prevention effects.

Key words *Scythropus yasumatsui*; Iwao's index; Taylor's index; sequential sampling; spatial distribution; control threshold

食芽象甲 *Scythropus yasumatsui* Kôno et Morimoto 又名枣飞象, 是枣树上一种重要的食芽害虫。在全国各枣区均有发生, 在我国北方枣产区主要以陕西、山西、甘肃、宁夏、河南、河北等省发生比较普遍^[1-6]。食芽象甲在我国 1 年发生 1 代, 是枣树上出现最早的灾害性害虫。在陕北枣区主要为 4 月下旬到 5 月下旬成虫上树为害枣芽和嫩叶, 当虫口

密度较大时, 可将枣树嫩芽全部吃光, 造成枣树二次萌芽, 开花延迟, 果实变小, 导致枣果大量减产及品质下降^[5-6]。

近年来, 有关食芽象甲预测预报与防治方法研究的报道较多^[7-10], 对于食芽象甲的空间分布型的研究, 仅有食芽象甲幼虫的空间分布格局的研究报道^[4,11], 而成虫的空间分布型则未见报道。由于食

芽象甲幼虫主要在枣园的土壤中分布,成虫主要分布在枣树上,两者空间分布差异较大,有完全不同的活动特点,且成虫为害枣树嫩芽,是造成枣树生长缓慢及减产的主要虫态,因此,对食芽象甲成虫在枣树上的空间分布型进行研究,并提出田间防治指标,对于揭示该虫的种群空间结构动态,提高田间预测预报准确率及防治效果都具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省榆林市佳县,该县在陕西省东北部黄河中游西岸,榆林市东南部,东与陕西临县隔黄河相望。属大陆性半干旱季风气候区,年均日照时数 2 710.7 h,年均气温 10.2℃,年均降水量 386.6 mm。该县为陕西省红枣种植面积最大的地区之一,全县红枣种植面积超过 2.8 万 hm² [12]。

1.2 调查方法

于 2016 年 5 月上旬在食芽象甲成虫为害盛期,选取佳县佳芦镇和通镇具有代表性的枣园样地 10 块进行调查,每块样地面积为 4~5 hm²,枣树品种为当地品种‘木枣’,树龄约 10~20 年,树高 2~3 m,栽植株行距为 2 m×4 m。调查采用 Z 字形取样法,每块样地选择 10 株树冠大小一致的枣树为一样方,每株枣树在树冠下层东、西、南、北四个方向各取 50 cm 长二次枝 1 枝,统计树枝上食芽象甲成虫数量。

1.3 测定方法

1.3.1 空间分布型

1.3.1.1 Iwao 回归分析法

采用 Iwao [13] 提出的生物种群空间分布方程: $m^* = \alpha + \beta m$,其中 m 为平均虫口密度, m^* 为种群平均拥挤度; α 为分布基本成分的平均拥挤度;当 $\alpha = 0$ 时,分布的基本成分为单个个体; $\alpha > 0$ 时,个体间相互吸引,分布的基本成分为个体群; $\alpha < 0$ 时,个体间相互排斥。 β 为基本成分的空间分布型; $\beta > 1$ 时为聚集分布; $\beta = 1$ 时为随机分布; $\beta < 1$ 时为均匀分布。

1.3.1.2 Taylor 幂法则

Taylor [14] 发现并提出平均虫口密度 (m) 与样本方差 (S^2) 的对数值之间存在如下回归关系式: $\lg S^2 = \lg \alpha + \beta \lg m$,其中 α 是一个与样本大小及计算方法相关的因子,受环境异质性影响; β 为聚集特征性指数,表示 m 增加时 S^2 的增长率。其中,当 $\lg \alpha = 0, \beta = 1$ 时,种群在任何密度下均为随机分布;当 $\lg \alpha >$

