

害虫种群 系统的控制

庞雄飞 梁广文 著

广东科技出版社

粤新登字 04 号

图书在版编目 (CIP) 数据

害虫种群系统的控制/庞雄飞
等著. —广州: 广东科技出版社,
1995. 6

ISBN 7—5359—1300—8

I. 害…

II. 庞…

III. 害虫, 系统, 控制

IV. S431

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号)

经 销: 广东省新华书店

印 刷: 广州永达印刷厂

规 格: 787×1092 1/16 印张 14 字数 310 千

版 次: 1995 年 6 月 第 1 版

1995 年 6 月 第 1 次印刷

印 数: 1—700 册

ISBN 7—5359—1300—8

S·155 定价: 25.00 元

本书承广东优秀科技专著出版基金会推荐与资助出版



广东优秀科技专著出版基金会

广东优秀科技专著出版基金会 顾问、评审委员会

顾问：钱伟长

(以下按姓氏笔画为序)

王 元	卢良恕	刘 杲	许运天
许溶烈	孙大涌	李 辰	李金培
肖纪美	吴良镛	宋叔和	陈元直
周 谊	郎景和	赵善欢	俞福良
钱迎倩	韩汝琦	焦树德	谭浩强

评审委员会

主任：蒲蛰龙

委员：(以姓氏笔画为序)

邓铁涛	卢永根	卢明高	伍尚忠
刘振群	刘颂豪	许学强	李任先
李岳生	李宝健	张士勋	张展霞
陈兴业	赵元浩	徐秉铮	高由禧
高惠广	容柏生	黄达全	黄衍辉
彭文伟	傅加谟	蒲蛰龙	蔡荣波
欧阳莲			

《当代科技重要著作·农业领域》

编委会成员名单

主 任： 金善宝

副主任： 王连铮

罗见龙

蔡盛林

委 员：

金善宝(中国农科院名誉院长,研究员)

王连铮(农业部常务副部长,中国农科院院长)

卢良恕(中国农学会会长,研究员)

程绍迥(中国农科院,研究员)

郑丕留(中国农科院,研究员)

李竞雄(中国农科院,研究员)

万宝瑞(中国农科院农经所副所长,研究员)

林 宝(中国农科院土肥所所长,研究员)

曾士迈(北京农业大学,教授)

戴景瑞(北京农业大学农学系主任,教授)

罗见龙(中国版协、科技出版工作委员会,编审)

白富才(中国版协、科技出版工作委员会,副编审)

黄达全(广东科技出版社总编辑)

赵文璞(中国农业科技出版社社长)

张 锋(中国农业科技出版社副总编)

曾建飞(科学出版社二编室主任)

陈春福(上海科技出版社副总编辑)

冯鼎复(农业出版社、教授级高级农艺师)

蔡盛林(农业出版社总编辑,副编审)

内 容 简 介

本著作引入近代系统科学的思想和方法,总结种群生态学的有关成果,以及作者与合作者于1976—1992年进行的有关害虫生态的研究工作,提出种群系统控制的设想和方法。

在本著作中,作者强调生命表方法,是研究种群生态学的基础方法,并在以等期年龄组组配的生命表和以昆虫虫期组配的生命表的基础上,提出建立以作用因子组配的生命表,打下分析各种因子和各类因子对种群动态作用的基础。提出生态因子的排除分析法、添加分析法和干扰分析法,建立控制指数作为生态因子作用的“算子”,有助于评价各因子的实际作用;并提出重要因子分析法和改进关键因子分析法。这些方法上的改进使种群生态的定量研究取得进展。

在本著作中,把昆虫生命表的虫期扩展为等期的状态,把各状态的数量处理为状态变量,建立状态向量;以生命表中的存活率及生殖力的数据建立相应的系统矩阵;把各类因子的控制指数处理为控制信号,建立控制矩阵。在这基础上组建适应于种群动态及种群控制的状态方程。种群状态方程保留了种群矩阵模型在种群动态预测应用的特点,吸收了现代控制论的状态空间方程在研究系统控制的优越性,作为研究种群数量动态及其控制的基本模型。

