

天敌对白毫早茶园四种害虫空间跟随关系密切程度的年度间差异及其原因*

张书平^{1,2**} 余燕^{1,2} 李尚¹ 王振兴^{1,2} 王建盼^{1,2} 周夏芝¹
毕守东^{2***} 闫萍^{2***} 邹运鼎¹ 刘飞飞^{1,2} 郎坤^{1,2}

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学理学院, 合肥 230036)

摘要 【目的】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 年开展了合肥地区白毫早茶园八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum* Walker、茶尺蠖 *Ectropis obliqua* Warren、花蓟马 *Frankliniella intonsa* Trybon 和茶蚜 *Toxoptera aurantii* Boyer 与其天敌之间的空间关系研究。【方法】运用地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。并分析比较害虫的同一种天敌与该害虫空间跟随关系密切程度年度间差异的原因。【结果】8 种天敌中, 与害虫跟随关系密切的前 3 位天敌, 2015 年八点广翅蜡蝉的天敌是棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes.et Str (0.859 3)、斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L.Koch (0.805 8)、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* Sundevall (0.804 7), 2016 年的是草间小黑蛛 (0.806 2)、鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch (0.792 9)、茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* Walckenaer (0.792 2), 两年间前 3 位天敌中只有草间小黑蛛一种相同。2015 年茶尺蠖的天敌是棕管巢蛛 (0.7909)、八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* Boes.et Str (0.790 4)、斜纹猫蛛 (0.789 4), 2016 年的是茶色新圆蛛 (0.877 7)、草间小黑蛛 (0.872 0)、棕管巢蛛 (0.823 0), 两年间前三位天敌中也只有棕管巢蛛一种相同。2015 年花蓟马的天敌是斜纹猫蛛 (0.890 0)、八斑球腹蛛 (0.878 9) 和棕管巢蛛 (0.843 5), 2016 年的是锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* Thorell (0.879 7)、八斑球腹蛛 (0.866 5) 和棕管巢蛛 (0.855 3), 两年间前 3 位天敌中有八斑球腹蛛和棕管巢蛛 2 种天敌相同, 且位次相同。2015 年茶蚜的天敌是锥腹肖蛸 (0.819 9)、茶色新圆蛛 (0.816 4) 和鳞纹肖蛸 (0.814 2), 2016 年的是茶色新圆蛛 (0.840 7)、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus* Fabr (0.814 7) 和八斑球腹蛛 (0.806 8), 两年间前 3 位天敌中只有茶色新圆蛛一种相同。【结论】初步分析表明年度间与害虫跟随关系天敌位次的变化主要是害虫和天敌数量之比的变化, 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 4 种害虫, 8 种天敌, 空间关系, 地统计学, 灰色系统分析

Spatial relationships among natural enemies and four insect pests over two consecutive years

ZHANG Shu-Ping^{1,2**} YU Yan^{1,2} LI Shang¹ WANG Zhen-Xing^{1,2} WANG Jian-Pan^{1,2}
ZHOU Xia-Zhi¹ BI Shou-Dong^{2***} YAN Ping^{2***} ZOU Yun-Ding¹ LIU Fei-Fei^{1,2} LANG Kun^{1,2}

(1. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract [Objectives] To protect and utilize natural enemies, and develop more scientific sampling methods, spatial relationships among natural enemies of *Ricania speculum*, *Ectropis obliqua*, *Frankliniella intonsa* and *Toxoptera aurantii* Boyer were investigated in the “Baihaozao” tea gardens in suburban Hefei, China in 2015 and 2016. [Methods] Ranges of

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

**第一作者 First author, E-mail: 2711143928@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: bishoudong@163.com; yanping@ahau.edu.cn

收稿日期 Received: 2017-09-28, 接受日期 Accepted: 2017-12-26

spatial dependence (RSDs) of natural enemies were calculated using geostatistics and the spatial relationships among predators and pests were analyzed using grey relational analysis. This paper analyzes why the spatial distribution of natural enemies of insect pests closely match that of their hosts. **[Results]** Relational grade analysis indicated that the spatial distribution of the three main natural enemies, *Clubiona japonicola* (0.859 3), *Oxyopes sertatus* (0.805 8) and *Erigonidium graminicolum* (0.804 7) closely matched that of *Ricania speculum* in the “baihaozao” tea garden in 2015. However, in 2016, the three main enemies were *Erigonidium graminicolum* (0.806 2), *Tetragnatha squamata* (0.792 9) and *Neoscona theisi* (0.792 2), i.e. only one of the top three predators was the same in both years. The spatial distribution of *Clubiona japonicola* (0.790 9); *Theridion octomaculatum* (0.790 4) and *Oxyopes sertatus* (0.789 4) also closely matched that of *Ectropis obliqua* in 2015, but in 2016 the three main enemies were *Neoscona theisi* (0.877 7), *Erigonidium graminicolum* (0.872 0) and *Clubiona japonicola* (0.823 0). Again, only one of the top three predators was the same in both years. The spatial distribution of *Oxyopes sertatus* (0.890 0), *Theridion octomaculatum* (0.878 9) and *Clubiona japonicola* (0.843 5) closely matched that of *Frankliniella intonsa* in 2015, but in 2016 the three main enemies included *Tetragnatha maxillosa* (0.879 7), *Theridion octomaculatum* (0.866 5) and *Clubiona japonicola* (0.855 3); only two of the top three predators was the same in both years although their relative ranking was the same. The spatial distribution of *Tetragnatha maxillosa* (0.819 9), *Neoscona theisi* (0.816 4) and *Tetragnatha squamata* (0.814 2), closely matched that of *T. aurantii* in 2015. However, in 2016 the three main enemies were *Neoscona theisi* (0.840 7), *Misumenops tricuspidatus* (0.814 7) and *Theridion octomaculatum* (0.806 8); i.e. only one of the top three predators was the same in both years. **[Conclusion]** The main reason for the observed changes in the relative abundance of natural enemies of pests in different years is annual variation in climate. The smaller the ratio between numbers of pests and their natural enemies the closer the spatial relationship between them should be because of greater competition among natural enemies for prey.

Key words 4 kinds of pests, 8 kinds of 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的主要生态因子 (张汉鹄和谭济才, 2004)。茶蚜 *Toxoptera aurantii* Boyer 是茶树的主要害虫, 瓢虫类的异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas 等是茶蚜的主要天敌 (张汉鹄和谭济才, 2004), 对茶蚜蜜露有较强的搜索行为 (韩宝瑜和陈宗懋, 2000), 韩宝瑜 (2007) 还研究了无翅茶蚜对茶树挥发物的触角电生理和行为反应, 许多学者还研究了茶蚜与瓢虫的关系以及茶树-害虫-天敌蜘蛛三者之间的化学联系 (Chen *et al.*, 1999, 2012; Clark *et al.*, 2000; Persons and Rypstra, 2000; Yu *et al.*, 2008; Xiao *et al.*, 2009); 杨林等 (2012) 用地学统计学方法分析秋季茶园茶蚜等害虫与其天敌之间的空间关系。茶尺蠖 *Ectropis obliqua* Warren 是我国茶树主要害虫之一, 分布遍及各茶区, 主要分布在长江中下游地区, 尤以苏、浙、皖接壤地区危害严重, 国外分布于日本。幼虫食叶常致茶丛光秃, 还危害大豆、豇豆、芝麻、向日葵、辣蓼等 (张汉鹄和谭济才, 2004), 王勇

等 (1991) 报道茶尺蠖 1 龄幼虫对不同颜色的趋性不同, 柠檬黄色纸引诱力最大, 土黄和黄绿色纸次之。叶恭银等 (1994) 报道了茶尺蠖核型多角体病毒对宿主种群的控制作用, 陈亦根 (2010) 综述了茶尺蠖的生物防治进展, 朱俊庆 (1996) 研究了茶尺蠖的测报技术, 刘飞飞等 (2015) 用聚块样方法分析茶尺蠖幼虫与其天敌间的空间关系。八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum* Walker 是茶树主要害虫, 成、若虫皆刺吸茶树芽梢汁液, 同时排泄“蜜露”招致煤病发生, 成虫还在枝梢内产卵造成损害 (张汉鹄和谭济才, 2004), 孙晓玲等 (2011) 研究了八点广翅蜡蝉成虫对不同颜色的趋向选择。花蓟马 *Frankliniella intonsa* Trybon 也是茶树上的重要害虫, 危害茶花和茶树芽叶主脉两侧使叶质变差, 危害严重时使整叶变黄焦枯。除危害茶叶外, 还危害多种植物 (张汉鹄和谭济才, 2004), 张鲁民等 (2008) 研究了南方小花蝽 *Orius strigicollis* Zheng 捕食花蓟马的功能反应符合 Holling 型反应, 理论上日最大捕食量可达 15.79 头; 祝晓云等 (2012) 对花

蓟马雄虫释放的聚集信息素进行了分离和鉴定, 分别为 (R)-larandulyl acetatego neryl(s)-2-methylbutanoate。张鲁民等 (2008) 报道了南方小花蝽和花蓟马种群季节动态以及捕食功能反应。天敌对目标害虫在空间上跟随关系密切程度大小, 与对目标害虫的捕食 (寄生) 率有关, 亦即直接与天敌对目标害虫的控制作用有关 (邹运鼎和王弘法, 1997, 1989)。本文研究合肥地区白毫早茶园天敌对茶蚜、茶尺蠖、八点广翅蜡蝉和花蓟马 4 种害虫空间上跟随关系密切程度的年度间差异及其原因, 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, 茶树品种为白毫早, 调查茶园面积为 0.2 hm², 周边为其它品种茶园。茶园按常规措施管理, 但不施用农药。

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 19 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。先目测调查每个样方随机选取的 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 1 000 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 根据区域变化量的理论 (侯景瑞和黄竞先, 1990; Rossi *et al.*, 1992;

杨林等, 2012), 在空间上昆虫种群数量是区域化变量。本文利用半变异函数公式 $R^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$, 通过计算八点广翅蜡蝉、茶尺蠖、花蓟马和茶蚜及其天敌的实验半变异函数, 拟合半变异函数理论模型, 求出该模型的变程。其中 $N(h)$ 是被 h 分割的数据对 $(x_i, x_i + h)$ 的对数, $z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 分别是点 x_i 和点 $x_i + h$ 处样本的测量值。

1.4.2 灰色关联度分析 用灰色关联度分析法 (邓聚龙, 1997; 杨林等, 2012), 灰色关联度指数公式

$$r_{ij} = \frac{\min \min |Y_i(k) - X_j(k)| + \rho \max \max |Y_i(k) - X_j(k)|}{\max |Y_i(k) - X_j(k)| + \rho \max \max |Y_i(k) - X_j(k)|},$$

其中 ρ 为分辨系数, 取值区间 [0, 1], 本文取 $\rho = 0.8$, $\min \min |Y_i(k) - X_j(k)|$ 为 2 级最小差, $\max \max |Y_i(k) - X_j(k)|$ 为 2 级最大差, 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 年白毫早茶园共调查节肢动物 18 180 头, 总计 92 种, 分属 21 目 53 科, 其中植食性害虫 8 085 头, 39 种, 分属 9 目 26 科, 捕食类天敌 6 111 头, 42 种, 分属 7 目 18 科。2016 年该茶园共调查节肢动物 19 249 头, 总计 72 种, 分属 21 目 53 科, 其中植食性害虫 8 800 头, 31 种, 分属 9 目 23 科, 捕食类天敌 6 045 头, 31 种, 分属 6 目 16 科, 将每年调查的个总数 119 头以上的 8 种天敌和八点广翅蜡蝉、茶尺蠖、花蓟马和茶蚜 4 种害虫的种群数量列于表 1 和表 2。

全年个体总数大于 119 头的 8 种天敌是鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、八斑球腹蛛、棕管巢蛛、茶色新圆蛛、三突花蟹蛛、草间小黑蛛和斜纹猫蛛。将两年间 4 种害虫和个体数 119 头以上 8 种天敌的数量进行 t -检验, 八点广翅蜡蝉的 t -值是

