

天敌与广翅蜡蝉空间关系的研究*

程 娴^{1**} 张书平¹ 余 燕¹ 毕守东^{1***} 王振兴¹ 李 尚²
王建盼¹ 周夏芝² 邹运鼎² 刘飞飞¹ 郎 坤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】为了明确与广翅蜡蝉 *Ricania speculum* 空间上跟随关系密切的优势种天敌, 为合理保护和利用自然天敌防治广翅蜡蝉提供科学依据。【方法】用地学统计学法和灰色关联度法相结合, 综合评判与广翅蜡蝉在空间上跟随关系密切的优势种天敌。【结果】年度间比较, 2015 年和 2016 年乌牛早茶园与广翅蜡蝉空间跟随关系密切的前四位天敌依次是鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* 和八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*。2015 年和 2016 年白毫早茶园与广翅蜡蝉空间跟随关系密切的前四位天敌依次是棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*、八斑球腹蛛、茶色新圆蛛和草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*。两茶树品种间比较, 广翅蜡蝉前四位天敌中相同的天敌, 2015 年是锥腹肖蛸和棕管巢蛛, 2016 年是草间小黑蛛和八斑球腹蛛。【结论】对两种茶园 2015 年和 2016 年密切指数总和及序号总和的综合分析, 与广翅蜡蝉空间上跟随关系密切的前三位天敌是八斑球腹蛛、棕管巢蛛和茶色新圆蛛。研究结果明确了两种茶园合理利用和保护蜘蛛天敌的种类。

关键词 广翅蜡蝉; 天敌; 空间关系; 地学统计学; 灰色关联度

Important natural enemies of *Ricania speculum* and the spatial relationship between these predators and this pest

CHENG Xian^{1**} ZHANG Shu-Ping¹ YU Yan¹ BI Shou-Dong^{1***} WANG Zhen-Xing¹ LI Shang²
WANG Jian-Pan¹ ZHOU Xia-Zhi² ZOU Yun-Ding² LIU Fei-Fei¹ LANG Kun¹

(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 identify the dominant natural enemies of *Ricania speculum* and to provide a scientific basis for the comprehensive protection and utilization of such species for the control of this pest. [Methods] Geo-statistics and grey correlation were used to analyze the spatial relationships between *R. speculum* and its natural enemies in two tea plantations in 2015 and 2016. [Results] The four natural enemies whose spatial distributions were most closely correlated with that of *R. speculum* in the Wuniuzao tea plantation were *Tetragnatha squamata* Karsch, *Tetragnatha maxillosa*, *Neoscona theisi* and *Theridion octomaculatum*. The four natural enemies whose spatial distributions were most closely correlated with that of *R. speculum* in the Baihaozao tea plantation were *Clubiona japonicola* Boes. et Str, *Theridion octomaculatum*, *Neoscona theisi* and *Hylyphantes graminicola*. The four natural enemies whose spatial distributions were most closely correlated with that of *R. speculum* were the same in two tea varieties; in 2015, these were *T. maxillosa* and *C. japonicola* and in 2016, they were *Hylyphantes graminicola* and *T. octomaculatum*. [Conclusion] Comprehensive analysis, including close index summation and serial number summation, indicate that the three natural enemies whose spatial distributions were most closely correlated with that of *R. speculum* in both tea plantations in both years, were *T. octomaculatum*, *C. japonicola* and *N. theisi*. These results promote the rational use and protection of natural enemies of *R. speculum*.

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (30871444); 国家林业公益性行业科研专项 (201404410)

**第一作者 First author, E-mail: chengxian@ahau.edu.cn

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

收稿日期 Received: 2018-10-18; 接受日期 Accepted: 2018-12-31

Key words *Ricania speculum*; natural enemies; relationship in space; geostatistics; grey correlation degree

广翅蜡蝉科 Ricanidae 属半翅目头喙亚目蜡蝉总科, 已知约 41 属 400 余种, 我国记载 30 多种, 常见的种类有八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum* (Walker)、柿广翅蜡蝉 *Ricania Sublimbata* Jacobi、圆纹广翅蜡蝉 *Pochazia gutifera* Walker、白斑广翅蜡蝉 *Pochazia albamaculate* (Vhler)、眼纹疏广翅蜡蝉 *Euricania ocellus* Walker、可可广翅蜡蝉 *Ricania cacaonis* Chou et Lu、钩纹广翅蜡蝉 *Ricania simulans* Walker 等, 危害茶树的广翅蜡蝉近 10 种 (张汉鹄, 2004; 包强等, 2013; 赵丰华等, 2011), 广翅蜡蝉有趋嫩习性, 以若虫和成虫吸取嫩茎、嫩叶的汁液为害, 多数一年发生一代。6-7 月间成虫盛发, 成虫善于飞翔, 耐饥饿, 产卵于枝梢, 喜潮湿, 畏阳光, 茶丛复盖郁闭度大且阴湿的茶园是该虫发生的最佳环境。在贵州铜仁地区, 八点广翅蜡蝉和圆纹广翅蜡蝉的天敌为草蛉、瓢虫和蜘蛛, 其中与蜘蛛关系密切, 平均每百网虫量中蜘蛛有 34 头 (顾昌华, 2008)。徐冠军和钟仕田 (1988) 报道柿广翅蜡蝉的天敌为晋草蛉 *Chrysopa Shamsicnsis* Kawa 等 7 种捕食性昆虫和三突花蟹蛛 *Misumcnnops tricuspidaus* (Fabt) 等 5 种蜘蛛。用 10% 毗虫啉 wp2 000 倍喷雾防治广翅蜡蝉, 药后 10 d, 校正防效达 96.7%。昆虫对颜色的趋性与其物理防治策略有关, 林金丽等 (2009) 研究发现 10 种不同颜色的色板可捕获 10 目 63 科的昆虫, 其中素馨黄和芽绿对蜡蝉的引诱力最强。广翅蜡蝉成虫趋向于选择黄色饱和度高的色板, 果绿、素馨黄、芽绿和土黄对广翅蜡蝉的引诱力强 (孙晓玲等, 2011)。安徽茶区广翅蜡蝉类有带纹疏广蜡蝉 *Euricania fascialis* Walker、眼纹疏广蜡蝉、缘纹广翅蜡蝉 *Ricania marginalis* Walker、八点广翅蜡蝉、柿广翅蜡蝉, 以八点广翅蜡蝉数量最多。茶树的内含物涉及其抗虫性, 曾莉等 (2001)、扈克明等 (2003)、邹武等 (2005) 和马新华等 (2007) 都先后报道茶树抗虫性对害虫数量的影响, 害虫数量的变化进

