

华北棉区药剂防治二代棉铃虫 经济生态学效益分析*

盛承发 丁岩钦 马世骏

(中国科学院动物研究所)

棉铃虫 *Heliothis armigera* (Hübner) 是我国棉区重要害虫。当前迫切需要评价药剂防治棉铃虫的对策。

近年来,借助系统方法和数学模型评价害虫控制对策的报道日益增多。例如Conway等(1975)运用系统方法评价甘蔗沫蝉 (*Aeneolamia uaria saccharina*) 的几种控制对策, Shoemaker等(1979)对于危害橄榄的三种介壳虫和一种病害的三类控制对策的评价, Sutherst等(1979)评价澳大利亚菜牛具环方斗蜱 (*Boophilus microplus*) 的控制对策的报道。

以上对于控制对策的评价,依据经济学上经典的收益——代价分析。它们的组分不超过以下四方面:(1)本次控制增加的直接收益;(2)本次控制的直接费用;(3)这一控制措施的后效所增加的收益;(4)这一控制措施的不利后果引起的损失。组分1、3、4一般很复杂,而且4个组分之间相互关联,定量描述所需的数据难以收集。数据不足则影响了分析结果的可靠性。

这些评价对策的标准,即目标函数,都是经济的,尚缺少生态效益方面的约束条件,因而削弱了模型的实际价值。

本文以河北省饶阳县棉田药剂防治二代棉铃虫为例,提出一个静态的确定性的经济生态学模型,用于评价药剂防治二代棉铃虫的对策。模型包括了上述4个组分。目标函数是经济的,约束条件是生态效益的。在确定棉铃虫密度与其寄主产量间的关系中,检验并采纳了前人所创的人工模仿危害的方法。以期作出客观些的分析。

一、模型的组建

该棉区棉铃虫每年发生四代。第一、四代不防治。6月下旬二代卵进入盛期,主要产于棉田,百株卵量常在100—400粒之间,幼虫危害棉蕾一般甚烈;第二代是重点防治代,防治指标为百株15粒卵或5头以上幼龄幼虫(中国农作物病虫害编辑委员会,1979),实际施药次数一般为1—3次,大量有机磷、有机氯和合成菊酯类农药投入棉田。三代卵,一部分留在

