

# 合肥市白毫早、乌牛早茶园天敌与蓟马的空间跟随关系

刘爱国<sup>1</sup> 钱广晶<sup>1</sup> 宋学雨<sup>1,2</sup> 张书平<sup>1</sup> 邹运鼎<sup>2</sup> 毕守东<sup>1\*</sup>

(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:** 为利用天敌有效防治茶园蓟马, 2015—2016年选择安徽农业大学农业科技试验基地的白毫早和乌牛早2种茶园进行试验, 对2种茶园的蓟马数量及其天敌数量进行调查, 采用地学统计学方法与灰色关联度法相结合方法综合分析与蓟马空间跟随关系密切的天敌种类。结果表明, 2015年和2016年2年, 白毫早茶园蓟马共2 408头, 其捕食性天敌共12 156头, 与蓟马空间跟随关系密切的前4位天敌依次是锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*、粽管巢蛛 *Clubiona japonicola* 和草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*, 2年密切指数之和分别为1.952、1.843、1.800和1.751; 2015年和2016年2年, 乌牛早茶园蓟马共6 540头, 其捕食性天敌共12 376头, 与蓟马空间关系密切的前4位天敌依次是八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、茶色新圆蛛和锥腹肖蛸, 2年密切指数之和分别为1.863、1.829、1.762和1.759。综合分析2年白毫早和乌牛早2种茶园, 与蓟马空间关系密切的前4位天敌依次是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛、异色瓢虫和草间小黑蛛, 密切指数之和为3.710、3.605、3.512和3.473。

**关键词:** 蓟马; 茶园; 空间关系; 地学统计学

## Spatial-following relationship between thrips and their natural enemies in the Baihaozao and Wuniuzao tea gardens in Hefei

LIU Aiguo<sup>1</sup> QIAN Guangjing<sup>1</sup> SONG Xueyu<sup>1,2</sup> ZHANG Shuping<sup>1</sup> ZOU Yunding<sup>2</sup> BI Shoudong<sup>1\*</sup>

(1. School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui Province, China; 2. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui Province, China)

**Abstract:** In order to use natural enemies to effectively control thrips, two tea gardens (Baihaozao and Wuniuzao) in the Agricultural Science and Technology Experimental Base of Anhui Agricultural University were selected for experiment in 2015 and 2016. The numbers of thrips and their natural enemies in the two tea gardens were investigated, and the geostatistics method and grey correlation method were used to comprehensively analyze the natural enemy species closely related to thrips in spatial-following relationships. The results showed that there were 2 408 thrips, and 12 156 predatory natural enemies in Baihaozao tea garden in 2015 and 2016. The most four natural enemies closely related with the thrips in spatial-following relationships were *Tetragnatha maxillosa*, *Neoscona theisi*, *Clubiona japonicola* and *Erigonidium graminicolum*, with a total closeness index in two years of 1.952, 1.843, 1.800 and 1.751, respectively. There were 6 540 thrips, and 12 376 predatory natural enemies in Wuniuzao tea garden in 2015 and 2016, and the most four enemies closely related with the thrips in spatial-following relationships were *Theridion octomaculatum*, *Harmonia axyridis*, *N. theisi* and *T. maxillosa*, with a total close-

基金项目: 国家自然科学基金(30871444), 安徽省自然科学基金(11040606M71)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: bishoudong@163.com

收稿日期: 2019-01-18

ness index in two years of 1.863, 1.829, 1.762 and 1.759, respectively. The comprehensive analysis showed that *T. maxillosa*, *N. theisi*, *H. axyridis* and *E. graminicolum* were the most four enemies closely related with thrips in spatial-following relationships in Baihaozao and Wuniuzao tea gardens in 2015 and 2016, with a total closeness index of 3.710, 3.605, 3.512 and 3.473, respectively.

**Key words:** thrip; tea garden; spatial-following relationship; geostatistics

蓟马是茶树的主要害虫之一,严重影响茶叶产量和品质(邹运鼎和王弘法,1989)。蓟马属缨翅目蓟马科,包括茶棘皮蓟马 *Dendrothrips minowai*、台湾蓟马 *Frankliniella intonsa*、温室蓟马 *Hercinothrips femoralis*、端带蓟马 *Megalurothrips distalis*、黄带蓟马 *Taeniothrips flavidulus*、色蓟马 *Thrips coloratus*、黄胸蓟马 *T. hawaiiensis* 和烟蓟马 *T. tabaci* 等 18 种,以花蓟马为主(张汉鹤和谭济才,2004)。花蓟马主要分布在我国台湾、福建、广东、云南、广西、湖南、江西、浙江、安徽等省区,不仅为害茶树,还为害山茶、柑橘、葡萄等植物(谢振伦,1987)。

目前,国内多采用糖醋诱杀和药剂喷施等物理方法和化学方法防治蓟马,但这些方法不仅防治效果一般,而且农药还会污染环境,甚至残留在茶叶上,为害身体健康,所以生物防治方法备受青睐。如陈俊渝等(2017)采用色板诱集效果法防治花蓟马,圆形蓝板对花蓟马的诱集效果优于长方形、三角形和正方形,且挂置高度为 0.6 m 时诱集的虫口数量最多。天敌也可有效防治蓟马,不仅降低了成本,减少了污染,而且有利于保护生态平衡。一种害虫有多种天敌,对于目标害虫关系密切的天敌应该合理保护。蓟马天敌有 50 多种(张婧等,2010),主要天敌有南方小花蝽 *Orius similis* (Zhang et al., 2008)、东亚小花蝽 *O. sauteri* (王然等,2014;李慧玲等,2019)、草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*、八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、龟纹瓢虫 *Propylea japonica* 和棕管巢蛛 *Clubiona reichini*(柯胜兵等,2011;王建盼等,2016)。小花蝽 *Orius similis* 及巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 作为蓟马的天敌生物,对蓟马有很好的防治作用(张帆,2019)。

