

系统分析在害虫管理中的应用

Ⅱ. 系统分析在水稻、大豆、苜蓿 害虫管理中的应用及系统分析的一般步骤

马春森 陈玉文

(吉林省农科院植保所,公主岭 136100)

提 要 本文综述了水稻、大豆、苜蓿三大作物及其主要害虫的系统分析和模拟模型在国内外的主要研究成就。系统分析和建模的目标系统有:水稻生育及代谢和主要水稻害虫:稻褐飞虱、白背飞虱、稻纵卷叶螟、二化螟、三化螟、黑尾叶蝉;大豆生育及主要大豆害虫:黎豆夜蛾、墨西哥豆瓢虫和稻绿蝻、大豆蚜;苜蓿生育和主要苜蓿害虫:苜蓿叶象甲、埃及苜蓿象甲、蚕豆微叶蝉、苜蓿斑潜蝇。本文还较详细地概括了应用系统分析于害虫管理中的步骤。

关键词 系统分析,模型,害虫管理

系统分析和模拟模型技术在害虫管理中已得到广泛的应用。该领域的研究进展、应用的基本情况以及在玉米、小麦、棉花的生长发育及其主要害虫的种群动态的描述模型和控制模型方面,马春森等已做了详细的综述^[1]。本文作为其后半部分,旨在对水稻、大豆、苜蓿等作物的生长发育、代谢及其主要害虫作一综合。在了解该领域的基本概念的研究进展后,笔者试图综合概括系统分析在害虫管理中应用的基本步骤。

1 系统分析及模型技术在水稻、大豆、苜蓿害虫管理中的应用研究进展

1.1 水稻害虫管理模型

水稻是亚洲许多国家的主要粮食作物,由于其多种植在温暖多雨的地区,因而其害虫种类很多,目前已有一些关于主要的水稻害虫的系统分析和模拟模型报道。

McMennamy 组建了水稻群体生长模拟模型(RICEMOD),此模型可逐日计算每小时的光合作用,呼吸作用和光合作用产物的分配运送^[30]。冯国灿等用模糊数学方法建立了水稻生育期的模糊识别模型^[2]。Holt 等组建了菲律宾的水稻褐飞虱的种群动态模拟模型。模型中包括长翅型迁入模式;各种飞虱的总密度及作物对褐飞虱生殖和存活的影响;作物对褐飞虱型决定的作用;由三组寄生性和三组捕食性天敌引起的褐飞虱的死亡率以及褐飞虱的替代猎物——其它飞虱对种群的影响^[24]。Chen & Holt、蔡立正又对我国水稻和褐飞虱系统进行了系统分析,并组建了种群模拟模型和控制模型^[17-19]。祝增荣等则描述了白背飞虱的种群离散时间确定性动态模拟模型。模型包括白背飞虱的发育,存活,繁殖,迁入,迁出与主要环境因子的关系,最后以一组转移函数表达种群动态^[4]。周集中,陈常铭则对环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用组建了模拟模型,并进行了稳定性和选择捕食性作用的分析^[11,12,13]。

张润杰等对稻纵卷叶螟——水稻生态系统进行了系统分析并组建了稻纵卷叶螟的模拟模型,水稻生育期的预测模型以及综合管理决策模型,并对此系统进行了灵敏度分析和控制措施的模拟分析⁽⁷⁾。张孝羲等⁽⁸⁾及梁广文和庞雄飞⁽¹⁶⁾也描述了稻纵卷叶螟的预测和管理模型。

Kiritani 用系统分析方法探讨了黑尾叶蝉在日本的治理,建立了普通短缩病(RDV)的流行模型,RDV 侵染的预测和防治指标模型,在生命表的基础上组建了包括稻田蜘蛛在内的系统模型,并进行了模拟分析⁽²⁷⁾。

