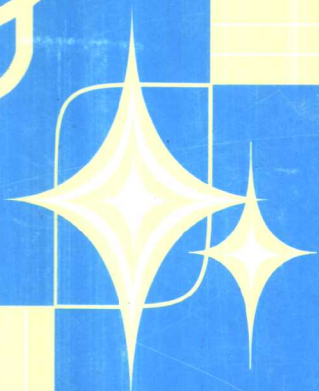




全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



水产动物营养 与 饲 料 学

● 李爱杰 主编

● 海水养殖和淡水渔业专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材
水产动物营养与饲料学
李爱杰 主编

责任编辑 牟晓春

出 版 中国农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 中国农业出版社印刷厂

* * *

开 本 787mm×1092mm16 开本

印 张 14.25 字数 326 千字

版、印次 1996 年 10 月第 1 版

1998 年 12 月北京第 4 次印刷

印 数 9 001~14 000 册 定价 15.50 元

书 号 ISBN 7-109-04213-8/Q·263

前 言

本书是农业部组织编写的全国高等农业院校通用教材，由全国高等农业院校教材指导委员会审定，供海水养殖和淡水渔业专业用。由于编者水平所限，再加上本门学科从理论到实践进展迅速，难免有些错误遗漏，望各院校在使用中予以指正，以利日后修改提高。

我国淡水渔业有悠久的历史，远在3000多年前就有养鱼的记载，至公元前5世纪春秋战国时代，范蠡编写了世界上第一部养鱼专著《养鱼经》；我国对虾养殖也有近200年的历史。但过去主要采用传统养殖方法，投喂天然饵料，产量很低。自80年代以来，在党的改革开放方针政策的鼓励和科技进步的推动下，我国水产养殖事业取得了巨大的成就。养殖种类扩大，养殖技术翻新，由粗放养殖发展到半精养或精养，由单纯依靠天然饵料发展到投喂配合饲料。池塘养鱼，全国许多地区每公顷产量超过7500kg，有的超过15000kg；对虾养殖平均每公顷产量超过1500kg，有的在3750kg以上，总产量已居世界第一位。

水产养殖生产的发展，推动了饲料工业的发展，饲料是一切养殖业的物质基础，而水产动物营养学研究又是饲料研究进步的基础。水产动物营养与饲料学这一学科便在此基础上诞生并发展。目前世界上从事这一学科研究的人并不太多，但从其论文的发表、学术的交流来看，却是十分活跃的科技领域之一。

近十多年来，根据社会生产的需要，各高等水产院校相继设立了这门课程，成为海水养殖和淡水渔业专业一门重要的专业基础课。各校自行撰写讲义，名称不一，内容也各有所长。为了集思广益，提高质量，农业部及时地组织编写了本书。

本书以淡、海水养殖动物为对象，以鱼、虾为主，兼顾其他水产动物，以水产动物营养为理论基础，兼顾配合饲料配方及饲料加工技术。各院校对本课程的讲授内容，应按各自具体情况，面对社会需要来安排，有所侧重，不必强求一律。

本书的编写工作是由青岛海洋大学李爱杰、上海水产大学王道尊主持，青岛海洋大学麦康森、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

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)

目 录

绪论	1
第一节 水产动物营养与饲料学研究的对象和目的	1
第二节 饲料工业在国民经济中的地位和作用	1
第三节 饲料工业的发展概况和发展前景	2
第四节 渔用配合饲料与畜禽配合饲料的异同	5
第五节 本课程的性质、地位和任务	7
复习题	7
第一章 水产动物营养原理	8
第一节 蛋白质营养	8
第二节 糖类营养	26
第三节 脂类营养	36
第四节 维生素营养	46
第五节 矿物质营养	56
第六节 能量营养	65
第七节 营养物质间的相互关系	77
复习题	84
第二章 鱼、虾营养试验的研究方法	89
第一节 可控环境的营养研究	89
第二节 实际生产环境的营养研究	106
复习题	107
第三章 鱼、虾类的摄食与消化吸收	108
第一节 鱼、虾类的摄食	108
第二节 鱼类的消化系统及消化酶	110
第三节 对虾的消化系统和消化酶	113
第四节 鱼、虾类对营养物质的消化吸收	116
第五节 消化率	118
复习题	122
第四章 渔用配合饲料原料	124
第一节 饲料原料的概念与分类	124
第二节 蛋白质饲料	126
第三节 能量饲料	134
第四节 粗饲料、青绿饲料	136
第五节 饲料源开发的意义与技术	137
复习题	138
第五章 渔用配合饲料的添加剂	140