天敌与目标害虫在空间上跟随关系密切与否直接影响天敌对目标害虫的捕食作用(或寄生作用)的大小(邹运鼎和王弘法,1989;邹运鼎,1997)。在天敌与目标害虫空间关系的研究上,常采用概率理论模型拟合方法、空间分布图式测定方法和地学统计学方法(戈峰,2002)。近年来多采用地学统计学方法和灰色系统法相结合的方法进行研究,如杨林等

(2012)采用地学统计学方法和灰色系统法相结合的方法研究了合肥市秋冬季 4 个品种茶园中假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* 和茶蚜 *Taxopetera aurantii* 与天敌的空间关系;周夏芝等(2013)采用地学统计学方法和灰色系统法相结合的方法研究了潜山县茶园假眼小绿叶蝉、通草粉虱 *Dialeurodes citri*、黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiniferus*、茶蚜 4 种害虫与天敌的空间跟随关系;程娴等(2018)采用地学统计学方法和灰色系统法相结合的方法研究了天敌对花蓟马和茶短须螨 *Brevipalpus obovatus* 的跟随效应;余燕等(2018)采用地学统计学方法和灰色系统法相结合的方法研究了乌牛早茶园茶蚜、假眼小绿叶蝉、卵形短须螨 *B. obovatus* 和双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* 与天敌之间的空间关系。蓟马是合肥市茶园中主要害虫之一,为了合理利用和保护蓟马的自然天敌,本研究于 2015—2016 年在合肥市安徽农业大学农业科技试验基地的白毫早和乌牛早 2 种茶园进行试验,对 2 种茶园的蓟马数量及其天敌数量进行调查,拟采用地学统计学方法与灰色关联度法相结合的方法综合分析与蓟马空间跟随关系密切的天敌种类,以期为蓟马的综合防治提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试植物:茶树品种为白毫早和乌牛早,树龄均为 13 年。

试剂:中性洗衣粉,立白集团。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 2 种茶园蓟马及其天敌数量的调查方法

分别于 2015 年和 2016 年在合肥市安徽农业大学农业科技试验基地(31°94'N, 117°21'E)进行试验,试验基地面积为 42.65 hm<sup>2</sup>, 主要种植乌牛早,白毫早,安吉白茶等茶树品种,分别选择白毫早和乌牛早 2 个品种的茶园进行蓟马及其天敌数量的调查。白毫早和乌牛早每个品种调查长 50 m、宽 40 m 的田块。周围为其它品种茶园,茶园不施用农药,其它按常规方法进行管理。2015 年 3 月 28 日开始调查,11 月 14 日结束,大约每 15 d 调查 1 次,共调查 17 次,2016 年

3月27日开始调查,11月17日结束,大约每15 d调查1次,共调查16次。每个茶园随机选取3行,每行每1 m取1个边长为2 m的样方,每行取10个样方,共取30个样方,每个样方内调查10棵茶树,用1 L水加1 g洗衣粉配制粘着液,然后配制稀释浓度为1 000倍的洗衣粉水液,把沾有洗衣粉水液的搪瓷盆(长为40 cm、宽为30 cm)放在枝条底部,拍打样方中所有茶树的所有枝条,使枝条上的物种落入盆内,调查并记载天敌及其害虫的物种数量和个体数量,对于不能准确鉴定的物种进行编号,装入毒瓶带回室内进行物种鉴定(毕守东等,2019)。分别选择2015年和2016年每种茶园个体总数较多的天敌进行空间关系分析。

### 1.2.2 2种茶园蓟马与主要天敌之间空间关系分析

在空间上,昆虫种群数量是区域化变量,因此采用区域化变量理论与方法(侯景儒和黄竞先,1990),即采用地学统计学方法来研究主要天敌和蓟马的空间关系。当蓟马数量多时,天敌与蓟马之间的空间关系更能反映两者之间的密切程度,故选择蓟马数量多的调查日期,对该日主要天敌数量和蓟马数量进行地学统计方法分析,得到天敌和蓟马的半变异函数理论模型 $R^*(h)=\sum(z(x_i)-z(x_i+h))^2/2N(h)$ ,其中 $h$ 是两样点的相隔距离, $N(h)$ 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。利用相关系数 $r$ 对理论模型的吻合度进行分析。

### 1.2.3 2种茶园蓟马与主要天敌的关联度和密切指数

根据半变异函数模型分别计算2015年和2016年白毫早茶园主要天敌和蓟马的变程。

采用灰色关联度法(邓聚龙,1990)计算2015年白毫早茶园主要天敌变程和蓟马变程的关联度 $r_{ij}$ ,

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

式中, $Y_i(k)$ 为害虫变程, $X_j(k)$ 为天敌变程, $\rho$ 为分辨系数,取值范围在0和1之间,本文取0.8。关联度越大,则天敌与蓟马的空间跟随关系越密切。将2015年白毫早茶园天敌与蓟马的关联度进行标准化处理,即每种主要天敌的关联度分别除以本年主要天敌中关联度的最大值,其商为密切指数,按照从大到小依次确定在空间上与蓟马关系密切的第1位天敌、第2位天敌,……,然后计算2016年白毫早茶园主要天敌变程和蓟马变程的关联度及密切指数,方法同2015年,

