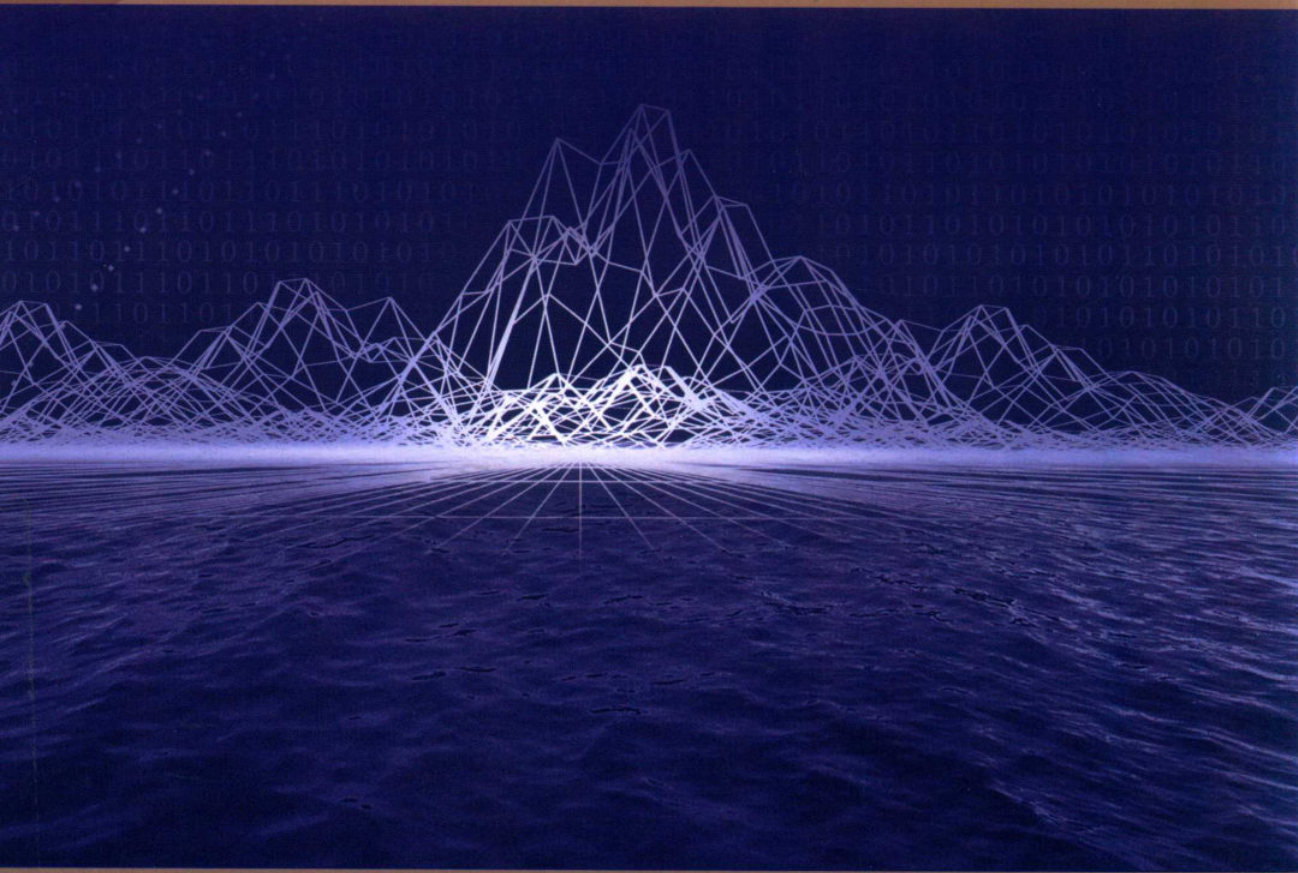



The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology

43

数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 陶文亮 编著



 海洋出版社

主要内容

数学模型在生态学的应用及研究(43)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(43)

主 编 杨东方 陶文亮 编著

副主编 李 强 王 健 王 强 赵 强 李 强

编 委 (按姓氏笔画为序)

图书在版编目(CIP)数据

ISBN 978-7-302-52102-8
2018.12
1.①数... ②生态... ③数学模型...
中国图书馆分类号: O157.52

18 17 5 11 2 2

2019年·北京

责任编辑: 张 强
责任印制: 张 强
出版发行: 清华大学出版社
http://www.tup.com.cn
北京市海澱区大慧寺路8号
北京朝华印务有限公司
2019年3月第1版 2019
787mm×1092mm
字数: 450千字 定价: 80.00元
发行部: 010-62770175
邮购部: 010-62786544

