



普通高等教育“十三五”规划教材

资源与环境 系统分析

Ziyuan yu Huanjing
Xitong Fenxi

第2版

■ 陈 研 李保国 主编

非
外
借



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十三五”规划教材

资源与环境系统分析

第2版

陈 研 李保国 主编

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书选取与系统密切相关的系统分析为基本内容,通过与案例相结合的方式,阐述了系统分析的基本理论、方法,同时介绍了系统分析的一些前沿研究领域。全书内容包括回归拟合模型与应用、基于过程的动力学模型与应用、优化模型、决策模型与应用等四部分。

图书在版编目(CIP)数据

资源与环境系统分析/陈研,李保国主编.—2版.—北京:中国农业大学出版社,2017.8

ISBN 978-7-5655-1875-1

I. ①资… II. ①陈… ②李… III. ①资源经济学-环境经济学-系统分析
IV. ①X196②F062.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 172748 号

书 名 资源与环境系统分析 第2版

作 者 陈 研 李保国 主编

策 划 孙 勇

责任编辑 洪重光

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

版 次 2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 18.25印张 330千字

定 价 39.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

第2版编写人员

主 编 陈 研(中国农业大学)

李保国(中国农业大学)

参 编 刘 刚(中国农业大学)

展志岗(中国农业大学)

刘 涛(四川农业大学)

盛建中(新疆农业大学)

颜 安(新疆农业大学)

张吴平(山西农业大学)

第 1 版编写人员

陈 研 李保国 刘 刚 展志岗

第2版前言

从2009年《资源与环境系统分析》出版以来,得到了很多老师、学生和研究人员的关注,读者们给了很多鼓励和肯定。同时也对书中的内容、体系、实例等方面提出了宝贵的修改意见。特别感谢使用本教材的教师、同学们和网友,对第1版印刷与编写等诸方面提出了很多宝贵的意见。这些都是对我们工作的鼓励和支持,借此再版之际,向关心和支持我们工作的广大读者表示衷心的感谢!

资源与环境系统分析从2002年开课至今已经有15年,一直使用中国农业大学校内讲义,以及在此基础上的第1版教材。15年的时间,系统分析的思想和方法已经有了很大的变化,本次再版,根据教师学生和广大读者的建议,对第1版教材进行了一些增删,在保持第1版《资源与环境系统分析》特色的前提下对体例、格式、叙述等进行了修改,力求使第1版教材的优点得到发展,缺点得到克服。修改部分如下:

1. 第2章非线性曲线模型中去掉了“非线性最小二乘法”;
2. 重新写了“线性规划”部分,去掉冗余,使叙述更加简练清楚;
3. 去掉了原书第10章投入产出方法;
4. 增加了第9章系统聚类分析和第10章判别分析,原书第9章层次分析改为第11章;
5. 增加了用“Excel”软件求解“回归分析”和“数学规划”的内容,使得本教材更适合学生和科技工作者自学。

尽管此次修订我们做了很大的努力,但是由于我们水平有限,错误与不妥之处在所难免,敬请广大读者再予批评指正。

编 者

2017年8月

第1版前言

我们所处的 21 世纪已是信息技术和知识经济的时代。在其大潮推动下,世界已趋于平坦化。而资源与环境的问题越来越突出,如全球变暖、区域土地资源质量的退化和水环境的恶化等。所以人类必须行动起来,采取有效的措施,实现区域乃至全球的可持续发展。

可持续发展,即经济、生态、社会的和谐发展,要求做到对资源高效利用和保护与改善环境。在我们所处的这个时代,要达到这个目标,就必须借助于信息技术加强对资源和管理,这就对资源和环境领域的科技人才提出了更高的素质要求,必须学会和掌握利用计算机和信息技术处理本领域复杂的问题。

资源与环境科学是一门典型的复杂性科学,是涉及土地、水、生物、大气交互作用的复杂巨系统,直接决定着人类的生存和发展,而现代人类活动是资源与环境系统演化的主要驱动力。对资源与环境系统众多属性和过程的综合,以及对其时空间尺度的转化认识不能仅停留在经验上,而应建立对其属性的精确描述——数字化、严密的逻辑推理——过程定量化和数学模型的基础上。