第一节	概述	140
第二节	营养性添加剂	143
第三节	非营养性添加剂	149
复习题	.....	154
第六章	饲料配方的设计与加工	155
第一节	配合饲料的定义和分类	155
第二节	配合饲料配方的设计	158
第三节	配合饲料的加工工艺	162
第四节	配合饲料的主要加工机械设备	167
第五节	水产动物的营养需求和饲料配方	169
复习题	.....	175
第七章	渔用配合饲料的质量管理与评价	177
第一节	渔用配合饲料的质量管理	177
第二节	渔用配合饲料的贮藏与保管	179
第三节	渔用配合饲料质量的评定方法	182
复习题	.....	185
第八章	投饲技术	187
第一节	投饲量	187
第二节	养鱼投饲技术	194
第三节	养虾投饲技术	196
复习题	.....	197
实验一	鱼类饲料的总消化率及其蛋白质消化率的测定	199
实验二	渔用配合饲料配方的电脑设计	201
主要参考文献	.....	208
索引	.....	214

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，它所研究的对象如鱼、虾、蟹、甲鱼、鲍鱼等，凡人工养殖的水产动物都是它研究的范围。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的基础上，才能研制出高质量的配合饲料。鲤鱼配合饲料的饲料系数从早期的2.5~3.0到目前的1.3左右，对虾的饲料系数从80年代初的4~5到目前的1.8左右，都是由于其营养研究逐步深入的结果。因此，可以说鱼、虾类的营养生理和营养需要的研究，是渔用配合饲料研究的基础和前提。

当鱼、虾人工养殖水平低、规模小、粗放养殖、商品率低时，用传统的养殖方法，鲜活饵料足以满足需要，是不需要配合饲料的，但当养殖方法转变为半精养或精养，规模大、产量高时，仅靠鲜活饵料远远不能满足需要，于是配合饲料为满足养殖生产的需要而产生，从占总投饲量的10%~20%到占总量的70%~80%，甚至全部使用配合饲料，成为养好鱼、虾的四大要素（水、苗、饵、管）之一。水产动物营养与饲料学研究，在学术上的目的是要通过机体的生长和体内的化学变化来认识养殖动物的营养生理机能、营养生化变化和营养需要，阐明饲料中的营养物质对动物机体的影响；而其在应用领域中的目的是研制高效、低成本的配合饲料，为提高养殖生产水平服务。

第二节 饲料工业在国民经济中的地位和作用

饲料工业是随着畜牧业和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；饲料加工工业负责供应商品饲料，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供应人们肉、禽、蛋、奶和鱼、虾等水产品，提供高营养食品，改变人们的食物结构，增强人们的体质。从这个意义上讲，饲料工业也可以说是永不衰退的工业。自它问世以来，就具有强大的生命力，得到了迅速的发展。美国在本世纪初开始建立饲料工业，目前已发展成为十大工业之一。我国于70年代后期，饲料工业才刚刚起步，经过短短十多年的艰苦创业，年产配、混合饲料已达4500多万t，仅次于美国、前苏联，居世界第三位，据1990年全国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（中国饲料工业年鉴，1991）。

饲料工业的发展对于国民经济的发展和社会效益起到了重要作用，概括起来有以下几点：

1. 为畜牧业、养殖业提供了全价配合饲料，促进了畜牧业和养殖业的发展。没有发达的饲料工业，就不可能有现代化、工厂化、集约化的畜牧业和养殖业，而畜牧业、养殖业的发展对改变人们的食物结构、改善人民生活起到了积极作用。

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，提高了其固有的价值。

3. 为机械工业提供了广阔的市场，随着饲料工业的发展，一些专营饲料加工机械的制造厂诞生了，另外有些处于低谷的农机制造业也转向制造配合饲料机械。

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 1991 年统计，全国现有时产 1t 以上的饲料加工厂就有 6045 座，时产 5t 以上的有 551 座，其他小型厂就更多；此外，还有许多与之配套的企业产生，如各种饲料添加剂厂等，可容纳上百万人在饲料厂及其相关企业中就业。

5. 饲料工业的发展，推动了有关动物营养包括水产动物营养和饲料加工的教学和科研的进展，丰富了有关学科的内容。不少高等院校设立了动物营养和饲料专业、研究室，一些科研单位也建立了专业研究所和研究室。以此为内容的科研成果不断涌现，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。中国饲料工业年鉴（1991）指出，1970 年北美、欧洲、拉美地区、亚太地区、中东及非洲的配合饲料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 年已超过 5 亿 t，欧洲及亚太地区增长幅度较大，这些地区的产量比重分别为 22%、52%（其中欧共体国家占 34%）、7%、16% 和 3%。

从配合饲料的品种看，家禽饲料约占世界饲料总产量的 32%，猪饲料占 31%，奶牛饲料占 17%，肉牛饲料占 12%，水产饲料占 2%，其他动物饲料占 6%。世界主要国家和地区饲料年产量见表 0-1。

日本的配合饲料产量达 2800 万 t，居亚太地区的第二位，饲料加工所需主要原料如玉米、高粱、豆饼等自给率很低，大部分靠从美国进口，鱼粉基本自给，产品质量较高。日本使用配合饲料始于 1952 年，当年引进美国鱈鱼湿式粒状饲料，1963 年开发出对虾饲料。目前日本有 20 多个厂家生产约 160 种以上的水产饲料供应其本国市场，淡水鱼、虾饲料的对象有鳊鱼、鲤鱼、罗非鱼、河鲶、泥鳅、鲇鱼、甲鱼、金鱼、锦鲤、长臂虾等，海水鱼、虾饲料的对象有鲷鱼、鲷鱼、鲑鱼、日本对虾、比目鱼、章鱼和鲍鱼等。日本建立了饲料

