

●数字畜牧业理论与实践研究丛书

猪精细养殖 综合技术平台

A Comprehensive Technical Platform for Precision Feeding of Swine

熊本海 王学勤 卢德勋 编著



中国农业科学技术出版社

数字畜牧业理论与实践研究丛书

ISBN 7-80108-218-2

猪精细养殖综合技术平台

A Comprehensive Technical Platform for Precision Feeding of Swine

熊本海 王学勤 卢德勋 编著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

猪精细养殖综合技术平台/熊本海等编著, —北京:
中国农业科学技术出版社, 2006. 1
ISBN 7-80167-841-9

I. 猪 ... II. 熊 ... III. 养猪学 IV. S828

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 101650 号

责任编辑

地 址

出版发行

经 销

印 刷

开 本

印 数

版 次

定 价

鱼汲胜

北京中关村南大街 12 号

中国农业科学技术出版社 邮编: 100081

电话: (010)62145303; 传真: 62189014

新华书店北京发行所

北京富泰印刷有限责任公司

787mm × 1092mm 1/16 印张: 25.5

1 ~ 2700 册 字数: 550 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

48.00 元

主 编：熊本海

副主编：王学勤 卢德勋 林兆辉

主要编著人员：

吕健强 罗清尧 庞之洪(女)

熊 恺 杨 亮 孙献忠

黄 缨(女) 陈 波 潘佳一

编写单位：

中国农业科学院畜牧研究所

前言

种猪生产是整个家养动物生产中最为复杂的生物系统之一,其一生周而复始肩负着从发情、配种、妊娠、分娩,到产仔、哺乳、断奶及调整的周期性生产,不断繁育后代,也提供商品猪。对于规模化的种猪场,种猪的生产基本按照其繁殖的生理过程,如同制造业的工厂生产产品一样,从猪舍的设计上满足不同生理阶段的种猪对环境、饲养密度、饲料供给和防疫的要求,实现了所谓的工厂化养猪,进而为实现种猪场的数字化管理,如数字化过程管理、数字化繁育、数字化营养和数字化防疫等提供了可能,为养猪企业优化生产过程,减少饲料、兽药的投入,提高养猪企业效益,维护养猪业的可持续发展提供了巨大的发展空间。为此,国际上围绕着规模化猪场,尤其是种猪场的全过程的信息化管理进行了长期不懈的研究,并在生产应用中积累了丰富的经验,同时也在高新技术产品进入市场应用上取得了巨大的成功。例如,从20世纪70年代以来,新西兰猪肉生产局就组织开发商业性的猪场生产管理计算机系统,并成立了FarmPro系统有限公司,专门开发养殖企业的计算机软件,并以开发的PigWin系统而影响世界的养猪业。在开发的PigWin系统中,将信息技术充分与生产过程和领域知识结合起来,形成了一系列养猪领域的计算机构件,为提高本行业内信息技术的应用水平发挥了引导性作用。

毋庸置疑,PigWin所涉及的技术是比较成熟的,在我国养猪企业内占有一定的市场份额。但是,综观我国养猪企业的发展,我国养猪企业的管理模式、从业人员的素质、硬件条件,以及企业文化等因素,导致PigWin在实际应用中也存在一些与中国养猪业发展不相适应的地方。因此,全面利用以数字化技术为依托的信息技术,开发具有我国自主知识产权的养猪生产综合技术信息平台成为数字畜牧业的重要组成部分。本书结合国家“十五”“863”计划——数字农业重大研究课题“数字农业精细养殖技术平台研究与示范(2003AA209050)”的主要研究成果——“种猪场(含商品猪)精细养殖综合技术平台”而编写的。编写的思路是:从实现种猪的精细饲养为出发点,以实现工厂化养猪场生产管理全面数字化为目标,就种猪场(含商品猪)生产所涉及的对象和全过程进行数字化和可视化的表达、设计、监控和管理,以现代信息技术为手段,通过信息技术集成猪场信息采集、信息处理和信息应用,使现代信息技术与种猪场猪的繁殖、育种、饲料与营养、疾病监控等有效融合,服务于种猪精细养殖的综合技术平台的构建。全书分4章,每章主要内容梗概如下:

第一章为“动物营养模型与饲料配方理论基础”,首先阐述了模型化技术在数字畜牧业中的重要性,动物营养学研究应用模型化技术的必要性,经验模型和机理模型的定义与区别,并分析了几个典型的、应用在动物营养学上的机理模型;其次,系统总结了利用饲料中常规化学成分预测猪饲料的总能、总能消化率、生长猪对饲料氮的消化率等数学方程,还列出了猪饲料中,生长猪的能值与母猪的能值(消化能或代谢能)

的比值,利用提供的预测方程和比值,对于估测因常规成分的变化导致猪饲料能值、氮消化率的变化具有重要的参考价值,进而可以提高设计配方的科学性;第三,系统介绍了配方设计所涉及的基本概念、线性规划和目标规划两种优化模型与方法,以及利用两种优化方法计算配方的特点、派生出的有关经济学的技术指标,如影子价格、灵敏度区间分析等,并给出实际应用例子,可加强对数学规划理论的深入理解。

第二章为“猪营养需要量与饲料成分表”,主要收录了美国国家研究委员会(NRC)1998年发布的第十版《猪营养需要量》,Feedstuffs Reference Issue 2004推荐的猪日粮营养需要量,中华人民共和国农业部2004年发布的《猪饲养标准》(NY/T 65-2004)等,其次收录了“中国饲料数据库”发布的《中国猪用饲料成分及营养价值表》和法国农业科学院(INRA)、法国动物生产协会(AFZ)等发布的《饲料成分及营养价值表》等。这些数据的整合,是进行猪个体精细饲养的数据基础。

第三章为“猪场(包括种猪与商品猪)生产管理数字化规范”。本部分主要针对猪场生产过程数字化管理的要求,重点就繁殖母猪生产、猪群周转和商品猪生产等方面,提出了“繁殖母猪生产数字化技术规范”、“猪群存栏记录数字化技术规程”、“连续流动变化猪群(Continuous Flow, C/F)-时段比较报告数据元定义与获取”和“繁殖猪群性能术语定义与数据元描述规范”等。

第四章为“猪场(含种猪与商品猪生产)精细养殖综合技术平台开发”。主要从“数据维护”、“生产管理”、“繁殖与育种”、“饲料与营养”、“疾病与防疫”、“销售管理”、“系统管理”及“安装与运行”等方面系统介绍了猪场精细养殖综合技术平台的功能实现情况,实质上本部分就是开发的平台具体操作指南。

在开发猪场精细养殖技术平台过程中,作者及参与的研究人员感觉到,平台的开发与集成是一项复杂的系统工程,需要领域专家与软件设计人员的密切配合,需要在系统设计前进行缜密的系统分析,将猪场生产管理的各个过程和生产要素进行数字化,并通过构建相应的数据表来实现,在各个数据表之间要建立清楚的视图关系,防止描述字段的冗余与遗漏。只有在建立完整的数据库(表)结构体系后,才能在此基础上实现相应的数据录入、管理及分析统计功能模块和构件的开发。在平台开发过程中,进一步积累了经验,并已经启动了构件软件设计,为该平台的逐步完善和全部升级为B/S结构的精细养殖技术平台打下了坚实的基础。

由于作者水平有限,编写中可能存在不少问题,欢迎读者提出宝贵意见和建议,请致函 Bhxiong@iascaas.net.cn。

作者

2005年9月

目 录

第一章 动物营养模型与饲料配方理论基础.....	1
第一节 动物模型与猪动物营养模型化研究进展.....	1
一、前言.....	1
二、猪营养的数学模型化.....	9
三、猪的采食量预测.....	14
四、生长猪日增重预测.....	15
第二节 通过常规成分预测猪饲料总能、总能消化率和粗蛋白消化率的 方程.....	18
一、介绍.....	18
二、用于猪饲料的总能、总能消化率和含氮物质消化率预测方程	19
第三节 饲料配方数字化设计理论与实践.....	31
一、前言.....	31
二、饲料配方系统的基础模型.....	33
三、线性规划模型与最低成本配方.....	36
四、影子价格及配方结果的灵敏度分析.....	44
五、饲料配方的目标规划模型.....	49
第二章 猪营养需要量与饲料成分表.....	56
第一节 NRC 第十版猪的营养需要量表.....	56
第二节 Feedstuff 推荐的猪日粮营养供给量.....	81
第三节 中国猪用饲养标准 (NY/T 65-2004)	90
一、瘦肉型猪可消化氨基酸需要量.....	90
二、肉脂型及地方品种猪可消化氨基酸需要量.....	95
第四节 中国猪用饲料成分及营养价值表.....	103
一、中国猪用饲料成分及营养价值表制订说明.....	103

