

苏佳,包芳,王桂萍,等.甘草根部新害虫凯纹透翅蛾的空间分布型及抽样技术[J].山西农业科学,2025,53(3):107-113.

SU J, BAO F, WANG G P, et al. Spatial distribution patterns and sampling techniques of a new pest *Bembecia kaszabi* in licorice roots[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(3): 107-113.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.03.13

甘草根部新害虫凯纹透翅蛾的空间分布型及抽样技术

苏佳¹,包芳²,王桂萍³,宋忠兴⁴,刘海港³,
唐志书^{4,5},刘莎³,谭瑶¹,于毅³

(1.内蒙古农业大学草原昆虫研究中心,内蒙古呼和浩特 010010;2.中国中药有限公司,北京 100195;3.山东省农业科学院植物保护研究所,山东 济南 250100;4.陕西中医药大学,陕西 咸阳 712083;5.中国中医科学院,北京 100700)

摘要:为了明确凯纹透翅蛾幼虫在甘草根部的为害及其空间分布型和理论抽样技术,为科学开展该害虫的虫口调查和防治工作提供技术支撑,试验采用6种聚集度指数(C 、 Ca 、 I 、 m^* 、 m^*/m 、 k)、Iwao回归分析法和Taylor幂法则分析研究了甘草根部凯纹透翅蛾幼虫的空间分布型,应用Iwao理论抽样和序贯抽样技术,计算了Blackith聚集平均值 λ ,分析了凯纹透翅蛾幼虫种群聚集的原因,建立甘草根部凯纹透翅蛾幼虫田间调查的理论取样数量和序贯抽样模型。结果表明,凯纹透翅蛾幼虫对不同年生甘草的危害率为4.83%~43.00%,平均虫口密度为0.02~1.75头/株。凯纹透翅蛾幼虫在甘草田间的空间分布模式总体上呈聚集分布,分布的基本成分为个体群,且个体间相互吸引,受种群密度的影响较大,随着种群密度的上升,其聚集的程度也逐渐增强,聚集原因是由环境条件和其固有特性共同作用的结果。进一步分析提出了不同种群密度下凯纹透翅蛾幼虫的理论抽样模型和基于防治指标的序贯抽样技术。

关键词:甘草;凯纹透翅蛾;幼虫;Iwao回归分析法;Taylor幂法则;空间分布型;抽样技术

中图分类号:S435.67 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2481(2025)03-0107-07

Spatial Distribution Patterns and Sampling Techniques of a New Pest *Bembecia kaszabi* in Licorice Roots

SU Jia¹, BAO Fang², WANG Guiping³, SONG Zhongxing⁴, LIU Haigang³,
TANG Zhishu^{4,5}, LIU Sha³, TAN Yao¹, YU Yi³

(1.Grassland Insect Research Center, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China;
2.China Traditional Chinese Medicine Co., Ltd., Beijing 100195, China; 3.Institute of Plant Protection,
Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan 250100, China; 4.Shaanxi University of Chinese Medicine,
Xianyang 712083, China; 5.China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

Abstract: In order to clarify the infestation and spatial distribution pattern of *Bembecia kaszabi* larvae in licorice roots and the theoretical sampling technique, provide technical support for the scientific population survey and control of the pest., in this study, the spatial distribution pattern of the *Bembecia kaszabi* larvae in licorice roots was investigated by using six aggregation indices(C , Ca , I , m^* , m^*/m , and k), the Iwao regression analysis method, and Taylor's power law, and the theoretical and sequential sampling techniques of Iwao were applied to calculate the Blackith's aggregation mean value λ , the reasons for the aggregation of the *Bembecia kaszabi* larvae were analyzed, and a theoretical sampling number and sequential sampling model for the field survey of the *Bembecia kaszabi* larvae in the roots of licorice was established. The results showed that the infestation rate of the *Bembecia kaszabi* larvae on different annual licorice ranged from 4.83% to 43.00%, and the average population density ranged from 0.02 to 1.75 head/plant. The spatial distribution pattern of the *Bembecia kaszabi* larvae in the

收稿日期:2024-06-07

基金项目:国家中药材产业技术体系建设专项(CARS-21);内蒙古自治区重大科技专项(2019ZD005)

作者简介:苏佳,在读硕士,研究方向:中药材害虫发生与治理,E-mail:sj18804780342@163.com

通信作者:谭瑶,副教授,主要从事草地昆虫适应性机制研究,E-mail:850310.tanhuaf4@163.com

于毅,研究员,主要从事农业昆虫与害虫防治研究,E-mail:robertyuyi@163.com

licorice field was generally aggregated, and the basic components of the distribution were groups of individuals, which were attracted to each other, and were greatly affected by the population density, and the degree of aggregation gradually increased with the increase of the population density, and the reason for the aggregation was a result of the joint action of the environmental conditions and the inherent characteristics of the larvae. The theoretical sampling model and the sequential sampling technique based on the control index for the *Bembecia kaszabi* larvae under different population densities were further analyzed and proposed.

