

茶园主要天敌对4种害虫的空间跟随关系

周夏芝¹, 毕守东², 黄 勃¹, 柯胜兵³, 邹运鼎¹, 施晓丽³,
柯 磊³, 杨 林³, 郭 骅³, 林 源³

(1 安徽农业大学 林学与园林学院, 安徽 合肥 230036; 2 安徽农业大学 理学院,
安徽 合肥 230036; 3 安徽农业大学 生命科学学院, 安徽 合肥 230036)

摘要:为了合理保护和利用天敌,开展了潜山县茶园假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis*、通草粉虱 *Dialeurodes citri*、茶黄蓟马 *Scirtothrips dorsalis* 和茶蚜 *Toxoptera aurantii* 与其主要天敌之间空间关系的研究. 运用地学统计学方法分析天敌和害虫空间变程,应用灰色关联度分析方法分析害虫与天敌变程的关联度,得出以下结果:与假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切的前2位天敌是八点球腹蛛 *Theridion octomaculatum* 和斑管巢蛛 *Clubiona reichlini*;与通草粉虱空间跟随关系密切的前2位天敌是八点球腹蛛和草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*;与茶黄蓟马跟随关系密切的前2位天敌是草间小黑蛛和八点球腹蛛;与茶蚜跟随关系密切的前2位天敌是异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 和草间小黑蛛.

关键词:茶园; 害虫; 天敌; 地学统计学; 灰色系统分析; 空间跟随关系
中图分类号:Q968.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2013)04-0489-10

Spatial Relationships Among Main Natural Enemies and Four Insect Pests
in Tea Plantations

ZHOU Xiazhi¹, BI Shoudong², HUANG Bo¹, KE Shengbing³, ZOU Yunding¹, SHI Xiaoli³,
KE Lei³, YANG Lin³, GUO Hua³, LIN Yuan³

(1 School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;
2 School of Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;
3 School of Life Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: To protect and utilize natural enemies reasonably, spatial relationships between natural enemies and *Empoasca vitis*, *Dialeurodes citri*, *Scirtothrips dorsalis* and *Toxoptera aurantii* were investigated respectively in tea plantations in Qianshan, Anhui. The ranges of spatial dependence (RSDs) of these pests and their natural enemies were calculated by GIS and the spatial relationships among natural enemies and four pests were analyzed using grey relational analysis. The results showed that two main natural enemies (*Theridion octomaculatum* and *Clubiona reichlini*) had a close spatial following relationship with *Empoasca vitis*. The synthetic results demonstrated that two natural enemies (*Theridion octomaculatum* and *Erigonidium graminicolum*) had a close sptial relationship with *Dialeurodes citri*, while two main natural enemies of *Scirtothrips dorsalis* were *Erigonidium graminicolum* and *Theridion octomaculatum* in spa-

收稿日期:2012-12-03 网络出版时间:2013-09-09
网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20130909.1902.018.html>
作者简介:周夏芝(1973—),女,副教授,硕士;通信作者:毕守东(1963—),男,教授,博士,E-mail: bishoudong@163.com;
黄 勃(1969—),男,教授,博士,E-mail: huangbochhy@tom.com
基金项目:国家自然科学基金(30871444);国家重点基础研究发展计划(2010CB126206);安徽省自然科学基金(11040606M71);安徽省教育厅重点项目(KJ2008A139)

tial relationships. And the two close natural enemies of *Toxoptera aurantii* were *Harmonia axyridis* and *Erigonidium graminicolum* in space.

Key words: tea plantation; insect pest; natural enemy; geostatistics; gray statistical analysis; spatial relationship

天敌对目标害虫的控制作用与天敌和害虫之间的密切程度直接相关,这种关系包括天敌与害虫在时间、空间、数量、结构、顺序上的关系,其中空间关系是主要的关系之一^{[1]136-137}. 对昆虫种群空间结构的研究,可以运用空间分布的概率理论模型拟合方法^{[1]311-317}、空间分布图式测定方法和地学统计学方法^[2-3]. 近年来丁程成等^[4]、黄保宏等^[5]、Rossal等^[6]、Schatzko等^[7]、邹运鼎等^[8-9]、石根生等^[10]、赵静等^[11]和王瑞等^[12]将地学统计学应用于果树、小麦、水稻、烟草等害虫及其天敌种群之间空间关系的研究,用两者之间变程大小作为依据,比较天敌对目标害虫在空间上跟随关系的密切程度. 杨林等^[13]将天敌与假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* 和茶蚜 *Toxoptera aurantii* 的变程进行关联度分析,用关联度大小比较合肥地区秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜在空间上跟随关系的密切程度. 天敌对通草粉虱 *Dialeurodes citri* 和茶黄蓟马 *Scirtothrips dorsalis* 的空间跟随关系的研究鲜见报道. 假眼小绿叶蝉、通草粉虱、茶黄蓟马和茶蚜是茶园中的4种主要害虫,每种害虫又各有多种天敌,本文利用地学统计学方法和灰色系统分析方法研究茶园中几种天敌对4种主要害虫空间跟随关系动态,以期合理保护和利用天敌及正确地制定调查取样方法提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 材料

调查地点位于安徽省潜山县园艺茶场(30°41'N, 116°34'E),属皖西大别山区的小平原,面积25.3 hm²,海拔46 m. 该茶园为单作茶园,茶树品种为8年生天柱山群体种,行距2 m. 茶园管理水平精细,茶树生长茂密,试验区茶园一直不施用化学农药. 调查时间为2009年4月15日至10月28日,15~20 d调查1次,共调查11次.

1.2 调查方法

采用平行跳跃法随机取样,调查方法同柯胜兵等^[14],调查并记载害虫及其天敌物种数和个体数.

