

茶园天敌昆虫与卵形短须螨及双斑长跗萤叶甲的空间跟随关系

宋学雨¹ 钱广晶² 张书平² 余燕^{1,2} 李尚^{2,1} 毕守东^{1*} 周夏芝² 邹运鼎²

(1. 安徽农业大学 理学院, 合肥 230036;

2. 安徽农业大学 林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要 为合理保护和利用茶园的自然界天敌,为茶园害虫综合防治提供科学依据,对2015和2016年白毫早茶园天敌与卵形短须螨和双斑长跗萤叶甲空间跟随关系的密切程度进行差异比较研究。运用地学统计学方法求得半变异函数理论模型的变程,用灰色关联度分析法研究2种害虫与9种天敌变程间的灰色关联度,再进行标准化,即该参数除以本类参数的最大值,其商为密切指数。该密切指数值越大,天敌对害虫空间跟随关系越密切,对害虫的捕食寄生率越高,依此评判天敌对2种害虫空间跟随关系的密切程度。结果表明:2015年与卵形短须螨关系密切的前五位天敌依此是棕管巢蛛(1.0000)、异色瓢虫(0.9790)、茶色新圆蛛(0.9549)、鳞纹肖蛸(0.9439)和八斑球腹蛛(0.9346);2016年与卵形短须螨在空间关系跟随关系密切的前五位天敌依次是八斑球腹蛛(1.0000)、草间小黑蛛(0.9778)、三突花蟹蛛(0.9706)、棕管巢蛛(0.9586)和异色瓢虫(0.8974)。对2年密切指数之和比较,前五位天敌依次是棕管巢蛛(1.9586)、八斑球腹蛛(1.9346)、异色瓢虫(1.8764)、草间小黑蛛(1.8702)和三突花蟹蛛(1.7937)。2015年与双斑长跗萤叶甲空间跟随关系密切的前五位天敌依次是锥腹肖蛸(1.0000)、棕管巢蛛(0.9663)、茶色新圆蛛(0.9551)、草间小黑蛛(0.9283)和三突花蟹蛛(0.9288);2016年依次是三突花蟹蛛(1.0000)、棕管巢蛛(0.9991)、草间小黑蛛(0.9888)、八斑球腹蛛(0.9752)和锥腹肖蛸(0.9509)。2年按密切指数之和比较,前五位天敌依次是棕管巢蛛(1.9654)、锥腹肖蛸(1.9509)、三突花蟹蛛(1.9288)、草间小黑蛛(1.9171)和异色瓢虫(1.8414)。棕管巢蛛均是对2种害虫空间上跟随关系密切的第一位天敌。2015年4月11日卵形短须螨与空间关系密切的第一位天敌棕管巢蛛个体数的比值为65.25,与第九位天敌茶色新圆蛛的比值为130.50。2016年4月11日双斑长跗萤叶甲与第一位天敌三突花蟹蛛的个体数比值为1.3220,与第九位天敌个体数的比值为4.1053。初步分析害虫与天敌数量之比,其比值越小,天敌对目标害虫空间跟随关系越密切,食饵短缺是天敌对害虫空间跟随关系密切的诱因,该法是评判天敌对害虫空间跟随关系较为理想的分析方法。

关键词 卵形短须螨; 双斑长跗萤叶甲; 地学统计学; 灰色关联度; 空间跟随关系

中图分类号 Q968.1

文章编号 1007-4333(2019)11-0089-09

文献标志码 A

Spatial-following relationships between *Brevipalpus obovatus*, *Monolepta hieroglyphica* and their natural enemy insects in tea garden

SONG Xueyu¹, QIAN Guangjing², ZHANG Shuping², YU Yan^{1,2}, LI Shang^{2,1},
BI Shoudong^{1*}, ZHOU Xiaozhi², ZOU Yunding²

(1. School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. College of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract In order to rationally utilize and protect the natural enemies in tea garden and provide scientific basis for integrated pest control, a comparative study on the close degree of spatial follow-up relationship between *Brevipalpus obovatus* Donnadieu, *Monolepta hieroglyphica* Mots and natural enemies of "Baihaozao" tea garden in 2015 and 2016

