

温水鱼类和有壳水生动物 的营养需要

美国温水鱼类营养分组委员会 等编

王国思 陈志明

主译

实用水产技术编辑部

一九八八年

温水鱼类和有壳水生动物的营养需要

主译：王国恩 陈志明

翻译： 吴尚忠 许政暇 刘金月 马 强
张耀林 陈光美 关 心 常 青
张惠玉 周春虹 于信文 刘海波
申新平 佟俊江 姚 岚 陈志明
王国恩

发行：大连水产学院情报资料室

印刷：大连船舶服务公司印刷公司

前 言

由于温水鱼类营养领域研究的不断深入,我们考虑对国家科学委员会(NRC)出版的《温水鱼类营养需要》(NRC;华盛顿,1977年版)一书进行修订和增补。温水鱼类营养分组委员会斟酌早期版本的范围,认为有必要对原版的范围和内容做某些充实。因此,本报告的基础知识资料要比1977年版本的多得多,现在的版本还包括有壳水生动物。本版本的题目能反映出种类范围的扩大。

经验和实验结果表明,温水鱼类的营养需要十分相似,本版本提供的资料可用于尚无报导的类似鱼种饵料的配制。尽管有壳水生动物近亲科的总营养需要相同,但有壳水生动物之间及其与鱼类之间在营养需要上有着某些明显差异。

为简便起见,与美国和加拿大鱼类俗名和学名名录(美国水产学会,马里兰州,贝塞新达,1980)相符的俗名适用于北美种,其它俗名或必要时列举的学名取自有关这些种的引用文献。附表1示出本书中出现的鱼类俗名或学名。除非另有说明,鱼类一词系指有鳍水族和有壳水生动物。

分组委员会向下列人员致谢:农业委员会执行秘书Philip Ross和参谋Selma P. Baron,他们在本研究报告编写中提出了建议和帮助;动物营养委员会会员们;美国鱼类及野生动物管理局Harry Dupree;日本国家农业研究所竹志村井,他对于分组委员会的意见和指导作出了重要评论。我们还特别感谢担任本研究报告的评论员华盛顿大学John E. Halver。

温水鱼类营养分组委员会

ROBERT R. STICKNEY, Chairman

Texas A & M University

JOHND. CASTELL

Government of Canada

Eisheries and Oceans

BONALD W HABDY

University of Washington

H. GEORGE KETOLA

U.S. Fish and Wildlife Service

RICHARD T. LCVELL

Auburn University

ROBERT P. WILSON

Mississippi State University

内 容 简 介

这本书是美国温水鱼类营养分组委员会、动物营养委员会、农业委员会和国家科学研究委员会协作研究的关于鱼类和有壳水生动物（螺、贝、虾、蟹）营养的基础和应用研究的最新科学成果。全书包括饵料需要量、可消化性和吸收率、饲育实践、饵料配制和加工、其它饵料成分、抗营养因子以及饵料组成等。本书主要供生态学、鱼类学、水生生物学工作者和有关专业师生及水产养殖业广大管理和科技人员、专业户参考。

目 录

1. 导言	(1)
2. 饵料需要量	(2)
蛋白质和氨基酸	(2)
能量	(3)
脂类	(11)
碳水化合物	(17)
维生素	(19)
无机物	(30)
引用文献	(39)
3. 消化率和吸收率	(66)
消化酶	(66)
消化率的测定	(67)
温水鱼类和有壳水生动物的消化率	(69)
引用文献	(70)
4. 饲养实践	(75)
引用文献	(77)
5. 饵料配制和加工	(79)
实用饵料	(79)
半精制研究饵料	(81)
引用文献	(85)
6. 其它饵料成分	(87)
水	(87)
饵料 pH	(87)
激素	(87)
抗菌素	(88)
纤维	(89)
颗粒饵料粘合剂	(89)
抗氧化剂	(89)
色素	(90)
引用文献	(92)
7. 抗营养因子	(97)

饵料中正常存在的抗营养因子.....	(97)
饵料天然污染引起的抗营养因子.....	(99)
重金属.....	(107)
与脂类有关的人为污染物.....	(109)
引用文献.....	(111)
8. 饵料组成.....	(122)
国际命名法.....	(122)
国际饵料等级.....	(122)
国际饵料编号.....	(123)
资料.....	(123)
引用文献.....	(123)
附表.....	(124)

1 导 言

众所周知,除了特殊情况外,饵料是构成养殖鱼类和有壳水生动物从放养尺寸到商品尺寸的主要生产成本。从五十年代开始研究温水鱼类营养需要以来,最近又以快步速伐对虾类和其它有壳水生动物的营养需要进行研究。这些研究的目的之一,就是帮助配制饵料和加工饵料。作为关于鱼类和有壳水生动物营养的这种基础研究和应用研究的结果,和几年前的实用饵料相比,现代饵料具有更完全的营养和更高的利用率。