内 容 提 要

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究, 量化地展示生态系统中环境因子和生物因子的变化过程, 揭示生态系统的规律和机制以及其稳定性、连续性的变化, 使生态数学模型在生态系统中发挥巨大作用。在科学技术迅猛发展的今天, 通过该书的学习, 可以帮助读者了解生态数学模型的应用、发展和研究的过程; 分析不同领域、不同学科的各种各样生态数学模型; 探索采取何种数学模型应用于何种生态领域的研究; 掌握建立数学模型的方法和技巧。此外, 该书还有助于加深对生态系统的量理解, 培养量化研究生态系统的思维。

本书主要内容为: 介绍各种各样的数学模型在生态学不同领域的应用, 如在地理、地貌、水文和水动力以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。

本书适合气象学、地质学、海洋学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、陆地生态学、海洋生态学和海湾生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅, 也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

图书在版编目(CIP)数据

数学模型在生态学的应用及研究. 43/杨东方, 陶文亮编著. —北京: 海洋出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5210-0287-4

I. ①数… II. ①杨… ②陶… III. ①数学模型-应用-生态学-研究 IV. ①Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 277621 号

责任编辑: 鹿 源

责任印制: 赵麟芬

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 20

字数: 460 千字 定价: 90.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《数学模型在生态学的应用及研究(43)》编委会

主 编 杨东方 陶文亮

副主编 陈 豫 邓 婕 王 铭 赵登攀 李仲山

编 委 (按姓氏笔画为序)

冯志纲 朱四喜 孙兆惠 苏春花 杨丹枫

杨重阳 吴云杰 苗振清 范百龄 周 玮

赵孝梨 姬建鹏 黄 宏 黄承玲 常彦祥

前言

数学是结果量化的工具

数学是思维方法的应用

数学是研究创新的钥匙

数学是科学发展的基础

杨东方

要想了解动态的生态系统的基本过程和动力学机制,尽可从建立数学模型为出发点,以数学为工具,以生物为基础,以物理、化学、地质为辅助,对生态现象、生态环境、生态过程进行探讨。

生态数学模型体现了在定性描述与定量处理之间的关系,使研究展现了许多妙不可言的启示,使研究进入更深的层次,开创了新的领域。

杨东方

摘自《生态数学模型及其在海洋生态学应用》

海洋科学(2000), 24(6):21-24.

前 言

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

数学模型研究可以分为两大方面:定性和定量的,要定性地研究,提出的问题是:“发生了什么或者发生了没有?”,要定量地研究,提出的问题是“发生了多少或者它如何发生的?”。前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量化的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:(1)综合考虑各种生态因子的影响。(2) 量化描述生态过程,阐明生态机制和规律。(3) 能够动态地模拟和预测自然发展状况。

生态数学模型的功能为:(1) 建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境有进一步定量了解。(2) 模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的数量,对选择假设有所取舍,完善实验设计。(3) 与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,从生态的不同方面所取得材料集中在一起,得出统一的概念。

模型研究要特别注意:(1) 模型的适用范围:时间尺度、空间距离、海域大小、参数范围。例如,不能用每月的个别发生的生态现象来检测 1 年跨度的调查数据所做的模型。又如用不常发生的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚。(2) 模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数只是说明尺度、大小、范围而已。(3) 模型的可靠性,由于模型的参数一般是从实测数据得到的,它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题。(4) 解决生态问题时,所提出的观点,不仅数学模型要支持这一观点,而且还要从生态现象、生态环境等各方面的事实来支持这一观点。

本书以生态数学模型的应用和发展为研究主题,介绍数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、气象、水文和水动力以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。认真掌握生态数学模型的特点和功能以及注意事项。生态数学模型展示了生态系统的演化过程并预测了自然资源的可持续利用。通过本书的学习和研究,可促进自然资源、环境的开发与保护,推进生态经济的健康发展,加强生态保护和环境恢复。