收稿日期: 2019-02-10

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

第一作者: 宋学雨, 硕士研究生, E-mail: 2644817178@qq.com

通讯作者: 毕守东, 教授, 主要从事群落生态学研究, E-mail: bishoudong@163.com

was conducted. Using the geostatistical method to obtain the variances of the semivariogram theoretical model, the gray correlation degree between the nine natural enemies and the two pests was studied by the grey correlation analysis method. And the parameter was then divided by the maximum value of this type of parameter, and its quotient was a close index. The larger the closeness index value was, the closer the spatial follow-up relationship between natural enemies and pests was, and the higher the predatory parasitism rate to pests was. According to the results obtained above, the degree of closeness of natural enemies to the spatial follow-up relationship of the two pests was judged. In 2015, the top five natural enemies closely related to *Brevipalpus obovatus* were *Clubiona japonicola* Boes (1.000 0), *Leis axyridis* Pallas (0.979 0), *Neoscona theisi* Walckenaer (0.954 9), *Tetragnatha squamata* Karsch (0.943 9) and *Theridion octomaculatum* Boes. et Str. (0.934 6). In 2016, the top five natural enemies closely related to *Brevipalpus obovatus* were *Theridion octomaculatum* (1.000 0), *Erigonidium graminicolum* Sundevall (0.977 8), *Misumenops tricuspidatus* Fabr. (0.970 6), *Clubiona japonicola* (0.958 6) and *Leis axyridis* (0.897 4). Compared with the sum of the two years' close index, the top five natural enemies were *Clubiona japonicola* (1.958 6), *Theridion octomaculatum* (1.934 6), *Leis axyridis* Pallas (1.876 4), *Erigonidium graminicolum* (1.870 2) and *Misumenops tricuspidatus* (1.793 7) in turn. In 2015, the top five natural enemies closely related to *Monolepta hieroglyphica* were *Tetragnatha maxillosa* Thoren (1.000 0), *Clubiona japonicola* (0.966 3), *Neoscona theisi* (0.955 1), *Erigonidium graminicolum* (0.928 3) and *Misumenops tricuspidatus* (0.928 8). In 2016, the top five natural enemies closely related to *Monolepta hieroglyphica* were *Misumenops tricuspidatus* (1.000 0), *Clubiona japonicola* (0.999 1), *Erigonidium graminicolum* (0.988 8), *Theridion octomaculatum* (0.975 2) and *Tetragnatha maxillosa* (0.950 9). Compared with the sum of the two years' close index, the top five natural enemies were *Clubiona japonicola* (1.965 4), *Tetragnatha maxillosa* (1.950 9), *Misumenops tricuspidatus* (1.928 8), *Erigonidium graminicolum* (1.917 1) and *Leis axyridis* (1.841 4) in turn. The *Clubiona japonicola* was the first natural enemy closely related to the two pests' space. On April 11, 2015, the ratio of the number of individuals of *Brevipalpus obovatus* to the number of individuals of the first natural enemy *Clubiona japonicola* closely related to space was 65.25, and the ratio to the number of individuals of the ninth natural enemy *Neoscona theisi* was 130.50. On April 11 2016, the ratio of the number of individuals of *Monolepta hieroglyphica* to the number of individuals of its first natural enemy *Misumenops tricuspidatus* was 1.322 0, and the ratio of the number of individuals of its ninth natural enemy was 4.105 3. Preliminary analysis showed that the smaller the ratio of pests to natural enemies was, the closer the spatial follow-up relationship between natural enemies and target pests was. The shortage of bait was the cause of the close spatial follow-up relationship between pests and their natural enemy insects. This method was an ideal analysis method to judge the spatial follow-up relationship between pests and their natural enemy insects.

Keywords *Brevipalpus obovatus*; *Monolepta hieroglyphica*; geostatistics; grey correlation; spatial following relationship

卵形短须螨 *Brevipalpus obovatus* *Donnadieu* 寄主为茶树 *Camellia sinensis* L.、山茶树 *C. japonica* L.、咖啡树 *Coffea arabica* 等 45 科 120 种植物, 主要为害老叶和成叶叶背, 使叶片失去光泽, 主脉褐变, 叶背多紫褐色突起小斑, 后期叶柄霉变脱落, 削弱茶树生长势^[1]。王宏毅^[2]在福建南部发现卵形短须螨为害西番莲 (*Passiflora caerulea* L.), 并分析了降雨和温度对其田间种群数量消长的影响。朱梅等^[3]对广东地区茶场的卵形短须螨进行研究, 释放捕食螨优势种江原钝绥螨 *Amblyseius eharai* Swirski 对卵形短须螨的防治效果达 23.30%~81.30%。双斑长跗蚧叶甲 (*Monolepta Hieroglyseius* *Mots*) 成虫、幼虫均可危害茶树, 是近年南方茶区危害成灾的新害虫^[1,4]。王立仁等^[5]通

过研究为害玉米等作物的双斑长跗蚧叶甲, 提出了抢种、深翻和施药相结合的防治措施。李广伟等^[6]研究了温度对双斑长跗蚧叶甲成虫寿命及生殖力的影响。梁日霞等对来自中国北方 26 个不同地理种群的双斑长跗蚧叶甲线粒体细胞色素 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, 这些地区双斑长跗蚧叶甲的不同地理种群间已发生明显的遗传分化^[7]。