虽然很多水产养殖学家尝试在池塘里通过施肥以增加天然饵料的供应,但对配制水产动物饵料的要求和需要仍在继续增加。本研究报告的目的在于:不断更新和扩大我们对温水鱼类和有壳水生动物营养需要的知识,并提供有关饵料配制、饵料加工和现今通用的饲养实践的情报。我们试图提供足够的基本情报,以便让那些在营养方面知识有限的人们更好地了解所提供的资料。本研究报告将对国家科学研究委员会的研究报告《冷水鱼类的营养需要》(NRC;华盛顿,1981年版)是一个补充。

温水鱼类和有壳水生动物是属于那些具有最佳生长温度(25~30°)的淡水和海水种类。所讨论的大多数种类是为了食品、游钓或观赏目的而饲养的。涉及的大部分材料是斑点叉尾鲷和鲤鱼(见附表1,鱼类学名),因为这两种鱼是温水鱼类营养学家最注意研究的对象。

然而,最近几年还进行了有关具有养殖潜力的其它种类鱼类的研究。此外,某些营养信息对养殖有壳水生动物,其中包括淡水和海水虾类也颇有裨益。

文献中常混淆shrimp和prawn两个术语。习惯用前者叙述咸水虾类,用后者叙述淡水虾类。然而,实践中广为接受的、本研究报告经过适当修改的用法是:名词shrimp系指海水和淡水虾类,而prawn则指任何大型虾类。

值得注意的是,本研究提出的营养需要一般说来是在最佳养殖条件下满足正常生长的最低值。这种需要不包括将异常的水质条件、养殖方法、加工损失或饵料贮藏损失计算在内的安全系数。上面推荐的这些营养水平在次于最佳条件下也适用。当大量天然饵料耗尽时,满足最低水平营养需要的饵料可以提供超出动物实际需要的相当大的安全系数。

2 饵料需要量

蛋白质和氨基酸

蛋白质是由各种氨基酸构成的复杂大分子；大多数蛋白质由20种主要氨基酸组成。蛋白质除了在大小和功能上各不相同以外，其所含氨基酸的相对比例也是不同的。某些蛋白质缺乏某种氨基酸，另一些蛋白质则含有所有20种氨基酸。

蛋白质是在一切生物体结构和功能中起重要作用的必需成分。动物、植物和微生物在合成蛋白质所必需的原料物质上有所差别。植物和某些微生物能够从相当简单的无机化合物诸如二氧化碳、水、硝酸盐和硫酸盐合成氨基酸。其它微生物和少数绿色植物能利用大气氮代替硝酸盐中的氮。因此，这些生命形式是蛋白质的最初来源。与植物不同，动物缺乏由简单无机物合成氨基酸的能力，而必须依赖于植物、其它动物或肠道寄生菌作为饵料氨基酸或氨基酸前体的来源，氨基酸前体能转化为氨基酸。

蛋白质是某些动物组织中主要有机物质，约占总干重的65~75%。动物必须消费蛋白质以满足氨基酸不断供给。蛋白质食用后，经消化或水解释放游离氨基酸，后者由动物肠道吸收，通过血液运送到各种器官和组织。然后利用这些氨基酸合成新蛋白质。因为蛋白质不断为动物所利用，所以无论建造新组织（如在生长和生殖期），或是修补创伤组织，都需要经常吸取蛋白质或氨基酸。如果饵料中不供给足够的蛋白质，那么生长就会迅速减慢或停止，或体重下降，因为此时动物要从某些组织摄取蛋白质以维持更活跃组织的机能。另一方面，如果蛋白质供应太多，相对较小部分可用来生产新的蛋白质，而其余部分则将被代谢以产生能量。

在营养上各种氨基酸可分为两类：一类是非必需氨基酸，另一类是必需氨基酸。某些氨基酸被认为是必需氨基酸，因为动物完全不能合成它们，或合成数量不足以适应最大生长。非必需氨基酸是那些能够快速大量合成足以适应最大生长的氨基酸。大多数动物，包括鱼类，需要10种上述必需氨基酸，它们是：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。

总蛋白质需要量

鱼类的天然饵料和配合饵料富含蛋白质。配合饵料中所需要的蛋白质数量直接受饵料氨基酸组成的影响。鱼类和其它动物一样，都没有绝对的蛋白质需要量，但需要必需和非必需氨基酸的混合相当平衡。氨基酸最经济的来源是饲料中的天然蛋白质。

在几种温水鱼虾类中，曾对半精制和精制实验饵料测定了供给足够氨基酸和发挥最大生长所需的最小数量饵料蛋白质（表1和2）。

倘若不了解养殖实践和环境条件，就很难为各种鱼类推荐适当的蛋白质含量。各种因素均能影响摄食不同含量蛋白质的斑点叉尾鲶的生长反应。其中某些因素包括：鱼体大小、水

温、放养密度、天然饵料利用率（池塘内）、日摄饵量、饵料中非蛋白质能量值和饵料蛋白质质量等。

氨基酸需要量

研究表明，斑点叉尾鲷（Dupree和Halver, 1970），鲤鱼（Nose等, 1974），吉里罗非鱼（*Tilapia zillii*）（Mazid等, 1978），真鲷（Yone, 1976），两种鳗鲡（*Anguilla anguilla*和*Anguilla japonica*）（Arai等, 1972）和两种虾 *Palaemon serratus*（Cowey

