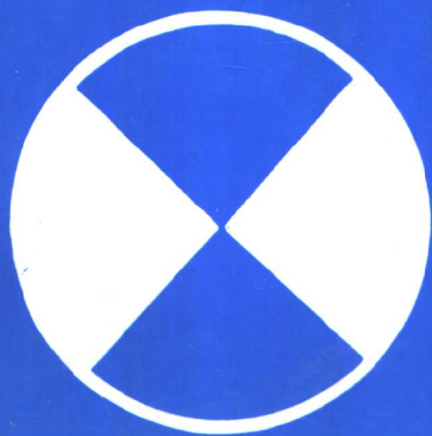


灰色系统理论

在农业上的应用

雷铁拴 郭瑞林 王新海 主编
高 明 孙立民 李新安



河南科学技术出版社

灰色系列理论在农业上的应用

雷铁拴 郭瑞林 王新海 主编
高 明 孙立民 李新安

河南科学技术出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了灰色系统理论在农业上的应用方法和建模原理.全书共分八章,前四章为灰色系统理论、灰色关联分析及其模型的综述,五至七章为灰色预测、决策、综合分析等具体的应用研究,最后一章为常用的计算机模型程序.该书内容丰富,层次清晰,理论与实践并重,可供农业科技人员、农业管理人员学习使用,也是农业类院校各专业师生和研究生的学习参考书。

灰色系统理论在农业上的应用

雷铁挂、郭瑞林 王新海 主编

高 明 孙立民 李新安

责任编辑 张 鹏

河南科学技术出版社出版发行

(郑州市农业路 73 号)

洛阳豫西印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 10.375 印张 260 千字

1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册

ISBN7-5349-1894-4/S·459

定 价:16.80 元

《灰色系统理论在农业上的应用》

编著组成员

主 编 雷铁拴 郭瑞林 王新海
高 明 孙立民 李新安

副主编 (以姓氏笔划为序)

王 阔	王宏道	史自立	申鲜卿
朱先民	李大平	李冬花	李自兴
李喜梅	李勤星	杨新乐	张毛岭
罗秦岳	郭秀兰	荆耐芳	谢友仁
韩太国			

编写者 (以姓氏笔划为序)

王 阔	王西来	王新海	王宏道
王新香	石红霞	史自立	申鲜卿
孙立民	朱先民	李大平	李巧芝
李冬花	李自兴	李喜梅	李勤星
李新安	杨新乐	张毛岭	罗秦岳
郭瑞林	郭秀兰	高 明	荆耐芳
谢友仁	韩太国	雷铁拴	潘秀珍

前 言

现代科学技术的发展,导致了具有方法论意义的横断学科群的出现,它深刻揭示了事物之间本质性的内在联系,大大促进了科学技术的整体化进程。20世纪40年代末期诞生的系统论、信息论和控制论及产生于60年代末、70年代初的耗散结构理论、协同学和突变论都是具有横向性、交叉性的新兴学科。1982年,在群星闪耀的中国科学界的天宇中,著名学者、华中理工大学邓聚龙教授创立的灰色系统理论,则是横断学科群中兴起的又一颗璀璨夺目的新星。

1982年,北荷兰出版公司(North Holland Press Co.)的《系统与控制通讯》(System & Control Letters)杂志上发表了邓聚龙教授的第一篇灰色系统论文——“灰色系统的控制问题”,宣告了灰色系统理论这一新兴学科的诞生,以其全部的思想、方法、模型揭示了系统发展、演化的规律,使我们对复杂系统行为特征的探索和描述大大简化。众多科学领域的研究效率由于灰色系统理论的产生而成倍提高。

国内外著名系统科学专家钱学森、宋健、威格尔、洛克特和乌耶莫夫等教授都对灰色系统理论给予高度评价和支持。中国、美国、日本、法国、德国、加拿大、澳大利亚、瑞士、俄罗斯等国家一大批不同领域的学者纷纷加入灰色系统研究行列,以极大的热情开展理论探索,并在各个学科领域中进行应用研究。截止1992年底,在国内外160多家学术刊物上发表的灰色系统论文已有600多篇。中国科学院学部委员陈克强教授在全国第七次灰色系统学术讨论会上说:“自然科学各学科诞生之初,能在10年内迅速突破并

获得重大发展的为数不多,灰色系统理论就是其中之一。”

灰色系统理论的应用最早源于农业,也最得益于农业。在这种形势下,农业灰色系统分析的方法应运而生。在短短的时间里,以异常的速度渗透到农业各个领域,并提供了系统研究的新方法、新途径,特别对农业这个复杂多变的、信息不完全确知的大系统更为适用。