这 2 种害虫的防治多采用化学方法, 化学防治中的滥用农药现象, 不仅导致茶叶农药残留超标, 害虫也已经产生抗药性^[8]。茶树是饮料作物, 直接与食品安全有关。用生物防治方法防治茶树害虫是一种较好的方法, 特别是利用自然界天敌防治茶树害虫可以起到节省成本持续控制害虫的目的。一种害

虫有多种天敌,其中对目标害虫关系密切的优势种天敌是合理利用和保护的主要对象^[9]。Sinu^[10]研究了印度北部茶园中以鸟类为主的混合群落对茶园害虫的抑制作用。Chen 等^[11]研究表明在茶园中间作不同植被能有效增加蜘蛛的数量,从而抑制害虫的发生。上述研究是鸟类和蜘蛛等天敌总体上对茶园害虫的控制作用。因为防治茶园害虫除生物防治措施,还有其他措施,有些措施譬如施药对天敌可能有一定影响。要合理保护和利用天敌,重点是保护对害虫控制作用大的优势种天敌。天敌对目标害虫空间跟随关系密切与否直接与对目标害虫的捕食率和寄生率有关。本研究旨在研究白毫早茶园天敌与 2 种主要害虫卵形短须螨和双斑长跗萤叶甲的空间跟随关系,以期为其生物防治提供科学依据。

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,茶树树龄为 13 年生,调查茶园面积为 0.2 hm²。该茶园周围为其他品种茶园,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—11 月 14 日,2016 年 3 月 27 日—11 月 19 日,约半月调查 1 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,行宽 2 m。每行间隔 1 m 取 1 个 2 m 长的样方,每行取 10 个样方,共取 30 个样方。调查样方面积为 120 m²,占调查的白毫早茶园 6%。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,洗衣粉水液的浓度为 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

根据区域化变量的理论,半变异函数有 3 个重要参数,即基台值、变程或称空间依赖范围和块金值。变程指在半变异函数值达到平衡时的间隔距离,表示样点间不存在空间相关关系^[12]。在空间上昆虫种群数量是区域化变量。本研究通过计算

双斑长跗萤叶甲和卵形短须螨及其天敌的试验半变异函数,分析半变异函数结构来描述他们的空间格局和空间关系。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:

$$R^*(h) = [1/2N(h)] \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

式中: $N(h)$ 是被 h 分割的数据对的数量, $z(x_i)$ 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 $y = c_1 x^3 + c_2 x^2 + c_3 x + c_4$,然后解该方程,求出该函数理论模型的解 x , x 为正值解即为变程。

1.4.2 灰色关联度分析

灰色系统分析有可以表达灰色系统某种特点或效果的具体值参与计算,该值即为效果白化值,即令 a 为区间, a_i 为 a 中的数,若灰数集在 a 中取值,则称 a_i 为灰数集的一个效果白化值。用灰色关联度分析法^[13]将双斑长跗萤叶甲(Y'_i)和卵形短须螨的变程(Y'_2)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,2 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:

$$Y'_i = \{Y'_i(1), Y'_i(2), \dots, Y'_i(n)\}, i = 1, 2$$

$$X'_j = \{X'_j(1), X'_j(2), \dots, X'_j(n)\}, j = 1, 2, \dots, m$$

式中: n 是样方数, m 是天敌种类数。经数据均值化后得:

$$y'_i = \{y'_i(1), y'_i(2), \dots, y'_i(n)\}, i = 1, 2$$

$$x'_j = \{x'_j(1), x'_j(2), \dots, x'_j(n)\}, j = 1, 2, \dots, m$$

Y'_i 与 X'_j 在第 k 点上的关联系数:

$$r_{ij}(k) = \frac{\min \min |y'_i(k) - x'_j(k)| + \rho \max \max |y'_i(k) - x'_j(k)|}{|y'_i(k) - x'_j(k)| + \rho \max \max |y'_i(k) - x'_j(k)|}$$

式中: ρ 为分辨系数,取值 0~1,一般取 $\rho=0.5$,为扩大各关联度之间的差异,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。 $R(X'_j, Y'_i) =$

$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_{ij}(k)$ 即为第 j 种天敌 (X'_j) 与某种害虫变程之间的关联度,求出天敌与双斑长跗萤叶甲和卵形短须螨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。

1.4.3 天敌对目标害虫空间跟随关系的综合分析

为了便于分析天敌对害虫空间跟随关系,对灰色关联度进行标准化处理。即关联度值均除以本年度(2015和2016年)该类参数的最大的关联度值,其商称为密切指数。按照天敌与目标害虫2年的密切指数之和大小,综合评判天敌对目标害虫空间跟随关系的位次。

