



茶细蛾主要蜘蛛天敌种类的研究*

毕守东^{1**} 张书平¹ 余 燕¹ 王振兴¹ 李 尚²
王建盼¹ 周夏芝² 刘飞飞¹ 郎 坤¹ 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 【目的】为了明确乌牛早和白毫早茶园与茶细蛾 *Caloptilia theivora* 关系密切的主要蜘蛛天敌种类, 为茶细蛾的综合治理工作中科学利用和保护自然天敌提供科学依据。【方法】用灰色关联度法分析天敌对茶细蛾在数量上的关联度和天敌与茶细蛾空间半变异函数理论模型变程间的关联度, 用生态位分析法研究天敌与茶细蛾之间的时间生态位相似性系数, 对上述结果进行标准化, 即二种关联度和相似性系数各自除以本类型参数的最大值, 其商为密切指数。密切指数之和的最大者即为与茶细蛾关系密切的第一位天敌, 以此为依据分析与茶细蛾跟随关系密切的天敌位次在茶树品种间和年度间的差异。【结果】茶树品种间差异是, 2015 年乌牛早茶园对茶细蛾跟随关系密切的前四位天敌中有棕管巢蛛 *Clubiona japonicola* Boes. et Str.、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*、茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*, 2015 年白毫早茶园有棕管巢蛛、锥腹肖蛸、茶色新圆蛛和斜纹猫蛛, 两品种间 8 种天敌位次相异率为 62.5%。2016 年白毫早茶园的是斜纹猫蛛、棕管巢蛛、茶色新圆蛛和锥腹肖蛸, 乌牛早茶园的是茶色新圆蛛、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*、锥腹肖蛸和棕管巢蛛, 两品种平均位次相异率为 87.5%。两年两品种间天敌位次相异率为 75%。年度间差异, 2015 年与 2016 年年度间相比, 乌牛早茶园前四位天敌均有锥腹肖蛸、棕管巢蛛、茶色新圆蛛, 但位次不同。天敌位次相异率为 87.5%。白毫早茶园年度间, 前四位均有锥腹肖蛸、棕管巢蛛、茶色新圆蛛和斜纹猫蛛, 但位次不同, 天敌位次相异率为 75%。两种茶园年度间平均天敌位次相异率为 81.25%。根据序号之和及密切指数之和评判, 与茶细蛾在数量, 时间和空间关系密切的前四位蜘蛛天敌依次是棕管巢蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和斜纹猫蛛。【结论】茶树品种对茶细蛾天敌位次的影响大于年度间的影响。

关键词 茶细蛾; 两种茶园; 年度间; 天敌; 跟随关系

Natural enemies of *Caloptilia theivora*

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

(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 investigate the population dynamics of *Caloptilia theivora* and its natural enemies in order to provide a scientific basis for comprehensive control of *C. theivora* on the Wuniuzao and Baihaozao tea varieties. [Methods] We used grey correlation analysis and semivariant function theory to model the ecological niches of *C. theivora* and its natural enemies. We standardized the above results by dividing the correlation and similarity coefficients by the maximum value of each parameter, thereby obtaining a quotient close to the index. Based on this analysis, annual differences between the two tea varieties were analyzed. [Results] In 2015, the four natural enemies most closely associated with *C. theivora* on the

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (30871444); 安徽省自然科学基金项目 (11040606M71)

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

收稿日期 Received: 2018-03-21; 接受日期 Accepted: 2018-12-06

Wuniuzao tea variety were *Clubiona japonicola* Boes. et Str, *Tetragnatha maxillosa*, *Oxyopes sertatus* L. Koch and *Neoscona theisi*. The three natural enemies most closely associated with *C. theivora* on the Baihaozao tea variety were *C. japonicola*, *Tetragnatha maxillosa*, *Neoscona theisi* and *O. sertatus*. The difference in ranking of these eight predators between the two tea varieties was 62.5%. In 2016, the four natural enemies most closely associated with *C. theivora* on the Baihaozao tea variety were *O. sertatus*, *C. japonicola*, *N. theisi* and *T. maxillosa*. The four natural enemies most closely associated with *C. theivora* on the Wuniuzao tea variety were *N. theisi*, *Erigonidium graminicolum*, *T. maxillosa* and *C. japonicola*. The difference in ranking between the two tea varieties was 87.5% and the difference in ranking among natural enemies was 75%. Comparing 2015 and 2016, the four highest ranked natural enemies were *T. maxillosa*, *C. japonicola*, *N. theisi* and *O. sertatus* on the Wuniuzao tea variety, and the annual difference in ranking among different natural enemies was 87.5%. The four most important natural enemies in both years on the Baihaozao tea variety were *T. maxillosa*, *C. japonicola*, *N. theisi* and *O. sertatus*, the proportion of different natural enemies was 75%. The average difference in ranking among natural enemies in the two tea varieties was 81.25%. The four spider species most closely associated with *C. theivora* in abundance, time and space were *C. japonicola*, *N. theisi*, *T. maxillosa* and *O. sertatus*. **[Conclusion]** Ranking of natural enemies of *C. theivora* was more affected by tea variety than year.

Key words *Caloptilia theivora*; two kinds of tea gardens; between the annual; natural enemies; following the relationship

茶细蛾 *Caloptilia theivora* 是我国大部分产茶省区的一种广布性害虫种类, 幼虫在茶树嫩叶中潜食或卷成三角匿居取食, 当三角苞混入率高于 3%, 即影响茶叶产量和品质。近年随着各地名优茶生产的发展, 改变采摘标准, 茶蓬上留下大量的芽下二叶和细嫩的对夹叶, 为茶细蛾提供适宜产卵的理想场所, 有利于该虫的繁殖, 发生范围逐渐扩大, 在广大茶区茶细蛾上升为一种主要害虫。该虫适宜于 20-25 °C 比较湿润的条件下发生。高温干旱是抑制种群的重要因子, 该蛾主要集中在黄昏后到清晨前羽化, 成虫在夜晚和清晨交配 (浙江镇海农业局, 1975, 1977, 1978), 高温对成虫的寿命及其繁殖影响大。25 °C 可正常产卵, 当气温高于 28 °C 以上时成虫很快死亡 (王晓庆等, 2012)。茶细蛾绒茧蜂 *Apanteles theivorae* Minamikawa 是茶细蛾主要的寄生性天敌, 10 °C 有利于延长该茧蜂的蛹期, 20-25 °C 时该茧蜂蛹期最短, 羽化率最高, 用按体积比 1:1:1 混合的葡萄糖、果糖和蔗糖混合液饲喂该茧蜂成虫, 有利于延长成虫寿命 (张金钰等, 2011)。赵丰华等 (2017) 报道使用茶细蛾性诱剂诱杀茶细蛾成虫有较好的效果。长期使用可使茶细蛾下一代田间虫口平均下降 98.07%, 极大地减少茶细蛾的田间落卵量以及后代幼虫的数量, 减少环境污染, 防控效果显著 (盛忠雷等,

2011)。宋昌琪等 (2015) 报道了用频振式杀虫灯预测预报和防治茶细蛾。利用茶细蛾成虫发育进度预测幼虫发生期和发生量, 用频振式杀虫灯对茶细蛾的防治效果可达 74.29%, 避免了使用化学农药杀伤天敌, 污染茶叶和环境, 且可杀死多种茶树害虫。多种蜘蛛也是茶细蛾的主要天敌 (胡金林, 1983; 张汉鹄, 1985)。蜘蛛类天敌与茶细蛾在发生数量、时间、空间上的关系及其在茶树品种间和年度间差异均未见报道。本文研究种群数量较多的 8 种蜘蛛类天敌与茶细蛾的关系, 比较评判出与茶细蛾关系密切的蜘蛛种类, 以期科学保护和利用这些自然天敌提供科学依据。

