

通威科技创新基金资助



健康和高品质 养殖鱼用饲料添加剂



〔日〕 Heisuke Nakagawa

〔日〕 Minoru Sato 编著

〔美〕 Delbert M. Gatlin III

刘耀敏 张凤枰 刘辉芬 主译

刘静波 高 杰 主校

刘汉元 张宏福 主审

 中国农业出版社

通威科技创新基金资助

健康和高品质养殖 鱼用饲料添加剂

〔日〕 Heisuke Nakagawa

〔日〕 Minoru Sato 编著

〔美〕 Delbert M. Gatlin III

刘耀敏 张凤枰 刘辉芬 主译

刘静波 高 杰 主校

刘汉元 张宏福 主审

中国农业出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

健康和高品质养殖鱼用饲料添加剂 / (日) 中川昭一,
(日) 佐藤实, (美) 盖特林 (Gatlin, D. M.) 编著; 刘耀
敏, 张凤枰, 刘辉芬主译. —北京: 中国农业出版社,
2015. 4

ISBN 978-7-109-20074-6

I. ①健… II. ①中… ②佐… ③盖… ④刘… ⑤张
… ⑥刘… III. ①鱼类养殖—饲料添加剂 IV. ①S96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 008356 号

Dietary Supplements for the Health and Quality of Cultured Fish Edited by Hei-
suke Nakagawa, Minoru Sato, Delbert M. Gatlin III © CAB International 2007

本书简体中文版由 CAB International 授权中国农业出版社独家出版发行。本
书内容的任何部分, 事先未经出版者书面许可, 不得以任何方式或手段复制或
刊载。

北京市版权局著作权合同登记号: 图字 01-2014-4620 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 颜景辰 周锦玉

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月北京第 1 次印刷

开本: 700mm×1000mm 1/16 印张: 16.5

字数: 298 千字

定价: 50.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

译 校 人 员

(按姓氏笔画排序)

毛艳贞	刘 慧	刘汉元
刘辉芬	刘静波	刘耀敏
杜雪莉	杨发树	余 容
宋 涛	张凤枰	张宏福
赵 艳	贾 砾	高 杰
焦宝玉	雷宝良	

译者序

我国是世界水产养殖第一大国，水产养殖产量占全球的 70%。2013 年全国水产品总产量达到 6 172 万 t，连续 24 年位居世界第一；2012 年我国水产品出口量 380. 12 万 t，出口额 189. 83 亿美元，占农产品出口总额的 30%，连续 11 年位居全球首位。水产饲料行业为此作出了巨大贡献，通威股份有限公司作为参与者、推动者感到自豪。但近年来出现的出口对虾氯霉素问题、硝基呋喃事件、福寿螺事件，不断困扰着整个水产行业，其中饲料安全问题尤为凸显。面对这一系列问题，如何保证水产饲料的质量安全，提高水产养殖的水平，最终确保持续养殖鱼的质量安全是整个行业急需解决的问题。因此，开发绿色、环保、高效的饲料添加剂，全面开展水产养殖动物营养研究，对提高饲料利用率，减少养殖鱼类的氮磷和微量元素排放造成的水体污染，促进水产养殖行业可持续发展，提高养殖鱼产品品质具有积极意义。

通威股份有限公司是农业产业化国家重点龙头企业。作为全球最大的水产饲料生产企业，通威股份有限公司积极依托“农业部水产畜禽营养和健康养殖重点实验室”，组织公司技术团队的 13 名博士、硕士精英，在农业部动物营养与饲料学科群重点实验室副主任张宏福研究员的指导下，翻译完成了中川昭一（Heisuke Nakagawa）〔日〕、佐藤实（Minoru Sato）〔日〕、D. M. 盖特林（Delbert M. Gatlin III）〔美〕三位教授编著的 *Dietary Supplements for the Health and Quality of Cultured Fish*（《健康和高品质养殖鱼用饲料添加剂》英文版）（CABI，2007）。本书论述了微量营养元素及来源于植物、动物和微生物的其他有效物质对养殖鱼类的品质和健康影响，讨论了评估养殖鱼类品质、健康和抗病力的方法，并提出营养基因组学是水产动物营养学科提高鱼类品质的研究方向。相信本书会对水产研究人员、

