

NATIONAL RESEARCH COUNCIL

鱼类营养需要

1993 年版

译 曾 虹 任泽林 校 麦康森
吴子林 许民强

63
2

中国农业科技出版社

NATIONAL RESEARCH COUNCIL

鱼类营养需要

1993 年版

译 曾 虹 任泽林 校 麦康森
吴子林 许民强

中国农业科技出版社

(京)新登字 061 号

图书在版编目 (CIP) 数据

鱼类营养需要/曾虹, 任泽林译. —北京: 中国农业科技出版社, 1995. 12

ISBN 7-80119-140-4, 1995. 12

I. 鱼… II. ①曾… ②任… III. 鱼类养殖—动物营养 IV. S963

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 02571 号

责任编辑
技术设计
出版发行

经 销
印 刷
开 本
印 数
版 次
定 价

赵学贤
徐 毅

中国农业科技出版社
(北京海淀区白石桥路 30 号)

新华书店北京发行所发行

河北唐县物资印刷厂

787×1092 毫米 1/16 印张,

1—2000 册 字数: 137 千字

1995 年 12 月第一版 1995 年 12 月第一次印刷

16.00 元

Nutrient Requirements of Fish

Committee on Animal Nutrition
Board on Agriculture
National Research Council

NATIONAL ACADEMY PRESS
Washington, D.C. 1993

NATIONAL ACADEMY PRESS • 2101 Constitution Avenue, NW • Washington, D.C. 20418

NOTICE: The project that is the subject of this report was approved by the Governing Board of the National Research Council, whose members are drawn from the councils of the National Academy of Sciences, the National Academy of Engineering, and the Institute of Medicine. The members of the committee responsible for the report were chosen for their special competences and with regard for appropriate balance.

This report has been reviewed by a group other than the authors according to procedures approved by a Report Review Committee consisting of members of the National Academy of Sciences, the National Academy of Engineering, and the Institute of Medicine.

The National Academy of Sciences is a private, nonprofit, self-perpetuating society of distinguished scholars engaged in scientific and engineering research, dedicated to the furtherance of science and technology and to their use for the general welfare. Upon the authority of the charter granted to it by the Congress in 1863, the Academy has a mandate that requires it to advise the federal government on scientific and technical matters. Dr. Bruce M. Alberts is president of the National Academy of Sciences.

The National Academy of Engineering was established in 1964, under the charter of the National Academy of Sciences, as a parallel organization of outstanding engineers. It is autonomous in its administration and in the selection of its members, sharing with the National Academy of Sciences the responsibility for advising the federal government. The National Academy of Engineering also sponsors engineering programs aimed at meeting national needs, encourages education and research, and recognizes the superior achievements of engineers. Dr. Robert M. White is president of the National Academy of Engineering.

The Institute of Medicine was established in 1970 by the National Academy of Sciences to secure the services of eminent members of appropriate professions in the examination of policy matters pertaining to the health of the public. The Institute acts under the responsibility given to the National Academy of Sciences by its congressional charter to be an adviser to the federal government and, upon its own initiative, to identify issues of medical care, research, and education. Dr. Kenneth I. Shine is president of the Institute of Medicine.

The National Research Council was organized by the National Academy of Sciences in 1916 to associate the broad community of science and technology with the Academy's purposes of furthering knowledge and advising the federal government. Functioning in accordance with general policies determined by the Academy, the Council has become the principal operating agency of both the National Academy of Sciences and the National Academy of Engineering in providing services to the government, the public, and the scientific and engineering communities. The Council is administered jointly by both Academies and the Institute of Medicine. Dr. Bruce M. Alberts and Dr. Robert M. White are chairman and vice chairman, respectively, of the National Research Council.

This study was supported by the Agricultural Research Service of the U.S. Department of Agriculture, under Agreement No. 59-32U4-5-6, and by the Center for Veterinary Medicine, Food and Drug Administration of the U.S. Department of Health and Human Services, under Cooperative Agreement No. FD-U-000006-10. Additional support was provided by the American Feed Industry Association. Dissemination of the report was supported in part by the W. K. Kellogg Foundation.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Nutrient requirements of fish / Committee on Animal Nutrition, Board
on Agriculture, National Research Council.

p. cm.

Includes bibliographical references (p.) and index.

ISBN 0-309-04891-5

1. Fishes—Nutrition—Requirements. 2. Fishes—Feeding and feeds.

I. National Research Council (U.S.). Committee on Animal Nutrition.

SH156.N86 1993

639.3—dc20

93-39031

CIP

Copyright 1993 by the National Academy of Sciences. All rights reserved.

Any opinions, findings, conclusions, or recommendations expressed in this publication are those of the author(s) and do not necessarily reflect the view of the organizations or agencies that provided support for this project.

