

文章编号: 1004-7271(2009)01-0101-06

· 综述 ·

发酵蛋白在水产饲料中的应用

刘 勇, 冷向军, 李小勤

(上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘 要: 发酵蛋白是将动、植物蛋白原料接种微生物, 发酵处理后得到的一类蛋白质饲料。通过发酵, 可有效降解或消除原料中存在的抗营养因子, 提高饲料营养价值。发酵产物应用于水产饲料, 可部分替代鱼粉使用, 降低饲料生产成本, 并对水产动物的生长、消化吸收、免疫机能具有一定的改善作用。综述了发酵蛋白的生产工艺、特点, 及在水产饲料中的应用现状, 并指出了今后的研究发展方向。

关键词: 发酵蛋白; 鱼粉; 水产饲料

中图分类号: S963.3 文献标识码: A

The application of fermented protein feed in aquatic feeds

LIU Yong, LENG Xiangjun, LIXiaoqin

(College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Fermented protein is a newly developed protein feedstuff which is produced by adding microbe in plant or animal protein resource to ferment with proper pH, temperature and time. After fermentation, anti-nutritional factors in the raw materials were destroyed and the nutritional value was improved. The application of fermented protein in aquatic feeds leads to partially replace fish meal in diet, decrease diet cost and improve the growth, digestibility and immune response of aquatic animals. This article reviewed the production and characters of fermented proteins and their application in aquatic feeds. The research direction in the future was also pointed out in this article.

Key words: fermented protein; fish meal; aquatic feeds

鱼粉资源的紧缺和价格的上涨, 给水产饲料工业带来了严峻挑战。寻求可替代鱼粉的廉价而稳定的蛋白源, 可缓解鱼粉供应不足, 也是降低饲料成本的重要措施。利用植物蛋白源或其它廉价动物蛋白源替代鱼粉是当前及今后水产动物营养与饲料研究的重要热点。与鱼粉相比, 各种替代鱼粉的蛋白原料均在不同程度上存在抗营养因子、适口性、氨基酸不平衡等问题, 因此, 必须采用物理、化学、生物等方法对这些蛋白源进行处理, 提高其营养价值。其中, 对蛋白原料进行发酵处理, 是一条经济有效的途径。生物发酵处理, 相对于物理、化学、作物育种等方法具有成本低, 无化学残留, 易被动物吸收, 应用较安全等特点, 现已开始受到重视。本文就发酵蛋白在水产饲料中研究应用作一综述。

收稿日期: 2008-01-23

基金项目: 上海市重点学科建设项目 (Y1101)

作者简介: 刘 勇 (1982-), 男, 四川内江人, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养与饲料。E-mail: y.liu@smail.shu.edu.cn

通讯作者: 冷向军, E-mail: xjeng@shu.edu.cn

1 发酵蛋白的生产工艺

发酵蛋白是将蛋白原料前处理,接种各种微生物菌,控制合适的发酵条件(温度、 pH 湿度、通风、时间等),经特定的加工工艺而得到的具有较高营养价值的饲料原料。根据发酵时接种状态可将发酵分为液态发酵、固态发酵和固液混合发酵三种方式。液态发酵彻底,产物稳定性好,但成本较高;固态发酵是以气相为连续相的生物反应过程,具有节水、节能的特点;固液混合发酵能降低成本,但其稳定性受菌种、固液比、工艺流程、设备和过程影响。

目前用于发酵的菌种主要有霉菌、酵母菌、细菌三大类,常用菌种有曲霉、酵母菌、乳酸菌和芽孢菌等。曲霉可将粗饲料中不易被消化吸收的成分转化成可利用态,如将粗纤维、果胶等物质转化为可消化糖类;酵母和乳酸菌可将饲料中的某些成分进一步合成营养价值高或适口性较好的物质(蛋白质、氨基酸、维生素等)。在发酵豆粕、水产加工副产品时主要采用乳酸菌^[1-3]、酵母菌^[4];发酵棉粕则一般采用霉菌^[5-6];芽孢杆菌在发酵中应用也较为广泛^[7-9]。

