

## 二次回归旋转组合设计在害虫 天敌捕食效应研究中的应用

吴进才 沈斌斌 庞雄飞

(昆虫生态研究室)

### 提 要

本文应用二次回归旋转组合设计研究了四种蜘蛛(食虫瘤胸蛛*Oedothorax insecticeps*, 拟水狼蛛*Pirata subpiratica*, 棕管巢蛛*Clubiona japonicola*和菱头跳蛛*Bianar hotingchlehi*)复合种群对白背飞虱*Sogatella furcifera*若虫的捕食作用及交互效应。对白背飞虱捕食的数学模型为:

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & 13.1492 + 0.4583x_1 - 0.125x_2 + 0.625x_3 + 1.0417x_4 + 13.9583x_5 - 0.9375x_1x_2 \\ & + 0.4375x_1x_3 - 0.0625x_1x_4 + 2.25x_1x_5 + 0.1875x_2x_3 + 0.1875x_2x_4 - 0.3125x_2x_5 \\ & - 0.6875x_3x_4 + 0.5625x_3x_5 + 0.0625x_4x_5 + 0.1008x_1^2 - 0.2742x_2^2 + 1.2258x_3^2 \\ & + 0.1008x_4^2 + 4.4758x_5^2 \end{aligned}$$

对上述模型进行了主效应及两个变量对一个因变量交互作用反应面分析。结果种间、种内个体间均存在干扰效应,这与田间调查结果一致。白背飞虱若虫的被捕食数与四种蜘蛛间形成多种形状的反应面。

**关键词** 二次回归旋转组合设计; 数学模型

### 引 言

许多作者对天敌捕食作用的数学模型包括一种天敌对两种害虫及其相互作用进行了详细的研究<sup>[1~15]</sup>。害虫自然种群数量控制是一个复杂的系统工程,涉及的因素甚多。我们在系统科学方法的基础上,应用旋转组合设计<sup>[1~3]</sup>研究多种捕食性天敌对害虫种群内各个组份的捕食效应,得出了较好的结果。

### 试 验 方 法

选择四种蜘蛛一种害虫,按五因子(1/2实施)二次通用旋转组合设计法设计各处理

1989年1月17日收稿

水平及编码。五因子二次通用旋转组合设计的数学模型为：

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{j=1}^5 b_j x_j + \sum_{i < j}^5 b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^5 b_{jj} x_j^2 \quad (1)$$

四种蜘蛛及白背飞虱若虫均从田间采回，蜘蛛在试验前饥饿24小时，接入口径30cm栽有一穴水稻的陶钵，用罩笼罩住，笼高90cm。过3天检查飞虱被食数。

因子水平及编码值见表1。中心点处理重复6次。表1中的数字是每穴水稻上的天敌和飞虱头数。飞虱的编码值采用 $Z_0 \times 2^j$ 。

表1 四种蜘蛛对飞虱捕食效应的因子水平及编码值

编码值 (γ) 种类	-2	-1	0	1	2
拟水狼蛛 $x_1$	0	1	2	3	4
食虫瘤胸蛛 $x_2$	0	1	2	3	4
管巢蛛 $x_3$	0	1	2	3	4
菱头跳蛛 $x_4$	0	1	2	3	4
白背飞虱三龄若虫 $x_5$	5	10	20	40	80

## 结果与分析

### (一) 数学模型

试验设计结构矩阵及结果列于表2。应用以下公式计算回归系数值。

$$b_0 = K \sum y_i + E \sum_{j=1}^5 (\sum x_{ij}^2 y_i) \quad (2)$$

$$b_j = e^{-1} \sum x_{ij} y_i \quad (3)$$

$$b_{ij} = m_c^{-1} \sum x_{ij} x_{ik} y_i \quad (4)$$

$$b_{jj} = (F - G) \sum x_{ij}^2 y_i + G \sum_{i=1}^5 \sum x_{ij}^2 y_i + E \sum y_i \quad (5)$$

