

中国农业系统工程丛书

农业系统灰色理论与方法

山东科学技术出版社

一九八八年·济南

中国农业系统工程丛书
农业系统灰色理论与方法
邓聚龙 主编

*

山东科学技术出版社出版
(济南市玉函路)

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂潍坊厂印刷

*

850×1168毫米32开本 8印张 2插图 168千字
1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数：1—5000

ISBN 7—5331—0241—X/S·39

定价 2.70 元

《中国农业系统工程丛书》编审委员会

主 任 石 山

副主任 杨挺秀 张象枢 周曼殊

委 员 (按姓氏笔画为序)

马培荣	邓聚龙	邓 琦	亓桂明	石 山
刘德铭	刘志明	刘笃慧	刘玉斌	朱志明
吕富保	庄郁华	许尚武	陈锡康	陈克明
陈国良	陈绵云	吴 健	迟范民	杨挺秀
杨广林	张象枢	张沁文	周 平	周曼殊
罗庆成	竺开华	赵庆祯	晏国生	章志敏
曹和光	韩 宁	谭跃进	魏俊生	

《农业系统灰色理论与方法》

主 编 邓聚龙

撰 稿 邓聚龙 殷伯明 蒙万融

徐绍焱 陈绵云 罗建军

责任编辑 张 波

前 言

农业是人类赖以生存最重要的产业，也是劳动密集、技术密集和科学密集的产业。中国是世界上最古老的农业大国之一，中华人民共和国成立后，逐步解决了十亿人口的吃饭和穿衣问题，这是世界性的创举。现代科学技术的发展，日新月异，当今世界已进入信息社会，新技术革命已在全球范围内展开，总结农业现代化国家的经验，探索我国农业现代化的道路，是历史的必然，经济建设的需要。要走自己的农业现代化的道路，必须解决好农业决策科学化，农业在国民经济、社会、生态、科学技术综合发展中的作用及相互关系，农业的结构与布局，农业生态平衡，农业人口的发展与控制，以及能源、交通、商品生产、农村城镇建设等的系统性问题。国内外经验证明，农业系统工程是解决这些问题的重要科学方法与手段。

我国开展农业系统工程的应用，始于1980年，起步虽晚，但路子对头，发展很快。一开始，就在中国系统工程学会名誉理事长钱学森教授所倡导的“强调实践，讲求实效，不坐而论道”的思想指导下，面向农村经济发展，经过农业系统工程专家、技术人员和农业管理干部的辛勤劳动，短短六年，就在全中国24个省（市、自治区）、250个地、县开展了农业系统工程的应用实践，并出现了黑龙江省海伦县、吉林省靖宇县、宁夏回族自治区固原县、山东省长清县和湖南省娄底地区、浏阳县

252068

等，一批具有中国特色、对农业系统工程理论和实践有重要意义的典型。自农业系统工程的应用试点开始，就十分重视人才开发和培养，强调为国民经济建设服务、为农业现代化服务，所以，农业系统工程发展快，效益高，受到各级党、政领导干部和广大农民欢迎，普及范围日益广泛。目前，用农业系统工程的理论、方法，进行预测、决策和管理，制订农村经济、社会、生态、科技综合发展规划，已成为不可缺少的科学手段。

为了总结农业系统工程的应用经验，满足全国各地迫切需要，中国系统工程学会农业系统工程委员会组织全国著名专家和丰富实践经验的科技人员百余人，编写了《中国农业系统工程丛书》。这套丛书强调了农业系统思想、理论、方法、工具和程序的统一，以设计和效益为主线，包括十一个分册，即：《农业系统工程概论》、《农业系统工程总体设计》、《农业系统工程子系统设计》、《农作物栽培技术系统优化设计》、《农业系统动力学》、《农业系统线性规划》、《农业投入产出技术与模型》、《农业系统灰色理论与方法》、《农业系统的预测与决策》、《微机与农业系统工程应用软件》和《农业系统工程应用与效益》。

