

论计算机化的病虫害管理系统的原理*

李典谟** R. L. Tummala D. L. Haynes

(中国科学院动物研究所) (美国密执安州立大学昆虫系与系统科学系)

由于现代系统理论引入害虫防治的领域,并结合计算机技术的发展,害虫管理系统也有了飞跃的进步。本文不仅讨论了发展现代害虫管理系统的原理和若干理论问题,而且还比较了中国传统的预测预报网与现代建立在计算机网络上的联机(on line)害虫管理系统,并对今后发展提出了作者的看法。

害虫综合管理(或防治)的概念,随着时代的发展,也赋予新的含意,系统理论引入害虫防治的相关领域,则是认识论上的一大提高,也是学科发展和学科互相渗透的必然结果。而计算机作为强有力的工具,在害虫综合管理中的作用也越来越明显。可以说联机害虫管理系统则是这三者(系统理论、计算机技术、害虫综合防治)结合的产物。本文第一部分将简要讨论害虫综合管理的意义。第二部分论述系统论对害虫综合管理发展的影响。第三部分着重讨论发展联机害虫管理系统的原理。第四部分两种预测预报系统的比较,及今后发展的意见。

一、害虫综合管理的意义

中国劳动人民在长期同农业病虫害斗争中积累了丰富的防治害虫经验,早在50年代初期,中国科学家就提出了“综合防治”的概念,概括了当时采用的农业防治,化学防治和改变害虫环境等方法,它是由“防治结合”和“改治并举”的治虫策略发展而来的,指导思想是预防为主,所以完整的提法是“预防为主,综合防治”,这就是中国当前治虫工作的方针”(马世骏等,1979)中国的飞蝗灾害在绝大部分地区被根除,就是“综合防治”的辉煌成果之一。

在国际上,自第二次世界大战以来,杀虫剂的日益广泛使用,已引起公众对环境、人类健康和安全的普遍关心。在美国,每年用54万吨农药,却仍然有将近180亿美元的农作物损失是由于虫害、病害、草害和线虫等所引起的。这种损失约占整个美国作物生产的33%;而在世界范围,估计每年所用的农药为225万吨,但病虫害的损失却依然高达35%(Cramer, 1967; Pimentel, 1976)。与此同时,病虫害对杀虫剂的抗性已日益增长,这又导致新的探

* 本文寄自美国,作者特请马世骏教授、兰仲雄先生、陈永林同志、丁岩钦同志审阅并代为修改文稿。陈玉平同志、肖跃同志协助清稿和绘图,在此一并致谢。

** 中国访美学者,原单位为中国科学院动物研究所。

索农药或者加大农药使用的剂量, 这种恶性循环造成环境污染、农田生态系统的破坏, 这一切为人类的前景描述了一幅可怕的景象。这不得不使科学家们去开辟一种防治害虫的新途径。在西方, 害虫综合防治的概念最早是在50年代末和60年代初 (Smith, 1962; Stern *et al*, 1959) 提出的, 最初综合防治的概念, 是被叙述为各种防治手段 (包括化学的, 生物的和耕作的) 最优的结合。而10年之后, Haynes等 (1973)、Giese等 (1975)、Tummala等 (1977) 从系统观点出发, 利用现代计算机技术, 把重要的一个方面——变化的气象条件加入到综合防治中去, 使控制策略得到周期性更新。这就是“联机害虫管理系统”(on-line pest management system)。

关于害虫综合防治的概念, 马世骏等 (1976、1979) 的著作对中国的主要害虫的综合防治作了详尽的分析和阐述。1981年又阐述了生态经济学原则在害虫综合防治中的应用。在西方, Allen和Bath¹⁾ (1980) 的文章对害虫综合管理IPM作了较为权威性的解释, 按照Allen和Bath的解释, 在“害虫综合管理”里“综合”(integrated) 一词的意义, 主要包括以下4个方面: 第一, 它要求多种专业互相配合 (如电子工程、计算机科学、经济学、种群动态、社会科学等), 要考虑到各种病、虫、害, 包括节肢动物、线虫、植物病害、杂草、脊椎动物和其他的生物以及它们之间的相互作用。第二, 它要求所有可应用的管理策略协调到一个统一的规划中去, 以寻找一个最优的管理策略。第三, 植物保护只是作为整个农业生态系统管理计划的一个方面。第四, 它考虑到经济、生态、社会舆论等各个方面。因此, 一个好的害虫综合管理的规划不仅要在眼前的经济效益上行得通, 而且从长远来讲又要考虑到生态平衡, 环境污染和人类健康以符合生态效益。