(2) ~ (5) 式中的K、E、e、F、G由下式得出

$$e = m_c + 2\gamma^2$$

$$f = m_c + 2\gamma^4$$

$$H = 2\gamma^4 [Nf + (p-1)Nm_c - pe^2] \quad K = 2\gamma^4 H^{-1} [f + (p-1)m_c]$$

$$F = H^{-1} [Nf + (p-2)Nm_c - (p-1)e^2] \quad E = -2H^{-1}e\gamma^4$$

$$G = H^{-1}(e^2 - Nm_c)$$

表 2 试验结构矩阵及试验结果

序	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_1X_4$	$X_1X_5$	$X_2X_3$	$X_2X_4$	$X_2X_5$	$X_3X_4$	$X_3X_5$	$X_4X_5$	$X_1^2X_2$	$X_1^2X_3$	$X_1^2X_4$	$X_1^2X_5$	$X_2^2X_3$	$X_2^2X_4$	$X_2^2X_5$	$X_3^2X_4$	$X_3^2X_5$	$X_4^2X_5$	Y	$\hat{Y}$	
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	29	27.3
2	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	7.6
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	4.8
4	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31	30.4
5	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	6
6	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32	31.6
7	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	32	30.8
8	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	8.1
9	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2
10	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	37	36.9
11	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	39	38.1
12	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4.1
13	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31	30.3
14	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3.4
15	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2.5
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	36	36.4
17	1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12.6
18	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	14.5
19	1	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	12.3
20	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11.8
21	1	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	15	16.8
22	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	18	19.3
23	1	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	8	11.5
24	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	16	15.6
25	1	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	3.1
26	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	58	58.9
27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	13.1
28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	13.1
29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	13.1
30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13.1
31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13.1
32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	13.1

计算得出白背飞虱3龄若虫被捕食数( $\hat{Y}$ )与各变量间的数学模型为:

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & 13.1492 + 0.4583x_1 - 0.125x_2 + 0.625x_3 + 1.0417x_4 + 13.9583x_5 \\ & - 0.9375x_1x_2 + 0.4375x_1x_3 - 0.0625x_1x_4 + 2.25x_1x_5 + 0.1875x_2x_3 \\ & + 0.1875x_2x_4 - 0.3125x_2x_5 - 0.6875x_3x_4 + 0.5625x_3x_5 + 0.0625x_4x_5 \\ & + 0.1008x_1^2 - 0.2742x_2^2 + 1.2258x_3^2 + 0.1004x_4^2 + 4.4758x_5^2 \quad (6) \end{aligned}$$

回归方程F检验极显著,表明应用(6)式能较好地拟合观测数据。表2最后一列是由回归模型计算的结果,可见模型的计算值与实测值非常相近。也对回归系数进行了t检验。达到10%显著水平的有 $b_3$ 、 $b_{34}$ ; 5%显著水平的有 $b_4$ ; 1%显著水平的有 $b_0$ 、 $b_5$ 、 $b_{12}$ 、 $b_{13}$ 、 $b_{15}$ 、 $b_{33}$ 和 $b_{55}$ 。

## (二) 主效分析

通过无量纲线性编码代换后,偏回归系数已经标准化。可以直接从绝对值大小判明因子的重要程度。从线性项看,5个因素对飞虱捕食作用影响的大小为:飞虱本身密度( $x_5$ )>菱头跳蛛( $x_4$ )>棕管巢蛛( $x_3$ )>拟水狼蛛( $x_1$ )>食虫瘤胸蛛( $x_2$ )。四种蜘蛛中,以菱头跳蛛的捕食作用最大。微蛛最小,且系数符号为负,表明在四种蜘蛛共存的情况下,微蛛的捕食作用随其数量的增加而下降,这主要是由于其它蜘蛛对微蛛的干扰(包括捕食干扰和种间残杀)而引起。在田间经常见到狼蛛、管巢蛛等残杀微蛛。

