

旱作番茄田桃蚜种群空间结构 及其抽样技术研究

李 平, 景亮亮, 唐宗云
(武威市农业技术推广中心, 甘肃 武威 733000)

摘要: 探明河西地区寒旱农业番茄田桃蚜的种群发生分布特征及其测报抽样技术, 为当地桃蚜监测预警与综合防治提供技术参考。采取田间随机调查、空间分布型指数法测定和线性回归检验的方法, 研究了甘肃武威凉州区番茄田间桃蚜种群空间结构特征及其序贯抽样技术。结果表明, 凉州区寒旱农业番茄桃蚜种群发生及分布的空间结构特征呈聚集分布型。根据平均拥挤度(M^*)与平均虫口密度(m)之间 Iwao 回归关系式 $M^*=1.8369m-1.1692$, 得出番茄桃蚜若虫及成虫的理论抽样模型 $N=1.96^2/D^2(-0.1692/m+0.8369)$ 和序贯抽样技术模式 $T_{(1,2)}=5n\pm 8.7808\sqrt{n}$, 根据模型在估计防治指标下可得出最适抽样数。

关键词: 旱作; 番茄; 桃蚜; 空间结构; 最适抽样数; 理论抽样模型; 序贯抽样技术

中图分类号: S436.412 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2025)05-0447-05

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.05.010

Study on the Spatial Structure and Sampling Techniques of *Myzus persicae* Population in Dryland Tomato Fields

LI Ping, JING Liangliang, TANG Zongyun
(Wuwei Agricultural Technology Extension Centre, Wuwei Gansu 733000, China)

Abstract: To investigate the population occurrence and distribution characteristics of *Myzus persicae* on tomato fields in cold and dry farming areas in the Hexi region, as well as their monitoring and sampling techniques, the population structure characteristics and sampling techniques of *M. persicae* populations in tomato fields in Liangzhou District, Wuwei, Gansu Province were studied using random surveys, spatial distribution type tests, and linear regression methods. The results indicated that the occurrence and spatial distribution pattern of *M. persicae* was clustered in cold and dry farming areas in Liangzhou District. Based on the Iwao regression relationship between mean crowding(M^*) and mean density(m), $M^*=1.8369m-1.1692$, the theoretical sampling model for nymphs and adults was established as $N=1.96^2/D^2(-0.1692/m+0.8369)$, with a sequential sampling model $T_{(1,2)}=5n\pm 8.7808\sqrt{n}$. The optimal sampling size based on the estimated control indicators was calculated.

Key words: Arid cultivation; Tomato; *Myzus persicae*; Spatial structure; Optimal sampling size; Theoretical sampling model; Sequential sampling technique

蚜虫, 又名“腻虫”, 是世界农林业生产中重要的有害生物类群之一^[1-4]。其中, 桃蚜 [*Myzus persicae* (Sulzer)] 隶属于半翅目 (Hemiptera) 蚜科 (Aphidiae) 瘤蚜属 (*Myzus*), 是寄主范围最广, 危害最为严重的蚜虫种类之一^[5-7]。桃蚜不但危害桃、李、杏等蔷薇科植物, 而且是茄科、十字花科、豆类和瓜类等经济作物的重要害虫之一^[8]。桃蚜自然条件下可借助气流远距离扩散, 其环境适宜性和繁殖力较强, 成虫和若虫以刺吸式口器从

植物组织中吸取汁液, 造成植物营养损失, 导致植株发育受阻, 严重时可能造成植物生长畸形^[9-11]。其排泄物又称为“蜜露”, 多覆盖于植物叶片表面, 数量大时不仅严重抑制植物的光合作用, 而且“蜜露”遇适宜温湿度条件容易繁殖细菌等病原微生物, 极大地增加了田间植物病害发生与流行风险。桃蚜又是传播植物病毒病的重要介体昆虫, 可传播多种病毒, 包括马铃薯纺锤块茎类病毒、马铃薯卷叶病毒、马铃薯 Y 病毒、马铃薯 A 病毒、马

收稿日期: 2024-07-31; 修订日期: 2025-03-17

基金项目: 武威市自然科学基金(WW23A03RPZ006)。

作者简介: 李 平 (1983—), 男, 陕西西安人, 高级农艺师, 主要从事农作物病虫害预测预报与综合防治工作。Email: 274620558@qq.com。

