

综述

鱼虾饲料中动物蛋白源的研究新进展

杨勇 崔奕波 解绶启

(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,武汉 430072)

ALTERNATIVE ANIMAL PROTEIN SOURCES USED IN AQUAFEEDS

YANG Yong, CUI Yi-bo, XIE Shou-qi

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

关键词:可替代蛋白;鱼粉;渔业加工副产物;畜禽加工副产品

Key words: Alternative proteins; Fish meal; Fisheries by-products; Terrestrial animal by-products

蛋白质原料是鱼虾饲料中成本最高的组成成分,其品质与含量直接影响到鱼虾繁殖、发育和生长,因此蛋白质营养源一直是鱼虾饲料中最重要的研究对象。根据来源的不同可将饲料蛋白大致分为动物性蛋白、植物性蛋白和单细胞蛋白三大类。其中,用于鱼虾饲料的动物蛋白除了鱼粉外,主要还包括一些渔业加工和畜禽加工的副产品。

1 鱼粉研究新进展

从20世纪60年代开始,全球鱼粉年产量基本稳定在600—700万t的水平,只有在1998年,由于受到尼尔尼诺(El Nino)的影响,产量降到了534万吨。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%^[1]。水产饲料中鱼粉的大量使用和需求量的不断上升推动了鱼粉研究的广泛展开,近年来取得了一些新进展。

1.1 鱼粉质量的评价和检测 鱼粉质量会直接影响到养殖种类的生长和饲料利用效率,海产肉食性鱼类、鮟鱇类及虾类受其影响尤为明显。研究表明,用含低温干燥的“高质”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*^[2]、大鰈 *Scophthalmus maximus*^[3]、金头鲷 *Sparus aurata*^[4] 和狼鱼 *Anarhichas lupus*^[5] 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。

影响鱼粉质量的因素是多方面的,其中原料的新鲜度和加工温度的影响最为显著^[6]。

收稿日期:2002-10-30;修订日期:2002-12-29

基金项目:中国科学院创新项目(KSCX2-1-04)资助

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。

生物胺的总浓度是衡量鱼粉新鲜度的重要指标,主要包括组胺、酪胺、尸胺以及腐胺四种,它们常被认为是原料或饲料中的有毒成分。组胺会导致虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* Walbaum 幼鱼消化器官不同程度的病变^[7,8],但不影响鱼的生长和饲料利用效率。混合生物胺也不影响大西洋鲑 *Salmo salar* L. 的生长^[9]。但腐胺却导致虹鳟^[10]和金头鲷^[11]的生长和饲料利用率下降,尸胺也使金头鲷^[11]和大西洋鲽^[2]产生同样的反应。在虾的研究中发现,尸胺对南美蓝对虾 *Litopenaeus stylirostris* 的摄食、生长和饲料利用没有影响^[12];但适量的组胺^[13]和精胺^[14]对蓝虾却有明显的促生长作用。添加混合生物胺或纯品组胺与尸胺的混合物后,也分别提高了 *L. vannamei*^[14] 和南美蓝对虾^[15]的增重和摄食量。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发现。不过,这些研究提醒我们不应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。

加工温度的高低和时间长短对鱼粉的蛋白消化率会有显著的影响。过热会降低鱼粉蛋白消化率,使鱼粉中的生物胺含量升高,并导致许多化学变化^[16]。因而多数现代化的鱼粉加工厂都避免用过高的温度加工,通常鲑鳟类饲料所需的高质量 LT 鱼粉多是在 70—80℃下加工的。但在虹鳟和大鳞大麻哈鱼 *Oncorhynchus tschawytscha* Walbaum^[17] 中发现高达 100℃的加工温度对鱼粉蛋白消化率也无显著影响,在大西洋鲽的实验中也有相似的发现^[11]。除了因不同养殖对象对鱼粉的利用能力不同会影响鱼粉蛋白消化率外,测定方法的不同也是引起这些差别的主要原因。

鱼粉蛋白消化率主要可通过体外的酶消化率方法或活体生物实验法来完成。体外的酶消化率方法快速、经济、可重复性高,但目前这类方法的应用还很不统一^[18],实验过程受到 pH 值的干扰大^[18],与生物实验的结果吻合度也不高^[19]。这类方法最大的不足是难以准确鉴别鱼粉质量的等级差异^[20],所以很少用其作为常规质量评价的方法。而根据有些生物对鱼粉营养质量差别的敏感性建立的活体生物实验法可以最终全面比较或评价鱼粉及其它饲料原料的质量^[3,20]。鲑鳟类的饲料工业中常用貂作为实验生物,所测的 DC_{min} 是一项较好的指标^[2,20],而用虹鳟作实验动物的 Cr₂O₃ 指示剂法应用更为普遍^[20]。在南美鱼粉市场,鸡是用来检测鱼粉中的组胺含量及鸡胃糜烂反应的理想实验生物,只有 GE 反应呈阴性的鱼粉才被允许用于鲑鳟饲料中,市场价格也要高许多^[3,20]。