2 结果与分析

调查结果表明,2015年白毫早茶园共有92种节肢动物,计18180头。其中捕食性天敌42种,分属18科,7目,计6111头;植食性类害虫39种,分属26科9目,计8085头;寄生和中性昆虫共11种,计3984头。2016年茶园共有72种节肢动物,计19249头,其中捕食性天敌31种,分属16科,6

目,计6045头;植食性害虫31种,分属23科,9目,计8800头。寄生和中性昆虫10种,共4404头。卵形短须螨2年分别为1904头和2543头。4—5月为第一高峰,9—10月为第二高峰。双斑长跗萤叶甲为874和838头。全年调查所得的个体累计数量均超过111头的9种天敌是鳞纹肖蛸(*Tetragnatha Squamata* Karsch)、锥腹肖蛸(*Tetragnatha maxillosa* Thoren)、草间小黑蛛(*Erigonidium graminicolum* Sundevall)、三突花蟹蛛(*Misumenops tricuspidatus* Fabr.)、八斑球腹蛛(*Theridion octomaculatum* Boes. et Str.)、棕管巢蛛(*Clubiona japonicola* Boes. et Str.)、斜纹猫蛛(*Oxyopes Sertatus* L. Koch)、茶色新圆蛛(*Neoscona theisi* Walckenaer)和异色瓢虫(*Leis axyridis* Pallas)。9种天敌占捕食性天敌的比例,2015年为80.93%,2016年为74.47%。将调查结果列于表1和表2。

表1 2015年白毫早茶园2种害虫及其天敌的种群数量动态

Table 1 Population dynamics of two pests and their natural enemies in BaiHaoZao tea garden 头/30样方

日期 Date	种群 Population										
	Y ₁	Y ₂	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
03-28	3	30	273	119	15	80	59	5	1	33	8
04-11	522	56	187	85	1	54	12	8	4	26	2
04-26	149	80	117	82	14	33	14	9	0	31	7
05-10	210	85	80	33	25	8	2	11	1	13	3
05-24	120	31	69	48	21	13	5	15	5	36	1
06-80	113	84	79	60	9	7	36	25	0	34	5
06-20	68	42	55	102	15	6	19	28	3	19	10
07-40	17	46	49	141	9	14	16	48	6	26	13
07-19	9	24	82	118	7	10	5	35	8	21	12
08-20	47	21	32	50	5	6	10	49	7	20	0
08-16	43	16	8	36	4	6	5	43	3	8	0
08-30	48	30	7	30	0	2	4	53	8	12	6
09-13	39	36	24	35	6	3	12	70	3	6	5
09-26	115	42	16	49	6	12	23	57	18	9	7
10-11	149	59	62	61	4	10	104	32	18	12	19
10-28	158	115	138	142	6	41	140	36	36	19	44
11-14	94	77	136	141	2	5	120	6	11	21	4
合计	1 904	874	1 414	1 332	149	310	586	530	132	346	146

注:Y₁ 卵形短须螨 *Brevipalpus obovatus*; Y₂ 双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyseius*; X₁ 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*; X₂ 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*; X₃ 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*; X₄ 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*; X₅ 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*; X₆ 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*; X₇ 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*; X₈ 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X₉ 异色瓢虫 *Harmonia axyridis*。下表同。The following table is the same.

表 2 2016 年白毫早茶园 2 种害虫及其天敌的种群数量动态

日期 Date	种群 Population										
	Y_1	Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
03-27	30	50	149	140	20	52	86	3	2	27	7
04-11	941	78	61	88	9	59	14	12	4	19	11
04-28	489	49	49	72	7	35	12	13	2	49	24
05-12	226	66	63	47	25	13	20	25	0	46	12
05-30	48	73	58	90	31	12	25	19	4	52	4
06-14	69	83	43	91	22	1	29	26	3	33	5
06-29	31	57	62	169	17	19	38	39	6	25	17
07-14	66	30	114	165	30	14	26	53	4	21	4
07-29	31	20	23	100	10	6	18	29	8	17	0
08-13	41	34	12	31	3	2	5	24	10	7	0
08-28	30	57	6	33	9	3	6	11	9	13	6
09-12	32	56	8	19	2	1	7	13	14	5	2
09-25	63	26	24	36	3	5	25	32	14	17	11
10-10	120	26	36	55	7	4	110	24	13	16	3
11-20	167	35	47	101	7	17	248	26	10	23	1
11-19	159	98	40	150	10	25	187	7	16	27	4
合计	2 543	838	795	1 387	212	268	856	356	119	397	111

