

生物数学趣谈

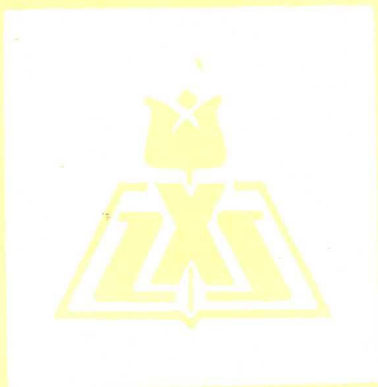
中学生文库

SHENG WENKU



上海教育出版社

中学生文库



ZHONGXUESHENG WENKU

生物数学趣谈

李金平 苏 淳

上海教育出版社

责任编辑 李俊明

封面设计 范一辛

中学生文库 生物数学趣谈

李金平 苏 淳

上海教育出版社出版发行

(上海永福路123号)

各地新华书店经销 上海崇明印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 3.5 插页 2 字数 64,000

1988年5月第1版 1988年5月第1次印刷

印数 1-10,100本

ISBN 7-5320-0615-8/G·515 定价: 0.87 元

前 言

知识的数学化、形式化和电子计算机的采用,是衡量一个学科现代化程度的重要标志之一,生物科学也是这样。半个世纪之前,生物学研究还主要是靠观察、试验、归纳这样的定性研究方法。但是自本世纪中叶以来,它却极大地加速了现代化进程。这是由于数学注入了生物学,使它获得了新的生机。从古老的数学分支,到最新发展起来的比较年轻的分支;从应用性较强的数学分支,到高度抽象的数学分支,“十八般兵器”无不在生物学中找到了应用。数学与生物学的相互渗透,产生了一系列边缘、交叉学科,诸如数学生态学、数量遗传学、数值分类学等等,都成为今天具有强大生命力的新兴学科。这种结合和渗透,一方面促进了生物学更好地揭示生命奥秘;另一方面也给数学的发展带来了极大^的推动力。生命现象较之于物理现象、电子学现象等远复杂得多,这就必然会给数学家提出一系列新问题,甚至是未被认识的新的规律。一个以电子计算机、生物技术、遗传工程为主要标志的新时代正在到来。二十一世纪,人

类将进入生物学世纪,这已是人们普遍看得到的发展趋势。

在我国,生物数学研究走过了曲折的道路,“十年动乱”使我们失去了宝贵的时间,与世界先进水平相比落后了十几年!我们当前的任务,一方面是组织力量,把生物数学研究搞上去;同时,又要做好普及工作,特别是向广大青少年普及的工作。因为今天十几岁的广大中学生,他们中的一部份人将成为二十一世纪生物数学研究的生力军。

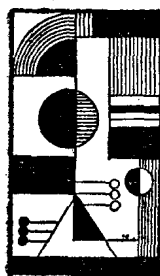
当前,生物数学研究的专业文献数不胜数,但适合中学生看的书却不多,这本小册子就是试图在这方面做一点弥补工作。生物数学的内容十分广泛,远非这本小册子所能概括;生物数学中用到的生物学和数学知识也很高深,大部份内容具有很强的专业性,这也都超出了这本小册子所能涉及的范围。在编写过程中,我们的指导思想是:既要有知识性,又要有趣味性;既要考虑到青少年读者的特点,又要尽量勾画出这一学科的概貌。我们的愿望是使广大读者从这本书中看到的,不是一些枯燥的、莫明其妙的名词和术语,而是该学科的一个粗线条的轮廓。但是,限于我们的知识水平和能力,要做到这一点决非易事!对于书中可能存在的这样那样的缺点和不足,诚望得到有关专家和广大读者的批评指正。如果有一些青少年朋友能通过这本小册子对生物数学产生兴趣,从而立志于生物数学研究,乃至为其发展作出重大贡献的话,那是我们感到十分欣慰的!

作者

一九八七年七月

目 录

一、生物数学——20 世纪的新兴学科	1
二、数学生态学的诞生与发展	7
三、伏尔特拉的鱼群生态模型	13
四、一些有趣的种群生态模型	19
五、医学中的一些数学模型	29
六、人口发展的数学模型及预测	37
七、维纳和生物控制论	42
八、运用最优控制理论指导医疗实践	47
九、模糊数学与中医的计算机计量诊断	53
十、再谈医学的计算机计量诊断	58
十一、信息时代的神经科学	62
十二、生物试验设计	68
十三、有趣的回归效应	73



十四、孟德尔豌豆试验与 χ^2 检验	...80
十五、神秘的 DNA	86
十六、奇妙的墨比乌斯带与拓扑学	...90
十七、DNA 分子的功能和它的拓 扑结构	94
十八、视觉的秘密——拓扑同胚原 理	97
十九、有趣的生物钟调整现象与圆 周自映射	100
二十、心脏猝死及其拓扑学原理	...104

