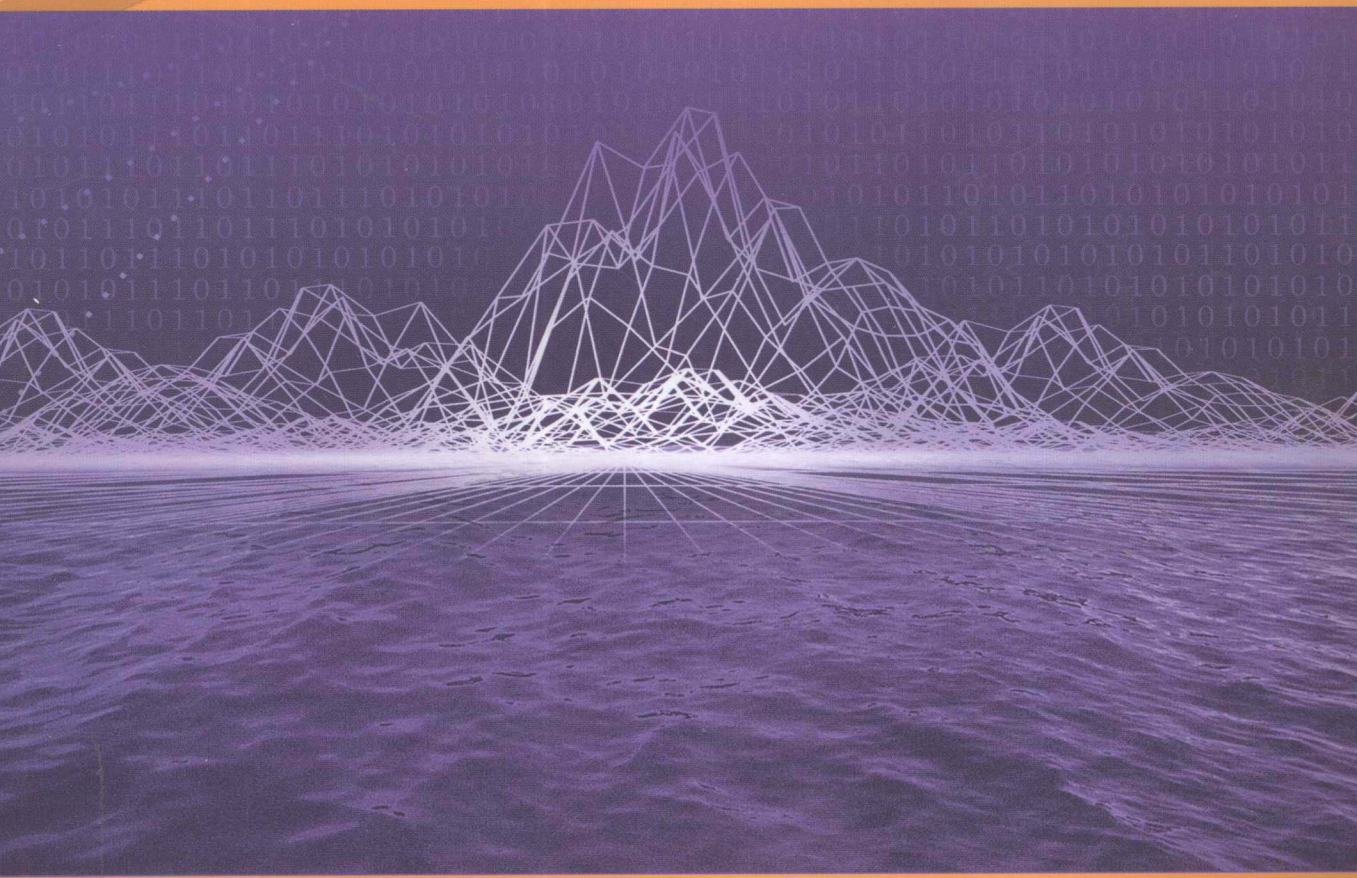


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology

16

数学模型在生态学 的应用及研究

杨东方 苗振清 编著



 海洋出版社



数学模型在生态学 的应用研究

—— 数学模型在生态学中的应用研究 ——

—— 数学模型在生态学中的应用研究 ——

数学模型在生态学的应用及研究(16)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(16)

杨东方 苗振清 编著

海洋出版社

2011年·北京

内 容 提 要

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究,定量化的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。

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. 16/杨东方,苗振清编著. —北京:海洋出版社,2011.9
ISBN 978-7-5027-8060-9

