

文章编号:1000 - 0615(2004)05 - 0573 - 06

综述·

鱼粉在水产饲料中的应用研究

杨 勇, 解绶启, 刘建康

(中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室,湖北 武汉 430072)

关键词:鱼粉;生物胺;磷;水产饲料

中图分类号:S963.32⁺1

文献标识码:A

Studies of fish meal in aquafeeds

YANG Yong, XIE Shou-qi, LIU Jian-kang

(Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology,
Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: As a main protein source in aquafeeds, fish meal has been extensively studied. Fish sources, freshness, processing temperature, lipid quality and microbiological index are five main aspects of the evaluation of fish meal quality. This paper reviewed the researches on fish meal including the evaluation of fish meal quality, the use of fishmeal and the environmental problems. Biogenic amine is the main potential toxin in decomposed fish meal including mainly histamine, cadaverine, putrescine and tyramine and most studies showed that they could affect the fish growth performance and health. The determination of protein digestibility of fish meal includes pepsin-digestion method, animal test, capillary electrophoresis, etc. The content of phosphorus in fish meal and its utilization can introduce pollution to water bodies and the use of alternative protein and improvement of utilization of fish meal can help to reduce the pollution from fish meal.

Key words: fish meal; biogenic amine; phosphorous; aquafeed

鱼粉是水产饲料中传统的主要蛋白源,它不仅蛋白质含量高(通常高于 60%)和所含必需氨基酸齐全,还富含必需脂肪酸、矿物质、维生素、可消化能等鱼类生长繁育必需的成分,且适口性好,因而世界上不少地区的精养渔业都将鱼粉作为主要的蛋白源^[1]。

从上世纪 60 年代开始,全球鱼粉年产量基本稳定在 600~700 ×10⁴t 的水平,只有在 1998 年,由于受到厄尔尼诺(El Nino)的影响,产量降到了 534 ×10⁴t。1988 年用于水产饲料的鱼粉只占全球产量的 3%左右,而到了 2000 年,这一比例已上升到 35%,预计到 2010 年这一比例将接近

60%^[2]。水产饲料中鱼粉的大量使用和需求量的不断上升推动了对鱼粉质量的研究,由于鱼粉含磷较高,而大多数鱼对鱼粉中磷的利用率很低,未被吸收的磷会随残饵和粪便进入养殖水体,导致水体的富营养化发生。因此,研究如何减轻鱼粉带来的磷污染问题已日益迫切。近年来,鱼类营养学家们已开展了一系列研究,取得了一些新的进展。

1 鱼粉质量的评价与检测

鱼粉质量直接影响养殖种类的生长和饲料利用效率,

收稿日期:2003-06-17

资助项目:中科院创新方向性项目“集约化水产养殖高新技术及其生态调控”(KSCX2-1-04);国家“十五”科技攻关项目“鱼用高效饲料开发技术”(2001BA505B06)

作者简介:杨 勇(1972-),男,湖北荆州人,博士研究生,主要从事鱼类营养能量学研究。Tel:020-34514861, E-mail:yy@haid.com.cn

海产肉食性鱼类及虾类受其影响尤为明显。研究表明,用含低温干燥的“优质”鱼粉饲料比用“中等”或“低质”鱼粉饲料可明显提高大西洋鳕 *Hippoglossus hippoglossus*^[3]、大菱鲆 *Scophthalmus maximus*^[4]、金头鲷 *Sparus aurata*^[5]和狼鲷 *Anarhichas lupus*^[6]等养殖品种的生长和饲料利用效率。此外,鱼粉的质量对鱼体健康、废物的排出和鱼产品的品质也有直接影响。因此,鱼粉质量的检测和评价无论对生产应用还是实验研究都十分重要。

1.1 影响鱼粉质量的主要因素

原料鱼的种类、原料的新鲜度、加工的温度、脂肪的质量和微生物组成是影响鱼粉质量的5个最主要因素^[7]。

原料鱼的成份 原料鱼的种类决定鱼粉的色泽和基本化学组成。用鳕、沙丁鱼等红肉鱼加工得到红鱼粉,用鳕科的白肉鱼加工制成白鱼粉。用全鱼粉还是用鱼的下杂料加工对鱼粉的蛋白和灰份含量影响显著。