表 0-1 世界主要国家和地区饲料工业资料 (1989 年)

(中国饲料工业年鉴, 1991)

国家或地区	年产量 (万 t)	饲料厂数 (家)	国家或地区	年产量 (万 t)	饲料厂数 (家)
亚太地区合计	9160	7200	匈牙利	811	973
中 国	3100	6200	波 兰	800	—
日 本	2800	191	原民主德国	650	130
韩 国	1060	80	捷克斯洛伐克	600	—
泰 国	370	30	保加利亚	520	—
澳大利亚	280	—	南斯拉夫	410	199
菲律宾	220	200	瑞 典	219	50
马来西亚	210	110	挪 威	184	—
印 度	187	110	拉美地区合计	4230	2500
印度尼西亚	151	61	巴 西	1538	1327
巴基斯坦	83	104	墨西哥	1050	600
新西兰	42	40	委内瑞拉	338	—
香 港	42	4	阿根廷	260	—
新加坡	13	4	智 利	218	—
北美合计	13190	7150	哥伦比亚	187	—
美 国	11000	6600	古 巴	161	—
加拿大	1130	550	秘 鲁	130	—
欧共体合计	10420	5200	危地马拉	55	—
原联邦德国	1684	712	厄瓜多尔	52	—
法 国	1669	660	中东和非洲地区合计	1740	500
荷 兰	1648	326	土 其 其	410	—
意大利	1186	1380	埃 及	380	61
西班牙	1128	—	南 非	270	10
英 国	1071	440	以 色 列	182	—
比利时	504	—	尼日利亚	108	—
丹 麦	468	500	伊 朗	60	—
葡萄牙	322	—	伊 拉 克	60	—
爱尔兰	218	—	沙特阿拉伯	57	—
瑞 士	150	250	津巴布韦	50	—
非欧共体欧洲国家合计	20050	5500	阿尔及利亚	50	—
原苏联	14500	3000	世界合计	58840	24000
罗马尼亚	970	—			

添加剂工业, 生产 100 多种饲料添加剂。日本温流水工厂化养鲤一般产量达 200kg/m³。饲料系数在网箱中投喂鲤鱼为 1.0~1.5, 在流水池中养鲤为 1.0~1.2。

美国是世界上发展饲料工业最早的国家之一, 目前拥有饲料加工厂 6600 多家, 配合饲料产量达 1.1 亿 t, 占世界总产量的 20% 以上, 居世界第一位。其养鱼饲料的基础研究工作始于 20 年代, 50 年代试制成功颗粒饲料并生产销售。颗粒饲料逐年增加。预混合饲料发展

也很迅速，各地都建有鱼用饲料厂。生产的鱼用颗粒饲料有三种类型，一是漂浮型，浮在水面可 2h 不溃散；二是半漂浮型，在水中漂浮；三是沉底型，撒入水中立即沉底。美国在研究鱼类营养和消化生理的基础上，开发了全价配合饲料，可满足养殖鱼类的需要；并在世界上首次研究成功微胶囊饲料，作为鱼、虾的开口饲料。在生产中重视采用先进技术，如普遍采用远红外线仪器快速测定饲料原料成分，推广自动化加工系统等。鲢、鳙、河鲈等水产饲料产量约 100 万 t，鲑鱼饲料系数在 1.2 左右，河鲈在 1.3 左右。

前苏联早在 30 年代初就开始发展配合饲料，到 1980 年配合饲料达 8070 多万 t，饲料添加剂产量达 400 万 t，仅次于美国，居世界第二位。前苏联在发展饲料加工工业的同时，还重视饲料添加剂工业、饲料原料工业和饲料机械工业的发展，基本建成了饲料工业体系。其配合饲料厂可生产各种规格的用于各年龄组的鱼用颗粒饲料，还可生产各种颜色的漂浮性饲料。其所研究的微胶囊饲料，饲喂鱼苗，饲料系数为 0.9~1.2；成鱼饲料的饲料系数为 1.5~1.9。

原西德的鱼用饲料都是专业饲料厂生产，有浮性和沉性颗粒饲料，原西德的工厂化养鱼基本上都是用膨化饲料。

欧共体各国饲料工业比较稳定，饲料生产与本地畜牧、养殖业协调发展，饲料市场日趋完善。水产饲料如鲑鱼配合饲料在苏格兰、爱尔兰和挪威等国猛增。新的饲料产品广泛地利用了工农业副产物。