Printed in the United States of America

译 者 的 话

自美国国家研究委员会(NRC)1983年版《温水鱼类和甲壳动物的营养需要》问世以来,全世界的水产养殖和科研均有长足的进步,为适应新形势的需要,NRC于1993年推出最新的《鱼类营养需要》。

1993年版《鱼类营养需要》综合了1983年版的内容和十年来的研究成果,集温水鱼类和冷水鱼类的营养需要于一身,是有关鱼类营养研究的最新、最权威的专著。鉴于我国至今尚无鱼饲料方面的国家标准,该书对我国水产工作者的参考价值尤其突出。为此,译者经与美国国家研究委员会及美国科技出版社协商,由中国农业科学院饲料研究所承担在中国为期3年的翻译、出版和发行该书的权利,使该书中译本能与广大读者见面。

本书的翻译出版得到了中国农业科学院饲料研究所和北京市富英生物高技术公司的大力资助,中国农业科学院饲料研究所蔡辉益博士、卢建军女士、郭庆先生等为本书的出版做了大量工作,在此一并致谢!

由于译者水平有限,本书定有翻译不当或错误之处,敬请读者批评指正!

译 者

1995. 11. 北京

前 言

1989年,在农业委员会动物营养学会(CAN)主持下,鱼类营养小组委员会受命重新修订1981年版《冷水鱼类的营养需要》和1983年版的《温水鱼类和甲壳动物的营养需要》。最近的研究表明:冷水鱼类和温水鱼类在营养和摄食方面非常相似,没有单独成书的必要。因此,本版包括了商业价值较高的所有有鳍鱼类(参见附录表A-1中的本书涉及种类名单),目的在于扩充有鳍鱼类的营养需要、饲料配方设计和加工、以及饲养方式方面的知识。

CAN的起源可追溯到成立于1916年的国家研究委员会,后者是国家科学院的工作部门,委员会的主要活动之一就是完善饲养动物和实验动物的营养需要标准。1943年,首先成立了猪禽营养小组委员会。随后,奶牛、肉牛、绵羊、马、狐和水貂、狗、猫、兔、实验动物、山羊、非人灵长类、温水鱼类和甲壳类、冷水鱼类等动物的营养需要小组委员会陆续成立,随着有关营养需要量的新资料的积累,出版物已经多次修订。

本书的概述之后共分八章,第一章介绍了维持鱼类健康生长和繁殖的营养需要。第二章讨论了饲料原料中的非营养物质,这些物质可以影响饲料的物理性状、适口性、营养性能,或影响鱼的新陈代谢。第三章论述了饲料原料中可能存在的抗营养物、外源毒素以及不同鱼类对它们的不同的敏感性。

第四、五、六章的重点是饲料原料的营养素对各种鱼类的可利用性,以及由各种原料配合的、营养平衡的、具备需要的物理特性的商品饲料的设计和使用。本部分详细论述了仔鱼和各种鱼类的投喂方式。

第七章是5种鱼类达到最佳生产性能的最低营养需要量表。这些数值表示在最佳生长条件下,快速生长的幼鱼的最低需要量,不包括实际生产中为补偿因原料变化、加工和贮藏损失以及因环境影响造成的需要量的变化而需要增加的部分。所以,这里所提供的数据在配方设计时需要根据实际需要加以调整。同样,如某一特定种类的营养需要没有列出,可以谨慎地用其相关种的测定值代替。随着营养需要方面的资料的积累,各个种的需要量推荐值将得到进一步的确定。

第八章列出了在设计科研和商用鱼饲料时所需的各种饲料原料的营养成分表。这些营养成分的数值只是化学分析的结果,并没有用生物学效价加以修正,因此在设计饲料配方时,这些原料的营养水平需根据其对鱼的可利用率进行调整。

由于在营养需要方面缺乏新的研究数据,本次修订版没有包括水生甲壳动物(有上颚、触角,在胸部或腹部有足或足状附肢,没有翅的节肢动物)。然而在世界范围内,甲壳动物的养殖都是一项活跃的商业投资,小组委员会也认识到对这些物种的营养学资料的需求。

本书中的大部分数据是针对幼鱼的,人们已认识到营养需要是随着鱼体增长而变化的。环境同样影响着营养需要,因此,今后的研究重点应是温度、疾病以及其他各种应激对鱼类营养需要的影响。对那些饲料成本影响很大的营养因子,如氨基酸和能量—蛋白比,还需要作更多的研究,以便证实现有的数据或使其更加精确,现有的数据往往仅来自某一次试验。

鱼类营养小组委员会

主席: Richard T. Lovell

概 述

水产养殖已不再是一门未成熟的科学，而是世界公认的一项有利可图的事业。随着水产养殖技术的提高，用配合饲料来改善或代替天然饲料已成为提高产量、促进生长的动力之一。现在在许多水产养殖企业中，饲料已占经营成本的一半以上。因此有关鱼的营养学和实际饲喂知识是养殖成功所必需的。

为推广鱼类营养和饲喂知识，在国家研究委员会的主持下，动物营养委员会鱼类营养小组委员会通过对文献和现行养殖方式的研究，提出了最新的鱼类营养推荐数据，本书提供了对各种鱼类营养需要的较全面的分析以及正确地设计配制饲料的方法和饲喂方式。

小组委员会相信，现有的几种鱼的营养需要数据，完全可以成为设计大多数商品鱼类的成本适中的生产性饲料的依据。随着资料的积累，各种鱼类的营养需要和特殊生产性能的需要将更加准确。