1.3 分析方法

1.3.1 4种害虫与其天敌的地学统计学分析 根据区域化变量的理论^[15],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和方法研究昆虫种群的空间格局. 本文通过计算假眼小绿叶蝉数量(Y_1)、通草粉虱数量(Y_2)、茶黄蓟马数量(Y_3)和茶蚜数量(Y_4)及其天敌数量的试验半变异函数模型、拟合半变异函数模型,分析半变异函数结构来描述它们的空间格局和空间相关关系. 样本半变异函数 $R^*(h)$ 可用下式计算: $R^*(h) = [1/2N(h)] \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$,其中 $N(h)$ 是被 h 分割的数据对 $(x_i, x_i + h)$ 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, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, 且 h 是分隔两样点的距离.

1.3.2 4种害虫与其主要天敌的变程灰色系统分析 用灰色系统分析方法^[16-17]分析假眼小绿叶蝉、通草粉虱、茶黄蓟马和茶蚜在空间上与其天敌关系的密切程度. 将上述4种害虫及其主要天敌的变程分别看作一个本征性灰色系统,假眼小绿叶蝉的变程(Y_1')、通草粉虱的变程(Y_2')、茶黄蓟马的变程(Y_3')和茶蚜的变程(Y_4')分别作为该系统的参照序列,其各种天敌的变程(X_j')作为该系统的比较序列,假眼小绿叶蝉(或通草粉虱、茶黄蓟马、茶蚜)及其天敌的变程作为序列在第 k 个样方上的效果白化值,进行双序列关系分析,求出关联度,天敌中与目标害虫变程之间关联度越大,表明该天敌对目标害虫空间上跟随关系越密切.

2 结果与分析

2.1 茶园主要害虫与天敌数量动态

在茶园累计调查到节肢动物97种,其中害虫52种,捕食性天敌37种,寄生性天敌5种,中性昆虫3种(表1). 主要害虫有假眼小绿叶蝉、通草粉虱、茶黄蓟马、茶蚜、黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiniferus*、茶尺蠖 *Ectropis oblique*、八点广翅蜡蝉 *Ricania speculum*、绿盲蝽 *Lygocoris lucorum*、茶角胸叶甲 *Basilepta melano-*

pus和茶丽纹象甲 *Mylocerinus aurolineatus* 等;主要捕食性天敌有草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*、八点球腹蛛 *Theridion octomaculatum*、锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*、日本球腹蛛 *Enoplognatha japonica*、三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*、斑管巢蛛 *Clubiona reichlini*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、龟纹瓢虫 *Propylaea japonica*. 由4种主要害虫及天敌种群数量

动态数据可看出,4月中旬除假眼小绿叶蝉外,害虫和天敌数量均较少,5月中旬害虫和天敌数量快速增加,9月中旬又急剧下降. 假眼小绿叶蝉、通草粉虱、茶黄蓟马、茶蚜高峰期分别为8月下旬—10月下旬、6月上旬—7月上旬、6月下旬—8月上旬、4月下旬—5月中旬,天敌高峰期主要在5月中下旬—9月中旬.

表1 茶园主要害虫与其天敌的种群数量动态¹⁾

Tab.1 Dynamics of the number of main pests and their natural enemies in tea garden

头

日期	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
04-15	866	10	1	31	11	125	65	2	6	39	1	1
04-29	16	223	43	89	56	90	58	0	8	43	1	0
05-19	9	0	128	677	132	33	18	80	1	20	174	7
06-06	37	861	210	13	86	105	42	55	11	24	55	42
06-22	141	1 097	3 515	5	104	141	100	18	16	41	56	54
07-13	593	220	1 196	6	120	167	122	58	26	63	41	2
08-03	313	100	1 431	4	96	89	48	2	106	134	12	1
08-20	1 346	4	117	110	45	27	15	0	207	112	67	39
09-07	3 068	43	3	0	44	117	9	0	173	59	24	37
09-25	1 912	0	19	4	13	45	3	3	110	83	3	3
10-28	3 236	1	8	9	9	59	6	2	19	67	11	12

1) 表中数据为104样方调查之和; Y_1 :假眼小绿叶蝉, Y_2 :通草粉虱, Y_3 :茶黄蓟马, Y_4 :茶蚜, X_1 :草间小黑蛛, X_2 :八点球腹蛛, X_3 :锥腹肖蛸, X_4 :日本球腹蛛, X_5 :三突花蟹蛛, X_6 :斑管巢蛛, X_7 :异色瓢虫, X_8 :龟纹瓢虫.

2.2 茶园4种害虫及其主要天敌的半变异函数和空间格局

2.2.1 假眼小绿叶蝉及其天敌的半变异函数和空间格局 将2009年4月15日、8月20日、9月7日、9月25日和10月28日这5次调查的叶蝉和主要天敌的实测半变异函数值 $R^*(h)$ 结果列于表2,将对应的理论半变异函数模型参数列于表3,半函数理论模型为 $R^*(h) = c_1h^3 + c_2h^2 + c_3h + c_4$. 5次调查假眼小绿叶蝉及天敌最优拟合模型均为球形,均为聚集分布. 将叶蝉及天敌数量最多的10月28日的半变异函数的理论模型绘成曲线(图1a~1d),假眼小绿叶蝉的变程为5.92 m,其天敌三突花蟹蛛的变程为18.00 m,斑管巢蛛的变程为5.83 m,八点球腹蛛的变程为4.55 m.

4月15日假眼小绿蝉与斑管巢蛛半变异函数拟

合模型的决定系数为0.220 4,假眼小绿叶蝉与其他2种天敌半变异函数拟合模型的决定系数变化范围在0.620 4~0.970 8,表明理论曲线模型与实际半变异函数值的拟合度极高.