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, 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 天敌与茶细蛾在数量上的灰色关联度分析 将茶细蛾及其天敌分别看作一个本征系统, 茶细蛾数量 Y_i 和天敌数量 X_i 作为该系统的参照序列, 不同时点上的茶细蛾与天敌在在 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 数量间的关联度, r_{ij} 为关联系数, 其公式为

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

关联度值越大, 表明天敌在量上与茶细蛾跟随关系越密切 (邓聚龙, 1990)。

1.3.2 天敌与茶细蛾在空间关系上的地学统计学分析 根据区域化变量的理论 (侯景儒等, 1990; Rossl et al., 1992), 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, 研究天敌和茶细蛾的空间关系。求得它的半变异函数 $R^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot$

$\sum [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$ 的理论模型及其变程, 然后用上述灰色关联度方法, 分析研究天敌与茶细蛾半变异函数模型的变程间的灰色关联度, 关联度值越大, 表明天敌在空间上对茶细蛾跟随关系越密切。

1.3.3 天敌与茶细蛾在发生时间上的跟随关系

将天敌与茶细蛾的时间生态位相似性系数作为分析比较天敌与茶细蛾时间上跟随关系密

切程度的一个度量指标, 相似性系数越大, 天敌在时间上对茶细蛾跟随关系越密切。

时间生态位测度的指标的公式采用 Morisita 相似性系数 (唐启义, 2010), 计算公式为:

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

式中 C 为 Morisita 生态位相似系数; p_{ij} 为由种类 j 所利用的整个资源中第 i 种资源所占比例; p_{ik} 为由种类 k 所利用的整个资源中第 i 种资源所占比例; n_{ij} 为使用第 i 类资源的种类 j 的个体数; n_{ik} 为使用第 i 类资源的种类 k 的个体数; N_j , N_k 为各为样本中种类 j 和种类 k 的个体总数。

1.3.4 天敌与茶细蛾在数量、时间和空间关系上密切程度综合比较 用害虫与其天敌在数、时、空关系上的密切指数评判其主要天敌种类 (邹运鼎和王弘法, 1989; 邹运鼎, 1997), 将数量、时间和空间上天敌与茶细蛾的关联度和相似性系数分别标准化, 即除以该类关联度或相似性系数的最大值, 其商暂称作密切指数, 然后将其天敌数量时间和空间上密切指数相加, 密切指数之和最大的即是与茶细蛾在数量、时间和空间上跟随关系密切的第一位天敌, 依次类推。再者用序号之和比较, 序号之和最小的即为第一位天敌, 依此类推 8 种天敌的位次两两相比 (年度间、茶树品种间), 计算位次相异率。

2 结果与分析

2.1 2015 年天敌对茶细蛾在数量、时间、空间跟随关系上密切程度在茶树品种间的差异

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, 其中茶细蛾 177 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, 其中茶细蛾 432 头, 捕食性天敌 6 111 头, 共 42 种。综合比较, 两种茶园的 37-42 种捕食性天敌全年

调查的个体总数均超过 119 头的有鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*、八斑球腹蛛

Theridion octomaculatum、棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*、茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* 和斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*, 将两种茶园这 8 种天敌和茶细蛾的种群消长动态绘于图 1 和图 2。

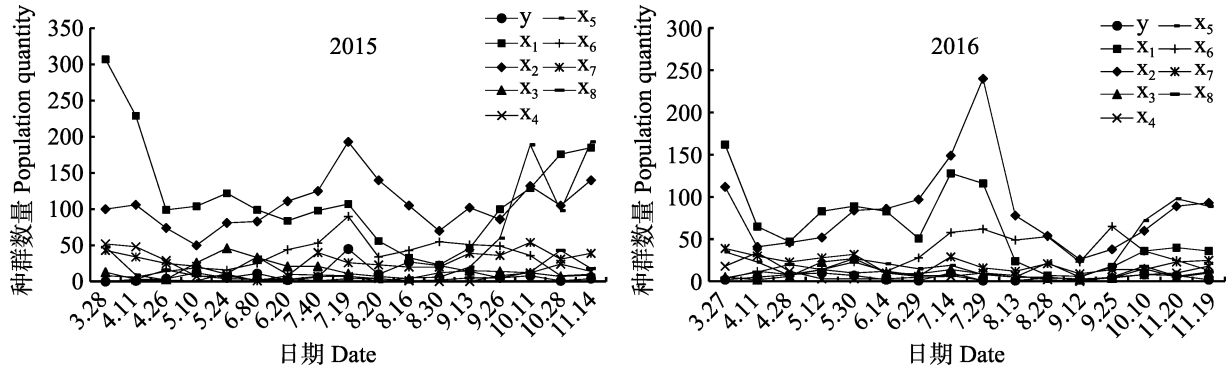


图 1 2015 和 2016 年乌牛早茶园 8 种天敌和茶细蛾的种群消长动态

Fig. 1 The population dynamic of eight kinds of natural enemies and *Caloptilia theivora* about Wuniuzao tea garden in 2015 and 2016

* y: 茶细蛾 *Caloptilia theivora*; x_1 : 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*; 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*; x_7 : 茶色新圆蛛: *Neoscona theisi*; x_8 : 斜纹猫蛛: *Oxyopes sertatus*. 下图同。The same below.

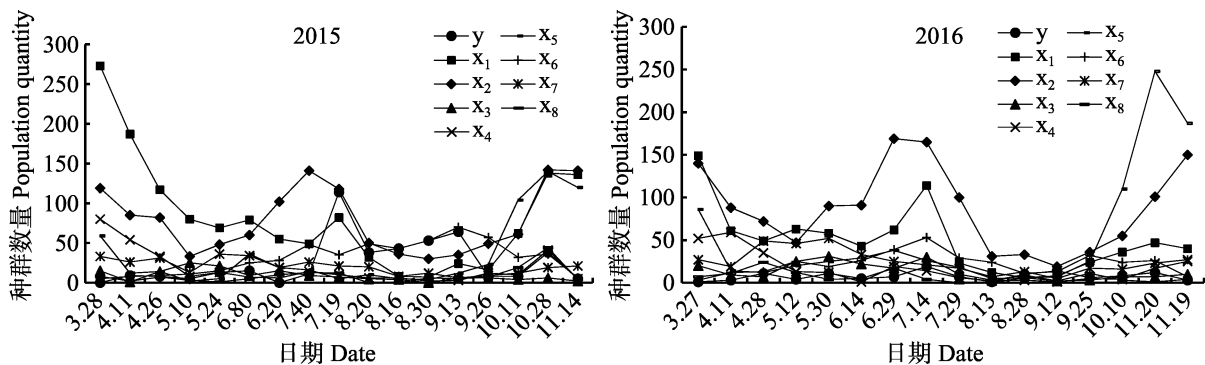


图 2 2015 和 2016 年白毫早茶园 8 种天敌和茶细蛾的种群消长动态

Fig. 2 The population dynamic of eight kinds of natural enemies and *Caloptilia theivora* about Baihaozao tea garden in 2015 and 2016

将两种茶园 8 种天敌与茶细蛾在数量关系上的关联度列于表 1, 乌牛早和白毫早茶园两者关联度最大的均是棕管巢蛛, 安吉白茶园是斜纹猫蛛, 乌牛早和白毫早第二位是斜纹猫蛛, 安吉白茶第二位是草间小黑蛛。

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, 为了分析天敌与茶细蛾之间的空间关系。2015 年乌牛早茶园选择 4 月 28 日、5 月 12 日、7 月 14 日、10 月 10 日和