计算白毫早茶园2年密切指数之和,将2年之和按照由大到小依次确定为空间跟随关系密切的第1位天敌、第2位天敌,……,依次类推,进行综合分析。分别计算2015年和2016年乌牛早茶园主要天敌和蓟马的变程,分别计算2015年和2016年乌牛早茶园主要天敌变程和蓟马变程的关联度和密切指数,方法同白毫早茶园。

### 1.3 数据分析

采用DPS 7.05软件对试验数据进行统计分析,采用Matlab 2016软件进行计算,应用t检验法对2年蓟马及其天敌数量进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 白毫早茶园蓟马与天敌的空间跟随关系

#### 2.1.1 蓟马与其天敌的物种数量及个体数量

2015年和2016年,白毫早茶园蓟马共2 408头,其捕食性天敌共12 156头。2015年,蓟马946头,9—11月份是发生高峰期;节肢动物18 180头,隶属92种53科21目,其中捕食性天敌6 111头,隶属42种18科7目,所占比例为33.61%,个体总数146头以上的8种天敌分别为鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*、八斑球腹蛛、粽管巢蛛、茶色新圆蛛 *Neoscona theisi* 和异色瓢虫 *Harmonia axyridis*,其数量分别为1 414、1 332、149、310、586、530、346和146头,这8种天敌占捕食性天敌总数的78.77%,是茶园捕食性天敌的主体(表1)。2016年,蓟马1 462头,9—11月份是发生高峰期;节肢动物19 249头,隶属72种53科21目,其中捕食性天敌6 045头,隶属31种16科6目,所占比例为31.40%,个体总数111头以上的8种天敌与2015年相同,其数量分别为795、1 387、212、268、856、356、397和111头,这8种天敌占捕食性天敌总数的72.50%,也是茶园捕食性天敌的主体(表1)。

2年蓟马数量之间( $t=0.924, df=31, t_{0.05}=2.04, P>0.05$ )差异不显著;2年鳞纹肖蛸数量之间( $t=1.748, df=31, P>0.05$ )、锥腹肖蛸数量之间( $t=0.547, df=31, P>0.05$ )、草间小黑蛛数量之间( $t=1.589, df=31, P>0.05$ )、三突花蟹蛛数量之间( $t=0.222, df=31, P>0.05$ )、八斑球腹蛛数量之间( $t=0.961, df=31, P>0.05$ )、粽管巢蛛数量之间( $t=1.558, df=31, P>0.05$ )、茶色新圆蛛数量之间( $t=1.109, df=31, P>0.05$ )和异色瓢虫数量之间( $t=0.557, df=31, P>0.05$ )均差异不显著。

表1 2015年和2016年白毫早茶园蓟马与其8种主要天敌的数量

Table 1 Quantities of thrips and eight natural enemies in Baihaozao tea garden in 2015 and 2016

年份 Year	日期 Date	蓟马 Thrip	鳞纹肖蛸 <i>Tetragnatha squamata</i>	锥腹肖蛸 <i>Tetragnatha maxillosa</i>	草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i>	三突花蟹蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	八斑球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i>	棕管巢蛛 <i>Clubiona japonicola</i>	茶色新圆蛛 <i>Neoscona theisi</i>	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>
2015	3-28	1	273	119	15	80	59	5	33	8
	4-11	1	187	85	1	54	12	8	26	2
	4-26	5	117	82	14	33	14	9	31	7
	5-10	0	80	33	25	8	2	11	13	3
	5-24	0	69	48	21	13	5	15	36	1
	6-08	0	79	60	9	7	36	25	34	5
	6-20	8	55	102	15	6	19	28	19	10
	7-04	12	49	141	9	14	16	48	26	13
	7-19	25	82	118	7	10	5	35	21	12
	8-02	6	32	50	5	6	10	49	20	0
	8-16	35	8	36	4	6	5	43	8	0
	8-30	37	7	30	0	2	4	53	12	6
	9-13	49	24	35	6	3	12	70	6	5
	9-26	101	16	49	6	12	23	57	9	7
	10-11	51	62	61	4	10	104	32	12	19
	10-28	225	138	142	6	41	140	36	19	44
	11-14	390	136	141	2	5	120	6	21	4
	合计 Total	946	1 414	1 332	149	310	586	530	346	146
2016	3-27	34	149	140	20	52	86	3	27	7
	4-11	36	61	88	9	59	14	12	19	11
	4-28	22	49	72	7	35	12	13	49	24
	5-12	27	63	47	25	13	20	25	46	12
	5-30	28	58	90	31	12	25	19	52	4
	6-14	90	43	91	22	1	29	26	33	5
	6-29	146	62	169	17	19	38	39	25	17
	7-14	99	114	165	30	14	26	53	21	4
	7-29	98	23	100	10	6	18	29	17	0
	8-13	31	12	31	3	2	5	24	7	0
	8-28	12	6	33	9	3	6	11	13	6
	9-12	26	8	19	2	1	7	13	5	2
	9-25	53	24	36	3	5	25	32	17	11
	10-10	43	36	55	7	4	110	24	16	3
	11-02	193	47	101	7	17	248	26	23	1
	11-19	524	40	150	10	25	187	7	27	4
	合计 Total	1 462	795	1 387	212	268	856	356	397	111