而影响到其天敌的数量和行为的变化。天敌与广翅蜡蝉的空间关系密切与否, 与天敌对广翅蜡蝉的捕食作用大小直接有关 (邹运鼎和王弘法, 1989; 邹运鼎, 1997)。到目前为止, 有关天敌与广翅蜡蝉之间空间关系的系统研究未见报道。本文研究白毫早和乌牛早茶园 8 种主要天敌蜘蛛对广翅蜡蝉类害虫空间跟随关系密切程度的差异, 为科学保护和合理利用自然天敌综合防治广翅蜡蝉提供科学依据。

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 (31°94'N, 117°21'E), 属亚热带和温带气候过渡带。调查茶树品种为树龄 13 年的乌牛早和白毫早, 每品种茶园面积为 0.2 hm²。乌牛早茶园和白毫早茶园调查时间均为 2015 年 3 月 28 日-11 月 14 日。2016 年 3 月 27 日-11 月 17 日, 约 15 d 调查一次, 2015 年调查 17 次, 2016 年调查 16 次。两种茶园周边为其他品种茶园, 茶园按常规措施管理, 但不施用化学农药。

1.2 调查方法

采用平行跳跃法随机在茶园选取 3 行, 每行间隔 1 m, 取 2 m 长的样方。每行 10 个样方, 每个样方相距 1 m, 共取 30 个样方, 先目测调查, 每样方随机选取 10 片叶, 调查一些不易振落害虫及天敌种类和个体数, 然后用沾有洗衣粉水液的搪瓷盘对样方中的所有枝条进行盘拍 (搪瓷盘口长为 40 cm, 宽 30 cm, 洗衣粉水溶液浓度为 1 000 倍), 调查记载害虫及其天敌物种数和个体数, 对于一部分不能准确鉴定的物种样本编号保存, 装毒瓶带回室内鉴定或请专家鉴定。

1.3 数学分析方法

1.3.1 天敌与广翅蜡蝉在空间关系上的地学统计学分析 根据区域化变量的理论 (侯景儒和黄

竞争, 1990), 在空间上昆虫种群数量是区域化变量。因此可以用区域化变量理论与方法, 即地学统计学方法, 研究天敌和广翅蜡蝉的空间关系。求得它的半变异函数 $R^*(h) = \frac{1}{2N(h)}$ 。

$\sum [z(X_i) - z(X_i + h)]^2$ 的理论模型及其变程, 变程是变异函数值达到平衡时的间隔距离, 即变异函数值不再增加时的距离(或称空间依赖范围), 式中 $N(h)$ 是被 h 分割的数据对 $(X_i, X_i + h)$ 的对数, $z(X_i)$ 和 $z(X_i + h)$ 分别是在点 X_i 和 $X_i + h$ 处样本的测量值, h 是分隔两样本点的距离。

1.3.2 天敌与广翅蜡蝉变程间的灰色关联度分析 将广翅蜡蝉及其天敌分别看作一个本征系统(邓聚龙, 1990), 广翅蜡蝉半变异函数的变程 Y_i 作为参照序列, 天敌半变异函数的变程 X_i 作为该系统的比较序列, 不同时点上的广翅蜡蝉与天敌在 k 点上的效果白化值进行双序列关系分析。经数据均值化后, 利用关联度公式

$R(Y_i, X_j) = \frac{1}{n} \sum r_{ij}(k)$ 求天敌 (X_i) 与 Y 变程间的关联度, r_{ij} 为关联系数, 其公式为

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

为便于进行分析, 本文取 $\rho = 0.8$, $\min |Y_i(k) - X_j(k)|$ 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, $\min \min |Y_i(k) - X_j(k)|$ 为 2 级最小差, $\max \max |Y_i(k) - X_j(k)|$ 为 2 级最大差。

1.3.3 天敌与广翅蜡蝉在空间关系上密切程度的综合分析 将茶树品种和各年度在空间上与广翅蜡蝉的灰色关联度分别标准化, 即除以各自最大的关联度, 其商称为密切指数。用密切指数之和大小评判与广翅蜡蝉空间跟随关系的密切程度。密切指数之和最大者即为跟随关系密切的第一位天敌, 依此类推。

再将茶树品种和各年度在空间上与广翅蜡蝉的灰色关联度标准化后, 对密切指数大小进行

排序, 按序号之和大小评判与广翅蜡蝉空间跟随关系的密切程度。序号之和最小者即为第一位天敌, 依此类推。

然后对两种标准的评判结果进行比较。

2 结果与分析

2.1 2015 年天敌对广翅蜡蝉在空间上跟随关系的密切程度

2015 年乌牛早茶园共调查节肢动物 78 种, 共 23 604 头, 分属 16 目 53 科, 其中植食性昆虫 32 种, 共 9 682 头, 其中广翅蜡蝉类 107 头, 捕食性天敌 37 种, 共 7 374 头; 白毫早茶园共调查节肢动物 18 180 头, 共 92 种, 分属 21 目 53 科, 其中植食性昆虫 8 085 头, 共 39 种, 其中广翅蜡蝉类 84 头, 捕食性天敌 6 111 头, 共 42 种。蜘蛛是广翅蜡蝉的主要天敌。综合比较, 两种茶园的 37-42 种捕食性天敌全年调查的蜘蛛个体总数占捕食性天敌 80% 左右, 个体总数均超过 119 头的有鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、草间小黑蛛 *Hylyphantes graminicola*、三突花蟹蛛 *Misumcnops tricuspidatus*、八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*、棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes. et Str、茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* 和斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch, 将这 8 种蜘蛛作为主要天敌。将两种茶园 8 种天敌和广翅蜡蝉的种群消长动态绘于图 1 和图 2。广翅蜡蝉类一年发生一代, 在 6-8 月份数量较多。