原料新鲜度 一般以挥发性氮(TVN)及残留的生物胺(biogenic amine)含量高低来判定原料的新鲜度。TVN指原料腐烂时,蛋白分解产生的一些挥发性的胺(如二、三甲胺)和氨的总称。它受贮存时间、温度、原料鱼的情况、细菌污染程度等多种因素的影响。通常每100g鱼TVN含量低于50mg时表示鲜度优良,超过150mg表示已开始腐败。生物胺是氨基酸代谢的产物,用于评价鱼粉新鲜度的生物胺通常是指鱼粉中生物胺的总浓度,至少应包括组胺、尸胺、酪胺和腐胺。Aksnes等^[8]认为鱼虾饲料中鱼粉的生物胺总浓度以不超过 2000×10^{-6} 为宜,而Pike和Hardy^[7]认为虾饲料中生物胺的最高浓度可以不超过 3400×10^{-6} 。近年来,生物胺的研究中发现了一些新的现象,下文(见“1.3”部分)中将专门对此予以介绍。

加工温度 加工温度是影响鱼粉蛋白消化率的一个最为重要的因子。多数现代化鱼粉加工厂的干燥温度一般控制在90~95℃以下。对鲑鳕类的研究中普遍发现优质的低温(LT)鱼粉蛋白消化率高于高温干燥鱼粉,可以明显促进鱼的成长^[9],在大菱鲆^[10]和金头鲷^[11]中也有同样的发现。不过,Clancy等^[12]在虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* 和大鳞大麻哈鱼 *Oncorhynchus tshawytscha* 的实验中发现,即使高达100℃的加工温度对鱼粉消化率基本无影响。水分含量是主要受加工温度的影响的另一个因子。

脂肪质量 鱼粉中的脂肪质量主要由其氧化程度和聚合作用决定,因而可通过检测残留的抗氧化剂(乙氧喹)、 α -脂肪酸、过氧化物或茴香胺 anisidine 的含量来鉴别。这些方法目前都还有一定的局限性,最近,Luzzana^[13]还提出了通过测试胆固醇氧化程度来评价鱼粉脂肪氧化状态的新方法。

微生物标准 为防止饲养对象病害的产生,不少国家和地区的鱼粉市场都限制了沙门氏菌和大肠杆菌的含量,但各地的标准并不统一。不过,沙门氏菌不是原料鱼自带的,而是操作过程中感染的,它对鱼虾的生长似乎没有影

响。

1.2 鱼粉质量的评价标准

尽管目前已普遍意识到了鱼粉质量的重要意义,但鱼粉质量的评价标准目前还不统一。比如在区分鱼粉质量“好”与“差”时,Caballero等^[11]的标准是鱼粉的加工温度和生物胺(包括尸胺和组胺)的含量,而Aksnes等^[8]的标准则是貂 *Mustela vison* 的蛋白消化率 DC_{min} 和生物胺(尸胺、组胺和腐胺)的含量。Vergara等^[5]则根据基本化学组成和貂的蛋白消化率来区分“标准质量”的鱼粉和“低温”鱼粉。

由于缺乏统一标准,不同国家和地区制定的鱼粉使用规范存在一定的差异^[14]。鱼粉基本组成的分析是评价鱼粉质量的必要内容,但这种分析是化学组成的分析而非营养物的分析,因而对于鱼粉营养价值的预测作用不大。但通过化学分析却可以发现低蛋白高灰份的劣质鱼粉,进一步的化学分析则可以确定高灰份是由骨头、盐还是沙组成。

蛋白消化率也是化学分析方法得出的数据,它可以区分劣质鱼粉和优质鱼粉,但蛋白消化率的差别会被鱼粉的适口性或饲料的蛋白水平所掩盖,因而无法区分优质鱼粉和顶级鱼粉。目前体外胃蛋白酶消化率测定方法已做了重大改进,所用酶源已由鱼体提取的胃蛋白酶替换了原来使用的牛或猪的胃蛋白酶,分析方法则由pH动态滴定法(pH-Shift)改为pH稳态滴定法(pH-Stat),但如何解决不同温度对胃蛋白酶消化率测试的影响仍是个难题^[14]。

若要将优质鱼粉再分级,TVN是一项重要的参考指标^[15]。在南美鱼粉市场,还常用鸡来检测鱼粉中的组胺及鸡胃糜烂素(GE)的含量,只有GE反应呈阴性的优质鱼粉才被允许用于鲑鳕饲料中,市场价格也要高许多。不过,可产生鸡胃糜烂反应的生物胺不一定对鱼也有同样的作用和影响^[16,17],所以这一指标的可靠性也需要进一步的研究。

LT-94鱼粉是挪威生产的顶级鱼粉,在其干燥过程的前后均加入了抗氧化剂,有效防止了鱼粉中所含鱼油的氧化,这一点值得提倡^[14]。此外,面临环保的巨大压力,鱼粉磷的含量或效率也应该成为今后生产和使用鱼粉过程中的重要参考指标。