东南亚一些主要养虾国家，如泰国、印尼、马来西亚等近年来采用高密度精养或半精养方式，用全价配合饲料饲养，大幅度提高单位产量和经济收益，都不同程度地发展了饲料工业。

二、我国渔用饲料工业发展概况

党的十一届三中全会以后，我国水产业发展很快，1989 年全国水产品产量达 1151 万 t，其中养殖产量 574 万 t，占世界水产养殖总产量的 50% 以上，我国已成为世界水产养殖第一大国。渔用饲料工业也逐渐发展成为饲料工业中一个新的分支，一个独立的行业，在全国饲料总产量中约占 10%。据农业部水产司不完全统计，1989 年全国有渔用配合饲料生产厂 1589 个，遍及除西藏、台湾（1988 年有 120 家，产量在 40 万 t 左右）以外的 29 个省、市、自治区，年设计生产能力近 200 万 t。其中时产 5t 以上的厂有 31 个，渔用饲料添加剂厂 11 家，微颗粒饲料厂 8 家，1989 年全国共生产各种渔用配合饲料近 80 万 t。

我国渔用配合饲料的研究始于 1958 年，当时是将几种原料混合投喂，由于当时水产养殖业尚处于传统生产阶段，配合饲料的研究生产并未得到重视，不久便告中断。1976~1979 年，农林部将颗粒饲料养鱼列为重点项目并进行推广。对虾配合饲料始于 70 年代末期，80 年代初，对虾人工育苗成功之后，由于鲜活饵料不足，配合饲料便逐渐普及，并提高了投喂比例，甚至全部投喂配合饲料。渔用配合饲料已广泛应用于我国水产养殖业，养成饲料已在养殖地区普遍生产，有的并进行系列化生产，以适应不同生长阶段的需求，不仅颗粒大小不同，其营养成分也有区别。鱼用配合饲料分鱼种用、育成前期和育成后期用；对虾的饲料也有育成前期、中期、后期之分。对虾和河蟹育苗用微粒饲料也研制成功并生产应用。鳊鱼饲料过去依赖进口，经过科研和生产单位的努力，江苏、浙江、福建、广东、上

海等省市都有厂批量生产，且质量优良。多种饲料添加剂也开始进入专门化生产。

在配合饲料生产日益发展的同时，饲料标准、产品质量也日益引起重视，一些省市开始重视和加强饲料标准的建立和产品质量检测工作。各地开展渔用配合饲料产品质量的检测，对提高配合饲料的质量起到了积极作用。

三、我国饲料工业发展前景

(一) 我国饲料工业生产建设虽然取得了一定成绩，积累了一些成功经验，但与实际需要相比还有一定差距，主要表现为：配合饲料产量不能满足饲养业发展的需要，产品质量有待进一步提高，饲料蛋白源紧缺，有的添加剂还依赖进口，有的科技成果不能及时转化为生产力。但由于我国饲料工业经过十几年的发展，打下了一定的基础，加上国家产业政策中把饲料工业列为重点支持和优先发展的产业，农业丰收，粮食增产，对发展饲料工业有很多有利条件，经过努力，克服困难，一定能够实现 90 年代饲料工业的奋斗目标。

(二) 根据《1984~2000 年全国饲料工业发展纲要》提出的“今后 10 年要健全饲料工业体系，使饲料工业进入一个新的振兴时期”的战略任务，90 年代发展饲料工业的主要奋斗目标是：配(混)合饲料生产能力 1995 年达到 7000 万~7500 万 t，2000 年达到 10000 万~12000 万 t；配(混)合饲料产量，1995 年达到 4500 万~5000 万 t，2000 年达到 7000 万~8000 万 t；饲料原料工业、饲料添加剂工业、饲料机械工业以及饲料教育、科研等协调发展，力争到本世纪末建立具有中国特色的完整的饲料工业体系(中国饲料工业年鉴 I—24, 1991)。

(三) “八五”末期，我国水产品总产量要达到 1450 万 t，平均每年增加 50 万 t。我国水产养殖产量将达到 830 万 t。为实现这一目标，渔用配合饲料也要相应发展，年产量要提高到 350 万 t。为此要加强渔用饲料的科学研究，在现有的基础上，继续加强和深化我国主要养殖鱼、虾类的营养需要、营养生理和消化生理的研究，加强对饲料添加剂的开发和研究，研究和优选饲料配方，提高饲料转化率，降低成本和饲料系数，在全国推广应用。

(四) 当前饲料蛋白源紧缺，影响饲料成本上涨，因此要重视饲料源的开发利用，如充分利用轻工、食品及水产品加工下脚料和废液，多方面开发单细胞蛋白，提高植物蛋白的营养价值，并研究以植物蛋白等代替鱼粉的技术。