本著作第二篇以例子进一步说明种群系统控制的实际应用。

前 言

近代系统科学(system science)与其他学科相互渗透、相互补充、共同发展,形成了相对独立的横向学科体系。系统科学的思想和方法应用于其他学科,解决或更好解决不少长期难于解决的复杂问题,以至开辟新的学科领域。种群系统(population systems)的名称,是在以系统思想和方法研究人口问题以及其他动物种群问题的基础上提出的术语。随着系统科学的迅速发展,种群系统的研究范围也不断扩大。目前已不限于应用系统处理方法对种群进行描述,研究种群动态,而且正在形成研究种群数量控制的重要方法。

种群的研究历史比较长。应用现代科学方法研究人口问题可以追溯到 17 世纪。种群的研究方法是一脉相承,继续发展的。长期以来,种群生态学者致力于研究种群动态和种群数量控制,取得了不少成果。我国于 50 年代解决蝗灾问题,把原来属于蝗虫发生基地的低洼荒滩荒地改为稻田、果园等种植地,结合农田基本建设,建立排灌系统,稳定湖水水位,在其他适于飞蝗产卵繁殖的河滩、堤岸等全面绿化,增加乔木植被的覆盖度,把蝗区生态环境改造成为农业生态环境,改变了蝗区面貌,消灭了蝗灾。50 年代提出了栽培治螟的措施,因地制宜建立适当的水稻栽培制度,三化螟的为害逐渐减轻。80 年代重视水稻品种对褐稻虱的抗性,褐稻虱的为害下降。50 年代引进澳洲瓢虫防治广东等华南地区的吹绵蚧,解决了这种害虫的为害;同时引进的孟氏隐唇瓢虫,至 70 年代末发现定居,广东各地的绿绵蚧和粉蚧的数量明显下降。70 年代末停止使用六六六、甲氯粉等广谱性杀虫剂,曾经一度严重为害的稻纵卷叶螟重新受到控制。这些例子说明一些害虫可以通过改造农田环境、创造有利于作物丰产稳产而不利于害虫发生的条件而达到种群数量控制的目标;一些害虫可以通过调整害虫的发生期与作物被害期的物候关系而降低害虫密度,避免为害;一些害虫可以通过提高品种的抗虫性而解除为害的威胁;一些害虫可以通过引进外来天敌,加强天敌的作用而达到防治目的;一些由于广谱性杀虫剂大面积施用而从次要地位上升为重要的害虫,可以通过选用选择性的杀虫剂和选择性的施药方法得到解决。如果能够针对害虫的特点,在作用于害虫种群数量的环境因子中,找出可以通过人为影响的重要环节并施加作用,有可能达到种群数量控制的目的。

害虫种群数量控制是一个古老的命题。在数千年的农业历史中,人类不懈地与害虫作斗争,力求控制害虫的数量,不致带来为害的损失,也积累了防治害虫的丰富经验。随着现代科学技术的发展,害虫防治的技术和研究方法也在发展。引入现代系统科学的思想和方法,总结过去的经验,特别是把害虫种群看成是一个系统,以系统科学方法

研究害虫种群系统的控制，使害虫种群动态及种群数量控制在理论上和在方法上取得新的进展，这是一项很有必要开展的工作。本书作者和共同工作的昆虫生态学工作者，根据近十多年来的试验实践资料，试图讨论这个问题。

本书分为两篇，第一篇为种群系统的概念和方法，由庞雄飞执笔完成；第二篇为害虫种群系统研究实例，其中稻纵卷叶螟种群动态及其数量控制由梁广文执笔完成；褐稻虱种群动态及其数量控制由庞雄飞执笔，曾玲、吴伟坚参加写作，早稻三化螟种群数量预测及其控制由庞雄飞执笔，张坚参加写作。害虫种群数量控制的理论和研究方法正在形成和发展，作者所能掌握的知识水平有限，必然会有不少不足之处甚至错误，希望读者指正。

