

凉山烟田烟粉虱(MED 隐种)成虫空间分布型及序贯抽样技术

王 勇¹, 王小强², 蒲德强^{2*}, 刘虹伶³, 刘东阳¹, 冯长春¹,
卢 军¹, 龙 岗¹, 陈佳威¹, 周肆维², 李 斌⁴, 刘 杨⁴

(1. 四川省烟草公司凉山州公司, 西昌 615000; 2. 四川省农业科学院经济作物育种栽培研究所, 成都 610300;
3. 四川省农业科学院植物保护研究所, 成都 610066; 4. 四川省烟草公司, 成都 610041)

摘要 运用 2 种回归方法和 8 个聚集度指标对四川凉山烟田烟粉虱盛发期种群的空间格局进行了研究。结果表明, 烟粉虱种群呈聚集分布, 聚集强度不随种群密度的变化而变化, 其聚集原因是由环境因素所导致; 通过种群密度与聚集度指标相关性分析表明, 用平均拥挤度(m^*/m)、负二项分布指标(K)及久野指数(C_A)分析烟粉虱空间分布型更具说服力; 并利用空间格局参数确定了理论抽样数和序贯抽样模型。

关键词 烟粉虱; 凉山州; 空间分布型; 抽样技术; 聚集原因

中图分类号: Q 968.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2017201

Spatial distribution pattern of *Bemisia tabaci* MED adults in tobacco fields in Liangshan and sequential sampling technique

WANG Yong¹, WANG Xiaoqiang², PU Deqiang², LIU Hongling³, LIU Dongyang¹, FENG Changchun¹,
LU Jun¹, LONG Gang¹, CHEN Jiawei¹, ZHOU Siwei², LI Bin⁴, LIU Yang⁴

(1. Liangshan Municipal Tobacco Company, Xichang 615000, China; 2. Industrial Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610300, China; 3. Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 4. Sichuan Tobacco Company, Chengdu 610041, China)

Abstract Two regression models (Iwao's regression and Taylor's power principle) and eight aggregation indices [K , C , C_A , I , M^* , m^*/m , L^* , $L^*/(1+m)$] were used to test the spatial distribution patterns of *B. tabaci* populations. The results indicated that the distribution patterns of *B. tabaci* populations accorded with minus binomial distribution, belonging to a type of aggregated distribution except in August when it was in uniform distribution. The mean aggregation index (λ) suggested that aggregation was caused by environmental factors. In addition, the aggregation indexes (K , C_A , m^*/m) could better explain the spatial distribution patterns of *B. tabaci* populations. The theoretical sampling number and sequential sampling model were inferred from the spatial pattern parameters.

Key words *Bemisia tabaci*; Liangshan; spatial distribution pattern; sampling technique; reason for aggregation

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 属半翅目粉虱科, 是蔬菜、粮食及经济作物等的重要害虫之一, 已发现其在世界范围内的 90 多个国家和地区均有分布^[1-3]。我国对于烟粉虱的相关报道最早在 1949 年, 至 20 世纪 90 年代以来, 关于烟粉虱在我国大面积发生的报道屡见不鲜。研究表明该害虫在

我国全年发生 11~15 代, 且世代重叠严重, 其造成的危害呈逐年加重趋势^[4-5]。烟粉虱对农作物造成危害主要体现在直接刺吸植物汁液, 分泌蜜露诱发煤污病及传播植物病毒, 且传播病毒所造成的危害最为严重^[6]。作为世界性重要害虫, 研究者对其生物学、生理生化及天敌应用等方面都有研究, 同时,