各种鱼之间的营养需要一般变化不太大，温水鱼类或冷水鱼类、有鳍鱼类或甲壳类、肉食类或杂食类、海水鱼或淡水鱼类都不例外，因此，小组委员会建议当缺乏某种鱼类的营养需要数据时，可用经慎重推测的数据代替。

人为的或天然的饲料污染物都会显著地影响鱼的健康、生长和繁殖。由于一直在对饲料中的抗营养因子和外源毒素进行详尽的研究，小组委员会相信，营养学家和水产养殖界应对其有了更清楚的认识。解决这一问题的方法随污染物而不同，包括开发替代物和无污染饲料、改变饲喂方法、改善饲料贮存条件。

给生活在水中的鱼喂食需要考虑的问题比喂养陆生动物更多，包括池塘中水生生物的营养作用、投喂和饲料成分对溶解氧和其他水质因素的影响、饲料没有被立即吃掉时其营养物质的流失等等。鱼类饲料需经加工而具有特别物理性状，以便于在水中饲喂，而且摄食行为不同的种类都需要专门的饲喂方式。饲料成分和饲喂方式对养殖系统排出的水的水质的影响也是需要着重考虑的问题。

小组委员会根据美国农业部国家农业图书馆的资料更新了饲料原料的营养成分，全面收入了各种脂肪源的脂肪酸数据。

本书推荐的营养需要量最初是用幼鱼测定的，代表了为获得最大生长率的营养水平。鱼体的大小、代谢功能、饲养管理以及环境因素对满足鱼类的最佳生长的营养需要都有不同程度的影响，因此这些数据只是近似值，小组委员会建议使用时需要斟酌决定。这些数据没有考虑因加工、贮存损耗的超量添加部分以及饲料营养成分的生物利用率或经济因素。

水产养殖作为一门科学和一个工业将继续发展。随着消费需求的增长和自然水域中的产量的下降，水产养殖业更需要增加鱼和鱼产品的供应。这本鱼类营养小组委员会的最新著作将与今后的营养学、行为学研究一起，为水产科学的进展提供所需的知识和技术，为水产养殖业的发展和成功提供保障。

目 录

概述

第一章 营养需要 (1)

1.1 能量 (1)

1.2 蛋白质和氨基酸 (4)

1.3 脂类 (12)

1.4 糖类 (15)

1.5 矿物质 (17)

1.6 维生素 (22)

第二章 饲料其它成分 (37)

2.1 水 (37)

2.2 纤维 (37)

2.3 激素 (38)

2.4 抗生素 (38)

2.5 抗氧化剂 (39)

2.6 色素 (39)

2.7 颗粒粘合剂 (41)

2.8 诱食剂 (42)

第三章 抗营养因子和外来毒素 (43)

3.1 存在于饲料原料中的抗营养因子 (43)

3.2 天然饲料原料的污染物质 (46)

3.3 重金属 (47)

3.4 杀虫剂 (49)

第四章 消化和吸收 (50)

4.1 消化率的测定方法 (50)

4.2 影响消化率的因素 (51)

4.3 营养成分的消化率 (52)

第五章 饲料配方设计及加工 (56)

5.1 营养需要数据的使用 (56)

5.2 鱼类饲料配方设计.....	(56)
5.3 商品饲料原料.....	(57)
5.4 原料的质量.....	(58)
5.5 饲料加工.....	(58)
5.6 天然原料对照饲料.....	(59)
5.7 纯化研究饲料.....	(60)
第六章 饲喂方式	(62)
6.1 仔鱼喂养.....	(62)
6.2 斑点叉尾鲷	(63)
6.3 罗非鱼.....	(65)
6.4 条纹石鲈和杂交鲈	(65)
6.5 虹鳟.....	(66)
6.6 太平洋鲑鱼.....	(68)
6.7 大西洋鲑鱼.....	(68)
第七章 营养需要表	(70)
第八章 饲料成分	(72)
附录	(78)
参考文献	(83)
作者介绍.....	(105)

第一章 营养需要

饲料及其原料含有鱼类生长、繁殖、健康所需的营养和能量物质，其含量不足导致鱼类生长减缓或疾病的发生，在某些情况下，营养过剩同样影响鱼类生长。鱼类的营养需要由能量、蛋白质和氨基酸、脂肪、矿物盐和维生素几个方面组成。

1.1 能量

能量不是营养物质，它是由糖类、脂肪和氨基酸在体内氧化释放的。动物的绝对能量需求可通过测定动物耗氧量或产热量而确定。然而饲料中的能量必须保证其有效能可满足动物的需要。

本节目的在于使读者熟悉营养能量学的一些内容，即涉及动物对饲料能量的利用、饲料原料的能量值和动物的能量需求量。如果希望获得鱼类生理能量学方面更为详细的信息，可以参看 Brett 和 Groves (1979) 的综述。如希望进一步了解饲料的营养能量学，特别是涉及在实验条件下，鱼类的能量需要，可参看 Smith (1989)、Cho 和 Kaushik (1990) 的综述。

