

网络出版时间:2020-07-08 09:36 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2021.01.011
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20200707.1537.011.html

阿拉善舌喙象成虫在长柄扁桃上的空间分布型及抽样技术

阎雄飞¹, 杨 涛^{2,3}, 王亚文¹, 刘永华¹, 李 刚¹, 陈佳平¹

(1 榆林学院 生命科学学院, 陕西 榆林 719000; 2 陕西省林业科学院, 陕西 西安 710082;

3 国家林业和草原局长柄扁桃工程技术研究中心, 陕西 榆林 719000)

[摘要] 【目的】明确阿拉善舌喙象成虫在陕北沙区长柄扁桃上的空间分布型和抽样技术, 为枣飞象的监测和科学控制提供理论依据。【方法】于 2018 年 4 月, 在陕西省榆林沙区, 采用平行线取样法抽取受害长柄扁桃植株, 使用全株调查法统计阿拉善舌喙象成虫数量。运用 7 种聚集度指标、Iwao m^*-m 回归分析法和 Taylor 幂法则对阿拉善舌喙象成虫的空间分布型和抽样技术进行探讨。【结果】阿拉善舌喙象成虫在长柄扁桃上的空间分布型呈现聚集分布, 分布的基本成分为个体间相互吸引个体群, 其密度越大, 个体群的聚集度越高; 聚集因素分析表明, 该虫聚集分布是由某些环境成分和自身的聚集习性两者共同作用所引起。依据 Iwao m^*-m 回归分析确定阿拉善舌喙象成虫最佳理论抽样公式和序贯抽样模型, 利用序贯抽样模型公式对该虫进行抽样, 当阿拉善舌喙象的防治阈值为 6 头/株, 调查 10 株长柄扁桃树上的累计虫口数量大于 85 头时, 则需进行及时防治; 若 10 株长柄扁桃树上的累计虫口数量小于 35 头时, 则不需进行防治; 若 10 株长柄扁桃树上的累计虫口数量为 35~84 头, 则需要继续进行抽样调查, 并根据具体情况确定是否需要采取防治措施。【结论】建立的空间分布型和最佳理论抽样公式, 可用于陕北沙区阿拉善舌喙象的监测和综合控制。

[关键词] 阿拉善舌喙象; 长柄扁桃; 空间分布型; 抽样技术; 陕北沙区

[中图分类号] S662.908

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2021)01-0094-08

Spatial distribution pattern and sampling technique of *Diglossotrox alashanicus* adults on endangered plant *Amygdalus pcdunculata*

YAN Xiongfei¹, YANG Tao^{2,3}, WANG Yawen¹, LIU Yonghua¹,

LI Gang¹, CHEN Jiaping¹

(1 College of Life and Science, Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China; 2 Shaanxi Academy of Forestry, Xi'an,

Shaanxi 710082, China; 3 Technology Research Center of *Amygdalus Pcdunculata* of State Forestry and Grassland

Administration, Yulin, Shaanxi 719000, China)

Abstract: 【Objective】To provide basic information for ecological regulation of *Diglossotrox alashanicus* Suvrov, the distribution pattern and sampling technique of *D. alashanicus* adult in *Amygdalus pcdunculata* was studied. 【Method】The parallel sampling line method was used to extract attacked *A. pcdunculata* trees in Yulin sandy area in April 2018, and the number of weevil adults were investigated by comprehensive survey. The spatial distribution pattern and sampling technique of *D. alashanicus* adults were

[收稿日期] 2019-12-16

[基金项目] 陕西省科技计划项目特色产业创新链(群)-农业领域(2019TSLNY03-03); 国家自然科学基金地区项目(31760211)