Keywords: licorice; *Bembecia kaszabi*; larvae; the Iwao regression analysis method; Taylor's power law; spatial distribution pattern; sampling technique

甘草 (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) 是一种在全球范围内被广泛种植的多年生豆科植物,同时也是在临床上经常见到的主要药材^[1],还是沙漠里优良的固沙植物^[2-3],具有耐旱、抗盐碱等优良属性^[4]。甘草在我国的西北部有着广泛的生长,甘肃、内蒙古和新疆是主要产区。自 20 世纪 80 年代以来,无节制的甘草开采导致甘草自然资源急剧下降,生态环境遭到严重破坏,鉴于此,甘肃、新疆、内蒙古和宁夏等地区开始大力推广甘草的大规模人工种植,由于天然野生资源越来越少,加之近年来国家对“三北”防护林体系建设的高度重视,使得人工种植甘草成为解决当地农民增收致富的一条重要途径。随着人工种植甘草的面积逐步扩大,病虫害的发病情况也逐步严重^[5-7]。

笔者于 2023 年 6 月初至 8 月底对甘肃民勤县国药中药种子繁育基地 8 年生甘草地地下害虫进行调查,发现了一种新的蛀茎害虫。经过鉴定,该害虫被确认为凯纹透翅蛾 (*Bembecia kaszabi*)。然而,至今在国内还没有关于它对甘草造成危害的记录,首次在甘草上发现危害。凯纹透翅蛾隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 透翅蛾科 (Sesiidae) 透翅蛾属,主要以幼虫危害 3 年生以上甘草,幼虫蛀入根部,蛀食髓部,在韧皮部和木质部间蛀食形成孔道,使受害植株根茎衰弱,其地上部叶片变黄枯萎,产量和品质下降,严重时导致整株死亡。因危害部位隐蔽,不易发现,且防治难度大,常常对甘草保护和利用造成严重损失。

害虫种群在空间上的分布具有一个明显特点,常被用于研究害虫的出现、扩散趋势等,对于抽样技术、预测预报、科学防治等具有重要意义^[8]。因此,对害虫的种群进行空间格局分析变得至关重要。在当前研究害虫空间分布时,主要使用了聚集度指标和回归模型这 2 种方法^[9]。但是,关于凯纹透翅蛾在甘草根部的空间分布模式和抽样方法,目前还没有相关的研究报告。

本研究旨在通过对该害虫的空间分布模式进行详细调查和研究,以深入了解其种群的空间结构和特性,将有助于明确该害虫幼虫在种群中的空间分布模式,从而为抽样技术提供坚实的理论基础,为凯纹透翅蛾的预测预报和控制策略提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2023 年 6 月初至 8 月底进行,试验地位于甘肃省武威市民勤县国药中药种子繁育基地 (38°37'N, 102°35'E),民勤县位于河西走廊的东端北部和石羊河流域的下游地区,属温带大陆性干旱气候。该县的东、西、北三面被腾格里和巴丹吉林两大沙漠所环绕。大陆性沙漠气候特点明显,降水量相对较少,光照充足,昼夜温差大。年平均降水量为 127.7 mm,年平均蒸发量为 2 623.0 mm,昼夜温差为 15.5℃,平均气温为 8.3℃,日照时数为 3 073.5 h,无霜期为 160 d。

1.2 调查方法

选取虫口密度大、有代表性的样地 6 块进行空间分布型调查,分别编号为 A、B、C、D、E、F,调查植株为 8 年生甘草,每块样地面积为 120 m²即为 1 个小区,共 6 个小区,每小区棋盘式 10 点取样,每点随机选取 10 株,共取样 100 株。每个样点大小为 1 m²,深 20~30 cm (为害部位是甘草根冠部),人工进行采挖取样,详细记录每株甘草透翅蛾幼虫的虫口数量。对 1 年生、3 年生、5 年生、10 年生甘草进行调查,记录虫口数量和被害株数,计算虫口密度和危害率。采用常规田间管理方法对植株进行大田管理。

$$\text{虫口密度} = \frac{\text{总虫数}}{\text{调查总面积}} \quad (1)$$

$$\text{危害率} = \frac{\text{样点被害株数}}{\text{样点总株数}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3 空间分布分析方法

