

水稻-二化螟系统模型研究*

陈斌 吴蔚文 蒋书楠

(西南农业大学植保系, 重庆, 630716)

摘要 选影响水稻-二化螟系统产量输出的主要环境要素: 氮肥、磷肥、栽插密度、二化螟卵量和幼虫入侵时的叶龄, 设计5因子5水平的二次正交旋转组合设计试验。建立了各要素与产量关系的数学模型: $Y_T = 0.863 - 6.77x_1 - 4.47x_2 - 13.15x_3 + 5.92x_1x_2 - 11.36x_1x_3 - 5.86x_1^2 - 8.76x_2^2 - 4.29x_3^2 \pm 0.005$; 虫口主效应对产量损失的预测模型: $Y_L = -13.15x_1 - 11.36x_2x_3 - 4.29x_3^2$ 。通过对数学模型的分析得出在中等肥力田块, $1m^2$ 施纯氮3.75—7.6g和过磷酸钙76g作底肥, 每丛插中苗2株, $1m^2$ 有4.05—8.1个卵时能得到0.825kg/ m^2 以上的高产。也建立了各因素与亩穗数的数学模型, 并进行了分析讨论。

关键词: 水稻, 二化螟, 数学模型。

在水稻-二化螟系统中, 影响输出的主要因素除不可控的天气和土壤外, 氮肥、磷肥、栽插密度、二化螟虫量和蚁螟侵入时间是重要的。二化螟种群数量与稻谷损失的关系, 及水稻群体结构在二化螟防治指标制定的意义等方面已进行过深入研究^[1-2], 但有必要进一步研究这些主要因素对产量的综合影响作用, 以便更好地预报产量估计损失和制定经济防治指标, 指导大田二化螟的防治。

1 材料、方法及结果

1989年在重庆市巴县白市驿设置试验, 供试品种为汕优63号, 一季中稻。冬水田, 肥力中等, 经测定土壤不缺钾, 水源充足, 海拔300m。

采用5因素5水平的二次回归正交旋转组合试验设计。各因素各水平的设置见表1, 每卵块按45头卵计, 粘附方式接入, 接虫期为5d, 在第1、3、5天分别接25%、50%、25%。小区面积为20m², 共36个小区。其设置及考种求得的每平方米产量 y_1 及穗数 y_2 见表2。

表1 各因素各水平设置表

Table 1 The experimental value of five factors at five levels

因素 Factors	水平 Levels				
	-2	-1	0	1	2
氮肥 Nitrogenous fertilizer (pure N g/m ²) x_1	0	3.75	7.5	11.25	15
磷肥(过磷酸钙) Calcium superphosphate (g/m ²) x_2	0	18.75	37.5	56.25	75
插植密度 Density of transplant (seedling/hill) x_3	1	1.5	2	2.5	3
虫量 Insect egg (egg/m ²) x_4	4.05	8.1	12.15	16.2	20.25
接虫叶龄 Egg-setting leafage x_5	7	8	9	10	11