2.2.2 通草粉虱及其天敌的半变异函数和空间格局 将一年中通草粉虱发生数量较多的4月29日、6月6日、6月22日、7月13日和8月3日的通草粉虱及其主要天敌的实测半变异函数值 $R^*(h)$ 列于表4,理论半变异函数模型参数列于表5,通草粉虱及其主要天敌的最优拟合模型均为球形,均为聚集分布. 通草粉虱及其天敌数量最多的6月22日的半变异函数的理论模型绘成曲线图(图2a~2d),通草粉虱的变程为15.63 m,其天敌龟纹瓢虫的变程为8.95 m,草间小黑蛛的变程为5.79 m,八点球腹蛛的变程为13.21 m.

表 2 不同时期假眼小绿叶蝉与其天敌的实测半变异函数¹⁾

Tab.2 Experimental semivariogram $R^*(h)$ for *Empoasca vitis* and natural enemies in different periods

日期	物种 数量	$R^*(h)$								
		2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m
04-15	Y_1	24.94	12.70	26.90	19.65	30.34	27.81	32.14	42.34	33.25
	X_5	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.08	0.09	0.08
	X_6	0.64	0.75	0.68	0.68	0.74	0.63	0.75	0.66	0.63
	X_2	1.40	1.19	1.60	1.48	1.46	1.33	1.23	0.90	1.13
08-20	Y_1	37.30	39.33	48.93	45.58	59.38	52.28	73.08	80.00	118.13
	X_5	3.07	2.94	4.01	3.36	3.60	3.32	3.45	4.66	7.60
	X_6	0.94	0.91	0.89	1.05	1.03	0.92	1.01	0.88	0.75
	X_2	0.26	0.22	0.25	0.27	0.24	0.29	0.36	0.44	0.33
09-07	Y_1	100.59	130.73	128.32	171.70	171.32	189.31	227.83	218.94	191.95
	X_5	3.03	2.77	2.83	3.49	2.96	3.65	3.08	3.74	4.23
	X_6	0.61	0.54	0.63	0.59	0.56	0.52	0.67	0.65	0.80
	X_2	3.52	3.77	3.27	3.67	3.93	4.35	5.83	4.43	2.98
09-25	Y_1	80.95	89.30	99.39	100.40	95.87	98.63	100.58	118.51	119.55
	X_5	1.38	1.52	1.51	1.49	1.49	1.82	1.90	1.69	1.73
	X_6	0.61	0.63	0.65	0.76	0.75	0.70	0.67	0.54	0.45
	X_2	0.43	0.49	0.48	0.45	0.55	0.58	0.59	0.48	1.00
10-28	Y_1	113.36	132.75	139.34	152.40	141.05	125.62	129.38	120.65	190.28
	X_5	0.20	0.20	0.17	0.19	0.19	0.19	0.23	0.33	0.25
	X_6	0.55	0.62	0.69	0.68	0.64	0.64	0.53	0.44	0.68
	X_2	0.95	1.00	1.01	0.95	0.89	0.98	0.80	1.04	1.38

1) Y_1 :假眼小绿叶蝉, X_2 :八点球腹蛛, X_5 :三突花蟹蛛, X_6 :斑管巢蛛.

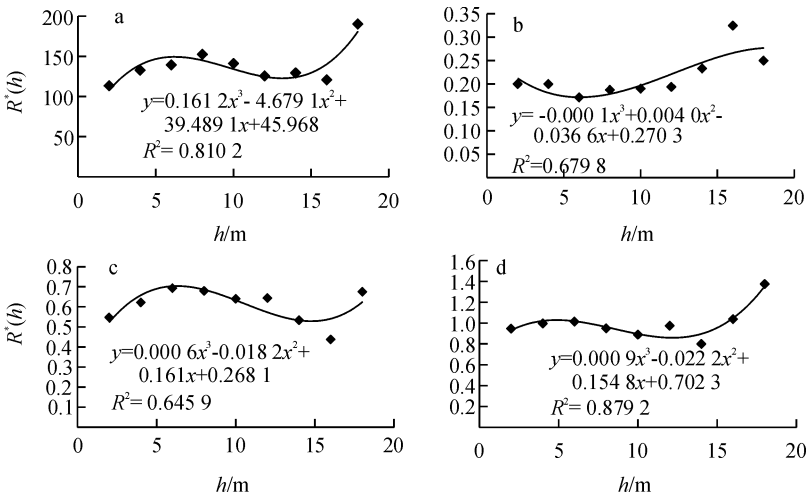


图 1 10 月 28 日的假眼小绿叶蝉及其天敌半变异函数模型及拟合曲线

Fig.1 Models of semivariogram of *Empoasca vitis* on October 28 and its natural enemies