最近,Bassompierre et al^[18] 和 Luzzana^[18] 还分别提出了将毛细管电泳法和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,但还需要进一步的验证。

1.2 鱼粉资源的合理利用 鱼粉是含磷量较高的饲料原料之一(1.67—4.21%)^[21]。鱼粉磷主要来自骨质成分,多以相对不溶的无机态磷酸钙和羟磷灰石形式存在^[22],不易被鱼虾利用。有胃鱼对鱼粉磷的最高消化率在 50% 左右,而无胃鲤科鱼的消化系统不能分泌胃液,对鱼粉磷消化率只有 10% 左右^[23]。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。通过降低鱼粉使用水平、降低鱼粉中灰分含量以及应用低温干燥加工技术提高鱼粉消化率等技术措施来控制鱼粉磷的排放量都是可行的方案。

选择低磷饲料成分替代鱼粉是降低鱼粉使用水平的重要途径。用血粉^[24]、植物蛋白原料^[25]或多种动物蛋白原料的混合物^[26]替代虹鳟饲料中的鱼粉可显著提高磷的吸收和利用效率。用动植物蛋白混合原料替代鲤鱼 *Cyprinus carpio* L. 饲料中的鱼粉也取得了同样的效果^[27]。为满足饲料磷的含量达到鱼的最低需求量通常要添加含磷无机盐(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,但如果使用混合原料配比合适,可以不必添加含磷无机盐^[28]。由于饲料中钙、磷的吸收是相排斥的,因而鱼粉磷的有效性和饲料中灰分、钙、磷和骨的含量负相关^[23],因而降低饲料中的矿物质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已成为可能,但是这却要显著增加鱼粉的成本。

2 渔业加工副产品

渔业加工副产品主要包括酸贮鱼、鱼蛋白水解物、虾粉、鱿鱼粉等。

2.1 酸贮鱼(Fish silage) 酸贮鱼是指将经济价值低的野杂鱼、鱼糜或渔业加工废弃的下脚料用酸贮存一段时间而形成的液态蛋白。

酸贮鱼对大西洋鲑^[29]、鲍鱼 *Haliotis fulgen*^[30] 等养殖品种的生长和饲料利用具有明显的促进作用。由于酸的加入使原料鱼体内的一些酶(主要是蛋白酶)活化,进而促进蛋白质水解,产生大量游离氨基酸和短肽,因而更易被快速有效地吸收。但也可能是酸贮鱼增强了机体代谢的调节作用导致蛋白质利用率提高^[29]。

然而,氨基酸在体内的沉积是缓慢吸收的过程,过早过多摄入的氨基酸将大部分被代谢而很少用于合成蛋白质。若饲料中添加的酸贮鱼过度水解使游离氨基酸和多肽含量过高,就会导致鱼生长和饲料利用率下降^[31],甚至引起大量的死亡^[32]。此外,加酸不当影响了鱼的摄食或氨基酸过量降低了饲料的适口性都会限制鱼的生长^[32]。

若自溶性相同,且饲料中营养搭配平衡,酸贮鱼可提供和全鱼粉蛋白等价的蛋白氮^[31],在南亚野鲮 *Labeo rohita* 中的研究还发现酸贮鱼的表观蛋白消化率和真实消化率均显著高于鱼粉^[33]。随着加工技术的不断提高,酸贮鱼将是一种潜力巨大的鱼粉替代蛋白。

2.2 鱼蛋白水解物(Fish protein hydrolysate) 鱼蛋白水解物是渔业加工副产品经酶处理后烘干而成^[34]。由于酶水解未破坏原料蛋白质的组成,使它所含蛋白种类比较丰富,诱食性和适口性也较高,是理想的鱼粉替代蛋白或诱食剂。但由于其成本较高,目前主要用在鱼虾的开口饵料中。鱼苗开口期消化酶的功能往往不足,鱼蛋白水解物正好可以提供外源酶的辅助。