2 结果分析

2.1 产量结果分析

2.1.1 数学模型的建立 由于二次回归正交旋转组合设计具有正交性, 所以其多元二

* 本研究是“七五”国家攻关项目, 周浩东、张绍祥、朱军利、李东同志参加了试验, 谨此致谢。

本文于1991年9月11日收到, 修改稿于1992年10月10日收到。

表 2 小区设置及试验结果
Table 2 Arrangements and results of all plots

试验区号 Plot number	氮肥 Pure N (g/m ²)	过磷酸钙 Calcium superphosphate (g/m ²)	插植密度 Density of transplant (seedling /hill)	卵量 Egg (egg/m ²)	接卵叶龄 Egg-setting leaf age	产量 Yield (kg/m ²)	穗数 Ear (ear/m ²)
1	11.25	56.25	2.5	16.2	10	0.788	303.42
2	11.25	56.25	2.5	8.1	8	0.876	308.57
3	11.25	56.25	1.5	16.2	8	0.796	281.57
4	11.25	56.25	1.5	8.1	10	0.848	285.28
5	11.25	18.75	2.5	16.2	8	0.843	320.13
6	11.25	18.75	2.5	8.1	10	0.790	291.86
7	11.25	18.75	1.5	16.2	10	0.796	281.57
8	11.25	18.75	1.5	8.1	8	0.848	267.42
9	3.75	56.25	2.5	16.2	8	0.799	286.71
10	3.75	56.25	2.5	8.1	10	0.873	308.57
11	3.75	56.25	1.5	16.2	10	0.791	272.57
12	3.75	56.25	1.5	8.1	8	0.910	228.00
13	3.75	18.75	2.5	16.2	10	0.780	281.57
14	3.75	18.75	2.5	8.1	8	0.841	316.00
15	3.75	18.75	1.5	16.2	8	0.863	236.28
16	3.75	18.75	1.5	8.1	10	0.862	253.28
17	15	37.5	2.0	12.15	9	0.795	300.86
18	0	37.5	2.0	12.15	9	0.849	278.18
19	7.5	75	2.0	12.15	9	0.862	298.28
20	7.5	0	2.0	12.15	9	0.854	279.00
21	7.5	37.5	3.0	12.15	9	0.862	312.42
22	7.5	37.5	1.0	12.15	9	0.844	226.278
23	7.5	37.5	2.0	20.25	9	0.811	284.13
24	7.5	37.5	2.0	4.05	9	0.852	284.13
25	7.5	37.5	2.0	12.15	11	0.890	282.86
26	7.5	37.5	2.0	12.15	7	0.838	263.67
27	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.865	285.42
28	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.881	272.57
29	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.840	257.13
30	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.879	322.2
31	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.885	281.67
32	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.875	338.13
33	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.824	261.00
34	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.861	281.57
35	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.832	250.71
36	7.5	37.5	2.0	12.15	9	0.775	299.57

次回归方程的各偏回归系数可以根据其结构矩阵直接求得^[3-4], 即: $b_i = \sum_{k=1}^{36} x_{ik} y_k /$

$\sum_{k=1}^{36} x_{ik} y_k^2$, x_{ik} 是第*i*项偏回归系数第*k*试验区号的水平值, y_k 为其对应的产量, 所得各值见

表 3, 常数项 $b_0 = \Sigma xy / \Sigma x = 0.853$ 。产量预测模型为:

$$\begin{aligned}
 Y_r = & 0.853 - 6.77x_1 + 2.02x_2 - 4.47x_3 - 13.15x_4 - 4x_5 + 0.21x_1x_2 \\
 & + 5.92x_1x_3 + 4.79x_1x_4 - 1.37x_1x_5 + 4.42x_2x_3 - 11.36x_2x_4 \\
 & + 3.54x_2x_5 + 2.12x_3x_4 - 0.3x_3x_5 - 1.93x_4x_5 - 5.85x_1^2 \\
 & + 0.11x_2^2 - 3.76x_3^2 - 4.29x_4^2 + 1.09x_5^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

方程各项的偏回归平方和 $SS = (\sum xy)^2 / \sum x^2$, 从而求得各均方 MS 及 F 值, 总和、回归、剩余平方和分别为 $SS_T = \sum_{i=1}^{86} (y_i - \bar{y})^2 = 19378.22$, $SS_R = \sum_{i=1}^{20} SS_i = 12053.33$, $SS_s = SS_T - SS_R = 7324.89$, 概列于表 3。