二、中国猪用饲料成分及营养价值表.....	104
第五节 INRA 饲料成分表.....	128
第三章 猪场(包括种猪与商品猪)生产管理数字化规范.....	171
第一节 繁殖母猪生产数字化技术规范.....	171
一、内容与适用范围.....	171
二、母猪生产力报告.....	172
三、总的繁殖猪群天数分析.....	176
四、平均间隔天数/ 繁殖母猪 / 年度分析.....	178
第二节 猪群存栏记录数字化技术规程.....	187
一、概论.....	187
二、繁育猪群存栏.....	187
三、到达、入群和离群.....	189
四、种群动态.....	191
五、状况不明的猪只.....	193
第三节 连续流动变化猪群时段比较报告参数列表及其定义.....	194
一、猪群结构部分.....	194
二、猪只生长性能部分参数的定义与计算.....	198
三、饲料使用部分.....	202
四、成本与回报部分.....	203
第四节 繁殖猪群性能术语定义与数据元描述规范.....	207
一、交配部分.....	207
二、分娩部分.....	210
三、断奶部分.....	211
四、繁殖周期部分.....	217
五、猪群周转部分.....	222

第四章 猪场(含种猪与商品猪生产)精细养殖综合技术平台开发.....	227
第一节 平台介绍.....	227
一、数据维护.....	227
二、生产管理.....	228
三、繁殖育种.....	228
四、饲料与营养.....	229
五、疾病与防疫.....	229
六、销售管理.....	230
七、系统管理.....	230
八、场内情况.....	231
九、猪只记录.....	232
十、母猪状态.....	232
十一、报表分析.....	233
十二、图表分析.....	233
第二节 系统操作说明.....	235
一、数据维护.....	235
二、生产管理.....	258
三、繁殖育种.....	294
四、饲料与营养.....	304
五、疾病与防疫.....	352
六、销售管理.....	382
七、系统管理.....	389
八、安装与运行.....	397

第一章 动物营养模型与饲料配方理论基础

第一节 动物模型与猪动物营养模型化研究进展

一、前言

模型化技术是研究复杂系统的有力工具,是各门科学尤其是系统科学广泛使用的技术。应用模型化技术的水平成为各门科学发展水平的标志。它不仅是对该门科学过去的科研成果的总结和现有理论知识的整合,而且还是该门科学通向未来的起点。概括起来,模型化技术有以下优势:

第一,正确的模型可以使复杂系统和复杂问题的处理大为简化,且又能保证不会发生大的偏差。

第二,用模型化技术研究复杂系统,可以先研究其理想模型,然后再对模型的研究结果不断加以种种修正,使之逐步与实际情况完全相符为止。

第三,应用模型化技术可对现有理论知识进行整合,获得科学结论。

第四,模型化技术的运用,能使人们更好地发挥思维的力量,揭示新的研究方向,形成新的科学预见。

(一) 模型在数字畜牧业中的地位

在数字农业中,各种过程的数字化就是通常所说的模型。

动物生产因素的数字化本身并不能说明动物生产的过程。将各种动物生产过程的内在规律与外在关系用数学模型表达出来,这就是动物数学模型(简称动物模型)的任务。

动物模型由于将动物生产过程数字化,它使动物营养科学从经验的水平提高到理论的水平。它可以进行许多传统的动物饲养试验所无法进行的研究;它可以大大节省动物科学研究的经费与时间;它可以使动物科学研究的成果在更大的地理范围、更长的时间范围内推广应用。

