

~~~~~  
综述  
~~~~~

养殖鱼类营养需求研究进展

廖翔华 林 鼎 毛永庆

(中山大学生物系鱼类研究室, 广州)

ADVANCES IN THE STUDIES ON NUTRITIONAL REQUIREMENTS OF CULTURED FISH

Liao Xianghua, Lin Ding and Mao Yongqing
(Ichthyology Laboratory, Zhongshan University Guangzhou)

关键词 营养, 鱼类营养

Key words Nutrition, fish nutrition

我国池塘养鱼约有三千多年的历史, 经验丰富, 产量居世界首位。但是, 过去对鱼类营养的研究没有引起重视, 以致鱼类营养科学基础十分薄弱。而国外鱼类营养科学的发展已有近四、五十年的历史, 并取得广泛的研究成果, 推动了养鱼饲料工业和现代养鱼业的发展。近年, 我国在发展养鱼生产中, 深刻认识到饲料是养鱼的物质基础, 饲料问题没有得到解决, 大幅度增产是不可能的, 要科学地解决养鱼饲料问题, 必须很好地开展鱼类营养学的研究。1983年国家把我国池塘主要养殖鱼类及对虾的营养需要量和饲料配方列为国家重要攻关研究项目, 组织有关力量开展研究。经过短短几年的努力, 已取得了较大的进展, 初步查明池塘主要养殖鱼类, 如草鱼、青鱼、团头鲂、鲮鱼等营养需要量。对于其他养殖鱼类如鲤鱼、非鲫等的营养和饲料也作了一些研究^[1-16]。这些研究成果, 为我国池塘主要养殖鱼类人工配合饲料的研制, 提供了一些营养学方面有益的资料, 但还远远不够。本文对近十多年来国内外鱼类营养需求方面的研究进展作一回顾和论述, 希望从中得到经验和启示, 有益于我们的深入研究。

一、蛋白质和氨基酸

蛋白质是动物组织中主要的有机物质, 鱼体干物质中约65—75%为蛋白质。蛋白质是一种复杂的大分子, 一般由20种氨基酸所组成, 动物摄取蛋白质后, 通过消化吸收, 提

表 1 养殖鱼类蛋白质需要量

Tab. 1 Dietary protein requirements of certain fish species

鱼 种 类 Species	试验蛋白源 Protein sources	最适生长饲料 Estimated protein requirement (%)	参考文献 Reference
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i> (C. et V.)	酪蛋白	22.77—27.66	林鼎、毛永庆、蔡发盛, 1980 ^[3]
草鱼	酪蛋白	36.70	毛永庆、蔡发盛、林鼎, 1985 ^[3]
草鱼	酪蛋白	41	陈茂松等, 1976 ^[15]
草鱼	酪蛋白	28—32	廖朝兴、黄忠志, 1987 ^[16]
草鱼	酪蛋白	41—43	Dabrowski, 1977 ^[39]
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i> (Rich)	酪蛋白	41	杨国华、李军等, 1981 ^[6]
青鱼	酪蛋白	29—41	王道尊、宋天复等, 1984 ^[1]
鲅鱼 <i>Cirrhina molitorella</i> (C. et V.)	酪蛋白	36—38	毛永庆、蔡发盛、林鼎, 1985 ^[3]
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i> Yih	酪蛋白	33.91	邹志清、苑福熙、陈双喜, 1987 ^[13]
鲤鱼 <i>Cyprinus carpio</i> L.	酪蛋白	31—38	Ogino and Saito, 1970 ^[90]
斑点叉尾鮰 <i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque)	全卵蛋白	32—36	Garling and Wilson, 1976 ^[52]
日本鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i> (T. et S.)	酪蛋白+精氨酸+胱氨酸	44.5	Nose and Arai, 1972 ^[87]
虹鳟 <i>Salmo gairdneri irideus</i> Gibbons	酪蛋白	30—40	Ogino et al., 1976 ^[92]
小口鮰 <i>Micropodus dolomieu</i> Lacepede	酪蛋白+浓缩鱼蛋白	45	Anderson et al., 1981 ^[20]
大口鮰 <i>Micropodus salmoides</i> Lacepede	酪蛋白+浓缩鱼蛋白	40	Anderson et al., 1981 ^[20]
莫桑比克非洲鲫 <i>Tilapia mossambica</i> Peters	白鱼粉	40	Jauncey, 1982 ^[67]
奥利亚非鲫(鱼苗) <i>Tilapia aurea</i>	酪蛋白+卵蛋白	56	Winfree and Stickney, 1981 ^[129]

供鱼体需要。

关于鱼类蛋白质需要量研究,国外多数采用单因子设计“梯度饲养法”。我国在研究中还采用多因子设计的“正交设计法”^[3,4],合理地把各营养素及其水平安排在不同的试验组中,节约了时间和材料,同时得到在各营养素交互作用下的最适蛋白质水平。这里将国内外淡水养殖鱼类蛋白质需要量研究结果列表如上(表1)。

从表1所示,以饲料粗蛋白含量(%)所表示的鱼类蛋白质需要量各研究得到的结果不尽一致,原因很多,仅供参考。

以上所获得的鱼类蛋白质需要量,仅仅是粗蛋白需要量。目前,大多数鱼类蛋白质需要量的研究,是采用各种半纯化或纯化饲料,调配成不同蛋白质水平的试验饲料,进行饲养试验,结果表明,大多数鱼类生长最好的饲料粗蛋白水平约在30%至50%范围,所获得的这些估计值,可能偏高,这是由于受如下的一个因素或几个因素的影响: 大多数需要

量研究是以鱼体最大生长时的饲料蛋白质水平为基础，而很少或不考虑蛋白质利用率指标；往往是在试验饲料不同的蛋白质-能量比条件下确定的；不同研究者在配制试验饲料时，采用不同的估计代谢能量值；试验饲料的蛋白源的必需氨基酸可能是不平衡的。此外，鱼类蛋白质需要量还受试验鱼个体大小、年龄、生长阶段；试验条件如水温、放养密度、日投喂量等等因素的影响。

鱼类对蛋白质的需要量，其实质是对必需氨基酸和非必需氨基酸混合物的需要。各种氨基酸对鱼类的重要性可以通过生长试验和放射性同位素¹⁴C 标志测定法加以确定。先后在大鳞大麻哈鱼、红大麻哈鱼、虹鳟、斑点叉尾鮰、日本鳗鲡、欧洲鳗鲡、鲤鱼、真鲷和齐氏非鲫^[21,42,56,59,82,88,111,131]采用纯化或半纯化的饲料添加晶质氨基酸，依鱼体对饲料中所缺少氨基酸的生长反应和缺乏症等研究确定了如下 10 种为必需氨基酸：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。另外，采用给鱼体注射放射性¹⁴C-葡萄糖，体内氨基酸合成法，在鲽 *Pleuronectes platessa* 和鳎 *Solea solea*^[35]、尖吻鲈^[127]的研究中得到证实。

关于鱼类氨基酸需要量，目前仅在大鳞大麻哈鱼、鲤鱼、日本鳗鲡和斑点叉尾鮰等 4 种鱼的研究中，获得较为完整的必需氨基酸需要量资料（表 2）。

表 2 4 种淡水鱼必需氨基酸需要量在饲料中含量（克/公斤干饲料）*
Tab. 2 Essential amino acid requirements (g/kg dry diet) at stated dietary protein levels of certain fish

鱼 种 氨 基 酸	大鳞大麻哈鱼	日本鳗鲡	鲤 鱼	斑点叉尾鮰
精氨酸	24	17	16	10.3—17.0
组氨酸	7	8	8	3.7
异亮氨酸	9	15	9	6.2
亮氨酸	16	20	13	8.4
赖氨酸	20	20	22	15.0
蛋氨酸	16	19	12	5.6
苯丙氨酸	21	22	25	12.
苏氨酸	9	15	15	5.3
色氨酸	2	4	3	1.2
缬氨酸	13	15	14	7.1
饲料蛋白质含量(克)	400	377	385	240

* 引自 NRC(1983)^[86]

上述研究中，大部分研究者都采用由 Halver 等所建立的方法^[83]。主要是采用结晶氨基酸的混合物，分别以某一种氨基酸为不同水平或用酪蛋白等纯化饲料添加不同氨基酸为试验饲料，多数采用剂量-生长反应曲线（The dose-response curves）来确定需要量。也有少数采用血清自由氨基酸水平与摄入饲料氨基酸水平之间正相关关系来确定鱼类氨基酸需要量。也有一些研究者采用半纯化和实用型试验饲料饲养法来确定鱼类氨基酸需要量。Wilson (1985) 评述中认为用这种方法确定出来的需要量只能是个估计值，因为在试验分析过程中还存在许多问题，包括：蛋白质消化率的差异；蛋白质中氨基酸可