本书获得西京学院的出版基金、陕西国际商贸学院的出版基金、贵州民族大学博点建设文库、“贵州喀斯特湿地资源及特征研究”(TZJF-2011年-44号)项目、“喀斯特湿地生态监测研究重点实验室”(黔教合KY字[2012]003号)项目、贵州民族大学引进人才科研项目([2014]02)、土地利用和气候变化对乌江径流的影响研究(黔教合KY字[2014]266号)、威宁草海浮游植物功能群与环境因子关系(黔科合LH字[2014]7376号)、“铬胁迫下人工湿地植物多样性对生态系统功能的影响机制研究”(国家自然科学基金项目31560107)以及国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金——长江口、胶州湾、浮山湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

此书得以完成应该感谢北海环境监测中心主任姜锡仁研究员、上海海洋大学副校长李家乐教授、贵州民族大学校长陶文亮教授和西京学院校长任芳教授;还要感谢刘瑞玉院士、冯士筴院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士和张经院士。诸位专家和领导给予的大力支持,提供良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的其他老师和同仁。

本书内容新颖丰富,层次分明,由浅入深,结构清晰,布局合理,语言简练,实用性和指导性强。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大读者批评指正。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心间。

杨东方 陶文亮

2016年10月26日

目 次

滑坡的运动模型	(1)
山地遥感的地形模型	(4)
农业地域类型的划分模型	(6)
青藏高原西部地表的热状况模型	(9)
枯水径流的预报模型	(11)
坡地的遥感图像模型	(13)
山区的界限温度模型	(16)
地震震动的滑坡模型	(18)
农业发展的战略系统模型	(20)
山地逆温的预测公式	(23)
泥石流的流态模型	(26)
泥石流产生的运动模型	(30)
泥石流的静力模型	(33)
泥石流的流速公式	(35)
鄂西山区旬气温的预测模型	(41)
土地利用的网格模型	(43)
马尾松适宜带的划分模型	(45)
主食竹开花的预测模型	(48)
最大洪峰的预测模型	(51)
山区热带作物的冬季避免寒害模型	(55)
隔水管的顶张力模型	(58)
细长柔性立管的涡激振动模型	(61)
平台地基的强度稳定模型	(66)
淀山湖的风浪模型	(69)
半圆堤的整体稳定模型	(72)
钻井平台的动力定位模型	(75)
冰激结构的振动模型	(78)
海洋平台的风险评估模型	(81)

深海吸力锚的失稳模型	(85)
桩腿缓冲器准静态模型	(88)
河口湍流数据处理模型	(92)
孤立波的爬坡模型	(95)
沿岸流的垂向分布模型	(98)
声传播的高斯束射线模型	(101)
柔性管道的拉伸刚度模型	(104)
水下机械手的接近觉模型	(107)
拖缆的水动力学模型	(110)
珠江河口的潮能模型	(113)
绞车变频器的控制模型	(116)
水池的造波模型	(118)
播种器的排种磁场模型	(122)
紫花苜蓿的水移动模型	(125)
苹果酒的酵母优选模型	(128)
农业生态系统的能值评价模型	(131)
种植面积的车载测算模型	(135)
果实黏弹塑性的流变模型	(138)
莲子汁的流变模型	(141)
喷雾器的雾化模型	(144)
土地利用的空间变化模型	(147)
微灌出口的预置压力模型	(150)
鸭蛋的悬浮清洗模型	(154)
烟草种子的超干燥贮藏模型	(157)
温室黄瓜的生长模型	(160)
沼气工程的减排预测模型	(164)
种植业的结构模型	(167)
纸浆模塑餐具的热传导方程	(170)
山区的生态足迹模型	(174)
居民点的潜力评价模型	(176)
滴灌的灌水器结构模型	(178)
灌溉管理的质量评价模型	(180)
涌泉灌溉的设计模型	(182)

作物和土壤的适宜性评价模型	(185)
土地利用的多宜性评价模型	(188)
土地利用的动态监测模型	(191)
滴头的流道结构模型	(194)
民勤荒漠化的驱动模型	(197)
潜水蒸发的能力模型	(200)
N_2O 产生的硝化模型	(203)
土壤的水盐运移模型	(205)
冲刷侵蚀的产沙模型	(208)
土地经济的宏观分区模型	(211)
土地利用的生态位模型	(214)
土地整理的分区模型	(216)
土地整理的评价模型	(219)
土地整理的效益模型	(222)
微型冷库的围护结构模型	(225)
土壤水分的空间变异模型	(228)
灌溉调度的优化模型	(231)
土壤的入渗模型	(233)
油菜的持续受渍模型	(236)
棉田土壤水分的利用效率模型	(239)
西葫芦种子的耐盐模型	(242)
温室黄瓜的高效灌溉模型	(244)
温室黄瓜的光合生产模型	(247)
温室黄瓜的生长发育模型	(249)
温室的保温效果模型	(252)
土壤调理剂对甘蓝的效果模型	(255)
温室番茄的发育动态模型	(258)
植物病害的图像特征模型	(261)
蔬菜氮素的颜色模型	(264)
水稻的生产成本模型	(267)
生物质燃气的燃烧模型	(269)
中国稻谷的等温线模型	(272)
机械手的奇异性模型	(274)