为了分析 2015 和 2016 年年度间 2 种害虫及其 9 种天敌的差异。将 2 年的 2 种害虫和个体数量在 111 头以上主要天敌的数量进行 t 检验,卵形短须螨的 t 值为 0.716 8,双斑长跗蚱叶甲的 t 值为 0.107 0, $df=31$ 时, $t_{0.05}=2.04$, 2 年间差异均不显著,但卵形短须螨数量 2016 年明显多于 2015 年。鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛、棕管巢蛛、斜纹猫蛛、茶色新圆蛛和异色瓢虫的 t 值依次是 1.694 8、0.530 3、1.539 9、0.217 7、0.930 9、1.510 9、0.126 9、1.074 2 和 0.540 1, t 值均 $< t_{0.05}(2.04)$, 差异不显著。

2.1 2015—2016 年天敌对卵形短须螨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 年卵形短须螨数量多的 4 月 11 日、4 月 26 日、5 月 10 日、10 月 11 日和 10 月 28 日,及其数量居于前九位的鳞纹肖蛸 (X_1)、锥腹肖蛸 (X_2)、

草间小黑蛛 (X_3)、三突花蟹蛛 (X_4)、八斑球腹蛛 (X_5)、棕管巢蛛 (X_6)、斜纹猫蛛 (X_7)、茶色新圆蛛 (X_8)、异色瓢虫 (X_9) 的数据进行地统计学分析,将求得的半变异函数的理论模型变程和决定系数列于表 3,求得的模型均为球型,除 4 月 26 日斜纹猫蛛 (X_7) 数量为 0 外,其余都是聚集分布格局。表中 R^2 最小的是 11 月 11 日的草间小黑蛛 (X_3) 为 0.439, ($R=0.662 5$) $df=26$ 时, $r_{0.05}=0.374$, $r_{0.01}=0.478$, $R > r_{0.01}$ 。表明表 3 中的理论模型与实际吻合度高,卵形短须螨和天敌均为聚集分布格局。

选择表 2 中卵形短须螨数量多的 4 月 11 日、4 月 28 日、5 月 12 日、11 月 2 日和 11 月 19 日的卵形短须螨及其数量居于前九位的天敌数据进行地统计学方法分析,将所求的半变异函数的理论模型变程和决定系数也列于表 3,卵形短须螨和天敌都是球型,除 4 月 28 日斜纹猫蛛是随机分布格局,其余都是聚集分布格局。表 3 中最小的 R^2 为 4 月 28 日的

表3 白毫早茶园卵形短须螨与其天敌的半变异函数模型参数

Table 3 Semivariogram model parameters of *Brevipalpus obovatus* and its natural enemies in BaiHaoZao tea garden

时间 Time	种群 Population									
	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
2015-04-11	1.410 6	3.291 1	3.212 3	6.875 0	8.900 7	5.100 6	8.103 2	2.000 1	4.005 6	1.133 5
2015-04-26	6.105 0	2.828 0	4.823 9	7.150 0	8.872 0	6.125 6	8.652 8	0	3.726 0	4.223 6
2015-05-10	4.875 0	1.040 8	4.567 3	12.577 0	0.630 7	2.291 2	2.392 3	1.673 2	8.000 6	4.922 8
2015-10-11	2.573 7	6.038 2	2.251 3	2.099 3	4.782 9	1.784 7	3.381 9	6.320 5	4.632 5	7.113 1
2015-10-28	2.928 9	3.493 3	4.135 7	5.892 7	4.840 8	8.261 6	4.363 0	4.681 4	7.263 0	6.010 0
2016-04-11	4.332 5	4.492 9	3.037 5	6.452 6	6.124 0	5.006 0	4.493 1	3.965 1	4.823 9	3.653 2
2016-04-28	2.654 0	3.825 9	2.634 5	5.109 4	7.060 0	6.340 0	7.280 0	5.029 0	5.892 3	4.425 8
2016-05-12	2.860 9	0.9819 4	4.892 6	5.109 3	4.023 6	1.366 5	6.023 9	0	1.139 0	3.654 8
2016-11-02	3.980 0	2.348 6	4.503 5	8.004 0	5.786 0	5.254 3	7.965 0	4.877 3	5.293 0	4.006 3
2016-11-19	0.089 0	4.639 0	4.305 0	5.492 3	1.684 4	0.254 4	4.709 3	4.326 0	5.009 0	4.815 9

注:半变异参数理论模型 $y=c_1x^3+c_2x^2+c_3x+c_4$

Note: Semivarogram theoretical model: $y=c_1x^3+c_2x^2+c_3x+c_4$

锥腹肖蛸 (X_2) 为 0.446 8 ($R=0.668 4$), $df=26$ 时, $r_{0.01}=0.478$, R 均 $>r_{0.01}$, 表明表 3 中理论模型与实际吻合度高。

