

四种茶园花蓟马与其天敌的空间关系及差异*

吴筱萌^{1,2**} 徐悦¹ 张淋^{1,2} 孙佳照¹ 周夏芝² 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 【目的】为合理利用和保护天敌, 确定与花蓟马 *Frankliniella intonsa* 空间关系密切的主要天敌种类。【方法】应用灰色关联度法、地学统计学方法和密切指数法分析了 4 种茶园花蓟马与其捕食性天敌在空间上的关系, 综合评判出与花蓟马空间关系密切的前 3 位天敌。【结果】在黄山大叶种、农抗早和平阳特早茶园中, 与花蓟马空间关系密切的前 3 种天敌是鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* (密切指数分别为 1.000 0、1.000 0 和 0.995 5)、棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* (密切指数分别为 0.987 6、0.968 2 和 0.992 8) 和斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* (密切指数分别为 0.976 8、0.976 3 和 1.000 0), 但 3 种天敌在上述 3 种茶园中的位次不相同。在白毫早茶园中, 与花蓟马空间关系密切的天敌依次是斜纹猫蛛 (密切指数为 1.000 0)、鳞纹肖蛸 (密切指数为 0.989 8) 和锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa* (密切指数为 0.986 3)。比较花蓟马与茶园中天敌的个体数量之比, 结果表明在白毫早茶园中, 花蓟马与第 1 位天敌斜纹猫蛛个体数量的比值是 19.67; 与第 6 位天敌棕管巢蛛个体数量的比值是 88.50; 在黄山大叶种茶园中, 花蓟马与第 1 位天敌鳞纹肖蛸个体数量的比值是 37.29; 第 6 位天敌锥腹肖蛸个体数量的比值是 83.90; 在农抗早茶园与花蓟马空间关系密切的第 1 位天敌是鳞纹肖蛸, 比值是 8.84; 第 6 位天敌是草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*, 比值是 22.11; 在平阳特早茶园中, 花蓟马与第 1 位天敌斜纹猫蛛个体数量的比值是 8.24; 与第 6 位天敌草间小黑蛛 *Oxyopes sertatus* 的个体数比值是 34.68。与花蓟马空间关系密切的第 1 位天敌的比值明显小于第 6 位天敌的比值。【结论】4 种茶园花蓟马数量丰富, 引起与花蓟马空间关系密切程度的因子与花蓟马的数量有关, 本文的研究结果为合理保护和利用的天敌提供重要的科学依据。

关键词 花蓟马; 天敌; 空间关系; 灰色关联度

Spatial relationships between *Frankliniella intonsa* and its natural enemies in four tea gardens

WU Xiao-Meng^{1,2**} XU Yue¹ ZHANG Lin^{1,2} SUN Jia-Zhao¹
ZHOU Xia-Zhi² ZOU Yun-Ding² BI Shou-Dong^{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 [Objectives] To make rational use of, and protect, the natural enemies of *Frankliniella intonsa* and clarify the natural enemies that exist in close proximity to this pest. [Methods] Using grey correlation, geostatistics and a closeness index, the spatial relationships between *F. intonsa* and its predatory natural enemies were systematically analyzed in four tea gardens. The three natural enemies with the closest spatial relationship to *F. intonsa* were comprehensively evaluated. [Results] According to the closeness index, in a ‘Huangshan large leaf’ tea garden, the three natural enemies with the closest spatial relationship to *F. intonsa* were *Tetragnatha squamata* (1.000 0), *Clubiona japonicola* (0.987 6) and *Oxyopes sertatus* (0.976 8). In a ‘Agricultural anti-zao’ tea garden, the first three natural enemies with the closest spatial relationship to *F. intonsa* were *T. squamata* (1.000 0), *O. sertatus* (0.976 3) and *C. japonicola* (0.968 2). In a ‘Pingyangtezao’ tea garden, the

*资助项目 Supported projects: 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 First author, E-mail: 1020130931@qq.com

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

收稿日期 Received: 2021-05-26; 接受日期 Accepted: 2022-01-17

first three natural enemies with the closest spatial relationship to *F. intonsa* were *O. sertatus* (1.000 0), *T. squamata* (0.995 5) and *C. japonicola* (0.992 8). In a 'Baihaozao' tea garden, the three natural enemies with the closest spatial relationship to *F. intonsa* were *O. sertatus* (1.000 0), *T. squamata* (0.989 8) and *T. maxillosa* (0.986 3). The same three natural enemies had the closest spatial relationship to *F. intonsa* in all four tea gardens, however, their ranking in terms of spatial relationship differed from garden to garden. In terms of the ratio of numbers of individual *F. intonsa* to specific natural enemies, the species with the closest spatial relationship to *F. intonsa* in the 'Huangshan large leaf' tea garden was *T. squamata*, and the sixth was *T. maxillosa*, with ratios of 37.29 and 83.90, respectively. The natural enemy with the closest spatial relationship to *F. intonsa* in the 'Agricultural anti-zao' tea garden was *T. squamata*, and the sixth was *Erigonidium graminicolum*, with ratios of 8.84 and 22.11, respectively. The natural enemy with the closest spatial relationship to *F. intonsa* in the 'Pingyangtezao' tea garden was *O. sertatus*, and the sixth was *E. graminicolum* with ratios of 8.24 and 34.68, respectively. The ratio of the first natural enemy is an order of magnitude less than that of the sixth. The first natural enemy with the closest spatial relationship to *F. intonsa* in the 'Baihaozao' tea garden was *O. sertatus*, and the sixth was *C. japonicola*, with ratios of 19.67 and 88.50, respectively.

