

DOI: 10.5846/stxb201706271157

余燕,王振兴,李尚,毕守东,周夏芝,邹运鼎,王建盼,郎坤.天敌对“乌牛早”茶园 4 种害虫空间跟随关系密切程度的年度间差异.生态学报,2018,38(13): - .

Yu Y, Wang Z X, Li S, Bi S D, Zhou X Z, Zou Y D, Wang J P, Lang K. Degree of close spatial-following relationship between four insect pests and their natural enemies studied in a span of two years about “WuNiuZao” tea garden. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(13): - .

## 天敌对“乌牛早”茶园 4 种害虫空间跟随关系密切程度的年度间差异

余 燕<sup>1</sup>, 王振兴<sup>1</sup>, 李 尚<sup>2</sup>, 毕守东<sup>1,\*</sup>, 周夏芝<sup>2</sup>, 邹运鼎<sup>2</sup>, 王建盼<sup>1</sup>, 郎 坤<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 安徽农业大学理学院, 合肥 230036

<sup>2</sup> 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036

**摘要:**为了合理保护和利用天敌及科学地选取抽样方法,2015 年和 2016 年合肥地区乌牛早茶园茶蚜、假眼小绿叶蝉、卵形短须螨和双斑长跗蚱叶甲与其天敌之间的空间关系,并比较两年间同一种天敌与该害虫空间跟随关系密切程度差异的原因。运用地学统计学方法求得天敌和害虫各自的变程,用灰色关联度方法分析害虫与天敌变程之间的关联度,关联度值越大的天敌在空间上对害虫的跟随关系越密切。与害虫空间跟随关系密切的前三位天敌,2015 年茶蚜的是茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和棕管巢蛛,2016 年是锥腹肖蛸、八斑球腹蛛和鳞纹肖蛸,两年只有锥腹肖蛸相同。2015 年假眼小绿叶蝉的是茶色新圆蛛、八斑球腹蛛和棕管巢蛛,2016 年的是八斑球腹蛛、茶色新圆蛛和鳞纹肖蛸,两年间前三位天敌中有八斑球腹蛛和茶色新圆蛛相同,但位次不同。2015 年卵形短须螨空间跟随关系密切的前三位天敌是茶色新圆蛛、棕管巢蛛和鳞纹肖蛸,2016 年的是鳞纹肖蛸、棕管巢蛛和八斑球腹蛛,两年间前三位天敌中有棕管巢蛛和鳞纹肖蛸相同,但位次不同。2015 年双斑长跗蚱叶甲的是八斑球腹蛛、棕管巢蛛和鳞纹肖蛸,2016 年的是鳞纹肖蛸、棕管巢蛛和茶色新圆蛛,两年间前三位天敌中有鳞纹肖蛸和棕管巢蛛相同,但位次不同。初步分析表明年度间与害虫跟随关系天敌位次的变化原因是,害虫个体数与某种天敌个体数之比,比值越小,天敌与害虫跟随关系越密切,似乎是天敌食饵资源短缺所致。

**关键词:**害虫;天敌;空间关系;地学统计学;灰色系统分析

## Degree of close spatial-following relationship between four insect pests and their natural enemies studied in a span of two years about “WuNiuZao” tea garden

YU Yan<sup>1</sup>, WANG Zhengxing<sup>1</sup>, LI Shang<sup>2</sup>, BI Shoudong<sup>1,\*</sup>, ZHOU Xiazhi<sup>2</sup>, ZOU Yunding<sup>2</sup>, WANG Jianpan<sup>1</sup>, LANG Kun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

<sup>2</sup> School of Forestry and Landscape Architecture, Hefei 230036, China

**Abstract:** To protect and use of natural enemies and provide scientific sampling methods, in this study, the spatial relationships among the natural enemies of the insect pests *Toxoptera aurantii* Boyer, *Empoasca vitis* Gothe, *Breuiipalpus obovatus*, and *Monolepta hieroglyphica* were investigated in the tea garden of “WuNiuZao” in the Hefei suburban district, China in 2015 and 2016. The reasons for differences in the relationship between the same natural enemies and the pest species in the two years were evaluated. The ranges of spatial dependence (RSDs) of natural enemies were calculated using a geostatistics method, and the spatial relationships among enemies and pests were analyzed using grey relational analysis. A greater relative degree indicates a closer following space about the relationship between natural enemies and pests. The

**基金项目:**国家自然科学基金(30871444);安徽省自然科学基金项目(11040606M71)

**收稿日期:**2017-06-27; **网络出版日期:**2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bishoudong@163.com

relational grade analysis showed that the three main enemies *Neoscona theisi*, *Tetragnatha maxillosa* and *Clubiona japonicola* Boes. et Str had a close relationship with *Toxoptera aurantii* in spatial-following relationships in the “WuNiuZao” tea garden in 2015. Although the three main enemies *Tetragnatha maxillosa*, *Theridion octomaculatum* Boes. et Str., and *Tetragnatha maxillosa* remained the same during the two years, the sorting was different in 2016. The relational grade analysis showed that the three main enemies *Neoscona theisi*, *Theridion octomaculatum* Boes. et Str., and *Clubiona japonicola* Boes. et Str had close relationship with *Empoasca vitis* in spatial-following relationships in the “WuNiuZao” tea garden in 2015. The three main enemies included *Theridion octomaculatum* Boes. et Str, *Neoscona theisi*, and *Tetragnatha syusmata* in 2016. *Theridion octomaculatum* Boes. et Str. and *Neoscona theisi* remained the same during the two years, but the seating arrangement was different. The relational grade analysis showed that the three main enemies *Neoscona theisi*, *Clubiona japonicola* Boes. et Str, and *Tetragnatha syusmata* had consanguineous relations with *Breuiipalpus oboyats* in spatial-following relationships in the “WuNiuZao” tea garden in 2015. The three main enemies included *Tetragnatha squamata* Karsch, *Clubiona japonicola* Boes. et Str, and *Theridion octomaculatum* Boes et Str. *Clubiona japonicola* Boes. et Str and *Tetragnatha squamata* Karsch remained the same during the two years, but the sorting was different. The relational grade analysis showed that the three main enemies, *Theridion octomaculatum* Boes. et Str, *Clubiona japonicola* Boes. et Str, and *Tetragnatha syusmata* had consanguineous relations with *Monolepta hieroglyphica* in spatial-following relationships in the tea garden in 2015. The three main enemies included *Tetragnatha syusmata*, *Clubiona japonicola* Boes. et Str, and *Neoscona theisi* in 2016. *Tetragnatha squamata* Karsch and *Clubiona japonicola* Boes. et Str remained the same during the two years, but the sorting was different. The main reason for the change of the natural enemies of the pests during the two years is the difference in the ratio of the number of individual pests to the number of individual natural enemies: smaller the ratio, closer is the following relationship between predators and pests, which seems to be caused by a shortage in natural enemy species resources.

**Key Words:** pests; natural enemies; spatial relationship geostatistics; gray system analysis

茶树害虫是影响茶叶产量和品质的重要因素,天敌是持续控制茶树害虫种群消长的重要生态因子<sup>[1]</sup>,天敌与害虫之间的关系体现在时、空、量、构、序诸方面,天敌对害虫在空间上的跟随关系密切与否与天敌对害虫的捕食率和寄生率有关,即直接与天敌对害虫种群数量控制作用大小有关<sup>[2]</sup>。茶蚜(*Toxoptera aurantii*)、假眼小绿叶蝉(*Empoasca vitis*)、卵形短须螨(*Breuiipalpus oboyats*)和双斑长跗萤叶甲(*Monolepta hieroglyphica*)是乌牛早茶园的主要害虫,瓢虫类的异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)等是茶蚜的天敌<sup>[1]</sup>,对茶蚜蜜露具有较强的搜索行为<sup>[3-4]</sup>。韩宝瑜等<sup>[5]</sup>报道茶蚜的蜜露可强烈地吸引七星瓢虫(*Coccinella septempunctat*)和异色瓢虫,随着蜜露浓度的增大,二种瓢虫搜索时间极显著地延长,且可激发瓢虫的搜索行为由广域型转换为地域集中型。陈宗懋等<sup>[6-11]</sup>研究了茶蚜与瓢虫的关系以及茶树-害虫-天敌蜘蛛等三者之间的化学联系,并讨论了茶树形态、生理生化基础等方面的抗性机制,明确了引起天敌对害虫在空间上跟随的次生物质。杨林等<sup>[12]</sup>用地质统计学方法分析了合肥地区秋季舒茶早和平阳特早茶园主要害虫茶蚜和假眼小绿叶蝉与其天敌的空间关系。舒茶早茶园与假眼小绿叶蝉跟随关系密切的前二位天敌是斜纹猫蛛(*Clubiona japonicola* Boes. et Str L. Koch)和草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* (Sundevall);与茶蚜跟随关系密切的是草间小黑蛛和斜纹猫蛛。平阳特早茶园与假眼小绿叶蝉跟随关系密切的是八斑球腹蛛(*Theridion octomaculatum*)和斜纹猫蛛(*Oxyopes sertatus* L. Koch);与茶蚜跟随关系密切的是八斑球腹蛛和斜纹猫蛛。两种茶园与两种害虫空间跟随关系密切的前二位天敌中均有斜纹猫蛛。周夏芝等<sup>[13]</sup>用地统计学和灰色关联度相结合研究得出大别山区潜山县低海拔茶园2009年全年高峰日与假眼小绿叶蝉跟随关系密切的前二位天敌是八斑球腹蛛和斑管巢蛛;与茶蚜跟随关系密切的前二位天敌是异色瓢虫和草间小黑蛛。周夏芝等<sup>[14]</sup>利用生态位分析方法研究得出与假眼小绿叶蝉跟随关系密切的前五位天敌是三突花蟹蛛(*Misumenops tricuspidatu*)、斑管巢蛛(*Clubiona reichlini* Schenkel)、草间小黑蛛(*Hylyphantes graminicola*)、八斑球腹蛛和茶色新圆蛛(*Neoscona theisi*);茶蚜的是异色瓢虫、草间小黑蛛、八斑球腹蛛、茶色新圆蛛和鞍型花蟹蛛。不同地域不同茶树品种的茶园,与假眼小绿叶蝉和茶蚜空间跟随

关系的优势种天敌有一定的差异。王振兴等<sup>[15]</sup>的研究结果表明棕管巢蛛(*Clubiona japonicola*), 锥腹肖蛸(*Tetragnatha maxillosa*), 三突花蟹蛛和草间小黑蛛是假眼小绿叶蝉的优势种天敌。钮羽群等<sup>[16]</sup>研究了不同迷迭香挥发物组合对假眼小绿叶蝉行为的调控; 黎健龙等<sup>[17]</sup>研究了周边生境条件对假眼小绿叶蝉种群时空结构的影响。卵形短须螨成螨多分布在叶背刺吸为害, 影响树势, 导致茶树芽梢稀瘦, 主要影响茶叶品质和产量<sup>[1]</sup>。宁晓川等<sup>[18]</sup>的研究结果表明该虫在树冠上的三维分布均为均匀分布。李尚等<sup>[19]</sup>报道, 白毫早茶园茶色新圆蛛, 广大腿小蜂(*Brachymeria obscurala*)和鳞纹肖蛸(*Tetragnatha syusmata*)是卵形短须螨的天敌优势种。乌牛早茶园锥腹肖蛸, 茶色新圆蛛, 草间小黑蛛, 鳞纹肖蛸和异色瓢虫是卵形短须螨的优势种天敌。王建盼<sup>[20]</sup>等研究安吉白茶茶园卵形短须螨在数、时、空综合关系上密切的前三位天敌是草间小黑蛛, 黑色蝇虎(*Plexippus paykulli*)和棕管巢蛛。双斑长跗萤叶甲成虫和幼虫均可危害茶树, 是近年南方对茶树危害成灾的新害虫<sup>[21-22]</sup>, 王立仁等<sup>[23]</sup>提出抢种、深翻和施药相结合的方法可有效控制玉米等的双斑长跗萤叶甲为害。李广伟等<sup>[24]</sup>研究了温度对该虫成虫寿命和生殖力的影响; 梁日霞等<sup>[22]</sup>对来自中国北方 26 个不同地理种群的该虫线粒体细胞色素 C 氧化酶亚基 II (CO II) 基因片段序列核苷酸多态性的研究表明, 这些地区双斑长跗萤叶甲的不同地理种群间已发生明显的遗传分化。天敌与目标害虫的空间关系, 直接与天敌对目标害虫的捕食(或寄生)作用大小有关。本文研究 2015 年和 2016 年合肥地区乌牛早茶园天敌对茶蚜、假眼小绿叶蝉、卵形短须螨和双斑长跗萤叶甲空间上跟随关系密切程度差异及其原因, 以期对 4 种害虫的抽样和防治提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查地点和试验地情况