* 本项工作得到河北省衡水地区农科所,饶阳县五公病虫害测报站,五公公社五公大队等单位的大力协助;乔运周、张秀菊、杨月玲等同志参加了部分调查。特此致谢。

棉田，一部分分散到玉米等作物上。对于棉田中的三代棉铃虫，近年来也常施药防治，而玉米上不单治棉铃虫。

近年来，棉花伏蚜严重，其高峰约在二代棉铃虫防治后的2—3周。

我们的总模型选进了5个组分。公式表示如下：

$$cL = L_2 + c_2 + c_a + L_3 + c_3 \quad (1)$$

其中

cL = 种植者防治棉铃虫与伏蚜的总费用和残虫造成的总损失；

L_2 = 二代残虫造成的皮棉经济损失；

c_2 = 药剂防治二代棉铃虫的费用；

c_a = 药剂防治伏蚜的费用；

L_3 = 三代残虫造成的皮棉经济损失；

c_3 = 药剂防治三代棉铃虫的费用。

目标函数：

$$Q = \min\{cL\} \quad (2)$$

约束条件：

$$E_{3R} < 46.68 \quad (3)$$

其中 E_{3R} 为对策容许危害的三代卵量；46.68 为该地近五年来三代平均卵量的60%。Q所对应的二代防治对策为最优对策。

公式(1)的图解表示如图1。

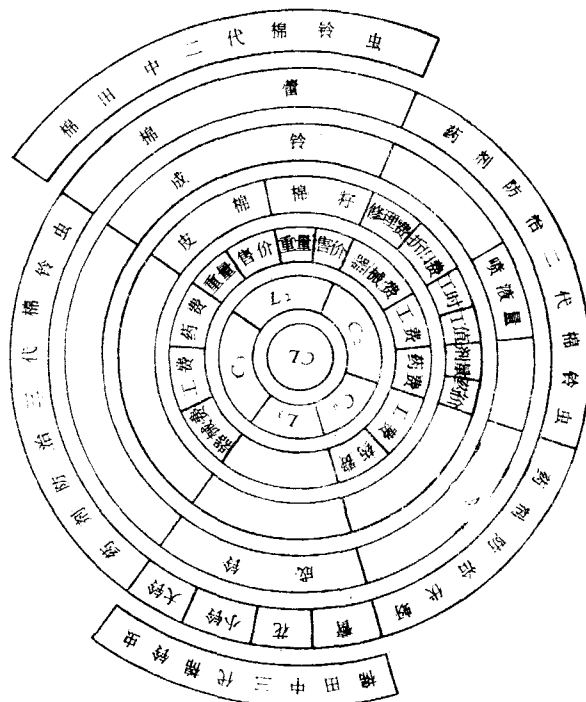


图1 药剂防治二代棉铃虫的经济生态学效益示意图

二、模型组分的定量描述

1. 二代残虫造成的皮棉经济损失

我们采用以下方法估计二代棉铃虫卵量与皮棉经济损失的关系。

1) 二代棉铃虫卵量与被害蕾数关系 由三天一次系统调查得到二代卵量, 由二代自然种群存活率资料 (表 1) (孟文等, 1981) 和各龄幼虫的危害蕾数 (表 2), 假定每头幼虫危害数量与幼虫密度无关, 便可求得被害蕾数 D 与二代卵量 E_2 间的关系式:

$$D = E_2 (\sum n_i d_i) / 903 = 1.0759 E_2$$

其中 n_i 为第 i 龄幼虫个体数, d_i 为第 i 龄幼虫每头危害蕾数。

2) 施药前后被害蕾在棉株上的分布 1980 年在未施药区调查得到表 3 结果, 符合负二项分布 $(p-q)^{-k}$, 参数 $p=1.6$, $k=1.519$ 。假定在不同发生量下被害蕾的分布仍服从负二项分布, $k=x/p$, 并据调查规定 $F_M = \sum_{x=M}^{\infty} F_x$, 其中 M 对于高、中、低肥力地块分别取值为 19、12、8。

表 1

二代棉铃虫自然种群存活率数据

1978—1980 年, 河北省饶阳县五公

发育阶段	幼虫龄期							预蛹
	卵	1	2	3	4	5	6	
起始个体数	903	434	252	162	83	49	40	17

注: 数据引自孟文等(1981)。

表 2

棉铃虫各龄幼虫危害蕾数

1980 年 7 月五公

龄期	1	2	3	4	5	6
观察头数	—	8	9	6	6	6
每头危害蕾数	—	1.4	1.8	2.2	3.5	5.6

表 3

被害蕾数在棉株上的分布

1980 年 7 月五公

每株被害数 x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
株数 F_x	24	17	15	14	14	7	4	2	2	1

施药后, 害虫个体随机死亡, 被害蕾的分布仍看作负二项分布 (Pielou, 1969)。

3) 被害蕾数与皮棉产值关系 我们于 1980、1981 年在该地进行了手摘与接虫咬蕾的

试验。做法是, 7 月上旬左右, 在 2—3 种肥力地块, 单株手摘不同数量的棉蕾, 并设计一次虫咬 8 蕾的处理, 各处理重复 10—50 次 (株), 对比法排列。去蕾后每 7—10 天查一次蕾、花、小铃、大铃及脱落动态, 秋后按成铃数、铃重及衣分计产, 并由饶阳县小堤棉花收购站确定纤维长度、品级和价格。1980 年供试品种为乌干达 3 号, 1981 年高、中肥力地供试品种为衡棉 1 号, 低肥地为乌干达 3 号。试验结果: 成铃数: 高、中肥力地摘蕾株的成铃数均高于对照, 低肥地摘蕾株成铃数与对照差异不显著。铃重: 高、中肥力地摘蕾株比对照分别高 9.06% 和 3.83%, 原因之一是对照株的部分伏前桃和前期伏桃霉烂; 低肥地, 摘蕾株的铃重下降 0.08%。衣分: 高、中肥力地各处理无甚差异, 低肥地摘蕾处理均有一定程度的下降。而纤维长度, 皮棉等级及售价等经济指标, 三种地块的处理与对照均无差异。

