

DOI: 10.5846/stxb202101290315

孙佳照, 张淋, 李子朝, 邹运鼎, 毕守东. 5 种茶园秋冬季天敌与假眼小绿叶蝉空间关系密切程度的差异. 生态学报, 2021, 41(20): 8297-8307.

Sun J Z, Zhang L, Li Z Z, Zou Y D, Bi S D. Differences in the spatial closeness of natural enemies and *Empoasca vitis* in five tea gardens in autumn and winter. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(20): 8297-8307.

5 种茶园秋冬季天敌与假眼小绿叶蝉空间关系密切程度的差异

孙佳照¹, 张淋^{1,2}, 李子朝¹, 邹运鼎², 毕守东^{1,*}

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: 为了明确与假眼小绿叶蝉空间关系密切的天敌种类, 为合理利用和保护天敌提供科学依据。运用地统计学分析方法计算白毫早茶园、黄山大叶种茶园、农抗早茶园、平阳特早茶园和乌牛早茶园秋冬季假眼小绿叶蝉和其主要 6 种天敌地统计学半变异函数的变程。使用灰色系统分析方法对计算结果进行灰色关联度分析, 并对分析结果进行标准化。以标准化后的密切指数大小评判天敌与假眼小绿叶蝉空间关系的密切程度。结果是: 1) 黄山大叶种茶园和农抗早茶园与假眼小绿叶蝉空间关系密切的前 3 位天敌是棕管巢蛛、鳞纹肖蛸和斜纹猫蛛, 但位次不同。2) 白毫早茶园前 3 位天敌是鳞纹肖蛸、斜纹猫蛛和锥腹肖蛸, 前 2 种与黄山大叶种和农抗早茶园相同。3) 平阳特早茶园前 3 位天敌是鳞纹肖蛸、棕管巢蛛和草间小黑蛛, 前 2 种与黄山大叶种和农抗早茶园相同。4) 乌牛早茶园前 3 位天敌是棕管巢蛛、草间小黑蛛和三突花蟹蛛, 只有棕管巢蛛与黄山大叶种和农抗早茶园相同。根据 5 种茶园同种天敌密切指数之和以及同种天敌位次之和评判, 与假眼小绿叶蝉空间关系密切的天敌均是鳞纹肖蛸、棕管巢蛛和斜纹猫蛛。天敌位次的变化主要是害虫和天敌数量之比的比值变化。害虫个体数与某种天敌个体数之比的比值越小, 天敌与害虫的跟随关系则越密切。密切原因与食饵资源短缺有关。

关键词: 茶园; 假眼小绿叶蝉; 天敌; 空间关系; 地统计学; 灰色关联度

Differences in the spatial closeness of natural enemies and *Empoasca vitis* in five tea gardens in autumn and winter

SUN Jiazhao¹, ZHANG Lin^{1,2}, LI Zizhao¹, ZOU Yunding², BI Shoudong^{1,*}

¹ School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

² School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract: In order to clarify the types of natural enemies that are closely related in *Empoasca vitis* at space, and to provide scientific basis for rational use and protection of natural enemies. Therefore we here use geostatistics analysis method to calculate the statistics of semivariogram of *Empoasca vitis* and its main 6 natural enemies in Baihaozao Tea Garden, Huangshan large-leaf Tea Garden, Nongkangzao Tea Garden, Pingyangtezao Tea Garden, and Wuniuzao Tea Garden in autumn and winter. We firstly use the gray system analysis method to analyze the gray correlation degree of the calculation results, and then used the analysis results are standardized. The standardized closeness index is used to judge the closeness of the spatial relationship between natural enemies and *Empoasca vitis*. The result is that: 1) the top three natural enemies that are closely related to the *Empoasca vitis* in Huangshan large-leaf Tea Garden and Nongkangzao Tea Garden are the *Clubiona japonicola*, *Tetragnatha squamata*, and *Oxyopes sertatus*, but they have different orders. 2) The top three natural

基金项目: 国家自然科学基金(30871444); 安徽省高校自然科学基金重点项目(KJ2020A0111)

收稿日期: 2021-01-29; 采用日期: 2021-08-25

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

enemies of Baihaozao Tea Garden are the *Tetragnatha squamata*, *Oxyopes sertatus*, and *Tetragnatha maxillosa*. The first two species of natural enemies are the same as the Huangshan large-leaf Tea Garden and Nongkang Zao Tea Garden. 3) The top three natural enemies of Pingyangtezao Tea Garden are *Tetragnatha squamata*, *Clubiona japonicola*, and *Erigonidium graminicolum*. The first two species of natural enemies are the same as Huangshan large Leaf Tea Garden and Nongkang zao Tea Garden. 4) The top three natural enemies of Wuniuzao Tea Garden are *Clubiona japonicola*, the *Erigonidium graminicolum* and *Misumenops tricuspidatus*. Among the six dominant species of natural enemies, only the *Clubiona japonicola* is the same as Huangshan large-leaf Tea Garden and Nongkangzao Tea Garden natural enemy species. According to the sum of the close indices of the natural enemies' species in the five tea gardens and the ranking of the same species of natural enemies, the natural enemies closely related to the *Empoasca vitis* are all the *Tetragnatha squamata*, *Clubiona japonicola* and *Oxyopes sertatus*. After our investigation and research, we came to the conclusion that the change in the ranking of natural enemies is mainly caused by the change in the ratio of the number of pests to natural enemies. The smaller ratio of the number of individual pest to the number of individual natural enemy, the closer of follow-up relationship between natural enemies and pests is. The close reason is related to the shortage of bait resources.

