

DOI: 10.5846/stxb201712262324

张书平, 余燕, 李尚, 王振兴, 毕守东, 闫萍, 周夏芝, 邹运鼎, 王建盼, 郎坤. 茶园害虫匮乏期的天敌与蚊虫的空间关系. 生态学报, 2019, 39(12):

Zhang S P, Yu Y, Li S, Wang Z X, Bi S D, Yan P, Zhou X Z, Zou Y D, Wang J P, Lang K. Spatial relationship between natural enemies and *Mosquitoes* in the absence of insect pests in tea garden. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(12):

茶园害虫匮乏期的天敌与蚊虫的空间关系

张书平¹, 余 燕¹, 李 尚², 王振兴¹, 毕守东^{1,*}, 闫 萍¹, 周夏芝², 邹运鼎²,
王建盼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: 为了充分发挥中性昆虫蚊虫作为天敌的食饵替代物作用, 科学地保护和利用自然天敌, 2015 年和 2016 年开展了合肥地区白毫早茶园和乌牛早茶园害虫匮乏时期(3—5 月)的天敌与蚊虫之间的空间关系研究, 运用地学统计学方法求得天敌和蚊虫各自的变程, 用灰色关联度方法分析蚊虫与天敌变程的关联度, 关联度值越大的天敌在空间上对蚊虫的跟随关系越密切。并分析茶树品种间及年度间天敌位次的变化。8 种天敌中, 白毫早茶园 2015 年与蚊虫空间跟随关系密切的前四位天敌是棕管巢蛛、八斑球腹蛛、三突花蟹蛛和茶色新圆蛛; 2016 年的是棕管巢蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和三突花蟹蛛; 两年间前四位天敌有 3 种相同, 但位次不全相同。乌牛早茶园 2015 年与蚊虫空间跟随关系密切的前四位天敌是八斑球腹蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和三突花蟹蛛; 2016 年的是三突花蟹蛛、棕管巢蛛、草间小黑蛛和茶色新圆蛛; 两年间前四位天敌中有茶色新圆蛛和三突花蟹蛛 2 种相同。年度间天敌位次相异率为 87.5%, 茶树品种间天敌位次相异率为 93.75%。按照天敌位次总和及按照天敌与蚊虫空间关系密切指数总和评判, 两种茶园 2015 年和 2016 年 3—5 月份与蚊虫空间关系密切的前四位天敌均依次是棕管巢蛛、三突花蟹蛛、茶色新圆蛛和八斑球腹蛛。本文的结果为人为地促进优势种天敌建群, 合理保护和利用自然天敌提供科学依据。

关键词: 蚊虫; 天敌; 空间关系; 地学统计学; 灰色系统分析

Spatial relationship between natural enemies and *Mosquitoes* in the absence of insect pests in tea garden

ZHANG Shuping¹, YU Yan¹, LI Shang², WANG Zhenxing¹, BI Shoudong^{1,*}, YAN Ping¹, ZHOU Xiaozhi², ZOU Yunding², WANG Jianpan¹, LANG Kun¹

¹ Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

² School of Forestry and Landscape Architecture, Hefei 230036, China

Abstract: To use neutral insect predators to prey on *Mosquitoes*, scientific protection and utilization of natural predators was analyzed in 2015 and 2016 in the Hefei area “Baihaozao” and “Wuniu zao” tea garden over the pest period (3–5 months). Few studies have examined the relationship between the natural predators and mosquito habitats using geostatistics methods. Insect pests and natural predators in range were evaluated using the grey correlation method, which revealed a close relationship between natural predator and *Mosquitoes* habitats. Tea varieties and annual changes in the ranking were analyzed. Eight natural enemy predators in “Baihaozao” tea 2015 were closely related to mosquito, including *Clubiona japonicola*, *Theridion octomaculatum*, *Misumenops tricuspidatus*, and *Neoscona theisi*; in 2016 we detected *C. japonicola*, *Neoscona theisi*, *Tetragnatha maxillosa*, and *M. tricuspidatus*. Only three of the four natural enemies were the same, but

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

收稿日期: 2018-12-26; 网络出版日期: 2018-00-00

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

their rankings differed. “Wuniuzao” tea in 2015 and *Mosquito* space for the four enemies included *T. octomaculatum*, *Neoscona theisi*, *T. maxillosa*, and *M. tricuspidatus*. In 2016, *M. tricuspidatus*, *C. japonicola*, *Erigonidium graminicolum*, and *N. theisi* were detected. In two years, only *N. theisi* and *M. tricuspidatus* showed the same natural enemy. The same year, natural enemies in the different tea varieties overlapped by 87.5% and the ranking of natural enemies was 93.75%. According to the rank sum and its relationship with natural enemies and enemies mosquito space index of two types of tea, in March to May 2015 and 2016, the habitat of the top four mosquito predators contained *C. japonicola*, *M. tricuspidatus*, *N. theisi*, and *T. octomaculatum*. The results of this study suggest the importance of artificially promoting the dominant natural enemy groups for reasonable protection and utilization of natural enemies.

Key Words: mosquitoes; natural enemies; spatial relations; geostatistics; grey system analysis

生物群落是指在特定时间聚集在一定地域或生境中所有生物种群的集合,具有一些比种群水平上更高层次的群体特征,具有空间结构、时间结构和营养结构,营养关系是生物群落中各成员之间最主要的联系,是群落赖以生存的基础^[1-3]。生态学一般把营养级别不同的不同物种或相同物种的不同发育阶段归并为一个物种或功能团对待,在这种意义上的物种称为营养物种^[4]。生态学理论认为,系统中没有孤立存在的物种。吴进才等^[5]把稻田既非害虫也非天敌的一类昆虫称作中性昆虫,发现稻田中性昆虫种群数量占整个群落节肢动物数量的 20%—60%^[6-7],这些中性昆虫主要是双翅目和弹尾目的一些昆虫,包括摇蚊 *Chironomidae*、水蝇 *Ephydriidae*、毛蠓 *Psychodidae*、蚊科 *Culicidae*、蜉游科 *Ephemeroptera* 和弹尾目 *Collembola* 等昆虫^[8]。研究发现印度尼西亚稻田节肢动物种中,在其收集到的 765 个物种中,中性昆虫中腐蚀性昆虫和食蜉游生物昆虫共 145 种,占 18.95%,其中,食蜉游生物者以蚊类和摇蚊类的幼虫为主,腐蚀性昆虫则以水蝇和弹尾目为主^[9],江苏单晚稻田共有节肢动物 157 种,而其中中性昆虫 21 种,占物种总数的 13.18%。杭州双季早稻田有节肢动物 102 种,中性昆虫 24 种,占 23.53%。杭州双季晚稻田有节肢动物 111 种,中性昆虫 32 种,占 28.3%。中性昆虫均以蚊类和弹尾目昆虫及虻幼虫为代表^[6],从稻田节肢动物群落总体分析,中性昆虫不论是个体数量或物种数均在群落中占较大比重。郭玉杰等^[10]研究了稻田中性昆虫的发生特点,中性昆虫在水稻移栽后的前 60 天比例最大,浙江富阳早稻田在移栽后的前 49 天内,中性昆虫的比例占总猎物的 80%以上,尔后迅速下降,且前期以蚊类为主。蜘蛛可以捕食多种昆虫^[11],吴进才等^[12]研究了中性昆虫蚊虫对拟水狼蛛 *Piratasubpiraticus* 的营养作用,研究表明,它为中位和顶位物种提供猎物,通过影响中位和顶位物种对害虫有着间接的调控作用。进一步研究发现稻田中性昆虫的田间意义,在水稻生长前期,害虫数量较少,而数量庞大的中性昆虫可作为天敌的替代食物^[5-6,8],其意义是,有利于天敌的繁殖和聚集,形成强大的天敌库,从而加速天敌的建群过程,并摆脱对害虫的依赖,水稻生长的中后期是防治害虫的关键时期,充分发挥和强化该时期天敌的自然控制作用是 IPM 的重点,大多数捕食性天敌为多食性的,在多猎物共存时,多表现一定程度的随机捕食,这时中性昆虫的存在,分摊了天敌的食物份额,削弱天敌对害虫的集中控制作用,出现了分散控制,使一些害虫逃脱天敌的控制而猖獗^[13]。天敌与猎物的空间关系是天敌与猎物关系中的重要内容,天敌对猎物在空间上跟随关系越密切,捕食猎物的效率越高,对猎物的控制作用越强。白毫早和乌牛早两品种茶的特点是春芽萌发期早,产量高,品质好,乌牛早比白毫早更早约 10 天左右。本文研究白毫早茶园和乌牛早茶园不同年份在害虫匮乏期(3—5 月)8 种蜘蛛类天敌对中性昆虫蚊虫空间上跟随关系密切程度的年度间差异,明确害虫匮乏期与蚊虫空间关系密切的天敌优势种,以期利用蚊虫作为天敌食饵替代物的趋利避害的茶园害虫综合防治策略的制定提供科学依据。