11 月 2 日, 白毫早茶园选择 7 月 19 日、8 月 16 日、8 月 30 日、9 月 13 日和 10 月 28 日茶细蛾及其 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分别列于表 2 和表 3, 表 2 中除 8 月 16 日 R^2 为 0.094 0, 最小的 R^2 为 0.484 0 ($R=0.693$ 1), 表 3 中最小的 R^2 为 0.366 4 ($R=0.605$ 3), $df=26$ 时, $r_{0.05}=0.374$, $r_{0.01}=0.478$, R 均大于 0.478, 表明理论模型与实际情况吻合度高。将求得的两种茶园的天敌与茶细蛾

表 1 2015 年两种茶园天敌与茶细蛾在数量和空间上的关联度

Table 1 Two types of tea gardens natural enemies and *Caloptilia theivora* of correlation in quantity and space in 2015

关联度类别 Correlation classification	茶树品种 Tea variety	天敌 Natural enemies							
		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
数量上 Quantity	乌牛早 Wuniuzao	0.761 0	0.802 1	0.790 9	0.734 2	0.725 2	0.871 5	0.780 6	0.803 7
	白毫早 Baihaozao	0.748 8	0.771 1	0.739 6	0.757 1	0.742 4	0.873 2	0.753 4	0.773 3
空间上 Space	乌牛早 Wuniuzao	0.794 0	0.720 1	0.783 0	0.842 4	0.509 0	0.885 5	0.778 0	0.749 4
	白毫早 Baihaozao	0.778 0	0.786 8	0.671 1	0.813 6	0.730 0	0.751 3	0.836 2	0.741 3

表 2 2015 年白毫早小细蛾与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 2 The theoretical semivariogram parameters of *Caloptilia theivora* and its natural enemies about Baihaozao tea garden in 2015 $R^*(h)$

日期 Date	物种 Species	模型 Model	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	变程 RSD Variation range	决定系数 R ² Determination coefficient	分布型 Pattern
7.19	y	球形 Sphere	- 0.227 0	3.417 0	- 15.080 0	28.425 0	6.759 1	0.598 0	A
	x ₁	球形 Sphere	- 0.016 7	0.203 3	- 0.888 5	3.880 5	6.854 1	0.739 9	A
	x ₂	球形 Sphere	- 0.022 3	0.337 7	- 1.683 9	4.775 1	5.604 8	0.762 9	A
	x ₃	球形 Sphere	- 0.004 0	0.063 1	- 0.317 3	0.655 7	6.357 6	0.814 9	A
	x ₄	球形 Sphere	- 0.002 7	0.044 3	- 0.213 3	0.470 3	7.360 7	0.799 0	A
	x ₅	球形 Sphere	0.000 5	- 0.008 7	0.011 2	0.212 3	10.915 9	0.888 0	A
	x ₆	球形 Sphere	0.011 0	- 0.154 7	0.458 9	1.187 2	7.528 7	0.816 4	A
	x ₇	球形 Sphere	- 0.002 1	0.035 3	- 0.194 4	0.583 2	6.336 9	0.489 6	A
8.16	y	球形 Sphere	- 0.001 8	0.027 1	- 0.134 8	0.345 0	5.490 2	0.514 9	A
	x ₁	球形 Sphere	- 0.008 3	0.143 8	- 0.900 4	2.971 8	5.125 4	0.580 9	A
	x ₂	球形 Sphere	0.001 4	- 0.019 6	0.051 0	0.172 2	7.770 7	0.932 8	A
	x ₃	球形 Sphere	- 0.005 0	0.089 3	- 0.553 5	1.697 3	8.125 4	0.776 0	A
	x ₄	球形 Sphere	- 0.005 0	0.014 2	- 0.084 6	0.284 5	3.125 5	0.981 7	A
	x ₅	球形 Sphere	0.000 7	- 0.008 8	0.008 4	0.165 0	7.872 9	0.848 2	A
	x ₆	球形 Sphere	0.000 1	- 0.002 1	- 0.009 0	0.160 8	2.124 5	0.736 6	A
	x ₇	球形 Sphere	0.007 6	- 0.115 3	0.378 5	1.002 1	8.054 3	0.755 0	A
8.30	y	球形 Sphere	0.000 9	- 0.006 6	- 0.032 4	0.387 5	6.684 2	0.712 3	A
	x ₁	球形 Sphere	0.001 0	- 0.017 7	0.064 8	0.094 0	9.534 6	0.094 0	A
	x ₂	球形 Sphere	0.001 4	0.010 2	- 0.777 5	3.980 3	11.392 3	0.849 2	A
	x ₃	球形 Sphere	- 0.000 8	0.010 8	- 0.052 8	0.211 6	5.125 4	0.881 4	A
	x ₄	球形 Sphere	- 0.008 1	0.131 3	- 0.612 0	1.342 3	7.405 9	0.480 4	A
	x ₅	球形 Sphere	- 0.008 1	0.131 3	- 0.612 0	1.342 3	7.405 9	0.480 4	A
	x ₆	球形 Sphere	0	0	0	0	0	0	A
	x ₇	球形 Sphere	- 0.000 2	0.003 8	- 0.021 0	0.079 3	8.594 1	0.308 0	A

续表 2 (Table 2 continued)

日期 Date	物种 Species	模型 Model	c_1	c_2	c_3	c_4	变程 RSD Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	分布型 Pattern
8.30	x_5	球形 Sphere	0.000 7	- 0.008 6	0.017 5	0.110 3	7.000 0	0.777 5	A
	x_6	球形 Sphere	- 0.004 1	0.061 2	- 0.506 2	2.582 3	3.854 1	0.892 3	A
	x_7	球形 Sphere	0.000 7	- 0.010 8	0.015 0	0.326 6	9.536 7	0.702 7	A
	x_8	球形 Sphere	- 0.001 6	0.019 9	- 0.086 4	0.332 0	6.125 4	0.932 4	A
9.13	y	球形 Sphere	- 0.021 0	0.358 9	- 2.102 9	6.322 8	4.956 2	0.556 2	A
	x_1	球形 Sphere	- 0.002 8	0.051 0	- 0.347 8	1.375 0	6.854 1	0.654 5	A
	x_2	球形 Sphere	- 0.009 3	0.145 4	- 0.737 2	2.166 7	6.069 6	0.665 8	A
	x_3	球形 Sphere	- 0.001 0	0.016 2	- 0.073 5	0.204 0	7.558 7	0.493 2	A
	x_4	球形 Sphere	- 0.000 8	0.009 9	- 0.038 6	0.109 4	5.090 6	0.640 2	A
	x_5	球形 Sphere	- 0.002 1	0.033 9	- 0.206 5	0.700 9	5.965 1	0.812 1	A
	x_6	球形 Sphere	- 0.007 8	0.143 7	- 0.916 6	3.098 9	7.854 1	0.893 1	A
	x_7	球形 Sphere	- 0.001 2	0.017 0	- 0.075 6	0.216 6	5.862 1	0.739 4	A
10.28	x_8	球形 Sphere	- 0.000 2	0.003 2	- 0.025 1	0.135 6	7.125 4	0.885 7	A
	y	球形 Sphere	- 0.001 6	0.014 3	- 0.041 8	0.480 5	3.387 9	0.743 5	A
	x_1	球形 Sphere	- 0.035 9	0.520 9	- 2.325 3	6.358 9	6.178 9	0.789 9	A
	x_2	球形 Sphere	- 0.053 0	0.798 9	- 3.886 4	9.122 4	5.920 7	0.661 6	A
	x_3	球形 Sphere	- 0.002 9	0.048 9	- 0.281 8	0.752 1	5.214 2	0.833 5	A
	x_4	球形 Sphere	- 0.003 9	0.075 4	- 0.456 8	1.444 4	8.021 8	0.500 7	A
	x_5	球形 Sphere	0.000 7	- 0.015 5	- 0.254 8	3.649 9	7.125 4	0.928 2	A
	x_6	球形 Sphere	- 0.007 9	0.117 5	- 0.596 7	1.654 2	6.125 4	0.888 3	A
	x_7	球形 Sphere	- 0.000 4	0.009 0	- 0.110 0	0.678 6	7.962 5	0.834 4	A
	x_8	球形 Sphere	- 0.010 8	0.173 2	- 0.908 4	2.382 6	6.080 0	0.766 3	A

*半变异函数理论模型 Half the variation function model: $y=c_1x^3+c_2x^2+c_3x+c_4$. A: 聚集分布 Aggregated distribution.
下表同。The same below.