本书共分八章,前四章为灰色系统理论、灰色关联分析及其模型的综述,五至七章为灰色预测、决策、综合分析等具体的应用研究,最后一章为常用的计算机模型程序。为尽可能地反映灰色系统理论、方法的应用,并尽量考虑到各个专业,书中引编了诸多学者在学术会议交流或杂志上发表的论文及新观点、新方法等,具体实例百余个,在此特向这些论文的作者表示感谢。

本书由主编列出编写大纲,编著组成员分工撰稿。初稿完成后,主编和副主编进行了审稿和修改,最后由主编定稿。在编著过程中,先后得到国内诸多灰色系统理论专家、农业专家及技术人员的大力支持,有的还提出了很多宝贵意见,在此谨致谢意。

灰色系统理论作为一门新兴学科还不完全成熟,需要日臻完善。加之编著人员水平所限,书中不妥之处,敬请广大读者提出批评意见和建议。

编 者

1995年12月

目 录

第一章 灰色系统理论概述	(1)
第一节 灰色系统理论的概念	(2)
第二节 灰色系统理论的基本特征	(4)
一、用灰色概念描述系统	(5)
二、用已知信息挖掘隐信息	(6)
三、认识主体与认识客体的完美结合	(6)
四、通过离散数据列建立灰色模型	(6)
五、历史、现实与未来的有机统一	(7)
六、定性分析与定量分析的结合	(7)
第三节 灰色系统理论在农业中的应用	(8)
一、灰色关联分析在农业中的应用	(8)
二、灰色系统建模与灰色系统预测在农业中的应用	(12)
三、灰色决策分析在农业中的应用	(13)
四、灰色综合分析在农业中的应用	(14)
第二章 灰色数据处理	(16)
第一节 灰色数据的特点及处理的基本要求	(16)
一、灰色数据的特点	(16)
二、灰色数据处理的基本要求	(17)
第二节 常见的灰色数据变换方法	(18)
一、标准化变换	(18)
二、均值化变换	(20)
三、初值化变换	(21)
四、极差变换	(22)

五、滑动平均变换	(23)
六、效果测度变换	(24)
七、累加生成变换	(28)
第三章 灰色关联分析	(31)
第一节 关联度概念及计算方法	(31)
一、关联度概念	(31)
二、关联度分析计算方法	(32)
第二节 邓氏序列关联分析	(35)
第三节 邓氏矩阵关联分析	(51)
第四节 灰色关联度显著性检验	(55)
第五节 灰色关联系统分析实例	(56)
第四章 灰色系统模型	(62)
第一节 灰色模型的特点	(62)
第二节 灰色动态模型的建模原理与方法	(63)
一、灰色动态模型建模原理	(63)
二、灰色动态模型建立方法	(66)
第三节 灰色动态模型的类型	(67)
一、预测模型	(67)
二、状态模型	(69)
三、静态模型	(72)
第四节 灰色模型检验	(72)
一、回代检验	(72)
二、后验差检验	(73)
三、小误差概率检验	(74)
四、精度检验标准	(74)
第五节 灰色模型建立步骤及计算方法	(74)
一、动态模型的建立	(74)
二、状态模型的建立	(91)

三、静态模型的建立	(103)
第五章 灰色系统预测技术	(109)
第一节 灰色预测的概念及类型	(109)
一、灰色预测的概念	(109)
二、灰色预测类型	(110)
第二节 灰色数列预测	(111)
一、单序列残差辨识法预测	(111)
二、数列预测	(118)
三、残差周期修正数列预测	(124)
四、序列移动预测	(133)
五、等维灰数递补预测	(138)
第三节 灰色灾变预测	(142)
一、灾变预测	(143)
二、季节灾变预测	(152)
三、灰色拓扑预测	(163)
四、区间预测	(169)
第六章 灰色决策分析	(180)
第一节 单目标灰色局势决策	(180)
一、单目标灰色局势决策矩阵	(181)
二、单目标灰色局势决策准则	(182)
三、单目标灰色局势决策的分析步骤	(182)
四、单目标灰色局势决策的应用示例	(183)
第二节 多目标灰色局势决策	(191)
一、事件、对策、局势、局面	(191)
二、效果测度	(192)
三、决策元、决策矩阵	(192)
四、决策准则	(193)
五、多目标灰色局势决策的分析步骤	(194)
六、多目标灰色局势决策的应用示例	(195)