铃薯奥古巴花叶病毒、马铃薯 M 病毒、马铃薯 S 病毒、苜蓿花叶病毒及黄瓜花叶病毒等,其传播病毒造成的损失对农业生产危害巨大^[12-13]。由于化学防治不当,桃蚜已对吡虫啉等烟碱类、抗蚜威等氨基甲酸酯类、溴氰菊酯等拟除虫菊酯类、毒死蜱等有机磷类以及甲氨基阿维菌素苯甲酸盐等合成抗生素类杀虫剂表现出不同程度抗药性,防治十分困难^[14-16]。加强桃蚜等蚜虫发生为害种类、扩散分布特征及其监测预警技术的具体研究,是指导减少化学农药使用量、提升病虫化学防治科学性、改善害虫抗药性问题治理效果的基础措施之一。

武威市位于河西走廊东端,地处黄土高原、青藏高原和蒙新高原三大高原交汇地带^[17],生态地貌特征与自然隔离条件特殊,蚜虫种类多样性丰富^[18]。番茄生产已是武威市凉州区传统特色产业,也是武威市现代农业绿色产业之一。近年来,在凉州区番茄种植地调查发现,桃蚜逐渐成为番茄生产中重要有害生物类群。武威桃蚜种群是河西走廊桃蚜种群类群的重要组成成分^[19],桃蚜在河西地区旱作番茄田间发生分布规律、空间结构特征及其预测预报技术研究尚待进一步探讨,桃蚜化学防治数量依据尚待调查论证。因此,我们在武威市凉州区开展旱作番茄桃蚜空间结构特征及其抽样技术调查研究,以期对河西走廊寒旱农业番茄桃蚜监测预警与综合防治提供理论基础和技术参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

指示番茄品种为毛粉 802,由武威市农业技术推广中心提供。

1.2 调查地点及方法

调查地点位于甘肃省武威市凉州区五和镇支寨村,平均海拔 1 600 m,年均降水量 160 mm,土壤为灌漠土,耕层有机质含量 0.132 g/kg。番茄采用露地移栽种植方式,于 2024 年 4 月 20 日定植,行株距 1.0 m × 0.4 m。7 月 8—9 日,在番茄花果期蚜虫发生初期随机调查 5 块田,编号(1-5),面积 666.7 ~ 900.0 m²。每块田内棋盘式取样,横向和纵向各均匀选择 10 个点,每点 1 株,样方面积 0.4 m²,共调查 100 株。随机调查并统计上、中、下部各 3 片叶上蚜虫成虫及若虫数量。

1.3 种群聚集强度检验

1.3.1 空间分布型检验 是依据对某一种群抽样调查中所获得的 3 个重要分布信息(均数、方差和样本数)之间的关系,判别此种群个体间的扩散或聚集程度,从而确定其分布型的一种方法。通过分布型扩散系数 C 、聚集度指标或聚集指数 M^*/m 、负二项分布 K 值倒数 Cassie 指标 C_A 、David & Moore 丛生指数 I 和种群聚集均数 λ 检验种群空间结构类型特征。

