

昆虫种群控制系统的信息处理 (一)

——控制指数与种群系统的控制

庞雄飞

(昆虫生态研究室)

提 要

在种群系统的信息处理中,本文着重讨论控制指数在种群系统控制中的应用。控制指数是以系统方法改进昆虫种群生命表和Morris-Watt种群数学模型的基础上,采用排除分析法、添加分析法和干扰分析法提出的一个指数。在各种边界因子中提取的控制作用的信息,其量纲是各不相同的。通过建立的模型,转换为与种群系统传输相同的量纲,才能把各个边界因子的控制信号直接输入种群系统的联系之中。控制指数把控制信号转换为存活概率或达到标准卵量的概率,即与系统传输的量纲取得一致,从而可以作为边界因子控制作用的一个“算子”,直接镶嵌于系统传输之中。这将便于种群系统控制的研究。

关键词 种群系统, 种群控制指数

引 言

种群系统 (Population systems) * 把对象种群按年龄组或昆虫的虫期组 依次划分为若干状态, 以存活率或生殖力 (指定的标准产子数 F 与达到标准产子数的概率 P_F 和 雄性比率 p_F 的乘积) 把各状态依次联系在一起。作用于种群的各种因子看成是种群系统的空间边界。边界因子的作用是通过对这些联系 (支路传输或总传输) 的影响而实现的^[5,6]。在不同的边界因子中提取的常常是不同量纲的信息。这些信息要求通过处理, 即通过建立的数学模型, 转换成为对存活率或达标准卵量的概率而成为控制信号, 成为控制指数 (IPC, Index of Population control), 才能直接输入种群系统模型之中。

一、边界因子作用的信息传递过程

例如, 在环境因子中可以提取温度 (T)、湿度 (RH) 的信息。温度可以摄氏度表示, 湿度可以相对湿度表示, 其传递过程如图 1 所示。温度在信道中受到湿度的干扰, 温度 (T) 与湿度 (RH) 共同进入已经建立的处理模型中。处理模型是温、湿度与存活率关系的数学模型 [$f(T, RH)$], 输出对各状态转移关系的控制信号。