1.3 鱼粉中生物胺的研究进展

生物胺最通常是由腐烂的微生物合成,通常被认为具有潜在的毒性。有一定程度腐烂的副产品(包括肉骨粉、血粉、羽毛粉、鸡肉粉和鱼粉)通常是生物胺的最丰富来源。生物胺有多种,饲料研究中涉及的生物胺主要包括组胺(一种从组氨酸合成而来的局部激素 local hormone)、酪胺(从酪氨酸合成而来)、尸胺(由赖氨酸合成)以及由鸟氨酸合成而来的哺乳动物聚胺(包括腐胺、亚精胺和精胺)。生物胺的研究在畜禽中开展得较早,已取得了不少有价值的结论。而鱼虾饲料中的相关研究还很有限,所得结论与

畜禽中的也有较大差异。

组胺 组胺及其相关产物鸡胃糜烂素 gizzosine (由组氨酸和赖氨酸的热分解产物) 是引发生物胺毒性综合征 (如猪的溃疡和家禽的胃糜烂) 的主要诱因。在鱼类中, Watanabe 等^[18] 发现虹鳟胃壁的厚度随饲料中组胺添加量的升高而变薄, 组胺及其相关的化合物含量上升还导致胃腺细胞核固缩 (pycanosis) 和坏死 (necrosis), 鱼体颜色也变暗。但是, Fairgrieve 等^[16] 在虹鳟饲料中添加了可致鸡胃糜烂的组胺 (2000 mg · kg⁻¹) 后, 虽然鱼的胃部肿胀, 但并未发现细胞畸变, 也不影响鱼的摄食量、饲料系数和生长, 而且继续添加尸胺和腐胺 (各 500 mg · kg⁻¹) 也无任何影响。这可能意味着组胺对鸡的毒性比对鱼的更强。Fairgrieve 等^[19] 也有类似的发现。在虾的研究中, Tapiar-Salazar 等^[20] 发现饲料中添加组胺不影响南美蓝对虾 *Litopenaeus stylirostris* 的摄食、饲料转化率和成活率, 而增重率与饲料中添加的组胺量呈抛物线关系, 组胺为 1200 ~ 2400 mg · kg⁻¹ 时虾的增重最大, 比全鱼粉对照组高 8.8%。并且虾组织中的亚精胺含量随饲料中的组胺添加量升高而上升^[20]。

哺乳类聚胺 在畜禽的研究中发现, 腐胺、精胺、亚精胺都可以促进畜禽消化道的发育, 但只有腐胺可以促进畜禽个体的生长^[21]。向饲料中添加适量的腐胺还可以提高畜禽对大豆食物的利用^[22~24], 提高鸡蛋壳的硬度和减少弹壳的变形^[21]。但在虹鳟^[25] 饲料中添加了 1 ~ 4 g · kg⁻¹ 的腐胺未能提高鱼的摄食与生长, 鱼体腐胺的浓度也未有显著的提高, 但更高的添加量 (13.3 g · kg⁻¹) 却显著降低了鱼的增重与摄食, 而这一浓度的腐胺对牛却具有显著的促生长作用。在金头鲷的试验中发现, 饲料系数、特定生长率与腐胺和尸胺的含量呈明显负相关^[8]。不过, Tapiar-Salazar 等^[20] 发现精胺对南美蓝对虾具有明显的促生长效果, 每公斤饲料中添加 100 mg 精胺时促生长效果最大, 并且投喂补充的精胺时虾体的亚精胺浓度呈线性增长。亚精胺对南美蓝对虾生长和摄食也无影响, 但随亚精胺投喂浓度的升高, 虾体内和肝胰脏中的亚精胺浓度呈显著的线性增长。

尸胺 尸胺是一种常见的低毒化合物, 它常常被作为异生物素 (heterobiotin) 而被代谢和分泌。鸡忍受高浓度尸胺的能力极强^[21], 在饲料级聚胺源中作为污染物出现的尸胺不会影响鸡的生长, 但鸡摄食高浓度的尸胺会导致肠道膨大。一定含量的尸胺会导致金头鲷^[8] 和大西洋鲷^[3] 的生长和饲料利用率低下。而尸胺对南美蓝对虾的摄食、生长和饲料利用却没有影响^[26], 但随尸胺投喂浓度的升高虾体内和肝胰脏中的亚精胺浓度呈显著的线性增长。

混合生物胺 Cruz-Suarez 等^[27] 报道南美白对虾饲料的鱼粉中若组胺、尸胺和腐胺含量过高会导致虾的增重和摄食量下降, 而死亡率升高。但若所用的鱼粉中添加适宜