由于旋转组合设计对平方和实行了中心化线性代换,满足试验的正交性。模型中各项效应线性可加。偏回归系数间彼此独立,因此可以固定其它变量的取值水平(一般取零水平),导出每个因素的偏回归子模式。5个因素的子模式为:

$$\hat{Y}_1 = 13.1492 + 0.4583x_1 + 0.1008x_1^2 \quad (7)$$

$$\hat{Y}_2 = 13.1492 - 0.125x_2 - 0.2742x_2^2 \quad (8)$$

$$\hat{Y}_3 = 13.1492 + 0.625x_3 + 1.2258x_3^2 \quad (9)$$

$$\hat{Y}_4 = 13.1492 + 1.0417x_4 + 0.1008x_4^2 \quad (10)$$

$$\hat{Y}_5 = 13.1492 + 13.9583x_5 + 4.4758x_5^2 \quad (11)$$

5因素的子模式曲线见图1。图中拟水狼蛛( $x_1$ )随着其本身密度的增加对飞虱捕食数的增加较小,曲线较平直。当拟水狼蛛从每穴1头增加到每穴4头时,飞虱被食数只增加2头;食虫瘤胸蛛在编码值为零时(2头/穴)达最大值,低于或高于此水平,捕食数下降。从每穴2头增加到每穴4头时,飞虱被食数减少1.3头;棕管巢蛛( $x_3$ )与飞虱被食数的关系为一开口向上的抛物线。当棕管巢蛛从每穴2头增加到每穴4头时,飞虱被食数增加6.2头。不过,当棕管巢蛛为零(编码值为-2)时,飞虱被食数为16.8头,高于每穴有一头棕管巢蛛的捕食量,这是在没有棕管巢蛛存在时,由其它蜘蛛捕食所致,而且捕食效应有所增强,但当棕管巢蛛增至4头/穴时,飞虱被食数为19.3头,比16.8头多2.5头。由此表明:一方面在几种蜘蛛对飞虱同时起作用时,以棕管巢蛛的影响

最大；另一方面天敌与害虫种群间存在相互制约作用，这种制约主要表现在种间干扰和种间残杀上。

菱头跳蛛 ( $x_4$ ) 随其密度的增加，飞虱被食数略有增加。从每穴 1 头增加到每穴 4 头，飞虱被食数增加 4.16 头。从偏回归系数看跳蛛的一次项系数大于棕管巢蛛，但二次项远小于棕管巢蛛。总的看来，四种蜘蛛对飞虱的捕食效应以棕管巢蛛作用最大，菱头跳蛛次之，再其次是拟水狼蛛和食虫瘤胸蛛。此结果与实际观测的结果基本一致。

飞虱自身密度与被食数的关系，无论从模型的一次项系数或是二次项系数来看，均是影响最大的一个因素。当白背飞虱密度低于每穴 20 头（偏码值  $< 1$ ）时，对被食数的影响较小，曲线的下半段较平直，当密度高于每穴 20 头时，被食数几乎呈直线上升。但是从飞虱密度与其被食百分率来看，每穴 10 头增加到每穴 40 头，被食百分率呈上升趋势；从每穴 40 头增到 80 头，捕食百分率下降 5.4%。如果飞虱密度大于 80 头/穴，在田间每穴几百头甚至上千头的情况是存在的，相对捕食率将会下降更多。这也是害虫种群暴发时，蜘蛛对飞虱不易控制的原因之一。

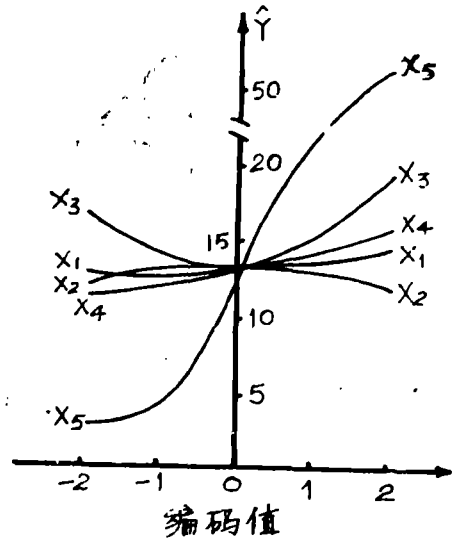


图 1 四种蜘蛛对白背飞虱捕食量的主效应

$\hat{Y}$ —飞虱被捕食数； $x_1$ —拟水狼蛛；  
 $x_2$ —食虫瘤胸蛛； $x_3$ —棕管巢蛛；  
 $x_4$ —黑菱头蛛； $x_5$ —白背飞虱若虫