在模型操作中, 我们忽略高、中肥力地的摘蕾株与其对照的铃重之差。尽管如此, 此二地块二代摘蕾仍表现出相当增益。

表 4

高肥地二代去蕾试验结果

五公

每株去蕾数 x		0	1	2	4	8	咬 8	12	16	19
每株成铃数	1980 年	15.8	17.3	18.9	16.2	16.3	—	—	—	—
	1981 年	13.8	—	14.1	14.0	14.5	14.4	14.4	16.6	17.0
皮棉亩产 (斤)	1980 年	209.30	229.17	250.37	214.60	215.93	—	—	—	—
	1981 年	137.00	—	139.98	138.99	143.95	142.96	142.96	160.92	168.78
增益- $L(x)$ (元/亩)	1980 年	0.00	43.39	89.68	11.57	14.48	—	—	—	—
	1981 年	0.00	—	5.38	3.60	12.56	10.77	10.77	50.22	57.40

* 咬 8 系接幼虫咬 8 蕾, 其余为手摘数。

表 5

中肥地二代摘蕾试验结果

五公

每株摘蕾数 x		0	2	4	8	12
每株成铃数	1980 年	12.0	12.1	12.1	15.2	—
	1981 年	14.0	14.3	14.1	15.9	15.1
皮棉亩产 (斤)	1980 年	158.96	160.27	160.27	201.35	—
	1981 年	139.07	142.05	140.07	157.95	150.00
增益- $L(x)$ (元/亩)	1980 年	0.00	2.90	2.90	92.45	—
	1981 年	0.00	5.38	1.80	34.11	19.75

表 6

低肥地二代摘蕾试验结果

1981, 五公

每株摘蕾数 x		0	2	4	6	8
每株成铃数		6.6	6.2	6.6	6.5	6.8
皮棉亩产 (斤)		61.50	54.10	59.97	57.89	60.84
经济损失 $L(x)$ (元/亩)		0.00	12.12	2.51	5.91	1.08

高、中、低肥力地各处理的成铃数、皮棉产量及经济损益分别见表 4、5、6。

由表 4 看出, 二代手摘 8 蕾与虫咬 8 蕾产量差异甚小, 因而肯定了人工模仿二代危害棉蕾的方法的有效性。

表 4、5 表明两年的高、中肥力地二代去蕾处理均增益。这一结果得到另外两个试验的支持。第一个试验是 1981 年 7 月上旬在高肥地的植株下部 and 上部分别去 8 蕾, 结果每株成铃数比对照分别增加 2.02 和 2.23 个。第二个试验是 1981 年 7 月 11 日在高、中肥力地摘除植株上全部蕾、花、小铃, 结果每株分别增加成铃 2.8 和 0.6 个。

表 6 表明低肥地二代去蕾表现出一定的经济损失, 主要原因是该地 1981 年 8 月下旬至 9 月下旬降水量 32.9 毫米, 仅为近十年同期平均值的 47.6%, 在没有灌溉的情况下, 植株早衰, 严重影响了植株的补偿力。

