

# 多种群共存系统中天敌对稻纵卷叶螟控制作用的数学模拟

欧壮喆\* 梁广文 庞雄飞

(昆虫生态研究室)

**摘要** 本文应用二次回归旋转组合设计的方法,建立了在拟水狼蛛、拟环纹狼蛛、食虫瘤胸蛛、棕管巢蛛、青翅蚊形隐翅虫及稻纵卷叶螟六个种群共存系统中稻纵卷叶螟各龄幼虫被捕食量的数学模型。检验表明,所建立的五个模型均能较好地模拟稻纵卷叶螟各龄幼虫被捕食量与供试的六个种群之间的关系。文中还应用多年大田系统调查的资料来对模型进行校正。

**关键词** 稻纵卷叶螟; 二次回归旋转组合设计; 数学模型

二次回归旋转组合设计方法是综合了正交试验设计及回归分析法的优点而形成的一种试验设计方法,它一方面可以通过安排较少的试验处理而获得较好的试验结果;另一方面又可以通过试验结果建立各因素与指标之间的回归方程。因此,它是解决多因素试验设计的一个比较好的方法<sup>[1,2,3,6,7]</sup>。吴进才等(1990)、沈斌斌等(1989)曾应用这种方法来探讨多种群共存系统中天敌对害虫的控制作用,得出比较好的结果<sup>[4,5]</sup>。本文也用这种方法来设计试验,以建立在多种群共存系统中捕食性天敌对稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis* Guenee)控制作用的数学模型,为稻纵卷叶螟种群数量的预测及控制提供依据。

## 1 试验方法

选择拟水狼蛛(*Pirata subpiraticus*)、拟环纹狼(*Lycosa pseudoannulata*)、食虫瘤胸蛛(*Oedothorax insecticeps*)、棕管巢蛛(*Clubiona japonicola*)及青翅蚊形隐翅虫(*Paederus fuscipes*)作为捕食性天敌的代表。供试五种天敌均采自稻田,不需饥饿即用于试验。供试的稻纵卷叶螟幼虫由室内饲养获得。

试验在室内笼罩条件下进行。选用口径为22cm的陶钵,每钵栽4科水稻,品种为感虫的特青。试验时罩上透明塑料筒,按二次回归旋转组合设计的结构矩阵表接入一定数量的稻纵卷叶螟幼虫及供试天敌,用沙布扎口。每次试验的时间与卷叶螟各龄幼虫的历期相等。在卷叶螟第一及第二世代发生期各进行一次试验,结果取两次试验结果的平均值。

试验采用六因子(1/4实施)二次回归通用旋转组合设计,因子水平及编码值见表1,表中数字为每科水稻上卷叶螟幼虫及天敌头数。

稻纵卷叶螟一至五龄幼虫的密度 $P_i$ 与其编码值 $X_i$ 的关系为:

\* 现在广州市农业局植保总站工作。  
1992-06-05 收稿

$$X_i = (P_i - 3.75) / 1.25 \quad (i=1, 2, 3, 4, 5)$$

各种捕食性天敌的密度  $P_j$  与其编码值  $X_j$  的关系为:

$$X_j = (P_j - 0.50) / 0.25 \quad (j=6, 7, 8, 9, 10)$$

表1 六因子 (1/4 实施) 试验因子水平及编码值表

编码值	稻纵卷叶螟一至五龄幼虫 $X_{1-5}$	拟环纹狼蛛 $X_6$	食虫瘤胸蛛 $X_7$	棕管巢蛛 $X_8$	拟水狼蛛 $X_9$	青翅蚊形隐翅虫 $X_{10}$
-2	1.25	0	0	0	0	0
-1	2.50	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0	3.75	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
1	5.00	0.75	0.75	0.75	0.75	
2	6.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
变化区间 ( $\Delta$ )	1.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

## 2 结果

### 2.1 模型的建立

本文分别进行了稻纵卷叶螟一至五龄幼虫与供试五种天敌的笼罩试验, 试验的结构矩阵和结果见表2, 表中的  $Y_i$  分别表示稻纵卷叶螟第  $i$  龄幼虫的被捕食量。按二次回归通用旋转组合设计的回归系数计算公式求得在多种群共存系统中稻纵卷叶螟各龄幼虫被捕食量的数学模型。该模型的通用形式为:

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j X_j + \sum_{i < j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{j=1}^p b_{jj} X_j^2$$

式中:  $Y$  为试验结果的估计值,  $X_i$ 、 $X_j$  为供试因子的编码值,

$P$  为供因子数,

$b_0$  为零次项系数,

$b_j$  为一次项系数,

$b_{ij}$  为交互项系数,

$b_{jj}$  为二次项系数。

以  $X_{1-5}$  表示稻纵卷叶螟 1—5 龄幼虫密度编码值,  $X_6$  表示拟环纹狼蛛、 $X_7$  表示食虫瘤胸蛛、 $X_8$  表示棕管巢蛛、 $X_9$  表示拟水狼蛛、 $X_{10}$  表示青翅蚊形隐翅虫密度的编码值, 则稻纵卷叶螟各龄幼虫被捕食的模型为:

表2 六因子(1/4实施)试验结构矩阵及结果(广东阳江海陵1990, 4~6)

试验号	X <sub>0</sub>	X <sub>1,5</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	各龄幼虫被捕食量(头/科)				
								Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.75	1.00	1.25	0.25	0.75
2	1	-1	-1	-1	1	1	1	2.25	1.50	1.25	0.25	0.75
3	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1.50	1.25	0.75	1.00	1.00
4	1	-1	-1	1	1	1	-1	0.75	1.25	1.75	0.50	1.50
5	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1.25	1.25	0.50	0.75	1.25
6	1	-1	1	-1	1	-1	1	2.25	2.25	2.25	0.75	1.00
7	1	-1	1	1	-1	1	1	2.00	2.00	0.75	1.00	2.00
8	1	-1	1	1	1	-1	-1	1.50	0.75	1.50	1.25	1.75
9	1	1	-1	-1	-1	1	1	3.00	2.50	1.00	2.50	2.00
10	1	1	-1	-1	1	-1	-1	2.00	2.25	2.00	1.75	2.00
11	1	1	-1	1	-1	1	-1	2.50	3.00	1.75	3.25	3.00
12	1	1	-1	1	1	-1	1	3.00	3.50	1.25	2.75	2.00
13	1	1	1	-1	-1	-1	1	2.25	3.25	2.25	2.25	3.25
14	1	1	1	-1	1	1	-1	3.00	3.25	1.25	3.25	2.75
15	1	1	1	1	-1	-1	-1	2.50	3.00	1.25	1.75	2.25
16	1	1	1	1	1	1	1	2.75	4.25	2.25	2.50	3.50
17	1	-2	0	0	0	0	0	1.25	1.25	0.25	0.50	0.75
18	1	2	0	0	0	0	0	3.50	4.50	3.00	4.00	3.75
19	1	0	-2	0	0	0	0	2.00	2.00	2.50	1.00	1.50
20	1	0	2	0	0	0	0	1.75	2.25	3.00	2.25	1.75
21	1	0	0	-2	0	0	0	1.50	1.75	1.25	1.50	1.00
22	1	0	0	2	0	0	0	2.00	2.50	1.75	1.75	1.25
23	1	0	0	0	-2	0	0	1.25	1.25	2.25	1.25	1.25
24	1	0	0	0	2	0	0	2.25	2.75	1.50	2.00	2.00
25	1	0	0	0	0	-2	0	1.75	0.50	1.50	1.50	1.25
26	1	0	0	0	0	2	0	2.75	2.50	1.75	2.50	2.00
27	1	0	0	0	0	0	-2	2.25	2.25	0.75	1.25	1.50
28	1	0	0	0	0	0	2	2.75	2.25	1.25	2.25	2.25
29	1	0	0	0	0	0	0	1.25	2.25	1.25	1.25	1.25
30	1	0	0	0	0	0	0	1.00	2.00	0.75	1.25	1.50
31	1	0	0	0	0	0	0	1.00	2.00	0.50	0.75	1.00
32	1	0	0	0	0	0	0	1.50	1.75	0.75	1.25	1.25

