

DOI: 10.5846/stxb201810092177

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.

Song X Y, Qian G J, Zhang S P, Yu Y, Li S, Bi S D, Zhou X Z, Zou Y D. Relationship between the quantity, time, and space of three pests and their predatory natural enemies in Baihaozao Tea Garden. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(3): 1004-1014.

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

宋学雨^{1,2}, 钱广晶², 张书平², 余燕^{1,2}, 李尚^{1,2}, 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:为了合理利用和保护天敌进行卵形短须螨、双斑长跗蚱叶甲和假眼小绿叶蝉的综合防治,用灰色系统分析方法和生态位分析法对合肥地区白毫早茶园 3 种主要害虫与其捕食性天敌在数量、时间、空间等方面关系进行分析,利用害虫与天敌关系密切指数之和综合评判 9 种天敌与 3 种害虫关系密切的前四位天敌。2015 年卵形短须螨的前四位天敌是鳞纹肖蛸(5.3079)、三突花蟹蛛(5.1716)、锥腹肖蛸(4.8367)和草间小黑蛛(4.7869);2016 年前四位天敌依次是三突花蟹蛛(5.3975)、鳞纹肖蛸(4.9414)、茶色新圆蛛(4.8757)、锥腹肖蛸(4.6815)。对两年结果综合分析,卵形短须螨的前四位天敌依次是三突花蟹蛛(10.5691)、鳞纹肖蛸(10.2493)、茶色新圆蛛(9.6353)和锥腹肖蛸(9.5182)。2015 年双斑长跗蚱叶甲的前四位天敌依次是锥腹肖蛸(5.6926)、异色瓢虫(5.6976)、八斑球腹蛛(5.5101)和斜纹猫蛛(5.4552);2016 年依次是茶色新圆蛛(5.2909)、锥腹肖蛸(5.2710)、鳞纹肖蛸(5.1063)和斜纹猫蛛(5.0703)。对两年结果综合评判,双斑长跗蚱叶甲的前四位天敌是锥腹肖蛸(10.9636)、茶色新圆蛛(10.6578)、异色瓢虫(10.7580)和鳞纹肖蛸(10.5437)。2015 年假眼小绿叶蝉的前四位天敌依次是锥腹肖蛸(5.3614)、棕管巢蛛(5.2259)、斜纹猫蛛(5.1300)和茶色新圆蛛(4.7472);2016 年是锥腹肖蛸(5.2666)、棕管巢蛛(5.2561)、草间小黑蛛(4.9376)和斜纹猫蛛(4.8335)。对两年结果综合评判,假眼小绿叶蝉的前四位天敌依次是锥腹肖蛸(10.6280)、棕管巢蛛(10.4820)、斜纹猫蛛(9.9635)和茶色新圆蛛(8.6137)。该研究结果为白毫早茶园 3 种害虫防治时合理保护和利用自然界的天敌的种类提供了科学依据。

关键词:白毫早茶园;3 种害虫;捕食性天敌;种群动态;数学分析

Relationship between the quantity, time, and space of three pests and their predatory natural enemies in Baihaozao Tea Garden

SONG Xueyu^{1,2}, QIAN Guangjing², ZHANG Shuping², YU Yan^{1,2}, LI Shang^{1,2}, BI Shoudong^{1,*}, ZHOU Xiazhi², ZOU Yunding²

1 College 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 natural enemies, the comprehensive prevention and control of *Brevipalpus obovatus* Donnadieu, *Monolepta hieroglyphica* Mots, and *Empoasca vitis* Gothe, grey system and niche analysis were used to analyze the relationship between three main pests and their predatory natural enemies in quantity, time, and space. The sum of the close relationship between pests and natural enemies was used to comprehensively judge the first four natural enemies with close relationship between the nine natural enemies and the three pests. The first four natural enemies of the *Brevipalpus*

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)

收稿日期:2018-10-09; 网络出版日期:2019-11-20

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

obovatus in 2015 were *Tetragnatha syusmata* (5.3079), *Misumenops tricuspdatum* (5.1716), *Tetragnatha maxillosa* (4.8367), and *Erigonidium graminicolum* (4.7869). In 2016, there were *Misumenops tricuspdatum* (5.3975), *Tetragnatha syusmata* (4.9414), *Neoscona theisi* (4.8757), and *Tetragnatha maxillosa* (4.6815). For the comprehensive analysis of two-year results, the first four natural enemies of *Brevipalpus obovatus* were *Misumenops tricuspdatum* (10.5691), *Tetragnatha syusmata* (10.2493), *Neoscona theisi* (9.6353), and *Tetragnatha maxillosa* (9.5182). In 2015, the first four natural enemies of *Monolepta hieroglyphica* were *Tetragnatha maxillosa* (5.6926), *Harmonia axyridis* (5.6976), *Theridion octmaculatum* (5.5101), and *Oxyopes sertatus* (5.4552). In 2016, there were *Neoscona theisi* (5.2909), *Tetragnatha maxillosa* (5.2710), *Tetragnatha syusmata* (5.1063), and *Oxyopes sertatus* (5.0703). For the comprehensive evaluation of two-year results, the first four natural enemies of *Monolepta hieroglyphica* were *Tetragnatha maxillosa* (10.9636), *Neoscona theisi* (10.6578), *Harmonia axyridis* (10.7580), and *Tetragnatha syusmata* (10.5437). In 2015, the first four natural enemies of the *Empoasca vitis* were *Tetragnatha maxillosa* (5.3614), *Clubiona japonicola* (5.2259), *Oxyopes sertatus* (5.1300), and *Neoscona theisi* (4.7472). In 2016, there were *Tetragnatha maxillosa* (5.2666), *Clubiona japonicola* (5.2561), *Erigonidium graminicolum* (4.9376), and *Oxyopes sertatus* (4.8335). For the comprehensive evaluation of the two-year results, the first four natural enemies of the *Empoasca vitis* were *Tetragnatha maxillosa* (10.6280), *Clubiona japonicola* (10.4820), *Oxyopes sertatus* (9.9635), and *Neoscona theisi* (8.6137). The results provide a scientific basis for rational protection and utilization of natural enemies in the three pest control areas of Baihaozao Tea Garden.