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 年的白毫早和乌牛早,茶园面积各为

0.2 hm²。白毫早和乌牛早的调查时间为 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 年平均调查 17 次,2016 年调查 16 次。茶园周边为其他品种茶园,茶园按常规措施管理,但不施用农药。

1.2 调查方法

采用平行跳跃法随机在茶园选取 3 行,茶行宽 2 m,长 36 m,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磁盘对样方中的所有枝条进行盘拍接虫(搪瓷盘口长为 40 cm,宽 30 cm,洗衣粉水溶液浓度为 1000 倍),调查记载蚊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 天敌与蚊虫在空间关系上的地学统计学分析

根据区域化变量的理论^[14],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的方法进行研究。本文通过计算蚊虫及其天敌的实验半变异函数、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。

对于观察的数据系列 $z(x_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$ 样本半变异函数 $R^*(h)$ 可用下式计算: $R^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2$, 式中 $N(h)$ 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, h 是分隔两样点的距离。

半变异函数有 3 个重要参数,即基台值、变程或称空间依赖范围和块金值或称区域不连续值。变程指在变异数值达到平衡时的间隔距离,基台值指达到平衡时的变异函数值,块金常数是指变异曲线被延伸至间隔距离为零时的截距。这 3 个参数反映了变异曲线图的形状结构,即昆虫种群的空间格局或空间相关类型,同时还给出了这种空间相关的范围。

地学统计学中半变异函数的几种常用的理论模型如球型、指数型、高斯型和线型都可拟合实验半变异函数。球型半变异函数说明所研究的种群是聚集分布,其空间结构是当样点间离达到变程之前时,样点的空间依赖性随样点间的距离增大而逐渐变低。指数型与球型模型类似,但其基台值是渐近线。非水平状直线型的变异函数表明种群是中等程度的聚集分布,其空间依赖范围超过研究尺度。如果是随机分布,则 $R^*(h)$ 随距离无一定规律性变化,完全随机或均匀的数据, $R^*(h)$ 呈水平直线或稍有斜率,块金值等于基台值,表明抽样尺度下无空间相关性。

1.3.2 蚊虫与 8 种天敌在变程上的灰色关联度分析

用灰色关联度方法^[15]分析蚊虫和天敌关系空间上的密切程度。将蚊虫与 8 种天敌蜘蛛的变程分别看作一个本征系统,蚊虫的变程 Y 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,蚊虫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: $Y_i = \{Y_i(1), Y_i(2), \dots, Y_i(n)\}$ $X_j = \{X_j(1), X_j(2), \dots, X_j(n)\}$ $, j = 1, 2, 3, \dots, m$
式中 n 是样方数, m 是天敌种类数。经数据均值化后得:

$$y_i = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(n)\} \quad x_j = \{x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)\} \quad , j = 1, 2, 3, \dots, m$$

利用关联度公式 $R(Y_i, X_j) = \frac{1}{n} \sum r_{ij}(k)$ 求出 8 种天敌 (X_j) 与蚊虫 Y 变程间的关联度, r_{ij} 为关联系数,其公式为:

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

式中 ρ 为分辨系数,取值介于 0 到 1 之间,一般取 $\rho = 0.5$,本文取 $\rho = 0.8$, $\Delta_{ij} = |y_i(k) - x_j(k)|$ 为序列 Y 与 X_j

在第 k 点上的绝对值差; $\min |y_i(k) - x_j(k)|$ 为 1 级最小差, 表示找出 Y 与 X_j 序列对应点的差值中的最小差; 而 $\min \min |y_i(k) - x_j(k)|$ 为 2 级最小差, 表示在 1 级最小差的基础上再找出其中的最小差。 $\max |y_i(k) - x_j(k)|$ 与 $\max \max |y_i(k) - x_j(k)|$ 分别为 1 级和 2 级最大差, 其含义与上述最小差相似。某种天敌变程与 Y 关联度值越大, 表明天敌在空间上与蚊虫的跟随关系越密切, 并以此进行天敌位次排序。

1.3.3 综合评判与蚊虫在空间上跟随关系密切的优势种天敌

将两个品种两个年份的天敌位次相加, 按天敌位次总和大小排序, 总和最小的即为与蚊虫空间关系密切的第一位天敌, 依次类推。另外, 将关联度标准化, 即除以最大的关联度值, 其商为密切指数, 两种茶园两个年份密切指数总和最大的天敌即为与蚊虫空间关系密切的第一位天敌, 依次类推, 并对两种方法的评判结果进行比较。

2 结果与分析

白毫早茶园 2015 年共调查节肢动物 18180 头, 共 92 种, 分属 21 目 53 科, 其中捕食性天敌 6111 头, 共 42 种, 分属 7 目 18 科, 植食类昆虫 8085 头, 共 39 种, 分属 9 目 26 科, 寄生性和中性昆虫 3984 头, 共 11 种, 分属 5 目 9 科, 其中蚊虫 1191 头。2016 年调查了节肢动物 19249 头, 共 72 种, 分属 21 目 53 科, 其中捕食性天敌 6045 头, 共 31 种, 分属 6 目 16 科, 植食类昆虫 8800 头, 共 31 种, 分属 9 目 23 科, 寄生性和中性昆虫 4404 头, 共 10 种, 分属 5 目 9 科, 其中蚊虫 3263 头。