如果说 19 世纪与 20 世纪之交,生物统计是农业科学在方法论上的一个突破。那么,20 世纪与 21 世纪之交,农业模型则是农业科学在方法论上的又一个突破,而动物模型是农业模型中的组成部分。

要实现动物生产数字化,如果不以动物模型为基础,就只能停留在动物生产问题的表面,而不能深入各种动物内在养分的代谢过程,就不可能对动物生产做出各种优化决策。因此,动物模型可以认为是“数字畜牧业”的科学基础与核心技术。

事实上,各种畜牧业信息技术都需要以动物模型为基础。

(二) 在动物营养学研究中应用模型化技术的必要性

随着在动物营养领域研究成果不断积累,对动物营养物质代谢和利用知识的整合

越来越显得更加重要了。模型化技术为解决这一难题提供了强有力的技术手段。这一技术可以使我们对动物体内各种营养物质的代谢和它们相互作用进行定量描述。除此以外，在动物营养学研究中应用模型化技术还有如下好处：

- 发现现有动物营养学理论知识在量化方面的缺陷或不足；
- 可以在建模后，通过试验不断对模型的立论和各个方面进行改进；
- 模型化技术不仅用于描述目的，而且还可以用于营养预测和决策，减少进行必要的动物试验次数，降解研究成本。

马克思曾经指出：“一门科学，只有在其中能成功地运用了数学，才算达到了完善的地步”。营养模型化的发展必将推动动物营养学最终实现由描述科学向控制科学的历史转变，也为计算机技术在动物营养学领域的应用开辟了一个新时代。

（三）数学在动物营养学领域应用的历史回顾

与其他生物科学的分支学科相比，数学在传统营养学中间的应用是微乎其微。在相当长时间内主要集中在进行数据分析和数理统计方面。数理统计方法过去曾经成功地应用于动物营养研究领域，对动物营养学发展作出了巨大贡献。今后，它一定会继续发挥其应该发挥的重要作用。但是我们必须看到，数理统计方法特别适用于研究大量事件的活动规律，对去除随机因素和揭示在个体差异下的规律等方面是很有效的，但其局限性也是明显的。在研究个体的特点，动态过程分析，以及探讨机体内部各部分之间的联系时就不太合适。数理统计方法可以从相关的角度去分析联系，但在观察数据较少时，从相关去推论因果关系，就可能会产生严重的错误。在传统动物营养学发展过程中，也曾提出过一些简单的数学模型。这些数学模型都属于经验性模型、静态模型，并以黑箱模型为主要特点。所以如此，这是和动物营养学科整体发展水平相适应的。面对大量由黑箱方法获得的数据以及残缺不全的机体内部生理生化过程的研究资料，过去在相当长的时间内，传统动物营养学根本不具备应用现代数学模型化技术的现实可能。直到 20 世纪 80 年代左右，动物营养学发展取得了许多突破性进展，动物消化生理、瘤胃微生物代谢、动物整体和各组织内营养物质代谢、代谢调节等方面研究成果可以说是硕果累累。在这个历史转折关头，一些科学家，比如英国的 J. France、美国的 R.L. Baldwin 等率先倡导在动物营养领域大力开展数学模型化技术的研究。在 1979 年，他们趁第 5 届国际反刍动物消化生理和代谢学术研讨会和第 8 届国际能量代谢研讨会召开的机会，在英格兰 Hurley 召集一部分正在致力于数学模型化技术方面研究的同行开了第一次工作会议。当时在动物营养学领域应用数学模型化技术刚刚开始不久。在这次工作会议上，只讨论了数学模型一些具有共性的，包括原理和方法方面的问题。实际上这次会议只是在动物营养领域搞数学模型化技术的科学家一次历史性的碰头会，并不是什么正式的学术研讨会。这次会议甚至连会议的论文集也没有。Baldwin(2000)用这样一句幽默的话对这次会议作了评价：“谁愿记录小孩子

的谈话呢？但是，我们学到了许多东西”。在这次历史性聚会召开 5 年之后，1984 年在美国加利福尼亚州 Davis 市正式召开了第二次数学模型化技术应用学术研讨会，正式出版了会议论文集(Baldwin 和 Bywater,1984)。以后每 5 年举办一次这样的学术研讨会，到目前为止，已举办了五届，一届比一届水平高，大大推动了在世界范围内模型化技术在动物营养学领域中的应用。在此期间，一些重要学术著作相继问世，其中值得一提有：