### (三) 交互效应 (反应面 response surfaces) 分析

害虫自然种群受到多种捕食性天敌的捕食。在复杂的稻田生态系统中，物种之间是相互联系、相互制约的。研究两种天敌对一种害虫的捕食效应可形成不同几何图形的反应面。三个物种以上相互作用则形成更高维的几何图形。由于三维以上图形表达较困难，我们着重研究二个自变量与一个因变量的反应面。

从本实验数学模型的交互项系数可看出：拟水狼蛛 ( $x_1$ ) 与食虫瘤胸蛛 ( $x_2$ )、拟水狼蛛 ( $x_1$ ) 与跳蛛 ( $x_4$ )、食虫瘤胸蛛 ( $x_2$ ) 与白背飞虱 ( $x_5$ )、棕管巢蛛 ( $x_3$ ) 与菱头跳蛛 ( $x_4$ ) 均为负交互作用，表明种间有相互制约作用，尤其是狼蛛同种和异种有凶猛的残杀行为。此结果与田间系统调查种间相关系数一致。如在单晚稻田微蛛与飞虱、微蛛与狼蛛的相关系数分别为 -0.60 和 -0.78；在高密度飞虱的杂交稻田狼蛛与跳蛛的相关系数为 -0.35。也与 Salim 等<sup>[10]</sup>的结果一致，从而进一步证实了回归旋转组合设计在研究复合种群的种间关系是符合实际情况的。

拟水狼蛛 ( $x_1$ ) 与食虫瘤胸蛛 ( $x_2$ ) 的交互作用 (图 2)： $x_2$  密度为 0~2 头/穴

(编码值  $-2 \sim 0$ ) 时, 飞虱被食数随  $x_1$  密度的增加而增加;  $x_2$  在每穴 3 头以上 (编码值  $1 \sim 2$ ) 时, 随着  $x_1$  密度的增加捕食量反而下降。整个反应面点的最大值座标为 ( $x_1 = 2, x_2 = -2$ ); 最小值座标为 ( $x_1 = -2, x_2 = -2$ ) 和 ( $x_1 = 2, x_2 = 2$ )。即两种蜘蛛同时增大到每穴 4 头时, 捕食量降至最低点。同样, 当食虫瘤胸蛛 ( $x_2$ ) 为每穴 3 头以上时, 捕食量随  $x_1$  的上升而下降,  $x_2$  在每穴 4 头时, 下降最明显。

拟水狼蛛 ( $x_1$ ) 与棕管巢蛛 ( $x_3$ ) 的交互作用 (图 3): 当棕管巢蛛 ( $x_3$ ) 编码为  $-2$  时, 随着  $x_1$  密度上升捕食量下降;  $x_3 = -1, 0, 1, 2$  时, 随着  $x_1$  密度上升捕食量亦上升; 而  $x_3$  不论  $x_1$  取何水平, 均是随其密度的上升捕食量上升。反应面最高点座标为 ( $x_1 = 2, x_3 = 2$ )。说明  $x_1$  与  $x_3$  种间种内干扰较小。种间残杀现象较少见。

拟水狼蛛 ( $x_1$ ) 与菱头跳蛛 ( $x_4$ ) 的交互作用 (图 4): 基本类似于  $x_1, x_3$  的交互作用, 不同的是当  $x_4 = -2$  时, 随  $x_1$  密度上升捕食量呈上升趋势; 随  $x_4$  密度上升捕食量亦呈上升趋势。回归方程中  $x_1, x_4$  交互项的系数为负值, 似乎有些矛盾, 其实由于负系数绝对值较小, 而一次项系数较大, 在一定的飞虱密度情况下, 负效应有可能被减弱。田间不同密度下的相关性质是可以改变的。