利用率可能不同；不同蛋白质通过率和消化率不尽一致，它的通过率可能比添加的结晶氨基酸更为缓慢；常用的不平衡蛋白质，如玉米醇溶蛋白（zein）和玉米谷蛋白（corn gluten）含有很高的亮氨酸，它可能压抑其他氨基酸的吸收率；氨基酸需要量与蛋白质摄入水平有密切关系，故精确地分析饲料总蛋白含量是极为重要的^[127]。总之，目前测定鱼类必需氨基酸的方法还不臻完善。

尽管如此，就目前已有关于红大麻哈鱼、虹鳟、银大麻哈鱼、湖鳟、鲷鱼、尖吻鲈和非鲫等多种鱼类对某些必需氨基酸需要量的研究报告，进一步比较分述如下：

1. 精氨酸 大鳞大麻哈鱼需要量最高，约占饲料蛋白质的 6%^[73]，虹鳟需要量为 4—4.9%，鲤、鳗鲡和叉尾鮰需要量约为 4—5%^[89,103]。

2. 组氨酸和苏氨酸 鲑鳟鱼类、鲤鱼、鳗鲡和叉尾鮰对组氨酸需要量约为饲料蛋白质的 1.5—2.1%^[73,89,126]。苏氨酸需要量，鲑鳟鱼类和叉尾鮰约为 2%，而鳗鲡和鲤鱼则比较高约为 4%^[40,89,125]。

3. 支链氨基酸（异亮氨酸、亮氨酸和缬氨酸） 鲑鳟鱼类、鲤鱼和叉尾鮰等对三种支链氨基酸的需要量很接近，约为饲料蛋白质的 2—3%^[28,89,126]。而鳗鲡需要量较高，为 4—5%^[89]。

4. 赖氨酸 大鳞大麻哈鱼、虹鳟、鳗鲡和叉尾鮰对赖氨酸的需要量为 3—5%^[57,89,124]。鲤鱼要求则稍高，约为 5.7%^[89]。Ketola (1983) 研究虹鳟幼鱼（平均体重为 1.1 克），投喂不均衡的蛋白源条件下赖氨酸需要量为 6.1%。饲料中缺乏赖氨酸饲养的鱼，出现尾鳍腐蚀的现象。

5. 含硫氨基酸（蛋氨酸和胱氨酸） 大鳞大麻哈鱼对蛋氨酸需要量为 4%^[58]，高于鲤鱼的 3.1%，鳗鲡的 3.2% 和叉尾鮰的 2.3%^[62,89]，在叉尾鮰胱氨酸约可取代蛋氨酸需要量的 60%^[62]，而在虹鳟仅可取代 42% 左右。

6. 芳香族氨基酸（苯丙氨酸和酪氨酸） 鲑鳟鱼类和叉尾鮰对苯丙氨酸的需要量为 5.0—5.1%^[28,102]，鳗鲡和鲤鱼则略高，为 5.8—6.5%^[89]，在叉尾鮰的试验中表明，酪氨酸可代替 50% 的苯丙氨酸^[102]。

7. 色氨酸 鲑鳟鱼类和叉尾鮰对色氨酸的需要量为 0.5%，略低于鲤鱼和鳗鲡的 0.8—1.1% 的需要量^[89]。色氨酸缺乏症在红大麻哈鱼其病症表现为脊椎弯曲。

由于氨基酸需要量的定量研究还不臻完善，所以不少研究者设想采用各种不同方法估算养殖鱼类的氨基酸需求。为此目的，认为可以利用鱼卵和全鱼的蛋白质氨基酸组成模式作为需要量参考。Mitchell (1959) 早就指出构成动物体蛋白质的必需氨基酸组成，可以考虑作为动物必需氨基酸需要量的模式，一些鱼类营养学家也持有同样的看法^[33,72,97]。Rumsey 和 Ketola (1975) 报道了他们按鱼体蛋白质必需氨基酸组成量为标准，在酪蛋白饲料中添加氨基酸，喂养太平洋幼鲑 *Salmo salar*，结果生长率得到明显的提高^[105]。

Arai (1981) 在银大麻哈鱼 *Oncorhynchus kisutch* 幼鱼饲料氨基酸研究中引入了 A/E 比的概念^[23]，A 代表鱼体蛋白质各个必需氨基酸量和 E 代表鱼体蛋白质氨基酸总量，两者之比乘以 1 000 来表示比值。研究表明必需氨基酸需要量和鱼体必需氨基酸组成量有密切相关。

我国池塘养殖鱼类的氨基酸需要量还没有很好研究。但对草鱼幼鱼全鱼，投喂不同饲料的成鱼肌肉及鱼卵的氨基酸组成分析结果表明，摄食青草的草鱼肌肉必需氨基酸组成与摄食配合饲料的没有明显差异；草鱼幼鱼全鱼或鱼卵，其氨基酸组成也没有明显差异。草鱼、鲮鱼等各种鱼类之间似乎在氨基酸组成上也没有很大差别¹⁾。

在微型电脑草鱼饲料优化配方研究中，以草鱼卵、肌肉等的氨基酸组成量为基础，通过调整和饲养试验，初步建立了草鱼必需氨基酸需要量模式，储存在微电脑中作为平衡草鱼饲料配方的理论依据，经实践验证是有效的^[11]。

另外，必需氨基酸和非必需氨基酸的关系是非常复杂而且也是个重要的问题。例如必需氨基酸中的蛋氨酸可转化为胱氨酸，苯丙氨酸可转化为酪氨酸，这两例都说明非必需氨基酸能够以必需氨基酸为前体（Precursor）进行合成。以蛋氨酸而言，鱼体实际需要的是总的含硫氨基酸（Total sulfur amino acid），含硫氨基酸可以由蛋氨酸或者由混合比例适当的蛋氨酸与胱氨酸供给。如斑点叉尾鮰日粮中，在一个克分子硫的基础上胱氨酸可以代替或节省 60% 日粮蛋氨酸。在取代的基础上胱氨酸与蛋氨酸比例为 60:40 的情况下，生长率并不显出差异。因此，在配合饲料配制中，蛋氨酸与胱氨酸的量应是满足含硫氨基酸的需要。

二、 糖

糖是饲料中最廉价的能量来源。但是，至今关于鱼类对糖类的利用、消化吸收和代谢等，还了解得十分不够。

糖类是以单糖形式被吸收，有关糖类的消化酶已在几种鱼类查明，包括葡萄糖代谢，三羧酸（Tricarboxylic）循环，磷酸戊糖（Pentose phosphate）支路，糖原异生（Glucogenesis），糖原酵解（Glycolysis），糖原合成（Glycogen synthesis）等。虽然不同酶和葡萄糖代谢途径已经查明，但是饲料中糖的作用和葡萄糖在鱼类能量需求中的作用还不十分清楚。

由于糖的复杂性，不同鱼类对饲料中糖的消化利用表现出较大的差异。斑点叉尾鮰利用淀粉、糊精等多糖比利用双糖或单糖更容易^[41,112]。许多研究资料表明鲤鱼^[49,92,110]、斑点叉尾鮰^[52,53,78]和真鲷^[48,49]这三种鱼利用饲料中糖的能力要比鲫鱼^[48,51]和鲑鳟鱼类^[24,42]更高些。Furuichi 等（1981）比较了鲤鱼、真鲷和鲫鱼对糖的利用，结果发现在鲤鱼饲料中的糊精含量超过 40%，在真鲷超过 30%，在鲫鱼超过 20%，生长停滞，饲料转换率低^[50]。虹鳟在饲料中淀粉含量升高，淀粉消化率急剧下降^[113]。斑点叉尾鮰、虹鳟等饲料含糖约可高达 25% 左右，糖和脂肪一样可利用作部分能源。鲤鱼对淀粉的表观消化率较高，饲料中 α -淀粉水平从 19%—48%，平均消化率约为 85%^[30]，一般认为杂食性的鲤鱼饲料中可消化糖的最适含量约在 40% 左右为宜。草食性鱼类利用糖的能力也比较高，只是肉食性鱼类较低。可见鱼类对糖的利用能力高低与食性有密切关系。我国养殖鱼类对糖的需求，草鱼幼鱼每日每 100 克体重需要糖（糊精）约为 1.12 克，投喂率为 2—3% 时，相当于饲