中国农业大学资源和环境学院从进入 21 世纪开始,就着手对农业资源利用和环境科学类本科专业课程进行改革,加大了信息技术和计算机应用方面的课程。从 2002 年开始,新开设了资源与环境系统分析、资源与环境信息技术等课程,以培养资源与环境相关专业大学生精确定量思维的能力和运用信息技术解决资源与环境实际问题的能力。

掌握系统分析理论和方法已是现代科学人才必备的素质。系统分析的对象是复杂的大系统。目的是进行系统的最优化设计和对有关重大问题进行正确决策。系统分析过程是对系统的分解和综合,分解即为研究和描述组成系统的各个要素的特征,掌握各要素的变化规律;综合指的是研究各要素之间的联系和有机组合,达到系统的总目标最优。资源和环境系统分析内容就是对土地、水、生物、大气及其交互作用的复杂

巨系统进行数学模型化和最优化。本课程就是信息化技术在资源与环境研究和管理中的基础课程。

考虑到本课程主要是面向资源利用和环境科学类本科专业的大学生,所以在内容上,主要选取了和资源与环境系统密切相关的系统分析的基本方法,同时对该方向的一些前沿研究领域进行简要的介绍,为感兴趣的同学深入学习指引一些方向。现全书内容包括4篇共10章。第1篇为回归拟合模型,包括线性回归模型、非线性曲线回归模型两章;第2篇为基于过程的动力学模型与应用,包括单种群增长的动力学模型、多种群增长的动力学模型、混沌与分形模型初步三章;第3篇为资源与环境系统中的优化模型,包括线性规划、目标规划、整数规划三章;第4篇为资源与环境评价的决策模型与应用,包括层次分析方法、投入产出模型两章。为巩固掌握所学内容,每一篇后面都附有练习题和计算实习,供同学完成和上机练习,上机练习的题目都可通过 Excel 来完成,如条件允许和同学们感兴趣,鼓励同学用编程语言和其他软件来完成。

本教材内容已在中国农业大学资源和环境学院教授了六年,其间不断完善,在教学上取得较好的效果,也得到了农业资源利用和环境科学类本科专业学生的认可。在完成高等数学基础课学习后,紧接着就开设此课程,从而把数理精确定量思维落实到本专业领域,大大增强了同学们应用计算机、用数学模型处理资源与环境问题能力,也为后续专业课程的学习打下了一个很好的基础。

本教材中的大部分相关内容在其他教材中早有涉及,但面向农业资源利用和环境科学类本科专业,按照本教材体系进行编写,这还是第一次。由于本教材内容涉及的领域较为广泛,所编写的内容难免有不妥、失误之处,敬请各位师生、读者指正,以便不断完善。

李保国

2008年1月

目 录

第 1 篇 回归拟合模型

第 1 章 线性回归模型 /3

1.1 变量间的相关关系	3
1.1.1 回归模型的建立	5
1.1.2 线性回归模型及其获得的途径	6
1.2 一元线性回归分析	7
1.2.1 散点图与回归直线	7
1.2.2 判断估计量 a, b 的优劣	10
1.2.3 线性关系的检验	11
1.2.4 根据回归方程预报或控制 y 的取值	17
1.3 Excel 在回归分析中的应用	22
1.3.1 用图表模块求回归方程	22
1.3.2 用“数据分析”模块求回归方程并做方差分析和 统计检验	22
1.4 多元线性回归分析	27
1.4.1 二元回归分析——回归平面的求法	28
1.4.2 多元线性回归方程的一般求法	29
1.4.3 多元线性回归的显著性检验	33
1.4.4 Excel 求解多元线性回归的步骤及实例	35
1.5 逐步回归	39
1.5.1 逐步回归的基本思想	39
1.5.2 逐步回归的计算例子	42