作者

1993 年 10 月

目 录

第一篇 种群系统的概念和研究方法

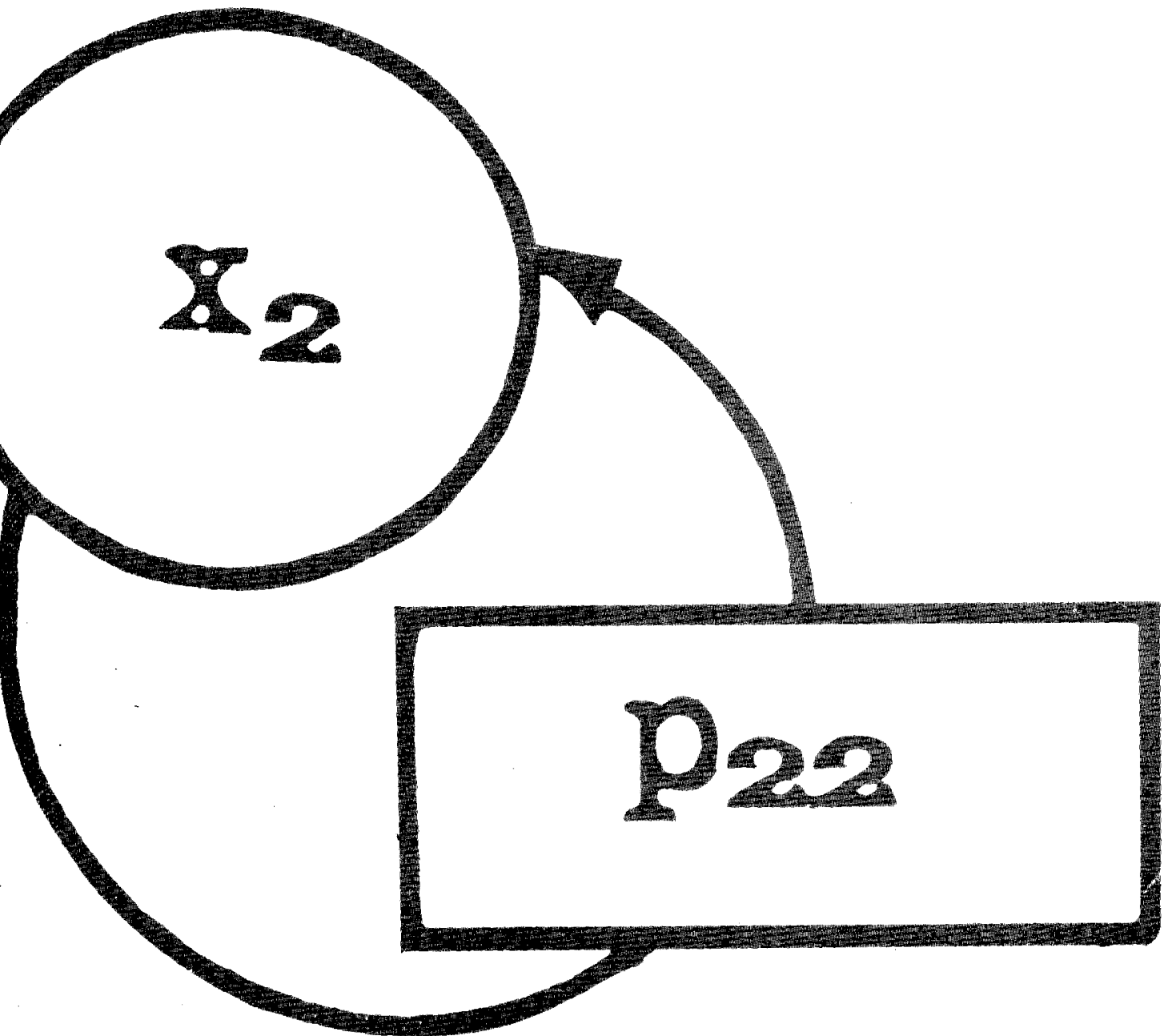
第一章 种群、环境与种群系统	(3)
一、种群	(4)
二、环境	(5)
三、种群系统	(5)
第二章 系统科学与种群系统的控制	(7)
一、系统科学	(7)
二、种群系统的控制	(13)
第三章 昆虫生命表方法	(15)
一、生命表	(15)
二、生命表的组建方法	(22)
第四章 种群控制指数与排除分析法、添加分析法和干扰分析法	(24)
一、排除分析法与控制指数	(24)
二、添加分析法与控制指数	(25)
三、干扰分析法与控制指数	(25)
四、种群控制指数在评价各种防治措施的作用	(26)
第五章 重要因子分析和关键因子分析	(31)
一、重要因子的分析	(31)
二、关键因子的分析	(33)
第六章 网络模型与矩阵方程	(37)
一、种群状态的联系	(37)
二、种群状态的网络联系	(38)
三、种群矩阵模型	(42)
四、信流图	(46)
五、网络的合并与分解	(47)
第七章 昆虫种群系统的状态空间表达式	(54)
一、状态变量与系统矩阵	(54)
二、控制向量与控制矩阵	(58)
三、状态方程	(60)
四、输出方程	(61)
五、迁移向量	(62)
六、状态空间表达式	(63)
第八章 控制因子的信息处理	(66)
一、气候条件	(67)
二、天敌因素	(69)
三、食物因素	(70)
四、控制信号输入的处理方法	(73)
第九章 多种群共存系统的信息处理	(75)
一、多种群共存系统的模拟模型	(75)