第四节 渔用配合饲料与畜禽配合饲料的异同

水产养殖业和畜牧业所饲养的对象是不同的，其栖息环境也不同。水产养殖业饲养的鱼、虾类生活在淡水或海水中，而畜牧业饲养的猪、鸡等生活在陆地上。对于畜牧业来说，饲喂的食物称为饲料，而对于水产养殖业来说，饲喂的食物也称饲料，但习惯上称之为饵料。无论渔用配合饲料还是畜、禽配合饲料，都需要营养全面，完全符合饲养动物的营养需要。畜、禽配合饲料大多为粉料，也可制成颗粒料，如鸡饲料，做成颗粒状则可避免散失，节约饲料。而渔用配合饲料则必须做成颗粒料(如鱼、虾、蟹用饲料)或糜状(如鳗鱼饲料)。渔用配合饲料与畜禽配合饲料在安全卫生方面的要求基本上是一致的，都要求脂肪不氧化，不含黄曲霉毒素，不含致病菌，霉菌和细菌数控制在一定范围之内；汞、铅、镉等重金属及砷要符合标准；在物理指标上都要求不发霉变质，无结块及异味、异嗅，色泽

大小一致，混合均匀度（变异系数）不大于 10%。水产动物和畜禽由于栖息环境不同，对营养的要求各异，因此，其配合饲料也各有特点，其主要不同之处如下：

一、原料粉碎粒度，畜、禽浓缩料细度要求全部通过 8 目，16 目筛上物不得大于 20%，而鱼、虾颗粒饲料则要求全部通过 40 目，60 目筛上物不得超过 10%。鳗鱼则要求更细些。

二、水稳定性。畜、禽在陆上，其配合饲料对水稳定性无要求，鱼、虾生活在水中，配合饲料应维持在水中不溃散，且要求减少溶失率。为此，鱼、虾配合饲料中需加黏合剂，或采用后熟化工艺，使配合饲料能在水中维持数小时不溃散。

三、饲料形状。畜、禽饲料一般为粉状，虽也有为了节约饲料而制成颗粒状，但并非必须；而鱼为吞食，虾、蟹为抱食，因此必须制成颗粒状，鳗鱼饲料较特殊，一般为粉状，使用时再制成糜状团块。

四、对饲料营养成分的组成要求不同。鱼、虾类为变温动物，不需要耗费能量来维持体温；鱼、虾类在水中，由于水的浮力，只需很少能量供给肌肉活动和维持在水层中的位置，因此其耗能较少。鱼类所需能量约为陆上动物的 50%~67%，这就使得鱼、虾类在物质代谢和能量代谢方面和畜、禽存在差距，对饲料的利用也有显著不同。

鱼、虾类在配合饲料中需要更多的蛋白质，一般认为其蛋白质需要量为畜、禽的 2—4 倍。鱼、虾类对饲料中的游离氨基酸不能像畜、禽那样很好地利用；鱼类对羟基蛋氨酸的利用率只相当于 L-蛋氨酸的 20%，而畜、禽为 80%。

鱼、虾类不能有效地利用无氮浸出物，其利用率较畜、禽为低的原因是：（1）鱼、虾类消化道的淀粉酶活性低；（2）畜、禽类红肌与白肌之比大于鱼、虾，而红肌己糖激酶活性高于白肌，故畜、禽类对糖的代谢大于鱼、虾；（3）特别是鱼虾体内调节血糖的胰岛素分泌很少，过量的糖类会影响鱼虾的生长，温水性鱼类饲料中最适无氮浸出物为 30%，对虾不超过 26%。

对必需脂肪酸的需要，鱼、虾类与畜、禽不同，畜、禽需要的必需脂肪酸主要是 n-6 系列脂肪酸，如亚油酸、花生四烯酸；而鱼、虾类主要需要 n-3 系列的不饱和脂肪酸，如亚麻酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸。甲壳类还需要由饲料提供磷脂和胆固醇。

鱼、虾类需要的 15 种维生素与畜、禽的相同，但各种维生素的重要性的需要量不同。例如，鱼、虾类肠道细菌种类和数量少，肠道微生物合成的维生素相对也少。如畜、禽类肠道中合成的维生素 C，一般能满足其正常需要；而在鱼、虾类，肠道中合成维生素 C 的量很少或不能合成，为了保证其正常生长，必须在饲料中添加维生素 C；又如鱼、虾类饲料中蛋白质、脂肪含量较高，所需 B₆、烟酰胺、维生素 E 的需要量较畜禽要多。鱼、虾类能有效地从水中吸收钙，因而对维生素 D 的需要不如畜、禽敏感。

鱼、虾类和畜、禽在矿物质代谢方面的最大区别在于鱼、虾类能从水中吸收一部分无机盐，饲料中无机盐的种类和数量与畜、禽的有较大的不同。鱼、虾能有效地利用水中的钙，在饲料中无需加钙盐或在某种鱼加少量的钙盐，而畜、禽的钙完全来自饲料，故必须加足够的钙盐。鱼饲料中常含有较多的磷酸钙和植酸，影响锌的效价，故需添加较多的锌，一般需加 80~150mg/L 的锌；畜、禽饲料中需含较多的铁盐和锰盐，而对虾则不需要。