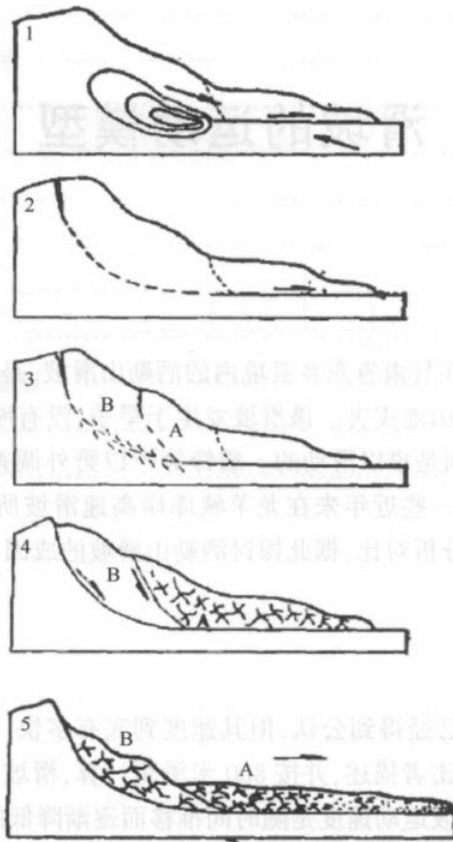


图1 洒勒山滑坡发育过程

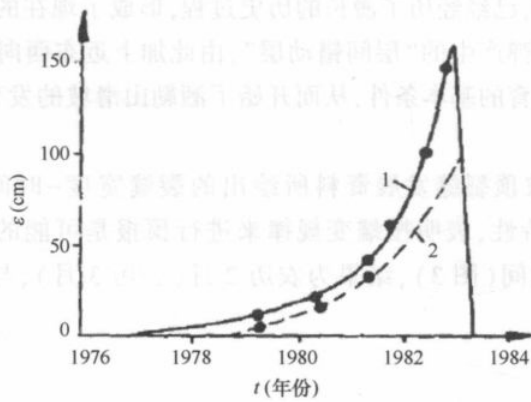


图2 坡顶裂缝宽度(ε)—时间(t)曲线

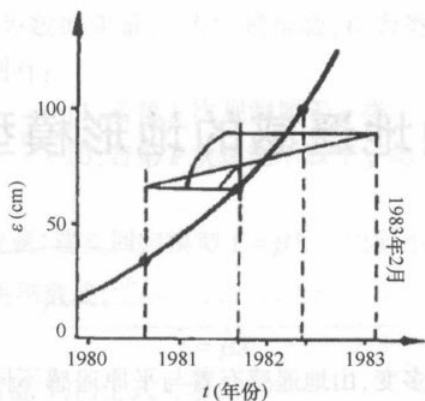


图3 滑坡下滑时间预测图解

3 意义

根据这类滑坡特有的形态及结构特征,建立了滑坡的运动模型。并类比了龙羊峡库岸滑坡的有关资料,确定了这类滑坡运动特征、形成机制、可预报性等。根据滑坡运动模型的计算结果可知,运动中滑体各部分滑速是不相同的,因而笼统地讨论滑坡的滑速是没有意义的。突发性高速滑坡是可以预报的,在长期观测资料基础上,定量预报是极有希望的。特别是在洒勒山所在的那勒寺河沿岸,一些裂缝已发育到一定的危险程度,因此进行滑坡发生时间定量预报的研究,就更具有现实性及迫切性。

参考文献

[1] 詹铮,李曰国,黎克武. 洒勒山滑坡分析. 山地研究,1986,4(1):145-152.