二、系统论与害虫综合管理

系统论从整体观念出发, 为分析和设计复杂系统提供了逻辑的程序。系统分析的基本方法, 则是构造一个系统的模式, 来作为实在的系统的替代物, 进而了解和预测该系统可能发生的行为。在工程技术领域里, 适当地构造这些模型, 在设计和分析复杂的系统中所起的巨大作用已是无可怀疑的。在当代人们所取得的科学技术的辉煌成果里 (例如卫星上天和宇宙飞船), 系统论所起的重要作用, 已为科学家们所公认。但是, 如何应用系统论于农业发展, 特别是应用于害虫综合管理, 则是一个新的课题。我们知道, 系统论的最重要方面是它所具有的能力, 能把所要研究的对象 (往往包括好几个不同的部分) 聚合在一个协调的形式下, 去达到一个预定的目标。而这种概念却正好是当前农业生态系统管理上所迫切需要的。回顾一下历史, 我们知道, 在三、四十年前, 农业科学家们管理农田很可能是从系统观点出发的, 当时农业科学家们了解农田生态系统的各个组成成分, 以及与这些成分相关联的领域。于是, 他们有可能从整体观念出发来管理农田系统。但是, 随着农业专业化和机械化的发展, 农田管理越来越商业化和工业化 (这在西方世界尤其明显)。这种管理则很少考虑农田系统的各个组成成分的演变, 慢慢地人们对这些组成成分越来越无知, 逐渐地农田系统“沦落”为一个黑“箱”(black box)。人们很少去研究农田系统的各个成分间的动态关系和相互作

1) G. E. Allen是美国农业部科学教育局综合害虫管理协调队伍的前主席, Florida大学昆虫和线虫系的教授 J.

E. Bath是密执安州立大学昆虫系主任和教授。

用,与此相应的农业科学被分成更细的各种专门学科(如植保学、土壤学、园艺学等)。科学家们在各个专门学科里工作,而很少去研究这些专门学科间的相互作用。忽视农田系统各个分量之间自然的联系已导致病虫害对农药的抗性增加,农田产量下降,环境的污染和越来越依赖于有限的能源。

从系统观点来看,农田系统的研究有两个目标:长期的和短期的。长期的目标涉及到改变系统的结构,重建农田生态系统。这可以称为农田生态系统的设计。其简单定义为:在满足一系列生态的,经济的和社会的约束条件下,重新确定农田生态系统的结构,以达到一个预定的目标。例如:在害虫生态系统中引进或者除掉某种寄生或捕食分量。短期的目标,可以叙述为确定某种管理措施来管理已经存在某种结构的农田系统。从系统论看,这问题包括两个方面,一个是确定最优输入水平如最优施肥率,最优农药使用率等等(最优控制问题);另一个是在某一给定的模型里,确定最优化的参数(最优化参数问题)。无论是上述哪一类最优化问题,下面的两个条件都是必要的:①给定的系统模式;②一个目标函数。但是对于大部分农业系统或者害虫生态系统,这两个条件都不是显而易见的,很多科学家们致力于这方面的工作[Tummala, 1974; Tummala *et al.*, 1975; Tummala *et al.*, 1976; Dewit *et al.*, 1974; Nix (ed.), 1971],在研究害虫生态系统的最优化方面的文献;相对还是不多的[Nix(Ed.), 1971; Goh, 1974; Rajau and Tummala, 1978; Vincent, 1973; Shoemaker, 1973],当然系统模式会随着所研究的害虫系统的不同有很大的差异。但在大多数情形下,目标函数可概括为下列形式。