水产养殖户、饲料企业技术人员有一定帮助。

在此对原书作者中川昭一教授、佐藤实教授、D. M. 盖特林教授，张宏福研究员，刘静波、高杰，以及通威技术团队付出的辛勤劳动表示衷心感谢！

刘汉元

2014 年 11 月 18 日

前 言

鱼类是优质的蛋白质和脂肪来源，特别是其所含的不饱和脂肪酸对人类健康具有诸多益处。伴随着对某些疾病的暴发和流行可能与摄入畜禽肉相关的焦虑，以及吃鱼有益健康观点的广泛传播，水产品将成为全世界越来越重要的食品来源。

在过去的 20 多年里，关于营养对鱼类生长速度和饲料转化效率影响的研究已取得巨大进展，从而促进了多种鱼类的规模化养殖。总体而言，以鱼类的存活率和生长性能作为评定指标，学者们研究评估了日粮中鱼类所需营养成分的种类和数量，发现鱼类的存活率和生长性能主要与日粮中常量有机营养物质（如碳水化合物、蛋白质、脂类，不考虑这些成分的交互作用）的生物学效价（消化率）和含量密切相关。近年来，鱼类健康和鱼肉品质逐步成为水产养殖的研究热点，相应地，各种饲料添加剂被用于研究改善鱼类健康和鱼肉品质，且部分研究结果已在养殖户的实际应用中得到证实。

本书围绕当前关于非常量营养元素，如微量营养元素，以及来源于植物、动物和微生物的其他有效物质对养殖鱼类的品质和健康影响的研究进展进行论述。本书关于各种物质营养价值的报道主要来源于已发表的文献、在学术会议上宣读的未发表数据，以及与研究人员的沟通。尽管某些饲料添加剂在没有科学试验数据支撑其功能的情况下已被用于水产养殖，但本书将着重介绍那些已被水产养殖户证实有效或在哺乳动物研究上已取得显著功效的物质。

本书第 1、2 章讨论如何评估养殖鱼类的品质、健康状况和抗病力。虽然许多国家已建立起成熟的捕捞后水产品评价体系，但养殖户仍需具有捕捞前水产品品质的评估和控制技术。这些技术通过均

衡营养以保证鱼类正常的代谢和生理活动，从而生产出健康的高品质鱼。由于评价鱼类品质需要分别评价诸如口感、香味、肉质的软硬、鱼皮和肌肉颜色，以及化学组成（蛋白质和脂肪）等指标，因而所需要的水产品品质评估和控制技术可能比较复杂。本书所总结的内容同样也是基于多种评价生理状态的方法，其中包括血液学、血清学、酶学、生化成分、组织学观察、抗病力、抗逆性和生理活动。

尽管影响养殖水产品能否满足消费者期望的主要因素包括鱼的品种，消费者的文化、习俗和烹饪方式等，但在全世界范围内建立标准化的水产品品质评价体系并非没有可能。

本书第3~6章重点介绍必需营养元素。日粮应该包含适量的所有必需营养元素，以保证最高的生长速度和饲料利用率。必需营养元素的需求如氨基酸、脂肪酸、维生素和矿物质等已在许多种鱼类上建立起来，并且这些营养物质已经以适当的含量添加在商品饲料中。这些营养元素不仅用于满足鱼类最佳生长性能的需要，还对鱼类生理功能和健康，比如新陈代谢、生命力和抗病力具有显著影响。添加适量的某些饲料添加剂可能会进一步改善鱼类健康和胴体品质。

本书的第7~12章讨论来源于微生物、植物和动物的饲料添加剂。部分上述物质可调节鱼类的新陈代谢和生理活动。尽管上述饲料添加剂的试验研究结果已被用于鱼类养殖，但这些物质的功能并未完全弄清。这些章节从养殖户和消费者的角度出发，基于生化和生理指标，探讨如何改善鱼类的健康状况和品质。

本书第13章提出营养基因组学是水产动物营养学将来用于提高鱼类品质的新方向。新技术和方法的应用将会推动饲料添加剂作用机制的进一步研究。饲料添加剂的经济效益和安全性为本书最后一章，即第14章。消费者对鱼类品质的看法主要集中在其安全性和价格上。在养殖环节为了提高鱼品质所增加的额外成本，必须与消费者的可接受程度进行平衡，而鱼类养殖技术必须让消费者放心。