0, $\beta = 1$ 时,种群在任何密度下均为聚集分布,但聚集度不因种群密度的改变而变化;当 $\lg \alpha > 0, \beta > 1$ 时,种群在任何密度下均为聚集分布,聚集度随种群密度增加而增大;当 $\lg \alpha > 0, \beta < 1$ 时,种群密度越高,分布越均匀。

1.3.1.3 聚集度指标

计算每块枣园样地的食芽象甲成虫平均密度 m (头/株)和样本方差 S^2 ,采用以下 5 种常用指标测定食芽象甲成虫的空间分布型:聚块性指标 (m^*/m)、扩散系数 ($C = S^2/m$)、丛生指标 ($I = S^2/m - 1$)、Cassie 指标 ($C_A = (S^2 - m)/m^2$)、负二项分布值 ($K = m^2/(S^2 - m)$)。各指标取值范围与分布型的关系如表 1 所示 [15]。

表 1 聚集度指标取值范围与空间分布型的关系

Table 1 The relationships between the value range of aggregation indices and spatial distribution pattern

聚集度指标 Aggregation index	指标取值范围 Indices' value range		
	聚集分布 Aggregated distribution	随机分布 Random distribution	均匀分布 Uniform distribution
m^*/m	>1	$=1$	<1
C	>1	$=1$	<1
I	>0	$=0$	<0
C_A	>0	$=0$	<0
K	>0 and <8	≥ 8	<0

1.3.2 聚集原因分析

应用 Blackith [16] 种群聚集均数 (λ) 来分析食芽象甲成虫的聚集原因。方程为: $\lambda = m\gamma/2k$, m 为食芽象甲成虫平均密度, k 为负二项分布式中 K 值平均值, γ 为 χ^2 分布表中自由度为 $2k$ 时 $P = 0.5$ 概率值所对应的 χ^2 值。当 $\lambda < 2$ 时,其聚集是由于环境作用而不是由于昆虫本身的聚集习性引起;当 $\lambda \geq 2$ 时,其聚集是由于上述两种原因同时决定,或其中一个原因决定的。

1.3.3 理论抽样数

理论抽样数模型采用 Iwao 提出的理论抽样数计算公式: $n = (t^2/D^2)[(\alpha + 1)/m + \beta - 1]$,确定不同虫口密度时的最佳理论抽样数。其中 n 为最佳抽样数, m 为平均密度, t 为一定概率下的置信水平(当 $P = 95\%$ 时, $t = 1.96$), α, β 为 Iwao 回归模型中的截距和斜率, D 为允许误差值,通常取值为 0.1~0.3。

1.3.4 序贯抽样模型

采用 Iwao 提出的序贯抽样方程:

$$d_0 = nm_0 - t \sqrt{n[(\alpha + 1)m_0 + (\beta - 1)m_0^2]};$$

$d_1 = nm_0 + t \sqrt{n[(\alpha + 1)m_0 + (\beta - 1)m_0^2]}$

其中: n 为田间抽样数, m_0 为防治指标, d_0 和 d_1 分别为累积虫数的下限和上限计算值, t 为一定概率下的置信水平(当 $P=95\%$ 时, $t=1.96$)。

1.4 数据统计分析

试验所获数据均由统计分析软件 SPSS(22.0)处理。

2 结果与分析

2.1 食芽象甲成虫的空间分布型

从食芽象甲的虫口密度来看,10 块样地均受到

不同程度的成虫危害,其中样地 1 的成虫密度最高,达到 26.3 头/株,样地 2 次之,17.8 头/株,密度最低的是样地 7,为 1.9 头/株。从枣树受害株率来看,样地 1 和样地 4 的受害率最高,达到了 100.0%,样地 3、7、9、10 的受害率最低,也都达到了 70.0%,10 块样地的枣树平均受害率为 84.0%(表 2),说明佳县枣园受食芽象甲为害非常严重。

由表 2 可知食芽象甲成虫在 10 块样地中 $I > 0, 0 < K < 8, C_A > 0, C > 1, m^*/m > 1$,由此可以判定食芽象甲成虫在枣园中为聚集分布。