扩散系数 C 及丛生指数 I 是用方差与均值描述聚集程度,检验种群分布型的指标,公式如下。

$$C=S^2/m$$

式中, $C < 1$ 均匀分布型, $C = 1$ 随机分布型, $C > 1$ 聚集分布型, m 为平均密度, S^2 为方差。

$$I=S^2/m-1$$

式中, $I < 0$ 均匀分布型, $I = 0$ 随机分布型, $I > 0$ 聚集分布型。

聚集指数 M^*/m 是以平均拥挤度与均数描述种群聚集度的指标,公式如下。

$$M^*/m=[m+(S^2/m-1)]/m$$

式中, $M^*/m < 1$ 均匀分布型, $M^*/m = 1$ 随机分布型, $M^*/m > 1$ 聚集分布型, M^* 为平均拥挤度。

Cassie 指标 C_A 是用负二项分布的 K 值的倒数为估计种群聚集型指数,公式如下。

$$C_A=1/K$$

$$K=m^2/(S^2-m)$$

式中, $C_A < 0$ 均匀分布型, $C_A = 0$ 随机分布型, $C_A > 0$ 聚集分布型, S^2 为方差。

聚集均数 λ 是用负二项分布的 K 值与种群均数描述聚集原因的指标,公式如下。

$$\lambda=m/(2K) \times \gamma$$

$$K=m^2/(S^2-m)$$

式中, $\lambda < 2$ 种群聚集受环境作用导致,而非生物本身聚集活动习性所致; $\lambda \geq 2$ 种群聚集受环境条件或物种本身聚集习性因素中的任一个因素导致; γ 为卡方分布表中自由度等于 $2K$ 与 0.5 概率值对应处的卡方分布的函数值。

1.3.2 线性回归检验 构建平均拥挤度(M^*)与平均密度(m)之间线性回归 Iwao 模型 $M^*=\alpha+\beta m$, 式中, α 为基本扩散指数, $\alpha < 0$ 个体间排斥, $\alpha = 0$ 分布的基本成分是单个个体, $\alpha > 0$ 个体间吸引, 分

布的基本成分是个体群; β 为密度扩散系数, $\beta < 1$ 为均匀分布型, $\beta = 1$ 为随机分布型, $\beta > 1$ 为聚集分布型。构建方差(S^2)与平均密度(m)之间线性回归 Taylor 模型 $\lg S^2 = \lg a + b \lg m$, 式中, a 为抽取因素, b 为物种聚集特征指数, b 趋近于 0 均匀分布型, $b = 1$ 随机分布型, $b > 1$ 聚集分布型。通过 Iwao 及 Taylor 函数验证空间分布类型特征。

1.4 理论抽样数及序贯抽样式

根据 Iwao 模型截距 α 、斜率 β 构建理论抽样数方程 $N = t^2/D^2[(\alpha+1)/m + (\beta-1)]$ 以及序贯抽样方程 $T_{(1,2)} = nm_0 \pm t \sqrt{n[(\alpha+1)m_0 + (\beta-1)m_0^2]}$, 式中, N 为最适抽样数或理论抽样数, m 为平均桃蚜密度, D 为相对允许误差限, n 为抽样数, m_0 为估计防治指标桃蚜数量, t 为置信区间分布值。一般取 95% 置信区间, 即 $t = 1.96$, 取 $D = 0.2 \sim 0.3$ 。

1.5 数据处理

采用 Excel 2007 和 DPS 17.10 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 空间分布型检验

由表 1 可知, 第 1–5 号田块桃蚜种群扩散系数 C 以及聚集度指标或聚集指数 M^*/m 均大于 1, Cassie 指标值 C_A 以及丛生指数 I 均大于 0, 说明桃蚜种群空间结构类型为聚集分布型。其中, 种群聚集均数 λ 均超过 2, 说明农田环境(作物栽培环境条件)或蚜虫本身生物学习性的任一个因素作用决定桃蚜田间呈聚集分布型特征。Excel 2007 及 DPS 17.10 多元分析线性回归检验聚集均数(λ)和平均密度(m)结果如图 1, 满足方程 $\lambda = 1.0471 m - 0.7077$, 决定系数 $R^2 = 0.8618$, $F = 18.71 > F_{0.05}$, $P = 0.0228 < 0.05$, 回归验证结果显著, 表明调查地番茄桃蚜种群聚集强度与种群密度显著正相关。

2.2 线性回归检验

Iwao 回归检验番茄桃蚜平均拥挤度 (M^*)与平

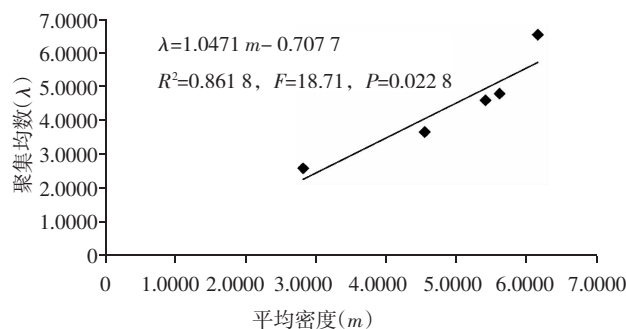


图 1 聚集均数(λ)与平均密度(m)线性回归散点分布

均密度 (m), 满足方程 $M^* = 1.8369 m - 1.1692$ ($R^2 = 0.9584$, $F = 69.04 > F_{0.01}$, $P = 0.0037 < 0.01$), 回归检验结果极显著。式中基本扩散指数 $\alpha = -1.1692 < 0$, 说明调查地番茄桃蚜成虫和若虫个体之间呈互相排斥的行为趋性; 密度扩散系数 $\beta = 1.8369 > 1$, 说明蚜虫种群空间结构类型是聚集分布型。

