

杀虫剂影响昆虫种群数量 动态的模拟模型*

汪世泽 张文军

(植物保护系)

摘 要

田间喷洒农药后, 害虫益虫的种群动态均在农药影响下产生变化。模拟这种变化的模型是:

$$Y = A \cdot \exp \{ BT - C [1 - \exp (-DT)] \}$$

模型的4个参数均有明确的含意。通过参数比较可对不同农药及使用方法作出合理评价。本模型不仅适用于连续增长型生物, 也适用于具有迁入迁出变化的非连续增长的昆虫和其他节肢动物。

关键词: 杀虫剂; 生物种群动态; 数学模型

以消灭或控制害虫危害为目标的化学防治法, 虽有很多缺点, 但在综合防治系统中仍应占有重要地位。在以往的几十年中, 持各种观点的研究者曾从不同角度出發, 研究了化学防治与生物防治的关系和存在问题。Klestermeyer (1962) 讨论了不同农药与剂量, 对桃蚜等害虫数量波动的影响。Wange等 (1985) 采取种类选择与时间选择, 详细研究了药剂对害虫、对天敌各种虫态数量变化的影响。朱深甫 (1974) 研究了根据虫情施药、连续施药和完全不施药3种处理下的瓢虫、蜘蛛及棉蚜的数量变化。结果表明不施药者蚜量最少, 连续施药蚜量最多。邹运鼎等 (1986) 及江苏农学院植保系 (1977) 分别从不同角度讨论了药剂对天敌和棉蚜的影响。所有这些研究, 都从不同方面加深了对综合防治的理解。本文则采用模拟模型方法来描述生物种群在农药影响下的动态, 并试图用量化的指标评价农药, 想必对农药的合理使用是有所裨益的。

1 材料与方 法

试验于1986年5月下旬至6月中旬在西北农大试验农场进行。试验地0.4亩, 4月20日播种棉花, 品种为陕401。试验地均分为4个重复。在棉蚜发生危害时期, 每块地固定20株棉, 定期检查棉蚜 (*Aphisgossypii*)、七星瓢虫 (*Coccinella 7-punctata*)、蜘蛛 (主

本文于1988年5月21日收到。

*本课题委系“蚜虫种群生态”博士点基金项目

要是丁纹狼蛛 *Lycosa finsignita* 和草间小黑蛛) 的数量。在大体相等的棉蚜初始密度期, 喷洒1500倍氧化乐果, 喷洒量相当于每亩40kg药液。在喷药后的第1, 3, 5, 7, 10d, 检查各重复区的棉蚜及各天敌的数量。

2 数学模型

根据经验推理, 对于连续增长的昆虫种群而言, 当田间无农药影响时, 种群增长的一定阶段服从指数模型。

$$Y = A \cdot \exp(BT) \quad (1)$$

式中, A ——种群初始量; B ——增长率; T ——时间变量; Y —— T 时刻种群。

当田间有农药, 并假设具有恒定的相对毒力“ C ”, 则可用 $(BT - C)$ 表示种群受毒力影响的时间函数。于是种群在 T 时的量为

$$Y = A \cdot \exp(BT - C) \quad (2)$$

环境中农药的浓度或剂量同许多化学物质一样(例如放射性元素的衰变过程), 均可用负指数方程描述。相对毒力又是农药剂量的正相关函数。因此, 作衰减变化的相对毒力“ C' ”, 用下述方程描述也属可行。

$$C' = C [1 - \exp(-DT)] \quad (3)$$

式中 D 是农药衰减常数。当 $T = 0$ 时, $C' = 0$; 当 $T = \infty$ 时, $C' = C$ 。将式(3)并入(2)可得

$$Y = A \cdot \exp \{ BT - C [1 - \exp(-DT)] \} \quad (4)$$

式中 A ——种群初始量; B ——种群增长率; C ——施用农药量的相对毒力参数; D ——毒力衰减参数。

根据式(4)可以求得

$$Y'_{(T)} = A (B - CD \cdot e^{-DT}) \exp \{ BT - C (1 - e^{-DT}) \} \quad (5)$$

$$Y''_{(T)} = ACD^2 \cdot e^{-DT} \cdot \exp \{ BT - C (1 - e^{-DT}) \} + A (B - CD \cdot e^{-DT}) \cdot \exp \{ BT - C (1 - e^{-DT}) \} \quad (6)$$