第 2 章 非线性曲线回归模型 / 45

2.1 可线性化的曲线回归模型	45
2.1.1 双曲线	45
2.1.2 指数函数 1	47
2.1.3 指数函数 2	47
2.1.4 对数函数	48
2.1.5 幂函数	48
2.1.6 二次函数	49
2.1.7 三次多项式	49
2.1.8 曲线回归模型的检验	49
2.2 生长曲线回归模型	50
2.2.1 原理	51
2.2.2 Logistic 曲线模型	51
2.3 用 Excel 求可线性化的非线性回归方程	55
2.3.1 图表法	55
2.3.2 调用“数据分析-回归”模块法	58
2.4 趋势面分析	59
2.4.1 趋势面分析的一般原理	59
2.4.2 趋势面模型的检验	63
2.4.3 趋势面分析应用	64
第 1 篇 练习题	68
第 1 篇 计算实习	70

第 2 篇 基于过程的动力学模型与应用**第 3 章 单种群增长的动力学模型 / 75**

3.1 Logistic 方程	75
3.1.1 非密度制约方程	75
3.1.2 密度制约方程	77
3.2 被开发了的单种群增长模型	80

3.3 具有时滞的模型	82
3.4 离散时间的模型——差分方程	83
3.5 具有时变环境的模型	86
3.6 反应扩散方程	87
3.6.1 随机概念的引入	87
3.6.2 常用的随机方程和模型	89
3.6.3 常用的随机方程和模型的应用实例	91

第4章 多种群增长的动力学模型 / 93

4.1 两种群相互作用的模型	93
4.2 被开发了两种群互相作用的模型	96
4.3 具有时滞的两个种群相互作用的模型	98
4.4 离散时间的两种群相互作用的模型	99
4.5 反应扩散方程	99
4.6 反应扩散方程在景观生态学上的应用	100

第5章 混沌与分形模型初步 / 102

5.1 动力学系统与混沌	102
5.1.1 混沌的发现——洛伦兹关于大气对流的模型	102
5.1.2 生态系统中的振荡与混沌	105
5.1.3 混沌的其他例子——滴水水龙头	108
5.1.4 混沌判断——李雅普诺夫指数	109
5.2 分形现象与分形维数	109
5.2.1 自然界分形现象的几个实例	110
5.2.2 随机分形的几个例子	112
5.2.3 分形与分形维数的定义	113
5.3 L-系统简介	116
5.3.1 一个实例	116
5.3.2 L-系统基本原理	118

第 2 篇 练习题	119
第 2 篇 计算实习	120

第 3 篇 资源环境系统中的优化模型

第 6 章 线性规划 / 127

6.1 问题及数学模型	127
6.1.1 线性规划引例	127
6.1.2 线性规划模型	133
6.1.3 线性规划模型标准化	135
6.2 线性规划问题的解法	137
6.2.1 线性规划问题的标准型	137
6.2.2 图解法	138
6.2.3 线性规划问题的解	142
6.2.4 单纯形法	143
6.2.5 单纯形法的计算步骤	149
6.2.6 人工变量法	154
6.2.7 改进单纯形法	157
6.3 灵敏度分析	164
6.3.1 目标函数中 c_j 变化范围的确定	164
6.3.2 在约束条件中 b_i 变化范围的确定	165
6.3.3 在约束条件的系数矩阵中某一个 a_{ij} 发生变化的范围的 确定	166
6.4 应用举例	167
6.4.1 水资源分配问题——农业用水最优分配的线性规划模型	167
6.4.2 生产中的组织和计划问题	171
6.4.3 运输问题——最佳运输的线性规划模型	173
6.5 使用 Excel 求解线性规划问题	175
6.5.1 Excel 软件“规划求解”模块介绍	175
6.5.2 用 Excel 软件求解线性规划问题的实例	180

第 7 章 目标规划 / 184

7.1 目标规划的数学模型	184
7.1.1 偏差变量	185
7.1.2 绝对约束和目标约束	185
7.1.3 优先因子(优先等级)与权系数	186
7.1.4 目标规划的目标函数	186
7.1.5 数学模型	186
7.2 使用 Excel 求解目标规划问题	187
7.3 应用举例	192

第 8 章 整数规划 / 195

8.1 问题的提出	195
8.2 分支定界解法	198
8.3 0-1 型整数规划	203
8.3.1 0-1 规划举例	204
8.3.2 整数规划和 0-1 规划的 Excel 解法	208