夏敬源⁽¹⁵⁾,古德祥和张润杰⁽³⁾还组建了三化螟的种群预测和管理模型。张文庆⁽⁴⁾研制了三化螟的管理模型,可以确定农药的最佳使用时间和用量。

吴蔚文建立了二化螟预测和管理模型⁽⁸⁾。此外,季伯衡还对水稻纹枯病进行了系统分析和模拟模型的建模研究⁽¹⁰⁾。

1.2 大豆害虫管理模型

大豆是重要的油料和蛋白作物,大豆——害虫生态系统分析模拟和优化控制的研究主要是在美国。Rudd 研制了大豆的生长模型。该模型可以预测在普遍栽培条件及各种变化的栽培条件下,害虫危害及无害虫危害时大豆的产量,用叶面积系数和最大干物质生产量来计算大豆植株干物质总重量,茎、叶、豆荚干物质重量的动态变化⁽³⁷⁾。

Menke 首先建立了大豆生态系统中黎豆夜蛾的随机种群动态模型⁽³¹⁾,其后对其进行了实验有效性检验⁽³²⁾。Waddil 等描述了墨西哥豆甲虫的厢车模型⁽⁴⁶⁾。Marsolain & Rudd 将稻绿蝽的种群动态用偏微分方程来描述⁽²⁹⁾。Stinner 等建立了北卡的夜蛾种群模拟模型⁽⁴⁵⁾。但较深入细致地对大豆生态系统进行研究的是 Rudd 的通用害虫管理种群模型⁽³⁵⁾,该模型有两个特点,即强调发育和繁殖的过程在数学上和结构上不因害虫种类而异,即各种昆虫个体进入某一发育阶段后,停留一段时间再进入下一阶段。在能说明问题的前提下,模型越简单越好。以此为基础建立了大豆害虫的通用微分方程模型。Rudd 以大豆生态系统为例,表述了生态系统的等级层次结构模型^(36,37)。Aldred 等在前人的基础上修改组建了捕食者——猎物随机模型,以模拟酸浆瓢虫姬小蜂对墨西哥豆瓢虫的寄生率⁽¹⁸⁾。

范君对我国东北的大豆蚜——大豆生态系统进行了系统分析并组建了大豆蚜种群动态拟合模型⁽⁹⁾。

1.3 苜蓿害虫管理模型

由于苜蓿是美国及欧洲的重要农作物之一,苜蓿害虫——苜蓿的系统分析和优化控制研究报告甚多。Fick 就对苜蓿各部分的干物质产量动态建立了模拟模型⁽²⁰⁾。Raesink 建立了苜蓿象甲的不定发育率种群动态模型⁽³⁹⁾。Shoemaker^(43,44),Onstad & Shoemaker⁽⁴³⁾组建了苜蓿叶象甲模型,并在此基础上将含有少数变量的优化模型与复杂的种群动态模型相结合,找出了生物、栽培和化学防治苜蓿象甲的最优措施。Guierrez 建立了埃及苜蓿象甲的种群动态模型和苜蓿生长模型,并用降阶方法计算出使用杀虫剂的最佳时间^(22,23)。Onstad 等用系统分析法来管理苜蓿上蚕豆微叶蝉,建立了一个因天气和作物状况而异的经济阈值模型及各种防治措施,对苜蓿象甲和苜蓿产量损失的作物模型⁽³⁴⁾。Sawyer & Fick 将苜蓿斑潜蝇危害机制的八种假设纳入了一个经过检验有效的苜蓿模型中,以考察该虫的危害⁽⁴⁰⁾。此外,在森林、果树、蔬菜、贮粮害虫等生态系统都有不少系统分析和优化控制的报道,这里不再涉及。

2 系统分析的步骤

用系统分析法研究一个生态学问题,需要按照一定的步骤来进行。系统分析的基本步骤在工程科学中已经确定,但具体生态问题的系统分析步骤不尽相同,而且每一步所作的工作也不同。很多作者对生态系统的系统分析步骤作过总结^[26,28,38,42],但其强调的侧面有所不同。综合其观点,可归为以下几个步骤:

2.1 对目标系统的认识 and 定性分析

Jeffers 特别强调了这一步骤^[25],事实上它是系统分析中最重要的步骤,以后的定量分析正是建立在这种定性分析的基础上的。定性分析主要包括:

2.1.1 确定研究题目 从众多的问题中找出关键问题,这个问题对开展以后的研究或其它一系列相关问题的解决非常重要。找出关键问题后,分析这个问题的研究是否适于用系统分析方法,是否符合系统分析的基本假设。