France. J 和 J.H.M Thornley(1984): 数学模型在农业中应用(Butterworths 出版)

Forbes. J.M 和 J. France(1993):反刍动物消化和代谢的计量研究(CABI Publishing 出版)

Baldwin R.L(1995)反刍动物消化和代谢的数学模型化(Chapman & Hall 出版)

McNamare J.P; J. France 和 D. Beever(2000)家畜营养物质利用的模型化(CABI Publishing 出版)

Danfaer A.(1990):泌乳乳牛营养物质消化代谢动态模型(丹麦全国畜牧研究所 No.671 报告)

这些著作系统总结了近 20 年在动物营养领域应用数学模型化技术的成果，对推动这方面研究的深入发展起到了重要作用。

20 多年前，英国科学家 Whitemore(1979)曾对数学模型的应用前景有过一段精彩的预言。他指出“家畜营养科学在今后几年内将会从探索性研究的时代推进到一个模拟，建立模拟动物和计算机化的时代”(Whitemore 和 Elsley,1979)。与此同时，他还完成用数学模拟化技术设计的“模拟猪”的新概念和新技术。20 多年前 Whitemore 的科学预见已为今天动物营养领域数学模拟技术的蓬勃发展的现实所完全证实，并还将被 21 世纪在这方面更多的研究成果继续证实。

到目前为止，在动物营养领域数学模型化技术的应用还主要集中在传统动物营养学两大基本课题——动物营养需要和饲料营养价值评定上。这点在反刍动物营养中表现得相当突出。传统动物营养学用于描述动物营养需要的数学模型是静态的、经验的模型。随着数学模型化技术研究的开展，更多的动态的机理型的模型相继提出。这些新的数学模型将时间因素作为一个自变量包括进展，使用状态变量和速率变量来描述动物体内营养物质代谢的动态变化。使用这些动物模型不仅有助于克服现有的饲养标准的根本缺陷，而且还使预测动物生产性能变为现实。其次，破机体黑箱的数学模型的应用也为描述动物营养需要的数学模型由经验模型向经验模型与机理模型相结合的方向发展开辟了道路。早在 1992 年初，中国学者卢德勋就曾抓住了这一发展趋势，提出中国羊营养需要量的研究要走模型化，在 1994 年，他提出动物营养模型化研究要与计算机化的道路结合起来，才能提高建模与检验模型的效率。后来美国 NRC(1996)的肉牛标准和 NRC(2001)乳牛标准还有 NRC(1998)猪的饲养标准的颁布突出地反映了这一发展趋势。另外，在使用数学模型化技术在动物营养理论研究方面目前则主要集

中对营养物质的消化、代谢的研究方面。

今后,在动物营养领域中应用数学模型化技术一方面是由于研究目的;另一方面则用于实用目的。1999年在南非 Cape 镇召开的第五届数学模型化技术应用学术讨论会上发表的大量论文清楚地表明数学模型化技术将不仅会不断丰富现有的动物营养的研究技术,而且在发展现代动物营养应用技术方面也会发挥重要的作用(McNamara,2000)。卢德勋(2003)提出的系统动物营养学的应用技术相当大一部分内容都涉及数学模型化技术。其次,引入计算机技术是动物营养学数学化的一个重要方面。计算机技术的广泛应用必将使数学模型化技术提高到一个新的现代化水平。

应该看到,数学模型化技术在动物营养学中应用目前正处于一个方兴未艾的发展时期。目前数学模型化的原理和方法已经相当成熟,但如何在动物营养学领域应用仍然有一段相当长的路途要走。其主要原因是由于数学模型化技术在动物营养学中的应用要受到动物营养学本身发展水平的制约。它们两者存在一种相互促进的发展机制。我们一方面要利用数学模型化技术的原理和方法,对已有的动物营养学的理论和方法加以改造,对已获得的大量理论知识进行整合;另一方面还要利用数学模型化技术优势,不断开辟新的研究领域,充分发展动物营养学和数学模型化技术之间的互动机制,加速动物营养学的现代化进程。