温度对发酵的影响主要体现在影响微生物细胞生长和影响发酵代谢产物两方面,依原料性质和菌种特点可采用常温和高温发酵两种方式。常温发酵成本低,易控制,微生物菌种易筛选,如采用乳酸菌发酵豆粕^[1]、水产副产物^[3-10]控温为 $27\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$,发酵时间为一周;高温发酵可缩短发酵时间,减少污染杂菌的机会,但在菌种选择上较为严格,在水产饲料中目前仅见于以芽孢杆菌 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 发酵豌豆粉和浮萍,发酵时间比 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 减少 24 h ^[7-8]。具体发酵温度应根据原料性质、菌种特点和加工工艺而确定。

此外,酸碱度、溶解氧、 CO_2 浓度等均可影响发酵过程和产物质量。 pH 值可影响酶的活性,培养基中某些中间代谢产物的离解与物理状态等,进而影响微生物的生长繁殖及代谢产物的形成和积累。根据菌种及加工工艺的不同, pH 一般在 $3.5\sim 7.5$ 范围内^[2-3]。溶解氧也是影响发酵过程及产物的一个重要因子,过低的溶解氧影响微生物呼吸,造成代谢异常;但过高的溶解氧也未必有利,因其同时为代谢供氧,影响培养基的氧化还原电位。 CO_2 是微生物的代谢产物,也是合成反应所需的基质,其对微生物的生长和发酵具有刺激作用。当 CO_2 浓度达到一定临界值时,可使细胞膜的流动性和表面电荷发生变化,导致基质膜运输受阻,影响细胞膜的运输效率,抑制细胞生长。

2 发酵蛋白的营养特点与功能

2.1 消除或降低抗营养因子

经微生物发酵降解,能有效消除或降低植物蛋白源中的抗营养因子。如:乳酸菌发酵能使大豆中胰蛋白酶抑制因子由 5520 TIU/g 降到 140 TIU/g ;致甲状腺肿素由 $16\ 737\text{ mg}/100\text{ g}$ 降到 $5\ 389\text{ mg}/100\text{ g}$;脲酶活性由 0.32 降到 0.02 ;脂肪氧化酶被降解 81% ^[11];非淀粉多糖下降 12.3% ^[11];酵母菌、乳酸菌混合发酵能完全消除豆粕中含量约 2% 的胰蛋白酶抑制剂^[4]。在棉粕中,以假丝酵母与黑曲霉复合固态发酵,能将游离棉酚由 $549.06\text{ mg}/\text{k}$ 降低到 $45.92\text{ mg}/\text{k}$ ^[6];以从草鱼肠道中提取的杆状菌发酵豌豆,可使丹宁含量由 1.25% 降低到 0.25% ,植酸由 6.25% 降为 0.79% (占干物质含量), β 神经毒素下降 24.22% ^[7];以该菌种发酵干浮萍叶蛋白,丹宁含量由 1% 降为 0.02% ,植酸由 1.23% 降为 0.09% ^[8]。

2.2 提高营养价值

发酵不仅能降低原料中抗营养因子,对其营养价值也有显著改善作用。以 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 发酵温度,100 $\%$ (豆粕:麸皮)发酵料坯组成,1:3(米曲霉:酵母)接种配比,按 6% 接种量发酵豆粕 72 h 发酵后粗蛋白含量可达 49.10% ,较原料增加 12.1% ^[12];以乳酸链球菌固态发酵能使豆粕粗蛋白含量由发酵前的 48.21% 提高到 52.45% ^[11],以枯草芽孢杆菌发酵豆粕,大豆蛋白转化为大豆多肽的转化率比常规酶解法高三倍,产物中肽分子质量小于 5 k 的肽链占总肽量 63.4% ,在 $10\sim 30\text{ k}$ 之间的占 2.42% ,大于 30 k 的仅占 0.85% ^[9]。以黑曲霉固态发酵棉粕可使粗蛋白含量提高 10.92% ,赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸,分别提高 12.73% 、 22.39% 和 52.00% ^[3];以假丝酵母与黑曲霉复合固态发酵棉粕,底物粗蛋白含量