1.3.1 聚集度指标法 根据调查数据,计算各个样地的幼虫平均数量 (m) 和方差 (S^2),在此基础上对

各种聚集度指标进行详细计算和分析,以揭示凯纹透翅蛾幼虫在空间上的分布模式(表1)^[10]。

表1 聚集度指标计算公式和评判依据
Tab.1 Aggregation index calculation formula and judgment basis

聚集度指标 Aggregation index	计算公式 Calculation formula	判别标准 Discrimination criterion		
		均匀分布 Uniform distribution	聚集分布 Aggregation distribution	随机分布 Randomized distribution
扩散系数(C) Diffusion coefficient	$C=S^2/m$	$C<1$	$C>1$	$C=1$
负二项式分布中的K指标 Negative binomial distribution K-value	$K=m^2/(S^2-m)$	$K<0$	$0\leq K<8$	$K\rightarrow +\infty$
丛生指数(I) Bunchiness index	$I=(S^2/m)-1$	$I<0$	$I>0$	$I=0$
平均拥挤度(m^*) Average crowding	$m^*=m+(S^2/m)-1$	$m^*<1$	$m^*>1$	$m^*=1$
聚块性指数(m^*/m) Patchiness index	$m^*/m=1+(S^2-m)/m^2$	$m^*/m<1$	$m^*/m>1$	$m^*/m=1$
久野指数(Ca) Clumping index	$Ca=(S^2-m)/m^2$	$Ca<0$	$Ca>0$	$Ca=0$

1.3.2 分布型的检验法回归模型

1.3.2.1 Iwao的 m^*-m 回归法^[11] 根据Iwao的回归公式 $m^*=\alpha+\beta m$,通过分析 α 和 β 这2个参数,研究种群的分布模式及个体间的相互作用情况。

若 $\alpha>0$,表示个体相互吸引;若 $\alpha=0$,表示单独个体分布;若 $\alpha<0$,表示个体相互排斥; β 表征基本元素的空间分布方式,若 $\beta>1$ 则呈现聚集分布;若 $\beta<1$ 则表现均匀分布;若 $\beta=1$ 则表现随机分布。 α 和 β 不同的组合揭示了种群不同分布形态的联系;若 $\alpha>0, \beta=1$ 或 $\alpha=0, \beta>1$ 或 $\alpha>0, \beta>1$ 则为聚集分布;若 $\alpha=0, \beta=1$ 则为随机分布^[11]。

1.3.2.2 Taylor幂法则^[12] 根据Taylor的回归公式计算。

$$\lg S^2 = \lg a + b \lg m \quad (3)$$

式中, b 表示密度依赖性的度量,若 $\lg a$ 大于0,且 $b<1$,则为聚集分布,可以说明种群聚集度受密度影响;在 $\lg a<0$ 的情况下,如果 $b<1$,则表示均匀分布,种群密度增大,分布更加均匀;而当 $\lg a=0, b=1$ 时,种群呈现随机分布;若 $\lg a>0, b=1$,则表示聚集分布,此时种群的聚集程度不会受密度的影响^[12]。

1.4 聚集原因分析

运用Blackith种群聚集均数(λ)解析聚集的原因。

$$\lambda = m\gamma/2K \quad (4)$$

式中, m 指虫口密度均值, K 表示负二项分布指数值, γ 即以 $2K$ 自由度、0.5概率对应的 χ^2 值,若 $2K$ 为非整数,在线性内插法下求得^[13]。若 $\lambda<2$,则意味着聚集度受环境因素引起; $\lambda\geq 2$,则代表聚集程度是由于昆虫自身行为习性与环境因素之综合影响^[14-15]。

1.5 理论抽样数的确定

1.5.1 理论抽样技术 采用Iwao提出的方法,计算出该种幼虫在不同允许误差下不同虫口密度的最适理论抽样数。

$$n = (t/D)^2((\alpha+1)/m + \beta - 1) \quad (5)$$

式中, n 表示理论抽样量, $t=1.96$ (在95%可靠概率下的正态离差值), D 为误差允许值,取 $D=0.1, 0.2, 0.3$, α 和 β 对应于Iwao线性回归模型参数^[14-15]。