I. ①数… II. ①杨… 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(2011)第 138054 号

责任编辑:方 菁

责任印制:刘志恒

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

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:20.25

字数:580 千字 定价:60.00 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(16)》编委会

主 编 杨东方 苗振清

副主编 陈 豫 徐大伟 白红妍 邓 婕 张友麓

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁咨汝 韦兴平 冯志纲 朱四喜 石 强

杨丹枫 杨端阳 陈 晨 郑 琳 赵晓黎

徐焕志 殷月芬 高国瑞 常彦祥 黄 宏

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?或者它是如何发生的?”。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,这要通过统计学来检测。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,不仅从数学模型支持这一观点,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和并预测了自然资源可持续利用。通过本书的学习和研究,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。

本书是在浙江海洋学院出版基金、浙江海洋学院承担的“舟山渔场渔业生态环境研究与污染控制技术开放”和“近海水域预防环境污染养殖模型”项目和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崔文林主任和上海海洋大学的李家乐院长;还要感谢刘瑞玉院士、冯士筭院士、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,提供的良好的研究环境,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 苗振清

2011年1月13日

目 次

龙眼生长的温度适宜度模型	(1)
四川生态系统的地震损失估算模型	(3)
水环境容量的计算和评价	(5)
作物生长与氮稀释的模型	(8)
连乘形式的呼吸模型	(11)
植被生态恢复的土壤价值估算	(13)
人工林的凋落物计算	(15)
植物群落的分类计算	(17)
自然资本的投入产出模型	(20)
城市景观的特征尺度	(23)
深圳表面温度的计算	(25)
郑州植物物候对气候变化的模型	(28)
城镇扩展的贡献率	(30)
土壤有机质含量的计算公式	(32)
东亚小花蝽的捕食模型	(34)
小麦二氧化碳通量的涡度公式	(36)
日平均温度调和系数的计算	(38)
多物种竞争共存的动力模型	(41)
荒漠牧草的光能利用率	(44)
生态学样本集的自我回归模型	(47)
海湾型城市发展的动力学模型	(50)
温室茄子的稳态光合生化模型	(54)
土壤粒径的分形公式	(57)
中国森林生态系统碳的收支模型	(61)
土壤质量的评价公式	(69)
土地覆盖类型的遥感计算	(72)
节肢动物群落的稳定性模型	(75)

中华哲水蚤的摄食速率	(80)
支付意愿的条件估值计算	(84)
土壤的弥散波优先流模型	(89)
草原植物生长的动态模型	(97)
植物养分消耗量计算公式	(104)
菜青虫生长的抑制率	(106)
土壤侵蚀的指数计算	(108)
环境质量的投影寻踪模型	(110)
水土流失总侵蚀量的计算	(113)
土壤中重金属铅的地统计公式	(115)
景观格局指数的计算	(117)
云杉各生境因子间相关系数的计算	(119)
土壤重金属含量的地统计公式	(123)
渔业环境质量的评价公式	(125)
预测环境质量的马尔可夫链模型	(127)
湿地景观格局的遥感图像计算	(130)
土壤质量的评价公式	(132)
南方红豆杉的光合系数计算	(134)
土地生态的可拓评价模型	(137)
土壤微生物生物量碳的周转公式	(140)
流域生态经济系统的线性规划模型	(144)
千岛湖水质污染的指数计算	(146)
小流域雨水资源的承载能力模型	(148)
农田蒸散的区域遥感模型	(151)
昆虫群落的模糊聚类公式	(154)
生态农业的效益评价公式	(156)
农业资源环境的层次评价公式	(162)
乡村人居环境的评价模型	(165)
生态恢复工程的效益评价公式	(167)
田间水分平衡方程式	(170)
牧草与粗饲料的发酵产气方程	(172)
植物冠层内的光合指标计算	(175)

土地利用的生态价值公式	(177)
降水量与土壤储水量的换算公式	(180)
生态足迹与生态环境协调度的计算	(182)
日光温室墙体的保温模型	(185)
景观斑块形状指数的计算	(187)
甲烷排放通量及总量的计算	(189)
包膜肥料的养分释放模型	(191)
田间生态抗瘟性的评价公式	(193)
生态环境系统的发展模型	(196)
有效波高的分布函数	(200)
胶州湾三维边界的潮流数值模型	(203)
窄缝法的泥沙输运模型	(206)
太湖底泥悬浮的临界切应力值	(209)
悬浮沉积物的后散射强度计算	(213)
陆架浅海环流模型	(216)
大气重力波的运动方程	(218)
微藻对氮同位素的吸收模型	(220)
东海沿岸海区垂直环流的控制方程	(222)
波浪和潮汐风暴潮的数值模式	(225)
孤雌生殖海带对草丁麟 LD_{50} 及 95% 可信限的计算	(228)
海面泡沫液滴的破碎计算	(230)
遥感海面高度的混合同化模式	(233)
黄鳍金枪鱼的指标计算	(236)
古流域水量平衡方程	(238)
潮流运动方程	(241)
黄海湍流混合方程	(248)
黄河入海泥沙通量公式	(253)
雨生红球藻的生长模型	(255)
中国仓鼠卵巢细胞的生长模型	(256)
废水淤泥的厌氧消化公式	(260)
金黄色和白色葡萄球菌的增长模型	(268)
石油发酵菌体的动力学模型	(273)

