昆虫生态学的常用数学分析方法（修订版）

邬祥光编著

农业出版社

97261

需要全本请访问 www.ertongbook.com

昆虫生态学的常用数学分析方法

（修订版）

郭祥光　编著

马世骏　蓝仲雄　校阅

农　业　出　版　社

昆虫生态学的常用数学分析方法

（修 订 版）

邬祥光 编著

马世骏 蓝仲雄 校阅

农业出版社出版（北京朝内大街130号）

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 27.75 印张 1 插页 740 千字

1988 年12月第 1 版 1995 年 1 月第 2 版北京第 1 次印刷

印数 1—5,300 册

统一书号 16144·2762 定价 5.80 元

内 容 提 要

本书较全面地介绍了有关昆虫生态学的数学分析方法。内容分为五大部分，首先从实态调查及数学测定的基本知识入手，然后从昆虫生态学的角度，围绕生态学中空间、时间和数量的概念，作了数学方法论的介绍，最后针对田间试验，介绍了进一步掌握昆虫种群特征的数学分析方法。因此本书是一部比较全面的方法论的理论和实用书籍，其中所采用的例子，绝大多数都是昆虫生态和植物保护研究中的实例，或考虑了病虫害资料的数学特征，大多数是生产实践中所常遇到的，因此容易明了，可供昆虫科学研究工作者、植保工作者、病虫预测预报站以及高等院校生物、植保等专业的参考。

马世骏教授序

数据分析是生物科学研究中的一个重要步骤，通过调查或试验取得了大量数据，如何从这些数据中发现问题，并进而推导出结论来，首先要经过一个数据整理和分析过程。因此，要求生物学工作者掌握一些常用的数学分析方法，根据研究对象和数据的特性，去选择应该采用的分析方法。有时一项研究结果，需要运用几种方法进行比较，从不同的分析结果中，可能发现不同的问题。

在社会主义农业生产建设的带动下，近十年来昆虫生态学及害虫预测预报工作已经有了显著的发展，各地农业科学研究机关及病虫预测预报站都积累了许多有关害虫数量消长的资料，这些资料是我们今后提高害虫预测预报及防治技术措施的基础，如何把这些资料有效地利用起来，则涉及两方面的问题：一、提高昆虫生物学的理论基础；二、熟悉若干分析方法（其中数学分析方法占着重要的地位）。邹祥光同志是一位昆虫生态学工作者，在水稻螟虫的预测预报中积累有不少的经验，这次又广泛搜集了国内有关资料，结合他自己的体会，编写成这本常用数学分析方法，应当说，这是各地从事预测预报的同志及一部分生态学工作者当前所急需的一本工具书，相信在今后的预测预报的提高，以及昆虫生态学研究中，将发挥一定的作用。

这本书的内容是相当丰富的，与一般生物统计书籍比较，有它的特点，例如它是以昆虫生态学的问题为对象，比较系统地介绍了算式的来源，以及由简单到复杂的计算方法。当然，书中某些算式

需要全本请访问 www.ertongbook.com

尚需简化，另外还待补充若干昆虫发生预测的实例，这些都要依靠各地有关方面工作的同志，不断予以指正和补充。作为一个昆虫生态学工作者，我对这本书的出版，表示欢迎，并寄予良好的愿望。

马世骏

1962年除夕于北京

作者再版序

在过去很长的年代里，人们曾经设计用各种方法来防治农作物害虫，由于没有经验，考虑不够全面，一直没有取得满意的效果，这是因为人们没有从生态学观点出发去考虑问题的缘故。近二十年来，世界已经进入了一个新时代，那就是使用了电子计算机进行模拟，应用新的生态学理论和数学理论，特别是生态学和数学相结合的边缘学科——数理生态学，按照数学中的系统理论，模拟生态系统和从新设计生态系统，使生态系统沿着最优化的方向发展。这样一来，生态学和数学都出现了以电子计算机为中心的崭新的内容，这就要求我们对生态学和数学重新学习、重新理解及重新研究，可以认为这是新时代给予我们科研工作者的新任务。

Watt (1966) 曾就北美的生态学研究状况，分析国家在有代表性的研究规划中，如何投入人员和力量，这就可以看出研究的趋势和缺点，从而提出今后如何改进工作。他把历史阶段分成两段，可以清楚地看出生态学内容上的变化。

内　　容	1920—1995年	1945—1965年	
	力量分配比例	力量分配	投入人员
① 数学测定	0.80	0.63	150
② 数学分析	0.09	0.27	65
③ 数学描述	0.09	0.08	20
④数学模拟及最优化	0.00	0.00	1
⑤ 写作和出版	0.02	0.02	4