调查地点为安徽农业大学科技示范园茶园, 茶树品种为乌牛早, 茶树树龄为 13 年生, 调查茶园面积为 0.2 hm<sup>2</sup>。该茶园周围为其它品种茶园, 茶园按常规方法管理, 但一直不施用农药。

### 1.2 调查时间

2015 年 3 月 28 日至 11 月 14 日, 2016 年 3 月 27 日至 11 月 17 日, 约半个月调查一次, 2015 年共调查 17 次。2016 年共调查 16 次。

### 1.3 调查方法

采用平行跳跃法, 在茶园随机选取 3 行, 每行间隔 1 m 取一个 2 m 长的样方, 每行 10 个样方, 共取 30 个样方, 茶树行间距为 1.3 m。先目测调查每样方随机选取的 10 片叶片, 然后用沾有洗衣粉水液的搪瓷盘对样方中所有枝条进行盘拍, (搪瓷盘口长为 40 cm, 宽为 30 cm, 洗衣液水液的浓度为 1000 倍), 调查记载害虫及其天敌物种数和个体数。对于一些不能准确鉴定的物种进行编号保存, 装毒瓶带回室内鉴定或请专家鉴定。

### 1.4 数学分析方法

#### 1.4.1 地学统计学分析

根据区域化变量的理论<sup>[12, 25, 26]</sup>, 在空间上昆虫种群数量是区域化变量。本文通过计算茶蚜、假眼小绿叶蝉、卵形短须螨和双斑长跗萤叶甲及其天敌的实验半变异函数, 分析半变异函数结构来描述它们的空间格局和空间相关关系。对于观察的数据系列  $z(x_i)$ ,  $i=1, 2, 3, \dots, n$ , 样本半变异函数  $R^*(h)$  可用下式计算:  $R^*(h)=[1/2N(h)]\sum[z(x_i)-z(x_i+h)]^2$ , 其中  $N(h)$  是被  $h$  分割的数据对  $(x_i, x_i+h)$  对数,  $z(x_i)$  和  $z(x_i+h)$  分别是在点  $x_i$  和  $(x_i+h)$  处样本的测量值,  $h$  是分隔两样点的距离。拟合半变异函数理论模型,  $y=c_1x^3+c_2x^2+c_3x+c_4$ , 然后解方程求出该函数的变程。

#### 1.4.2 灰色关联度分析<sup>[12, 27]</sup>

用灰色关联度分析法将假眼小绿叶蝉等 4 种害虫的变程( $Y_i$ )分别作为该系统的参照序列, 其各种天敌的变程( $X_j$ )作为该系统的比较序列, 4 种害虫及其天敌的变程作为序列在第  $k$  个样方上的效果白化值, 进行双序列关系分析:

$$Y_i' = \{Y_i'(1), Y_i'(2), \dots, Y_i'(n)\}, i=1, 2 \quad X_j' = \{X_j'(1), X_j'(2), \dots, X_j'(n)\}, j=1, 2, \dots, m$$

其中  $n$  是样方数,  $m$  是天敌种类数。经数据均值化后得:

$$y_i' = \{y_i'(1), y_i'(2), \dots, y_i'(n)\}, i=1, 2 \quad x_j' = \{x_j'(1), x_j'(2), \dots, x_j'(n)\}, j=1, 2, \dots, m$$

$Y_i'$  与  $X_j'$  在第  $k$  点上的关联系数:

$$rij(k) = \frac{\min \min |y_i'(k) - x_j'(k)| + \rho \max \max |y_i'(k) - x_j'(k)|}{|y_i'(k) - x_j'(k)| + \rho \max \max |y_i'(k) - x_j'(k)|}$$

式中,  $\rho$  为分辨系数, 取值介于 0 到 1 之间, 一般取  $\rho=0.5$ , 为扩大各关联度之间的差异, 本文取  $\rho=0.8$ 。  $\Delta_{ij} = |y_i'(k) - x_j'(k)|$  为序列  $Y_i'$  与  $X_j'$  在第  $k$  点上的绝对值差;  $\min |y_i'(k) - x_j'(k)|$  为 1 级最小差, 表示找出  $y_i'$  与  $x_j'$  序列对应点的差值中的最小差; 而  $\min \min |y_i'(k) - x_j'(k)|$  为 2 级最小差, 表示在 1 级最小差的基础上再找出其中的最小差。  $\max |y_i'(k) - x_j'(k)|$  与  $\max \max |y_i'(k) - x_j'(k)|$  分别为 1 级和 2 级最大差, 其含义与上述最小差相似。  $R(X_i', Y_j') = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_{ij}$  即为第  $j$  种天敌 ( $X_j'$ ) 与某种害虫变程之间的关联度, 求出天敌与茶蚜等 4 种害虫变程间的关联度系数, 某种天敌变程与某一害虫的变程的关联度系数越大, 表明该种天敌对某种害虫空间跟随关系越密切。

## 2 结果与分析

2015 年乌牛早茶园共调查节肢动物 23604 头, 总计 78 种, 分属 16 目 53 科, 其中植食性害虫 9682 头, 32 种, 分属 8 目 26 科, 捕食类天敌 7374 头, 37 种, 分属 6 目 18 科。2016 年该茶园调查节肢动物 22547 头, 共 85 种, 分属 17 目 54 科, 其中植食类害虫 11657 头, 37 种, 分属 8 目 26 科, 捕食类天敌 5202 头, 40 种, 分属 8 目 20 科, 将每年调查的个体总数 130 头以上的 8 种天敌和茶蚜、假眼小绿叶蝉、卵形短须螨和双斑长跗蚱叶甲 4 种害虫的种群数量列于表 1 和表 2。

表 1 2015 年乌牛早茶园害虫及其天敌种群动态(只/30 样方)

Table 1 Population dynamics of the pests and their natural enemies in the WuNiuZao tea garden (2015)

| 日期 Date  | Y1  | Y2   | Y3   | Y4  | X1   | X2   | X3  | X4  | X5  | X6  | X7  | X8  |
|----------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 03-28    | 9   | 8    | 3    | 28  | 307  | 100  | 48  | 8   | 43  | 13  | 52  | 0   |
| 04-11    | 68  | 1    | 198  | 31  | 229  | 106  | 9   | 6   | 34  | 3   | 48  | 3   |
| 04-26    | 60  | 31   | 101  | 31  | 99   | 74   | 2   | 14  | 25  | 3   | 29  | 16  |
| 05-10    | 49  | 53   | 203  | 53  | 104  | 50   | 1   | 19  | 21  | 26  | 7   | 8   |
| 05-24    | 12  | 132  | 119  | 25  | 122  | 81   | 11  | 16  | 10  | 46  | 8   | 4   |
| 06-08    | 3   | 128  | 48   | 97  | 99   | 83   | 34  | 25  | 1   | 33  | 1   | 3   |
| 06-20    | 2   | 149  | 43   | 111 | 84   | 111  | 10  | 44  | 8   | 21  | 3   | 4   |
| 07-04    | 27  | 309  | 27   | 56  | 98   | 125  | 9   | 53  | 40  | 21  | 7   | 1   |
| 07-19    | 87  | 674  | 13   | 43  | 107  | 193  | 8   | 90  | 26  | 11  | 7   | 4   |
| 08-02    | 11  | 349  | 54   | 15  | 56   | 140  | 0   | 34  | 23  | 7   | 4   | 4   |
| 08-16    | 2   | 42   | 23   | 7   | 33   | 105  | 5   | 43  | 20  | 4   | 1   | 1   |
| 08-30    | 17  | 97   | 26   | 7   | 23   | 70   | 6   | 55  | 20  | 12  | 0   | 2   |
| 09-13    | 9   | 442  | 15   | 31  | 46   | 102  | 20  | 51  | 39  | 15  | 0   | 5   |
| 09-26    | 69  | 479  | 61   | 40  | 100  | 86   | 60  | 49  | 36  | 14  | 8   | 5   |
| 10-11    | 77  | 150  | 53   | 56  | 129  | 132  | 189 | 36  | 54  | 12  | 12  | 13  |
| 10-28    | 49  | 87   | 37   | 47  | 176  | 105  | 98  | 8   | 31  | 7   | 24  | 43  |
| 11-14    | 95  | 96   | 156  | 45  | 185  | 140  | 193 | 10  | 39  | 9   | 14  | 18  |
| 合计 Total | 646 | 3227 | 1180 | 723 | 1997 | 1803 | 703 | 561 | 470 | 257 | 225 | 134 |

Y1: 茶蚜 *Toxoptera aurantii*; Y2: 假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis*; Y3: 卵形短须螨 *Breuiapalus oboyats*; Y4: 双斑长跗蚱叶甲 *Monolepta hieroglyphica*; X1: 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha syusmata*; X2: 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*; X3: 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*; X4: 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*; X5: 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X6: 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*; X7: 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*; X8: 异色瓢虫 *Leis axyridis*



表 2 2016 年乌牛早茶园害虫及其天敌种群动态(只/30 样方)

| Table 2 Population dynamics of the pests and their natural enemies in the WuNiuZao tea garden(2016) |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 日期 Date                                                                                             | Y1  | Y2   | Y3   | Y4  | X1  | X2   | X3  | X4  | X5  | X6  | X7  | X8  |
| 03-27                                                                                               | 35  | 7    | 2    | 31  | 162 | 112  | 35  | 3   | 39  | 5   | 18  | 4   |
| 04-11                                                                                               | 199 | 1    | 239  | 51  | 65  | 41   | 23  | 12  | 30  | 2   | 34  | 11  |
| 04-28                                                                                               | 104 | 43   | 552  | 34  | 47  | 46   | 7   | 8   | 23  | 6   | 12  | 20  |
| 05-12                                                                                               | 46  | 55   | 613  | 27  | 83  | 52   | 14  | 14  | 28  | 23  | 3   | 14  |
| 05-30                                                                                               | 23  | 28   | 297  | 47  | 89  | 84   | 27  | 23  | 32  | 27  | 3   | 10  |
| 06-14                                                                                               | 24  | 223  | 305  | 32  | 83  | 86   | 21  | 12  | 10  | 10  | 3   | 12  |
| 06-29                                                                                               | 31  | 150  | 216  | 16  | 51  | 97   | 15  | 28  | 6   | 9   | 5   | 7   |
| 07-14                                                                                               | 30  | 509  | 113  | 23  | 128 | 149  | 19  | 58  | 29  | 14  | 6   | 7   |
| 07-29                                                                                               | 3   | 412  | 78   | 11  | 116 | 240  | 8   | 62  | 16  | 9   | 10  | 1   |
| 08-13                                                                                               | 3   | 572  | 43   | 4   | 24  | 78   | 5   | 49  | 12  | 5   | 7   | 1   |
| 08-28                                                                                               | 4   | 662  | 36   | 8   | 7   | 54   | 22  | 53  | 21  | 5   | 2   | 1   |
| 09-12                                                                                               | 10  | 264  | 21   | 2   | 6   | 26   | 5   | 23  | 9   | 2   | 0   | 2   |
| 09-25                                                                                               | 46  | 1039 | 36   | 18  | 17  | 38   | 18  | 65  | 14  | 4   | 5   | 5   |
| 10-10                                                                                               | 66  | 686  | 69   | 29  | 36  | 60   | 72  | 36  | 14  | 15  | 8   | 18  |
| 11-02                                                                                               | 67  | 206  | 101  | 17  | 40  | 89   | 98  | 25  | 23  | 5   | 10  | 6   |
| 11-19                                                                                               | 107 | 190  | 267  | 89  | 36  | 93   | 89  | 13  | 25  | 10  | 18  | 11  |
| 合计 Total                                                                                            | 798 | 5047 | 2988 | 439 | 990 | 1345 | 478 | 484 | 331 | 151 | 144 | 130 |