1989年12月16日收稿。

• 原称种群生命系统 (Population life systems), 其含义与人口系统相同, 故改称。

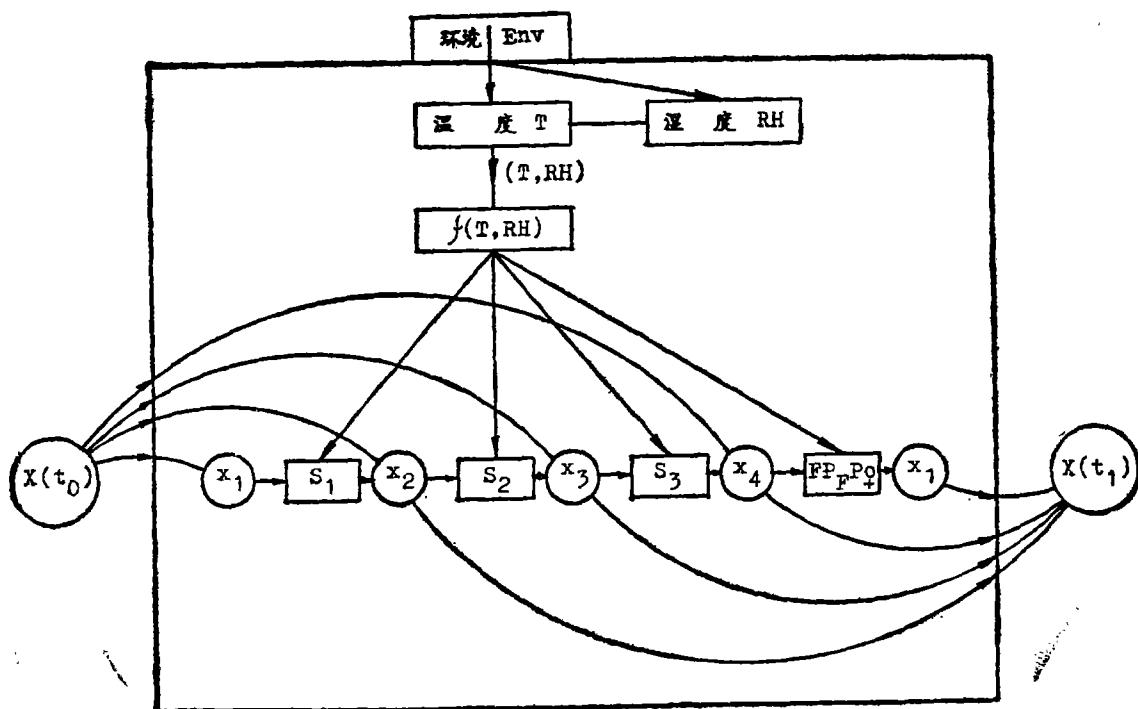


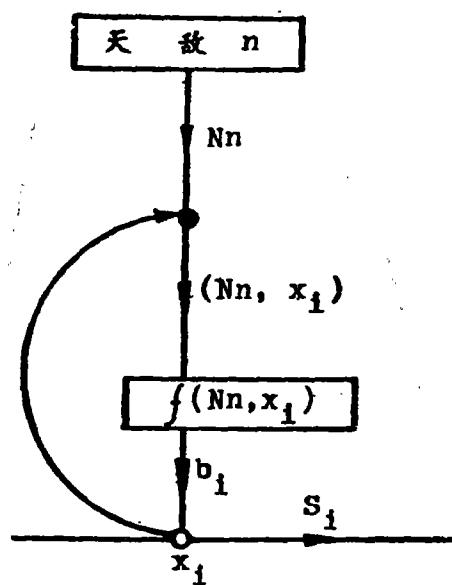
图1 气温、湿度对昆虫种群存活率及生殖力的作用模拟模型（解释如文）

又如，天敌对种群系统的作用过程也有相似之处。一种天敌给予的信息是天敌的密度(D_n)。天敌作用的大小与天敌的密度有关，也与作用的对象种群的密度有关，具体来说，与作用的虫期的密度(x_i)有关。其作用过程如图2所示。

这两个例子是人为地简化的。但对各种或各类边界因子，都有一个信息提取、传递和处理过程，才能使提取的信息转换为对系统传输起控制作用的信号。控制指数是把控制作用直接输入系统传输的一种方式。

二、控制指数与排除分析法、 添加分析法和干扰分析法

在实验技术中常常应用排除法、添加法和干扰法进行单因子试验。在生物防治中，排除法(Exclusion or Subtraction Method)、添加法(Addition Method)和干扰法(Interference or Neutralization Method)被认为是天敌作用评价的重要的实验技术方法^[8]。排除分析

图2 天敌对种群的作用模拟模型
(解释如文)

法、添加分析法和干扰分析法不同于上述的进行单因子试验的实验技术方法。这些方法是在系统分析的基础上提出的分析方法，分析排除一个因子或添加一个因子，或其中一个因子受到干扰时对种群系统所起的作用。

排除分析法 庞雄飞^[1,2,12]、庞雄飞等^[3,4,7]曾经应用排除分析法讨论天敌作用的评价,并在排除分析法的基础上提出了控制指数的基本概念^[2]。

排除分析法是以系统方法改进昆虫生命表和Morris-watt^[10,14]种群数学模型的基础上提出来的。改进后的Morris-watt 种群数学模型，以各年龄组或虫期组按作用先后的逻辑顺序把死亡因子划分为状态。其基本模型为：

I 为种群趋势指数;

S_1 为各死亡因子相对应的存活率;

F 为指定的标准产子数;

P_F 为达到标准产子数的概率;

P_2 雌性比率。

在排除分析法中,如果排除其中一个因子(i)的作用,其相对应的存活率 $S_i=1$,则其种群趋势指数 $I_{(i)}$ 与原来的种群趋势指数 I 的比值将为:

在方程2中, $1/S_i$ 即为存活概率 S_i 相对应的控制因子(i)的控制指数。该控制指数是在排除控制因子(i)时对种群趋势指数的作用指标。设 $IPC_{(i)}$ 代表这个控制指数, 则,

$$IPC_{(1)} = 1 / S_1$$

添加分析法 在基本模型(1)中,如果添加一个因子(b),其相对应的存活率 S_b ,其控制指数 $IPC_{(b)}$ 亦为添加后的种群趋势指数 $I_{(b)}$ 与原来种群趋势指数 I 的比值。即:

干扰分析法 如果其中一个因子的作用受到干扰, 其相对应的存活率从原来的 S_i 改变为 S'_i , 干扰后的种群趋势指数 I' 与原来种群趋势指数 I 的比值, 即为干扰后的控制指数 $IPC_{(i)}$ 。干扰使这个因子的作用减少或增大, 引起其相对应的存活率增加或减小。设引起存活率的改变为 $\pm a_i$, 则:

控制指数 控制指数的全称应该是对种群趋势作用的控制指数，或对种群系统的控制指数。通过排除分析法、添加分析法和干扰分析法分析，可以看到控制指数具有如下的

特征：

1. 控制指数表示控制因子对种群系统的作用程度。控制指数值相当于控制因子作用的种群趋势指数与未受控制因子作用（对照）的种群趋势指数的比值。在排除一个作用因子时，控制指数相当于其对应的存活率的倒数；在添加一个作用因子时，控制指数相当于其对应的存活率；在干扰一个因子的作用时，控制指数相当于这个因子相对应的存活率与原来的存活率的比值。

2. 如果控制因子作用于多个组分，使多个组分的存活率发生变化，或排除多个因子的作用，或添加多个因子的作用，其作用相当于多个控制指数的乘积。

3. 把控制因子的作用转换为控制指数，可以用乘法直接插入系统的总传输之中或直接插入种群系统的支路传输之中，表示控制因子对种群系统作用的结果。由此看来，控制指数愈小，其控制作用愈大。这个特点在添加分析法和干扰分析法推导的控制指数表现出来。但在排除分析法中推导的控制指数，排除一个或多个因子的作用的控制指数，控制指数值愈大，在原来的系统中的作用也愈大。这个特点可以在控制指数作为控制作用指标输入时得到补充说明（图3）。

