



中央宣传部 新闻出版总署 农业部
推荐“三农”优秀图书

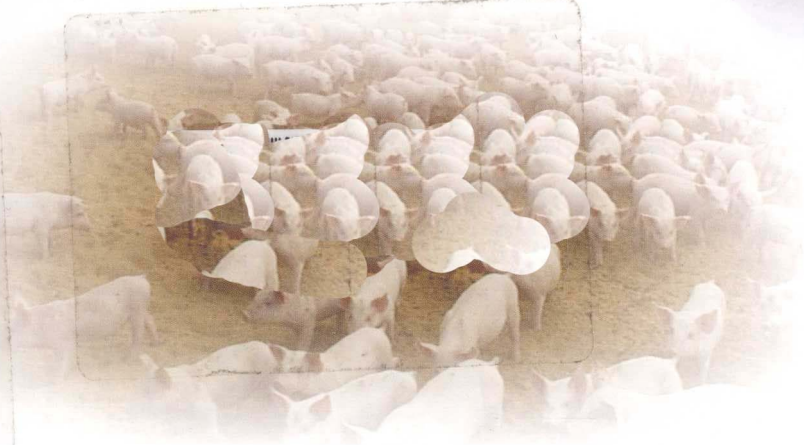
新编 21 世纪农民致富金钥匙丛书

仔猪

饲料配方设计高级技术



王继华 王绥华 吴秀存 董恩球 著



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

中央宣传部 新闻出版总署 农业部
推荐“三农”优秀图书

新编 21 世纪农民致富金钥匙丛书

仔猪饲料配方设计 高级技术

王继华 王绥华 吴秀存 董恩球 著

中国农业大学出版社
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

仔猪饲料配方设计高级技术/王继华等著. —北京: 中国农业大学出版社, 2012. 3

ISBN 978-7-5655-0450-1

I. ①仔… II. ①王…②王…③吴…④董… III. ①仔猪-饲料-配方 IV. ①S825.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 251936 号

书 名 仔猪饲料配方设计高级技术

作 者 王继华 王绥华 吴秀存 董恩球 著

策划编辑 张秀环

责任编辑 杨晓昱

封面设计 郑 川

责任校对 陈 莹 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 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

规 格 850×1 168 32 开本 12.5 印张 310 千字

印 数 1~4 000

定 价 25.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

内 容 提 要

仔猪饲料配方设计技术是目前饲料厂竞争的焦点和难点。为了促进我国养猪业和饲料业的发展,我们在总结前人研究成果的基础上,系统整理了自己的研究成果,全面探讨了仔猪饲料配方设计的技术原理,编写成书。主要内容包括猪的生长模型、仔猪消化生理的营养调控、仔猪饲养标准的使用方法、饲料配方设计的数学原理、用 Excel 设计饲料配方的详细方法、饲料配方设计的精度、迭代的目标规划原理、模糊规划原理、随机规划的原理和 Excel 程序、多配方规划的数学原理和饲养实验设计与实验结果的分析方法等 6 章。

近 20 年来,作者从未间断为饲料厂做兼职技术服务(技术总监),本书很多内容凝聚着作者的研究成果和实践经验,例如关于仔猪生长模型、仔猪饲料产品标准的设计理念、仔猪营养方案的运筹、饲料配方的线性规划、目标规划和随机规划方法的数学模型及其使用、饲料配方设计的可靠性及其精确性、动物饲养试验的最佳设计与试验结果的统计分析、成对反转试验(交叉设计)的设计与分析等。文后有 4 个附录,包括国内外最新的仔猪饲养标准,尤其是奉献出自己的仔猪饲料配方标准和大量的实用过的饲料配方,希望能够抛砖引玉,对我国的养猪业和饲料业有所贡献。

本书内容简单易懂,通俗实用,可操作性强。适合养殖场工作人员和饲料厂饲料配方师及农业院校相关专业老师参阅。

前 言

经 30 年发展,我国饲料业已形成一支“配方师”大军,成为我国饲料业进一步发展的主力。饲料配方设计技术是饲料生产的核心技术,配方科技含量决定饲料产品的竞争实力。科学技术不断进步,营养学家不断发布新成果,配方师与时俱进才是王道。

