



普通高等教育“十一五”国家级规划教材




普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

水产动物营养与饲料学

第二版

麦康森 主编

 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

水产动物营养与饲料学

第 二 版

麦康森 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水产动物营养与饲料学/麦康森主编. —2版. —

北京: 中国农业出版社, 2011.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 普通高等
教育农业部“十二五”规划教材 全国高等农林院校“十
二五”规划教材

ISBN 978-7-109-16273-0

I. ①水… II. ①麦… III. ①水产动物—动物营养—
高等学校—教材②水产动物—配合饲料—高等学校—教材
IV. ①S963

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 125917 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路2号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 曾丹霞

文字编辑 曾丹霞

北京中新伟业印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

1996年10月第1版 2011年6月第2版

2011年6月第2版北京第1次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 21.25

字数: 510千字

定价: 37.00元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书以水产养殖鱼、虾为主要研究对象，兼顾其他水产动物，系统地介绍了现代水产动物营养与饲料学的基本理论和技术。本书保持第一版的框架基本不变，即绪论和水产动物营养学原理、鱼虾类的摄食与消化吸收、水产动物营养研究方法、渔用配合饲料原料、渔用配合饲料添加剂、饲料配方的设计与加工、渔用配合饲料的质量管理与评价和投饲技术 8 章沿用了第一版的主要内容，又增加了水产动物繁殖期的营养和营养与水产动物的健康两章新内容，共 10 章。同时，强化了营养素的代谢原理、水产养殖动物能量学、营养免疫学、分子营养学、营养研究新方法等新内容，以适应本学科的发展。

本书作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，可供水产养殖专业、营养与饲料专业的本科生、研究生使用，也可供从事水产养殖、饲料生产的专业技术人员参考。

第二版编者名单

- 主 编** 麦康森 (中国海洋大学)
- 参 编** 陈立侨 (华东师范大学)
- 陈乃松 (上海海洋大学)
- 冷永智 (通威股份有限公司)
- 谭北平 (广东海洋大学)
- 谢小军 (西南大学)
- 解绶启 (中国科学院水生生物研究所)
- 叶元土 (苏州大学)
- 主 审** 李爱杰 (中国海洋大学)
- 审 稿** 王道尊 (上海海洋大学)

第一版编者名单

- 主 编 李爱杰 (青岛海洋大学)
- 副主编 王道尊 (上海水产大学)
- 编 者 麦康森 (青岛海洋大学)
沈维华 (华中农业大学)
伍一军 (西南农业大学)
- 主审人 侯文璞 (中国水产科学院黄海水产研究所)
- 审 稿 林 鼎 (中山大学)
陈明耀 (湛江水产学院)

《水产动物营养与饲料学》进行修订，编写第二版的理由。

本书以水产养殖动物为研究对象，以鱼、虾为主，兼顾其他水产动物，以水产动物营养理论为基础，兼顾配合饲料配方、加工技术与投饲技术。在保持本书第一版框架基本不变的原则下，强化了主要营养素的代谢原理，增加了水产养殖动物能量学、水产动物繁殖期的营养学机理、免疫营养学、分子营养学、水产动物营养学研究方法等新内容，以适应本学科的发展。并且随着这些新领域的发展，这些内容还需要不断充实和提高。各院校对本课程的讲授内容，应根据各自的具体情况，面向社会需求来安排，不必强求一律。

本书第二版的编写工作由中国海洋大学麦康森主持，华东师范大学陈立侨、上海海洋大学陈乃松、通威股份有限公司冷永智、广东海洋大学谭北平、西南大学谢小军、中国科学院水生生物研究所解绶启和苏州大学叶元土参加编写。参加本书材料整理工作的还有中国海洋大学张文兵、艾庆辉、何良，厦门大学艾春香，汕头大学温小波，通威股份有限公司高启平等学者。参加审稿工作的是本书第一版的主编和副主编，即中国海洋大学李爱杰教授和上海海洋大学王道尊教授。此外，中国海洋大学水产动物营养与饲料实验室徐后国等全体研究生也提出了宝贵意见，对此，我们表示衷心感谢。