1) 廖翔华等（未发表）

料中含糖量为 35—56%^[3]。黄忠志等研究表明饲料中糖(马铃薯淀粉)高达 50% 以上,草鱼生长仍然较好^[1]。王道尊(1984)研究蛋白质和碳水化合物含量对肉食性的青鱼生长影响认为,饲料中蛋白质和碳水化合物含量之间存在着明显的交互作用,当饲料中蛋白质含量为 37—43.3%,糖含量(糊精)为 9.5—18.6% 时,青鱼生长最快。此外,试验认为饲料中糖含量 30% 对青鱼生长最好,在 25—30% 范围均能获得相当理想的结果^[2]。另外,在研究团头鲂(夏花)饲料适宜糖的含量,初步结果表明 25—30% 为宜^[3]。摄食有机碎屑,活动于底层的鲮鱼,每日每 100 克体重需要碳水化合物为 0.4—0.5 克,约相当于饲料中 24—26% 左右^[4]。饲料中糖不仅作为能量,它还参与机体的许多代谢过程,并作为生长所需的非必需氨基酸和核酸的前体。同时,饲料中含有适量的淀粉有助于粘合,提高颗粒饲料成形率。

一般鱼类对纤维素不能消化吸收,但草鱼可以利用少部分粗纤维,其消化率为 3—6%^[8]。草鱼粗纤维需要量约以占饲料中 15% 以下为宜^[3,13,14]。

三、脂肪

饲料中的脂肪除提供必需脂肪酸和能量的主要来源外,脂肪还作为脂溶性维生素(A. D. E 等)的溶解介质。鱼类对必需脂肪酸(EFA)需要量依种类而异。

过去有关鱼类必需脂肪酸需求的研究多偏重于冷水性鲑鳟鱼类,尤以虹鳟为多^[25,27]。虹鳟饲料中需要 1% 亚麻油酸($C_{18:3n3}$)。 $n-3$ 具有不饱和程度更高的特点,使质膜磷脂在低温下,保持弹性和可渗透性。温水性鱼类则需要 $n-3$ 和 $n-6$ 两种必需脂肪酸的配合。非鲫只需要 $n-6$ 必需脂肪酸。

Watanabe(1982)研究表明,虹鳟对亚麻油酸的需要量在 0.8% 和 1.6% 之间,饲料中低于 0.5% 时,会出现生长缓慢,尾鳍腐蚀和由于外界刺激引起的休克综合症^[123]。

关于温水性鱼类必需脂肪酸(EFA)需要量,近年已有不少研究。Watanabe(1982)用无脂肪饲料喂养鲤鱼幼鱼(体重 2.5 克)在较长一段时间内,亦未发现有不良影响,但对体重 0.65 克鲤鱼幼鱼试验,在投喂四个月无脂肪饲料的结果表明,需要 $C_{18:2n6}$ 和 $C_{18:3n3}$ 两种必需脂肪酸,鲤鱼的最佳生长率需要在饲料中含有 1% $C_{18:2n6}$ 和 1% $C_{18:3n3}$ 的必需脂肪酸。但是, $C_{18:2n6}$ 或 $C_{18:3n3}$ 之中任何之一单独添加,其效果均不如两者混合使用^[117]。另外,在鲤鱼饲料中添加高不饱和脂肪酸(PUFA) $C_{20:5n3}$ 和 $C_{22:6n3}$,其效果比 $C_{18:2n6}$ 和 $C_{18:3n3}$ 更好^[117]。在斑点叉尾鮰饲料中加入牛脂、橄榄油或鲱鱼油投喂叉尾鮰得到高的增重率。如果饲料中改用向日葵油($C_{18:2n6}$)或亚麻子油($C_{18:3n3}$)后,增重并不明显。另一方面用不含脂肪的饲料喂养的叉尾鮰除生长缓慢外,并不产生明显的脂肪酸缺乏症^[115,116]。

鳗鲡饲料中需要 0.5% $C_{18:2n6}$ 加 0.5% $C_{18:3n3}$ 的 EFA 或是 0.5% $C_{20:5}$ 和 $C_{22:6}$ PUFA^[118]。

齐氏非鲫 *Tilapia zillii* 饲料中需要 1% $C_{18:2n6}$ 或 $C_{20:4n6}$,两者效果均比 $C_{18:3n3}$ 更好^[168]。

1) 黄忠志等(未发表); 2),3) 杨国华等(未发表)。

关于海水养殖鱼类必需脂肪酸需求研究也取得一定进展。香鱼 *Plecoglossus altivelis* 需要高不饱和脂肪酸 ($C_{20:5}$ 和 $C_{22:6}$) 优于 $C_{18:3n3}$ 和 $C_{18:2n6}$ ^[99]。大菱鲆 *Scophthalmus maximus* L. 需要 0.6% n-3 高不饱和脂肪酸 (HUFA) 或 3.7% $C_{18:3n3}$, 但是, 前者效果比后者更好, $C_{18:2n6}$ 在大菱鲆效果最差^[37,77]。真鲷 *Chrysophrys major* 需要 2% n-3 高不饱和脂肪酸 (HUFA)^[47]。𫚕鱼 *Seriola quinqueradiata* 需要含有高不饱和脂肪酸的鱼油, 其添加后对生长的效果比玉米油更好^[119]。

我国对养殖鱼类必需脂肪酸的研究十分薄弱。王道尊等¹⁾初步研究了必需脂肪酸对青鱼生长的影响, 结果表明单一添加 1% 亚油酸 ($C_{18:2n6}$) 或 1% 亚麻酸 ($C_{18:3n3}$) 青鱼生长均较好, 如将两者混合添加入饲料中使用, 则青鱼生长不理想; 还初步发现添加 1% 花生四烯酸青鱼生长不佳, 而添加 6% 的鱼油青鱼生长良好。在蛋白质、糖等不同水平交互作用下, 试验获得草鱼每日每 100 克体重脂肪需要量为 0.4 克, 即相当于饲料脂肪最适含量为 8%^[3]。但是, 雍文岳等 (1985) 研究认为草鱼饲料脂肪最适含量为 3.6%, 若超过 7% 以上, 草鱼的正常生长受到影响, 并认为草鱼是一种利用脂肪能力比较低的鱼类。底层杂食性的鲮鱼日脂肪需要量, 每 100 克体重为 0.1 克, 即相当于饲料脂肪最适含量为 4—5%^[4]。

四、能 量

鱼类生物能量学 (Bioenergetics) 的研究, 没有引起足够的注意和重视, 其原因可能是由于鱼类对维持能量的要求一般比恒温动物低。如鲤鱼每千克体重, 每日需要的维持能量为 54 千焦耳, 而鸡则需要 355 千焦耳。如此低的能量要求, 一般饲料均能满足需求; 或错误地认为饲料中能量高低对鱼的健康影响不大; 以及也存在研究方法上的一些困难等。但是, 随着养鱼业的发展, 要求进一步研究鱼类营养能量学 (nutritional energetics)。过去对摄食天然饵料的野生鱼类的能量在体内的分配作过一些研究^[25,128]。Cho 等 (1982) 对鲑鳟鱼类的生物能量学研究作过综述。提供了饲料总能量在鱼体内流转的较为详细的资料 (图 1)^[31]。从图 1 可以看出, 鱼类从饲料中摄取的总能量, 经过体内消化吸收和一系列的代谢活动之后, 只遗留极少量的能量用于生长和繁殖。Brett 等 (1979) 所提供的肉食性鱼类摄食天然饵料条件下能量分配模式^[25]: 以摄取饵料总能 (GE) 为 100% 计, 消化过程中排出粪能 (FE) 为 20%, 得到可消化能 (DE) 为 80%, 代谢中排出尿能 (UE) 以及从鳃排出的能 (ZE) 约为 7%, 获得代谢能约为 73%, 特别动力作用(热量增加)的消耗能量约占 14%, 获得净能 (NE) 约只占 59%, 代谢中热损耗平均为 30% (活动代谢和基础代谢能量的消耗), 一般用于生长约为 29%。但是, 对于摄食人工饲料的养殖鱼类方面的研究还不多。Elliott (1976) 关于鱼类能量代谢概算基本方程式^[45]; $I = M + G + E$ (I —摄取饲料能、 M —代谢能、 G —生长能、 E —排泄能), 依此概算, 肉食性鱼类表达为 $100I = (44 \pm 7)M + (29 \pm 6)G + (27 \pm 3)E$ 。河鳟投饲钩虾 (*Gammarus*) 和虹鳟投喂配合饲料, 能量分配有差异; 草食性鱼类表达为 $100I =$