表 3 产量模型的各偏回归系数及方差分析表

Table 3 Partial regression coefficient and variance analysis of yield model

变异来源 Source of variance		偏回归系数 b_i Partial regression coefficient	平方和 Sum square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F
一次项 Main effect	x_1	-6.77	1100.13	1	1100.13	2.25
	x_2	2.02	98.05	1	98.05	0.2
	x_3	-4.47	478.74	1	478.74	0.98
	x_4	-13.15	4148.19	1	4148.19	8.49
	x_5	-4	384.48	1	384.48	0.79
交互作用项 Interaction	x_1x_2	0.211	0.72	1	0.72	0.001
	x_1x_3	5.92	561.41	1	561.41	1.15
	x_1x_4	4.79	367.45	1	367.45	0.75
	x_1x_5	-1.37	20.87	1	20.87	0.06
	x_2x_3	4.42	312.62	1	312.62	0.64
	x_2x_4	-11.36	2066.12	1	2066.12	4.23
	x_2x_5	3.54	200.17	1	200.17	0.41
	x_3x_4	2.12	71.87	1	71.87	0.15
	x_3x_5	-0.29	1.44	1	1.44	0.003
	x_4x_5	-1.93	59.61	1	59.61	0.12
二次项 Square of main effect	x_1^2	-5.85	1094.43	1	1094.43	2.24
	x_2^2	0.11	0.41	1	0.41	0.001
	x_3^2	-3.76	451.33	1	451.33	0.92
	x_4^2	-4.29	588.25	1	588.25	1.20
	x_5^2	1.09	38.03	1	38.03	0.08
回归 Regression			12053.33	20	602.67	1.23
剩余 Spare	失拟 Not regressioned		2152.29	6	358.72	0.74
	误差 error		5172.6	9	574.7	
总变异 Total variance			19378.22	35		

本试验在中心点做了 $m=10$ 次试验, 由此求得误差平方和 $SS_E = \sum_{i=1}^m (y_{0i} - \bar{y}_0)^2 = 5172.6$, 所以失拟平方和 $SS_{Lf} = SS_s - SS_E = 2152.29$ 。由于失拟 F 值 $F_N = \frac{SS_{Lf}/df_{Lf}}{SS_E/df_E} = 0.74 < F_{0.05(6,9)} = 3.37$, 说明回归方程对试验点的拟合程度比较好, 对产量影响的主要因

子均已考虑。

由于回归的 F 值 $F_R = 1.23 < F_{0.05[20,13]} = 2.33$, 说明数学模型的拟合程度不太好, 可能是部分项对产量无显著影响造成。对各偏回归系数进行 F 测验, 结果有 x_1 、 x_4 、 x_2x_4 和 x_1^2 项显著。通过淘汰一些极不显著的项, 重新得到方差分析表4。

表4 产量模型的各偏回归系数及方差分析表

Table 4 Partial regression coefficient and variance analysis of yield model

变异来源 Source of variance		偏回归系数 b_i Partial regression coefficient	平方和 Sum square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F
一次项 Main effect	x_1	-6.77	1100.13	1	1100.13	3.38
	x_3	-4.47	478.74	1	478.74	1.47
	x_4	-13.15	4148.19	1	4148.19	12.74
	x_5	-4	384.48	1	384.48	1.18
交互作用项 Interaction	x_1x_3	5.92	561.41	1	561.41	1.72
	x_1x_4	4.79	367.45	1	367.45	1.13
	x_2x_4	-11.36	2066.16	1	2066.16	6.36
二次项 Square of main effect	x_1^2	-5.85	1094.43	1	1094.43	3.36
	x_3^2	-3.76	451.33	1	451.33	1.39
	x_4^2	-4.29	588.25	1	588.25	1.81
回归 Regression			11240.56	10	1124.06	3.45
剩余 Spare			8137.67	25	325.51	
总变异 Total			19378.22	35		

经 F 测验, 表4中 F_R 在 $\alpha = 0.01$ 水平达到极显著, 说明数学模型的拟合程度好, 各项对产量的影响显著。 x_4 、 x_2x_4 项分别在 $\alpha = 0.005$ 、 0.01 水平达到极显著, 其余各项的 F 值都大于1, 在 $\alpha = 0.05$ 水平达到显著或接近显著。考虑该试验的误差较大, 也便于分析各因素对产量的影响, 将它们全部保留于模型中。 x_2 的一次项及二次项均未达到显著水平, 说明过磷酸钙的影响小, 只是通过与其它因素的交互作用对产量起作用, 该试验田含磷量也较高。