(四) 数学模型分类及建模方法

1. 数学模型分类

在讨论数学模型时,首先我们必须了解动物系统的层次结构。动物系统的一种典型的层次结构划分如表 1-1-1 所示。表 1-1-1 中,任何一个层次,我们都可以把它看作是一个系统,该系统以下的层次可以看作是它的子系统。这一层次结构具有以下特征:

第一,每一个层次都有自己独特的概念和描述方法。比如在 $i+2$ 和 $i+3$ 层次可以用营养水平或日增重来描述该层次的状态或变化,但是对 $i-1$ 和 $i-2$ 层次,即细胞和细胞器层次,这两个指标对描述它们的状态和变化毫无意义。

第二,每一个层次都是由它以下层次形成的系统整体。比如,研究 $i-1$ 层次就可以提供的 i 层次的状态或变化的机制。

第三,要想成功地调控某一层次的状态和变化,就必须使它以下层次的功能优化才有可能。比如,要想对反刍动物($i+2$ 层次)进行营养调控就必须首先要对其瘤胃($i+1$)发酵进行科学调控。

表 1-1-1 动物系统的层次结构

层 次	层次结构说明
i+3	动物群体
i+2	动物个体
i+1	器官
i	组织
i-1	细胞
i-2	细胞器
i-3	大分子

通常我们将动物营养研究中应用的数学模型分为两类:

(1) 经验模型 **empirical model**

经验模型是在动物个体层次上建立起来的一种静态模型。这种模型是通过黑箱法获得的动物试验数据,依靠数理统计方法来建立起来的模型。通常采用曲线拟合的办法来建模。比如,对青年牛的随意采食量模型化,通常就是采取直线回归的方法,建立如下数学模型:

$$I = a_0 + a_1 w + a_2 dw/dt + a_3 D \quad (1-1-1)$$

式中, I 是随意采食量; w 是体重; D 是日粮消化率, t 是年龄; a_0 , a_1 , a_2 和 a_3 是参数。

这里,我们描述青年牛的采食量($i+2$ 层次)使用 $i+2$ 层次的一些指标比如体重、日增重和消化率等几个变量。这个模型是在大量试验基础上建立起来的。它被用于估测青年牛的随意采食量,而不是说明任何动物营养机理,对说明随意采食量机理毫无意义。同时,应用这一模型时,其饲养条件越接近于建模时的试验条件,这一模型越有用。可见,这种模型的应用也受到了较大的限制。

(2) 机理模型 **mechanical model**

机理模型是一种灰箱模型,是对所研究的系统的结构进行深入研究后建立起来的。在建模时,要深入研究组成该系统的不同层次的要素的动态变化以及不同要素之间的相互作用。比如,研究生长动物的采食量和营养物质利用率时,把它分成五种要素,即两个机体代谢库(蛋白质代谢库和脂肪代谢库)、两个血浆代谢库(氨基酸代谢库和含碳物质代谢产物代谢库)和消化库(瘤胃容积)进行研究,同时还要研究蛋白质周转、脂肪周转、氨基酸生糖作用和营养物质吸收。这些研究集中在 i 层次,尽可能多涉及 $i-1$ 层次的一些过程。机理模型采用分析综合的方法,大量使用了生物化学和生理学研究成果和技术。

机理模型提供的是一种动态的微分数学模型,使用速率和状态变量来描述所研究系统的动态变化。在建模时,设定 t 时间 q 要素或状态的变量为: $x_1, x_2, \dots, x_q$, 这些变量代表所研究系统各种要素,比如内脏蛋白质总量,底物数量等等。以下一级微分方程式可用来描述所研究系统中这些状态变量是如何随时间而变化着的:

$$dx_i/dt=f_i(x_1,x_2,\dots,x_q;s) \quad i=1,2,\dots,q$$

式中, S 是一组参数; f_i 表示状态变量 x_i 的速率变化。

如果所研究的系统处于稳定状态,可通过将各微分项设为 0 来求出该方程式的解。我们可以采用同位素示踪手段来进行诸如此类的研究。

机理模型要比经验模型有助于揭开一些营养过程的机理,要比经验模型使用外推法求得的结果更具有生物学意义。

因为动物营养系统是一个灰箱系统,所以使用机理模型与经验模型相结合,以机理模型为主的方法将是动物营养研究模型化主要的技术发展方向。

2. 机理模型与经验模型比较

一般说来,经验模型往往是回归模型,最常用的方法,是采用正交多项式模型,对研究的实验(试验)观察数据,进行回归分析,由此确定回归方程中的参数项,即所谓的回归系数,并对回归曲线进行相关性检验,分析选用的曲线拟合现实数据的优劣。一般情况下,只要不限定正交多项式模型中的幂次数,总能找到一条比例理想的曲线,能基本经过实际发生的状态点。如果选用回归模型的形式是固定的,如直线方程、指数方程、对数方程或二次方程等,则回归的效果与选用的模型有直接关系。

此外,作为回归模型中估计的参数,通常情况下,没有生物学含义。这是因为,对于同一位置参数,当对相同的动物,采用不同的观察数据进行参数估计时,它可能出现正值或负值,没有规律性,与动物本身的特性特征没有对应关系。

对于机理模型,是在人类长期探究某事物的发展与变化规律过程中,结合经验模型的构建并逐步发现某些生物过程基本遵循一定的变化规律,而且这样的规律符合一定形式的数学模型。最典型的例子有:

一是英国的 Ørskov 和 McDonald (1979)两人合作提出的,估测饲料干物质(DM)或粗蛋白质(CP)在瘤胃的动态降解的机理模型:

$$D = A + B(1 - e^{-kd \cdot t}) \quad (1-1-2)$$

式中: $D=DM$ 或 CP 在时间点 t 上的消失率, A = 一开始冲洗可溶的部分(%), B = 不溶但潜在可消化的部分(%), 和 kd = 测定养分的降解速率(%/h)。模型中参数 A 、 B 和 Kd 可以通过 SAS 软件中的非线性过程(NLIN) 而获得估计值。

显然,上述模型中的参数 A 、 B 和 Kd 均具有对应的生物学含义,尤其是 Kd 参数刚好能反映测定养分在瘤胃中降解的快慢,而且对不同类型的饲料,其估测的数据具有规律性。这就是典型的机理模型。

另一个典型的机理模型则是著名龚珀兹(Gompertz)曲线模型。

此曲线模型是一种非线性增长曲线,这种曲线所呈现的趋势为初期增长速度较慢,随后增长速度逐步加快,达到一定程度后,增长量虽然还有,但增长速度却降低。这种规律的曲线可以用来较好描述某些具有补偿性生长特点动物的生产过程,即用作

为动物的生长曲线。孙文志(1995)利用了 Gompertz 函数的一种特殊形式, 构建了艾维因肉鸡的生产曲线(重量——时间)。即:

$$w = Ae^{-Be^{-ct}} \quad (1-1-3)$$

式中: w =观察的肉鸡体重(kg); t =肉鸡日龄。参数: A =遗传上决定的肉鸡理论上的最大体重; B =决定曲线拐点位置的参数, 即动物增长速度减低, 或者增长加速度为 0 或负值的情形; C 决定曲线的形状参数。

足见, 参数 A 、 B 和 C 也具有一定的含义, 通过比较模型的参数大小, 就能够研究动物的生产规律, 这就是机理模型参数与经验模型有本质区别的地方。

第三个著名的模型是罗吉斯梯(Logistic)曲线模型。

罗吉斯梯曲线是 1938 年比利时数学家 Verhulst 定的名称, 后经近代生物学家 Peare 和 Reed 扩大应用于人口的研究。所以现在又称此曲线为 Peare-Reed 曲线, 此曲线和龚珀兹曲线很相近, 也是初期变化平缓, 随后增长加速, 达到一定程度, 增长率逐渐减低, 终至平坦。