含量的混合生物胺 (组胺 367、尸胺 173、腐胺 10、酪胺 56、苯基丙氨酸 30 mg · kg⁻¹) 却提高了虾的增重率。Tapiar-Salaza 等^[28] 发现南美蓝对虾饲料中添加组胺、尸胺、腐胺和酪胺的混合生物胺后并不影响虾的饲料转化效率和成活率, 但若添加组胺 (559 mg · kg⁻¹) 和尸胺 (620 mg · kg⁻¹) 的混合物后却使虾的增重和摄食量上升。Opstvedt 等^[29] 发现给大西洋鲑投喂含有生物胺的新鲜鲱鱼粉饲料时, 鱼的生长和组织结构不受影响。该实验中添加的四种生物胺 (组胺、酪胺、尸胺、腐胺) 的最高混合含量是 1587 mg · kg⁻¹, 作者认为有可能是胺混合后毒性减弱了。

个体大小的不同、养殖品种的差异以及生物胺的含量或配比等因素可能都会引起这些差异, 但目前还很难从机制上解释这些现象。不过, 这些研究至少已提醒我们不应该总认为生物胺只是有毒物或化学诱食物, 它们也可以用作非激素类的促生长物。

1.4 鱼粉蛋白消化率的检测方法

使用可靠而又快速廉价的方法来评价鱼粉的质量, 以及研究加工条件对鱼粉质量的影响对合理利用鱼粉十分重要。除了基本化学组成的分析外, 鱼粉蛋白消化率是评价鱼粉质量的重要指标。虽然 Hardy^[14] 发现鱼粉的良好适口性可能掩盖鱼粉蛋白消化率差异带来的效果, 但蛋白消化率的高低仍然被广泛用于预测鱼粉的营养价值, 并相应建立了多种检测方法。

胃蛋白酶消化率测试方法 应用胃蛋白酶体外消化法来检测鱼粉蛋白消化率高低的具体方法有很多^[7]。但这类试验是在封闭系统中完成的, 不同的实验步骤会影响酶水解的数量, 反应的进行也会被消化产物的累积或蛋白酶开始水解时 pH 值的下降所抑制^[9,17], 所以 pH 值保持恒定很重要^[9,30,31]。虽然这类方法快速、经济、可重复性高, 可以为化学分析和生物实验提供补充, 但是用这些外源技术却难以准确鉴别优质鱼粉的等级差异^[9,17,32]。

动物实验法 有些动物对鱼粉营养质量的差别很敏感, 可以用做评价鱼粉质量的实验动物^[33], 这个模式为评价鱼粉完整的营养质量提供了生物性的重要评价, 是最终全面比较或评价鱼粉及其它饲料原料质量的首选方法^[9,16,17]。但这类方法耗时长, 成本高。

鲑鳟类的饲料工业中通常用貂 (mink) 或老鼠的消化率试验来检测营养物的质量^[34]。用貂测得的鱼粉蛋白质消化率 DC_{mink} 是一项较好的指标^[17,34]。已有不少试验结果表明, DC_{mink} 值随加工温度升高而下降。Aksnes 和 Mundheim^[3] 在鲑的试验中发现, 温火和高温产生两种不同 DC_{mink} 的鱼粉, 而 DC_{mink} 与鱼的生长和饲料效率呈明显正相关。

Romero 等^[17] 用虹鳟作实验动物, 采用 Cr₂O₃ 指示剂法测试了鱼粉蛋白的消化率。作者认为这一方法比单纯的化学测试有效, 如果能降低成本和耗时, 加以完善, 是理想的常规测试方法。但他们使用的原料与基础饲料搭配

比例是 50:50,粪便收集方法是挤压法,这两方面都对消化率有影响,其应用标准目前还存在争议。

鸡主要用来鉴定鸡胃糜烂素的含量。在南美鱼粉市场,如果鱼粉的蛋白消化率高但鸡胃糜烂素含量超标,也很难卖出好价钱^[16,17]。不过,对鸡有敏感致毒性的鱼粉不一定对鱼也有同样的毒性^[16]。

其它方法 最近,Bassompierre 等^[30]将毛细管电泳法用于对鱼粉质量的评价,发现其可以区别质量不同的鱼粉,还可阐明原料的新鲜度、鱼粉加工的程序、和溶解蛋白的量。而 Luzzana^[13]提出了将天门冬氨酸外消旋物指示剂法用于对鱼粉蛋白质量的评价。该方法通过对商业性鱼饲料和鱼粉中 D-天门冬氨酸含量的评定和动力学研究,为将这种氨基酸的外消旋程度作为评价鱼粉热处理过程的可靠指数提供了有力的支持。初步的研究表明 D-天门冬氨酸可以作为鱼的蛋白营养价值的有用指标(以氮的贮存或体外消化率来表示)。但试验中也发现存在种的差异性,所以需要进一步研究来评价 D-天门冬氨酸含量作为评价受加工条件影响的蛋白营养价值指标的可靠性。