从以上统计结果，可见1930年以前，主要力量放在田间调查测定的工作上；到了1940—1960年，他们的工作已经从田间转入资料

分析，描述开始抬头；至于系统模拟从1960年才开始。七十年代由于电子计算机技术和工程系统学的突飞猛进，才使得数学描述、数学模拟及最优化工作，有了飞跃的进展和不可估量的前途。北美走过的这段路程，在我国努力进行四个现代化建设的今天，值得深思和参考。

作者于1963年编写此书，至今已经16年了。该书中不少错误的地方，广大读者以爱护和负责的态度，提出了许多改正和补充的宝贵意见，在此表示衷心地感谢。为了满足广大读者的需要，农业出版社提出要求我考虑该书修订再版。同时从1963年以来，数理生态学已出现了新的内容，原书的内容显然已经陈旧不堪了，所以，我在原书的基础上去粗取精、去伪存真，保留了必需部分，然后大量地增加了新的内容。按照世界上生态学走过的路程，从数学测定的方法开始，逐步深入到数学分析、数学描述、数学模拟和最优化，作一番比较全面的介绍。至于章节的层次，还是按照生态学的角度为中心，去运用数学的方法。所以，全书的中心思想是围绕生态学中的空间、时间、数量的概念，加以数学方法论的总结。

由于作者本人不是学习数学专业的，数学基础很差，这是一个很大的缺点。由于这个缺点，使得有不少数理生态学的新内容没有收集到本书中去。即使收集进去的，错误亦在所难免，希望读者继续批评指正。

本书承蒙中国科学院动物研究所马世骏教授及蓝仲雄教授在百忙之中费神校阅，使本稿得以完成。谨此致以衷心的谢意。

邬祥光

1981年于广东省昆虫研究所

目　录

马世骏教授序
作者再版序
绪论 …… 1

第一篇　昆虫种群数量的测定

第一章　线性代数基本知识 …… 7
第一节　纯量及维量 …… 7
第二节　集 …… 8
第三节　向量和向量空间 …… 8
第四节　张量 …… 11
第五节　行列式 …… 13
第六节　矩阵 …… 18
第七节　本征向量 …… 24
第八节　线性变换 …… 25
第九节　逆矩阵 …… 27
第二章　昆虫野外调查或试验数据的整理 …… 29
第一节　制图方法 …… 30
第二节　制表方法 …… 60
第三节　数字处理方法 …… 69
第三章　集中性常数及其应用 …… 73
第一节　平均数 …… 73
第二节　众数 …… 85
第三节　中位数 …… 92
第四节　三种集中性常数的关系 …… 95
第四章　分散性常数及其应用 …… 96

第一节　平均误差……96
第二节　标准差……99
第三节　平均数标准差……107
第四节　或然差……110
第五节　变异系数……113
第五章　数值的内插及外推……115
第一节　差分和差分表……116
第二节　牛顿公式……119
第三节　拉格朗日公式……127
第四节　高斯公式……131
第五节　斯特林公式……138
第六节　埃弗雷特公式……141
第七节　贝塞尔公式……142
第六章　测量数据的修匀法……145
第一节　中值差分表……145
第二节　直线移动平均修匀法……147
第三节　抛物线的移动平均修匀法……155
第七章　函数的概念及其应用……166
第一节　函数的概念……166
第二节　单变数函数的表达式……170
第三节　复杂的函数表达式……194
第四节　多变数函数的表达式……204
第五节　泰勒级数及其展开……205
第八章　相关……209
第一节　简相关……210
第二节　相关率……220
第三节　多元概率分布、偏相关及多相关……222
第四节　相关系数的紧凑计算法……229
第九章　最小二乘法……240
第一节　资料的结构……240
第二节　一元线性回归……241

第三节　多元线性回归…… 268

第二篇　昆虫种群空间结构研究的常用数学分析方法

第十章　昆虫空间分布的概率模型 …… 343
第一节　概率的基本概念…… 343
第二节　概率分布…… 346
第三节　概率分布的理论模型…… 348
第四节　次数分布——正二项式分布…… 352
第五节　正态概率分布…… 355
第六节　Poisson分布…… 436
第七节　Neyman分布…… 462
第八节　负二项式分布…… 470
第九节　几种复合的分布型…… 481
第十节　概率分布适合性测验…… 486
第十一章　昆虫的聚集及拥挤 …… 502
第一节　分布的聚集度及均匀度…… 503
第二节　平均拥挤度…… 508
第十二章　昆虫的迁移及扩散…… 517
第一节　扩散的随机运动论…… 518
第二节　迁移扩散的种群压力及环境密度论…… 526
第三节　昆虫的行动型与迁移扩散…… 531
第四节　野外种群迁移扩散数量的估算…… 534
第十三章　大数定律与取样技术 …… 543
第一节　大数定律原理…… 545
第二节　取样误差…… 547
第三节　样本平均数的置信限…… 551
第四节　在预定精确度下决定取样样本数…… 553
第五节　巢式取样法…… 560
第六节　双重取样法…… 566
第七节　序贯取样法…… 569
第八节　其他常用取样法…… 592