2.1.2 确定所研究问题的范围和界限 一旦确定某一作物——虫害问题用系统分析法研究,就要对该问题进行足够的分析,选择要研究的部分,选择时要考虑到问题的简化和其固有的复杂性间的平衡,过分复杂求不出满意的解,过分简单则没有必要使用系统分析。

2.1.3 系统辩识 系统辩识主要作三方面的分析选择:首先,分析确定要研究的系统是哪一等级的,即在个体、种群,一个营养水平,甚至一个大的生态系统中作出选择。在昆虫生态学中,这几个层次的研究均有。

其次,要分析确定与选定的系统关系密切的,有相互作用的系统组成成员。有两个方法可以使用:一个是选择组成成员尽可能简单,分析者肯定它们对系统的影响很大;另一个是初始的选择包括了所有有关的成员,然后再根据分析者的需要及学识修改,直到满意为止。第一种途径适于建立解析数学模型,第二种途径适于建立数值模拟模型,划定系统的组成成员后,把其余的因子归为系统的环境。在实际应用中,往往是基于以前的经验和知识,由分析者和实验生态学家共同确定。

最后,要确定各组成成员间的相互作用,作用的本质(指物质流动还是信息流动),完成这一步骤有两种途径:其一,用系统结构图来表达,系统分析者利用已有的知识和经验以及初步观察研究结果直接确定各种状态变量的相互作用,确定不了的,查阅文献看是否有所启示,最后作出系统的结构图,其中包括系统各成员的状态变量和相互作用的性质。其二,对于一些十分复杂的系统,可以利用互作矩阵来表示。工作矩阵中的行列均为系统内各种变量,矩阵的元素可以用整数表示,正号表示促进,负号表示抑制,0表示没有直接的作用,整数绝对值的大小表示相互作用程度^[28]。

2.2 定量分析

2.2.1 确定系统管理的目标,尽可能使用目标量化 例如求害虫防治的最小成本,种植业的最大收益。多目标时,设法综合为一个单一的目标函数,方法较多,最常用的是以主要目标为目标函数,其它目标可以作为约束函数^[38]。

2.2.2 建立系统模型 系统分析者的大部分工作放在此处,建立系统模型的基础是系统的辩识,主要任务是把系统的各变量及其相互作用用数学的形式表达出来。建立系统模型的一般步骤可以分为以下几个步骤^[28]:

①决定模型采用的形式,需要考虑许多方面的影响,特别要考虑的是建模的目的,然后

确定所建模型的形式是解析的还是数值的,是确定性的,还是随机性的。如果系统相对简单,而且不用考虑时滞效应或其它复杂的数学关系,系统内各变量的相互作用可以用线性方程表达时,建立解析代数模型最为合宜。这种模型可以用正统的数学方法分析,结构上容易理解。

对复杂的系统建立真实性较强的模型,解析模型往往不足,生态学家经常建立较复杂而真实的数值模拟模型,这种模型主要用计算方法,然后用适当的结构化计算机程序表示一个生态系统的结构和功能。有时以描述的形式给出,但绝大多数模拟模型都以一系列数学关系表达式作为其核心内容。

对于确定性与随机性模型之间的选择,部分地与解析模型或数值模拟模型的选择有关。确定性模型,在给定不变的输入和参数集时,在它们的操作运行过程中保持不变,大部分解析模型属于确定性的,虽然它也可以是随机形式的,但不常用。

数值模拟模型中很容易引入随机变量,在数值模拟模型中的参数不再是一个常数,而是一个随机变量,输入值也是随机变量,这些随机变量服从一定的概率分布形式,而计算机内可以产生“拟随机数”,这样就可以把数值模拟模型与随机性结合起来。随机模型的优点是模拟自然界的随机输入,得出一系列的随机输出预测结果,这些结果可以用统计学进行分析,这样使模型更接近于实验数据或田间观察值。

②写出数学表达式,用的最多的是微积分方法,把速率过程写为微分方程,表示系统的动态,常用的还有差分方程和矩阵表达式。有时出于建模的需要还采用一些特殊的数学技术,这些技术包括运筹学,图论,耗散论(diffusion theory),突变论以及概率论等,需要有广泛扎实的数学基础或与数学家合作。