第三节 灰色层次决策	(205)
一、决策层与多层次决策系统	(205)
二、灰色层次决策的分析步骤	(209)
三、灰色层次决策的应用示例	(209)
第七章 灰色综合分析	(218)
第一节 灰色聚类分析	(218)
一、灰关联聚类分析	(219)
二、灰色指标白化变权聚类分析	(226)
三、灰色指标白化定权聚类分析	(236)
四、星座图聚类分析与改进星座图聚类分析	(241)
第二节 灰色统计分析	(250)
一、灰色统计分析的原理与方法	(250)
二、灰色统计分析的步骤	(252)
三、灰色统计分析的应用示例	(252)
第三节 灰色综合评判	(260)
一、灰色关联度综合评判	(260)
二、灰色隶属度综合评判	(272)
第八章 灰色系统分析常用计算机程序	(285)
第一节 灰色矩阵关联分析	(286)
第二节 灰色系统预测	(287)
一、带残差修正序列预测	(287)
二、灰色序列移动预测	(293)
三、等维灰数递补预测	(296)
四、灰色灾变预测	(300)
五、灰色拓扑预测	(304)
第三节 灰色局势决策	(307)
一、单目标局势决策	(307)
二、多目标局势决策	(309)
第四节 星座图聚类	(313)

第一章 灰色系统理论概述

1982年,在群星闪耀的中国科学界的天宇中,又一颗璀璨夺目的明星升空。“灰学之父”邓聚龙教授在北荷兰出版公司(North Holland Press Co.)主办的《系统与控制通讯》(Systems & Control Letters)杂志上关于“灰色系统的控制问题”(The Control Problems of Grey Systems)一文的发表,宣告了灰色系统理论这一新兴横断学科的诞生,在国际科学界引起强烈轰动。之后,灰色理论研究与应用便席卷全国乃至全球。截止1992年底,短短10年间,在国内外160多家学术刊物上发表的灰色系统论文已有600余篇;在全国先后召开的7次全国灰色系统学术讨论会上,共交流、宣读论文1068篇;许多国际、国内学术会议接受灰色系统论文或把灰色系统列为专题;60多所院校开设灰色系统理论课程;数百名博士、硕士研究生运用灰色系统理论的思想方法开展研究工作,撰写学术论文;一批灰色系统理论研究课题获得国家或省(市)各类科学基金资助;150多个行业部门运用灰色系统的思想、方法和模型制定总体发展规划,已经取得显著的社会效益和经济效益。到目前为止,灰色系统理论已初步形成了以灰色关联空间为基础的分析体系,以灰色模型GM为主体的模型体系,以灰色过程及其生成空间为基础与内涵的方法体系,以系统分析、建模、预测、决策、控制、评估为纲要的技术体系。灰色系统理论“以近知远,以今知古,以所见知未见”,正以其独特的学术思想广泛为社会所认识、所重视。

第一节 灰色系统理论的概念

色彩,是大自然赐予人类的珍贵礼品.有色彩,就有万物的风貌;有色彩,就有生活的感召;有色彩,也就有生命的律动.正是五颜六色的色彩,把我们这个世界装点得绚烂多彩,妙趣横生.然而,谁也不曾料到,色彩竟也具有描述科学重大命题的功能.为反映人类对客观世界认知的程度,科学家就用黑、灰、白三种色彩对这种认知程度加以形象地阐述和划分.

我们生活的这个世界,各种现象和行为并存,现象和行为又受诸多因素的制约和影响,由此构成不同的系统.譬如宇宙系统、社会系统、农业系统、经济系统、生态系统等,可谓五花八门,错综复杂.人类对这些系统的认识深浅不一,感知各异.有些系统各种因素间的关系已经明确,内部特性全部确知,用信息论的观点来讲,就是说信息完全充分,我们就认为该系统为白色系统;相反地,有些系统各种因素无从了解,内部特性隐匿不显,即信息一无所知,我们就认为该系统为黑色系统.然而,更多的系统则是若干因素既有明确的,又有不明确的;内部特性既有确知的,又有不确知的,即信息若明若暗、不完全,我们就认为该系统为灰色系统.严格来说,客观世界纯之又纯,白之又白,或混沌一片、漆黑一团的事物是绝无仅有或几乎不存在的.因此,可以认为,万事万物都罩有一层“灰色的面纱”,有待我们去研究、去探索、去揭示.长期从事自动化系统工程和控制论研究的我国著名学者邓聚龙教授提出的灰色系统理论,正是揭开笼罩在事物表面的这种“灰色面纱”的强有力的思想武器和数学工具.