### 2.1.2 蓼马与8种主要天敌的理论模型及参数

分别对2015年9月13日、9月26日、10月11日、10月28日、11月14日,2016年6月29日、7月14日、7月29日、11月2日、11月19日蓼马及其8种主要天敌数量进行地学统计学方法分析,得到半变异函数理论模型均为球状模型 $\gamma(h)$ ,球形模型 $\gamma(h)=$

$$\begin{cases} C_0 + C \\ C_0 + C \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) \end{cases}$$

其中 $C_0$ 为块金常数, $C$ 为偏基台值, $a$ 为变程; $h$ 为相隔距离,均为1 m,各日期的模型参数值如表2所示。2015年和2016年所有模型的相关系数 $r$ 均大于 $0.453 > r_{0.05} = 0.374$ ,表明2015年和2016年所有的理论模型均与实际吻合度较高。



### 2.1.3 薊马与8种主要天敌的关联度和密切指数

2015年,在空间上与薊马密切指数较大的前4位天敌依次是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛、鳞纹肖蛸和八斑球腹蛛,其关联度分别为0.886、0.786、0.767和0.757,其密切指数分别为1.000、0.886、0.865和0.854。2016年,在空间上与薊马密切指数较大的前4位天敌依次是棕管巢蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和草间小黑蛛,其关联度分别为0.822、0.786、0.782和

0.764,其密切指数分别为1.000、0.957、0.952和0.929。2年密切指数之和结果显示,在空间上与薊马密切指数较大的前4位天敌依次是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛、棕管巢蛛和草间小黑蛛,其密切指数分别为1.952、1.843、1.800和1.751(表3),2年中前4位天敌中相同的天敌是锥腹肖蛸和茶色新圆蛛,茶色新圆蛛均是第2位,但锥腹肖蛸位次不同。

表3 2015年和2016年白毫早茶园薊马与其8种主要天敌的关联度和密切指数

Table 3 Correlation grades and closeness indices of thrips and eight natural enemies in the Baihaozao tea garden in 2015 and 2016

年份 Year	项目 Parameter	鳞纹肖蛸 <i>Tetragnatha squamata</i>	锥腹肖蛸 <i>Tetragnatha maxillosa</i>	草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i>	三突花蟹蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	八斑球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i>	棕管巢蛛 <i>Clubiona japonicola</i>	茶色新圆蛛 <i>Neoscona theisi</i>	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>
2015	关联度 Correlation grade	0.767	0.886	0.729	0.611	0.757	0.710	0.786	0.697
	密切指数 Closeness index	0.865	1.000	0.822	0.690	0.854	0.800	0.886	0.787
2016	关联度 Correlation grade	0.706	0.782	0.764	0.721	0.590	0.822	0.786	0.737
	密切指数 Closeness index	0.859	0.952	0.929	0.877	0.717	1.000	0.957	0.896
	2年密切指数之和 Sum of closeness index for two years	1.725	1.952	1.751	1.566	1.571	1.800	1.843	1.683

## 2.2 乌牛早茶园薊马与天敌的空间跟随关系

### 2.2.1 薊马与其天敌的物种数量及个体数量

2015年和2016年2年,乌牛早茶园薊马共6 540头,其捕食性天敌共12 376头。其中2015年,薊马5 775头,9—11月份是发生高峰期;节肢动物23 604头,隶属78种53科16目,其中捕食性天敌7 374头,隶属37种18科6目,所占比例为31.24%,个体总数134头以上的8种天敌数量分别为1 997、1 803、257、225、703、561、470和134头,这8种天敌占捕食性天敌总数的83.40%,是茶园捕食性天敌的主体(表4)。2016年,薊马765头,9—11月份是发生高峰期;节肢动物22 547头,隶属85种26科8目,其中捕食性天敌5 002头,隶属40种20科8目,所占比例为22.18%,个体总数130头以上的8种天敌与2015年相同,其数量分别为990、1 345、151、144、478、484、331和130头,这8种天敌占捕食性天敌总数的81.04%,也是茶园捕食性天敌的主体(表4)。

2年薊马数量之间( $t=1.570, df=31, t_{0.05}=2.04, P>0.05$ )差异不显著;在8种主要天敌中,除2年鳞纹肖蛸数量之间( $t=2.704, df=31, P<0.05$ )差异显著外,2年

锥腹肖蛸数量之间( $t=1.495, df=31, P>0.05$ )、草间小黑蛛数量之间( $t=1.749, df=31, P>0.05$ )、三突花蟹蛛数量之间( $t=0.971, df=31, P>0.05$ )、八斑球腹蛛数量之间( $t=0.693, df=31, P>0.05$ )、棕管巢蛛数量之间( $t=0.372, df=31, P>0.05$ )、茶色新圆蛛数量之间( $t=1.727, df=31, P>0.05$ )和异色瓢虫数量之间( $t=0.084, df=31, P>0.05$ )均差异不显著,但2016年数量均高于其2015年数量。

### 2.2.2 薊马与8种主要天敌的理论模型及参数

分别对2015年8月16日、9月26日、10月11日、10月28日、11月14日,2016年3月27日、7月14日、9月25日、11月2日、11月19日薊马及其8种主要天敌数量进行地学统计学方法分析,得到半变异函数理论模型均为球状模型  $\gamma(h)$ ,球形模型  $\gamma(h)=\begin{cases} C_0 + C \\ C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a}\right)^3\right) \end{cases}$ ,各日期的模型参数值如表5所示。2015年和2016年所有模型的相关系数  $r$  均大于  $0.485 > r_{0.05}$ ,表明所有的理论模型均与实际吻合度较高。