Key Words: tea garden; *Empoasca vitis*; natural enemies; spatial relationship; geostatistics analysis method; grey correlation

假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* 是东亚最严重的茶叶经济害虫之一^[1]。在我国四大茶区均有发生^[2]。除危害茶树外,还是欧洲和亚洲葡萄树的害虫^[3],同时还能危害豆类、蔬菜、林木、马唐等多种植物。假眼小绿叶蝉刺吸茶叶影响茶的质量和风味,使茶的产量受到影响^[4]。杨林等^[5]用地学统计学方法研究假眼小绿叶蝉及其天敌的空间分布类型,钮羽群等^[6]研究了不同迷迭香挥发物组分对假眼小绿叶蝉行为的调控;黎健龙等^[7]探索不同生态环境对假眼小绿叶蝉种群时空结构的影响;彭萍等^[8]研究了黄板诱杀法控制假眼小绿叶蝉的效果;王沅红等^[9]研究了茶园假眼小绿叶蝉及其天敌蜘蛛的生态位;毕守东等和宋学雨等^[10-11]依据天敌与假眼小绿叶蝉的发生数量、时间和空间上关系的密切程度评判了安徽省茶园假眼小绿叶蝉的优势种天敌。余燕等^[12]研究了“乌牛早”茶园天敌对假眼小绿叶蝉空间跟随关系的密切程度。假眼小绿叶蝉的发生世代数随纬度和海拔不同而不同,长江流域发生 9—11 代^[2],合肥地区茶园假眼小绿叶蝉一年有两个明显的发生高峰,5 月下旬—7 月中旬是第一个高峰,9 月中旬—11 月下旬为第二个发生的高峰^[13-14]。警戒蝇豹 *Tows munitus*、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*、棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* 等蜘蛛类是假眼小绿叶蝉的主要天敌^[15-17]。

天敌与假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切与否直接与天敌对假眼小绿叶蝉的捕食作用大小有关^[18-19]。本文研究秋冬季黄山大叶种、农抗早、乌牛早、白毫早和平阳特早五种茶园天敌与假眼小绿叶蝉空间关系密切程度的差异,借以评判与假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切的天敌种类,为天敌的保护利用和假眼小绿叶蝉的防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查地点和时间

调查地点为安徽农业大学科技示范园茶园,调查 5 个品种茶园面积均为 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。调查时间为 2020 年 9 月 27 日至 2020 年 11 月 20 日,10 天左右调查一次。共调查 6 次。

1.2 调查的茶树品种

调查茶树品种为白毫早、黄山大叶种、农抗早、平阳特早、乌牛早。白毫早 (*C. sinensis* cv. *Baihaozao*) 茶树生长速度快,叶色绿且平滑。适宜在长江流域栽植^[20]。黄山大叶种又名黄山早芽 (*C. sinensis* cv.

Huangshanzaoya), 植株灌木型。大叶类, 早生种, 芽叶生长似花朵状, 叶形椭圆, 色绿, 早春低温易受冻害^[21]。农抗早 (*C. sinensis* cv. *Nongkangzao*) 介于灌木型与小乔木之间, 中叶类。特早生种, 叶面有泡状隆起, 叶色深绿, 抗寒性强能耐 -10℃ 低温^[22]。平阳特早 (*C. sinensis* cv. *Pingyangtezao*) 小乔木型中叶类特早生种, 适应性强, 抗逆性强, 适应性广。常生长于长江流域^[23]。乌牛早植株属灌木型, 中小叶种, 叶色深绿, 芽头肥壮, 茶芽生育力强, 抗寒性和适应性强, 顶端生长优势明显, 扦插繁殖力强, 一芽一叶盛期在 3 月上旬^[24]。

1.3 调查方法

调查采用平行跳跃法, 在供试茶园随机选取 3 行, 每行间隔 1 m 取一个 2 m 长样方, 每行 10 个样方, 共取 30 个样方, 茶树行间距为 1.3 m。先由目测调查每个样方随机选取的 10 片叶片, 然后使用沾有洗衣粉水液搪瓷盘对调查样方中的所有枝条进行盘拍(搪瓷盘口长为 40 cm, 宽为 30 cm, 洗衣粉水液浓度为 1000 倍), 记录害虫及其天敌物种数和个体数。对于调查中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

根据区域变化量理论, 在空间上昆虫种群数量是区域化变量^[5,25-26]。本文利用半变异函数公式为:

$$R^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$$

通过计算假眼小绿叶蝉及其天敌的半变异函数, 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

采用灰色关联度分析法^[5,27], 研究天敌与害虫变程间关联度, 灰色关联度系数公式为: $r_{ij} = \frac{\min \min |Y_i(k) - X_j(k)| + \rho \max \max |Y_i(k) - X_j(k)|}{\max |Y_i(k) - X_j(k)| + \rho \max \max |Y_i(k) - X_j(k)|}$ 。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, 利用公式求出天敌与害虫变程间的关联度 $R(Y_i, X_j) = 1/n \sum r_{ij}(k)$, 若某种天敌的变程与害虫变程的关联度越大, 则表明该种天敌对害虫空间跟随关系越密切。

1.4.3 将灰色关联度标准化

即某茶园天敌与假眼小绿叶蝉之间的关联度除以该类最大的关联度值。其商称为密切指数。密切指数最大为 1, 按密切指数大小顺序, 最大为 1 的天敌即为与假眼小绿叶蝉空间关系密切的第一位天敌, 依次类推。

2 结果与分析

一般情况下, 在害虫数量多时的害虫与天敌之间的关系才能真实反映两者之间的空间关系。黄山大叶种和农抗早茶园的假眼小绿叶蝉数量较多, 所以本文选择上述两种茶园中数量较多的天敌鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*、棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*、斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* 作为茶园中害虫的主要天敌, 分析 5 种茶园中天敌与假眼小绿叶蝉的空间关系密切程度及其差异, 假眼小绿叶蝉及其天敌的种群数量列于表 1。

2.1 地学统计学分析

将白毫早茶园、黄山大叶种茶园、农抗早茶园、平阳特早茶园和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分别列于表 2 和表 3。并选择假眼小绿叶蝉数量多时与其天敌的半变异函数模型与拟合曲线分别绘于图 1—图 3。

表 1 茶园假眼小绿叶蝉及其主要天敌的种群动态/(头/30 样方)

Table 1 Population dynamics of *Empoasca vitis* and their main natural enemies in tea gardens (head/30 squares)