国内外对烟粉虱在黄瓜、番茄、花生、辣椒、豆类等作物上的空间分布格局也有报道^[7-14],但对烟粉虱在烟草上的空间分布研究较少。烟草在我国种植历史悠久、面积大,截至目前,我国已成为全球最大烟草生产国与消费国,同时,烟草作为我国的重要经济作物,据统计,仅2015年,烟草行业上缴财政总额累计超过万亿^[15]。凉山烟区为四川省主要植烟区,气候地理条件独特,烟草种植面积超过6万hm²,占全省植烟面积的70%以上,而会理县因烟草种植历史悠久,经验丰富,种植技术和模式不断创新,均使其在全国烟区中居于前列。近年来,烟粉虱在凉山烟区各植烟县均有发生,有的地区虫株率达到20%以上,单株虫口量高达100余头,严重影响烟叶产量和品质,给烟农带来较大损失,急需开展烟粉虱防治技术研究。因此,本研究依托凉山州烟区,试图通过对烟田烟粉虱的空间分布型研究,明确其在烟田的分布类型,并组建烟粉虱的理论抽样数和序贯抽样模型,为烟粉虱的预测预报提供理论基础,同时,为释放天敌昆虫防治烟粉虱提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 田间调查

本试验在四川省凉山州会理县南阁乡(28°36'N~102°15'E)进行,该地区属中亚热带西部半湿润气候区,光照时间长,昼夜温差大,无霜期达到250d,年降雨量1000mm左右且主要集中在6月—10月。此地种植烟草品种为‘红大’(栽培方式为单作,行株距为1.2m×0.5m,种植密度为1100株/667m²),选取面积约为800m²的试验地一块,采用五点取样法于烟草移栽后旺长期开始调查,每点系统调查10株烟草整株上烟草烟粉虱(经中国农业科学院植物保护研究所鉴定为MED隐种,原称Q型烟粉虱)的成虫数,调查时间集中在5月—8月(包括烟草伸根期、旺长期及成熟期),每隔12~15d调查一次,每月调查2次,雨天顺延。试验地烟草的栽培与管理模式均与当地常规模式相同,但试验地烟草在整个生长过程中不施任何农药。

1.2 聚集度指标测定

丛生指标(I): $I = S^2/m - 1$,式中 S^2 为方差, m 为烟粉虱的平均数量(头/株),当 $I > 0$ 时,为聚集分布;当 $I = 0$ 时,为随机分布;当 $I < 0$ 时,为均匀分布。

负二项分布指标(K): $K = m^2/(S^2 - m)$,当 $0 <$

$K < 8$ 时,为聚集分布;当 $K \rightarrow +\infty$ (一般在8以上)时,为随机分布;当 $K < 0$ 时,为均匀分布。

久野指数(C_A): $C_A = (S^2 - m)/m^2$,当 $C_A > 0$ 时,为聚集分布;当 $C_A = 0$ 时,为随机分布;当 $C_A < 0$ 时,为均匀分布。

平均拥挤度指标(m^*): $m^* = m + (S^2 - m)/m$,当 $m^* > m$ 时,为聚集分布;当 $m^* = m$ 时,为随机分布;当 $m^* < m$ 时,为均匀分布,同时,当 $m^*/m > 1$ 时,为聚集分布;当 $m^*/m = 1$ 时,为随机分布;当 $m^*/m < 1$ 时,为均匀分布。

扩散系数(C): $C = S^2/m$,当 $C > 1$ 时,为聚集分布;当 $C = 1$ 时,为随机分布;当 $C < 1$ 时,为均匀分布。

田间个体平均大小测定(L^*): 当种群属于负二项分布时,用 L^* 指数表示其个体群的平均大小,同时用 $L^*/(m+1)$ 表示扩散型。其中, $L^* = m^* + 1$,当 $L^*/(m+1) > 1$ 时为聚集分布;当 $L^*/(m+1) = 1$ 时为随机分布;当 $L^*/(m+1) < 1$ 时为均匀分布^[16-20]。

1.3 空间分布型格局分析

1.3.1 Iwao $m^* - m$ 回归分析法

$m^* = \alpha + \beta m$ 的关系反映了个体分布的基本情况,说明成分的空间分布型,反映了个体群的散布情况。 α 指出分布的基本成分单个个体间的作用形式,当 $\alpha > 0$ 时,个体间相互吸引; $\alpha = 0$,个体间分布均匀,是单个个体;当 $\alpha < 0$ 时,个体间相互排斥。 β 指出基本成分的空间分布图式:当 $\beta < 1$ 时,为均匀分布; $\beta = 1$ 时为随机分布; $\beta > 1$ 时,为聚集分布。