表 1 幼鱼估计饵料蛋白质需要量

种	类	蛋白质来源	估计蛋白质需要量 (%)	文	献
鲤鱼		酪蛋白	31~38	Ogino和Saito, 1970; Takeuchi 等, 1979	
(<i>Cyprinus carpio</i>)					
斑点叉尾鲷		全卵蛋白质	32~36	Garling和Wilson, 1976	
(<i>Ictalurus punctatus</i>)					
日本鳗鲡		酪蛋白和精氨酸加胱氨酸	44.5	Nose和Arai, 1972	
(<i>Anguilla japonica</i>)					
草鱼		酪蛋白	41~43	Dabrowski, 1977	
(<i>Ctenopharyngodon idella</i>)					
红鳍东方鲀		酪蛋白	50	Kanazawa等, 1980	
(<i>Fugu rubripes</i>)					
石斑鱼		金枪鱼肌粉	40~50	Teng等, 1978	
(<i>Epinephelus salmoides</i>)					
遮目鱼（鱼苗）		酪蛋白	40	Lim等, 1979	
(<i>Chanos chanos</i>)					
真鲷		酪蛋白	55	米, 1976	
(<i>Chrysophrys major</i>)					
小口黑鲈		酪蛋白和鱼类蛋白质浓缩物	45	Anderson等, 1981	
(<i>Micropterus dolomieu</i>)					
黑鲈		酪蛋白和鱼类蛋白质浓缩物	40	Anderson等, 1981	
(<i>Micropterus salmoides</i>)					
罗非鱼		酪蛋白和卵清蛋白	56	Winfree和Stickney, 1981	
(<i>Tilapia aurea</i>)（鱼苗）					
(<i>Tilapia aurea</i>)		酪蛋白和卵清蛋白	34	Winfree和Stickney, 1981	
(<i>Tilapia mossambica</i>)		白色鱼粉	40	Jauncey, 1982	
(<i>Tilapia zilli</i>)		酪蛋白	35	Mazid等, 1979	

表 2 虾类最适饵料蛋白质含量

虾	类	蛋白质来源	最适蛋白质含量 (%)	文 献
白对虾 (<i>Penaeus setiferus</i>)		鱼粉	28~32	Andrews等, 1972
日本对虾 (<i>Penaeus japonicus</i>)		虾粉	40	Balazs等, 1973
		酪蛋白	54	Deshimaru和Kuroki, 1974
		乌贼粉	60	Deshimaru和Shigeno, 1972
		酪蛋白和卵清蛋白	52~57	Deshimaru和Yone, 1978
斑节对虾 (<i>Penaeus monodon</i>)		酪蛋白和鱼粉	46	Lee, 1971
长臂虾 (<i>Palaemon serratus</i>)		虾粉	40	Foster和Berd, 1973
		鱼粉	40	Foster和Beard, 1973
印度对虾 (<i>Penaeus indicus</i>)		虾粉	42.8	Colvin, 1976
墨吉对虾 (<i>Penaeus merguensis</i>)		贻贝粉	34~42	Sedgwick, 1979

〔编自Forster (1976)〕

和 Forster, 1971) 和 *Penaeus aztecus* (Shewbart等, 1973) 都需要饵料来源的精氨酸、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。摄食缺乏任何必需氨基酸的饵料, 均能引起食欲不振和长速下降。

仅在四种鱼中制定了鱼类的氨基酸定量需要量。表 3 所列举的是这些鱼与猪、雏鸡和老鼠的比较值。通常用饵料百分比表示时, 鱼类的氨基酸需要量要比其它动物高得多。但用饵料蛋白质百分比表示时, 鱼类和其它动物氨基酸需要量之间的相似程度增加。除了精氨酸、蛋氨酸和胱氨酸外, 斑点叉尾鲶的氨基酸需要量与大鳞大麻哈鱼相似。然而一般说来, 鲤鱼和日本鳗鲡的氨基酸需要量相似, 但略高于斑点叉尾鲶和大鳞大麻哈鱼。

摄食内含结晶氨基酸的实验饵料时, 大鳞大麻哈鱼 (Mertz, 1972)、日本鳗鲡 (Arai等, 1972) 和罗非鱼 (Mazid等, 1978) 能良好生长, 然而氨基酸实验饵料必须用碱例如氢氧化钠中和才能被鲤鱼 (Nose等, 1974) 和斑点叉尾鲶 (Wilson等, 1977) 利用。通过每次投喂含有与全鸡卵蛋白质相同的氨基酸谱的实验饵料中的一种不同含量的氨基酸的方法, 测定了斑点叉尾鲶对10种必需氨基酸的定量需要量 (Wilson等, 1977), 不包括实验过的氨基酸。为了保证最大限度地利用有限的氨基酸, 配制饵料时必须含有最适需要量以下的蛋白质含量。图 1 说明氨基酸摄取量对生长率的影响。曲线表示在研究斑点叉尾鲶对色氨酸、组氨酸、苏氨酸、缬氨酸和亮氨酸的需要量时获得的生长数据。在所有情况下均可看到, 随着氨基酸摄取量增至转折点, 生长率呈直线增加, 从转折点开始生长率拉平。该转折点代表对特定氨基酸的需要量。