$$\text{Max}\{\text{产量} - \text{防治消耗} - \text{外部损耗 (externality cost)}\}$$

在上述函数中,关键因子是外部损耗。过去很少有人注意它,现在人们开始重视它。它包括环境损耗,病虫害对农药抗性的增加等等。由于它的复杂特性,对这问题的理解需要各学科之间的合作,如经济学家、生态学家、系统科学家和农业科学家一起工作来确定如何在这几个因素中平衡以建立一个理想的目标函数。

目前,只有很少的工作触及关于生态系统的设计问题的研究(Koenig and Tummala, 1972)。Haynes等(1980)曾探索了这个问题。他们用洋葱生态系统作为一个样版,在三个不同管理水平下进行研究和比较。这三个不同管理水平是①非商业性系统或称“原始系统”;②商业性生产系统;③温室。在每一种情形下,种群密度水平通过联机害虫管理网被监察或被控制。非商业性生产系统定义为缺乏能量和化学农药输入的系统,也即呈现原始状态的系统。首先,比较商业性生产系统和原始系统,通过对于原始系统的仔细研究来改变商业生产系统的结构。但是在把这些结构改变引入商业生产系统以前,必须在温室里作实验,这些实验着眼于在生产水平、环境污染、生态稳定性等几个矛盾的方面寻找替代办法,以满足系统设计的要求。结构改变必须渐渐地引入商业生产系统。从研究观点来看,这种新的被改变了的系统又将再与原始系统作比较并重新作出估价。然后,重复这些步骤,直到满足所有的生态和社会的目标。

从理论和应用角度来看,对生态系统结构和管理的研究都是很重要的,是相辅相成的,虽然农田生态系统设计能解决长期的目标,但由于确定和实行这种设计,一般要花较长时间,所以管理现存结构的农田生态系统作为解决近期目标的手段还是必要的。

中国科学家们在改造中国蝗区时所取得的经验,则是农田生态系统设计和管理结合的一个很好的例证。在改治结合的方针中,“改”则代表着生态系统的设计,“治”则代表着管理

(马世骏等, 1979)。

三、联机害虫管理系统(on-line pest management system)

联机 (on-line) 害虫管理系统, 又称实时 (real time) 害虫管理系统是美国密执安州立大学昆虫系最先发展起来的 (Tummala and Haynes, 1977; Haynes *et al.*, 1973)。目前, 在美国居于领先地位。

联机害虫管理系统是利用系统科学的原理和现代计算机技术发展起来的。它的原理可以概括为以下几个方面:

1. 系统-环境两分法

系统-环境两分法, 是在概念上把“宇宙”分成控制的对象和它所关联的环境两部分。例如, 对一个特定地域的棉田来讲, 这块棉田就是系统, 而系统的环境就是除这块棉田外的其它的东西。这种系统-环境两分法是系统分析的第一步。

2. 区分可控因子和不可控因子

在把宇宙分为系统和它的环境之后, 下一步是确定那些变量影响系统, 进一步再把这些变量分为两类: 一类是可控因子, 一类是不可控因子; 例如, 气象条件就是不可控因子, 而施肥量, 喷药量就是可控因子。

进一步再在可控因子中选择一部分因子作为被控的因子, 而其它的所有因子就是不被控的因子。被控的因子的全体就是系统的输入, 也就是我们要操纵或控制的对象。对于不被控的因子, 则需要发展一套监测系统来监测它们 (见图 1) 例如, 气象因子就是不被控的