一、生物数学——20 世纪的新兴学科

从传统的观点看来，生物学是一门与数学联系最少的学科。恩格斯在写于 19 世纪 70 年代的《自然辩证法》手稿中曾指出：数学的应用“在生物学中等于零”。生物学与数学发生联系，从而产生出生物数学这门学科，还只是最近半个世纪的事情。

确实，生物学这门研究生命现象的学科，在半个多世纪以前，还只能算是科学界的末流之辈。它不仅不被人们看作一门精确科学，甚至不被人们认作一门实验科学。它充其量只是收集些标本，作些简单的描述和分类而已。人们崇尚的仍然只有数学、物理、天文、化学这些传统的自然科学学科。在人们的心目中，核物理和放射化学代表着科学发展的主流，诺贝尔奖金只应被这些领域的专家囊括；数学学科则应当从它们之中汲取发展的源泉。然而，曾几何时，这些传统的观念开始从人们的脑海之中消退了，生物学一反它长期沉睡的状态，以令人头眩目旋的速度，快步跃入了先进学科的行列。生物物理学家和生物化学学家不仅连连夺

取了诺贝尔奖金获得者的桂冠，生物科学本身也被人们誉为当今世界的带头学科，并且公认 21 世纪还将成为“生物学世纪”！

20 世纪的科学发展是以 1950 年作为分界线的。上半个世纪是各门学科向纵深发展，致使分支越分越多、越分越细的时期。下半个世纪则是各门学科相互渗透、相互结合的时期，各种新的交叉学科纷纷出现。生物科学的迅速发展正是这种相互渗透、相互结合的结果。1945 年，薛丁谔(E. Schrodinger)首次预言：“一个生物学研究的新纪元即将开始”。新纪元到来的标志，便是数学、物理学和化学向生物学领域的大规模渗透。这种渗透，从本世纪初叶即已开始，到第二次世界大战之后，就以前所未有的势头推动着生物科学的发展。1953 年，瓦特森(J. D. Watson)和克里克(F. H. Crick)综合运用数学、物理学和化学理论，建立了控制遗传秘密的物质 DNA 的双螺旋结构模型；而后又于 1958 年建立了克里克中心法则。这两项成果为生物学的现代发展奠定了基石。

任何一门自然科学学科的精确化进程，都必然导致以数学作为自身的语言。定量化、数学化和计算机的应用程度，是一门学科现代化程度的标志。生物学对于数学的需要，并非始自今日；其需要的程度，也决不在其他学科之下。但是，生命现象是物质运动的高级形式，影响其性状的因素非常多，因素之间相互联系、相互制约的关系更是复杂，这种复杂性，使得生物学科的研究比起其他学科要困难得多，

尤其是以数学工具作定量研究就更加困难。另一方面,数学理论自身的局限性,计算手段的落后,使得昔日的数学难以承担复杂的生物学课题,也是造成这两门学科分离的重要原因。要完成生物学的现代化进程,不是简单地将已有的数学理论应用于生物学课题即能奏效,而是要在两门学科的结合过程中,改造和发展数学理论本身,创立独成体系的崭新的生物数学学科。只有一门能够综合处理大量复杂因素的数学学科的诞生,才能迎接复杂多变的生命现象的挑战;只有使数学的研究对象逐步由非生命系统转向生命系统,才能适应生命科学现代发展的需要。生物数学作为一门独立学科而矗立于自然科学之林,正是历史发展的必然。

人们根据生物学研究的需要,建立和研究新的数学理论的尝试,自本世纪初即已开始。以皮尔逊(K. Pearson)、费歇尔(R. A. Fisher)等人作为代表的英国统计学派便是出现于这一时期。皮尔逊和费歇尔都是遗传学家、优生学家,费歇尔还是一位农田试验专家,他们都有很高的数学修养,他们的一位合作者哥色特(W. Gosset)还是一位医生。他们从研究生物学课题的需要出发,创立了一系列现代统计方法,建立了许多现代统计概念,为数理统计学这门现代数学分支的发展奠定了基础。数理统计学和生物统计学,就是数学和生物学相结合诞生出的第一个婴儿。

自50年代以后,电子计算机技术有了极大的发展,为生物学问题的多变量多因素的数学模型,提供了有效的可

作大规模运算的工具，极大地改观了生物学领域难以应用数学工具的局面。同时由于控制论、信息论和系统论的发展，促进了生物学观测、推理、分析和成像技术的迅速发展，加速了这门学科的精确化进程。一个在生物学领域中，大规模使用数学方法的阶段开始了，生物学与数学的结合运动在前所未有的深度和广度上开展了起来。