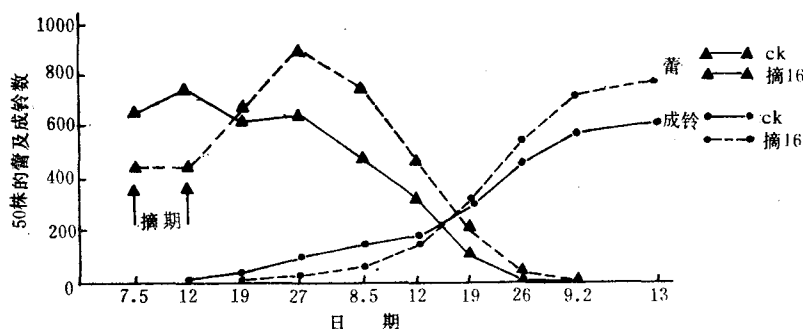


图 2 棉铃虫二代期高肥地每株摘16蕾处理及对照株发育动态

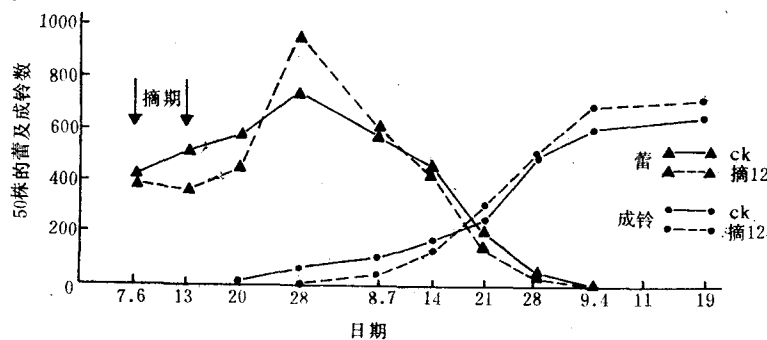


图 3 棉铃虫二代期中肥地每株摘12蕾处理及对照株发育动态

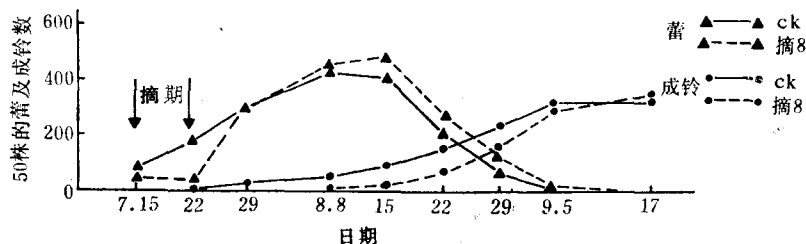


图 4 棉铃虫二代期低肥地每株摘8蕾处理及对照株发育动态

值得指出, 早期摘蕾后, 棉铃吐絮始期推迟。但由图 2、3、4 可以清楚看出, 到 8 月中旬, 高、中肥力地摘蕾株的成铃数就赶上了对照, 因而它们的霜前花的数量亦超过对照。然

而在低肥地,摘蕾株的霜前花的数量却比对照少。

该县 1980 年 7、8 月份雨量为 213.4 毫米,比近十年平均值低 72.7 毫米,而 1981 年 7、8 月雨量比平均值高 220.8 毫米。由此推测,在 7、8 月雨量相当大的变化范围内,该地普遍种植的衡棉 1 号和乌干达 3 号,二代去蕾在高、中肥力地表现出很强的增益倾向;而在低肥地,尤其当后期缺水时,二代去蕾将造成经济损失。

Dunnam 等 (1943) 在研究棉铃象虫的危害中发现,早期摘除全部大于 6—7 日的蕾,6 次试验中籽棉有 3 次增产,3 次减产。Kincade 等 (1970) 报道,在 72 呎长单行中早期摘除 196 蕾和 392 蕾,6 次试验中有一次显著增产,4 次增产不显著,1 次减产不显著。可见棉花对于早期摘蕾的产量反应很不一致。据我们的试验来看,土壤肥水条件的差异可能是引起这种不一致的重要原因。

表 7

早熟品种早期摘蕾试验结果

1981 年

每株摘蕾数	每株成铃数 黑 1 聊 1		单 铃 重 黑 1 聊 1		衣 分 黑 1 聊 1		皮棉亩产 (斤) 黑 1 聊 1	
0	9.5	10.6	4.08	3.53	29.36	26.75	96.33	93.49
4	11.1	10.3	4.62	3.88	28.66	26.70	113.02	90.84
8	11.2	10.5	4.59	3.71	31.00	28.98	114.04	92.61

在我们上述试验中,供试品种衡棉 1 号和乌干达 3 号属陆地棉中熟种,后期长势较强。1981 年我们还在特早熟品种黑山棉 1 号和较早熟品种聊夏棉 1 号上进行了早期摘蕾试验。表 7 的结果表明,黑山棉 1 号摘蕾株比对照株显著增产,而聊夏棉 1 号摘蕾株却略显减产。此二品种播种期 5 月 27 日,摘蕾终止日 7 月 25 日。用以产量补偿的时间,对于聊夏棉 1 号来说是不够的,这是该品种摘蕾后略减产的主要原因。据此二试验结果可以推测,只要补偿的相对时间不短,加上肥水条件较好,在其他品种上早期去蕾,很可能增产。

由上面的讨论,可将二代危害的皮棉经济损失 L_2 与二代卵量 E_2 间的关系归纳如下。

$$D = 1.0759E_2 \quad (4)$$

$$F_x = \frac{(k+x-1)!}{x!(k-1)!} q^{-k-x} p^x \quad (5)$$

其中 $k = D/100p$, $p = 1.6$, 并有

$$F_M = \sum_{x=M}^{\infty} F_x$$

其中 M 对于高、中、低肥力地分别取值为 19, 12, 8。

$$L_2 = \sum_{x=1}^M L(x) \cdot F_x \quad (6)$$

其中 $L(x)$ 由表 4、5、6 给出。

2. 防治二代棉铃虫的直接费用

药剂防治二代棉铃虫的工费和器械费,估得每亩每次为 0.55 元。药费视药剂种类和剂量

而定。这里以对棉铃虫毒杀效果突出的溴氰菊酯 (Decamethrin) (林郁, 1981) 为例¹⁾。据我们1980年小区试验, 得到幼虫死亡率的概率单位 w 与药剂浓度(ppm)的对数有下列关系:

$$w = 1.3664 \lg b + 4.4286$$

每亩喷液量50公斤, 每公斤纯药1,200元, 得到药费 c 与 w 的关系式:

$$c = 10^{(w-6.0981)/1.3664} \quad (7)$$

其中 w 由下式给出:

$$1-s = \int_{-\infty}^{w-5} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (8)$$

其中 s 为幼虫存活率。

防治二代棉铃虫的直接费用 c_2 :

$$c_2 = k(c + 0.55) \quad (9)$$

其中 k 为喷药次数。如果 $s=1$, 则 $c_2=0$ 。

依 (7), (8), (9) 式算得的费用, 与使用其他受推荐的药剂的费用相近。

3. 防治伏蚜费用

1980年试验表现出, 喷头向下喷雾防治二代棉铃虫, 剂量过大的小区天敌〔主要是草蛉 (*Chrysopa* sp.) 和草间小黑蛛 (*Erigonidium graminicolum* S.)〕数量大幅度下降, 致使伏蚜增殖加快。图5给出6月26日至7月5日间三次调查的捕食性天敌平均数与7月5日的伏蚜量。

参照伏蚜防治标准 10^4 头/(百株 $\times$ 3叶) 和小区防治伏蚜的实际情况, 初步认为, 至7月5日百株蚜量超3,000头需药治二次, 不及此数的防治一次。药费按40% DDVP 乳剂 0.3 公斤 1.2元, 工费按熏蒸法 0.1元计算。

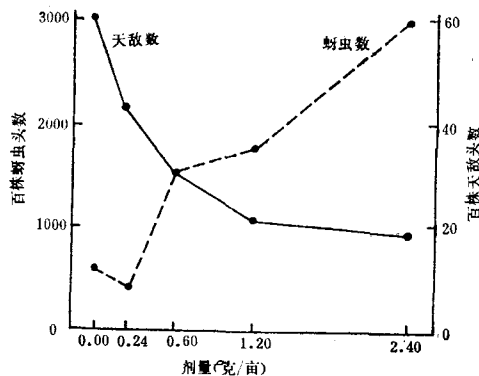


图5 不同施药量下天敌和伏蚜数量

4. 三代防治棉铃虫费用及皮棉经济损失

1) 二代残虫量和三代卵量间密度制约强度的测度 这里采用下式描述二、三代种群大小:

$$N_3 = \lambda N_2^{1-b} \quad (10)$$

b 是 $(\ln N_3 - \ln N_2)$ 对 $\ln N_2$ 的回归线的斜率, 由此可确定 b 值和 λ 值 (如 May 等, 1974)。

根据1974—1981年间饶阳县五公病虫测报站资料和作者调查资料, 得到 $b=0.426923$, $\lambda=21.2916$ 。

密度制约的主要表现是二代成虫迁出。

¹⁾ 本文将溴氰菊酯作为受推荐的杀虫剂的一般代表, 而不考虑它对棉株的刺激生长作用。

2) 三代期间蕾花铃被害量与产量关系 1980年三代危害期间摘8蕾的棉株的成铃数比对照减少0.1—0.4个。大铃受害直接视为产量损失。小铃被害情况复杂些, 1981年三代摘小铃的试验给出以下结果:

$$\text{高肥地} \quad y = -0.3480x + 16.8322 \pm 1.2884 \quad (11)$$

$$(r = -0.59364, df = 10)$$

$$\text{中肥地} \quad y = -0.4886x + 15.7543 \pm 1.8022 \quad (12)$$

$$(r = -0.58772, df = 13)$$

$$\text{低肥地} \quad y = -0.3205x + 7.2125 \pm 0.71695 \quad (13)$$

$$(r = -0.52123, df = 10)$$

其中 x , y 分别为10株平均每株摘除的小铃数和成铃数。

(11)、(12)式的回归系数对于1980年相应地块的摘(咬)小铃试验的结果也较符合。

1980年摘8小铃和咬8小铃的植株的成铃数仅差0.2个, 因此人工模仿三代危害小铃也是可行的。

3) 三代药剂防治卵量阈值 1980年调查高肥地, 百株380粒三代卵造成被害蕾花41, 小铃93, 大铃31, 经济损失每亩18.33元。经试验, 用溴氰菊酯10ppm, 每亩100公斤药液喷雾可减少幼虫62%。药费1.2元, 工费及器械费1.05元, 因此得到三代药剂防治卵量阈值 = $[(1.2 + 1.05) \times 380] / (18.33 \times 0.62) = 75.23$ 粒/百株。

