

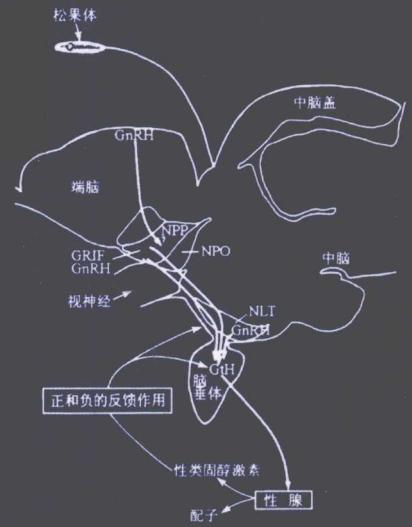
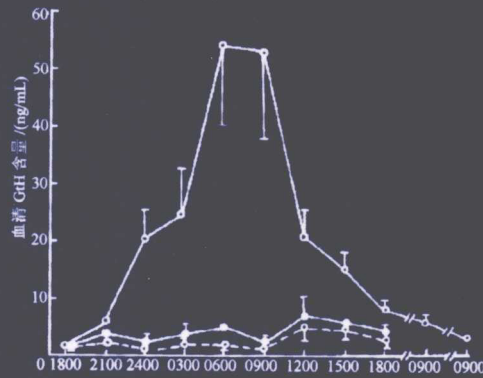


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# Fish Physiology

# 鱼类生理学

林浩然 © 编著



中山大学出版社

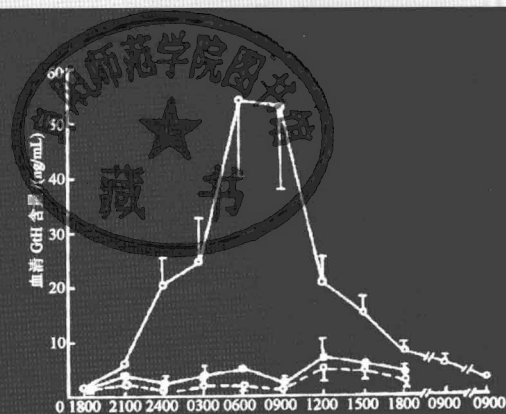
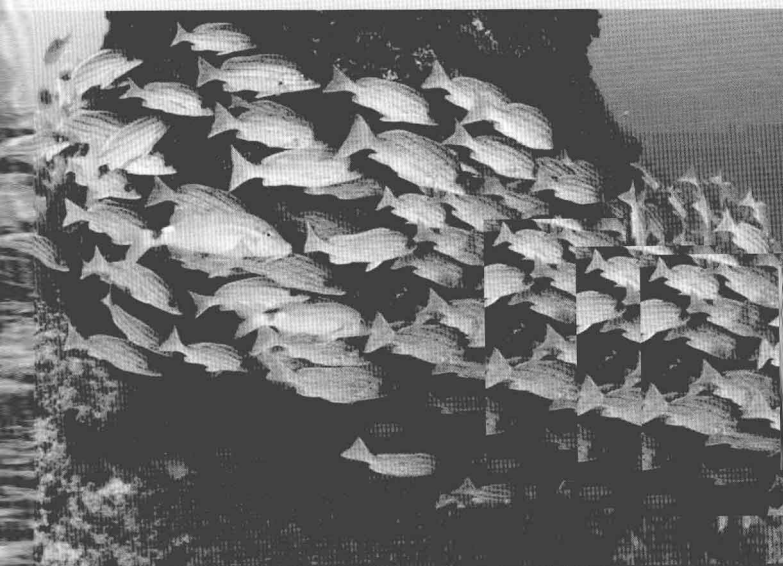


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# Fish Physiology

# 鱼类生理学

林浩然◎编著



中山大学出版社

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

鱼类生理学/林浩然编著. —广州: 中山大学出版社, 2011. 3  
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)  
ISBN 978 - 7 - 306 - 03821 - 0