乌牛早茶园 2015 年共调查节肢动物 23604 头, 共 78 种, 分属 16 目 53 科, 其中捕食性天敌 7374 头, 共 37 种, 分属 6 目 18 科, 植食类昆虫 9682 头, 共 32 种, 分属 8 目 26 科, 寄生性和中性昆虫 3444 头, 共 9 种, 分属 4 目 9 科, 其中蚊虫 1440 头。2016 年调查了节肢动物 22547 头, 共 85 种, 分属 17 目 54 科, 其中捕食性天敌 5002 头, 共 40 种, 分属 8 目 20 科, 植食类昆虫 11657 头, 共 37 种, 分属 8 目 26 科, 寄生性和中性昆虫 5888 头, 共 8 种, 分属 3 目 8 科, 其中蚊虫 4636 头。

全年调查个体总数大于 119 头的鳞纹肖蛸 (*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*) 8 种蜘蛛个体数量占两种茶园捕食性天敌个体总数的 81.35%, 其中乌牛早茶园 8 种蜘蛛占捕食性天敌的 78.54%, 白毫早茶园占 83.67%, 因此本文将其作为蚊虫的主要天敌。将两种茶园 3—5 月份调查的植食性昆虫及其天敌的总体数量列于表 1, 由表 1 可以看出, 5 种主要害虫在植食性昆虫中的比例高达 78% 以上, 表明 5 种害虫是主要害虫, 从 3—5 月份 5 种主要害虫个体数与理论数相比, 远小于理论数。其间害虫在 1347—

表 1 害虫及天敌的个体数

Table 1 The number of individuals of pests and natural enemies

品种 Varieties	年份 Year	全年植食性 昆虫个体数 Individual number of phytophagous insects in the year	全年 5 种主 要害虫个 体数 Individual number of 5 major pests in the whole year	5 种主要害 虫占植食性 昆虫比率 The ratio of 5 major pests to phytophagous insects/%	3—5 月份 5 种主要害 虫个体数 Individual number of 5 major pests in March-May	3—5 月份 卵形短须螨 个体数 Individual number of <i>Brevipalpus obovatus</i> in March-May	卵形短须螨 占 5 种主要 害虫的比率 The ratio of <i>Brevipalpus obovatus</i> to 5 major pests/%	3—5 月份 8 种蜘蛛个 体数 Individual number of 8 species of spiders from March -May
白毫早	2015	8085	6303	77.96%	1467 (2378)	1004	68.44%	1647
'Baihaozao'	2016	8814	7033	79.80%	2514 (2754)	1734	68.97%	1514
乌牛早	2015	12718	11390	89.61%	1347 (3741)	624	46.33%	1786
'Wuniuzao'	2016	11657	10036	86.09%	2606 (3642)	1703	65.35%	1877

* : 5 种主要害虫为茶蚜 *Toxoptera aurantii*、小贯小绿叶蝉 *Empoasca vitis*、双斑长跗蚧叶甲 *Monolepta hieroglyphica*、卵形短须螨 *Brevipalpus obovatus* 和花蓟马 *Frankliniella intonsa*

2606 头,而个体极小的卵形短须螨占 46.33%—68.97%,8 种蜘蛛 3—5 月份个体数量巨大,均在 1500 头以上,此时天敌食饵明显不足,因此将 3—5 月份称作害虫数量匮乏期。为了便于分析不同品种茶园害虫匮乏期(3—5 月)的 8 种主要天敌对中性昆虫蚊虫在空间上跟随关系密切程度的年度间差异,将不同茶园中不同年度间调查到的 3—5 月的蚊虫和 8 种天敌数量分别列于表 2—表 3。

2015 年调查 17 次,2016 年调查 16 次,3—5 月份 5 种主要害虫个体数栏目中括号内为全年平均每次害虫的个体数乘 5 次,即为理论数。

表 2 2015 和 2016 年白毫早茶园蚊虫及其天敌种群动态

Table 2 Population dynamics of neutral insect Mosquito and their natural enemies in the "Bai hao zao" tea garden (2015 and 2016)

年份 Year	调查日期 Date	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
2015 年	3.28	98	273	119	15	80	59	5	33	1
	4.11	85	187	85	1	54	12	8	26	4
	4.26	125	117	82	14	33	14	9	31	0
	5.10	64	80	33	25	8	2	11	13	1
	5.24	28	69	48	21	13	5	15	36	5
	合计 Sum	400	726	367	76	188	92	48	139	11
2016 年	3.27	172	149	140	20	52	86	3	27	2
	4.11	143	61	88	9	59	14	12	19	4
	4.28	181	49	72	7	35	12	13	49	2
	5.12	394	63	47	25	13	20	25	46	0
	5.30	204	58	90	31	12	25	19	52	4
	合计 Sum	1094	380	437	92	171	157	72	193	12

* Y: 蚊虫 *Mosquito*; 8 种天敌: X₁: 鳞纹肖蛸 *Tetragnatha squamata*; X₂: 锥腹肖蛸 *Tetragnatha maxillosa*; X₃: 草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*; X₄: 三突花蟹蛛 *Misumenops tricuspidatus*; X₅: 八斑球腹蛛 *Theridion octomaculatum*; X₆: 棕管巢蛛 *Clubiona japonicola*; X₇: 茶色新圆蛛 *Neoscona theisi*; X₈: 斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*

表 3 2015 和 2016 年乌牛早茶园蚊虫及其天敌种群动态

Table 3 Population dynamics of neutral insect Mosquito and their natural enemies in the "Wu niu zao" tea garden (2015 and 2016)

年份 Year	调查日期 Date	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
2015 年	3.28	76	307	100	13	52	48	8	43	3
	4.11	169	229	106	3	48	9	6	34	5
	4.26	120	99	74	3	29	2	14	25	2
	5.10	124	104	50	26	7	1	19	21	1
	5.24	71	122	81	46	8	11	16	10	1
	合计 Sum	560	861	411	91	144	71	63	133	12
2016 年	3.27	132	162	112	5	18	35	3	39	2
	4.11	112	65	41	2	34	23	12	30	2
	4.28	156	47	46	6	12	7	8	23	0
	5.12	287	83	52	23	3	14	14	28	1
	5.30	431	89	84	27	3	27	23	32	0
	合计 Sum	1118	446	335	63	70	106	60	152	5

将 8 种蜘蛛与蚊虫的半变异函数的理论模型参数和变程分别列于表 4—表 5,并将 5 次调查的蚊虫数量最多的时间,即白毫早茶园 2015 年 4 月 26 日和 2016 年 5 月 12 日,乌牛早茶园 2015 年 4 月 11 日和 2016 年 5 月 30 日半变异函数的理论模型绘于图 1—图 4。表 4 中 2015 年最小的决定系数 R^2 为 0.5333 ($R=0.7303$), 2016 年最小的 R^2 为 0.5841 ($R=0.7643$), 表 5 中 2015 年最小的 R^2 为 0.285 ($R=0.5339$), 2016 年最小的 R^2 为 0.4014 ($R=0.6336$), $df=26$, $r_{0.01}=0.478$, R 均大于 $r_{0.01}$, 表明半变异函数的理论模型与实际吻合度高。