补料分批培养模型	(277)
酵母细胞循环模型	(282)
菌体生长的动力学模型	(286)
摇瓶的氧传递公式	(289)
谷氨酸发酵的调优计算	(291)
纤维素酶系多元线性回归模型	(296)
贴壁细胞的生长模型	(298)
生产 6-APA 的水解青霉素 G 模型	(300)
气含率的关联式	(303)
双碳源流加培养的动力学模型	(305)
喷射环流生化反应器的流体公式	(309)

龙眼生长的温度适宜度模型

1 背景

气候对华南地区龙眼的影响已经做过一些工作,但是前人研究多数是针对某个地区某一时期开展的静态温度影响分析^[1-2],同时关于适宜性研究多数也是针对龙眼全生长期或某个生育期开展的^[3-4],而很少关注龙眼各个生育期之间的温度适宜性差别,即他们对龙眼生长和生育过程重视不够。段海来等^[5]建立了龙眼的温度适宜度隶属函数,它既考虑了温度影响的宏观过程分析与模拟,而且对龙眼生长过程也十分重视,同时考虑各个生育期的适宜性。

2 公式

为了定量分析华南地区热量对龙眼(成年树)各生育期生长发育的满足程度,引入龙眼生长对温度条件的响应函数,根据赵峰、千怀遂等^[6-7]的研究,结合华南地区实际情况,温度适宜度函数为:

$$S(T) = \begin{cases} 0 & T \leq T_1 \text{ 或 } T \geq T_2 \\ \frac{[(T - T_1)(T_2 - T)^B]}{[(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B]} & T_1 < T < T_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中 $B = (T_2 - T_0)/(T_0 - T_1)$

式中: T 是某一时段(某旬或某生育期)的平均气温, T_1 、 T_2 、 T_0 分别是龙眼在该时段内生长发育的下限温度,上限温度和最适温度, $S(T)$ 是由实际气温和 T_1 、 T_2 、 T_0 决定的温度适宜度。根据龙眼生长发育和温度的关系,当 $T \leq T_1$ 时, $S(T) = 0$,当 $T = T_0$ 时, $S(T) = 1$,当 $T \geq T_2$ 时, $S(T) = 0$, $S(T)$ 是一个在 0~1 之间变化的不对称抛物线函数,它反映了温度条件从不适宜到适宜及从适宜到不适宜的连续变化过程。此函数反映了一个普遍规律,即适宜度随气温的升高而增长,到达某一适宜值后,适宜度随气温升高迅速下降。

3 意义

段海来等^[5]首先分析龙眼各生育期适宜度,结果表明,休眠期、花芽生理分化期、花芽形态分化期适宜性较低,具有较高的变率,开花期、果实发育成熟期、抽梢期表现出较高的温度适宜性,变率也较小,并且通过进一步研究发现影响华南地区龙眼生产的关键问题不是冷害,而是冬春季的热害;其次分析华南地区各县区的平均温度适宜度,结果表明,华南地区龙眼温度适宜性的地域分异呈纬度地带性规律,并根据龙眼减产率将华南地区划分为最适宜型、适宜型、次适宜型、低适宜型和不适宜型五大适宜度类型;后分析龙眼各生育期温度适宜度的年际变化,发现未来各生育期中除果实发育成熟期和抽梢期无明显变动外,其他生育期的温度适宜度都有下降趋势。

参考文献

- [1] 涂方旭,苏志,李艳兰. 广西荔枝龙眼的冻害区划研究. 广西科学, 2002, 9(3): 225 - 230.
- [2] 朱海俊. 玉林地区荔枝、龙眼气候优势及其开发前景分析. 广西气象, 1996, 17(2): 30 - 32.
- [3] 李耀先. 华南龙眼种植气候区划生态区域的综合分析. 广西农业科学, 2001(4): 221 - 225.
- [4] 杜鹃,李世奎,温福光,等. 华南南部主要热带果树农业气象灾害风险分析//李世奎主编. 中国农业灾害风险评价与对策. 北京:气象出版社, 2000:116 - 121.
- [5] 段海来,千怀遂,俞芬,等. 华南地区龙眼的温度适宜性及其变化趋势. 生态学报, 2008, 28(11): 5 303 - 5 313.
- [6] 千怀遂,任玉玉,李明霞. 河南省棉花的气候风险研究. 地理学报, 2006, 61(3): 319 - 326.
- [7] 任玉玉,千怀遂,刘青春. 河南省棉花气候适宜度分析. 农业现代化研究, 2004, 25(3): 231 - 235.