1.183 5, 茶尺蠖的 t -值是 2.064 2, 花蓟马的 t -值是 0.895 5, 茶蚜的 t -值是 1.3562, $df=31$ 时, $t_{0.05}=2.039 0$, 茶尺蠖两年间差异显著, 2016 年显著多于 2015 年。主要天敌鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、八斑球腹蛛、棕管巢蛛、茶色新圆蛛、三突花蟹蛛、草间小黑蛛和斜纹猫蛛两年的 t -值依次为 1.724 2、0.530 2、0.930 9、1.510 8、1.074 1、0.215 0、1.539 9、0.126 9, t -值均小于 $t_{0.05}$, 差异均不显著。

2.1 2015 年和 2016 年之间天敌对八点广翅蜡蝉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的反映两者之间空间关系的密切程度, 选择表 1 中 2015 年八点广翅蜡蝉数量多

的 6 月 8 日、6 月 20 日、7 月 4 日、9 月 13 日、9 月 26 日的八点广翅蜡蝉 (y_1) 以及鳞纹肖蛸 (x_1)、锥腹肖蛸 (x_2)、八斑球腹蛛 (x_3)、棕管巢蛛 (x_4)、茶色新圆蛛 (x_5)、三突花蟹蛛 (x_6)、草间小黑蛛 (x_7) 和斜纹猫蛛 (x_8) 的数据进行地学统计学分析, 将求得是半变异函数的理论模型系数和变程列于表 3, 并把 5 次中任选一次 6 月 8 日的八点广翅蜡蝉及其天敌半变异函数的理论模型绘于图 1。

选择表 2 中八点广翅蜡蝉数量多的 2016 年 5 月 12 日、5 月 30 日、6 月 14 日、6 月 29 日和 7 月 14 日的八点广翅蜡蝉及其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。

从表 3 和表 4 可看出理论模型的决定系数

表 1 2015 年白毫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 Baihaozao tea field (ind./30plots) (2015)

月/日 (month/day)	y_1	y_2	y_3	y_4	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
3/28	0	1	1	4	273	119	59	5	33	80	15	1
4/11	0	0	1	48	187	85	12	8	26	54	1	4
4/26	0	1	5	52	117	82	14	9	31	33	14	0
5/10	0	2	0	44	80	33	2	11	13	8	25	1
5/24	0	3	0	4	69	48	5	15	36	13	21	5
6/8	8	6	0	6	79	60	36	25	34	7	9	0
6/20	29	1	8	11	55	102	19	28	19	6	15	3
7/4	12	13	12	131	49	141	16	48	26	14	9	6
7/19	3	0	25	41	82	118	5	35	21	10	7	8
8/2	6	0	6	7	32	50	10	49	20	6	5	7
8/16	0	0	35	63	8	36	5	43	8	6	4	3
8/30	0	0	37	76	7	30	4	53	12	2	0	8
9/13	8	2	49	11	24	35	12	70	6	3	6	3
9/26	9	5	101	11	16	49	23	57	9	12	6	18
10/11	5	3	51	28	62	61	104	32	12	10	4	18
10/28	0	7	225	35	138	142	140	36	19	41	6	36
11/14	1	2	390	112	136	141	120	6	21	5	2	11
合计	81	46	946	684	1 414	1 332	586	530	346	310	149	132

y_1 : 八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum* Walker; y_2 : 茶尺蠖 *Ectropis obliqua* Warren; y_3 : 花蓟马 *Frankliniella intonsa* Trybon; y_4 : 茶蚜 *Toxoptera aurantii* Boyer; x_1 : 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; x_2 : 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* Thorell; x_3 : 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* Boes.et Str; x_4 : 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes.et Str; x_5 : 茶色新圆蛛: *Neoscona theisi* Walckenaer; x_6 : 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus* Fabr; x_7 : 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* Sundevall; x_8 : 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L.Koch; 下表同。The same below.

表 2 2016 年白毫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 Baihaozao tea field (ind./30plots) (2016)

月/日 (month/day)	y_1	y_2	y_3	y_4	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
3/27	0	1	34	83	149	140	86	3	27	52	20	2
4/11	0	2	36	60	61	88	14	12	19	59	9	4
4/28	1	9	22	114	49	72	12	13	49	35	7	2
5/12	55	12	27	43	63	47	20	25	46	13	25	0
5/30	12	13	28	8	58	90	25	19	52	12	31	4
6/14	41	11	90	18	43	91	29	26	33	1	22	3
6/29	38	7	146	54	62	169	38	39	25	19	17	6
7/14	11	9	99	29	114	165	26	53	21	14	30	4
7/29	2	3	98	5	23	100	18	29	17	6	10	8
8/13	4	3	31	31	12	31	5	24	7	2	3	10
8/28	1	4	12	146	6	33	6	11	13	3	9	9
9/12	0	2	26	6	8	19	7	13	5	1	2	14
9/25	0	4	53	54	24	36	25	32	17	5	3	14
10/10	0	2	43	307	36	55	110	24	16	4	7	13
11/2	0	5	193	65	47	101	248	26	23	17	7	10
11/19	0	0	524	72	40	150	187	7	27	25	10	16
合计	165	87	1 462	1 095	795	1 387	856	356	397	268	212	119

表 3 2015 年白毫早茶园八点广翅蜡蝉与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 3 Observed semivariogram $R^*(h)$ for *Ricania speculum* and enemies of the Baihaozao tea field (2015)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
6/8	y_1	球形 Spherical	- 0.002 7	0.037 2	- 0.157 7	0.393 4	5.866 4	0.741 6	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.005 7	0.121 3	- 0.846 0	3.323 6	6.174 3	0.514 1	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.027 7	0.404 5	- 1.729 5	3.171 3	6.565 1	0.815 0	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.005 8	0.082 6	- 0.418 7	1.340 8	6.632 1	0.845 8	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.012 8	0.192 6	- 0.929 1	2.081 3	5.996 1	0.884 9	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.002 1	0.038 5	- 0.293 7	1.460 2	6.421 4	0.666 6	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 5	- 0.007 1	0.005 2	0.234 8	9.085 1	0.584 1	A
	x_7	球形 Spherical	0.001 0	- 0.014 6	0.026 9	0.285 6	8.703 1	0.918 7	A
	x_8	-	-	-	-	-	-	-	-
6/20	y_1	球形 Spherical	0.001 7	0.018 9	- 0.143 8	0.990 0	5.862 3	0.938 0	A
	x_1	球形 Spherical	0.016 6	- 0.273 9	0.998 0	1.586 9	8.695 2	0.978 5	A
	x_2	球形 Spherical	0.000 2	0.011 3	- 0.483 7	4.331 1	6.052 1	0.826 9	A

续表 3 (Table 3 continued)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
6/20	x_3	球形 Spherical	- 0.003 0	0.046 4	- 0.274 9	0.921 8	6.584 2	0.891 2	A
	x_4	球形 Spherical	0.001 5	- 0.019 5	- 0.041 0	1.095 4	9.614 3	0.919 6	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.007 5	0.118 7	- 0.630 7	1.592 2	7.154 2	0.760 5	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.000 8	0.012 9	- 0.082 1	0.287 5	8.164 7	0.832 3	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 6	0.007 1	- 0.062 8	0.457 1	7.354 3	0.840 4	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 8	0.011 6	- 0.051 4	0.134 6	6.227 7	0.812 4	A
7/4	y_1	球形 Spherical	- 0.001 0	0.017 8	- 0.112 1	0.382 2	7.954 6	0.804 6	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.003 8	0.020 7	0.005 3	1.118 1	3.755 3	0.901 4	A
	x_2	球形 Spherical	0.064 9	- 1.030 2	4.258 8	- 0.872 4	7.765 7	0.937 7	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.003 0	0.041 9	- 0.211 6	0.767 4	6.194 2	0.792 1	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.006 5	0.100 1	- 0.561 1	2.186 2	6.584 3	0.678 9	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.006 7	0.094 3	- 0.469 2	1.497 8	6.241 3	0.900 3	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.002 8	0.044 6	- 0.243 1	0.698 6	6.928 2	0.768 4	A
	x_7	球形 Spherical	0.000 7	- 0.011 3	0.016 1	0.270 3	8.169 3	0.965 4	A
9/13	x_8	球形 Spherical	- 0.000 7	0.010 6	- 0.059 3	0.211 1	7.058 2	0.819 7	A
	y_1	球形 Spherical	- 0.000 8	0.013 0	- 0.080 1	0.293 6	7.156 1	0.799 3	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.002 8	0.051 0	- 0.347 8	1.375 0	8.152 1	0.654 5	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.009 3	0.145 4	- 0.737 2	2.166 7	6.069 6	0.665 8	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.002 1	0.033 9	- 0.2065	0.700 9	7.251 6	0.812 1	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.007 8	0.143 7	- 0.916 6	3.098 9	8.064 2	0.893 1	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.001 2	0.017 0	- 0.075 6	0.216 6	5.862 1	0.739 4	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.000 8	0.009 9	- 0.038 6	0.109 4	5.090 5	0.640 2	A
9/26	x_7	球形 Spherical	- 0.001 0	0.016 2	- 0.073 5	0.204 0	7.558 7	0.493 2	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 2	0.003 2	- 0.025 1	0.135 6	5.684 3	0.885 7	A
	y_1	球形 Spherical	- 0.001 5	0.020 9	- 0.106 5	0.321 4	7.652 3	0.872 4	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.002 2	0.060 3	- 0.394 4	1.279 1	40.266 5	0.798 6	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.000 5	0.022 9	- 0.364 6	2.103 3	7.369 4	0.858 0	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.001 0	0.019 0	- 0.225 5	1.384 8	9.025 6	0.945 1	A
	x_4	球形 Spherical	0.007 1	- 0.089 5	0.038 4	1.910 2	8.183 4	0.974 1	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.005 2	0.080 9	- 0.384 4	0.804 9	6.686 7	0.821 3	A
9/26	x_6	球形 Spherical	0.000 9	- 0.011 6	0.012 8	0.220 2	7.835 7	0.840 1	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 1	0.001 6	- 0.012 6	0.152 8	7.896 4	0.600 9	A
	x_8	球形 Spherical	0.001 2	- 0.022 1	0.063 4	0.377 9	8.094 3	0.914 1	A

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

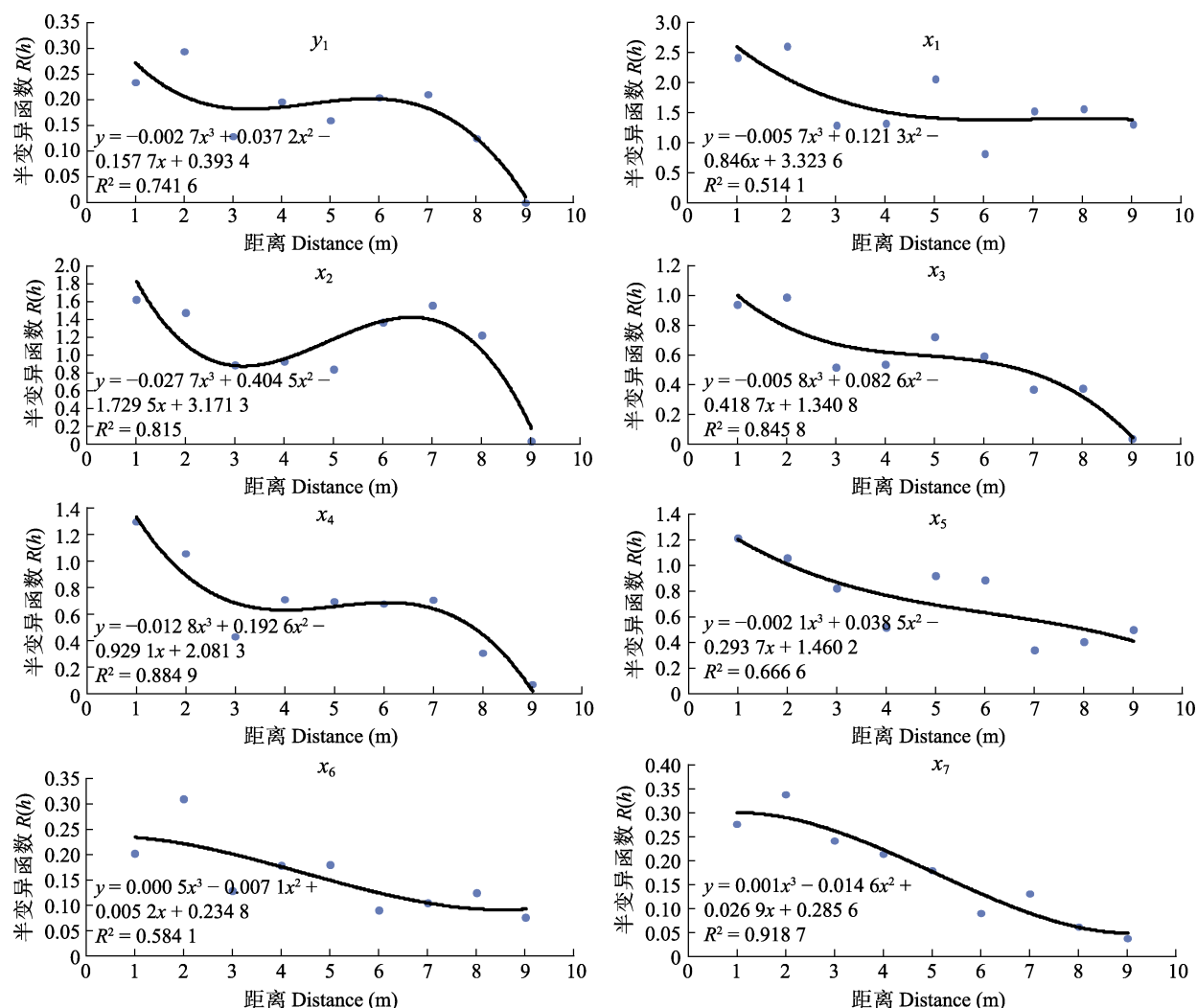


图 1 2015 年白毫早茶园八点广翅蜡蝉与其 8 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线（6 月 8 日）
 Fig. 1 Models of semivariogram of *Ricania speculum* with their natural enemies in Baihaozao tea field (June 8)