表 3 不同时期假眼小绿叶蝉与其天敌种群数量的理论半变异函数模型参数¹⁾

Tab.3 The theoretical semivariogram parameter of <i>Empoasca vitis</i> and natural enemies in different periods							
日期	物种数量	c_1	c_2	c_3	c_4	变程/m	决定系数
04-15	Y_1	-0.024 5	0.769 3	-5.711 3	31.528 7	16.00	0.686 3
	X_5	-0.000 1	0.001 9	-0.012 6	0.066 3	15.42	0.970 8
	X_6	0.000 0	-0.001 0	0.016 9	0.633 7	8.96	0.220 4
	X_2	0.000 5	-0.017 5	0.168 3	1.014 2	6.28	0.620 4
08-20	Y_1	0.049 7	-1.124 3	9.385 0	20.582 0	10.44	0.962 7
	X_5	0.006 2	-0.157 8	1.180 7	0.987 1	5.16	0.944 2
	X_6	-0.000 3	0.006 3	-0.030 0	0.966 0	11.46	0.719 3
	X_2	-0.000 2	0.007 9	-0.063 0	0.365 5	16.01	0.757 5
09-07	Y_1	-0.083 2	2.015 8	-4.375 9	108.248 1	14.53	0.933 3
	X_5	0.000 6	-0.011 0	0.098 2	2.725 6	10.37	0.693 0
	X_6	0.000 2	-0.004 4	0.022 3	0.564 7	4.20	0.779 7
	X_2	-0.005 4	0.150 0	-1.065 2	5.412 3	13.55	0.721 6
09-25	Y_1	0.035 4	-1.016 5	10.061 6	64.775 9	10.98	0.905 6
	X_5	-0.000 5	0.013 1	-0.072 8	1.532 9	14.83	0.711 3
	X_6	-0.000 1	0.000 5	0.027 7	0.533 6	9.74	0.930 6
	X_2	0.000 6	-0.015 0	0.117 5	0.228 5	5.28	0.728 8
10-28	Y_1	0.161 2	-4.679 1	39.489 1	45.967 7	5.92	0.810 2
	X_5	-0.000 1	0.004 0	-0.036 6	0.270 3	18.00	0.679 8
	X_6	0.000 6	-0.018 2	0.161 0	0.268 1	5.83	0.645 9
	X_2	0.000 9	-0.022 2	0.154 8	0.702 3	4.55	0.879 2

1) Y_1 :假眼小绿叶蝉, X_2 :八点球腹蛛, X_3 :三突花蟹蛛, X_6 :斑管巢蛛.

表 4 不同时期通草粉虱与其天敌的实测半变异函数

Tab.4 Experimental semivariogram $R^*(h)$ for <i>Dialeurodes citri</i> (Ashmead) and natural enemies at different periods										
日期	物种数量	$R^*(h)$								
		2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m
04-29	Y_2	10.94	15.22	18.69	16.18	19.27	20.76	12.49	10.69	11.40
	X_1	0.93	0.88	1.00	1.05	0.77	0.93	0.73	0.80	1.30
	X_2	1.46	1.37	1.27	1.38	1.11	0.91	0.93	0.85	0.75
06-06	Y_2	49.57	61.75	60.31	57.75	58.33	64.94	60.83	69.26	95.60
	X_8	0.46	0.48	0.45	0.39	0.41	0.51	0.63	0.41	0.35
	X_1	1.32	1.02	1.28	1.31	1.01	1.73	1.19	1.89	1.58
06-22	X_2	1.18	1.33	1.21	1.00	1.33	1.17	1.06	0.99	1.53
	Y_2	149.84	160.38	147.06	133.32	162.66	254.74	245.67	169.83	241.70
	X_8	0.54	0.55	0.53	0.51	0.51	0.53	0.46	0.55	0.45
07-13	X_1	1.20	1.16	1.41	1.16	1.40	1.14	1.10	0.88	1.13
	X_2	1.50	1.35	1.30	1.38	1.37	1.45	1.28	1.38	1.20
	Y_2	6.07	6.37	6.84	6.54	6.61	6.29	5.43	6.24	2.10
08-03	X_8	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05
	X_1	2.14	1.62	2.37	1.88	2.44	2.11	2.19	2.03	1.83
	X_2	9.63	9.29	11.98	10.41	9.38	6.91	1.12	0.88	0.95
08-03	Y_2	3.48	2.60	3.28	2.37	3.41	2.94	3.97	2.21	3.75
	X_8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0
	X_1	3.06	3.19	2.85	2.90	3.03	1.96	2.44	1.64	0.78
08-03	X_2	1.02	0.86	0.94	0.76	0.97	1.09	1.13	0.58	0.65

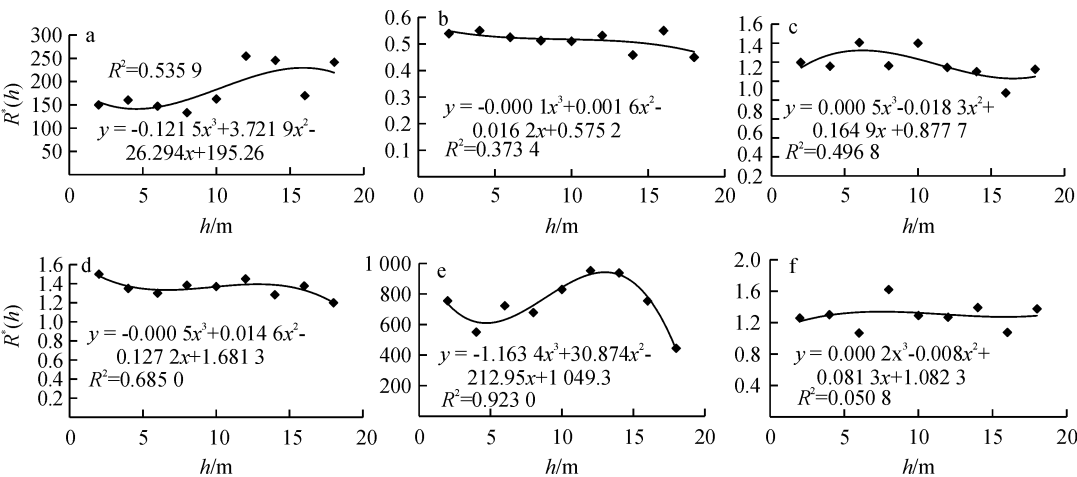
1) Y_2 :通草粉虱, X_1 :草间小黑蛛, X_2 :八点球腹蛛, X_8 :龟纹瓢虫.