表 4 白毫早茶园中性昆虫蚊虫与其天敌的变程及决定系数*

Table 4 Variation and determinants of neutral insect Mosquitoes and their natural enemies in "Bai hao zao" tea garden

2015 年				2016 年			
日期 Date	物种 Species	变程 Range of spatial dependence	决定系数 R^2 Determinant coefficient	日期 Date	物种 Species	变程 Range of spatial dependence	决定系数 R^2 Determinant coefficient
3.28	Y	3.5221	0.7314	3.27	Y	7.8594	0.6626
	X_1	7.2654	0.7085		X_1	4.7345	0.7866
	X_2	8.1346	0.8485		X_2	6.2591	0.8662
	X_3	9.3598	0.927		X_3	5.0091	0.6027
	X_4	9.0222	0.9031		X_4	6.8325	0.8332
	X_5	7.0364	0.7701		X_5	6.2349	0.3879
	X_6	3.7595	0.6961		X_6	9.7161	0.9149
	X_7	8.4617	0.8801		X_7	13.0801	0.8995
4.11	Y	6.4891	0.7965	4.11	Y	3.4645	0.8818
	X_1	3.2911	0.7686		X_1	4.5111	0.5813
	X_2	7.2648	0.9654		X_2	3.0299	0.6366
	X_3	3.0445	0.7145		X_3	5.9622	0.7905
	X_4	9.2641	0.7896		X_4	4.8575	0.7588
	X_5	6.2348	0.8891		X_5	5.2179	0.7707
	X_6	9.0358	0.7976		X_6	4.5577	0.8063
	X_7	5.2314	0.8536		X_7	5.3623	0.9145
4.26	Y	8.9431	0.7733	4.28	Y	6.4238	0.907
	X_1	2.8266	0.823		X_1	3.8308	0.6608
	X_2	6.5314	0.8292		X_2	7.4891	0.4468
	X_3	12.1419	0.9111		X_3	4.8261	0.7426
	X_4	10.6454	0.8664		X_4	8.1394	0.9074
	X_5	6.4972	0.5979		X_5	14.3259	0.9143
	X_6	8.2975	0.9206		X_6	8.6162	0.8969
	X_7	3.7276	0.8423		X_7	6.2385	0.7453
5.10	Y	7.0325	0.8598	5.12	Y	5.0861	0.6762
	X_1	8.6444	0.8275		X_1	8.7263	0.8752
	X_2	5.3269	0.7276		X_2	4.5863	0.7725
	X_3	12.8808	0.9685		X_3	8.2349	0.7222
	X_4	7.5518	0.8532		X_4	5.8647	0.8787
	X_5	8.5931	0.9081		X_5	8.3908	0.9899
	X_6	7.6352	0.9532		X_6	6.4594	0.843
	X_7	4.4568	0.8651		X_7	8.3041	0.9814
5.24	Y	6.6971	0.8395	5.30	Y	4.8925	0.7572
	X_1	7.9659	0.9657		X_1	9.1298	0.8036
	X_2	3.7116	0.8137		X_2	7.8655	0.9415
	X_3	4.3879	0.7612		X_3	4.2681	0.5841
	X_4	4.4571	0.7137		X_4	11.6217	0.9432
	X_5	5.9642	0.8965		X_5	5.9233	0.8925
	X_6	5.8244	0.5333		X_6	7.8456	0.9462
	X_7	4.1597	0.8636		X_7	8.2247	0.8865
	X_8	5.8342	0.9135	X_8	7.7365	0.7151	

* A 聚集分布: Aggregated; 半变异函数理论模型 $y=c_1x^3+c_2x^2+c_3x+c_4$

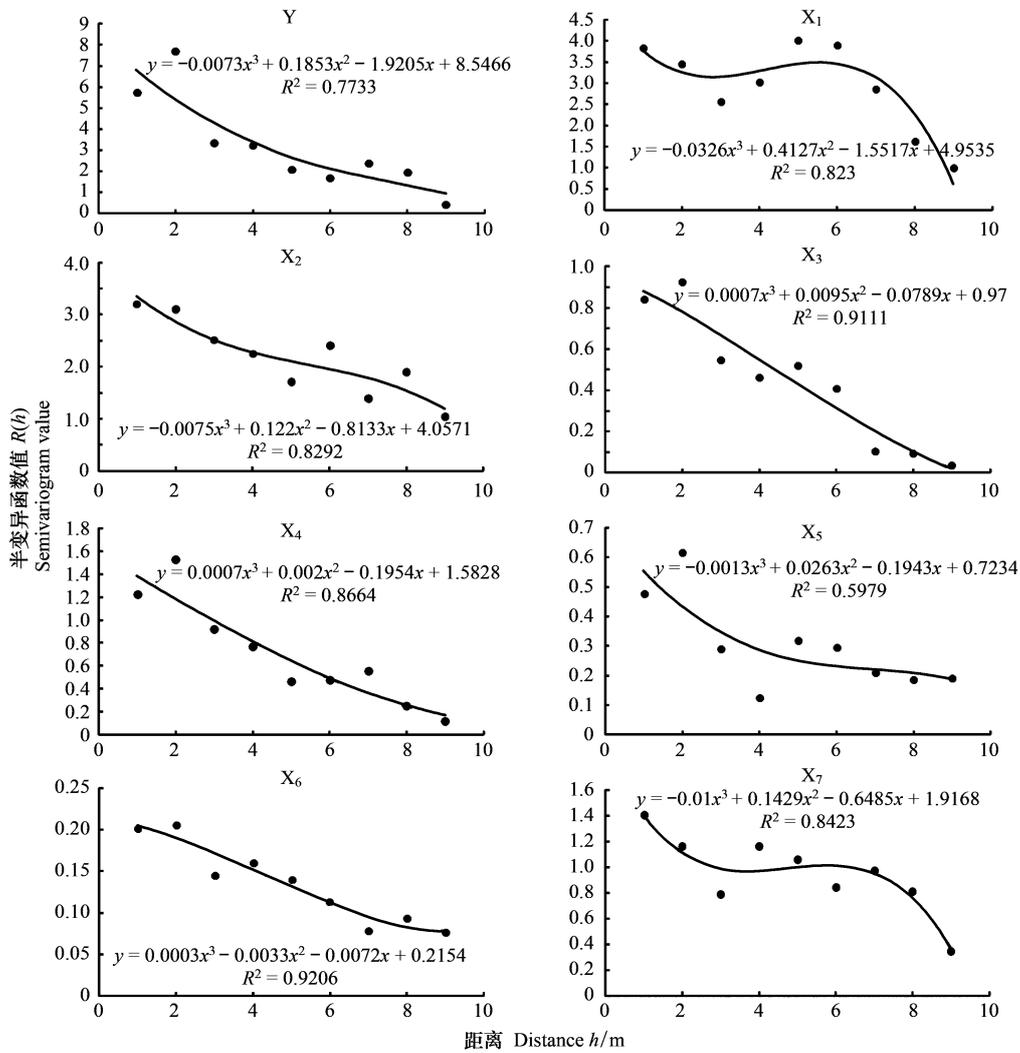


图 1 2015 年白毫早茶园蚊虫与 8 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线 (4 月 26 日)