③确定计算方法:采用哪类计算机,现有的计算机大致可以分两大类:数值机和模拟机,一般采用数值机较多,其次还要选择计算机程序语言,然后确定程序编制的结构等。对于较复杂的模型,可以采用结构化程序设计。

④程序化:把模型的全部内容用所选择的计算机语言编为程序。程序的编辑过程,首先作出程序的流程框图,然后编为程序,检查错误并改正。程序中还应包括数据集的输入和输出。

⑤参数的估算:参数的取得大致可分为三种情况:

直接确定:模型中的一些参数可以用直接的方法给出,这些参数往往是相对稳定不变和通用的。如害虫管理模型中常用的某农产品市场价格,农药价格,劳动力价格等。有些则可以用一次实验测定,如昆虫生长发育的生物物理模型中用的化学反应常数,大气常数等。但生态模拟模型中经常要用气象数据,它可以从气象记录中获得。类似的其它数据可以从相应的统计记录中查找。

间接获得:本系统内没有可用的数据时,可以利用邻近的系统或平行系统中的原始记录,这意味着从类似系统的文献中查找可利用的部分。昆虫种群动态模拟模型中的发育速率和温度关系的数据常用这种方法获得。

实验测定和人为指出:模型中的参数没有合适的、有用的数据时,最明显的方法是去测定有关的参数,通过实验,利用统计学方法求出这些参数。昆虫种群模型中常用的“饥饿水平”攻击预备参数的测定十分困难,甚至是不可能的。在这种情况下,根据经验可以人为猜测,给定数据,当然这种数据不能和模型中的其它数据一样处理,它只作暂时的参数,它的作用可以通过灵敏度分析来评价。

⑥灵敏度分析:是估计模型中一些参数的相对重要性的一种方法,如果某参数作轻微的改变,导致模型的计算结果差异很大,这个参数对模型是灵敏的,它是一个重要的参数。相反,如果某个参数作较大的改变,而模型的运行结果变化很小,这个参数不灵敏,对这个模型不重要。灵敏度分析的重要意义在于,它能为研究者提供重要的指导,对那些灵敏的参数要重点研究,而在那些非灵敏参数上耗费力量是意义不大的。有的研究中,用灵敏度分析法分析变量的重要性,对于研究对象的确定也是一个有效的方法^[41]。

⑦模型的有效性检验:即要检验模型模拟真实系统的精确性如何。一般要进行两种检验:一种是把模型的计算值与建模时所用的原始数据进行对比检查,看模型对数据的拟合精确程度如何,与统计学中所用的最小二乘法有些类似。另一种是把模型的计算结果与没有用于模型的组建上的数据进行对照。很多情况下,是与实际观察值进行比较,可以用的技术,包括直接的统计技术,对二者进行相关分析和回归分析,或进行简单的差异显著性测验。

模型的有效性检验是个重要的步骤,检验不合格,要对模型的参数进行修改,或对部分变量结构进行修改,如果仍是不合格,要重新建立模型,步骤同前。通过模型的有效性检验可以发现研究者是否忽略了某个重要的影响因子或过程,以便以后的实验中引起重视,还应注意是否是观察数据不真实合理。

2.2.3 模拟计算 建立了有效的模型后,把模型作为工具,输入计算机进行模拟实验,以回答开始时提出的问题。一般是输入一些变量值,看系统的反应如何,如在害虫管理中,可以输入不同的管理决策,或一新的农药的处理,观察其对害虫和作物有何影响,从中选出一个最好的决策来,或输入不同的害虫密度,天敌密度,作物参数及气象数据,通过模型算出各种数据组合情况下相应采取的措施,或者通过运筹学方法求出最优决策来。

2.2.4 模型的应用 利用模型进行有目的的试验设计,从而得到描述系统的最重要的数据,把这些数据用于模型的参数和结构的合理化和有效性检验。用控制,设计或合成生态系统的方法使系统趋于人们期望的行为输入,当然这些技术在理论上的探讨更多些,但害虫管理中,通过控制措施,调节生物种群,以达到害虫控制的目的比设计或合成生态系统的方法更为实用^[38]。