表 3 2015 年乌牛早茶细蛾与其天敌的理论半变异函数模型参数
Table 3 The theoretical semivariogram parameters of *Caloptilia theivora* and its natural enemies about Wuniuzao tea garden in 2015 $R^*(h)$

日期 Date	物种 Species	模型 Model	c_1	c_2	c_3	c_4	变程 RSD Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	分布型 Pattern
5.10	y	球形 Sphere	0.000 6	- 0.012 7	0.029 3	0.373 8	12.843 7	0.830 2	A
	x_1	球形 Sphere	0.010 9	- 0.126 5	- 0.139 8	2.002 1	8.254 9	0.751 1	A
	x_2	球形 Sphere	0.006 8	- 0.124 5	0.500 2	1.229 8	9.670 3	0.808 3	A
	x_3	球形 Sphere	0.007 1	- 0.096 7	0.295 0	0.572 4	7.140 1	0.366 4	A
	x_4	球形 Sphere	0.000 03	0.000 9	- 0.025 3	0.183 1	9.522 1	0.789 6	A
	x_5	球形 Sphere	- 0.000 3	0.003 7	- 0.018 2	0.052 4	6.954 1	0.652 0	A
	x_6	球形 Sphere	- 0.004 6	0.075 2	- 0.427 1	1.315 6	7.125 4	0.799 5	A

续表 3 (Table 3 continued)

日期 Date	物种 Species	模型 Model	c_1	c_2	c_3	c_4	变程 RSD Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	分布型 Pattern
5.10	x_7	球形 Sphere	- 0.004 8	0.074 8	- 0.397 1	1.127 1	5.952 1	0.905 7	A
	x_8	球形 Sphere	0.000 5	- 0.007 7	0.026 7	0.013 5	8.057 6	0.940 2	A
7.19	y	球形 Sphere	0.043 9	- 0.603 3	1.910 5	1.601 8	7.126 1	0.810 1	A
	x_1	球形 Sphere	0.004 8	- 0.117 0	0.204 7	4.798 9	2.314 5	0.843 7	A
	x_2	球形 Sphere	0.007 0	- 0.117 8	- 0.473 0	9.422 3	12.957 4	0.983 3	A
	x_3	球形 Sphere	- 0.005 9	0.083 5	- 0.338 1	0.672 6	6.493 3	0.759 3	A
	x_4	球形 Sphere	- 0.000 6	0.011 6	- 0.078 3	0.274 9	5.854 1	0.780 1	A
	x_5	球形 Sphere	0.006 3	- 0.101 6	0.401 7	0.005 8	8.140 4	0.984 4	A
	x_6	球形 Sphere	- 0.016 0	0.224 5	- 1.270 8	4.901 8	3.854 1	0.871 3	A
	x_7	球形 Sphere	- 0.006 1	0.093 9	- 0.537 5	1.666 7	5.124 5	0.777 5	A
	x_8	球形 Sphere	- 0.000 2	0.001 7	- 0.024 9	0.146 5	8.641 3	0.689 3	A
8.16	y	球形 Sphere	- 0.003 9	0.071 8	- 0.488 3	1.714 4	7.125 4	0.806 2	A
	x_1	球形 Sphere	- 0.011 8	0.197 6	- 1.028 7	2.480 3	7.030 5	0.475 9	A
	x_2	球形 Sphere	- 0.011 3	0.203 2	- 1.406 8	5.433 8	7.124 5	0.753 9	A
	x_3	球形 Sphere	- 0.000 8	0.013 1	- 0.057 1	0.145 4	7.908 2	0.826 9	A
	x_4	球形 Sphere	- 0.000 5	0.007 9	- 0.034 2	0.062 9	7.488 8	0.714 5	A
	x_5	球形 Sphere	- 0.000 9	0.017 1	- 0.098 6	0.299 7	8.228 7	0.494 5	A
	x_6	球形 Sphere	- 0.010 7	0.151 7	- 0.732 3	2.339 3	8.125 4	0.818 7	A
	x_7	球形 Sphere	0.001 9	- 0.026 5	- 0.016 5	0.989 1	9.599 8	0.941 5	A
	x_8	球形 Sphere	- 0.002 2	0.034 6	- 0.215 2	0.787 6	7.125 4	0.902 0	A
8.30	y	球形 Sphere	- 0.004 3	0.070 3	- 0.336 3	0.856 5	7.354 5	0.575 5	A
	x_1	球形 Sphere	- 0.002 3	0.045 6	- 0.341 4	1.198 7	5.951 2	0.870 4	A
	x_2	球形 Sphere	0.012 1	- 0.187 3	0.626 9	1.249 0	8.218 1	0.965 6	A
	x_3	球形 Sphere	- 0.002 7	0.040 1	- 0.196 9	0.605 3	5.397 8	0.650 7	A
	x_4	球形 Sphere	0	0	0	0	0	0	A
	x_5	球形 Sphere	- 0.002 5	0.039 8	- 0.201 7	0.504 3	6.432 4	0.803 6	A
	x_6	球形 Sphere	0.005 4	- 0.072 1	0.080 7	1.621 5	8.301 1	0.907 1	A
	x_7	球形 Sphere	0.001 5	- 0.015 6	- 0.069 3	1.038 1	8.702 9	0.672 9	A
	x_8	球形 Sphere	- 0.002 5	0.043 3	- 0.250 7	0.665 8	8.125 4	0.763 1	A
9.13	y	球形 Sphere	- 0.001 5	0.027 8	- 0.171 7	0.616 0	6.274 6	0.639 7	A
	x_1	球形 Sphere	- 0.002 0	0.019 6	- 0.046 9	0.825 7	4.956 2	0.319 4	A
	x_2	球形 Sphere	- 0.011 7	0.212 5	- 1.424 9	5.429 3	3.125 4	0.815 6	A
	x_3	球形 Sphere	- 0.000 7	0.014 2	- 0.106 1	0.446 1	8.124 5	0.536 7	A
	x_4	球形 Sphere	0	0	0	0	0	0	A
	x_5	球形 Sphere	0.004 0	- 0.054 9	0.160 9	0.349 1	7.317 7	0.801 6	A
	x_6	球形 Sphere	0.000 01	0.017 6	- 0.379 0	2.486 6	10.670 1	0.720 4	A
	x_7	球形 Sphere	- 0.004 0	0.029 9	0.115 6	1.650 7	6.471 8	0.822 1	A
	x_8	球形 Sphere	0.007 6	- 0.128 5	0.533 7	0.092 7	8.526 7	0.993 4	A