y_1 : 八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum* Walker; x_1 : 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; x_2 : 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* Thorell; x_3 : 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* Boes.et Str; x_4 : 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes.et Str; x_5 : 茶色新圆蛛: *Neoscona theisi* Walckenaer; x_6 : 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus* Fabr; x_7 : 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* Sundevall.

表 4 2016 年白毫早茶园八点广翅蜡蝉与其天敌的理论半变异函数模型参数
 Table 4 Observed semivariogram $R^*(h)$ for *Ricania speculum* and enemies of the Baihaozao tea field (2016)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
5/12	y_1	球形 Spherical	- 0.010 7	0.141 9	- 0.631 7	2.463 1	5.897 2	0.744 0	A
	x_1	球形 Spherical	0.010 3	- 0.150 0	0.264 9	2.523 5	8.726 3	0.875 2	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.010 1	0.162 8	- 0.905 5	2.673 1	7.068 2	0.772 5	A
	x_3	球形 Spherical	0.004 6	- 0.067 3	0.157 8	0.696 7	8.390 8	0.989 9	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.004 7	0.077 4	- 0.469 7	1.411 7	7.986 1	0.843 0	A
	x_5	球形 Spherical	0.007 3	- 0.103 4	0.207 1	1.611 5	8.304 1	0.981 4	A

续表 4 (Table 4 continued)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
5/12	x_6	球形 Spherical	- 0.002 7	0.037 4	- 0.185 7	0.629 9	5.364 1	0.878 7	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.002 1	0.038 5	- 0.273 3	1.051 4	5.421 9	0.722 2	A
	x_8	-	-	-	-	-	-	-	-
5/30	y_1	球形 Spherical	- 0.0022	0.034 0	- 0.169 1	0.463 1	6.109 1	0.760 6	A
	x_1	球形 Spherical	0.004 0	- 0.037 5	- 0.315 5	3.501 2	9.129 7	0.803 6	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.003 3	0.061 8	- 0.620 1	3.561 4	5.498 1	0.941 5	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.002 0	0.024 7	- 0.164 4	1.012 2	7.354 3	0.892 5	A
	x_4	球形 Spherical	0.005 8	- 0.082 8	0.228 2	0.633 0	7.845 6	0.946 2	A
	x_5	球形 Spherical	0.011 0	- 0.171 8	0.593 7	1.060 7	8.224 6	0.886 5	A
	x_6	球形 Spherical	0.001 3	- 0.026 1	0.079 9	0.432 4	6.897 4	0.943 2	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.005 1	0.068 1	- 0.302 6	1.264 9	4.268 1	0.584 1	A
6/14	x_8	球形 Spherical	- 0.000 3	0.004 9	- 0.035 2	0.156 6	6.958 3	0.715 1	A
	y_1	球形 Spherical	- 0.004 9	0.105 6	- 0.684 1	2.401 8	4.932 5	0.329 8	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.000 7	- 0.004 2	- 0.192 0	2.568 7	7.956 8	0.773 0	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.051 6	0.783 9	- 3.793 8	8.363 5	6.129 7	0.858 8	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.005 1	0.083 1	- 0.453 9	1.300 0	6.894 3	0.760 5	A
	x_4	球形 Spherical	0.002 2	- 0.046 1	0.189 2	0.504 6	6.897 1	0.967 7	A
	x_5	球形 Spherical	0.001 2	- 0.005 0	- 0.100 8	1.069 8	6.859 6	0.483 1	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 2	- 0.003 2	0.008 9	0.029 3	9.022 6	0.853 1	A
6/29	x_7	球形 Spherical	- 0.003 3	0.050 0	- 0.234 5	0.669 0	6.399 8	0.779 8	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.001 0	0.015 4	- 0.079 7	0.186 4	4.452 8	0.945 3	A
	y_1	球形 Spherical	- 0.004 6	0.085 4	- 0.595 0	2.160 3	8.059 2	0.597 0	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.000 5	0.025 6	- 0.334 6	2.096 3	8.808 1	0.595 7	A
	x_2	球形 Spherical	0.034 6	- 0.525 5	1.262 3	7.312 6	8.732 6	0.874 9	A
	x_3	球形 Spherical	0.007 7	- 0.092 0	0.192 2	0.938 7	6.728 8	0.643 0	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.000 7	0.006 3	- 0.114 7	1.045 5	7.261 5	0.817 9	A
	x_5	球形 Spherical	0.012 9	- 0.198 4	0.662 5	0.827 3	8.153 7	0.859 4	A
7/14	x_6	球形 Spherical	- 0.005 5	0.084 5	- 0.401 5	1.159 7	6.497 2	0.434 5	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 1	- 0.010 9	0.094 0	0.176 2	6.854 9	0.858 1	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 1	0.002 5	- 0.032 8	0.216 5	7.943 1	0.842 9	A
	y_1	球形 Spherical	- 0.003 1	0.045 8	- 0.209 6	0.511 3	6.234 4	0.879 6	A
	x_1	球形 Spherical	0.027 3	- 0.459 8	1.470 3	4.657 5	9.297 4	0.855 5	A
	x_2	球形 Spherical	0.001 0	0.010 6	- 0.609 8	5.977 7	8.052 8	0.945 0	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.003 3	0.057 4	- 0.338 0	1.008 1	7.528 7	0.615 4	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.010 1	0.157 5	- 0.776 9	2.252 1	6.372 3	0.496 7	A
	x_5	球形 Spherical	0.002 7	- 0.045 6	0.158 2	0.646 7	9.117 1	0.939 7	A
	x_6	球形 Spherical	0.001 6	- 0.026 4	0.070 4	0.423 7	9.447 5	0.939 7	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.004 4	0.065 1	- 0.311 8	0.808 6	4.094 1	0.751 8	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 7	0.011 1	- 0.058 8	0.175 5	4.256 1	0.804 1	A

R^2 大于 0.329 8($R=0.5743$, $df=27$ 时 , $r_{0.01}=0.470$, $r_{0.05}=0.367$) 的比率为 100%。表明理论模型与实际拟合率高。将八点广翅蜡蝉与其天敌半变异函数变程间的关联度列于表 5 , 2015 年与八点广翅蜡蝉在空间跟随关系密切的前 3 位天敌依次是棕管巢蛛、斜纹猫蛛和草间小黑蛛。2016 年与八点广翅蜡蝉在空间跟随关系密切的前 3 位天敌依次是草间小黑蛛、鳞纹肖蛸、茶色新圆蛛, 两年间前 3 位天敌中只有草间小黑蛛一种相同, 而前 4 位天敌中有 3 种天敌相同, 但位次不同。

2.2 2015 年和 2016 年之间天敌对茶尺蠖空间跟随关系密切程度的差异

选择表 1 中 2015 年茶尺蠖数量多的 6 月 8 日、7 月 4 日、9 月 26 日、10 月 11 日和 10 月 28 日茶尺蠖及其天敌的数据, 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 4 日茶尺蠖及其天敌的半

变异函数的理论模型绘于图 2。

选择表 2 中 2016 年茶尺蠖数量多的 5 月 12 日、5 月 30 日、6 月 14 日、6 月 29 日和 7 月 14 日的茶尺蠖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。

从表 6 和表 7 看出, 2015 年和 2016 年的理论模型的决定系数 R^2 大于 0.434 5 ($R=0.659 2$) 占 100% ($df=27$, $r_{0.01}=0.470$, $r_{0.05}=0.367$), 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 年茶尺蠖与其天敌间半变异函数的变程进行灰色关联度分析, 结果也列于表 5。2015 年对茶尺蠖空间跟随关系密切的前 3 位天敌是棕管巢蛛、八斑球腹蛛、斜纹猫蛛, 2016 年的是茶色新圆蛛、草间小黑蛛、棕管巢蛛, 两年间前 3 位天敌只有棕管巢蛛一种相同, 前 4 位天敌中也只有一种相同。

表 5 4 种害虫与 8 种天敌变程间的关联度
Table 5 Relational grade of four pests with five enemies

物种 Species	时间 Date	项目 Project	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
y_1	2015	关联度	0.767 1	0.798 4	0.782 8	0.859 3	0.800 4	0.768 3	0.804 7	0.805 8
		位次	8	5	6	1	4	7	3	2
	2016	关联度	0.792 9	0.790 5	0.760 3	0.790 7	0.792 2	0.768 7	0.806 2	0.733 7
		位次	2	5	7	4	3	6	1	8
y_2	2015	关联度	0.779 4	0.782 8	0.790 4	0.790 9	0.780 9	0.778 7	0.766 0	0.789 4
		位次	6	4	2	1	5	7	8	3
	2016	关联度	0.816 4	0.799 4	0.713 0	0.823 0	0.877 7	0.764 0	0.872 0	0.729 7
		位次	4	5	8	3	1	6	2	7
y_3	2015	关联度	0.810 6	0.830 0	0.878 9	0.843 5	0.803 7	0.821 3	0.798 1	0.890 0
		位次	6	4	2	3	7	5	8	1
	2016	关联度	0.838 4	0.879 7	0.866 5	0.855 3	0.841 7	0.816 6	0.830 7	0.842 5
		位次	6	1	2	3	5	8	7	4
y_4	2015	关联度	0.814 2	0.819 9	0.758 8	0.800 6	0.816 4	0.775 7	0.755 3	0.776 9
		位次	3	1	7	4	2	6	8	5
	2016	关联度	0.804 2	0.805 6	0.806 8	0.762 7	0.840 7	0.814 7	0.778 0	0.794 9
		位次	5	4	3	8	1	2	7	6