表5所示。2015年和2016年所有模型的相关系数  $r$  均大于  $0.485 > r_{0.05}$ ,表明所有的理论模型均与实际吻合度较高。

表4 2015年和2016年乌牛早茶园蓟马与其8种主要天敌的数量  
Table 4 Quantities of thrips and eight natural enemies in Wuniuzao tea garden in 2015 and 2016

年份 Year	日期 Date	薺马 Thrip	鳞纹肖蛸 <i>Tetragnatha squamata</i>	锥腹肖蛸 <i>Tetragnatha maxillosa</i>	草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i>	三突花蟹蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	八斑球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i>	粽管巢蛛 <i>Clubiona japonicola</i>	茶色新圆蛛 <i>Neoscona theisi</i>	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>
2015	3-28	9	307	100	13	52	48	8	43	0
	4-11	7	229	106	3	48	9	6	34	3
	4-26	4	99	74	3	29	2	14	25	16
	5-10	11	104	50	26	7	1	19	21	8
	5-24	1	122	81	46	8	11	16	10	4
	6-08	10	99	83	33	1	34	25	1	3
	6-20	43	84	111	21	3	10	44	8	4
	7-04	64	98	125	21	7	9	53	40	1
	7-19	139	107	193	11	7	8	90	26	4
	8-02	38	56	140	7	4	0	34	23	4
	8-16	305	33	105	4	1	5	43	20	1
	8-30	183	23	70	12	0	6	55	20	2
	9-13	300	46	102	15	0	20	51	39	5
	9-26	586	100	86	14	8	60	49	36	5
	10-11	549	129	132	12	12	189	36	54	13
	10-28	312	176	105	7	24	98	8	31	43
	11-14	3 214	185	140	9	14	193	10	39	18
	合计 Total	5 775	1 997	1 803	257	225	703	561	470	134
2016	3-27	84	162	112	5	18	35	3	39	4
	4-11	50	65	41	2	34	23	12	30	11
	4-28	0	47	46	6	12	7	8	23	20
	5-12	14	83	52	23	3	14	14	28	14
	5-30	24	89	84	27	3	27	23	32	10
	6-14	24	83	86	10	3	21	12	10	12
	6-29	29	51	97	9	5	15	28	6	7
	7-14	124	128	149	14	6	19	58	29	7
	7-29	28	116	240	9	10	8	62	16	1
	8-13	0	24	78	5	7	5	49	12	1
	8-28	1	7	54	5	2	22	53	21	1
	9-12	3	6	26	2	0	5	23	9	2
	9-25	71	17	38	4	5	18	65	14	5
	10-10	40	36	60	15	8	72	36	14	18
	11-02	165	40	89	5	10	98	25	23	6
	11-19	108	36	93	10	18	89	13	25	11
	合计 Total	765	990	1 345	151	144	478	484	331	130

表5 2015年和2016年乌牛早茶园蚜马与8种主要天敌的半变异函数理论模型及参数

Table 5 Semivariogram theoretical model and parameters for thrips and eight natural enemies  
in the Wuniuzao tea garden in 2015 and 2016