2 鱼粉的应用与环保的冲突

鱼粉虽然是优质的饲料蛋白源,但同时也是含磷量较高的饲料原料。鱼粉磷不易被鱼虾利用,相当数量的磷会随鱼的代谢产物排入水体易形成富营养化水体,因此,如何减轻鱼粉带来的磷污染问题已日显严峻。

2.1 鱼粉中的磷含量及其利用效率

鱼粉中的磷主要来源于骨质成分,多以相对不溶的无机态磷酸钙和羟磷灰石形式存在^[35]。鱼粉中的含磷量高低主要取决于加工鱼粉的原料鱼种类和组成,一般约为 1.67~4.21%^[36]。通常情况下红鱼粉含磷量略低于白鱼粉,而用小杂鱼加工的鱼粉含磷量高于全鱼鱼粉。

影响鱼粉磷利用效率的因素很多,养殖品种的生理差异对磷的利用效率的影响尤为显著,这种差异主要取决于消化道中的 pH 值。有胃鱼对鱼粉磷的最高消化率一般在 50%左右,而无胃鲤科鱼的消化系统不能分泌胃液,对鱼粉磷消化率一般只有 10%左右。

就鱼粉本身而言,原料鱼的大小、鱼骨颗粒大小、骨的密度、加工条件、非骨磷与骨磷的比例等都会影响鱼粉磷的效率^[37],通常鱼粉中的灰份含量越高,磷的利用效率越低。此外,由于钙、磷的吸收是相排斥的,当钙的含量高时就会降低磷的吸收。然而,这并不意味着饲料中磷的含量越低越好,磷的含量必需能够满足鱼的最低需求量,否则将出现相应的病变^[38]。由于研究方法的不同,目前关于磷需求的研究中还存在很多的分歧,为准确获取特定养殖对象的最低磷需求量带来了一定的困难^[37,39]。

2.2 减小鱼粉磷污染的对策

鱼粉替代的效果 研究表明,用含磷量低而磷的利用效率高的动植物蛋白替代鱼粉是降低磷排放量的有效途

径。动物性蛋白源中,血粉和羽毛粉蛋白含量高,含磷量低,羽毛粉磷的表现可利用率可高达 80%左右^[37,40],而所测血粉的效率常常会高于 100%,可以替代鱼粉降低饲料磷的排放。虽然植物性蛋白源中 60%~80%的磷以植酸磷存在,不能被鱼利用,但植物蛋白的总磷含量一般低于 1%,并且大豆粉、谷物面筋粉、花生粉、菜粕等植物性蛋白中磷的表现可利用率都与鱼粉磷的接近(30%~40%),补充植酸酶后,还会有显著升高^[41,42],所以仍可用来替代鱼粉降低饲料磷的含量。

基于上述理论,目前已有了一些替代成功的相关报道。Luzier 等^[43]用血粉替代了虹鳟幼鱼饲料中 22.7%鱼粉,使磷的排放量降低。Barrias 和 Olivar-Teles^[44]发现饲料中小麦粉、全脂大豆粉和谷物面筋粉的混合物搭配适量的水解鱼蛋白,可使网箱养殖虹鳟的饲料鱼粉含量从 35%降到 20%,并使磷的利用效率显著升高。Lee 等^[45]还发现多种动物蛋白原料的混合物替代饲料中的鱼粉后,可使虹鳟对磷的吸收和利用效率显著提高。用血粉、羽毛粉或肉粉与脱脂大豆粉的混合原料可使鲤(*Cyprinus carpio* L.)饲料中的鱼粉含量降低 5%~10%,并有效降低总磷、总氮的排放量^[40,42,46]。

必须强调的是,饲料中的磷含量一定要满足鱼的最低需求量,否则不仅抑制鱼的成长和饲料利用效率,出现多种病变^[38],并会间接导致饲料磷、氮的排放量显著升高^[47]。通常可通过添加含磷无机盐(单、双磷酸盐)来补充饲料磷的不足。鱼粉磷在有些鱼体的沉积率只有 60%,而含磷钠盐中磷的沉积率却可高达 90%以上。而如果使用配比合适的混合原料,可以不必添加含磷无机盐^[48]。有趣的是,Hardy 等^[49]以及 Riche 和 Brown^[41]均发现通过周期性投喂磷不足的饲料也可以有效降低磷的排放。