二、二次通用旋转组合设计	(76)
三、三种天敌两种害虫共存系统的动态模拟	(78)
四、模型的应用及讨论	(80)

第二篇 害虫种群系统研究实例

第十章 稻纵卷叶螟种群系统的控制	(87)
一、稻纵卷叶螟种群系统结构概述	(88)
二、稻纵卷叶螟种群系统的数学模拟	(90)
三、稻纵卷叶螟种群系统的控制	(126)
四、结论及讨论	(135)
第十一章 褐稻虱种群系统的控制	(138)
一、褐稻虱种群系统的模拟	(139)
二、褐稻虱种群生命表及其分析	(142)
三、天敌对褐稻虱种群作用的评价	(151)
四、水稻品种抗虫性对褐稻虱的控制作用	(158)
五、杀虫剂对褐稻虱种群控制作用的评价	(167)
六、褐稻虱种群数量的预测	(170)
七、褐稻虱种群系统的控制	(175)
第十二章 早稻三化螟的数量预测及其控制	(183)
一、早稻三化螟种群生命表及其分析	(183)
二、蚁螟侵入前死亡的原因分析	(187)
三、水稻生育期对三化螟种群数量的控制作用	(193)
四、不同杀虫剂及不同施药方法对三化螟种群数量的控制作用	(196)
五、早稻三化螟的数量预测和数量控制问题	(201)
结 语	(205)
参考文献	(207)

第一篇 种群系统的 概念和研究方法



第一章 种群、环境与种群系统

种群是种群生态学的研究对象。种群生态历来是生态学研究中最活跃领域之一。

远古时代,随着人类的生产活动,一些种群的生态观察和研究已被古人类的遗存及其后的各种文字记载下来。例如,中国古代于 5200 年之前已开始养蚕(周尧,1980)。在公元前后的中国古籍中,对家蚕的生态要求已有记载。贾思勰的《齐民要术》(公元 528—549 年)和秦湛的《蚕书》(约公元 1120 年)对蚕室布置、温度调节、食料、家蚕发育与环境关系都有详细的记述,并应用于养蚕生产技术之中。可以认为,种群的生态观察与种群生产(植物栽培与动物饲养)、渔猎(捕鱼和狩猎)等联系在一起。随着社会的发展,又与有害生物防除和有益生物利用、淡水及海域养殖、濒危动物的保护,以及人口的预测和计划发展等有关。人类生存、生活的需要孕育着种群生态学,种群生态学的发展使人类在本身的生活环境中取得更大的自由。随着现代科学的发展,对种群的研究更为深入,与此同时,更要求种群生态学进一步发展。