对 2015 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。2015 年卵形短须螨与其 9 种天敌变程间的关联度鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛、棕管巢蛛、斜纹猫蛛、茶色新圆蛛、异色瓢虫的灰色关联度依次是 0.760 1、0.690 5、0.718 6、0.662 8、0.759 8、0.805 2、0.605 4、0.768 9、和 0.788 3。与卵形短须螨空间跟随关系密切的即灰色关联度大的前五位天敌是棕管巢蛛、异色瓢虫、茶色新圆蛛、鳞纹肖蛸和八斑球腹蛛; 2016 年鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛、棕管巢蛛、斜纹猫蛛、茶色新圆蛛和异色瓢虫的灰色关联度依次是 0.671 5、0.706 6、0.788 5、0.782 7、0.806 4、0.773 0、0.672 5、0.674 3、和 0.723 7。与卵形短须螨空间跟随关系密切的前五位天敌是八斑球腹蛛、草间小黑蛛、三突花蟹蛛、棕管巢蛛和异色瓢虫。2 年间卵形短须螨前五位天敌中有 3 种天敌相同, 但位次不同。

将卵形短须螨与其天敌空间关系标准化求得的密切指数。将 2 年的密切指数相加, 密切指数之和大的前五位天敌依次是棕管巢蛛 (1.958 6)、八斑球腹蛛 (1.934 6)、异色瓢虫 (1.876 4)、草间小黑蛛

(1.870 2) 和三突花蟹蛛 (1.793 7)。

2.2 2015—2016 年天敌对双斑长跗萤叶甲空间跟随关系的密切程度差异

选择表 1 中 2015 年双斑长跗萤叶甲数量较多的 4 月 26 日、5 月 10 日、6 月 8 日、10 月 28 日和 11 月 14 日的双斑长跗萤叶甲及其数量居于前九位的天敌数据进行地学统计学分析, 将所求的半变异函数的理论模型变程和决定系数列于表 4, 双斑长跗萤叶甲和天敌的半变异函数模型都是球型, 除 4 月 26 日的斜纹猫蛛数量为 0 外, 其余都是聚集分布格局。表中最小的 R^2 为 11 月 14 日茶色新圆蛛 (X_8) 的决定系数为 0.486 ($R=0.6971$), $df=26$ 时, $r_{0.01}=0.478$, $R>r_{0.01}$, 表明表 4 中的理论模型与实际吻合度高。

选择表 2 中的 2016 年双斑长跗萤叶甲数量多的 4 月 11 日、5 月 12 日、5 月 30 日、6 月 14 日和 11 月 19 日的双斑长跗萤叶甲及其天敌的数据进行的地学统计学分析, 求得的半变异函数理论模型变程和决定系数也列于表 4, 双斑长跗萤叶甲和天敌的半变异函数都是球型, 除 5 月 12 日斜纹猫蛛 (X_7) 数据为 0 外, 其余都是聚集分布格局。表中 R^2 最小的是 6 月 14 日茶色新圆蛛 (X_8) 的决定系数为 0.483 1, ($R=0.695 1$), $df=26$ 时, $r_{0.01}=0.478$, $R>r_{0.01}$, 表明表 4 中理论模型与实际吻合度高。

表 4 2015 年白毫早茶园双斑长跗萤叶甲与其天敌的半变异函数模型参数

Table 4 Semivariogram model parameters of *Monolepta hieroglyphica* and its natural enemies in BaiHaoZao tea garden

时间 Time	种群 Population									
	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
2015-04-26	4.959 0	2.828 0	4.100 4	8.980 0	9.050 0	8.005 0	8.100 6	0	3.726 0	4.205 0
2015-05-10	3.747 6	1.040 8	3.201 8	8.020 1	0.630 7	2.291 2	6.000 3	1.673 2	7.100 6	4.003 5
2015-06-08	7.159 3	6.118 8	3.169 3	1.029 0	0.383 3	4.859 3	4.005 4	0	5.960 0	2.898 3
2015-10-28	0.214 0	3.493 3	4.135 7	6.002 0	4.840 8	5.016 3	5.364 9	4.681 4	6.003 4	6.984 0
2015-11-14	3.908 1	5.839 1	11.692 0	3.948 6	4.006 5	7.101 2	4.835 9	4.460 0	4.829 0	4.345 8
2016-04-11	9.001 0	4.492 9	3.037 5	4.102 3	4.630 7	6.001 0	4.493 1	3.965 1	6.001 2	3.653 2
2016-05-12	7.998 9	0.981 9	8.995 9	6.100 0	5.001 0	1.366 5	5.010 2	0	1.139 0	3.654 8
2016-05-30	9.001 4	9.230 2	6.132 1	4.134 8	1.767 5	4.145 9	1.676 1	5.239 6	2.187 8	2.035 6
2016-06-14	4.321 0	4.112 8	3.995 0	3.636 1	1.673 2	5.097 6	2.504 6	4.665 7	6.987 6	2.390 9
2016-11-19	0.118 3	5.364 8	5.948 9	5.020 6	1.684 4	0.254 4	3.982 6	4.326 0	4.872 9	4.815 9