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第十四章　样本间的比较 …… 594
第一节　差数的平均数及其标准差 …… 594
第二节　根据平均数来测验样本的可靠性和样本间差异的显著性 …… 596
第三节　根据方差来测验样本的可靠性和样本间差异的显著性 …… 614
第四节　根据变异系数来测验样本的可靠性和样本间差异的显著性 …… 625
第五节　非连续性变数资料的样本可靠性测验和样本间差异显著性测验 …… 627
第六节　样本间比较前的几种测验 …… 635

第三篇　昆虫种群时间序列研究的常用数学分析方法

第十五章　昆虫种群动态的数学模型 …… 644
第一节　生死过程 …… 644
第二节　种群数量增长的反馈 …… 650
第三节　种群增长的随机模型 …… 657
第四节　生命表及存活曲线分析 …… 659
第十六章　长期趋势及周期分析 …… 679
第一节　长期趋势 …… 680
第二节　短周期节奏 …… 681
第三节　长周期节奏 …… 685
第四节　周期分析 …… 687
第五节　周期内变动的数量分析 …… 696
第十七章　随机过程 …… 702
第一节　数字时间序列的测定 …… 702
第二节　随机过程概述 …… 705
第三节　线性平稳过程 …… 708
第四节　马尔科夫过程 …… 709

第四篇　生态系统及数学模型化

第十八章　对现象的看法与数学模型的分类 …… 718
第一节　对现象的看法 …… 718

第二节　数学模型的分类及其制作上的注意点…… 720
第十九章　食者与被食者种间及种内数量关系的数学模型…… 721
第一节　食者数量为一定的阻滞模型…… 722
第二节　食者数量变化的自然均衡模型…… 725
第三节　多食性天敌的迟缓数量模型…… 727
第四节　选食模型…… 729
第五节　食者种内竞争或种间斗争的竞争模型…… 732
第二十章　系统分析概述 …… 733
第一节　系统分析…… 734
第二节　分室模型…… 738
第三节　生命表的系统分析…… 748
第四节　随机性的系统描述…… 760
第二十一章　线性及非线性系统 …… 763
第一节　线性模型…… 763
第二节　逆关系…… 766
第三节　网络…… 767
第四节　非线性现象…… 773
第二十二章　动态的数学模型…… 777
第一节　动态的函数模型…… 778
第二节　周期的动态…… 780
第三节　变化速度的描述…… 781
第四节　用动态的概念描述系统…… 782
第五节　系统的响应…… 790
第六节　离散及连续的动态模型…… 793
第二十三章　最优化设计 …… 797
第一节　最优化的数学模型…… 797
第二节　最优化的方法…… 799
第三节　最优化设计的实例…… 803
第二十四章　害虫最优管理或测报系统的建立 …… 815
第一节　计算系统的构成…… 815
第二节　模型的建立…… 824

第五篇　昆虫生态田间试验的设计及分析

第二十五章　随机排列试验的方差分析 …… 833
第一节　方差分析的基本原理 …… 833
第二节　随机排列设计 …… 839
第三节　拉丁方排列设计 …… 843
第二十六章　顺次排列试验多个处理的比较分析 …… 849
第一节　对比排列设计 …… 849
第二节　多次重复排列设计 …… 853
第二十七章　协方差分析 …… 860
第一节　协方差分析的性质及其应用 …… 860
第二节　协方差分析方法 …… 862
第二十八章　自协方差分析 …… 869
第一节　自协方差分析的性质 …… 869
第二节　自协方差分析方法 …… 869

绪　论

昆虫生态学应用的数理分析，是生物数学中的一个特殊部分，又是昆虫生态学和数学的一个边缘学科，它是用来研究昆虫动态或数量变化的规律，或者是探索病虫发生发展在具体历史条件下表现为定量方面的规律。因此它并不同于研究以数为对象的理论数学(Mathematics)；又不同于研究昆虫发生发展具体事实的昆虫生态学(Ecology)；而是以理论数学、数理统计学和昆虫生态学三者为基础，在昆虫生态科学理论上和技术实践上加以发展的生物数学。因此，可以把它列为数学生态学(Mathematical ecology)的一个内容。