研究表明,虹鳟鱼苗饵料中混合 5% 的鱼蛋白水解物能明显提高饲料蛋白质的消化率^[35];用鱼蛋白水解产物可以替代大西洋鲑鱼苗(0.15g)饵料中 8% 的低温鱼粉^[34];在尖吻鲈 *Dicentrarchus labrax*^[36,37] 和鲤鱼苗^[38]中的研究也有相似的积极结论。这可能是由于酶的处理使鱼粉蛋白发生了降解,产生了短链肽和一些游离氨基酸,促进了鱼的摄食,提高了消化率。因为有些游离氨基酸是有诱食作用的,这种作用会促进鱼的摄食和生长^[34]。

但是,饲料中加入鱼蛋白水解物对大菱鲆(平均初重 58.5g)的生长和饲料利用并未提高^[3],作者认为可能是因为大菱鲆的特殊诱食物仅限于肌苷和 5'-单磷酸肌苷,而不包括游离氨基酸。在虹鳟(平均初重 58g)的网箱养殖实验中发现,鱼蛋白水解物替代其实用饲料中 5% 的鱼粉不影响鱼的生长,但提高了饲料利用效率^[25]。

2.3 虾头粉(Shrimp head meal)和鱿鱼粉(Squid meal) 虾头粉和鱿鱼粉主要由虾或鱿鱼加工的下脚料再加工而成的副产品粉,主要用作虾饲料中的诱食剂,作为鱼粉的替代蛋白在饲料中的比例通常比较低,但效果很好。虾头粉和鱼粉的蛋白质消化率一般没有显著差异^[39,40]。虾的饲料中添加适量(低于 20%)的虾头粉(或虾头粉混合物)可以促进虾的生长和提高饲料转化效率^[41]。而在尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus* L.^[42]中的研究发现,虾粉可以完全替代鱼粉而不影响鱼的生长和饲料效率。

和虾头粉一样,饲料中添加适量的鱿鱼粉(通常低于 10%)也可以促进虾的生长^[43,44]。鱿鱼粉还是金头鲷亲鱼饲料的优质蛋白源和脂肪源^[45]。

3 畜禽加工副产品

畜禽加工副产品主要包括家禽副产品粉、肉骨粉、水解羽毛粉、血粉等。这类加工副产品通常蛋白质含量较高,且必需氨基酸较齐全^[46],易批量生产,因而得到了广泛的研究和应用。但它们常常因缺乏一种或几种必需氨基酸而使其应用受到限制。

3.1 肉骨粉(Meat and Bone Meal, MBM) 肉骨粉是牲畜屠宰场的副产品,其蛋白质含量一般在 40%—60%,脂肪 8—10%。在商业性颗粒饲料中,肉骨粉的最高含量一般维持在 20% 以下,但在实验研究中发现不同的养殖品种对肉骨粉的利用率相差较大。

迄今的研究表明,多数养殖品种对鱼骨粉的利用效果不佳。虹鳟^[47-49]、牙鲆 *Paralichthys lethostigma*^[50] 和黄条鲈^[51] 饲料中肉骨粉替代鱼粉的比例都不宜高于 20%。尖吻鲈幼鱼饲料中,肉骨粉只能替代不到 13% 的鱼粉^[23]。而似石首鱼 *Sciaenops ocellatus* L. 饲料中肉骨粉的含量最高只能达到 5%^[52]。

高灰分含量是导致肉骨粉利用率低下的重要原因。肉骨粉的灰分含量普遍高达 20% 以上^[21],而灰分含量与蛋白消化率呈明显的负相关^[48]。此外,必需氨基酸的不足可能是限制肉骨粉用量的另一个重要原因。色氨酸和含硫氨基酸最易成为肉骨粉中的限制性氨基酸^[54,55]。通过添加蛋氨酸或与蛋氨酸含量高的原料混合使用可以提高肉骨粉的利用效率。用乙烷抽提的肉骨粉或由肉骨粉与血粉按 4:1 混合并添加蛋氨酸的原料可替代罗非鱼饲料中 50% 的鱼粉蛋白^[46];肉骨粉或肉骨粉与血粉的混合物可完全替代莫桑比克罗非鱼 *Oreochromis mossambicus* Peters^[47] 饲料的鱼粉。罗非鱼表现出了对肉骨粉更好的利用效果。

适口性不好是限制动物加工副产品使用的普遍缺点,尽管在沟鲶 *Ictalurus punctatus* Rafinesque^[56]、虹鳟^[57]、尼罗罗非鱼 *Tilapia nilotica* L^[58] 中均发现肉骨粉具有提高饲料适口性和充当诱食剂的作用,但仍不能排除高含量的肉骨粉对鱼生长的抑制作用。当然,也不应据此排除产品质量的不同对结果的影响。