表 2 食芽象甲成虫空间分布聚集度指标
Table 2 The aggregation indices of *Scythropus yasumatsui* adults

样地号 Plot no.	受害率/% Injury rate	m	S^2	m^*	I	K	C_A	C	m^*/m	空间分布型 Spatial distribution
1	100.0	26.3	210.81	33.32	7.016	3.749	0.267	8.016	1.267	聚集 Aggregated
2	90.0	17.8	129.56	24.08	6.279	2.835	0.353	7.279	1.353	聚集 Aggregated
3	70.0	9.1	85.09	17.45	8.351	1.090	0.918	9.351	1.918	聚集 Aggregated
4	100.0	8.9	41.89	12.61	3.707	2.401	0.416	4.707	1.416	聚集 Aggregated
5	90.0	3.8	16.36	7.11	3.305	1.150	0.870	4.305	1.870	聚集 Aggregated
6	90.0	4.9	17.09	7.39	2.488	1.970	0.508	3.488	1.508	聚集 Aggregated
7	70.0	1.9	4.89	3.47	1.574	1.207	0.828	2.574	1.828	聚集 Aggregated
8	90.0	3.9	6.69	4.62	0.715	5.452	0.183	1.715	1.183	聚集 Aggregated
9	70.0	3.4	6.04	4.18	0.776	4.379	0.228	1.776	1.228	聚集 Aggregated
10	70.0	2.7	7.41	4.44	1.744	1.548	0.646	2.744	1.646	聚集 Aggregated

按照 Iwao 法, m^*-m 的回归方程式为 $m^* = \alpha + \beta m$,根据 10 块样地统计结果求得回归方程式: $m^* = 1.453 + 1.259 1m$ ($R^2 = 0.968 7$)。式中, $\alpha = 1.453 > 0$,表明食芽象甲成虫个体间相互吸引,分布的基本成分为个体群; $\beta = 1.259 1 > 1$,表明其基本成分呈聚集分布,且符合负二项分布(图 1)。按照 Taylor 幂法则 $\lg S^2 = \lg \alpha + \beta \lg m$,求得回归方程式: $\lg S^2 = 0.146 2 + 1.580 3 \lg m$ ($R^2 = 0.932 3$)。式中, $\lg \alpha = 0.146 2$,则 $\alpha = 1.40, \beta = 1.580 3 > 1$,说明成虫为聚集分布,聚集强度随种群密度升高而增加(图 2)。

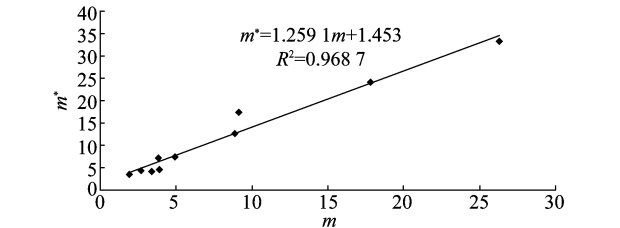


图 1 食芽象甲成虫平均密度 m 和平均拥挤度 m^* 之间的关系
Fig. 1 Relationships between population density (m) and mean crowding (m^*) of *Scythropus yasumatsui* adults

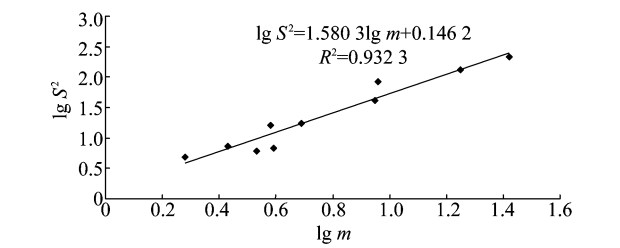


图 2 食芽象甲成虫虫口密度 m 和方差 S^2 之间的关系
Fig. 2 Relationships between population density (m) and variance (S^2) of *Scythropus yasumatsui* adults