年份 Year	物种 Species	日期 Date	块金常数 Nugget constant	偏基台值 Partial sill	变程 Variation range/m	<i>r</i>	年份 Year	物种 Species	日期 Date	块金常数 Nugget constant	偏基台值 Partial sill	变程 Variation range/m	<i>r</i>
2015	蚜马 <i>Thrip</i>	8-16	110.354	70.319	3.701	0.884	2016	蚜马 <i>Thrip</i>	3-27	13.399	8.844	4.578	0.816
		9-26	1.541	0.737	2.463	0.918			7-14	6.863	0.134	4.491	0.899
		10-11	4.537	3.615	1.025	0.947			9-25	3.881	2.835	5.207	0.984
		10-28	0.102	0.018	3.975	0.957			11-02	0.083	0.059	4.755	0.783
		11-14	0.029	0.007	2.783	0.705			11-19	0.684	0.538	1.836	0.942
	鳞纹肖蛸 <i>Tetragnatha squamata</i>	8-16	0.466	0.358	6.925	0.710		鳞纹肖蛸 <i>Tetragnatha squamata</i>	3-27	1.015	0.329	0.647	0.921
		9-26	1.952	1.006	5.341	0.978			7-14	0.132	0.077	4.193	0.961
		10-11	0.701	0.221	0.324	0.806			9-25	0.915	0.618	8.335	0.932
		10-28	0.052	0.030	4.368	0.771			11-02	0.162	0.107	1.880	0.974
		11-14	487.527	223.399	4.014	0.915			11-19	11.748	2.820	4.143	0.747
	锥腹肖蛸 <i>Tetragnatha maxillosa</i>	8-16	3.863	2.319	6.183	0.919		锥腹肖蛸 <i>Tetragnatha maxillosa</i>	3-27	9.078	5.317	7.062	0.952
		9-26	4.156	3.125	7.815	0.925			7-14	7.643	5.108	7.867	0.821
		10-11	0.711	0.381	1.630	0.932			9-25	0.569	0.016	3.742	0.909
		10-28	0.470	0.034	0.897	0.934			11-02	0.202	0.094	4.015	0.915
		11-14	1.603	0.016	3.933	0.632			11-19	0.683	0.282	4.314	0.778
	草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i>	8-16	0.745	0.618	1.701	0.936		草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i>	3-27	1.236	0.011	2.056	0.950
		9-26	1.659	1.112	4.875	0.908			7-14	0.881	0.221	0.970	0.976
		10-11	0.342	0.222	4.876	0.970			9-25	0.456	0.325	4.474	0.784
		10-28	162.352	1.907	5.348	0.754			11-02	4.237	3.648	3.826	0.922
		11-14	5.820	0.019	4.541	0.924			11-19	0.562	0.490	4.715	0.792
	三突花蟹蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	8-16	3.808	0.759	1.673	0.924		三突花蟹蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	3-27	2.795	2.009	7.427	0.939
		9-26	0.551	0.358	1.081	0.785			7-14	0.096	0.016	5.142	0.858
		10-11	0.907	0.619	4.572	0.939			9-25	0.239	0.002	0.415	0.931
		10-28	20.589	13.311	4.896	0.779			11-02	0.330	0.133	5.674	0.848
		11-14	1.122	0.663	5.147	0.946			11-19	3.603	1.753	4.651	0.934
	八斑球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i>	8-16	0.833	0.726	3.370	0.975		八斑球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i>	3-27	0.878	0.705	5.014	0.897
		9-26	0.322	0.016	0.537	0.971			7-14	0.143	0.073	4.257	0.985
		10-11	114.804	67.586	4.357	0.914			9-25	76.956	52.655	2.394	0.485
		10-28	16.182	9.129	4.659	0.894			11-02	1.414	0.413	4.169	0.904
		11-14	4.355	0.182	2.818	0.960			11-19	9.253	4.194	1.374	0.940
	棕管巢蛛 <i>Clubiona japonicola</i>	8-16	0.241	0.146	4.542	0.781		棕管巢蛛 <i>Clubiona japonicola</i>	3-27	0.308	0.230	5.312	0.960
		9-26	1.198	0.668	2.365	0.849			7-14	0.355	0.243	0.478	0.596
		10-11	5.320	3.525	8.403	0.778			9-25	5.554	4.104	2.945	0.826
		10-28	0.241	0.138	5.648	0.796			11-02	0.991	0.001	0.198	0.985
		11-14	1.234	0.879	5.548	0.488			11-19	1.240	0.968	1.432	0.820
	茶色新圆蛛 <i>Neoscona theisi</i>	8-16	1.765	0.610	1.730	0.985		茶色新圆蛛 <i>Neoscona theisi</i>	3-27	0.195	0.021	7.614	0.958
		9-26	16.507	287.8	249.396	5.880			7-14	16.274	4.782	2.032	0.904
		10-11	28.646	20.716	2.804	0.952			9-25	2.483	1.677	4.584	0.958
		10-28	6.393	2.125	7.072	0.790			11-02	4.793	1.669	6.672	0.886
		11-14	0.420	0.198	4.743	0.778			11-19	0.534	0.306	4.543	0.944
	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	8-16	0.726	0.491	4.256	0.807		异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	3-27	0.964	0.598	6.257	0.880
		9-26	6.691	1.848	3.857	0.733			7-14	5.448	0.912	3.469	0.881
		10-11	0.346	0.150	2.382	0.953			9-25	0.317	0.011	7.940	0.651
		10-28	2.940	1.403	5.041	0.877			11-02	1.228	0.723	1.212	0.957
		11-14	0.921	0.526	4.287	0.919			11-19	0.244	0.001	0.358	0.909

### 2.2.3 蓼马与8种主要天敌的关联度和密切指数

2015年,在空间上与蓼马密切指数较大的前4位天敌依次是异色瓢虫、鳞纹肖蛸、茶色新圆蛛和八斑球腹蛛,其关联度分别为0.860、0.783、0.755和0.742,其密切指数分别为1.000、0.910、0.878和0.863。2016年,在空间上与蓼马密切指数较大的前4位天敌依次是八斑球腹蛛、三突花蟹蛛、锥腹肖蛸

和茶色新圆蛛,其关联度分别为0.847、0.760、0.759和0.749,其密切指数分别为1.000、0.898、0.897和0.885。2年密切指数之和结果显示,在空间上与蓼马密切指数较大的前4位天敌依次是八斑球腹蛛、异色瓢虫、茶色新圆蛛和锥腹肖蛸,其密切指数分别为1.863、1.829、1.762和1.759,2年中前4位天敌中相同的天敌是八斑球腹蛛和茶色新圆蛛(表6)。

表6 2015年和2016年乌牛早茶园蓼马与其8种主要天敌的关联度和密切指数

Table 6 Correlation grades and closeness indices of thrips and eight natural enemies in the Wuniuzao tea garden in 2015 and 2016

年份 Year	项目 Parameter	鳞纹肖蛸 <i>Tetragnatha squamata</i>	锥腹肖蛸 <i>Tetragnatha maxillosa</i>	草间小黑蛛 <i>Erigonidium graminicolum</i>	三突花蟹蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	八斑球腹蛛 <i>Theridion octomaculatum</i>	棕管巢蛛 <i>Clubiona japonicola</i>	茶色新圆蛛 <i>Neoscona theisi</i>	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>
2015	关联度 Correlation grade	0.783	0.742	0.729	0.665	0.742	0.698	0.755	0.860
	密切指数 Closeness index	0.910	0.862	0.848	0.773	0.863	0.812	0.878	1.000
2016	关联度 Correlation grade	0.679	0.759	0.746	0.760	0.847	0.650	0.749	0.702
	密切指数 Closeness index	0.802	0.897	0.874	0.898	1.000	0.768	0.885	0.829
	2年密切指数之和 Sum of closeness index for two years	1.712	1.759	1.722	1.671	1.863	1.580	1.762	1.829