害虫数量多的时候可以比较准确地反映天敌与害虫之间的空间关系, 为了分析天敌与广翅蜡蝉之间的空间关系。2015 年乌牛早茶园选择高峰期的广翅蜡蝉 6 月 8 日、6 月 20 日、7 月 4 日、8 月 16 日和 8 月 30 日, 白毫早茶园选择 6 月 8 日、6 月 20 日、7 月 4 日、9 月 13 日和 9 月 26 日广翅蜡蝉及其 8 种天敌的数据进行地学统计学分析, 半变异函数理论模型的参数和变程列于表 1, 白毫早茶园最小的 R^2 为 9 月 13 日 X_3 的 R^2 , 其值为 0.493 2 ($R=0.702 3$), 乌牛早茶园中最小的 R^2 为 8 月 16 日 X_1 的 R^2 , 其值为 0.4759

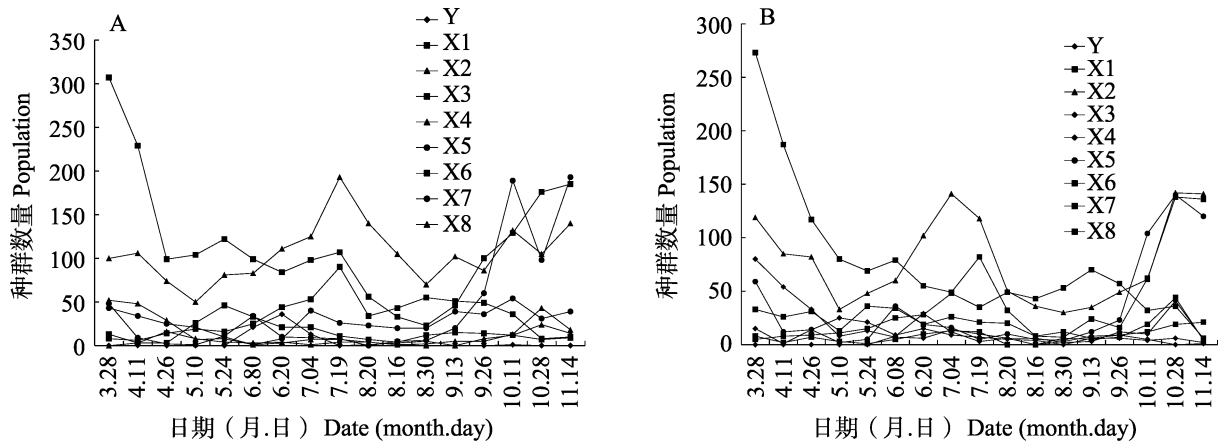


图 1 2015 年乌牛早 (A) 和白毫早茶园 (B) 8 种天敌和广翅蜡蝉的种群消长动态

Fig. 1 The population dynamic of eight kinds of natural enemies and *Ricanidae speculum* about Wuniuzao (A) and Baihaozao (B) tea garden in 2015

Y: 广翅蜡蝉 *Ricanidae speculum*; X1: 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata* Karsch; X2: 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*; X3: 草间小黑蛛 *Hylyphantes graminicola*; X4: 三突花蟹蛛 *Misumcunnops tricuspidatus*; X5: 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*; X6: 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes. et Str; X7: 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X8: 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus* L. Koch. 下图同。The same below.

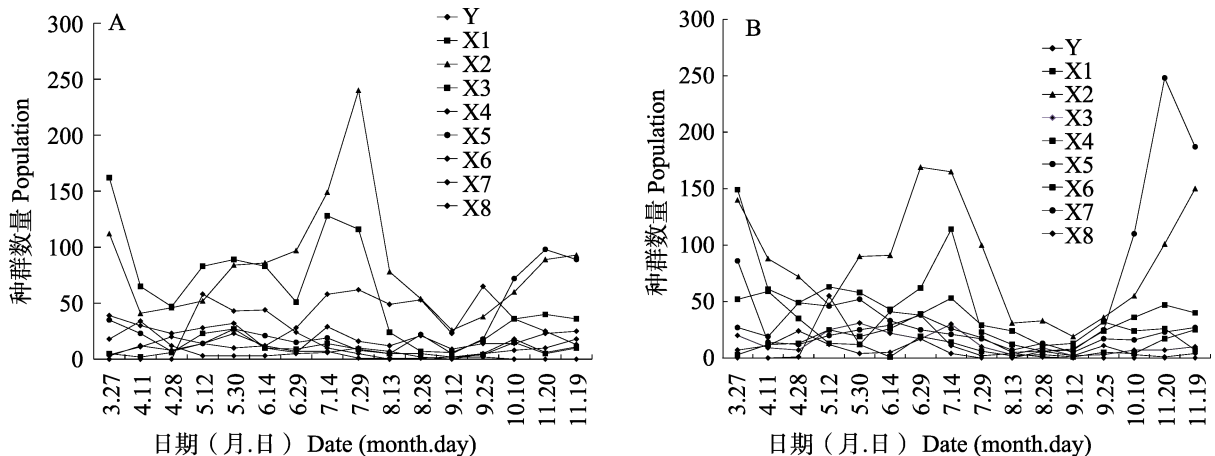


图 2 2016 年乌牛早 (A) 和白毫早 (B) 茶 5 种天敌和广翅蜡蝉的种群消长动态

Fig. 2 The population dynamic of eight kinds of natural enemies and *Ricanidae speculum* about Wuniuzao (A) and Baihaozao (B) tea garden in 2016

($R=0.6899$), $df=26$ 时, $r_{0.05}=0.374$, $r_{0.01}=0.478$, R 均大于 $r_{0.01}$, 表明表 1 中半变异函数的理论模型与实际情况吻合度高。将求得的两种茶园天敌与广翅蜡蝉半变异函数理论模型的变程之间进行灰色关联度分析, 结果列于表 3, 2015 年空间上对广翅蜡蝉跟随关系密切的前四位天敌, 乌牛早茶园是鳞纹肖蛸 (X1 0.912 5)、锥腹肖蛸 (X2 0.886 3)、棕管巢蛛 (X6 0.853 4) 和草