全年个体总数大于 130 头的 8 种天敌是鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、八斑球腹蛛(*Theridion octomaculatum*)、棕管巢蛛和茶色新圆蛛、草间小黑蛛、三突花蟹蛛(*Misumenops tricuspidatus*)和异色瓢虫。将两年的 2 种害虫和个体数 320 头以上视为主要天敌的数量进行 t 检验,茶蚜的  $t$  值为 0.7972,假眼小绿叶蝉的  $t$  值为 1.4296,卵形短须螨的  $t$  值为 2.3985,双斑长跗萤叶甲的  $t$  值为 1.7401, $df=31$  时, $t_{0.05}=2.040$ , $t_{0.01}=2.744$ ,卵形短须螨两年间差异显著,2016 年显著多于 2015 年。数量多的前五位主要天敌鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、八斑球腹蛛、棕管巢蛛和茶色新圆蛛二年的  $t$  值依次为 2.6214、1.4483、0.6852、0.3607 和 1.6738,只有鳞纹肖蛸的  $t$  值为 2.6214 $>t_{0.05}(2.040)$ ,2016 年显著多于 2015 年。

2.1 2015 年和 2016 年之间天敌对茶蚜空间跟随关系的密切程度差异

害虫数量多时的天敌与害虫之间的空间关系可以较准确地反映两者之间空间关系的密切程度,选择表 1 中 2015 年茶蚜数量多的 4 月 11 日、4 月 26 日、7 月 19 日、10 月 11 日和 11 月 14 日的茶蚜(Y1)及其数量居于前五位的鳞纹肖蛸(X1)、锥腹肖蛸(X2)、八斑球腹蛛(X3)、棕管巢蛛(X4)和茶色新圆蛛(X5)的数据进行地学统计学分析,将求得的半变异函数的理论模型系数和变程列于表 3,并把 7 月 19 日的茶蚜及其天敌半变异函数的理论模型绘于图 1。

表 3 2015 年乌牛早茶园茶蚜与其天敌的理论半变异函数模型参数

| Table 3 Observed semivariogram $R^*(h)$ for <i>Toxoptera aurantii</i> and enemies of the WuNiuZao tea garden (2015) |            |           |         |         |         |        |                          |                                      |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|---------|---------|---------|--------|--------------------------|--------------------------------------|-------------|
| 时间 Date                                                                                                             | 物种 species | 模型 Models | $c_1$   | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程 RSD/m variation range | 决定系数 $R^2$ determination coefficient | 分布型 Pattern |
| 04-11                                                                                                               | Y1         | 球形        | -0.0201 | 0.3114  | -1.8976 | 6.6641 | 5.8692                   | 0.929                                | A           |
|                                                                                                                     | X1         | 球形        | -0.0197 | 0.3996  | -3.2686 | 12.9   | 6.7893                   | 0.8198                               | A           |
|                                                                                                                     | X2         | 球形        | -0.0041 | 0.0707  | -0.5974 | 3.2969 | 3.8651                   | 0.6493                               | A           |
|                                                                                                                     | X3         | 球形        | 0.0008  | -0.0085 | -0.006  | 0.301  | 7.4202                   | 0.7836                               | A           |
|                                                                                                                     | X4         | 球形        | -0.0003 | 0.0047  | -0.041  | 0.2316 | 4.7638                   | 0.9479                               | A           |
| 04-26                                                                                                               | X5         | 球形        | -0.006  | 0.082   | -0.354  | 0.9654 | 5.5978                   | 0.8739                               | A           |
|                                                                                                                     | Y1         | 球形        | 0.0078  | -0.0638 | -0.2779 | 3.3926 | 7.1207                   | 0.828                                | A           |
|                                                                                                                     | X1         | 球形        | 0.0027  | -0.0396 | -0.0793 | 2.3553 | 4.7583                   | 0.7852                               | A           |
|                                                                                                                     | X2         | 球形        | -0.0078 | 0.116   | -0.8098 | 3.7042 | 6.1258                   | 0.7632                               | A           |
|                                                                                                                     | X3         | 球形        | -0.0005 | 0.0074  | -0.0363 | 0.1048 | 6.8524                   | 0.652                                | A           |
| 07-19                                                                                                               | X4         | 球形        | 0.0029  | -0.0351 | 0.0826  | 0.3502 | 6.6388                   | 0.5873                               | A           |
|                                                                                                                     | X5         | 球形        | -0.0046 | 0.0725  | -0.3702 | 1.0156 | 6.1336                   | 0.735                                | A           |
|                                                                                                                     | Y1         | 球形        | 0.0109  | -0.1634 | -0.7891 | 12.762 | 6.1472                   | 0.9581                               | A           |

续表

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$   | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 10-11      | X1            | 球形           | 0.0048  | -0.117  | 0.2047  | 4.7989 | 3.2578                         | 0.8437                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | 0.007   | -0.1178 | -0.473  | 9.4223 | 3.9563                         | 0.9833                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0063  | -0.1016 | 0.4017  | 0.0058 | 2.6109                         | 0.9844                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.016  | 0.2245  | -1.2708 | 4.9013 | 3.8642                         | 0.8713                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0061 | 0.0939  | -0.5375 | 1.6667 | 5.8624                         | 0.7775                                     | A              |
|            | Y1            | 球形           | -0.0171 | 0.3272  | -1.8166 | 7.0666 | 4.0825                         | 0.3957                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0063  | -0.0912 | -0.4778 | 8.3862 | 5.2341                         | 0.8668                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | 0.0287  | -0.4948 | 1.9338  | 2.5601 | 2.4962                         | 0.9161                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0731 | 1.1388  | -6.2599 | 20.781 | 5.8631                         | 0.664                                      | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.005  | 0.0672  | -0.2927 | 1.0534 | 5.2263                         | 0.7627                                     | A              |
| 11-14      | X5            | 球形           | 0.004   | -0.0787 | 0.1877  | 1.7976 | 2.3415                         | 0.9189                                     | A              |
|            | Y1            | 球形           | -0.0133 | 0.1893  | -1.3559 | 6.6152 | 4.8634                         | 0.9178                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.164   | 2.5402  | -12.426 | 29.151 | 7.0897                         | 0.7597                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0128 | 0.1679  | -0.8955 | 7.1781 | 5.8634                         | 0.8617                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0529  | 0.7263  | -3.3072 | 10.59  | 2.0516                         | 0.3557                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0024 | 0.0373  | -0.1823 | 0.495  | 6.4129                         | 0.9188                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0194  | -0.2466 | 0.7014  | 1.6054 | 6.6664                         | 0.5417                                     | A              |

\* A 聚集分布:Aggregated;半变异函数理论模型  $y=c_1x^3+c_2x^2+c_3x+c_4$

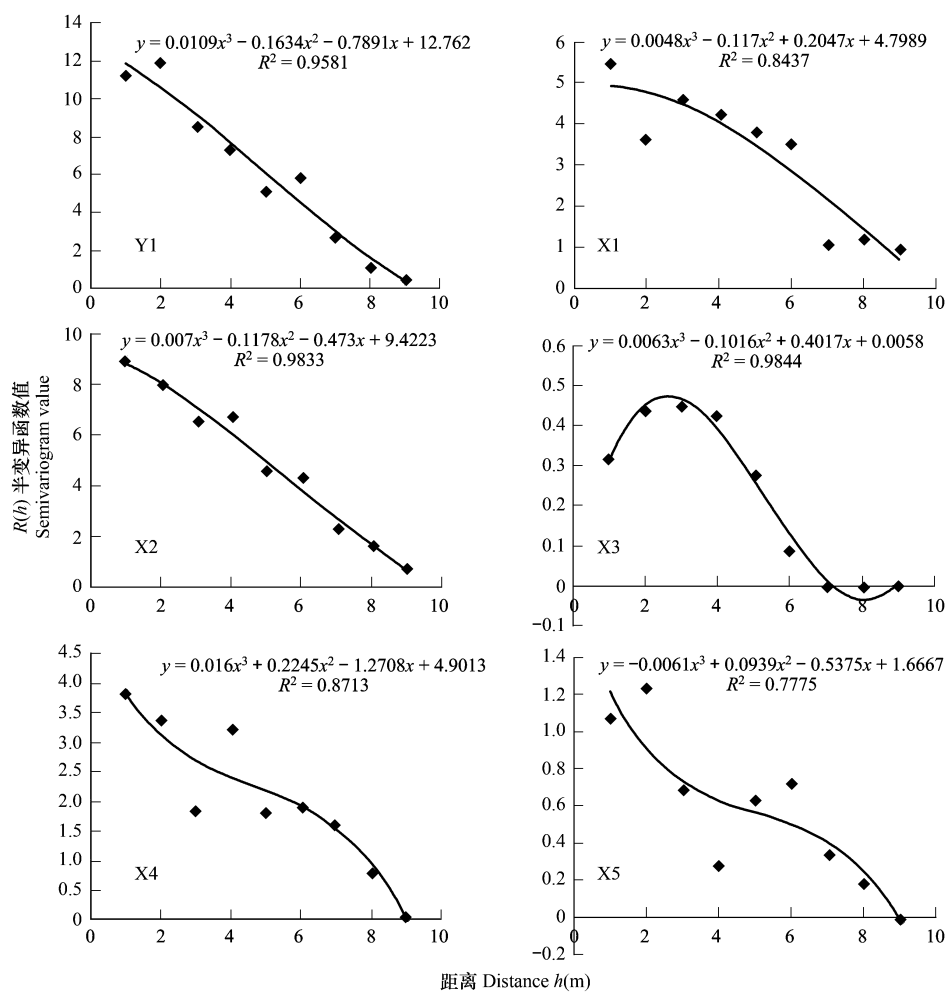


图1 乌牛早茶园茶蚜与其5种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(7月19日)

Fig.1 Models of semivariogram of *Toxoptera aurantii* with their natural enemies in WuNiuZao tea garden (July 19th)

选择表 2 中茶蚜数量多的 2016 年 4 月 11 日,4 月 28 日,10 月 10 日,11 月 2 日和 11 月 19 日的茶蚜(Y1)及其数量居于前五位天敌数据进行地学统计方法分析,将求得的半变异函数的理论模型系数和变程列于表 4。