茶园 Tea garden	日期(月-日) Date(Month-day)	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
白毫早 Baihaozao	09-27	1	0	3	0	3	5	0
	10-09	49	4	0	13	0	4	5
	10-20	25	4	2	2	0	1	6
	10-28	31	2	3	7	1	0	7
	11-10	36	5	7	10	5	2	1
	11-20	274	9	2	6	4	0	1
	Σ	416	24	17	38	13	12	20
黄山大叶种 Huangshan Large leaf	09-27	9	5	0	10	6	11	3
	10-09	138	4	1	7	5	17	11
	10-20	122	2	2	10	20	18	12
	10-28	102	2	0	15	27	19	15
	11-10	218	14	6	19	29	7	10
11-20	239	29	14	21	32	7	10	
Σ	828	56	23	82	119	79	61	
农抗早 Nongkangzao	09-27	127	3	0	0	0	20	1
	10-09	96	4	0	11	1	8	8
	10-20	170	4	1	6	5	12	15
	10-28	46	2	3	5	14	13	42
	11-10	74	19	9	9	17	4	25
	11-20	304	24	2	4	7	1	32
Σ	817	56	15	35	44	58	123	
平阳特早 Pingyang tezao	09-27	53	4	0	2	1	9	0
	10-09	74	1	0	15	3	0	13
	10-20	89	5	2	1	2	4	22
	10-28	73	7	2	8	2	12	25
	11-10	104	13	12	5	3	3	23
	11-20	193	17	4	6	8	2	32
Σ	586	47	20	37	19	30	115	
乌牛早 Wuniuzao	09-27	191	2	0	0	4	3	0
	10-09	120	2	0	3	3	3	2
	10-20	86	1	1	3	3	3	9
	10-28	33	2	1	7	2	5	8
	11-10	56	10	4	4	6	2	5
	11-20	64	15	3	9	6	1	5
Σ	550	32	9	26	24	17	29	

* 白毫早茶园为 15 个样方的数值; Y 假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis*; 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 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*; X₆ 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*

表 2 白毫早茶园假眼小绿叶蝉与其天敌的半变异函数特征参数

Table 2 Semivariogram characteristic parameters of *Empoasca vitis* and its natural enemies in Baihaozao Tea Garden

时间(月-日) Time(Month-day)	物种 Species	模型 Model	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Variation	决定系数 Decisive factor	分布型 Distributed
09-27	Y	球形	-0.007	0.0113	-0.0497	0.0802	3.2442	0.8519	A
	X ₁	球形	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	A
	X ₂	球形	0.0014	-0.0222	0.0743	0.0999	2.0868	0.9493	A
	X ₃	球形	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	A
	X ₄	球形	0.0010	-0.0177	0.0648	0.0940	2.2880	0.7917	A
	X ₅	球形	-0.0012	0.0199	-0.0889	0.2334	3.0404	0.9516	A
10-09	X ₆	球形	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	A
	Y	球形	-0.0312	0.3205	-0.8199	4.4423	1.7033	0.8440	A
	X ₁	球形	-0.0004	0.0063	-0.0372	0.1411	3.5500	0.7844	A

续表

时间(月-日) Time(Month-day)	物种 Species	模型 Model	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Variation	决定系数 Decisive factor	分布型 Distributed
10-20	X ₂	球形	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	A
	X ₃	球形	-0.0061	0.0894	-0.3961	0.8344	3.3724	0.9032	A
	X ₄	球形	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	A
	X ₅	球形	-0.0017	0.0234	-0.0988	0.2578	3.3105	0.6678	A
	X ₆	球形	-0.0018	0.0230	-0.0763	0.1809	2.2545	0.7197	A
	Y	球形	-0.0123	0.1813	-0.9269	2.6111	6.1000	0.9334	A
10-28	X ₁	球形	-0.0002	0.0049	-0.0399	0.1629	6.1788	0.5111	A
	X ₂	球形	0.0006	-0.0074	0.0187	0.0476	1.5448	0.7029	A
	X ₃	球形	0.0005	-0.0085	0.0284	0.0396	2.0913	0.9771	A
	X ₄	球形	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	A
	X ₅	球形	0.0002	-0.0032	0.0089	0.0293	1.6732	0.8531	A
	X ₆	球形	-0.0016	0.0271	-0.1599	0.4792	3.9566	0.5035	A
11-10	Y	球形	-0.0336	0.5475	-3.0486	8.0982	4.0000	0.6274	A
	X ₁	球形	0.0005	-0.0085	0.0284	0.0396	2.0913	0.9771	A
	X ₂	球形	-0.0009	0.0120	-0.0605	0.2166	4.1000	0.8511	A
	X ₃	球形	0.0011	-0.0123	0.0024	0.3206	0.0996	0.7198	A
	X ₄	球形	-0.0005	0.0071	-0.0337	0.0697	3.8733	0.8420	A
	X ₅	球形	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	A
11-20	X ₆	球形	-0.0017	0.0282	-0.1582	0.4083	7.4000	0.6368	A
	Y	球形	-0.0323	0.4937	-2.4616	6.1682	4.3549	0.6680	A
	X ₁	球形	-0.0017	0.0236	-0.0946	0.2056	2.9677	0.9421	A
	X ₂	球形	-0.0060	0.0847	-0.3482	0.6946	3.0368	0.6849	A
	X ₃	球形	-0.0048	0.0695	-0.3119	0.7027	3.5563	0.7903	A
	X ₄	球形	-0.0012	0.0159	-0.0553	0.1307	2.3779	0.9006	A
11-20	X ₅	球形	0.0005	-0.0085	0.0284	0.0396	2.0913	0.9771	A
	X ₆	球形	0.0000	0.0001	-0.0028	0.0269	8.8500	0.7918	A
	Y	球形	0.0750	-0.8680	0.3687	23.2778	2.4845	0.8298	A
	X ₁	球形	-0.0054	0.0838	-0.4314	1.1011	2.8781	0.9211	A
	X ₂	球形	-0.0011	0.0186	-0.1147	0.4574	5.0000	0.5787	A
	X ₃	球形	0.0006	-0.0089	-0.0153	0.5293	1.8536	0.7780	A
11-20	X ₄	球形	0.0127	-0.1750	0.5049	0.9924	4.0420	0.6634	A
	X ₅	球形	-0.0014	0.0219	-0.1192	0.3264	0.0000	0.9182	A
	X ₆	球形	-0.0031	0.0450	-0.1994	0.4778	6.1000	0.9268	A

* A 为聚集分布, Aggregated; 半变异函数理论模型 Semivariogram theory model : $y=C_1X^3+C_2X^2+C_3X+C_4$

表 3 黄山大叶种茶园、农抗早茶园、平阳特早茶园、乌牛早茶园假眼小绿叶蝉与其天敌的半变异函数特征参数

Table 3 Semivariogram characteristic parameters of Huangshan large-leaf Tea Garden, Nongkangzao Tea Garden, Pingyangtezao Tea Garden, Wuniuzao Tea Garden *Empoasca vitis* and its natural enemies