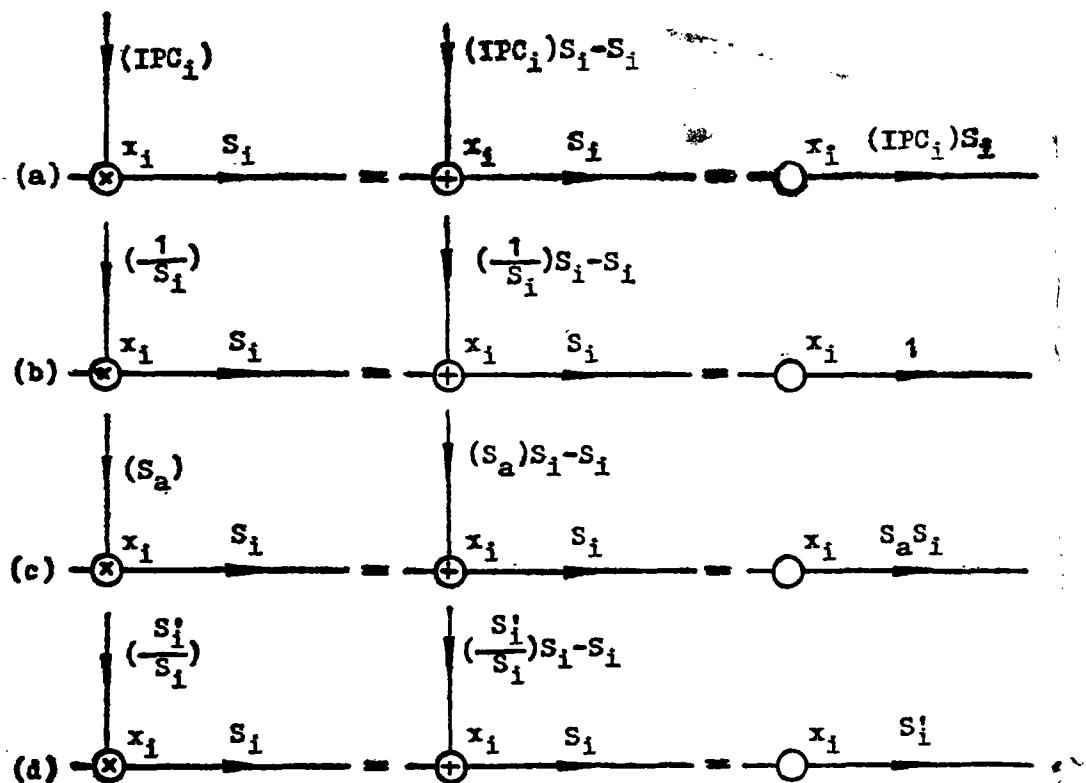


图3 控制指数输入过程及结果

- (a) 按制指数的乘法输入和加法输入；
- (b) 排除作用控制指数的输入；
- (c) 添加作用控制指数的输入；
- (d) 干扰作用控制指数的输入。

三、控制指数在种群系统控制研究中的应用

控制指数在种群系统控制研究中的应用范围是比较广的，其中有下列的几个方面。

1. 重要因子的分析：庞雄飞^[3,4]、庞雄飞^[2]应用排除分析法推导的控制指数，提出了重要因子分析法。作用于种群系统的各种因子的作用是不完全相同的。在种群系统控制的研究中，不可能把全部因子同时进行研究。优先选择重要因子，建立这些重要因子作用的亚模型，这对种群系统的研究是必要的。在稻纵卷叶螟种群系统的研究中，一龄幼虫的被捕食属于重要因子，在各类因子的分析中，捕食性天敌是重要因子，优先建立其作用的亚模型，是建立稻纵卷叶螟种群系统模型的重要组成部分^[5]。重要因子的分析在种群系统研究起着重要的作用。

2. 关键因子分析：Morris^[10]提出的决定系数分析法和Varley and Gradwell^[11]提出的图解分析法，仅以各虫期为基础进行关键因子分析。庞雄飞^[2]提出的以排除分析法推导的控制指数，不但分析各个因子的关键作用，还可以进一步分析各类因子的关键作用。在稻纵卷叶螟的关键因子中，以一龄幼虫的捕食及其他列于第一位，其余依次为四龄、五龄幼虫的捕食及其他；作为各类因子的综合分析，则捕食性天敌属于关键因子。优先选择关键因子建立亚模型，对种群系统的研究也是必要的。

3. 对各种因子作用的评价：Pang Xiongfei(庞雄飞)^[12]曾应用类似干扰分析法研究赤眼蜂防治稻纵卷叶螟的作用，说明赤眼蜂不但对害虫卵期发生作用，由于害虫的初孵幼虫及其后的幼虫期，在放蜂区内相对减少，天敌的作用相对增加，其干扰作用不但于卵期，而且间接地作用于其后的若虫期，因而在放蜂区内表现出防治稻纵卷叶螟的良好效果。黄凤宽等(1989)曾进行不同杀虫剂防治褐稻虱的作用，得出下面的结果(表1)。

表1 不同处理区内褐稻虱的系统调查

(广东海陵，1987年10~11月，据黄凤宽资料整理)

虫期	致死因子	存活率			
		Si	对照区	优乐得区 (8.75克/亩)•	叶蝉散区 (30克/亩)•
卵	捕食	S ₁	0.9743	0.9624	0.9571
	寄生	S ₂	0.9011	0.8546	0.8103
	不孵	S ₃	0.9472	0.9391	0.9395
若1~2龄	捕食及其他 (施药)	S ₄	0.3840	0.2320	0.2038
					0.3785
虫3~5龄	捕食及其他	S ₅	0.0937	0.0671	0.1168
	寄生	S ₆	0.9779	0.9746	0.9911
					0.9895

*杀虫剂用量以有效成分计算

试验选用的杀虫剂有优乐得(扑虱灵，Applaud)，属于特异性的昆虫生长调节剂，引起同翅目若虫在蜕皮时死亡，对大多数天敌在使用浓度下影响甚微；叶蝉散对飞虱、叶蝉的毒力较强而对其他天敌的毒力略低，属于选择性杀虫剂；喹硫磷对各种昆虫及蜘蛛的毒性均较强。作为干扰作用的因子，这些杀虫剂不但作用于害虫，同时对天敌的作用也会发生