表 4 2016 年乌牛早茶园茶蚜与其天敌的理论半变异函数模型参数  
Table 4 Observed semivariogram  $R^*(h)$  for *Toxoptera aurantii* and enemies of the WuNiuZao tea garden (2016)

| 时间<br>Date | 物种<br>Species | 模型<br>Models | $c_1$    | $c_2$   | $c_3$    | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|----------|---------|----------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 04-11      | Y1            | 球形           | -0.014   | 0.1033  | -1.5945  | 27.89  | 7.3568                         | 0.8904                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0147  | 0.2386  | -1.4376  | 4.5208 | 4.8634                         | 0.8486                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0381  | 0.5529  | -2.3837  | 4.6978 | 6.4323                         | 0.8648                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0053  | 0.0833  | -0.4601  | 1.4574 | 6.7524                         | 0.7572                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0032  | 0.0437  | -0.1984  | 0.6735 | 4.7861                         | 0.6453                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0101   | -0.163  | 0.6272   | 0.2942 | 2.509                          | 0.9837                                     | A              |
| 04-28      | Y1            | 球形           | -0.0278  | 0.2014  | -0.6844  | 9.6022 | 6.3254                         | 0.7045                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0179  | 0.272   | -1.3037  | 3.0074 | 6.2392                         | 0.4704                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0077  | 0.108   | -0.5402  | 2.0409 | 6.7856                         | 0.7806                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0007   | -0.0098 | 0.0122   | 0.2899 | 3.8693                         | 0.8426                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0031  | 0.0463  | -0.2214  | 0.4778 | 5.9679                         | 0.8082                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0036  | 0.057   | -0.29029 | 0.631  | 6.2658                         | 0.8246                                     | A              |
| 10-10      | Y1            | 球形           | -0.0291  | 0.4457  | -2.2021  | 5.4088 | 6.0221                         | 0.783                                      | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.035    | -0.0371 | -0.0864  | 1.6556 | 4.8692                         | 0.8087                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0011  | 0.0301  | -0.3004  | 2.0989 | 7.8695                         | 0.4005                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0022   | -0.0092 | -0.1889  | 2.8489 | 6.9224                         | 0.5414                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0017  | 0.002   | -0.0854  | 2.1169 | 5.9865                         | 0.8059                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0005  | 0.004   | -0.0487  | 0.4612 | 5.8634                         | 0.9038                                     | A              |
| 11-02      | Y1            | 球形           | -0.0152  | 0.237   | -1.3488  | 4.7164 | 6.2563                         | 0.7327                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0017   | -0.0346 | -0.009   | 1.7864 | 5.8641                         | 0.9587                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0175  | 0.2178  | -1.5228  | 8.7709 | 5.8472                         | 0.874                                      | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0194  | 0.3341  | -2.0505  | 5.7946 | 5.9634                         | 0.8988                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | 0.008    | -0.1166 | 0.3655   | 0.5823 | 7.7521                         | 0.9164                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0021  | 0.0359  | -0.2793  | 1.2237 | 6.5874                         | 0.687                                      | A              |
| 11-19      | Y1            | 球形           | 0.0075   | -0.1038 | 0.0341   | 4.9081 | 5.8641                         | 0.6595                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0107  | 0.162   | -0.8484  | 2.5224 | 6.5748                         | 0.6669                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0264  | 0.3625  | -1.5802  | 5.9074 | 5.5755                         | 0.5903                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0135  | 0.2288  | -1.8976  | 8.9038 | 4.6894                         | 0.9355                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.00003 | -0.0022 | 0.0001   | 0.2573 | 4.7538                         | 0.8058                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0011   | -0.0094 | -0.118   | 1.1536 | 4.1258                         | 0.8971                                     | A              |

从表 3 和表 4 可看出理论模型的决定系数  $R^2$  大于 0.2144 ( $df=28$  时,  $r_{0.01}=0.463$ ,  $r_{0.05}^2=0.2144$ ) 的比率为 100%。表明理论模型与实际拟合率高。将茶蚜与其天敌半变异函数变程间的关联度列于表 5, 2015 年与茶蚜在空间跟随关系密切的前三位天敌依次是茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和鳞纹肖蛸。2016 年与茶蚜在空间上跟随关系密切的前三位天敌依次是锥腹肖蛸, 八斑球腹蛛和鳞纹肖蛸。将 2 年的关联度系数进行  $t$  检验,  $t=2.1336$ ,  $df=8$ ,  $t_{0.10}=1.860$ ,  $t_{0.05}=2.306$ ,  $t>t_{0.10}$ , 两年间关联度差异基本显著。

2.2 2015 年和 2016 年之间天敌对假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切程度的差异

选择表 1 中 2015 年假眼小绿叶蝉数量多的 7 月 4 日、7 月 19 日、8 月 2 日、9 月 13 日和 9 月 26 日假眼小绿叶蝉及其天敌的数据, 进行地学统计学分析, 将求得的半变异函数理论模型的系数和变程列于表 6, 并将 7

月 19 日假眼小绿叶蝉及其天敌的半变异函数的理论模型绘于图 2。

表 5 4 种害虫与 5 种天敌变程间的关联度

| Table 5 Relational grade of four pests with five enemies |            |               |        |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 物种<br>Species                                            | 时间<br>Date | 项目<br>Project | X1     | X2     | X3     | X4     | X5     |
| 茶蚜<br>Y1                                                 | 2015       | 关联度           | 0.5737 | 0.6901 | 0.5493 | 0.69   | 0.7839 |
|                                                          |            | 位次            | 4      | 2      | 5      | 3      | 1      |
|                                                          | 2016       | 关联度           | 0.7871 | 0.8194 | 0.7887 | 0.7743 | 0.6605 |
|                                                          |            | 位次            | 3      | 1      | 2      | 4      | 5      |
| 假眼小绿叶蝉<br>Y2                                             | 2015       | 关联度           | 0.6994 | 0.6481 | 0.7293 | 0.7161 | 0.7305 |
|                                                          |            | 位次            | 4      | 5      | 2      | 3      | 1      |
|                                                          | 2016       | 关联度           | 0.6797 | 0.6442 | 0.8675 | 0.6047 | 0.7418 |
|                                                          |            | 位次            | 3      | 4      | 1      | 5      | 2      |
| 卵形短须螨<br>Y3                                              | 2015       | 关联度           | 0.7383 | 0.6962 | 0.6523 | 0.8037 | 0.8655 |
|                                                          |            | 位次            | 3      | 4      | 5      | 2      | 1      |
|                                                          | 2016       | 关联度           | 0.8337 | 0.6771 | 0.7134 | 0.793  | 0.6016 |
|                                                          |            | 位次            | 1      | 4      | 3      | 2      | 5      |
| 双斑长跗萤叶甲类<br>Y4                                           | 2015       | 关联度           | 0.7337 | 0.5618 | 0.7816 | 0.7772 | 0.6103 |
|                                                          |            | 位次            | 3      | 5      | 1      | 2      | 4      |
|                                                          | 2016       | 关联度           | 0.8283 | 0.604  | 0.6039 | 0.8021 | 0.776  |
|                                                          |            | 位次            | 1      | 4      | 5      | 2      | 3      |

注: Y1: 茶蚜; Y2: 假眼小绿叶蝉; Y3: 卵形短须螨; Y4: 双斑长跗萤叶甲; X1: 鳞纹肖蛸 X2: 锥腹肖蛸; X3: 八斑球腹蛛; X4: 棕管巢蛛; X5: 茶色新圆蛛

表 6 2015 年乌牛早茶园假眼小绿叶蝉与其天敌的理论半变异函数模型参数

| Table 6 Observed semivariogram $R^*(h)$ for <i>Empoasca vitis</i> and enemies of the WuNiuZao tea garden (2015) |               |              |         |         |         |        |                                |                                            |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 时间<br>Date                                                                                                      | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$   | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
| 07-04                                                                                                           | Y2            | 球形           | -0.1037 | 1.4233  | -8.0322 | 35.926 | 4.7568                         | 0.843                                      | A              |
|                                                                                                                 | X1            | 球形           | -0.0304 | 0.4765  | -2.6754 | 7.5402 | 5.8694                         | 0.9041                                     | A              |
|                                                                                                                 | X2            | 球形           | -0.0021 | 0.0867  | -1.4543 | 9.1714 | 5.9643                         | 0.9125                                     | A              |
|                                                                                                                 | X3            | 球形           | -0.0012 | 0.0188  | -1.4543 | 9.1714 | 5.1258                         | 0.9125                                     | A              |
|                                                                                                                 | X4            | 球形           | -0.0145 | 0.2108  | -0.9911 | 2.7581 | 4.0095                         | 0.859                                      | A              |
|                                                                                                                 | X5            | 球形           | -0.0044 | 0.0797  | -0.4994 | 1.5972 | 7.2536                         | 0.5944                                     | A              |
| 07-19                                                                                                           | Y2            | 球形           | -0.7484 | 10.393  | 51.333  | 207    | 11.2841                        | 0.7143                                     | A              |
|                                                                                                                 | X1            | 球形           | 0.0192  | -0.35   | 1.2864  | 3.3288 | 2.2568                         | 0.9025                                     | A              |
|                                                                                                                 | X2            | 球形           | -0.015  | 0.228   | -1.6419 | 7.8397 | 4.8695                         | 0.7892                                     | A              |
|                                                                                                                 | X3            | 球形           | 0.0064  | -0.1018 | 0.3984  | 0.0282 | 8.0154                         | 0.9879                                     | A              |
|                                                                                                                 | X4            | 球形           | -0.0103 | 0.1279  | -0.6507 | 3.3907 | 3.8692                         | 0.7235                                     | A              |
|                                                                                                                 | X5            | 球形           | -0.0036 | 0.0573  | -0.368  | 1.3972 | 6.1589                         | 0.7297                                     | A              |
| 08-02                                                                                                           | Y2            | 球形           | 0.2074  | -1.544  | -10.049 | 94.822 | 7.2047                         | 0.8958                                     | A              |
|                                                                                                                 | X1            | 球形           | -0.0057 | 0.0826  | -0.5426 | 2.5406 | 3.8654                         | 0.9057                                     | A              |
|                                                                                                                 | X2            | 球形           | 0.0441  | -0.6995 | 2.5763  | 2.7563 | 2.3749                         | 0.9482                                     | A              |
|                                                                                                                 | X3            |              | 0       | 0       | 0       | 0      | 0                              | 0                                          |                |
|                                                                                                                 | X4            | 球形           | -0.0122 | 0.1739  | -0.8499 | 2.8036 | 4.8693                         | 0.925                                      | A              |
|                                                                                                                 | X5            | 球形           | -0.0038 | 0.0496  | -0.2361 | 1.0137 | 5.8695                         | 0.4825                                     | A              |
| 09-13                                                                                                           | Y2            | 球形           | -0.0196 | 0.8045  | -12.975 | 76.03  | 4.2683                         | 0.7889                                     | A              |
|                                                                                                                 | X1            | 球形           | -0.002  | 0.0196  | -0.0469 | 0.8257 | 4.9561                         | 0.3194                                     | A              |
|                                                                                                                 | X2            | 球形           | -0.0117 | 0.2125  | -1.4249 | 5.4293 | 5.8691                         | 0.8156                                     | A              |



续表

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$    | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|----------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 09-26      | X3            | 球形           | 0.004    | -0.0549 | 0.1609  | 0.3491 | 7.3176                         | 0.8016                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.00001 | 0.0176  | -0.379  | 2.4866 | 10.8677                        | 0.7204                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.004   | 0.0299  | -0.1156 | 1.6587 | 6.2689                         | 0.8221                                     | A              |
|            | Y2            | 球形           | 0.033    | 1.0578  | -16.254 | 116.83 | 5.9959                         | 0.4835                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.008   | 0.105   | -0.7459 | 4.3132 | 3.8964                         | 0.987                                      | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0048  | 0.0736  | -0.6568 | 3.8906 | 6.2843                         | 0.7842                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0126  | 0.1909  | -0.9365 | 2.4413 | 4.1958                         | 0.9278                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0009  | 0.0153  | -0.2    | 1.6804 | 5.9683                         | 0.9341                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0044   | -0.0534 | 0.042   | 1.2689 | 7.6764                         | 0.6771                                     | A              |