Fig.1 Models of semivariogram of Mosquito with their natural enemies in Baihaozao-tea filed (April 26th)

* Y: 蚊虫 *Mosquito*; 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*

表 5 乌牛早茶园中性昆虫蚊虫与其天敌的变程及决定系数*

Table 5 Variation and determinants of neutral insect Mosquitoes and their natural enemies in "Wu niu zao" tea garden

2015 年				2016 年			
日期 Date	物种 Species	变程 Range of spatial dependence	决定系数 R^2 Determinant coefficient	日期 Date	物种 Species	变程 Range of spatial dependence	决定系数 R^2 Determinant coefficient
3.28	Y	5.1232	0.6769	3.27	Y	6.1232	0.9154
	X_1	5.7854	0.8452		X_1	6.2598	0.8475
	X_2	3.7239	0.7438		X_2	7.0322	0.9056
	X_3	5.1241	0.7953		X_3	7.8448	0.9017
	X_4	4.2135	0.7402		X_4	7.4418	0.8822
	X_5	5.4268	0.772		X_5	7.8954	0.8035
	X_6	7.6641	0.8908		X_6	6.1252	0.9212
	X_7	4.2856	0.7161		X_7	7.7239	0.9169

续表

		2015 年				2016 年	
4.11	X ₈	9.2145	0.9812	4.11	X ₈	4.5656	0.895
	Y	5.2364	0.437		Y	5.3265	0.8327
	X ₁	5.4894	0.8198		X ₁	6.5258	0.8722
	X ₂	8.4562	0.6493		X ₂	6.4598	0.9156
	X ₃	8.2643	0.8582		X ₃	6.3236	0.6035
	X ₄	7.7061	0.8172		X ₄	5.7036	0.7139
	X ₅	7.4202	0.7836		X ₅	6.4841	0.7307
	X ₆	6.9541	0.9479		X ₆	5.3298	0.8937
4.26	X ₇	5.8924	0.8739	4.28	X ₇	5.8522	0.6657
	X ₈	5.8189	0.6525		X ₈	4.0011	0.9359
	Y	7.3845	0.8115		Y	7.8854	0.9421
	X ₁	10.6933	0.7852		X ₁	3.2569	0.5033
	X ₂	7.5694	0.7632		X ₂	6.2352	0.764
	X ₃	6.5314	0.9064		X ₃	7.6395	0.8664
	X ₄	6.9876	0.7927		X ₄	7.9522	0.9112
	X ₅	6.1394	0.652		X ₅	8.6627	0.8426
5.10	X ₆	6.2378	0.5704	5.12	X ₆	4.1413	0.5437
	X ₇	6.1336	0.735		X ₇	5.8958	0.9096
	X ₈	5.5927	0.8726		X ₈	0	0
	Y	8.9884	0.7683		Y	9.6839	0.9786
	X ₁	7.3382	0.6213		X ₁	4.2596	0.4545
	X ₂	8.3019	0.8023		X ₂	3.3188	0.9406
	X ₃	6.4792	0.285		X ₃	5.4692	0.6211
	X ₄	6.5463	0.6635		X ₄	5.1378	0.4014
5.24	X ₅	8.9315	0.652	5.30	X ₅	3.1769	0.4065
	X ₆	8.0385	0.9415		X ₆	8.7299	0.8323
	X ₇	8.6492	0.8062		X ₇	7.2394	0.8064
	X ₈	8.0576	0.9402		X ₈	9.0226	0.8531
	Y	7.1522	0.937		Y	3.8221	0.7132
	X ₁	10.0394	0.9173		X ₁	3.7504	0.7384
	X ₂	6.2358	0.8297		X ₂	8.9504	0.9003
	X ₃	5.0947	0.8746		X ₃	7.1511	0.9239
	X ₄	5.8258	0.7716		X ₄	2.9603	0.6883
	X ₅	8.1469	0.9141		X ₅	6.3098	0.8288
	X ₆	3.7391	0.9756		X ₆	9.9195	0.8546
	X ₇	8.4545	0.9716		X ₇	7.1349	0.7309
	X ₈	8.0576	0.9402		X ₈	0	0

将 8 种蜘蛛与蚊虫变程间的关联度列于表 6, 研究一下年度间的差异, 与蚊虫跟随关系密切的前四位天敌, 白毫早茶园 2015 年依次是粽管巢蛛、八斑球腹蛛、三突花蟹蛛和茶色新圆蛛; 2016 年依次是粽管巢蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和三突花蟹蛛。2015 年和 2016 年前四位天敌有 3 种相同, 但位次不全相同, 8 种天敌的位次有 6 种不同, 天敌位次相异率为 75%。乌牛早茶园前四位天敌, 2015 年依次是八斑球腹蛛、茶色新圆蛛、锥腹肖蛸和三突花蟹蛛; 2016 年依次是三突花蟹蛛、粽管巢蛛、草间小黑蛛和茶色新圆蛛。两年前四位天敌中有 2 种相同, 但位次不同, 8 种天敌位次都不同, 天敌位次相异率为 100%, 两种茶园年度间天敌位次相异率为 87.5%。茶树品种间的差异, 两种茶园 2015 年, 前四位天敌有八斑球腹蛛、茶色新圆蛛和三突花蟹蛛相同, 但位次不同, 8 种天敌位次都不同, 天敌位次相异率为 100%; 2016 年两种茶园前四位天敌有三突花蟹蛛、粽管巢蛛和茶色新圆蛛相同, 但位次不同, 8 种天敌位次有 7 种不同, 天敌位次相异率为 87.5%。两年两种茶园平均天敌位次相异率为 93.75%, 天敌位次相异率茶树品种间(93.75%) 大于年度间(87.5%)。两种茶园 2015 年和 2016 年按照天敌位次总和评判, 前四位天敌中粽管巢蛛、三突花蟹蛛和茶色新圆蛛并列第一, 八斑球腹蛛位居第二。