间小黑蛛 (X3 0.823 2), 白毫早茶园依次是棕管巢蛛 (X6 0.928 5)、八斑球腹蛛 (X5 0.915 2)、茶色新圆蛛 (X7 0.898 5) 和三突花蟹蛛 (X4 0.877 8), 两品种茶园前四位天敌中都有锥腹肖蛸和棕管巢蛛。

两品种茶园 2015 年前四位天敌中有棕管巢蛛一种相同。为了便于比较优势种天敌的种群动态, 将累计数量绘于图 3, 由图 3 可看出, 乌牛

表 1 2015 年白毫早和乌牛早茶园广翅蜡蝉与其天敌的理论半变异函数模型参数
Table 1 The theoretical semivariogram parameters of *Ricanidae speculum* and its natural enemies about Baihaozao and Wuniuzao tea garden in 2015

物种 Species	白毫早 Baihaozao				乌牛早 Wuniuzao				分布型 Pattern
	日期 Date	模型 Model	变程 RSD (m) Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	日期 Date	模型 Model	变程 RSD (m) Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	
Y	6.8	球形 Sphere	5.866 5	0.741 6	6.8	球形 Sphere	4.251 7	0.825 4	A
X1		球形 Sphere	6.174 3	0.514 1		球形 Sphere	7.677 5	0.913 9	A
X2		球形 Sphere	6.565 1	0.815 0		球形 Sphere	8.125 7	0.897 0	A
X3		球形 Sphere	8.703 0	0.918 7		球形 Sphere	6.687 4	0.797 7	A
X4		球形 Sphere	9.085 1	0.584 1		球形 Sphere	0	0	A
X5		球形 Sphere	6.125 8	0.845 8		球形 Sphere	8.754 2	0.826 0	A
X6		球形 Sphere	4.035 2	0.884 9		球形 Sphere	5.023 9	0.743 5	A
X7		球形 Sphere	4.125 8	0.666 6		球形 Sphere	9.022 6	0.853 1	A
X8		球形 Sphere	0	0		球形 Sphere	0	0	A
Y	6.20	球形 Sphere	5.825 7	0.938 0	6.20	球形 Sphere	8.083 1	0.944 7	A
X1		球形 Sphere	8.695 3	0.978 5		球形 Sphere	9.331 0	0.866 1	A
X2		球形 Sphere	5.256 9	0.826 9		球形 Sphere	3.192 7	0.881 0	A
X3		球形 Sphere	6.125 8	0.840 4		球形 Sphere	8.338 5	0.701 2	A
X4		球形 Sphere	3.257 8	0.832 3		球形 Sphere	7.579 4	0.945 5	A
X5		球形 Sphere	7.125 8	0.891 2		球形 Sphere	6.889 5	0.489 5	A
X6		球形 Sphere	9.614 3	0.919 6		球形 Sphere	7.124 7	0.862 6	A
X7		球形 Sphere	7.125 8	0.760 5		球形 Sphere	7.380 7	0.688 9	A
X8		球形 Sphere	6.227 8	0.812 4		球形 Sphere	2.209 1	0.940 2	A
Y	7.04	球形 Sphere	4.125 8	0.804 8	7.04	球形 Sphere	6.186 7	0.837 0	A
X1		球形 Sphere	3.755 4	0.901 4		球形 Sphere	5.967 4	0.904 1	A
X2		球形 Sphere	2.816 7	0.937 7		球形 Sphere	6.324 7	0.879 0	A
X3		球形 Sphere	6.125 8	0.840 4		球形 Sphere	7.354 1	0.785 1	A
X4		球形 Sphere	7.254 8	0.832 3		球形 Sphere	6.854 1	0.929 8	A
X5		球形 Sphere	6.125 8	0.891 2		球形 Sphere	6.741 5	0.683 9	A
X6		球形 Sphere	9.614 3	0.919 6		球形 Sphere	4.009 6	0.859 0	A
X7		球形 Sphere	6.214 7	0.900 3		球形 Sphere	3.874 1	0.594 4	A
X8		球形 Sphere	7.258 7	0.819 7		球形 Sphere	9.022 6	0.853 7	A
Y	9.13	球形 Sphere	7.259 7	0.799 3	8.16	球形 Sphere	5.216 7	0.517 3	A
X1		球形 Sphere	6.854 1	0.654 5		球形 Sphere	7.030 5	0.475 9	A
X2		球形 Sphere	6.069 6	0.665 8		球形 Sphere	7.124 5	0.753 9	A
X3		球形 Sphere	7.558 7	0.493 2		球形 Sphere	7.908 2	0.826 9	A
X4		球形 Sphere	5.090 6	0.640 2		球形 Sphere	7.488 8	0.714 5	A
X5		球形 Sphere	5.965 1	0.812 1		球形 Sphere	8.228 7	0.494 5	A
X6		球形 Sphere	7.854 1	0.893 1		球形 Sphere	8.125 4	0.818 7	A
X7		球形 Sphere	5.862 1	0.739 4		球形 Sphere	9.599 8	0.941 5	A
X8		球形 Sphere	7.125 4	0.885 7		球形 Sphere	7.125 4	0.902 0	A

续表 1 (Table 1 continued)

物种 Species	白毫早 Baihaozao				乌牛早 Wuniuzao				分布型 Pattern
	日期 Date	模型 Model	变程 RSD (m) Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	日期 Date	模型 Model	变程 RSD (m) Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	
Y		球形 Sphere	6.187 4	0.872 4		球形 Sphere	3.127 4	0.837 0	A
X1		球形 Sphere	4.266 5	0.798 6		球形 Sphere	5.951 2	0.870 4	A
X2		球形 Sphere	4.218 7	0.858 0		球形 Sphere	8.218 1	0.965 6	A
X3		球形 Sphere	4.367 4	0.600 9		球形 Sphere	5.397 8	0.650 7	A
X4	9.26	球形 Sphere	8.000 0	0.840 1	8.30	球形 Sphere	0	0	A
X5		球形 Sphere	3.247 1	0.945 1		球形 Sphere	6.432 4	0.803 6	A
X6		球形 Sphere	8.183 4	0.974 1		球形 Sphere	8.301 1	0.907 1	A
X7		球形 Sphere	6.686 7	0.821 3		球形 Sphere	8.702 9	0.672 9	A
X8		球形 Sphere	1.658 4	0.914 1		球形 Sphere	8.125 4	0.763 1	A

*半变异函数理论模型 $y=C_1x^3+C_2x^2+C_3x+C_4$ 。*Models of semivariogram $y=C_1x^3+C_2x^2+C_3x+C_4$.