[Conclusion] The factors responsible for a close spatial relationship between *F. intonsa* and its natural enemies appear to be those that promote an abundance of *F. intonsa*. These results provide an important scientific basis for the rational protection and utilization of natural enemies of *F. intonsa*.

Key words *Frankliniella intonsa*; natural enemies; spatial relationship; grey correlation

花蓟马 *Frankliniella intonsa* 是危害茶树的害虫之一, 主要危害茶芽叶主脉两侧和茶花, 叶片受损后呈现银白色条状, 严重影响茶叶的质量。花蓟马主要分布在我国福建、云南、广西、河南、湖北及安徽等多省份的茶区茶园。其主要天敌有捕食螨 *Typhlodromus* sp.、大赤螨 *Anystis* sp.、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* 和瓢虫等(张汉鹄和谭济才, 2004)。针对目标害虫的防治, 需要采用一系列有效的措施, 这也是防治茶园主要害虫的重要措施之一。因此, 实现持续有效地控制害虫需要合理的保护和利用天敌与害虫之间的关系。刘爱国等(2020)报道了合肥市白毫早茶园和乌牛早茶园中蓟马与其天敌的空间关系。程娴等(2018)得出了在安吉白茶茶园中, 在空间上, 与花蓟马密切的是前3位天敌。李尚等(2016)对合肥市白毫早茶园和乌牛早茶园节肢动物群落结构进行了动态分析。王建盼等(2016)研究了在安吉白茶茶园中, 在数量上、发生时间上和空间关系上, 与花蓟马密切的前4位天敌。

天敌与目标害虫空间关系与天敌控制作用有关(邹运鼎和王弘法, 1989; 邹运鼎, 2002)。生物防治在生态安全和可持续农业中发挥着重要作用(李姝等, 2020)。到目前为止, 关于评判花蓟马与其天敌的空间差异研究少有报道。本

文利用地学统计方法结合灰色关联度方法研究黄山大叶种、农抗早、平阳特早和白毫早4种茶园, 比较不同茶园与花蓟马空间关系密切的天敌种类差异, 并分析其差异原因, 分析得出花蓟马在空间上关系密切的主要天敌种类, 为花蓟马的综合防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查时间和地点

调查时间: 2020年9月27日-2020年11月20日。

调查地点: 安徽农业大学国家高新技术农业园。

1.2 茶树品种和调查方法

调查的茶树品种是“平阳特早”、“黄山大叶种”、“农抗早”和“白毫早”。

调查采用平行跳跃法。在茶园里随机选取3行茶树, 每行茶树间隔1 m, 选取2 m×2 m的样方为调查点, 总共取30个样方(其中白毫早茶园为15个样方); 在每个样方中随机选取15片茶叶, 记录害虫和天敌的个体总数量; 采用盘拍法, 使用涂有浓度为1 000倍洗衣粉水液的搪瓷盘(长为40 cm, 宽为30 cm)对调查样方中的

茶树进行盘拍,记录害虫和天敌的总数量。对调查中不确定的天敌种类,分类编号保存于试管中,带回室内进行种类鉴定。

1.3 统计分析方法

1.3.1 地学统计学分析 运用地学统计学方法(侯景儒和黄竞先,1990; Rossi *et al.*, 1992; 杨林等, 2012)分析花蓟马与其天敌的空间格局。样本半变异函数公式为: $\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot$

$\sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$, $\gamma(h)$ 是变差函数值, $N(h)$ 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。首先,通过计算花蓟马与其天敌的半变异函数,拟合半变异函数理论模型。然后,分析半变异函数结构来描述花蓟马与其天敌之间的空间格局和空间相关关系。最后,求出该模型的变程。

1.3.2 灰色关联度分析 灰色关联度系数(邓聚龙, 1990; 赵静等, 2010)公式为:

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

其中 ρ 为分辨系数, 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, 求出花蓟马与其天敌变程间的关联度: $R(Y_i, X_j) = 1/n \sum r_{ij}(k)$ 。如果某种天敌的变程与花蓟马变程的关联度越大, 表示该种天敌与花蓟马空间跟随关系越密切。

1.3.3 天敌与花蓟马空间关系的综合分析 为了分析 4 种茶园各种天敌与花蓟马空间关系密切程度的差异, 将天敌与花蓟马在空间上的角余弦系数值进行标准化处理, 即把求得的某茶园天敌与花蓟马角余弦系数分别除以对应的茶园每种天敌角余弦系数的最大值, 所得到的值即为密切指数。将 4 种茶园花蓟马与某种天敌的密切指数相加, 密切指数之和最大的天敌, 即为与花蓟马空间关系密切的第 1 位天敌, 其余依次类推。

2 结果与分析

2.1 4 种茶园花蓟马及其天敌种群动态

在害虫种群数量较多时研究害虫与天敌之间的空间关系才具有一定意义。本研究中, 6 次的调查结果显示, 9 月 27 日、10 月 9 日和 10 月 20 日的花蓟马数量较少, 10 月 28 日、11 月 10 日和 11 月 20 日的花蓟马数量较多, 因此, 选择后 3 次的调查数据作为依据, 分析与花蓟马空间关系密切程度的差异, 筛选出茶园中数量较多的天敌, 分析这些天敌与花蓟马的空间关系密切程度, 4 种茶园花蓟马及其天敌的种群数量动态变化如图 1 所示。