1.1.1 饲料能量分配

摄入饲料的能量在动物体内被分成许多部分，图 1-1 显示了动物体内能量流动方向 (National Research Council, 1981)。在能量摄入和产品之间，由粪便、尿和鳃排泄物及体热造成了许多能量损失。在实践中，养殖者希望尽量减小这种损失以期能量最大限度地转化为产品。能量损失的多少主要决定于饲料特性和投喂水平。摄入总能 (IE) 减去粪能 (FE) 即消化能 (DE)，饲料中的纤维素很难消化，随粪便一道排出，因而增加了粪能损失。消化能 (DE) 减去尿能 (UE) 和鳃分泌能 (ZE) 即代谢能 (ME)，代谢能 (ME) 减去热损失 (HE) 即生产能 (RE)。热损失 (HE) 主要通过以下两个环节：即热增耗 (HiE) 和维持体热 (HEm)。

热增耗 (HiE) 是动物摄食后引起产热量的增加。引起热增耗 (HiE) 的因素有饲料消化吸收过程 (HdE)，组织中物质的转化、互变和贮存 (HrE) 和代谢废物的形成和排出 (HwE)。在鸟类和哺乳动物，热增耗主要用于摄入氨基氮的脱氨和排泄 (Kleiber, 1975)。可是鱼类能排泄蛋白质代谢终产物 (氨、碳酸盐和二氧化碳)，无需再合成尿素、尿酸或其他类似的物质，因此这部分能量即 (HiE) 损失较少。摄食与消化所耗的能量与代谢活动耗能相比是较少的 (Brody,)。Benedict 和 Emmes (1912) 及 Borsook (1936) 研究发现，静脉注射氨基酸和口服氨基酸后动物产热量基本一样，这进一步证实了上述结论。热增耗在很大程度上与饲料营养物质的平衡及营养水平有关 (Brody, 1945)，对鱼类来讲，还有水温 (Cho 和 Slinger, 1979)。动物吸收营养物质的代谢结局取决于吸收的混合物和由此引起的多种可能代谢途径，因此测定平衡饲料的热增耗 (HiE) 就比测定单一饲料成分的热增耗 (HiE) 更有意义。

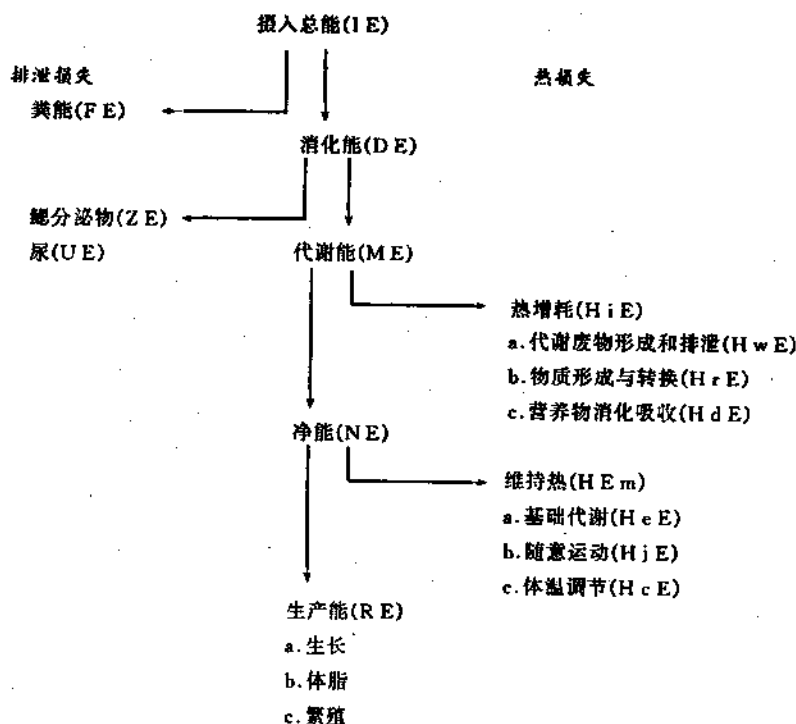


图 1—1 鱼饲料能量流程图，对饲料摄入和代谢过程中的能量损失进行归类，只有一部分能量被保留在新组织中。

资料来源：National Research Council, 1981. Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms. Washington. D. C. ; National Academy Press.

对鱼类来讲，高蛋白饲料热增耗 (HiE) 比低蛋白饲料高 (Cho, 1982)，这一现象在鸟类和哺乳动物中就更为明显，部分原因是因为鸟类和哺乳动物在用氨基氮合成尿素或尿酸过程中消耗能量，合成尿素和尿酸的能耗分别为 3.1 和 2.4 kcal/gN (Martin 和 Blaxter, 1965)。而鱼类与之不同，其蛋白质分解代谢主要产物是氨 (Goldstein 和 Forster, 1970)，易被排入水中，无需合成尿素和尿酸 (Cowey, 1975)，所以能量消耗少。Cho 等人 (1982) 发现水温 15℃ 时，虹鳟热增耗 (HiE) 为摄入总能 (IE) 的 5%~15%，饲料蛋白能量比下降时，这一值也降低，家畜的这一比值高达 20%~30% (Farrell, 1974; National Research Council, 1984)。可见，鱼类热增耗 (HiE) 较低，饲料中用于维持和生长的净能 (NE) 多于温血动物。