[作者简介] 阎雄飞(1975—)男, 山西长治人, 副教授, 博士, 主要从事有害生物生态调控和化学生态学研究。

E-mail: yxfei1220@126.com

[通信作者] 杨 涛(1978—)男, 甘肃陇西人, 高级工程师, 硕士, 主要从事沙区经济林研究及其推广示范。

E-mail: yytao139@163.com

studied using the 7 aggregation indexes, Iwao m^*-m regression analysis method and Taylor's power law. 【Result】 The spatial distribution pattern of *D. alashanicus* adult in *A. pcdunculata* trees was aggregation distribution. The basic component was a group of individuals, and the individuals attracted each other. Greater density led to higher degree of aggregation. Aggregation factors showed that the distribution of weevils was caused by the combination of some environmental components and their own aggregation habits. According to the m^*-m regression analysis of Iwao, the best theoretical sampling formula and sequential sampling model of *D. alashanicus* were determined. When the control threshold of adult was 6 heads per plant, measures for controlling *D. alashanicus* should be taken if the number of weevil adults in *A. pcdunculata* was over 85 heads/10 plants. When the number of weevil adults in *A. pcdunculata* was less than 35 heads/10 plants, no control measures were needed. When the number of weevil adults in *A. pcdunculata* was 35—84 heads/10 plants, it was necessary to continue sampling survey and determine whether prevention and control measures were needed specifically. 【Conclusion】 This study established spatial distribution pattern and theoretical sampling formula on *D. alashanicus* for the monitoring and integrated management of *D. alashanicus*.

Key words: *Diglossotrox alashanicus*; *Amygdalus pcdunculata*; spatial distribution pattern; sampling technique; sandy area in Northern Shaanxi

阿拉善舌喙象(*Diglossotrox alashanicus* Suvrov), 别称多纹叶喙象、沙地灰牛牛, 是陕北沙区危害果树的一种重要害虫。该虫主要寄主为葡萄(*Vitis vinifera*)、苹果(*Malus pumila*)和梨树(*Pyrus sorotina*), 成虫以果树的嫩枝和嫩叶为营养来源, 危害严重时造成果树大面积枯梢, 严重影响果实的产量和品质^[1]。濒危植物长柄扁桃(*Amygdalus pcdunculata*)是陕北沙区主要生态和经济树种, 近年来其栽培面积迅速增长, 目前仅榆林沙区长柄扁桃人工林种植面积已达到 2.88 万 hm^2 , 成为沙区农户脱贫致富的重要支柱产业^[2-3]。但是随着长柄扁桃栽培面积的不断扩大, 相对滞后的管理导致阿拉善舌喙象转移到沙区人工种植的长柄扁桃上造成危害, 并迅速爆发成灾, 导致长柄扁桃植株大面积枯梢和成片死亡, 严重威胁着陕北沙区长柄扁桃产业的健康发展。

昆虫种群空间分布型是指昆虫种群在一定环境内的空间分布方式^[4]。研究有害昆虫空间分布型, 有利于揭示其种群内部和种群之间的空间结构特性, 进而掌握害虫生物生态学特性和发生规律, 为害虫的监测预报和综合控制提供科学资料^[5-7]。目前, 关于植食性象甲的空间分布型已有很多报道。如枣飞象(*Scythropus yasumatsui*)成虫和幼虫在陕北枣园的空间分布型均为聚集分布^[8-9]; 茶丽纹象甲(*Myllocerinus aurolineatus*)和绿鳞象甲(*Hypomeces squamosus*)成虫在茶园茶树上的空间分布型均为聚集分布^[10-11]; 危害针叶树种的云杉树叶象

(*Phyllobius* sp.)成虫在云杉上的空间分布呈聚集分布^[12]; 稻水象甲(*Lissorhynchus oryzophilus*)幼虫和蛹在稻田田间呈聚集分布^[13], 而在新疆稻田间, 稻水象甲成虫开始危害时表现为随机分布, 后逐渐转变为聚集分布^[14]; 银合欢豆象(*Acanthoscelides macrophthalmus*)幼虫在银合欢树上为聚集分布^[15]。但迄今为止, 国内外有关阿拉善舌喙象空间分布及抽样技术方面的研究尚未见报道。鉴于此, 本研究对陕北沙区长柄扁桃林中阿拉善舌喙象成虫的空间分布和抽样技术进行研究, 以期为该象甲的预测预报和综合控制提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于国家林业局长柄扁桃基地($\text{N}38^{\circ}19'22''$, $\text{E}109^{\circ}41'44''$), 属中温带半干旱大陆性季风气候, 年平均最高气温为 15.6°C , 最低气温为 1.8°C ; 年降水量为 $362.7\sim371.5\text{ mm}$, 降水主要集中在 7—8 月; 年平均日照时数为 $2\,776.7\text{ h}$, 以 5 月最多 (282.4 h), 12 月最少 (186.5 h); 全年平均无霜期为 210 d ; 平均海拔高度为 $1\,103.4\text{ m}$; 土壤类型为纯砂壤。长柄扁桃种植面积达 115 hm^2 , 树龄为 4~7 年, 平均株高为 1.1 m , 平均冠幅 1.2 m , 株行距为 $2.5\text{ m}\times3.0\text{ m}$; 样地内长柄扁桃被害株率为 94.7% , 枯死率为 7.8% , 平均虫口密度 9.2 头/株 , 最高达 16 头/株 。