四川生态系统的地震损失估算模型

1 背景

地震是自然灾害中最为严重的一种,其带来的生态破坏灾难巨大,区域生态系统损害估算是目前研究中的难点问题之一。生态系统的灾害损失评估方法很多,主要是市场价值法、条件价值法(CVM)、影子工程法、机会成本法等。研究对象主要集中在生态功能价值损失评估、生态受损量估算、快速地震生态价值损失估算、代表指标损失估算等。在实际研究中,单一的评估方法是难以奏效的,必须多方法结合。于文金^[1]采用地理遥感信息系统中空间符合分析,研究区域生态变化特征和空间分布,通过实地考察、野外定位考察,研究地震灾区生态系统损失强度,采用综合指标法建立生态系统损失快速评估模型,研究四川地震灾害生态系统和功能损失及灾度。

2 公式

地震的生态损失应该由3部分组成:区域生态直接灾害损失、受损生态系统恢复资金投入和恢复期生态系统生态服务功能的损失。根据 S. Ergonul 模型,结合我国西部生态的基本情况,对生态功能恢复损失率计算公式进行了改进,建立如下计算模型:

$$\begin{aligned}E_q &= E_D + E_{RC} + E_{RL} \\E_{RC} &= A \\A &= \sum_{i=1}^x W_i (1 - Q_i) Q_i \rho_i \\E_{RL} &= \sum_{i=0}^{i=T} \int_0^T [f(x)]\end{aligned}$$

式中: E_D 表示生态直接损失, E_{RC} 表示生态系统恢复费用, E_{RL} 表示生态系统恢复期生态服务功能损失。

鉴于生态系统服务功能和经济损失存在一定的量化难度,在研究中可以靠综合指标分析法计算地震生态灾害度 D ,以此来衡量经济系统受灾害损失的严重情况。

首先选取指标,并确定各指标的各种权重指数,生态系统地震灾害损失指数计算模型:

$$CHSSEL = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} X_{ij}$$

式中: W_{ij} 为 i 类受灾体对区域 j 指标影响的权重, 赋值范围^[2]; X_{ij} 表示 i 类受灾体对受损影响的分指标 j 。综合指标法可以消除大量不确定因子的影响, 把难以量化的因素做定量化研究。

标准化处理。为消除因数据量纲不同或数据悬殊过大导致的噪音影响, 需要将它们都转化成无量纲数据, 使其具有可比性。采用极差标准化方法对各个指标进行标准化处理, 经过这种标准化所得的新数据, 各要素的极大值为 1, 极小值为 0, 其余的数值均在 0 与 1 之间。

$$V'_i = \frac{V_i - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

式中: i 为年份, V'_i 为标准化后的数据, V_i 为各指标的原始数据值, $V_{\max}$ 、 $V_{\min}$ 分别为该项指标的最大值和最小值。

本研究的置信度为 93%:

$$D = \frac{q}{g}$$

式中: D 代表灾度; q 为地震造成的生态系统损失; g 代表区域生态系统价值。用 D 来描述区域受灾影响深度更科学实用, 研究结果在置信度 85% 上有效。

3 意义

于文金^[1]利用模型计算, 四川省在本次地震中森林碳汇储备能力每年损失 78.1×10^4 t, 损失价值 2.5×10^8 元, 森林释放氧气能力降低 67.38×10^4 t, 损失价值 2.7×10^8 元。直接生态系统损失(ED) 647.58×10^8 元, 生态系统恢复费用(ERC) 1158.31×10^8 元, 全省森林生态系统生态服务价值损失达 1055.88×10^8 元, 综合生态损失在 3527.31×10^8 元, 灾度 0.38, 属于明显灾害破坏。灾害损失和灾害度的快速评估对于指导灾后生态系统重建工作和生态系统工程的防灾都具有重要的积极作用。

参考文献

- [1] 于文金. 地震灾害对四川省区域生态系统危害及损失评价. 生态学报, 2008, 28(12): 5785-5794.
- [2] Wen-tzu Lin, Wen-chieh Chou, Chao-yuan Lin, et al. Vegetation recovery monitoring and assessment at landslides caused by earthquake in central Taiwan. Forest Ecology and Management, 2005, 210(3): 55-66.