求罗吉斯梯曲线的公式是:

$$y = \frac{D}{1 + me^{-ax}} \quad (1-1-4)$$

将式(1-1-4)改写成

$$\frac{1}{y} = \frac{1 + me^{-ax}}{D}$$

即

$$\frac{D}{y} - 1 = me^{-ax}$$

两边取对数

$$\ln\left(\frac{D}{y} - 1\right) = \ln me^{-ax} = \ln m + \ln(e^{-ax})$$

令

$$Y = \ln\left(\frac{D}{y} - 1\right), A = \ln m, B = -a$$

则有

$$Y = A + Bx$$

在实际问题中, 因为 D 为给定的常数, y 为已知数, 从而可十分容易地求出 y , 也可容易地求出 A 和 B 的值。由公式

$$m = e^A, a = -B$$

求出 m 和 a 的值, 代回式(1-1-4), 即可确定所求罗吉斯梯曲线的模型, 并可用它对所研究的事物作出预测。该模型也可以用来描述动物的生长。

当然, 如果经验模型的参数与描述事物的特征有对应关系, 而且参数的取值具有规律性, 并能给出合理的解释, 经验模型就可升级为机理模型。实际上, 不少机理模型是从经验模型演变而来的。

3. 建模方法和步骤

建立数学模型的一般步骤如下：

① 明确目标。在建立模型之前，首先明确建模的目的，即希望通过数学模型解决动物营养中的什么问题。目前还不可能建立描述整个动物营养系统的动态的数学模型。一般只建立描述某一层中一个子系统的数学模型。即使对于同一子系统也常常有复杂程度不同的多种数学模型。这些数学模型只是实际过程的近似表达。为不同的目的可以着重不同的侧面，而忽略次要方面。另外，由于使用的数学工具和分析手段的限制，常常要将问题简化。一般开始时，常从简单的模型入手，然后逐步深入，使模型逐步更加能反映更多方面和实际过程更近似。

② 数据的收集和积累。建立数学模型需要有关动物营养系统定量与动态知识和数据。这些知识和数据可以从已知理论和动物营养取得的研究成果或者通过试验方法获得。如上所述，动物营养学中应用的数学模型有两类，即经验模型和机理性模型。我们可以根据不同的目的和可以获得的知识确定选用哪种模型；确立主要因素和主要变量。

③ 数据的分析处理。

④ 初步数学模型的构建。根据获得数据和动物营养学知识构成初步的数学模型。

⑤ 进行模拟。如果模型的结果与实际不符合，则应分析检查那些简化假定不合理，数据是否可靠，并对模型作修改，反复多次直到获得比较满意的结果为止。数学模型的建立是一个通过反复比较和修改的过程，而且应从简单入手，从反映局部系统和某一侧面开始，逐渐使模型能反映更多的方面。

数学模型的建立可以归纳为图 1-1-1 的框图。

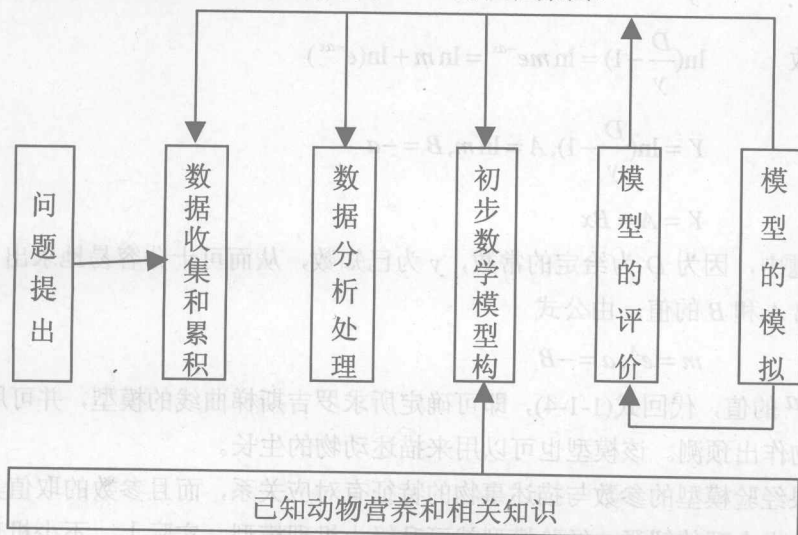


图 1-1-1 数学模型建立步骤的框图