维持热 (HEm) 是维持动物正常生活所必需的各种功能正常运转所需的能量，其主要部分用于基础代谢 (HeE)，如呼吸、离子和代谢物的传送、体内成分的更新和循环等；另外一小部分用于动物的随意运动或保持体态的平衡 (HjE)。对于恒温动物，还要用一部分于体温调节。因为鱼类不必维持体温恒定，加之鱼类用于维持其在水中体态的能量比陆生动物维持姿势的能量低，所以鱼类维持热 (HEm) 需求低于恒温动物。禁食时的产热量 (HEf) 与维持

热 (HE_m) 接近。Cho 和 Kaushik (1990) 在水温 15℃ 下, 测定了体重 96 克到 145 克禁食虹鳟的耗氧量, 并推算出它们的 HE_f 是 $8.85W^{0.82}$ (单位为 kcal/鱼/天, W 为鱼体重(kg))。Smith (1989) 在 15℃ 水温下, 用热量计量器直接测定 4 到 50 克虹鳟的 HE_f 是 $4.41W^{0.63}$ 。Brett 和 Groves (1979) 建议鱼体重 (W) 的指数为 0.8。哺乳动物和鸟类的 HE_f 分别为 $70W^{0.75}$ 和 $83W^{0.75}$ (Brody, 1945)。与之相比, 鱼类 HE_f 低得多。在适温环境条件下, 鱼类维持热只相当于大小相近的哺乳动物的 1/10 到 1/20 (Brett, 1973)。鱼类较低的维持热需求意味着其将更多的净能保留在体内新组织中或者说转化为更多的生产能。

1.1.2 鱼饲料原料的能量值

饲料能量取决于其化学组成。蛋白质、脂肪和糖类的燃烧热均值分别是 5.64、9.44 和 4.11kcal/g。根据饲料的化学组成仅能推算饲料的燃烧热或总能, 可是并不知道这些能量和营养物质可消化吸收的程度。可见, 在设计饲料配方之前, 必须知道所用饲料原料能量的生物利用率。

通常用 DE 和 ME 表示饲料原料的有效能。在评定全价饲料用于动物新陈代谢的有效能值方面 ME 较 DE 更为准确。实际上, 在评估饲料原料的有效能时, ME 并不比 DE 有很多优越性, 因为鱼类能量损失主要体现在 FE 上, 通过 ZE 和 UE 损失的能量与鸟类及哺乳动物非粪便损失的能量相比很小, 而且, FE 随饲料原料不同而变化较大, 但 UE 及 ZE 变化较小。此外测定 ME 困难, 因为需要在项圈协助下对代谢槽中的鱼进行强饲和约束并同时收集粪便、鳃和尿分泌物 (Smith, 1976)。一般来讲, 测定 DE 就容易多了, 鱼随意摄食后就可以测定 (Page 和 Andrews, 1973; Cruz, 1975; Cho 和 Slinger, 1979; Takeuchi 等, 1979)。尽管如此, 为了获得可靠的 DE 值需要正确实验手段。测定 DE 时要及时收集鱼粪便, 以防粪便中营养物质溶失在水中。早期研究发现, 不合适的粪便收集如粪便在鱼槽中停留时间过长使测定的消化系数严重偏高 (Smith 和 Lovell, 1973; Windell 等, 1978)。鱼 DE 及 ME 的测定方法将在第四章中讨论。

蛋白质和脂肪是鱼类利用率高的能源 (Cruz, 1975; Smith, 1976; Popma, 1982), 糖类作为能源其效能随鱼种类而异。温水杂食性鱼类如尼罗罗非鱼 (Popma, 1982) 和其斑点叉尾鲷 (Wilson 和 Poe, 1985) 可消化生淀粉总能量的 70% 以上, 而冷水肉食性虹鳟对生淀粉的消化率不足 50% (Cho 和 Slinger, 1979)。饲料膨化过程造成的熟化可提高淀粉的消化率。斑点叉尾鲷对膨化处理的玉米粉的 DE 值较挤压制粒的提高 38% (Wilson 和 Poe, 1985)。对虹鳟, 糊化淀粉 DE 值较生淀粉提高 75% (Cho 和 Slinger, 1979)。

1.1.3 能量需求

动物要生长发育, 首先必须生存, 所以能量摄入是一个基本的营养需求。设计鱼饲料配方时, 应优先考虑的是饲料能量。然而, 由于蛋白饲料价格比其它能量饲料高, 实际上饲料蛋白质含量经常被优先考虑。饲料中蛋白质和能量应保持平衡, 饲料 DE 不足或过高都会降低鱼的生长。当饲料能量相对蛋白质含量来说不足时, 饲料蛋白不是用于鱼的生长, 而是被转化成能量来维持鱼的生存; 反之, 饲料中能量过高会降低鱼的摄食量, 因而减少了最佳生长所必需的蛋白质和其他重要营养物质的摄入。饲料中能量与营养物比例过高时会造成体脂大