Ag: 聚集分布 Aggregated. 下表同。The same below.

表 2 2015 年两种茶园天敌与广翅蜡蝉在空间上变程的关联度
Table 2 Two types of tea gardens natural enemies and *Ricanidae speculum* of correlation in space in 2015

茶树品种 Tea treespecies	天敌 Natural enemies							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
乌牛早 Wuniuzao	0.912 5 (1)	0.886 3 (2)	0.823 2 (4)	0.474 1 (8)	0.815 7 (5)	0.853 4 (3)	0.745 2 (6)	0.702 0 (7)
白毫早 Baihaozao	0.826 9 (6)	0.856 0 (5)	0.763 5 (7)	0.877 8 (4)	0.915 2 (2)	0.928 5 (1)	0.898 5 (3)	0.681 8 (8)

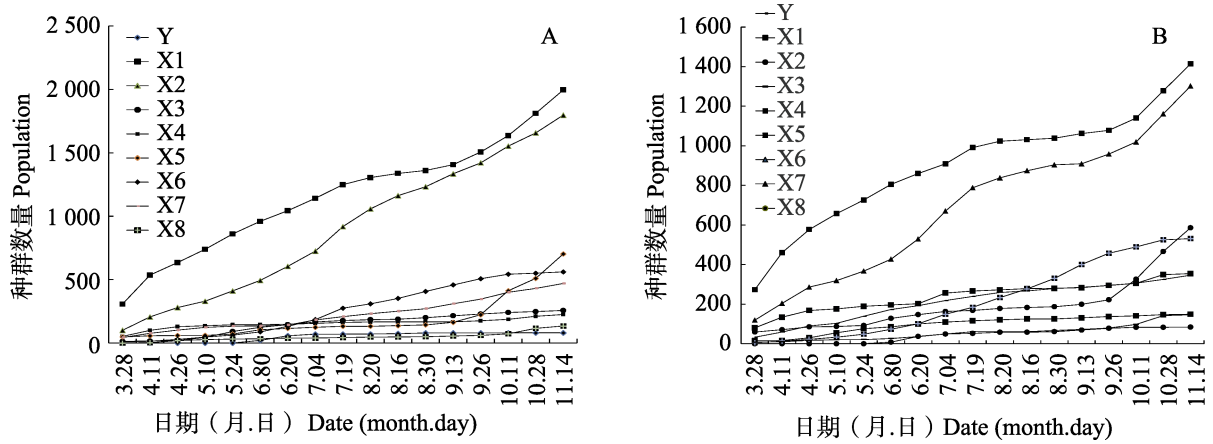


图 3 2015 年乌牛早 (A) 和白毫早茶 (B) 8 种天敌和广翅蜡蝉的种群累计数量曲线图
Fig. 3 A graph of the cumulative population of eight kinds of natural enemies and *Ricanidae speculum* about Wuniuzao (A) and Baihaozao (B) tea garden in 2015

早茶园鳞纹肖蛸 (X1)、锥腹肖蛸 (X2) 和棕管巢蛛 (X6) 的消长动态和广翅蜡蝉的消长动态一致, 白毫早茶园八斑球腹蛛 (X5)、棕管巢蛛 (X6) 和茶色新园蛛 (X7) 与广翅蜡蝉累计数量曲线的波动较一致。

2.2 2016 年天敌对广翅蜡蝉在空间上跟随关系的密切程度

为了分析天敌与广翅蜡蝉在空间上的跟随关系情况, 2016 年乌牛早茶园选择 5 月 12 日,

5月30日,6月14日,6月29日和7月14日,2016年白毫早茶园选择5月12日,5月30日,6月14日,6月29日和7月14日的天敌与广翅蜡蝉的数据进行地学统计分析,其中半变异函数理论模型的参数和变程列于表3,乌牛早茶园中最小的决定系数 R^2 为7月14日X6的 R^2 ,其值为0.3512($R=0.5926$),白毫早茶园中最小的决定系数 R^2 为5月30日X3的 R^2 ,其值为0.2566($R=0.5066$), $df=26$ 时, $r_{0.05}=0.374$, $r_{0.01}=0.478$, R 的值均大于 $r_{0.01}$ (0.478),表明表3半变异函数理论模型与实际情况的吻合度高。对天敌与广翅蜡蝉半变异函数理论模型的变程间进行关联度分析,结果列于表4。

由表4可看出,2016年在空间上与广翅蜡蝉跟随关系密切的天敌按关联度大小排序前四

位天敌依次是:乌牛早茶园是八斑球腹蛛(X5:0.9658)、草间小黑蛛(X3:0.9478)、茶色新圆蛛(X7:0.9446)和锥腹肖蛸(X2:0.9356);白毫早茶园是草间小黑蛛(X3:0.8854)、棕管巢蛛(X6:0.8590)、八斑球腹蛛(X5:0.8109)和茶色新圆蛛(X7:0.8013)。两品种茶园前四位优势种天敌中相同的3种天敌是八斑球腹蛛、草间小黑蛛和茶色新圆蛛。为了比较优势种天敌的种群数量动态将两种茶园天敌种群累计数量绘于图6。可看出乌牛早茶园草间小黑蛛(X3)、八斑球腹蛛(X5)和茶色新园蛛(X7)的种群累计数量曲线的波动与广翅蜡蝉较一致。白毫早茶园草间小黑蛛(X3)、八斑球腹蛛(X5)和棕管巢蛛(X6)的种群累计数量曲线波动与广翅蜡蝉较一致。

表3 2016年白毫早和乌牛早茶园广翅蜡蝉与其天敌的理论半变异函数模型参数
Table 3 The theoretical semivariogram parameters of *Ricanidae speculum* and its natural enemies about Wuniuzao tea garden in 2016