Key Words: Baihaozao tea garden; three species of pests; predatory natural enemies; population dynamics; mathematical analysis

茶树害虫是影响茶叶产量和品质的主要因子之一,天敌是影响茶树害虫种群消长的重要生态因子。茶园害虫与其天敌的相互依存、相互制约的关系,是在长期进化过程中形成的^[1-2]。

卵形短须螨(*Brevipalpus obovatus* Donnadieu)、双斑长跗萤叶甲(*Monolepta hieroglyphica* Mots)和假眼小绿叶蝉(*Empoasca vitis* Gothe)是江淮地区茶园主要害虫。2015年3种害虫的数量占植食类的58.10%,2016年占50.27%。卵形短须螨的成螨多分布在叶背刺吸危害,影响树势,导致芽梢稀瘦,影响茶叶的品质和产量。宋晓川等^[3]研究了该螨在茶树东、南、西、北和上、中、下的分布格局状态,均为均匀分布格局。王品维等^[4]研究用65%炔螨特·竹焦油乳油防治卵形短须螨的效果2000倍液药后7d、14d和21d的平均校正防效分别为96.7%、98.3%和97.1%王建盼等^[5]报道“安吉白茶”茶园卵形短须螨的主要天敌是草间小黑蛛(*Erigonidium graminicolum*)、黑色蝇虎(*Plexippus paykuli*)和棕管巢蛛(*Clubiona japonicola* Boes.)等。双斑长跗萤叶甲成虫、幼虫均可危害茶树,是近年南方茶区危害成灾的新害虫^[6-7]。李产伟等^[8]研究温度对双斑长跗萤叶甲成虫寿命和生殖力的影响;梁日霞等^[9]对来自中国北方不同地理种群的双斑长跗萤叶甲线粒体细胞色素c氧化酶亚基II(coII)基因片段序列核苷酸多态性的研究表明,这些地区的双斑长跗萤叶甲的不同地理种群间已发生明显的遗传分化。李尚等^[10]报道乌牛早茶园双斑长跗萤叶甲的主要天敌是草间小黑蛛、锥腹肖蛸(*Tetragnatha maxillosa*)、茶色新圆蛛(*Neoscona theisi*)等。假眼小绿叶蝉发生规律及其天敌的种类有大量报道,该虫天敌种类丰富,多种瓢虫和蜘蛛都取食假眼小绿叶蝉^[11-12]。杨林等^[13]曾报道舒茶早、福云六号、龙井长叶和平阳特早4种茶园秋冬季假眼小绿叶蝉与天敌的空间关系及其差异,刘飞飞等^[14]研究天柱山群体种茶园空间上跟随假眼小绿叶蝉密切的天敌是八斑球腹蛛、三突花蟹蛛和斑管巢蛛。王振兴^[15]曾报道假眼小绿叶蝉秋冬季和春夏季天敌优势种的差异。余燕等^[16]报道用地统计学中半变异函数理论模型的变程研究天敌对乌牛早茶园4种害虫的空间跟随关系的密切程度。张书平等^[17]用同样方法研究了天敌对白毫早茶园4种害虫的空间跟随关系。但白毫早茶园上述3种害虫与其天敌之间关系的多年的系统研究未见报道。为此研究3种害虫与其9种天敌的种群动态,从发生数量、时间及空间关系上评判2015年和2016年3种害虫的主要天敌。其结果可为3种害虫的生物防治提供科学依据,并丰富昆虫生态学内容。

1 材料与方

1.1 材料

调查地点为安徽农业大学农业科技示范园茶园(31°94'N, 117°21'E), 茶树品种为白毫早调查的茶园面积均为 0.2hm²。调查时间为 2015 年 3 月 28 日至 2016 年 11 月 19 日, 每半个月调查 1 次, 2015 年调查 17 次, 2016 年调查 16 次。

1.2 方法

1.2.1 取样方法

采用平行跳跃法, 在茶园随机选取 3 行, 每行间隔 1m 取 1 个 2m 长的地方, 每行 10 个样方, 用沾有洗衣粉水液的搪瓷盘(40cm×30cm)对样方中所有枝条进行盘拍, 每样方随机选取 10 片叶片, 共 300 片叶片, 调查并记录害虫及其天敌物种数和个体数。

1.2.2 3 种害虫与其天敌在数量关系上的灰色关联度分析^[18]

将 3 种害虫数量(Y_i)及其主要天敌数量(X_j)分别看作一个本征性系统, 3 种害虫数量(Y_1)、(Y_2)和(Y_3)作为该系统的参照序列, 9 种天敌(X_j)作为比较序列。对 3 种害虫(Y_1)、(Y_2)和(Y_3)与天敌(X_j)在不同时点上第 k 点的效果白化值, 进行双序列关系分析, 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 点的关联系数 $r_{ij}(k)$ 为:

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

式中, $k = 1, 2, \dots, n$, ρ 为分辨系数, 取值区间 $[0, 1]$, 一般取 $\rho = 0.5$, 为扩大各关联度之间的差异, 本文取 $\rho = 0.8$ 。 $RY_i X_j = 1/n \sum r_{ij}(k)$ 为第 j 种天敌(X_j)与卵形短须螨(Y_1)、双斑长跗萤叶甲(Y_2)和假眼小绿叶蝉(Y_3)的关联度, 其大小反映 X_j 对 Y_i 的联系或影响程度。

1.2.3 天敌与害虫的时间及空间生态位分析

用 Levins 的生态位重叠指数^[19]公式和 Morisita 相似性系数^[20]公式计算天敌与害虫在空间和时间上生态位重叠指数和相似性系数, 来判断天敌对害虫在空间上和时间上跟随关系的密切程度。

Levins 的生态位宽度指数公式:

$$B = \frac{1}{S \sum P_i^2}$$

式中, B 为物种的生态位宽度; P_i 为物种利用第 i 等级资源占利用总资源的比例; S 为资源系列的等级数。

Levins 的生态位重叠指数公式:

$$L_{ij} = B_i \sum_{i=1}^n P_{ih} P_{jh}$$

式中, L_{ij} 为物种 i 对物种 j 的生态位重叠, P_{ih} 和 P_{jh} 为每个物种在资源序列的第 h 单位上的比例, B_i 为物种 i 的生态位宽度。

生态位相似性比例采用 Morisita 相似性系数公式:

$$C_{jk} = 2 \sum_{i=1}^n P_{ij} P_{ik} / \sum_{i=1}^n P_{ij} [(n_{ij} - 1)/(N_j - 1)] + \sum_{i=1}^n P_{ik} [(n_{ik} - 1)/(N_k - 1)],$$

式中, P_{ij} , P_{ik} 分别表示种 j , k 在第 i 个资源等级上所占的比例 n_{ik} 是 k 物种在 i 资源序列等级上的数量, n_{ij} 是 j 物种在 i 资源序列等级上的数量。 N_j , N_k 分别表示 j 物种和 k 物种的个体数量之和。

1.2.4 3 种害虫和天敌的空间格局及其差异和原因分析

分别采用 Poisson 扩散系数 C 、David 等丛生指标数 I 、聚块性指数 I_w 和久野指数 C_4 4 种聚集强度指数^[21]