有人应用随机过程来模拟飞蛾的趋光特性；应用控制论来研究生态系统的调节和管理以及动物个体行为的飞行定向；应用信息论来分析群落生态的多样性与稳定性以及植物、动物、栖境、生态系统的分类；应用博弈论探讨害虫控制对策；应用多元分析的聚类分析、判别分析和因子分析来研究生态地理的特征分类，动物、植物的类群分类；应用系统论的最优化理论来研究害虫的控制和预测、以及水域、森林、草原的合理利用；应用蒙特卡罗方法来模拟种群的生死过程、竞争过程以及昆虫的飞行轨迹等；应用集合论和模糊数学来描述生态环境的分类；甚至连最抽象、通常被认为没有多少实际背景的拓扑学，也在生物学的很多方面找到了应用。

正是在这种数学与生物学的广泛结合之中，产生出了发展生物数学的需要。正是生物学向数学理论本身提出的许多新的课题，迫使数学理论向前发展，以适应生物学的需求。

人们在研究如何将数学的理论和方法，用于表达真实的生态过程或生态系统的行为动态定量关系之中，发展出

了数学生态学。由于数学多元统计分析理论的发展和聚类分析方法的出现，为在生物分类中引用数学知识奠定了基础；加之电子计算机技术的兴起和普及，为分类学与数学的结合创造了有利条件；一个新的生物数学分支数值分类学诞生了。由于概率论和数理统计理论更为广泛和深入地渗透到遗传学领域，逐步形成了群体遗传学和统计遗传学，它们都是数学与遗传学相结合的产物，人们统称为数量遗传学。近年来，更有人将数学中最为抽象的分支拓扑学，用于研究遗传的机制、死亡的机制、视觉和听觉的机制以及生物钟现象，等等，而诞生出了拓扑生物学。生物数学领域就象春日的花圃，生气盎然，百芳争艳。

生物数学的这种蓬勃发展的局面，终于引起了世界各国数学界和生物学的普遍重视。1974年，联合国教科文组织第一次把生物数学作为一门独立的学科列入生命科学类中。它是继生物化学、生物物理之后列入的又一新兴学科。生物数学终于以其独特的研究对象、崭新的课题、别致的模式、独特的方法和独具一格的理论结构，赢得了科学分类学中的一席独立地位。

生物数学在我国，萌发于60年代。但是由于众所周知的原因，直到70年代后期才开展正常研究。由于我国起步较晚，虽然也有一些进展引起了国际学术界的重视，但是和先进国家相比，毕竟落后了。因此，尽快缩短这一差距，已成为我国生物工作者和数学工作者的迫切任务。

大地上的芸芸众生之间，隐藏着数不尽的奥秘，揭开这

些奥秘，决不比物理学揭开广袤星空和原子世界的奥秘来得容易。复杂多变的生命现象将不断向数学提出大量的新思想和新课题，使数学理论不断接受新的检验、面临新的挑战。既然在过去的一两个世纪中，物理学的需求曾促成过数学理论的飞速发展，那么可以料定，这种生物学的需求必将导致数学理论的一次更为深刻的变革，必将成为数学的新的生长点。

现在，就让我们来对生物数学，这门 20 世纪的新兴学科，作一番较为粗浅的介绍吧！

二、数学生态学的诞生与发展

数学生态学是生物数学中进展较为迅速的一个分支。

生态学,从字面上看,就是关于生物生活状态的一门学问。自从 1866 年,海克尔(Haeckel)第一次引入“生态学”这个名词以来,它已经历了一个多世纪的发展,成了一门以研究生物的生活方式、生存条件和相互关系为目的的科学,并且成为生物学中最为活跃的一个独立分支。自本世纪 20 年代始,有人开始将数学方法应用于生态系统;到 60 年代末,这方面的文章便大量出现;时至今日,已经取得了一系列极为引人注目的成果,形成了数学生态学这一生物数学的主要的分支。

我们知道,生活在一个地段或水域内,总是有着许多不同种类的生物,这些不同种类生物的总和,在生物学中叫做群落。群落和它的周围环境,组成了自然界的基本功能单位,生物学中称之为生态系统。种群的生死过程、竞争过程、相克过程、扩散迁移过程等等,便都属于生态过程。至于外界条件对植物的形态构造、生理活动、化学成分、遗传