时间(月-日) Time(Month-day)	物种 Species	黄山大叶种茶园 Huangshan large-leaf Tea Garden		农抗早茶园 Nongkangzao Tea Garden		平阳特早茶园 Pingyangtezao Tea Garden		乌牛早茶园 Wuniuzao Tea Garden	
		变程	决定系数	变程	决定系数	变程	决定系数	变程	决定系数
09-27	Y	3.8500	0.8386	2.5557	0.8363	1.5049	0.6991	4.7040	0.7521
	X ₁	9.0000	0.8392	4.5030	0.8862	4.3250	0.7367	3.9486	0.6439
	X ₂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X ₃	4.2863	0.9289	0.0000	0.0000	3.3567	0.8881	0.0000	0.0000
	X ₄	3.0763	0.8871	0.0000	0.0000	6.3230	0.6520	6.6580	0.8208
	X ₅	6.3500	0.9146	2.4665	0.9572	2.6817	0.4733	1.3925	0.9541
10-09	X ₆	2.0623	0.9348	1.6732	0.8531	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Y	5.2000	0.7410	5.1150	0.9054	1.7872	0.9688	3.6188	0.6882
	X ₁	6.1350	0.5981	2.6889	0.8613	8.0950	0.7918	1.1629	0.9009

续表

时间(月-日) Time(Month-day)	物种 Species	黄山大叶种茶园 Huangshan large-leaf Tea Garden		农抗早茶园 Nongkangzao Tea Garden		平阳特早茶园 Pingyangtezao Tea Garden		乌牛早茶园 Wuniuzao Tea Garden	
		变程	决定系数	变程	决定系数	变程	决定系数	变程	决定系数
10-20	X_2	3.8733	0.8420	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	X_3	0.6806	0.8852	0.0162	0.9019	2.2025	0.9250	1.0366	0.8028
	X_4	6.0000	0.8021	1.5667	0.8922	0.0000	0.0000	8.9556	0.5367
	X_5	4.4250	0.5224	3.2519	0.1370	0.0000	0.0000	8.7750	0.5573
	X_6	7.1000	0.8056	3.6235	0.7144	0.0000	0.0000	1.3574	0.6156
	Y	4.2552	0.9123	2.4621	0.5393	4.1510	0.7789	5.6886	0.5110
10-28	X_1	3.3567	0.8881	2.4396	0.9809	1.7612	0.8928	1.5667	0.8922
	X_2	3.9973	0.8978	6.1520	0.6520	2.2139	0.8525	1.6732	0.8531
	X_3	8.8560	0.7447	4.7000	0.5390	1.6732	0.8531	3.4520	0.8936
	X_4	3.8116	0.6256	2.5139	0.9542	4.7689	0.9008	3.3903	0.9144
	X_5	5.1456	0.7404	3.7621	0.8087	6.4920	0.6419	4.0550	0.6465
	X_6	4.3910	0.9027	4.4000	0.8931	1.0859	0.9257	1.8955	0.8627
11-10	Y	3.0251	0.7004	1.8189	0.9497	1.2590	0.4631	8.5575	0.7985
	X_1	3.2123	0.7145	1.6732	0.8531	1.1561	0.9162	1.1259	0.9469
	X_2	0.0000	0.0000	9.0000	0.7832	5.4856	0.6152	3.5791	0.9007
	X_3	3.6471	0.7508	0.8513	0.4900	1.6565	0.9008	3.3278	0.8552
	X_4	6.7500	0.9424	5.7580	0.9703	7.8110	0.7388	3.3567	0.8881
	X_5	3.3224	0.8299	5.9000	0.8408	7.8560	0.2733	3.6662	0.6478
11-20	X_6	8.9500	0.6535	3.8139	0.8256	3.8953	0.7742	3.9080	0.8822
	Y	2.9207	0.7322	5.3000	0.7127	3.2859	0.8708	5.3398	0.5940
	X_1	3.8909	0.6096	5.2000	0.8747	2.1000	0.9284	3.9413	0.9263
	X_2	5.5350	0.7914	3.0497	0.9062	8.9520	0.5640	5.8870	0.6847
	X_3	0.7470	0.9476	5.5800	0.8689	3.9791	0.8103	1.4761	0.7210
	X_4	9.0000	0.8038	4.0665	0.7496	1.9011	0.9427	6.2280	0.8190
11-20	X_5	2.9540	0.9646	3.7032	0.7257	3.9670	0.8857	5.5843	0.6152
	X_6	3.9868	0.6506	1.3858	0.1966	5.8490	0.7988	6.1145	0.9297
	Y	0.2186	0.8298	1.0351	0.6002	4.7880	0.9371	0.0089	0.9457
	X_1	4.8622	0.9211	7.1000	0.5908	5.7960	0.5106	6.1180	0.7382
	X_2	5.6104	0.5787	8.5350	0.7918	2.0551	0.9848	4.4750	0.8650
	X_3	5.5000	0.7780	4.0242	0.9296	7.6110	0.7417	4.2905	0.6508
11-20	X_4	1.7949	0.6634	6.2000	0.9607	0.5410	0.8581	4.5578	0.8719
	X_5	4.1150	0.9182	2.2376	0.9402	3.2123	0.7145	3.8733	0.8420
	X_6	3.4854	0.9268	0.9365	0.7372	2.9500	0.7251	4.6879	0.7445

由表 2 看出 11 月 20 日锥腹肖蛸半变异函数理论模型的决定系数 R^2 最小, 为 0.5787, R 为 0.7588; 表 3 中黄山大叶种茶园 10 月 9 日的棕管巢蛛半变异函数理论模型的决定系数 R^2 最小, R^2 为 0.5224, R 为 0.7228; 表 3 中农抗早茶园 10 月 28 日草间小黑蛛半变异函数理论模型决定系数 R^2 最小, 决定系数 R^2 为 0.4900, R 为 0.7000; 表 3 中平阳特早茶园 10 月 28 日棕管巢蛛的半变异函数模型决定系数 R^2 最小, 决定系数 R^2 为 0.2733, R 为 0.5228; 表 3 中 10 月 9 日乌牛早茶园假眼小绿叶蝉理论半变异函数模型决定系数 R^2 最小, 决定系数 R^2 为 0.5110, R 为 0.7148。df = 26 时, $r_{0.05} = 0.374$, $r_{0.01} = 0.478$ 。表 2 与表 3 中决定系数 R^2 的 R 值均大于 $r_{0.01}$ (0.478) 表明理论模型与实况吻合度极高。且均为球形模型。