2.2 天敌与花蓟马空间格局的地学统计学分析

将白毫早、黄山大叶种、农抗早和平阳特早 4 种茶园花蓟马与其天敌的地学统计学的半变异函数模型特征参数分别列于表 1-表 5。

白毫早茶园(表 1) 11 月 20 日的锥腹肖蛸(X_2)的半变异函数理论模型的决定系数 R^2 最小, 为 0.249 0, R 为 0.499 0, 11 月 20 日的鳞纹肖蛸(X_1)的 R^2 处于次小值, R^2 为 0.577 5, R 为 0.759 9 ($df=11$ 时, $r_{0.05}=0.553$); 黄山大叶种茶园(表 2) 中 11 月 10 日的锥腹肖蛸(X_2)的理论模型的决定系数 R^2 最小, R^2 为 0.292 2, R 为 0.540 6; 农抗早茶园(表 3) 中 11 月 10 日的斜纹猫蛛(X_6)的理论模型决定系数 R^2 最小, 决定系数 R^2 为 0.196 6, R 为 0.443 4; 平阳特早茶园(表 4) 中 10 月 28 日的棕管巢蛛(X_5)的理论模型决定系数 R^2 最小, 决定系数 R^2 为 0.273 3, R 为 0.522 0。 $df=26$ 时, $r_{0.05}=0.374$, $r_{0.01}=0.478$ 。从表 1 中可知, 锥腹肖蛸(X_2)的理论模型与实况吻合度极差。表 2-表 4 中决定系数的 R 值均大于 $r_{0.01}$, 表明理论模型与实况吻合度极高。

2.3 花蓟马和天敌空间关系密切程度的综合比较

利用灰色关联度分析法对 4 种茶园中花蓟马与其天敌的地学统计学半变异函数变程进行分析, 并将灰色关联度和密切指数列于表 5。由

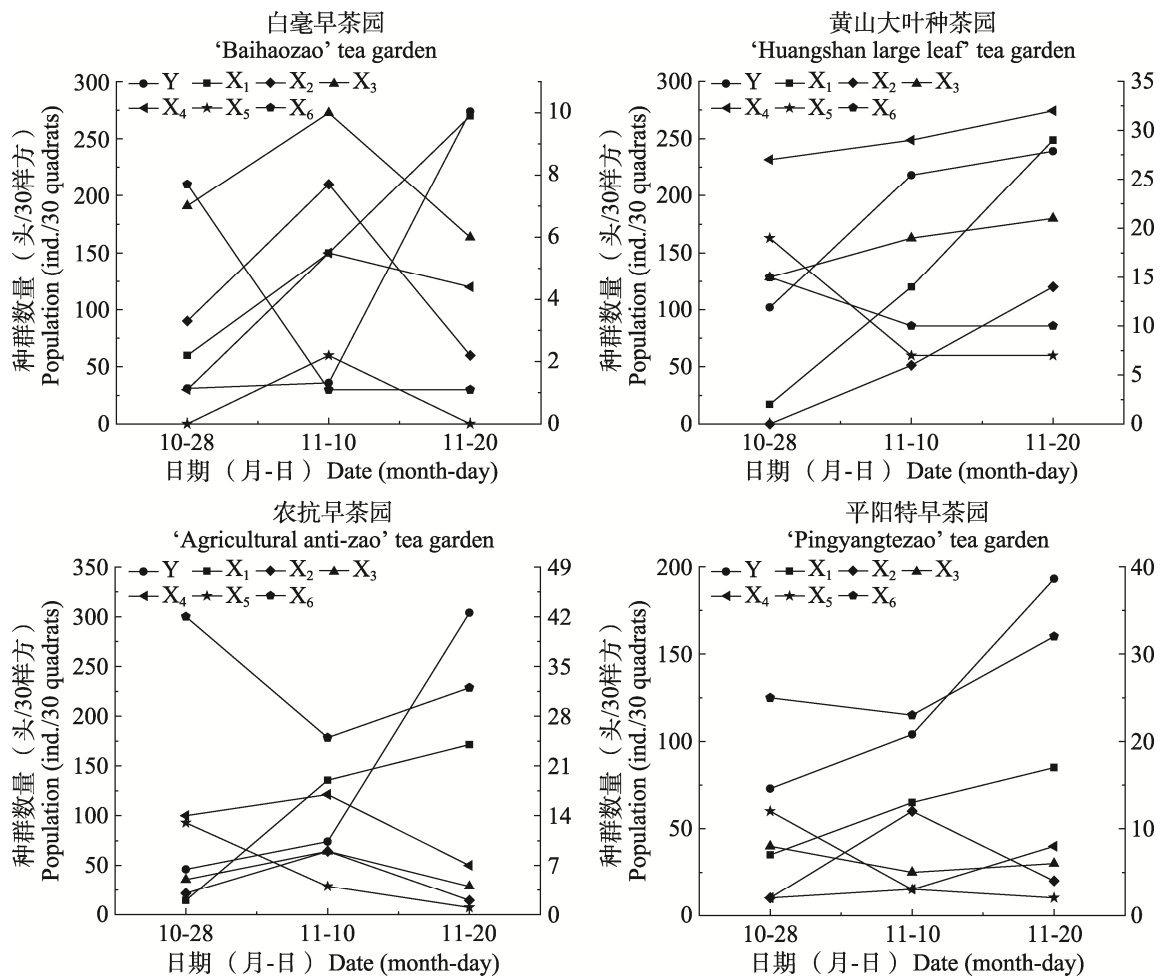


图 1 4 种茶园花蓟马与 6 种天敌的种群数量动态变化

Fig. 1 Population dynamics of *Frankliniella intonsa* and six natural enemies in four tea gardens