灰色系统可分为本征性灰色系统和非本征性灰色系统两种.前者是指无物理原型的抽象系统,譬如社会、经济、农业、生态等系统,都没有物理原型,虽然知道影响系统的某些因素,但很难明确

全部因素,更难确定因素之间的对应关系(映射关系)。就拿农作物病虫害防治来说吧,这是一个抽象系统。影响病虫害流行和发生的因素有很多,诸如湿度、温度、降水量、病原寄主、土壤状况、肥力水平等,究竟有多少种因素与病虫害流行发生有关,我们很难全部确定,更难找到各种因素(如湿度与病虫害发生程度等)之间的对应关系。有时即使建立了某种关系,也是在一定假设条件下(譬如一定数理统计的理论假定),按某种逻辑推理或某种理性认识得到的,这种关系很难说就是该系统的真实而确切的反映,因而称这类系统为本征性灰色系统;后者则是指具有物理原型的灰色系统。譬如作物植株体,可称为一个系统,这个系统虽然某些信息(诸如形态、株高、单株穗数、单株子粒产量、千粒重等)是已知的,然而有大量信息却是难以获得的。譬如植株体生命的运行机制、生物化学合成过程、植株体生理、病理、病变等,都有待于研究和探讨,人们对它们的认识还处于朦胧或含糊不清的认识阶段。这类系统即称为非本征性灰色系统。

灰色系统是通过灰色参数、灰色方程(包括微分方程、差分方程、代数方程)及灰色矩阵来描述的。乍一看来,似乎可以认为灰色系统是一种数学方法,其实不尽如此,与其说它是一种数学方法,倒不如说它是一种思想方法。纵观灰色系统理论,我们可以看出,贯穿其中的主要技术思想有:

第一,白色信息充分利用的思想。即利用已知信息去揭示未知信息,通过灰色方法的加工处理,使少量已知信息得到充分的增值利用,使潜在的问题显现化,将灰色系统逐渐白色化。

第二,灰色系统分析思想。即对系统内部各种因素进行分析,确定各因素在系统中的地位,进而判断哪些是优势因素,哪些是劣势因素。

第三,灰色优化“非唯一”灰靶思想。即对系统的灰色决策分析,体现决策多目标、方法多途径,处理方法灵活机动,得到的优化

局势方案解法唯

第四,灰色系统控制思想.即通过寻求系统行为发展变化规律,预测系统未来的行为,采取控制决策(即事前控制),比通常的事后控制优越得多.

第五,残差信息思想.即通过对残差信息的反馈,修正系统原模型,提高模型精度,使之更加符合客观规律.

第六,五步建模思想.这是灰色系统思想的核心内容.其独到之处就是通过语言模型→网络模型→量化模型→动态模型→优化模型 5 个步骤,对灰色系统建立起动态和优化的数学模型,为灰色系统的数量分析和定量控制创造条件.这个过程,实质上是一个信息不断补充、系统因素不断明确、量化及其判断逐步完善的过程.这样,就使建立的数学模型与客观实际更加贴近,对系统的控制也就更加可靠.

从方法论的角度看,灰色系统理论主要包括:灰关联分析、灰色统计、灰色聚类、灰色评估、灰色决策、灰色建模、灰色预测、灰色控制等.这些方法为灰色系统理论的广泛应用奠定了坚实的基础.

所有这些思想和方法,就构成了系统理论的基本框架.正是靠着上述这些科学的思想和方法,使得灰色系统理论如空谷足音,不同凡响,以致在短短 10 余年的时间内,就在各种学科的不同领域内得到了广泛应用,并取得了令人瞩目的成果.

第二节 灰色系统理论的基本特征

灰色系统理论是在系统控制理论基础之上发展起来的,与原有的理论相比,无论思想还是方法都具有独到之处.主要表现在以下几个方面:

一、用灰色概念描述系统

自从控制论学者艾什比提出黑箱(Black Box)理论以来,人们习惯于用“黑”表示信息缺乏,用“白”表示信息完全,即所谓“黑色系统”或“白色系统”。这种描述无疑是一定程度上反映了客观事物某些现象。然而不可否认,这种理论并不完善,它并没有囊括所有现象。事实上,客观物质世界存在着更多的部分信息确知、部分信息未知的现象。在邓聚龙教授提出灰色系统理论之前,这一现象因为既不是黑色系统,又不是白色系统,所以,常常无法解决而被弃置一边,不予理睬,致使系统中许许多多有用信息被丢掉,许多规律未发现,许多本来可以得到的精神与物质财富被埋没。因此,极大地限制了人类的作为,遮掩了人们的视线,缩小了人类活动的范围,束缚了人类的发展。灰色系统理论正是为了解释这么一类现象而提出来的,它把具有这种现象的系统称为“灰色系统”。在很大程度上,涵盖了黑色系统和白色系统,也就是说,黑色系统和白色系统都是灰色系统的特例。这是对系统认识上的一个重大突破。无论在理论上还是在实践上都具有极为重要的意义。