半变异函数理论模型的变程之间进行灰色关联度分析,结果也列于表 1,空间上对茶细蛾跟随关系密切的第一位天敌,乌牛早茶园是棕管巢蛛,白毫早茶园是茶色新圆蛛。

为了分析 8 种天敌在时间上对茶细蛾的跟

随关系密切程度,将求得的天敌与茶细蛾的时间生态位相似性系数列于表 4,乌牛早、白毫早茶园在时间上跟随关系密切程度居于第一位均是棕管巢蛛。乌牛早和白毫早茶园第二位的均是锥腹肖蛸。

表 4 2015 年两种茶园天敌与茶细蛾生态位相似性系数
Table 4 Two types of tea garden natural enemies and *Caloptilia theivora* of space ecological similarity coefficient index (2015)

茶园 Tea garden	项目 Project	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
乌牛早 Wuniuzao	关联度 Correlation	0.398 0	0.718 2	0.513 6	0.183 9	0.217 6	0.890 2	0.551 5	0.629 1
	位次	6	2	5	8	7	1	4	3
	Seating arrangement								
白毫早 Baihaozao	关联度 Correlation	0.352 9	0.541 3	0.364 9	0.273 6	0.281 9	0.748 4	0.483 3	0.508 2
	位次	6	2	5	8	7	1	4	3
	Seating arrangement								

为了综合分析评判两种茶园天敌在数量、时间、空间上对茶细蛾跟随关系的密切程度差异,将求得的关联度指数和相似性系数进行标准化,将分析结果列于表 5。乌牛早与白毫早前四位天敌中有 4 种相同,第一第二位均为棕管巢蛛和锥腹肖蛸,第三第四位的天敌位次不同,8 种天敌

位次不同处有 5 处,位次相异率为 62.5%。

2.2 天敌与茶细蛾在数量、时间、空间跟随关系密切程度的年度间差异

将天敌与茶细蛾在数量上的关联度列于表 6,天敌与茶细蛾在数量上的关联度,2016 年乌牛

表 5 两种茶园天敌与茶细蛾在数量、时间、空间上的密切指数 (2015 年)
Table 5 Two types of tea garden natural enemies and *Caloptilia theivora* of close index in quantity, time and space (2015)

茶园 Tea garden		天敌 Natural enemies							
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
乌牛早 Wuniuzao	A	0.873 2	0.920 4	0.907 5	0.842 5	0.832 1	1.000 0	0.895 7	0.922 2
	B	0.896 7	0.813 2	0.884 2	0.951 3	0.574 8	1.000 0	0.878 6	0.846 3
	C	0.447 1	0.806 8	0.576 9	0.206 6	0.244 4	1.000 0	0.619 5	0.706 7
	Σ	2.217 0	2.540 4	2.368 6	2.000 4	1.651 3	3.000 0	2.393 8	2.475 2
	位次 Seating arrangement	6	2	5	7	8	1	4	3
白毫早 Baihaozao	A	0.857 5	0.883 1	0.847 0	0.867 0	0.850 2	1.000 0	0.862 8	0.885 5
	B	0.930 4	0.940 9	0.802 6	0.973 0	0.873 0	0.898 5	1.000 0	0.886 5
	C	0.471 5	0.723 3	0.487 6	0.365 6	0.376 7	1.000 0	0.645 8	0.679 0
	Σ	2.259 4	2.547 3	2.137 2	2.205 6	2.099 9	2.898 5	2.508 6	2.451 0
	位次 Seating arrangement	5	2	7	6	8	1	3	4

A: 天敌与茶细蛾在数量上的密切指数 Natural enemies closely with *Caloptilia theivora* in quantity index; B: 天敌与茶细蛾在空间上的密切指数 Natural enemies closely with *Caloptilia theivora* in space; C: 天敌与茶细蛾在时间上的密切指数 Natural enemies closely with *Caloptilia theivora* in time.

表 6 两种茶园天敌与茶细蛾在数量和空间上的关联度

Table 6 Two types of tea gardens natural enemies and *Caloptilia theivora* of correlation in quantity and space

关联度类别 Class of Correlation	茶树品种 Tea variety	年份 Year	天敌 Natural enemies							
			x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
数量上 Quantity	乌牛早 Wuniuzao	2016	0.759 7	0.725 7	0.772 0	0.698 9	0.749 2	0.740 2	0.814 5	0.684 0
	白毫早 Baihaozao	2016	0.792 6	0.784 6	0.771 8	0.720 9	0.722 9	0.824 6	0.782 7	0.801 1
空间上 Space	乌牛早 Wuniuzao	2016	0.604 8	0.743 6	0.702 3	0.688 0	0.668 9	0.692 1	0.673 0	0.677 4
	白毫早 Baihaozao	2016	0.731 0	0.686 5	0.632 8	0.689 8	0.690 4	0.611 2	0.733 1	0.766 2

早茶园第一位的是茶色新圆蛛, 第二位的是草间小黑蛛; 2016 年白毫早茶园第一位的是棕管巢蛛, 第二位的是斜纹猫蛛。

为了分析天敌与茶细蛾在空间上的跟随关系情况, 2016 年乌牛早茶园选择 4 月 28 日, 5 月 12 日, 7 月 14 日, 10 月 10 日和 11 月 2 日, 白毫早茶园选择 5 月 30 日, 7 月 14 日, 8 月 28

日, 9 月 12 日和 11 月 2 日的天敌与茶细蛾的数据进行地学统计分析, 其中半变异函数理论模型的序数和变程列于表 7 和表 8, 表 7 最小的决定系数 R^2 为 0.437 4 ($R=0.661 4$), 表 8 最小的决定系数 R^2 为 0.256 6 ($R=0.506 6$), $df=26$, $R_{0.05}=0.374$, $R_{0.01}=0.478$, R 值均大于 $R_{0.01}$ (0.478), 表明理论模型与实际情况的吻合度高。对天敌与

表 7 2016 年白毫早茶细蛾与其天敌的理论半变异函数模型参数

Table 7 The theoretical semivariogram parameters of *Caloptilia theivora* and its natural enemies about Baihaozao tea garden in 2016 $R^*(h)$

日期 Date	物种 Species	模型 Model	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	变程 RSD Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	分布型 Pattern
5.30	y	球形 Sphere	- 0.000 1	- 0.000 08	- 0.015 6	0.245 8	2.124 5	0.913 7	A
	x ₁	球形 Sphere	0.008 4	- 0.099 1	- 0.115 1	3.456 0	8.408 3	0.804 0	A
	x ₂	球形 Sphere	- 0.000 6	0.027 9	0.580 6	3.978 0	2.314 2	0.921 7	A
	x ₃	球形 Sphere	0.000 08	0.001 9	- 0.054 0	0.971 8	9.044 3	0.256 6	A
	x ₄	球形 Sphere	0.001 2	- 0.026 8	0.105 1	0.333 1	12.565 5	0.941 3	A
	x ₅	球形 Sphere	- 0.002 1	0.025 9	- 0.176 4	1.052 4	6.123 5	0.905 5	A
	x ₆	球形 Sphere	0.006 9	- 0.098 3	0.287 1	0.578 0	7.695 2	0.966 9	A
	x ₇	球形 Sphere	0.001 8	- 0.031 3	0.072 6	1.331 1	10.285 5	0.633 3	A
7.14	x ₈	球形 Sphere	- 0.000 3	0.004 9	- 0.035 2	0.166 6	5.125 4	0.715 1	A
	y	球形 Sphere	0.000 8	- 0.007 9	- 0.065 0	0.756 5	9.449 5	0.821 6	A
	x ₁	球形 Sphere	0.027 3	- 0.459 8	1.470 3	4.657 5	9.297 4	0.855 5	A
	x ₂	球形 Sphere	0.001 0	0.010 6	- 0.609 8	5.977 7	2.123 4	0.945 0	A
	x ₃	球形 Sphere	- 0.004 4	0.065 1	- 0.311 8	0.808 6	5.769 4	0.751 8	A
	x ₄	球形 Sphere	0.001 6	- 0.026 4	0.070 4	0.423 7	9.447 6	0.939 7	A
	x ₅	球形 Sphere	- 0.003 3	0.057 4	- 0.338 0	1.008 1	7.124 5	0.615 4	A
	x ₆	球形 Sphere	- 0.010 1	0.157 5	- 0.776 9	2.252 1	6.372 4	0.496 7	A
	x ₇	球形 Sphere	0.002 7	- 0.045 6	0.158 2	0.646 7	9.117 1	0.939 7	A
	x ₈	球形 Sphere	- 0.000 7	0.011 1	- 0.058 8	0.175 5	7.125 4	0.804 1	A