表 6 2015 年白毫早茶园茶尺蠖与其天敌的理论半变异函数模型参数
Table 6 Observed semivariogram $R^*(h)$ for *Ectropis obliqua* and enemies of the Baihaozao tea field (2015)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
6/8	y_2	球形 Spherical	0.001 2	- 0.017 1	0.042 2	0.206 3	8.042 4	0.904 2	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.005 7	0.121 3	- 0.846 0	3.323 6	6.174 3	0.514 1	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.027 7	0.404 5	- 1.729 5	3.171 3	6.565 1	0.815 0	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.005 8	0.082 6	- 0.418 7	1.340 8	6.632 1	0.845 8	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.012 8	0.192 6	- 0.929 1	2.081 3	5.996 1	0.884 9	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.002 1	0.038 5	- 0.293 7	1.460 2	6.421 4	0.666 6	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 5	- 0.007 1	0.005 2	0.234 8	9.085 1	0.584 1	A
	x_7	球形 spherical	0.001 0	- 0.014 6	0.026 9	0.285 6	8.703 1	0.918 7	A
	x_8	-	-	-	-	-	-	-	-
7/4	y_2	球形 Spherical	0.002 6	- 0.041 4	0.086 5	0.665 3	9.440 7	0.909 6	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.003 8	0.020 7	0.005 3	1.118 1	3.755 3	0.901 4	A
	x_2	球形 Spherical	0.064 9	- 1.030 2	4.258 8	- 0.872 4	7.765 7	0.937 7	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.003 0	0.041 9	- 0.211 6	0.767 4	6.194 2	0.792 1	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.006 5	0.100 1	- 0.561 1	2.186 2	6.584 3	0.678 9	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.006 7	0.094 3	- 0.469 2	1.497 8	6.241 3	0.900 3	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.002 8	0.044 6	- 0.243 1	0.698 6	6.928 2	0.768 4	A
	x_7	球形 Spherical	0.000 7	- 0.011 3	0.016 1	0.270 3	8.169 3	0.965 4	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 7	0.010 6	- 0.059 3	0.211 1	7.058 2	0.819 7	A
9/26	y_2	球形 Spherical	- 0.000 5	0.012 5	- 0.083 7	0.274 5	4.639 4	0.695 1	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.002 2	0.060 3	- 0.394 4	1.279 1	4.026 7	0.798 6	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.000 5	0.022 9	- 0.364 6	2.103 3	7.369 4	0.858 0	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.001 0	0.019 0	- 0.225 5	1.384 8	9.025 6	0.945 1	A
	x_4	球形 Spherical	0.007 1	- 0.089 5	0.038 4	1.910 2	8.183 4	0.974 1	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.005 2	0.080 9	- 0.384 4	0.804 9	6.686 7	0.821 3	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 9	- 0.011 6	0.012 8	0.220 2	7.835 7	0.840 1	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 1	0.001 6	- 0.012 6	0.152 8	7.896 4	0.600 9	A
	x_8	球形 Spherical	0.001 2	- 0.022 1	0.063 4	0.377 9	8.094 3	0.914 1	A
10/11	y_2	球形 Spherical	0.000 7	- 0.008 5	0.014 0	0.086 5	7.164 7	0.824 0	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.006 7	0.178 7	- 1.426 8	4.818 7	6.052 1	0.870 2	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.015 7	0.176 2	- 0.554 0	2.433 6	5.235 1	0.775 7	A
	x_3	球形 Spherical	0.021 7	- 0.295 6	0.848 1	2.615 9	7.295 7	0.495 1	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.011 5	0.166 4	- 0.729 9	1.619 6	6.274 6	0.667 0	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.000 6	0.001 4	- 0.044 0	0.744 8	5.342 6	0.740 3	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.001 7	0.022 8	- 0.110 1	0.371 7	5.934 9	0.758 8	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 1	0.002 5	- 0.008 6	0.075 0	5.267 4	0.439 0	A

续表 6 (Table 6 continued)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
10/11	x_8	球形 Spherical	- 0.005 7	0.089 8	- 0.494 0	1.386 5	6.089 5	0.954 0	A
10/28	y_2	球形 Spherical	- 0.000 9	0.013 9	- 0.081 3	0.276 7	7.194 8	0.753 4	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.035 9	0.520 9	- 2.325 3	6.358 9	6.178 9	0.789 9	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.053 0	0.798 9	- 3.886 4	9.122 4	5.920 6	0.661 6	A
	x_3	球形 Spherical	0.000 7	- 0.015 5	- 0.254 8	3.649 9	6.089 4	0.928 2	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.007 9	0.117 5	- 0.596 7	1.654 2	6.217 8	0.888 3	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.000 4	0.009 0	- 0.110 0	0.678 6	5.916 8	0.834 4	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.003 9	0.075 4	- 0.456 8	1.444 4	8.021 8	0.500 7	A
	x_7	球形 Spherical	0.002 9	0.048 9	- 0.281 8	0.752 1	5.628 3	0.833 5	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.010 8	0.173 2	- 0.908 4	2.382 6	4.611 3	0.766 3	A

2.3 2015 年和 2016 年之间天敌对花蓟马空间跟随关系密切程度的差异

选择表 1 中 2015 年花蓟马数量多的 9 月 13 日、9 月 26 日、10 月 11 日、10 月 28 日和 11 月 14 日花蓟马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 9 月 13 日的半变异函数理论模型绘于图 3。

选择表 2 中 2016 年花蓟马数量多的 6 月 29 日、7 月 14 日、7 月 29 日、11 月 2 日和 11 月 19 日花蓟马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。

从表 8 和表 9 看出,2015 年和 2016 年理论模型的 R^2 大于 0.205 4 ($R=0.453\ 2$) 的比率占 100% ($df=27, r_{0.01}=0.470, r_{0.05}=0.367$),表明理论模型与实际情况吻合度比较高。分别对 2015 年和 2016 年花蓟马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 年对花蓟马空间跟随关系密切的前 3 位天敌是斜纹猫蛛、八斑球腹蛛、棕管巢蛛,2016 年的是锥腹肖蛸、八斑球腹蛛、棕管巢蛛,两年间前 3 位天敌中有八斑球腹蛛和棕管巢蛛 2 种天敌相同,且位次相同。前 4 位天敌中有 4 位天敌相同,

但位次不同。

2.4 2015 年和 2016 年之间天敌对茶蚜空间跟随关系密切程度的差异

选择表 1 中 2015 年茶蚜数量多的 4 月 26 日、7 月 4 日、8 月 16 日、8 月 30 日和 11 月 14 日茶蚜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 11 月 14 日茶蚜及其天敌的半变异函数理论模型绘于图 4。选择 2016 年茶蚜数量多的 3 月 27 日、4 月 28 日、8 月 28 日、10 月 10 日和 11 月 19 日茶蚜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列于表 11。

从表 10 和表 11 看出,2015 年和 2016 年理论模型的 R^2 大于 0.308 0 ($R=0.555\ 0$) 的比率占 100% ($df=27, r_{0.01}=0.470$),表明理论模型与实际情况吻合度很高。分别对 2015 年和 2016 年茶蚜与其天敌间半变异函数的变程进行灰色关联度分析,结果也列于表 5。2015 年对茶蚜空间跟随关系密切的前 3 位天敌是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛、鳞纹肖蛸,2016 年的是茶色新圆蛛、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛,两年间前 3 位天敌中只有茶色新圆蛛一种相同,前 4 位天敌中也只有锥腹肖蛸和茶色新圆蛛 2 种相同,但位次不同。

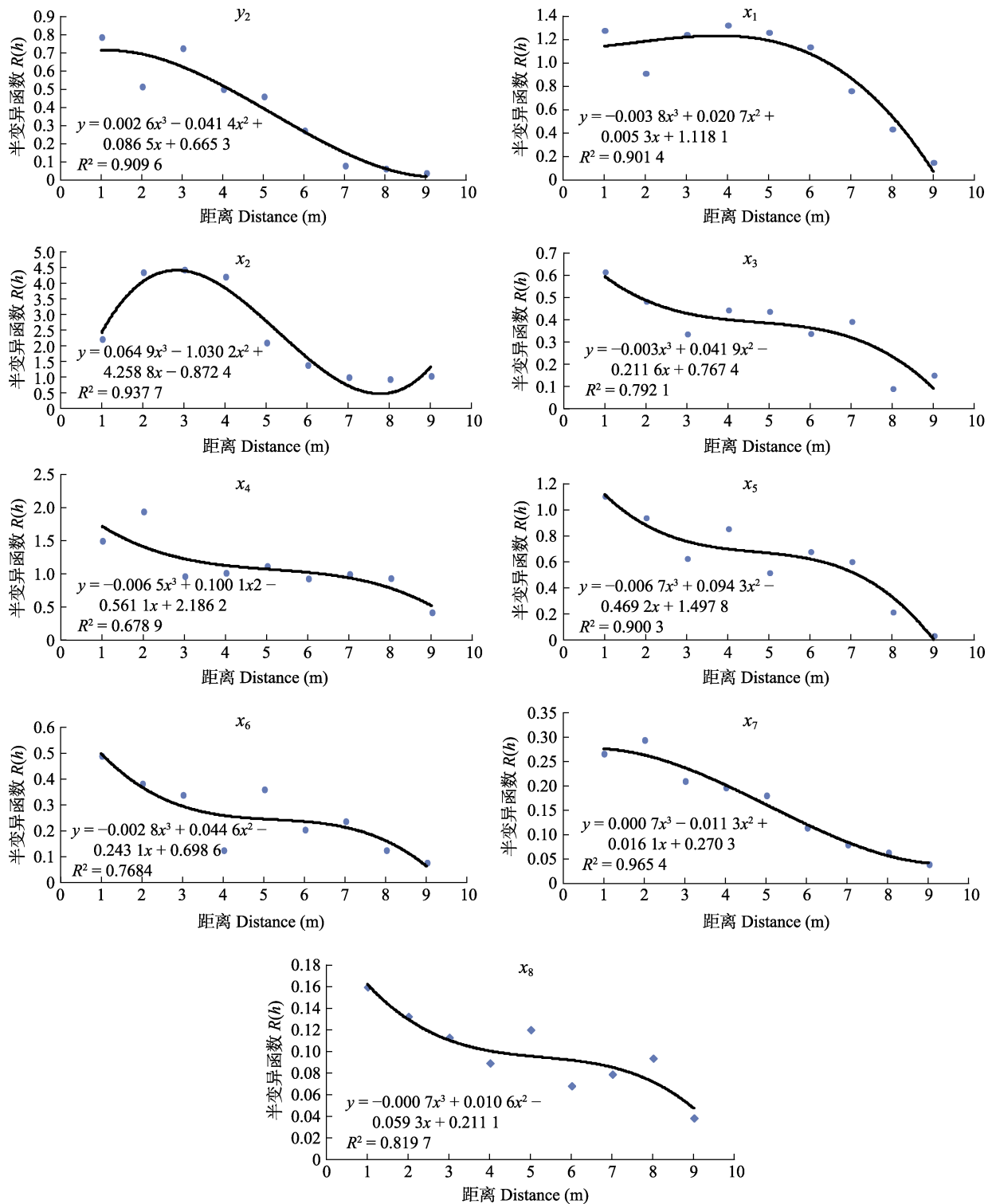


图2 2015年白毫早茶园茶尺蠖与其8种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(7月4日)

Fig. 2 Models of semivariogram of *Ectropis obliqua* with their natural enemies in Baihaozao tea field (July 4)

y_2 : 茶尺蠖 *Ectropis obliqua* Warren; x_1 : 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; x_2 : 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* Thorell; x_3 : 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* Boes. et Str; x_4 : 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes. et Str; x_5 : 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* Walckenaer; x_6 : 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus* Fabr; x_7 : 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* Sundevall; x_8 : 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch.