I. 鱼… II. 林… III. 鱼类学: 生理学 IV. Q959. 405

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 250324 号

---

出版人: 祁 军

策划编辑: 周建华

责任编辑: 周建华

封面设计: 曾 斌

责任校对: 海 生

责任技编: 黄少伟

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84111997, 84113349, 84110779

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传 真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: [zdcbs@mail.sysu.edu.cn](mailto:zdcbs@mail.sysu.edu.cn)

印 刷 者: 广州中大印刷有限公司

规 格: 787 mm × 1092 mm 1/16 31.5 印张 750 千字

版次印次: 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 3000 册 定 价: 49.80 元

---

如发现本书因印装质量影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

## 内 容 简 介

本书综合当前鱼类生理学的研究成果，系统介绍鱼类在不同环境条件下身体各个系统的生理功能特点和变化情况，并与鱼类养殖生产实际紧密联系。全书包括营养生理、摄食和消化生理、呼吸生理、代谢与生长、血液和血液循环生理、排泄和渗透压调节、生殖生理、内分泌生理、免疫、神经生理、感觉器官及其生理功能等共11章，约80万字，插图200多幅。本书内容充实而新颖，理论性与应用性兼顾，适合于综合性大学以及农业、水产和师范院校生物学科高年级本科生和研究生学习与参考，亦可供中学与中专生物学和水产养殖教师以及农业、动物、水产、环保、生物工程、医药等方面的研究人员和科技工作者参考。

## 新版说明

鱼类生理学是动物生理学或比较动物生理学的一个重要分支学科，也是一门正在蓬勃发展的新兴学科。鱼类生理学不仅在学术理论方面有重要意义，而且与环境保护、医药卫生、生物工程等方面有密切联系，特别是对鱼类捕捞和养殖生产的发展有重要的指导作用。近40年来，国外特别是欧美和日本的鱼类生理学研究有很大发展，继20世纪60年代初英国的M. E. Brown编辑出版《鱼类生理学》(*The Physiology of Fishes*) (上、下册)之后，从60年代末开始，加拿大的W. S. Hoar和D. J. Randall又编辑出版了一系列的《鱼类生理学》(*Fish Physiology*)，至今已经出版20多卷，综合和评述到20世纪末鱼类生理学的主要研究成果。我国鱼类生理学的研究进展比较缓慢，发表的论著也不多，与国外相比有很大差距，很有必要在今后加强这方面的教学、科学研究和人才培养工作。

作者于1979—1981年在加拿大不列颠哥伦比亚大学(University of British Columbia)动物学系W. S. Hoar教授和D. J. Randall教授的实验室以及阿尔伯特大学(University of Alberta)动物学系R. E. Peter教授的实验室进修鱼类生理学并开展这方面的研究工作。回国后于1982年4月至6月与D. J. Randall教授一起在中山大学举办了一期鱼类生理学短期讲习班，全国各地有40多位学者参加；并编写《鱼类生理学专题》讲义，概括介绍了当时鱼类生理学主要领域的研究进展。在此基础上，从1984年起我们在中山大学动物学专业鱼类学选课组的本科生和鱼类生理学研究方向的研究生中开设了“鱼类生理学”课程及实验，编写了《鱼类生理学》和《鱼类生理学实验技术和方法》的讲义。在20世纪90年代，一些综合性大学和师范院校的生物学专业和动物学专业，海洋大学、水产院校和农业院校的水产专业和养殖专业等都陆续开设了“鱼类生理学”课程，其中有些院校的研究生也修读鱼类生理学。为了满足当时教学、科学研究和人才培养的需要，促进我国鱼类生理学的发展，作者参照当时自己研究工作的进展，对鱼类生理学讲义作了修订和补充，正式出版了《鱼类生理学》一书。《鱼类生理学》一书的出版得到同行的关注和许多相关院校师生们的热心支持，累计印数近万册，成为我国学习与研究鱼类生理学一本较好的教材和参考书。为了提高本书的学术水平和出版质量，进一步满足广大读者的要求与期望，本书于2006年作了适当的修订工作，图书内容质量进一步提高。