拟水狼蛛 ( $x_1$ ) 与白背飞虱若虫 ( $x_5$ ) 的交互作用 (图 5):  $x_5 = -1$  时,  $x_1$  的捕食量随密度的增加而下降。如每穴 1 头狼蛛的捕食数为 5.6 头, 而每穴 4 头狼蛛的捕食数为 0.3 头。这显然主要是由于种内个体间的干扰效应所导致; 但当飞虱密度超过每穴 20 头时, 干扰效应减弱, 表现出随其本身密度的上升捕食量亦上升。上升幅度以每穴 80 头 ( $x_5 = 2$ ) 达最大。如拟水狼蛛每穴 1 头, 飞虱被捕食数为 54.1 头; 拟水狼蛛每穴 4 头, 飞虱被捕食数为 69.3 头。飞虱被捕食数增加了 15.2 头。白背飞虱 ( $x_5$ ) 密度不论在何水平, 被捕食数均随密度的上升而上升。

食虫瘤胸蛛 ( $x_2$ ) 与棕管巢蛛 ( $x_3$ ) 的交互作用 (图 6): 图 6 反应面与前不同, 在  $x_3$  的五个水平, 飞虱被捕食数随  $x_2$  密度上升而下降;  $x_3 = -1, 0, 1, 2$  时,  $x_2$  的捕食数为一抛物面。中间水平 ( $x_2 = 0$ ) 捕食数最高。棕管巢蛛 ( $x_3$ ) 与此正相反, 在  $x_3 = 0$  时, 捕食数最低, 形成一凹形抛物面。整个反应面最高点座标为 ( $x_2 = 0, x_3 = 2$ ), 最低点座标为 ( $x_2 = 2, x_3 = 0$ )。

食虫瘤胸蛛 ( $x_2$ ) 与菱头跳蛛 ( $x_4$ ) 的交互作用 (图 7): 这是一个凸形反应面。无论  $x_4$  取何水平,  $x_2$  的捕食数均以中间水平 ( $x_2 = 0$ ) 最高。  $x_4$  则随其密度的增大捕食量增加。表明菱头跳蛛种内个体间干扰较小。反应面最高点座标为 ( $x_2 = 0, x_4 = 2$ ), 最低点为 ( $x_2 = 2, x_4 = -2$ )。

食虫瘤胸蛛 ( $x_2$ ) 与白背飞虱若虫 ( $x_5$ ) 的交互作用 (图 8):  $x_2$  的捕食数在中间水平 ( $x_2 = 0$ ) 最高, 两侧下降; 此外,  $x_2$  取不同水平时, 捕食数的增量较小。在田间从控制飞虱的相对作用来看, 可能不如其它几种蜘蛛。如  $x_5 = 1, x_2 = 2$  和  $x_2 = -1$  相比, 捕食量减少了 2 头;  $x_5 = -2$  时,  $x_2 = 0$  和  $x_2 = -1$  相比捕食量仅增加 1 头。在高飞虱密度 ( $x_5 = 2$  时),  $x_2$  随其密度的上升捕食量有下降的趋势; 而拟水狼蛛仍然是上升的趋势 (图 5)。

棕管巢蛛 ( $x_3$ ) 与菱头跳蛛 ( $x_4$ ) 的交互作用 (图9)：图9的反应面与前述几种反应面完全不一样。不论  $x_4$  取何水平， $x_3$  的捕食数在中间 ( $x_3 = 0$ ) 最低。 $x_4$  除  $x_4 = 2$  (每亩4头棕管巢蛛) 捕食量随自身密度的增加略有下降外，其余水平均是随自身密度的增加捕食量增加。增加幅度最大值在  $x_3 = -2$  处 (此时棕管巢蛛为零)，其次是  $x_3 = -1$ 。曲面最高点的坐标值为 ( $x_3 = -2, x_4 = 2$ )；最低点坐标值 ( $x_3 = -1, x_4 = -2$ )。由此可见， $x_3$  与  $x_4$  具一定的负交互作用。