2.2.3 茶黄蓟马及其天敌的半变异函数和空间格局 将一年中茶黄蓟马发生数量较多的 5 月 19 日、6 月 6 日、6 月 22 日、7 月 13 日和 8 月 3 日的茶黄蓟马及其主要天敌的实测半变异函数值 $R^*(h)$ 列于表 6, 理论半变异函数模型参数列于表 7, 茶黄蓟马及其主要天敌的最优拟合模型均为球形, 均为聚集分布。将 5 次调查中茶黄蓟马及其天敌数量最多的 6 月 22 日的半变异函数的理论模型绘成曲线图(图 2c ~ 2f), 6 月 22 日茶黄蓟马的变程为 12.83 m, 草间小黑蛛的变程为 5.79 m, 八点球腹蛛的变程为 13.21 m, 锥腹肖蛸的变程为 7.44 m, 八点球腹蛛与茶黄蓟马的变程最接近。

表 5 不同时期通草粉虱与其天敌种群数量的理论半变异函数模型参数¹⁾

Tab.5 The theoretical semivariogram parameter of <i>Dialeurodes citri</i> and natural enemies in different periods							
日期	物种数量	c_1	c_2	c_3	c_4	变程/m	决定系数
04-29	Y_2	0.008 2	-0.368 1	4.366 4	3.346 2	7.68	0.724 4
	X_1	0.001 1	-0.029 7	0.219 9	0.528 4	4.98	0.663 7
	X_2	0.000 2	-0.007 9	0.024 3	1.414 8	2.00	0.933 9
06-06	Y_2	0.054 7	-1.436 8	11.517 2	32.531 9	5.23	0.937 8
	X_8	-0.000 5	0.013 4	-0.104 6	0.658 8	14.39	0.445 5
	X_1	-0.000 5	0.019 1	-0.159 1	1.527 7	17.31	0.425 8
06-22	Y_2	0.000 8	-0.021 7	0.151 9	0.957 7	4.89	0.405 9
	Y_2	-0.121 5	3.721 9	-26.294 4	195.255 1	15.63	0.535 9
	X_8	-0.000 1	0.001 6	-0.016 2	0.575 2	8.95	0.373 4
07-13	X_1	0.000 5	-0.018 3	0.164 9	0.877 7	5.79	0.496 8
	X_2	-0.000 5	0.014 6	-0.127 2	1.681 3	13.21	0.685 0
	Y_2	-0.003 6	0.071 9	-0.356 1	6.731 3	10.81	0.806 0
08-03	X_8	0.000 0	-0.000 1	0.000 6	0.015 9	18.00	0.828 5
	X_1	-0.000 7	0.017 7	-0.098 5	2.138 6	12.46	0.273 5
	X_2	0.011 6	-0.406 8	3.405 7	3.353 7	5.22	0.927 5
08-03	Y_2	-0.000 8	0.029 4	-0.294 9	3.776 6	17.05	0.084 7
	X_8	0.000 0	0.000 2	-0.001 7	0.013 7	11.28	0.485 9
	X_1	-0.000 8	0.011 0	-0.083 5	3.247 1	5.72	0.900 8
08-03	X_2	-0.000 9	0.024 9	-0.190 0	1.300 9	12.63	0.5362

1) Y_2 :通草粉虱, X_1 :草间小黑蛛, X_2 :八点球腹蛛, X_8 :龟纹瓢虫。



a: 通草粉虱;b: 龟纹瓢虫;c: 草间小黑蛛;d:八点球腹蛛;e:茶黄蓟马;f:锥腹肖蛸。

图2 6月22日的通草粉虱及其天敌和茶黄蓟马及其天敌的半变异函数模型及拟合曲线

Fig.2 Models of semivariogram of *Dialeurodes citri*, *Scirtothrips dorsalis* and their natural enemies on June 22

表 6 不同时期茶黄蓟马与其天敌的实测半变异函数

Tab.6 Experimental semivariogram $R^*(h)$ for <i>Scirtothrips dorsalis</i> (Hood) and natural enemies at different periods										
日期	物种 数量	$R^*(h)$								
		2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m
05-19	Y_3	7.25	6.13	9.16	6.00	7.60	5.53	8.30	8.43	14.33
	X_1	1.17	1.24	1.20	1.16	1.25	1.09	1.41	1.50	2.00
	X_2	0.27	0.32	0.31	0.33	0.33	0.32	0.33	0.25	0.18
	X_3	0.17	0.17	0.16	0.15	0.12	0.20	0.16	0.23	0.23
06-06	Y_3	4.56	3.96	5.06	4.70	5.74	5.71	6.28	5.88	8.08
	X_1	1.32	1.02	1.28	1.31	1.01	1.73	1.19	1.89	1.58
	X_2	1.18	1.33	1.21	1.00	1.33	1.17	1.06	0.99	1.53
	X_3	0.44	0.53	0.42	0.41	0.54	0.61	0.57	0.54	0.70
06-22	Y_3	755.59	550.66	723.06	678.42	829.69	953.36	938.08	754.88	444.33
	X_1	1.20	1.16	1.41	1.16	1.40	1.14	1.10	0.88	1.13
	X_2	1.50	1.35	1.30	1.38	1.37	1.45	1.28	1.38	1.20
	X_3	1.26	1.30	1.07	1.62	1.29	1.27	1.39	1.08	1.38
07-13	Y_3	67.56	49.32	56.86	70.98	70.50	76.39	92.13	95.88	64.70
	X_1	2.14	1.62	2.37	1.88	2.44	2.11	2.19	2.03	1.83
	X_2	9.63	9.29	11.98	10.41	9.38	6.91	1.12	0.88	0.95
	X_3	0.91	0.98	1.13	1.01	1.08	0.91	0.93	0.66	0.98
08-03	Y_3	135.50	170.46	178.81	155.79	183.64	203.98	170.10	175.30	32.88
	X_1	3.06	3.19	2.85	2.90	3.03	1.96	2.44	1.64	0.78
	X_2	1.02	0.86	0.94	0.76	0.97	1.09	1.13	0.58	0.65
	X_3	0.34	0.34	0.33	0.35	0.33	0.38	0.41	0.31	0.53

1) Y_3 :茶黄蓟马, X_1 :草间小黑蛛, X_2 :八点球腹蛛, X_3 :锥腹肖蛸.