1) 王道尊等(未发表)。

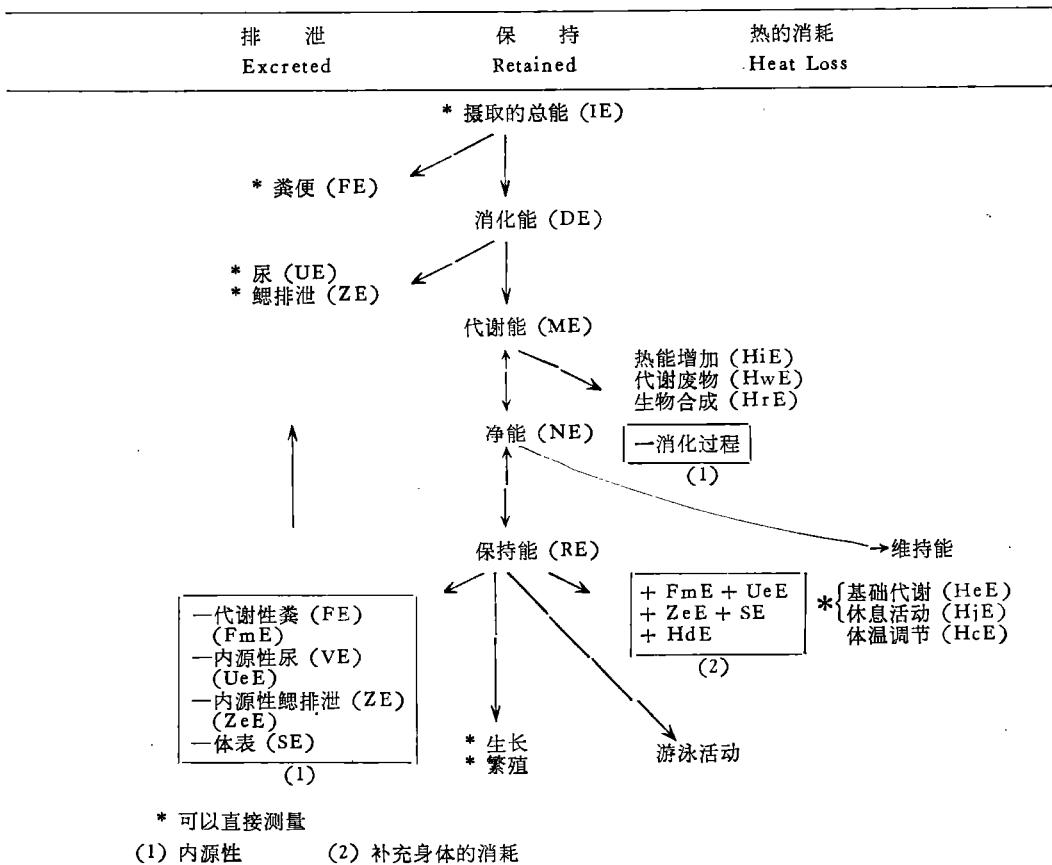


图 1 鱼类对饲料能的利用

Fig. 1 Utilization of dietary energy in fish

$37M + 20G + 43E$ 。草鱼投喂莴苣 (*Lactuca sativa*)，其排泄能 (E) 高达 81%，而生长能 (G) 仅得 3%，而改变饲料，增加动物性饲料后，排泄能 (E) 减少为 60%，生长能提高达 17%，饲料种类和质量对能量的利用效率有密切的影响^[46]。从以上资料表示，比较好的鱼类饲料的能量效率，一般是在 25—40%，即在饲料中只有不到 50% 的能量用于生长，其余的主要消耗于维持生命的正常活动。一般认为，对于每公斤饲料能量低于 3 000 千卡的低脂肪、高纤维的饲料，其饲料转换率比较低；含有高脂肪和高糖的高能量饲料，虽然饲料转换率比较高，但是，经常导致非蛋白质体重增长高于一般水平。根据目前所知，鱼类饲料总的生理能的含量，以饲料中 8 千卡/克蛋白质的比例为宜。这考虑到饲料中有足够的脂肪和糖来节约蛋白质作为能源的消耗，而提供更多的自由能用于生长^[63]。温水性鱼类饲料总能，一般应不低于 3000 千卡。

鱼类需要的能量大部分来自饲料中的蛋白质，所以蛋白质用作代谢中的基本能量是众所周知的现象。但是，脂肪和糖是重要的营养素，在体内它们能减低蛋白质的氧化满足鱼类能量的需要，并改善了饲料中蛋白质的利用^[36, 120]。这种非蛋白质能量对蛋白质的节约作用正受到许多研究者的重视。因此，近年关于饲料中蛋白质——能量比 (protein/

energy ratio) 方面的研究有所报道。关于饲料中蛋白质——能量比(简写为 P/E 比)的表达,目前还不统一,有的是用饲料总能 (IE),有的则用消化能 (DE) 或代谢能 (ME); P/E 比的单位为: 克蛋白质/兆焦耳。饲料中最适合的 P/E 比,虹鳟的 P/ME 比为 19—24 克/兆焦耳^[76]; P/DE 比为 20—25 克/兆焦耳^[32]; 鲤鱼的 P/DE 比为 12—13 克/兆焦耳^[43]; P/ME 比 21—23 克/兆焦耳^[109]。有的则以能量 (E)——蛋白质 (P) 比来表示, E/P 比的单位为: 千卡/克蛋白质。斑点叉尾鮰研究得到的资料,认为实用饲料中 DE/P 比,变动于 6.6—7.4 千卡/克蛋白质^[79]。但是,由于饲养鱼的规格,饲养温度和使用饲料能源等差异, P/E 比或 E/P 比会有不同。我国在这方面研究则刚刚开始,根据初步研究,草鱼饲料总能 (C)——蛋白质 (P) 比 (C/P 比),幼鱼阶段为 8.8—13.8 千卡/克蛋白质^[3]; 青鱼 C/P 比为 9.1 千卡/克蛋白质^[1]; 团头鲂 C/P 比为 8.6 千卡/克蛋白质^[7]。

鱼类对不同饲料能源的利用率是不同的,陆生高等动物能源主要是利用糖类和脂肪,但是大部分肉食性养殖鱼类对糖类作为能源的利用力比较低,而利用蛋白质和脂肪比较好。最近研究表明,鲤鱼和草鱼、非鲫等能比较好地利用糖作为能源。

五、维 生 素

维生素是维持鱼体正常生理功能必需的营养素。目前已知鱼类需要 4 种脂溶性和 11 种水溶性维生素。许多水溶性维生素是辅酶 (Coenzyme) 的组成成分。例如维生素 B₆ 磷酸吡哆醛 (Pyridoxal phosphate), 实际上对所有氨基酸转换酶 (Amino-transfases) 起辅酶的作用, 维生素 B₁ (Thiamine) 是辅羧酶 (Co-carboxylase) 的辅酶。维生素 B₂ (Riboflavin) 是谷胱甘肽还原酶 (Glutathione reductase) 和 D-氨基酸氧化酶 (D-amino acid oxidase) 的辅酶。但是, 脂溶性维生素也有辅酶的作用。

饲料中添加的维生素,一般为预制的混合 (Premix) 维生素,其添加量一般是依据鱼类对维生素的需求量为基础,然后考虑到饲料在加工和储藏过程的消耗,加大添加量,以保证机体的足够需求。

关于鱼类对维生素缺乏症和需求,过去已有许多报道^[60,85,86]。最近, Halver (1985) 就鱼类维生素营养与代谢研究的进展作了评述^[61]。现将有关鱼类对维生素的需求量综合于表 3。

表 3 中所列出的维生素需求量,是防止鱼类出现维生素缺乏症的最低水平。实用饲料中的添加量应考虑加工过程和饲料储存期间的损耗,其添加量往往要增大许多。如斑点叉尾鮰,维生素 C 需求量每公斤饲料为 60 毫克,而实际饲料中维生素 C 的供给量达到 375 毫克,这是因为维生素 C 在饲料加工过程中容易受热破坏,或储存中被氧化破坏等引起的。有的维生素,如胆碱仅仅知道是需要,确切需求量未确定,故宁可供给量提高达 550 毫克,目的在于防止缺乏症的产生^[104]。鱼类对维生素需求量,依鱼的种类^[64,101,130]、发育阶段^[17,18,108]、饲料组成和质量^[121,122]和环境条件^[81]等的不同而异。

关于我国养殖鱼类对维生素的需求,研究得十分薄弱,初步试验发现如果饲料中缺乏氯化胆碱、肌醇、泛酸钙和烟酸时,青鱼生长受到严重影响;在团头鲂的试验也表明,缺乏

表3 鱼类饲料中维生素最低需要量(毫克/公斤饲料)*

Tab. 3 Recommended levels of water-soluble and fat-soluble vitamins for certain fish