提高鱼粉磷的利用效率 鱼骨中钙、磷、镁、铁等的表现可利用率随着饲料中骨质成分含量的升高而下降。当鱼骨的含量很低时其磷的可利用率预计会高于 90%,并会随着其在饲料中的含量升高而下降。虽然饲料中磷和许多其它矿物元素的吸收很显著,并与饲料中灰份、钙、磷和骨的含量负相关,但实际上骨质矿物元素的净吸收很不稳定。这表明降低饲料中的骨质矿物元素是配制低污染饲料的必要途径。

鱼粉加工技术的进步使得去掉鱼骨成为可能,可以有效降低鱼粉灰份含量进而提高消化率,减小废物排放^[37],去骨后磷的效率预计可提高到 80%^[35,37],但是这却要显著增加鱼粉的成本。Shearer 和 Hardy^[50]发现去骨鱼片加工下脚料补充高效磷后可以替代虹鳟饲料中的全鱼粉。即便鱼粉中骨质成分的含量被降低到鱼的磷需求水平以下,骨磷中仍然会有部分磷不可避免地未被完全利用而随粪便排出,这种情况下,向饲料中加酸可以有效地进一步提高鱼对骨磷的利用率^[37]。此外,研究发现,鱼粉加工颗

粒的大小对鱼粉磷效率也有影响。Vielma 等^[51]发现鱼粉颗粒越大,鱼粉磷的效率越低。

3 小结

鱼粉在水产饲料中的应用研究已经得到越来越多的关注,研究领域不断拓宽,研究方法也不断更新,这些努力都推动着鱼粉研究的不断进步。然而,从上述内容也不难发现相关研究还缺乏深度,不能从机理上解释实验现象(比如前面提到的一些生物胺的研究结果),今后的研究应该在这方面有所突破。

我国是世界上最大的鱼粉进口国,但我国对鱼粉的应用研究还未给予足够的重视。鱼粉在我国水产业中大量的应用所带来的经济和社会问题都是十分显著的。如何完善鱼粉质量评价体系,保证用于饲料加工的鱼粉质量,进而为渔产品的品质安全提供保证,以及积极探索并建立应用鱼粉生产水产饲料的环保评价体系,积极推进无公害水产饲料的生产,应该成为今后我们在这一领域的重要研究内容。

参考文献:

- [1] Tacon A G. Feed ingredients for warmwater fish: fish meal and other processed feedstuffs[R]. FAO Fisheries Circular No 856. 1994, FAO Rome.
- [2] Barlow S. Fish and oil-supplies and markets[C]. Presentation Ground Fish Forum. October 2001.
- [3] Aksnes A, Mundheim H. The impact of raw material freshness and processing temperature for fish meal on growth feed efficiency and chemical composition of Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* [J]. Aquac, 1997, 149: 87 - 106.
- [4] Oliva-Teles A, Cerqueira A L, Goncalves P. The utilization of diets containing high levels of fish protein hydrolysate by turbot *Scophthalmus maximus* juveniles[J]. Aquac, 1999, 179: 195 - 201.
- [5] Vergara J M, Robaina L, Izquierdo M S, et al. Protein sparing effect of lipids in diets for fingerlings of gilthead seabream[J]. Fish Sci, 1996, 62: 624 - 628.
- [6] Moksness E, Rosenlund G, Lie. Effect of fish meal quality on growth of juvenile wolffish *Anarhichas lupus* [J]. Aquac Res, 1995, 26: 109 - 115.
- [7] Pike I H, Hardy R W. Standards for assaying quality of feed ingredients[A]. In: D 'Abramo L R, Conklin D E, Akiyama D. M. Eds. Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. The World Aquaculture Society Louisiana State University Baton Rouge USA[C], 1997. 473 - 492.
- [8] Aksnes A, Izquierdo M S, Robaina L, et al. Influence of fish meal quality and feed pellet on growth, feed efficiency and muscle composition in gilthead seabream *Sparus aurata* [J]. Aquac, 1997, 153: 251 - 261.
- [9] Anderson J S, Lall S P, Anderson D M, et al. Evaluation of protein quality in fish meals by chemical and biological assays [J]. Aquac, 1993, 115: 305 - 325.
- [10] Danielsen D S, Gulbrandsen K E, Hjertnes T. Fish meal quality in dry feed for turbot *Scophthalmus maximus* L [J]. Eur Aquac Soc Spec Publ, 1989, 7: 83 - 84.
- [11] Caballero M J, L ópez-Calero G, Socorro J, et al. Combined effect of lipid level and fish meal quality on liver histology of gilthead seabream *Sparus aurata* [J]. Aquac, 1999, 179: 277 - 290.
- [12] Clancy S, Beames R, Higgs D, et al. Influence of spoilage and processing temperature on the quality of marine fish protein sources for salmonids[J]. Aquac Nutr, 1995, 1169 - 177.
- [13] Luzzana U. Recent advances in the development of innovative chemical methods for determining the nutritional value of fish meals and aquafeeds[J]. Aquac Res, 2001, 32: 661 - 670.
- [14] Hardy R W. Fish hydrolysates: production and use in aquaculture feeds. In: Akiyama D M, Tan R K H(Eds.) Proc Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop [C]. American Soybean Association, Singapore. 1990, 109 - 115.
- [15] Woyewoda A D, Shaw S J, Ke P J. Recommended laboratory methods for assessment of fish quality[M]. Can Tech Rep Fish Aquac Sci, 1986, No. 1448.
- [16] Fairgrieve W T, Myers M S, Hardy R W, et al. Gastric abnormalities in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed amine supplemented diets or chicken gizzard-erosion-positive fish meal [J]. Aquac, 1994, 127: 219 - 232.
- [17] Romero J J, Castro E, Diaz A M, et al. Evaluation of methods to certify the "premium" quality of Chilean fish meals [J]. Aquac, 1994, 124: 351 - 358.
- [18] Watanabe T, Takeuchi T, Satoh S, et al. Effect of dietary histidine or histamine on growth and development of stomach erosion in rainbow trout[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1987, 53: 1208 - 1214.
- [19] Fairgrieve W T, Dong F M, Hardy R W. Histamine effects feed acceptability but not protein utilization by juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. In: Izquierdo M. Fernandez-Palacios H. Eds. Abstracts of the VIII International Symposium on Nutrition and Feeding of Fish and Crustacean Las Palmas de Gran Canaria Spain[A]. 1998, June 1 - 4. 017.
- [20] Tapia S M, Smith T K, Harris A. High performance liquid chromatographic HPLC method for determination of biogenic amines in feedstuffs complete diets and animal tissue[J]. J Agric Food Chem, 2000, 48: 1708 - 1712.
- [21] Smith T K, Tapia S M, Cruz S L, et al. Feed-borne biogenic amines: natural toxicants or growth promoters? In: Cruz-Su áez L E, Ricque-Marie D, Tapiar-Salazar M, Olvera-Novoa M A, Civera-Cerecedo R (Eds.). Avances en Nutrici ón Acu ólica V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrici ón Acu ólica [C]. 19 - 22 Noviembre 2000. Mérida Yucat án. Mexico.
- [22] Grant A L, Holland R E, Thomas J W, et al. The effects of dietary amines on the small intestine in calves fed soybean protein [J]. J Nutr, 1989, 119: 1034 - 1041.
- [23] Grant A L, Thomas J W, King K J, et al. Effects of dietary amines on small intestinal variables in neonatal pigs fed soy protein isolate[J]. J Anim Sci, 1990, 68: 363 - 371.
- [24] Mogridge J L, Smith T K, Sousadias M G. Effect of feeding raw soybeans on polyamine metabolism in chicks and the therapeutic effect of exogenous putrescine [J]. J Anim Sci,