表 7 不同时期茶黄蓟马与其天敌种群数量的理论半变异函数模型参数¹⁾

Tab.7 The theoretical semivariogram parameter of <i>Scirtothrips dorsalis</i> and natural enemies in different periods							
日期	物种数量	c_1	c_2	c_3	c_4	变程/m	决定系数
05-19	Y_3	0.010 4	-0.251 7	1.712 3	4.191 2	4.40	0.807 5
	X_1	0.000 8	-0.017 9	0.113 5	1.005 1	4.36	0.947 2
	X_2	-0.000 1	0.001 4	0.003 4	0.268 3	10.03	0.928 0
	X_3	0.000 0	0.000 9	-0.012 9	0.198 3	18.00	0.631 0
06-06	Y_3	0.001 1	-0.023 3	0.263 8	3.813 2	5.42	0.840 7
	X_1	-0.000 5	0.019 1	-0.159 1	1.527 7	17.31	0.425 8
	X_2	0.000 8	-0.021 7	0.151 9	0.957 7	4.89	0.405 9
	X_3	0.000 0	0.001 0	-0.006 2	0.466 5	18.00	0.633 5
06-22	Y_3	-1.163 4	30.874 4	-212.947 7	1 049.303 6	12.83	0.923 0
	X_1	0.000 5	-0.018 3	0.164 9	0.877 7	5.79	0.496 8
	X_2	-0.000 5	0.014 6	-0.127 2	1.681 3	13.21	0.685 0
	X_3	0.000 2	-0.008 0	0.081 3	1.082 3	7.44	0.050 8
07-13	Y_3	-0.101 5	2.928 7	-21.585 6	99.468 4	14.13	0.863 8
	X_1	-0.000 7	0.017 7	-0.098 5	2.138 6	12.46	0.273 5
	X_2	0.011 6	-0.406 8	3.405 7	3.353 7	5.22	0.927 5
	X_3	0.000 7	-0.022 9	0.202 9	0.552 2	5.96	0.598 1
08-03	Y_3	-0.188 5	4.180 6	-21.221 0	178.174 2	12.39	0.810 2
	X_1	-0.000 8	0.011 0	-0.083 5	3.247 1	5.72	0.900 8
	X_2	-0.000 9	0.024 9	-0.190 0	1.300 9	12.63	0.536 2
	X_3	0.000 2	-0.004 1	0.029 6	0.282 8	5.81	0.583 7

1) Y_3 :茶黄蓟马, X_1 :草间小黑蛛, X_2 :八点球腹蛛, X_3 :锥腹肖蛸.

2.2.4 茶蚜及其天敌的半变异函数和空间格局

将一年中茶蚜发生数量较多的 4 月 15 日、4 月 29 日、5 月 19 日、6 月 6 日和 8 月 20 日茶蚜与其主要天敌的实测半变异函数值 $R^*(h)$ 列于表 8, 理论半变异函数模型参数列于表 9, 茶蚜及其主要天敌的最优拟合模型均为球形, 均为聚集分布. 将 5 次调

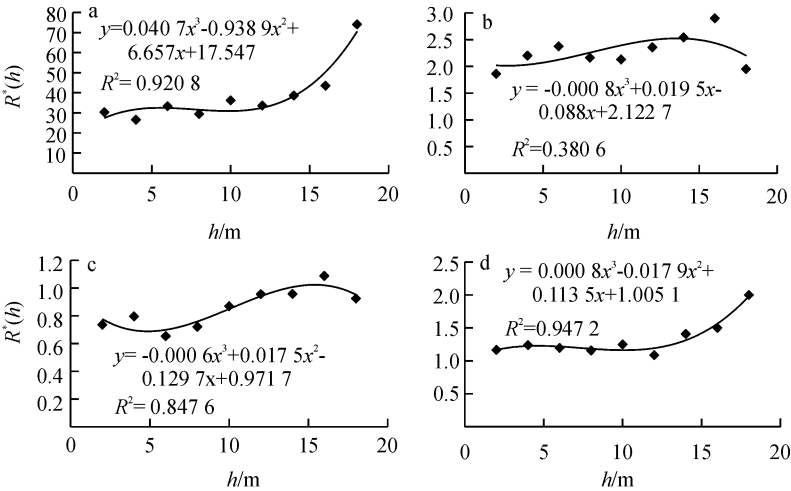
查中茶蚜及其天敌数量最多的 5 月 19 日的半变异函数的理论模型绘成曲线图(图 3a~3d), 5 月 19 日茶蚜的变程为 2.55 m, 其天敌异色瓢虫的变程为 13.97 m, 日本球腹蛛的变程为 16.20 m, 草间小黑蛛的变程为 4.36 m, 草间小黑蛛与茶蚜的变程最接近.