1.3.2 Taylor 幂法则

$\lg S^2 = \lg a + b \lg m$, $S^2 = am^b$, a 为取样统计因素, b 是当平均密度增加时,方差的增长率,因而它也是聚集度对密度依赖性的一个尺度:当 $a = 1$ 、 $b = 1$ 时,为随机分布;当 $a > 1$ 、 $b = 1$ 时,为聚集分布,但其聚集强度不因种群密度的变化而改变;当 $a > 1$ 、 $b > 1$ 时,种群在一切密度下也都为聚集分布,但聚集强度随种群密度的升高而增加。

1.3.3 烟粉虱聚集成因分析

运用种群聚集均数(λ)分析烟粉虱的聚集原因, $\lambda = my/2k$,式中 m 为烟粉虱的平均值(头/株), k 为负二项分布中的值, γ 为自由度等于 $2k$ 时的 $\chi^2_{0.5}$ 值,但由于 $2k$ 常为小数,因此, $\chi^2_{0.5}$ 值可用比例内插法求得。当 $\lambda < 2$ 时,昆虫聚集原因主要是由于某些环境因素所致;当 $\lambda \geq 2$ 时,昆虫聚集原因主要是昆虫本

身的聚集习性或与环境因素综合作用所致。

1.3.4 种群密度与聚集度指标的关系

作为一个合理的扩散型指标在理论上应与种群平均密度 m 相互独立,这样的指标才适合各种密度水平的聚集程度变化的比较与分析,因此用 Myor 提出的方法,以各种指标为变量,平均密度为自变量,计算各种聚集指标与平均密度的相关系数 R 。

1.4 理论抽样数模型

1.4.1 Iwao 回归法

$$n=(\frac{t}{D})^2(\frac{\alpha+1}{m}+\beta-1)$$
,式中 n 为理论抽样数; α , β 为 Iwao 回归方程式中的参数; m 为平均密度(头/株); t 为一定置信度下 t 分布值; D 为允许误差。

1.4.2 Taylor 幂法

$$n=(\frac{t}{D})^2am^{b-2}$$
,式中 n 为理论抽样数; a , b 为 Taylor 幂方程式中的参数; m 为平均密度(头/株); t 为一定置信度下 t 分布值; D 为允许误差。

1.5 序贯抽样模型

采用 Iwao 序贯抽样技术 $T''_n(T'_n)=nm_c\pm t\sqrt{n[(\alpha+1)m_c+(\beta-1)m_c^2]}$,式中, T''_n 为累计虫数上限; T'_n 为累计虫数下限; m_c 为防治指标; t 为对

应于某一概率水平下的正态误差; α 、 β 为 m^*-m 回归式的截距和斜率; n 为抽样数。若 $T_n>T''_n$,则实际种群密度高于防治指标;若 $T_n<T'_n$,则实际种群密度低于防治指标;若 $T'_n\leq T_n\leq T''_n$,则不能确定实际种群密度大小,还应继续抽样。

1.6 数据分析

通过统计调查数据即可得到 S^2 与 m ,带入 1.2 各公式即可得到相应聚集度指标大小;进而得到回归模型及理论抽样模型。数据统计及图表制作均通过 Excel 2007 及 SPSS 16.0 得到。

2 结果与分析

2.1 烟粉虱的聚集度指标测定

如表 1 所示,通过对烟粉虱调查数据统计分析得到其在主要烟区的聚集度指标。在 5 月—7 月,其丛生指标(I)和久野指数(C_A)均大于 0,负二项指标(K)大于 0 且小于 8,扩散系数(C)、平均拥挤度(m^*/m)及 $L^*/(m+1)$ 均大于 1,故烟粉虱在烟田的主要分布型为聚集分布;在 8 月,其丛生指标(I)和久野指数(C_A)均小于等于 0,负二项指标(K)小于等于 0,扩散系数(C)、平均拥挤度(m^*/m)及 $L^*/(m+1)$ 均小于 1,故烟粉虱在烟田的主要分布型为均匀分布。