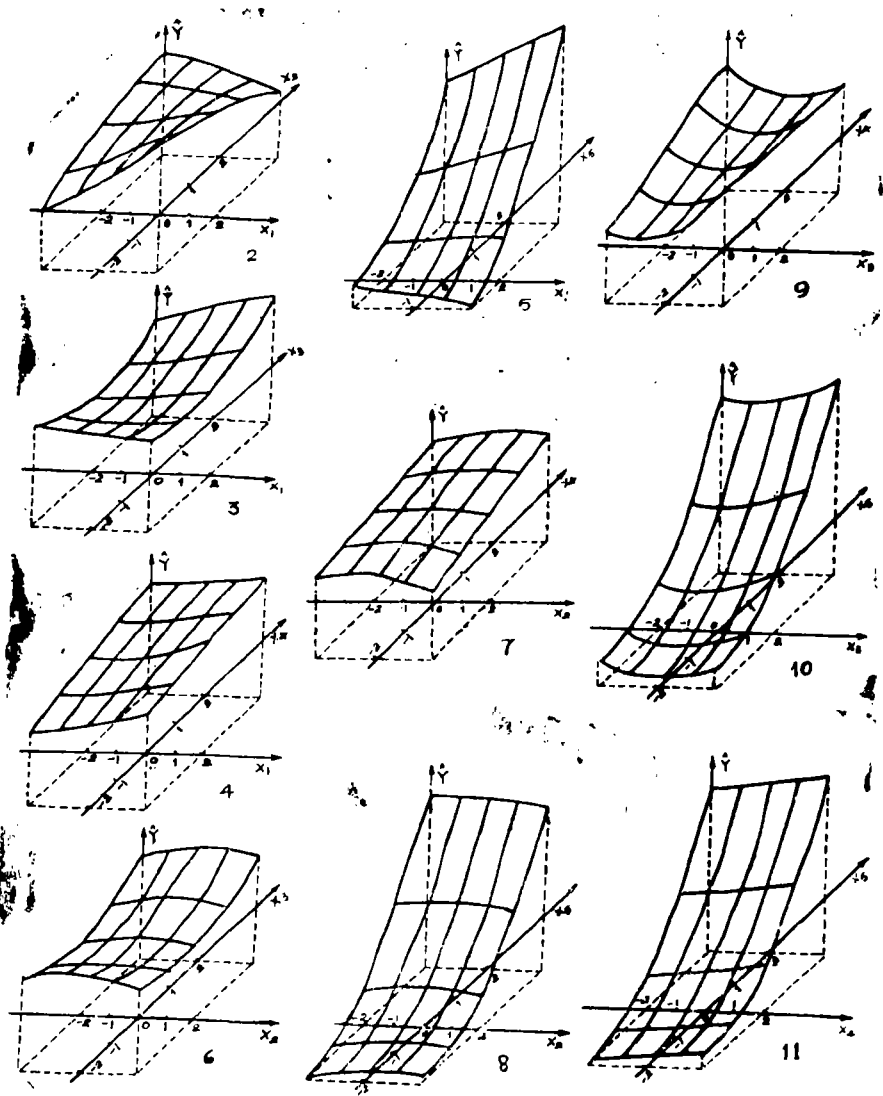


图2-11 四种蜘蛛和白背飞虱的交互作用反应面

$x_1$ —拟水狼蛛； $x_2$ —食虫瘤胸蛛； $x_3$ —管巢蛛；

$x_4$ —白背飞虱虫若； $\hat{Y}$ —白背飞虱被食数。

棕管巢蛛 ( $x_3$ ) 与白背飞虱若虫 ( $x_5$ ) 和菱头跳蛛 ( $x_4$ ) 与白背飞虱若虫 ( $x_5$ ) 的交互作用 (图10、11)：这两个反应面的差异是由  $x_3$ 、 $x_4$  的特性所致。 $x_3$  随  $x_5$  密度的上升捕食量上升，但与自身密度的关系表现为一凹形抛物面。中间水平捕食量较低，高于  $x_3 = 0$  捕食量上升较明显。 $x_4$  则不论  $x_5$  取什么值，均随其自身密度的上升捕食量上升。两个反应面的捕食量绝对值图10大于图11。即棕管巢蛛在复合种群中的控制作用大于菱头跳蛛。