山地遥感的地形模型

1 背景

山地地区自然环境复杂多变,山地遥感有着与平原遥感不同的特点。在遥感数字图像处理中结合辅助数据(特别是地理信息数据),以提高分类精度和开拓应用领域,这是目前遥感技术的一个十分重要的发展方向。但这方面的工作国内起步较晚,根据我国的实际情况,对此开展理论和实验研究,对于促进我国遥感技术的发展具有积极意义。黄雪樵^[1]通过实验,应用数字地形模型来提高山地遥感数据的自动分类精度,并对此展开了分析。

2 公式

航空遥感 MSS 数据要与 DTM 匹配。对 MSS 数据精校正,选择足够的校正点,消除 MSS 数据的几何畸变,变换后的 MSS 数据与 DTM 投影性质相同,其坐标的关系是线性的。用最小二乘法拟合出坐标线性变换式(复相关系数 $R=0.9996$),实现了两种数据配准。经抽样检验,精度如表 1,表中 σ_s 和 σ_s 分别为:

$$\sigma_s = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{1/2}$$
$$\sigma_s = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{1/2}$$

表 1 MSS 数据和 DTM 的配准精度

抽样点号	图上(像元)			地面(m)		
	σ_x	σ_y	σ_s	σ_x	σ_y	σ_s
1	0.20	0.26	0.33	25.0	32.5	41.3
2	0.71	0.88	1.13	88.8	110.0	141.3
3	1.00	0.82	1.29	125.0	102.5	161.3
4	0.83	0.93	1.25	103.8	116.3	156.3
5	0.92	0.61	1.10	115.0	76.3	137.5
6	0.59	0.31	0.66	73.8	38.8	38.8

用两阶段的分类法对匹配数据分类,分类可用判断树表示。判决从树顶开始,下一级则分析其进入哪一个光谱,再结合该点的地形变量,来判断其土地类别。

设 $X=[X_1, X_2, \dots, X_p]$ 为数据变量, p 为向量维数, G 为类别数, Y 的第 k 次观测值用 $Y^{(k)}=[y_1^k, y_2^k, \dots, y_G^k]$ 表示, 则有:

$$y_g^k = \begin{cases} 1, & \text{若第 } k \text{ 次观测属于 } g \text{ 类} \\ 0, & \text{若第 } k \text{ 次观测不属于 } g \text{ 类} \end{cases}$$

式中, $g=1, 2, \dots, G$ 。

将数据向量 X 作为自变量, 建立回归模型 $Y = \beta X$ 。用最小二乘法可求得判别系数矩阵 β 的估计值 $\hat{\beta}$, 由此构造判决函数式:

$$\hat{Y} = \hat{\beta} X$$

对任一待分类的数据向量 X , 由上式可求出:

$$\hat{Y} = [\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_G]$$

然后根据以下判别准则进行判别, X 来自第 u 类总体, 有:

$$|\hat{y}_n - 1| = \min |\hat{y}_g - 1| \quad g = 1, 2, \dots, G$$

对分类精度进行检验, 得到总体精度的置信区间(置信度 0.95)的估计用式:

$$\frac{\|\bar{X} - \mu\|}{\mu(1 - \mu)\sqrt{n}} < 1.96$$

式中, n 为样本总数; \bar{X} 为样本均值(样本精度); μ 为总体均值(总体精度)。

为了进行比较, 对 MSS 数据做了贝叶斯最大似然率分类, 并进一步从统计上证明两种分类结果差异的显著性, 还进行了无重复试验的双因素方差分析。因素 A 为不同土地类型, 因素 B 为不同分类方法, 则方差分析数据值 a_{ij} 使用下式计算:

$$a_{ij} = \text{Arcsin} p_{ij}$$

式中, $i=1, 2; j=1, 2, \dots, 5; p_{ij}$ 为因素 B 第 i 水平和因素 A 第 j 水平下的样本精度。

3 意义

根据山地遥感的地形模型, 利用米易试验区土地覆盖自动分类试验的分析, 计算可知 DTM 是山地遥感自动分类的一种有效辅助数据。分层分类法是一种适合于复合数据的分类方法, 其分类精度显著高于单独用 MSS 数据的最大似然率分类的精度。由于分类结果已和 DTM 配准, 采用山地遥感的地形模型, 利用计算机可以快速、定量地分析土地覆盖分布规律, 并且可以很方便地与地理信息系统的其他数据相结合, 进行多种地学综合分析和评价。这对于山地研究是十分有益的。

参考文献

[1] 黄雪樵. 应用数字地形模型提高山地遥感数据自动分类精度. 山地研究, 1986, 4(1): 96-103.