表 3 某些动物生长时期氨基酸需要量比较表

氨基酸	日本鳟	鲤鱼	斑点叉尾鲇	美洲红点鲑	雏鸡	猪	老鼠
精氨酸	4.5(1.7/37.7)	4.2(1.6/38.5)	4.3(1.03/24)	6.0(2.4/40)	5.6(1.00/18)	1.2(0.16/13)	5.0(0.60/12)
组氨酸	2.1(0.8/37.7)	2.1(0.8/38.5)	1.5(0.37/24)	1.8(0.7/40)	1.4(0.26/18)	1.2(0.15/13)	2.5(0.30/12)
异亮氨酸	4.0(1.5/37.7)	2.3(0.9/38.5)	2.6(0.62/24)	2.2(0.9/41)	3.3(0.60/18)	3.4(0.41/13)	4.2(0.50/12)
亮氨酸	5.3(2.0/37.7)	3.4(1.3/38.5)	3.5(0.84/24)	3.9(1.0/41)	5.6(1.00/18)	3.7(0.48/13)	6.3(0.75/12)
赖氨酸	5.3(2.0/37.7)	5.7(2.2/38.5)	5.0(1.5/30)	5.0(2.0/40)	4.7(0.85/18)	4.4(0.57/13)	5.8(0.70/12)
蛋氨酸 ^a	5.0(1.9/37.7) ^b	3.1(1.2/38.5)	2.3(0.56/24)	4.0(1.6/40) ^b	3.3(0.60/18) ^b	2.3(0.30/13)	5.0(0.60/12)
苯丙氨酸	5.8(2.2/37.7)	6.5(2.5/38.5)	5.0(1.2/24)	5.1(2.1/41)	5.6(1.00/18)	1.4(0.57/13)	6.7(0.80/12)
苏氨酸	4.0(1.5/37.7)	3.9(1.5/38.5)	2.0(0.53/24)	2.2(0.9/40)	3.1(0.56/18)	2.8(0.37/13)	4.2(0.50/12)
色氨酸	1.1(0.4/37.7)	0.8(0.3/38.5)	0.5(0.12/24)	0.5(0.2/40)	0.9(0.17/718)	0.8(0.1/13)	1.3(0.15/12)
缬氨酸	4.0(1.5/37.7)	3.6(1.4/38.5)	3.0(0.71/24)	3.2(1.3/40)	3.4(0.62/18)	3.2(0.41/13)	5.0(0.60/12)

注：以蛋白质%表示需要量。圆括号内，分子是以饲料%表示需要量，分母是饲料总蛋白质%。美洲红点鲑、雏鸡、猪和老鼠的数据分别引自国家科学委员会(1981、1977a、1979和1978)；日本鳟和鲤鱼的数字引自Nose和Arai (Cowey and Sargent, 1979) 的资料；斑点叉尾鲇的数据引自Wilson及其合作者 (Harding等, 1977, Wilson等, 1977, 1978, 1980, Robinson等, 1980a, b和1981)。

- a 无胱氨酸
- b 蛋氨酸加胱氨酸
- c 无酪氨酸

非必需氨基酸的价值

饵料中存在的非必需氨基酸具有节省饵料的作用, 这种作用可以减少鱼类合成这类氨基酸的负担。节省作用的两个特殊例子是: 蛋氨酸转化为胱氨酸和苯丙氨酸转化为酪氨酸。在这两个例子中, 非必需氨基酸只能由必需氨基酸的前体来合成。在蛋氨酸例子中, 鱼类实际上需要总硫氨基酸, 后者可由单独的蛋氨酸或蛋氨酸和胱氨酸的适当配合来满足。在斑点叉尾鲷发现, 按一毫克分子硫基计算胱氨酸能取代或大约节省60%饵料蛋氨酸 (Harding等,

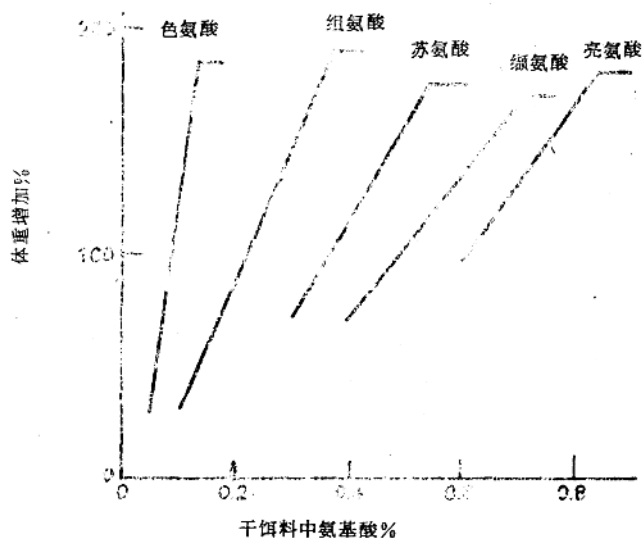


图 1 氨基酸摄取量与斑点叉尾鲷鱼生长率的关系。

(引自Wilson等, 1978, 1980)