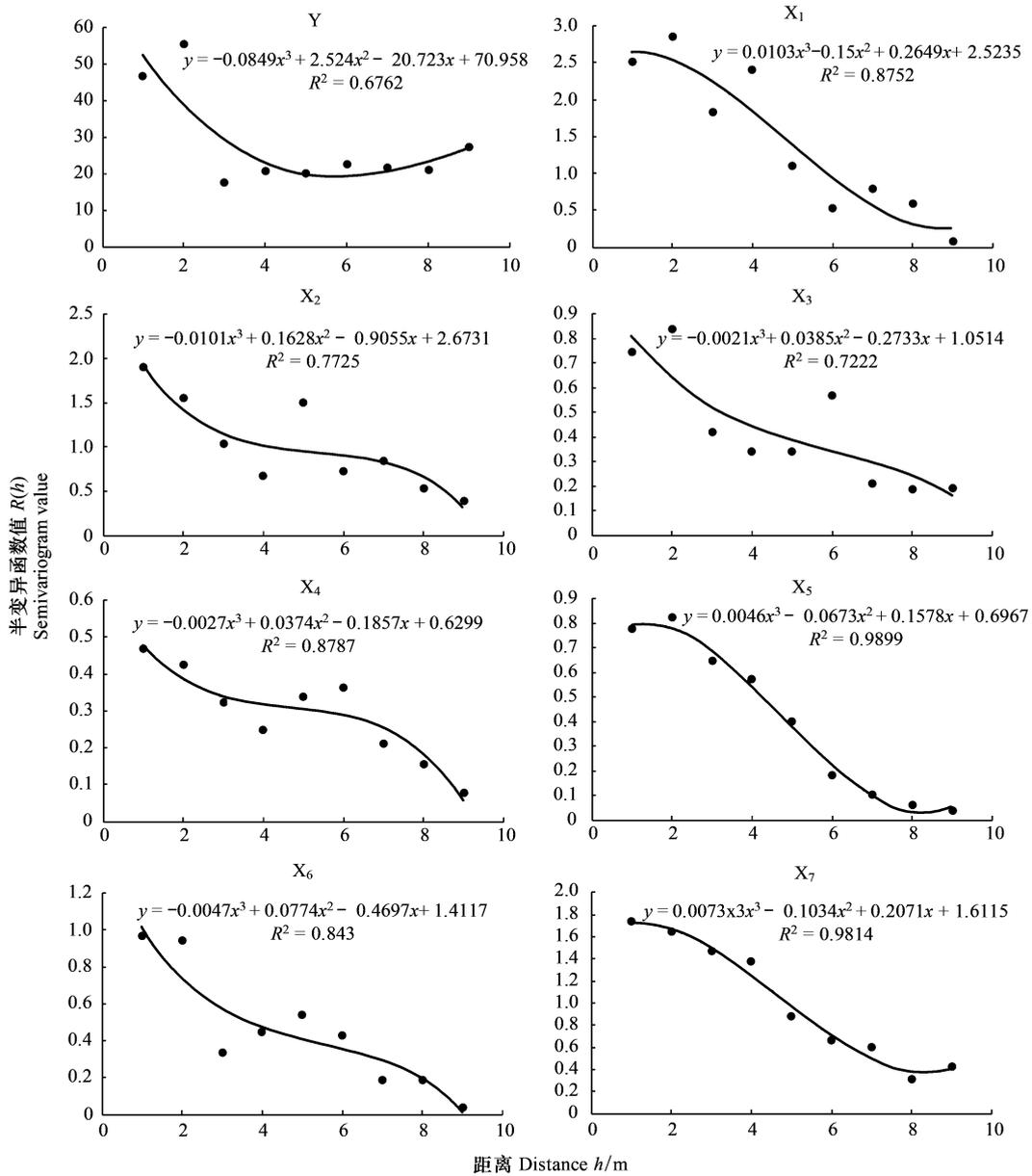


图 2 2016 年白毫早茶园蚊虫与 8 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线 (5 月 12 日)

Fig.2 Models of semivariogram of Mosquito with their natural enemies in Baihaozao-tea filed (May 12th)

表 6 中性昆虫蚊虫与 8 种天敌变程间的关联度

Table 6 Relational grade of neutral insect Mosquito with eight enemies

品种 Varieties	年份 Year	蚊子 Mosquito	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
白毫早 'Baihaozao'	2015	Y	0.6826	0.7554	0.7212	0.8123	0.8159	0.8942	0.7559	0.7065
		位次	8	5	6	3	2	1	4	7
	2016	Y	0.6461	0.7884	0.6879	0.7819	0.7593	0.9259	0.8469	0.6895
		位次	8	3	7	4	5	1	2	6
乌牛早 'Wuniuzao'	2015	Y	0.7213	0.7315	0.6892	0.7295	0.7895	0.6318	0.7814	0.711
		位次	5	3	7	4	1	8	2	6
	2016	Y	0.6913	0.7064	0.7797	0.7983	0.7394	0.7799	0.7774	0.6012
		位次	7	6	3	1	5	2	4	8
		位次之和	28	17	23	12	13	12	12	27

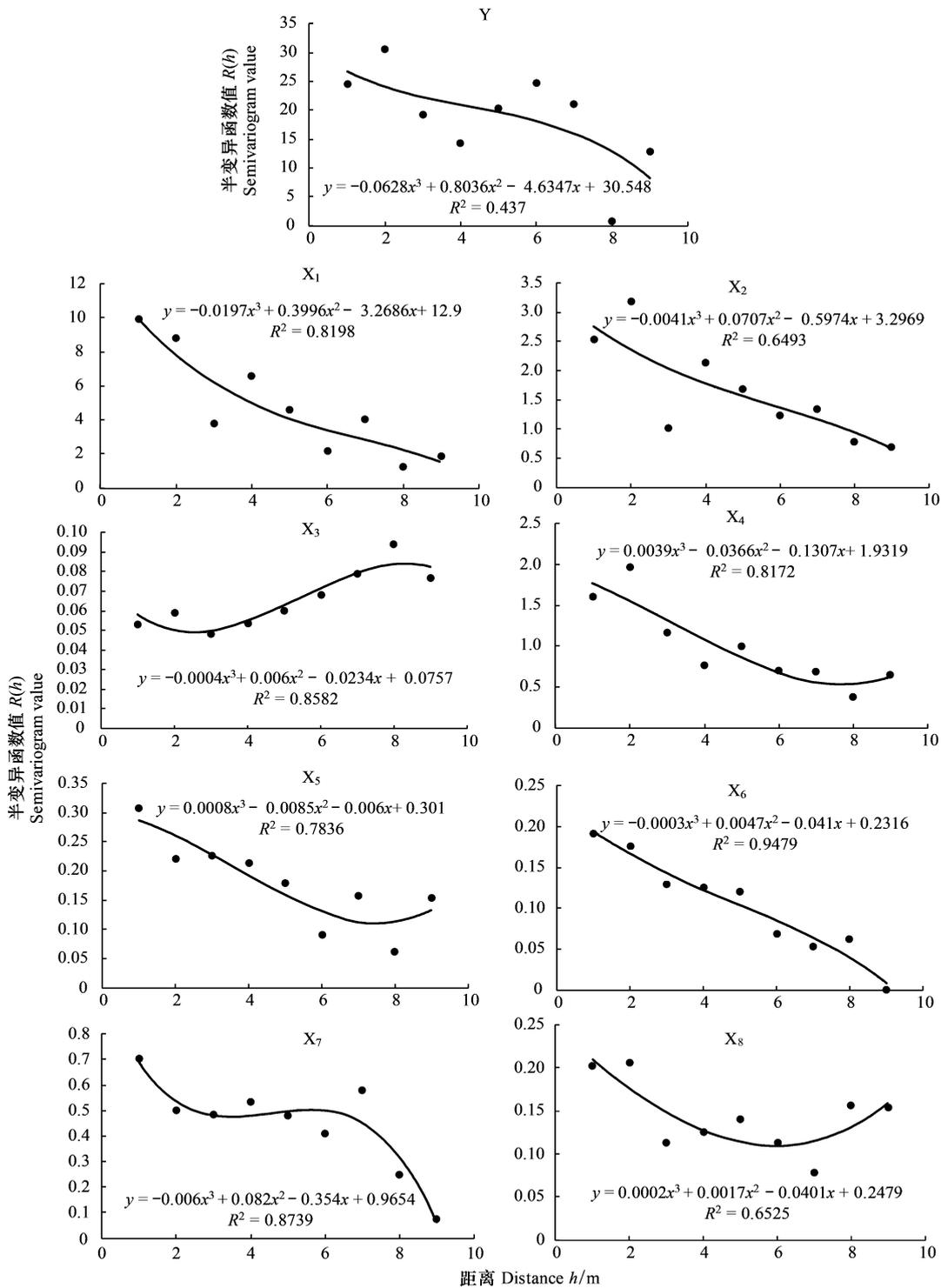


图3 2015年乌牛早茶园蚊虫与8种天敌的半变异函数模型与拟合曲线(4月11日)