2.2 食芽象甲成虫聚集因素分析

利用 1.3.2 中方程计算出 10 块样地的种群聚集均数及平均值,如表 3 所示。各样地的聚集均数与成虫密度变化一致,除样地 7 外,其他样地 λ 都大于 2,表明食芽象甲成虫种群聚集分布特征是由它自身聚集习性和环境因素两种因素共同作用引起的。当成虫密度在 2 头/株以下时,其聚集由环境因素决定,分析原因可能由于枣树处于萌芽阶段,食芽象甲成虫倾向于在萌芽量较大的枝条上活动,所以其聚集原因主要与枣芽的空间分布有关。

表 3 食芽象甲成虫种群聚集均数

Table 3 Population aggregation value of *Scythropus yasumatsui* adults

指标 Index	样地号 Plot no.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>m</i>	26.3	17.8	9.1	8.9	3.8	4.9	1.9	3.9	3.4	2.7
2 <i>k</i>	7.50	5.67	2.18	4.80	2.30	3.94	2.41	10.90	8.76	3.10
<i>γ</i>	6.95	5.15	1.72	4.30	1.83	3.45	1.95	10.30	8.19	2.62
<i>λ</i>	24.38	16.18	7.17	7.97	3.03	4.29	1.53	3.69	3.18	2.28

2.3 食芽象甲成虫在枣园的水平分布

枣树树冠不同方位食芽象甲成虫每株虫量与所占百分率见表 4。由表 4 可知,食芽象甲在调查样地的枣树树冠东、南、西、北 4 个方位的分布差异不显著。枣树树冠南面虫量分布最多,虫口密度为 24.3 头/样方,所占百分率达到 29.4%,东面次之,百分比为 26.1%,北面虫量最少,只占 21.6%。可见食芽象甲具有趋光性,光照因素对其在枣园的水平分布聚集有一定影响。

2.4 食芽象甲成虫理论抽样数

分别将 $Iwao\ m^*-m$ 回归模型中 2 个系数 α 和 β 带入最适理论抽样数模型中,得出枣园食芽象甲成虫最适理论抽样公式为: $N = t^2(2.453/m + 0.2591)/D^2$ 。将 $t=1.96$ 代入公式,可求得食芽象甲成虫在枣园中不同密度(m)下的理论抽样数。在

同一允许误差值下,随着成虫平均虫口密度增大,所需抽样数逐渐减少(表 5)。

表 4 枣树不同方位食芽象甲成虫虫口密度及所占百分率¹⁾

Table 4 Population density and percentage of *Scythropus yasumatsui* adults in different directions of jujube trees

树冠方位 Crown direction	成虫密度/头·样方 ⁻¹ Population density	占比/% Percentage
东 East	21.6 a	26.1
南 South	24.3 a	29.4
西 West	18.9 a	22.9
北 North	17.9 a	21.6

1) 表中同列数据后标有相同小写字母表示差异不显著(Duncan's 多重比较法, $P>0.05$)。
Data in the same column followed by the same lowercase letters indicate no significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test ($P>0.05$).

表 5 食芽象甲成虫不同虫口密度最适抽样数

Table 5 Optimum sampling number of *Scythropus yasumatsui* adults at different population densities

允许误差 <i>D</i> Opposite difference	不同密度下最适抽样数/头 Population density of adults									
	5 头/株	10 头/株	15 头/株	20 头/株	25 头/株	30 头/株	35 头/株	40 头/株	45 头/株	50 头/株
0.1	288	194	162	147	137	131	126	123	120	118
0.2	72	48	41	37	34	33	32	31	30	30
0.3	32	22	18	16	15	15	14	14	13	13