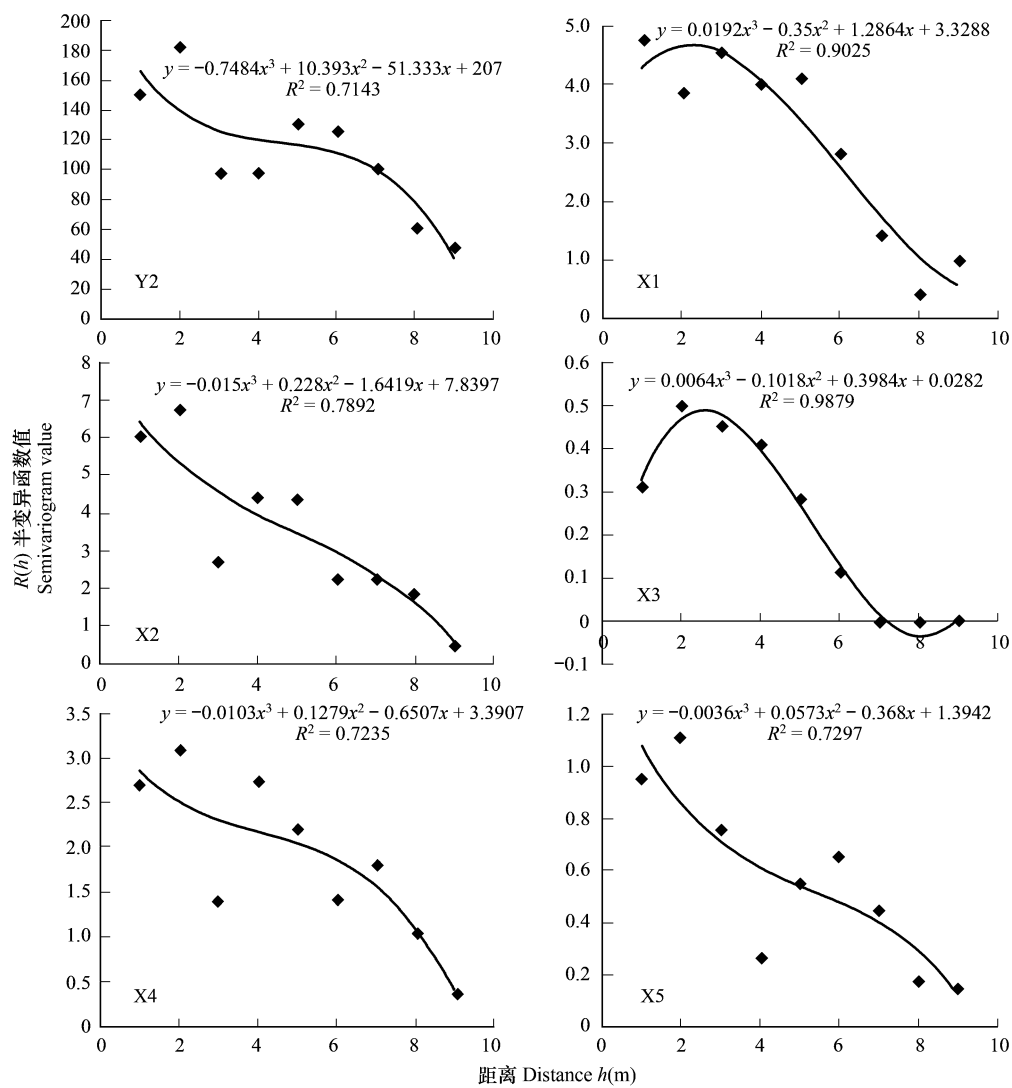


图 2 乌牛早茶园假眼小绿叶蝉与其 5 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(7 月 19 日)

Fig.2 Models of semivariogram of *Empoasca vitis* with their natural enemies in WuNiuZao tea garden (July19th)

选择表 2 中 2016 年假眼小绿叶蝉数量多的 7 月 14 日、8 月 13 日、8 月 28 日、9 月 25 日和 10 月 10 日的假眼小绿叶蝉及其天敌的数据进行地学统计学分析,求得的半变异函数理论模型系数和变程列于表 7。

表 7 2016 年乌牛早茶园小绿叶蝉与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 7 Observed semivariogram  $R^*(h)$  for *Empoasca vitis* and enemies of the WuNiuZao tea garden (2016)

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$   | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 07-14      | Y2            | 球形           | 0.1035  | -1.8135 | -2.9534 | 97.883 | 3.9871                         | 0.8723                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0142 | 0.1716  | -1.2071 | 7.1567 | 5.9637                         | 0.856                                      | A              |
|            | X2            | 球形           | 0.0604  | -0.8138 | 2.1135  | 6.8967 | 7.4077                         | 0.9604                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0033 | 0.0428  | -0.1788 | 0.603  | 5.1167                         | 0.8906                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | 0.0055  | -0.0547 | -0.0104 | 1.6344 | 6.7241                         | 0.5044                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0106  | -0.1722 | 0.6425  | 0.5366 | 2.3953                         | 0.9787                                     | A              |
| 08-13      | Y2            | 球形           | -0.0384 | 0.6131  | -3.1951 | 7.467  | 6.0895                         | 0.8645                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0023  | -0.0388 | 0.0291  | 1.2609 | 4.8564                         | 0.8702                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | 0.0105  | -0.1926 | 0.6149  | 2.4638 | 5.2578                         | 0.9162                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.001  | 0.0141  | -0.0623 | 0.2239 | 6.7584                         | 0.4702                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | 0.0076  | -0.1322 | 0.4789  | 0.9248 | 2.2464                         | 0.9704                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0012 | 0.0156  | -0.0914 | 0.439  | 5.1287                         | 0.8938                                     | A              |
| 08-28      | Y2            | 球形           | -0.0031 | 0.0415  | -0.2138 | 0.9565 | 5.8674                         | 0.5588                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0011  | -0.144  | 0.0319  | 0.1999 | 4.8617                         | 0.6605                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0135 | 0.1922  | -0.9013 | 2.3416 | 5.2625                         | 0.872                                      | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0015  | 0.0036  | -0.2306 | 1.4201 | 6.4031                         | 0.5109                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | 0.0009  | 0.0016  | -0.2452 | 1.8869 | 8.9554                         | 0.6937                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0013 | 0.0296  | -0.2459 | 0.9885 | 5.2367                         | 0.7543                                     | A              |
| 09-25      | Y2            | 球形           | 0.0019  | -0.0259 | -0.0864 | 1.8355 | 3.5879                         | 0.8573                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.00009 | 0.0029  | -0.0898 | 0.5787 | 5.3674                         | 0.8258                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0122 | 0.167   | -0.7627 | 2.2553 | 6.1475                         | 0.857                                      | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0012 | 0.0211  | -0.1213 | 0.621  | 5.0498                         | 0.2605                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0182 | 0.2713  | -1.3228 | 3.4801 | 5.6489                         | 0.8747                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0008 | 0.0164  | -0.1473 | 0.6407 | 3.8671                         | 0.8949                                     | A              |
| 10-10      | Y2            | 球形           | -0.0358 | 0.7346  | 5.5097  | 18.872 | 6.8431                         | 0.8831                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0035  | -0.0371 | -0.0864 | 1.6556 | 4.8692                         | 0.8087                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0011 | 0.0301  | -0.3004 | 2.0989 | 5.1275                         | 0.4005                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0022  | -0.0092 | -0.1889 | 2.8489 | 6.9224                         | 0.5414                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0017 | 0.002   | -0.0854 | 2.1169 | 5.8641                         | 0.8059                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0005  | 0.004   | -0.0487 | 0.4612 | 3.6244                         | 0.9038                                     | A              |

从表 6 和表 7 看出,2015 年理论模型的决定系数  $R^2$  大于 0.2144 的比率为 100%,2016 年  $R^2$  大于 0.2144, 占 100%,表明理论模型与实际情况吻合度比较高,且均为球形模型。分别对 2015 年和 2016 年假眼小绿叶蝉与其天敌间半变异函数的变程进行灰色关联度分析,结果列于表 5。2015 年对假眼小绿叶蝉空间跟随关系最密切的是八斑球腹蛛,其次是茶色新圆蛛,第三位的是鳞纹肖蛸,2015 年和 2016 年对假眼小绿叶蝉跟随关系密切的前三位天敌有两位天敌相同,但位次不同。将两年的关联度系数间进行  $t$  检验,  $t = 0.0186$ ,  $t < t_{0.05}$  (2.306),差异不显著。

### 2.3 2015 年和 2016 年之间天敌对卵形短须螨空间跟随关系密切程度的差异

选择表 1 中,2015 年卵形短须螨数量多的 4 月 11 日、4 月 26 日、5 月 10 日、5 月 24 日和 10 月 11 日卵形短须螨及其天敌的数据进行地学统计学分析,求得的半变异函数理论模型系数和变程等列于表 8,并将 4 月 11 日的半变异函数理论模型绘于图 3。

表 8 2015 年乌牛早茶茶园卵形断须螨与天敌的理论变异函数模型参数

Table 8 Observed semivariogram  $R^*(h)$  for *Breuiipalpus oboyats* and enemies of the WuNiuZao tea garden (2015)

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$   | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 04-11      | Y3            | 球形           | -0.0046 | 0.5299  | -5.5956 | 38.789 | 5.7034                         | 0.2435                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0197 | 0.3996  | -3.2686 | 12.9   | 6.8324                         | 0.8198                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0041 | 0.0707  | -0.5974 | 3.2969 | 4.9637                         | 0.6493                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0008  | -0.0085 | -0.006  | 0.301  | 7.4202                         | 0.7836                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0003 | 0.0047  | -0.041  | 0.2316 | 4.8695                         | 0.9479                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.006  | 0.082   | -0.354  | 0.9654 | 5.5978                         | 0.8739                                     | A              |
| 04-26      | Y3            | 球形           | -0.0202 | 0.2839  | -1.5834 | 6.704  | 6.1354                         | 0.7214                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0027  | -0.0396 | -0.0793 | 2.3553 | 10.6931                        | 0.7852                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0078 | 0.116   | -0.8098 | 3.7042 | 5.8643                         | 0.7632                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0005 | 0.0074  | -0.0363 | 0.1048 | 5.3045                         | 0.652                                      | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0013 | 0.0166  | -0.061  | 0.3405 | 5.8299                         | 0.5704                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0046 | 0.0725  | -0.3702 | 1.0156 | 6.1336                         | 0.735                                      | A              |
| 05-01      | Y3            | 球形           | -0.1208 | 1.6025  | -7.0253 | 23.637 | 4.8315                         | 0.9865                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0109  | -0.1265 | -0.1398 | 5.0021 | 8.2549                         | 0.7511                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | 0.0068  | -0.1245 | 0.5002  | 1.2298 | 9.6703                         | 0.8083                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0003 | 0.0037  | -0.0182 | 0.524  | 6.7682                         | 0.652                                      | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0046 | 0.0752  | -0.4271 | 1.3156 | 6.1583                         | 0.7995                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0048 | 0.0748  | -0.3971 | 1.1271 | 5.9634                         | 0.9057                                     | A              |
| 05-24      | Y3            | 球形           | -0.0582 | 0.8615  | -4.265  | 13.016 | 6.1476                         | 0.9164                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.009  | 0.1544  | -1.3069 | 6.4122 | 7.6853                         | 0.8329                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0109 | 0.1998  | -1.2955 | 4.0445 | 5.2456                         | 0.705                                      | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0031  | -0.0533 | 0.2005  | 0.214  | 2.3715                         | 0.9281                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0027 | 0.0343  | -0.1522 | 0.5701 | 5.4523                         | 0.8934                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0028 | 0.0375  | -0.1414 | 0.4059 | 6.2239                         | 0.7333                                     | A              |
| 11-14      | Y3            | 球形           | -0.0859 | 1.4538  | -9.0486 | 31.634 | 5.8476                         | 0.8043                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.164  | 2.5402  | -12.426 | 29.151 | 6.3464                         | 0.7597                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0358 | 0.6048  | -3.2453 | 10.509 | 6.8537                         | 0.6174                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0529 | 0.7263  | -3.3072 | 10.59  | 4.9014                         | 0.9188                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0024 | 0.0373  | -0.1823 | 0.495  | 6.4129                         | 0.3557                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0194  | -0.2466 | 0.7014  | 1.6054 | 6.6664                         | 0.5417                                     | A              |