据公式(4), (5), (6), 有如下推论:

- (1) $Y''_{(T)} > 0$ 故式(4)为凹函数。又因 $T \geq 0, Y_{(T)} > 0$, 函数曲线位于第一象限。
 (2) $Y'_{(T)} = 0 \iff B = CD \exp(-DT)$ 故该函数之极小点为:

$$T_{\min} = -\frac{1}{D} \ln \frac{CD}{B}$$

由此可见, T_{\min} 随 D, B 之减小而增大, 随 C 的增大而增大

- (3) $T = 0$ 时 $Y = A$, 此函数的对称性取决于 B, C, D 三个参数。

由上述分析表明式(4)的动态图型具有如图-1的特点。它表明, 若施药量大, 则毒力增大, 种群会迅速降至低峰; 若毒剂衰减参数小, 则药剂的残效期延长, 种群的低峰期亦会延长, 如果种群增长量大, 低峰期后的陡度会较大。这些推论与实际情况是一致的。

3 结果与讨论

田间喷洒农药后, 生物种群的数量变化见表1。

表1 田间喷药后生物种群的数量变化

资料来源	喷洒农药	作用对象	时间及种群数量						序号
			0	1	3	5	7	10	
汪世泽等	1500倍 氧乐果	棉蚜	19.5	2.6	0.2	1.5	10.8	30.1	1
		瓢虫类	100.4	75.4	64.9	58.8	/	/	2
		蜘蛛类	10.0	2.5	7.5	/	/	/	3
邹运鼎	4000倍 敌杀死	蜘蛛类	0	6	11	17	22	27	
			126	20	14	38	86	150	4
	1000倍 三氯杀螨醇	瓢虫类	0	5	11	16	21	27	5
			46	4	0	50	88		

表1的数据为作者于1986年从杨陵试验地调查取得, 另外一部分资料录自邹运鼎资料。计算方法是:

设 Y_i 是第 i 日的种群数量调查值。

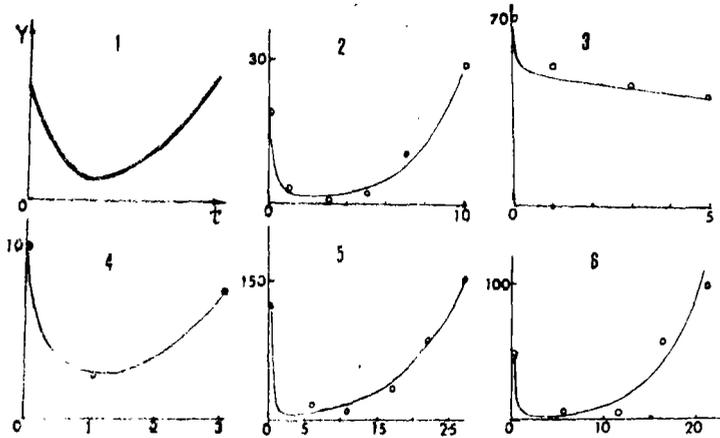
\hat{Y}_i 是第 i 日的理论估计值。

$$F = \sum \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\hat{Y}_i}$$

用无约束极小值法求解方程(4)的4个参数。当 F 值达到显著极小值时的参数 A, B, C, D , 即为最优参数解。本文用“单纯形法”求解参数, 此外也可用0.618法或麦夸法求解。计算结果列入表2, 模拟图形见图2~6。

表2 模型(4)的参数计算

序号	A	B	C	D	$X^2_{0.05}$	ΣX^2
1	19.5936	0.45554	4.08018	1.02342	11.07	3.231
2	100.5993	-0.04576	0.29365	17.4645	7.815	1.851
3	9.9999	0.79307	2.68481	1.4699	5.991	1×10^{-4}
4	129.9339	0.1193	3.08488	2.0887	11.07	9.47
5	45.000	0.2165	3.74	1.6719	7.815	20.8