中国系统工程学会理事长、中国科学院学部委员许国志先生，给予热情指导，并在百忙中，克服视力障碍，为《丛书》写序。我们努力做到“寓巴人于白雪之中，出阳春于下里之内”和“笔执众人，书成一体”的要求。

农业系统工程在我国仍处开拓阶段，《丛书》的出版，是我国农业系统工程发展的一个里程碑，愿将它奉献给读者，意在抛砖引玉，共同实践，继续探索，不断修改，日臻完善，为

加快我国农村经济、社会、生态、科技协调发展作出贡献。

在编写过程中，承蒙中共山东省委、山东省人民政府、山东省科学技术委员会以及全国各有关领导和同行的大力支持，在此表示衷心感谢。

《中国农业系统工程丛书》编委会

一九八七年三月

序

自从党中央提出在本世纪末，我国国民经济翻两番的号召后，许多地区都在制订规划，特别在县一级，农业规划占着很重要的份量，是经济规划的中心课题之一。科学技术应该面向经济建设，而经济建设又应该依靠科学技术。制订规划是进行经济建设的重要步骤，也必须从现代科学技术中寻求新的概念、新的方法。我国农业系统工程，一开始就紧密联系实际，服务于中心课题，所以，在近年来得到了迅速发展，显示了它的生命力。

从事农业系统工程工作，需要三方面的人才，即农业专家、系统工程专家和懂得系统工程的农业专家或懂得农业的系统工程专家。后一方面的人才，是不可或缺，急需培养的，举办短训班，出版适合自修之用的课本，过去几年证明，是行之有效的办法。但还很不够，特别是书籍出版方面。《中国农业系统工程丛书》正是在这种情况下问世的。

发挥集体智慧，由较多人共同执笔，可缩短时间，取材或可较丰富。但在编辑、校审方面，若不加强，则可能有零金碎玉，难成一体之嫌。

这套书自需兼普及与提高。这是一项很难的工作，权衡取舍，颇费思考。若能寓巴人于白雪之中，出阳春于下里之内，则可称上乘。

丛书的编辑和撰稿同志，在过去几年中，曾共同研究项

目，相处有年，观点与共，故能笔执众人，书成一体；他们或素习科研，或娴于教学，但都参与实际工作，对农业系统工程的理论和实践，亲有体会。

希望丛书的出版，对我国农业系统工程的进一步开展，作出贡献。

中国系统工程学会理事长 许国志
中国科学院学部委员

一九八七年二月

编 者 的 话

人口、粮食、能源、资源、环境、生态等人类面临的这些重大问题，几乎都与农业有关。因此，对农业生态系统、农业经济系统、农业管理系统进行定性分析与定量分析，对社会科学与自然科学交叉渗透研究有重大的理论和现实意义。灰色系统理论与方法正在成为定性分析与定量分析的结合点、社会科学与自然科学一体化的催化剂。1982年以来，灰色系统理论与方法，在农业区划、农业规划、农村产业结构调整、农作物生物防治、气象预测、农业灌溉决策、农业经济分析、粮食和油料等产量的预报，作物栽培的优化组合、土壤肥力分析、病虫害预报、农业发展模型的建立等方面取得了效果。本书就是这些效果的基本总结。

按灰色系统理论与方法的体系，全书的基本内容分为五章。第一章和第二章的第二节、第三章的第一第三节、第五章的第二节，由邓聚龙撰写；第二章的第三第四节和第五章的第一节，由徐绍众撰写；第三章的第二节、第四章的四至六节和第五章的第四节，由殷伯明撰写；第三章的第四节由陈绵云撰写；第四章的第一至三节、第五章的第三节由蒙万融撰写。

由于时间仓促，知识有限，不当之处，敬请指正。

1987年5月

目 录

第一章	灰色系统的基本概念	1
第一节	灰色系统、灰元、灰数、灰关系	1
第二节	灰色系统与农业生态系统	4
第三节	灰色系统与农业经济系统	9
第四节	灰色系统与农业管理系统	26
第二章	灰色系统的因素分析	39
第一节	农业系统的因素概述	39
第二节	关联分析的基本思想与关联公理	42
第三节	数据的预处理与关联分析方法	47
第四节	农业系统的关联分析示例	65
第三章	灰色建模	75
第一节	灰色模型种种	75
第二节	灰色微分方程	79
第三节	灰色关联动态模型	91
第四节	灰色预测模型	99
第四章	灰色预测	112
第一节	灰色数列预测	112
第二节	灰色灾变预测	121
第三节	灰色季节灾变预测	126
第四节	灰色拓扑预测	131
第五节	灰色系统预测	138