综合分析测定卵形短须螨、双斑长跗萤叶甲和假眼小绿叶蝉与其天敌的空间格局。为了判断 3 种害虫与其天敌空间聚集程度的差异,用 David 和 Moore 提出的 $|\omega|$ 公式[22]

$$|\omega| = -\frac{1}{2} \ln \left(\frac{S_1^2 / \bar{x}_1}{S_2^2 / \bar{x}_2} \right), S_1^2, S_2^2, \bar{x}_1, \bar{x}_2$$

分别为害虫与天敌两种群的方差和均数,若 $|\omega| > 2.5 \sqrt{n-1}$, 则按 5% 水平认为两者显著不同。用 Arbous 和 Kerrich^[23] 提出的种群聚集均数 (λ) 公式, $\lambda = \frac{\bar{x}}{2k} \cdot v$, 分析 3 种害虫及其主要天敌的聚集原因,式中 $k = \bar{x}^2 / (S^2 - \bar{x})$, S^2 为方差, v 为自由度等于 $2k$ 时的 $x_{0.50}^2$ 值。

1.2.5 天敌与其目标害虫关系的综合分析

将所得的天敌与目标害虫在数量、时间、及空间关系上的参数分别除以本项参数的最大值,其商为密切指数,密切指数相加,密切指数之和最大者即为目标害虫的第 1 位天敌。依次类推,最后评判出对茶园 3 种害虫的前 4 位天敌。

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。寄生和中性昆虫纲 10 种,共 4404 头。卵形短须螨两年分别为 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 头和 838 头,假眼小绿叶蝉分别为 1896 头和 1094 头。7—8 月上旬为第 1 高峰,9—10 月为第 2 高峰。9 种天敌鳞纹肖蛸 (*Tetragnatha squamata* Karsch)、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛 (*Misumenops tricuspidatus* Fabr)、八斑球腹蛛 (*Theridion octomaculatum*)、棕管巢蛛 (*Clubiona japonicola* Boes, et, Str)、斜纹猫蛛 (*Oxyopes sertatus* L. Koch)、茶色新圆蛛、异色瓢虫 (*Harmonia axyridis* Pallas) 全年调查所得的个体累计数量均超过 111 头。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 3 种害虫及其天敌的种群数量动态/(头/30 样方)

Table 1 Population dynamics of three pests and their natural enemies in Baihaozao Tea Garden (2015)

日期 Date	Y_1	Y_2	Y_3	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
03-28	3	30	3	273	119	15	80	59	5	1	33	8
04-11	522	56	1	187	85	1	54	12	8	4	26	2
04-26	149	80	1	117	82	14	33	14	9	0	31	7
05-01	210	85	4	80	33	25	8	2	11	1	13	3
05-24	120	31	13	69	48	21	13	5	15	5	36	1
06-08	113	84	56	79	60	9	7	36	25	0	34	5
06-02	68	42	67	55	102	15	6	19	28	3	19	10
07-04	17	46	302	49	141	9	14	16	48	6	26	13
07-19	9	24	491	82	118	7	10	5	35	8	21	12
08-02	47	21	118	32	50	5	6	10	49	7	20	0
08-16	43	16	8	8	36	4	6	5	43	3	8	0
08-03	48	30	34	7	30	0	2	4	53	8	12	6
09-13	39	36	159	24	35	6	3	12	70	3	6	5
09-26	115	42	285	16	49	6	12	23	57	18	9	7
10-11	149	59	179	62	61	4	10	104	32	18	12	19
10-28	158	115	85	138	142	6	41	140	36	36	19	44
11-14	94	77	90	136	141	2	5	120	6	11	21	4
合计 Total	1904	874	1896	1414	1332	149	310	586	530	132	346	146

Y_1 卵形短须螨 *Brevipalpus obovatus* Donnadieu; Y_2 双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyseius* mots; Y_3 假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* Gothe; X_1 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; X_2 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*; X_3 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*; X_4 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*; X_5 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*; X_6 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes.; X_7 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch; X_8 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X_9 异色瓢虫 *Harmonia axyridis*

表 2 2016 年白毫早茶园 3 种害虫及其天敌的种群数量动态/(头/30 样方)

Table 2 Population dynamics of three pests and their natural enemies in Baihaozao Tea Garden(2016)

日期 Date	Y_1	Y_2	Y_3	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
03-27	30	50	0	149	140	20	52	86	3	2	27	7
04-11	941	78	0	61	88	9	59	14	12	4	19	11
04-28	489	49	0	49	72	7	35	12	13	2	49	24
05-12	226	66	5	63	47	25	13	20	25	0	46	12
05-03	48	73	4	58	90	31	12	25	19	4	52	4
06-14	69	83	5	43	91	22	1	29	26	3	33	5
06-29	31	57	74	62	169	17	19	38	39	6	25	17
07-14	66	30	396	114	165	30	14	26	53	4	21	4
07-29	31	20	50	23	100	10	6	18	29	8	17	0
08-13	41	34	24	12	31	3	2	5	24	10	7	0
08-28	30	57	16	6	33	9	3	6	11	9	13	6
09-12	32	56	27	8	19	2	1	7	13	14	5	2
09-25	63	26	55	24	36	3	5	25	32	14	17	11
10-01	120	26	107	36	55	7	4	110	24	13	16	3
11-02	167	35	195	47	101	7	17	248	26	10	23	1
11-19	159	98	136	40	150	10	25	187	7	16	27	4
合计 Total	2543	838	1094	795	1387	212	268	856	356	119	397	111

Y_1 卵形短须螨 *Brevipalpus obovatus* Donnadieu; Y_2 双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyseius* mots; Y_3 假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* Gothe; X_1 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; X_2 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*; X_3 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*; X_4 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*; X_5 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*; X_6 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes.; X_7 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch; X_8 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X_9 异色瓢虫 *Harmonia axyridis*

2.1 3 种害虫与其天敌之间的数量关系

3 种害虫与天敌之间数量上的灰色关联度越大,表示害虫与天敌之间数量上关系越密切,即在数量上天敌对害虫的跟随关系越密切。2015 年 9 种天敌中与卵形短须螨关系密切的前四位天敌依次是鳞纹肖蛸(0.8679)、三突花蟹蛛(0.8478)、茶色新圆蛛(0.8471)、锥腹肖蛸(0.8395);2016 年是三突花蟹蛛(0.8884)、茶色新圆蛛(0.8769)、异色瓢虫(0.8726)和鳞纹肖蛸(0.8661)。两年前四位天敌有 3 种相同,但位次不同。2015 年与双斑长跗萤叶甲关系密切的前四位天敌依次是锥腹肖蛸(0.8735)、茶色新圆蛛(0.8724)、鳞纹肖蛸(0.8624)和三突花蟹蛛(0.8442);2016 年是茶色新圆蛛(0.8800)、鳞纹肖蛸(0.8666)、锥腹肖蛸(0.8631)和草间小黑蛛(0.8599),两年中前三位天敌有 3 种相同,但位次不同。2015 年与假眼小绿叶蝉关系密切的前四位天敌依次是棕管巢蛛(0.8417)、斜纹猫蛛(0.8363)、异色瓢虫(0.8182)和锥腹肖蛸(0.8038);2016 年是八斑球腹蛛(0.8602)、斜纹猫蛛(0.8569)、锥腹肖蛸(0.8422)和棕管巢蛛(0.8392),两年的前四位天敌有 3 种相同,但位次不同。