Taylor 回归检验方差(S^2)与番茄桃蚜平均密度 (m), 满足方程 $\lg S^2 = 2.1459 \lg m - 0.2004$ ($R^2 = 0.9661$, $F = 85.69 > F_{0.01}$, $P = 0.0027 < 0.01$), 回归检验结果极显著。式中种群聚集特征指数 $b = 2.1459 > 1$, 说明调查地番茄桃蚜种群空间结构类型同样呈聚集分布型。

2.3 理论抽样数与序贯抽样式

根据 1.4 模型方程式, 取 95% 置信区间 $t = 1.96$, 取 $D = 0.2 \sim 0.3$, 获得本例番茄田桃蚜成虫及若虫的最适抽样数方程为 $N = 1.96^2/D^2(-0.1692/m + 0.8369)$ 。当桃蚜密度(m)分别取 5、10、15、20、25、30 头/样方时, 可得到相应的最适抽样株数以供田间调查测报参考(表 2)。

表 2 2024 年凉州区番茄田桃蚜理论抽样数 株

允许误差 (D)	桃蚜密度/(头/样方)					
	5	10	15	20	25	30
0.2	77	79	79	80	80	80
0.3	34	35	35	35	35	35

表 1 2024 年凉州区番茄田桃蚜聚集强度指标检验

样田 编号	平均密度 (m)	方差 (S^2)	平均拥挤度 (M^*)	扩散系数 (C)	Cassie 指数 (C_A)	聚集指数 (M^*/m)	丛生指数 (I)	聚集均数 (λ)	空间结构
1	5.400 0	26.326 5	9.275 3	4.875 3	0.717 6	1.717 6	3.875 3	4.584 5	聚集分布
2	4.540 0	18.539 2	7.623 5	4.083 5	0.679 2	1.679 2	3.083 5	3.647 8	聚集分布
3	6.140 0	30.000 4	10.026 1	4.886 1	0.632 9	1.632 9	3.886 1	6.522 8	聚集分布
4	5.600 0	21.551 0	8.448 4	3.848 4	0.508 6	1.508 6	2.848 4	4.781 0	聚集分布
5	2.820 0	5.538 4	3.784 0	1.964 0	0.341 8	1.341 8	0.964 0	2.578 6	聚集分布

假定旱作番茄田桃蚜防治指标为 5 头 / 样方, 根据 Iwao 序贯抽样公式, 一般取 95% 置信区间 $t=1.96$, 得出本例桃蚜的序贯抽样式 $T_{(1,2)}=5n \pm 8.7808\sqrt{n}$ 。若田间抽样调查数量为 20 ~ 100 株时, 可依次计算获得相应序贯抽样值(表 3)。随机抽样调查番茄株数为 40 株, 当田间累计调查桃蚜虫量 $\geq$ 相应 $T_{(1)}$ 上限值 256 头, 说明当前桃蚜田间发生情况达到或超过了设定防治指标, 应及时组织和开展专业化统防统治与群防群治; 若田间累计调查桃蚜虫量 $\leq$ 相应 $T_{(2)}$ 下限值 144 头, 说明当前田间桃蚜发生情况未达到设定防治指标, 应按照田间管理技术要求继续落实监测调查, 并做好应急化学防控准备; 若累计调查桃蚜虫量处于相应的上、下限之间, 仍需继续抽样调查。实际应用中, 若查得虫量总是介于序贯抽样上、下限之间, 则以最大抽样数的序贯抽样量更靠近的界限值做出防治决策。

表 3 2024 年凉州区番茄田桃蚜序贯抽样表^① 头

抽样数量/株	上限虫量 (T_1)	下限虫量 (T_2)
20	139	61
40	256	144
60	368	232
80	479	321
100	588	412