1977)。在胱氨酸与蛋氨酸之比超过60:40的情况下, 直到胱氨酸被取代之前, 生长率并无差别。这种关系在饵料配制中很重要, 因为大多数饵料成分都含有蛋氨酸和胱氨酸。所以, 当配制饵料以满足总硫氨基酸需要量时, 必考虑蛋氨酸胱氨酸之总和。两种其它合成的含硫化合物 (DL-蛋氨酸和羟基蛋氨酸类似物) 可用作动物营养, 以便给饵料补加缺少的硫氨基酸。对斑点叉尾鲷的研究表明, DL-蛋氨酸, 在促进生长方面有与L-蛋氨酸同样的效果, 但羟基蛋氨酸类似物的效果仅达到L-蛋氨酸的26% (Robinson等, 1978)。斑点叉尾鲷生长研究表明, 酪氨酸能取代或节省总苯丙氨酸需要量的50% (Robinson等, 1980a)。常规饵料中大多数蛋白质均含有适量的苯丙氨酸和酪氨酸, 所以这两种氨基酸之和一般超过鱼类对饵料的需要。

氨基酸需要量与蛋白质摄取量的关系

氨基酸营养的基本原则是氨基酸需要量与达到最大生长需要水平的蛋白质摄取量之间的恒定关系。这种原则是表3所列以饵料蛋白质百分比表示的需要量数据的基础。用动物对几种氨基酸需要的实验证明了氨基酸需要量和蛋白质摄取量的这种关系 (Almquist, 1972)。因此, 可以推想这种关系适用于所有必需氨基酸。

鱼类目前尚未确定蛋白质需要量。假设限定氨基酸的需要量是饵料蛋白质的5.0%，那么可按以下运算方法测得用30%和35%粗蛋白配制的斑点叉尾鲷常规饵料中所需限定氨基酸的含量。若用30%粗蛋白质配制饵料，则饵料中需要 30×0.05 即1.50%限定氨基酸。若用35%粗蛋白质配制饵料，则必须提供 35×0.05 即1.75%限定氨基酸。

合成氨基酸的利用

研究证明，在鲑科鱼用常规饵料中可以用合成氨基酸补充氨基酸缺乏的蛋白质。Rumsey和Ketola (1975) 曾发现，与单一大豆粉相比较，摄食含有大豆粉并添加五种或更多种氨基酸的饵料能改善虹鳟的生长。然而，单独添加蛋氨酸或赖氨酸则不能改善大豆粉的价值。其他科研人员也曾发现，虹鳟(Tiews等, 1976; Dabrowska和Wojno, 1977) 和鲤鱼 (Murai等, 1982; Viola等, 1982) 食用的常规饵料中添加氨基酸后能促进生长。早期科研人员没有证明斑点叉尾鲷能利用各种试验饵料中的添加氨基酸(Andrews和Page, 1974, Andrews等, 1977)。然而最近研究表明，当使用补以饲用赖氨酸的花生粉饵料(最初的配方仅加赖氨酸)时，斑点叉尾鲷则能有效地利用这种游离氨基酸(Robinson等, 1980b)。Nurai等(1982)指出，斑点叉尾鲷能利用向大豆粉蛋白质中添加的合成蛋氨酸。很可能早期研究涉及的添加饵料不缺乏特定的氨基酸，因为斑点叉尾鲷所需一切定量氨基酸需要量只是在近期确定的。

蛋白质的营养价值

蛋白质营养价值，通称蛋白质质量，是以蛋白来源的氨基酸组成、特别是必需氨基酸含量和来自蛋白质的氨基酸的生物利用率为基础的。表4示出斑点叉尾鲷饲用的试验饵料中常用的三种蛋白来源的必需氨基酸含量。这种限定氨基酸系指存于蛋白质中的低于该种鱼需要

表 4 选择蛋白来源的必需氨基酸含量 (占粗蛋白%)

氨基酸	全卵蛋白	酪蛋白	明胶
精氨酸	6.5	4.0 ^a	8.0
胱氨酸 ^b	0.5	0.4	0.1
组氨酸	2.6	3.2	0.8
异亮氨酸	5.5	5.5	1.3
亮氨酸	9.1	9.7	2.9
赖氨酸	6.0	8.8	3.8
蛋氨酸 ^b	3.4	3.1	0.9
苯丙氨酸 ^c	5.8	5.6	2.1
苏氨酸	5.2	4.6	1.8
色氨酸	1.4	1.2	0.1
酪氨酸	4.6	6.4	0.6
缬氨酸	6.7	6.9	2.4