表 9 2016 乌牛早茶茶园卵形短须螨与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 9 Observed semivariogram  $R^*(h)$  for *Breuiipalpus oboyats* and enemies of the WuNiuZao tea garden (2016) (2015)

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$   | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 04-11      | Y3            | 球形           | 0.1618  | -2.2547 | 4.9589  | 29.982 | 8.0155                         | 0.8872                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0147 | 0.2386  | -1.4376 | 4.5208 | 5.1568                         | 0.8486                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0381 | 0.5529  | -2.3837 | 4.6978 | 3.2421                         | 0.8648                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0053 | 0.0833  | -0.4601 | 1.4574 | 5.2358                         | 0.7572                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0032 | 0.0437  | -0.1984 | 0.6735 | 4.3179                         | 0.6453                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0101  | -0.163  | 0.6272  | 0.2942 | 2.509                          | 0.9837                                     | A              |
| 04-28      | Y3            | 球形           | -2.0217 | 28.614  | -118.68 | 272.63 | 6.3579                         | 0.7608                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0207 | 0.3111  | -1.4286 | 3.095  | 6.4559                         | 0.5016                                     | A              |

续表

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$    | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|----------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 05-12      | X2            | 球形           | 0.0038   | -0.0615 | 0.1436  | 1.3117 | 1.3318                         | 0.8441                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0007   | -0.0098 | 0.0122  | 0.2899 | 8.6626                         | 0.8426                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0024  | 0.0362  | -0.175  | 0.426  | 6.0141                         | 0.7445                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0032  | 0.0478  | -0.2517 | 0.7459 | 6.9586                         | 0.8227                                     | A              |
|            | Y3            | 球形           | 0.2721   | 2.1918  | -6.9107 | 183.19 | 1.2741                         | 0.5905                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.035   | 0.5716  | -2.9173 | 7.2909 | 4.0832                         | 0.4374                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0016  | 0.0116  | -0.1401 | 1.8063 | 6.1428                         | 0.843                                      | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.003   | 0.0409  | -0.1518 | 0.4374 | 6.4901                         | 0.3934                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.001   | 0.0147  | -0.1281 | 0.6898 | 4.1258                         | 0.8939                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0069  | 0.1083  | -0.621  | 1.9098 | 3.8674                         | 0.8694                                     | A              |
| 05-30      | Y3            | 球形           | -0.2475  | 2.4474  | -11.717 | 87.412 | 5.8687                         | 0.9095                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0372  | 0.5614  | -2.7245 | 7.1383 | 5.9751                         | 0.7251                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0158  | 0.1574  | -0.4895 | 3.5682 | 4.1572                         | 0.9074                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0015  | 0.0315  | -0.2014 | 0.8708 | 4.9397                         | 0.2723                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0019  | 0.0163  | -0.052  | 0.5919 | 6.1257                         | 0.8698                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0103   | -0.1408 | 0.4207  | 0.617  | 1.8831                         | 0.7714                                     | A              |
|            | Y3            | 球形           | -0.131   | 1.6439  | -7.213  | 28.527 | 6.2534                         | 0.9784                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0107  | 0.162   | -0.8484 | 2.5224 | 7.2534                         | 0.6669                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0264  | 0.3625  | -1.5802 | 5.9074 | 5.5575                         | 0.5903                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0135  | 0.2288  | -1.8976 | 8.9038 | 5.2143                         | 0.9355                                     | A              |
| 11-19      | X4            | 球形           | -0.00003 | -0.0022 | 0.0001  | 0.2573 | 4.8692                         | 0.8058                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0011   | -0.0094 | 0.118   | 1.1536 | 2.2357                         | 0.8971                                     | A              |

选择表 2 中 2016 年卵形短须螨数量多的 4 月 11 日、4 月 28 日、5 月 12 日、5 月 30 日和 11 月 19 日卵形短须螨及其天敌的数据进行地学统计学分析,求得的半变异函数理论模型系数和变程列于表 9,2015 年理论模型的决定系数  $R^2$  大于 0.2144 的比率为 100%,2016 年  $R^2$  大于 0.2144 的比率为 100%,理论模型与实际情况吻合度很高。

将 2015 年和 2016 年卵形短须螨与其天敌半变异函数变程进行灰色关联度分析,结果列于表 5。2015 年与卵形短须螨空间跟随关系最密切的是茶色新圆蛛,其次是棕管巢蛛,第三位是鳞纹肖蛸;2016 年与卵形短须螨空间跟随关系最密切的是鳞纹肖蛸,其次是棕管巢蛛,第三位的是八斑球腹蛛,二年之间与卵形短须螨空间跟随关系密切程度前三位的天敌中有 2 位相同,棕管巢蛛均为第二位,鳞纹肖蛸 2015 年为第三位,2016 年为第一位,但茶色新圆蛛 2015 年为第一位,2016 年为第五位。将两年的关联度系数进行  $t$  检验,  $t = 0.4884$ ,  $t < t_{0.05}(2.306)$ , 差异不显著。

#### 2.4 2015 年和 2016 年间天敌对双斑长跗萤叶甲与其天敌之间空间跟随关系密切程度的差异

选择表 1 中 2015 年双斑长跗萤叶甲数量多的 5 月 10 日、6 月 8 日、6 月 20 日、7 月 4 日和 10 月 11 日双斑长跗萤叶甲及其天敌的数据进行地学统计学分析,将半变异函数理论模型的系数和变程列于表 10,并将 6 月 20 日双斑长跗萤叶甲及其天敌的半变异函数理论模型绘于图 4。选择 2016 年双斑长跗萤叶甲数量多的 4 月 11 日、4 月 28 日、5 月 30 日、6 月 14 日和 11 月 19 日双斑长跗萤叶甲及其天敌的数据进行地学统计学分析,将半变异函数有系数列于表 11。

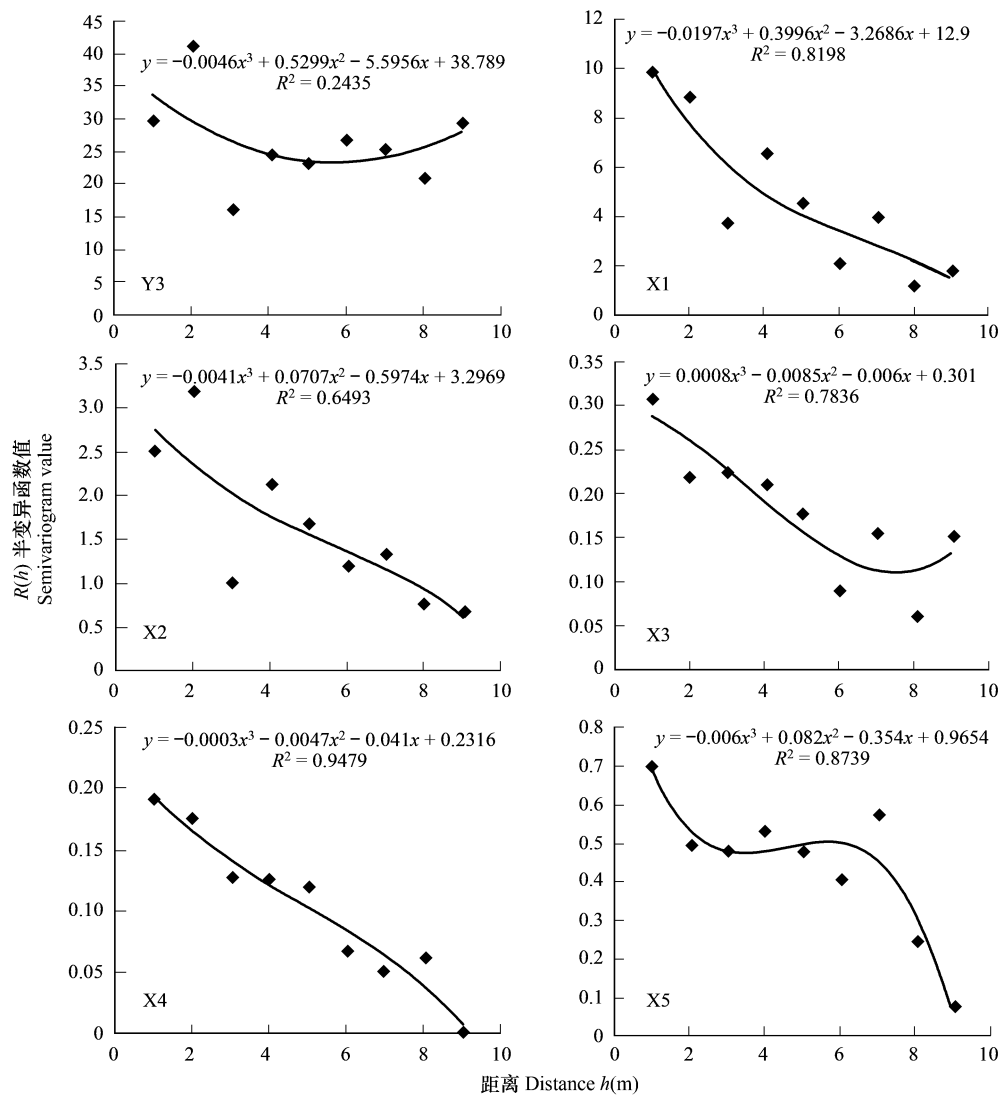


图 3 乌牛早茶园卵形短须螨与其 5 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(4 月 11 日)

Fig.3 Models of semivariogram of *Breuipalpus obovatus* with their natural enemies in WuNiuZao tea garden (April 11th)