表 7 2016 年白毫早茶园茶尺蠖与其天敌的理论半变异函数模型参数
Table 7 Observed semivariogram $R^*(h)$ for *Ectropis obliqua* and enemies of the Baihaozao tea field (2016)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
5/12	y_2	球形 Spherical	- 0.001 2	0.020 7	- 0.164 1	0.752 2	6.948 3	0.858 2	A
	x_1	球形 Spherical	0.010 3	- 0.150 0	0.264 9	2.523 5	8.726 3	0.875 2	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.010 1	0.162 8	- 0.905 5	2.673 1	7.068 2	0.772 5	A
	x_3	球形 Spherical	0.004 6	- 0.067 3	0.157 8	0.696 7	8.390 8	0.989 9	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.004 7	0.077 4	- 0.469 7	1.411 7	7.986 1	0.843 0	A
	x_5	球形 Spherical	0.007 3	- 0.103 4	0.207 1	1.611 5	8.304 1	0.981 4	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.002 7	0.037 4	- 0.185 7	0.629 9	5.364 1	0.878 7	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.002 1	0.038 5	- 0.273 3	1.051 4	5.421 9	0.722 2	A
	x_8	-	-	-	-	-	-	-	-
5/30	y_2	球形 Spherical	- 0.004 2	0.061 0	- 0.264 2	0.656 1	6.412 7	0.892 1	A
	x_1	球形 Spherical	0.004 0	- 0.037 5	- 0.315 5	3.501 2	9.129 7	0.803 6	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.003 3	0.061 8	- 0.620 1	3.561 4	5.498 1	0.941 5	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.002 0	0.024 7	- 0.164 4	1.012 2	7.354 3	0.892 5	A
	x_4	球形 Spherical	0.005 8	- 0.082 8	0.228 2	0.633 0	7.845 6	0.946 2	A
	x_5	球形 Spherical	0.011 0	- 0.171 8	0.593 7	1.060 7	8.224 6	0.886 5	A
	x_6	球形 Spherical	0.001 3	- 0.026 1	0.079 9	0.432 4	6.897 4	0.943 2	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.005 1	0.068 1	- 0.302 6	1.264 9	4.268 1	0.584 1	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 3	0.004 9	- 0.035 2	0.156 6	6.958 3	0.715 1	A
6/14	y_2	球形 Spherical	- 0.004 0	0.060 5	- 0.300 9	0.649 9	5.627 6	0.816 8	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.000 7	- 0.004 2	- 0.192 0	2.568 7	7.956 8	0.773 0	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.051 6	0.783 9	- 3.793 8	8.363 5	6.129 7	0.858 8	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.005 1	0.083 1	- 0.453 9	1.300 0	6.894 3	0.760 5	A
	x_4	球形 Spherical	0.002 2	- 0.046 1	0.189 2	0.504 6	6.897 1	0.967 7	A
	x_5	球形 Spherical	0.001 2	- 0.005 0	- 0.100 8	1.069 8	6.859 6	0.483 1	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 2	- 0.003 2	0.008 9	0.029 3	9.022 6	0.853 1	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.003 3	0.050 0	- 0.234 5	0.669 0	6.399 8	0.779 8	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.001 0	0.015 4	- 0.079 7	0.186 4	4.452 8	0.945 3	A
6/29	y_2	球形 Spherical	0.002 3	0.037 0	- 0.186 2	0.439 6	6.692 3	0.573 5	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.000 5	0.025 6	- 0.334 6	2.096 3	8.808 1	0.595 7	A
	x_2	球形 Spherical	0.034 6	- 0.525 5	1.262 3	7.312 6	8.732 6	0.874 9	A
	x_3	球形 Spherical	0.007 7	- 0.092 0	0.192 2	0.938 7	6.728 8	0.643 0	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.000 7	0.006 3	- 0.114 7	1.045 5	7.261 5	0.817 9	A
	x_5	球形 Spherical	0.012 9	- 0.198 4	0.662 5	0.827 3	8.153 7	0.859 4	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.005 5	0.084 5	- 0.401 5	1.159 7	6.497 2	0.434 5	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 1	- 0.010 9	0.094 0	0.176 2	6.854 9	0.858 1	A

续表 7 (Table 7 continued)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
6/29	x_8	球形 Spherical	- 0.000 1	0.002 5	- 0.032 8	0.216 5	7.943 1	0.842 9	A
7/14	y_2	球形 Spherical	0.000 1	0.000 2	- 0.031 1	0.272 5	6.452 3	0.882 1	A
	x_1	球形 Spherical	0.027 3	- 0.459 8	1.470 3	4.657 5	9.297 4	0.855 5	A
	x_2	球形 Spherical	0.001 0	0.010 6	- 0.609 8	5.977 7	8.052 8	0.945 0	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.003 3	0.057 4	- 0.338 0	1.008 1	7.528 7	0.615 4	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.010 1	0.157 5	- 0.776 9	2.252 1	6.372 3	0.496 7	A
	x_5	球形 Spherical	0.002 7	- 0.045 6	0.158 2	0.646 7	9.117 1	0.939 7	A
	x_6	球形 Spherical	0.001 6	- 0.026 4	0.070 4	0.423 7	9.447 5	0.939 7	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.004 4	0.065 1	- 0.311 8	0.808 6	4.094 1	0.751 8	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 7	0.011 1	- 0.058 8	0.175 5	4.256 1	0.804 1	A

表 8 2015 年白毫早茶园花蓟马与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 8 Observed semivariogram $R^*(h)$ for *Frankliniella intonsa* and enemies of the Baihaozao tea field (2015)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
9/13	y_3	球形 Spherical	- 0.005 6	0.081 9	- 0.432 1	2.241 3	5.763 4	0.294 4	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.002 8	0.051 0	- 0.347 8	1.375 0	8.152 1	0.654 5	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.009 3	0.145 4	- 0.737 2	2.166 7	6.069 6	0.665 8	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.002 1	0.033 9	- 0.206 5	0.700 9	7.251 6	0.812 1	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.007 8	0.143 7	- 0.916 6	3.098 9	8.064 2	0.893 1	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.001 2	0.017 0	- 0.075 6	0.216 6	5.862 1	0.739 4	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.000 8	0.009 9	- 0.038 6	0.109 4	5.090 5	0.640 2	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.001 0	0.016 2	- 0.073 5	0.204 0	7.558 7	0.493 2	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 2	0.003 2	- 0.025 1	0.135 6	5.684 3	0.885 7	A
9/26	y_3	球形 Spherical	- 0.103 0	1.755 9	- 8.084 2	28.583 0	8.158 1	0.205 4	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.002 2	0.060 3	- 0.394 4	1.279 1	4.026 7	0.798 6	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.000 5	0.022 9	- 0.364 6	2.103 3	7.369 4	0.858 0	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.001 0	0.019 0	- 0.225 5	1.384 8	9.025 6	0.945 1	A
	x_4	球形 Spherical	0.007 1	- 0.089 5	0.038 4	1.910 2	8.183 4	0.974 1	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.005 2	0.080 9	- 0.384 4	0.804 9	6.686 7	0.821 3	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 9	- 0.011 6	0.012 8	0.220 2	7.835 7	0.840 1	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 1	0.001 6	- 0.012 6	0.152 8	7.896 4	0.600 9	A
	x_8	球形 Spherical	0.001 2	- 0.022 1	0.063 4	0.377 9	8.094 3	0.914 1	A
10/11	y_3	球形 Spherical	- 0.027 6	0.592 5	- 2.689 8	11.035 0	4.598 7	0.839 8	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.006 7	0.178 7	- 1.426 8	4.818 7	6.052 1	0.870 2	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.015 7	0.176 2	- 0.554 0	2.433 6	5.235 1	0.775 7	A

续表 8 (Table 8 continued)									
时间 Date	物种 Species	模型 Models	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Range RSD (m)	决定系数 R ² Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
10/11	x ₃	球形 Spherical	0.021 7	- 0.295 6	0.848 1	2.615 9	7.295 7	0.495 1	A
	x ₄	球形 Spherical	- 0.011 5	0.166 4	- 0.729 9	1.619 6	6.274 6	0.667 0	A
	x ₅	球形 Spherical	- 0.000 6	0.001 4	- 0.044 0	0.744 8	5.342 6	0.740 3	A
	x ₆	球形 Spherical	- 0.001 7	0.022 8	- 0.110 1	0.371 7	5.934 9	0.758 8	A
	x ₇	球形 Spherical	- 0.000 1	0.002 5	- 0.008 6	0.075 0	5.267 4	0.439 0	A
	x ₈	球形 Spherical	- 0.005 7	0.089 8	- 0.494 0	1.386 5	6.089 5	0.954 0	A
10/28	y ₃	球形 Spherical	- 0.126 6	1.911 9	- 8.504 1	24.726 0	6.751 4	0.331 5	A
	x ₁	球形 Spherical	- 0.035 9	0.520 9	- 2.325 3	6.358 9	6.178 9	0.789 9	A
	x ₂	球形 Spherical	- 0.053 0	0.798 9	- 3.886 4	9.122 4	5.920 6	0.661 6	A
	x ₃	球形 Spherical	0.000 7	- 0.015 5	- 0.254 8	3.649 9	6.089 4	0.928 2	A
	x ₄	球形 Spherical	- 0.007 9	0.117 5	- 0.596 7	1.654 2	6.217 8	0.888 3	A
	x ₅	球形 Spherical	- 0.000 4	0.009 0	- 0.110 0	0.678 6	5.916 8	0.834 4	A
	x ₆	球形 Spherical	- 0.003 9	0.075 4	- 0.456 8	1.444 4	8.021 8	0.500 7	A
	x ₇	球形 Spherical	0.002 9	0.048 9	- 0.281 8	0.752 1	5.628 3	0.833 5	A
11/14	x ₈	球形 Spherical	- 0.010 8	0.173 2	- 0.908 4	2.382 6	4.611 3	0.766 3	A
	y ₃	球形 Spherical	- 0.297 3	5.044 0	- 22.899 0	118.840 0	8.167 1	0.217 1	A
	x ₁	球形 Spherical	- 0.020 3	0.372 9	- 2.458 5	7.901 1	7.596 4	0.730 7	A
	x ₂	球形 Spherical	- 0.001 4	0.075 3	- 1.192 2	9.264 0	8.246 9	0.552 8	A
	x ₃	球形 Spherical	- 0.009 2	0.135 9	- 0.971 1	4.493 8	7.164 8	0.831 1	A
	x ₄	球形 Spherical	- 0.001 1	0.016 7	- 0.104 5	0.388 2	6.985 2	0.782 2	A
	x ₅	球形 Spherical	0.000 4	0.012 1	- 0.188 5	1.136 9	6.002 5	0.486 0	A
	x ₆	球形 Spherical	0.000 1	- 0.003 1	- 0.003 3	0.166 8	6.983 5	0.940 7	A
	x ₇	球形 Spherical	- 0.000 4	0.007 2	- 0.036 5	0.096 6	7.658 4	0.643 9	A
	x ₈	球形 Spherical	- 0.004 6	0.069 9	- 0.351 7	0.905 0	5.478 6	0.741 2	A

3 小结与讨论

对 2015 年和 2016 年白毫早茶园 4 种主要害虫及其 8 种主要天敌进行地学统计学分析,将求得的天敌及害虫半变异函数的变程之间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,结果如下:

3.1 2015 年与八点广翅蜡蝉空间跟随关系密切的前 3 位天敌是棕管巢蛛、斜纹猫蛛、草间小黑蛛,2016 年与八点广翅蜡蝉空间跟随关系密切的前 3 位天敌是草间小黑蛛、鳞纹肖蛸、茶色新

圆蛛,两年间前 3 位天敌中只有草间小黑蛛一种相同,而前 4 位天敌中有棕管巢蛛、茶色新圆蛛和草间小黑蛛 3 种天敌相同,但位次不同。

3.2 2015 年与茶尺蠖空间跟随关系密切的前 3 位天敌是棕管巢蛛、八斑球腹蛛、斜纹猫蛛,2016 年的是茶色新圆蛛、草间小黑蛛、棕管巢蛛,两年间前 3 位天敌中只有棕管巢蛛一种相同,前 4 位天敌中也只有棕管巢蛛一种相同。