2.2 五种茶园之间天敌与假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切程度的差异

将 5 种茶园天敌与假眼小绿叶蝉地学统计学半变异函数变程间的灰色关联度和密切指数列于表 4, 与假

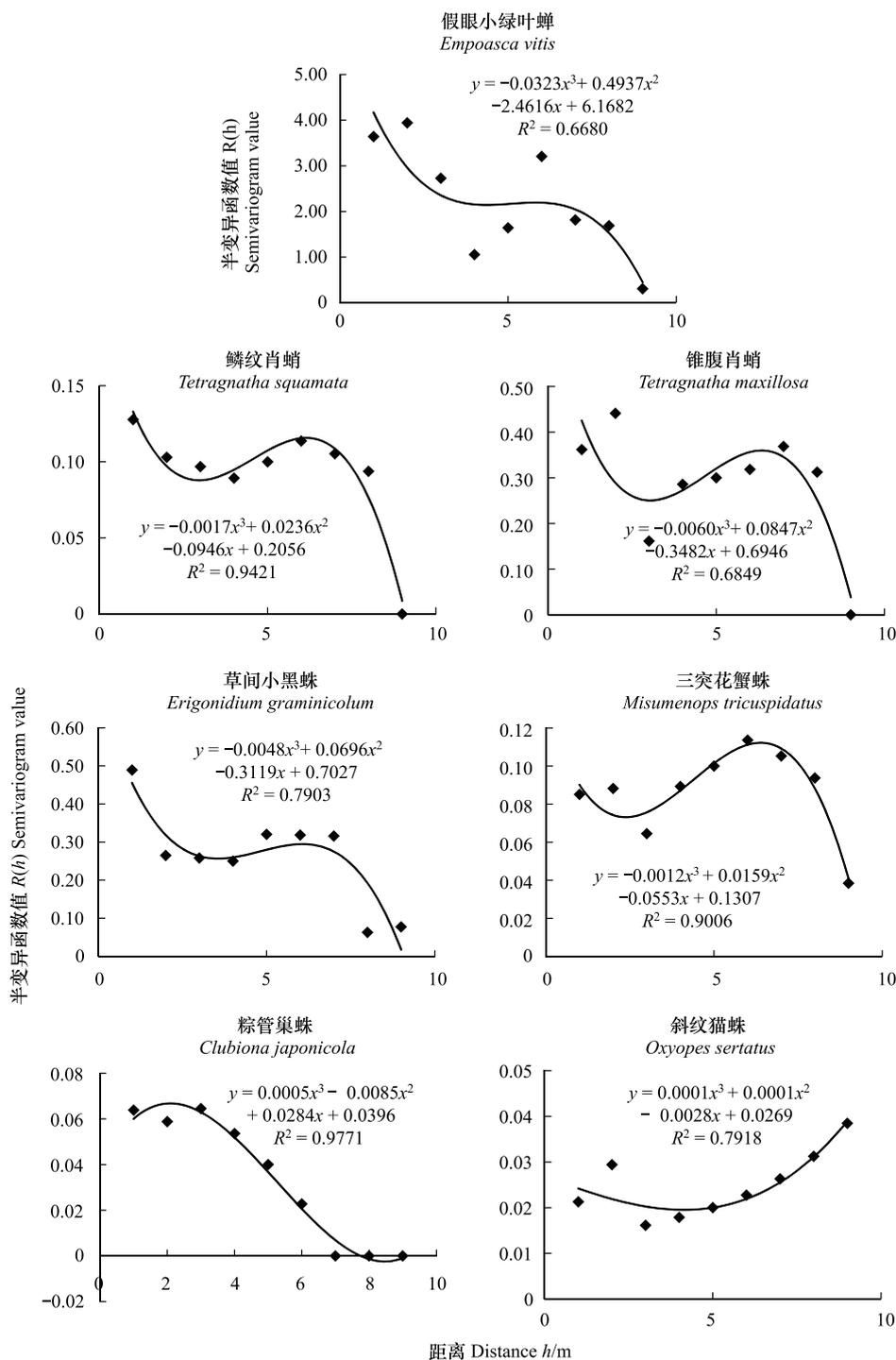


图 1 白毫早茶园假眼小绿叶蝉与其 6 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(11 月 10 日)

Fig.1 Semivariogram model and fitting curve of *Empoasca vitis* and its 6 natural enemies in Baihaozao Tea Garden (November 10)

Y 假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis*; 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 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*; X₆ 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*

眼小绿叶蝉空间关系密切的前三位天敌,白毫早茶园是鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸和斜纹猫蛛;黄山大叶种茶园的是棕管巢蛛、鳞纹肖蛸和斜纹猫蛛;农抗早茶园是棕管巢蛛、斜纹猫蛛和鳞纹肖蛸;平阳特早茶园是草间小黑蛛、棕管巢蛛和鳞纹肖蛸;乌牛早茶园是三突花蟹蛛、草间小黑蛛和棕管巢蛛。将 5 种茶园同种天敌的密切指数