1.5.2 序贯抽样技术 根据Iwao提出的序贯抽样决策模型公式。

$$T(n) = nm_0 \pm t \sqrt{n((\alpha+1)m_0 + (\beta-1)m_0^2)} \quad (6)$$

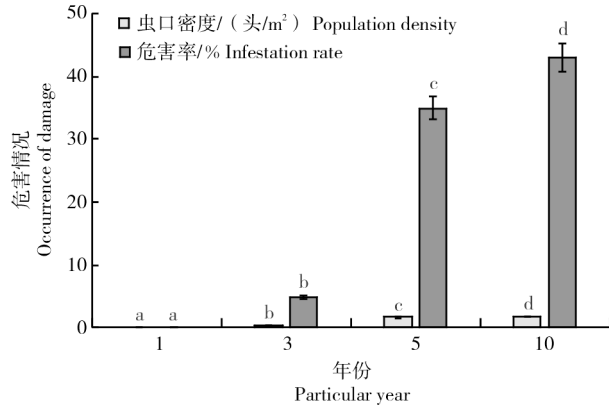
式中, $T(n)$ 表示理论抽样数的上下限, n 表示田间累积抽样次数,种群密度 m_0 达到防治指标,对应分布值 t 在特定置信水平下, α 和 β 是Iwao线性回归模型参数。抽样时,虫口数量低于下限,表示种群密度低于防治指标;若幼虫口数超过设定上限,说明种群密度超过防治标准;幼虫口数在上下限之间需要继续取样^[14-15]。

2 结果与分析

2.1 凯纹透翅蛾幼虫对不同种植年限甘草的田间危害

该害虫主要在荒漠沙地甘草中发生,且种植年限越久的种植区地块危害最为严重。根据调查1年生、3年生、5年生和10年生人工种植甘草田来看(图1),1年生甘草的虫口密度和危害率均为0;3年生的分别为0.02头/m²和4.83%;5年生的分别为1.6头/m²和35%;10年生的分别为1.75头/m²

和 43%。差异性分析结果显示,1 年生、3 年生、5 年生、10 年生人工种植甘草该害虫的虫口密度和危害率差异均达显著水平($P < 0.05$)。人工种植甘草年限越长则该害虫虫口数量越多,对人工种植甘草的危害则越大。



不同小写字母表示不同年生甘草间在 0.05 水平差异显著
The different lowercase letters represented a significant difference in pest number in different annual licorice at the 0.05 level

图 1 不同年生甘草凯纹透翅蛾幼虫的发生危害情况
Fig.1 Occurrence of damage of *Bembecia kaszabi* larvae in different ages of licorice

2.2 甘草田凯纹透翅蛾幼虫的空间分布型

当虫口为 0、1、2、3 头/株时,进行各样地田间田间频次分布调查(表 2)。依据表 2 频次分布表,分别统计出各样地的平均数及方差(表 3)。

表 2 凯纹透翅蛾幼虫频次分布统计

Tab.2 Statistics of the frequency distribution of *Bembecia kaszabi* larvae

样地号 Sample number	抽样数/株 Sampling quantity	虫口/(头/株) Insect			
		0	1	2	3
1	100	83	15	2	0
2	100	87	12	1	0
3	100	89	10	1	0
4	100	83	17	0	0
5	100	77	22	1	0
6	100	79	19	2	0

表 3 各样地平均数及方差

Tab.3 Mean and variance of each sampling site

样地号 Sample number	抽样数/株 Sampling quantity	凯纹透翅蛾幼虫 <i>Bembecia kaszabi</i> larvae			
		平均数 Mean	方差 Variance	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
1	100	0.19	2.338 5	1.529 2	7.790 5
2	100	0.14	1.555 6	1.247 3	8.860 3
3	100	0.11	1.013 8	1.006 9	9.049 4
4	100	0.17	2.832 5	1.685 4	9.850 3
5	100	0.24	4.766 0	2.182 4	9.123 3
6	100	0.23	3.665 3	1.914 3	8.290 3

2.2.1 空间分布的聚集度指标分析 采用 6 种聚集度指标判定空间分布模式,如表 4 所示,调查样地内的聚集度指标分别为 $C > 1, Ca > 1, I > 1, m^* > 1, m^*/m > 1$, 并且 $0 \leq K < 8$, 表明该地下害虫在田间甘草地下根部呈聚集性分布。