本来昆虫生态学的中心课题，就是昆虫种群的数量变动，这就包含着丰富的“数量”意义。马世骏 (1963)* 曾对昆虫生态学中的数量、时间及空间的概念加以概括性的总结，认为任何一个种群(某一时间在单位空间内所有的个体的组合) 都占据一定的空间，任何一个种也都在一定空间内，通过时间积累而组成的生活历史，因此衡量一个种群的昌盛与否，通常根据数量和空间两个指标，而数量的多少和空间的大小，又与时间直接相联系，一方面时间长短表达了种群增长的快慢，同时也表达出时间因素在数量积累上的作用。空间和时间之所以被看成是数学生态学上的因素 (Preston, 1960; Alan, 1960; Pielou, 1969 等)，主要由于在许多重要生态学问题上，都蕴藏或直接关联这两个因素的作用。例如任何一个昆

---

* 马世骏 (1963)：昆虫种群的空间、数量、时间结构及其动态。《昆虫学报》13 (1)，38。

马世骏(1962)：昆虫生态学的若干新进展。《中国昆虫学会1961年学术讨论会会刊》15。

虫种群，都需要占有繁殖场所、食物供应范围和活动与分布的领域。空间因素所显示的重要性，随着因时间所增加的数量而变化，同时数量与时间因素在种群动态中所显示的作用，又随空间的变化而转移。

空间和时间因素如果作为一个科学数据表达出来，它就含有广泛的“数”的意义，而数量变动则含有广泛的“量”的意义，数和量的关系在昆虫生态学中是相互联系的，又是相互制约的，因而是辩证的统一。昆虫及其他生物共同生活在一定的自然地理环境中，环境结构本来就是一系列时间的反映，每个特定阶段的环境，都表现有它的时间外貌，种群的时间结构及环境变化的时间序列，反映了物质能量转换的序列关系，构成了动物体内的代谢作用与动物和环境间的代谢作用所组成的生态系统(Ecosystem)，即是空间结构与时间机制的生态系统。生态系统中的活有机体成员，常形成了一定的群落(Community)，而群落是一个大集体（在数学上的意义是一个大集团），它是由许多集团(Group)即种群(Population)所组成的。昆虫生态学的根本任务正是要揭露这些大小集团的运动变化规律，在这里必然地产生两个问题：一个是各种环境因素怎样作

度，并不是绝对的真正数字。基于这些原因，可见有必要研究一些较科学的数学方法，使我们能较精确地找出各种环境因素与昆虫发生发展关系的规律，和较精确地衡量昆虫在数量上所产生的一系列反应的规律。

本书第一篇只是作为一种准备知识来作介绍。当我们在昆虫调查或试验之后，必然得到大量的数据，如何把庞杂的数据归纳为代表性的数值，就需要考虑数据的集中性和分散性的问题。另外，在调查或试验中不一定能够直接得出我们所需要知道的数值，有的数值只凭规律估算而得；有的直接实测得出的数值还待修匀；有的数值需要归纳为图表来有效地表达其规律，还有的数值需要通过各种代数方法恰当地表达出来。有关这些，将在第一篇中作简略介绍。

作为昆虫种群空间结构的研究，首先是分布的实况，本书将介绍各种分布的数学模型。其次，注意到昆虫种群空间结构的动态，提出聚集—拥挤、迁移—扩散的数学模型。由于昆虫种群中的所有个体是无法逐一去数的东西，目前的研究水平只能有赖于取样方法求得数据去代表这个种群，而取样方法是根据概率分布而异的，取样的准确程度又有赖于测验其差异性与适合性的显著性。研究这些问题，将在本书第二篇中列述。

时间序列包含着昆虫一系列的动态描述及模拟，这包括昆虫种群的生死及消长的数量变动，周期节奏以及随机过程。有关这些时间序列上的问题，将在本书第三篇中列述。

数学模型化是一个很关键的问题。昆虫的空间结构及时间序列上的一切动态变化，均毫不例外地反映于数量上，因此，数量化涉及到最实质的精髓。而一切现象亦只有在数量化的基础上，才有数学模型化的可能。要提高我国昆虫生态学和病虫预测预报的研究水平及工作水平，就非向这方面努力不可。特别是近年来系统科学介入了昆虫生态学；害虫生境管理的最优化丰富了植物保护学，这就使得生态学的宏观更宏观，使得系统分析在生态学中显得越来越重要。因此，本书在第四篇中着重介绍了种群数量关系的数学模型，

需要全本请访问 www.ertongbook.com