①防治指标 $m_0=5$, $t=1.96$

生产应用中, 最适抽样数模型确定的值为最大抽样数, 一般取 $D=0.2$ 。本研究中, 设定防治指标 $m_0=5$, 代入最适抽样数方程可得最大抽样数 $N_{\max} \approx 77$ 株, 结果与表 2 中相应理论抽样数量一致。将抽样数 $n=77$ 代入序贯抽样方程式 $T_{(1,2)}=5n \pm 8.7808\sqrt{n}$, 可计算得出相应上限虫量 $T_{(1)}=462$ 头和下限虫量 $T_{(2)}=308$ 头。即指导当前田间实际最多调查番茄数量 77 株。此情况下, 若实际查得的桃蚜总量靠近或超过 462 头, 说明当前番茄田桃蚜发生情况达到或超过了估计防治指标, 应及时组织开展专业化统防统治; 若实际查得的桃蚜总量靠近或低于 308 头, 说明当前番茄田桃蚜为害情况未达到估计防治指标, 应按照生产要求继续落实监测调查, 并做好应急化学防治准备。

3 讨论与结论

番茄生产是河西走廊现代农业生态产业之一^[20-23], 也是武威寒旱农业特色产业之一。随着全球气候条件变化、区域种植结构调整以及种子苗木等农产品调运增加, 桃蚜逐渐成为武威市凉州区寒旱农业番茄生产中的主要害虫类型之一。凉州区番茄种植较早, 生产技术体系完备, 地理及自然条件特殊, 是全国北方蔬菜生产最佳区域之一^[24]。刘永刚等^[19]通过遗传相似性分析研究发现, 武威市桃蚜种群是河西走廊桃蚜种群类群的重要组成成分, 为调查和研究河西走廊寒旱农业桃蚜的发生为害规律、扩散分布特征及其监测预警技术提供了理想场所和条件。本研究通过田间随机调查、空间分布型检验和线性回归分析, 得出武威市凉州区旱作番茄田桃蚜发生危害初期种群空间结构类型呈聚集分布特征, 桃蚜种群聚集强度随蚜虫密度增加而增加, 其聚集因素是受农田环境条件或桃蚜生物学特性作用所致, 这与王小强等^[25]、夏鹏亮等^[26]、董凤林等^[27]的研究结论一致。因此, 加强河西地区旱作农田环境条件科学治理, 综合运用农业防治、生态调控、物理防治、生物防治以及化学防治技术, 实施农田有害生物种群监管, 对提升寒旱农业有害生物绿色治理水平, 保障西部生态环境和农产品生产安全具有重要指导意义。

本研究根据平均拥挤度(M^*)与平均密度(m)之间 Iwao 回归关系式 $M^*=1.8369m-1.1692$, 初步探明了河西走廊旱作番茄田桃蚜成虫及若虫的最适抽样数方程为 $N=1.96^2/D^2(-0.1692/m+0.8369)$ 和序贯抽样技术模式 $T_{(1,2)}=5n \pm 8.7808\sqrt{n}$, 为进一步加强河西走廊寒旱农业有害生物扩散分布规律调查及其测报抽样技术研究, 提供了有益尝试和初步探索。实际应用中, 广大种植户、专业化防治组织或基层农技人员应加强田间技术管理指导和病虫害观察调查统计, 科学建立具体序贯抽样技术模型作为参考。当实地调查蚜虫总量靠近或超过模型统计相应上限虫量时, 应指导组织开展专业化统防统治与群防群治; 当实地调查总虫量靠近或低于模型统计相应下限虫量时, 应按照田间管理规范继续开展监测调查, 并做好应急化学防治准备。农业技术人员在指导和应用具体技

术模型调查分析的基础上, 还应综合天敌数量发生动态以及天气条件变化等因素, 从而科学决策是否开展化学防治。

参考文献:

- [1] 孙建萍. 蔬菜蚜虫防治技术[J]. 农业知识, 2022(7): 28-29.
- [2] 田正鹏. 保护地茄子蚜虫的发生与防治[J]. 农村新技术, 2024(2): 24-25.
- [3] 范元兰, 陈 敏, 王其刚, 等. 植物蚜虫及其抗性研究进展[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(14): 33-44.
- [4] 杨 涛, 庄生仁, 任富成, 等. 河西走廊苜蓿蚜对棉花生长发育及产量影响[J]. 中国棉花, 1998(11): 19-20.
- [5] 车升国, 冯俊青, 樊庆军, 等. 菏泽市桃蚜发生规律与防治措施[J]. 北方果树, 2023(5): 44-45.
- [6] 吴长兵, 徐庆宣, 张安宁, 等. 北方桃园秋季桃蚜发生规律与防控药剂筛选[J]. 环境昆虫学报, 2023, 45(6): 1687-1693.
- [7] 张海燕, 王丽艳, 杨克军, 等. 不同寄主蔬菜对桃蚜生物学特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(11): 4834-4835; 4862.
- [8] 石宝才, 胡铁军. 蚜虫的识别与防治[J]. 中国蔬菜, 2006(1): 57-58; 60.
- [9] 申俊中, 王洋喜. 宕昌县中北部脱毒马铃薯种薯繁殖区传毒蚜虫迁飞及消长规律研究[J]. 甘肃农业, 2011(11): 88-89.
- [10] 孔利利, 张克信, 张强艳, 等. 不同马铃薯品种对桃蚜发育和繁殖的影响[J]. 生态学杂志, 2024, 43(7): 2143-2149.
- [11] 孙婧雯, 张海燕. 不同寄主植物对桃蚜生长繁殖的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2020(1): 83-86.
- [12] 赵 竞, 张 磊, 孙平平, 等. 马铃薯病毒及类病毒传毒介体研究进展[J]. 中国马铃薯, 2022, 36(3): 236-255.
- [13] 张广荣, 孙述俊, 文朝慧, 等. 黄瓜瓜类蚜传黄化病毒的检测与分析[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(11): 1074-1078.
- [14] 王晓丽, 万 炜, 王淑娟, 等. 5 种萆类及增效组合对桃蚜生物活性及防效的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2023, 44(3): 13-17; 52.
- [15] 王利平, 柳蕴芬, 张 伟. 山东省桃蚜(*Myzus persicae*)对啉虫脒、吡虫啉的抗药性[J]. 中国蔬菜, 2016(2): 48-51.
- [16] 孙瑞红, 蒋莉莉, 武海斌, 等. 中国桃蚜防治药剂及抗药性发展[J]. 农药, 2020, 59(1): 1-5.
- [17] 李 平. 甘肃省武威市凉州区 2017—2021 年苹果蠹蛾的发生情况及其与气象因子的关系[J]. 中国果树, 2022(6): 55-58.
- [18] 任珊珊, 乔格侠, 张广学. 甘肃省蚜虫类物种多样性研究[J]. 动物分类学报, 2003(2): 221-227.
- [19] 刘永刚, 漆永红, 李惠霞, 等. 甘肃不同地理种群桃蚜的遗传相似性[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15): 3134-3142.
- [20] 闫文涛, 米兴旺, 李 波, 等. 不同保水剂对戈壁日光温室基质栽培番茄生长和产量及品质的影响[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(4): 342-348.
- [21] 吴崇义, 王小锋, 何强强, 等. 泾河川区塑料大棚蔬菜主要栽培模式[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(9): 875-878.
- [22] 权建华, 孙铭若, 冯丽玲, 等. 苗期低温胁迫对番茄生长及果实畸形发生的影响[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(1): 78-82.
- [23] 陆海玲. 酒泉市肃州区无公害加工番茄病虫害综合防治技术[J]. 农业科技与信息, 2015(19): 78-79.
- [24] 魏建荣, 陈其兵. 武威市日光温室夏秋茬番茄高产栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2014(12): 65-66.
- [25] 王小强, 曹馨月, 刘虹玲, 等. 桃蚜在辣椒上的空间分布及抽样技术研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(27): 158-164.
- [26] 夏鹏亮, 王 瑞, 王昌军, 等. 恩施烟区无翅桃蚜在烤烟田空间动态的地统计学分析[J]. 生态学报, 2014, 34(5): 1198-1204.
- [27] 董凤林, 刘秉义, 靳军良, 等. 固原市马铃薯蚜虫种群时空动态分布规律研究[J]. 甘肃农业科技, 2010(3): 12-14.