3.3 2015 年与花蓟马空间跟随关系密切的前 3 位天敌是斜纹猫蛛、八斑球腹蛛、棕管巢蛛,2016 年的是锥腹肖蛸、八斑球腹蛛、棕管巢蛛,

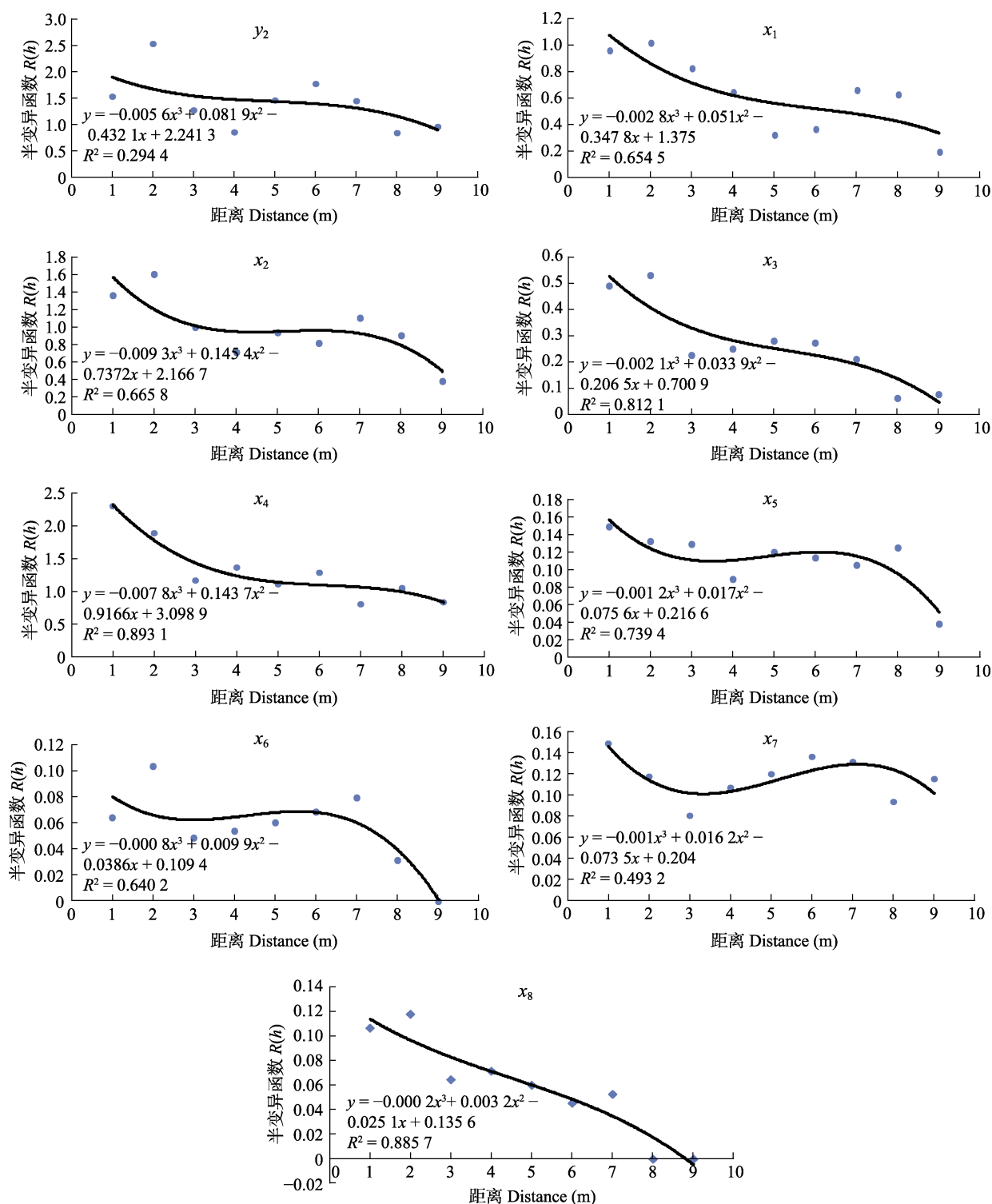


图3 2015年白毫早茶园花蓟马与其8种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(9月13日)

Fig. 3 Models of semivariogram of *Frankliniella intonsa* with their natural enemies in Baihaozao tea field (September 13)

y_3 : 花蓟马 *Frankliniella intonsa* Trybon; x_1 : 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; x_2 : 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* Thorell; x_3 : 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* Boes. et Str; x_4 : 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes. et Str; x_5 : 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* Walckenaer; x_6 : 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus* Fabr; x_7 : 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* Sundevall.

表 9 2016 年白毫早茶园花蓟马与其天敌的理论半变异函数模型参数
Table 9 Observed semivariogram $R^*(h)$ for *Frankliniella intonsa* and enemies of the Baihaozao tea field (2016)

时间 Date	物种 Species	模型 Models		C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
6/29	y_3	球形 Spherical		- 0.026 4	0.899 8	- 6.745 5	26.406 0	8.654 2	0.545 2	A
	x_1	球形 Spherical		- 0.000 5	0.025 6	- 0.334 6	2.096 3	8.808 1	0.595 7	A
	x_2	球形 Spherical		0.034 6	- 0.525 5	1.262 3	7.312 6	8.732 6	0.874 9	A
	x_3	球形 Spherical		0.007 7	- 0.092 0	0.192 2	0.938 7	6.728 8	0.643 0	A
	x_4	球形 Spherical		- 0.000 7	0.006 3	- 0.114 7	1.045 5	7.261 5	0.817 9	A
	x_5	球形 Spherical		0.012 9	- 0.198 4	0.662 5	0.827 3	8.153 7	0.859 4	A
	x_6	球形 Spherical		- 0.005 5	0.084 5	- 0.401 5	1.159 7	6.497 2	0.434 5	A
	x_7	球形 Spherical		- 0.000 1	- 0.010 9	0.094 0	0.176 2	6.854 9	0.858 1	A
7/14	x_8	球形 Spherical		- 0.000 1	0.002 5	- 0.032 8	0.216 5	7.943 1	0.842 9	A
	y_3	球形 Spherical		- 0.025 6	0.442 2	- 1.987 0	8.212 1	8.455 9	0.405 0	A
	x_1	球形 Spherical		0.027 3	- 0.459 8	1.470 3	4.657 5	9.297 4	0.855 5	A
	x_2	球形 Spherical		0.001 0	0.010 6	- 0.609 8	5.977 7	8.052 8	0.945 0	A
	x_3	球形 Spherical		- 0.003 3	0.057 4	- 0.338 0	1.008 1	7.528 7	0.615 4	A
	x_4	球形 Spherical		- 0.010 1	0.157 5	- 0.776 9	2.252 1	6.372 3	0.496 7	A
	x_5	球形 Spherical		0.002 7	- 0.045 6	0.158 2	0.646 7	9.117 1	0.939 7	A
	x_6	球形 Spherical		0.001 6	- 0.026 4	0.070 4	0.423 7	9.447 5	0.939 7	A
7/29	x_7	球形 Spherical		- 0.004 4	0.065 1	- 0.311 8	0.808 6	4.094 1	0.751 8	A
	x_8	球形 Spherical		- 0.000 7	0.011 1	- 0.058 8	0.175 5	4.256 1	0.804 1	A
	y_3	球形 Spherical		- 0.034 8	0.533 1	- 2.752 3	9.793 4	5.293 7	0.420 4	A
	x_1	球形 Spherical		0.009 5	- 0.146 8	0.454 3	1.020 5	8.405 2	0.827 5	A
	x_2	球形 Spherical		- 0.015 1	0.209 0	- 0.995 7	3.589 2	6.872 1	0.792 0	A
	x_3	球形 Spherical		- 0.000 8	0.010 2	- 0.112 5	0.836 9	6.153 4	0.933 1	A
	x_4	球形 Spherical		- 0.005 5	0.090 5	- 0.548 6	1.616 2	5.829 6	0.914 7	A
	x_5	球形 Spherical		- 0.003 2	0.051 1	- 0.286 6	0.938 1	7.234 6	0.785 5	A
11/2	x_6	球形 Spherical		- 0.001 6	0.025 9	- 0.138 4	0.338 3	5.926 5	0.849 9	A
	x_7	球形 Spherical		0.006 0	- 0.086 9	0.291 3	0.257 7	7.496 8	0.946 0	A
	x_8	球形 Spherical		- 0.000 7	0.013 3	- 0.100 9	0.417 5	7.456 2	0.829 7	A
	y_3	球形 Spherical		- 0.102 3	1.830 2	- 9.852 2	32.904 0	7.823 9	0.331 6	A
	x_1	球形 Spherical		0.009 2	- 0.216 7	0.865 6	2.851 0	6.945 8	0.954 3	A
	x_2	球形 Spherical		- 0.053 5	0.843 5	- 4.340 9	10.085 0	6.012 8	0.974 2	A
	x_3	球形 Spherical		- 0.009 9	0.345 7	- 2.812 6	14.634 0	5.253 5	0.647 4	A
	x_4	球形 Spherical		0.000 03	0.011 6	- 0.204 9	1.252 8	8.548 4	0.899 0	A
	x_5	球形 Spherical		- 0.002 4	0.032 9	- 0.235 6	1.237 7	7.912 7	0.776 7	A
	x_6	球形 Spherical		- 0.005 2	0.085 2	- 0.502 3	1.447 3	7.213 6	0.912 1	A
	x_7	球形 Spherical		0.000 8	- 0.010 0	- 0.001 4	0.288 7	8.402 7	0.987 9	A

续表 9 (Table 9 continued)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
11/2	x_8	球形 Spherical	- 0.001 0	0.021 0	- 0.130 4	0.424 5	9.352 3	0.531 1	A
11/19	y_3	球形 Spherical	0.074 2	1.372 6	- 16.597 0	99.575 0	6.153 4	0.815 9	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.003 0	0.039 6	- 0.211 4	1.146 7	7.938 7	0.756 3	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.033 9	0.548 6	- 3.063 8	9.790 9	5.364 9	0.702 6	A
	x_3	球形 Spherical	0.035 3	- 0.366 1	0.179 4	7.195 5	6.659 6	0.692 6	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.000 5	0.006 6	- 0.047 4	0.224 2	7.093 8	0.901 1	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.003 4	0.048 3	- 0.291 1	1.186 9	7.898 6	0.901 1	A
	x_6	球形 Spherical	0.013 7	- 0.207 4	0.581 8	1.651 3	8.409 1	0.942 0	A
	x_7	球形 Spherical	0.001 7	0.027 3	- 0.153 2	0.483 4	6.297 5	0.872 1	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.002 5	0.038 2	- 0.190 2	0.538 5	4.330 4	0.738 8	A

表 10 2015 年白毫早茶园茶蚜与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 10 Observed semivariogram $R^*(h)$ for *Toxoptera aurantii* and enemies of the Baihaozao tea field (2015)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
4/26	y_4	球形 Spherical	- 0.004 0	0.090 1	- 0.785 8	3.127 1	6.152 3	0.729 4	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.032 6	0.412 7	- 1.551 7	4.953 5	5.613 1	0.823 0	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.007 5	0.122 0	- 0.813 3	4.057 1	6.521 4	0.829 2	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.001 3	0.026 3	- 0.194 3	0.723 4	6.123 4	0.597 9	A
	x_4	球形 Spherical	0.000 3	- 0.003 3	- 0.007 2	0.215 4	8.297 4	0.920 6	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.010 0	0.142 9	- 0.648 5	1.916 8	5.799 0	0.842 3	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 7	- 0.002 0	- 0.195 4	1.582 8	8.197 2	0.866 4	A
	x_7	球形 Spherical	0.000 7	- 0.009 5	- 0.078 9	0.970 0	7.953 4	0.911 1	A
	x_8	-	-	-	-	-	-	-	-
7/4	y_4	球形 Spherical	- 0.147 3	2.035 6	- 12.011 0	51.527 0	6.358 2	0.842 5	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.003 8	0.020 7	0.005 3	1.118 1	3.755 3	0.901 4	A
	x_2	球形 Spherical	0.064 9	- 1.030 2	4.258 8	- 0.872 4	7.765 7	0.937 7	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.003 0	0.041 9	- 0.211 6	0.767 4	6.194 2	0.792 1	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.006 5	0.100 1	- 0.561 1	2.186 2	6.584 3	0.678 9	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.006 7	0.094 3	- 0.469 2	1.497 8	6.241 3	0.900 3	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.002 8	0.044 6	- 0.243 1	0.698 6	6.928 2	0.768 4	A
	x_7	球形 Spherical	0.000 7	- 0.011 3	0.016 1	0.270 3	8.169 3	0.965 4	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.000 7	0.010 6	- 0.059 3	0.211 1	7.058 2	0.819 7	A
8/16	y_4	球形 Spherical	0.139 7	- 2.124 3	6.235 2	15.342 0	8.357 2	0.829 2	A
	x_1	球形 Spherical	0.001 4	- 0.019 6	0.051 0	0.172 2	7.770 6	0.932 8	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.005 0	0.089 3	- 0.553 5	1.697 3	7.356 9	0.776 0	A