表 10 2015 年乌牛早茶园双斑长跗蛱叶甲与其天敌的理论半变异函数模型参数

| Table 10 Observed semivariogram R * ( h) for <i>Monolepta hieroglyphica</i> and enemies of the WuNiuZao tea garden (2015) (2016) (2015) |               |              |                |                |                |                |                                |                                                     |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------|
| 时间<br>Date                                                                                                                              | 物种<br>species | 模型<br>Models | c <sub>1</sub> | c <sub>2</sub> | c <sub>3</sub> | c <sub>4</sub> | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 R <sup>2</sup><br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
| 05-10                                                                                                                                   | Y4            | 球形           | -0.0114        | 0.1742         | -0.9298        | 2.8105         | 6.7852                         | 0.8042                                              | A              |
|                                                                                                                                         | X1            | 球形           | 0.0109         | -0.1265        | -0.1398        | 5.0021         | 8.2549                         | 0.7511                                              | A              |
|                                                                                                                                         | X2            | 球形           | 0.0068         | -0.1245        | 0.5002         | 1.2298         | 2.5355                         | 0.8083                                              | A              |
|                                                                                                                                         | X3            | 球形           | -0.0003        | 0.0037         | -0.0182        | 0.524          | 7.2534                         | 0.6519                                              | A              |
|                                                                                                                                         | X4            | 球形           | -0.0046        | 0.0752         | -0.4271        | 1.3156         | 5.1547                         | 0.7995                                              | A              |
|                                                                                                                                         | X5            | 球形           | -0.0048        | 0.0748         | -0.3971        | 1.1271         | 6.2354                         | 0.9057                                              | A              |
| 06-08                                                                                                                                   | Y4            | 球形           | 0.0009         | -0.0078        | -0.3056        | 3.1033         | 3.8564                         | 0.9696                                              | A              |
|                                                                                                                                         | X1            | 球形           | 0.0265         | -0.3689        | 0.9784         | 2.7867         | 7.6775                         | 0.9136                                              | A              |
|                                                                                                                                         | X2            | 球形           | -0.0052        | 0.0741         | -0.5399        | 3.6774         | 5.8963                         | 0.897                                               | A              |
|                                                                                                                                         | X3            | 球形           | 0.004          | -0.0577        | 0.0906         | 1.0918         | 3.8641                         | 0.826                                               | A              |
|                                                                                                                                         | X4            | 球形           | -0.0046        | 0.0629         | -0.2837        | 0.8743         | 4.092                          | 0.7435                                              | A              |



续表

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$   | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 06-20      | X5            | 球形           | 0.0002  | -0.0032 | 0.0089  | 0.0293 | 1.644                          | 0.8591                                     | A              |
|            | Y4            | 球形           | -0.001  | -0.044  | 0.2091  | 4.9558 | 2.2096                         | 0.5148                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0127  | -0.2012 | 0.4375  | 3.6489 | 6.1242                         | 0.8661                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0073 | 0.1265  | -1.031  | 4.5796 | 5.1236                         | 0.881                                      | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0031 | 0.0492  | -0.2365 | 0.5716 | 6.8895                         | 0.4895                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0072 | 0.1093  | -0.6146 | 1.9995 | 5.2341                         | 0.8626                                     | A              |
| 07-04      | X5            | 球形           | 0.0003  | -0.0024 | -0.0136 | 0.1727 | 7.3807                         | 0.6889                                     | A              |
|            | Y4            | 球形           | -0.0056 | 0.1111  | -0.8538 | 3.4999 | 4.7567                         | 0.8289                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0304 | 0.4756  | -2.6754 | 7.5402 | 5.8674                         | 0.9041                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | 0.0069  | -0.1148 | -0.1491 | 6.6569 | 7.6812                         | 0.879                                      | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0012 | 0.0188  | -0.1073 | 0.3467 | 7.2145                         | 0.6839                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0145 | 0.2108  | -0.9911 | 2.7581 | 4.0095                         | 0.859                                      | A              |
| 10-11      | X5            | 球形           | -0.0044 | 0.0797  | -0.4994 | 1.5972 | 7.1468                         | 0.5944                                     | A              |
|            | Y4            | 球形           | -0.0084 | 0.1433  | -0.8299 | 2.9964 | 5.8634                         | 0.4408                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | 0.0063  | -0.0912 | -0.4778 | 8.3862 | 5.4687                         | 0.8668                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | 0.0287  | -0.4948 | 1.9338  | 2.5601 | 2.4962                         | 0.9161                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0731 | 1.1388  | -6.2599 | 20.781 | 7.8641                         | 0.664                                      | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.005  | 0.0672  | -0.2927 | 1.0534 | 5.2263                         | 0.7627                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.004   | -0.0787 | 0.1877  | 1.7976 | 2.3541                         | 0.9189                                     | A              |

表 11 2016 年乌牛早茶园双斑长跗蚱叶甲与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 11 Observed semivariogram  $R^*(h)$  for *Monolepta hieroglyphica* and enemies of the WuNiuZao tea garden (2016) (2016) (2015)

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | $c_1$   | $c_2$   | $c_3$   | $c_4$  | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 $R^2$<br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| 04-11      | Y4            | 球形           | 0.0006  | 0.0106  | -0.3993 | 3.8168 | 3.9563                         | 0.8395                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0147 | 0.2386  | -1.4376 | 4.5208 | 5.1258                         | 0.8486                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0381 | 0.5529  | -2.3837 | 4.6978 | 6.4323                         | 0.8648                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0053 | 0.0833  | -0.4601 | 1.4574 | 7.3641                         | 0.7572                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0032 | 0.0437  | -0.1984 | 0.6735 | 4.3179                         | 0.6453                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0101  | -0.163  | 0.6272  | 0.2942 | 2.509                          | 0.9837                                     | A              |
| 04-28      | Y4            | 球形           | -0.0134 | 0.2138  | -1.122  | 2.6691 | 4.706                          | 0.6019                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0207 | 0.3111  | -1.4286 | 3.095  | 6.4559                         | 0.5016                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | 0.0038  | -0.0615 | 0.1436  | 1.3117 | 1.3318                         | 0.8441                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | 0.0007  | -0.0098 | 0.0122  | 0.2899 | 8.6626                         | 0.8426                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0024 | 0.0362  | -0.175  | 0.426  | 6.0141                         | 0.7445                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | -0.0032 | 0.0478  | -0.2517 | 0.7459 | 5.1247                         | 0.8227                                     | A              |
| 05-30      | Y4            | 球形           | -0.0093 | 0.1276  | -0.5535 | 1.6467 | 5.6117                         | 0.8262                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0372 | 0.5614  | -2.7245 | 7.1383 | 5.9751                         | 0.7251                                     | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0158 | 0.1574  | -0.4895 | 3.5682 | 4.1572                         | 0.9074                                     | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0015 | 0.0315  | -0.2014 | 0.8708 | 4.9397                         | 0.2723                                     | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0019 | 0.0163  | -0.052  | 0.5919 | 6.1257                         | 0.8698                                     | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0103  | -0.1408 | 0.4207  | 0.617  | 7.2302                         | 0.7714                                     | A              |
| 06-14      | Y4            | 球形           | -0.0021 | 0.0341  | -0.2628 | 1.2112 | 3.8563                         | 0.8411                                     | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0378 | 0.6674  | -3.68   | 8.6882 | 4.4068                         | 0.7365                                     | A              |

续表

| 时间<br>Date | 物种<br>species | 模型<br>Models | c <sub>1</sub> | c <sub>2</sub> | c <sub>3</sub> | c <sub>4</sub> | 变程<br>RSD/m<br>variation range | 决定系数 R <sup>2</sup><br>determination<br>coefficient | 分布型<br>Pattern |
|------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------|
| 11-19      | X2            | 球形           | -0.0108        | 0.1734         | -1.1744        | 4.9019         | 4.9634                         | 0.8093                                              | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0004        | 0.0126         | -0.1818        | 0.9444         | 3.9635                         | 0.8162                                              | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.0013        | 0.018          | -0.0799        | 0.2656         | 5.5179                         | 0.6466                                              | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0004         | -0.0086        | 0.0115         | 0.3074         | 3.8674                         | 0.8833                                              | A              |
|            | Y4            | 球形           | -0.0265        | 0.4248         | -2.4471        | 7.7491         | 6.8541                         | 0.5482                                              | A              |
|            | X1            | 球形           | -0.0107        | 0.162          | -0.8484        | 2.5224         | 6.6417                         | 0.6669                                              | A              |
|            | X2            | 球形           | -0.0264        | 0.3625         | -1.5802        | 5.9074         | 5.5755                         | 0.5903                                              | A              |
|            | X3            | 球形           | -0.0135        | 0.2288         | -1.8976        | 8.9038         | 5.3647                         | 0.9355                                              | A              |
|            | X4            | 球形           | -0.00003       | -0.0022        | 0.0001         | 0.2573         | 5.3624                         | 0.8058                                              | A              |
|            | X5            | 球形           | 0.0011         | -0.0094        | -0.118         | 1.1536         | 6.1254                         | 0.8971                                              | A              |

从表 10 和表 11 可看出 2015 年和 2016 年各模型的决定系数  $R^2$  均大于 0.2144,表明理论模型与实际情况吻合度高。

将两年天敌与双斑长跗萤叶甲半变异函数变程间的灰色关联度列于表 5。2015 年与双斑长跗萤叶甲空间跟随关系密切的前三位天敌位次是八斑球腹蛛、棕管巢蛛和鳞纹肖蛸。2016 年的是鳞纹肖蛸、棕管巢蛛和茶色新圆蛛,两年间前三位的天敌有 2 位相同,但位次不同,显著不同的是 2015 年第一位是八斑球腹蛛,而 2016 年八斑球腹蛛位于第五位。将两年的关联度系数进行  $t$  检验, $t=0.4485, t<t_{0.05}(2.306)$ ,差异不显著。

3 小结与讨论

对 2015 年和 2016 年乌牛早茶园 4 种主要害虫及其 5 种主要天敌进行地学统计学分析,将求得的天敌及害虫之间半变异函数的变程进行灰色关联度分析,以此分析比较年度间天敌对害虫空间跟随关系密切程度的差异,结果是:

2015 年和 2016 年间与茶蚜空间跟随关系密切的前三位天敌只有锥腹肖蛸相同,但位次不同。

2015 年和 2016 年间与假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切前三位天敌中只有茶色新圆蛛和八斑球腹蛛两种相同,但位次不同。

2015 年和 2016 年间与卵形短须螨空间跟随关系密切的前三位天敌中只有棕管巢蛛和鳞纹肖蛸两种相同,但位次不同。

2015 年和 2016 年间与双斑长跗萤叶甲空间跟随关系密切的前三位天敌中只有棕管巢蛛和鳞纹肖蛸两种相同,但位次不同。

天敌与害虫空间上跟随关系密切与否直接与捕食(或寄生)作用大小有关<sup>[28]</sup>,引起天敌对害虫跟随关系密切与否的原因,应是某种天敌对目标害虫与其它食饵害虫共存时对目标害虫的喜好程度,对害虫的喜好程度一是与天敌本身的取食状况、饥饿程度和目标害虫的种群数量与天敌种群数量之比有关,二是天敌本身的生物学特性有关。从天敌与目标害虫的种群数量角度分析。由表 5 看出与茶蚜空间跟随关系密切的茶色新圆蛛,2015 年居于第一位,2016 年居于第五位,差异如此之大。缘于 2015 年 5 次的茶蚜总量为 387 头,2016 年为 543 头,茶色新圆蛛 5 次的总量,2015 年为 188 头,2016 年为 115 头,2015 年茶蚜与茶色新圆蛛数量之比为 2.04,2016 年为 4.72,2015 年茶色新圆蛛对茶蚜的需求量大,2015 年的食饵资源短缺,因而茶色新圆蛛对茶蚜的跟随关系特别密切。

与卵形短须螨空间跟随关系密切的茶色新圆蛛,2015 年居于第一位,2016 年居于第五位,差异很大,卵形短须螨 2015 年 5 次的个体数量为 777 头,2016 年为 1968 头,茶色新圆蛛 2015 年为 129 头,2016 年为 138 头。卵形短须螨与茶色新圆蛛个体数量之比 2015 年为 6.02,2016 年为 14.26,茶色新圆蛛 2015 年对卵形短须螨的