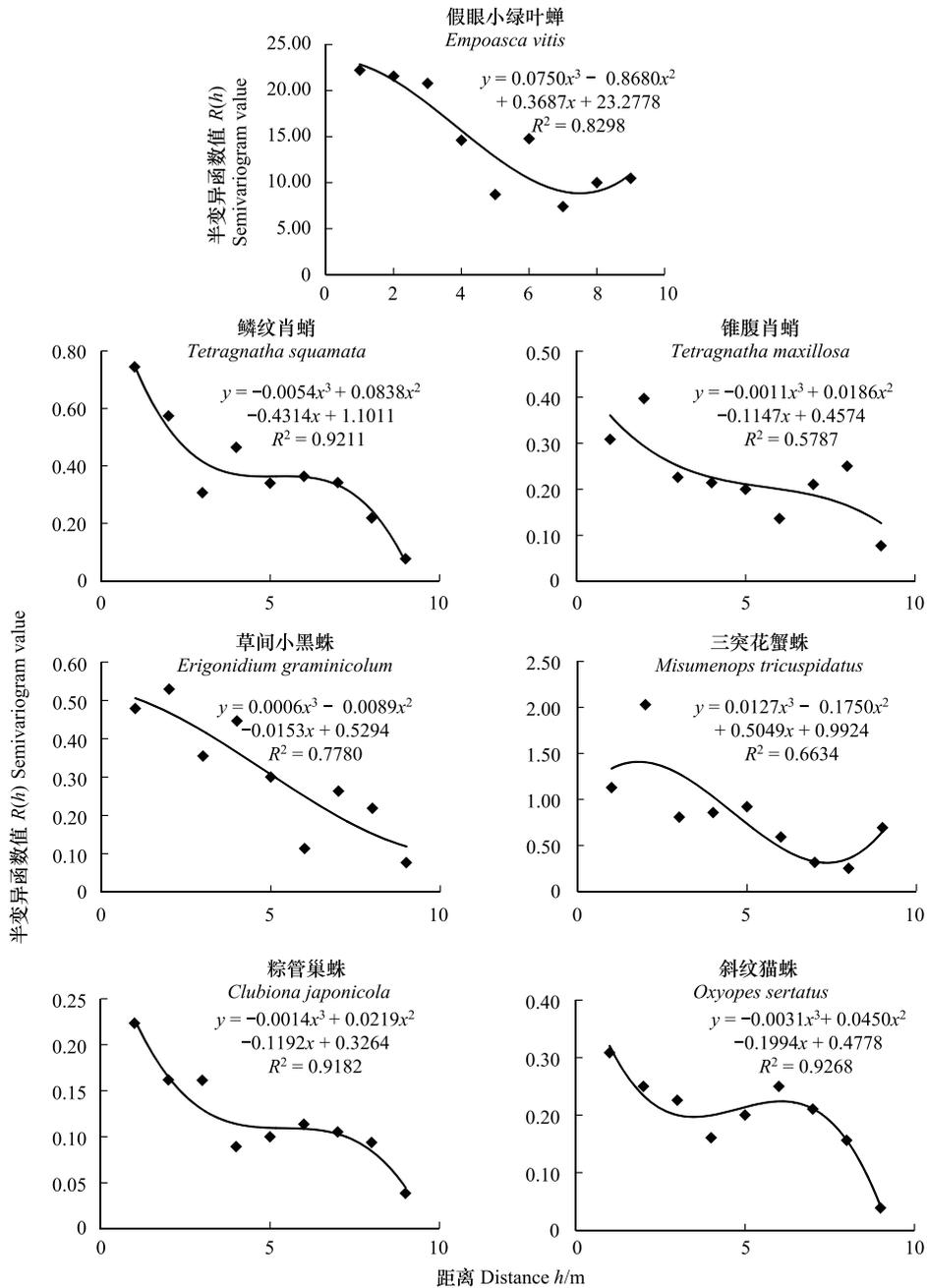


图2 黄山大叶种茶园假眼小绿叶蝉与其6种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(11月20日)

Fig.2 Semivariogram model and fitting curve of *Empoasca vitis* and its six natural enemies in Huangshan large-leaf Tea Garden (November 20)

汇总,进行排序。茶园前三位的天敌依次是鳞纹肖蛸、棕管巢蛛和斜纹猫蛛,将5种茶园同种天敌位次汇总进行排序,前3位天敌是棕管巢蛛、鳞纹肖蛸和斜纹猫蛛,两种方法得出前3位天敌种类相同。

3 小结与讨论

利用地学统计学方法结合灰色关联度法,研究白毫早、黄山大叶种、农抗早、平阳特早和乌牛早茶园秋冬季天敌与假眼小绿叶蝉之间的空间关系,结果是:1)、黄山大叶种和农抗早两种茶园与假眼小绿叶蝉空间关系密切的前3位天敌是鳞纹肖蛸、棕管巢蛛和斜纹猫蛛,但位次不同。2)、平阳特早茶园与假眼小绿叶蝉空间关系密切的前3位天敌是草间小黑蛛、棕管巢蛛和鳞纹肖蛸,与黄山大叶种和农抗早茶园相比,前3位天敌有