对 2015 和 2016 年双斑长跗萤叶甲与其天敌半变异函数变程进行灰色关联度分析。2015 年双斑长跗萤叶甲与其 9 种天敌变程间的关联度鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛、棕管巢蛛、斜纹猫蛛、茶色新圆蛛和异色瓢虫的灰色关联度依次是 0.657 9、0.830 9、0.771 4、0.770 2、0.687 7、0.803 0、0.605 6、0.793 7 和 0.744 0。与双斑长跗萤叶甲空间跟随关系密切的前五位天敌是鳞纹肖蛸、棕管巢蛛、茶色新圆蛛、草间小黑蛛和三突花蟹蛛；2016 年鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛、棕管巢蛛、斜纹猫蛛、茶色新圆蛛和异色瓢虫的灰色关联度依次是 0.663 3、0.724 5、0.753 4、0.761 9、0.743 0、0.761 2、0.668 7、0.614 1 和 0.720 8。与双斑长跗萤叶甲空间跟随关系密切的前五位天敌是三突花蟹蛛、棕管巢蛛、草间小黑蛛、八斑球腹蛛和鳞纹肖蛸。2 年中双斑长跗萤叶甲前五位天敌中有 4 种天敌相同，但位次不同。

将 2 年双斑长跗萤叶甲与其天敌空间关系的灰色关联度进行标准化求得密切指数。将 2 年的密切指数相加，指数之和大的前五位天敌依次是棕管巢蛛(1.965 4)、锥腹肖蛸(1.950 9)、三突花蟹蛛(1.928 8)、草间小黑蛛(1.917 1)和异色瓢虫(1.841 4)。

3 小结与讨论

采用地学统计学方法求得白毫早茶园 2015 和 2016 年 9 种天敌与卵形短须螨和双斑长跗萤叶甲的半变异函数理论模型的变程，用灰色关联度分析法分析 9 种天敌与 2 种害虫变程间的灰色关联度，对灰色关联度进行标准化，按密切指数之和大小评判天敌对目标害虫空间跟随关系密切程度的位次。结果是：

1) 综合分析 2015 和 2016 年的结果，与卵形短须螨空间跟随关系密切的前 5 位天敌依次是棕管巢蛛、八斑球腹蛛、异色瓢虫、草间小黑蛛和三突花蟹蛛。

2) 综合分析 2015 和 2016 年的结果，与双斑长跗萤叶甲空间跟随关系密切的前 5 位天敌依次是棕管巢蛛、锥腹肖蛸、三突花蟹蛛、草间小黑蛛和异色瓢虫。棕管巢蛛均是白毫早茶园对卵形短须螨和双斑长跗萤叶甲空间跟随关系密切的第一位天敌。

为什么不同年份同一种天敌或者同一年份不同天敌对目标害虫空间跟随关系密切程度的位次有很大差异。初步分析的结果是与害虫个体数与天敌个体数比值有关，其比值越小，天敌对目标害虫空间跟随关系越密切。如卵形短须螨的数量 2015 年 4 月 11 日为 522 头。第一位天敌是棕管巢蛛个体数为 8

头,其比值为 65.25。第九位天敌是茶色新圆蛛个体数为 4 头,其比值为 130.5,前者的比值只有后者的一半。再如卵形短须螨的数量 2016 年 4 月 11 日为 941 头,第一位天敌是八斑球腹蛛,个体数为 14 头,比值为 62.733 3。第九位天敌是茶色新圆蛛,个体数为 4 头,其比值为 235.25,前者的比值只有后者的 1/4。2015 年双斑长跗萤叶甲 10 月 28 日为 15 头。第一位天敌是锥腹肖蛸,个体数为 142 头,其比值为 0.809 8。第九位是茶色新圆蛛,个体数为 36 头,其比值为 3.194 44,前者的比值是后者的 1/4。2016 年 4 月 11 日双斑长跗萤叶甲为 78 头,第一位天敌是三突花蟹蛛,个体数为 59 头,其比值为 1.322 0。第九位天敌是茶色新圆蛛,个体数为 19 头,其比值为 4.1053 前者的比值是后者的 1/3。可看出与目标害虫跟随关系密切的天敌,害虫与该天敌个体数比值比较小,即天敌的食饵越少,其对目标害虫跟随关系越密切。即食饵缺乏是天敌空间上跟随关系密切的诱因。