2007年，本书被评为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。在接下来的两年多时间中，作者对图书内容做了较大幅度的充实与完善，主要是：增加“代谢与生长”、“免疫”两章，使全书由9章增至11章；第二章“摄食和消化生理”增加了“摄食”的新内容；每章都增添了近年来国内外取得的研究进展，并详细列出主要参考文献，使读者们进一步扩大学习和探讨的范围。

中山大学出版社总编辑周建华博士负责本书的统编和出版工作，中山大学水生经济

动物研究所秘书刘晗负责本书稿件打印，特在此对他们的辛勤劳动表示衷心感谢！

近年来，国内外的鱼类生理学研究不断取得新的进展，随着渔业生产发展的引领和相关学科发展的带动，鱼类生理学的内容和学科水平也在持续充实与提高。衷心希望本书新的版本能有助于进一步促进我国鱼类生理学的教学、科学研究和人才培养，同时欢迎广大读者和有关专家继续给予批评指正。

中山大学生命科学学院

林浩然 院士

2010年6月30日

# 目 录

- 第一章 营养生理 ..... 1
  - 第一节 蛋白质 ..... 1
    - 一、必需氨基酸及其需要量 ..... 1
    - 二、蛋白质需要量 ..... 5
    - 三、蛋白质的营养价值 ..... 6
    - 四、食物能量与蛋白质利用的关系 ..... 10
    - 五、蛋白质的代谢 ..... 12
    - 六、鱼类饲料中蛋白质的来源 ..... 13
  - 第二节 脂类 ..... 14
    - 一、鱼类脂肪酸组成及其特点 ..... 14
    - 二、必需脂肪酸的需要量 ..... 16
    - 三、必需脂肪酸在鱼体的代谢和机能 ..... 18
    - 四、鱼类饲料中脂类的适宜含量 ..... 19
  - 第三节 糖 ..... 20
    - 一、糖元的利用 ..... 20
    - 二、糖异生作用 ..... 21
    - 三、鱼类饲料中糖的适宜含量 ..... 22
  - 第四节 维生素 ..... 24
    - 一、水溶性维生素 ..... 25
    - 二、脂溶性维生素 ..... 29
  - 第五节 矿物质 ..... 31
  - 第六节 亲鱼和幼鱼饲料 ..... 33
    - 一、亲鱼饲料 ..... 34
    - 二、幼鱼饲料 ..... 35
  - 主要参考文献 ..... 37
  - 复习与思考 ..... 41
- 第二章 摄食和消化生理 ..... 42
  - 第一节 鱼类的摄食活动 ..... 42
    - 一、摄食器官和摄食方式 ..... 42
    - 二、摄食行为 ..... 42
    - 三、摄食类型 ..... 43
  - 第二节 摄食活动的调节 ..... 45

- 一、神经调节 ..... 45
- 二、内分泌调节 ..... 45
- 三、生长激素对摄食活动的影响 ..... 52
- 四、下丘脑-脑垂体-肾间腺轴调节鱼类摄食活动的作用 ..... 53
- 第三节 消化器官、消化液和消化酶 ..... 54
  - 一、消化器官 ..... 54
  - 二、消化液和消化酶 ..... 57
- 第四节 食物的消化和吸收 ..... 64
  - 一、消化 ..... 64
  - 二、吸收 ..... 65
  - 三、消化吸收率 ..... 67
- 第五节 消化道的运动 ..... 68
  - 一、消化道的神经支配 ..... 68
  - 二、消化道的运动方式 ..... 71
  - 三、消化道运动的调节 ..... 71
- 主要参考文献 ..... 75
- 复习与思考 ..... 82
  
- 第三章 呼吸生理 ..... 83
  - 第一节 鳃的构造和呼吸机能 ..... 83
    - 一、鳃的构造 ..... 83
    - 二、鳃的呼吸机能 ..... 85
    - 三、鱼类鳃呼吸机能的调节 ..... 88
  - 第二节 氧和二氧化碳在血液中的运送 ..... 92
    - 一、水和血液中氧和二氧化碳的含量 ..... 92
    - 二、氧在血液中的运送 ..... 96
    - 三、二氧化碳在血液中的运送 ..... 101
    - 四、氧和二氧化碳在血液中运送的调节 ..... 102
  - 第三节 鱼类的空气呼吸 ..... 104
    - 一、鱼类适应空气呼吸的形态构造 ..... 105
    - 二、鱼类以气鳃(肺)进行空气呼吸的血液循环 ..... 107
    - 三、鱼类空气呼吸的生理特性 ..... 108
  - 主要参考文献 ..... 111
  - 复习与思考 ..... 114
  