- a 划线的数值表示斑点叉尾鲷饲用的限定氨基酸。
- b 蛋氨酸总硫氨基酸需要量可由蛋氨酸和胱氨酸含量的总和来满足。
- c 苯丙氨酸或芳族氨基酸需要量可由苯丙氨酸和酪氨酸含量来足满。

量的氨基酸，用数值下划线表示。三种来源中，只有全鸡卵蛋白含有足够数量的各种必需氨基酸以满足斑点叉尾鲷的已知需要量，因此可用作实验饵料的唯一蛋白来源。除精氨酸外，酪蛋白含有足够数量的所有必需氨基酸。除精氨酸外，明胶完全不同于缺乏足够数量的每种必需氨基酸。因为酪蛋白缺乏精氨酸而明胶含有过剩的精氨酸，所以酪蛋白和明胶的适当结合才能达到斑点叉尾鲷对氨基酸的需要量且可用于实验饵料。相同的计算和比较可用于常规饵料中所用的各种饵料成分。

一般说来有三种配饵方法可以调整氨基酸的数量不足或缺少。第一种和最常用的方法是选择适当结合的蛋白来源以符合推荐的氨基酸组成；第二种方法是饵料中添加合成氨基酸；第三种方法是投喂超量的蛋白质，以免氨基酸缺乏。

氨基酸的利用率

为利用配合鱼饵中氨基酸需要量的数据，必须了解所用的饵料成分中的各种氨基酸的利用率。Wilson等（1981）测定了斑点叉尾鲷成鱼饲用的玉蜀黍、麦麸、稻糠、大米面、大豆粉、花生粉、棉籽粉、肉和骨粉以及油鲱鱼粉的确切的氨基酸利用值。必需氨基酸加胱氨酸和酪氨酸组成，以及所研究的各种饵料成分中有关氨基酸利用率的真值列入表5。

消化系数也可用于斑点叉尾鲷饵料中所用的若干种蛋白来源（见表12）。该系数值可在以粗蛋白为主要成分的饵料配制中应用，然而它们的利用表明蛋白来源的所有氨基酸具有同等效用。Wilson等（1981）所提供的资料表明，氨基酸的利用率在实验过的各种蛋白来源中是不同的。

能 量

鱼类和家畜之间在营养上显著差别之一，是鱼类对蛋白质合成所需要的能量比温血食用动物少得多（Lovell, 1979）。

食用动物	饵料蛋白质 (%)	饵料代谢能 (千卡/克)	蛋白质增量 / 消耗 的兆卡代谢能 (克)
斑点叉尾鲷	35	2.71	47
雏鸡	18	2.8	23
猪	16	3.3 ^a	9
牛	11	2.6	6

a 根据消化能计算的代谢能。

鱼类对饵料中能量的要求很低，这是因为：1) 鱼类无需保持身体恒温；2) 鱼类在水中保持体位和游动时耗能大大少于陆地上哺乳动物和鸟类（Tucker, 1969）；3) 鱼类排泄大

量的含氮废物如氨，而不是脲或尿酸。所以，在蛋白质分解代谢和排泄含氮废物中损失能量较少（Goldstein和Forster, 1970）。

保证鱼饵中的最适能量水平很重要，因为过剩或缺乏有用能量的结果会减少生长率。因为能量需要保持，而且能量用于生长之前必须满足随意活动，所以，当饵料中缺乏与蛋白质成比例的能量时，饵料蛋白质可当做能量加以利用。另一方面，把鱼养到最大生长率时，内含过剩能量的饵料能妨碍摄取必需的蛋白质和其它营养物质，因为鱼类如同哺乳类和鸟类一样最初摄食时即可满足它们所需要的能量。Boonyaratpalin(1978)曾发现，能量、但不是蛋白质，可影响斑点叉尾鲷每日消耗的大量饵料。摄食过剩的能量也能导致大量体脂的沉积（Page和Andrews, 1973）。这不符合食用鱼类的需要，因为会减少去内脏鱼的产量并缩短冷冻鱼的贮藏期限，但可能符合为放流而养殖的初孵鱼苗的需要。

用测热法或生长反应法测定鱼类的能量需要量。Smith等(1978a, b)曾用直接测热法测定了虹鳟的热量增加和热量保持的能量消耗量。测定时，生长所需要的能量加上这些值以导出代谢能。用摄食经过测量或计算消化能（DE）的饵料的鱼，根据其重量或蛋白质增量进行测定温水鱼类能量需要量试验。然而，少数有用的数据可用于温水鱼类的能量需要量上。一种理由是，在几次试验中难以确定饵料中能量的利用率。而且在某些研究中鱼没有喂饱。以低于饱食度的标准给鱼投饵时，饵料中能量的高百分比将用于满足代谢能的需要，而且如果不是饵料中热量密度增加的话，那么蛋白质将代谢为能量。此外，在相同试验中有时使用配料组成广泛的饵料，这能引起能量消化性（Cruz, 1975）或适口性的变动（Poston, 1975）。