第五节 本课程的性质、地位和任务

水产动物营养与饲料学是高等水产院校海水养殖和淡水渔业专业必修的一门专业基础课，但它和其他专业基础课不同，它本身还具有专业课的性质，它在水产动物营养专业或饲料专业即为该专业的专业课。因此，学生在学好本门课程后，也适合作饲料工业或饲料添加剂工业部门的工作。它是一门新兴的边缘学科，它的发展与鱼类生理学、生物化学、营养化学、有机化学、组织学、微生物学、分析化学、计算机技术等学科有密切的关系，这些课程都是本课程的前继课，为本课程奠定理论基础。本课程理论性与实践性并重，为学好专业课，开展教学、实习奠定理论与技能的基础。

本课程要求学生系统掌握水产养殖动物的营养生理和营养需求，饲料的营养成分及其生理功用，饲料的营养价值评定方法；了解水产养殖动物的摄食、消化吸收和物质代谢过程；熟悉常用饲料原料的性质、特点、选用注意事项及其加工贮存方法；熟悉饲料添加剂的种类、作用和使用方法；掌握饲料配方的设计原则和设计方法；了解配合饲料的生产工艺和加工机械设备；学会配合饲料的品质管理与评价方法；熟悉配合饲料的投饲技术；了解世界饲料工业的发展现状与发展趋势。

本课程使学生能够了解鱼、虾的营养性疾病，并学会如何去防治营养缺乏症；本课程还为学生开展有关鱼、虾类营养和配合饲料的研究打下坚实的基础。

学生在学习本课程时，不仅要深刻领会和理解课程内容和基本理论，还要掌握实用知识和操作技术，并通过实验和实习加深对知识的理解和对技术的掌握。

复 习 题

1. 水产动物营养与饲料学研究的对象和目的是什么？
2. 饲料工业包括哪几个部门？一般所说的饲料工业指的是什么？
3. 饲料工业对于国民经济的发展起到什么作用？
4. 世界饲料工业发展概况如何？
5. 试述我国渔用饲料工业的发展概况。
6. 我国饲料工业的发展前景如何？
7. 本课程的性质和在专业中的地位如何？

(李爱杰)

第一章 水产动物营养原理

饲料是动物维持生命和生长、繁殖的物质基础，动物获取并利用饲料的过程称为动物营养，研究动物营养的科学即为动物营养学。饲料是营养素的载体，含有动物所需要的营养素。所谓营养素是指能在动物体内消化吸收、供给能量、构成体质及调节生理机能的物质。动物需要的营养素有蛋白质、脂肪、糖类、维生素、矿物质和水等6类。水对于动物来说是非常重要的营养素，离开水，动物特别是水生动物则在极短时间内死亡，但因水取之不尽，用之不竭，一般不作为营养素来研究。其他5种营养素在体内具有3种功用：1. 供给能量。动物只有在不断消耗能量的情况下才能维持生命。能量被用来维持体温，完成一些最主要的功，如机械功（肌肉收缩、呼吸活动等）、渗透功（体内的物质转运）和化学功（合成及分解代谢）；2. 构成机体。营养素是构成体质的原料，用以生长新组织，更新和修补旧组织；3. 调节生理机能。动物体内各种化学反应需要各种生物活性物质进行调节、控制和平衡，这些生物活性物质也要由饲料中的营养物质来提供。各种营养素都具有一定的生理功用，但不是所有的营养素都具有以上3种功用。有的只有一种功用，有的同时具备二种或三种功用。一般来说，蛋白质主要用以构成动物体，糖类和脂肪主要供给能量，维生素用以调节新陈代谢，矿物质则有的构成体质，有的调节生理活动。

营养学是一门实用科学，其理论基础是营养素的物化性质、营养素需求量的确定以及营养素对于动物的生理机能和生化反应。营养学可以作为畜牧、养殖业生产的依据。学习和掌握水产动物的营养原理，对于研制水产动物的配合饲料，提高饲料效率，发展水产养殖是很必要的。本章将对五大营养素及其能量营养逐一进行介绍。

第一节 蛋白质营养

一、蛋白质的概念

蛋白质是生命的物质基础，是所有生物体的重要组成成分，在生命活动中起着重要作用。蛋白质是由氨基酸构成的含氮的高分子化合物，经元素分析，大多数蛋白质的组成基本相似，除含氮外，还含有碳、氢、氧及少量的硫，有些蛋白质尚含有磷、铁、铜、锰、锌、碘等元素。一般蛋白质主要元素含量如下：

碳：50%～55%

氢：6.0%～8.0%

氧：19%～24%

氮：14%～19%

硫：0～4%

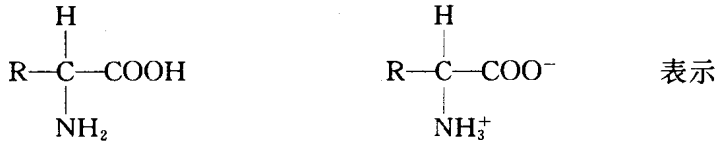
一般糖和脂肪不含有氮，所以氮是蛋白质的特征性元素，多数蛋白质的含氮量相当接近，一般在14%～19%，平均为16%，故测定蛋白质，只要测定样品中的含氮量，就可以