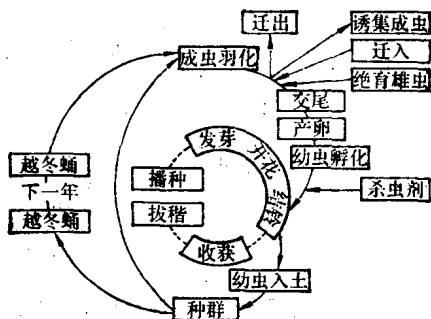
特性和地理分布的影响;外界条件对动物的活动、习性、繁殖、存活,数量消长和分布等的影响;以及动植物与外界条件的其他各种关系等,则都属于动植物种群的主要动态特征。关于生物体与环境之间相互作用关系的研究,便构成了生态学的主要内容。对于这些问题的研究,都直接影响着国计民生的重大问题。事实上,关于森林、水域、草原、农田、荒地等资料的合理管理、利用和预测,环境的保护,人口的调节,有益和有害动植物的利用与控制,等等,都与生态学的研究有关,可见这门学科直接关系到人类的生存大业,关系着人类如何合理地利用自然界、保护自然界和改造自然的问题。

众所周知,如何为农田病虫害的控制提供最优策略和预测方法,是一个人类普遍关心的问题。单纯地依靠化学药物毒杀害虫,会有很多副作用,并且已被越来越多的事实证明,它不是一种有效的办法。而生物防治手段,则越来越显示其优越性。但是要搞好生物防治,就必须了解害虫的生活习性及其周围环境对它的影响,即必须作生态学方面的研究,而这种研究离不开数学理论的指导和数学方法的运用。

近年来,应用数学模型与电子计算机相结合的手段,研究害虫控制问题,已经成为许多国家最为关注的课题之一。由于电子计算机的帮助,人们已经可以考虑由几百种因素组成的复杂的生态系统。因此,人们在关于虫害控制的问题中,可以做到综合考虑环境中不同变量的作用、生物的各

种趋向行为的影响、寄主与天敌各自的密度与空间分布对系统的影响等等，而使数学模型尽量逼近于真实的寄主与天敌的作用系统，达到有效地指导真实的田间生物防治工作的目的。

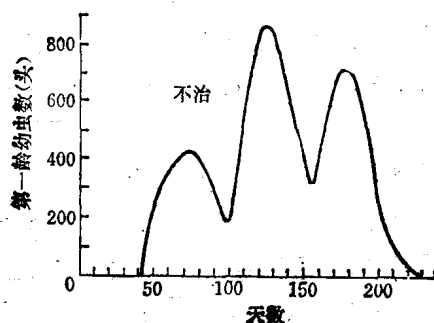
非洲棉铃虫是一种危害棉花的重要害虫。近年来,有些国家通过对害虫的生态学特点与棉花生长阶段、环境条件以及不同虫态阶段的防治措施



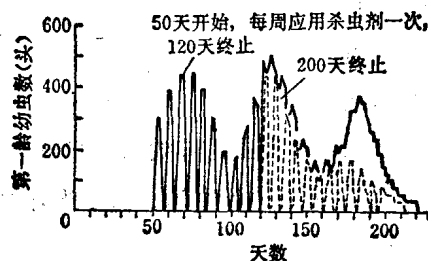
非洲棉铃虫-棉株系统的动态

图 1

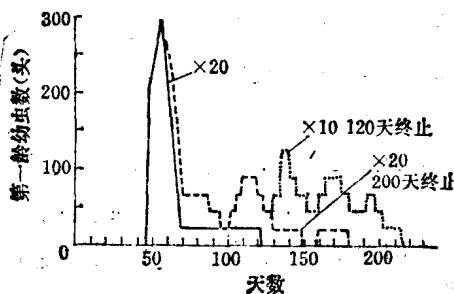
的综合考虑,建立起对害虫的有效控制模型(图1)。由于这种模型的指导,对非洲棉铃虫收到了很好的控制效果。在此以前,人们只是单纯地从防治措施方面考虑问题,忽略了害虫的生态学特点,因而不能有效地把握时机和制定有效的防治措施。后来,人们对非洲棉铃虫的生态过程,采用数学方式建立模型,并通过电子计算机进行模拟[图2(a)]。通过模拟,人们发现单纯药杀的效果不佳[图2(b)],其原因是棉铃虫的成虫是连续产卵的,而幼虫又有钻入棉铃的习性,因此残效短的农药杀虫剂不能对幼虫作有效的杀伤,难以发挥很好的控制作用。通过模拟,人们发现,如果在成虫羽化而进入交尾期之时,适时释放绝育雄虫,却可以收到较好的控制效果[图2(c)]。这样,人们便找到了将生物防



(a) 不治条件下, 第一龄棉铃虫幼虫数量动态



(b) 短残效杀虫剂对第一龄幼虫的影响



(c) 每天以 20:1 和 10:1 比例释放绝育雄虫对第一龄幼虫的影响

图 2