- 第四章 代谢与生长 ..... 115
  - 第一节 代谢 ..... 115
    - 一、代谢和能量的转换 ..... 115



二、代谢和能量的消耗·····	116
三、能量的损耗·····	126
第二节 生长·····	127
一、鱼类生长的基本特点·····	128
二、影响鱼类生长的因素·····	129
三、鱼类生长的神经内分泌调控·····	129
主要参考文献·····	144
复习与思考·····	152
<b>第五章 血液和血液循环生理·····</b>	<b>153</b>
第一节 鱼类的血液·····	153
一、血液的组成成分·····	153
二、红细胞·····	154
三、白细胞·····	156
四、血小板·····	157
五、血浆的成分·····	157
六、血液的凝固·····	158
七、溶血·····	159
八、造血器官·····	159
第二节 鱼类心血管系统的特点·····	159
第三节 心脏的构造及生理特性·····	161
一、心脏的构造·····	161
二、心脏活动的调节·····	165
第四节 鳃的血液循环·····	169
第五节 身体的血液循环·····	174
一、心脏输出量·····	174
二、血量·····	177
三、血液的分布·····	178
四、血管·····	179
五、身体血液循环的调节·····	180
第六节 对缺氧和运动的生理反应·····	184
一、缺氧（低氧）·····	184
二、运动·····	186
主要参考文献·····	188
复习与思考·····	192
<b>第六章 排泄和渗透压调节·····</b>	<b>193</b>
第一节 肾脏的排泄和渗透压调节机能·····	194

一、肾脏的结构·····	194
二、尿的形成与肾脏的排泄机能·····	196
三、肾脏的渗透压调节作用·····	201
第二节 鳃的排泄和渗透压调节作用·····	205
一、鳃上皮结构·····	205
二、鳃的排泄作用·····	207
三、鳃的渗透压调节作用·····	208
四、鳃上皮离子转运的机理·····	210
第三节 鱼类在淡水和海水中的渗透压调节·····	213
一、由淡水进入海水的调节·····	213
二、由海水进入淡水的调节·····	219
第四节 酸碱调节·····	221
一、稳定状态的酸碱调节·····	222
二、应激状态的酸碱调节·····	226
主要参考文献·····	231
复习与思考·····	236

<b>第七章 生殖生理</b> ·····	<b>237</b>
第一节 生殖方式和生殖周期·····	237
一、生殖方式·····	237
二、生殖周期·····	237
第二节 脑/下丘脑 - 脑垂体 - 性腺轴 ·····	240
一、下丘脑·····	242
二、神经垂体·····	244
三、腺垂体·····	245
第三节 促性腺激素：结构和功能·····	249
第四节 促性腺激素分泌活动的调节机理·····	256
一、下丘脑和脑垂体的神经内分泌因子·····	256
二、性类固醇激素对 GnH 分泌的反馈作用 ·····	278
三、促性腺激素分泌的周期性·····	280
四、环境因素对促性腺激素分泌的影响·····	282
五、鱼类促性腺激素亚单位基因表达的调控·····	285
第五节 性别决定和性别分化·····	287
一、性腺的早期发生·····	287
二、性别决定·····	287
三、性类固醇激素和性别分化·····	289
第六节 性腺的构造和配子形成·····	290
一、精巢和精子发育成熟·····	290