第六节 灰色预测在农业系统中的应用146

第五章 灰色决策179

第一节 灰色局势决策179

第二节 灰色层次决策194

第三节 灰色线性规划202

第四节 灰色决策在农业结构调整中的应用212

参考文献243

第一章 灰色系统的基本概念

第一节 灰色系统、灰元、灰数、 灰关系

在灰色系统理论中，白指信息完全，黑指信息缺乏，灰指信息不完全。

将灰的含义作引伸和联想，还可得到其他一些含义。比如灰是信息不完全，其内容就是不定，“不定”在感觉上是朦胧。“朦胧”在认识上是非唯一，其内容就是部分，“部分”在变化过程中就是局部动态；“朦胧”在视觉上是若明若暗，“若明若暗”在事物发展中是新旧交替。再从“非唯一”进行联想。“非唯一”在行动上见机行事，“见机行事”的方式是灵活，“灵活”在处理问题的态度上是有回旋余地，“有回旋余地”在计划工作中是可调性，“可调性”在效果上是可塑性；“非唯一”在决策上是多目标，在数量上是范围，“范围”在处理上是可挑选，“可挑选”在方向上是可优化；“非唯一”在鉴别上是宽容。

在灰的多种含义中，最重要的是非唯一、范围、集合、多目标，即

——→多目标
非唯一 ——→范 围
——→集 台

从灰的含义出发，人们不难发现在农业、经济、社会等各个方面都存在灰的现象。比如，农业生产与天时、地利、人和有关，可是什么是最优的天时，什么是恰当的地利，什么是合适的人和，不一定是清晰的、唯一的、单目标的，往往是灰的。青海高原的红土壤与四川盆地的红土壤成分相同，可是在两个不同地区作物产量不同，这就是灰的。农业的施肥技术对提高作物产量很重要，可是合适的施肥量是多少，很难说清楚，更不是唯一的，这便是灰的。在经济领域中，物价现象是很难完全清晰的，这也是灰的现象。

一、灰数

一个信息不完全的数，称为灰数。某人有多少存款，对本人来说是白数，是具体的、唯一的数。可是人们并不习惯将自己的存款数确切地告诉他人，别人只能从他的收入与支出的分析中得到一个数字，比如说“1万元左右”，或“1万元以上”，“1万元左右”或“1万元以上”便是灰数，记为 $\otimes(N)$ 。在农业上，季节也是灰数。以种麦的季节为例，在北京地区是“白露早、寒露迟，秋分种麦正当时”；在华北平原是“秋分早，霜降迟，寒露种麦正当时”；在华中地区是“寒露到霜降，日夜种麦忙”；在安徽、浙江一带是“寒露蚕豆霜降麦”；在四川一带是“立冬种麦正合适”；在广东、广西是“小雪种麦也不迟”；在甘肃、宁夏是“白露前后种麦忙”。以上表明，我国各地区种麦的适宜季节都不同；即使在同一地区，适合种麦的时间分布也是分散的。以1987年为例，白露是9月8日，寒露是10月9日，秋分是9月23日。那么北京地区种麦的合适时区是以9月23日为中心，最早不早于9月8日，最迟不迟于10月9日，这表明种麦日期是灰数。

二、灰元

信息不完全的元素，称为灰的元素，简称灰元。作物在整个生态系统中是一个元素，它具有将太阳能转化为生物能的功能，有吸收和转化能量的机制。然而，作物作为生态系统中的一个元素，无论从结构、机制，还是从功能方面看，都是不完全清晰的，这就是灰元。此外，如天气、水利条件、土壤等对作物生长来说，也是灰元。