据多数报导，温水鱼类获得的能量需要量随饵料蛋白质含量而变动。Garling和Wilson（1977）曾报道，当使用精制饵料时小形斑点叉尾鲷生长的最适DE/P比（消化能与蛋白质之比）（千卡消化能/克蛋白质）是9.6，而Page和Andrews（1973）使用常规饵料时发现该值是9.7。Lovell和Prather（1973）曾发现，斑点叉尾鲷由生长到收获尺寸时对常规饵料的最适DE/P比是7.8。Takeuchi等（1978）报告小形鲤鱼的最适DE/P比是8.3。前四个实验中生长所需要的最适蛋白质含量是32~35%。

推测，斑点叉尾鲷最大生长时对于鱼种和生产饵料的最适DE/P为8~9千卡/克蛋白质（Stickney和Lovell, 1977）。这种界限值似乎适用于鲤鱼，亦可用于其它温水鱼类。但是，随着信息的增加，这种界限值应当再商榷。

温水鱼类能有效地利用蛋白质、碳水化合物（糖类、糊精和淀粉）和甘油三酯作为能源（Stickney和Andrews, 1972；Ogino等, 1975；Garling和Witson, 1977；Andrews等, 1978）。鱼类的高消化、浓缩蛋白质饵料中的代谢能比家畜高（Smith, 1976），因为排泄的含氮废物中能量损失较少。低分子量碳水化合物容易被鱼类消化和吸收。未蒸煮玉米淀粉的总能量可被虹鳟消化约40%（NRC, 1973），但可被斑点叉尾鲷消化约60%（NRC, 1977）和可被猪消化约85%（NRC, 1979）。蒸煮，例如鱼饵的挤压加工，能使斑点叉尾鲷对淀粉的可消化性增加5~10%（Cruz, 1975）。鱼用纤维饵料缺乏能源，例如与猪的2.1千卡/克相比较，斑点叉尾鲷用苜蓿粉的消化能值约为1.5千卡/克（Stickney和Lovell, 1977）。饱和和不饱和脂肪是温水鱼类的高效能源（Cruz, 1975；Takeuchi等, 1979）。

根据 DE 测定温水鱼类用饵料能量需要量和生殖能量值的可利用数据。为了测定鱼类饵料最好是以代谢能代替消化能，因为这能比较准确地估算动物组织代谢所利用的饵料能量，而且甚至 NRC 动物营养分组委员会都采用这种方法。然而，实际上代谢能在计算鱼类饵料可用能量方面比较优越于消化能，因为消化过程中的损失能量是造成回收能量最大变动的原因。鱼类通过鳃和排尿的能量损失比哺乳动物和鸟类的非粪便能量损失少，而且饲料中的变动性不象粪便能量损失那样大。此外，用鱼测定代谢能值很困难，因为需要把它限制在代谢室内 (Smith, 1976) 而且同时采集粪便、鳃和排尿有困难。消化能值比较容易测定，而且鱼随意摄饵时没有压力 (Page 和 Andrews, 1973; Cruz, 1975; Takeuchi 等, 1979)。Smith (1976) 已经获得了虹鳟的大量商品饲料的代谢能值，尽管这种值对温水鱼类的适应性尚谢性未确定。在用不同鱼类测定代谢能值的实例和温水鱼类不同等级饵料的 DE 和 ME 之间关系方面均需要提供更多的信息。

图 2 表示鱼类的能量流。鱼体内分布的能量与哺乳动物和鸟类的相同，但具有若干定量差别，这些差别可使鱼类产生更多的能量系数，特别是在吸收高蛋白饵料中。

● 鱼类尿和鳃排泄物中的消化能损失较少，因为大约 85% 的含氮废物如氨 (Goldstein 和 Forster, 1970) 被排出，而不是尿素 (哺乳动物) 或尿酸 (鸟类)。

● 在鱼类，与摄取的饵料吸收有关的热增能 (HiE) 即能量消耗上升较低。Smith 等 (1978b) 对虹鳟曾用直接热量测定法测定了 HiE，并发现是代谢能的 3~5%；而在哺乳动物则高达代谢能的 30%。与氨相比较，这 HiE 的最大差别在于合成和排泄尿素和尿酸时损失能量相当多。