维 生 素	冷水性鱼类(鲑鳟)	鲤 鱼	斑点叉尾鮰	真 鲷
水溶性(毫克/公斤饲料)				
维生素B ₁	5—10(10)	—	1.0	R
维生素B ₂	5—15(40)	7	9.0	R
维生素B ₆	5—15(10)	5—6	3.0	5—6
泛 酸	10—20(80)	30—50	10—20	R
烟碱酸	100—150(150)	28	14.0	R
生物素	0.5—1.1(1.0)	I	R	N
叶 酸	2—5(3)	N	N	N
维生素B ₁₂	0.01—0.02(0.02)	N	R	R
胆 碱	2000—3000(800)	4000	R	R
肌 醇	200—400(400)	440	N	550—900
维生素C	100—800(100)	NT	60	R
脂溶性(IU/公斤饲料)				
维生素A	2000—3000(4000)	10,000	1000—2000	NT
维生素D	2000—3000(R)	N	500—1000	NT
维生素E	20—40(400)	200—300	30	NT
维生素K	5—10(40)	N	R	NT

* 冷水性鱼类(Halver, 1985)^[61], 鲑鳟(NRC, 1981)^[85], 鲤鱼、斑点叉尾鮰、真鲷(NRC, 1983)^[86]

R——需要,但不知需要量; N——试验条件下不需要; NT——未作试验

肌醇、烟酸、泛酸钙、氯化胆碱、叶酸、维生素B₆、B₂等依次对团头鲂生长、饲料系数和饲料转换率均有较大的影响¹⁾。胡志洲等(1988)初步研究了草鱼对维生素C的需要量,若饲料缺乏维生素C,草鱼出现缺乏症,呈现出出血性症状:眼窝充血、鳃盖、胸鳍、腹鳍基部布满出血点,体腔内的腹膜和肠系膜也出现血点。并发现肝脏维生素C含量随饲料维生素含量增加而增加,至恒定值时,可初步确定作草鱼需要量,每公斤饲料约需要600毫克维生素C。

六、无机盐

无机盐是构成机体组织的重要材料,同时也是维持机体渗透压、酸碱平衡等正常生理代谢不可缺少的营养素。

鱼类在新陈代谢中,每天都有一定量的无机盐从各种途径排出体外,因而有必要通过饲料予以补充。但是,鱼类无机盐代谢受到环境条件影响比较大,淡水鱼类可通过体表、鳃等吸取无机盐;海水鱼类是通过吞饮海水而获得。不过,鱼类能从水中直接摄取的无机盐也仅限于几种元素,从饲料中获得无机盐的补充仍然是不可忽视的。要获得较为准确的鱼类无机盐需求量极其困难,因受饲料和水环境中无机盐水平的影响。目前关于鱼

1) 杨国华(未发表)。

类无机盐和微量元素的需要量的报告还不是十分系统。这里根据 Chow 等 (1980) 的资料^[34], 提供一个鱼类无机盐需要量的概况 (表 4)。

表 4 鱼类无机物需求一般参考量

Tab. 4 Information on mineral requirements of fish

常量元素	需 要 量 (克/公斤饲料)	微 量 元 素	需 要 量 (毫克/公斤饲料)
钙 (Ca)	5	铁 (Fe)	50—100
磷 (P)	7	铜 (Cu)	1000—4000
镁 (Mg)	0.5	锰 (Mn)	20—50
钠 (Na)	1—3	钴 (Co)	5—10
钾 (K)	1—3	锌 (Zn)	30—100
硫 (S)	3—5	碘 (I)	100—300
氯 (Cl)	1—5	铬 (Cr)	痕量

实际上鱼类对无机盐需求量, 依鱼种类、饲料组成和水中无机盐水平而有不同。在上述概状的基础上, 再稍加分述:

(1) **钙和磷** 钙和磷在鱼体代谢中是紧密相关的, 因为它们在骨骼矿化过程中有配合作用。鲑鳟鱼类对磷的需求比其他无机元素都要高, 而且这个需求量一般不会受到饲料中钙水平的影响。在对照实验中, 鲤鱼和虹鳟的生长与饲料中磷的水平有正的相关, 而与钙的水平没有明显的相关, 总的来说, 多数鱼类很少发生缺钙的现象, 这主要是由于鱼类能通过鳃从水中吸收钙^[33]。斑点叉尾鮰, 饲养在钙含量为 14ppm 水中, 饲料中需钙量 0.05% 以上, 磷 0.45%^[50]; 鲤鱼饲养在钙含量为 20ppm 水中, 饲料中需钙量 0.028% 以上, 磷 0.6—0.70%^[53]; 鳗鲡饲养在含钙量为 19ppm 水中, 饲料中需钙量 0.27%, 磷为 0.29%^[22]。鱼类对不同钙源和磷源的利用率是不同的^[50, 56, 107]。

(2) **镁** 以缺镁的饲料饲养斑点叉尾鮰, 鱼生长缓慢。而在水中镁含量为 1.6ppm 的水平下, 斑点叉尾鮰幼鱼饲料中镁的需要量为 0.04%^[54]。鲤鱼缺镁, 生长缓慢, 易受惊厥, 在水中镁含量为 3.5ppm 的条件下, 鲤鱼幼鱼饲料中镁的最低需要量为 0.04%^[51]。真鲷饲养于镁典型含量为 1350ppm 的海水中^[114], 饲喂 0.012% 或更高镁含量的饲料, 鱼生长正常, 没有出现缺乏症。用缺镁, 而钙磷超量的饲料饲喂虹鳟, 鱼生长缓慢、呆滞、血清中镁低、骨骼肌钾高, 以及发生肾结石^[38]。进一步研究, 认为水中镁含量在 1.2—3.1ppm 水平下, 虹鳟饲料中镁的需要量大约为 0.025—0.07%^[74, 94]。

(3) **铁** 鲤鱼和真鲷^[106]以及美洲红点鲑 *Salvelinus fontinalis*^[69] 等缺铁时会产生低色小红细胞贫血症 (hypochromic microcytic anemia)。在饲料中添加铁的含量, 能防止鱼类贫血症出现。真鲷和鳗鲡饲料中铁的需要量约为 150—170ppm^[19]。

(4) **碘** 鱼类和其他动物一样碘主要是存在于甲状腺球蛋白中, 给金鱼注射放射性碘, 证明它能被甲状腺所结合^[29]。鱼类缺碘导致甲状腺肿的发生, 这在鲑鳟早有报道^[75]。在饲料中添加适量碘能防止缺乏症出现。虽然至今对于鲑鳟鱼饲料中碘的最低需要量尚未确定, 但是, 饲料中约含 1—5ppm 可能是合适的。

(5) **锌** 锌也是金属结合酶 (metalloenzymes), 如过氧化物歧化酶、羧肽酶的一个

组份,所以,许多新陈代谢作用都受到锌不足的影响。虹鳟饲料中锌的需要量,过去约定为 60ppm,可以用硫酸锌作为添加物^[70,71],现在认为以 15—30ppm 已可满足需要。鲤鱼饲料中锌需要约为 5ppm,也有建议为 15—30ppm^[55]。斑点叉尾鮰的锌需要量约为 20 ppm^[55]。锌不足会使鱼类产生白内障等缺乏症。

(6) 铜 铜是多种酶,如铁氧化酶、细胞色素氧化酶等的组份,生理功能多样。骨骼构成、组织细胞生成均需适量铜存在。鲤鱼饲料中铜的需要量约为 3ppm^[98]。斑点叉尾鮰约为 1.5ppm,此量适于生长和造血,相反,饲料中添加量超过 32ppm,会引起轻度贫血和生长减缓^[64]。在虹鳟幼体用含铜量 0.7 或 3.0ppm 饲料进行饲养,结果鱼的生长没有差异。因此,可认为虹鳟铜需要量约为 0.7ppm^[98]。

(7) 锰 锰是一系列酶的激活剂,可能参与核糖核酸、脱氧核糖核酸和蛋白质的生物合成。虹鳟缺锰会产生脊椎骨的不正常弯曲和尾部畸形。饲料中锰含量 12—13ppm 比 4ppm 对虹鳟和鲤鱼的生长效果更好^[98]。非鲫 *Tilapia mossambica* 幼鱼饲养在含有 2.5ppm 锰的水中,饲喂含锰量为 2.8ppm 的饲料,生长缓慢,食欲不振,死亡率增加。当饲料中锰含量提高到 35.5ppm 时,能得到较好的效果^[65]。

(8) 硒 硒是金属谷胱甘肽过氧化物酶的一个组份,因此,能发挥抗氧化的防卫作用,保护细胞正常功能。并参与辅酶 A 等的合成。鲑鳟鱼缺硒死亡率增高^[100],饲料中硒和维生素 E 在防止氧化中起协同作用。硒不足会加深维生素 E 的不足症,引起肌肉营养不良,在饲料中添加 0.1ppm 硒和 500IU (国际单位) 维生素 E,能防止肌肉营养不良症。虹鳟饲料中硒需要量约为 0.15—0.4ppm 是合适和安全的^[65],在这样的添加水平下,体内谷胱甘肽过氧化酶活性最高。当饲料硒含量达到 13 毫克后,会发生硒中毒现象,鱼螺旋式游泳,生长减慢,以至死亡^[33]。