1.2 调查方法

于 2018 年 4 月阿拉善舌喙象成虫危害盛期,在国家林业局长柄扁桃种植基地选取具有代表性的样地进行调查,即样地距离林地至少 50 m,每 1 000 m² 内的长柄扁桃数量大于 100 株,每块样地的面积为 4~6 hm²,共调查 5 块样地,调查方法采用平行线取样法抽取样地内受害的长柄扁桃植株,每块样地取 5 条平行线,每条线 8 株树,共计 40 株。由于阿拉善舌喙象个体比较大,主要分布于树冠的枝条上危害,故采用全株调查法^[16-17],选择成虫活动的高峰期,于每天 09:00—12:00 对每株长柄扁桃上的阿拉善舌喙象成虫数量进行详细调查和记录。为了避免试验误差,将采集到的成虫放入矿泉水瓶中,统计每株长柄扁桃上的阿拉善舌喙象成虫数量。

1.3 空间分布型的测定

1.3.1 聚集度指标法 先对每块长柄扁桃样地中阿拉善舌喙象成虫的平均虫口密度(m)和样本方差(S^2)进行计算,采用如下 7 种常用聚集度指标^[6,18],对阿拉善舌喙象成虫的空间分布型进行判定。这些指标分别是:(1) 扩散系数(C): $C=S^2/m$;(2) I 指标: $I=S^2/m-1$;(3) 负二项分布 K 指标: $K=m^2/(S^2-m)$;(4) C_A 指标: $C_A=(S^2/m-1)/m$;(5) 平均拥挤度(m^*): $m^*=m+(S^2/m-1)$;(6) 聚集度指标(m^*/m):指平均拥挤度与平均虫口密度的比值,即 $m^*/m=1+S^2/m-1/m$;(7) L_a/m 指标: $L_a/m=(m-C)/(S^2+1)$ 。参考聚集度指标的判定标准^[5,19]进行判断,7 种聚集度指标的判定标准见表 1。

表 1 7 种聚集度指标判定标准
Table 1 7 Criteria for determining aggregation index

分布类型 Type of distribution	C	I	K	C_A	m^*	m^*/m	L_a/m
均匀分布 Uniform distribution	$=1$	$=0$	趋向于 ∞ Tend to ∞	$=0$	$=m$	$=1$	$=1$
随机分布 Random distribution	<1	<0	<0	<0	$<m$	<1	<1
聚集分布 Aggregate distribution	>1	>0	$>0\sim\leq 8(>8$ 逼近 Poisson 分布 More than 8 approximate Poisson distribution)	>0	$>m$	>1	>1

1.3.2 Iwao 的 m^*-m 回归分析法

利用 Iwao^[20] 提出的回归方程对空间分布型进行分析。其回归方程为:

$$m^* = \alpha + \beta m.$$
 (1)

式中: m^* 为种群平均拥挤度, m 为平均虫口密度, α 代表分布基本成分的平均拥挤度, β 代表分布基本成分的空间分布型。

由 α 值的大小判断基本成分的平均拥挤度: $\alpha<0$ 时表明个体间相互排斥; $\alpha=0$ 时表明分布的基本成分是个个体; $\alpha>0$ 时表明分布的基本成分是个体间相互吸引的个体群。由 β 值的大小确定基本成分的空间分布型: $\beta=1$ 为随机分布; $\beta<1$ 为均匀分布; $\beta>1$ 为聚集分布。 α 也代表 m^* 轴上的截距, β 则代表回归斜率。

1.3.3 Taylor 幂法则 参考 Taylor^[18] 和兰星平^[21] 的方法,确定样本方差(S^2)与平均虫口密度(m)两者的对数关系为:

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

式中: a 为与抽样等因素有关的参数,主要受环境影响; b 为反映物种聚集特征的参数,不受环境影响。当 $\lg a=0, b=1$ 时,在任何密度下种群都表现为随

机分布;当 $\lg a>0, b=1$ 时,在一切密度下种群都表现为聚集分布,种群密度与聚集度无关;当 $\lg a>0, b>1$ 时,种群在一切密度下都为聚集分布,且聚集度与种群密度为正比例关系,即其随种群密度的增大而增大;当 $\lg a<0, b<1$ 时,随种群密度的升高,分布越来越均匀^[22-24]。