表 8 不同时期茶蚜与其天敌的实测半变异函数

Tab.8 Experimental semivariogram $R^*(h)$ for *Toxoptera aurantii* and natural enemies in different periods

日期	物种 数量	$R^*(h)$								
		2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m	18 m
04-15	Y_4	0.33	0.49	0.57	0.66	0.67	0.84	0.93	0.93	1.78
	X_7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	X_4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0
	X_1	0.06	0.07	0.06	0.08	0.08	0.08	0.10	0.09	0.08
04-29	Y_4	1.62	1.61	1.67	1.47	1.59	1.77	1.84	2.23	1.88
	X_7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0
	X_1	0.93	0.88	1.00	1.05	0.77	0.93	0.73	0.80	1.30
05-19	Y_4	30.34	26.57	33.33	29.46	36.24	33.65	38.64	43.54	74.08
	X_7	1.86	2.20	2.38	2.16	2.13	2.36	2.54	2.90	1.95
	X_4	0.74	0.80	0.65	0.72	0.87	0.96	0.96	1.09	0.93
	X_1	1.17	1.24	1.20	1.16	1.25	1.09	1.41	1.50	2.00
06-06	Y_4	0.30	0.32	0.25	0.25	0.29	0.34	0.38	0.16	0.05
	X_7	0.58	0.40	0.71	0.48	0.72	0.51	0.57	0.51	0.45
	X_4	0.56	0.48	0.68	0.64	0.75	0.56	0.70	0.49	0.60
	X_1	1.32	1.02	1.28	1.31	1.01	1.73	1.19	1.89	1.58
08-20	Y_4	2.46	2.65	2.27	2.55	2.69	2.21	2.69	3.48	2.60
	X_7	0.81	0.63	0.89	0.82	0.96	0.84	1.13	1.11	1.50
	X_1	0.46	0.40	0.43	0.40	0.44	0.34	0.40	0.29	0.30

1) Y_4 : 茶蚜, X_1 : 草间小黑蛛, X_4 : 日本球腹蛛, X_7 : 异色瓢虫.



a: 茶蚜; b: 异色瓢虫; c: 日本球腹蛛; d: 草间小黑蛛.

图 3 5 月 19 日的茶蚜及其天敌的半变异函数模型及拟合曲线

Fig.3 Models of semivariogram of *Toxoptera aurantii* on May 19 and its natural enemies

表 9 不同时期茶蚜与其天敌种群数量的理论半变异函数模型参数¹⁾

Tab.9 The theoretical semivariogram parameter of <i>Toxoptera aurantii</i> and natural enemies in different periods							
日期	物种数量	c_1	c_2	c_3	c_4	变程/m	决定系数
04-15	Y_4	0.001 2	-0.029 8	0.262 1	-0.123 7	11.30	0.933 1
	X_7	0.000 0	-0.000 5	0.004 0	0.001 5	4.97	0.854 8
	X_4	0.000 0	0.000 2	-0.001 0	0.013 1	5.32	0.808 6
	X_1	-0.000 1	0.001 3	-0.007 6	0.071 2	14.28	0.773 5
04-29	Y_4	-0.000 6	0.020 5	-0.173 9	1.956 6	17.74	0.686 1
	X_7	0.000 0	-0.000 1	0.001 2	0.009 2	4.94	0.889 9
	X_1	0.001 1	-0.029 7	0.219 9	0.528 4	4.98	0.663 7
05-19	Y_4	0.040 7	-0.938 9	6.657 0	17.546 8	2.55	0.920 8
	X_7	-0.000 8	0.019 5	-0.088 0	2.122 7	13.97	0.380 6
	X_4	-0.000 6	0.017 5	-0.129 7	0.971 7	16.20	0.847 6
	X_1	0.000 8	-0.017 9	0.113 5	1.005 1	4.36	0.947 2
06-06	Y_4	-0.000 5	0.012 9	-0.094 2	0.466 8	12.34	0.832 7
	X_7	-0.000 1	0.001 7	0.000 7	0.525 1	11.37	0.185 7
	X_4	0.000 1	-0.005 0	0.064 9	0.402 3	8.58	0.273 9
	X_1	-0.000 5	0.019 1	-0.159 1	1.527 7	17.31	0.425 8
08-20	Y_4	-0.000 6	0.022 1	-0.187 7	2.864 7	16.85	0.266 2
	X_7	0.000 3	-0.006 1	0.049 5	0.664 5	9.73	0.863 2
	X_1	-0.000 1	0.001 5	-0.014 5	0.462 2	5.48	0.728 7

1) Y_4 : 茶蚜, X_1 : 草间小黑蛛, X_4 : 日本球腹蛛, X_7 : 异色瓢虫.

2.3 不同天敌对目标害虫空间跟随关系密切程度比较

为了比较天敌在空间上对 4 种害虫跟随关系密切程度动态,对茶园中 4 种害虫与其主要天敌的变程值进行灰色系统分析,关联度列于表 10,两者关联度值越大,天敌对目标害虫空间上跟随关系越密切. 结果表明,茶园中与假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切的前 2 位天敌依次是八点球腹

蛛(关联度为 0.673 6,下同)、斑管巢蛛(0.661 2);与通草粉虱空间跟随关系密切的前 2 位天敌依次是八点球腹蛛(0.807 8)和草间小黑蛛(0.646 0);与茶黄蓟马空间跟随关系密切的前 2 位天敌依次是草间小黑蛛(0.720 9)和八点球腹蛛(0.679 6);与茶蚜空间跟随关系密切的前 2 位天敌依次是异色瓢虫(0.775 7)和草间小黑蛛(0.746 4).

表 10 4 种害虫与其 3 种天敌的关联度¹⁾

Tab.10 The respective correlation degree of the four insect pests and three natural enemies								
物种数量	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Y_1		0.673 6			0.646 3	0.661 2		
Y_2	0.646 0	0.807 8						0.634 9
Y_3	0.720 9	0.679 6	0.546 2					
Y_4	0.746 4			0.683 1			0.775 7	

1) Y_1 : 假眼小绿叶蝉, Y_2 : 通草粉虱, Y_3 : 茶黄蓟马, Y_4 : 茶蚜, X_1 : 草间小黑蛛, X_2 : 八点球腹蛛, X_3 : 锥腹肖蛸, X_4 : 日本球腹蛛, X_5 : 三突花蟹蛛, X_6 : 斑管巢蛛, X_7 : 异色瓢虫, X_8 : 龟纹瓢虫.