复决定系数 $R^2 = SS_R/SS_T = 0.58$, 复相关系数 $R = 0.76$ 。说明各试验因子的变异对试验结果的影响占试验结果总变异的58%。经复相关系数测验 $R = 0.76 > R_{0.01[5,36]} = 0.626$, 可知各因子与水稻产量的关系密切程度达到极显著水平。

由此可得极显著的回归方程:

$$Y_T = 0.853 - 6.77x_1 - 4.47x_3 - 13.15x_4 - 4x_5 + 5.92x_1x_3 \\ + 4.79x_1x_4 - 11.37x_2x_4 - 5.85x_1^2 - 3.76x_3^2 - 4.29x_4^2 \quad (2)$$

令 x'_i 、 D_i 和 L_i 分别为第 i 因子各水平的试验实际值、水平差及在-2水平时的实际值, 那么 $x'_i = (2 + x_i)D_i + L_i$, 得 $(x_i = x'_i - 2D_i - L_i)/D_i$ 代入方程(2), 求得各因子实际值的产量预测模型:

$$Y_T = 0.836 - 3.213x'_1 + 28.904x'_3 + 0.029x'_4 - 1/3x'_5 + 1.776x'_1x'_3 \\ + 0.001x'_1x'_4 - 0.001x'_3x'_4 - 0.133x'^2_1 - 15.04x'^2_3 - 0.001x'^2_4 \quad (3)$$

或进一步提高方程(2)的偏回归系数 F 检验值得到模型($F_R = 3.98 > F_{0.01(8,27)} = 3.26$):

$$Y_T = 0.853 - 6.77x_1 - 4.47x_2 - 13.15x_4 + 5.92x_1x_2 - 11.36x_2x_4 - 5.85x_1^2 - 3.76x_2^2 - 4.29x_4^2 \pm 0.005 \quad (4)$$

由(4)式作主效应分析求得因虫口对产量的损失预测模型:

$$Y_L = -13.15x_4 - 11.36x_2x_4 - 4.29x_4^2$$

2.1.2 数学模型的建立 因为其正交性, 所以可以采用降维方法固定 4 个因子于零水平, 获得某个因素与产量关系的数学模型, 以考察该因子取不同值时产量的变化规律。通过降维方法从方程(2)得到 4 个主效显著因子与产量的函数关系如下:

$$Y_{x_1} = 0.853 - 6.77x_1 - 5.85x_1^2$$

$$Y_{x_2} = 0.853 - 4.47x_2 - 3.76x_2^2$$

$$Y_{x_4} = 0.853 - 13.15x_4 - 4.29x_4^2$$

$$Y_{x_5} = 0.853 - 4x_5$$

据此, 可以作出 4 个因子与产量的关系图, 见图 1。对前 3 个函数求导并令其等于 0:

$$Y_{x_1}' = -6.77 - 11.7x_1 = 0$$

$$Y_{x_2}' = -4.47 - 7.52x_2 = 0$$

$$Y_{x_4}' = -13.15 - 8.58x_4 = 0$$

解方程组求得极值点: $x_1(-0.597, 0.856)$, $x_2(-0.594, 0.855)$, $x_4(-1.533, 0.868)$ 。

从图 1 可知, 对于主效应, 接卵量对水稻产量的影响非常明显, 在 -1.533 水平, 即 1m^2 有 5.974 个卵时, 达到最高产量 $0.868\text{kg}/\text{m}^2$, 大于此量减产明显, 也可以从方程的 x_4^2 的系数 -4.29 达到极显著水平予以说明。但本试验未考虑卵寄生蜂, 达到最高产量的卵量一部分可能对产量有利, 另一部分可能被寄生蜂所破坏。接卵叶龄(x_5)的二次项不显著, 一次项显著, 说明它与产量呈负相关, 等量的卵越发生在大的叶龄越不利于高产。从本试验看, 第 6—7 叶龄的卵在 9—10 叶龄才能造成枯鞘, 12—14 叶龄才造成枯心, 这些时期正值分蘖盛期, 少量的虫口反而有利产量。这与我们在《模拟螟害对水稻产量影响研究》的结果“水稻 12—14 叶龄 1%—2% 的模拟枯心会提高产量, 9—15 叶龄分别受害 8%、20%、20%、12%、8%、4%、1% 才显著减产”一致^[6], 进一步说明虫口少反而增产, 只有在一定的叶龄达到一定的虫口基数才会显著减产。

施氮肥从单效应看, 在 -0.579 水平即 5.34g 纯氮/ m^2 时产量达到最高为 $0.856\text{kg}/\text{m}^2$ 。大于或小于此量减产明显, 表现在曲线的斜率大。因此, 在水稻的施肥中要注意氮量的控制, 超过一定的量会适得其反。栽插密度以 -0.594 水平, 1.7 株/丛为最好, 达到最高产量 $0.855\text{kg}/\text{m}^2$, 大于此有一定的减产作用。在本试验中, 由于试验田不缺磷肥, 因此磷肥对产量的影响不显著。

2.2 穗数结果分析

2.2.1 数学模型的建立 根据其结构矩阵及试验结果求得回归方程, 然后逐渐淘汰偏回归系数不显著的项, 从而有:

$$Y_R = 285 + 0.454x_1 + 1.489x_2 + 0.455x_1x_4 - 0.498x_1x_5 - 0.509x_2x_4 \quad (5)$$

方差分析的各项见表 5, 在表 5 中, $F_R = 9.526 > F_{0.005(5,30)}$, 达到极显著水平, 所以数学模型的拟合极好。偏回归系数的 F 测验分别达极显著、显著或接近显著。经 R 测验各因子与亩

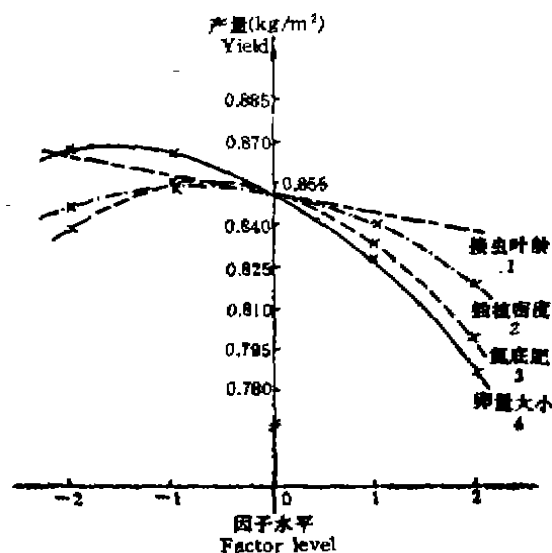


图1 氮肥、栽插密度、虫口、接卵叶龄主效应分析

Fig.1 Main effect analysis of nitrogenous fertilizer, density of transplant egg amount and egg-setting leafage

1. Leaf age 2. Density 3. N fertilizer 4. Egg amount

表5 穗数模型的各偏回归系数及方差分析表

Table 5 Partial regression coefficient and variance analysis of ear model

变异来源 Source of variance		偏回归系数 b_i Partial regression coefficient	平方和 Sum square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F
一次项 Main effect	x_1	0.464	4.938	1	4.938	3.379
	x_2	1.489	52.234	1	52.234	38.429
交互作用项 Interaction	x_1x_2	0.456	3.318	1	3.318	2.270
	x_1x_3	-0.498	3.970	1	3.970	2.717
	x_2x_3	-0.509	4.416	1	4.416	2.837
回归 Regression			69.606	6	11.601	9.628
剩余 Spare			43.840	30	1.461	
总变异 Total			113.445	35		