表 1 烟粉虱在主要烟区的聚集度指标测定值

Table 1 The aggregation indexes of Bemisia tabaci in major tobacco-producing regions

时间 Time	聚集度指标 Indices of aggregation											分布型判断 Distribution pattern
	m	S^2	m^*	m^*/m	I	K	C_A	C	L^*	$L^*/(m+1)$	λ	
5月上旬	0.44	0.86	1.14	2.58	0.70	0.63	1.58	1.70	2.14	1.48	0.20	聚集分布 Aggregated distribution
5月下旬	0.46	0.78	0.80	1.73	0.34	1.37	0.73	1.34	1.80	1.23	0.32	聚集分布 Aggregated distribution
6月上旬	0.88	1.41	2.15	2.45	1.27	0.69	1.45	2.27	3.15	1.68	0.40	聚集分布 Aggregated distribution
6月下旬	1.54	2.13	3.49	2.27	1.95	0.79	1.27	2.95	4.49	1.77	0.70	聚集分布 Aggregated distribution
7月上旬	2.02	3.65	7.62	3.77	5.60	0.36	2.77	6.60	8.62	2.86	0.91	聚集分布 Aggregated distribution
7月下旬	0.16	0.42	0.28	1.73	0.12	1.36	0.73	1.12	1.28	1.10	0.11	聚集分布 Aggregated distribution
8月上旬	0.12	0.15	-0.70	-5.80	-0.81	-0.15	-6.80	0.18	0.30	0.27	—	均匀分布 Uniform distribution
8月下旬	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—

2.2 烟粉虱聚集成因分析

由表 1 可知,烟粉虱在 5 月上旬—7 月下旬时 $\lambda<2$,故其聚集原因主要是由于某些环境因素所致;对聚集均数(λ)与平均密度(m)进行线性回归得 $\lambda=0.42m+0.05$ ($R=0.992\ 2$)(图 1),即当烟粉虱种群密度 $m\geq 4.62$ 时,烟粉虱种群的聚集为其本身的聚集习性或与环境因素综合作用所致,当 $m<4.62$ 时,烟粉虱种群聚集的主要原因是由于某些环境因素所致。

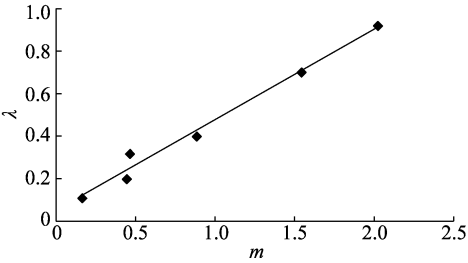


图 1 烟粉虱 λ - m 的关系

Fig. 1 Relationships between mean aggregation index and mean density

2.3 种群密度与聚集度指标的关系

由表 2 表明,只有平均拥挤度(m^*/m)、负二项分布指标(K)、久野指数(C_A)与烟粉虱种群平均密度(m)

相关性不显著,其余与平均密度(m)相关性显著或独立不明显。所以,用平均拥挤度(m^*/m)、负二项分布指标(K)、久野指数(C_A)分析烟粉虱空间分布型更具说服力。

表 2 种群密度与各聚集度指标之间的相关性

聚集度指标 Aggregation index	m^*	m^*/m	I	K	C_A	C	L^*	$L^*/(m+1)$
相关系数 Correlation coefficient	0.959 9	0.568 5	0.926 0	0.038 7	0.527 9	0.942 6	0.968 1	0.897 4

2.4 空间分布格局分析

2.4.1 Iwao m^*-m 回归

根据表 1 m^*-m 值作回归分析得到回归方程为 $m^*=-0.842\ 1+3.678\ 8\ m$ ($R=0.962\ 5$),由此可知 $\alpha=-0.842\ 1>0$,说明个体间相互排斥, $\beta=3.678\ 8>1$,说明烟粉虱的空间分布是聚集的(图 2)。