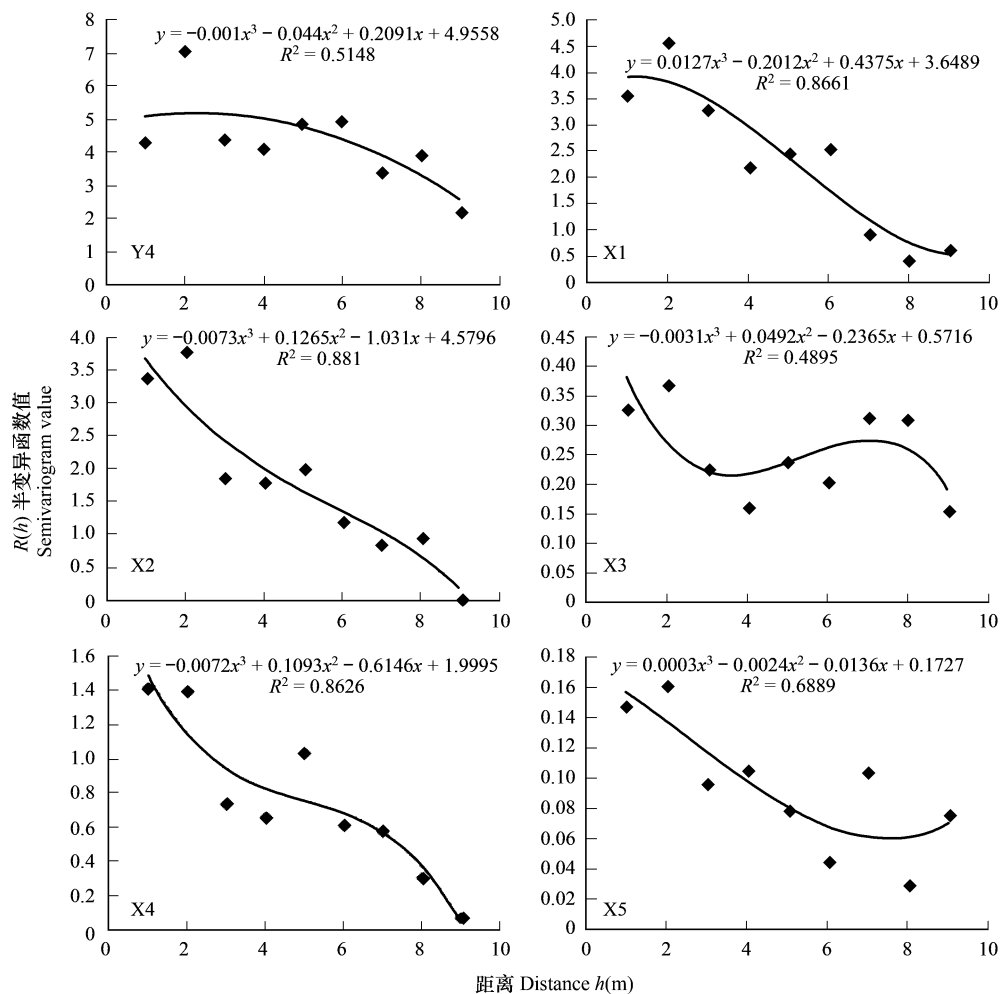


图4 乌牛早茶园双斑长跗蚱叶甲与其5种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(6月20日)

Fig.4 Models of semivariogram of *Monolepta hieroglyphica* with their natural enemies in WuNiuZao tea garden (June 20th)

需求大于2016年,资源紧缺,因而2015年茶色新圆蛛对卵形短须螨跟随关系较2016年密切。茶蚜在月均温16—25℃,相对湿度70%以上,晴暖少雨,虫口增长迅速,卵形短须螨适于24—30℃,干旱少雨时发生其消长与前一旬自然时数成正相关,旬均温>24℃,旬雨量<40 mm,旬日照60—100 h,20—30 d出现螨口高峰,总之茶蚜和卵形短须螨适宜的生长环境是适温、干旱。合肥地区4月份和5月份,两种害虫数量较多,但是2016年明显多于2015年。据合肥气象站资料,2015年4月份均温15.9℃,5月份21.97℃,2016年4月份均温17.57℃,5月份均温20.06℃,温度差距较小。气象因子之一的相对湿度,4月上旬-下旬的三旬相对湿度,2015年为78.5%,66.2%和60.5%。2016年是79.6%,68.6%和76%。2016年的相对湿度高于2015年。5月上旬-下旬的三旬相对湿度,2015年的是77.2%,69.7%和69.91%。2016年的是73.9%,69.4%和81.5%。2016年5月下旬相对湿度高于2015年,分析结果表明这期间的温度差异不显著( $t=0.0366$ ),相对湿度差异也不显著( $t=1.288$ ),表明这两年的温度和相对湿度由于差异不显著,不是决定跟随关系密切程度位次的主要因子。

赵静等<sup>[29]</sup>用地学统计学方法对不同时间烟育蝽 *Nesidicocoris tenuis* 与其天敌蜘蛛的空间格局,利用 Block Kriging 插值法及到三维空间插值模拟图,分析蜘蛛对烟盲蝽的空间跟随关系,王瑞等<sup>[30]</sup>用地学统计学方法和普通克里格分析稻田灰飞虱 *Laodelphat strcatella* Fallen 与蜘蛛的时间和空间动态以及蜘蛛对灰飞虱的跟随关系。20世纪70年代以来研究假眼小绿叶蝉和茶蚜等茶树害虫的空间分布均是采用频次法和聚类强度指数法<sup>[31-32]</sup>。本文采用地学统计学和灰色关联度分析法相结合研究5种天敌对4种害虫空间上的跟随关系的密

切程度,该法计算简便,结果明确,对明确天敌在空间上跟随关系密切与否不失为一种理想的方法。

#### 参考文献(References):

- [1] 张汉鹄,谭济才. 中国茶树害虫及其无公害治理. 合肥:安徽科学技术出版社,2004:40-48.
- [2] 邹运鼎. 害虫管理中的天敌评价理论与应用. 北京:中国林业出版社,1997:146-149.
- [3] 韩宝瑜,崔林,王成树. 茶园瓢虫群落结构、动态及优势种生态位. 茶叶科学,1996,16(1):77-78.
- [4] 戴轩. 茶蚜及其天敌生态位的初步研究. 茶叶科学,1995,15(1):79-80.
- [5] 韩宝瑜,陈宗懋. 七星瓢虫和异色瓢虫四变种成虫对茶蚜蜜露的搜索行为和蜜露的组分分析. 生态学报,2000,20(3):495-501.
- [6] Chen Z M, Xu N, Han B Y. Role of volatile allelochemicals on host location of tea pests and host foraging of natural enemies in tea ecosystem//Scientific Program and Abstracts of the 1st Asia-Pacific Conference on Chemical Ecology. Shanghai, China, Academic Journal Electronic Publishing,1999:81-83.
- [7] Chen Z M, Sun X L, Dong W X. Genetics and chemistry of the resistance of tea plant to pests//Chen L, Apostolides Z, Chen Z M, eds. Global Tea Breeding. Berlin Heidelberg: Springer, 2012:343-360.
- [8] Persons M H, Rypstra A L. Preference for chemical cues associated with recent prey in the wolf spider *Hogna helluo* (Araneae: Lycosidae). Ethology, 2000, 106(1):27-35.
- [9] Clark R J, Jackson R R, Cutler B. Chemical cues from ants influence predatory behavior in *Habrocestum pulex*, an ant-eating jumping spider (Araneae, Salticidae). Journal of Arachnology, 2000, 28(3):309-318.
- [10] Xiao Y H, Zhang J X, Li S Q. A two-component female-produced pheromone of the spider *Pholcus beijingensis*. Journal of Chemical Ecology, 2009, 35(7):769-778.
- [11] Yu H L, Zhang Y J, Wu K M, Gao X W, Guo Y Y. Field-testing of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. Environmental Entomology, 2008, 37(6):1410-1415.
- [12] 杨林,郭骅,毕守东,邹运鼎,周夏芝,柯胜兵,施晓丽,柯磊,林源. 合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系. 生态学报,2012,32(13):4215-1227.
- [13] 周夏芝,毕守东,黄勃,柯胜兵,邹运鼎,施晓丽,柯磊,杨林,郭骅,林源. 茶园主要天敌对4种害虫的空间跟随关系. 华南农业大学学报,2013,34(4):489-498.
- [14] 周夏芝,毕守东,柯胜兵,党凤花,邹运鼎,徐劲峰,禹坤,赵学娟. 茶园4种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系. 生态学报,2010,30(22):6183-6192.
- [15] 王振兴,李尚,王建盼,毕守东,周夏芝,覃盛,陈云,刘飞飞,邹运鼎,郎坤. 两品种茶园茶蚜和假眼小绿叶蝉天敌优势种的比较. 安徽农业大学学报,2016,43(3):350-358.
- [16] 钮羽群,王梦馨,崔林,叶火香,潘铖,韩宝瑜. 迷迭香挥发物不同组合对假眼小绿叶蝉行为的调控. 生态学报,2015,35(7):2380-2387.
- [17] 黎健龙,唐劲驰,黎秀娣,唐颖,黎华寿. 周边不同生境条件对茶园蜘蛛群落及叶蝉种群时空结构的影响. 生态学报,2014,34(9):2216-2227.
- [18] 宋晓川,刘波,齐石成. 茶短须螨种群分布密度及方差分析. 福建农业科技,1993,(4):19.
- [19] 李尚,王振兴,王建盼,周夏芝,毕守东,覃盛,陈云,刘飞飞,邹运鼎,郎坤. 白毫早和乌牛早茶园卵形短须螨和双斑长跗萤叶甲优势种天敌的差异. 华南农业大学学报,2016,37(4):38-45.
- [20] 王建盼,刘飞飞,毕守东,耿继光,周夏芝,邹运鼎,覃盛,王振兴,李尚,陈云. “安吉白茶”花蓟马和茶短须螨与其捕食性天敌的关系研究. 西南大学学报:自然科学版,2016,38(8):1-9.
- [21] 聂强,孙强. 双斑萤叶甲成虫的取食选择性研究. 黑龙江八一农垦大学农学院,2009,21(4):38-41.
- [22] 梁日霞,王振营,何康来,丛斌,李菁. 基于线粒体 CO II 基因序列的双斑长跗萤叶甲中国北方地理种群的遗传多样性研究. 昆虫学报,2011,54(7):828-837.
- [23] 王立仁,刘斌侠,付泓. 玉米田双斑长跗萤叶甲的发生为害情况与防治对策. 陕西农业科学,2006,(2):123-123,131-131.
- [24] 李广伟,陈秀琳,张建萍,陈静. 温度对双斑长跗萤叶甲成虫寿命及繁殖的影响. 昆虫知识,2010,47(2):322-325.
- [25] Rossi R E, Mulla D J, Journel A G, Franz E H. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. Ecological Monographs, 1992, 62(2):277-314.
- [26] 侯景瑞,黄克先. 地质统计学的理论与方法. 北京:地质出版社,1990:87-102.
- [27] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉:华中理工大学出版社,1990:33-84.
- [28] 邹运鼎,王弘法. 农林昆虫生态学. 合肥:安徽科学技术出版社,1989:219-326.
- [29] 赵静,赵鑫,王玉军,李光强,刘丽平,孟家华,郑方强. 烟盲蝽及其天敌蜘蛛空间格局的地统计学分析. 生态学报,2010,30(15):4196-4205.
- [30] 王瑞,翟保平,胡高,陈晓,沈慧梅. 基于地统计学方法的稻田灰飞虱与蜘蛛时空动态分析. 昆虫学报,2009,52(1):65-73.
- [31] 程鸣珂,周坚. 茶小绿叶蝉在茶园中空间分布型和抽样方法的研究. 茶叶,1981,(6):34-37.
- [32] 殷坤山,洪北边,胡宏基. 五种害虫在茶丛中的垂直分布规律及其应用设想. 中国茶叶,1987,(5):14-17.