网上有很多饲料配方软件可免费下载,这些傻瓜型软件总跟不上营养学发展,而微软的办公软件 Excel 提供了基本的数学规划程序,简单易学,易于变通,略加修改就可设计出线性规划、目标规划、甚至随机规划的饲料配方软件。规划饲料配方的数学模型不仅涉及复杂的数学问题,而且涉及数学与动物营养学的交叉。营养学与数学的结合正在逐步形成一门新兴的交叉学科——动物营养模型。由于数学本身的普遍性、逻辑性、可操作性,使现代科学常借助数学模型技术来认识和处理研究对象,数学不再仅仅是处理数据的工具,数学模型化方法已成为现代高新技术研究的核心方法和技术,高新技术的出现已把现代社会推进到数学模型化方法的时代,动物科技领域也不例外。

设计饲料配方的关键技术之一是饲料营养标准的设计,其中最重要的是蛋白质水平的设置。大量研究表明,NRC(1998)推荐的蛋白质水平偏高,一般报道的结果是可以降低 3~4 个百分点而不影响猪的生产性能,这就是所谓的“低蛋白质日粮”。目前几乎普及的一个观念是,仔猪的蛋白质营养实际是氨基酸营养,饲养标准中的粗蛋白质指标好像是多余的,所以最新的美国养猪协会推荐的《国家猪营养指南》(NSNG,2010)干脆没有推荐粗蛋白质的营养水平,给人的印象好像是蛋白质水平可以很低。实际上,仔猪

日粮的蛋白质水平太高易导致拉稀,太低又可能使猪体用昂贵的必需氨基酸合成非必需氨基酸。那么实践中,配方师该如何设置具体的饲养标准才最适合呢?本书给出了笔者在实际设计饲料配方时确定蛋白质水平的方法和原理。

关于饲料配方的可靠性(概率保证值),国内报道极少,国外有零星报道,但常为了易懂,简化一些复杂的数学问题,而正是这种简化,使得他们的结论令人啼笑皆非。例如,把饲养标准的养分指标提高 1 个标准差,就可以使饲料配方的可靠性从线性规划法的 50% 提高到 68%,要使可靠性提高到 95%,就需要提高 2 个标准差。这 2 个标准差的养分是多大的成本?这不等于把这种提高饲料配方可靠性的方法给枪毙了吗!本书给出了正确完整的原理和方法解释。

正规饲料厂的新饲料配方要经过自己的动物试验。关于动物饲养试验技术,本有很多专著,但就国内发表的研究报告看,不仅常发现试验设计问题,而且对试验结果的统计处理,也常可商榷甚至错误。如何以最少经费得到可靠试验结论?这就是最佳试验设计问题。国内生产实践和科学研究,每年有大量动物饲养试验,最佳试验设计及其统计分析方法无疑极具价值。然而所谓最佳试验设计,常是不平衡设计,这种试验设计的统计分析方法需要线性模型技术。本书给出了饲养试验最佳设计和试验结果统计分析的原理和方法。

反转试验(交叉设计)是一般生物统计学书上介绍较多的设计方案之一。在比较反转试验(交叉设计)相对于平行设计(例如完全随机设计)时,Louis, Lavori, Bailar, and Polansky(1984)指出,“就试验动物数而言,交叉设计的效率可能比平行设计高 10 倍”;Garcia et al. (2004) 也认为,要达到相同试验效率,“平行设计需要的试验动物是交叉设计的 4~10 倍”。通过分析交叉设计的数学模型,笔者有幸发现了经典交叉设计的不足,并给出了改进的交

叉设计及其统计分析方法,即成对反转试验的设计与试验结果的分析方法。

总之,饲料配方设计技术要求复杂的数学方法为基础。动物科技工作者,数学造诣的深浅,决定了你在科学上能走多远。

由于书稿编写时间太长,许多参考文献已无法找到出处,只有在此向原作者表示感谢和歉意。本书出版过程中,得到中国农业大学出版社张秀环副编审的大力支持和帮助,在此一并致谢。限于作者学识和技术水平,书中难免不足甚至错误之处,恳望读者不吝赐教。我的电子信箱是:hdwangjihua@126.com