3.2 家禽副产品粉(Poultry by-product, PBM) 家禽副产品粉是家禽加工废弃料的提炼物,由家禽头、脚等不可食的部分制成,通常不包括羽毛和消化道部分^[59]。这种产品的蛋白质和脂肪含量通常较高,但其营养价值随加工条件和原料组成的不同会有很大差异^[54]。

早期的研究发现,由于受必需氨基酸含量、适口性等因素的影响,家禽副产品粉替代鲤鳟类饲料中鱼粉的比例一般不能高于 30%^[60-62]。赖氨酸、D、L-蛋氨酸和色氨酸最易成为此种产品的限制性氨基酸。因此通过添加氨基酸会使其利用率提高^[62,63],并且添加氨基酸的混合物似乎比添加单一的氨基酸效果更明显。可见氨基酸的不平衡可能是影响家禽副产品粉利用效果的最主要因素。

家禽副产品粉常与羽毛粉混合使用,但因实验对象的不同或混合比例的差异而有不同的效果。家禽副产品粉和羽毛粉的混合物可以替代虹鳟饲料中 27% 的鱼粉^[52],但含有两者等量混合物的饲料不仅使罗非鱼生长缓慢而且伴有多重病症^[64]。在金头鲷的试验中发现,用家禽副产品粉或家禽副产品粉与羽毛粉(3:1)的混合物可以替代 50%,甚至 100%^[59] 的鱼粉。家禽副产品粉与植物性蛋白原料的合理搭配也可明显提高其利用效率。Davis and Arnold^[65]发现,用豆粉、血粉和家禽副产品粉混合可替代南美白对虾 *Litopenaeus Vannamei* 饲料中 80% 鱼粉;而用家禽副产品粉与大豆粉、玉米粉和小麦粉混合则可以完全替代太阳鲈 *Morone chrysops* × *M. saxtilis* 饲料中的鱼粉^[66]。

近些年来,由于欧美宠物市场对高质量家禽副产品粉的需求促使其加工技术不断提高,导致此类产品质量明显上升,其蛋白含量和消化率等指标都已接近甚至优于鱼粉^[49,67]。最近在真鲷 *Pagrus major* 的研究中发现家禽副产品粉单独使用也可完全替代鱼粉^[68]。不过,当前市场上宠物级家禽副产品粉的价格并不比鱼粉低,随着加工技术的进一步改进,这一矛盾将会得到缓解。

3.3 血粉(Blood Meal, BM) 血粉是畜禽血液脱水干制而成,其粗蛋白含量可高达 90% 以上,而磷的含量却很低(0.3%)^[21],是良好的蛋白补充料。高温干燥的血粉适口性很差,氨基酸间比例不平衡,近年来采用真空干燥等新工艺以及对血粉进行发酵或破碎处理,大大提高了血粉的利用率。

研究发现,喷干血粉在虹鳟^[24]和日本鳗鲡 *Anguilla japonica* (Temminck and Schlegel)^[69] 幼鱼饲料中替代鱼粉的比例分别是 22.7% 和 50%。在尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus* 的实验中,Otubusin^[70] 发现血粉可替代饲料中 10% 的鱼粉 而 Lee and Bai^[71] 发现替代比例可高达 50%,但 100% 替代时效果不理想。EL-sayed^[42]也有相似的发现。

血粉中通常含较高的赖氨酸,但异亮氨酸含量低。所以常与谷物类等异亮氨酸高、赖氨酸低的植物性蛋白原料混合使用,以获得平衡的必需氨基酸。Song 等^[72]发现用血粉和植物性蛋白混合后可以替代

鲤鱼饲料 100% 的鱼粉。

由于价格过高以及批量生产难以保证,当前血粉的应用还难以普及,然而由于血粉含磷极低,可显著降低饲料的磷污染,因而成为当前用于研究和生产绿色饲料的重要原料。

3.4 羽毛粉(Hydrolyzed Feather Meal, HFM) 羽毛粉是羽毛经高温高压处理和酸碱水解后制得的高蛋白原料。但羽毛粉常有异臭,适口性差,从而限制了其应用。

在大鳞大麻哈鱼^[61]和虹鳟^[49]饲料中单用羽毛粉替代鱼粉的比例均不能高于 15%。罗非鱼的试验中也有相似的结论^[47,64]。

为了弥补必需氨基酸的不足,羽毛粉也常与其它原料(主要是动物性副产品)混合使用。除了上述与家禽副产品粉混合使用的效果外,羽毛粉与肉骨粉或血粉混合可以替代高达 75%甚至 100%的鱼粉而不会影响杂交罗非鱼 *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*^[73] 或尼罗罗非鱼^[74]的生长。