1.4 聚集原因分析

采用 Blackith^[25] 的种群聚集均数对阿拉善舌喙象成虫的聚集因素进行分析。种群聚集均数(λ)的计算公式为:

$$\lambda = m\gamma/2k.$$
 (3)

式中: γ 为 χ^2 分布表中自由度为 $2k$ 时概率 $P=0.5$ 所对应的 χ^2 值, k 为负二项分布式中 K 的平均值。当群聚集均数 $\lambda\geq 2$ 时,聚集原因是由昆虫自身的聚集习性和某些环境因素共同作用引起或其中一个因素引起;当群聚集均数 $\lambda<2$ 时,聚集原因可能是某些环境因素(如土壤、植物长势、栖息环境等)的影响所致,而与昆虫本身的聚集习性无关^[4,7,26]。

1.5 序贯抽样分析法

阿拉善舌喙象成虫的最适理论抽样数和序贯抽样模型主要利用 Iwao^[20] 的 m^*-m 回归分析模型进

由表 3 和表 4 可以看出,阿拉善舌喙象雌成虫和雄成虫在长柄扁桃上的分布均属于聚集分布,只是雄成虫负二项分布值 K 在 5 个样地均大于 8,说明阿拉善舌喙象雄成虫的聚集分布已接近于随机分布。

2.1.2 Iwao 的 m^*-m 回归分析 通过生物种群空间分布回归方程 $m^* = \beta m + \alpha$,分析阿拉善舌喙象成虫平均虫口密度 m 和种群平均拥挤度 m^* 的关系,结果见图 1。由图 1 可见,阿拉善舌喙象成虫空间分布型的回归分析方程为: $m^* = 1.066\ 1m + 1.100\ 8, R^2 = 0.988\ 5, \beta = 1.066\ 1 > 1$,表明阿拉善舌喙象成虫的空间分布型为聚集分布; $\alpha =$

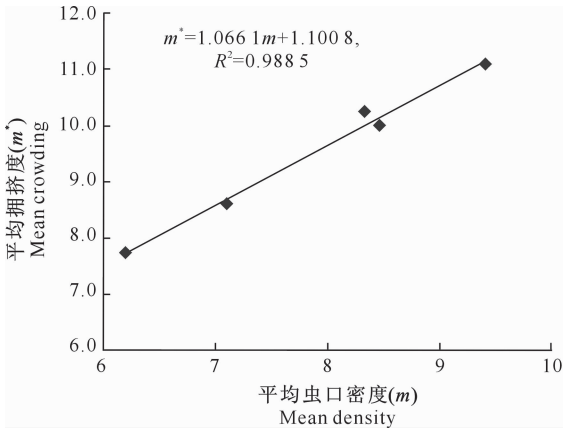


图 1 阿拉善舌喙象成虫空间分布型的 m^*-m 回归分析
Fig. 1 m^*-m regression analysis of spatial distribution patterns of *Diglossotrox alashanicus* adults

2.2 阿拉善舌喙象成虫聚集因素分析

利用种群聚集均数 λ 对阿拉善舌喙象成虫的聚集原因进行分析,先使用比例内插法估值计算 γ 值,再结合平均虫口密度 m 、负二项分布指数 K 求出各个样地的聚集均数 λ 值,所得结果见表 5。表 5 表

表 5 阿拉善舌喙象成虫的种群聚集均数

Table 5 Average aggregation of *Diglossotrox alashanicus* adults

样地 Sample	m	K	$2K$	γ	λ
1	6.200	4.067	8.134	7.474	5.697
2	7.100	4.741	9.482	8.822	6.606
3	9.400	5.585	11.170	10.510	8.845
4	8.450	5.561	11.122	10.462	7.949
5	8.325	4.408	8.816	8.156	7.702

2.3 阿拉善舌喙象成虫的抽样技术

2.3.1 最适理论抽样数的确定 依据 m^*-m 回归模型确定参数 $\alpha = 1.066\ 1, \beta = 1.100\ 8$,由此可以得出,阿拉善舌喙象的最佳抽样理论模型为: $N = t^2 / D^2 (2.066\ 1/m + 0.100\ 8)$,然后计算出阿拉善舌