## 结 论

本文运用二次回归旋转组合设计建立了稻田四种蜘蛛对白背飞虱若虫捕食作用的数学模型。并进行了主效应和交互作用效应反应面分析。结果表明四种蜘蛛捕食作用大小依次为棕管巢蛛 > 菱头跳蛛 > 拟水狼蛛 > 食虫瘤胸蛛。拟水狼蛛与食虫瘤胸蛛、棕管巢蛛与菱头跳蛛有负交互作用。与田间系统调查的蜘蛛种间相关性质一致。在复合种群内，蜘蛛种间、种内个体间均存在干扰效应。本研究建立复合种群捕食作用的数学模型的目的是从田间调查的各捕食性天敌实际数量推测飞虱的被捕食数。

## 引 用 文 献

- [1] 丁希泉等. 中国油料, 1983; (3): 31—34
- [2] 丁希泉等. 中国油料, 1984; (4): 39—43
- [3] 丁希泉编著. 农业应用回归设计, 吉林: 科学技术出版社, 1986: 101—187
- [4] 周集中, 陈常铭. 生物防治通报, 1986; 2 (1): 2—9
- [5] 周集中, 陈常铭. 生态学报, 1986; 6 (3): 238—247
- [6] 周集中, 陈常铭. 生态学报, 1987; 7 (1): 50—56
- [7] 周集中, 陈常铭. 生态学报, 1987; 7 (3): 228—237
- [8] 李超, 丁岩钦等. 生态学报, 1982; 2 (4): 363—373
- [9] Griffiths, P., 1975, Ecology, 56: 1209-1214
- [10] Hassell, M. P. and H.N. Comins, 1978, Theor. Pop. Biol. 14: 62-67
- [11] Hassell, M.P. and T.R.E. Southwood, 1978, Ann.Rev.Ecol.Syst. 9: 37-48
- [12] Manly, B.F., J.P.Miller and L.M.Cook, 1972, Ann. Nat. 106: 719-735
- [13] Murdoch, W.W., 1969, Ecological Monographs. 39 (4): 335-354
- [14] Prajneshu and P.Holgate, 1987, J. Theor. Biol. 125: 61-66
- [15] Salim, M. and E.A. Heinrichs, 1986, IRRNew Sletter, 11 (2): 24



QUADRATIC REGRESSION ROTATION COMPOSITE  
DESIGN AND STUDY ON THE EFFECT OF FOUR SPECIES  
OF SPIDERS ON THE WHITE-BACKED RICE PLANTHOPPER

Wu Jincai

Shen Binbin

Pang Xiongfei

(Insect Ecology Laboratory)

## ABSTRACT

A mathematical model of the preying of four species of spiders, *Odothorax insecticeps*, *Pirata subpiraticus*, *Clubiona japonicola* and *Bianar hotingchlechi* on the white-backed rice planthopper *Sogatella furcifera* was studied with quadratic regression rotation composite design and reported in the paper. The mathematical model of the preying of the predators on the white-backed planthopper was as follows:

$$Y = 13.1492 + 0.4583x_1 - 0.125x_2 + 0.625x_3 + 1.0417x_4 + 13.9583x_5 \\ - 0.9375x_1x_2 + 0.4375x_1x_3 - 0.0625x_1x_4 + 2.25x_1x_5 + 0.1875x_2x_3 \\ + 0.1875x_2x_4 - 0.3125x_2x_5 - 0.6875x_3x_4 + 0.5625x_3x_5 + 0.0625x_4x_5 \\ + 0.1008x_1^2 - 0.2742x_2^2 + 1.2258x_3^2 + 0.1008x_4^2 + 4.4758x_5^2$$

Furthermore, the response surfaces of interaction between two species of spiders were also studied. It proved that there were interference between species and between individuals of the same species of the four predators.

Key words: Quadratic regression rotation composite design, Response surfaces, Mathematical model