2.5 食芽象甲成虫序贯抽样及防治指标

根据食芽象甲成虫每年的发生情况及造成的危害,将防治指标(m_0)分别设为 5~30 头/株,将 α 、 β 、 t 值代入得: $d_0 = nm_0 - 1.96 \sqrt{n[2.453m_0 + 0.2591m_0^2]}$; $d_1 = nm_0 + 1.96 \sqrt{n[2.453m_0 + 0.2591m_0^2]}$ 。根据不同的取样数计算出相应的累积虫口数的上下限值,可得序贯抽样表(表 6)。在实际应用中,当 $m_0=30$ 头/株时,如果调查枣树株数 $n=10$,当累积虫口数超过 409 头时,需采取措施及时进行防治;当低于 191 头时,则不需防治;当介于两者之间时,则需继续进行调查,根据情况确定是否采取防治措施。

3 讨论

昆虫的空间分布格局是昆虫种群的重要属性

之一,由昆虫的生物学特性和环境条件所决定,能够反映昆虫在寄主植物和非生物环境影响下空间需求的内在生物学特性^[17]。研究昆虫种群空间格局有助于了解昆虫的种群特性和环境因素对其的影响,揭示种群个体在空间的分布状况,为确定抽样技术、种群消长趋势、预测预报及害虫综合防治策略提供理论依据^[13-14]。本研究结果表明,食芽象甲成虫的空间分布型为聚集分布,个体间相互吸引,分布的基本成分为个体群,其聚集性随密度的增大而增加,这与其幼虫的空间分布格局是一致的^[4,11],也与稻水象甲成虫^[18]、茶丽纹象甲成虫^[19]、稻象甲成虫^[20-21]等象甲科成虫相同,证明象甲本身具有聚集习性。

表 6 食芽象甲成虫序贯抽样表

Table 6 Sequential sampling table of *Scythropus yasumatsui* adults

$m_0/\text{头}\cdot\text{株}^{-1}$		不同调查株数的累积虫口数/头 Accumulated number of adults									
m_0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	d_0	0	0	0	3	6	9	13	16	20	23
	d_1	13	22	30	37	44	51	57	64	70	77
10	d_0	0	0	6	12	19	26	33	41	48	56
	d_1	24	40	54	68	81	94	107	119	132	144
15	d_0	0	3	12	22	32	43	54	66	78	90
	d_1	34	57	78	98	118	137	156	174	192	210
20	d_0	0	6	18	32	46	61	76	91	107	123
	d_1	44	74	102	128	154	179	204	229	253	277
25	d_0	0	9	24	41	60	78	98	117	137	157
	d_1	54	91	126	159	190	222	252	283	313	343
30	d_0	0	11	31	51	73	96	119	143	167	191
	d_1	64	109	149	189	227	264	301	337	373	409

通过研究表明,不同样地的食芽象甲成虫发生为害程度差异较大,这与不同样地的环境差异有关。我们通过实地调查发现,在如下几种条件下食芽象甲成虫的密度具有明显差异:(1)在山地枣园的向阳面处由于光热条件较好,枣树发芽较早,食芽象甲成虫的虫口密度较背阴面高;(2)食芽象甲成虫具有一定的顺风迁移习性,因而在山地迎风坡处成虫易聚集;(3)成虫在山地枣园的虫口密度高于黄河滩地枣园,可能与山地地势高燥、空气湿度较低有关;(4)成虫具有取食枣树嫩芽的习性,在树龄 10~20 年的枣树上虫口密度较大,而在树龄超过 50 年的枣树上为害较轻。这些调查结果表明,食芽象甲成虫的空间分布是由成虫本身的习性和温度、光照、湿度、地形等多种环境因素共同作用的^[22],这也与本研究得出的成虫种群聚集均数 $\lambda > 2$ 的结果相一致。根据往年调查经验表明,食芽象甲成虫在垂直方位上的分布差异不大,即成虫在枣树树冠上层和中层各水平方位上虫口数量与下层相比没有显著差异,因此仅通过调查枣树树冠下层枝条上的成虫数量即可代表整个树冠上成虫的分布情况。通过研究食芽象甲成虫在不同方位的水平分布特征可以得出结论,食芽象甲成虫具有一定的趋光性,其在东、南方位的分布数量多于西、北方位,关于其他环境因子对食芽象甲成虫空间分布的具体作用,仍需今后进一步研究。