因子, 在联机害虫管理系统里, 我们就必须专门有一套气象监察系统来监察它。

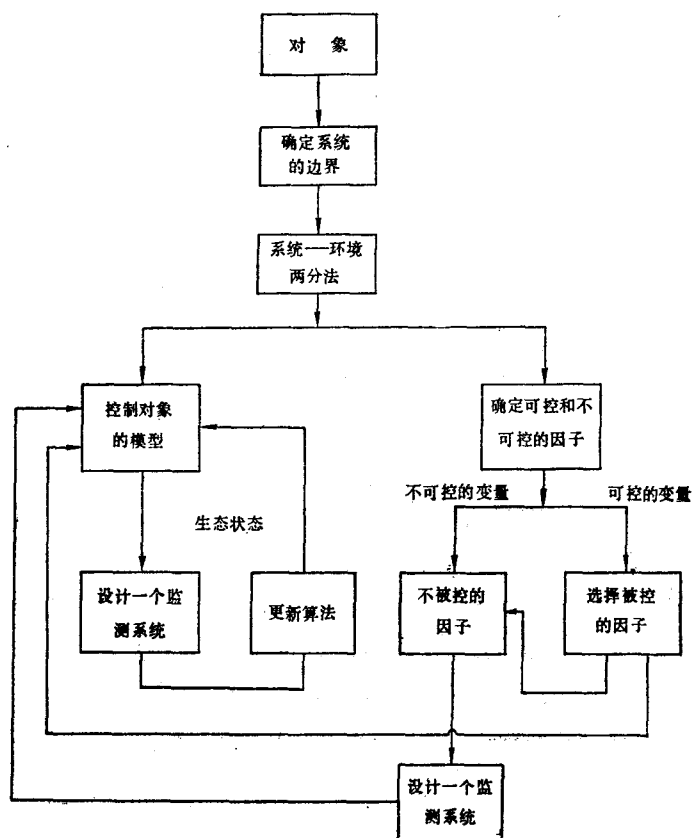


图 1 实现联机害虫管理的步骤 (Tummala *et al.*, 1977)

3. 建立系统的数学模型

为了定量表示和预测系统的行为,建立系统的数学模型是非常重要的一步。我们知道,研究一个生态系统,目的是要预测系统的行为,以及比较在不同的管理措施下系统行为的优劣。为了阐明这问题,引进生态系统状态的概念是十分必要的,状态的概念是现代控制理论一个很重要的方面。一个系统当前的状态,如果选择适当的话,是概括了系统行为过去的全部历史。因此,一旦这些状态被适当的选择,人们就可以确定系统对各种输入的响应。这就是对系统行为的预测。从这个意义来讲,系统的数学模型包括两个内容:1)状态方程;2)响应方程。状态方程依赖于输入的信息,不断更新状态;而响应方程则是建立了系统的状态和系统的输出之间的关系。

4. 发展一套算法来系统化资料,概括和比较控制策略,通过预测和实测比较不断更新模型的参数

联机害虫管理的一个重要特点是构造的模型不仅是把生物信息定量化,而且时刻可以周期性更新,所以模型要尽可能的简便,而且只需要在一个很短的区间内精确就行了。图2表示了联机害虫管理的信息流。下面我们将解剖密执安州立大学的联机害虫管理系统来具体说明联机害虫管理系统的结构。概括地说来,可把整个系统分成下列几个分系统:

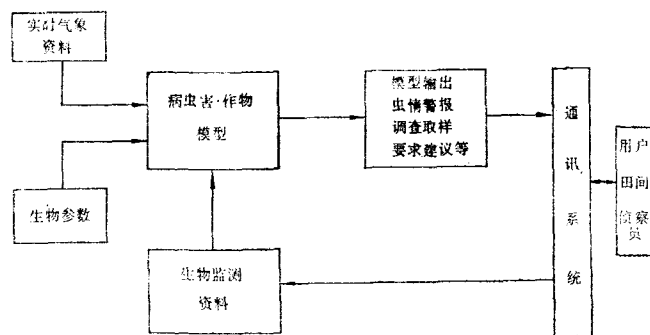


图2 联机害虫综合管理系统的信息流图

1) PMEX 系统 (Pest Management Executive system) PMEX 系统是害虫管理执行系统的简称,也有人把它称为害虫管理计算机软件传递系统。它的主要功能是传递信息。通过这套系统,田间管理人员和侦察员可以得到他们所需要的已整理好的有关田间害虫动态或对动态预测的信息,帮助他们进行田间调查,和作出最优化害虫管理决策。