$$\hat{Y}_1 = 1.3688 + 0.5521X_1 + 0.0521X_2 + 0.0313X_3 + 0.1563X_4 + 0.1563X_5 + 0.2396X_{10} - 0.1094X_1X_2 + 0.0781X_1X_3 - 0.0469X_1X_4 + 0.0781X_1X_5 - 0.1719X_1X_{10} + 0.0156X_2X_3 + 0.0781X_2X_4 - 0.0469X_2X_5 - 0.1719X_2X_{10} - 0.1719X_3X_4 - 0.1719X_3X_5 - 0.0469X_3X_{10} - 0.1094X_4X_5 + 0.0781X_4X_{10} + 0.0156X_5X_{10} + 0.2063X_1^2 + 0.0813X_2^2 + 0.0500X_3^2 + 0.0500X_4^2 + 0.1750X_5^2 + 0.2375X_{10}^2 \quad (1)$$

$$\hat{Y}_2 = 2.0313 + 0.8438X_2 + 0.1771X_3 + 0.1354X_4 + 0.1146X_5 + 0.2396X_6 + 0.1979X_{10} + 0.0781X_2X_3 + 0.2031X_2X_4 + 0.0781X_2X_5 + 0.0156X_2X_6 - 0.0469X_2X_{10} - 0.1094X_3X_4 + 0.0156X_3X_5 + 0.0781X_3X_6 + 0.1406X_3X_{10} - 0.0469X_4X_5 + 0.1406X_4X_6 + 0.0781X_4X_{10} + 0.0781X_5X_6 + 0.2031X_5X_{10} - 0.1094X_6X_{10} + 0.2031X_2^2 + 0.0156X_3^2 + 0.0156X_4^2 + 0.1094X_5^2 - 0.1406X_6^2 + 0.0469X_{10}^2 \quad (2)$$

$$\hat{Y}_3 = 1.0625 + 0.3542X_3 + 0.0833X_4 + 0.0208X_7 + 0.1875X_8 - 0.0625X_9 + 0.0625X_{10} + 0.0625X_1X_3 + 0.0313X_1X_7 - 0.1875X_1X_8 + 0.0625X_1X_9 + 0.0313X_1X_{10} - 0.0313X_{17} + 0.0625X_2X_8 - 0.1875X_2X_9 + 0.3438X_2X_{10} + 0.0313X_7X_8 + 0.3438X_7X_9 - 0.1875X_7X_{10} + 0.0625X_8X_9 + 0.0313X_8X_{10} - 0.0313X_9X_{10} + 0.0781X_1^2 + 0.3594X_1^3 + 0.0469X_1^4 + 0.0156X_1^5 + 0.0781X_1^6 - 0.0781X_1^7 \quad (3)$$

$$\hat{Y}_4 = 1.3438 + 0.8854X_1 + 0.1563X_3 + 0.1146X_7 + 0.0729X_8 + 0.1771X_9 + 0.0938X_{10} - 0.1406X_1X_3 - 0.0781X_1X_7 + 0.0469X_1X_8 + 0.2344X_1X_9 - 0.0156X_1X_{10} - 0.2031X_2X_3 + 0.2344X_2X_8 + 0.0469X_2X_9 - 0.0781X_2X_{10} - 0.0156X_7X_8 - 0.0781X_7X_9 + 0.0469X_7X_{10} - 0.1406X_8X_9 - 0.0781X_8X_{10} - 0.2031X_9X_{10} + 0.1719X_1^2 + 0.0156X_1^3 + 0.0156X_1^4 + 0.0156X_1^5 + 0.1094X_1^6 + 0.0469X_1^7 \quad (4)$$

$$\hat{Y}_5 = 1.2438 + 0.6979X_3 + 0.2188X_4 + 0.1563X_7 + 0.0521X_8 + 0.1771X_9 + 0.0729X_{10} + 0.0469X_1X_3 - 0.1094X_1X_7 - 0.0156X_1X_8 + 0.0469X_1X_9 + 0.0781X_1X_{10} - 0.0469X_2X_7 - 0.0469X_2X_8 - 0.0156X_2X_9 + 0.2031X_2X_{10} + 0.0781X_7X_8 + 0.2031X_7X_9 - 0.0156X_7X_{10} + 0.0469X_8X_9 - 0.1094X_8X_{10} - 0.0469X_9X_{10} + 0.2531X_1^2 + 0.0969X_1^3 - 0.0281X_1^4 + 0.0969X_1^5 + 0.0969X_1^6 + 0.1594X_1^7 \quad (5)$$