2.2 茶园 3 种害虫与其天敌在时间上的关系

2.2.1 害虫与其天敌的时间生态位相似性系数

3 种害虫与其天敌之间的时间生态位相似性系数越大,表明天敌与害虫之间在时间上的同步性越大,即天敌对害虫在时间上的跟随关系越密切。2015 年 9 种天敌中与卵形短须螨时间生态位相似性系数大的前四位天敌依次是:鳞纹肖蛸(0.6870)、茶色新圆蛛(0.6503)、三突花蟹蛛(0.6439)、锥腹肖蛸(0.5776);2016 年是:三突花蟹蛛(0.7972)、异色瓢虫(0.6655)、茶色新圆蛛(0.5236)、鳞纹肖蛸(0.4666)。2015 年与双斑长跗萤叶甲时间生态位相似性系数大的前四位天敌依次是:锥腹肖蛸(0.8673)、茶色新圆蛛(0.8599)、鳞纹肖蛸(0.7799)、草间小黑蛛(0.7654);2016 年是:茶色新圆蛛(0.9028)、锥腹肖蛸(0.8508)、草间小黑蛛(0.8403)、斜纹猫蛛(0.7714)。2015 年与假眼小绿叶蝉时间生态位相似性系数大的前四位天敌依次是:棕管巢蛛(0.7180)、锥腹肖蛸(0.6438)、斜纹猫蛛(0.5940)、异色瓢虫(0.5593);2016 年是棕管巢蛛(0.6887)、锥腹肖蛸(0.6331)、八斑球腹蛛(0.5995)、鳞纹肖蛸(0.5658)。

2.2.2 3 种害虫与其天敌之间的时间生态位重叠指数

茶园 3 种害虫与其天敌之间的时间生态位重叠指数越大,表明天敌与害虫之间在发生时间上越一致,即天敌对害虫在时间上跟随关系越密切。2015 年 9 种天敌中与卵形短须螨时间生态位重叠指数大的前四位天敌依次是:鳞纹肖蛸(0.6881)、茶色新圆蛛(0.6645)、三突花蟹蛛(0.6366)、锥腹肖蛸(0.5932)、2016 年是:三突花蟹蛛(0.8054)、异色瓢虫(0.6702)、茶色新圆蛛(0.5695)、鳞纹肖蛸(0.4938)。2015 年与双斑长跗萤叶甲时间生态位重叠指数大的前四位天敌依次是:锥腹肖蛸(0.8571)、茶色新圆蛛(0.8381)、鳞纹肖蛸(0.7791)、草间小黑蛛(0.7701);2016 年是:茶色新圆蛛(0.8839)、锥腹肖蛸(0.8421)、草间小黑蛛(0.8187)、鳞纹肖蛸(0.7537)。2015 年与假眼小绿叶蝉时间生态位重叠指数大的前四位天敌依次是:棕管巢蛛(0.7377)、锥腹肖蛸(0.6743)、斜纹猫蛛(0.5790)、异色瓢虫(0.5466);2016 年是:棕管巢蛛(0.7487)、锥腹肖蛸(0.6937)、八斑球腹蛛(0.5991)、鳞纹肖蛸(0.5995)。

2.3 茶园 3 种害虫与其天敌在空间上的关系

高峰日天敌与害虫之间的空间关系可以较为准确的反映天敌在空间上对害虫跟随关系的密切程度。2015 年 4 月 11 日和 2016 年 4 月 11 日是卵形短须螨的高峰日,2015 年 10 月 28 日和 2016 年 11 月 19 日是双斑长跗萤叶甲的高峰日,2015 年 7 月 19 日和 2016 年 7 月 14 日是假眼小绿叶蝉的高峰日。

2.3.1 害虫与其天敌的空间生态位重叠指数

3 种害虫与其天敌之间的空间生态位重叠指数越大,表明天敌与害虫之间在空间上的同域性越大,即天敌与害虫在空间上的跟随关系越密切。2015 年 4 月 11 日九种天敌中与卵形短须螨空间生态位重叠指数大的前 4 位天敌是:鳞纹肖蛸(0.9765)、三突花蟹蛛(0.9755)、锥腹肖蛸(0.9713)和茶色新圆蛛(0.5506);2016 年是:鳞纹肖蛸(0.6728)、锥腹肖蛸(0.6196)、三突花蟹蛛(0.5794)和茶色新圆蛛(0.5180)。2015 年 10 月 28 日与双斑长跗萤叶甲空间生态位重叠指数大的前 4 位天敌是:八斑球腹蛛(0.6881)、异色瓢虫(0.6879)、棕管巢蛛(0.6578)和锥腹肖蛸(0.6390);2016 年 11 月 19 日是:锥腹肖蛸(0.7602)、鳞纹肖蛸(0.7398)、八斑球腹蛛(0.7017)和斜纹猫蛛(0.6627)。2015 年 7 月 19 日与假眼小绿叶蝉空间生态位重叠指数大的前 4 位天敌是:锥腹肖蛸(0.7829)、鳞纹肖蛸(0.6848)、茶色新圆蛛(0.6310)和棕管巢蛛(0.5774);2016 年 7 月 14 日是:锥腹肖蛸(0.8668)、鳞纹肖蛸(0.8094)、草间小黑蛛(0.7706)和棕管巢蛛(0.7514)。

2.3.2 害虫与其天敌的空间生态位相似性比例

3 种害虫与其天敌之间空间生态位相似性系数越大,天敌与害虫之间空间上的同域性越大,即天敌对害虫在空间上的跟随关系越密切。2015 年 4 月 11 日 9 种天敌中与卵形短须螨空间生态性相似系数大的前 4 位天敌是:草间小黑蛛(2.9529)、棕管巢蛛(1.6956)斜纹猫蛛(1.5226)和三突花蟹蛛(1.0439);2016 年是斜纹猫蛛(1.0222)、茶色新圆蛛(0.8333)、鳞纹肖蛸(0.7852)和锥腹肖蛸(0.6853)。2015 年 10 月 28 日与双斑长跗萤叶甲空间生态性相似系数大的前 4 位天敌是:棕管巢蛛(0.9738)、异色瓢虫(0.9602)、斜纹猫蛛(0.9025)和三突花蟹蛛(0.8553);2016 年 11 月 19 日是:异色瓢虫(2.3153)、棕管巢蛛(1.4623)、斜纹猫蛛(1.4382)和鳞纹肖蛸(1.0994)。2015 年 7 月 19 日与假眼小绿叶蝉空间生态性相似系数大的前 4 位天敌是:斜纹猫蛛(1.3815)、茶色新圆蛛(0.8333)、鳞纹肖蛸(0.7852)和锥腹肖蛸(0.6834);2016 年 7 月 14 日是:斜纹猫蛛(2.1952)、异色瓢虫(1.3377)、草间小黑蛛(1.2761)和八斑球腹蛛(1.1286)。