应用现代科学技术方法研究种群,来源于人口统计学和应用动物学。应用动物学所指的是昆虫学、水产资源学、狩猎和鸟兽管理等(伊藤嘉昭,1975)。Graunt(1662)应用抽样方法,建立生命表,分析伦敦人口的寿命及死亡情况,创立了人口统计学。其后在人口增长过程的描述及人口问题的研究中继续得到发展。人口统计学是种群研究的重要起源之一。随后马尔萨斯(Malthus,1789)提出人口呈几何级数(等比级数)增加的描述。Ross(1908)提出的描述疟疾的病原体、疟疾与人口密度相互关系的模型;Lotka(1920)导出的昆虫寄主与寄生者之间相互关系的数学模型(适用于世代重叠的种群);Nicholson(1933)的昆虫寄主与寄生者关系的数学模型(适用于世代不重叠的种群);Volterra(1926,1931 等)在海洋鱼类捕获量变化的启发下,建立了捕食者与被捕食者相互关系的数学模型,以及近缘种之间的竞争关系和多种群相互作用的数学模型。这些描述对种群研究的形成和发展起着重要的作用。

达尔文(Darwin,1859)的《物种起源》面世,这是现代自然科学发展历史中的重大事件。该著作从进化论的角度大量讨论了有关种群的问题,其中包括了种群的数量发展和限制性因素等问题,对生态学特别是种群生态学理论的形成和发展起着重要的作用。Haeckel(1869)最早给予“生态学(ecology,ökologie)”的术语和定义,认为“生态学是研究有机体与环境之间相互关系的一门科学”。在这以后,生态学作为一门科学迅速发展。本世纪 30 年代,种群生态学和群落生态学的进展,使生态学形成了一门比较完整的、有理论、有方法论的科学。其中在动物生态学中,以种群作为研究的主要对象。例如,Elton(1927)的《动物生态学》以动物种群的研究作为基本内容,Chapman(1931)的《动物生态学》是以昆虫及其他动物种群的研究成果作为主要材料的。40—50 年代,在动物生态学中,实验生态和种群生态的研究迅速发展。实验生态的研究结果是种群生态研究的重要补充。特别是在实验生态研究个体对非生物因子的反应、环境因子对种群的作用等研究是种群生态的重要基础。60 年代以来,随着许多学科从定性走向定量的研究,生态学的多因子分析方法愈来愈得到重视。种群数量动

态的理论和方法成为种群生态学研究的核心问题。

生态学早期的大量研究工作,集中于描述种群或种群以上各组织水平的自然系统。系统科学的发展对生态学和种群生态学的作用是相当明显的。Tansley(1935)首先提出了生态系统(ecosystem)的术语,把生物与环境看成是一个系统。Odum(1963)在系统理论的基础上创立了系统生态学(system ecology),Watt(1961,1963)、Morris(1963)首先应用系统分析方法(system analysis)研究昆虫种群问题。60年代以来,有害生物协调管理(IPM)的研究迅速发展,其中美国的1972—1978年由C. B. Huffaker主持的有害生物协调管理计划(1972—1978 Huffaker IPM Project)所起的作用是比较明显的。在这个计划中特别强调应用系统处理方法(system approach)。在Huffaker(1980 ed.)的《有害生物防治新技术》一书中,总结了应用系统处理方法研究各种害虫及病害的研究成果。Conway(1971)、Shoemaker(1971, 1983)、Ruesink(1976)、Rabbinge(1976)、Tumala et al(1976 eds.)、Huffaker(1980 ed.)、Huffaker and Rabb(1984, eds.)等均总结或综述了应用系统科学方法研究害虫种群的研究成果。Frisbie and Adkisson(1985, in Hoy and Herzog, eds.)认为,Huffaker 1972—1978的有害生物协调管理计划引进了系统科学作为研究昆虫种群及其控制的基础,在实践上取得了巨大的成就。