Fig.3 Models of semivariogram of Mosquito with their natural enemies in Wumiuzao-tea filed (April 11th)

为了进一步评判与蚊虫在空间跟随关系密切的天敌位次,将关联度标准化,即除以该年度关联度的最大值,其商称作密切指数,用密切指数之和评判与小贯小绿叶蝉的关系密切程度,密切之和大,关系就越密切,将其列于表7,棕管巢蛛是与蚊虫跟随关系密切的第一位天敌,第二、三、四位依次是茶色新圆蛛、三突花蟹蛛和八斑球腹蛛,和用天敌位次之和评判的前四位天敌的结果是一致的。

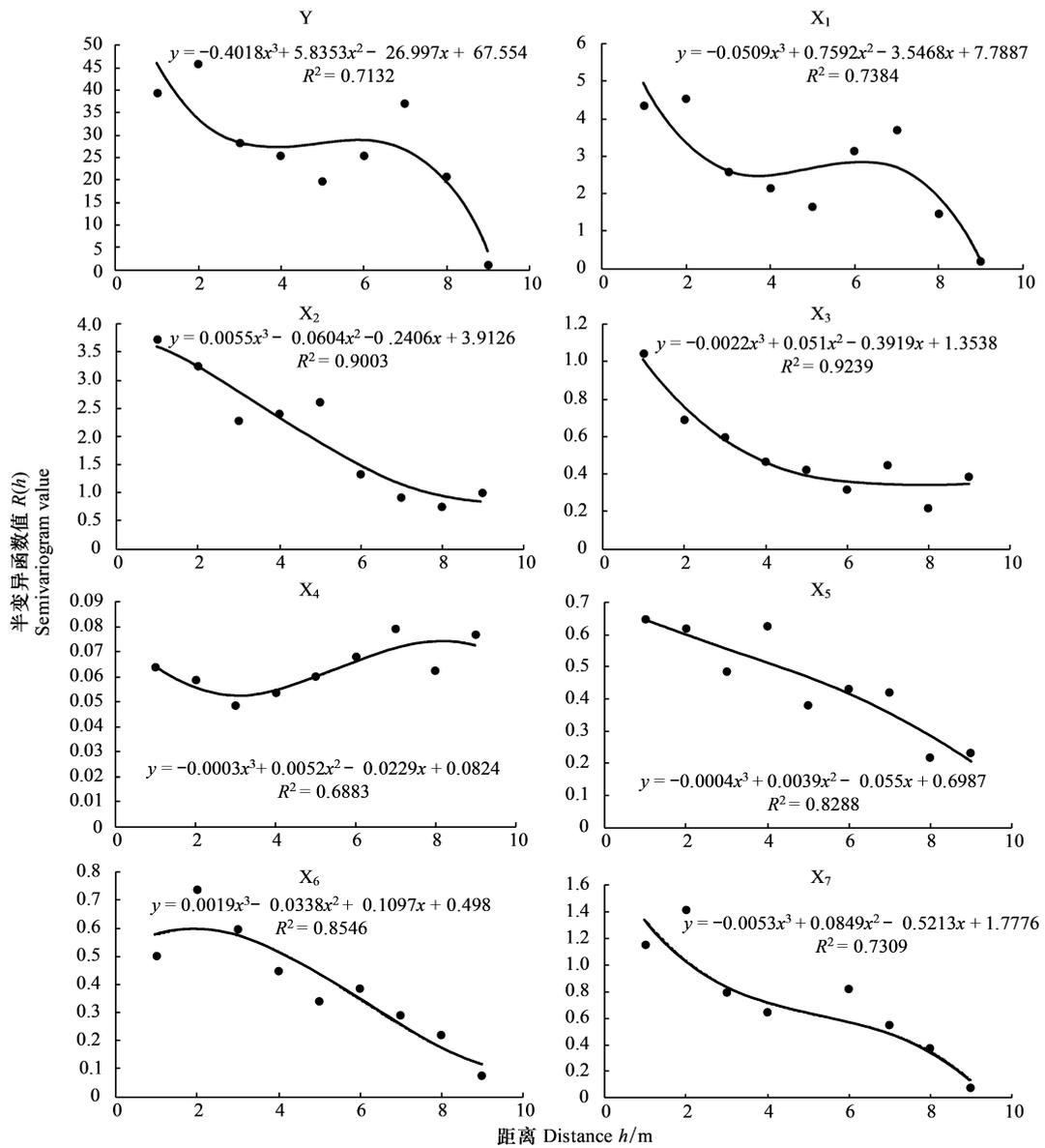


图 4 2016 年乌牛早茶园蚊虫与 8 种天敌的半变异函数模型与拟合曲线 (5 月 30 日)

Fig.4 Models of semivariogram of Mosquito with their natural enemies in Wuniuzao-tea filed (May 30th)

表 7 8 种天敌和蚊虫空间关系的密切指数

Table 7 Eight kinds of natural enemies and mosquitoes close relationship between the spatial index

品种 Varieties	年份 Year	蚊子 Mosquito	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
白毫早	2015	密切指数	0.7634	0.8448	0.8065	0.9084	0.9124	1	0.8453	0.7901
'Baihaozao'	2016	密切指数	0.6978	0.8515	0.7429	0.8445	0.8201	1	0.9147	0.7447
乌牛早	2015	密切指数	0.9136	0.9265	0.8729	0.9240	1	0.8003	0.9897	0.9006
'Wuniuzao'	2016	密切指数	0.8659	0.8849	0.9767	1	0.9262	0.9769	0.9738	0.7531
	Σ	总和	3.2407	3.5077	3.399	3.6769	3.6587	3.7772	3.7235	3.1885

3 小结与讨论

本文利用地学统计学方法和灰色关联度法研究白毫早茶园和乌牛早茶园 2015 年和 2016 年 8 种蜘蛛天

敌在害虫匮乏期(3—5月)与蚊虫的空间关系。按照关联度大小的位次排序结果是:

(1)2015年两个品种茶园与蚊虫空间关系密切的前四位天敌中均有三突花蟹蛛、八斑球腹蛛和茶色新圆蛛;2016年两个品种茶园与蚊虫空间关系密切的前四位天敌中均有三突花蟹蛛、棕管巢蛛和茶色新圆蛛。茶树品种间8种天敌平均位次相异率为93.75%。