1.100 8 > 0 ,表明阿拉善舌喙象成虫分布的基本成分是个体群,并且成虫个体间相互吸引。

2.1.3 Taylor 幂法则分析 将表 2 中的平均虫口密度(m)和所对应的方差(S^2)进行对数转换,分析二者对数值之间存在的关系,结果见图 2。由图 2 可以看出,阿拉善舌喙象成虫 $\lg S^2 - \lg m$ 回归方程为 $\lg S^2 = 1.193\ 5 \lg m + 0.245\ 3, R^2 = 0.931$,其中 $\lg a = 0.245\ 3 > 0, b = 1.193\ 5 > 1, S^2/m = am^{b-1}$,表明在任何密度下阿拉善舌喙象成虫均表现为聚集分布,且聚集度与平均虫口密度呈正比,即随平均虫口密度的增大而升高。

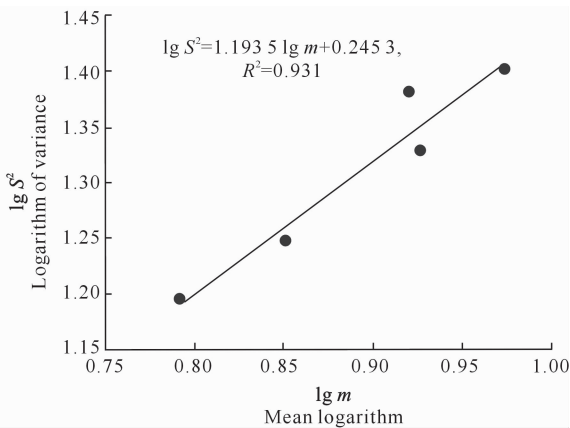


图 2 阿拉善舌喙象成虫 $\lg S^2 - \lg m$ 回归分析
Fig. 2 $\lg S^2 - \lg m$ regression analysis of *Diglossotrox alashanicus* adults

明,5 块长柄扁桃样地中,阿拉善舌喙象的聚集均数均大于 2,说明阿拉善舌喙象成虫的聚集是由阿拉善舌喙象自身的聚集习性和某些环境影响因素共同作用的结果。

喙象在不同平均虫口密度下的最适抽样理论数见表 6。由表 6 可以看出,在相同的 D 值下,随着平均虫口密度(m)的增大,最佳抽样理论数减小;在相同的 m 值下,随着 D 值的增大,最佳抽样理论数减小,即相对允许误差 D 和抽样数成反比。

表 6 阿拉善舌喙象成虫的最佳抽样理论数

Table 6 Optimum sampling theoretic number of *Diglossotrox alashanicus* adults

相对允许误差(D) Permissible variation (D)	估计成虫数量/(头·株 ⁻¹)Number of estimated									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0.1	436	237	171	138	118	105	95	88	83	78
0.2	109	59	43	34	30	26	24	22	21	20
0.3	48	26	19	15	13	12	11	10	9	9

2.3.2 序贯抽样模型 依据 m^*-m 回归模型法确定参数 $\alpha=1.066\ 1,\beta=1.100\ 8$,将防治阈值设为 $m_0=2,4,6$ 头/株,根据不同的调查株数(n)和防治阈值(m_0),计算出不同调查株数上累计成虫量的上限值下限值,最终得出阿拉善舌喙象的序贯抽样表见表 7。在实际防治中,当阿拉善舌喙象防治指标 $m_0=6$ 时,得到阿拉善舌喙象成虫的序贯抽样模型

表 7 阿拉善舌喙象成虫的序贯抽样表

Table 7 Sequential sampling tables of *Diglossotrox alashanicus* Suvrov adults

防治阈值(m_0) Control threshold	上下限 Upper and lower limit	累计虫口数 Number of jujube tree									
		1 株 1 plant	2 株 2 plant	3 株 3 plant	4 株 4 plant	5 株 5 plant	6 株 6 plant	7 株 7 plant	8 株 8 plant	9 株 9 plant	10 株 10 plant
2	上限 Upper limit	6	10	13	16	19	22	25	28	31	33
	下限 Lower limit	0	0	0	0	1	2	3	4	5	7
4	上限 Upper limit	10	17	23	28	34	39	44	49	54	59
	下限 Lower limit	0	0	1	4	6	9	12	15	18	21
6	上限 Upper limit	14	23	32	40	48	55	63	70	78	85
	下限 Lower limit	0	1	4	8	12	17	21	26	30	35