王继华 2011 年 10 月 10 日星期一
于河北工程大学动物科学系

目 录

第 1 章 仔猪生长规律	1
第 1 节 猪的时态生长模型	1
§ 1.1 研究生长模型的意义	1
§ 1.2 Logistic 模型的建立	4
§ 1.3 Logistic 模型的参数估计	7
§ 1.4 Gompertz 模型	9
§ 1.5 断奶的影响	9
§ 1.6 营养对猪生长规律的调控	15
第 2 节 猪的时态生长规律	15
§ 2.1 体重的生长规律	15
§ 2.2 仔猪体重的变异及其分析	23
§ 2.3 消化器官的发育规律	30
§ 2.4 组织的生长规律	33
§ 2.5 猪体化学成分和氨基酸的变化	33
§ 2.6 体尺的生长规律	36
第 3 节 猪的分化生长规律	36
§ 3.1 分化生长模型	36
§ 3.2 相关生长律的统计分析	37
§ 3.3 影响分化生长率的生物学因素	40
第 4 节 商品猪的体型评定	41
§ 4.1 早期体重要后来的饲料维持	41
§ 4.2 商品仔猪的体型评定	44

第 5 节 仔猪生长的营养调控	46
§ 5.1 生长受阻与补偿生长	47
§ 5.2 营养对仔猪生长的影响	50
§ 5.3 营养对基因表达的调控	52
§ 5.4 非营养性添加剂的调控作用	53
§ 5.5 仔猪的生长潜力	54
参考文献	57
第 2 章 仔猪消化生理的营养调控	60
第 1 节 仔猪的采食量及其调控	62
§ 1.1 仔猪的采食量	63
§ 1.2 遗传与生理状况影响仔猪采食量	66
§ 1.3 饲料质量影响仔猪采食量	67
§ 1.4 饲养管理影响仔猪采食量	71
§ 1.5 断奶影响仔猪采食量	72
§ 1.6 断奶仔猪的饲料要求	74
第 2 节 日粮离子平衡与酸碱平衡	77
§ 2.1 动物体内酸碱的来源	77
§ 2.2 动物体内酸碱平衡的调节机制	78
§ 2.3 机体酸碱平衡与日粮离子平衡的关系	79
§ 2.4 日粮电解质平衡(<i>dEB</i>)模型	80
§ 2.5 饲料电解质平衡值的计算方法	83
§ 2.6 调控饲料电解质平衡的意义	84
第 3 节 饲料的缓冲值(酸结合力、系酸力)	86
§ 3.1 饲料酸结合力(系酸力)的概念与意义	86
§ 3.2 饲料系酸力的意义	87
§ 3.3 饲料原料的酸结合力	88
§ 3.4 根据酸结合力设计饲料配方	89
§ 3.5 饲料系酸力与电解质平衡的关系	93

第 4 节 仔猪肠道微生态的调控	96
§ 4.1 仔猪肠道微生物区系	96
§ 4.2 断奶对肠道微生态平衡的影响	97
§ 4.3 微生态的营养调控——微生态制剂	97
§ 4.4 微生态的营养调控——酸化剂	103
§ 4.5 微生态的营养调控——寡糖	109
§ 4.6 微生态的营养调控——抗生素	109
§ 4.7 微生态的营养调控——饲料养分	110
第 5 节 仔猪日粮纤维与酶制剂	110
§ 5.1 日粮纤维与仔猪消化道功能	111
§ 5.2 日粮纤维对仔猪的营养作用	112
§ 5.3 仔猪日粮纤维的最佳水平	114
§ 5.4 消化酶制剂	115
§ 5.5 植酸酶制剂	118
参考文献	121
第 3 章 仔猪饲料产品标准的设置	124
第 1 节 饲养标准与饲料标准	124
§ 1.1 饲养标准的概念	124
§ 1.2 对应用饲养标准的认识	126
§ 1.3 饲料产品标准	129
§ 1.4 供给量、添加量和企业标准	129
§ 1.5 饲养标准的调整	130
§ 1.6 饲料配方设计标准	131
§ 1.7 饲养标准使用策略	131
第 2 节 调整饲养标准的技术	133
§ 2.1 调整饲养标准的原则	133
§ 2.2 饲粮营养平衡与有效养分含量	138
§ 2.3 维生素和微量元素的调整	139