麦康森

2011年3月

岛海洋大学麦康森、华中农业大学沈维华、西南农业大学伍一军参加编写。参加审稿工作的有中国水产科学院黄海水产研究所侯文璞、中山大学林鼎、湛江水产学院陈明耀等同志，承蒙提出宝贵意见，对此我们表示感谢。

李爱杰

1994年6月

第四章 营养与水产动物的健康	143
第一节 概述	143
第二节 脂肪酸与水产动物的免疫力和抗病力	146
第三节 维生素、微量元素与水产动物的免疫力和抗病力	148
第四节 水产动物的免疫刺激物质	152
第五节 饲料源性有害物质与水产动物健康	156
第六节 投饲策略与水产动物健康	163
复习题	165
第五章 水产动物营养研究方法	166
第一节 消化生理研究方法	166
第二节 饲养试验研究方法	171
第三节 能量学研究方法	188
第四节 营养免疫学研究方法	197
第五节 分子营养学研究方法	201
复习题	212
第六章 渔用配合饲料原料	214
第一节 饲料和饲料原料的概念及分类	214
第二节 蛋白质饲料	216
第三节 能量饲料	229
第四节 粗饲料、青绿饲料	231
第五节 饲料源开发的意义与技术	232
复习题	234
第七章 渔用配合饲料添加剂	235
第一节 概述	235
第二节 营养性饲料添加剂	238
第三节 非营养性饲料添加剂	243
复习题	247
第八章 饲料配方的设计与加工	248
第一节 配合饲料的定义和分类	248
第二节 配合饲料配方的设计	251
第三节 配合饲料的加工工艺与设备	256
第四节 水产动物的营养需求和饲料配方	264
复习题	270
第九章 渔用配合饲料的质量管理与评价	271
第一节 渔用配合饲料的质量管理	271

第二节 渔用配合饲料的贮藏与保管	274
第三节 渔用配合饲料质量评定方法	277
复习题	279
第十章 投饲技术	280
第一节 投饲量	280
第二节 养鱼投饲技术	282
第三节 养虾投饲技术	289
第四节 自动投饲机简介	291
复习题	293
实验	294
实验一 鱼类饲料的总消化率及其蛋白质消化率的测定	294
实验二 渔用配合饲料配方的电脑设计	296
实验三 用 RT-PCR 技术检测特异性 mRNA	300
索引	303
主要参考文献	312

绪 论

第一节 水产动物营养与饲料学研究的对象和目的

水产动物营养与饲料学是研究水产养殖动物的营养及其所需配合饲料的科学。人工养殖的水产动物都是它的研究对象，如鱼、虾、蟹、鳖、鲍等。它所研究的理论基础是养殖水产动物的营养生理、生化和营养需要，其应用研究是配合饲料和饲料添加剂，包括饲料原料的选用和开发、配方设计、加工工艺、加工机械的选用等。只有在深入研究营养学原理的基础上，才能研制出营养均衡的高质量配合饲料。例如我国鲤配合饲料的饲料系数从早期的2.5~3.0到目前的1.2左右，对虾饲料的饲料系数从20世纪80年代初的4.0~5.0到目前的1.0左右，这些成果的取得都是对其营养学研究逐步深入的结果。因此，可以说对水产动物营养生理和营养需要的研究是渔用配合饲料研制的基础和前提。

当水产养殖处于规模小、产量不高的低密度传统养殖模式时，依靠天然生产力，或补充少量的鲜活饵料就足以满足其需要，不必使用配合饲料。但是，当养殖方式转变为规模大、密度高、产量高的半精养或精养模式时，仅靠天然生产力和补充鲜活饵料已远远不能满足需要，必须使用营养均衡的配合饲料才能满足生产需要。水产动物营养学就是研究水产动物的摄食、营养物质在体内的消化吸收和代谢，研究营养物质对机体生理机能、生化过程、生长和繁殖活动的影响，研究养殖动物对营养物质的定性和定量需要的一门科学。饲料学的任务就是以营养学研究为依据，制定营养均衡的饲料配方，选择科学的加工工艺，生产出保证养殖动物正常生长、发育、繁殖、健康和动物福利、成本合理的配合饲料，并且要求保障养殖产品的质量和食用安全。此外，必须尽可能减少（乃至消除）由于饲料的使用对养殖环境造成的负面影响，以利于水产养殖业的可持续发展。实践证明，营养与饲料学在现代养殖业中的科技贡献率为35%~40%，可以说，没有现代营养学研究与饲料工业，就没有现代的养殖业。