3 讨 论

种群的空间分布型是昆虫种群的主要特性之一,可以揭示种群内部和种群之间的空间结构特性,对了解害虫种群的动态、扩散行为及害虫的预测预报和有效控制具有重要的科学意义^[4,27]。本研究结果表明,阿拉善舌喙象成虫在长柄扁桃上的空间分布型为聚集分布,分布的基本成分为个体间相互吸引个体群,其密度越大,个体群的聚集度越高。5 块长柄扁桃样地中的聚集均数 λ 均 >2 ,说明阿拉善舌喙象成虫的聚集是阿拉善舌喙象自身的聚集习性和某些环境因素共同作用的结果,这与枣飞象^[9]、稻水象甲^[14,28]、绿鳞象甲^[11]、茶丽纹象甲^[10]、云杉树叶象^[12]等植食性象甲成虫的研究结果相一致。

一般来说,植食性象甲通常具有聚集危害的习性,通常为雄象甲成虫先取食危害,然后通过粪便或后肠释放聚集信息素招引雌象甲聚集危害^[29-30]。调查过程中发现,在长柄扁桃样地内,阿拉善舌喙象雄虫先出土在 1 年生枝条的韧皮部取食危害,随后雌雄成虫逐渐聚集取食危害,究竟引起象甲聚集的原因是阿拉善舌喙象本身存在聚集信息导致的聚集取食,还是食物、环境等导致的聚集现象,还需要进一

为 $T_0',T_0''(n)=6n\pm7.84\sqrt{n}$ 。从表 7 可以看出,若在长柄扁桃受害地调查 10 株树,当阿拉善舌喙象成虫数量累计达到 85 头时,则需要采取措施及时防治;若累计的成虫数量未达到 35 头时,则不需防治;若累计的成虫数量为 35~84,则需要继续进行抽样调查,然后再根据具体情况确定是否需要采取防治措施。

步研究。

据报道,阿拉善舌喙象主要取食苹果和葡萄的嫩枝补充营养^[1]。近年来,发现该虫转移到陕北沙区人工种植的长柄扁桃林上取食危害,造成长柄扁桃植株大面积枯梢和成片死亡,严重威胁着陕北沙区长柄扁桃林的健康。林间调查发现,在整个样地的所有长柄扁桃林内,几乎每株长柄扁桃都受到阿拉善舌喙象的危害,长柄扁桃上成虫的虫口密度最多达到 16 头/株。观察发现,阿拉善舌喙象成虫日活动节律非常特殊,阿拉善舌喙象成虫在上午 08:00 点左右开始从沙中钻出,爬上长柄扁桃补充营养进行危害,09:00—12:00 达到危害的高峰期,下午大约 14:00 蛰伏到沙土中,约在 17:00 再次钻出沙面进行取食危害,约在 17:30 又再次蛰伏到沙土中。因此选择 09:00—12:00 的危害高峰期调查阿拉善舌喙象成虫的数量,更为符合客观实际。

阿拉善舌喙象幼虫在沙地中越冬,成虫钻出沙地后迁移到长柄扁桃上取食危害,所以防治该象甲的最佳时期在成虫期。因此,建立调查阿拉善舌喙象空间分布的抽样技术对于预测预报和制定管理对策非常重要。本研究确定了阿拉善舌喙象成虫在长柄扁桃上的最佳理论抽样公式、序贯抽样模型公式

和防治指标。林间进行阿拉善舌喙象虫情调查时,在不同相对允许误差值和估计的虫口密度下确定最适理论抽样数;在同一允许误差内,不同虫口密度下的最适理论抽样数随成虫数量的增大而减小。因此,在抽样调查时,通过预估长柄扁桃林中阿拉善舌喙象成虫的虫口密度,确定抽样的长柄扁桃数量,当虫口密度较低时,适当增加长柄扁桃树的抽样株数,反之,长柄扁桃树的抽样株数可适当减少。利用建立的阿拉善舌喙象成虫的序贯抽样表,可以计算出不同防治阈值下所对应的防治上下限;在实际防治中,若林间调查的阿拉善舌喙象成虫数量累计大于上限值时,应立即采取防治措施进行防治;若成虫累计数量小于下限时,则不需要进行防治。这样既减小了调查的盲目性,可以节省大量的人力、财力及物力,同时又提高了调查的准确性,保证了防治效果,对阿拉善舌喙象的田间预测预报及制定相应的防治策略具有重要意义。

[参考文献]

[1] 李 清, 强建才, 李东荣. 阿拉善舌喙象药剂防治试验 [J]. 北方园艺, 2006(2): 120-123.
Li Q, Qiang J C, Li D R. Drug control trial of *Diglossotrox alashanicus* Suvrov [J]. Northern Horticulture, 2006(2): 120-123.