三、灰关系

信息不完全的关系，称为灰关系。当今世界人类面临着人口、粮食、能源、资源、经济、环境、生态等多方面的问题，人们要想在地球上获得一个较舒适的生存空间，就得处理好人与自然，经济与资源，环境与人口、粮食等关系。然而，这些关系都是不确定的、不清晰的、非唯一的关系，是灰关系。

四、灰系统

信息不完全的系统便是灰系统。灰系统中往往包含灰数、灰元、灰关系。人体就是一个信息不完全的系统，即灰系统。人体的身高、体重、脉搏、血压等是已知信息，但有更多的信息是未知的。医生根据可能获得的信息对人体进行诊断，对疾病进行治疗，就是一种灰系统的处置。

如果认为系统的基本特征，是多个相互依存、相互制约的部分、元素、部门，按照一定的序关系的组合，且具有一种或多种功能的有机整体，那么农业系统便是由生物与生物、生物与环境在物质循环和能量变换过程中所建立的互相依存、互相制约的一个多层次、多序列、多结构的、具有生产功能的有机整体。但是，农业系统中物质循环和能量变换的信息都是不完全的，因此，农业系统是灰色系统。

第二节 灰色系统与农业生态系统

农业生态系统，从简单的食物链来观察，一般可分为绿色植物、食草动物、食肉动物和微生物四个层次。绿色植物通过光合作用，将自然界的光能和热能转化为植物性的化学能，这是第一个层次，是具有第一次生产性质的层次。食草动物以植物为饲料，将植物中贮藏的物质和能量转变为脂肪、蛋白质及其他碳水化合物，是第二个层次，是第一次消费性质的层次。食肉动物以食草动物为食料，将动物性化学能转化为另一种性质的动物性化学能，是第三个层次，是第二次消费性质的层次。动植物死亡后的尸体和茎叶或动物生存期的粪便为微生物所分解，归还于自然界，这是第四个层次（图 1-1）。

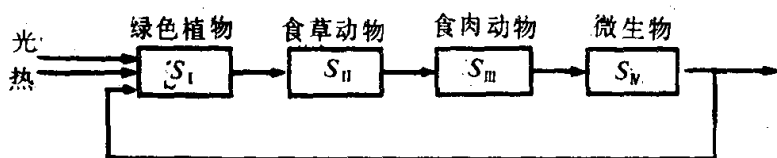


图1-1 食物链四个层次的因果关系

在数量关系上，若用 N_I 表示绿色植物总量，则 N_I 中包含农产品 $N_I^{(1)}$ 、食草动物饲料 $N_I^{(2)}$ 和其他 $N_I^{(3)}$ ，即

$$N_I = \{N_I^{(1)}, N_I^{(2)}, N_I^{(3)}\}$$

$$N_I = N_I^{(1)} + N_I^{(2)} + N_I^{(3)}$$

用 N_I 表示食草动物总量，则 N_I 中包含畜产品 $N_I^{(1)}$ 、食肉动物食料 $N_I^{(2)}$ 、其他 $N_I^{(3)}$ ，即

$$N_I = \{N_I^{(1)}, N_I^{(2)}, N_I^{(3)}\}$$

$$N_I = N_I^{(1)} + N_I^{(2)} + N_I^{(3)}$$

用 N_I 表示食肉动物总量, 则 N_I 中包含畜产品 $N_I^{(1)}$ 、微生物的投饵 $N_I^{(2)}$ 、其他 $N_I^{(3)}$, 即

$$N_I = \{N_I^{(1)}, N_I^{(2)}, N_I^{(3)}\}$$

$$N_I = N_I^{(1)} + N_I^{(2)} + N_I^{(3)}$$

用 N_W 表示微生物总量, N_W 中包括菌产品 $N_W^{(1)}$ 、微生物分解还原成分 $N_W^{(2)}$ 、其他 $N_W^{(3)}$, 有

$$N_W = \{N_W^{(1)}, N_W^{(2)}, N_W^{(3)}\}$$

$$N_W = N_W^{(1)} + N_W^{(2)} + N_W^{(3)}$$

在上述各种量中, $N_i^{(2)} (i = I, II, III, IV)$ 是不同层次关联量, 比如 N_I 与 $N_I^{(2)}$ 有关, 即 N_i 与 $N_{i-1}^{(2)}$ 有关。然而这种关系一般是灰的, 如食草动物总量 N_I 与绿色植物中饲料分量 $N_I^{(2)}$ 有关, 而且这关系因时、因地、因人而异。因此, 记灰的数量关系为 $\otimes_1$, 便有