由于 $75.23 > 46.68 = E_{3R}$, 因此约束条件下的防治指标为46.68。

4) 三代防治费用和皮棉经济损失 应当求出必要防治次数 K 。 K 的求法是:

$$K = 1 + \text{int} \left\{ \lg \frac{46.68}{E_3} / \lg 0.38 \right\} \quad (14)$$

其中 E_3 为三代卵量; $\text{int}\{\cdot\}$ 为取整符号。如果 $K < 0$, 则 $K = 0$ 。

因此三代防治费用 C_3 为:

$$C_3 = 2.25K \quad (15)$$

三代残虫造成的经济损失 L_3 为

$$L_3 = E_3 \cdot 0.38^K \cdot 2.25 / 46.68 \quad (16)$$

III 最优对策

我们的目标是在(3)式约束下找出满足(2)式的二代施药对策, 即在给定的 E_2 下使 cL 最小的防治程度。每种防治程度称为一种对策, 用幼虫存活率表示。

表8 307粒二代卵时不同对策的总费用和损失

对 策 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
幼 虫 存 活 率		0.03	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.75	0.9	1.0
总费用和损失	高肥地	3.56	-2.16	-6.41	-10.32	-13.11	-15.00	-16.19	-16.98	-16.24	-16.11
	中肥地	5.64	4.09	4.40	3.59	2.71	1.74	0.68	-1.07	-2.28	-3.80
	低肥地	6.07	5.75	7.21	8.46	9.76	10.35	10.80	11.26	11.51	11.49

表8给出二代卵量 $E_2 = 307$ 粒时, 三种肥力地块的不同对策的总费用和损失 cL 。

307粒二代卵时,高、中、低肥力地的最优对策号分别是8、10、2,即在前二地块应轻治或不治,而在低肥地则应重治。

最优对策是相对的。

四、灵敏性分析

通过灵敏性分析,可以帮助确定不同因素的相对重要性。对7个因素的考察结果如下。随着二代卵量的增加,3种地块的最优对策号均减少。详见表9。

表9 二代不同卵量对最优对策号的影响

二代卵量	7	10	15	25	107	207	307	407	507	607	707	807	907	1007	1107	1207
高肥地	10	10	10	10	10	10	8	6	5	4	4	4	3	3	3	3
中肥地	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8
低肥地	10	5	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1

植株二代损失 x 个蕾后每亩皮棉经济损失 $L(x)$ 的改变对于模型输出影响很大。详见表10。

表10 $L(x)$ 的改变对最优对策号的影响

$L(x)+$	-30	-20	-10	-8	0	10	20	30	40	50
高肥地	10	10	10	10	8	8	6	4	2	1
中肥地	10	10	10	10	10	10	2	1	1	1
低肥地	10	10	10	3	2	1	1	1	1	1

另外5个因素,二代幼虫自然存活率在3.19—19.19%的范围内,二代幼虫每头危害蕾数在8.7—19.1个的范围内,密度制约强度即公式(11)中的 b 值在0—1的范围内,三代幼虫的危害力在 $1 \pm 65\%$ 的范围内,三代幼虫的抗药性增加1倍的范围内,它们的单独变化最多只能使最优对策号数改变1。因此这5个因素的测定不必过于精确。

下面考察 E_2 和 $L(x)$ 的联合作用。我们给出以下4种型式的 $L(x)$ 。I. $L(x)$ 取自1980年高肥地,其增益是左峰型的;II. $L(x)$ 取自1981年高肥地,其增益与 x 正相关;III. $L(x)$ 取自中肥地二年的平均值,其增益是右峰型的;IV. 以1981年低肥地数据为基础进行适当修改:

$$L(x) = \begin{cases} 0 & \text{当 } x=0 \\ 1.5^x & \text{当 } x=1, 2, \dots, 8 \end{cases} \quad (17)$$