续表 10 (Table 10 continued)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
8/16	X_3	球形 Spherical	0.000 1	- 0.002 1	- 0.009 0	0.160 8	8.025 6	0.736 6	A
	x_4	球形 Spherical	0.007 6	- 0.115 3	0.378 5	1.002 1	8.052 4	0.755 0	A
	x_5	球形 Spherical	0.000 9	- 0.006 6	- 0.032 4	0.387 5	6.684 1	0.712 3	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 7	- 0.008 8	0.008 4	0.165 0	7.872 8	0.848 2	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 5	0.014 2	- 0.084 6	0.284 5	4.356 7	0.981 7	A
	x_8	球形 Spherical	0.001 0	- 0.017 7	0.064 8	0.094 0	9.534 5	0.791 7	A
	y_4	球形 Spherical	0.474 1	- 7.752 2	26.241 0	45.231 0	8.805 7	0.868 6	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.000 8	0.010 8	- 0.052 8	0.211 6	6.195 7	0.881 4	A
8.30	x_2	球形 Spherical	- 0.008 1	0.131 3	- 0.612 0	1.342 3	7.405 8	0.480 4	A
	x_3	球形 Spherical	0.000 7	- 0.008 6	0.017 5	0.110 3	7.031 4	0.777 5	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.004 1	0.061 2	- 0.506 2	2.582 3	7.265 3	0.892 3	A
	x_5	球形 Spherical	0.000 7	- 0.010 8	0.015 0	0.326 6	9.536 7	0.702 7	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.000 2	0.003 8	- 0.021 0	0.079 3	4.072 5	0.308 0	A
	x_7	-	-	-	-	-	-	-	-
	x_8	球形 Spherical	- 0.001 6	0.019 9	- 0.086 4	0.332 0	5.783 4	0.932 4	A
	y_4	球形 Spherical	- 0.003 5	0.076 0	- 0.906 7	5.285 5	6.153 2	0.689 7	A
11/14	x_1	球形 Spherical	- 0.020 3	0.372 9	- 2.458 5	7.901 1	7.596 4	0.730 7	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.001 4	0.075 3	- 1.192 2	9.264 0	8.246 9	0.552 8	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.009 2	0.135 9	- 0.971 1	4.493 8	7.164 8	0.831 1	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.001 1	0.016 7	- 0.104 5	0.388 2	6.985 2	0.782 2	A
	x_5	球形 Spherical	0.000 4	0.012 1	- 0.188 5	1.136 9	6.002 5	0.486 0	A
	x_6	球形 Spherical	0.000 1	- 0.003 1	- 0.003 3	0.166 8	6.983 5	0.940 7	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.000 4	0.007 2	- 0.036 5	0.096 6	7.658 4	0.643 9	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.004 6	0.069 9	- 0.351 7	0.905 0	5.478 6	0.741 2	A

表 11 2016 年白毫早茶园茶蚜与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 11 Observed semivariogram $R^*(h)$ for *Toxoptera aurantii* and enemies of the Baihaozao tea field (2016)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
3/27	y_4	球形 Spherical	- 0.014 0	0.187 6	- 0.985 9	3.834 4	7.241 2	0.926 0	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.039 4	0.689 8	- 3.882 2	10.461 0	6.937 2	0.786 6	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.027 9	0.451 9	- 2.549 8	7.713 6	6.235 6	0.866 2	A
	x_3	球形 Spherical	0.014 0	- 0.146 7	0.196 6	2.156 3	6.234 9	0.387 9	A
	x_4	球形 Spherical	0.000 4	- 0.006 9	0.020 8	0.072 9	9.152 4	0.914 9	A
	x_5	球形 Spherical	0.001 8	- 0.042 3	0.182 7	0.527 4	7.965 4	0.899 5	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.001 7	0.047 7	- 0.499 5	2.367 0	5.536 9	0.833 2	A

续表 11 (Table 11 continued)

时间 Date	物种 Species	模型 Models	C_1	C_2	C_3	C_4	变程 Range RSD (m)	决定系数 R^2 Coefficient of determination	分布型 Distribution type pattern
3/27	x_7	球形 Spherical	- 0.000 6	0.020 0	- 0.155 2	0.757 4	5.009 1	0.602 7	A
	x_8	球形 Spherical	0.000 03	- 0.000 6	- 0.006 9	0.083 2	6.158 4	0.946 9	A
4/28	y_4	球形 Spherical	- 0.240 8	3.422 1	- 14.214 0	35.956 0	6.399 7	0.356 7	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.015 4	0.239 7	- 1.158 5	2.821 2	6.545 8	0.660 8	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.000 8	- 0.002 1	- 0.063 9	2.492 0	7.246 8	0.446 8	A
	x_3	球形 Spherical	0.000 01	0.001 6	- 0.052 0	0.398 4	8.157 6	0.914 3	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.000 4	0.010 7	- 0.095 3	0.385 2	8.616 2	0.896 9	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.002 8	0.034 1	- 0.227 9	1.802 4	5.965 2	0.745 3	A
	x_6	球形 Spherical	- 0.002 0	0.022 3	- 0.179 7	1.310 5	7.946 2	0.907 4	A
	x_7	球形 Spherical	- 0.001 2	0.019 7	- 0.106 3	0.304 5	6.118 3	0.742 6	A
8/28	x_8	球形 Spherical	- 0.000 3	0.004 0	- 0.024 8	0.099 0	5.126 4	0.900 8	A
	y_4	球形 Spherical	- 1.236 0	17.147 0	- 72.545 0	186.300 0	5.973 3	0.515 6	A
	x_1	球形 Spherical	0.001 0	- 0.012 8	0.017 7	0.241 0	7.774 4	0.938 4	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.005 1	0.087 1	- 0.521 6	1.647 7	7.238 2	0.900 5	A
	x_3	球形 Spherical	0.000 5	- 0.004 2	- 0.031 4	0.308 8	8.164 1	0.873 7	A
	x_4	球形 Spherical	0.000 1	- 0.004 0	0.014 6	0.240 0	8.094 3	0.816 1	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.000 2	0.003 2	- 0.059 7	0.426 9	6.894 1	0.950 4	A
	x_6	球形 Spherical	0.001 0	- 0.015 8	0.044 4	0.146 6	8.863 5	0.853 0	A
10/10	x_7	球形 Spherical	- 0.000 5	0.009 4	- 0.075 3	0.311 6	7.264 9	0.490 4	A
	x_8	球形 Spherical	0.001 3	- 0.019 4	0.074 7	0.097 1	7.338 7	0.452 9	A
	y_4	球形 Spherical	0.611 1	- 15.525 0	55.702 0	298.720 0	6.972 8	0.955 4	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.012 5	0.196 2	- 1.010 1	2.429 7	5.893 6	0.861 0	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.005 2	0.083 0	- 0.552 7	2.127 5	7.989 6	0.817 1	A
	x_3	球形 Spherical	- 0.007 7	0.098 6	- 0.587 4	3.293 9	7.231 9	0.895 9	A
	x_4	球形 Spherical	0.000 1	0.002 3	- 0.144 1	1.163 8	8.096 8	0.817 2	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.001 4	0.022 8	- 0.219 0	1.172 5	7.968 5	0.866 7	A
11/19	x_6	球形 Spherical	- 0.001 8	0.030 8	- 0.169 5	0.381 5	4.634 4	0.740 7	A
	x_7	球形 Spherical	0.002 6	- 0.040 5	0.145 0	0.127 2	8.085 4	0.910 7	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.001 5	0.021 4	- 0.193 4	1.081 9	8.153 4	0.889 7	A
	y_4	球形 Spherical	- 0.015 2	0.282 0	- 1.786 8	7.254 2	5.394 6	0.454 3	A
	x_1	球形 Spherical	- 0.003 0	0.039 6	- 0.211 4	1.146 7	7.938 7	0.756 3	A
	x_2	球形 Spherical	- 0.033 9	0.548 6	- 3.063 8	9.790 9	5.364 9	0.702 6	A
	x_3	球形 Spherical	0.035 3	- 0.366 1	0.179 4	7.195 5	6.659 6	0.692 6	A
	x_4	球形 Spherical	- 0.000 5	0.006 6	- 0.047 4	0.224 2	7.093 8	0.901 1	A
	x_5	球形 Spherical	- 0.003 4	0.048 3	- 0.291 1	1.186 9	7.898 6	0.901 1	A
	x_6	球形 Spherical	0.013 7	- 0.207 4	0.581 8	1.651 3	8.409 1	0.942 0	A
	x_7	球形 Spherical	0.001 7	0.027 3	- 0.153 2	0.483 4	6.297 5	0.872 1	A
	x_8	球形 Spherical	- 0.002 5	0.038 2	- 0.190 2	0.538 5	4.330 4	0.738 8	A

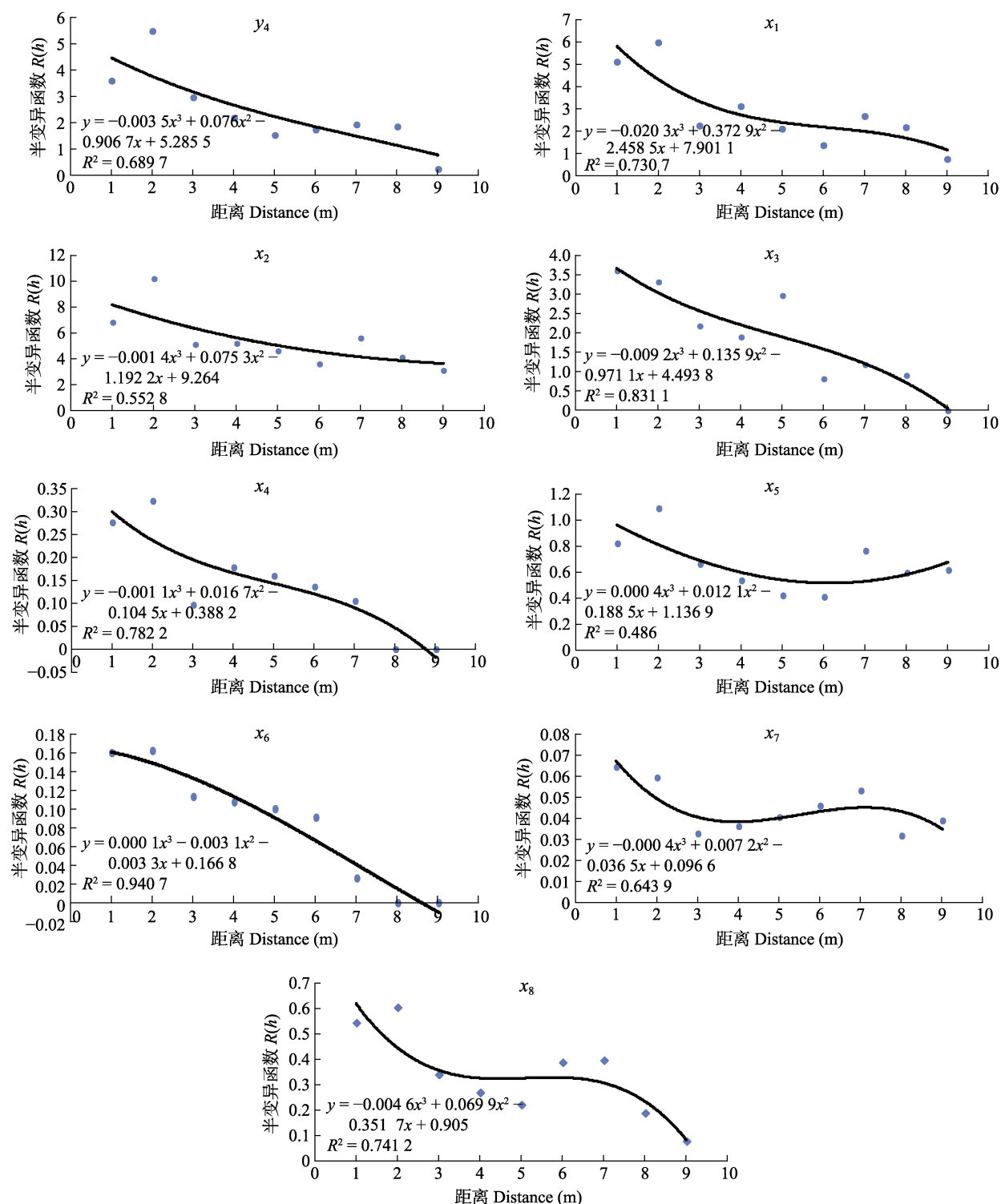


图 4 2015 年白毫早茶园茶蚜与其 8 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线 (11 月 14 日)

Fig. 4 Models of semivariogram of *Toxoptera aurantii* with their natural enemies in Baihaozao tea field (November 14)

y_4 : 茶蚜 *Toxoptera aurantii* Boyer; x_1 : 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; x_2 : 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* Thorell; x_3 : 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum* Boes.et Str; x_4 : 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes.et Str; x_5 : 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* Walckenaer; x_6 : 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus* Fabr; x_7 : 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* Sundevall; x_8 : 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L.Koch.