参 考 文 献

- 1 马春森,陈玉文.系统分析在害虫管理中的应用. 1. 系统分析及其在玉米、小麦、棉花害虫管理中的应用. 吉林农业科学. 1995, (2): 51-58
- 2 马国灿.水稻群体生长模型的研究. 中山大学昆虫研究所硕士论文. 1988
- 3 古德祥,张润杰.三化螟预测和管理模型. 中国水稻病虫害综合防治策略与技术. 农业出版社. 1991, 275-287
- 4 张文庆.三化螟管理模型——确定农药的最佳使用时刻和最适用量. 中山大学昆虫研究所硕士论文. 1988
- 5 沈佐锐.谈谈昆虫生态学中的数学模型(一)、(二). 昆虫知识. 1985, 22, 223-226, 279-282
- 6 张孝羲等.稻纵卷叶螟种群生命系统模型的研究. 生态学报. 1988, 8(1): 18-26
- 7 张润杰等.稻纵卷叶螟——水稻生态系统的模拟及分析. 中山大学学报论丛. 1989, 8(1): 44-58
- 8 吴筠文.二化螟预测和管理模型. 中国水稻病虫害综合防治策略与技术. 农业出版社. 1991, 263-275
- 9 范君.大豆蚜田间种群动态的系统分析及模型拟合. 沈阳农业大学植保系硕士研究生学位论文. 1988
- 10 季伯衡.水稻纹枯病预测和管理模型. 中国水稻病虫害综合防治策略与技术. 农业出版社. 1991, 312-322
- 11 周集中,陈常铭.拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究. 1. 功能反应. 动物学通报. 1986, 2 (1): 2-9
- 12 周集中,陈常铭.拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究. 1. 单种捕食者——单种猎物系统的模拟模型及其稳定性分析. 生态学报. 1986, 6(3): 238-247

- 13 周集中,陈常铭.拟环纹狼蛛对褐飞虱的捕食作用及其模拟模型的研究.Ⅲ.选择捕食作用.生态学报.1987,7(3):228-237
- 14 祝增荣等.白背飞虱种群动态的模拟研究.生态学报.1994,14(2):188-195
- 15 夏敬源.三化螟种群动态模拟模型.首届全国青年昆虫工作者学术讨论会论文摘要集.1990,125
- 16 梁广文,庞雄飞.稻纵卷叶螟预测和管理模型.中国水稻病虫害综合防治策略与技术.农业出版社.1991,288-301
- 17 董立正.褐飞虱预测和管理模型.中国水稻病虫害综合防治策略与技术.农业出版社.1991,302-311
- 18 Aldred, J. M. et al. A stochastic model of parasitism of the Mexican bean beetle, *Epilachna varivestis*, in soybean by *pediobius foveolatus*. Res. popul. Ecol. 1980, 21: 286-299
- 19 Cheng, J. A. & Holt, J. A systems analysis approach to brown planthopper control on rice in Zhejiang province, China. I. Simulation of outbreaks. J. Appl. Ecol. 1990, 27(1): 85-99
- 20 Fick, G. W. ALSIM I (Level I) User's Manual, Department of Agronomy, Mimeo, 75-20, Cornell University. 1975
- 21 Getz, W. M. & Gutierrez A. P. A perspective on systems analysis in crop production and insect pest management. Ann. Rev. Ent. 1982, 27: 447-466
- 22 Gutierrez, A. P. et al. An economic optimization model of pesticide resistance, alfalfa and Egyptian alfalfa weevil—an example. Environ. Ent. 1979, 8: 101-107
- 23 Gutierrez, A. P. et al. Computer model aids in weevil control. California Agric, 1976, 30(4): 8-9
- 24 Holt, J. et al. Simulation analysis of brown plant hopper population dynamics on rice in the philippines. J. Appl. Ecol. 1987, 24(1): 87-102
- 25 Jaffers, J. N. R. An introduction to systems analysis, with ecological applications. Edward Arnold. 1978
- 26 Jaquette, D. L. Mathematical models for controlling growing biological populations: A survey. Operation Research, 1972, 20: 1142-1151
- 27 Kiritani, K. A system approach to pest management of the green leafhopper. In "Proc. of a conference on pest management" (ed) Norton, G. & Holling C. S. II ASA 1977, 229-252
- 28 Kitching, R. L. System ecology, An introduction to ecological modelling. Univ. of Queensland press. 1983
- 29 Marsolan, N. F. & Rudd, W. G. Modeling and optimal control of insect pest populations. Math. Biosci, 1976, 30: 231-244
- 30 McMennamy, J. A. Dynamic simulation of irrigated rice crop growth and yield. Summer meeting American society of Agric. Eng., San Antonio Convention Center. 1980
- 31 Menke, W. W. A computer simulation model, The velvetbean caterpillar in the soybean agroecosystem. Fla. Ent. 1973, 56, 92-101
- 32 Menke, W. W. & Green, H. L. Experimental validation of a pest management model. Fla. Ent. 1976, 59: 135-142
- 33 Onstad, D. W. & Shoemaker, C. A. Management of alfalfa and the alfalfa weevil, an example of system analysis in forage production Agric. Syst. 1984, 14: 1-30
- 34 Onstad, D. W. & Shoemaker, C. A. Management of potato leafhopper, *Empoasca fabae*, on alfalfa with the aid of system analysis Environ. Ent. 1984, 13: 1046-1058
- 35 Rudd, W. G. population modeling for pest management studies. Math. Biosci. 1975, 26: 283-302
- 36 Rudd, W. G. et al. Hierarchical models of ecosystems. Environ. Ent. 1984, 13: 584-587
- 37 Rudd, W. G. et al. The systems approach to research and decision making for soybean pest control. In "New Technology of pest Control" (ed.) Huffaker, C. B. 1980, 99-122
- 38 Ruesink, W. G. Status of the system approach to pest management Ann. Rev. Ent., 1976, 22: 27-44
- 39 Ruesink, W. G. Modeling of pest populations in the alfalfa ecosystem with special reference to the alfalfa weevil. In "Modeling for management." (ed.) Tummala R. L. et al. 1976
- 40 Sawyer, A. G. & Fick G. W. potential for injury to alfalfa by alfalfa blotch leafminer: simulation with a plant model. Environ. Ent. 1987, 16: 575-585
- 41 Shoemaker, C. A. The role of systems analysis in integrated pest management. In "New technology of pest con-