此4种型式的 $L(x)$ 具一定的代表性。它们与 E_2 的变化对于最优对策号的影响见图6。

在图6 I、IV中,仅当 E_2 不大时,才可能要求不喷药;而在II、III中, $L(x)$ 本来是负值,因此仅当 $L(x)$ 有相当的增加后,不喷药才可能最优。

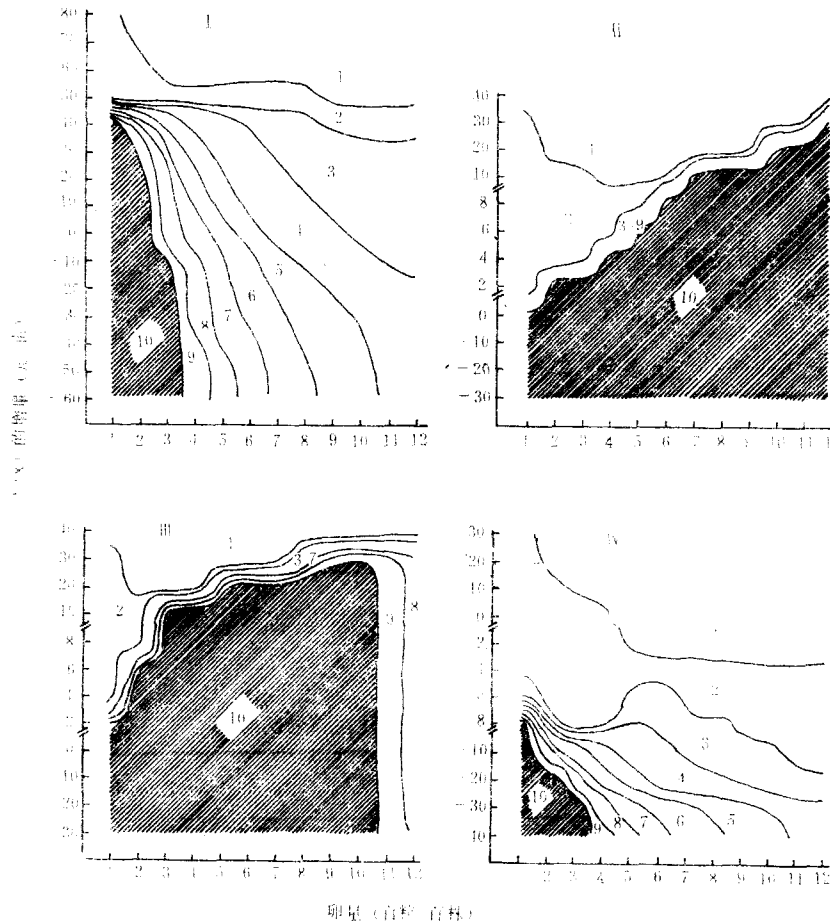


图6 二代危害皮棉经济损失和二代卵量诺模图。表示它们对于最优对策的影响。图中数字系最优对策号。阴影部分为10号对策(不喷药)区域。I. $L(x)$ 取自1980年高肥地; II. $L(x)$ 取自1981年高肥地; III. $L(x)$ 取自1980、1981年中肥地平均值; IV. $L(x)$ 取自公式(17)。

五、小结和讨论

在管理生态系统时,一方面符合生态学原则的措施必须兼有经济学上的合理性,另一方面精确的经济学分析不可能不考虑生态学过程;同时此二学科又有许多可以相互引用的原则(马世骏,1981)。因此在害虫控制中,综合考虑生态学效益和经济学效益,是必要的亦是必然的趋势。这种综合势必涉及系统的许多组分及其相互关系,系统方法提供了一种有力工具。

目前评价害虫控制对策的经济生态学模型的目标函数都是经济的,尚缺少对其系统中某些重要组分的限制,而这种限制可将对策的“外部代价”(externalities)调节到社会容许的范围内,从而增强对策的生命力。本模型对于对策遗留下来的三代卵量的限制,似乎是这方面的一个尝试。