表 4 甘草田凯纹透翅蛾幼虫的各项聚集度指标

Tab.4 Indexes of aggregation of *Bembecia kaszabi* larvae in licorice fields

样地号 Sample number	扩散系数 C Diffusion coefficient	K 指标 K-value	I 指标 I-value	拥挤度 (m^*) Crowding degree	m^*/m 指标 m^*/m value	Ca 指标 Ca-value	分布型 Distribution pattern
1	12.307 9	0.016 8	11.307 9	11.497 9	60.515 2	59.515 2	聚集分布
2	11.111 4	0.013 8	10.111 4	10.251 4	73.224 3	72.224 5	聚集分布
3	9.216 4	0.013 4	8.216 4	8.326 4	75.694 5	74.694 2	聚集分布
4	16.661 8	0.010 9	15.661 8	15.831 8	93.128 2	92.128 0	聚集分布
5	19.858 3	0.012 7	18.858 3	19.098 3	79.576 3	78.576 4	聚集分布
6	15.936 1	0.015 4	14.936 1	15.166 1	65.939 6	64.939 5	聚集分布
平均 Mean	14.182 0	0.013 8	13.182 0	13.362 0	74.679 7	73.679 6	聚集分布

2.2.2 空间分布的回归模型分析 根据 6 个样地的数据,计算出相应的平均拥挤度 (m^*) 和平均密度 (m), 并建立了 Iwao m^*-m 回归方程(表 5): $m^* = 1.156 + 67.809m$ 。其中, $\alpha = 1.156 > 0$, 表现为个体间的相互吸引现象; $\beta = 67.809 > 1$, 表现为空

间分布的聚集趋势。 $\alpha > 0, \beta > 1$, 表明甘草田中凯纹透翅蛾幼虫的空间格局基本上由个体群体构成, 种群分布呈现聚集分布。 Taylor 幂法则: 根据 6 个样地的数据, 计算出 $\lg S^2$ 和 $\lg m$, 建立对数回归方程(表 5): $\lg S^2 = 62.902 + 1.868 \lg m$ 。由于 $\lg a =$

62.902>0, $b=1.868$ $1>1$, 因此, 发现凯纹透翅蛾 度相关。
幼虫种群的空间分布是聚集的, 其聚集程度与密

表5 甘草田凯纹透翅蛾幼虫的聚集度指标回归模型

Tab.5 Regression modeling of aggregation of *Bembecia kaszabi* larvae in licorice fields

模型名称 Model name	模型 Model	回归方程 Regression equation	分布型 Distribution pattern	相关系数 Correlation coefficient
Iwao m^*-m 回归模型 Iwao m^*-m regression model	$m^*=\alpha+\beta m$	$m^*=1.156+67.809m$	聚集分布	0.854
Taylor 幂法则 Taylor power	$\lg S^2=\lg a+b\lg m$	$\lg S^2=62.902+1.868\lg m$	聚集分布	0.910

2.2.3 聚集原因分析 从表6可以看出, 只有样地 聚集习性既受到环境条件的影 响, 同时也受到个
3的 λ 值小于2, 表明甘草田凯纹透翅蛾受到环境 体自身特征的影响。
因素影响; 其他样本的 λ 值均高于2, 这表明昆虫的

表6 甘草田凯纹透翅蛾幼虫的聚集原因分析

Tab.6 Analysis of the aggregation causes of *Bembecia kaszabi* larvae in licorice fields

样地号 Sample number	平均数 Mean	2K	γ	λ	样地号 Sample number	平均数 Mean	2K	γ	λ
1	0.19	0.034	0.455	2.543	4	0.17	0.022	0.455	3.516
2	0.14	0.028	0.455	2.275	5	0.24	0.025	0.455	4.368
3	0.11	0.027	0.455	1.854	6	0.23	0.031	0.455	3.376

2.2.4 最适理论抽样数 根据Iwao提出的 m^*-m 度下的最适抽样数。在允许误差相同的情况下,
回归模型, $m^*=1.156+67.809m$, 其中参数 $\alpha=$ 种群密度高的地块理论样本量较少; 反之, 种群密
1.156, $\beta=67.809$, 取 $t=1.96$, 允许误差 D 分别为 度低的地块, 理论样本量必须相应增加。在虫口
0.1、0.2、0.3。通过计算得出最适抽样数的公式为 密度不变的情况下, 随着允许误差的增加, 样本数
 $n=(8.285/m+265.6535)/D^2$, 计算出不同虫口密 量会减少(表7)。