2) Biosched 系统 (Biological Scheduling system) Biosched 系统是建立在计算机基础上的物候学系统,以帮助害虫管理人员进行田间调查。这系统又由两部分组成,一部分叫做 Pestapp,而另一部分叫做 Pete(见图3)这两部分模型都是用来估计当前田间病虫害生活期,以及近期内病虫害可望达到的生活期。Pestapp 模型主要建立在田间观察资料上,用拟合正态曲线的方法,根据各种虫害发育所需要的有效积温与当前由气象站输入的气象资料所算得的有效积温比较来预测田间害虫的发生期,这一切计算和预测更新过程都在事先编好的程序下由计算机自动完成,输出信息可用图形或者列成表格显示,给用户非常直观和清晰的感觉。Pete 模型是仅对有限的一些虫害,它是根据较详细的实验数据,以分布时滞模型 (Manetsch and Park, 1974) 来预测田间的害虫发生期的。

用这个系统来预测田间的生物现象准确的关键在使用了实时气象资料, 这些气象资料从各地的气象站通过电话线或计算机网终端输入到计算机里, 计算机的软件系统自动加工这些信息, 然后把预测结果作为输出文件以供用户使用。

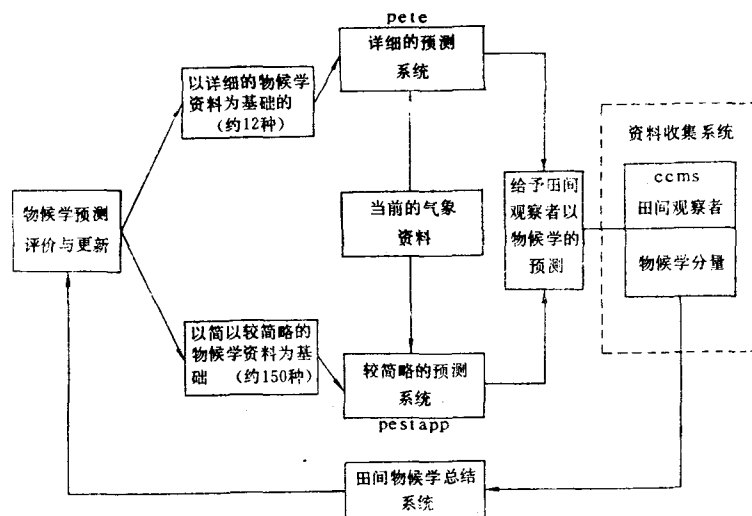


图3 Biosched信息流图

简言之, Biosched 系统是帮助田间工作人员进行最优化抽样的设计, 以估计田间害虫密度和危害水平, 它实际上告诉田间观察者两件事 1) 什么害虫会出现在这地区, 2) 每一种害虫是在哪一个虫龄阶段, 以及短期内将会发育到哪个阶段。因此, Biosched 系统 仅是综合害虫管理的一个分量, 田间观察者必须识别害虫, 抽样估计害虫密度和潜在的危害, 记录并汇总田间的观察, 作出防治的决策。所以下面所说的CCMS 系统, 作为 Biosched 系统的反馈系统, 构成综合害虫管理的另一个分量是非常必要的。

3) CCMS (Cooperative Crop monitoring system) CCMS 是协同作物监测系统的简称, 我们知道, 害虫综合管理必须建立在对客观事物了解的基础上, 所谓“没有调查就没有发言权”这一普遍真理在害虫综合管理上也不例外。所有的预测和防治策略的决定, 追其根源, 无不建立在田间资料的调查和收集上。但是, 这些资料必须被整理成用户容易理解的形式, 并且要以非常接近于实际发生的时间传递到用户手中, 而且调查的资料必须是统一的格式, 这样才能整理和贮存, 以便重新使用来预测害虫种群的波动和危害, 估计种群数量发展的长期趋势, 以及用于其它比较或科学研究。简言之, CCMS 就是为这个目的而设计的。CCMS包括下面一些部分: (1)组成网络的田间观察者。(2)一个手册, 以便田间观察者识别和收集田间生物资料。(3)一个统一的田间取样调查表以记录生物和其它有价值的调查资料, 这个表格能自动被机器扫描, 而读进计算机。(4)一个数据资料管理系统, 可以整理新得到的资料, 并保存以备今后分析使用。(5)计算机自动打印, 并提供用户一个病虫害简报, 简报包括在一个指定时间区间内所调查的病虫害猖獗程度, 病虫害的分布和作物生长情况。(6)一个计算机网传递系统, 能帮助农户得到当前的田间观察情况。