我国养殖鱼类无机盐需要量的研究工作甚少。根据研究草鱼鱼种生长阶段,以钙、磷、铁、镁和钴对生长影响最大,饲料中钙和磷需要量分别为 0.73% 和 0.49%¹⁾。青鱼分别为 0.3 和 0.6%²⁾。草鱼对混合无机盐的需要量为 12%^[3] 和 9.7%¹⁾。似乎草鱼对无机盐的需要量比较高。

我国鱼类营养学研究,现阶段主要还侧重在需求量的研究,通过“六五”攻关各研究单位的协作,虽然已取得不少成果,但与国外相比,我们还存在较大的差距,主要表现在深度和广度均不够。因此今后仍然应该继续把草鱼、青鱼、团头鲂等主要养殖鱼类作为重点研究外,也应该适当注意开展海淡水名贵鱼类营养的研究,适应我国海淡水名贵鱼类的养殖发展形势;从一种鱼类来看,应注意从幼鱼、成鱼,乃至亲鱼整个养殖过程营养需求方面的系统研究,使饲料产品系列化。此外,在全面开展鱼类营养需求量研究基础上,应注意开展鱼类营养物质代谢和能量代谢等机理的研究;研究中应注意加强设计方法的严密性,试验方法的统一和可比性,数据处理的可靠性;并注意营养试验方法论的研究,不断提高研究的理论水平。

1) 黄耀桐(未发表); 2) 杨国华(未发表)。

参 考 文 献

- [1] 王道尊、宋天复、杜汉斌, 1984。饲料中蛋白质和糖的含量对青鱼鱼种生长的影响。水产学报, 8(1): 9—17。
- [2] 中山大学生物系动物教研室, 1976。草鱼的营养代谢生理研究简报 1. 应用³²P研究草鱼对饲料的消化吸收。中山大学学报, (1): 44—48。
- [3] 毛永庆、蔡发盛、林鼎, 1985。幼鲩(草鱼)对蛋白质、糖、脂肪、无机混合盐和纤维素日需要量的研究。鱼类学论文集(第四辑): 81—92。
- [4] 毛永庆、蔡发盛、林鼎, 1985。鲮鱼最适生长的营养素需要量研究。水生生物学报, 9(3): 213—223。
- [5] 陈茂松、刘辉男, 1976。幼草鱼对于饲料蛋白质之利用。J. Fish. Soc. Taiwan, 4(2): 67—72。
- [6] 杨国华、李军、郭履骥等, 1981。夏花青鱼饲料中的最适蛋白质含量。水产学报, 5(1): 49—55。
- [7] 邹志清、苑福熙、陈双喜, 1987。团头鲂饲料中最适蛋白质含量。淡水渔业, (3): 21—24。
- [8] 林浩然、陈舜华、范允平, 1978。草鱼的营养代谢生理研究 III. 应用放射性同位素¹⁴C研究草鱼对粗纤维的消化吸收。中山大学学报, (4): 106—109。
- [9] 林鼎、毛永庆、蔡发盛, 1980。幼鲩 *Ctenopharyngodon idellus* 鱼种生长阶段蛋白质最适需要量的研究。水生生物学集刊, 7(3): 207—212。
- [10] 林鼎、毛永庆, 1987。我国鱼类营养研究的现状与展望。饲料研究, (5): 9—12。
- [11] 林鼎、毛永庆, 1986。微型电脑鱼类配合饲料优化配方研究。全国饲料工业学术交流会论文集, 138—144。
- [12] 胡志洲、黄忠志、廖朝兴, 1988。草鱼早期生长阶段对维生素C的需要。淡水渔业, (2): 12—14。
- [13] 廖翔华、林鼎、毛永庆, 1980。草鱼酶纤颗粒饲料及营养代谢的研究。水产学报, 4(3): 217—228。
- [14] 廖翔华等, 1980。科学技术成果报告, 鲮鱼(草鱼)饲料研究。科学技术文献出版社出版。
- [15] 廖朝兴、黄忠志, 1987。草鱼种在不同生长阶段对饲料蛋白质需要的研究。淡水渔业, (1): 1—4。
- [16] 雍文岳、黄忠志、廖朝兴, 1986。饲料中脂肪含量对草鱼生长的影响。淡水渔业, (6): 11—14。
- [17] 池田静德・佐藤 守・木村良太郎, 1963。魚体内のレーアスコルビン酸濃度分布。日本誌, 29: 765—770。
- [18] 佐藤 守・岡本一磨・吉中禮二・池田静德, 1981。ニジマス卵のふ化過程におけるユラーゲンの生長。昭和56年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, P. 99。
- [19] 萩野珍吉編, 1980。魚類の栄養と飼料。新水産全集(14), 恒星社厚生閣, 東京, 232—246。
- [20] Anderson, R. J., Kienholz, E. W. and Flikinger, S. A. 1981. Protein requirement of smallmouth bass and largemouth bass. J. Nutr., III 1085—1097.
- [21] Arai, S., Nose, T. and Hashimoto, Y. 1972. Amino acids essential for the growth of eels, *Anguilla anguilla* and *A. japonica*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 38: 753—759.
- [22] Arai, S., Nose, T. and Hashimoto, Y. 1975. Mineral requirements of eel. I. Ca, Mg and P. Proc. Annu. Meet. Jap. Soc. Sci. Fish., April 1—6, Tokyo. p. 48 (Abstr).
- [23] Arai, S. 1981. A purified test diet for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, fry. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 47: 547—550.
- [24] Atkinson, J. L. and Hilton, J. W. 1981. Response of rainbow trout to increased dietary carbohydrate. Fed. Proc., 40: 3—486.
- [25] Brett, J. R. and Groves, T. D. D., 1979. Physiological energetics. In "Fish Physiology" (W. S. Hoar, et al.) Vol. 8, Academic Press, N. Y., pp. 279—352.
- [26] Castell, J. D., Sinnhuber, R. O., Lee, D. J. and Wales, J. H., 1972b. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): physiological symptoms of EFA deficiency. J. Nutr., 102: 87—92.
- [27] Castell, J. D., Lee, D. J. and Sinnhuber, R. O. 1972a. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): lipid metabolism and fatty acid composition. J. Nutr., 102: 93—100.
- [28] Chance, R. E., Mertz, E. T. and Halver, J. E. 1964. Nutrition of salmonoid fishes. XII. Isoleucine, leucine, valine and phenylalanine requirements of chinook salmon and interrelations between isoleucine and leucine for growth. J. Nutr., 83: 177—185.
- [29] Chavin, W. and Bouwman, B. N., 1965. Metabolism of iodine and thyroid hormone synthesis in the goldfish, *Carassius auratus* L. Gen. Comp. Endocrinol., 5: 493—503.
- [30] Chiou, J. Y. and Ogino, C., 1975. Digestibility of starch in carp. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 41: 465—466.
- [31] Cho, C. Y., Slinger S. J. and Bayley, H. S., 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. Comp. Biochem. Physiol., 73B: 25—41.
- [32] Cho, C. Y. 1983. A guide to integrated fish health management in Great Lakes basin (F. P. Meyer, J. W. Warren and T. G. Carey, eds.) Great Lakes Fishery Commission; Ann Arbor, Michigan, Spec. Pub. 83—2: 272pp.

