

生物因子对小菜蛾种群的联合作用模拟^{*}

冼继东 张敏玲^{**} 庞雄飞

(华南农业大学昆虫生态研究室 广州, 510642)

摘要 应用适应于种群动态控制的状态空间分析法, 通过生命表参数模拟小菜蛾种群数量动态。通过输入不同的生物因子(小菜蛾颗粒体病毒、拟澳洲赤眼蜂和苏云金杆菌)对小菜蛾种群动态控制的作用, 研究这些生物因子的组合对小菜蛾种群动态的控制。模拟结果表明, 施用小菜蛾颗粒体病毒与散放赤眼蜂和施用苏云金杆菌组合应用, 在种群趋势指数比较高的情况下也可能控制小菜蛾种群数量的增长。

关键词 小菜蛾; 小菜蛾颗粒体病毒; 赤眼蜂; 苏云金杆菌; 生物防治; 种群动态控制

中图分类号 S 436

大量而频繁施用广谱性杀虫剂的菜场, 小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 的天敌的作用下降, 种群数量发展趋势指数明显上升, 下代的数量常比当代增长 25~30 倍以上, 加以小菜蛾对杀虫剂的抗性和交互抗性继续提高, 形成杀虫剂愈用愈多, 使用浓度愈用愈高, 为害愈来愈严重的恶性循环。多种杀虫剂已超过容许的使用浓度, 一些杀虫剂甚至失去应用价值。在热带、亚热带地区的菜场, 小菜蛾已经成为“化学杀虫剂防治困难”的典型害虫之一(庞雄飞等, 1995b; 张敏玲等, 1995)。应用生物防治措施代替化学杀虫剂进行防治, 降低种群数量发展趋势指数, 助长和恢复生物因子的自然控制作用, 是当前值得加强研究的课题。本文应用害虫种群动态控制的状态空间分析法(庞雄飞等, 1995a)研究小菜蛾颗粒体病毒(PxGV)、拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum* Viggiani = *T. chilonis*, Nagaraja, nec. Ishii 和苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis* 对小菜蛾种群的联合控制作用。

1 小菜蛾种群动态控制的状态方程

小菜蛾种群在各因子作用下的动态可用如下的网络模型表达(图 1)。

在图 1 中, 方框内为小菜蛾种群系统, 小菜蛾种群按发育阶段划分为卵(X_E)、1~2 龄幼虫($X_{L_{1-2}}$)、3 龄幼虫(X_{L_3})、4 龄幼虫(X_{L_4})、蛹(X_P)和成虫(X_A) 共 6 个状态变量, a_E , $a_{L_{1-2}}$, a_{L_3} , a_{L_4} , a_P 为卵期、1~2 龄幼虫、3 龄幼虫、4 龄幼虫和蛹期的存活率, FPF 为雌虫产卵量, P 为雌虫性比; 赤眼蜂(T_r)、小菜蛾颗粒体病毒(PxGV)和苏云金杆菌($B.t.$)为作用于小菜蛾种群的边界因子, 通过信息处理为控制信号, 作用于状态传输(存活率和生殖力), 时刻 t 的状态向量 $X(t)$ 的输入通过状态传输而对时刻 $t+1$ 的状态向量 $X(t+1)$ 输出发生影响。