2.3.3 害虫高峰日天敌与害虫的数量关联度

害虫高峰日时天敌与害虫的数量关联度越大,表明高峰日天敌与害虫在数量上的关系越密切,亦即追随关系越密切。2015 年 4 月 11 日 9 种天敌中与卵形短须螨在数量关联度大的前四位天敌依次是:鳞纹肖蛸(0.9765)、三突花蟹蛛(0.9755)、锥腹肖蛸(0.9713)和茶色新圆蛛(0.9544);2016 年 4 月 11 日是:鳞纹肖蛸(0.8988)、锥腹肖蛸(0.8840)、三突花蟹蛛(0.8768)和茶色新圆蛛(0.8445)。2015 年 10 月 28 日与双斑长跗萤叶甲在数量关联度大的前四位天敌依次是:异色瓢虫(0.9444)、八斑球腹蛛(0.9431)、锥腹肖蛸(0.9337)和斜纹猫蛛(0.9327);2016 年 11 月 19 日是:锥腹肖蛸(0.8936)、八斑球腹蛛(0.8803)、鳞纹肖蛸(0.8777)和茶

色新圆蛛(0.8716)。2015年7月19日与假眼小绿叶蝉在数量关联度大的前四位天敌依次是:锥腹肖蛸(0.9345)、鳞纹肖蛸(0.9158)、棕管巢蛛(0.8946)和茶色新圆蛛(0.8925);2016年7月14日是:锥腹肖蛸(0.9241)、鳞纹肖蛸(0.9136)、草间小黑蛛(0.9083)和棕管巢蛛(0.8964)。

2.4 天敌与害虫关系的综合评判

2.4.1 天敌与卵形短须螨关系的综合评判

对天敌与卵形短须螨在数量、时间、空间关系的资料进行标准化处理。其密切指数列于表3,2015年9种天敌中与卵形短须螨密切指数之和大的前四位天敌依次是鳞纹肖蛸(5.3079)、三突花蟹蛛(5.1716)、锥腹肖蛸(4.8367)和草间小黑蛛(4.7869)。2016年依次是三突花蟹蛛(5.4975)、鳞纹肖蛸(4.9414)、茶色新圆蛛(4.8757)和锥腹肖蛸(4.6815)。对两年的结果综合评判,与卵形短须螨关系密切的前四位天敌依次是三突花蟹蛛(10.6691)、鳞纹肖蛸(10.2493)、茶色新圆蛛(9.6353)和锥腹肖蛸(9.5182)。

表3 天敌与卵形短须螨关系的密切指数

Table 3 Correlation indices of *Monolepta hieroglyphica* and their natural enemies

年份 Year	项目 Project	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
2015	A ₁	1	0.9673	0.9586	0.9768	0.9392	0.9219	0.9328	0.976	0.9266
	A ₂	1	0.9947	0.9647	0.999	0.9664	0.9642	0.9558	0.9774	0.9558
	B ₁	1	0.8408	0.7643	0.9373	0.6547	0.6031	0.7243	0.9466	0.6469
	B ₂	1	0.8621	0.747	0.9252	0.6251	0.6082	0.704	0.9657	0.6309
	C ₁	0.3079	0.294	1	0.3535	0.2149	0.5742	0.5156	0.2351	0.2656
	C ₂	1	0.8778	0.3523	0.9798	0.4997	0.5722	0.3633	0.6588	0.1323
	Σ	5.3079	4.8367	4.7869	5.1716	3.9	4.2438	4.1958	4.7596	3.5581
	序号	1	3	4	2					
2016	A ₁	0.9749	0.9515	0.9365	1	0.9372	0.937	0.9226	0.9871	0.9822
	A ₂	1	0.9835	0.8897	0.9755	0.9283	0.9063	0.9019	0.9396	0.9051
	B ₁	0.5853	0.5546	0.4619	1	0.3821	0.4422	0.4098	0.6568	0.8348
	B ₂	0.6131	0.6006	0.4811	1	0.3782	0.4752	0.425	0.7071	0.8321
	C ₁	0.7681	0.6704	0.4613	0.6608	0.5373	0.4923	1	0.8152	0.5581
	C ₂	1	0.9209	0.3401	0.8612	0.5144	0.5253	0.3749	0.7699	0.4718
	Σ	4.9414	4.6815	3.5706	5.4975	3.6775	3.7783	4.0342	4.8757	4.5841
	序号	2	4		1				3	
$\Sigma\Sigma$	10.2493	9.5182	8.3575	10.6691	7.5775	8.6221	8.23	9.6353	8.1422	
序号	2	4		1				3		

A₁数量上的密切指数;A₂高峰日数量上的密切指数;B₁时间生态位重叠的密切指数;B₂时间上相似性密切指数;C₁空间生态位重叠指数;C₂空间相似性密切指数;X₁鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch;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* Boes.;X₇斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch;X₈茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*;X₉异色瓢虫 *Harmonia axyridis*

2.4.2 天敌与双斑长跗萤叶甲关系的综合评判

对天敌与双斑长跗萤叶甲在数量、时间和空间关系的资料进行标准化处理。其密切指数列于表4,2015年9种天敌中与双斑长跗萤叶甲密切指数大的即主要天敌前四位天敌依次是异色瓢虫(5.6976)、锥腹肖蛸(5.6926)、八斑球腹蛛(5.5101)和斜纹猫蛛(5.4516);2016年依次是茶色新圆蛛(5.2909)、锥腹肖蛸(5.2710)、鳞纹肖蛸(5.1063)和斜纹猫蛛(5.0703)。对两年的结果综合评判,与双斑长跗萤叶甲关系密切的前四位天敌是锥腹肖蛸(10.9636)、异色瓢虫(10.7580)、茶色新圆蛛(10.6578)和鳞纹肖蛸(10.5437)。

2.4.3 天敌与假眼小绿叶蝉关系的综合评判

对天敌与假眼小绿叶蝉在数量、时间、空间关系的资料进行标准化处理,其密切指数列于表5。2015年9种天敌中与假眼小绿叶蝉密切指数大的即主要天敌前四位天敌依次是锥腹肖蛸(5.3614)、棕管巢蛛(5.2259)、斜纹猫蛛(5.1300)和茶色新圆蛛(4.8472);2016年是锥腹肖蛸(5.2666)、棕管巢蛛(5.2561)、草间小黑蛛(4.9376)和八斑球腹蛛(4.9289)。对两年的结果综合评判,与假眼小绿叶蝉关系密切的前四位天敌依