Y: 花蓟马; X₁: 鳞纹肖蛸; X₂: 锥腹肖蛸; X₃: 草间小黑蛛; X₄: 三突花蟹蛛;
X₅: 棕管巢蛛; X₆: 斜纹猫蛛; 下图同。

Y: *Frankliniella intonsa*; X₁: *Tetragnatha squamata*; X₂: *Tetragnatha maxillosa*; X₃: *Erigonidium graminicolum*;
X₄: *Misumenops tricuspidatus*; X₅: *Clubiona japonicola*; X₆: *Oxyopes sertatus*. The same below.

表 1 白毫早茶园花蓟马与其天敌的变程和决定系数

Table 1 Variable range and coefficient of determination of *Frankliniella intonsa* and its natural enemies in 'Baihaozao' tea garden

日期 (月-日) Date (month-day)	物种 Species	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Variation	决定系数 Decisive factor
10-28	Y	- 0.058 8	0.551 2	- 1.656 3	18.314 7	2.512 9	0.907 0
	X ₁	0.000 5	- 0.008 5	0.028 4	0.039 6	2.091 3	0.977 1
	X ₂	- 0.000 9	0.012 0	- 0.060 5	0.216 6	4.100 0	0.851 1
	X ₃	0.001 1	- 0.012 3	0.002 4	0.320 6	0.099 6	0.719 8
	X ₄	- 0.000 5	0.007 1	- 0.033 7	0.069 7	3.873 3	0.842 0
	X ₅	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	X ₆	- 0.001 7	0.028 2	- 0.158 2	0.408 3	7.400 0	0.636 8

续表 1 (Table 1 continued)

日期 (月-日) Date (month-day)	物种 Species	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Variation	决定系数 Decisive factor
11-10	Y	- 0.588 8	8.577 5	- 36.038 9	75.034 8	3.073 4	0.883 0
	X ₁	- 0.001 7	0.023 6	- 0.094 6	0.205 6	2.967 7	0.942 1
	X ₂	- 0.006 0	0.084 7	- 0.348 2	0.694 6	3.036 8	0.684 9
	X ₃	- 0.004 8	0.069 5	- 0.311 9	0.702 7	3.556 3	0.790 3
	X ₄	- 0.001 2	0.015 9	- 0.055 3	0.130 7	2.377 9	0.900 6
	X ₅	0.000 5	- 0.008 5	0.028 4	0.039 6	2.091 3	0.977 1
11-20	X ₆	0.000 0	0.000 1	- 0.002 8	0.026 9	4.139 9	0.791 8
	Y	0.012 3	- 0.139 2	- 0.101 0	3.811 6	7.881 8	0.925 9
	X ₁	- 0.003 0	0.043 3	- 0.175 2	0.404 1	2.878 1	0.577 5
	X ₂	- 0.000 1	0.002 0	- 0.012 2	0.065 6	5.000 0	0.249 0
	X ₃	- 0.001 2	- 0.018 2	0.055 3	0.142 6	1.853 6	0.787 9
	X ₄	- 0.001 6	0.023 2	- 0.108 6	0.291 3	4.042 0	0.863 4
	X ₅	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	X ₆	- 0.000 3	0.003 7	- 0.018 2	0.052 4	6.100 0	0.652 0

Y: 花蓟马; X₁: 鳞纹肖蛸; X₂: 锥腹肖蛸; X₃: 草间小黑蛛; X₄: 三突花蟹蛛; X₅: 棕管巢蛛; X₆: 斜纹猫蛛; 下表同。
Y: *Frankliniella intonsa*; X₁: *Tetragnatha squamata*; X₂: *Tetragnatha maxillosa*; X₃: *Erigonidium graminicolum*; X₄: *Misumenops tricuspidatus*; X₅: *Clubiona japonicola*; X₆: *Oxyopes sertatus*. The same below.

表 2 黄山大叶种茶园花蓟马与其天敌的变程和决定系数
Table 2 Variable range and coefficient of determination of *Frankliniella intonsa* and its natural enemies in ‘Huangshan large leaf’ tea garden

日期 (月-日) Date (month-day)	物种 Species	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Variation	决定系数 Decisive factor
10-28	Y	0.036 8	- 5.023 8	33.636 9	130.438 0	3.481 0	0.839 3
	X ₁	- 0.002 1	0.031 6	- 0.137 0	0.251 7	3.212 3	0.714 5
	X ₂	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
	X ₃	- 0.003 7	0.057 7	- 0.273 2	0.712 5	3.647 1	0.750 8
	X ₄	0.001 2	- 0.016 0	- 0.012 7	0.629 6	9.429 8	0.942 4
	X ₅	- 0.008 9	0.134 4	- 0.597 3	1.080 0	3.322 4	0.829 9
11-10	X ₆	0.000 9	0.000 3	- 0.107 0	0.752 7	6.173 8	0.653 5
	Y	- 0.689 2	11.772 7	- 61.998 6	174.077 1	4.133 9	0.292 2
	X ₁	- 0.001 3	0.021 2	- 0.104 3	0.358 6	3.890 9	0.609 6
	X ₂	- 0.000 4	0.004 5	- 0.035 3	0.254 0	5.535 0	0.791 4
	X ₃	0.002 6	- 0.041 8	0.058 1	1.047 1	0.747 0	0.947 6
	X ₄	0.001 3	0.005 2	- 0.254 7	1.518 3	6.844 5	0.803 8
	X ₅	- 0.001 4	0.017 8	- 0.069 4	0.210 6	2.954 0	0.964 6
	X ₆	- 0.007 1	0.106 4	- 0.510 3	1.135 7	3.986 8	0.650 6