按照图 1 的网络模型, 参照庞雄飞等(1995b)的处理方法, 可列出种群动态控制的状态方程(方程 1)和输出方程(方程 2)。

1996-04-09 收稿 冼继东, 女, 28 岁, 讲师, 硕士, 现在海南大学农学系工作

^{*} 广东省自然科学基金项目

^{**} 现在广东省昆虫研究所工作

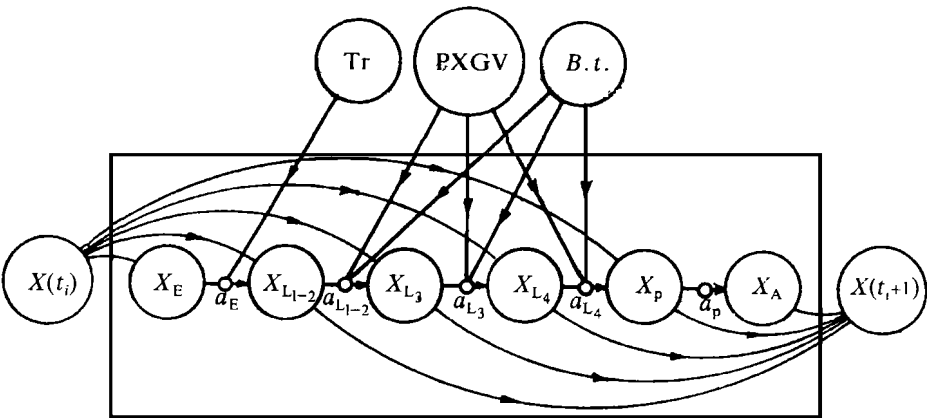


图 1 小菜蛾种群系统的网络模型

$$X(t_{i+1}) = [A + B_{PxGV} + B_{Tr} + B_{B.t.}] X(t_i),$$

$$Y(t_i) = CX(t_i).$$

在方程 1 及 2 中, X 为状态向量, A 为系统矩阵, B 为各因子组成的控制矩阵, C 为输出转移矩阵, Y 为输出。状态向量中的状态变量, A 及 B 矩阵的结构将在下面补充叙述。

2 小菜蛾在不同处理区内的生命表

本试验于 1993 年 10 月在广东东莞的上洞菜场进行。试验包括施用小菜蛾颗粒体病毒(PxGV)、散放拟澳洲赤眼蜂、施用苏云金杆菌和组合应用赤眼蜂与苏云金杆菌 4 个处理, 并设对照区进行检验, 应用生命表方法记录各试区的结果(表 1)。

表 1 小菜蛾在不同处理区内卵—蛹期存活率 (广东, 东莞, 上洞菜场, 1993—10)

项 目	对照	PxGV	赤眼蜂	<i>B. t.</i>	赤眼蜂+ <i>B. t.</i>
卵	0.979	0.979	0.657	0.980	0.702
虫 期	1~2 龄幼虫	0.626	0.361	0.458	0.536
	3 龄幼虫	0.710	0.647	0.424	0.415
	4 龄幼虫	0.682	0.455	0.265	0.112
	蛹	0.925	0.679	1.000	1.000
雌性比 $P_{\text{♀}}$	0.532	0.532	0.532	0.532	0.532
产卵量 FP_F	200.4	159.6	200.4	200.4	200.4
种群趋势指数 I	29.3	6.0	7.0	8.6	1.9
控制指数 $IIPC^1$	1	0.20	0.24	0.29	0.06

1) $IIPC = I / I$, 或 $IIPC_i = S'_i / S_i$

3 小菜蛾种群动态控制状态方程的拟合

小菜蛾种群的虫期是不等距的, 1~2 龄幼虫期为 2 d, 3 龄幼虫期为 2 d, 4 龄幼虫期

为 3 d, 蛹期为 4 d, 成虫期为 13 d. 因而把虫期继续细分为以 d 作为时间单位的 26 个状态. 根据调查的结果, 起始时的状态变量 $X(t_0)$ 为:

$$X_E(t_0)=[63.32\ 62.68]^T,\quad X_{L_{1-2}}(t_0)=[44.92\ 32.09]^T,$$
$$X_{L_3}(t_0)=[15.06\ 13.94]^T,\quad X_{L_4}(t_0)=[4.42\ 3.99\ 3.59]^T,$$
$$X_P(t_0)=[0\ 0\ 0\ 0]^T,\quad X_A(t_0)=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T.$$

与状态变量划分相适应, 系统矩阵、小菜蛾颗粒体病毒的控制指数 ($IIPC_{PxGV}$)、赤眼蜂的控制指数 ($IIPC_{Tr}$)、苏云金杆菌 ($IIPC_{B.t.}$)、以及各处理及其组合的计算结果见表 2.

表 2 系统矩阵 (A)、小菜蛾颗粒体病毒 ($PxGV$) 和赤眼蜂

(Tr) 的控制指数 ($IIPC^{(1)}$) 以及不同组合的计算结果 (资料来源于表 1)