物种 Species	白毫早 Wuniuzao				乌牛早 Baihaozao				分布型 Pattern
	日期 Date	模型 Model	变程 RSD (m) Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	日期 Date	模型 Model	变程 RSD (m) Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	
Y		球形 Sphere	6.994 8	0.960 1		球形 Sphere	6.127 8	0.744 0	A
X1		球形 Sphere	6.455 9	0.501 6		球形 Sphere	8.726 3	0.875 2	A
X2		球形 Sphere	9.457 6	0.844 1		球形 Sphere	7.241 7	0.772 5	A
X3		球形 Sphere	7.125 4	0.772 1		球形 Sphere	8.857 1	0.722 2	A
X4	5.12	球形 Sphere	7.907 1	0.963 0	5.12	球形 Sphere	5.321 7	0.878 7	A
X5		球形 Sphere	8.662 7	0.842 6		球形 Sphere	8.390 8	0.989 9	A
X6		球形 Sphere	6.014 2	0.744 5		球形 Sphere	5.741 8	0.843 0	A
X7		球形 Sphere	7.125 4	0.822 7		球形 Sphere	8.304 1	0.981 4	A
X8		球形 Sphere	0	0		球形 Sphere	0	0	A
Y		球形 Sphere	6.124 8	0.959 1		球形 Sphere	6.109 1	0.760 6	A
X1		球形 Sphere	4.085 7	0.725 1		球形 Sphere	8.408 3	0.804 0	A
X2		球形 Sphere	4.299 6	0.907 4		球形 Sphere	2.314 2	0.921 7	A
X3		球形 Sphere	4.214 7	0.870 7		球形 Sphere	9.044 3	0.256 6	A
X4	5.30	球形 Sphere	5.347 2	0.882 4	5.30	球形 Sphere	12.565 5	0.941 3	A
X5		球形 Sphere	7.402 8	0.872 3		球形 Sphere	6.123 5	0.905 5	A
X6		球形 Sphere	5.214 7	0.869 8		球形 Sphere	7.695 2	0.966 9	A
X7		球形 Sphere	7.230 2	0.771 4		球形 Sphere	10.285 5	0.633 3	A
X8		球形 Sphere	0	0		球形 Sphere	5.125 4	0.715 1	A

续表 3 (Table 3 continued)

物种 Species	白毫早 Wuniuzao				乌牛早 Baihaozao				分布型 Pattern
	日期 Date	模型 Model	变程 RSD (m) Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	日期 Date	模型 Model	变程 RSD (m) Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	
Y		球形 Sphere	5.924 7	0.687 0		球形 Sphere	4.932 5	0.329 8	A
X1		球形 Sphere	4.406 8	0.736 5		球形 Sphere	3.845 7	0.773 0	A
X2		球形 Sphere	8.127 4	0.809 3		球形 Sphere	6.129 7	0.858 8	A
X3		球形 Sphere	5.784 1	0.827 3		球形 Sphere	6.399 8	0.779 8	A
X4	6.14	球形 Sphere	4.217 4	0.799 9	6.29	球形 Sphere	9.022 6	0.853 1	A
X5		球形 Sphere	5.274 3	0.816 2		球形 Sphere	5.987 4	0.760 5	A
X6		球形 Sphere	4.775 2	0.646 6		球形 Sphere	8.390 8	0.989 9	A
X7		球形 Sphere	7.143 7	0.883 3		球形 Sphere	6.859 6	0.483 1	A
X8		球形 Sphere	0	0		球形 Sphere	6.871 1	0.945 3	A
Y		球形 Sphere	4.812 9	0.660 5		球形 Sphere	4.287 4	0.597 0	A
X1		球形 Sphere	7.214 7	0.537 1		球形 Sphere	8.808 1	0.595 7	A
X2		球形 Sphere	8.793 4	0.962 5		球形 Sphere	2.127 4	0.874 9	A
X3		球形 Sphere	6.214 7	0.676 6		球形 Sphere	4.082 6	0.858 4	A
X4	6.29	球形 Sphere	7.214 7	0.559 9	8.16	球形 Sphere	6.497 3	0.434 5	A
X5		球形 Sphere	5.841 2	0.893 0		球形 Sphere	6.728 8	0.643 0	A
X6		球形 Sphere	6.627 9	0.799 9		球形 Sphere	5.874 1	0.817 9	A
X7		球形 Sphere	6.386 9	0.715 9		球形 Sphere	8.153 7	0.859 4	A
X8		球形 Sphere	0	0		球形 Sphere	3.957 4	0.842 9	A
Y		球形 Sphere	3.857 1	0.595 5		球形 Sphere	6.233 4	0.879 6	A
X1		球形 Sphere	5.786 4	0.812 9		球形 Sphere	2.348 5	0.954 3	A
X2		球形 Sphere	7.148 3	0.786 5		球形 Sphere	8.124 5	0.974 2	A
X3		球形 Sphere	5.125 4	0.791 3		球形 Sphere	8.982 7	0.987 7	A
X4	7.14	球形 Sphere	7.125 4	0.746 4	7.14	球形 Sphere	5.124 5	0.912 1	A
X5		球形 Sphere	6.124 5	0.820 8		球形 Sphere	5.253 6	0.647 4	A
X6		球形 Sphere	6.132 4	0.351 2		球形 Sphere	8.548 4	0.899 0	A
X7		球形 Sphere	8.235 1	0.949 6		球形 Sphere	4.124 5	0.776 7	A
X8		球形 Sphere	8.125 4	0.973 6		球形 Sphere	4.647 7	0.531 1	A

表 4 2016 年两种茶园天敌与广翅蜡蝉在空间上的关联度

Table 4 Two types of tea gardens natural enemies and *Ricanidae speculum* of correlation in space in 2016

茶树品种 Tea tree species	天敌 Natural enemies							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
乌牛早 Wuniuzao	0.909 2 (7)	0.935 6 (4)	0.947 8 (2)	0.918 0 (6)	0.965 8 (1)	0.920 4 (5)	0.944 6 (3)	0.672 5 (8)
白毫早 Baihaozao	0.668 3 (7)	0.662 7 (8)	0.885 4 (1)	0.705 1 (6)	0.810 9 (3)	0.859 0 (2)	0.801 3 (4)	0.712 0 (5)