trol*(ed.)Huffaker. 1980,25—49

- 42 Shoemaker, C. A. Application of dynamic programming and other optimization methods in pest management. *IEEE Trans. Auto. Control.* 1981,26,1125—1132
- 43 Shoemaker, C. A. Optimal integrated control of univoltine pest populations with age structure. *Operation Research* 1981,30,40—61
- 44 Shoemaker, C. A. & Onstad, D. W. Optimization analysis of the integration of biological, cultural, and chemical control of alfalfa weevil. *Environ. Ent.* 1983,12,286—295
- 45 Stinner, R. E. et al. 1974. population dynamics of *Heliothis zea* and *H. virescens* in North carolina: A simulation model. *Environ. Ent.* 1974,3,163—168
- 46 Waddil V. H. et al. A computer simulation model for the population of Mexican bean beetles on soybeans. *S. C. Agric. Exp. Stn. Bull.* 1976,590

SYSTEM APPROACH IN PEST MANAGEMENT :

II. SYSTEM APPROACH IN RICE, SOYBEAN AND ALFALFA PEST MANAGEMENT, A SURVEY

MA Chunsen and CHEN Yuwen

(*Institute of plant protection, Jilin Academy of Agricultural Sciences Gongzhuling, Jilin 136100*)

Abstract: The main research progress in China and oversea on system analysis and modeling for rice, soybean, alfalfa and their main insect pest ecosystem is surveyed. The objective ecosystems include rice plant and *Nilaparvata lugens*, *Sogatella furcifera*, *Cnaphalocrocis medinalis*, *Chilo suppressalis*, *Tryporyza incertulas*, *Nephotettix cincticeps*; Soybean plant and *Anticarsia gemmatilis*, *Epilachna varivestis*, *Nezara viridula*, *Aphis glycines*; alfalfa plant and *Hypera postica*, *Agromyza frontella*, *Hypera brunneipennis*, *Empoasca fabae*. The detail procedure of system analysis for a crop-insect ecosystem is presented.

Key words: System approach, Pest management.