除了上述四种畜禽加工副产品、家禽的粪肥、一些陆生动物副产品的酸贮料、蚕蛹粉等动物养殖或加工过程中的副产品,其蛋白含量也很高,都是潜在的鱼粉替代蛋白。目前主要由于它们在批量加工上的困难,导致相应的研究和应用都还有限。

4 问题与展望

不难发现,动物副产品蛋白替代鱼粉的比例呈逐渐升高的趋势,这一方面体现了加工工艺的进步和研究水平的提高,也充分说明替代蛋白源的研究是解决当今鱼粉供求矛盾的有效途径,将是鱼类营养研究中长期的重要课题。然而,上述众多的研究也集中反映出以下几方面的问题和不足。

(1)产品质量和养殖对象的差异影响了结果的比较。动物蛋白源大多经过了特定的深加工,然而由于加工设备和加工技术的不同,不同来源或加工批次的产品质量会有很大的差异。Dong et al^[64]发现来自 6 家加工厂的家禽副产品粉样品的基本组成和蛋白消化率各不相同,也不同于 NRC^[21]公布的数据。这些差异使不同实验结果的比较不够客观和准确。与此相仿,当前报道的研究结果往往是根据不同的研究对象得出,虽然有的研究提到了养殖对象的差异(比如食性),但大多仍限于现象性的描述,没有生理机制上更深入探讨产生这些差异的原因,这也是当前鱼类营养研究基础资料不足的反映。

(2)鱼类替代蛋白源的实验研究通常是在为期 6—12 周的时间内完成。为了在这有限的生长期观察到因饲料处理带来的生长变化,往往选用对营养物差异反应敏感的幼鱼作为研究的对象。目前许多鱼类营养的基础资料都是根据同样的实验原理得出的。然而,生产实践中鱼类的养殖大多要持续一年以上,鱼的体重会有很大的变化,成鱼对不同营养物的反应和幼鱼是不同的。而目前都是将幼鱼中的研究结果直接应用于鱼的整个生长过程,这显然是不科学的。最近, Sugiura 等^[75]探索出了一种研究虹鳟成鱼磷需求的简捷方法,为成鱼的营养研究开辟了新的思路,也应该成为鱼类替代蛋白源实验研究的重要借鉴。

(3)通过鱼的生长表现、饲料利用效率、饲料消化率和鱼体组成分析来评价替代蛋白源的应用效果是最常用的方法和手段。然而,仅凭这些指标有时是不全面的,甚至可能得出错误的结论。Robaina 等^[48]用肉骨粉替代鱼粉饲养金头鲷(35—40g)时发现,肉骨粉替代高达 40% 的鱼粉时鱼的生长良好,其生长指标和饲料利用率均高于全鱼粉对照组。但进一步的组织学研究却发现,饲料中的肉骨粉超过 20% 时,鱼的肝部发生了明显的病变。因此,作者认为金头鲷的饲料中,肉骨粉替代鱼粉的量不应高于 20%,而不是 40%。

最近,免疫学指标的应用在鱼类营养研究中开始得到重视。Bransden 等^[76]在评价几种植物蛋白的替代效果时,率先将免疫指标应用于鱼类替代蛋白源的实验研究,取得了很好的效果。然而,如果要在一个多处理组的营养学实验中检测上述所有的指标,工作量将是十分巨大的,也将大大增加实验的成本。因此,筛选合适的敏感指标应该成为今后研究中的一项重要内容。

(4) 替代蛋白源研究的初衷是为了降低鱼粉的含量从而降低饲料的成本,因而鱼的成长反应和饲料成本一直是此类研究所要评价的首要的甚至是唯一的内容。然而,由于鱼类具有依赖水环境生活的特殊性,在水资源日趋紧缺的今天,还必须考虑到替代蛋白可能对水环境带来的污染。动物蛋白源往往含有较高的灰分和磷,容易污染水体环境,因此更应该加强污染指标的评价。Robaina 等^[48]发现在金头鲷中用肉骨粉替代高达 40% 鱼粉时不影响鱼的生长和饲料利用率,但水质监测却发现氮排放量显著高于对照组。可见,污染指标的评价将对最终结果的确定有很大的影响。

参考文献:

- [1] Barlow S. Fish meal and fish oil-supplies and markets. Presentation Ground Fish Forum, October, 2001
- [2] 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]. *Aquaculture*, 1997, **149**: 87—106
- [3] Olivia-Teles A, Cerqueira A L, Goncalves P. The utilization of diets containing high levels of fish protein hydrolysate by turbot *Scophthalmus maximus* juveniles[J]. *Aquaculture*, 1999, **179**: 195—201
- [4] 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
- [5] Moksness E, Rosenlund G, Lie O. Effect of fish meal quality on growth of juvenile wolffish *Anarhichas lupus*[J]. *Aquacult. Res.*, 1995, **26**: 109—115
- [6] Pike I B, Hardy R W. Standards for assaying quality of feed ingredients[C]. In: D' Abramo L R , Conklin D E, Akiyama D M. Eds., Crustacean Nutritiart. Advances in World Aquaculture. The World Aquaculture Society, Louisiana State University, Baton Rouge, USA, 1997, 473—492
- [7] 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]. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1987, **53**: 1208—1214.
- [8] Fail-grieve W T, Myers M S, Hardy R W, et al. Gastric abnormalites in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed amine supplemented diets or chicken gizzard—erosion—positive fish meal[J]. *Aquaculture*, 1994, **127**: 219—232
- [9] Opstvedt J , Mundheim H , Nygard 15, et al. Reduced growth and feed consumption of Atlantic antmon(*Salmo saint L.*) fed fish meal made from state fish is not due to increased content of biogenic amines[J]. *Aquaculture*, 2000, **188**: 323—337
- [10] 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, **94**: 2466—2473
- [11] 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]. *Aquaculture*, 1997, **153**: 251—261
- [12] Tapia-Salazar 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, **485**: 1708—1712
- [13] Tapia-Salazar 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] *Aquaculture* 2001, **193**: 281—289
- [14] Cruz-Suarez L E, Tapia-Salazar M, Ricque D, et al. Final evaluation of different biotoxicological score fish meals on *Penaeus vannamei* juveniles[C]. in: Gatlin, D. M. III Ed., Abstracts, VI international Symposium on Nutrition and Feeding offish, College Station, TX, USA, August, 1996, 11—15
- [15] Tapia-galazar M, Ricque-Marie D, Cruz-Suarez L E, et al. Compared effects of raw material deterioration and added crystalline amines in herring meals fed to *Penaeus stylirostris*[C]. In: Izquierdo, M., Fernandez-Palacios, H. 15ds, Abstracts of the VI International Symposium on Nutrition and Feeding of Fish and Crustacean, Las Patinas de Gran Canaria Spain. 1998, June 1998, 1—4

- [16] Luzzana U. Recent advances in the development of innovative chemical methods for determining the nutritional value of fish meals and aquafeeds[J]. *Aquacult. Res.* 2001, **32**, 661—670
- [17] 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]. *Aquacult. Nutr.* 1995, **1**, 169—177
- [18] 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]. *Aquacult. Nutr.* , 1998, **233**—239
- [19] 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]. *Aquacult. Nutr.* , 1997, **3**, 5—38
- [20] Romero J J, Castro E, Diaz A M, et al. Evaluation of methods to certify the "premium" quality of Chilean fish meals[J]. *Aquaculture*, 1994, **124**: 351—358
- [21] NRC. Nutrient Requirements of Fish[M]. Washington: National Academy Press, DC; 1995.
- [22] Cowey C B, Cho C Y. Nutritional Strategies and Aquaculture Guelph: Waste[M]. Univ. Guelph, 1991, 21—36
- [23] Sugiura S, Babbitt J, Dong F. Utilization of fish and animal by—product meals in low—pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)[J]. *Aquacult. Res.* , 2000, **31**: 585—593
- [24] 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]. *Aquacult. Res.* , 1995, **26**: 577—587
- [25] 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]. *Aquacult. Res.* , 2000, **31**: 213—218
- [26] 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]. *North. Amer. J. Aquac.*, 2001, **63**: 109—117
- [27] Jahan E, Watanabe T, Satoh S, et al. Formulation of low phosphorus loading diets for carp *Cyprinus carpio* L. [J]. *Aquacult. Ries.* 2001, **32**(Suppl. I), 361—368
- [28] Nordrum S, Asgard T, Shearer KD. Availability of phosphorus in fish bone meal and inorganic salts to Atlantic salmon (*Salmo salar*) as determined by retention *Aquaculture* , 1997, **157**; 51—61
- [29] Espe M, Sveier H, Hogoy, et al. Nutrient absorption and growth of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed fish protein concentrate [J]. *Aquaculture*, 1999, **174** 119—137
- [30] Viana M T, Lopez L M, Garcia—Esquivel Z, et al. The use of silage made from fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed[J]. *Aquaculture*, 1996, **140**: 87—98
- [31] Stone F E, Hardy R W, Shearer K D, et al. Utilisation of fish silage by rainbow trout *Salmo gairdneri*[J]. *Aquaculture*, 1989, **76**: 109—118
- [32] Wood J E, Capper B S, Nicolaides L. Preparation and evaluation of diets containing fish silage, cooked fish preserved with formic acid and low—temperature—dried fish meal as protein sources for mirror carp *Cyprinus carpio*[J]. *Aquaculture*, 1985, **44**: 27—40.
- [33] Hossain M A, Nahar N, Kamal M. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for rohu (*Labeo rohita*)[J]. *Aquaculture*, 1997, **15**; 37—45
- [34] Berge G M, Storebakken T. Fish protein hydrolysate in starter diets for Atlantic salmon *Salmo salar* fry[J]. *Aquaculture*, 1996, **145**: 205—212
- [35] Games E F, Rema P, Kaushik S J. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* : digestibility and growth performance[J]. *Aquaculture*, 1995, **130**: 177—186
- [36] Zambonino—infante J L, Cahu C, Peres A. Partial substitution of di—and tripeptides for native proteins in sea bass diet improves *Dicentrarchus labrax* larval development[J], *J. Nutr.* 1997, **127**, 608—614
- [37] Cahu C L, Zambonino Infante J L, Quazuguel P, et al. Protein hydrolysate vs. fish meal in compound diets for 10—day old sea bass *Dicentrarchus labrax* larvae[J]. *Aquaculture* , 1999, **171**: 109—119
- [38] Carvalho A P, Escaffre A M, Oliva—Teles A, et al. First feeding of common carp larvae on diets with high lev-