3 讨论与结论

运用系统调查法、地学统计学方法和灰色关联度分析方法对潜山县茶园 4 种主要害虫及其天敌空

间关系进行研究,分析在空间上对 4 种害虫跟随关系密切的天敌种类,结果表明:4 种害虫及其 3 种主要天敌空间格局均为聚集分布,其半变异函数模型为球形.与假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切的前 2

位天敌依次是八点球腹蛛、斑管巢蛛;与通草粉虱空间跟随关系密切的前2位天敌依次是八点球腹蛛和草间小黑蛛;与茶黄蓟马空间跟随关系密切的前2位天敌依次是草间小黑蛛和八点球腹蛛;与茶蚜空间跟随关系密切的前2位天敌依次是异色瓢虫和草间小黑蛛. 杨林等^[13]表明与假眼小绿叶蝉空间跟随关系密切的天敌的研究,舒茶早茶园的是斜纹猫蛛和草间小黑蛛,平阳特早茶园的是八点球腹蛛和斜纹猫蛛. 与茶蚜空间上跟随关系密切的天敌,舒茶早茶园的是草间小黑蛛和斜纹猫蛛,平阳特早茶园的是八点球腹蛛和斜纹猫蛛,与本文的研究结果不完全一致. 害虫与天敌空间格局变化一是受环境因子的影响,二是生物本身的生物学特点所致,本研究是在大别山区的茶园中进行的,杨林等是在合肥地区近似于平原的低丘茶园进行的,且研究的是秋冬季害虫与天敌的空间关系,两地的环境条件不同.

害虫与天敌之间空间关系是了解天敌对害虫控制作用的主要内容之一. 利用昆虫种群空间格局的经典方法难以区别不同空间格局的差别^[18-20],地统计学方法分析昆虫空间关系可以避免上述方法的不足之处,它既考虑了样本值又考虑了样本空间位置及样本间的距离,可以直接测定空间结构相关性和依赖性,可用于研究有一定随机性和结构性的各种变量和空间分布规律,一般是根据害虫与其天敌之间半变异函数的变程值的接近程度判断天敌对某种害虫空间上跟随关系密切程度,两者之间的变程值越接近,两者之间的空间关系越密切;但是每一次的结果都是静态的,为了分析害虫与天敌之间在空间关系上的动态结果,将4种害虫与其主要3种天敌的多个变程值进行灰色关联度分析,通过两者变程值的关联度大小的比较,得出对4种害虫空间上跟随关系密切的天敌,当前对分析害虫天敌之间空间动态关系不失为一种理想方法.

致谢:本文承蒙南京师范大学马飞教授的帮助,特此致谢!

参考文献:

- [1] 邹运鼎,王弘法. 农林昆虫生态学[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,1989.
- [2] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 北京:北京师范大学出版社,1987:7-34.
- [3] 戈峰. 现代生态学[M]. 北京:科学出版社,2002:95-103.
- [4] 丁程成,邹运鼎,毕守东,等. 李园桃蚜和草间小黑蛛种群空间格局的地统计学研究[J]. 应用生态学报,

2005,16(7):1308-1312.

- [5] 黄保宏,邹运鼎,毕守东,等. 朝鲜球坚蚧及黑缘红瓢虫空间格局的地统计学研究[J]. 应用生态学报,2003,14(3):413-417.
- [6] ROSSL R E, MULLA D J, JOUINEL A G, et al. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence[J]. Ecol Monogr,1992,62(2):277-314.
- [7] SCHATZKO D J, O'KEEFFE L E. Geostatistical description for the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera:Miridae) in lentils[J]. J Econ Entomol,1989,82(5):1277-1288.
- [8] 邹运鼎,李昌根,周夏芝,等. 葡萄跳叶甲和捕食性天敌草间小黑蛛的空间格局及其联系[J]. 植物保护学报,2007,34(3):241-246.
- [9] 邹运鼎,毕守东,王祥胜,等. 麦长管蚜及蚜茧蜂空间格局的地统计学研究[J]. 应用生态学报,2001,12(6):887-891.
- [10] 石根生,李典谟. 不同松林马尾松毛虫蛹及其寄主天敌群子的空间格局分析[J]. 生态学报,1997,17(4):386-392.
- [11] 赵静,赵鑫,王玉军,等. 烟盲蝽及其天敌蜘蛛空间格局的地统计学分析[J]. 生态学报,2010,30(15):4196-4205.
- [12] 王瑞,翟保平,胡高,等. 基于地统计学方法的稻田灰飞虱与蜘蛛的时空动态分析[J]. 昆虫学报,2009,52(1):65-73.
- [13] 杨林,郭骅,毕守东,等. 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[J]. 生态学报,2012,32(13):4215-4227.
- [14] 柯胜兵,党凤花,毕守东,等. 不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异[J]. 生态学报,2011,31(14):4161-4168.
- [15] 侯景儒,黄竞先. 地质统计学的理论与方法[M]. 北京:地质出版社,1990:87-102.
- [16] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990:33-84.
- [17] 周夏芝,毕守东,柯胜兵,等. 茶园4种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系[J]. 生态学报,2010,30(22):6183-6192.
- [18] LIEBHOLD A M, ROSSI R E, KEMKP W P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology[J]. Annu Rev Entomol,1993,38:303-327.
- [19] Liebhold A M, Zhang X. Geostatistical analysis of gipsy moth (*Lepidoptera:Lymantriidae*) egg mass populations[J]. Environ Entomol,1991,20(5):1407-1417.
- [20] 邹运鼎. 害虫管理中的天敌评价理论与应用[M]. 北京:中国林业出版社,1997:27-90.

【责任编辑 霍 欢】