一般年份, 二代棉铃虫基本上只危害棉蕾。在此情形下, 我们证实了人工摘蕾模仿二代危害的方法的有效性。对于三代危害小铃, 人工模仿危害的方法也得到了肯定。

我们指出了不同肥力的地块对于二代棉铃虫危害的产量反应有悬殊差别。低肥尤其后期又缺水的地块, 受二代危害的棉株产量补偿不足; 而在肥水条件较好的地块, 受害棉株产量可能得到完全补偿甚至超越补偿。因此, 在相同发生量下, 二代棉铃虫防治的必要性随肥水条件上升而下降。我们还指出了棉田中三代防治, 无论对于何种肥力的地块, 均应给予充分重视。主要原因是受三代危害后, 植株用以产量补偿的时间太短, 结果各种肥力地块产量均补偿不足。这些结论与模型模拟结果一致。

收入模型的 5 个组分, 我们认为抓住了这一生态系统的基本的经济性质。这里当然不排除有引入其他必要组分的可能。子模型包含的 7 个通常认为重要的因素, 唯有二代卵量和二代残虫造成的产值损失的改变对结果影响大。此二因素在年份、地块、品种间有很大差异, 故在检验和改进本模型时, 须对它们作出一定精度的测定。

应当指出, 在二代发生量过大时, 棉株主茎及果枝生长点可能严重受害。生长点被害过早, 影响植株株型和幼蕾的形成, 对产量可能有较大影响。在对高卵量 (>400 粒/百株) 进行模拟时, 没有考虑这一情形。

模型假设了被害蕾铃数在棉铃虫的不同发生量下与害虫密度成线性关系, 同时假设了被害蕾铃在植株上的分布的基本型式不随被害量变化, 这些假设应予检验。

可以期望, 一个动态的随机的模型将使分析更接近于实际。

参 考 文 献

- 马世骏 1981 生态规律在环境管理中的作用——略论现代环境管理的发展趋势。环境科学学报 1(1):95—100。
中国农作物病虫害编辑委员会 1979 中国农作物病虫害。农业出版社。
林郁 1981 新型杀虫剂“拟除虫菊酯”的发展与应用。植物保护 7(5):20—23。
孟文等 1981 二、三代棉铃虫自然种群生命表与防治指标。河北农学报 6(2):60—66。
Conway, G. R. et al. 1975 A systems approach to the control of sugar cane froghopper. In Study of Agricultural Systems (G. E. Dalton ed.) pp. 193-229.
Gunnam, E. W. et al. 1943 Effect of the removal of Squares on yield of upland cotton. J. Econ. Ent. 36: 896-900.
Kincade, R. T. et al 1970 Effect on cotton yield of various levels of simulated Heliothis damage to squares and bolls. J.Econ. Ent. 63:613-5.
May, R.M. et al. 1974 Time delays, density dependent and single-species oscillation. J. Anim. Ecol. 43: 747-70.
Pielou, E. C. 1969 An Introduction to Mathematical Ecology. pp.94-97.
Shoemaker, C. A. et al. 1979 A systems approach to the integrated management of a complex of olive pests. Envir. Ent. 8:182-9.
Sutherst, R. W. et al. 1979 An analysis of management strategies for cattle tick (Boophilus microplus) control in Austrania. J. Appl. Ecol. 16(2):359-82.

AN ANALYSIS OF ECON-ECOLOGICAL BENEFIT OF CHEMICAL CONTROL OF 2ND BROOD COTTON BOLLWORM (*HELIOTHIS ARMIGERA*) IN NORTH CHINA

SHENG CHENGFA DING YANQIN MA SHIJUN

(Institute of Zoology, Academia Sinica)

An attempt is made in this present paper to seek a model which conforms to the econ-ecological principle on the basis of the current control methods. A deterministic static model given in it describes the strategy in the control of the 2nd brood cotton bollworm by use of chemical pesticides in Henshui areas, Heibei Province. Five components are contained in the model, such as the lint economic losses caused by the 2nd and 3rd broods, and the costs of control of the two broods and the midsummer aphid. The objective function is the cost and benefit of pest control, while the constraint function is the ecological effect. The simulated damage method was adopted and examined in determining the relationship between bollworm density and lint value. The result of experiments made in the two growing seasons with different rainfalls has shown that the responses of different fertile cotton fields to the 2nd brood damage varied greatly in yield, and yet, to the 3rd brood damage tended to be similar.

According to the sensitivity analysis, it is optimal to control the 2nd brood with the same egg density heavily in the less fertile cotton fields, but slightly or even unnecessarily in the cotton fields with high fertility.