量积累,影响鱼的食用价值。

表 1-1 罗列了几种鱼在最佳生长条件下可消化蛋白与 DE (mg/kcal) 的比值。比值从 81mg/kcal 到 117mg/kcal,明显高于猪及家禽的蛋白能量比 (40mg/kcal 到 60mg/kcal) (National Research Council, 1984, 1988)。究其原因,不是因为鱼有较高的蛋白质需求 (鱼转化饲料蛋白为组织蛋白质的效率与温血动物接近 (Smith, 1989)),而是鱼的维持热较低,也不必耗能合成尿酸。

因为脂肪是鲑科鱼类主要的非蛋白能源,所以其蛋白能量比有时被表示为蛋白脂肪比,虹鳟饲料适宜组合为蛋白质 35%~36%,脂肪 15%~16% (Watanabe 等, 1979; Cho, 1982)。

表 1-1 不同鱼类的适宜蛋白能量比

品 种	可消化蛋白 (DP) (%)	消化能 (DE) (kcal/g)	DP/DE (mg/kcal)	重量 (g)	评定指标	参 考 文 献
斑点叉尾鲟	22.2	2.33	95	526	增重	Page 和 Andrews (1973)
	28.8 ^a	3.07 ^a	94	34	增重	Garling 和 Wilson (1976)
	27.0	2.78	97	10	增加蛋白	Mangalik (1986)
	27.0	3.14	86	266	增加蛋白	Mangalik (1986)
	24.4 ^a	3.05 ^a	81	600	增重	Li 和 Lovell (1992)
眼斑拟石首鱼	31.5 ^a	3.20 ^a	98	43	增重	Daniels 和 Robinson (1986)
杂交鲈	31.5 ^a	2.80	112	35	增重	Nematipour 等 (1992)
尼罗罗非鱼	30	2.90	103	50	增重	El-Sayed (1987)
鲤鱼	31.5 ^a	2.90 ^a	108	20	增重	Takeuchi 等 (1979)
虹鳟	33	3.6	92	90	增重	Cho 和 Kaushik (1985)
	42	4.10	105	94	增重	Cho 和 Woodward (1989)

a——可消化蛋白质和能量是根据饲料成分推算而来。

在一个设定的条件下,依据动物能量平衡的可靠资料利用能量损失及所期望的生产能这些数据建立一个经验公式来计算鱼类的能量需要是可行的。如前面讨论所示,已在实验条件下确立了虹鳟的能量平衡。Cho 和 Kaushik (1990) 根据能量的摄入和排泄损失,以及所期望的生产能 (RE),建立一个计算虹鳟在 15℃ 水温条件下,从 1~100g 的个体生长到 1kg 所需 DE 的模型。模型表明生物量为 1kg 的虹鳟需要 3.56McalDE 产生 1.91McalRE, RE: DE 效率比为 0.54,接近斑点叉尾鲟的 0.56 (Gatlin 等, 1986)。然而,一些因素如饲料组成、投喂率和增重成分组成显著地影响鱼的能量平衡,因而在获得足够的资料建立一套某种水产动物在不同生产条件下的可靠能量模型之前必须谨慎引用上述方法来计算生产饲料的能量需求。

1.2 蛋白质和氨基酸

蛋白质是由 20 种 α -氨基酸通过肽键连接而成。肽链由于双硫键、氢键和范德华 (Vanderwaals) 力作用而相互交联。蛋白质,特别是饲料蛋白质中氨基酸含量差异很大。一些蛋白质如明胶 (来源于胶原蛋白的混合物) 和玉米醇溶蛋白 (来源于玉米蛋白) 一种或多种氨基酸含量不足或完全缺乏;而有的蛋白质如鱼粉,具有平衡的满足鱼类营养需求的氨基酸组成。可见不同饲料蛋白的氨基酸满足鱼类营养需求的能力明显不同。蛋白质在消化道中被

胃肠分泌的消化酶水解成游离氨基酸、二肽和三肽。这些分解产物被肠粘膜细胞吸收,肠粘膜细胞把这些短肽进行胞内消化。因此似乎只有氨基酸才能作为蛋白质的消化产物被释放入门静脉 (Murai 等, 1987)。有证据表明胃肠壁可吸收少量的全蛋白,但是没有被证实具有任何数量意义 (Ash, 1985)。

在动物饲养文献中,蛋白质普遍表达为粗蛋白 (CP), CP 定义为 $N \times 6.25$, 这一表达的假设是蛋白质含 16% 的氮 (N)。饲料蛋白主要为动物提供:

1. 必需氨基酸。必需氨基酸是指鱼类不能合成或合成量不能满足蛋白质积累或新陈代谢各种功能物质合成需要的氨基酸。

2. 非必需氨基酸或充足的氨基酸以合成这些非必需氨基酸。

从非必需氨基酸合成需要消耗能量这点可知,投喂最接近鱼类必需和非必需氨基酸需求的饲料蛋白可获得最佳的生长效果,因此氨基酸平衡或组成模式是蛋白质需求的基础。

1.2.1 蛋白质需求

能满足鱼类氨基酸需求并获得最佳生长的最少蛋白质含量即为蛋白质需要量,表 1-2 到表 1-13 罗列了多种幼鱼的蛋白质需求。这些结果主要依据投喂由优质蛋白源配制的未纯化的蛋白质浓度梯度饲料后出现的剂量效应曲线而测定的。评定的效应指标是增重。蛋白质需要量是以饲料干基百分比表示,虽然以饲料蛋白质与饲料能量的比例来表示能突出蛋白质是一种重要的能量物质,但是有些资料难以这样表示,因为饲料 DE 值资料缺乏,而且不同著者引用饲料原料的能量值不一致。

鱼饲料的蛋白质水平明显高于陆生温血动物的饲料蛋白质水平。不过,可能是所用的测定方法高估了鱼类的蛋白质需要,因为在一些鱼类,过量的蛋白质和氨基酸不能在体内贮存,而是优先于糖类和脂肪被分解作为能量 (Wilson, 1989); 另外,对饲料的 DE 值、蛋白质的氨基酸组成及蛋白质的消化吸收率等因素没有加以充分的考虑 (Wilson 和 Halver, 1986; Wilson, 1989)。因此了解实验中存在的不足对于正确引用这些实验数据具有重要意义。

随着鱼的生长发育,其蛋白质需要量降低。如体重 114~500g 的斑点叉尾鲷,适宜饲料的蛋白质含量为 25%,然而个体重 14~100g 的斑点叉尾鲷获得较好生长时的饲料蛋白质需求是 35%,而不是 25% (Page 和 Andrews, 1973)。在鲑科鱼、鲤鱼和罗非鱼的研究中也得到了相似的结果 (Wilson 和 Halver, 1986)。

没有证据表明蛋白质需求 (以饲料干基计) 受水温的影响。水温升高,鱼的摄食和生长都增加,由于饲料转化率提高,生长率增加幅度可能大一些,但是总的来说,摄食量和生长率都是同步地增加 (Brett, 1979)。在 9~18°C 范围内虹鳟对蛋白质需求量 (35%) 没有改变 (3, 580 kcal DE/kg 饲料) (见图 5, 来源于 National Research Council, 1981)。

鱼类最佳生长需要高蛋白质水平,这并不意味着鱼比恒温脊椎动物消耗更多的蛋白质为能量。这两类脊椎动物净蛋白保留率均为 20%~50%。Bowen (1987) 总结大量材料发现鱼类净蛋白保留率中间值为 31%,而其他脊椎动物为 29%。尽管推测鱼类比恒温陆生脊椎动物有较低的能量需求,然而两者利用蛋白质为能量比例基本相似。已进行了鱼绝对蛋白质吸收率 (mg 蛋白质/g 体重/天) 的比较,但这是一项困难的工作,一是因为准确测定饲料吸收率有困难,二是因为引用现有的不同生理年龄鱼的数据会造成相当大的误差,这些数据是在不

同水温 and 光周期下测定的。

表 1-2 一些幼鱼最佳生长状态下的蛋白质需要量 (以饲料干基计)

品 种	蛋白源	蛋白需求 (%)	参 考 文 献
大西洋鲑	酪蛋白和明胶	45	Lall 和 Bishop (1977)
斑点叉尾鮰	鸡全卵蛋白	32~36	Garling 和 Wilson (1976)
大鳞大马哈鱼	酪蛋白、明胶和氨基酸	40	Delong 等 (1958)
银大马哈鱼	酪蛋白	40	Zeitoun 等 (1974)
鲤鱼	酪蛋白	31~38	Ogino 和 Saito (1970) Takeuchi 等 (1979)
河口石斑	金枪鱼肉粉	40~50	Teng 等 (1978)
金鲷	酪蛋白、浓缩 鱼蛋白和氨基酸	40	Sabaut 和 Luquet (1973)
草鱼	酪蛋白	41~43	Dabrowski (1977)
日本鳊鲷	酪蛋白和氨基酸	44.5	Nose 和 Arai (1972)
大口黑鲈	酪蛋白和浓缩鱼 蛋白	40	Anderson 等 (1981)
遮目鱼	酪蛋白	40	Lim 等 (1979)
鱈	鲑鱼肉	50	Cowey 等 (1972)
东方豚	酪蛋白	50	Kanazawa 等 (1980)
虹鳟	鱼粉、酪蛋白、 明胶和氨基酸	40	Satia (1974)
真鲷	酪蛋白	55	Yone (1976)
小口黑鲈	酪蛋白和浓缩 鱼蛋白	45	Anderson 等 (1981)
乌鳢	鱼粉	52	Wee 和 Tacon (1982)
红大马哈鱼	酪蛋白、明胶 和氨基酸	45	Halver 等 (1964)
条纹石斑	鱼粉和大豆蛋白	47	Millikin (1983)
蓝罗非鱼	酪蛋白和清蛋白 (鸡卵)	34	Winfree 和 Stickney (1981)
莫桑比克罗非鱼	白鱼粉	40	Jauncey (1982)
尼罗罗非鱼	酪蛋白	30	Wang 等 (1985)
齐氏罗非鱼	酪蛋白	35	Mazid 等 (1979)
黄条鲷	沙鳗和鱼粉	55	Takeda 等 (1975)