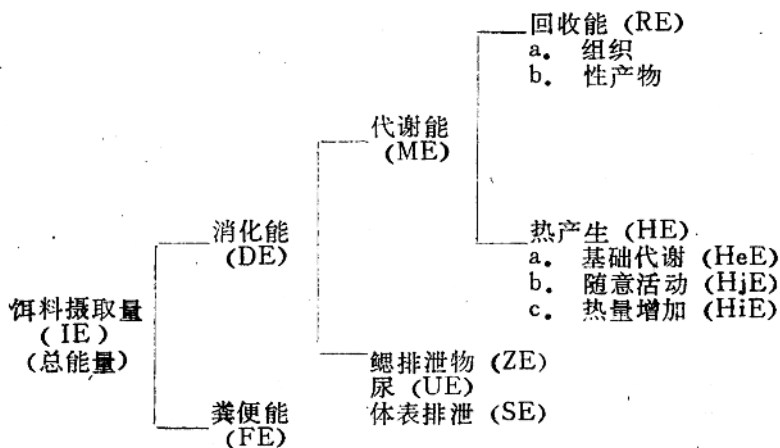


图 2 鱼类耗饵中的能量分配

● 在鱼类，维持能量需要量 (随意活动能 HjE 和基础代谢能 HeE) 较低，因为鱼类无需调节体温，而且它们维持水中体位耗能较少。小形虹鳟 (4克) 的代谢热产量 (千卡/24 小时) 为 57 千卡/公斤体重，功率 0.63 (Smith 等, 1978b)，反之哺乳动物和鸟类则是 70~83

千卡/公斤体重, 功率0.75 (Brody, 1945)。

脂 类

饵料脂类是温水鱼类正常生长和存活所必需的能量(8~9千卡/克)与脂肪酸的重要来源。饵料脂类为吸收脂溶性维生素提供载体和提供其它化合物, 例如甲壳类饵料中必需的固醇。脂类, 特别是磷脂和固醇酯, 在细胞和亚细胞生物膜结构中起重要作用。脂类在温水鱼类所耗饵料的香味和质地特性中, 以及鱼类本身的同类特性中也是很重要的。脂类参与代谢的许多其它方面, 例如很多激素是类固醇。还有, 长链多不饱和脂肪酸(PUFA)是鱼类前列腺素的前体。前列腺素是一族五碳环化合物, 以微量显示很多类激素活性。

必需脂肪酸

Burr 和 Burr (1929, 1930) 首次叙述一种动物对特异不饱和脂肪酸构型所必需的饵料需要量, 这种特异不饱和脂肪酸构型不能由这种动物重新合成。他们在研究中表明, 大鼠需要n-6结构的亚油酸($18:2n-6$)¹。从那时起曾发现, 很多恒温动物具有相同的必需脂肪酸(EFA需要(Aaes-Jorgensen, 1961; Alfin-Slater和Aftergood, 1968; Holman, 1968)。这种需要可由具相同甲基末端结构的几种脂肪酸中任何一种来满足($18:2n-6$, $20:2n-6$, $20:4n-6$ 等), 长链分子一般具有的EFA值等于或大于 $18:2n-6$ 。尽管有些作者早期提出过下述必需脂肪酸的需要(Higashi等, 1966; Lee等, 1967), 但变温动物虹鳟直到1972年才查明需要n-3而不是n-3脂肪酸作为它们的必需脂肪酸(Castell等, 1972a, b, c)。一种建议解释EFA需要的差别是, n-3结构具有较大的不饱和度, 这是磷脂膜在低温下保持柔软性和渗透性所必需的。这种解释可能是有根据的, 因为已查明很多温水硬骨鱼类需要n-3和n-6脂肪酸的混合物, 或在吉里罗非鱼(*Tilapia zillii*)只需要n-6脂肪酸(Kanazawa等, 1980)。

Owen等(1973)曾经指出, 海水鱼大菱鲆摄食长链和去饱和度饵料 $18:3n-3$ 的能力有限。大菱鲆不仅需要n-3结构, 而且特别需要饵料 $20:5n-3$ 或 $22:6n-3$, 以满足其EFA需要(Cowey等, 1976)。具有摄食长链和去饱和n-3脂肪酸能力的虹鳟的EFA需要, 可用 $18:3n-3$ 或长链n-3脂肪酸加以满足。Kanazawa等(1979)综述了上述资料并解释了去饱和和一长链能力与EFA需要之间的关系。

将已查明或推荐的很多温水鱼类(现有和将来可能的水产养殖对象)必需脂肪酸需要量以及研究所用的温度列入表6。因为鱼类的必需脂肪酸需要量可能随着温度和养殖条件有所变动, 所以应重视实验温度和条件。盐度也可能影响需要量。在海水和淡水中同时对同源虹鳟进行实验时, 在海水中较快地显示必需脂肪酸的缺乏(Lall和Bishop, 1979)。有许多资料证明, 鱼体脂质的脂肪酸组成, 特别是膜脂质如磷脂, 很明显受驯化温度影响(Reiser等, 1963; Farkas和Herodek, 1964; Johnston和Roots, 1964; Knipprath和Mead, 1966; Knipprath, 1968; Kemp和Smith, 1970; De Torrenco和Brenner, 1976; Leslie和Buckley, 1976; Miller等, 1976; Loger, 1977; Farkas等, 1980)。

¹ 简写符号常用于表示脂肪酸。第一个数字表示碳数。冒号后的数字是双键数。附加符号n-是额外代替希腊字母 ω , 用以表示从脂肪酸甲基末端计算的第一双键位置。