本世纪的40年代以来,系统科学的形成和发展是迅速的。特别是近20年来,系统科学从一般系统论、信息论、经典控制论发展为现代控制论和大系统理论,从一般的系统描述发展为系统控制和大系统控制,而且在工业、社会经济以及其他领域中得到了实际应用,不断取得新的成果。引入系统科学方法研究种群,必然会促进种群生态学的进一步发展。可喜的是在人口(人类种群)的研究中,应用系统科学方法,提出了人口系统和人口大系统及其控制的研究,在人口的动态描述和人口的计划发展中取得了成果,并发表了《人口控制论》(宋健、于景元,1985)。这对种群系统及其控制的研究起着启迪的作用。应用系统科学的理论和方法研究种群,把种群系统看成是一个控制系统进行研究,有可能促进种群动态和种群数量控制的研究继续深入和取得实践成果。

一、种群

种群(population)是在一定的生境中同种个体的集合。在不同学科中,对种群研究的着重点是不完全相同的。分类学上把种群看成是种或亚种以下的基本单元,着重研究不同生境中各个种群之间的形态上或生理生态要求上的差异。进化遗传学上把种群看成是物种分化的起点,由于种群间的生殖隔离,遗传基因的相互交流受到影响而导致种群的分化。因而在分类学上和进化遗传学上,对种群的生境要求有一定的隔离屏障。

生态学上着重研究种群的数量(密度)和种群数量动态,研究生境对种群密度的平均水平及其波动所起的作用。生态学上的种群生境范围是根据研究的内容指定的,可以是一个较大的范围,也可以是一个林段或一个田块,也可以是一个狭小的试验小区以至在实验种群中的一个狭小的实验装置,并不强调形成长期的生殖隔离的屏障。

种群是在一定的生境中同种个体的组合的基本定义是符合生态学的种群研究内容的。在生态学的著作中,大多数采用这个基本定义。如果把这个基本定义用于分类学上或进化遗

传学上,有必要补充具有一定的分布区和具有一定的遗传组成两个基本内容。

二、环 境

环境(environment)是指种群的生活环境,或称为生境。

在生态学研究,种群及其生境是联系在一起的。种群的生境包含非生物环境和生物环境。在生境内的生物及非生物环境组成生态系统。Solomon(1949)把种群的生境形象地描述为:“除种群以外的生态系统(ecosystem minus the population)”。这个含义与多数生态学著作对种群生境的描述基本相似(Clark et al,1967)。然而,在生境内的各种非生物因子以及生物因子(其他生物种群),对所研究的种群的作用并不是等同的。在非生物因子中的一些因子,在通常情况下不一定成为限制性因子。也就是说,这类因子的变化幅度在对象种群所能适应的范围内,因子的变化不引起对象种群的变化;但一些因子在其变化的幅度范围内,对种群发生一定的作用,这些因子常常会成为对象种群的限制性因子。在生物因子中,包括所研究的对象种群以外的种群,其作用也不完全相同。在这些种群中,一些是被对象种群直接取食的,一些是直接以对象种群为食的,一些是与对象种群在食物上或在栖居环境中存在着竞争关系的,但大多数种群却是间接地与对象种群发生关系的。有人把生境内的各个种群的相互关系比作一张网,只要牵动其中一个网结,就会对整个网的各部分发生影响。然而,牵动一个网结,对网结附近的影响最大,距离愈远,影响愈小,更远处这个被牵动的网结的部分,其影响甚微,以至难于察觉。

由此看来,对于种群的环境,在研究过程中,不能包括太大,而是有选择地研究重要的和关键的因子,这样才能着手于研究种群控制问题。

三、种 群 系 统

种群系统(population system)以种群作为研究的主体,把种群看成是一个系统,把作用于种群的各种因子看成是系统的空间边界,研究种群动态和数量控制问题。

其处理方法简述如下:

(1)系统由两个以上的、相对独立而又相互联系的状态(或亚系统)所组成。种群系统把研究的对象种群按其生长、发育的顺序划分为若干状态,以各状态的存活概率及生殖力作为状态间的转移关系,与状态向量的输入和输出联系在一起。