次是锥腹肖蛸(10.6280)、棕管巢蛛(10.4820)、斜纹猫蛛(9.9635)、鳞纹肖蛸(9.2663)。

表 4 天敌与双斑长跗萤叶甲关系的密切指数

Table 4 Correlation indices of *Brevipalpus obovatus* and their natural enemies

年份 Year	项目 Project	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	
2015	A ₁	0.9873	1	0.954	0.9663	0.9293	0.9056	0.9359	0.9987	0.9425	
	A ₂	0.9873	0.9887	0.9435	0.988	0.9986	0.9872	0.9876	0.9639	1	
	B ₁	0.8992	1	0.8825	0.7172	0.8472	0.7662	0.8336	0.9915	0.8732	
	B ₂	0.909	1	0.8606	0.7438	0.8985	0.7622	0.8476	0.9778	0.8962	
	C ₁	0.7539	0.7753	0.086	0.8783	0.8365	1	0.9268	0.8127	0.986	
	C ₂	0.9007	0.9286	0.1318	0.8638	1	0.956	0.9201	0.6223	0.9997	
	Σ	5.4374	5.6926	3.8584	5.1574	5.5101	5.3772	5.4516	5.3669	5.6976	
	序号		2			3		4		1	
	2016	A ₁	0.9848	0.9808	0.9772	0.9419	0.9008	0.9334	0.9314	1	0.9527
		A ₂	0.9822	1	0.8725	0.949	0.9851	0.8884	0.9623	0.9754	0.9056
B ₁		0.8386	0.9424	0.9308	0.7908	0.6019	0.8091	0.8545	1	0.8219	
B ₂		0.8527	0.9527	0.9262	0.8216	0.6599	0.8078	0.8292	1	0.819	
C ₁		0.4748	0.3951	0.3301	0.3235	0.3592	0.6316	0.6212	0.4548	1	
C ₂		0.9732	1	0.4092	0.8041	0.923	0.4688	0.8717	0.8607	0.5612	
Σ		5.1063	5.271	4.446	4.6309	4.4299	4.5391	5.0703	5.2909	5.0604	
序号		3	2					4	1		
ΣΣ		10.5437	10.9636	8.3044	9.7883	9.94	9.9163	10.5219	10.6578	10.758	
序号		4	1						3	2	

A₁数量上的密切指数;A₂高峰日数量上的密切指数;B₁时间生态位重叠的密切指数;B₂时间上相似性密切指数;C₁空间生态位重叠指数;C₂空间相似性密切指数;X₁鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; 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* Boes.; X₇斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch; X₈茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X₉异色瓢虫 *Harmonia axyridis*

表 5 天敌与假眼小绿叶蝉关系的密切指数

Table 5 Correlation indices of *Empoasca vitis* and their natural enemies

年份 Year	项目 Project	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
2015	A ₁	0.9076	0.955	0.9118	0.8969	0.9317	1	0.9936	0.936	0.9721
	A ₂	1	0.98	0.9034	0.918	0.9163	0.9573	0.9148	0.9551	0.9206
	B ₁	0.4922	0.8967	0.5499	0.3613	0.5369	1	0.8273	0.6897	0.779
	B ₂	0.4849	0.9141	0.5311	0.3476	0.5193	1	0.7849	0.7012	0.741
	C ₁	0.5691	0.6156	0.2469	0.5881	0.5215	0.5307	1	0.7592	0.4464
	C ₂	0.8875	1	0.2856	0.4976	0.5565	0.7379	0.6094	0.806	0.38
	Σ	4.3413	5.3614	3.4287	3.6095	3.9822	5.2259	5.13	4.8472	4.2391
	序号		1				2	3	4	
2016	A ₁	0.9571	0.9791	0.9439	0.9441	1	0.9756	0.9962	0.9514	0.9
	A ₂	0.9886	1	0.9829	0.9056	0.9558	0.97	0.8735	0.8919	0.8621
	B ₁	0.8215	0.9193	0.7823	0.4562	0.8705	1	0.7598	0.5545	0.373
	B ₂	0.8007	0.9265	0.7582	0.4241	0.8002	1	0.7334	0.5556	0.3458
	C ₁	0.4233	0.4417	0.5813	0.4273	0.5141	0.4436	1	0.3231	0.6094
	C ₂	0.9338	1	0.889	0.6584	0.7883	0.8669	0.4706	0.59	0.2868
	Σ	4.925	5.2666	4.9376	3.8157	4.9289	5.2561	4.8335	3.8665	3.3771
	序号		1	3		4	2			
ΣΣ	9.2663	10.628	8.3663	7.4252	8.9111	10.482	9.9635	8.7137	7.6162	
序号	4	1				2	3			

A₁数量上的密切指数;A₂高峰日数量上的密切指数;B₁时间生态位重叠的密切指数;B₂时间上相似性密切指数;C₁空间生态位重叠指数;C₂空间相似性密切指数;X₁鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; 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* Boes.; X₇斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch; X₈茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X₉异色瓢虫 *Harmonia axyridis*

2.5 3 种害虫与其天敌的聚集程度及其差异和聚集原因

天敌与害虫在长期协同进化过程中聚集分布的天敌能有效地攻击聚集分布的害虫。为了分析 3 种害虫与其天敌之间空间格局聚集程度及其差异,将高峰日的 3 种害虫及其各自的 9 种天敌的聚集程度及其差异分析结果分别列于表 6 和表 7。3 种害虫 2015 年和 2016 年均是聚集分布格局。2015 年 9 种天敌多数情况下是聚集分布格局,占 55.17%,只有 2015 年 4 月 11 日的八斑球腹蛛、茶色新圆蛛、鳞纹肖蛸,10 月 28 日的鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛、斜纹猫蛛以及 7 月 19 日的鳞纹肖蛸、草间小黑蛛、八斑球腹蛛为聚集分布格局,2016 年天敌为聚集分布格局的占 55.65%。用 David 和 Moure 提出的 $|\omega|$ 公式检验害虫与天敌空间格局聚集程度的差异,由表 6 和表 7 可看出, $|\omega|$ 值均小 13.4629 ($(\omega) = 2.5 \cdot \sqrt{n-1}, n=30$)。表明 3 种害虫与其天敌之间的聚集程度差异不显著。Blakith 曾提出种群聚集均数 λ 的大小可以判断聚集的原因,当 $\lambda > 2$ 时,其聚集是由昆虫主动聚集或任何一种已知原因引起; $\lambda < 2$ 时,其聚集是由于环境影响而不是活动过程所引起的。3 种害虫两年的 λ 值均大于 2 表明其聚集是昆虫本身原因引起的,天敌只有鳞纹肖蛸的 λ 值两年都大于 2。