目前,防治食芽象甲的适期一般在成虫期,因此确定成虫的空间分布型和抽样方法对于害虫的预测预报及防治非常必要。本研究通过 Iwao 理论抽样数和序贯抽样模型,确定了食芽象甲成虫的最适理论抽样数、序贯抽样方程及防治指标。研究结果表

明,在同一允许误差值下,食芽象甲成虫在枣园中不同密度(m)下的理论抽样数随着成虫平均虫口密度增大,所需抽样数逐渐减少。因此,可在调查抽样前估计枣园成虫虫口密度,根据虫口密度判断需要抽样的枣树株数。使用建立好的序贯抽样模型,可以计算出不同防治指标所需调查成虫数量的上下限,用于指导食芽象甲成虫的防治,可节约大量人力物力,提高防治效果,这对于食芽象甲的田间测报及防治策略的制定具有重要意义。

参考文献

[1] 白岗栓,蔡英,杨宝生,等. 枣芽象甲的综合防治[J]. 山西果树, 2009(2): 51-52.

[2] 张华普,沈瑞清,康萍芝. 食芽象甲在宁夏枣园的发生危害及风险分析[J]. 中国果树,2015(2): 80-82.

[3] 张泽勇,同春艳. 枣树食芽象甲在河北献县的发生规律与防治技术[J]. 果树实用技术与信息,2011(2): 35.

[4] 黄维正,李东成. 枣飞象越冬幼虫空间分布格局的研究[J]. 昆虫知识,1993(6): 348-350.

[5] 贾增波,刘启雄,刘鸿源. 枣芽象甲生活习性初步观察及其防治[J]. 甘肃林业科技,1991(2): 49-50.

[6] 唐学亮,赵宏志,张学武. 陕北枣树食芽象甲防治技术研究[J]. 陕西林业科技,2013(4): 131-132.

[7] 胡维平,梁廷康. 枣飞象的预测预报及防治[J]. 山西农业, 2008(1):41.

[8] 张锋,洪波,李英梅,等. 枣食芽象甲测报与防治[J]. 西北园艺,2016(10): 32-33.

[9] 任登州,齐向英. 陕北地区枣食芽象甲防治初探[J]. 河北农业科学,2009,13(6): 40-41.

[10] 张锋,洪波,申健,等. 不同杀虫剂对枣食芽象甲室内毒力和田间防治效果[J]. 陕西农业科学,2015,61(12): 56-58.

学院学报, 1994, 8:47-52.

- [13] 蔡贤如, 高丰清. Logistic 方程参数优化估计方法研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1995, 26(1):64-67.
- [14] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京:科学出版社, 1994:329-332.
- [15] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002:217-220.
- [16] 李典谟, 王莽莽. 快速估计发育起点及有效积温法的研究[J]. 昆虫知识, 1986, 23(4):184-187.
- [17] 杜艳丽, 郭洪梅, 孙淑玲, 等. 温度对桃蛀螟生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2012, 55(5):561-569.
- [18] 丁尧, 杨群芳, 李庆, 等. 温度对微小花蝽生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2016, 59(6):647-653.
- [19] 盛祥耀. 高等数学(上)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 106-107.

- [20] 岳健, 何嘉, 张蓉, 等. 多异瓢虫的发育与温度的关系[J]. 昆虫知识, 2009, 46(4):605-609.
- [21] 陈亚丽, 阿地力·沙塔尔, 喻峰, 等. 榆黄毛蚨叶甲的发育起点温度与有效积温的测定[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 185-190.
- [22] 张连翔, 刘朝晖. 常温下昆虫发育速率温度效应的“S”形关系中最适温区的定量确定方法[J]. 辽宁林业科技, 1993(3):31-34.
- [23] 李迎洁, 王梓英, 张国豪, 等. 温度对柑橘始叶螨实验种群生长发育繁殖的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(4):862-868.
- [24] 唐业忠, 朱建国, 况荣平. 发育起点温度的概念和应用问题[J]. 生态学杂志, 1993, 12(6):70-72.
- [25] 刘树生. 昆虫发育速率与温度的关系研究[J]. 科技通报, 1986, 2(5):25-27.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 112 页)