- 1996,74:1897 - 1904.
- [25] Cowey C B, Cho C Y. Failure of dietary putrescine to enhance the growth of rainbow trout. *Oncorhynchus mykiss* [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 49: 2466 - 2473.
- [26] Tapia S M, Smith T K, Harris A, et al. Effect of dietary histamine supplementation on growth and tissue amine concentration in blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* [J]. Aquac, 2001, 193: 281 - 289.
- [27] Cruz S L, Tapia S M, Ricque D, et al. Final evaluation of different biotoxicological score fish meals on *Penaeus annamensis* Juveniles. In: Gatlin D M III Ed. Abstracts VI International Symposium on Nutrition and Feeding of Fish College Station TX USA[C]. August 11-15, 1996, poster 73.
- [28] Tapia S M, Ricque M D, Cruz L E, et al. Compared effects of raw material deterioration and added crystalline amines in herring meals fed to *Penaeus stylirostris*. In: Izquierdo M. Fernandez-Palacios H Eds. Abstracts of the VIII International Symposium on Nutrition and Feeding of Fish and Crustacean Las Palmas de Gran Canaria Spain[C]. June 1 - 4, 1998, O18.
- [29] Opstvedt J, Mundheim H, Nygard E, et al. Reduced growth and feed consumption of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed fish meal made from stale fish is not due to increased content of biogenic amines[J]. Aquac, 2000, 188: 323 - 337.
- [30] Bassompierre M, Larsen K L, Zimmermann W, et al. Comparison of chemical electrophoretic and in vitro digestion methods for predicting fish meal nutritive quality[J]. Aquac Nutr, 1998, 4:233 - 239.
- [31] Anderson J S, Higgs D A, Beames R M, et al. Fish meal quality assessment for Atlantic salmon *Salmo salar* L. reared in sea water [J]. Aquac Nutr, 1997, 3: 5 - 38.
- [32] Hardy R W. Alternate protein sources for salmon and trout diets [J]. Anim Feed Sci Tech, 1996, 59: 71 - 80.
- [33] Pike I H, Andersdottir G, Mundheim H. The role of fish meal in diets for salmonids [C]. Int Assoc Fish Meal Manufacturers, 1990, no. 24, 35 pp.
- [34] Mundheim H, Opstvedt J. Effect of dietary level of protein and fiber on apparent protein digestibility in the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and salmon *Salmo salar* and comparison of protein digestibility in mink *Mustela vison*, rainbow trout and salmon. In: The current status of fish nutrition in aquaculture. The proceedings of the third international symposium on feeding and nutrition in fish[A]. August 28-september 1 1989, Toba Japan, 1990 pp. 195 - 200.
- [35] Lall S P. Digestibility metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. In: Cowey C B, Cho C Y. (Eds.) Nutritional Strategies and Aquaculture Waste[M]. Univ Guelph Guelph Canada, 1991. 21 - 36.
- [36] NRC. Nutrient Requirements of Fish[M]. National Academy Press, Washington DC. 1993.
- [37] Sugiura S H, Dong F M, Hardy R W. A new approach to estimating the minimum dietary requirement of phosphorus for large rainbow trout based on nonfecal excretions of phosphorus and nitrogen[J]. J Nutr, 2000, 130: 865 - 872.
- [38] Baevefjord G, Aasgaard T, Shearer K D. Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon *Salmo salar* L. parr and post-smolts [J]. Aquac Nutr, 1998, 4: 1 - 11.
- [39] Aasgaard T, Shearer K D. Dietary phosphorus requirement of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar* L. [J]. Aquac Nutr, 1997, 3: 17 - 23.
- [40] Jahan P, Watanabe T, Satoh S, et al. Effect of dietary fish meal levels on environmental phosphorus loading from carp culture[J]. Fish Sci, 2000, 66: 204 - 210.
- [41] Riche M, Brown P B. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquac, 1996, 142: 269 - 282.
- [42] Satoh S, Takanezawa M, Akimoto A, et al. Change of phosphorus absorption from several feed ingredients in rainbow trout during growing stage and effect of extrusion of soybean meal[J]. Fish Sci, 2002, 68: 325 - 331.
- [43] Luzier J M, Summerfelt R C, Ketola H G. Partial replacement of fish meal with spray-dried blood powder to reduce phosphorus concentrations in diets for juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum[J]. Aquac Res, 1995,26: 577 - 587.
- [44] Barrias C, Oliva-Teles A. The use of locally produced fish meal and other dietary manipulations in practical diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum[J]. Aquac Res, 2000, 31: 213 - 218.
- [45] Lee K J, Dabrowski K, Blom J h. Replacement of fish meal by a mixture of animal by-products in juvenile rainbow trout diets [J]. N Am J Aquac, 2001, 63: 109 - 117.
- [46] Jahan P, Watanabe T, Satoh S, et al. Formulation of low phosphorus loading diets for carp *Cyprinus carpio* L. [J]. Aquac Res, 2001, 32(Suppl. 1): 361 - 368.
- [47] Jahan P, Watanabe T, Satoh S, et al. A laboratory-based assessment of phosphorus and nitrogen loading from currently available commercial carp feeds[J]. Fish Sci, 2002, 68: 579 - 586.
- [48] Nordrum S, Asgard T, Shearer K D, et al. Availability of phosphorus in fish bone meal and inorganic salts to Atlantic salmon *Salmo salar* as determined by retention [J]. Aquac, 1997, 157: 51 - 61.
- [49] Hardy R W, Fairgrieve W T, Scott T M. Periodic feeding of low-phosphorus diet and phosphorus retention in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. In: Fish Nutrition In Practice. Institut National De La Recherche Agronomique Paris (France) [C] 1993. 403 - 412 Colloques. Institut National De La Recherche Agronomique France. Paris [colloq. Inra] no. 61.
- [50] Shearer K D, Hardy R W. Phosphorus deficiency in rainbow trout fed a diet containing deboned fillet scrap [J]. Prog Fishcult, 1987, 49: 192 - 197.
- [51] Vielma J, Ruohonen K, Lall S P. Supplemental citric acid and particle size of fish bone-meal influence the availability of minerals in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum [J]. Aquac Nutr, 1999, 5: 65 - 71.