[2] 李俊兰, 潘 斌, 格日勒, 等. 濒危植物柄扁桃的传粉者及其访花行为 [J]. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1370-1374.
Li J L, Pan B, Ge R L, et al. Pollinator and flower visiting behavior of endangered plant *Amygdalus pedunculata* [J]. Journal of Ecology, 2011, 30(7): 1370-1374.

[3] 褚建民, 李毅夫, 张 雷, 等. 濒危物种长柄扁桃的潜在分布与保护策略 [J]. 生物多样性, 2017, 25(8): 799-806.
Chu J M, Li Y F, Zhang L, et al. Potential distribution range and conservation strategies for the endangered species *Amygdalus pedunculata* [J]. Biodiversity Science, 2017, 25(8): 799-806.

[4] 丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用 [J]. 北京: 科学出版社, 1980.
Ding Y Q. Mathematical ecology principle and application of insect population [J]. Beijing: Science Press, 1980.

[5] 丁岩钦. 昆虫数学生态学 [J]. 北京: 科学出版社, 1994.
Ding Y Q. Mathematical ecology of insects [J]. Beijing: Science Press, 1994.

[6] 徐汝梅, 成新跃. 昆虫种群生态学: 基础与前言 [J]. 北京: 科学出版社, 2005.
Xu R M, Cheng X Y. Insect population: ecology-basis and preface [J]. Beijing: Science Press, 2005.

[7] 张治科, 吴圣勇, 雷仲仁, 等. 宁夏辣椒花期西花蓟马的空间分布特征研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(3): 142-147.

Zhang Z K, Wu S Y, Lei Z R, et al. Study on the spatial distribution characteristics of *Thrips occidentalis* in the flowering stage of pepper in Ningxia [J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed), 2018, 46(3): 142-147.

[8] 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.
Yan X F, Li G, Liu Y H, et al. Study on spatial distribution pattern and sampling technique of overwintering larvae of *Scythropus yasumatsui* kono et morimoto [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(31): 285-289.

[9] 阎雄飞, 蒲泰勋, 李 刚, 等. 枣飞象成虫在陕北枣区的空间分布型及抽样技术 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 585-594.
Yan X F, Pu T X, Li G, et al. Spatial distribution of *Scythropus yasumatsui* adults and sampling techniques for this species in the Jujube growing region of Northern Shaanxi [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2019, 56(3): 589-594.

[10] 朱俊庆, 商建农, 郭敏明. 茶丽纹象甲成虫空间分布型及抽样技术的研究 [J]. 昆虫知识, 1988(5): 277-280.
Zhu J Q, Shang J N, Guo M M. Study on spatial distribution and sampling techniques of *Myloccerinus aurolineatus* Voss [J]. Insect Knowledge, 1988(5): 277-280.

[11] 董丽丽, 陈向阳. 茶园害虫茶树绿鳞象甲空间分布型研究 [J]. 湖南农业科学, 2010(3): 74-76.
Dong L L, Chen X Y. Spatial distribution pattern of *Hy-pomeces squamosus* fabricius in tea garden [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2010(3): 74-76.

[12] 张永强, 马艳芳, 常承秀, 等. 云杉树叶象成虫空间分布和抽样技术 [J]. 中国森林病虫, 2015, 34(5): 45-46.
Zhang Y Q, Ma Y F, Chang C X, et al. Spatial distribution and sampling techniques of picea *Phyllobius* sp adults [J]. Forest Pest and Disease, 2015, 34(5): 45-46.

[13] 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 *Lissorhoptrus oryzophilus* Kusche larvae and pupae in desert oasis rice region of Xinjiang [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2017, 26(9): 1385-1394.

[14] 丁新华, 吐尔逊, 何 江, 等. 新疆荒漠绿洲生态区稻水象甲成虫空间分布型研究 [J]. 新疆农业科学, 2015, 52(5): 875-881.
Ding X H, Tu E X, He J, et al. Spatial distribution pattern of *Lissorhoptrus oryzophilus* Kusche adults in desert oasis ecosystem of Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2015, 52(5): 875-881.