两年间前 3 位天敌中有八斑球腹蛛和棕管巢蛛 2 种天敌相同,且位次相同,前 4 位天敌中有锥腹肖蛸、八斑球腹蛛、棕管巢蛛和斜纹猫蛛 4 位相同,但位次不同。

3.4 2015 年与茶蚜空间跟随关系密切的前 3 位天敌是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛、鳞纹肖蛸,2016 年的是茶色新圆蛛、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛,两年间前 3 位天敌中只有茶色新圆蛛一种相同,前 4 位天敌中有锥腹肖蛸和茶色新圆蛛 2 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(邹运鼎和王弘法,1989;1997),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有关。用本文选用的数量最多的 5 个时间点的害虫与天敌的个体数之比进行分析,由表 5 可以看出与八点广翅蜡蝉空间跟随关系密切的棕管巢蛛,2015 年居于第一位,2016 年居于第 4 位,差异如此之大。缘于 2015 年 5 次的八点广翅蜡蝉总量为 66 头,2016 年为 157 头,棕管巢蛛 5 次的总量,2015 年为 228 头,2016 年为 162 头,2015 年八点广翅蜡蝉与棕管巢蛛数量之比为 0.289 4,2016 年为 0.969 1,比率后者是前者的 3.348 7 倍,2015 年棕管巢蛛对八点广翅蜡蝉的需求量大,因而其跟随关系特别密切。

与茶尺蠖空间跟随关系密切的棕管巢蛛,

2015 年居于第一位,2016 年居于第 4 位,差异较大,茶尺蠖 2015 年 5 次的个体数量为 34 头,2016 年为 52 头,棕管巢蛛 2015 年为 198 头,2016 年为 162 头。茶尺蠖与棕管巢蛛个体数量之比 2015 年为 0.171 7,2016 年为 0.320 9,比率后者是前者的 1.869 0 倍,棕管巢蛛 2015 年对茶尺蠖的需求大于 2016 年,资源紧缺,因而 2015 年棕管巢蛛对茶尺蠖跟随关系较 2016 年密切。

与花蓟马空间跟随关系密切的斜纹猫蛛,2015 年居于第一位,2016 年居于第 4 位,2015 年 5 次的总量,花蓟马为 816 头,斜纹猫蛛为 86 头,2016 年花蓟马为 1 060 头,斜纹猫蛛为 44 头,花蓟马与斜纹猫蛛数量之比,2015 年为 9.488 4,2016 年为 24.090 9,比率后者是前者的 2.539 0 倍,即 2015 年斜纹猫蛛对花蓟马的需求量大于 2016 年。

与茶蚜空间跟随关系密切的锥腹肖蛸,2015 年居于第一位,2016 年居于第 4 位,2015 年 5 次的总量,茶蚜为 434 头,锥腹肖蛸为 317 头,2016 年茶蚜为 722 头,锥腹肖蛸为 340 头,茶蚜与锥腹肖蛸数量之比,2015 年为 1.369 1,2016 年为 2.123 5,比率后者是前者的 1.551 0 倍,即 2015 年锥腹肖蛸对茶蚜的需求量大于 2016 年。

从环境因子分析环境对天敌空间跟随害虫关系密切程度的影响,据合肥市气象站资料,将 6、7、9、10 月的均温、相对湿度、雨日数列于表 12。该地区八点广翅蜡蝉一年发生一代,6-8 月盛发,茶尺蠖一年发生 5-6 代,最适温度是 21-26℃,花蓟马一年发生 7-8 代,适温

表 12 合肥地区 2014-2016 年 6、7、9、10 月份气象资料
Table 12 Meteorological data for June, July, September and October in Hefei (2014-2016)

年份 Year	6 月 June			7 月 July			9 月 September			10 月 October		
	月均温 (℃) Temperature	相对湿度 (%) Humidity	雨日 (d) Rain day	月均温 (℃) Temperature	相对湿度 (%) Humidity	雨日 (d) Rain day	月均温 (℃) Temperature	相对湿度 (%) Humidity	雨日 (d) Rain day	月均温 (℃) Temperature	相对湿度 (%) Humidity	雨日 (d) Rain day
2014	24.8	66.07	9	27.8	70.8	14	23.5	76.6	15	19.3	32.4	4
2015	25.0	68.2	18	27.1	73.5	16	23.3	59.6	11	18.9	59.5	12
2016	23.9	69.4	18	29.1	73.1	15	24.7	60.6	6	18	81.2	23

多雨有利发生, 茶蚜一年发生 25 代, 适温为 16-25℃, 相对湿度 70%以上, 晴暖少雨利于盛发(张汉鹄和谭济才, 2004)。由表 12 看出, 气象资料基本上都满足上述 4 种害虫生长发育需要, 害虫和天敌的数量变化只有茶尺蠖年度间差异显著, 表明气象因子与对 4 种害虫及其天敌数量影响很小, 气象因子对天敌对害虫的跟随关系影响也很小。

参考文献 (References)

- Chen YG, 2010. Biological control progress of *Ectopis obliqua* prout. *Natural Enemies of Insects*, 23(4): 181-184. [陈亦根, 2010. 茶尺蠖生物防治进展. 昆虫天敌, (4): 181-184.]
- Chen ZM, Sun XL, Dong WX, 2012. Genetics and Chemistry of the Resistance of Tea Plant to Pests. *Globe Tea Breeding*. Hangzhou: Zhejiang University Press. 343-360.
- Chen ZM, Xu N, Han BY, 1999. Role of volatile allelo-chemicals on host location of tea pests and host foraging of natural enemies in tea ecosystem. Scientific Program and Abstracts of the First Asia-Pacific Conference on Chemical Ecology. Shanghai. 81-83.
- Clark RJ, Jackson RR, Cutler B, 2000. Chemical cues from ants influence predatory behavior in *Habrocestum pulex*, an ant-eating jumping spider (Araneae, Salticidae). *J. Arachnol.*, 28(3): 309-318.
- Deng JL, 1997. Tutorial on Grey System Theory. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press. 146-150. [邓聚龙, 1997. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中科技大学出版社. 146-150.]
- Han BY, Chen ZM, 2000. Searching behaviour of *Coccinella septempunctata* and four varieties of *Leis axyridis* adults on tea aphid honeydew and analysis of honey-dew component. *Acta Ecologica Sinica*, 20(3): 495-501. [韩宝瑜, 陈宗懋, 2000. 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组分分析. 生态学报, 20(3): 495-501.]
- Han BY, 2007. EAG and behavioral responses of the wingless tea aphid *Toxoptera aurantii* (Homoptera:Aphididae) to tea plant volatiles. *Acta Ecologica Sinica*, 27(11): 4485-4490. [韩宝瑜, 2007. 无翅茶蚜对茶树挥发物的触角电生理和行为反应. 生态学报, 27(11): 4485-4490.]
- Hou JR, Huang JX, 1990. Basic Theory and Methods of Multivariate Geostatistics. Beijing: Geological Publishing House. 82-102. [侯景瑞, 黄竞先, 1990. 地质统计学的理论与方法. 北京:地质出版社. 82-102.]
- Liu FF, Ke SB, Wang JP, 2015. Blocked quadrat variance analysis for spatial relation of *Ectopis oblique hypulina* larva and spider natural enemies. *Journal of Zhejiang University (Agric.&Life Sci.)*, 41(2): 133-146. [刘飞飞, 柯胜兵, 王建盼, 2015. 蜘蛛类天敌与茶尺蠖幼虫空间关系的聚块样方方差分析. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 41(2): 133-146.]
- Persons MH, Rypstra AL, 2000. Preference for chemical cues associated with recent prey in the wolf spider *Hogna helluo* (Araneae:Lycosidae). *Ethology*, 106(1): 27-35.
- Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG, Franz EH. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 62(2): 277-314.
- Sun XL, Cai XM, Wang GC, Gao Y, Wang DQ, Chen ZM, 2011. Tendency to different colors by ricanidae insects in tea garden. *Journal of Tea Science*, 31(2): 95-99. [孙晓玲, 蔡晓明, 王国昌, 高宇, 王德强, 陈宗懋, 2011. 茶园中广翅蜡蝉成虫对不同颜色的趋向选择. 茶叶科学, 31(2): 95-99.]
- Wang Y, Zhang HG, Zou YD, 1991. The paper studies of tea looper larvae induction efficiency. *Journal of Plant Protection*, 18(2): 177-180. [王勇, 张汉鹄, 邹运鼎, 1991. 彩纸对茶尺蠖幼虫诱导效率的研究. 植物保护学报, 18(2):177-180.]
- Xiao YH, Zhang JX, Li SQ, 2009. A two-component female-produced pheromone of the spider *Pholcus beijingensis*. *J. Chen. Ecol.*, 35(7): 769-778.
- Yang L, Guo H, Bi SD, Zou YD, Zhou XZ, Ke SB, Shi XL, Ke L, Lin Y, 2012. Spatial relationships among *Empoasca vitis* (Gothe) and *Toxoptera aurantii* (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn winter season in Hefei suburban. *Acta Ecologica Sinica*, 32(13): 4215-4227. [杨林, 郭骅, 毕守东, 邹运鼎, 周夏芝, 柯胜兵, 施晓丽, 柯磊, 林源, 2012. 合肥秋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, 32(13): 4215-4227.]
- Ye GY, Hu C, Zhu JQ, 1994. The control effect of the geometrid nuclear polyhedrosis virus on host population. *Journal of Plant Protection*, 21(3): 231-237. [叶恭银, 胡萃, 朱俊庆, 1994. 茶尺蠖核型多角体病毒对宿主种群的控制作用. 植物保护学报, 21(3): 231-237.]
- Yu HL, Zhang YJ, Wu KM, Gao XW, Guo YY, 2008. Field-testing of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. *Environ. Entomol.*, 37(6): 1410-1415.
- Yue BS, 2001. Growth, reproduction and field population dynamics of *Franklinella bispinosa* (Thysan-Otera:Thripidae). *Entomologia Sinica*, 8(3): 265-270.
- Zhang HG, Tan JC, 2004. Chinese Tea Tree Pests and Their Pollution-Free Treatment. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 49-51. [张汉鹄, 谭济才, 2004. 中国茶树害虫及其无公害治理. 合肥: 安徽科学技术出版社. 49-51.]
- Zhang LM, Liu ZC, Sun XQ, Liu LX, Chen J, 2008. Population dynamics of *Orius strigicollis* and *Frankliniella intonsa* on Chinese rose and predatory functional response. *Chinese Journal of Biological Control*, 24(Suppl.): 21-27. [张鲁民, 刘志诚, 孙兴全, 刘力行, 陈捷, 2008. 南方小花蝽和花蓟马种群季节动态及捕食功能反应. 中国生物防治, 24(增刊): 21-27.]
- Zhu JQ, 1996. The prediction of the optimal period for the prevention of the first generation of the tea. *Journal of Tea*, 22(4): 16-17. [朱俊庆, 1996. 茶尺蠖第一代防治适期的预测. 茶叶, 22(4): 16-17.]
- Zhu XY, Zhang PJ, Lv YB, 2012. Isolation and identification of the aggregation pheromone released by male adults of *Frankliniella intonsa*. *Acta Entomologica Sinica*, 55(4): 376-385. [祝晓云, 张蓬军, 吕要斌, 2012. 花蓟马雄虫释放的聚集信息素的分离和鉴定. 昆虫学报, 55(4): 376-385.]
- Zou YD, Wang HF, 1989. Agroforestry Insect Ecology. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 311-326. [邹运鼎, 王弘法, 1989. 农林昆虫生态学. 合肥: 安徽科学技术出版社. 311-326.]
- Zou YD, 1997. Theory and Application of Natural Enemies in Pest Management. Beijing: China Forestry Publishing House. 146-150. [邹运鼎, 1997. 害虫管理中天敌评价理论与应用. 北京: 中国林业出版社. 146-150.]