- [2] 薛明, 康俊水, 于晓, 等. 草坪害虫淡剑蛱夜蛾生物学及防治技术的研究[J]. 华东昆虫学报, 2002, 11(1): 68-72.
- [3] 黄东林, 徐忠明, 李建华, 等. 淡剑纹灰翅夜蛾存活发育与繁殖力的初步研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 25(1):73-75.
- [4] 黄东林, 蒋芳敏, 徐波, 等. 狗牙根、白花三叶草对淡剑纹灰翅夜蛾生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫知识, 2007, 44(4):527-530.
- [5] 黄东林, 许慧卿. 淡剑纹灰翅夜蛾实验种群生命表[J]. 江苏农业学报, 2004, 20(3):164-168.
- [6] 张宏, 万晓泳, 祝树德. 温度对园林害虫淡剑灰翅夜蛾种群的影响[C]//程家安. 城市害虫综合治理进展——全国第七届城市昆虫学术研讨会论文集. 杭州:浙江大学出版社, 2005:148-151.
- [7] 吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 等. 粘虫的年龄-发育期结构生命表[J]. 昆虫学报, 1994, 37(4):426-434.
- [8] Chi H, Liu H. Two new methods for the study of insect popu-

lation ecology [J]. Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica, 1985, 24(2): 225-240.

- [9] Chi Hsin. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals[J]. Environmental Entomology, 1988, 17(1): 26-34.
- [10] Chi H. Computer program for the age-stage, two-sex life table analysis [DB/OL]. National Chung Hsing University, Taichung Taiwan. <http://140.120.197.173/Ecology/Download/Two-sex-MSChart.rar/>. 2016.
- [11] Huang Y B, Chi H. Life table of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: tephritidae); with an invalidation of the jackknife technique [J]. Journal of Applied Entomology, 2013, 137(5):327-339.
- [12] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 117 页)

- [11] 阎雄飞, 李刚, 刘永华, 等. 枣食芽象甲越冬幼虫空间分布型和抽样技术研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(31): 285-289.
- [12] 佳县地方志编纂委员会. 佳县志[M]. 西安:陕西旅游出版社, 2008:35-36.
- [13] Iwao S. Application of the $M^* - M$ method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size [J]. Researches on Population Ecology, 1972(14): 97-128.
- [14] Taylor L R, Woiwod I P, Perry J N. The density-dependence of spatial behavior and the rarity of randomness [J]. Journal of Animal Ecology, 1978(47): 383-406.
- [15] 兰星平. 种群聚集度指标回归模型群在检验昆虫种群空间分布型中的应用[J]. 贵州林业科技, 1995, 23(1): 40-52.
- [16] Blackith R E. Nearest-neighbour distance measurements for the estimation of animal populations [J]. Ecology, 1958(39): 147-150.

- [17] 李哲, 季荣, 谢宝瑜, 等. 论昆虫空间生态学研究[J]. 昆虫知识, 2004, 40(1): 1-6.
- [18] 曲辉, 李腾友, 江冬, 等. 辽宁省稻水象甲成虫的空间分布型及抽样方法的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(1): 30-33.
- [19] 朱俊庆, 商建农, 郭敏明. 茶丽纹象甲空间分布型及抽样技术的研究[J]. 昆虫知识, 1988(5): 277-280.
- [20] 周崇和, 魏余煌. 稻象甲成虫空间格局参数特征及其应用[J]. 昆虫知识, 1990(5): 271-274.
- [21] 黄水金, 章根平, 裴润根, 等. 稻象甲成虫空间分布型的研究[J]. 江西农业学报, 2000, 12(4): 30-35.
- [22] 丁岩钦. 昆虫种群生态学原理与方法[M]. 北京:科学出版社, 1980: 22-57.

(责任编辑: 田 喆)