第二节 饲料工业在国民经济中的地位和作用

饲料工业是随着养殖业的发展而发展起来的，饲料工业包括饲料原料工业和饲料加工工业（配合饲料工业）两大部门。饲料原料工业负责供应饲料加工工业所需要的原料，包括各种添加剂；饲料加工工业负责加工生产商品饲料，是饲料工业的核心，一般所说的饲料工业或饲料厂就是指饲料加工工业。

饲料工业的服务对象是畜牧业和养殖业，其最终目的是更好地为人们供应肉、禽、蛋、奶和水产品，提供营养丰富的食品，改善人们的饮食结构，增强人们的体质。从这个意义上

讲, 饲料工业可以说是永不衰退的工业。自问世以来, 它就具有强大的生命力, 得到了迅速发展。美国在 20 世纪初开始建立饲料工业, 目前饲料工业已发展成为十大工业之一。我国的饲料工业于 20 世纪 70 年代后期才起步, 2007 年配合饲料产量已达 1.2 亿 t, 仅次于美国居世界第二位。在过去 30 年里, 我国饲料工业实现了从手工作坊式的小规模生产到位居世界第二大规模工业生产的跨越, 增长速度全球第一。我国饲料年产量从 1980 年的 200 万 t 增加到 2007 年的 1.2 亿 t, 平均年增长率超过 18%; 而同期世界饲料的年增长率仅为 2.2%。据 1990 年我国 39 个工业行业统计, 从全员劳动生产率、百元固定资产实现的工业产值、定额流动资金周转天数等方面看, 饲料工业都已位居前列, 成为全国举足轻重的工业行业之一。

饲料工业的发展对国民经济的全面发展起到了重要作用, 概括起来有以下几点:

(1) 为养殖业提供了全价配合饲料, 促进了养殖业的发展。没有发达的饲料工业, 就不可能有工厂化、集约化和现代化的养殖业。

(2) 饲料工业的发展需要大量原料, 因此, 一方面带动了添加剂工业、微生物工业等新兴部门的发展, 另一方面也为充分利用各行业的副产品和下脚料开辟了广阔的道路。如各种饼粕类过去往往销路不畅, 利用率不高, 有的甚至用作肥料。饲料工业的兴起, 使饼粕类农副产品得到了充分的利用, 提高了其使用价值。

(3) 为机械工业提供了广阔的市场。随着饲料工业的发展, 饲料加工设备制造业得以迅速发展。

(4) 为城乡劳动力开辟了新的就业门路。据全国饲料工业办公室统计, 1991 年我国时产 5t 以上的饲料企业有 551 个, 1995 年增加到 1 424 个, 2000 年增加到 1 764 个, 涌现出一批大型饲料企业集团。此外, 还有许多与之配套的生产企业, 如各类饲料添加剂厂等, 可提供数百万就业岗位。

(5) 饲料工业的发展对相关技术人才的需求推动了动物营养和饲料学的教学、科研的发展及学科建设, 丰富了相关学科内容。不少高等院校和科研单位设立了动物营养和饲料学专业、研究室或研究所。相关科研成果不断涌现, 使饲料产品质量不断提高, 反过来又进一步推动了饲料工业的发展。

第三节 饲料工业的发展概况和发展前景

一、世界饲料工业发展概况

随着世界畜牧业和养殖业的发展, 世界饲料加工业也迅速发展, 饲料产量大大增加。1970 年北美、欧洲、拉美地区、亚太地区、中东及非洲的配合饲料产量分别占世界配合饲料总产量的 40%、30%、15%、10% 和 5%。近年来, 世界配合饲料产量每年以 2% 左右的速度增长, 1990 年世界饲料总产量已超过 5 亿 t, 2002 年超过 6 亿 t, 2008 年达到 7 亿 t。从 1990 年到 2002 年, 欧洲及亚太地区增长幅度较大。2002 年以上地区的产量比重分别为 22%、52%、7%、16% 和 3%。世界人均饲料占有量从 1980 年的 82 kg 增加到 1990 年的 101 kg。然后, 就基本稳定在人均 100 kg 左右的水平上。如果比较 2003 年主要饲料生产国的人均饲料占有量 (表 0-1), 就不难发现, 人均饲料占有量与国家的工业化水平密切相关。