CCMS不仅可以监测害虫, 而且可以监测杂草, 植物病害, 线虫等。CCMS信息流是由图4表示, 田间的侦察员完成调查表格, 把它寄到分析中心, 在这里调查表首先由专人按照某

些要求被检查和修正,当积累到一周后,把它们读进计算机,存在磁带里,一个专门为CCMS所建立的软件系统来加工这些资料,各种被整理好的图表就可被用户作为输出文件使用了。输出提供的信息包括作物情况,观察到的病虫害,以及它们种群密度和危害水平,以及田间分布和危害水平分布,病虫害的物候学,农药喷射情形和田间管理等信息。

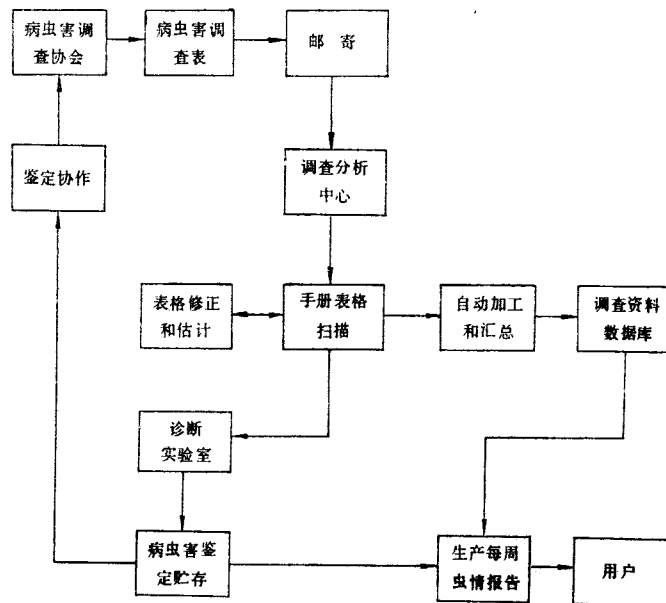


图4 CCMS信息流图 (Brown *et al.*, 1980)

输出包括下列的一些表格,直接可被用户使用:(1)一般作物概况表,对于每一个被监测的作物,表列出了被调查的这种作物的县数,在每一个县里调查的田地数和亩数,以及以县为单位的此种作物生长的一般情况。(2)县监测和观察者概况表,这包括列出在这期间一共收到的表格数和每一个县以及每一个机构送来的表格数。(3)农药使用和田间管理情况表。对每一个调查的作物,这表列出用农药处理过的田地数和灌溉和施肥过的田地数。(4)一般调查情况表,对每一种调查的作物,此表列出报告总数,平均田地大小,未知或怀疑为新病虫害的数量,以及对某一种害虫调查的田地数。(5)新的或未知的病虫害概况表。此表列出了所发现的未知的或怀疑为外来的病虫害的田地的位置。(6)各地害虫严重程度表。这可以说是CCMS输出最重要的表,它列出田块地点以及病虫害分成等级的严重程度。

除掉各种标准的表格外,计算机软件还可用图形输出显示每一个县的害虫猖獗程度,以及危害水平。这样就便于估计整个地区的害虫的分布情况以及发展趋势。

此外,及时传递病虫害发生情况和分布情况也是很重要的,时间上的延滞,往往会给害虫管理带来很多不利的因素。传递方式有两种一种通过计算机网传递系统,另一种通过邮寄虫情简报,用计算机传递的优点是快,一旦资料加工完毕可供使用时,用户就可以从终端上得到信息。但缺点是必须具备终端设备,并且远距离靠电话线通讯,有时价钱是昂贵的。简报的优点是与此相反,可把信息传递到那些没有终端的地方。