二、卵巢和卵母细胞发育成熟·····	292
三、GtH 促使性腺发育成熟的作用·····	295
第七节 性类固醇激素·····	298
一、性类固醇激素生成的组织·····	298
二、性类固醇激素在性腺发育成熟过程中的作用·····	303
第八节 性外激素和生殖行为·····	307
一、和生殖行为有关的性类固醇激素·····	307
二、第二性征·····	307
三、性外激素·····	308
四、生殖行为·····	310
主要参考文献·····	312
复习与思考·····	324
<b>第八章 内分泌生理·····</b>	<b>325</b>
第一节 鱼类内分泌系统的特点·····	325
第二节 脑垂体·····	327
一、神经垂体·····	328
二、腺垂体·····	330
第三节 甲状腺·····	339
第四节 鳃后体和钙的调节·····	344
第五节 胰岛和胃肠激素·····	347
第六节 肾上腺髓质——嗜铬组织·····	352
第七节 肾上腺皮质——肾间组织·····	353
第八节 尾下垂体·····	356
第九节 松果体·····	358
第十节 利尿钠肽·····	362
第十一节 前列腺素·····	365
主要参考文献·····	366
复习与思考·····	371
<b>第九章 免疫·····</b>	<b>372</b>
第一节 鱼类免疫系统的细胞、组织与器官·····	372
一、免疫细胞·····	372
二、免疫组织和器官·····	373
第二节 非特异性免疫系统·····	375
一、细胞免疫（防御）·····	375
二、体液免疫（防御）·····	383
第三节 特异性免疫系统·····	391

一、细胞免疫（防御）	391
二、体液免疫（防御）	395
第四节 免疫系统的个体发育	398
一、非特异性免疫的个体发育	398
二、淋巴器官的个体发育	398
三、特异性免疫的个体发育	400
四、老化对免疫系统的影响	401
第五节 免疫和内分泌的相互作用	403
一、下丘脑-脑垂体-肾间腺轴和鱼类免疫系统的相互作用	403
二、生长激素和鱼类免疫系统	405
主要参考文献	407
复习与思考	411
<b>第十章 神经生理</b>	<b>412</b>
第一节 鱼类神经系统的发生和分化	412
第二节 中枢神经系统	415
一、脑的构造和机能	415
二、脊髓的构造和机能	427
第三节 外周神经系统	429
一、脑神经	429
二、脊神经	431
第四节 自主神经系统	432
主要参考文献	436
复习与思考	441
<b>第十一章 感觉器官及其生理功能</b>	<b>442</b>
第一节 化学感受器	442
一、嗅觉器	442
二、味觉器	446
三、一般的化学感受	447
四、化学感受的生物学意义	448
第二节 机械感受器	449
一、触觉器	449
二、侧线器官	449
第三节 听觉器	453
一、内耳的构造	453
二、内耳的机能	456
第四节 光感受器	459

一、眼睛的构造·····	459
二、眼睛的机能和视觉能力·····	460
第五节 发电器官和电感受器·····	466
一、发电器官·····	466
二、电感受器·····	470
第六节 其他·····	473
一、温度的感受·····	473
二、茂氏细胞·····	474
三、气鳔·····	476
四、抗冻蛋白·····	479
主要参考文献·····	482
复习与思考·····	488



## 第一章 营养生理

自从发现维生素和微量元素，以及阐明必需氨基酸和脂肪酸之后，人们对动物的营养开始有了实质性的了解。由于人口增长引起对食物需要量的增加，也由于鱼类自然资源的减少，鱼类养殖正日益受到重视。充足的食物是鱼类快速生长的基础，因此也关系到养殖的成败。为了提供鱼类生长所需要的食物，就必须深入了解它们的营养需要。过去的研究主要集中在鲑鳟鱼类，近年来对其他鱼类，特别是鲤科鱼类也有不少的研究。本章以这两类鱼类为主要例子，对鱼类各种营养成分，特别是蛋白质、脂类、糖、维生素和矿物质的主要作用及其需要量等作一介绍。

### 第一节 蛋白质

蛋白质是食物的组分。食物蛋白质具有三方面的基本功能：维持正常的组织机能，补充损耗组织，形成新的蛋白质以维持鱼体的生长。

#### 一、必需氨基酸及其需要量

氨基酸是组成蛋白质的基本成分。根据鱼体能否合成，可将氨基酸分为必需氨基酸 (Essential Amino Acids) 和非必需氨基酸 (Non-essential Amino Acids) 两类。必需氨基酸在鱼体内不能合成，必须靠食物提供；非必需氨基酸在鱼体内可以通过生化过程合成而得到。