相信本书可作为水产研究人员、水产养殖户、饲料工程师和在

校学生的工具书。我们同时希望本书可拓宽水产养殖技术不同方面的知识。

本书部分内容来自日本水产学会（JSFS）的日文版书《微量营养素和养殖鱼类的健康》中的文章。该书是2003年4月在日本东京举行的学术会议论文集。相对于日文版而言，我们打算出版在内容、图表、数字和参考文献方面更加丰富的英文版。因此，经日本水产学会（JSFS）的批准后，本书顺利出版。

最后，我们要感谢所有编者的精诚合作和CABI蒂姆·哈德韦克的鼓励。

中川昭一 博士

佐藤实 博士

D. M. 盖特林 博士

（刘耀敏 译 张宏福 校）

目 录

译者序

前言

I	养殖鱼类的品质和健康	1
1	养殖鱼类的品质评价	
	Heisuke Nakagawa	3
2	鱼类健康评价	
	Masashi Maita	13
II	必需营养成分	39
3	维生素	
	Shunsuke Koshio	41
4	氨基酸与多肽	
	Toshio Takeuchi	53
5	脂质	
	Manabu Ishikawa	70
6	矿物元素	
	Shuichi Satoh	81
III	天然物质	93
7	微生物	
	Toshiki Nakano	95
8	陆生植物	
	Minoru Sato	120
9	藻类	
	Heisuke Nakagawa, W. Linn Montgomery	143

10	几丁质	
	Heisuke Nakagawa	177
11	植物皂苷	
	George Francis , Klaus Becker	187
12	核苷酸	
	Delbert M. Gatlin III , Peng Li	201
IV	将来的发展方向.....	219
13	营养基因组学	
	Stéphane Panserat, Séverine Kirchner, Sadasivam J. Kaushik	221
14	经济学与食品安全	
	Fumio Sakamoto	241
	译后记.....	249

I 养殖鱼类的品质和健康

1

养殖鱼类的品质评价

Heisuke Nakagawa

(广岛大学生物科学研究生院, 广岛东区 739-8528, 日本)

在过去的 20 年里, 业界建立了许多有关提高鱼的生长速度和饲料转化率的规模化渔业生产技术, 但有关鱼品质方面 (这可能影响鱼的市场价值) 的研究工作较少。评价养殖鱼类质量的标准除了包括鱼的生长速度和饲料利用率外, 还包括肉质、保鲜期、色度 (肉和皮肤)、新陈代谢、抗病力、应激反应和身体活力。在评估养殖鱼类品质时, 关于影响生长性能的因素必须予以考虑而不能被忽视。此外, 鱼的品质 (包括胴体品质和生理状态) 应在鱼的最佳生长性能下进行评估。

饲养过程受日粮组成、养殖密度、养殖环境、应激情况和疾病等因素影响, 从而影响鱼的生长速度和饲料转化率。目前, 优质不优价是导致养殖户未设法改善鱼类品质的主要原因。但是在未来, 水产品市场的国际化可能要求更高的产品质量。本章概述了与饲料添加剂相关的质量管理在养殖鱼类中的应用, 包括许多非必需营养性饲料添加剂在鱼类养殖中的应用。在鱼类养殖中合理地使用饲料添加剂可产生明显的改善效果, 但部分添加剂的过度使用可能会产生负面效应。各种饲料添加剂对养殖鱼类的影响将会在第3~12章介绍。

1.1 胴体品质及风味的评价

感官评价鱼肉的标准受鱼的种类、地区、烹调方法和季节的影响。作为胴体品质的主要指标, 胴体所含脂质和蛋白质的数量和质量特性均不能被忽视。与野生鱼相比, 养殖鱼通常具有更高的脂肪含量和嫩度。蛋白质组成是影响鱼肉硬度和维持鱼肉新鲜度的重要因素。

饲料添加剂螺旋藻对鱼感官评价的影响就是建立在分析游离氨基酸 (Liao 等, 1990; Watanabe 等, 1993) 和胴体组成的基础之上 (Nandeeshha 等, 1998)。鲢日粮中添加绿藻提取物后, 鲢的风味及肉质纹理等感官指标得到改善 (Nakagawa 等, 1985)。