0.1、0.2、0.3, $t=1、1.64、1.96$ 。

2.5.2 Taylor 幂法

$n=(\frac{t}{D})^2am^{b-2}$,式中 n 为理论抽样数; $a、b$ 为通过 Taylor 幂方程式得 $a=1.673\ 5, b=0.962\ 7$,则有模型公式: $n=(\frac{t}{D})^21.673\ 5m^{-1.037\ 3}$,取 $D=0.1、0.2、0.3, t=1、1.64、1.96$ 。

通过 Iwao 回归法及 Taylor 幂法理论抽样模型即可求得烟粉虱在不同密度与精度要求下抽取的最合理抽样数 n ,且 n 随平均密度(m)、允许误差(D)及置信度(t)的变化而变化(表 3)。

表 3 烟粉虱种群理论抽样数

Table 3 Theoretical sample numbers for <i>Bemisia tabaci</i>							
$m/t=1$	Iwao 法 Iwao method			Taylor 幂法 Taylor law			
	$D=0.1$	$D=0.2$	$D=0.3$	$D=0.1$	$D=0.2$	$D=0.3$	
1	452	113	50	167	42	19	
2	360	90	40	82	20	9	
3	329	82	37	54	13	6	
4	314	78	35	40	10	4	
5	305	76	34	32	8	4	
6	299	75	33	26	7	3	
7	294	74	33	22	6	2	
8	291	73	32	19	5	2	
...	...	...	...	...	...	...	
$m/t=1.64$	Iwao 法 Iwao method			Taylor 幂法 Taylor law			
	$D=0.1$	$D=0.2$	$D=0.3$	$D=0.1$	$D=0.2$	$D=0.3$	
1	1 216	304	135	450	113	50	
2	968	242	108	219	55	24	
3	886	221	98	144	36	16	
4	844	211	94	107	27	12	
5	820	205	91	85	21	9	
6	803	201	89	70	18	8	
7	791	198	88	60	15	7	
8	782	196	87	52	13	6	
...	...	...	...	...	...	...	
$m/t=1.96$	Iwao 法 Iwao method			Taylor 幂法 Taylor law			
	$D=0.1$	$D=0.2$	$D=0.3$	$D=0.1$	$D=0.2$	$D=0.3$	
1	1 737	434	193	643	161	71	
2	1 383	346	154	313	78	35	
3	1 265	316	141	206	51	23	
4	1 206	302	134	153	38	17	
5	1 171	293	130	121	30	13	
6	1 147	287	127	100	25	11	
7	1 130	283	126	85	21	9	
8	1 118	279	124	74	19	8	
...	...	...	...	...	...	...	

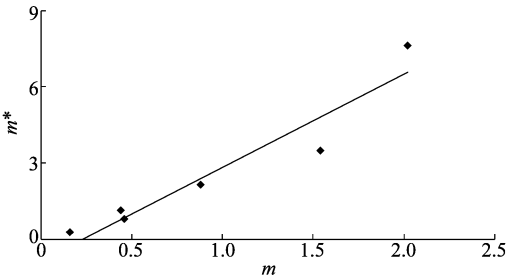


图 2 烟粉虱 m^*-m 关系

Fig. 2 Relationships between mean crowding index and mean density

2.4.2 Taylor 幂法则

根据表 1 S^2-m 值作 Taylor 幂函数得 $(\lg S^2=0.167\ 4+0.962\ 5\ \lg m)$ 或 $S^2=1.673\ 5m^{0.962\ 7}$ ($R=0.974\ 2$),由此可知 $a=1.673\ 5>0, b=0.962\ 7\approx 1$,说明烟粉虱种群为聚集分布,聚集强度不完全取决于种群密度。

0.1、0.2、0.3, $t=1、1.64、1.96$ 。

2.5.2 Taylor 幂法

$n=(\frac{t}{D})^2am^{b-2}$,式中 n 为理论抽样数; $a、b$ 为通过 Taylor 幂方程式得 $a=1.673\ 5, b=0.962\ 7$,则有模型公式: $n=(\frac{t}{D})^21.673\ 5m^{-1.037\ 3}$,取 $D=0.1、0.2、0.3, t=1、1.64、1.96$ 。