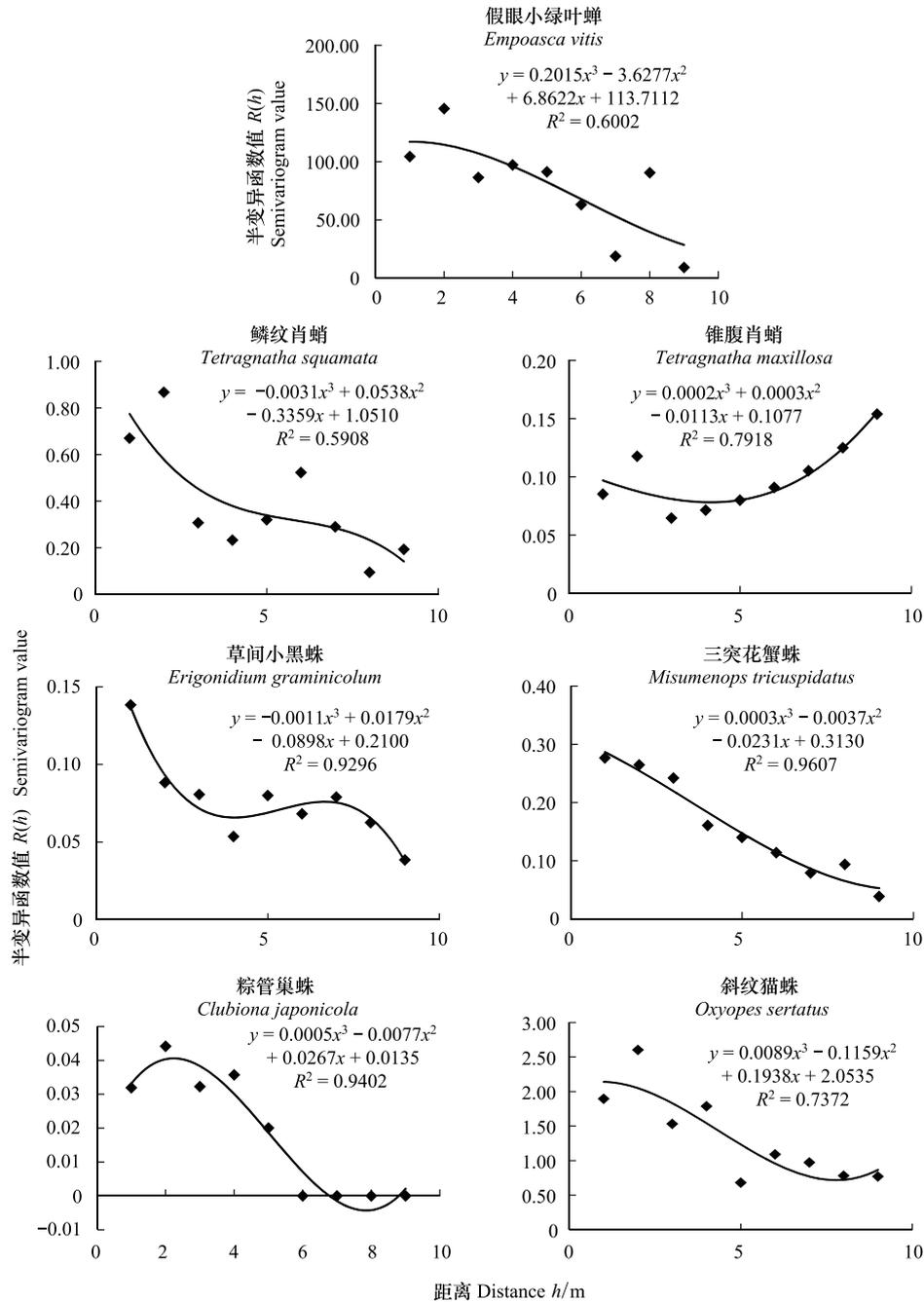


图 3 农抗旱茶园假眼小绿叶蝉与其 6 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(11 月 20 日)

Fig.3 Semivariogram model and fitting curve of *Empoasca vitis* and its six natural enemies in Nongkangzao Tea Garden (November 20)

棕管巢蛛和鳞纹肖蛸相同。3)、白毫早茶园与假眼小绿叶蝉空间关系密切的前 3 位天敌是鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸和斜纹猫蛛,与黄山大叶种和农抗旱茶园相比,有鳞纹肖蛸和斜纹猫蛛相同。4)、乌牛早茶园与假眼小绿叶蝉空间关系密切的前 3 位天敌是草间小黑蛛、锥腹肖蛸和棕管巢蛛。与黄山大叶种和农抗旱茶园前 3 位天敌相比只有棕管巢蛛一种相同。与平阳特早茶园相比,前 3 位天敌中只有棕管巢蛛一种天敌相同。乌牛早茶园的结果与其它 4 种茶园的结果差别比较大。

表 4 五个茶园中害虫与天敌之间的灰色关联度与密切指数

Table 4 Gray correlation degree and close index between pests and natural enemies in five tea gardens

茶园 Tea garden	项目 Project	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
白毫早	灰色关联度	0.7460	0.7441	0.6356	0.6950	0.6513	0.7188
	密切指数	1.0000	0.9975	0.8520	0.9316	0.8731	0.9635
	位次	1	2	6	4	5	3
黄山大叶种	灰色关联度	0.7513	0.6396	0.6699	0.7180	0.8117	0.7936
	密切指数	0.9256	0.7880	0.8253	0.8846	1.0000	0.9770
	位次	3	6	5	4	1	2
农抗早	灰色关联度	0.7323	0.5444	0.6198	0.6391	0.7370	0.7365
	密切指数	0.9936	0.7387	0.8410	0.8672	1.0000	0.9993
	位次	3	6	5	4	1	2
平阳特早	灰色关联度	0.7049	0.5981	0.8394	0.6207	0.7478	0.6310
	密切指数	0.8398	0.7125	1.0000	0.7395	0.8909	0.7517
	位次	3	6	1	5	2	4
乌牛早	灰色关联度	0.7045	0.6502	0.7250	0.7517	0.7246	0.6840
	密切指数	0.9372	0.8650	0.9645	1.0000	0.9639	0.9099
	位次	4	6	2	1	3	5
	密切指数合计	4.6962	4.1017	4.4828	4.4229	4.7279	4.6014
	密切指数合计排序	2	6	4	5	1	3
	位次总数合计	14	26	19	18	12	16
	总位次排序	2	6	5	4	1	3

为何乌牛早茶园与其它茶园的結果差别大,由表 1 可以看出可能与乌牛早茶园假眼小绿叶蝉数量明显少于前 3 种茶园的數量有关,在相同的气候条件下乌牛早茶园假眼小绿叶蝉数量较少,可能与假眼小绿叶蝉的抗性有关。根据报道利用 EPG 技术与化学分析检测证明乌牛早茶树对假眼小绿叶蝉具有较强的抗性^[28-33]。除此之外,气候条件也影响假眼小绿叶蝉的数量变化。与 2015 年和 2016 年相比,秋冬季同期乌牛早茶平均每次调查假眼小绿叶蝉的数量,2015 年为 203 头,2016 年为 530.25 头/30 样方。假眼小绿叶蝉适于温暖湿润的气候发生,适温区为 17—28℃,最适温度为 20—26℃。且配合时晴时雨的天气有利于假眼小绿叶蝉的生长发育^[2]。2020 年 9 月 16—30 日,10 月和 11 月 1 日—11 月 20 日三个时间段,平均最高气温分别是 25.33℃、20.81℃和 20.40℃,平均最低气温分别是 17.07℃、11.87℃和 9.15℃、雨日数分别为 5 天、10 天和 3 天。2015 年同期的最高温度分别为 28℃、23.84℃和 16.45℃,最低气温分别是 19.47℃、14.06℃和 10.20℃,雨日数分别是 5 天、7 天和 12 天。2016 年同期最高气温依次是 26.80℃、20.90℃和 17.5℃,最低气温为 18.93℃、15.90℃和 9.55℃。雨日数为 6 天、21 天和 6 天。2015 年、2016 年无论最高气温、最低气温和雨日数均高于 2020 年。2015 年和 2016 年同期的气候温度有利于假眼小绿叶蝉的生长发育,所以 2015 年和 2016 年同期假眼小绿叶蝉数量较多,同时天敌数量也发生了变化。2015 年同期与假眼小绿叶蝉空间关系密切的前 3 位天敌是锥腹肖蛸、鳞纹肖蛸和棕管巢蛛,2016 年同期是锥腹肖蛸、棕管巢蛛和八点球腹蛛^[13],与 2020 年的结果稍有不同。