计算出蛋白质的含量。

$$\text{蛋白质含量} = \text{蛋白质含氮量} \times \frac{100}{16} = \text{蛋白质含氮量} \times 6.25$$

在动、植物体中除蛋白质外尚含有非蛋白质氮，所以按上述测定的含氮量而求得的蛋白质，通常称粗蛋白质。

氨基酸是构成蛋白质的基本单位，有 20 种，氨基酸的分子结构，可用通式



可见分子内都含有氨基 (NH₂) 和羧基 (COOH)。氨基和羧基都在同一碳原子上相邻接，此碳原子称为 α-碳，此种氨基酸称 α-氨基酸。每种氨基酸有 D 型和 L 型之分，天然的氨基酸都是 L 型，D 型氨基酸一般不能被生物所利用，甚至能抑制某些生物的生长。

二、蛋白质的生理功用

(一) 蛋白质分类

1. 依结构分类，可分为：

(1) 简单蛋白质：水解时只产生氨基酸的蛋白质，如鱼精蛋白、白蛋白、球蛋白等。

(2) 结合蛋白质：是指在生物体内由简单蛋白质与一些非蛋白质物质结合而成，其非蛋白部分称为辅基。如核蛋白、糖蛋白、血红蛋白和卵磷蛋白等。

(3) 衍生蛋白质：是指经过物理或化学作用由简单蛋白质或结合蛋白质产生的蛋白质，如变性蛋白、胨、胨等。

2. 依营养学分类，可分为：

(1) 完全蛋白质如全卵蛋白质，不完全蛋白质如胶原蛋白。

(2) 动物蛋白质和植物蛋白质，如表 1-1 所示，动物蛋白质和植物蛋白质中氨基酸的组成有显著的差异。

(二) 蛋白质的生理功用 鱼、虾类的生长主要是指依靠蛋白质在体内构成组织和器官。鱼、虾类对蛋白质的需要量比较高，约为哺乳动物和鸟类的 2~4 倍，由于鱼类对糖的利用能力低，因此蛋白质和脂肪是鱼类能量的主要来源，这一点与畜、禽类有很大不同，鱼、虾类和其他动物一样从外界饲料中摄取蛋白质，在消化道中经消化分解成氨基酸后被吸收利用，其生理功用如下：

1. 供体组织蛋白质的更新、修复以及维持体蛋白质现状；
2. 用于生长（体蛋白质的增加）；
3. 作为部分能量来源；
4. 组成机体各种激素和酶类等具有特殊生物学功能的物质。

上述生理功能可用以下模式表示：

表 1-1 不同原料蛋白质中氨基酸的组成 (蛋白质中%)

(村井武四, 1988)

饲料原料	粗蛋白质含量 (%)	氨基酸		
		赖氨酸 (%)	蛋氨酸+胱氨酸 (%)	色氨酸 (%)
动物蛋白质				
北洋鱼粉	66	7.24	3.92	1.19
猪血粉	82.4	9.68	2.08	1.44
羽毛粉	83.1	2.71	4.51	0.58
植物蛋白质				
玉米	8.9	2.69	3.60	1.12
小麦粉	15.3	1.90	0.72	0.72
粗米	9.2	4.24	3.47	1.30
大豆粕	46.3	6.31	2.63	1.38

$$I = I_m + I_g + I_e$$

式中: I ——代表吸收的氨基酸;

I_m ——代表用于体组织蛋白质的更新、修复以及维持体蛋白现状等的氨基酸;

I_g ——代表用于生长的氨基酸;

I_e ——代表分解后作为能源消耗的氨基酸。

式中 I_m 和 I_g 是蛋白质特有营养效果, 是其他营养素无法代替的, 而 I_e 的营养作用, 从理论上讲可由脂肪和糖来代替。 I_m 相当于鱼体在代谢过程从粪便中排出的代谢氮和从尿中排出的内生氮及由鳃分泌的氨态氮的总和。 I_m 与鱼体大小和水温变化有关。但是, 在一定的条件下, 对某种鱼来讲是相当恒定的, 据获野 (1980) 测定体重 1.5~1.65g 的鲤鱼, 在 20~27℃ 水温条件下 I_m 的排泄量是 0.14g/kg 体重/日的氮量。体重 2g 左右的鲤鱼 I_g 需要 0.8g/kg 体重/日的氮量。所以每日必需摄取 0.94g 的氮 ($I_m + I_g$), 相当于 5.8g 蛋白质, 亦即为保留氮的蛋白质量。这一蛋白质的量随着蛋白质的质量和饲料的能源的组成而变化。用酪蛋白这样营养价的蛋白质时, 必需摄取的保留氮为 0.94g, 其蛋白质净利用率 (NPU) 平均为 50%, 所以, 必须从饲料中摄取的蛋白质量为 $5.8 \times 2 = 11.6g$ 。这是稚鲤保持最大氮蓄积量时对蛋白质的需要量。应指出: I_g 对鱼、虾类来讲, 不同生长阶段, I_g 值有所不同, 一般随鱼、虾类的生长而逐渐变小, 当达到最大生长, 体重不再增加时, I_g 则接近于零。故上式则近似于: $I = I_m + I_e$ 。随着鱼、虾类的生长 I_m 量也逐渐增加, 但比 I_g 则要小得多。所以单位鱼体重的蛋白质需要量随鱼体重的增加而减少。