1.1.1 肌肉蛋白

肌肉蛋白是影响诸如鱼胴体品质等物理特性的重要因素。Z 线肌纤维不牢固导致养殖鱼肉强度低于野生鱼肉。Z 线肌纤维强度也许能在养殖过程中通过锻炼得到改善。肌肉蛋白的强度可由 Lavéty、Love (1972) 和 Ando 等 (1991, 1992) 提出的方法评估。Ando 等 (1992) 指出肌肉强度与细胞周围结缔组织中胶原纤维的密度和排列有关。肉的基质部分所含胶原蛋白有助于生鱼片肉质硬化, 而烹饪过程中的加热可使胶原蛋白溶解, 从而嫩化鱼肉。众所周知, 维生素 C 是在胶原蛋白合成中使脯氨酸羧基化变成羟脯氨酸的辅助因子。从感官评估中可以观察到, 螺旋藻和儿茶素提高了肉的基质部分、肉质硬度、红鲷鱼的风味 (Mustafa 等, 1994)。这些结果与 Liao 等 (1990) 在黄带拟鲈上得出的研究结果一致。由于多酚类物质对维生素 C 代谢具有增强效应 (Bai 和 Gatlin, 1992; Nakagawa 等, 2000), 因此日粮补充多酚类物质也许可改善胴体品质 (Tanimoto 等, 1993; Nakagawa 等, 2000)。

蛋白质沉积可结合 RNA/DNA 的比例 (作为评价蛋白质合成的参数) 和酸性蛋白酶活力 (作为评价蛋白质降解的参数) 进行综合评定 (Mustafa 等, 1995)。Yone 等 (1986) 以血浆游离氨基氮和血糖浓度作为指标, 研究了日粮海藻添加物对蛋白质和碳水化合物消化率的影响。

1.1.2 脂类和脂质代谢

过剩能量主要以甘油三酯形式作为脂肪储备贮存在肌肉、肝脏、骨骼和脂肪组织中。脂肪沉积的位置取决于鱼的种类。过多脂肪沉积在鱼类不可食用部位不仅损害消费者利益, 并且造成大量饲料能量的浪费。鱼的风味和嫩度可能受脂质含量、脂质组成和脂肪酸种类的影响。甘油三酯是决定鱼肉风味的基本要素和重要因素, 但鱼肉品质和脂肪酸组成是否显著相关尚不明确。

养殖鱼的肌内脂肪含量和脂肪细胞中脂肪含量通常高于野生鱼, 原因在于养殖鱼喂食过多及缺乏运动。虽然肌内脂肪含量是影响风味的重要因素, 但并不应该追求过高或过低的肌内脂肪含量。因此, 调控脂肪沉积量应是控制品质的一个重要因素, 但限制脂肪沉积不应以抑制生长速度和降低饲料报酬作为代

价。脂肪沉积量取决于脂肪生成和脂肪分解之间的平衡。来源于过剩能量的贮存脂肪应首先作为能量来源被利用,但在营养不均衡条件下以癍痕瘤和脂褐质形式贮存的脂肪无法作为能量被利用。贮存脂肪的有效性可用短暂饥饿状态来评估。饥饿所诱导的鱼体质变化直接反映脂肪分解活力;在需要能量时,贮存的脂肪应在肌肉蛋白转换成能量之前首先转变成能量。在食物缺乏时,若肌肉蛋白代替贮存的脂肪提供能量,肌肉蛋白的消耗必然导致体重大幅下降。同时,肌肉蛋白的减少可导致鱼的体力下降和死亡率增加。脂肪细胞的脂肪分解活力可由体外试验测定(Nematipour等,1990),而脂质过氧化分析被用于评估添加剂的效果(Bai和Gatlin,1992;Nakagawa等,1997;Ji等,2003b)。

催化贮存的脂肪作为能量来源的能力可能受饮食习惯的影响。由短期饥饿诱导的体重下降可通过改善营养状况得到缓解,并用来作为代谢指标(Nakagawa等,1993)。脂肪沉积可通过强化维生素C(Ji等,2003a、b)和海藻(Nakagawa,1985;Mustafa和Nakagawa,1995)进行调控。多不饱和脂肪酸(HUFA)是维持海水鱼类正常生长性能和生理活动的必需营养物质,Om等(2003b)用饥饿试验研究了强化多不饱和脂肪酸(HUFA)对脂肪分解活力的影响。脂肪合成和分解过程受所沉积脂质中脂肪酸组成的影响(Jeziarska等,1982),因此,调控脂肪酸组成可能是影响脂质代谢的关键。