不同的影响。对于喹硫磷那样的不但作用于害虫、同时也作用于天敌的杀虫剂，不但作用于施药的当时，由于天敌作用下降，也对其后的存活率发生干扰；对于叶蝉散那样的具有一定选择性的杀虫剂，这种干扰作用也应综合评价；对于优乐得那样的特异性杀虫剂，由于减少害虫的数量后天敌的作用相对增强，也会增加其防治害虫的实际效果。据表1，在各试区内卵期的存活率差异不大，各试验区的试验结果可以进行比较。应用干扰法，主要分析杀虫剂施用后的干扰作用。以对照区的控制指数 $IPC_{(Control)}=1$ 作为标准，优乐得区的控制指数为 $IPC_{(App laud)}$ ，叶蝉散区的控制指数为 $IPC_{(MIPC)}$ ，喹硫磷区的控制指数为 $IPC_{(Quinaphos)}$ ，则：

$$IPC_{(Control)} = 1$$

$$IPC_{(App laud)} = \frac{(0.2320)(0.0671)(0.9746)}{(0.3840)(0.0937)(0.9779)} = 0.431$$

$$IPC_{(MIPC)} = \frac{(0.2938)(0.1168)(0.9911)}{(0.3840)(0.0937)(0.9779)} = 0.967$$

$$IPC_{(Quinaphos)} = \frac{(0.3875)(0.1859)(0.9895)}{(0.3840)(0.0937)(0.9779)} = 2.026$$

由此看来，优乐得取得了明显的效果；叶蝉散区的综合评价，其控制指数仅略低于对照区；喹硫磷虽然杀死害虫，但同时也大量杀死天敌，其副作用已覆盖了防治害虫的主效应，控制指数比对照区高得多，说明了这类杀虫剂不宜用于防治褐稻虱。

控制指数还可应用于评价各种边界因子的作用效果。

四、小 结

本文在排除分析法的基础上补充了添加分析法和干扰分析法，充实了控制指数的基本内容，使控制指数成为种群系统研究的一个“算子”。控制指数可以应用乘法输入系统内部的支路传输（或总传输）之中，解决边界因子作用通过模型处理后的输入问题。除此以外，控制指数还可应用于重要因子的分析、关键因子的分析，解决建立种群系统模型中优先选择重要因子和关键因子进行研究，以及应用于各种害虫防治措施的综合评价。

在各种边界因子中，一些因子的结构是相当复杂的。例如捕食性天敌，其种类繁多，相互作用，对害虫的控制作用还依赖于各个种群包括对象种群的密度。在这样的多因子共存的系统中如何提取控制作用的信息的问题，将在下文进行讨论。

引用文献

- (1) 庞雄飞. 广东农业科学, 1979, (4):36—40
- (2) 庞雄飞. 植物保护学报, 1990, (1):11—16
- (3) 庞雄飞, 侯任环, 梁广文, 李哲怀. 华南农学院学报, 1981; 2 (4):71—84
- (4) 庞雄飞, 梁广文. 华南农学院学报, 1982; 3 (2):13—27
- (5) 庞雄飞, 梁广文, 尤民生. 昆虫天敌, 1986; 8 (3):176—186
- (6) 庞雄飞, 梁广文, 尤民生, 吴伟坚. 华南农业大学学报, 1988; 9 (2):1—10

- (7) 庞雄飞, 梁广文, 曾玲. 生态学报, 1984, 4(1):46—56
(8) 梁广文, 庞雄飞. 中国水稻病虫综合防治进展. 杭州: 浙江科技出版社 1988, 214—237
(9) Huffaker, G. B. 1971, Biological control. Plenum Press, New York. pp.113—140
(10) Morris, R. F. 1963, Mem. Ent. Soc. Can. 32:16—21
(11) Morris, R. F. and C. A. Miller 1954, Can. J. Zool. 32:283—301
(12) Pang Xiongfei. 1988. INRA(Les Colloques de l'INRA No.43). pp.443—449
(13) Varley, G. C. and G. R. Gradwell. 1960, J. Anim. Ecol. 29:399—401
(14) Watt, K. E. F. 1961, Can. Ent. Suppl. 19:62

**APPROACH TO INFORMATION TRANSFER OF LIMITING
FACTORS IN INSECT POPULATION CONTROL SYSTEM(I)**
—Index of population control in population system studies

Pang Xiongfei

(Insect Ecology Laboratory)

ABSTRACT

In this paper, based on the Morris-watt population mathematical model, and by means of exclusion analysis, addition analysis and interference analysis methods, an index of population control was designed. This index has been used to analyse the important factors and key factors. This index also may be used as simple data to input the effects of limiting factors in insect population system studies.

Key words: Population ecology; Population system