- els of protein hydrolysates[J]. *Aquacult. Int.*, 1997, 5: 361—367
- [39] Sudaryono A, Tsvetnenko E, Evans L H. Digestibility studies on fisheries by—product based diets for *Penaeus monodon*[J]. *Aquaculture*, 1996, 143: 331—340
- [40] Fagbenro O A. Apparent digestibility of crude protein and gross energy in some plant— and animal—based feed-stuffs by *Heterotis niloticus* (Clupeiformes; Osteoglossidae) (Cuvier 1829)[J]. *J. Aquacult. Trop.*, 2001, 16: 277—282
- [41] Rique Marie D, Cruz Suarez E, Camarena Conchas M, et al. Use of shrimp coextruded subproducts in diets for shrimp[C]. In: Proceeding of 4th International Symposium on Aquatic Nutrition, La Paz, Baja California Sur, Mexico, 15—18 november 1998, 191—228
- [42] El-Sayed A F M. Total replacement of fishmeal with animal protein sources in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. feeds[J]. *Aquacult. Res.*, 1998, 29: 275—280
- [43] Liao W L, Su L. Effect on the growth of *Penaeus monodon* by supplementation of squid viscera meal[J]. *J. Shanghai Fish. Univ.*, 1998, 7(Suppl): 268—269
- [44] Murueta J H C, Carreno F L G. The effect on growth and protein digestibility of shrimp *perlaeus stylirrostris* fed with feeds supplemented with Squid (*Dosidicus gigas*) meal dried by two different processes [J]. *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, 2001, 10: 35—47
- [45] Fernandez-Palacios H, Izquierdo M, Robaina L, et al. The effect of dietary protein and lipid from squid and fish meals on egg quality of broodstock for gilthead seabream (*Sparus aurata*)[J]. *Aquaculture*, 1997, 148: 233—246
- [46] Tacon A G J. Feed ingredients for warmwater fish: fish meal and other processed feedstuffs[M]. In: FAO Fisheries Circular No. 856. FAO, Rome. 1993.
- [47] Davies S J, Williamson J, Robinson M, et al. Practical inclusion levels of common animal, by—products in complete diets for tilapia *Oreochromis mossambicus* Peters[C]. In: Proc. 3rd int'l. 55, rap. On Feeding and Nutr Fish. Toba, Japan, 1989, 325—332
- [48] Robaina L, Moyano E J, Izquierdo M S, et al. Corn gluten meal and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream *Sparus aurata*: nutritional and histological implications[J]. *Aquaculture*, 1997, 157: 347—359
- [49] Bureau D P, Harris A M, Beven D J, et al. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets[J]. *Aquaculture*, 2000, 181: 281—291
- [50] Kikuchi I, Sato T, Furuta T, et al. Use of meat and bone meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder[J]. *Fish. Sci.*, 1997, 63: 29—32
- [51] Shimeno S, Mima T, Imanaga T. Inclusion of combination of defatted soybean meal, meat meal and corn gluten meal to yellowtail diets[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1993, 59: 1889—1895
- [52] Stone D A J, Allan G L, Parkinson S, et al. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus* III: Digestibility and growth using meat meal products[J]. *Aquaculture*, 2000, 186: 311—326
- [53] Kureshy N, Davis D A, Arnold C R. Partial replacement of fish meal with meat and bone meal, flash—dried poultry by—product meal, and enzyme—digested poultry by—product meal in practical diets for juvenile red drum[J]. North Artier: *J. Aquacult.*, 2000, 62: 266—272
- [54] Dong F M, Hardy R W, Haard N F, et al. Chemical composition and protein digestibility of poultry by—product meals for salmonid diets[J]. *Aquaculture*, 1993, 116: 149—158
- [55] Wang X, Castanon F, Parsons C M. Order of amino acid limitation in meat and bone meal[J]. *Poult. Sci.*, 1997, 76: 54—58
- [56] Mohson A A, Lovell R T. Partial substitution of soybean meal with animal protein sources in diets for channel catfish[J]. *Aquaculture*, 1990, 90: 303—311
- [57] Watanabe T, Pongmaneerat J, Sato S, et al. Replacement offish meal by alternative protein source in rainbow trout diets[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1993, 59: 1573—1579