续表 2 (Table 2 continued)

日期 (月-日) Date (month-day)	物种 Species	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Variation	决定系数 Decisive factor
11-20	Y	2.130 5	- 33.330 6	82.761 0	531.451 1	1.440 5	0.834 8
	X ₁	- 0.005 4	0.083 8	- 0.431 4	1.101 1	4.862 2	0.921 1
	X ₂	- 0.001 1	0.018 6	- 0.114 7	0.457 4	5.610 4	0.578 7
	X ₃	0.000 6	- 0.008 9	- 0.015 3	0.529 3	10.407 0	0.778 0
	X ₄	0.012 7	- 0.175 0	0.504 9	0.992 4	1.794 9	0.663 4
	X ₅	- 0.001 4	0.021 9	- 0.119 2	0.326 4	4.115 0	0.918 2
	X ₆	- 0.003 1	0.045 0	- 0.199 4	0.477 8	3.485 4	0.926 8

表 3 农抗旱茶园茶园花蓟马与其天敌的变程和决定系数

Table 3 Variable range and coefficient of determination of *Frankliniella intonsa* and its natural enemies in 'Agricultural anti-zao' tea garden

日期 (月-日) Date (month-day)	物种 Species	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Variation	决定系数 Decisive factor
10-28	Y	- 0.638 5	10.576 0	- 49.456 5	102.797 7	3.361 2	0.834 4
	X ₁	0.000 8	- 0.012 6	0.035 5	0.117 3	1.673 2	0.853 1
	X ₂	0.000 5	- 0.004 0	- 0.000 1	0.138 5	9.000 0	0.783 2
	X ₃	0.000 4	- 0.004 7	0.007 3	0.123 8	0.851 3	0.490 0
	X ₄	- 0.003 8	0.060 0	- 0.347 3	1.049 2	5.758 0	0.970 3
	X ₅	- 0.003 4	0.049 0	- 0.254 3	0.796 7	5.900 0	0.840 8
	X ₆	- 0.048 7	0.750 5	- 3.600 4	7.252 7	3.813 9	0.825 6
11-10	Y	- 0.020 4	0.419 2	- 2.216 0	5.348 6	3.579 1	0.900 7
	X ₁	- 0.002 1	0.033 8	- 0.206 8	0.832 7	5.200 0	0.874 7
	X ₂	- 0.001 7	0.020 4	- 0.077 2	0.300 8	3.049 7	0.906 2
	X ₃	- 0.002 7	0.045 0	- 0.260 2	0.689 0	5.580 0	0.868 9
	X ₄	- 0.015 8	0.247 8	- 1.229 2	2.662 4	4.066 5	0.749 6
	X ₅	- 0.001 1	0.016 5	- 0.077 6	0.187 8	3.703 2	0.725 7
	X ₆	0.003 3	- 0.031 8	0.069 1	1.156 5	1.385 8	0.196 6
11-20	Y	- 2.333 2	38.861 0	- 199.650 5	480.066 2	4.035 3	0.389 1
	X ₁	- 0.003 1	0.053 8	- 0.335 9	1.060 0	7.100 0	0.590 8
	X ₂	0.000 2	0.000 3	- 0.011 3	0.107 7	4.139 9	0.791 8
	X ₃	- 0.001 1	0.017 9	- 0.089 8	0.210 0	4.024 2	0.929 6
	X ₄	0.000 3	- 0.003 7	- 0.023 1	0.313 0	9.605 4	0.960 7
	X ₅	0.000 5	- 0.007 7	0.026 7	0.013 5	2.237 6	0.940 2
	X ₆	0.008 9	- 0.115 9	0.193 8	2.053 5	0.936 5	0.737 2

表 4 平阳特早茶园花蓟马与其天敌的变程和决定系数
Table 4 Variable range and coefficient of determination of *Frankliniella intonsa* and its natural enemies in 'Pingyangtezao tea' garden