通过 Iwao 回归法及 Taylor 幂法理论抽样模型即可求得烟粉虱在不同密度与精度要求下抽取的最合理抽样数 n ,且 n 随平均密度(m)、允许误差(D)及置信度(t)的变化而变化(表 3)。

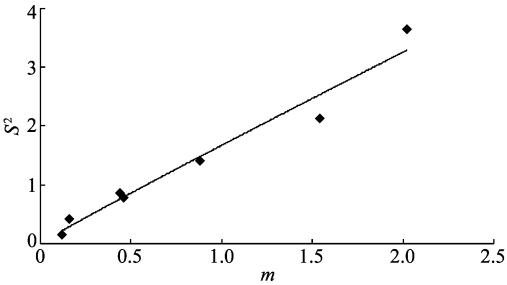


图 3 烟粉虱 S^2-m 关系

Fig. 3 Relationships between variance and mean density

2.5 理论抽样模型

2.5.1 Iwao 回归法

通过 Iwao 回归得 $\alpha=0.842\ 1, \beta=3.678\ 8$,则有模型公式: $n=(\frac{t}{D})^2(\frac{1.942\ 1}{m}+2.678\ 8)$,取 $D=$

2.6 序贯抽样模型

根据 Iwao 序贯抽样技术,取 $t=1.64, 1.96$, 防治指标 $m_c=10$ 头/株,则有公式:

$$T''_n(T'_n)=10n\pm 1.64 \sqrt{286.3n}(t=1.64, m_c=10 \text{ 头/株})$$

$$T''_n(T'_n)=10n\pm 1.96 \sqrt{286.3n}(t=1.96, m_c=10 \text{ 头/株})$$

根据以上公式可得到烟粉虱种群序贯抽样图,以 $t=1.64, m_c=10$ 头/株为例,若烟粉虱调查累计虫数 $T_n > T''_n$,则应予以防治;若 $T_n < T'_n$,则无需防治;若 $T'_n < T_n < T''_n$,则应继续抽样调查(图 4)。

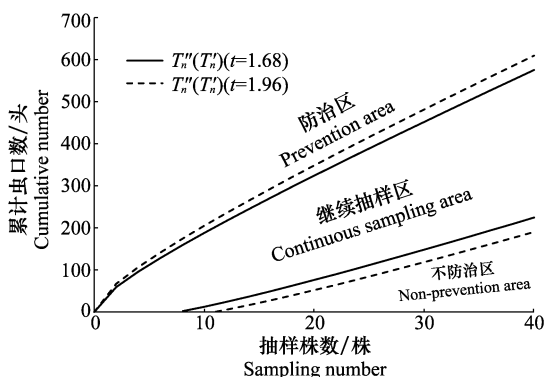


图 4 烟粉虱种群 Iwao 序贯抽样图

Fig. 4 Iwao's sequential sampling

3 结论与讨论

在烟粉虱综合防控的研究中对其空间格局的掌握是不可或缺的一部分,空间格局不但揭示了烟粉虱种群的空间结构特征,还为对其展开预测预报及有效的防治工作提供了可靠的理论数据^[21-22]。本研究通过丛生指标(I)、聚集度指标(m^*/m)、扩散系数(C)、久野指标(C_A)、负二项指标(K)等研究表明,烟粉虱在烟田初期及盛发期均为聚集分布,其聚集原因主要是由环境引起的,但聚集强度并不完全取决于密度,因为后期随着烟粉虱种群数量的下降,环境温度的变化以及烟草生长后期汁液的减少而表现出均匀分布,这一研究结果与其在茄子、西瓜、黄瓜、番茄、鲜食大豆等作物上的分布型相同^[7-9, 13-14]。