- [58] Wu Y V, Tudor K W, Brown P B, et al. Substitution of plant protein or meat and bone meal in diets of Nile tilapia[J]. *North. Amer Aquac.* 1999, **61**: 58—63
- [59] Nengas I, Alexis M N, Davies S J. High inclusion levels of poultry meals and related by products in diets for gilthead seabream *Sparus aurata* L[J]. *Aquaculture*, 1999, **125**: 119—129
- [60] Alexis M N, Papaparaskeva—Papoutsoglou E, Theochari V. Formulation of practical diets for rainbow trout *Salmo gairdneri* made by partial or complete substitution of fish meal by poultry by—products and certain plant by—products[J]. *Aquaculture*, 1985, **50**: 61—73
- [61] Fowler L G. Poultry by—product meal as a dietary protein source in fall chinook salmon diets[J]. *Aquaculture*, 1991, **99**: 309—321
- [62] Steffens W. Replacing fish meal with poultry by—product meal in diets for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1994, **124**: 27—34
- [63] Steffens W. Use of poultry by—products for complete replacement of fish meal in feeds for trout fry and fingerlings[J]. *Arch. Tierernahr.* 1987, **37**: 98—103
- [64] Bishop C D, Watts A. Use of poultry meals as a protein source in the cultivation of young tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[C]. Paper presented at the World *Aquaculture* Society Annual meeting, 14—18 Jan. 1994, New Orleans, LA, USA.
- [65] Davis D A, Arnold C R. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus Vannamei*[J]. *Aquaculture*, 2000, **185**: 291—298
- [66] Webster C D, TiLi L G, Morgan A M. Effect of partial and total replacement of fish meal on growth and body composition of sunshine bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis* fed practical diets[J]. *J. World Aquacult. Soc.*, 1999, **188**: 299—309
- [67] Bureau D P, Harris A M, Cho C Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout[J]. *Aquaculture*, 1999, **180**: 345—358
- [68] Taksgi S T, Hosokawa H, Shimeno S, et al. Utilization of poultry by—product meal in a diet for red sea bream *Pagrus major*[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2000, **66**: 428—438
- [69] Lee K J, Bai S C. Hemoglobin powder as a dietary fish meal replacer in juvenile Japanese eel, *Anguilla japonica* (Terminck and Schlegel)[J]. *Aquacult Res.*, 1997, **28**: 101—108
- [70] Otubusin S O. Effects of different levels of blood meal in pelleted feeds on tilapia, *Oreochromis niloticus*, production in floating bamboo net—cages[J]. *Aquaculture*, 1987, **65**: 263—266
- [71] Lee K J, Bai S C. Hemoglobin powder as a dietary animal protein source for juvenile Nile tilapia[J]. *Prog. Fish—Cult.* 1997, **59**: 266—271
- [72] Song M H, Lee K J, Bai S C. Effects of dietary blood meal as a protein source in growing common carp (*Cyprinus carpio*)[J]. *J. Aquacuh.* 1995, **8**: 343—354. (In Korean, English abstract)
- [73] Bishop C D, Angus R A, Watts A. The use of feather meal as a replacement for fishmeal in the diet of *Oreochromis niloticus* fry[J]. *Bioresour Technol.* 1995, **54**: 291—295
- [74] Rodriguez—Serna M, Olvera—Novoa M A, Carmona—Osalde C. Nutritional value of animal by—product meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. fry[J]. *Aquacult Res.*, 1996, **27**: 67—73
- [75] 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, **865**—872
- [76] Bransden M P, Carter C G, Nowal B F. Effects of protein source on growth, immune function, blood chemistry and disease resistance of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) para Att it. *Sci. 2001*, **73**: 105—113