[15] 张开存, 佟友贵, 杨 欣, 等. 银合欢豆象幼虫空间分布型及抽样技术研究 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(3): 459-464.
Zhang K C, Tong Y G, Yang X, et al. Research on spatial distribution pattern and sampling technique of *Acanthoscelides macrophthalmus* larva [J]. Journal of Environmental Entomology, 2014, 36(3): 459-464.

[16] 许向利, 成巨龙, 郭丽娜, 等. 烟田斑须蜡空间分布型格局及抽

- 样技术研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(6): 114-119.
- Xu X L, Cheng J L, Guo L N, et al. Spatial distribution pattern and sampling techniques of the sloe bug [J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed), 2012, 40(6): 114-119.
- [17] 刘永华, 郑雨墨, 阎雄飞, 等. 栎黄枯叶蛾低龄幼虫空间分布的地统计学分析 [J]. 生态学报, 2018, 38(15): 5595-5601.
- Liu Y H, Zheng Y M, Yan X F, et al. Geostatistic analysis on the spatial distribution of *Trabala vishnou gigantina* Yang early stage larvae [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(15): 5595-5601.
- [18] Taylor L R. Aggregation, variance and the mean [J]. Nature, 1961, 189(4776): 383-406.
- [19] 兰星平. La 指标在测定昆虫种群空间分布型与抽样调查中的应用 [J]. 贵州林业科技, 1993, 21(1): 20-26.
- Lan X P. Application of La index in determining spatial distribution patterns and sampling survey of insect population [J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 1993, 21(1): 20-26.
- [20] Iwao S. Application of the m^*-m method to the analysis of spatial patterns by changing the quadratic size [J]. Researches on Population Ecology, 1972, 14(1): 97-128.
- [21] 兰星平. 关于 Iwao m^*-m 回归模型在昆虫种群空间分布型的应用分析 [J]. 贵州林业科技, 2007, 35(1): 1-8.
- Lan X P. Analysis on the application of Iwao's m^*-m model on the study of distribution pattern of insect population [J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2007, 35(1): 1-8.
- [22] Taylor L R. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations [J]. Annual Review of Entomology, 1984, 29(1): 321-325.
- [23] 郑燕, 姜超, 杨晨亮, 等. 三星黄萤叶甲成虫在绞股蓝田的空间分布型及抽样技术研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(4): 99-104.
- Zheng Y, Jiang C, Yang C L, et al. Study on special distribution pattern and sampling technique of *Paridea angulicollis* adult in *Gyanostemma pentaphllum* [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2011, 39(4): 99-104.
- [24] 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 patterns and sampling technique of *Opisina arenosella* walker Larvae on *Cocos nucifera* L. [J]. Plant Protection, 2017, 43(2): 107-111.
- [25] Blackith R E. The water reserves of hatchling locusts [J]. Comparative Biochemistry and Physiology A-molecular & Integrative Physiology, 1961, 3(2): 99-107.
- [26] 王辉, 常春燕, 秦伟春, 等. 白斑新灰蝶卵的空间分布型及抽样技术 [J]. 西北林学院学报, 2017, 32(6): 220-223, 229.
- Wang H, Chang C Y, Qin W C, et al. Spatial distribution patterns and pampling technique of *Neolycaena tengstroemi* eggs [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(6): 220-223, 229.
- [27] 李密, 黄凯波, 何振, 等. 不同树龄桃园桃红颈天牛幼虫空间分布型研究 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(4): 388-394.
- Li M, Huang K B, He Z, et al. Spatial distribution patterns of *Aromia bungii* larvae in peach orchards with different tree ages [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences Edition), 2018, 44(4): 388-394.
- [28] 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.
- Qu H, Li T Y, Jiang D, et al. Spatial distribution patterns and sampling methods of *Lissorhoptrus oryzophilus* Kusche adults in Liaoning province [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1998, 29(1): 30-33.
- [29] 杨毅, 梁潇予, 杨春平, 等. 象甲科昆虫信息素研究概况 [J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(1): 125-129.
- Yang Y, Liang X Y, Yang C P, et al. A review of research on Curculionidae pheromones [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2012, 29(1): 125-129.
- [30] 赵艳, 高晓余, 肖春. 象甲科昆虫寄主选择行为研究进展 [J]. 农业灾害研究, 2014, 7(4): 18-21.
- Zhao Y, Gao X Y, Xiao C. Advance of weevils host selection behavior research [J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2014, 7(4): 18-21.