i, i	A	$IIPC_{PxGV}$	$IIPC_{Tr}$	$IIPC_{Bt}$	$A+B_{PxGV}$	$A+B_{Tr}$	$A+B_{Bt}$	$A+B_{Tr}+B_{Bt}$	$A+B_{PxGV}+B_{Tr}+B_{Bt}$
2, 1	0.990	1	0.819	1	0.990	0.811	0.990	0.838	0.811
3, 2	0.989	1	0.820	1	0.989	0.811	0.990	0.838	0.811
4, 3	0.791	0.760	1.099	0.856	0.601	0.869	0.677	0.732	0.566
5, 4	0.791	0.760	1.099	0.856	0.601	0.869	0.677	0.732	0.566
6, 5	0.843	0.955	0.837	0.772	0.805	0.706	0.651	0.644	0.521
7, 6	0.842	0.955	0.837	0.773	0.804	0.705	0.651	0.644	0.520
8, 7	0.881	0.873	0.730	0.851	0.769	0.643	0.750	0.482	0.478
9, 8	0.880	0.874	0.730	0.852	0.769	0.642	0.750	0.482	0.478
10, 9	0.880	0.874	0.730	0.852	0.769	0.642	0.750	0.482	0.478
11, 10	0.981	0.926	1.019	1.019	0.908	1	1	1	0.943
12, 11	0.981	0.926	1.019	1.019	0.908	1	1	1	0.943
13, 12	0.981	0.926	1.019	1.019	0.908	1	1	1	0.943
14, 13	0.980	0.926	1.020	1.020	0.907	1	1	1	0.944
15, 14	1	1	1	1	1	1	1	1	1
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
26, 25	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1, 14	4.264	0.775	1	1	3.307	4.264	4.264	4.264	3.307
1, 15	17.06	0.775	1	1	13.23	17.06	17.06	17.06	13.23
1, 16	27.72	0.775	1	1	21.49	27.72	27.72	27.72	21.49
1, 17	22.39	0.775	1	1	17.36	22.39	22.39	22.39	17.36
1, 18	10.66	0.775	1	1	8.267	10.66	10.66	10.66	8.267
1, 19	7.463	0.775	1	1	5.787	7.463	7.463	7.463	5.787
1, 20	4.265	0.775	1	1	3.307	4.265	4.265	4.265	3.307
1, 21	3.198	0.775	1	1	2.480	3.198	3.198	3.198	2.480
1, 22	2.132	0.775	1	1	1.653	2.132	2.132	2.132	1.653
1, 23	2.132	0.775	1	1	1.653	2.132	2.132	2.132	1.653
1, 24	2.132	0.775	1	1	1.653	2.132	2.132	2.132	1.653
1, 25	2.132	0.775	1	1	1.653	2.132	2.132	2.132	1.653
1, 26	1.066	0.775	1	1	0.827	1.066	1.066	1.066	0.827

1) $IIPC$ —干扰作用控制指数(庞雄飞, 1990): $IIPC_i=S_i'/S_i$

根据来源于表 1 的计算结果可以组建如下的状态方程:

试验期间不采取任何治虫措施(对照):
$$X(t_i+1)=AX(t_i);$$

1~2 龄幼虫盛期使用小菜蛾颗粒体病毒: $X(t_i+1)=(A+B_{\text{PxGV}})X(t_i)$;
卵期散放赤眼蜂: $X(t_i+1)=(A+B_{\text{Tr}})X(t_i)$;
施用苏云金杆菌制剂: $X(t_i+1)=(A+B_{\text{B.t.}})X(t_i)$;
小菜蛾颗粒体病毒与赤眼蜂组合应用: $X(t_i+1)=(A+B_{\text{PxGV}}+B_{\text{Tr}})X(t_i)$;
小菜蛾颗粒体病毒、赤眼蜂与苏云金杆菌: $X(t_i+1)=(A+B_{\text{PxGV}}+B_{\text{Tr}}+B_{\text{B.t.}})X(t_i)$.