表 0-1 2003 年中国与世界主要国家人均饲料占有量比较 (kg/人)

中国	俄罗斯	日本	德国	墨西哥	巴西	法国	西班牙	美国	加拿大	全球
67	111	189	222	228	236	355	436	506	703	97

由于我国人口众多,人均饲料占有量仍然低于全球平均水平。差距的存在正反映了我国饲料工业蕴藏着巨大的发展潜力。

从全球配合饲料的品种看,2003年家禽饲料约占世界饲料总产量的38%,猪饲料占32%,奶牛饲料占17%,肉牛饲料占7%,水产饲料占3%,其他动物饲料占3%。而我国除了饮食习惯不同外,随着饲料工业的发展,饲料结构也在不断调整。从1995年到2003年,我国猪饲料的比例由42%下降到34%,蛋禽饲料由26%下降为22%,肉禽饲料由24%上升到28%,水产饲料由5%上升到11%,整体结构更加合理。从1980年到2003年,在我国人均口粮基本不变的情况下,同期人均动物性食品消费量由32.6 kg增长到50 kg以上,说明饲料工业的发展大大节省了粮食消耗,体现了饲料工业的巨大贡献。

美国是世界上发展饲料工业最早、产量最高的国家,它的发展趋势在一定程度上反映了未来世界饲料工业的发展趋势。2003年美国配合饲料产量达1.4亿t(2007年1.53亿t),占世界总产量的23%以上,居世界第一位。1978年美国的饲料加工企业有10 000多个,到1995年则减至2 000多个,饲料企业的总数在下降,而单个饲料生产企业的规模却在扩大,企业的利润主要来自规模效益。美国饲料工业的一个最大特点是多数饲料生产企业与养殖企业相结合。如1998年饲料企业和畜牧企业合二为一的企业集团所生产的饲料占全国生产总量的65.4%,而纯商业性的饲料生产仅是前者的一半。美国饲料业还有一个重要特点是饲料企业均有自己的科研机构。如MORMAN ANM公司,年生产饲料32万t,在公司的1 000多名职员中,有一个由40多位研究人员组成的研究中心,其中的35位营养学博士为16 000多个客户做技术服务保障工作。该公司75%的研究是新产品开发与转化,25%是基础研究。其产品开发与转化的周期一般为半年到一年,基础研究的周期一般为2~3年。1998年该公司这个研究中心的研究经费为350万美元,占公司当年销售额的1%。

虽然美国、日本和欧洲是水产动物营养研究与水产饲料商业化生产最早国家和地区,但是,它们不是水产养殖的主产区,它们的水产饲料总量并不大。美国2006年生产水产饲料80万t左右,主要用于鲑、虹鳟和斑点叉尾鲷养殖。由于美国的基础研究较好,又重视采用先进技术,推广自动化加工系统,所以饲料质量很好,饲料系数达到1.0~1.3。美洲其他主要水产饲料生产国包括智利、墨西哥、厄瓜多尔、加拿大和巴西。整个美洲水产饲料2006年的产量大约为300万t。日本2006年的水产饲料产量为65万t。据日本养鱼饲料协会统计,2008年日本水产饲料产量下降为49万t左右。韩国2006年产量为16万t。自20世纪70年代以后,大西洋鲑和鳕养殖在挪威占有重要的经济地位,挪威逐步成为一个活跃的世界鱼类营养研究中心。尤其近10年来,挪威在引领着世界鱼类营养研究的前沿方向。欧洲的主要水产饲料生产区域包括挪威、埃及、希腊、英国、西班牙、法国和意大利,2006年总产量在230万t左右。东南亚地区是世界水产饲料的主要产区,主要生产国是泰国、印度尼西亚、越南、菲律宾和印度等,2006年的总产量为350万t左右。该年度全球水产饲料总产量2 275万t(表0-2)。