日期 (月-日) Date (month-day)	物种 Species	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	变程 Variation	决定系数 Decisive factor
10-28	Y	0.403 3	- 7.040 8	4.360 9	257.456 5	0.318 4	0.934 2
	X ₁	0.001 0	- 0.014 4	0.029 4	0.224 5	1.156 1	0.916 2
	X ₂	- 0.000 3	0.005 6	- 0.034 0	0.103 7	5.485 6	0.615 2
	X ₃	0.001 0	- 0.014 3	0.039 2	0.162 3	1.656 5	0.900 8
	X ₄	- 0.000 3	0.004 9	- 0.030 6	0.099 4	7.811 0	0.738 8
	X ₅	- 0.000 3	0.003 0	0.001 0	0.185 4	6.876 2	0.273 3
11-10	X ₆	- 0.008 4	0.129 4	- 0.626 1	1.446 1	3.895 3	0.774 2
	Y	- 0.019 0	- 0.838 5	1.244 7	69.576 5	0.724 3	0.871 7
	X ₁	0.000 1	- 0.005 6	0.022 8	0.288 5	2.100 0	0.928 4
	X ₂	0.000 2	0.009 2	- 0.124 1	0.562 5	5.609 1	0.564 0
	X ₃	- 0.001 2	0.019 0	- 0.093 1	0.238 4	3.979 1	0.810 3
	X ₄	0.000 5	- 0.008 1	0.025 7	0.074 7	1.901 1	0.942 7
11-20	X ₅	- 0.000 2	0.003 2	- 0.025 1	0.135 6	3.967 0	0.885 7
	X ₆	- 0.002 3	0.031 6	- 0.190 4	0.968 9	5.849 0	0.798 8
	Y	- 1.594 6	24.058 9	- 114.436 1	321.012 2	3.857 9	0.870 4
	X ₁	- 0.003 5	0.043 4	- 0.197 4	0.838 1	5.796 0	0.510 6
	X ₂	0.001 1	- 0.016 1	0.052 3	0.080 0	2.055 1	0.984 8
	X ₃	0.000 1	- 0.000 9	- 0.013 0	0.168 5	9.677 7	0.741 7
	X ₄	0.000 8	- 0.012 2	0.012 5	0.357 9	0.541 0	0.858 1
	X ₅	- 0.001 1	0.015 8	- 0.068 5	0.125 9	3.212 3	0.714 5
	X ₆	- 0.001 8	0.009 6	- 0.082 9	1.346 8	2.950 0	0.725 1

表 5 4 种茶园中害虫与天敌之间的灰色关联度与密切指数
Table 5 Gray correlation degree and close index between pests and natural enemies in four tea gardens

茶园 Tea garden	项目 Project	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
白毫早 'Baihaozao'	灰色关联度 Gray correlation degree	0.867 2	0.864 1	0.857 2	0.860 4	0.849 0	0.876 1
	密切指数 Close index	0.989 8	0.986 3	0.978 4	0.982 1	0.969 1	1.000 0
	位次 Serial number	2	3	5	4	6	1
黄山大叶种 'Huangshan large leaf'	灰色关联度 Gray correlation degree	0.643 3	0.626 7	0.628 4	0.627 2	0.635 3	0.628 4
	密切指数 Close index	1.000 0	0.974 2	0.976 8	0.975 0	0.987 6	0.976 8
	位次 Serial number	1	6	3	5	2	3
农抗早 'Agricultural anti-zao'	灰色关联度 Gray correlation degree	0.726 1	0.688 7	0.685 5	0.690 6	0.703 0	0.708 9
	密切指数 Close index	1.000 0	0.948 5	0.944 1	0.951 1	0.968 2	0.976 3
	位次 Serial number	1	5	6	4	3	2

续表 5 (Table 5 continued)

茶园 Tea garden	项目 Project	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
平阳特早 'Pingyangtezao'	灰色关联度 Gray correlation degree	0.636 7	0.631 7	0.605 5	0.629 2	0.635 0	0.639 6
	密切指数 Close index	0.995 5	0.987 6	0.946 7	0.983 7	0.992 8	1.000 0
	位次 Serial number	2	4	6	5	3	1
	密切指数合计 Sum of close index	3.985 3	3.896 6	3.846 0	3.891 9	3.917 7	3.953 1
	密切指数合计排序 Sum order of close index	1	4	6	5	3	2
	位次总数合计 Sun of serial numbers	6	18	20	18	14	7
	总位次排序 Total serial number	1	4	5	4	3	2

表 5 可知,与花蓟马空间上关系密切的前 3 位天敌,白毫早茶园是斜纹猫蛛(X_6)、鳞纹肖蛸(X_1)和锥腹肖蛸(X_2),密切指数依次是 1.000 0、0.989 8 和 0.986 3;黄山大叶种茶园是鳞纹肖蛸(X_1)、棕管巢蛛(X_5)和斜纹猫蛛(X_6),密切指数依次是 1.000 0、0.987 6 和 0.976 8;农抗早茶园是鳞纹肖蛸(X_1)、斜纹猫蛛(X_6)和棕管巢蛛(X_5),密切指数依次是 1.000 0、0.976 3 和 0.968 2;平阳特早茶园是斜纹猫蛛(X_6)、鳞纹肖蛸(X_1)和棕管巢蛛(X_5),密切指数依次是 1.000 0、0.995 5 和 0.992 8。将 4 种茶园同种天敌与花蓟马的密切指数相加,进行排序,同时将 4 种茶园同种天敌位次相加,进行排序,4 种茶园前 3 位天敌种类相同,依次是鳞纹肖蛸(X_1)、斜纹猫蛛(X_6)和棕管巢蛛(X_5)。

3 结论与讨论

根据密切指数之和和天敌位次之和综合分析 4 种茶园的结果得出,2020 年秋冬季 4 种茶园在空间关系上,与花蓟马密切的前 3 位天敌是鳞纹肖蛸(X_1)、斜纹猫蛛(X_6)和棕管巢蛛(X_5),密切指数之和依次是 3.985 3、3.953 1 和 0.917 7。其中,在空间关系上,4 种茶园与花蓟马关系密切的前 3 位天敌中均有鳞纹肖蛸(X_1)和斜纹猫蛛(X_6)。