表 6 2015 年 3 种害虫及其天敌的聚集强度和聚集程度指数

Table 6 Aggregation indensity and tis indices index of three pests and their natural enemies(2015)

时间 Time	物种 Species	C_A	C	K	$ \omega $	λ	分布类型 Distribution types	备注 Remarks
04-11	Y_1	0.2536	5.4126	3.9433		16.1945	聚集	$C_A=0$ 为随机分布
	X_1	0.1488	1.8774	7.104	0.5294	5.8525	聚集	$C_A>0$ 为聚集分布
	X_2	-0.0859	0.7566	-11.6392	0.9838	-2.7191	均匀	$C_A<0$ 为均匀分布
	X_3	—	—	—	—	—		
	X_4	-0.5413	0.0257	-1.8474	2.675	-1.632	均匀	$ \omega 0.05 = 2.5 \sqrt{n-1}$
	X_5	0.7028	1.3105	1.2882	0.7092	0.3649	聚集	$ \omega 0.05 = 13.4629$
	X_6	-0.9054	0.7585	-1.1045	0.9826	-0.1678	均匀	$n=30$
	X_7	-68.4932	0.8965	-0.0146	0.899	-2.0543	均匀	
	X_8	0.8939	1.7449	1.1187	0.566	0.5177	聚集	
10-28	X_9	-0.517	0.9655	-1.9343	0.8619	-0.0576	均匀	
	Y_2	0.3543	2.3583	2.8221		7.2534	聚集	
	X_1	0.0029	1.0135	340.7407	0.4223	4.5924	聚集	
	X_2	0.0101	1.0481	98.5663	0.4055	4.7143	聚集	
	X_3	6.035	2.207	0.1657	0.0332	0.045	聚集	
	X_4	5.2138	2.9122	0.1918	0.1055	0.4302	聚集	
	X_5	-0.0549	0.7438	-18.2152	0.577	-9.0546	均匀	
	X_6	-0.1438	0.8275	-6.9565	0.5236	-1.1506	均匀	
	X_7	0.0958	1.115	10.4348	0.3745	1.1695	聚集	
07-19	X_8	-0.2922	0.8149	-3.4221	0.5313	-0.5866	均匀	
	X_9	-0.0492	0.9279	-20.352	0.4664	-1.4536	均匀	
	Y_3	0.8129	14.3034	1.2302		9.2463	聚集	
	X_1	0.1505	1.4112	6.6467	1.158	2.5373	聚集	
	X_2	-0.0361	0.858	-27.6907	1.4068	-3.8352	均匀	
	X_3	1.648	1.3845	0.6068	1.1676	0.0865	聚集	
	X_4	-0.3097	0.8968	-3.2293	1.3847	-0.2761	均匀	
	X_5	1.6518	1.2753	0.6054	1.2087	0.062	聚集	
	X_6	-0.0044	1.4237	-226.8648	1.1536	0.5786	均匀	
	X_7	-0.9054	0.7585	-1.1045	1.4685	-0.1678	均匀	
	X_8	-0.5629	0.606	-1.7766	1.5807	-0.4669	均匀	
	X_9	-0.5629	0.793	-1.7766	1.4462	-0.2668	均匀	

X_1 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; X_2 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*; X_3 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*; X_4 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*; X_5 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*; X_6 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes.; X_7 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch; X_8 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X_9 异色瓢虫 *Harmonia axyridis*; C: poisson 扩散系数 Diffusion coefficient; C_A : 久野指数 Kuno index; K: 聚集指数 Aggregation index

表 7 2016 年 3 种害虫及其天敌的聚集强度和聚集程度指数

Table 7 Aggregation indensity and tis indices index of three pests and their natural enemies(2016)

时间 Time	物种 Species	C_A	C	K	$ \omega $	λ	分布类型 Distribution types	备注 Remarks
04-11	Y_1	0.8843	28.7357	1.1309	1	19.2766	聚集	$C_A = 0$ 为随机分布
	X_1	0.05	1.1017	19.9918	1.6306	2.0006	聚集	$C_A > 0$ 为聚集分布
	X_2	-0.093	0.7273	-10.7567	1.8383	-2.7733	均匀	$C_A < 0$ 为均匀分布
	X_3	-0.1533	0.954	-6.5217	1.1726	-0.2378	均匀	
	X_4	0.249	1.4898	4.0157	1.4797	3.5948	聚集	$ \omega _{0.05} = 2.5 \sqrt{n-1}$
	X_5	0.3058	1.1427	3.2704	1.6123	0.4524	聚集	$ \omega _{0.05} = 13.4629$
	X_6	1.2069	1.4827	0.8286	1.4821	0.3355	聚集	$n = 30$
	X_7	-0.7766	0.8964	-1.2876	1.7338	-0.1277	均匀	
	X_8	-0.2922	0.8149	-3.4221	1.7814	-0.5866	均匀	
	X_9	0.0848	1.0311	11.7955	1.6638	0.3473	聚集	
11-19	Y_2	0.535	1.8564	1.8691		2.9187	聚集	
	X_1	-0.1552	0.7932	-6.4432	0.4252	-1.2765	均匀	
	X_2	0.0565	1.2827	17.6853	0.1848	4.8543	聚集	
	X_3	-0.3097	0.8976	-3.2293	0.3633	-0.2756	均匀	
	X_4	1.6883	2.4068	0.5923	0.1298	0.3165	聚集	
	X_5	0.036	1.2246	27.7568	0.208	6.1015	聚集	
	X_6	-0.8856	0.7934	-1.1292	0.425	-0.1436	均匀	
	X_7	-0.4849	0.7414	-2.0624	0.4589	-0.4331	均匀	
	X_8	-0.0596	0.9463	-16.7702	0.3369	-0.8678	均匀	
	X_9	-1.8911	0.5004	-0.5288	0.6555	-0.0567	均匀	
07-14	Y_3	0.1077	2.4211	9.2855		13.0358	聚集	
	X_1	0.165	1.6104	6.6015	0.2039	3.461	聚集	
	X_2	-0.0068	0.9624	-146.2766	0.4613	-5.4772	均匀	
	X_3	-0.4667	0.4827	-2.1427	0.8063	-0.3244	均匀	
	X_4	0.3058	1.1427	3.2704	0.3754	0.4531	聚集	
	X_5	0.352	0.6949	-2.841	0.6241	-0.8161	聚集	
	X_6	-0.0648	0.8854	-15.4211	0.503	-0.0573	均匀	
	X_7	-0.7766	0.8965	-1.2876	0.4967	-0.1227	均匀	
	X_8	0.5263	1.3684	1.8999	0.2853	0.619	聚集	
	X_9	-0.7766	0.8965	-1.2876	0.4967	-0.0327	均匀	