赵静等^[14]用地学统计学方法对不同时间烟盲蝽 *Nesidicocoris tenuis* 与其天敌蜘蛛的空间格局,利用 Block kriging 插值法得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^[15]用地学统计学方法和普通克里格分析稻田灰飞虱 *Laodephat strcatella* Fallen 与蜘蛛的时空动态以及蜘蛛对灰飞虱的跟随关系。20 世纪 70 年代以来研究卵形短须螨和双斑长跗萤叶甲等茶树害虫的空间分布均是采用频次法和聚集强度指数法。本研究采用地学统计学和灰色关联度分析法相结合研究 9 种天敌对 2 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,对分析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[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2004
Zhang H H, Tan J C. *Control of Chinese Tea Tree Pests and Their Non-Public Hazards* [M]. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 2004 (in Chinese)

[2] 王宏毅. 卵形短须螨为害西番莲研究[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2002,31(3):320-323
Wang H Y. A study on *Brevipalpus obovatus* damaging passionflower[J]. *Journal of Fujian Agriculture and*

Forestry University: Natural Science, 2002, 31(3): 320-323 (in Chinese)

- [3] 朱梅,侯柏华,吴伟南,方小端,郭明昉. 茶园螨类调查及利用胡瓜钝绥螨控制卵形短须螨的初步研究[J]. 环境昆虫学报, 2010,32(2):204-209
Zhu M, Hou B H, Wu W N, Fang X D, Guo M F. Mites of tea plantation and releasing of *Amblyseius cucumeris* for control of *Brevipalpus obovatus*[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010,32(2):204-209 (in Chinese)
- [4] 聂强,孙强. 双斑萤叶甲成虫的取食选择性研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2009,21(4):38-41
Ni Q, Sun Q. Studies on Selective Feeding of Adults of *Monolepta hieroglyphica* [J]. *Journal of Bayi Agricultural University of Heilongjiang*, 2009, 21(4): 38-41 (in Chinese)
- [5] 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[J]. 陕西农业科学,2006(2):125-133
Wang L R, Liu B X, Fu H. Occurrence of damage and control strategies of *Monolepta hieroglyphica* in maize fields [J]. *Shaanxi Agricultural Science*, 2006(2):125-133 (in Chinese)
- [6] 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[J]. 昆虫知识,2010,47(2):322-325
Li G W, Chen X L, Zhang J P, Chen J. Effects of temperature on the life span and reproduction of adults of *Monolepta hieroglyphica*[J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47(2):322-325 (in Chinese)
- [7] 梁日霞,王振营,何康来,丛斌,李菁. 基于线粒体 COII 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[J]. 昆虫学报,2011,54(7):828-837
Liang R X, Wang Z Y, He K L, Cong B, Li J. Genetic diversity of geographic populations of *Monolepta hieroglyphica* from North China estimated by mitochondrial COII gene sequences [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2011, 54(7): 828-837 (in Chinese)
- [8] 郑龙章,张春霞,黄森慰. 茶农使用农药行为影响因素实证研究:以福建省为例[J]. 福建农林大学学报:哲学社会科学版, 2009,12(2):44-49
Zheng L Z, Zhang C X, Huang S W. Empirical research on the impact factors of tea farmers' use of pesticide: Taking Fujian Province as a case [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Philosophical and Social Science*, 2009, 12(2): 44-49 (in Chinese)
- [9] 邹运鼎. 害虫管理中的天敌评价理论与应用[M]. 北京:中国林业出版社,1997
Zou Y D. *Evaluation Theory and Application of Natural Enemies in Pest Management* [M]. Beijing: China Forestry

- Publishing House Press, 1997 (in Chinese)
- [10] Sinu P A. Avian pest control in tea plantations of sub-Himalayan plains of Northeast India; Mixed-species foraging flock matters[J]. *Biological Control*, 2011, 58(3): 362-366
- [11] Chen L L, You M S, Chen S B. Effects of cover crops on spider communities in tea plantations[J]. *Biodiversity Science*, 2011, 59(3): 326-335
- [12] 侯景儒, 黄竞先. 地质统计学的理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 1990
- Hou J R, Huang J X. *Theory and Method of Geostatistics* [M]. Beijing: Journal of Geology, 1990 (in Chinese)
- [13] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990
- Deng J L. *Grey System Theory Course*[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1990 (in Chinese)
- [14] 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[J]. *生态学报*, 2010, 30(15): 4196-4205
- Zhao J, Zhao X, Wang Y J, Li G Q, Liu L P, Meng J H, Zheng F Q. Geostatistical analysis of spatial patterns of *Nesidiocoris tenuis* and its natural enemy spiders [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4196-4205 (in Chinese)
- [15] 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[J]. *昆虫学报*, 2009, 52(1): 65-73
- Wang R, Zhai B P, Hu G, Chen X, Shen H M. Analysis of spatio-temporal dynamics of *Laodelphax striatellus* and spiders in paddy fields based on geostatistics [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(1): 65-73 (in Chinese)

责任编辑: 王燕华