花蓟马与某种天敌数量之比的情况从图 1 和表 5 可看出,在白毫早茶园中,第 1 位天敌是斜纹猫蛛(X_6),第 6 位天敌是棕管巢蛛(X_5),花蓟马与斜纹猫蛛(X_6)和棕管巢蛛(X_5)个体数的比值为 19.67 和 88.50。在黄山大叶种茶园

中,第 1 位天敌是鳞纹肖蛸(X_1),第 6 位天敌是锥腹肖蛸(X_2),花蓟马与鳞纹肖蛸(X_1)和锥腹肖蛸(X_2)个体数量之比为 37.29 和 83.90。在农抗早茶园中,第 1 位的天敌是鳞纹肖蛸(X_1),第 6 位天敌是草间小黑蛛(X_3),花蓟马与鳞纹肖蛸(X_1)和草间小黑蛛(X_3)个体数的比值为 8.84 和 22.11。在平阳特早茶园中,第 1 位的天敌是斜纹猫蛛(X_6),第 6 位是草间小黑蛛(X_3),花蓟马与斜纹猫蛛(X_6)和草间小黑蛛(X_3)个体数的比值为 8.237 5 和 34.680 0。花蓟马与天敌空间关系密切第 1 位天敌的数量之比小于第 6 位天敌的数量之比,由此分析看出上述的 4 种茶园由于天敌的食饵短缺,造成了天敌与花蓟马关系密切。显示其食饵越少,天敌个体数量对食饵(害虫)种群间的天敌空间分布跟随关系也越密切。

李慧玲等(2016)研究了茶园中节肢动物的群落结构在使用不同绿肥时的变化。余燕等(2018)研究了天敌与茶蚜空间关系密切程度时发现密切程度与害虫和天敌个体数量之比有关,比值越小,与害虫空间关系越密切。宋学雨等(2019)得出了在白毫早茶园中,与卵形短须螨空间跟随关系密切的前 5 位天敌。钱广晶等(2019)在不同茶园也进行了相似的研究。毕守东等(2019)报道了大别山区低海拔、中海拔和高海拔茶园中,害虫与其捕食性天敌的空间和数量关系,表明了不同海拔害虫的天敌优势种均不同。

针对目标害虫的防治,需要采用一系列有效的措施,如调整作物布局和调整合适的施药时

间,或利用生物措施和物理措施相结合科学地保护自然天敌。这样既可以降低农药对环境及茶叶的污染,也降低了对害虫对天敌的杀伤作用,对害虫的控制和促进茶园生态系统发展有良性循环的作用。在其它害虫与花蓟马共存时,天敌对各种害虫的嗜性不同,影响对花蓟马的控制作用。此外,在多种天敌取食同一种害虫时,天敌之间的竞争作用也是天敌与害虫之间关系里的一部分内容,这些有待于进一步研究。为了有效利用和保护自然界天敌,必须要做的第一步是评判害虫的主要天敌(公茂莲等,2009)。本文是对两者空间关系的一种尝试。蜘蛛多数为广食性天敌,取食多种害虫。本文是基于6种蜘蛛类天敌取食花蓟马一种食饵进行的分析,实际上它们是多食性天敌,未来将进一步分析多种食饵共存时,对某种食饵的嗜性问题,以期科学利用自然界天敌进行生物防治提供参考依据。

参考文献 (References)