(2)种群系统处于生态系统之中,以生态系统作为本身的环境,把作用于种群的各种环境因子看成是种群系统的空间边界;边界因子通过信息处理成为控制信号作为干扰输入,作用于状态转移关系,从而对系统的输出发生影响。

(3)按照系统输出的预期目标,通过控制信号的反馈,研究边界因子的排除、添加或干扰,对系统实施优化控制。

上述处理简化后的模拟模型如图 1-1 所示。其中方框内部为种群系统,在图内种群被划分为 4 个状态 x_1, x_2, x_3, x_4 , 只有 x_4 可以产生下一世代的 x_1 。其转移关系 S_1, S_2, S_3 , 分别为

x_1, x_2, x_3 的存活概率, F 为标准产子数, P_F 为平均每雌达标准产子数的概率, P_φ 为雌性的概率。每雌产子数的概率包含产子前死亡(即产子数为零)的部分的平均值。方框外为种群系统的环境,但在环境中提取的控制作用因子 F_i , 属于边界因子, 边界因子通过信息处理, 即建立的数学模型, 转变为控制信号 IPC_i 作为干扰输入, 作用于状态转移关系, 从而对系统的输出发生影响。在建模过程中, 力求各状态的转移关系量化, 转移时间一致, 也就可能连续输出, 描述该种群的动态过程。

在早期的生态系统和种群系统的描述中, 往往把研究对象描述为自然系统。自然系统的目的性是不明确的。没有目的性的系统只能描述系统内部的相互关系, 不能与控制系统等同地进行系统控制的研究。种群系统的研究目的之一是种群系统的控制。力求把种群系统组建为控制系统, 按照输出的预期目标, 通过控制信号 IPC_i 的反馈, 研究边界因子 F_i 的排除、添加、干扰对系统优化控制的作用, 进一步研究人为措施改变控制信息, 实施对系统的控制。在下面的章节中将围绕这个问题开展讨论。

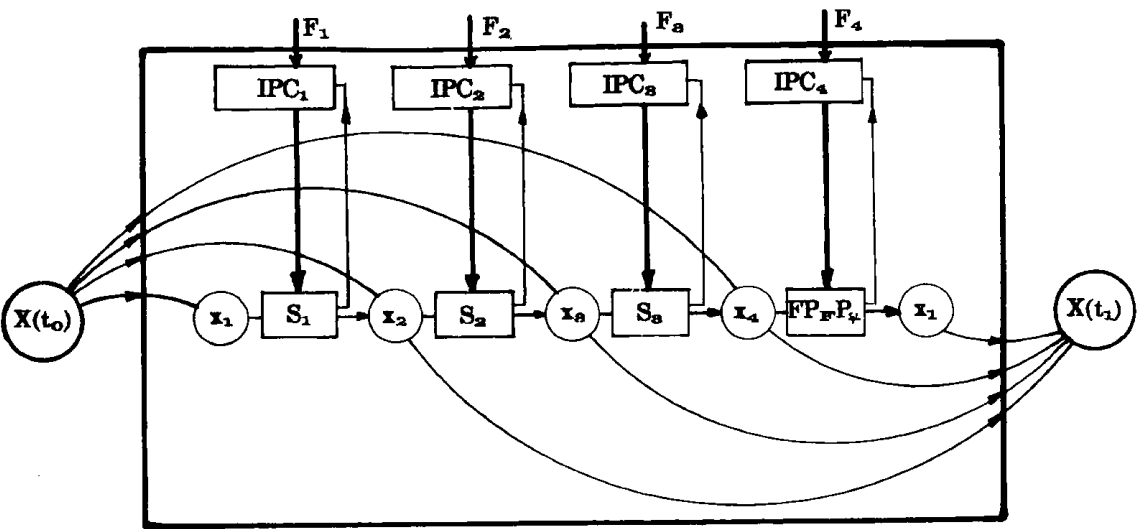


图 1-1 种群系统模拟模型