### 2.3 茶园天敌与蓼马空间跟随关系的综合评判

按照密切指数之和进行综合评判,2种茶园2年与蓼马类空间关系密切的前4位天敌依次是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛、异色瓢虫和草间小黑蛛,其密切指数分别为3.710、3.605、3.512和3.473。

## 3 讨论

天敌与害虫在空间上跟随关系密切与否,直接影响天敌对害虫的控制作用大小,是研究天敌对害虫控制作用的主要内容之一。关于蓼马等茶园害虫空间关系及与天敌的密切关系,不同学者采用的方法不尽相同。如柯胜兵等(2011)运用空间生态位重叠指数和相似系数法研究大别山区茶园天敌与茶黄蓼马 *Scirtothrips dorsalis* 的空间跟随关系;王建盼等(2016)利用密切指数综合空间生态位重叠指数和相似性系数的方法研究安吉白茶茶园中花蓼马空间关系;钱广晶等(2019)采用灰色系统分析方法和生态位分析法确定白毫早茶园中和乌牛早茶园中蓼马的主要天敌;王瑞等(2009)用地学统计学和普通里格法分析了稻田中灰飞虱 *Laodelphax strcatellus* 与蜘蛛的时空动态以及蜘蛛与灰飞虱的空间跟随关系,

而本研究采用地学统计学方法与灰色关联度法相结合的方法,弥补了上述一些方法的不足,能够区别空间格局以及害虫与其天敌之间的密切程度。

不同方法所得到的与蓼马空间跟随关系密切的天敌也有所差异。本研究运用地学统计学方法结合灰色关联度法综合确定2015—2016年白毫早茶园和乌牛早茶园与蓼马空间跟随关系密切的前4位天敌是锥腹肖蛸、茶色新圆蛛、异色瓢虫和草间小黑蛛。柯胜兵等(2011)运用空间生态位重叠指数和相似系数法得出大别山区茶园天敌与茶黄蓼马的空间跟随关系密切的前4位天敌分别是八斑球腹蛛、草间小黑蛛、异色瓢虫和锥腹肖蛸;王建盼等(2016)利用密切指数综合空间生态位重叠指数和相似性系数确定,与安吉白茶茶园中花蓼马空间关系密切的前4位天敌是棕管巢蛛、草间小黑蛛、异色瓢虫和鳞纹肖蛸。钱广晶等(2019)采用灰色系统分析方法和生态位分析法确定白毫早茶园中蓼马的主要天敌是八斑球腹蛛、锥腹肖蛸、鳞纹肖蛸和茶色新圆蛛,乌牛早茶园中蓼马的主要天敌是八斑球腹蛛、锥腹肖蛸、异色瓢虫和鳞纹肖蛸;王瑞等(2009)用地学统计学和普通里格法分析了稻田灰飞虱与蜘蛛的时空动态

以及蜘蛛对灰飞虱的空间跟随关系,虽然上述研究所确定的与蓟马空间跟随关系密切的天敌有些与本研究的相同,但这些研究结果仅是基于1年的研究资料,不具有代表性,而本研究基于2种茶园的2年数据资料,更具有说服力和代表性。在茶园生态系统中,蓟马与天敌空间跟随关系密切程度的位次差异,可能与蓟马数量和天敌个体数量的比值有关,比值越小,灰色关联度值越大,位次越小,天敌对害虫的空间跟随关系越密切,即天敌的食饵越少,饥饿感促使天敌跟踪害虫,其对目标害虫空间跟随关系越密切。

本研究仅调查分析了白毫早茶园和乌牛早茶园2015年和2016年与蓟马空间跟随关系密切的天敌,下一步将采集更多品种茶园的多年蓟马和天敌数据,采用其它更科学的方法来确定跟随关系。