为何同一种茶园中天敌与假眼小绿叶蝉空间关系密切程度有差异,从表 1 和表 4 可看出农抗早茶园第一位天敌是棕管巢蛛,第六位是锥腹肖蛸,假眼小绿叶蝉与相应天敌个体数的比值为 14.09 和 54.47。平阳特早茶园第一位天敌是草间小黑蛛,第六位是锥腹肖蛸,假眼小绿叶蝉与相应的个体之比为 15.84 和 29.30,乌牛早茶园第一位的是三突花蟹蛛,第六位是锥腹肖蛸。假眼小绿叶蝉与相应天敌个体数之比为 22.92 和 61.11。可看出假眼小绿叶蝉空间关系密切第一位比值显著小于假眼小绿叶蝉与第六位个体数比值。

本文是把 6 种蜘蛛作为单食性天敌考虑,且没有考虑蜘蛛为了食物的种间竞争。蜘蛛是多食性的,要深入分析天敌对相应害虫空间跟随关系还要考虑天敌的多种食饵共存时的情况,分析天敌对各种食饵的嗜性

以及对每种食饵发生的种间竞争,这些内容有待于进一步研究。

参考文献(References):

- [1] Wei Q, Mu X C, Yu H Y, Niu C D, Wang L X, Zheng C, Chen Z, Gao C F. Susceptibility of *Empoasca vitis* (Hemiptera: Cicadellidae) populations from the main tea-growing regions of China to thirteen insecticides. *Crop Protection*, 2017, 96: 204-210.
- [2] 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: 241-243.
- [3] Nieri R, Mazzoni V. The reproductive strategy and the vibrational duet of the leafhopper *Empoasca vitis*. *Insect Science*, 2018, 25(5): 869-882.
- [4] Li J Y, Shi M Z, Fu J W, He Y C, Perović D J, Wang T. Physiological and biochemical responses of *Camellia sinensis* to stress associated with *Empoasca vitis* feeding. *Arthropod-Plant Interactions*, 2018, 12(1): 65-75.
- [5] 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): 4215-4227.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 彭萍, 唐敏, 侯渝嘉, 林强, 黄尚俊, 邓敏, 胡翔, 张莹. 黄板诱杀茶园黑刺粉虱及假眼小绿叶蝉效果及特性研究. *西南农业学报*, 2010, 23(1): 87-90.
- [9] 王沅江, 谢振伦, 庞雄飞. 假眼小绿叶蝉及天敌蜘蛛生态位的研究. *茶叶科学*, 2008, 28(6): 401-406.
- [10] 毕守东, 张书平, 余燕, 王振兴, 李尚, 邹运鼎. 安徽省茶园假眼小绿叶蝉优势种天敌的评判. *植物保护学报*, 2019, 46(4): 910-917.
- [11] 宋学雨, 钱广晶, 张书平, 余燕, 李尚, 毕守东, 周夏芝, 邹运鼎. 白毫早茶园 3 种害虫与其捕食性天敌的数量、时间和空间关系. *生态学报*, 2020, 40(3): 1004-1014.
- [12] 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差异. *生态学报*, 2018, 38(13): 4817-4833.
- [13] 王振兴. 合肥地区乌牛早茶园节肢动物群落动态研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [14] 李尚. 江淮地区白毫早茶园节肢动物群落动态及优势种天敌研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [15] 谢振伦. 警戒蝇豹对假眼小绿叶蝉的捕食功能反应. *广东茶业*, 1993, (1): 41-44.
- [16] 潘亚飞, 赵敬钊. 三突花蛛对茶小绿叶蝉的捕食作用及其模拟模型的研究. *蛛形学报*, 1995, 4(1): 41-44.
- [17] 王沅江, 张觉晚. 棕管巢蛛对假眼小绿叶蝉的捕食密度反应. *茶叶科学简报*, 1990, (4): 37-38.
- [18] 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: 135-138.
- [19] 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: 27-90.
- [20] 区胜基. 白毫早等茶树品种在昭平县生长适应性研究. *中国茶叶*, 2019, 41(9): 46-49.
- [21] 陈文怀. 我国茶树品种资源概况. *茶叶通讯*, 1981, (1): 22-26.
- [22] 张翠玲, 侯君合, 胡维军, 王正欣. 几个适制卷茶的无性系品种比较试验. *山东农业科学*, 2009, (12): 40-42, 47-47.
- [23] 林平, 苏国崇. “平阳特早”茶良种在磐安、武义等地种植的初步调查. *温州农业科技*, 2006, (3): 44-45.
- [24] 孙淑娟. 永嘉乌牛早茶产业的发展. *茶叶*, 2003, 29(2): 92-93.
- [25] 侯景儒, 黄竞先. 地质统计学的理论与方法. 北京: 地质出版社, 1990: 82-102.
- [26] 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.
- [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] 郑雨婷, 王梦馨, 崔林, 韩善捷, 俞鹏飞, 韩宝瑜. 基于 EPG 技术分析茶树品种对茶小绿叶蝉的抗性及其相关的抗性物质. *生态学报*, 2017, 37(23): 8015-8028.
- [29] 曾莉, 王平盛, 许玫. 茶树对假眼小绿叶蝉的抗性研究. *茶叶科学*, 2001, 21(2): 90-93.
- [30] 邹武, 林乃铨, 王庆森. 福建主要茶树品种理化特性与假眼小绿叶蝉种群数量的相关性分析. *华东昆虫学报*, 2006, 15(2): 129-134.
- [31] 金珊, 孙晓玲, 张新忠, 叶乃兴, 陈宗懋. 8 个茶树品种生化成分分析及抗性成分的初步鉴定. *应用昆虫学报*, 2016, 53(3): 516-527.
- [32] 张贻礼, 张觉晚, 杨阳, 黄亚辉, 王沅江. 茶树抗虫品种资源调查及抗性机制研究——II. 不同品种茶树特征特性对假眼小绿叶蝉抗性的相关分析. *茶叶通讯*, 1994, (2): 4-6.
- [33] 金珊, 孙晓玲, 陈宗懋, 肖斌. 不同茶树品种对假眼小绿叶蝉的抗性. *中国农业科学*, 2012, 45(2): 255-265.