四、比较与展望

中国早在五十年代和六十年代,就已在广大农村建立了病虫害预测预报网。这种预测预报网,在防治病虫害上起过很大的作用。把现代联机害虫管理系统与中国传统预测预报网相比较,发现它们之间有很多共同点,它们都有一个信息加工系统,传递系统,田间监测系统和反馈系统。不同点在于:在中国传统的预测预报网里,加工系统主要靠预测预报站的人力,而在联机害虫管理系统主要靠计算机,传递系统一个主要是靠邮寄,另一个主要靠计算机网络,相对来说,联机害虫管理系统有下列一些优点:(1)联机害虫管理系统用实时气象资料输入系统,计算机加工处理,更新预测值,由于这一切都是在事先编好的程序控制下进行的,所以处理迅速,节省人力,预测准确,传递快捷。缩短了输入至输出间的时间周期,而这一点是很重要的。信息的延迟,在害虫管理上往往会引起致命伤。(2)联机害虫管理系统使用户不仅得到一时、一地的资料,如需要可从终端上得到全县,全地区,全州的资料,这样可帮助农户了解邻近地区病虫害发生的情况以及防治措施,以利于农户本身作出防治决策,另一方面也帮助县、地区、州官员了解整个作物生长及病虫害情况。(3)联机害虫管理系统要求标准化的数据输入,而且一经输入,数据就贮存在计算机的磁盘上。数据的标准化,就有可能比较同一时期,不同地点,以及同一地点不同时期的病虫害发生情况。这至少有两方面的好处:①可帮助农户总结经验,把自己的管理决策和其他相似地区作比较,以改善今后的经营管理;②这些标准化了的数据,可供科学研究之用,如建立或改进预测预报模型,研究害虫种群波动的长期趋势及研究生态系统各分量之间的演变等等。

目前,可以说联机害虫管理系统仍处于初级阶段,但由于计算机技术及通讯事业的发展,联机害虫管理的成本将降低,可望在越来越大的范围内被使用,当前美国农业部正委托密执安州立大学昆虫系建立全美联机害虫管理系统。

至今为止,作者认为在联机害虫管理系统中,下列两方面的研究还没有很好开展,但估计会得到令人鼓舞的结果。

1) 开展生物防治的研究。联机害虫管理系统不仅可以监测病虫害的情况,而且应该监测益虫和天敌的情况。联机害虫管理系统的规格化的取样,标准化的数据,信息的自动贮存功能,以及气象环境因子的监测系统,将大大有助于研究害虫和益虫之间在不同环境中的相互作用规律,因此把生物防治作为联机害虫管理的一个重要分量纳入计划已是迫不及待的任务。

2) 目前已存在的联机害虫管理系统,仅限于害虫发生期的预测,作者认为对害虫发生量的预测,同样具有重要的意义,但由于各种随机因素的影响,发生量的预测往往会导致较大的误差。而联机害虫管理系统可以利用反馈信息,周期性地更新参数值和预报值,这就为准确性提供了较大的保证。此外,作者认为,一些随机估值理论如卡而曼滤波等,可能作为一种有效的数学方法被应用于联机形式下的数量预测。