表7 甘草田凯纹透翅蛾幼虫的最适理论抽样数

Tab.7 Optimum theoretical sampling number of *Bembecia kaszabi* larvae in licorice field

允许误差 Allowable error	平均虫口数/(头/株) Average number of insects									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0.1	26 079	25 872	25 803	25 769	25 748	25 734	25 725	25 717	25 711	25 707
0.2	6 520	6 468	6 451	6 442	6 437	6 434	6 431	6 429	6 428	6 427
0.3	2 897	2 875	2 867	2 863	2 861	2 859	2 858	2 857	2 856	2 855

2.2.5 序贯抽样技术分析 根据Iwao的 m^*-m 回 抽样数量分别为100、200、300、400、500、600株时,
归模型, 虫害的数量存在不同的上限和下限。 可建立相应的序贯抽样表(表9)。当田间调查的
 $m^*=1.156+67.809m$, 已知参数 $\alpha=1.156$, $\beta=$ 株数为 n 时, 如果累积的幼虫数量超出了上限, 则
67.809, 取置信水平 $t=1.96$, 得到甘草田凯纹 就有必要进行相应的预防与控制; 如果虫量的累
透翅蛾幼虫的序贯抽样公式 $T(n)=nm_0 \pm$ 积量低于下限, 那么就不需要采取相应的防控措施;
 $1.96\sqrt{n((1.156+1)m_0+(67.809-1)m_0^2)}$ 。目前尚 如果昆虫的数量位于上下限之间, 需要进一步
未有文献报道凯纹透翅蛾害虫的控制标准, 因此, 本研究初步设定控害标准(m_0)为2、4、6、8、 抽样调查, 直到实际样本数量满足理论模型中的
10头/株, 建立该害虫的序贯抽样模型(表8)。当 抽样目标。

表 8 不同防治指标下甘草田凯纹透翅蛾幼虫序贯抽样模型

防治指标/(头/株) Control index	α	β	序贯抽样模型 Sequential sampling model	防治指标/(头/株) Control index	α	β	序贯抽样模型 Sequential sampling model
2	2.156	66.809	$T_1, T_0(n)=2n \pm 32.298\sqrt{n}$	8	2.156	66.809	$T_1, T_0(n)=8n \pm 128.421\sqrt{n}$
4	2.156	66.809	$T_1, T_0(n)=4n \pm 64.338\sqrt{n}$	10	2.156	66.809	$T_1, T_0(n)=10n \pm 160.461\sqrt{n}$
6	2.156	66.809	$T_1, T_0(n)=6n \pm 96.381\sqrt{n}$				

表 9 甘草田凯纹透翅蛾幼虫的序贯抽样

Tab.9 Sequential sampling table of *Bembecia kaszabi* larvae in licorice field

调查株数 Number of investigated plants	$m_0=2$		$m_0=4$		$m_0=6$		$m_0=8$		$m_0=10$	
	上限 Upper	下限 Lower	上限 Upper	下限 Lower	上限 Upper	下限 Lower	上限 Upper	下限 Lower	上限 Upper	下限 Lower
100	523		1 043		1 564		2 084		2 605	
200	857		1 710		2 563		3 416		4 269	
300	1 159	41	2 314	86	3 469	131	4 624	176	5 779	221
400	1 446	154	2 887	313	4 328	472	5 768	632	7 209	791
500	1 722	278	3 439	561	5 155	845	6 872	1 128	8 588	1 412
600	1 991	409	3 976	824	5 961	1 239	7 946	1 654	9 931	2 069

3 结论与讨论

昆虫的空间分布是其种群的重要生态特征之一。受到昆虫的生物学和生态学特性,以及所在生境条件的影响,导致昆虫展现出各种不同类型的空间分布^[16-18]。昆虫在自然界的生存受生态要素影响,如寄主植物分布、天敌多寡种类、气候和环境条件等,这些要素影响昆虫的空间分布,增加其多样性^[19-20]。因此,本研究通过调查发现甘草根部害虫为凯纹透翅蛾幼虫,并通过 6 个聚集度指标法、应用 Iwao 的 m^*-m 回归模型和 Taylor 幂函数法分析了该害虫在田间的空间分布格局,结果均表明,该害虫的田间分布型为聚集分布,其群落基本单元为个体群,并随着种群密度的逐渐增加,其聚集度也相应上升,幼虫聚集的主要原因是环境状况与其生物学属性共同作用的结果。该结果与前人对小麦田地下害虫幼虫、冬小麦返青期地下害虫以及清远麻竹笋沟金针虫的空间分布型调查结果类似^[21-23]。该害虫在甘草上聚集危害行为可能是与甘草长期协同进化的结果。本研究只对凯纹透翅蛾幼虫的聚集原因作了初步分析,导致聚集现象的具体成因和作用机制还需要进一步验证。