1. 在杀虫剂作用下的昆虫数量 (Y) 与时间 (t) 的动态变化; 2. 1500倍氧化乐果作用下的棉蚜动态;
3. 1500倍氧化乐果作用下的瓢虫动态; 4. 1500倍氧化乐果作用下的蜘蛛 (类) 动态;
5. 4000倍敌杀死作用下的蜘蛛类动态; 6. 1000倍三氯杀螨醇作用下的瓢虫类动态

由表2的卡方值及图2~6可以看出,除序号5卡方值大于临界标准外,其余模拟效果良好。对于表2各参数值还可作如下解释:瓢虫与蜘蛛均为移动性种群,喷洒农药后,有些个体被杀死,有些个体则有迁出或迁入活动。在此短暂的时间内,不一定有指数增长变化。因此,模型中的参数 B 应是不适用的。但从表及图又说明模拟效果良好。对此,我们仅作如下理解:对于瓢虫(序号2) $B = -0.04576$,可以认为是种群的迁出率指标。从表1实际数据看出,在试验期间瓢虫的密度很大,在食饵缺乏时必然出现迁出活动。序号3的蜘蛛增长率 $B = 0.79307$ 很高,估计除增殖外还伴有迁入活动。鉴于此模型所面对的种群状态多样,因此认为,在模型推理中提出的参数 A, B, C, D 均大于“0”的限制可以取消。这样一来就扩大了模型的应用范围,可以描述多种类型的生物种群在农药影响下的动态。此外还可看出,农药的毒力参数 C 和衰减参数 D 对于不同生物的作用大小各异。这正好说明这两个常数虽然属于农药所有,但不能脱离生物对象而孤立存在。从参数比较可知,喷洒氧化乐果对棉蚜的毒力最大($C = 4.08018$),这正是我们所期望的。从函数极小点 T_{\min} 的比较中可以算得: $T_{\min}(\text{蚜}) = 2.1649$; $T_{\min}(\text{蛛}) = 1.0917$ 。这表明喷洒农药后各种群开始回升的时间是:蜘蛛经1.0917 d,棉蚜经2.1649 d。对于我们试验的瓢虫来说,因种群实测值连续下降 T_{\min} 无解,没有比较意义。对邹运鼎的试验数据而言 $T_{\min}(\text{蛛}) = 1.9(\text{d})$, $T_{\min}(\text{瓢}) = 2.0116(\text{d})$ 。表明敌杀死和三氯杀螨醇对这2种天敌的持续作用时间。

通过模型(4)还可看出,若农药衰减参数 $D = 0$,种群数量将持续下降,这就相当于该农药永远以其不变的杀死率杀死害虫一样。若此时的杀死率大于增长率,种群将被消灭。反之,若持续的杀死率小于增长率,则种群在相对长的时间内保持较低的种群水平。如果 $D \rightarrow \infty$,表明该药的残留极短,农药的毒杀作用只在一瞬间发生,这就相当于在 $T = 0$ 的一个脉冲函数。种群下降幅度只取决于脉冲强度,而种群的回升也从 $T = 0$ 时开始。种群回升的速度由 B 支配。

从上述模拟模型的分析表明,提出的新模型基本能够表达农药与生物种群的动态特征。当生物种群的组成给定时,可以比较农药作用的优劣。当农药给定时,也可以从不同种群的 C 、 D 值的比较中得到启示,并为人们选择天敌种类和保护利用天敌指出方向,为协调生物防治与化学防治提供定量化的理论依据。

THE EFFECT OF INSECTICIDES UPON THE DYNAMIC SIMULATING MODEL OF INSECT POPULATION

Wang Shize Zhang Wenjun

(Plant Protection Department, Northwestern Agricultural University)

Abstract

After the insecticides are sprayed over the croplands, the population dynamics of pests and useful insects changes greatly under the influence of the insecticides. The model simulating this change is as follows, $Y = A \cdot \exp\{BT - C_1[-\exp(-DT)]\}$.

The four parameters of this model are clearly endowed with biological meanings. Through comparison of these parameters, a rational evaluation can be made for different kinds of insecticides and their application methods. This model is suitable for both the continuous and discontinuous increase in insect and other arthropod population.

Key words: insecticide effect, biological population dynamics, mathematical model