### 参考文献 (References)

- BI SD, ZHANG SP, YU Y, WANG ZX, LI S, ZOU YD. 2019. Assessment of the dominant species of natural enemies of the smaller green leafhopper *Empoasca vitis* in the tea garden in Anhui Province. *Journal of Plant Protection*, 46(4): 910–917 (in Chinese) [毕守东, 张书平, 余燕, 王振兴, 李尚, 邹运鼎. 2019. 安徽省茶园假眼小绿叶蝉优势种天敌的评判. 植物保护学报, 46(4): 910–917]
- CHEN JY, NIU LM, LI L, HAN DY, ZHANG FP, FU YG. 2017. Field trapping effect of different colors sticky cards to *Frankliniella intonsa*. *Journal of Environmental Entomology*, 39(5): 1169–1176 (in Chinese) [陈俊渝, 牛黎明, 李磊, 韩冬银, 张方平, 符悦冠. 2017. 不同颜色粘虫板对花蓟马的田间诱集效果. 环境昆虫学报, 39(5): 1169–1176]
- 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 (in Chinese) [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. Tutorial on grey system theory. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, pp. 33–84 (in Chinese) [邓聚龙. 1990. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社, pp. 33–84]
- GE F. 2002. Modern ecology. Beijing: Science Press, pp. 95–103 (in Chinese) [戈峰. 2002. 现代生态学. 北京: 科学出版社, pp. 95–103]
- HOU JR, HUANG JX. 1990. Basic theory and methods of multivariate geostatistics. Beijing: Geological Publishing House, pp. 87–102 (in Chinese) [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, pp. 87–102]
- KE SB, ZHOU XZ, BI SD, ZOU YD, XU JF, YU K, DANG FH, ZHAO XJ. 2011. Relationships of *Scirtothrips dorsalis* and the predatory natural enemies in tea garden of the Dabie Mountain Area. *Journal of South China Agricultural University*, 32(4): 40–46 (in Chinese) [柯胜兵, 周夏芝, 毕守东, 邹运鼎, 徐劲峰, 禹坤, 党凤花, 赵学娟. 2011. 大别山区茶园茶黄蓟马与捕食性天敌的关系. 华南农业大学学报, 32(4): 40–46]
- LI HL, LI P, ZHANG H, WANG DF, LI LD, ZENG MS, WU GY, WANG QS. 2019. Predation of *Orius sauteri* on pest insects of tea bushes. *Acta Tea Sinica*, 60(1): 38–40 (in Chinese) [李慧玲, 李鹏, 张辉, 王定锋, 李良德, 曾明森, 吴光远, 王庆森. 2019. 东亚小花蝽对茶树两种害虫的捕食作用. 茶叶学报, 60(1): 38–40]
- QIAN GJ, SONG XY, ZHANG SP, LI S, WANG ZX, BI SD, ZHOU XZ, ZOU YD, YAN P. 2019. Relationships between the tea thrips and the predatory natural enemies in Hefei, Anhui Province. *Plant Protection*, 45(6): 229–237 (in Chinese) [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]
- WANG JP, LIU FF, BI SD, GENG JG, ZHOU XZ, ZOU YD, QIN S, WANG ZY, LI S, CHEN Y. 2016. Study of the spatial relationships of *Frankliniella intonsa* and *Brevipalpus obovatus* Donnadei with their predators in Anji White tea garden. *Journal of Southwest University (Natural Science)*, 38(8): 1–9 (in Chinese) [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(自然科学版), 38(8): 1–9]
- WANG R, WANG XL, WANG S, ZHANG F. 2014. Evaluation of the potential biocontrol capacity of *Orius sauteri* (Hemiptera, Anthocoridae) on *Frankliniella occidentalis* (Thysanopter, Thripidae). *Journal of Environmental Entomology*, 36(6): 983–989 (in Chinese) [王然, 王晓灵, 王甦, 张帆. 2014. 东亚小花蝽对西花蓟马的控害能力评价. 环境昆虫学报, 36(6): 983–989]
- WANG R, ZHAI BP, HU G, CHEN X, SHEN HM. 2009. Analysis of spatio-temporal dynamics of *Laodelphax striatellus* (Fallen) (Homoptera: Delphacidae) and spiders in paddy fields based on geostatistics. *Acta Entomologica Sinica*, 52(1): 65–73 (in Chinese) [王瑞, 翟保平, 胡高, 陈晓, 沈慧梅. 2009. 基于地统计学方法的稻飞虱与蜘蛛时空动态分析. 昆虫学报, 52(1): 65–73]
- XIE ZL. 1987. Thrips and its damage in tea gardens. *Chinese Tea*, (6): 22–23 (in Chinese) [谢振伦. 1987. 茶园蓟马及其为害. 中国茶叶, (6): 22–23]
- YANG L, GUO Y, BI SD, ZOU YD, ZHOU XZ, KE SB, SHI XL, KE L, LIN Y. 2012. Spatial relationships among *Empoasca vitis* (Gothe) and *Toxoptrea aurantii* (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban. *Acta Eco-*

- logeica Sinica, 32(13): 4215–4227 (in Chinese) [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 ZY, LI S, BI SD, ZHOU XZ, ZOU YD, WANG JP, LANG K. 2018. Degree of close spatial-following relationships 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 (in Chinese) [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]
- ZHANG F. 2019. Investigation on vegetable thrips in Tongzhou District and study on pest control strategies. Agricultural Development and Equipments, (12): 160–169 (in Chinese) [张帆. 2019. 通州区蔬菜蚜虫调查与病虫害防治策略研究. 农业开发与装备, (12): 160–169]
- ZHANG HH, TAN JC. 2004. Chinese tea tree pests and their population-free treatment. Hefei: Anhui Science and Technology Press, pp. 2–4 (in Chinese) [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, pp. 2–4]
- ZHANG LM, LIU ZC, LIU ZC, SUN XQ, LIU LX, CHEN J. 2008. Population dynamics of *Orius strigicollis* and *Frankliniella insontsa* on Chinese rose and predatory functional response. Chinese Journal of Biological Control, 24(S1): 21–27
- ZHANG Q, WANG JJ, LI ZY, CHEN B. 2010. Advances in natural enemies and biocontrol of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). Plant Protection, 36(4): 41–48 (in Chinese) [张婧, 王晶晶, 李正跃, 陈斌. 2010. 西花蚜虫天敌种类及主要种类的控害潜能. 植物保护, 36(4): 41–48]
- ZHOU XZ, BI SD, HUANG B, KE SB, ZOU YD, SHI XL, KE L, YANG L, GUO Y, LIN Y. 2013. Spatial relationships among main natural enemies and four insect pests in tea plantations. Journal of South China Agricultural University, 34(4): 489–499 (in Chinese) [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. 2013. 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, 34(4): 489–499]
- ZOU YD. 1997. Theory and application of natural enemies in pest management. Beijing: China Forestry Publishing House (in Chinese) [邹运鼎. 1997. 害虫管理中的天敌评价理论及应用. 北京: 中国林业出版社]
- ZOU YD, WANG HF. 1989. Agroforestry insect ecology. Hefei: Anhui Science and Technology Press (in Chinese) [邹运鼎, 王弘法. 1989. 农林害虫生态学. 合肥: 安徽科学技术出版社]

(责任编辑:张俊芳)