烟粉虱种群密度的变化因受多种因素影响难以及时准确地掌握其密度大小,而给综合防治带来一定阻碍,而不同烟粉虱密度下最适理论抽样数的引入,可根据烟粉虱密度确定科学的抽样数,从而提高了田间工作效率,并且为系统掌握烟粉虱种群的变化提供理论基础。在烟粉虱的防治过程中,结合最适理论抽样数引入序贯抽样模型,工作者可根据田间理论抽样数判定烟粉虱种群密度,从而确定防治

指标,再结合序贯抽样模型决定是否需要防治或继续进行抽样,从而为田间调查及防治提供了科学的理论基础,并具有指导意义。

参考文献

- [1] 牛巧鱼. 白粉虱对美国棉花生产的危害及防治措施[J]. 中国棉花, 2000, 27(10): 8-9.
- [2] BOYKIN L M, SHATTERS R G JR, ROSELL R C, et al. Global relationships of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) revealed using Bayesian analysis of mitochondrial COI DNA sequences[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2007, 44(3): 1306-1319.
- [3] LI S J, XUE X, AHMED M Z, et al. Host plants and natural enemies of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in China[J]. Insect Science, 2011, 18(1): 101-120.
- [4] 褚栋, 张友军, 从斌, 等. 世界性重要害虫 B 型烟粉虱的入侵机制[J]. 昆虫学报, 2004, 47(3): 400-406.
- [5] 罗志义, 章伟年, 干国培. 棉田烟粉虱种群动态及杀虫剂的影响[J]. 昆虫学报, 1989, 32(3): 293-299.
- [6] 冯兰香, 杨宇红, 谢丙炎, 等. 警惕烟粉虱大暴发导致新的病毒病流行[J]. 中国蔬菜, 2001(2): 34-35.
- [7] 沈斌斌, 任顺祥, MUSA P D, 等. 烟粉虱成虫空间分布型的研究[J]. 昆虫知识, 2005, 42(5): 544-546.
- [8] 李刚, 吴永汉, 陈文华, 等. 番茄黄化曲叶病病株及传毒介体烟粉虱的空间分布型[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(6): 779-783.
- [9] 虞铁俊, 汪恩国, 陈林, 等. 烟粉虱成虫在西兰花菜地种群分布型及抽样技术[J]. 浙江农业学报, 2007, 19(6): 444-448.
- [10] 杜予州, 孙伟, 张莉, 等. B 型烟粉虱对不同豇豆品种的选择及适生性研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2498-2504.
- [11] 沈斌斌, 吴建辉, 任顺祥. 烟粉虱天敌作用的评价[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(1): 17-20.
- [12] 林克剑, 吴孔明, 魏洪义, 等. 温度和湿度对 B 型烟粉虱发育、存活和生殖的影响[J]. 植物保护学报, 2004, 31(2): 166-172.
- [13] 周福才, 任顺祥, 杜予州, 等. 棉田烟粉虱种群的空间格局[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1239-1244.
- [14] 张礼凤, 徐冉, 王彩洁, 等. 烟粉虱若虫在夏大豆植株上分布的研究[J]. 大豆科学, 2006, 25(2): 188-191.
- [15] 龙怒. 中外烟草业发展比较研究[J]. 产业经济研究, 2004, 2: 61-69.
- [16] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [17] LLOYD M. Mean crowding[J]. Journal Animal Ecology, 1967, 36: 1-30.
- [18] IWAO S. A new regress method for analyzing the aggregation pattern of animal populations[J]. Researches on Population Ecology, 1968, 10(1): 1-20.
- [19] TAYLOR L R. Aggregation, variance and the mean[J]. Nature, 1961, 189(4766): 732-735.
- [20] BLACKITH R E. Nearest neighbour distance measurements for the estimation of animal populations [J]. Ecology, 1958, 39(1): 147-150.
- [21] 王立红. 一品红花卉上烟粉虱的序贯抽样技术研究[J]. 植物保护, 2007, 33(4): 74-76.
- [22] 洪波, 张云慧, 李超, 等. 马铃薯甲虫空间分布型及序贯抽样[J]. 植物保护学报, 2010(3): 206-210.