$$N_I = \otimes_1 N_I^{(2)}$$

$\otimes_1$ (读为灰 I) 是一个灰数。相类似地有

$$N_i = \otimes_{i-1} N_{i-1}^{(2)}$$

$$i = II, III, IV$$

$$N_I = \otimes_W N_W^{(2)}$$

综合上述关系, 可得层次结构关系如下:

$$\begin{aligned} N_I^{(1)} &= N_I - N_I^{(2)} - N_I^{(3)} \\ &= \otimes_W N_W^{(2)} - N_I^{(2)} - N_I^{(3)} \\ &= \otimes_W (N_W - N_W^{(1)} - N_W^{(3)}) - N_I^{(2)} - N_I^{(3)} \\ &= \otimes_W (\otimes_{II} N_{II}^{(2)} - N_W^{(1)} - N_W^{(3)}) - N_I^{(2)} - N_I^{(3)} \\ &= \otimes_W (\otimes_{II} (\otimes_I (N_I - N_I^{(1)} - N_I^{(3)}) - N_W^{(1)} - N_W^{(3)}) \\ &\quad - N_I^{(2)} - N_I^{(3)}) \\ &= \otimes_W (\otimes_{II} (\otimes_I N_I^{(2)} - N_I^{(1)} - N_I^{(3)}) - N_W^{(1)} - N_W^{(3)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -N_I^{(2)} - N_I^{(3)} \\
& = \otimes_N (\otimes_H (\otimes_I (N_I - N_I^{(1)} - N_I^{(3)}) - N_I^{(1)} \\
& \quad - N_I^{(3)}) - N_H^{(1)} - N_H^{(3)}) - N_I^{(2)} - N_I^{(3)} \\
& = \otimes_N (\otimes_H (\otimes_I (\otimes_I N_I^{(2)} - N_I^{(1)} - N_I^{(3)}) - N_I^{(1)} \\
& \quad - N_I^{(3)}) - N_H^{(1)} - N_H^{(3)}) - N_I^{(2)} - N_I^{(3)}
\end{aligned}$$

上述层次关系表明：①农业生态系统中，层次间的关系系数 $\otimes_I$ 、 $\otimes_I$ 、 $\otimes_H$ 、 $\otimes_N$ 均为灰数；②农业生态系统每个子系统 S_I 、 S_I 、 S_I 、 S_N 是整个系统的灰元；③农业生态系统的层次关系、数量组合关系、相互作用关系，均为灰关系；④由于农业生态系统原始数据不全、不准，其量化分析不便于采用一般方法，可以用灰色系统的半定量方法、灰区间方法等处理；⑤由于农业生态系统原始数据离乱，不容易理顺关系，可用灰色系统的生成方法对数据作预处理，使其呈现初步规律，以削弱离乱性；⑥农业生态系统因素与因素间、各因素与整体行为特征间的影响是隐含的，可采用灰色关联分析方法进行分析，使隐含规律得到显化；⑦农业生态系统与各子系统的发展态势，是人类生存环境研究的重要内容，但由于数据难以收集，数据配套性差，因此把灰色预测模型用作农业生态系统发展态势的预测；⑧食物链的发展、平衡和稳定受气候、病虫害影响大，灰色灾变预测与灰色季节灾变预测，可望用来进行地域大范围、时间大跨度的预测；⑨建立一个人与自然、自然与农业、农业的这一层次与另一层次间协调发展的人工状态，会涉及到因素的量化和量化因素的建模，灰色系统的GM(1,N)模型，可望能够发挥作用。

当生物的生长可分发展期、高峰期、衰老期时，生物生长序列是单峰型的，记序列为 x ，则