肉毒碱参与长链脂肪酸的 β 氧化。肉毒碱生物合成的羰基化反应需要维生素C作为辅助因子。通过强化维生素C积累的肉毒碱可促进脂质分解(Miyasaki等,1995;Nakagawa等,2000)。因此,抗坏血酸盐、肉毒碱、脂质分解酶的活力均可用于作为评价脂质分解活力的有效指标。

对血清成分和酶活力的分析可用于评价添加剂对脂质代谢的影响(Nakagawa等,1982,1985,2000;Mustafa等,1997)。血清成分如总脂质、游离脂肪酸、非蛋白氮和氨基氮常用于评价鱼的生理状态(Nakagawa等,1985)。

1.2 肌肉和皮肤的颜色

鱼的肌肉和皮肤颜色直接影响市场价值。肌肉颜色主要受肌红蛋白、血红蛋白、类胡萝卜素和黑色素的影响。肌红蛋白和类胡萝卜素的沉积可用微量营养素来控制。类胡萝卜素作为有效的抗氧化剂,除影响色素沉积外,还可缓解氧化应激。香鱼(Mori等,1987)和条纹鱼(Okada等,1991)的皮肤可以用螺旋藻中所含类胡萝卜素着色。比目鱼的皮肤颜色异常可通过亲鱼和幼鱼的

营养方案来解决。

1.3 生命力及应激反应

鱼的肝脏功能可用酒精麻醉后的恢复时间来评估 (Hilton 和 Dixon, 1982)。这种方法已用于研究日粮藻类 (Nakagawa 等, 1992; Nakagawa, 2004)、月桂酸 (Ji 等, 2005)、几丁质 (Om 等, 2003a)、二十碳五烯酸 (EPA) 和二十二碳六烯酸 (DHA) (Om 等, 2003b) 对真鲷和黑鲷肝脏功能的影响。

鱼的胰腺功能可用葡萄糖耐受试验进行评估, 香鱼血清中葡萄糖浓度受日粮绿藻提取物添加的调控 (Nakagawa 等, 1992)。

许多胁迫条件, 如缺氧、装卸和运输、高密度养殖和空气浸渍, 在养殖过程中或多或少不可避免。对鱼的缺氧耐受力可采用 Nakagawa 等 (1984) 的方法进行评估。该方法是把鱼放入一个充满氧饱和水的密闭容器中保持一段时间, 通过观察氧张力和不能保持正常垂直方向的鱼的数量来评价鱼的缺氧耐受力。该方法已用于评价藻类 (Nakagawa, 2004) 和几丁质对鱼的影响 (Om 等, 2003a)。对暴露在空气中鱼的敏感性定义如下: 把鱼装在网兜内暴露于空气中一段时间后再放回含饱和氧气的水中, 鱼体恢复时间从濒临死亡时开始计算。日粮添加不饱和脂肪酸 (Om 等, 2003b), 月桂酸 (Ji 等, 2005)、藻类 (Nakagawa, 2004) 和维生素 C (Ji 等, 2003b) 可缩短鱼的恢复时间表明, 上述添加剂具有改善鱼生理状况的作用。日粮添加维生素 C 对海鲷鱼缺氧耐受反应的影响在前期已有研究报道 (Henrique 等, 1998)。

鱼对盐的耐受力被用于评估饲料添加剂对幼鱼的影响 (Furuita 等, 1999; Kolkovski 等, 2000)。Li 等 (1998) 在高密度养殖胁迫条件下, 研究了强化维生素 C 日粮对斑点叉尾鲷的影响。高温、低盐和缺氧等应激因素被用于研究日粮添加磷脂对鱼生长性能和抗应激能力的影响 (Tago 等, 1999)。

1.4 生活习性

各种饲养条件如高密度和营养不良会影响鱼的行为。鱼的集群行为被用于评估日粮添加维生素 C 对香鱼 (Koshio 等, 1997) 和五条鲈 (Sakakura 等, 1998) 的影响, 以及日粮添加多不饱和脂肪酸 (HUFA) 对太平洋马鲛 (Masuda 等, 1998, 2001) 的影响。