##### 1. 必需氨基酸的确定

确定必需氨基酸的经典方法是应用 Halver 设计的试验饲料进行投喂实验。这种试验饲料以酪蛋白 - 明胶的氨基酸组分为模式，含 18 种高纯度的氨基酸。实验时，将试验饲料中的某种氨基酸除去，代之以等量的  $\alpha$ -纤维素粉，然后将长期投喂缺少某种氨基酸的饲料的鱼与投喂氨基酸齐全的试验饲料的鱼的生长情况进行比较，便可确定哪种氨基酸为鱼体生长所必需。用这种方法成功地确定了大鳞大麻哈鱼 (*Oncorhynchus tshawytscha*) 的必需氨基酸。图 1-1 比较了投喂缺乏精氨酸的饲料和投喂氨基酸齐全的试验饲料后大鳞大麻哈鱼的生长情况。投喂氨基酸齐全的试验饲料后，鱼体重日渐上升；而投喂缺乏精氨酸的饲料后，鱼的体重没有明显变化。这就说明食物中的精氨酸对鱼的生长是必不可少的，因此是必需氨基酸。投喂缺乏组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸或缬氨酸的饲料后，鱼的生长情况也与投喂缺乏精氨酸饲料的相似，如表 1-1 所示。说明这 10 种氨基酸都是大鳞大麻哈鱼的必需氨基酸。