(2)白毫早茶园2015年和2016年前四位天敌中均有棕管巢蛛、三突花蟹蛛和茶色新圆蛛,但位次不同;乌牛早茶园两年间前四位天敌中均有八斑球腹蛛和茶色新圆蛛。年度间8种天敌平均位次相异率为87.5%。天敌位次相异率方面茶树品种间大于年度间。

(3)按照天敌位次总和以及天敌与蚊虫空间关系密切指数总和评判与蚊虫空间跟随关系密切的前四位天敌均依次是棕管巢蛛、茶色新圆蛛、三突花蟹蛛和八斑球腹蛛,即蚊虫的存在有利于上述4种蜘蛛的建群。

与蚊虫空间跟随关系密切与否与蜘蛛对蚊虫的捕食效率有关,空间跟随关系密切,蜘蛛的捕食效率就高,从对2015年和2016年两种茶园的8种蜘蛛与蚊虫的灰色关联度比较,棕管巢蛛、茶色新圆蛛、三突花蟹蛛和八斑球腹蛛与蚊虫的灰色关联度大,即对蚊虫的依赖性大,但从表6可看出,8种蜘蛛与蚊虫变程的灰色关联度,白毫早2015年的关联度极差为0.2116,标准差为0.0696,2016年分别为0.2798、0.0920,乌牛早2015年极差为0.1577,标准差为0.0501,2016年分别为0.1917、0.0660,表明2015年、2016年两品种茶园8种蜘蛛与蚊虫空间变程间的灰色关联度离散性不大,差异很小。即8种蜘蛛空间上都和蚊虫关系密切,可看出害虫匮乏期蚊虫对于蜘蛛的重要性。因此为了有效控制茶园害虫,在害虫匮乏期必须让蜘蛛等天敌尽快建群,创造有利条件,有利于蚊虫的生长发育和繁殖,这样才能为蜘蛛天敌提供充分的食饵。

表6中可以看出,同一种天敌在同一种茶园中年度间位次差别很大,如乌牛早茶园八斑球腹蛛2015年是第一位,2016年是第五位,这可能是环境因子作用的结果。再如白毫早茶园棕管巢蛛两年都是第一位,而乌牛早茶园棕管巢蛛2015年是第八位,2016年是第二位。茶树品种间的差异很大,这似乎是与茶树理化特性有关。天敌和害虫之间是相互依存,相互制约的关系。食饵数量多,天敌的数量随之也增多,害虫的数量变化引起天敌的数量和行为发生变化^[3]。用t检验法比较两种茶园蚊虫及天敌数量上的差异,2015年3—5月白毫早和乌牛早茶园蚊虫、鳞纹肖蛸、锥腹肖蛸、草间小黑蛛、三突花蟹蛛、八斑球腹蛛、棕管巢蛛、茶色新圆蛛和斜纹猫蛛的t值依次是1.3191、0.4816、0.4861、0.3297、0.5363、0.3105、1.0158、0.1732和0.1633。2016年3—5月两品种茶园间蚊虫和8种天敌的t值依次是0.0639、0.4905、1.0014、0.8404、1.7935、0.6946、0.4833、1.1605和1.6059,df=8时, $t_{0.05}=2.306$,t值均小于 $t_{0.05}$,表明2015年和2016年3—5月两品种茶园间蚊虫和8种天敌种群数量差异均不显著。

用t检验法比较蚊虫及天敌数量上的年度间差异,同一茶树品种2015年和2016年年度间蚊虫及8种天敌的t值,白毫早茶园的依次为1.7803、1.8191、0.8928、0.5819、1.3298、0.7030、0.1453、0.6122和1.6092,df=8时, $t_{0.05}=2.306$,t值均小于 $t_{0.05}$,表明白毫早茶园蚊虫和8种天敌种群数量差异均不显著。从表2可看出,按照5次数量比较,2015年蚊虫400头,2016年为1094头,两年差异虽不显著,但差距很大。

2015年和2016年间,乌牛早茶园的t值依次为2.9062、1.6376、0.6524、0.5204、0.2061、0.7512、1.1881、1.4012和0.1633,df=8时, $t_{0.05}=2.306$, $t_{0.01}=3.355$,表明只有蚊虫年度间差异显著,其余差异均不显著。乌牛早茶园2015年和2016年间蚊虫差异显著,但8种天敌种群数量差异不显著,似乎是环境因子造成两年的蚊虫数量差异显著,早春温度是影响蚊虫生长发育的重要生态因子。根据合肥气象站资料,2015年3月和4月的月均温是10.97℃和15.90℃,2016年3月和4月的月均温是11.84℃和17.57℃,2016年3、4月份均温稍高于2015年,这可能是2016年3—5月份两种茶园蚊虫数量多于2015年的原因。

参考文献(References):

- [1] 赵志模,郭依泉.群落生态学原理与方法.重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1990:6-9.
- [2] 戈峰.现代生态学.北京:科学出版社,2002:213-231.
- [3] 邹运鼎,王弘法.农林昆虫生态学.合肥:安徽科学技术出版社,1989:311-326.

- [4] Cohen J E, Briand F, Newman C M. *Community Food Webs*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1990.
- [5] 吴进才, 胡国文, 唐健, 束兆林, 杨金生, 万志农, 任正才. 稻田中性昆虫对群落食物网的调控作用. *生态学报*, 1994, 14(4): 381-386.
- [6] 吴进才, 胡国文, 唐健. 稻田节肢动物群落营养物种的初步研究. *农业科学集刊*, 1993, (1): 234-238.
- [7] 吴进才, 郭玉杰, 束兆林, 杨金生. 稻田节肢动物群落不同取样方法的比较. *昆虫知识*, 1993, 30(3): 182-183.
- [8] Settle W H, Ariawan H, Astuti E T, Cahyana W, Hakim A L, Hindayana D, Lestari A S. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology*, 1996, 77(7): 1975-1988.
- [9] Reissig W H, Heinrichs E A, Litsinger J A, Moody K, Fiedler L, Mew T W, Barrion A T. *Illustrated guide to integrated pest management in rice in tropical Asia*. The Philippines: IRRI, Los Baños, Laguna, 1986: 17-232.
- [10] 郭玉杰, 王念英, 蒋金炜, 陈俊炜, 唐建. 中性昆虫在稻田节肢动物群落中作为捕食者营养桥梁作用的研究. *中国生物防治学报*, 1995, 11(1): 5-9.
- [11] 胡金林. *中国农林蜘蛛*. 天津: 天津科学技术出版社, 1984: 1-3.
- [12] 吴进才, 徐建祥, 程遐年. 蚊幼对狼蛛的营养作用研究. *生态学报*, 1997, 17(3): 292-297.
- [13] 徐建祥, 吴进才. 综论稻田生态系中性昆虫的意义及其调控. *生态学杂志*, 1999, 18(5): 41-44.
- [14] 侯景儒, 黄竞先. *地质统计学的理论与方法*. 北京: 地质出版社, 1990: 82-102.
- [15] 邓聚龙. *灰色系统理论教程*. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 33-84.