1.2.2 氨基酸需求

到目前为止, 已证明所有试验鱼类的必需氨基酸均为十种 (精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸), 必需氨基酸需要量主要根据剂量效应曲线测定, 效应指标为增重。试验使用不同类型的化学成分确定饲料、纯化饲料和天然原料饲料来设计氨基酸的浓度梯度。大多数研究使用混合氨基酸或氨基酸与酪蛋白和明胶混合物的实验饲料, 除试验氨基酸外这些成分按一定配方组成来模拟与参照蛋白 (如鸡蛋蛋白和鱼体蛋白) 相一致的必需氨基酸组成。对大多数鱼类来说, 在氨基酸组成相似条件下, 鱼类摄食添加大量游离氨基酸的饲料, 其生长率低于摄食由蛋白质提供氨基酸的饲料 (Wilson 等, 1978; Robinson 等, 1981; Walton 等, 1982, 1986), 因此, 上述方法测定的氨基酸需要量是在低于正常生长的基础上测定的。

表 1-3 大鳞大马哈鱼幼鱼的氨基酸需求

氨基酸	饲料蛋白 含量(%)	需要量		饲料类型	参 考 文 献
		以饲料蛋 白计(%)	以饲料干 基计(%)		
精氨酸	40	6.0	2.4	化学成分确定饲料	Klein 和 Halver(1970)
组氨酸	40	1.8	0.7	化学成分确定饲料	Klein 和 Halver(1970)
异亮氨酸	41	2.2	0.9	化学成分确定饲料	Chance 等(1964)
亮氨酸	41	3.9	1.6	化学成分确定饲料	Chance 等(1964)
赖氨酸	40	5.0	2.0	纯化饲料	Halver 等(1958)
蛋氨酸 ^a	40	4.0	1.6	化学成分确定饲料	Halver 等(1958)
苯丙氨酸 ^b	41	5.1	2.1	化学成分确定饲料	Chance 等(1964)
苏氨酸	40	2.2	0.9	化学成分确定饲料	DeLong 等(1962)
色氨酸	40	0.5	0.2	化学成分确定饲料	Halver 等(1965)
缬氨酸	40	3.2	1.3	化学成分确定饲料	Chance 等(1964)

a——饲料中含 1.0% 胱氨酸。

b——饲料中含 0.4% 酪氨酸。

测定必需氨基酸需求其它方法包括使用和鱼所需要的氨基酸组成相距较大的蛋白质如玉米醇溶蛋白 (Dabowski, 1981) 或玉米蛋白 (Halver 等, 1958; Ketola, 1983), 然后添加少量结晶氨基酸, 使饲料中除某种氨基酸不足外, 而其它氨基酸组成平衡。应用这种方法时, 主要考虑, 试验饲料的蛋白消化率、氨基酸利用率和运输速度及添加的游离氨基酸与蛋白质氨基酸的吸收差异, 同时还应考虑到不平衡蛋白某种含量过高的氨基酸如亮氨酸可能抑制其它氨基酸的同化作用。

Ogino (1980) 测定了鲤鱼和虹鳟体蛋白中必需氨基酸的保留量, 并应用饲养 14~28 天后鱼体必需氨基酸的增加量来估计鱼必需氨基酸的需要量。这种方法假定生长幼鱼的维持需要量低 (虽然这种假设很难圆满解释只有 30%~40% 的饲料氮被保留在体内这一事实), 所以鱼体增重部分的氨基酸模式是鱼氨基酸需求的主要决定因素。

表 1-4 鲤鱼幼鱼氨基酸需求

氨基酸	饲料蛋白 含量(%)	需要量		饲料类型	参 考 文 献
		以饲料蛋 白计(%)	以饲料干 基计(%)		
精氨酸	38.5	4.3	1.6	化学成分确定饲料	Nose(1979)
组氨酸	38.5	2.1	0.8	化学成分确定饲料	Nose(1979)
异亮氨酸	38.5	2.5	0.9	化学成分确定饲料	Nose(1979)
亮氨酸	38.5	3.3	1.3	化学成分确定饲料	Nose(1979)
赖氨酸	38.5	5.7	2.2	化学成分确定饲料	Nose(1979)
蛋氨酸 ^a	38.5	3.1	1.2	化学成分确定饲料	Nose(1979)
苯丙氨酸 ^b	38.5	6.5	2.5	化学成分确定饲料	Nose(1979)
苏氨酸	38.5	3.9	1.5	化学成分确定饲料	Nose(1979)
色氨酸	38.5	0.8	0.3	化学成分确定饲料	Nose(1979)
	42	0.3	0.1	纯化饲料	Dabrowski(1981)
缬氨酸	38.5	3.6	1.4	化学成分确定饲料	Nose(1979)

a——饲料中缺乏胱氨酸

b——饲料中缺乏酪氨酸, 饲料中含 1% 酪氨酸时, 苯丙氨酸需求为 3.4% (以蛋白计) 或 1.3% (以干基计)