第 3 篇 练习题	211
-----------------	-----

第 3 篇 计算实习	215
------------------	-----

第 4 篇 资源与环境评价和决策模型及应用**第 9 章 系统聚类分析 / 219**

9.1 样本间相似性的度量	219
9.1.1 常用的数据变换方法	220
9.1.2 样品间的距离和相似系数	220
9.2 系统聚类分析	223
9.2.1 系统聚类分析的基本思想	223
9.2.2 类的定义及特征	223
9.2.3 基于类间距的系统聚类方法	224

第 10 章 判别分析 / 233

10.1 距离判别	233
-----------------	-----

10.1.1	两个总体的距离判别	233
10.1.2	判别准则的评价	238
10.1.3	多个总体的距离判别	242
10.2	贝叶斯(Bayes)判别简介	244
10.2.1	两个总体的贝叶斯判别	245
10.2.2	多个总体的贝叶斯判别	251

第 11 章 层次分析方法 / 256

11.1	基本步骤	256
11.1.1	成对比较矩阵和权向量	257
11.1.2	比较尺度	258
11.1.3	一致性检验	261
11.2	若干问题	265
11.2.1	正互反阵最大特征根和对应特征向量的性质	265
11.2.2	正互反阵最大特征根和特征向量的实用算法	266
11.2.3	不完全层次结构中组合权向量的计算	267
11.2.4	层次分析法的优点和局限性	269
11.3	应用	270

第 4 篇	练习题	275
-------	-----------	-----

第 4 篇	计算实习	275
-------	------------	-----

参考文献 / 276

第 1 篇 回归拟合模型

资源与环境系统分析所考虑对象的特点在于它是变化发展的,而不是孤立不变的。它受许多因素的影响和制约,具有一定的相关或因果关系。例如,降雨、灌溉和施肥与粮食产量的关系,大气中灰尘浓度与污染源的排放量之间的关系等。它们之间的关系是非常复杂的,且无法用精确的函数式来描述,而我们又需要了解资源与环境系统中众多因素之间的关系,以进行系统分析,对系统的发展变化进行预估和推测。即根据系统过去发展规律和现状,借助于实际数据或历史资料,采用科学的预测方法探索系统内在的规律,进而估计和预测系统未来的发展趋势。

为了分析各个因素之间的关系,需要对大量的实测数据进行统计分析,从中找到其内在的联系和规律,即把实测数据拟合成数学公式。回归分析就是通过因素之间的相关关系和影响程度进行预测的方法之一。

第1章 线性回归模型

1.1 变量间的相关关系

变量与变量之间的关系常见的有两类。

一类是确定性的函数关系,像正方形的面积和边长的关系、在微积分中讲的 $y=f(x)$ 或 $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 等都是这种关系。其特点是,任意给定一个 x 或一组 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的值,必有确定的唯一的 y 值与之对应。

另一类是变量间确实存在一定的关系,但又不具备函数关系所要求的确定性。它们的关系带有随机性,因而不能简单地写成 $y=f(x)$ 。例如,由一个人的身高不能确定其体重,但一般地,“身高者,体也重”。也就是说,身高与体重这两个变量具有相关关系。再如,施肥量与产量的关系也具有这种性质,显然产量的高低依赖于土壤的肥沃程度,但绝不能断言,在1亩*地中施一定数量肥料就一定能获得多少(确定的)产量。所以,产量与施肥量之间既互相依赖又不确定,是一种相关关系。

怎样判断两个变量之间有没有相关关系呢?来看下面的例子(人民教育出版社课程教材研究所,中学数学课程教材研究开发中心,2004)。

例 1.1 某校12名高一学生的身高与体重的测量数据如表1.1所示,试分析学生的身高与体重的相关关系。

表 1.1 身高与体重的测量数据

身高 x/cm	151	152	153	154	156	157	158	160	160	162	163	164
体重 y/kg	40	41	41	41.5	42	42.5	43	44	45	45	46	45.5

* 1 亩 $\approx 667 \text{ m}^2$ 。