§ 2.4	饲养管理水平与动物性能	139
§ 2.5	考虑饲料原料	140
§ 2.6	饲料加工工艺参数和贮存过程	141
§ 2.7	猪场与饲料厂的经济效益	145
第 3 节	仔猪饲料产品标准的设置	146
§ 3.1	仔猪饲养模式	147
§ 3.2	乳猪饲料产品的档次	149
§ 3.3	断奶仔猪料产品设计	155
第 4 节	仔猪营养方案	157
§ 4.1	营养平衡的内涵	157
§ 4.2	常规养分的衔接	159
§ 4.3	饲料添加剂的衔接	160
§ 4.4	饲料原料的衔接	166
§ 4.5	仔猪皮红毛亮问题	169
第 5 节	复合预混料配方设计	170
§ 5.1	使用添加剂应注意的问题	170
§ 5.2	饲料添加剂的配伍	171
§ 5.3	维生素预混料加工工艺	174
§ 5.4	复合预混料加工工艺	175
§ 5.5	组合应用各种添加剂	176
§ 5.6	饲料添加剂的贮存	178
参考文献:		183
第 4 章	饲料配方的线性规划	185
第 1 节	饲料配方设计原则和程序	185
§ 1.1	仔猪饲料配方的种类	185
§ 1.2	饲料配方设计原则	188
§ 1.3	饲料配方设计程序	189

第 2 节 仔猪饲养标准的设置	193
§ 2.1 哺乳仔猪饲养标准的设置	193
§ 2.2 断奶仔猪饲养标准的设计	207
第 3 节 最佳饲料配方	214
§ 3.1 实际例子	214
§ 3.2 最佳饲料配方的概念	216
§ 3.3 饲料配方线性规划法的数学模型	217
第 4 节 影子价格	218
§ 4.1 饲料原料的影子价格	218
§ 4.2 饲料养分的影子价格	221
§ 4.3 影子价格的意义	223
第 5 节 影子价格在饲料配方设计上的应用	224
§ 5.1 根据影子价格调整饲料配方	224
§ 5.2 根据影子价格调整饲养标准	225
§ 5.3 根据影子价格评价原料	227
§ 5.4 线性规划法的重要缺陷	228
第 6 节 灵敏度分析	230
§ 6.1 灵敏度分析的意义	230
§ 6.2 饲料原料价格的灵敏度分析	231
§ 6.3 饲料原料养分含量的灵敏度分析	233
§ 6.4 饲养标准的灵敏度分析	234
§ 6.5 养分影子价格与原料影子价格的关系	235
§ 6.6 饲料配方软件上的灵敏度分析	236
参考文献	237
第 5 章 饲料配方设计的新方法	238
第 1 节 原料的变异与饲料配方的精度	238
§ 1.1 饲料养分的变异	238
§ 1.2 变异的来源	239

§ 1.3	变异的估计	240
§ 1.4	减小变异的方法	242
§ 1.5	饲料配方的精度和保证值	242
第 2 节	饲料配方的随机规划	245
§ 2.1	随机规划方法	246
§ 2.2	随机规划原理	250
§ 2.3	在 Excel 上实现饲料配方的随机规划	254
第 3 节	目标规划与模糊规划原理	260
§ 3.1	饲料配方的目标规划	260
§ 3.2	饲料配方的模糊规划	265
第 4 节	多配方优化方法	268
§ 4.1	多配方规划的数学原理	269
§ 4.2	多配方设计实例	272
参考文献		276
第 6 章	饲料配方比较试验	278
第 1 节	饲养试验设计基础	278
§ 1.1	试验的要求	279
§ 1.2	试验因素	280
§ 1.3	试验单元	281
§ 1.4	变异系数	281
§ 1.5	饲养试验分组规则	283
§ 1.6	处理间比较的“唯一差别”原则	284
§ 1.7	适宜的试验规模	284
§ 1.8	试验设计的主要类型	286
第 2 节	常见的饲养试验设计	287
§ 2.1	简单对比试验的样本含量设计	287
§ 2.2	配对设计中重复数的估计	290
§ 2.3	调查研究中样本含量的估计	292

§ 2.4	估计相关系数所需要的样本大小	294
§ 2.5	饲养试验实例——日粮适口性比较试验	295
第 3 节	最佳试验设计	298
§ 3.1	最佳样本大小	298
§ 3.2	给定最小显著差数时的最佳设计	301
第 4 节	成对反转试验(交叉设计)	305
§ 4.1	问题的提出	305
§ 4.2	试验模型与基本假定	307
§ 4.3	对传统分析方法的分析	309
§ 4.4	不成对的反转设计	311
§ 4.5	成对的反转设计	313
§ 4.6	结论	314
第 5 节	动物饲养试验分析	315
§ 5.1	饲养试验设计	316
§ 5.2	数学模型与假定	317
§ 5.3	观测数据分析——考虑参试个体间的血缘关系	318
§ 5.4	观测数据分析——不考虑血缘关系	322
§ 5.5	结果与讨论	323
参考文献		324
附录		325
附录 1	实用仔猪饲料配方	325
参考文献		345
附录 2	仔猪的营养需要量	346
附录 2.1	美国 NSNG 推荐的饲养标准(2010)	346
附录 2.2	中国瘦肉型猪饲养标准(2004)	350
附录 2.3	瘦肉型仔猪的营养需要量(2005)	354