穗的相关程度达极显著水平。

令 x'_i 、 D_i 和 L_i 分别为第 i 因子各水平的实验实际值、实际值等差和 -2 水平时的实际值, 那么 $x'_i = (2 + x_i)D_i + L_i$, 将 $x_i = \frac{x'_i - 2D_i - L_i}{D_i}$ 代入方程 (5), 得到各因子实际值每平方米穗数的数学模型:

$$Y_s = 0.79 + 0.921x'_1 + 3.352x'_2 + 0.001x'_3 + x'_4 + 0.001x'_1x'_2 - 0.15x'_1x'_3 - 0.001x'_2x'_3 \quad (6)$$

2.2.2 数学模型的分析 由于二次回归正交旋转组合设计具有正交性, 各变异来源之间相互独立, 所以各因子对穗数的影响可直接根据其偏回归系数进行分析。在方程 (5) 中, 一次

项只有 x_1 和 x_3 , 其系数为 0.454, 1.498, 说明影响穗数的主要是氮肥和基本苗, 并且起正的作用。过磷酸钙对亩穗几乎无影响, 虫口和发生期主要是通过其和氮肥和基本苗的交互作用影响穗数。当各因子取零水平时, 穗数为 285 穗/ m^2 。对方程 (5) 求偏导数并令其等于 0:

$$\begin{cases} \frac{\partial Y_E}{\partial x_1} = 0.454 + 0.455x_1 - 0.498x_3 = 0 \\ \frac{\partial Y_E}{\partial x_2} = 1.489 - 0.509x_4 = 0 \\ \frac{\partial Y_E}{\partial x_4} = 0.455x_1 - 0.509x_3 = 0 \\ \frac{\partial Y_E}{\partial x_5} = -0.498x_1 = 0 \end{cases}$$

解方程组得 $x_1 = 0$ 、 $x_3 = 0$ 、 $x_4 = 2.925$ 、 $x_5 = 2.218$ 时, 在理论上可以获得最多穗 285 穗/ m^2 。

3 讨 论

上述分析表明, 该试验的 5 个因子除磷肥外都是影响产量的重要因子, 与产量关系密切程度达到极显著水平, 各因子的变异对试验结果的影响占试验结果总变异的 58%。各因子实际值 x'_i 与产量关系的数学模型为:

$$Y_T = 0.836 - 3.123x'_1 + 28.904x'_3 + 0.029x'_4 - 4x'_5 + 1.776x'_1x'_3 + 0.001x'_1x'_4 - 0.001x'_2x'_4 - 0.133x'^2_1 - 15.04x'^2_3 - 0.001x'^2_4$$

从各因子的主效应看, 接卵量、氮肥、基本苗对产量影响大 (见图 1), 它们都有一个最适量, 大于或小于此都有不同程度的减产。对于接卵量, $1m^2$ 5.974 个卵达到最高产量 (0.868kg/ m^2), 这与过去的结论一致, 少量的危害可以消灭无效苗、稳定穗数、较好地转移营养入籽粒, 具有增产效果, 一定叶龄超过一定量会使产量骤减。但该试验未估计卵寄生率, 最适卵量应包括寄生破坏的部分。氮肥以 5.34g/ m^2 为佳, 能达到最高产量 0.855kg/ m^2 。接卵叶龄与产量呈负相关趋势, 6、7 叶龄的卵在 10—14 叶龄形成枯心, 此时正值水稻分蘖盛期, 对产量几乎不造成多大危害。过磷酸钙的主效对产量影响不显著是符合生产实际的, 看来在试验田不缺磷, 它们都是通过与其它因子的互作影响产量。

通过数学模型的分析得出在中等肥力田块, 每平方米施纯氮 3.75—7.5g 和过磷酸钙 75g 作底肥, 每丛插中苗 2 株, 每 m^2 有 4.05—8.1 个卵时能得到 0.825kg/ m^2 以上的高产。