本研究基于空间分布格局探究,对凯纹透翅蛾幼虫的采样技术展开分析,制定了其田间理论抽样模型及序贯抽样模型,并提出了在不同虫口密度条件下的最佳抽样数量和序贯抽样方案。结

果表明,在相同误差范围内,随着虫口密度增加,最佳样本数递减。在不同害虫密度条件下,随着幼虫数目的增长,最佳理论抽样量逐渐降低。该研究制定的序贯抽样表建立在对害虫防治标准的假设基础上,实际应用时防治指标应充分结合实际及相关考核指标,进一步研究和优化序贯抽样技术,明确其适当的防治标准。

当前,地下害虫严重影响着中药材生产,不只是对植物根部造成直接的伤害,还可能导致根腐病和其他各种真菌、细菌引起的疾病,这大大降低了中药材的产量和品质,削弱了其在国际上的竞争力,限制了其进一步发展。因此,抓好中药材地下害虫防治至关重要^[24]。本研究建立了凯纹透翅蛾幼虫农田型样地理论抽样模型及序贯抽样模型,这项研究的结果对于准确确定幼虫在田间的空间分布模式以及估算田间种群的密度和数量非常重要,有助于更好地确定用药目标,提高防治效果,为实施有害生物综合治理提供理论依据。

志谢:中国科学院昆虫动物研究所余甜甜博士鉴定标本,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] WANG C C, CHEN L H, CAI Z C, et al. Metabolite profiling and transcriptome analysis explains difference in accumulation of bioactive constituents in licorice (*Glycyrrhiza uralensis*) under salt stress[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 727882.