- [33] Cho, C. Y., Cowey, C. B. and Watanabe, A., 1985. Finfish Nutrition in Asia, Methodological Approaches to Research and Development. International Development Research Centre (IDRC-233e), 25—28.
- [34] Chow, K. W., and Schell, W. R., 1980. The minerals. In: "Fish Feed Technology". FAO/UNDP. Rome, pp. 104—108.
- [35] Cowey, C. B., Adron J. and Blair, A. 1970. Studies on the nutrition of marine flatfish. The essential amino acid requirements of plaice and sole. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **50**: 87—95.
- [36] Cowey, C. B., Adron, J. W. and Brown, D. A. 1975. Studies on the nutrition of the marine flatfish. The metabolism of glucose by plaice (*Pleuronectes platessa*) and the effect of dietary energy source on protein utilization in plaice. *Br. J. Nutr.*, **33**: 219—231.
- [37] Cowey, C. B., Owen, J. M. Adron J. W. and Middleton, C. 1976. Studies on the nutrition of marine flatfish. The effect of different dietary fatty acids on growth and fatty acid composition of turbot (*Scophthalmus maximus*). *Br. J. Nutr.*, **36**: 476—486.
- [38] Cowey, C. B., Kuox, D., Adron, J. W., George, S. and Pirie, B. 1977. The production of renal calcinosis by magnesium deficiency rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Br. J. Nutr.*, **38**: 127—135.
- [39] Debrowski, K. 1977. Protein requirements of grass carp fry (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture*, **12**: 63—73.
- [40] Delong, D. C., Halver, J. E. and Mertz, E. T., 1962. Nutrition of salmonid fishes. X. Quantitative threonine requirements of chinook salmon at two water temperatures. *J. Nutr.*, **76**: 174—178.
- [41] Dupree, H. K. 1966. Carbohydrate molecular size. in Progress in Sport Fisheries Research 1965. Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, Res. Pub. 38. pp. 129—130.
- [42] Dupree, H. K. and Halver, J. E., 1970. Amino acid essential for the growth of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, *Trans. Am. Fish Soc.*, **99**: 90—92.
- [43] Eckhardt, O., Becker, K. and Gunther, K. D. 1983. Z. Tierphysiol. Tierernahr. V. *Futtermittelkde.*, **49**: 260—265.
- [44] Edwards, D. J., Austreng, E. Risa, S. and Gjedrem, T., 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets. I. Growth of fish of different families fed diets containing different proportions of carbohydrate, *Aquaculture*. **11**: 31—38.
- [45] Elliott, J. M. 1976. The energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout (*Salmo trutta L.*) in relation to body weight, water temperature and ration size, *J. Anim. Ecol.*, **45**: 923—948.
- [46] Fischer, Z. 1972. The elements of energy balance in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*, Val.). Part 1. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, **17**: 421—434.
- [47] Fujii, M. and Yone, Y., 1976. Studies on nutrition of red sea bream. XIII. Effect of dietary linolenic acid and ω-3 polyunsaturated fatty acids on growth and feed efficiency. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **42**: 583—588.
- [48] Furuichi, M. and Yone, Y. 1971. Studies on nutrition of red sea bream. IV. Nutritive value of dietary carbohydrate. *Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ.*, **1**: 75—81.
- [49] Furuichi, M. and Yone, Y., 1980. Effect of dietary dextrin levels on the growth and feed efficiency, the chemical composition of liver and dorsal muscle, and the absorption of dietary protein and dextrin in fishes. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **46**: 225—229.
- [50] Furuichi, M. and Yone, Y. 1981. Change of blood sugar and plasma insulin levels of fishes in glucose tolerance test. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **47**: 781—764.
- [51] Furukawa, A. 1976. Diet in yellowtail culture, pp. 85—104 in Proceeding of the First International Conference on Aquaculture Nutrition, K. S. Price, W. N. Shaw and K. S. Danbert, eds. Lewes/Rehoboth: University of Delaware.
- [52] Garling D. L. Jr. and Wilson, R. P. 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.*, **106**: 1368—1375.
- [53] Garling, D. L., Jr. and Wilson, R. P. 1977. Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and body composition of fingerling channel catfish. *Prog. Fish Cult.*, **39**: 43—47.
- [54] Gatlin, D. M., III, Robinson, E. H., Poe, W. E., and Wilson, R. P. 1982. Magnesium requirement of fingerling channel catfish and signs of magnesium deficiency. *J. Nutr.*, **112**: 1181—1187.
- [55] Gatlin, D. M., III, and Wilson, R. P., 1983. Dietary zinc requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, **113**: 630—635.
- [56] Halver, J. E., DeLong D. C. and Mertz, E. T. 1957. Nutrition of salmonoid fishes. V. Classification of essential amino acids for chinook salmon. *J. Nutr.*, **63**: 95—105.
- [57] Halver, J. E., DeLong, D. C. and Mertz, E. T. 1958. Threonine and lysine requirements of chinook salmon. *Fdn Proc. Fedn Am. Soc. Exp. Biol.* **17**: 478 (abstr. No. 1873).

- [58] Halver, J. E., DeLong D. C. and Mertz, E. T., 1959. Methionine and cystine requirements of chinook salmon. *Fdn Proc. Fedn Am. Soc. Exp. Biol.*, **18**: 527 (abstr. No. 2076).
- [59] Halver, J. E. and Shanks, W. E., 1960. Nutrition of salmonoid fishes. VIII. Indispensable amino acids for sockeye salmon. *J. Nutr.*, **72**: 340—346.
- [60] Halver, J. E., 1982. The vitamins required for cultivated salmonids. *Comp. Biochem. Physiol.*, **73B**, No. 1: 43—50.
- [61] Halver, J. E. 1985. Recent advances in vitamin nutrition and metabolism in fish. In Cowey, C. B., A. M. Mackie and J. G. Bell, ed., *Nutrition and Feeding in Fish*. Academic Press, London. 415—429.
- [62] Harding, D. E., Allen, O. W. Jr., and Wilson, R. P. 1977. Sulfur amino acid requirement of channel catfish: L-methionine and L-cystine. *J. Nutr.*, **107**: 2031—2035.
- [63] Hastings, W. H., 1976. Fish nutrition and fish feed manufacture, In *Advance in Aquaculture*. (T. C. R. Pillay and Wn. A. Bill ed.). FAO Fishing News Books Ltd. pp. 568—573.
- [64] Hilton, J. W., Cho, C. Y., Brown, R. G. and Slinger, S., 1979. The synthesis, half-life and distribution of ascorbic acid in rainbow trout. *Comp. Biochem. Physiol.*, **63A**: 447—453.
- [65] Hilton, J. W., Hodson P. V. and Slinger, S. J., 1980. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Nutr.*, **110**: 2527—2535.
- [66] Ishak, M. M. and Dollar, A. M. 1968. Studies on manganese uptake in *Tilapia mossambica* and *Salmo gairdneri*. I. Growth and survival of *Tilapia mossambica* in response to manganese. *Hydrobiologia*, **31**: 572—584.
- [67] Jauncey, K. 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). *Aquaculture*, **27**: 43—54.
- [68] Kanazawa, A., Teshima, S., Sakamoto, M., and Awal, M. A., 1980. Requirements of *Tilapia zillii* for essential fatty acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **46**: 1353—1356.
- [69] Kawatsu, H. 1972. Studies on the anemia of fish. V. Dietary iron deficient anemia in brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *Bull. Freshw. Fish. Res. Lab.*, **22**: 59—67.
- [70] Ketola, H. G. 1978. Dietary zinc prevents cataract in trout. *Fed. Proc.*, **37**: 584.
- [71] Ketola, H. G. 1979. Influence of dietary zinc on cataracts in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Nutr.*, **109**: 965—969.
- [72] Ketola, H. G. 1982. Amino acid nutrition of fishes: Requirements and supplementation of diets. *Comp. Biochem. Physiol.*, **73B**: 17—24.
- [73] Klein, R. G. and Halver, J. E., 1970. Nutrition of salmonid fishes: Arginine and histidine requirements of chinook and coho salmon. *J. Nutr.*, **100**: 1105—1110.
- [74] Knox, D., Cowey, C. B. and Adron, J. W. 1981. Studies on the nutrition of salmonid fish. The magnesium requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Br. J. Nutr.*, **45**: 137—148.
- [75] LaRoche, G. and Leblond, C. P. 1952. Effect of thyroid preparation and iodide on Salmonidae. *Endocrinology*, **51**: 524—545.
- [76] Lee, D. J. and Putnam, G. B., 1973. The response of rainbow trout to varying protein/ energy ratios in a test diet. *J. Nutr.*, **103**: 916—922.
- [77] Leger, C., Gatesoupe, F. J., Mettailler, R., Luquet P. and Fremont, L. 1979. Effect of dietary fatty acids differing by chain lengths and ω series on the growth and lipid composition of turbot *Scophthalmus maximus*. *L. Comp. Biochem. Physiol.*, **B64**: 345—350.
- [78] Likimani, T. A. and Wilson, R. P. 1982. Effects of diet on lipogenic enzyme activities in channel catfish hepatic and adipose tissue. *J. Nutr.*, **112**: 112—117.
- [79] Lovell, R. T. and Prather, E. E., 1973. Response of intensively-fed catfish to diets containing various protein-to energy ratios, *Proc. Ann. Conf. Southeast Assoc. Game and fish Comm.*, **27**: 455—459.
- [80] Lovell, R. T. 1978. Dietary phosphorus requirement of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Trans. Am. Fish. Soc.*, **107**: 617—621.
- [81] Lovell, R. I. 1984. Ascorbic acid metabolism in fish. In "Ascorbic Acid in Domestic Animal" (Wegger, I., F. J. Tagwerker and J. Monsgaard, ed.) The Royal Danish Agr. Soc., Copenhagen, pp. 196—205.
- [82] Mazid, M. A., Tanaka, Y., Katayama, T., Simpson K. L. and Chichester, C. O. 1978. Metabolism of amino acids in aquatic animals. III. Indispensable amino acids for *Tilapia zillii*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **44**: 739—742.
- [83] Mertz, E. T. 1972. The protein and amino acid needs. pp. 105—143 in *Fish Nutrition*, Halver, J. E. ed. New York, Academic Press.
- [84] Murai, T., Andrews J. W. and Smith, R. G. Jr. 1981. Effects of dietary copper on channel catfish. *Aquacul-*