续表 7 (Table 7 continued)

日期 Date	物种 Species	模型 Model	c_1	c_2	c_3	c_4	变程 RSD Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	分布型 Pattern
8.28	Y	球形 Sphere	-0.003 1	0.047 7	-0.235 6	0.532 5	6.115 8	0.882 2	A
	x ₁	球形 Sphere	0.001 0	-0.012 8	0.017 7	0.241 0	7.774 4	0.938 4	A
	x ₂	球形 Sphere	-0.005 1	0.087 1	-0.521 6	1.647 7	6.125 4	0.900 5	A
	x ₃	球形 Sphere	-0.000 5	0.009 4	-0.075 3	0.311 6	2.124 5	0.490 4	A
	x ₄	球形 Sphere	0.001 0	-0.015 8	0.044 4	0.146 6	8.863 6	0.853 0	A
	x ₅	球形 Sphere	0.000 5	-0.004 2	-0.031 4	0.308 8	8.164 1	0.873 7	A
	x ₆	球形 Sphere	0.000 01	-0.004 0	0.014 6	0.240 0	1.837 7	0.816 1	A
	x ₇	球形 Sphere	-0.000 2	0.003 2	-0.059 7	0.426 9	8.124 5	0.950 4	A
9.12	y	球形 Sphere	-0.003 2	0.045 8	-0.222 5	0.670 6	7.214 2	0.538 1	A
	x ₁	球形 Sphere	-0.000 4	0.007 9	-0.068 0	0.309 6	8.125 4	0.879 0	A
	x ₂	球形 Sphere	0.006 1	-0.083 2	0.191 2	0.814 8	7.743 7	0.874 4	A
	x ₃	球形 Sphere	-0.000 7	0.011 4	-0.052 6	0.107 1	7.531 4	0.888 1	A
	x ₄	球形 Sphere	0.000 5	-0.007 7	0.026 7	0.013 5	8.057 6	0.940 2	A
	x ₅	球形 Sphere	-0.001 5	0.021 5	-0.102 5	0.284 2	5.000 0	0.922 2	A
	x ₆	球形 Sphere	-0.005 7	0.083 0	-0.388 7	0.955 2	5.763 9	0.782 7	A
	x ₇	球形 Sphere	0.001 3	-0.021 0	0.060 5	0.186 3	9.056 3	0.979 1	A
11.12	y	球形 Sphere	-0.001 9	0.030 2	-0.177 2	0.764 3	7.125 4	0.686 7	A
	x ₁	球形 Sphere	-0.000 8	0.012 7	-0.097 9	0.457 9	6.125 4	0.941 1	A
	x ₂	球形 Sphere	0.009 2	-0.216 7	0.865 6	2.851 0	2.348 5	0.954 3	A
	x ₃	球形 Sphere	-0.053 5	0.543 5	-4.340 9	10.085 0	8.124 5	0.974 2	A
	x ₄	球形 Sphere	0.000 8	-0.010 0	-0.014 0	0.280 7	8.982 7	0.987 7	A
	x ₅	球形 Sphere	-0.005 2	0.085 2	-0.502 3	1.447 3	5.124 5	0.912 1	A
	x ₆	球形 Sphere	-0.009 9	0.345 7	-2.812 6	14.034 0	5.253 6	0.647 4	A
	x ₇	球形 Sphere	0.000 03	0.011 6	-0.204 9	1.252 8	8.548 4	0.899 0	A
	x ₇	球形 Sphere	-0.002 4	0.032 9	-0.235 6	1.237 7	4.124 5	0.776 7	A
	x ₈	球形 Sphere	-0.001 0	0.021 0	-0.130 4	0.424 5	4.647 7	0.531 1	A

表 8 2016 年乌牛早茶园茶细蛾与其天敌的理论半变异函数模型参数
 Table 8 The theoretical semivariogram parameters of *Caloptilia theivora* and its natural enemies about Wuniuzao tea garden in 2016 $R^*(h)$

日期 Date	物种 Species	模型 Model	c_1	c_2	c_3	c_4	变程 RSD Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	分布型 Pattern
4.28	y	球形 Sphere	-0.001 9	0.028 1	-0.139 2	0.406 2	3.212 4	0.594 9	A
	x ₁	球形 Sphere	-0.020 7	0.311 1	-1.428 6	3.095 0	6.455 9	0.501 6	A
	x ₂	球形 Sphere	0.003 8	-0.061 5	0.143 6	1.314 7	9.457 6	0.844 1	A
	x ₃	球形 Sphere	-0.000 6	0.009 7	-0.057 3	0.214 1	7.125 4	0.772 1	A
	x ₄	球形 Sphere	0.004 9	-0.072 8	0.232 2	0.311 0	7.907 1	0.963 0	A
	x ₅	球形 Sphere	0.000 7	-0.009 8	0.012 2	0.289 9	8.662 7	0.842 6	A

续表 8 (Table 8 continued)