上述模型中,  $\hat{Y}_1$ 、 $\hat{Y}_2$ 、 $\hat{Y}_3$ 、 $\hat{Y}_4$ 、 $\hat{Y}_5$ 分别为稻纵卷叶螟一至五龄幼虫被捕食量的模型估计值,五个模型的失拟性检验及显著性检验见表3。

从表3看出,失拟性检验均不显著(5%水平),说明五个模型都不存在失拟因素;显著性检验均显著或极显著,说明五个模型能够较好地模拟稻纵卷叶螟一至五龄幼虫被捕食量与供试的六个种群之间的关系。

表3 稻纵卷叶螟各龄幼虫被捕食量数学模型的F检验

模型编号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
失拟性检验					
$F_1(1, 3)$	1.296	2.571	1.265	2.381	6.095
显著性检验					
$F_2(27, 4)$	9.381*	16.672**	5.009(*)	11.536*	7.547*

注: (\*) 10%显著水平; \* 5%显著水平; \*\* 1%显著水平

## 2.2 模型的校正

模型(1)至(5)都是基于室内笼罩试验的结果建立的,因而模型的模拟结果与大田的实际情况之间存在一定的误差。本文采用多年的大田系统调查资料来对所建立的模型进行了校正。校正的方法是用模型计算出的捕食量估计值与大田调查到的实际捕食量作比较,给出一个校正系数K,用多年调查资料校正则得出平均校正系数 $\bar{K}$ ,校正后的模型则为: $\hat{Y}_i = \bar{K}\hat{Y}_i$ ,其中 $\hat{Y}_i$ 及 $\hat{Y}_i$ 分别为原模型及校正后的模型的捕食量估计值,各模型的平均校正系数见表4。

表4 模型的校正系数

模型编号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
校正系数 $\bar{K}$	2.0434	0.5158	0.7088	0.8960	0.0425

## 3 结论与讨论

本文应用二次回归旋转组合设计的方法来建立了在六个种群共存系统中五种捕食性天敌对稻纵卷叶螟各龄虫捕食作用的数学模型,并用多年的大田调查资料来对模型进行校正。

这样,我们就可以从调查到的捕食性天敌及稻纵卷叶螟幼虫的密度推算出其被捕食量。因此,本文所建立的模型可以用于稻纵卷叶螟种群数量的预测,这方面的内容将在以后的文章中继续讨论。

值得注意的是,通过二次回归旋转组合设计方法建立的模型,当各因子的编码值落在 $-1$ 和 $+1$ 之间时,模型的模拟效果相当好,超过这个范围,误差将会增大。因此,在运用这类模型时,应力求使各因子的编码值落在 $-1$ 至 $+1$ 之间。为达到这个目的,我们采用扩大取样单位的办法,即取10科或更多科水稻作为一个取样单位。这样的处理方法从理论上说是行得通的,问题是如何减少由此而引起的“空间异质性的误差。我们认为,通过用大田调查资料来对模型进行校正,这种误差可以减少。

#### THE MATHEMATICAL MODELS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE PREDATORS ON RICE LEAF ROLLER IN SEVERAL POPULATIONS SYSTEMS

Ou Zhuangzhe Liang Guangwen Pang Xiongfei

(Insect Ecology Laboratory)

**Abstract** By means of rotation composite design of quadratic regression, 5 mathematical models were constructed in the present paper to study the relationship between the preyed numbers of the rice leaf roller and its predators. The models had also been corrected with several years data investigated in the paddy field. According to these models, the preyed numbers of the rice leaf roller could be estimated by its densities and each predator. Therefore they could be used to forecast the population dynamics of the rice leaf roller.

**Key words** *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee; Rotation composite design of quadratic regression; Mathematical model