- ture, 22: 353—357.
- [85] National Research Council (NRC) 1981. Nutrient requirements of coldwater fishes. National Academy of Sciences, Washington, D. C.
- [86] National Research Council (NRC). 1983. Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfish. National Academy of Sciences, Washington, D. C.
- [87] Nose, T. and Arai, S. 1972. Optimum level of protein in purified test diet for eel, *Anguilla japonica*. *Bull. Freshw. Fish. Res. Lab. Tokyo*, 22: 145—155.
- [88] Nose, T., Arai, S., Lee, D. J. and Hashimoto, Y. 1974. A note on amino acids essential for growth of young carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 40: 903—908.
- [89] Nose, T. 1979. In "Finfish Nutrition and Fishfeed Technology", (Halver, J. E. and K. Tiews, eds.) 1, 145—146. Heenemann GmbH and Co., Berlin.
- [90] Ogino, C. and Saito, K. 1970. Protein nutrition in fish. I. The utilization of dietary protein by young carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 36: 250—254.
- [91] Ogino, C. and Chiou, J. Y. 1976. Mineral requirements in fish. II. Magnesium requirements of carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42: 71—75.
- [92] Ogino, C., Chiou, J. Y. and Takenchi, T. 1976. Protein nutrition in fish. VI. Effects of dietary energy sources on the utilization of protein by rainbow trout and carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42: 213—218.
- [93] Ogino, C. and Takeda, H. 1976. Mineral requirements in fish. III. Calcium and phosphorus requirements in carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42: 793—799.
- [94] Ogino, C., Takashima F. and Chiou, J. Y., 1978. Requirement of rainbow trout for dietary magnesium. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44: 1105—1108.
- [95] Ogino, C. and Yang, G. Y. 1979. Requirement of carp for dietary zinc. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45: 967—969.
- [96] Ogino, C., Takenchi, L., Takeda, H. and Watanabe, T. 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45: 1527—1532.
- [97] Ogino, C. 1980. Requirement of carp and rainbow trout for essential amino acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46: 171—174.
- [98] Ogino, C. and Yang, G-Y. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46: 455—458.
- [99] Oko, A., Zuzuki N. and Watanabe, T. 1980. Effect of fatty acids in rotifers on growth and fatty acid composition of larval ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46: 1413—1418.
- [100] Poston, H. A., G. F. Jr. Combs and Leibovitz, L. 1976. Vitamin E and selenium interrelations in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*): gross, histological and biochemical deficiency signs. *J. Nutr.*, 106: 892—904.
- [101] Poston, H. A. and Combs, G. F. Jr. 1980. Nutritional implications of tryptophan catalyzing enzymes in several species of trout and salmon. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 160: 452—454.
- [102] Robinson, E. H., Wilson, R. P. and Poe, W. E. 1980a. Total aromatic amino acid requirement, phenylalanine requirement and tyrosine replacement value for fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, 110: 1805—1812.
- [103] Robison, E. H., Wilson R. P. and Poe, W. E. 1981. Arginine requirement and apparent absence of a lysine-arginine antagonism in fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, 111: 46—52.
- [104] Robinson, E. H. 1984. Vitamin Requirements. In "Nutrition and Feeding of Channel Catfish (Revised)" (E. H. Robinson et al. Ed.). Southern Cooperative Series Bulletin No. 293: 21—25.
- [105] Runsey, G. L. and Ketola, H. G. 1975. Amino acid Supplementation of casein in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry and of soybean meal for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fingerlings. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 32: 422—426.
- [106] Sakamoto, S. and Yone, Y. 1978b. Requirement of red sea bream for dietary iron. II. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44: 223—225.
- [107] Sakamoto, S. and Yone, Y. 1979b. Availabilities of phosphorus compounds as dietary phosphorus sources for red sea bream. *J. Fac. Agric. Kyushu Univ.*, 23: 177—184.
- [108] Sandnes, K. 1984. Some aspects of ascorbic acid and reproduction in fish. In. "Ascorbic Acid in Domestic Animals" (Wegger, I., F. J. Tagwerker and J. Moustgaard ed.). The Royal Danish Agr. Soc., Copenhagen. pp. 206—212.
- [109] Schwartz, F. J., Zeitler M. H. and Kirchgessner, M. 1983. Z. Tierphysiol. Tierernahr. U. Futtermittelkde, 49: 88—98.
- [110] Sen, P. R., Rao, N. G. S., Ghosh S. R. and Rout, M. 1978. Observation on the protein and carbohydrate re-

quirements of carps. *Aquaculture*, **13**: 245—255.

- [111] Shanks, W. E., Gahimer G. D. and Halver, J. E. 1962. The indispensable amino acid for rainbow trout. *Prog. Fish Cult.*, **24**: 68—73.
- [112] Simco, B. A. and Cross, F. B. 1966. Factors affecting the growth and production of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *V. Kans. Museum of Nat. Hist.*, **17**: 191—256.
- [113] Singh, R. P. and Nose, T. 1967. Digestibility of carbohydrate in young rainbow trout. *Tansuiku Suisan Kenkyusho Kenkyu Hokoku*, **17**: 21—25.
- [114] Spotte, S. H. 1970. Water Management in Closed Systems. pp. 90—91 in *Fish and Invertebrate Culture*. New York: Wiley-Interscience.
- [115] Stickney, R. R. and Andrews, J. W. 1971. Combined effects of dietary lipids and environmental temperature on growth, metabolism and body composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. Nutr.*, **101**: 1703—1710.
- [116] Stickney, R. R. and Andrews, J. W. 1972. Effects of dietary lipids on growth, food conversion, lipid and fatty acid composition of channel catfish. *J. Nutr.*, **102**: 249—258.
- [117] Takeuchi, T. and Watanabe, T. 1977. Requirement of carp for essential fatty acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **43**: 541—551.
- [118] Takeuchi, T., Arai, S., Watanabe, T. and Shimna, Y. 1980. Requirement of eel *Anguilla japonica* for essential fatty acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **46**: 345—353.
- [119] Tsukahara, H., Furukawa, F. and Funae, K. 1967. Studies on feed for fish. VII. The effects of dietary fat on the growth of yellowtail (*Seriola quinqueradiata* Temminck et Schlegel). *Bull. Naikai Reg. Fish. Res. Lab.*, **24**: 29—50.
- [120] Watanabe, T. 1977. Sparing action of lipids on dietary in fish. Low protein diet with high calorie content. *Technocrat*, **10**: 34—39.
- [121] Watanabe, T., Takeuchi, T., Wada, M. and Uehara, R. 1981a. The relationship between dietary lipid levels and α -tocopherol requirement of rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **47**: 1463—1471.
- [122] Watanabe, T., Takeuchi, T. and Wada, M. 1981b. Dietary lipid levels and α -tocopherol requirement of carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **47**: 1585—1590.
- [123] Watanabe, T. 1982. Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, **73B**, No. 1: 3—6.
- [124] Wilson, R. P., Harding D. E. and Garling, D. L. 1977. Effect of dietary pH on amino acid utilization and the lysine requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, **107**: 166—170.
- [125] Wilson, R. P., Allen, O. W. Jr., Robison, E. H. and Poe, W. E., 1978. Tryptophan and threonine requirements of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, **108**: 1595—1599.
- [126] Wilson, R. P., Poe W. E. and Robison, E. H. 1980. Leucine, isoleucine, valine and histidine requirements of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, **110**: 627—633.
- [127] Wilson, R. P. 1985. Amino acid and protein requirements of fish (In Nutrition and Feeding in Fish. Co-wey, C. B. ed.). Academic Press. Harcourt Brae Jovanovich. Publisher, London.
- [128] Winberg, G. G. 1956. Belorussian State University, Minsk. 251 pp. (Fish Res. Bd. Can. Trans. Ser. 194. 1960).
- [129] Winfree, F. A. and Stickney, R. R. 1981. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. *J. Nutr.*, **111**: 1001—1012.
- [130] Yamamoto, Y., Sato, M. and Ikeda, S. 1978. Existence of L-gulonolactone oxidase in some teleosts. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **44**: 775—779.
- [131] Yone, Y. 1976. Nutritional studies of red sea bream. pp. 39—64. in Proceeding of the First International Conference on Aquaculture Nutrition, K. S. Price, W. N. Show and K. S. Danberg, eds. Lewes/Rehoboth: University of Delaware.