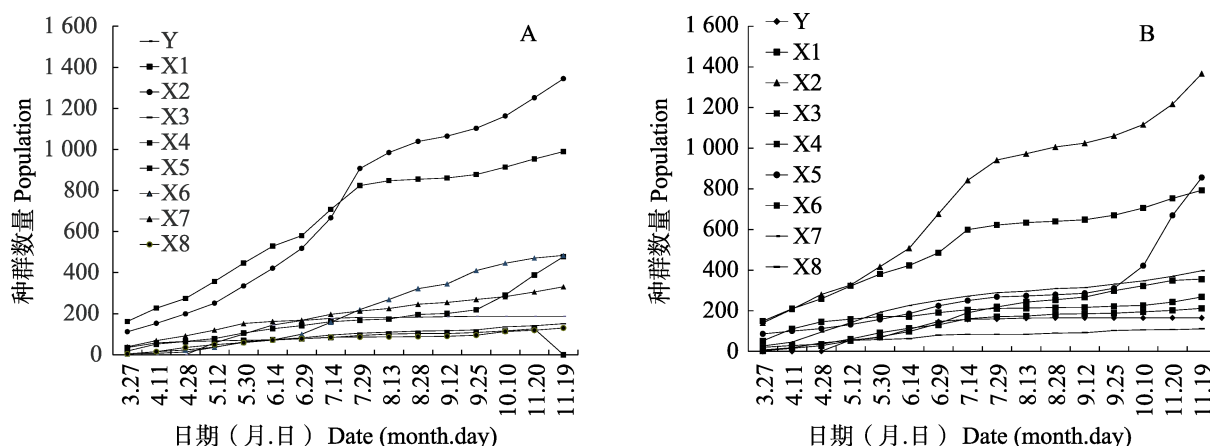


图 4 2016 年乌牛早 (A) 和白毫早 (B) 茶 8 种天敌和广翅蜡蝉的种群累计数量曲线图

Fig. 4 A graph of the cumulative population of eight kinds of natural enemies and *Ricanidae speculum* about Wuniuzao (A) and Baihaozao (B) tea in 2016

2.3 天敌对广翅蜡蝉空间上跟随关系的综合分析

将表 2 和表 4 的灰色关联度值进行标准化处理,即每行除以该行的最大值,其商称为密切指数。然后将同一品种的相应密切指数相加,密切指数之和的最大者即为该茶园对广翅蜡蝉空间跟随关系密切的第一位天敌,依此类推。最后将

两品种两年的密切指数相加,密切指数总和最大者即是对广翅蜡蝉空间跟随关系密切的第一位天敌,依此类推。计算结果列于表 5。

年度间比较,两年间乌牛早茶园中广翅蜡蝉的前四位相同的天敌依次是鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、茶色新圆蛛和八斑球腹蛛;两年间白毫早茶园中广翅蜡蝉的前四位相同的天敌依次是棕管

表 5 两种茶园天敌与广翅蜡蝉在空间关系密切程度的年度间差异
Table 5 The annual differences in affinity degree of two types of tea garden natural enemies and *Ricanidae speculum* in space

茶园 Tea garden	年份 Year	项目 Project	天敌 Natural enemies							
			X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
乌牛早 Wuniuzao	2016		0.941 4 (7)	0.968 7 (4)	0.981 4 (2)	0.950 5 (6)	1.000 0 (1)	0.952 9 (5)	0.978 0 (3)	0.696 3 (8)
		2015	1.000 0 (1)	0.971 3 (2)	0.902 1 (4)	0.519 6 (8)	0.893 9 (5)	0.935 2 (3)	0.816 7 (6)	0.769 3 (7)
	Σ	1.941 4 (1)	1.940 0 (2)	1.883 5 (6)	1.470 1 (7)	1.893 9 (4)	1.888 1 (5)	1.894 7 (3)	1.465 6 (8)	
白毫早 Baihaozao	2016		0.754 8 (7)	0.748 5 (8)	1.000 0 (1)	0.796 4 (6)	0.915 8 (3)	0.970 2 (2)	0.905 0 (4)	0.804 2 (5)
		2015	0.890 6 (6)	0.921 9 (5)	0.822 3 (7)	0.945 5 (4)	0.985 7 (2)	1.000 0 (1)	0.967 7 (3)	0.734 3 (8)
	Σ	1.645 4 (7)	1.670 4 (6)	1.822 3 (4)	1.741 9 (5)	1.901 5 (2)	1.970 2 (1)	1.872 7 (3)	1.538 5 (8)	
密切指 数之和		Sum of close index	3.586 8 (6)	3.610 4 (5)	3.705 8 (4)	3.212 0 (7)	3.795 4 (2)	3.858 3 (1)	3.767 4 (3)	3.004 1 (8)
序号之和		Sum of ordinal numbers	8 (4)	8 (4)	10 (6)	14 (7)	6 (1)	6 (1)	6 (1)	16 (8)

* 括号内为序号。* The numbers in parentheses are serial numbers.

巢蛛、八斑球腹蛛、茶色新圆蛛和草间小黑蛛,前四位天敌中都有八斑球腹蛛和茶色新圆蛛。茶树品种间比较,2015 年两品种茶园中前四位相同的天敌是棕管巢蛛,2016 年两品种茶园中前四位天敌相同的天敌是草间小黑蛛、八斑球腹蛛和茶色新圆蛛。

对两品种两年对广翅蜡蝉空间上跟随关系密切的天敌进行综合分析,按照总的密切指数之和比较,前三位天敌是棕管巢蛛(X6)、八斑球腹蛛(X5)和茶色新圆蛛(X7);按照总的序号之和比较,前三位天敌是八斑球腹蛛(X5)、棕管巢蛛(X6)和茶色新圆蛛(X7),两种方法的评判结果是一致的。

由表 1 看出,2015 年乌牛早茶园和白毫早茶园都是 6 月 20 日广翅蜡蝉数量最多,两茶园当日广翅蜡蝉的变程依次是 8.083 1 和 5.825 7,3 种优势种天敌棕管巢蛛、八斑球腹蛛和茶色新圆蛛的变程均与广翅蜡蝉变程大小相近。由表 3 看出,2016 年两茶园都是 5 月 12 日广翅蜡蝉数量最多,乌牛早和白毫早茶园广翅蜡蝉的变程依次是 6.944 8 和 6.127 8,上述三种优势种天敌的变程也最接近广翅蜡蝉的变程。