试验各因子也同样是影响穗数的重要因子, 其变异对试验结果的影响占试验总变异的 61.4%, 其实际值 x'_i 与穗数的数学模型为:

$$Y_E = 0.79 + 0.921x'_1 + 3.352x'_3 + 0.001x'_4 + x'_5 + 0.001x'_1x'_4 - 0.15x'_1x'_5 - 0.001x'_3x'_4$$

氮肥和基本苗是影响穗数的最关键因子, 并且起正的作用。过磷酸钙对穗数几乎无影响。虫口及发生期主要是通过其和氮肥和基本苗的交互作用影响穗数。在理论上, $x'_1 = 7.5$ g 纯氮/ m^2 , $x'_3 = 2$ 株/丛时达到最高穗数 285 穗/ m^2 。

该试验是将栽培和螟害因素结合起来建立产量预测模型的初步尝试。一季中稻可遭受二化螟 1—2 代的侵害, 第 2 代的虫口主要受第 1 代的制约, 本文只建立了第 1 代与产量和穗

数的关系,并且未考虑卵的寄生率;同时误差较大,未控因子的变异对试验结果的影响还占试验结果总变异的42%,说明了回归的局限性,因此尚需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 蒋书楠等,二化螟种群数量及为害量与稻谷损失量关系的研究,西南农业大学学报,1988,4(4):1—11
- [2] 吴蔚文,水稻群体结构在探讨二化螟防治指标上的重要意义,西南农业大学学报,1986,3(4):72—77
- [3] 朱志强,钱晓刚,数学模型的建立及分析,贵州农业科学,1988,(5):59—64
- [4] 韩 宁,微机与农业系统工程应用软件,山东科学技术出版社,1987,339—352
- [5] 陈 斌等,模拟螟害对水稻产量影响的研究,植物保护学报,1992,19(4):309—315
- [6] 陈 斌等,二化螟为害水稻产量损失预测模型研究,植物保护学报,1993,20(1):1—6

MODEL FOR THE RELATIONSHIP BETWEEN THE RICE YIELD AND YIELD-AFFECTING FACTORS IN A RICE AND STEMBORER (*CHILO SUPPRESSALIS* WALKER) SYSTEM

Chen Bin Wu Wei-Wen Jiang Shu-Nan
(Department of Plant Protection, Southwest Agricultural University
Chongqing, 630716)

The main environmental factors which can affect the yield of a rice and stemborer (*Chilo suppressalis* Walker) system, including nitrogenous fertilizer (x_1), phosphate fertilizer (x_2), density of transplanted seedling (x_3), density of insect eggs (x_4) and damage period (x_5), were selected to carry out the experiments, based on an orthogonal and rotational design of quadratic regression at five different levels, in Baishiyi, Chongqing, in 1988. This has led to establishing two mathematical models: one for the relationship between the rice yield (Y_r) and the above factors, $Y_r = 0.853 - 6.77 x_1 - 4.47 x_2 - 13.15 x_3 + 5.92 x_4 x_5 - 11.36 x_1 x_2 - 5.85 x_1^2 - 3.76 x_2^2 - 4.29 x_3^2 \pm 0.005$, and one for the relationship between the yield loss (Y_L) and x_4 , $Y_L = -13.15 x_4 - 11.36 x_1 x_4 - 4.29 x_4^2$. The results from an analysis of these models showed that the rice yield can exceed 0.835 kg/m^2 in an average field under the conditions of $3.75\text{--}7.5 \text{ g N/m}^2$ and $75 \text{ g calcium superphosphate/m}^2$ applied as base fertilizers, the density of 2 transplanted seedlings/hill, and the density of $4.05\text{--}8.1$ insect eggs/ m^2 . A model for the relationship between the number of rice ear and the above factors was also established and discussed in detail.

Key words: rice, *Chilo suppressalis* Walker, mathematical model,