附录 2.4 罗氏多维标准(每千克饲料中的维生素含量)	357
附录 2.5 仔猪的 SID 氨基酸模型	358
参考文献	359
附录 3 中国饲料数据库	359
附录 4 猪饲料有效成分估测模型(INRA, 2004)	360
§ 4.1 介绍	360
§ 4.1.1 饲料总能的估测	360
§ 4.1.2 能量和养分消化率的估测	360
§ 4.1.3 应用预测公式的说明	360
§ 4.2 猪饲料总能、总能消化率和含氮物质消化率预测 方程	361

第1章 仔猪生长规律

养猪实践中常重视一些事实表象,重视猪对营养的反应;科学是研究表象背后的客观规律,为养猪营养决策提供理论指导。动物的生长发育规律是动物科学研究的最基本问题。

可以从三个水平上研究动物生长现象:组织器官水平、细胞水平和分子水平。由于组织器官水平的研究属于宏观水平,所以研究最多,取得的成果也最多,对养殖业生产起到了很好的指导作用。

第1节 猪的时态生长模型

猪的生长发育遵从一般哺乳动物生长发育模式,生命早期在一生中生长强度最大,早期生长发育状况会影响其后一生性能。仔猪生长发育规律和消化代谢的生理学是仔猪营养的理论基础。

生长(Growth)是极其复杂的生命现象。从物理角度看,生长是动物体尺增长和体重的增加;从生理角度看,是机体细胞的增殖和增大,组织器官的发育和功能的日趋完善;从生化角度看,生长是机体化学成分(即蛋白质、脂肪、矿物质等)的积累。最佳的生长体现在动物有一个正常的生长速度和功能健全的组织器官。为取得最佳生长效果,必须供给动物合适的饲料。

§1.1 研究生长模型的意义

家畜的任何性能,包括生长速度、饲料效率、胴体质量等,都是

在个体发育过程中形成与表现的,是个体生长发育到一定时期的外在表现形式。一定基因型的个体在正常环境中的生长发育是有规律的,当环境变化时发生有规律的变化。这里“环境”既包括饲养管理,又包括饲料营养。研究猪的生长发育规律及表现这种规律的机制,有重要价值,因为要有效利用这些规律,取得高效益,就必须先掌握它,这是任何养猪技术的理论基础和技术依据,也是准确确定仔猪营养需要量的理论基础和技术依据。

动物生长发育的过程是有规律的。为揭示这一规律,人们用机理分析法建立了动物生长模型来描述动物生长过程,常见的有 Logistic 模型(P. F. Verhulst, 1838), Gompertz 模型(Gompertz, 1825)等。模拟动物生长过程的意义在于揭示动物生长发育的规律,探索生命奥秘;生产上实现营养的动态配给,推进养猪业现代化、集约化,为生产自动化、计算机管理奠定理论基础。目前一般以体重反映整个机体的变化规律,机体体尺的增大与体重的增加密切相关。家畜生后体重的生长规律一般用累积生长曲线表示,而用数学模型表示则具有更大价值。

数学模型具有广泛的适应性,应根据生物学原理把某些生物现象模型化,按数学方法的基本假设,把现实生产中已存在的杂乱无章的资料按符合逻辑的方法推导展开,并力求在数学模型所约束的范围内,尽量减少用它推导结果所带来的误差。

人类在对一个事物认识的初级阶段,往往是感性的、描述性的。马克思说过,“一门科学,只有当它成功地利用了数学的时候,才算上升到了高级阶段”。动物营养的理论和应用要有大发展,就必须有数学的更多参与。只有利用数学这一工具,对营养机理进行深入分析,才可使目前基本处于描述性阶段的动物营养科学推向深入。数学不应只表现在对动物营养系统的分析结果的表述,而且还应该表现在认识营养系统的过程,在这里,数学模型化研究法不仅是手段和工具,而且是思维和抽象,是建立高层次动物营养