- [2] 刘长利,王文,崔俊茹,等. 干旱胁迫对甘草光合特性与生物量分配的影响[J]. 中国沙漠, 2006, 26(1): 142-145.
LIU C L, WANG W, CUI J R, et al. Effects of drought stress on photosynthesis characteristics and biomass allocation of *Glycyrrhiza uralensis*[J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(1): 142-145.
- [3] 祝玲敏,安文芝,谢建军,等. 播种期对栽培甘草越冬性及根系生长特征的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 469-472.
ZHU L M, AN W Z, XIE J J, et al. Influence of seeding date on *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. surviving through winter and growth characteristic of root system[J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(3): 469-472.
- [4] 马红,方龙宝,马海丽,等. 盐处理对两种甘草幼苗的抗氧化系统及总黄酮含量的影响[J]. 甘肃科技纵横, 2019, 8(7): 21-24.
MA H, FANG L B, MA H L, et al. Effect of salt treatment on antioxidant system and total flavonoid content of two licorice seedlings[J]. Gansu Science and Technology, 2019, 8(7): 21-24.
- [5] 高原,杨彩霞,刘浩. 宁夏甘草病虫害记述[J]. 植物保护, 2002, 28(4): 30-32.
GAO L Y, YANG C X, LIU H. Record of the diseases and insect pests on *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. in Ningxia[J]. Plant Protection, 2002, 28(4): 30-32.
- [6] 贺答汉,贾彦霞,段心宁. 宁夏甘草害虫的发生及综合防治技术体系[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(2): 21-24.
HE D H, JIA Y X, DUAN X N, et al. Occurrence and integrated control technology system of licorice pests in Ningxia[J]. Journal of Ningxia Agricultural College, 2004, 25(2): 21-24.
- [7] 曹雪梅,李生兵,张惠玲,等. 甘草根腐病病原菌鉴定[J]. 植物病理学报, 2014, 44(2): 213-216.
CAO X M, LI S B, ZHANG H L, et al. Identification of the pathogens causing root rot of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2014, 44(2): 213-216.
- [8] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2002.
ZHANG X X. Insect ecology and forecast[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- [9] 于新文,刘晓云. 昆虫种群空间格局的研究方法评述[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(3): 83-87, 90.
YU X W, LIU X Y. Review of research methods on spatial pattern of insect population[J]. Journal of Northwest Forestry College, 2001, 16(3): 83-87, 90.
- [10] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 8-60.
XU R M. Insect population ecology[M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 1987: 8-60.
- [11] IWAO S. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations[J]. Researches on Population Ecology, 1968, 10(1): 1-20.
- [12] TAYLOR L R. Aggregation, variance and the mean[J]. Nature, 1961, 189: 732-735.
- [13] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
DING Y Q. Mathematical ecology of insects[M]. Beijing: Science Publishing House, 1994.
- [14] 唐雅文,李艺琼,金启安,等. 椰子木蛾幼虫在椰子树上的空间分布型及抽样技术[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 107-111.
TANG Y W, LI Y Q, JIN Q A, et al. Spatial distribution pattern and sampling technique for *Opisina arenosella* Walker larvae on *Cocos nucifera* L. [J]. Plant Protection, 2017, 43(2): 107-111.
- [15] 杨现明,孙小旭,赵胜园,等. 小麦田草地贪夜蛾的发生为害、空间分布与抽样技术[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 10-16, 23.
YANG X M, SUN X X, ZHAO S Y, et al. Population occurrence, spatial distribution and sampling technique of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in wheat fields[J]. Plant Protection, 2020, 46(1): 10-16, 23.
- [16] 田余波,任艳,刘海波,等. 甘肃哈思山区芫菁科主要药用昆虫的分布特征[J]. 四川动物, 2021, 40(4): 383-392.
TIAN Y B, REN Y, LIU H B, et al. Distribution characteristics of the main medicinal insects of Meloidae in the Hasi mountain, Gansu province[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2021, 40(4): 383-392.
- [17] 王小武,丁新华,吐尔逊,等. 新疆荒漠绿洲稻区稻水象甲幼虫、蛹的空间分布型及抽样技术[J]. 西北农业学报, 2017, 26(9): 1385-1394.
WANG X W, DING X H, TU E X, et al. Spatial distribution patterns and sampling techniques of rice water weevil larvae and pupae in a desert oasis rice area of Xinjiang[J]. Northwest Journal of Agriculture, 2017, 26(9): 1385-1394.
- [18] 鲁武锋,兰明先,夏涛,等. 泽兰实蝇幼虫和虫瘿的空间分布型及抽样技术[J]. 南方农业学报, 2018, 49(5): 884-890.
LU W F, LAN M X, XIA T, et al. Spatial distribution pattern and sampling technique for larvae and galls of *Procecidochares utilis* Stone[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(5): 884-890.
- [19] FERGUSON A W, KLUKOWSKI Z, WALCZAK B, et al. Spatial distribution of pest insects in oilseed rape: implications for integrated pest management[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2003, 95(2/3): 509-521.
- [20] VOSS S C, SPAFFORD H, DADOUR I R. Annual and seasonal patterns of insect succession on decomposing remains at two locations in Western Australia[J]. Forensic Science International, 2009, 193(1/3): 26-36.
- [21] 陆俊姣,任美凤,李大琪,等. 小麦田地下害虫幼虫的空间分布型与抽样技术[J]. 植物保护学报, 2021, 48(2): 340-347.
LU J J, REN M F, LI D Q, et al. Spatial distribution pattern and sampling technique of the larvae of subterranean pest insects in wheat fields[J]. Journal of Plant Protection, 2021, 48(2): 340-347.
- [22] 李平. 冬小麦返青期地下害虫危害空间分布型及其抽样技术[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(7): 9-13.
LI P. Spatial distribution and sampling technology of underground pest damages in winter wheat during period of returning to green[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2021, 52(7): 9-13.
- [23] 刘细群,郑基焕,曹红梅. 清远麻竹笋沟金针虫生物学特性及其土壤空间分布[J]. 农学学报, 2014, 4(11): 34-36.
LIU X Q, ZHENG J H, CAO H M. Investigation biological characteristics of Qingyuan pleonomus elegans of *P. canaliculatus* and their spatial distribution in soil[J]. Journal of Agriculture, 2014, 4(11): 34-36.
- [24] 孙鹏. 中草药地下害虫防治存在的问题和建议[J]. 安徽农业, 2004(5): 12-13.
SUN P. Problems and recommendations for underground pest control in herbal medicine[J]. Anhui Agriculture, 2004(5): 12-13.