参 考 文 献

- 马世骏 1976 谈农业害虫综合防治。昆虫学报19(2): 129—141
- 马世骏等 1979 中国主要害虫综合防治。科学出版社
- Allen, G. E. and J. E. Bath 1980 The conceptual and institutional aspects of integrated pest management. *Bio Science* 30 (10): 658—664.
- Brown, G. C., A. R. Lutgardo and S. H. Gage 1980 Data base management systems in IPM programs. *Environ. Ent.* 9 (5): 475—482.
- Cramer, H. H. 1967 Plant protection and world crop production Pflanzenschutz Nachrichten. Farbenfabriken Bayer Ag., Leuerkusen.
- Dewit, C. T. and J. Goudriann 1974 Simulation of ecological processes. Center for agricultural publishing and documentation, Wageningen, Netherlands, 159 pp.
- Giese, R. L., R. M. Peart and R. H. Huber 1975 Pest management: a pilot project exemplifies new ways of dealing with important agricultural pests. *Science* 187: 1045—52.
- Goh, B. 1974 Optimal control of predator-prey systems. *Math. Bio. Sci.*, Vol. 19, pp. 263—286.
- Haynes, D. L., R. K. Brandenburg and P. D. Fisher 1973 Environmental monitoring network for pest management systems. *Environ. Entomol.* 2 (5): 889—99.
- Haynes, D. L., R. L. Tummala and T. L. Ellis 1980 Ecosystem management for pest control. *BioScience* 30 (10): 690—696.
- Koenig, H. E. and R. L. Tummala 1972 Principles of ecosystem design and management. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, Vol. SMC-2, pp. 449—459.
- Manetsch, T. J. and G. L. Park 1974 Systems analysis and simulation with applications to economic and social systems. Dept. of Electrical Engineering and System Science. Mich. State Univ., East Lansing, MI, USA.
- Nix, H. A. (Ed.) 1971 Quantifying ecology. Ecological Society of Australia Proceedings, 243 pp.
- Pimentel, D. 1976 World food crisis: energy and pests. *Bull. Entomol. Soc. Am.* 22: 20—26.
- Rajan, V. and R. L. Tummala. 1978 Optimal control strategies for integrate pest management—the case of cereal leaf beetle ecosystem. Proc. of Optimization Days, Montreal, Canada, p. 92.
- Shoemaker, C. 1973 Optimization of agricultural pest management III: Results and extensions of a model. *Math. Bio. Sci.*, Vol. 18, pp. 1—12.
- Smith, R. F. 1962 Principles of integrated pest control. Symp.: Biotic factors in the environment and their use in biological control. *Proc. N. Cent. Br. Entomol. Soc. Am.* 17: 71—77.
- Stern, V. M., R. F. Smith, R. Van den Bosch and K. S. Hagen 1959 The integrated control concept. *Hilgardia* 29 (2): 81—101.
- Tummala, R. L. 1974 General principles of systems modeling and control of pest ecosystems. *Proc. of North Central Branch of ESA*, pp. 27—82.
- Tummala, R. L., W. G. Ruensink and D. L. Haynes 1975 A discrete component approach to the management of the cereal leaf beetle ecosystem. *Environ. Ent.* 4 (2): 175—186.
- Tummala, R. L., D. L. Haynes and B. A. Croft (Eds.) 1976 Modeling for pest management: concept, techniques and application. Michigan State Univ. Publications, East Lansing, MI 24788.
- Tummala, R. L., and D. L. Haynes 1977 On-line pest management systems *Environ. Entomol.* 6 (3): 339—349.
- Vincent, T. L. 1973 Optimal control program for a predator-prey system, Proc. of JACC, Columbus, Ohio.

PRINCIPLES OF COMPUTER BASED PEST MANAGEMENT SYSTEMS

LI DIANMO

(Institute of Zoology Academia Sinica)

R. L. TUMMALA D. L. HAYNES

*(Departments of Entomology and Electrical Engineering)
and Systems Science Michigan State University)*

The digital computer has become an important tool in designing and implementing modern pest management systems. This paper describes the evolution of these systems in the past decade, based on systems principles, along with the various facets of their development. In the first part, concepts of integrated pest management are discussed. In the second part, emphasis is placed on using modern systems engineering principles when managing and designing pest ecosystems. The third part of the paper deals with the necessary developments in areas of environmental monitoring, systems modeling, biological monitoring and their integration into an overall management scheme. The fourth part compares the computer based on-line pest management systems with traditional Chinese forecasting and monitoring systems.

* Visiting scholar from China