灰色概念的提出,完全符合马克思主义认识论的基本原理。人类认识社会、认识自然的过程,总是要经历从知之不多到知之甚多,从部分认识到全部认识,从肤浅认识到深化认识这么一个发展进程。显然,这样一个发展进程,总是处于一种部分信息已知、部分信息未知的灰色状态。只是在认识初期,黑度较大;随着认识的深化,到认识中期,逐渐变灰;继之到认识后期,系统渐次变白,人类认识的这一基本特点,就决定了一些事物和一些系统势必是灰的。灰色系统的大量存在,需要人们去认识、去揭示、去把握,这就成为灰色系统理论产生的土壤。这也正是灰色系统理论为什么应用范围广且效果甚好的重要原因之一。

二、用已知信息挖掘隐信息

灰色系统理论的一个重要特征是,可以利用系统内部的部分已知信息,去发现、挖掘和认识系统内部的隐信息,从而使未知的信息由黑变灰,由灰变白,进而达到对系统本质的认识.与黑箱理论通过输入和输出的相互关系来探讨系统的内部特征,通过外部手段去发掘内部信息的方法相比,它可以极大程度地打破“箱”的约束,避免黑箱理论对白色信息(已知信息)的浪费.因此,我们说,灰色系统理论是一种立足于系统内部认识系统特征的方法,是一种深层次的研究方法.

三、认识主体与认识客体的完美结合

在认识客观事物的过程中,认识主体与认识客体(即认识对象)两者相互作用,相互影响,缺一不可.很难想象,没有认识主体,认识客体能达到认识;也很难想象,没有认识客体,认识主体会有什么作为.灰色系统理论恰好是认识主体和认识客体完美结合的典范.一方面,灰色系统理论肯定系统内部信息存在的客观性;另一方面,灰色系统理论又从主观方面确认人们对信息认识的不完全性,强调认识主体在认识过程中的作用.与片面强调认识客体(对象)的纯客观性、很少重视认识主体的能动作用的以往学科相比,灰色系统理论在认识世界和改造世界的过程中,更能充分发挥积极而重要的作用.

四、通过离散数据列建立灰色模型

对于生命科学、经济学等微分方程模型的建立,即使国际权威人士也认为是高不可攀.然而,灰色系统理论却轻而易举地解决了这一难题.其基本解题思路可归纳为如下方法和途径.

灰色系统理论认为,随机量是在一定范围内变化的灰色量,随

机过程则是在一定幅区和一定时区变化的灰色过程. 通过累加生成, 将无规律的原始数据变为较有规律的生成数列和光滑离散函数, 用关联空间、光滑离散函数概念, 定义灰色导数、背景值与各阶导数(灰导数)的组合, 构成灰色微分方程. 进而用离散数据列建立灰色微分方程的动态模型(即灰色模型 GM). 在考虑残差 GM 模型的补充后, 变成了近似的差分微分模型.

灰色微分方程的建立, 是应用数学领域的一个重大突破, 在某种程度上具有划时代意义.

五、历史、现实与未来的有机统一

灰色系统理论研究系统行为, 总是从已知的历史数据, 探讨现实规律, 进而预测未来. 它是历史、现实与未来的有机统一体. 要研究现状, 必须懂得历史; 要预知未来, 又必须了解和掌握现实, 三者之间不可割裂. 随着时间的推移和人们认识角度的转换, 历史、现实和未来的概念及内涵也会发生变化. 原来的现实会变成历史, 原来的未来会变成现实, 这是因为时间是一个不断变化并且连续发展的过程. 正是基于这样的考虑, 灰色系统理论才提出了等维新息模型或叫新陈代谢模型, 不断用新的信息取代旧的信息, 用新的模型修正和补充旧的模型, 使历史、现实、未来的衔接天衣无缝, 这种建模方法, 可以说是独辟蹊径、科学新颖.

六、定性分析与定量分析的结合

农业系统、社会系统、经济系统等, 都是无物理原型的本征性灰色系统. 由于这种系统所含因素众多, 随机性较强, 作用原理不明, 所以以往的研究, 多是定性描述性的, 从而为研究这类系统造成一定困难.

灰色系统理论则从一种新的角度出发, 运用现代科学的手段和方法来研究上述系统中的各种现象, 运用模型技术来分析这类