日期 Date	物种 Species	模型 Model	c_1	c_2	c_3	c_4	变程 RSD Variation range	决定系数 R^2 Determination coefficient	分布型 Pattern
4.28	x_6	球形 Sphere	- 0.002 4	0.036 2	- 0.175 0	0.426 0	6.014 2	0.744 5	A
	x_7	球形 Sphere	- 0.003 2	0.047 8	- 0.251 7	0.745 9	7.125 4	0.822 7	A
	x_8	球形 Sphere	0	0	0	0	0	0	A
5.12	y	球形 Sphere	- 0.000 9	0.015 4	- 0.086 6	0.280 7	6.380 6	0.710 4	A
	x_1	球形 Sphere	- 0.035 0	0.571 6	- 2.917 3	7.290 9	6.804 4	0.437 4	A
	x_2	球形 Sphere	- 0.001 6	0.011 6	- 0.140 1	1.806 3	6.125 4	0.843 0	A
	x_3	球形 Sphere	0.000 2	0.010 8	- 0.163 5	0.832 7	6.423 3	0.696 0	A
	x_4	球形 Sphere	- 0.001 0	0.014 4	- 0.070 4	0.165 4	7.124 1	0.641 4	A
	x_5	球形 Sphere	- 0.003 0	0.040 9	- 0.151 8	0.437 4	6.490 1	0.393 4	A
	x_6	球形 Sphere	- 0.001 0	0.014 7	- 0.128 1	0.689 8	4.125 4	0.893 9	A
	x_7	球形 Sphere	- 0.006 9	0.108 3	- 0.621 0	1.909 8	3.912 4	0.869 4	A
7.14	x_8	球形 Sphere	0.005 0	- 0.007 7	0.026 7	0.0135	4.125 4	0.940 2	A
	y	球形 Sphere	0.000 3	- 0.003 1	- 0.031 6	0.339 5	10.298 3	0.721 6	A
	x_1	球形 Sphere	- 0.049 8	0.740 2	- 3.563 9	9.657 6	5.786 4	0.812 9	A
	x_2	球形 Sphere	0.076 7	- 1.045 8	3.193 7	4.993 9	7.148 3	0.786 5	A
	x_3	球形 Sphere	- 0.001 7	0.022 6	- 0.131 0	0.704 6	5.125 4	0.791 3	A
	x_4	球形 Sphere	- 0.001 1	0.013 9	- 0.061 4	0.191 5	7.125 4	0.746 4	A
	x_5	球形 Sphere	- 0.002 1	0.031 8	- 0.165 3	0.684 6	6.124 5	0.820 8	A
	x_6	球形 Sphere	0.812 9	- 0.042 0	0.058 7	1.242 0	6.132 4	0.351 2	A
10.10	x_7	球形 Sphere	0.013 2	- 0.213 6	0.832 5	0.309 0	8.235 1	0.949 6	A
	x_8	球形 Sphere	- 0.000 001	- 0.000 5	- 0.005 9	0.1025	8.125 4	0.973 6	A
	y	球形 Sphere	-0.000 5	0.007 3	- 0.040 6	0.212 1	2.125 4	0.794 5	A
	x_1	球形 Sphere	0.003 5	- 0.037 1	- 0.086 4	1.655 6	8.084 5	0.808 7	A
	x_2	球形 Sphere	- 0.001 1	0.030 1	- 0.300 4	2.098 9	2.314 2	0.400 5	A
	x_3	球形 Sphere	- 0.001 2	0.018 3	- 0.090 8	0.4337	5.869 5	0.426 3	A
	x_4	球形 Sphere	0.000 3	- 0.002 1	- 0.016 8	0.274 3	7.243 6	0.807 4	A
	x_5	球形 Sphere	0.002 2	- 0.009 2	- 0.188 9	2.848 9	6.922 4	0.541 4	A
11.2	x_6	球形 Sphere	- 0.001 7	0.002 0	- 0.085 4	2.116 9	6.125 4	0.805 9	A
	x_7	球形 Sphere	- 0.000 5	0.004 0	- 0.048 7	0.4612	5.965 2	0.903 8	A
	x_8	球形 Sphere	0.001 4	- 0.021 7	0.047 8	0.681 1	9.079 9	0.940 2	A
	y	球形 Sphere	0.000 2	- 0.002 1	- 0.005 1	0.122 8	8.055 2	0.937 4	A
	x_1	球形 Sphere	0.001 7	- 0.034 6	- 0.009 0	1.786 4	2.124 7	0.958 7	A
	x_2	球形 Sphere	- 0.017 5	0.217 8	- 1.522 8	8.7709	6.125 4	0.874 0	A
	x_3	球形 Sphere	0.000 04	0.001 2	- 0.024 7	0.172 4	7.488 1	0.708 9	A
	x_4	球形 Sphere	- 0.000 02	0.001 4	- 0.029 4	0.238 0	7.965 2	0.689 9	A
	x_5	球形 Sphere	- 0.019 4	0.334 1	- 2.050 5	5.794 6	8.124 5	0.898 5	A
	x_6	球形 Sphere	0.008 0	- 0.116 6	0.365 5	0.582 3	7.752 2	0.916 4	A
	x_7	球形 Sphere	- 0.002 1	0.035 9	- 0.279 3	1.223 7	7.124 5	0.687 0	A
	x_8	球形 Sphere	- 0.003 3	0.051 5	- 0.259 7	0.569 5	6.112 3	0.877 4	A

茶细蛾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 6。

2016 年乌牛早茶园与茶细蛾在空间上的关联度大的天敌, 第一位是锥腹肖蛸, 第二位是草间小黑蛛; 2016 年白毫早茶园第一位的天敌是斜纹猫蛛, 第二位是茶色新圆蛛, 2014 年安吉白茶茶园第一位天敌是茶色新圆蛛, 第二位的是八斑球腹蛛。

为了分析天敌对茶细蛾在时间上跟随关系

密切程度, 将两者的时间生态位相似性系数列于表 9, 2016 年乌牛早茶园与茶细蛾时间生态位相似性系数大的, 第一位是茶色新圆蛛, 第二位是草间小黑蛛; 2016 年白毫早茶园第一位的天敌是棕管巢蛛, 第二位的是草间小黑蛛。

为了比较天敌对茶细蛾在数量、时间、空间上跟随关系的密切程度的年度间差异, 将关联度和生态位重迭指数进行标准化处理, 结果列于表 10, 2015 年和 2016 年相比, 乌牛早茶园两年间前四

表 9 两种茶园天敌与茶细蛾时间生态位相似性系数

Table 9 Two types of tea garden natural enemies and *Caloptilia theivora* of coefficient of the time niche similarity

茶树品种 Tea variety	年份 Year	天敌 Natural enemies							
		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
乌牛早 Wuniuzao	2016	0.768 1	0.698 5	0.930 5	0.635 1	0.696 5	0.730 8	0.940 5	0.616 5
白毫早 Baihaozao	2016	0.711 4	0.794 5	0.798 2	0.484 4	0.499 3	0.908 6	0.788 0	0.786 1

表 10 两种茶园天敌与茶细蛾在数量、时间、空间关系密切程度的年度间差异

Table 10 Two types of tea garden natural enemies and *Caloptilia theivora* of close to annual differences in quantity, time and space

茶园 Tea garden	年份 Year	项目 Project	天敌 Natural enemies							
			x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈
乌牛早 Wuniuzao	2016	A	0.932 7	0.891 0	0.947 8	0.858 1	0.919 8	0.908 8	1	0.839 8
		B	0.813 3	1	0.944 5	0.925 2	0.899 5	0.930 7	0.905 1	0.911 0
		C	0.816 7	0.742 7	0.989 4	0.675 3	0.740 6	0.777 0	1	0.655 5
		Σ	2.562 7	2.633 7	2.881 7	2.458 6	2.559 9	2.616 5	2.905 1	2.406 3
			5	3	2	7	6	4	1	8
	2015	Σ	2.217 0	2.540 4	2.368 6	2.000 4	1.651 3	3	2.393 8	2.475 2
			6	2	5	7	8	1	4	3
		A	0.961 2	0.951 5	0.936 0	0.874 2	0.876 7	1.000 0	0.949 2	0.971 5
		B	0.954 1	0.896 0	0.825 9	0.900 3	0.901 1	0.797 7	0.956 8	1.000 0
		C	0.787 0	0.874 4	0.878 5	0.533 1	0.549 5	1.000 0	0.867 3	0.865 2
白毫早 Baihaozao	2016	Σ	0.698 3	2.721 9	2.640 4	2.307 6	2.327 3	2.797 7	2.773 3	2.836 7
			5	4	6	8	7	2	3	1
	2015	Σ	2.259 4	2.547 3	2.137 2	2.205 6	2.099 9	2.898 5	2.508 6	2.451
			5	2	7	6	8	1	3	4
		序号之和	21	11	20	28	28	8	11	16
		Sum of ordinal numbers	6	2	5	7	8	1	2	4
		密切指数之和	9.741 4	10.443 3	9.997 9	8.972 2	8.638 4	11.312 7	10.580 8	10.169 2
		Sum of close index	6	3	5	7	8	1	2	4

位天敌有 3 位相同, 但位次不同, 位次有 7 处不同, 位次相异率为 87.5%。2015 年和 2016 年白毫早茶园前四位天敌中有 4 位相同, 但位次不同, 位次有 6 处不同, 位次相异率为 75%。年度间位次相异率平均为 81.25%。品种间位次平均相异率为 75%。

根据序号之和和密切指数之和评判, 在数、时、空关系上与茶细蛾关系密切的前四位蜘蛛天敌位次是棕管巢蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和斜纹猫蛛。