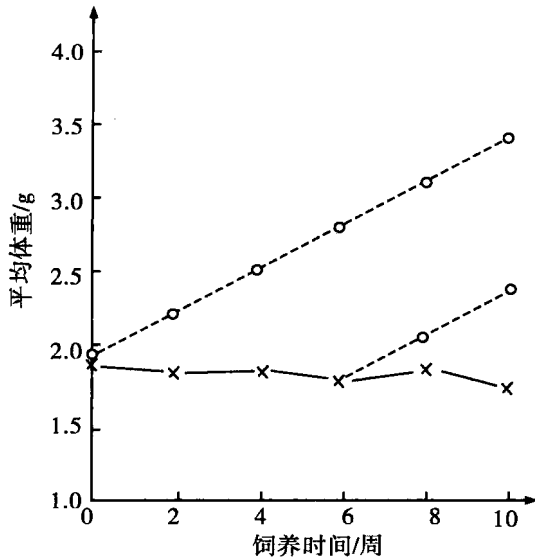


图 1-1 投喂缺乏精氨酸的饲料和投喂氨基酸齐全的试验饲料后大鳞大麻哈鱼生长情况的比较

——: 投喂缺乏精氨酸的饲料的鱼;  
 - - - -: 投喂氨基酸齐全的试验饲料的鱼  
 参考 J. E. Halver

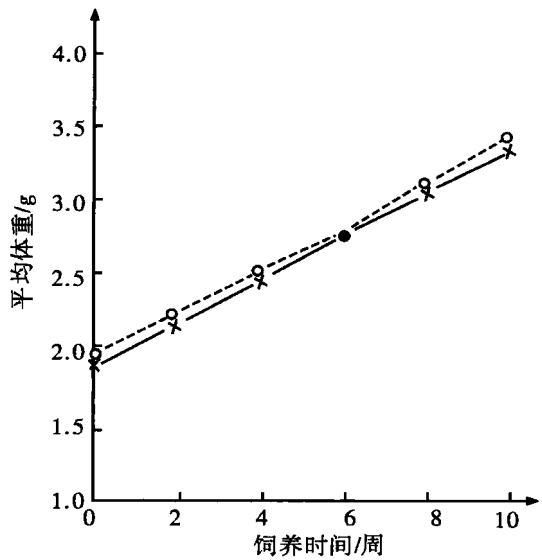


图 1-2 投喂缺乏胱氨酸的饲料和投喂氨基酸齐全的试验饲料后大鳞大麻哈鱼生长情况的比较

——: 投喂缺乏胱氨酸的饲料的鱼;  
 - - - -: 投喂氨基酸齐全的试验饲料的鱼  
 参考 J. E. Halver

表 1-1 投喂缺乏各种必需氨基酸的饲料后大鳞大麻哈鱼的生长情况

饲料	实验前 体重/g	2 周后 体重/g	4 周后 体重/g	6 周后 体重/g	8 周后 体重/g	10 周后 体重/g
缺乏精氨酸	1.88	1.84	1.86	1.76	1.84	1.71
缺乏组氨酸	1.88	1.99	2.03	2.01	1.91	1.80
缺乏异亮氨酸	1.88	1.93	1.93	1.88	1.84	1.59
缺乏亮氨酸	1.91	1.86	1.90	1.68	1.63	1.42
缺乏赖氨酸	1.87	1.94	1.96	1.86	1.86	1.81
缺乏蛋氨酸	1.88	2.00	2.05	1.99	1.83	1.82
缺乏苯丙氨酸	1.96	2.11	2.09	2.07	1.96	1.87
缺乏苏氨酸	1.90	1.98	1.96	1.95	1.97	1.97
缺乏色氨酸	1.92	1.93	1.96	1.94	1.86	1.77
缺乏缬氨酸	1.93	2.00	2.05	1.97	1.94	1.78

引自 *Fish Nutrition* (J. E. Halver)。

图 1-2 显示, 投喂缺乏胱氨酸的饲料和氨基酸齐全的试验饲料后大鳞大麻哈鱼的生长曲线。投喂两种饲料的鱼体重都增加, 生长情况相似。由此说明食物中的胱氨酸对鱼体的生长并非必不可少, 鱼体可以通过生化合成过程而得到胱氨酸, 所以它是非必需氨基酸。其他几种氨基酸, 如丙氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、脯氨酸、丝氨酸和酪氨酸的实验结果与胱氨酸相似, 如表 1-2 所示。虽然非必需氨基酸在鱼体内能合成, 但如果在饲料中存在着非必需氨基酸, 就可以减少鱼类因合成它们而需要消耗的能量, 从而可以保存能量。实际上, 饲料中非必需氨基酸的组成对鱼类获得蛋白质、脂类和能量亦有很大影响。最近对尼罗罗非鱼的研究表明, 只有投喂氨基酸组成和鱼粉相似的饲料, 鱼体质量才能增加, 生长正常; 而投喂由非必需氨基酸的前体氨基酸替代的饲料或者只含有一种非必需氨基酸即谷氨酸的饲料, 鱼体质量都没有增加, 生长停滞。这说明非必需氨基酸对罗非鱼正常生长很重要。

表 1-2 投喂缺乏各种非必需氨基酸的饲料后大鳞大麻哈鱼的生长情况

饵 料	实验前 体重/g	2 周后 体重/g	4 周后 体重/g	6 周后 体重/g	8 周后 体重/g	10 周后 体重/g
氨基酸齐全的饲料	2.00	2.26	2.48	2.78	3.10	3.42
缺乏丙氨酸	1.90	2.13	2.40	2.65	2.97	3.23
缺乏天冬氨酸	1.92	2.16	2.47	2.76	3.07	3.46
缺乏胱氨酸	1.90	2.14	2.45	2.73	3.03	3.28
缺乏谷氨酸	1.93	2.22	2.56	2.86	3.23	3.52
缺乏甘氨酸	1.89	2.11	2.47	2.83	3.11	3.33
缺乏脯氨酸	1.91	2.11	2.39	2.76	3.01	3.29
缺乏丝氨酸	1.94	2.18	2.49	2.83	3.13	3.44
缺乏酪氨酸	1.92	2.16	2.51	2.70	2.98	3.31

参考 *Fish Nutrition* (J. E. Halver)。

此外, 还可使用放射性同位素标记的方法来确定必需氨基酸。给试验鱼注射<sup>14</sup>C 标记的葡萄糖, 约经 6 d 检测排出 CO<sub>2</sub> 的放射性后, 将鱼杀死后取肌肉样品, 分离组织蛋白并水解, 将组成蛋白质的氨基酸分离提纯并测定其放射性活度。具有放射性的氨基酸是鱼体以自身已具备的物质合成的, 不是必要的食物成分, 因此是非必需氨基酸; 不具有放射性的氨基酸不是在鱼体中合成, 而是直接从食物中得到的, 为必需氨基酸。