3 小结与讨论

为了科学地保护和利用自然天敌防治茶园广翅蜡蝉,用地学统计学方法和灰色关联度法相结合,综合评判对广翅蜡蝉在空间上跟随关系密切的优势种天敌。结果如下。

1. 乌牛早茶园两年对广翅蜡蝉空间上跟随关系密切的前四位天敌依次是鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、茶色新圆蛛和八斑球腹蛛。

2. 白毫早茶园两年对广翅蜡蝉空间上跟随关系密切的前四位天敌依次是棕管巢蛛、八斑球腹蛛、茶色新圆蛛和草间小黑蛛。

3. 茶树品种间比较,前四位天敌中两品种茶园都有八斑球腹蛛和茶色新圆蛛;年度间比较,前四位天敌中两年相同的天敌,乌牛早茶园是鳞纹肖蛸和锥腹肖蛸,白毫早茶园是八斑球腹蛛和茶色新圆蛛。

4. 对两种茶园 2015 年和 2016 年密切指数

总和及序号总和的综合分析,与广翅蜡蝉空间上跟随关系密切的前三位天敌是八斑球腹蛛、棕管巢蛛和茶色新圆蛛。

对天敌位次的影响,一是茶树品种,二是茶园生态环境。天敌与害虫之间的关系核心问题是数量关系,茶树品种的影响主要是茶树理化特性对害虫数量的影响。年度间的生态环境因子变化如降雨量、温度的变化也可能影响到某些害虫种群数量的增减,这两方面均需要进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Bao Q, Chen XQ, Xu HL, Jiang SH, 2013. Research on the occurrence regularity of *Ricabia speculum* Walker in Futian mangrove, Shenzhen. *Guangdong Agricultural Science*, (12): 37–40. [包强, 陈晓琴, 徐华林, 江世宏, 2013. 八点广翅蜡蝉在深圳福田红树林发生规律研究. 广东农业科学, (12): 37–40.]
- Deng JL, 1990. Tutorial on Grey System Theory. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press. 146–150. [邓聚龙, 1990. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社. 146–150.]
- Gu CH, 2008. Research of species in Ricanidae and their biology, ecology and control of main species in Tongren. Master thesis. Guiyang: Guizhou University. [顾昌华, 2008. 铜仁地区广翅蜡蝉种类及主要种生物学、生态学和防治研究. 硕士学位论文. 贵阳: 贵州大学.]
- Hou JR, Huang JX, 1990. Basic Theory and Methods of Multivariate 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.]
- Hu KM, Zhang YM, Wang JF, Xie TH, 2003. Comparison on the population dynamics and leafhopper resistance on different tea cultivars. *Journal of Tea Science*, 23(1): 57–60. [扈克明, 张艳梅, 王佳芳, 谢太华, 2003. 不同茶树品种间小绿叶蝉类群数量动态与抗性比较. 茶叶科学, 23(1): 57–60.]
- Lin JL, Han BY, Zhou XG, Chen XH, 2009. Comparison of trapping efficacy of various colours for insects in tea gardens. *Acta Ecologica Sinica*, 29(8): 4303–4316. [林金丽, 韩宝瑜, 周孝贵, 陈学好, 2009. 色彩对茶园昆虫的引诱力. 生态学报, 29(8): 4303–4316.]
- Ma XH, Zou W, Mao YX, Wu XQ, Lin NQ, 2007. The fluctuations of the index of pest mite situation and their correlations with the

- physical and chemical characteristics on 5 tea varieties in Fujian. *Entomological Journal of East China*, 16(3): 196–201. [马新华, 邹武, 毛迎新, 吴雄强, 林乃铨, 2007. 福建茶树害螨发生动态及其与茶树品种理化特性的相关性分析. 华东昆虫学报, 16(3): 196–201.]
- Sun XL, Cai XM, Wang GC, Gao Y, Wang DQ, Chen ZM, 2011. Tendency to different colors by Ricaniidae insects in tea garden. *Journal of Tea Science*, 31(2): 95–99. [孙晓玲, 蔡晓明, 王国昌, 高宇, 王德强, 陈宗懋, 2011. 茶园中广翅蜡蝉成虫对不同颜色的趋向选择. 茶叶科学, 31(2): 95–99.]
- Xu GJ, Zhong ST, 1988. The preliminary study on biology and control of *Ricania Sublimbata*. 25(2): 93–95. [徐冠军, 钟仕田, 1988. 柿广翅蜡蝉生物学与防治的初步研究. 昆虫知识, 25(2): 93–95.]
- Zeng L, Wang PS, Xu M, 2001. Studies on resistance of tea plant to leafhopper (*Empoasca vitis* Gothe). *Journal of Tea Science*, (2): 90–93. [曾莉, 王平盛, 许玫, 2001. 茶树对假眼小绿叶蝉的抗性研究. 茶叶科学, (2): 90–93.]
- Zhang H, 2004. Fauna of tea fulgora and the major species in China. *Journal of Tea Science*, 24(4): 240–242. [张汉鹄, 2004. 我国茶树蜡蝉区系及其主要种类. 茶叶科学, 24(4): 240–242.]
- Zhao FH, Lv ZZ, Ren HL, Gong FP, Jiang SF, Dang YC, 2011. Biological characteristics of *Ricania sublimbata Jacobi* in Yunan tea garden. *Tea of China*, (5): 18–20. [赵丰华, 吕主哲, 任红楼, 龚凤萍, 蒋双丰, 党永超, 2011. 豫南茶园柿广翅蜡蝉生物学特性. 中国茶叶, (5): 18–20.]
- Zou W, Lin NQ, Wang QS, 2005. Correlationships between physical and biochemical leaf characteristics of 4 tea varieties and the population of *Empoasca vitis*. *Entomological Journal of East China*, 15(2): 129–134. [邹武, 林乃铨, 王庆森, 2005. 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, 15(2): 129–134.]
- Zou YD, Wang HF, 1989. Agroforestry 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, 1997. Theory and Application of Natural Enemies in Pest Management. Beijing: China Forestry Publishing House. 146–150. [邹运鼎, 1997. 害虫管理中天敌评价理论与应用. 北京: 中国林业出版社. 146–150.]