3 小结与讨论

本研究用灰色关联度及与地统计方法和生态位分析法相结合研究茶树品种间和年度间乌牛早茶园和白毫早茶园天敌对茶细蛾在数量、时间、空间上跟随关系密切程度差异, 综合分析结果如下。

(1) 茶树品种间比较, 2015 年乌牛早与白毫早茶园与茶细蛾跟随关系密切的前四位天敌中均有 4 种相同, 但位次不同; 8 种天敌有 5 种位次不同, 位次相异率为 62.5%。2016 年两茶园与茶细蛾跟随关系密切的前四位天敌有 3 种相同, 但位次不同, 8 种天敌的位次相异率为 75%。品种间两年平均 8 种天敌的位次相异率为 75%。

(2) 年度间差异, 2015 年和 2016 年相比, 乌牛早茶园前四位天敌均有 3 种相同, 但位次不同, 8 种天敌位次有 7 处不同, 相异率为 87.5%。白毫早茶园前四位天敌中有 4 种相同, 但位次不同, 8 种天敌位次有 6 处不同, 天敌位次相异率为 75%。两品种茶园平均年度间 8 种天敌的平均位次相异率为 81.25%。

(3) 根据序号之和密切指数之和评判, 在数、时、空关系上与茶细蛾关系密切的前四位蜘蛛类天敌依次均是棕管巢蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和斜纹猫蛛。

在茶细蛾的防治实践中, 若棕管巢蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和斜纹猫蛛的数量达到一定水平, 可利用这些自然天敌控制茶细蛾的数量, 若上述蜘蛛数量少, 需进行化学防治, 则根据主要

天敌的数量情况, 采用对蜘蛛杀伤力小的农药品种或者在蜘蛛活动性小的时候施药, 以便对其保护。

参考文献 (References)

- Deng JL, 1990. Tutorial on Grey System Theory. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press. 33–84. [邓聚龙, 1990. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中科技大学出版社. 33–84.]
- Hou JR, Pan HJ, Zhang SQ, 1990. Basic theory and methods of multivariate geostatistics. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, (2): 82–102. [侯景儒, 潘汉军, 张树泉, 1990. 多元地质统计学的理论与方法. 北京科技大学学报, (2): 82–102.]
- Hu JL, 1983. Chinese Agroforestry Spiders. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press. 28–39. [胡金林, 1983. 中国农林蜘蛛. 天津: 天津科学技术出版社. 28–39.]
- Ross RE, Mulla DJ, Jouinel AG, Franz EH. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 62(2): 277–314.
- Sheng ZL, Wang XQ, Peng P, Zhao FH, Yao XK, Mao YX, Hu X, Lin Q, 2011. Study on fields controlling effects of sex pheromone in trapping *Euproctis pseudoconspersa* Strand and *Caloptilia theivora*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 24(5): 1775–1778. [盛忠雷, 王晓庆, 彭萍, 赵丰华, 姚学坤, 毛迎新, 胡翔, 林强, 2011. 茶毛虫和茶细蛾性诱剂的田间防控效果研究. 西南农业学报, 24(5): 1775–1778.]
- Song CQ, Lan JJ, Xu DZ, 2005. Using the Jiaduo insect killer lamp to monitor and control the tea pests. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(3): 324–325. [宋昌琪, 蓝建军, 徐大忠, 2005. 频振式杀虫灯在茶树害虫预报防治中的应用. 昆虫知识, 42(3): 324–325.]
- Tang QY, 2010. Data Processing System of DPS. Beijing: Beijing Science Press. 275–350. [唐启义, 2010. DPS 数据处理系统(第二版). 北京: 科学出版社. 275–350.]
- Zhejiang Zhenhai Agricultural Bureau, 1975. A preliminary observation of the life history of the *Caloptilia theivora*. *Tea Technology Briefing*, (3): 6–7. [浙江镇海农业局, 1975. 茶细蛾生活史初步观察. 茶叶科技简报, (3): 6–7.]
- The Agriculture Department of Zhejiang of Zhenhai Area, 1977. A brief introduction to the life of *Caloptilia theivora*. *Tea Technology Briefing*, (4): 16–17. [浙江镇海农业局, 1977. 茶细蛾生活简介. 茶叶科技简报, (4): 16–17.]
- The Agriculture Department of Zhejiang of Zhenhai Area, 1978. The relationship between the life history of *Caloptilia theivora* and temperature. *Tea Technology Briefing*, (4): 9–10. [浙江镇海农业

- 局, 1978. 茶细蛾生活史与气温变化的关系. 茶叶科技简报, (4): 9–10.]
- Wang XQ, Guo X, Sheng ZL, Peng P, Lin Q, Hu X, Huang SJ, 2012. Study on biologic characteristics and population dynamics of adult of *Caloptilia theivora*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 25(2): 534–536. [王晓庆, 郭箫, 盛忠雷, 彭萍, 林强, 胡翔, 黄尚俊, 2012. 茶细蛾生物学特性及其种群动态研究. 西南农业学报, 25(2): 534–536.]
- Zhang HH, 1985. Application of tea garden spider in pest control. *Tea*, (1): 44–47. [张汉鹄, 1985. 茶园蜘蛛在害虫防治中的应用. 茶叶, (1): 44–47.]
- Zhang JY, Li X, Jiang C, Meng F, Ma L, Wu SR, 2011. Influences of temperature and nutrition on the development and longevity of *Sympiesis soriceicornis* and *Apanteles theivora*. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 39(6): 153–158. [张金钰, 李鑫, 姜超, 孟芳, 马丽, 吴素蓉, 2011. 温度与营养对丝角姬小蜂及茶细蛾绒茧蜂发育与寿命的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 39(6): 153–158.]
- Zhao FH, Lv HZ, Dang YC, Cai YM, Li X, 2017. Study on application of *Ectropis obliqua* and *Caloptilia theivora* sex pheromone in southern Henan tea garden. *Tianjin Agricultural Science*, 23(1): 91–94. [赵丰华, 吕亥哲, 党永超, 蔡一鸣, 李霞, 2017. 茶尺蠖和茶细蛾性诱剂在豫南茶园的应用研究. 天津农业科学, 23(1): 91–94.]
- Zou YD, Wang HF, 1989. *Agricultural and Forestry Insect Ecology*. Hefei: Anhui Science and Technology Press. 125–184. [邹运鼎, 王弘法, 1989. 农林昆虫生态学. 合肥: 安徽省科学技术出版社. 125–184.]
- Zou YD, 1997. *Theory and Application of Natural Enemies in Pest Management*. Beijing: China Forestry Publishing House. 53–66. [邹运鼎, 1997. 害虫管理中的天敌评价理论与应用. 北京: 中国林业出版社. 53–66.]



番茄潜麦蛾 *Tuta absoluta* (Povolny) 幼虫

番茄潜麦蛾隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 麦蛾科 (Gelechiidae), 原产南美洲。该虫 2006 年入侵西班牙, 随后迅速扩散到北非和欧洲许多国家。番茄潜叶蛾严重危害温室和露天的番茄, 受害的番茄果实会丧失经济价值, 经济损失可达 50%-100%, 国际马铃薯中心认为番茄潜叶蛾是威胁全球番茄生产的最严重害虫之一。

番茄潜麦蛾幼虫期 12-15 d, 4 个龄期, 3-4 龄是危害最严重的阶段。幼虫在叶片内取食, 形成大的虫道并能进入果实中危害。幼虫取食叶肉, 在叶子表面留下无规律的虫道, 这种害虫可以在番茄的整个生长季进行危害。

(张润志, 中国科学院动物研究所)