用上述方法对各种鱼类所进行的研究表明, 鱼类的必需氨基酸是精氨酸、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。这与其他高等脊椎动物是相似的。表 1-3 归纳了这方面的研究资料。



表 1-3 具有相同的 10 种必需氨基酸的鱼类

种 类	参考文献
大鳞大麻哈鱼 ( <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> )	Halver 等 (1957)
红大麻哈鱼 ( <i>Oncorhynchus nerka</i> )	Halver 和 Shanks (1960)
虹鳟 ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	Shanks 等 (1962)
鲤鱼 ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Nose 等 (1974)
斑点鲷 ( <i>ctalurus punctatus</i> )	Dupree 和 Halver (1970)
日本鳗鲡 ( <i>Anguilla japonica</i> )	Nose (1976)
太平洋拟庸鲷 ( <i>Pleuronectes platessa</i> )	Cowey 等 (1971)
舌鳎 ( <i>Solea solea</i> )	Cowey 等 (1971)
尖吻鲈 ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )	Metuiller 等 (1973)
罗非鱼 ( <i>Tilapia zillii</i> )	Mazid 等 (1978)

## 2. 必需氨基酸的需要量

测定必需氨基酸需要量的方法是以 Halver 等设计的试验饲料为基础。试验饲料含有少量的完全蛋白（酪蛋白或明胶）和大量的结晶氨基酸。测定某种必需氨基酸的需要量时，用一组含有该氨基酸不同浓度的试验饲料投喂鱼，求得氨基酸含量与鱼体生长的对应关系。能使鱼体达到最佳生长的最低食物氨基酸含量，就是这种鱼对该氨基酸的需要量。研究者用这种方法测定了几种鲑鳟鱼类对 10 种必需氨基酸的需要量。

表 1-4 列出了几种鱼类的必需氨基酸需要量，并与哺乳类的代表动物大鼠以及鸟类的代表动物鸡作比较。由表 1-4 可见，鱼类的精氨酸需要量大大高于鼠，而与鸡相似。这是因为哺乳类中 75% 的精氨酸来自尿素循环，而鱼和鸟的尿素循环很不发达。从总的氨基酸需要量来看，鱼类比哺乳类高两倍多，比鸟类高一倍多。实际上，鱼类的蛋白质净氮保留量并不比哺乳类多，因此，它们之间氨基酸的分解代谢可能有明显不同。

必需氨基酸的需要量因鱼种类而异，如鳗鲡对异亮氨酸、色氨酸和苏氨酸等含硫氨基酸的需要量比大鳞大麻哈鱼高，而对精氨酸的需要量却比较低，因此，配制饲料时应有相应的改变。可以采取适当的途径以各种不同的食物蛋白质组合来满足鱼类对必需氨基酸的需要。对比大鳞大麻哈鱼的氨基酸需要量和常见的几种蛋白质或蛋白质组合在食物中含量为 50% 时所提供的氨基酸含量，表明除蛋氨酸和苯丙氨酸外，这些蛋白质或蛋白质组合都能提供明显过量的必需氨基酸。对植物蛋白质氨基酸成分的研究发现，除了欠缺蛋氨酸和苯丙氨酸外，还缺乏赖氨酸。植食性的草鱼幼鱼，食物中需含有 2.24%（干重计，下同）的赖氨酸才能得到最佳的生长。而肉食性的斜带石斑鱼，食物中赖氨酸的适宜含量是 2.83%。食物中如果有足够酪氨酸的话，苯丙氨酸的需要量可以降低。如日本鳗鲡在食物中缺少酪氨酸时所测定的苯丙氨酸需要量是 2.2 g/100 g 干食物，而当食物中有 2% 的酪氨酸时，苯丙氨酸的需要量可降至 1.2%；鲤鱼在没有