- Bi SD, Zhang SP, Yu Y, Wang ZX, Zhou XZ, Li S, Yan P, Zou YD, Wang JP, Lang K, 2019. Spatial relationship between *Ricania speculum* and its natural enemies based on the square variance analysis of cluster samples. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(1): 62–71. [毕守东, 张书平, 余燕, 王振兴, 周夏芝, 李尚, 闫萍, 邹运鼎, 王建盼, 郎坤, 2019. 八点广翅蜡蝉与其天敌空间关系的聚块样方差分析. 应用昆虫学报, 56(1): 62–71.]
- Cheng X, Yu Y, Wang JP, Bi SD, Zhou XZ, Zou YD, Wang ZX, Li S, 2018. Analysis of the following effect of the natural predators with *Frankliniella intonsa* and *Brevipalpus obovatus* in tea garden. *Plant Protection*, 44(6): 99–106. [程娴, 余燕, 王建盼, 毕守东, 周夏芝, 邹运鼎, 王振兴, 李尚, 2018. 茶园天敌对花蓟马和茶短须螨的跟随效应研究. 植物保护, 44(6): 99–106.]
- Deng JL, 1990. Grey System Theory Tutorial. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press. 33–84. [邓聚龙, 1990. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社. 33–84.]
- Gong ML, Bi SD, Zou YD, Dang FH, Li XX, Xu ZE, Wang XC, Xu YR, 2009. Fuzzy-similitude-priority and fuzzy-judgement of the dominant pests and their superior natural enemies in plum orchards. *Journal of Anhui Agricultural University*, 36(3): 360–364. [公茂莲, 毕守东, 邹运鼎, 党凤花, 李先秀, 徐增恩, 王晓翠, 徐玉蕊, 2009. 影响李园主要害虫优势种天敌的模糊相似优先比与模糊综合评判研究. 安徽农业大学学报, 36(3): 360–364.]
- Hou JR, Huang JX, 1990. Theory and Method of Geostatistics. Beijing: Geological Publishing House. 82–102. [侯景儒, 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 AG, Qian GJ, Song XY, Zhang SP, Zou YD, Bi SD, 2020. Spatial-following relationship between thrips and their natural enemies in the Baihaozao and Wuniuzao tea gardens in Hefei. *Journal of Plant Protection*, 47(2): 435–445. [刘爱国, 钱广晶, 宋学雨, 张书平, 邹运鼎, 毕守东, 2020. 合肥市白毫早、乌牛早茶园天敌与蓟马的空间跟随关系. 植物保护学报, 47(2): 435–445.]
- Li HL, Zhang H, Liu FJ, Zeng MS, 2016. Regulating effect on *Empoasca flavescens* (Homoptera: Cicadellidae) by intercropping tea bushes with *Chamaecrista rotundifolia*. China Society of Plant Protection. Scientific and technological innovation of plant protection and agricultural targeted poverty alleviation——Proceedings of 2016 academic annual meeting of China Plant Protection Society. 106–109. [李慧玲, 张辉, 刘丰静, 曾明森, 2016. 间作圆叶决明调控茶小绿叶蝉研究. 中国植物保护学会. 植保科技创新与农业精准扶贫——中国植物保护学会 2016 年学术年会论文集. 106–109.]
- Li S, Wang J, Huang NX, Jin ZY, Wang S, Zhang F, 2020. Research progress and prospect on banker plant systems of predators for biological control. *Scientia Agricultura Sinica*, 53(19): 3975–3987. [李姝, 王杰, 黄宁兴, 金振宇, 王甦, 张帆, 2020. 捕食性天敌储蓄植物系统研究进展与展望. 中国农业科学, 53(19): 3975–3987.]
- Li S, Wang ZX, Wang JP, Zhou XZ, Bi SD, Tan S, Chen Y, Liu FF, Zou YD, Lang K, 2016. Differences of dominant natural enemies of *Monolepta hieroglyphica* and *Brevipalpus obovatus* in Baihaozao and Wuniuzao tea gardens. *Journal of South China Agricultural University*, 37(4): 38–45. [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, 2016. 白毫早和乌牛早茶园卵形短须螨和双斑长跗蚧叶甲优势种天敌的差异. 华南农业大学学报, 37(4): 38–45.]
- Qian GJ, Song XY, Zhang SP, Li S, Wang ZX, Bi SD, Zhou XZ, Zou YD, Yan P, 2019. Relationships between the *Frankliniella intonsa* and the predatory natural enemies in Hefei, Anhui province. *Plant Protection*, 45(6): 229–237. [钱广晶, 宋学雨, 张书平, 李尚, 王振兴, 毕守东, 周夏芝, 邹运鼎, 闫萍, 2019. 安徽合肥地区茶园蓟马与其捕食性天敌的关系. 植物保护, 45(6): 229–237.]
- Rossi R, Mulla D, Tournel G, Franz H, 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence.

- Ecological Monographs*, 62(2): 277–314.
- Song XY, Qian GJ, Zhang SP, Yu Y, Li S, Bi SD, Zhou XZ, Zou YD, 2019. Spatial-following relationships between *Brevipalpus obovatus*, *Monolepta hieroglyphica* and their natural enemy insects in tea garden. *Journal of China Agricultural University*, 24(11): 89–97. [宋学雨, 钱广晶, 张书平, 余燕, 李尚, 毕守东, 周夏芝, 邹运鼎, 2019. 茶园天敌昆虫与卵形短须螨及双斑长跗蜱叶甲的空间跟随关系. 中国农业大学学报, 24(11): 89–97.]
- Wang JP, Liu FF, Bi SD, Geng JG, Zhou XZ, Zou YD, Tan S, Wang ZX, Li S, Chen Y, 2016. Study of the spatial relationships of *Frankliniella intonsa* and *Brevipalpus obovatus* Donnadieu with their natural predators in Anji white tea garden. *Journal of Southwest University*, 38(8): 1–9. [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, 2016. “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, 38(8): 1–9.]
- 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. *Agrochemicals*, 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, 32(13): 4215–4227.]
- Yu Y, Wang ZX, Li SH, Zhou XZ, Zou YD, Wang JP, Lang K, 2018. Degree of close spatial-following relationship between four insect pests and their natural enemies studied in a span of two years about “WuNiuZao” tea garden. *Acta Ecologica Sinica*, 38(13): 4817–4833. [余燕, 王振兴, 李尚, 毕守东, 周夏芝, 邹运鼎, 王建盼, 郎坤, 2018. 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, 38(13): 4817–4833.]
- Zhao J, Zhao X, Wang YJ, Li GQ, Liu LP, Meng JH, Zheng FQ, 2020. Geostatistical analysis of spatial patterns of *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) and its natural enemy spiders. *Acta Ecologica Sinica*, 30(15): 4196–4205. [赵静, 赵鑫, 王玉军, 李光强, 刘丽平, 孟家华, 郑方强, 2010. 烟盲蝽及其天敌蜘蛛空间格局的地统计学分析. 生态学报, 30(15): 4196–4205.]
- Zhang HH, Tan JC, 2004. Chinese Tea Plant Pests and Their Pollution-free Management. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 155–157. [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. 155–157.]
- Zou YD, Wang HF, 1989. Agriculture and Forestry Insect Ecology. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 135–156. [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. 135–156.]
- Zou YD, 2002. The Theory and Application of Natural Enemy Evaluation in Pest Management. Beijing: Science-Technology and Publication. 89–91. [邹运鼎, 2002. 害虫管理中天敌评价理论与应用. 北京: 中国林业出版社. 89–91.]