4 输出方程和结果分析

输出方程采用如下的形式, 以分别模拟卵和幼虫逐日的数量发生情况。

$Y(t)=UX(t),$
$$U=\begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

上面不同的处理得出图 2。

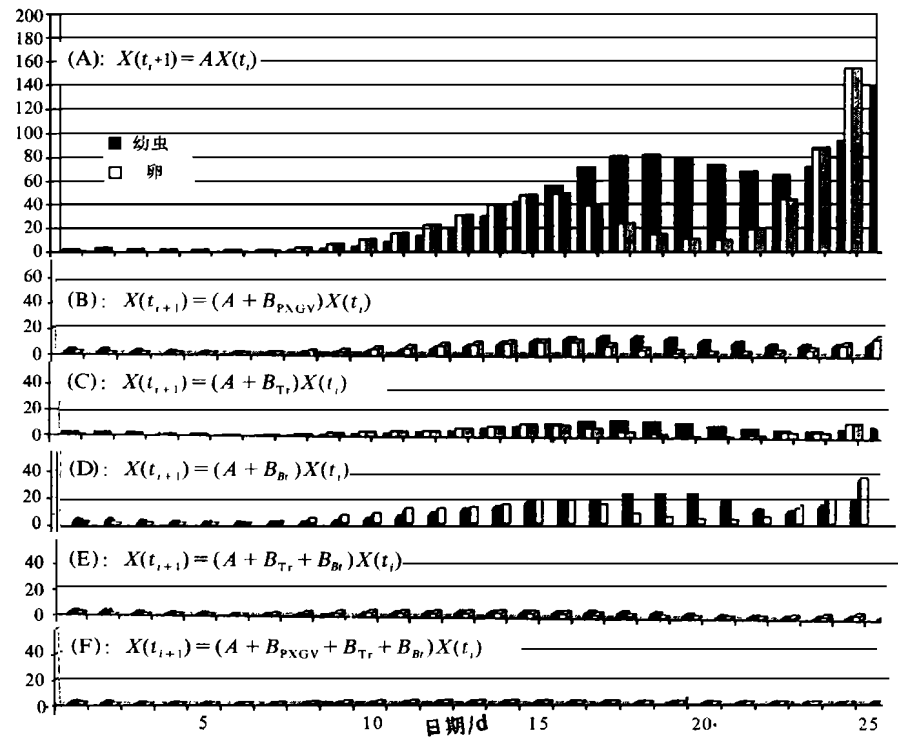


图 2 不同处理区小菜蛾种群动态的模拟结果

提供实验的菜场, 大量而频繁施用化学杀虫剂, 仅在本试验所选的小区内, 在试验过程中停止使用, 因而种群数量发展趋势相当高, $I = 29.3$, 即下代数量相当于当代的 29.3 倍(见表 1, 图 2—A)。单独应用小菜蛾颗粒体病毒、或拟澳洲赤眼蜂、或苏云金杆菌制剂, 种群数量发展趋势下降, 但未能达到防治的要求(见表 1, 图 2—B, 2—C, 2—D)。散放赤眼蜂同时施用苏云金杆菌制剂的处理, 种群数量发展趋势明显下降(见表 1, 图 2—E), 两者起着相辅相成的作用。按照控制指数的分析原理(Pang et al, 1992), 综合小菜蛾颗粒体病毒、拟澳洲赤眼蜂和苏云金杆菌制剂的作用(模拟结果, 见图 2—F), 小菜蛾种群将

会得到控制。

5 讨论

在经常大量使用化学杀虫剂的菜场, 由于天敌的控制作用下降, 种群数量发展趋势指数比较高, 带来小菜蛾防治的困难。单独使用小菜蛾颗粒体病毒、或拟澳洲赤眼蜂、或苏云金杆菌制剂, 与使用一次化学杀虫剂相似, 未能解决小菜蛾的防治问题。但应用上述的生物防治作用者代替化学杀虫剂, 有可能恢复天敌的自然控制作用, 降低种群趋势指数。本试验说明, 即使在种群趋势指数相当高的情况下, 联合应用上述的小菜蛾颗粒体病毒, 拟澳洲赤眼蜂和苏云金杆菌制剂, 可以解决小菜蛾的防治问题, 提出了应用生物防治方法解决蔬菜害虫防治的可能性, 为非化学杀虫剂生产蔬菜的大面积试验提供参考。

参 考 文 献

- 张敏玲, 庞雄飞. 1995. 眼蜂防治小菜蛾问题. 生态科学, (2): 84~87
庞雄飞, 张敏玲, 冼继东. 1995a. 小菜蛾的生物防治问题. 生态科学, (2): 78~83
庞雄飞, 梁广文. 1990. 昆虫种群系统研究概述. 生态学报, 10(4): 373~378
庞雄飞, 梁广文. 1995b. 害虫种群系统的控制. 广州: 广东科技出版社, 1~212
Pang Xiongfei, Liang Guangwen, Zeng Ling, et al. 1992. Population system and population system approach to rice brown planthopper. Trans Ecological Society of Chinese Youth, (2): 1~9

SIMULATION OF THE COMPLEMENTARY EFFECT OF THE BIOLOGICAL AGENTS ON DIAMOND BACK MOTH

Xian Jidong Zhang Minling Pang Xiongfei

(Lab. of Insect Ecology, South China Agr. Univ., Guangzhou, 510642)

Abstract

By means of state-space population model, the population dynamics and population control of Diamondback Moth (DBM) *Plutella xylostella* (L.) was simulated by adding the biological agents. In the vegetable field, by releasing *Trichogramma* (*Trichogramma confusum* Viggiani (= *T. chilonis*, *Nagaraja, n. sp.* Ishii), or spraying DBM granulosis virus (PxGV), or spraying *Bacillus thuringiensis* (*B. t.*), the indices of population control (IIPC) of DBM decreased in 0.2, 0.24, and 0.29 against the control respectively, but the index of population trend of DBM in control was as high as 29.3, the population of DBM still increased by control each one of the biological agents. In the field of spraying *B. t.* and releasing *Trichogramma* showed the complementary effect. In the field releasing *Trichogramma*, spraying PxGV and *B. t.* the population dynamics of DBM were simulated. The results showed that the DBM population were decreased in a low level even in the high index of population trend in control (table 2).

Key words diamondback moth (*Plutella xylostella*); PxGV; *Trichogramma confusum*; *Bacillus thuringiensis*; biological control; population control