鱼、虾类吸收的氨基酸用于 I_m 、 I_g 、 I_e , 其比率受许多因素的影响, 主要取决于饲料蛋白质的营养价值。就是说, 营养价值高的蛋白质被利用为 I_m 和 I_g 的比例较高, 用作 I_e 的比例则较低。相反, 营养价值低的蛋白质被利用为 I_m 和 I_g 的比例较低, 而用作 I_e 的比例偏高。所以, 在配合饲料中用同一质量的蛋白质饲料源, 如果适量增加能量饲料时, 则蛋白质用

作 I_m 和 I_g 的比例大, 用作 I_c 比例小。因此, 在配合饲料中适量搭配能量饲料, 使蛋白质较多地用于鱼、虾的生长, 对提高饲料效率是十分重要的。

三、鱼、虾类的蛋白质、氨基酸代谢与氮的平衡

(一) 蛋白质、氨基酸的代谢 鱼、虾类摄取饲料后, 经过消化和吸收过程, 在消化道内没有被消化吸收的废物以粪的形式排出体外。而被吸收了的氨基酸主要用于合成体蛋白质, 一部分氨基酸经脱氨基以氨的形式(也有以尿素和尿酸形式)通过肾和鳃排出体外。鱼、虾类在摄取无蛋白质饲料时, 其排出的粪和尿中亦有含氮物质等代谢产物, 从粪中排出的氮叫代谢氮 (medogenous nitrogen), 主要是肠黏膜脱落细胞、黏液和消化液所含有的氮; 从尿排出及鳃分泌出的氮叫内生氮 (endogenous nitrogen), 主要是体内蛋白质修补更新时, 部分体蛋白降解, 最终由尿排泄及由鳃分泌的氮。代谢氮 (F_o) 和内生氮 (U_o) 排泄量的总合 (E_o) 相当于前面所讲的 I_m 量, 即鱼类为了维持生命活动所需蛋白质最低需要量。据获野等 (1973) 报道, 用无蛋白质饲料饲养体重 50~300g 的鲤鱼来测定 F_o 和 U_o 的排泄量, 排泄量随水温的变化而变化。在鲤鱼适宜的温度范围内, 每 100g 体重, 每日 E_o 量为 10~13mg; 其中 F_o 为 3~4mg; U_o 为 7~9mg; 体重 2~10g 的鲤鱼, 在水温 19~25℃ 时, 每 100g 体重一日的 E_o 为 14mg, 其中 F_o 为 3mg, U_o 为 11mg。即稚鲤每 100g 体重一日内要分解、消耗 87mg ($14mg \times 6.25$) 蛋白质。虹鳟鱼在水温 12~19℃ 时, 每 100g 体重一日, F_o 为 1mg、 U_o 为 8.5mg、 E_o 为 9.5mg, 即分解、消耗 59mg ($9.5mg \times 6.25$) 蛋白质。

据毛永庆等 (1985) 测得草鱼体蛋白氮维持量约为 3~4mg/100g 体重/日, 鲢鱼体蛋白氮维持量约为 14mg/100g 体重/日。

(二) 氮的平衡 所谓氮的平衡 (Nitrogen balance) 是动物所摄取的蛋白质的氮量与在粪和尿中排出的氮量之差。可用下式表示:

$$B = I - (F + U)$$

式中: B——氮的平衡;
I——摄入的氮量;
F——粪中排出的氮量;
U——尿中排出的氮量。

氮的平衡有 3 种情况:

1. 氮的总平衡, 即 $B=0$, $I=F+U$ 。表现为体内蛋白质分解与合成处于动态平衡。
2. 氮正平衡, 即 $B>0$, 摄入的饲料蛋白质除补偿体蛋白的消耗外, 还有一部分用于构成新的体组织, 表现为鱼、虾体重增加, 体蛋白增加。
3. 氮负平衡, 即 $B<0$, 通过粪和尿排出的氮量超过摄入氮量时, 表现为鱼体消瘦, 体重减轻。

据获野 (1980) 报道, 以酪蛋白为饲料蛋白源, 饲养体重为 90~400g 鲤鱼, 测定氮的平衡, 试验结果如图 1-1。

平均 100g 体重的鲤鱼摄取氮量低于 15~17mg 以下时呈氮的负平衡; 当摄入的氮量在 17mg 以上时, 呈氮的正平衡; 当摄入的氮量在 190~200mg 时, 氮的平衡 B 值达到最大值。