X_1 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; X_2 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*; X_3 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*; X_4 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*; X_5 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*; X_6 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes.; X_7 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch; X_8 茶色新园蛛 *Neoscona theisi*; X_9 异色瓢虫 *Harmonia axyridis*

3 小结与讨论

利用灰色系统分析法和生态位分析法,依据害虫与天敌在数量、时间和空间上关系的密切指数之和研究白毫早茶园 2015 年和 2016 年卵形短须螨、双斑长跗萤叶甲和假眼小绿叶蝉的主要天敌,综合评判的结果是:卵形短须螨的主要天敌是三突花蟹蛛、鳞纹肖蛸、茶色新园蛛和锥腹肖蛸;双斑长跗萤叶甲的主要天敌是锥腹肖蛸、异色瓢虫、茶色新园蛛和鳞纹肖蛸;假眼小绿叶蝉的主要天敌是锥腹肖蛸、棕管巢蛛、斜纹猫蛛和茶色新园蛛。锥腹肖蛸和茶色新园蛛是 3 种害虫共有的主要天敌。由于茶树品种间的抗虫性差异以及年度间气候、环境条件的差异,造成了害虫主要天敌种类的差异。党凤花等报道合肥龙井 43 茶园 2008 年假眼小绿叶蝉的主要天敌是八斑球腹蛛、锥腹肖蛸和鞍型花蟹蛛^[24]。王振兴等报道 2015 年乌牛早茶园春夏季假眼小绿叶蝉的主要天敌是锥腹肖蛸、棕管巢蛛、鳞纹肖蛸和茶色新园蛛,秋冬季主要天敌是茶色新园蛛、棕管巢蛛、草间小

黑蛛和锥腹肖蛸,与本文结果略有差异^[15]。李尚等报道乌牛早茶园卵形短须螨的主要天敌是鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、三突花蟹蛛和锥腹肖蛸,双斑长跗蚱叶甲的主要天敌是草间小黑蛛、锥腹肖蛸、鳞纹肖蛸和茶色新圆蛛,与本文结果略有差异^[10]。郭骅等报道合肥 2010 年平阳特早茶园蚱叶甲春夏季主要天敌是龟纹瓢虫、异色瓢虫、八斑球腹蛛和粽管巢蛛,秋冬季是异色瓢虫、三突花蟹蛛、龟纹瓢虫和鳞纹肖蛸^[25]。表明不同茶树品种茶园同一种害虫其主要天敌的顺序不同,同一茶园的同一害虫其天敌在不同季节上也有差异。

评价害虫的主要天敌种类,核心问题是天敌对目标害虫持续控制作用,该作用涉及的内容广泛。如在多种害虫共存时,对目标害虫的喜嗜性大小、天敌的繁殖率、害虫与天敌在发生数量、发生时间的同步性、发生空间的同域性。该类工作是利用自然天敌的前提工作,需深入而广泛地开展研究。

参考文献(References):

- [1] 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. 259-326.
- [2] 邹运鼎. 害虫管理中的天敌评价理论与应用. 北京:中国林业出版社,1997. 27-49.
- [3] 宋晓川,齐石成,刘波. 茶短须螨种群分布密度及方差分析. 福建农业科技,1993,(4):19-19.
- [4] 王品维,廖文莉,童森森,马建义,鲍滨福,沈哲红,叶良明. 炅螨特·竹焦油乳油防治茶树叶螨效果初报. 浙江农业科学,2010,(3):590-591.
- [5] 王建盼,刘飞飞,毕守东,耿继光,周夏芝,邹运鼎,覃盛,王振兴,李尚,陈云.“安吉白茶”花蓟马和茶短须螨与其捕食性天敌的关系研究. 西南大学学报:自然科学版,2016,38(8):1-9.
- [6] 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. 241-242.
- [7] 聂强,孙强. 双斑蚱叶甲成虫的取食选择性研究. 黑龙江八一农垦大学学报,2009,21(4):38-41.
- [8] 李广伟,陈秀琳,张建萍,陈静. 温度对双斑长跗蚱叶甲成虫寿命及繁殖的影响. 昆虫知识,2010,47(2):322-325.
- [9] 梁日霞,王振营,何康来,丛斌,李菁. 基于线粒体 CO II 基因序列的双斑长跗蚱叶甲中国北方地理种群的遗传多样性研究. 昆虫学报,2011,54(7):828-837.
- [10] 李尚,王振兴,王建盼,周夏芝,毕守东,覃盛,陈云,刘飞飞,邹运鼎,郎坤. 白毫早和乌牛早茶园卵形短须螨和双斑长跗蚱叶甲优势种天敌的差异. 华南农业大学学报,2016,37(4):38-45.
- [11] 钮羽群,王梦馨,崔林,叶火香,潘斌,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.
- [12] 周夏芝,毕守东,黄勃,柯胜兵,邹运鼎,施晓丽,柯磊,杨林,郭骅,林源. 茶园主要天敌对 4 种害虫的空间跟随关系. 华南农业大学学报,2013,34(4):489-498.
- [13] 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.
- [14] 刘飞飞,柯胜兵,王建盼,毕守东,周夏芝,邹运鼎,党凤花,徐劲峰,禹坤,赵学娟. 假眼小绿叶蝉与捕食性天敌蜘蛛的空间关系研究. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2016,44(6):99-110.
- [15] 王振兴,李尚,王建盼,毕守东,周夏芝,覃盛,陈云,刘飞飞,邹运鼎,郎坤. 两品种茶园茶蚜和假眼小绿叶蝉天敌优势种的比较. 安徽农业大学学报,2016,43(3):350-358.
- [16] 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.
- [17] 张书平,余燕,李尚,王振兴,王建盼,周夏芝,毕守东,闫萍,邹运鼎,刘飞飞,郎坤. 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. 应用昆虫学报,2018,55(4):725-747.
- [18] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉:华中科技大学出版社,1990;33-84.
- [19] Levins R. Evolution in Changing Environments. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1968: 120-121.
- [20] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京:科学技术出版社,1995.
- [21] 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;311-327.
- [22] David F N, Moore P G. Notes on contagious distributions in plant populations. Annals of Botany, 1954, 18(1): 47-53.
- [23] Arbous A G, Kerrich J E. Accident statistics and the concept of accident-proneness. Biometrics, 1951, 7(4): 340-432.
- [24] 党凤花,公茂莲,毕守东,邹运鼎,徐增恩. 茶园 3 种主要害虫与其多种天敌之间密切程度的比较. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2010,36(5):513-520.
- [25] 郭骅,周夏芝,毕守东,邹运鼎,杨林,柯胜兵,施晓丽,林源,柯磊,陈向阳. 茶园黑刺粉虱和茶叶甲成虫与其捕食性天敌之间的关系. 华南农业大学学报,2013,34(3):345-351.