提高 27.83%, 粗蛋白体外消化率提高 20.90%^[6], 以脱毒菌发酵, 还能增加棉粕可溶性蛋白, 提高氨基酸含量, 其中蛋氨酸含量提高 35.7%~40%, 赖氨酸含量提高 19.4%~27.6%^[13]; 以草鱼肠道中提取的杆状菌发酵, 能降低豌豆粉中 50%粗纤维, 游离氨基酸由 0.42%提高到 0.98%^[7]; 以该菌种发酵浮萍叶蛋白, 可将其粗纤维含量由 11%降到 7.5%, 游离氨基酸由 0.32%提高到 0.95%^[8]。利用曲霉发酵血粉, 产物中粗蛋白比原料提高 4.94%, 可溶性蛋白质增加 28.39%^[14]。

2.3 增加有益微生物或未知促生长因子, 促进机体免疫功能

发酵过程中微生物代谢产生一些代谢中间产物或终产物, 可提供水产动物机体生长代谢所需的酶或中间参与物, 并含有未知促生长因子。如经乳酸链球菌固态发酵的豆粕有效活菌数达 4.20×10^8 CFU/g, 乳酸含量达到 2.85%^[11]。发酵豆粕产生的多肽具有多种生理功能, 如清除自由基能力和体外抗氧化活性。以枯草芽孢杆菌发酵豆粕, O_2^- 清除能力由 49%提高到 62%, OH^- 清除能力从 78%提高到 90%, 相对抗氧化值从 2.0提高到 2.8 并发现分子量约为 1300 的短链肽具有很强的抗氧化能力, 其抗氧化能力是生育酚的 1.5倍^[9]。在发酵过程中, 大豆异黄酮中的葡萄糖苷会转化为葡萄糖苷元, 使得苷元成分大增, 抗菌活性明显增强, 优于目前普遍使用的防腐剂苯甲酸钠^[15-19]。

一些微生物菌本身具有免疫调节作用, 经发酵后产生一些多功能酶及一些具生理活性的物质, 使得发酵产物对水产动物非特异性免疫有一定影响。投喂含发酵豆粕 28%的饲料, 能提高异育银鲫血清总蛋白含量、血液中白细胞的吞噬百分比和吞噬指数, 降低血清中谷丙转氨酶活性^[17]; 在大西洋鲑饲料中添加乳酸发酵豆粕 14.6%, 能促进胰岛素分泌, 降低前肠细胞的皮外渗透, 减少后肠粘膜的折叠程度, 提高机体免疫防御能力^[1], 这和大西洋鲑^[18]、大菱鲆^[19]饲料中添加免疫调节剂酵母葡聚糖后的结果一致。在南美鲱鱼上, 发酵浮萍可提高鱼体抵抗疾病能力, 降低疾病发生率^[20]。目前有关发酵蛋白对水产动物免疫影响的报道, 仅见于发酵豆粕, 而在其它发酵蛋白方面, 尚未见有关报道。

2.4 改善饲料物理性能

发酵水产副产物在饲料中的添加应用, 能改善饲料 pH, 降低饲料溶失率^[21-22]; 以乳酸菌发酵肉骨粉和水解羽毛粉, 发酵产物添加于饲料中可提高饲料水中稳定性, 与鱼粉对照组相比, 该饲料的水中稳定性提高 3.7%, pH由 6.6降到 6.3 硬度由 4.5 kg/cm²降为 4.0 kg/cm²^[10]。以发酵杂鱼虾产物和鲮鱼粉(2:1)完全替代罗非鱼饲料中鱼粉, 饲料稳定性由 4.1%提高到 4.6%, 水中溶失率降低 15%^[3]。

3 水产饲料中发酵蛋白替代鱼粉的研究

根据原料蛋白来源的不同, 可将发酵蛋白分为发酵植物蛋白和发酵动物蛋白, 因其蛋白含量、可消化性和氨基酸平衡度等的不同, 其在替代鱼粉方面的作用效果也有所差异。

3.1 发酵植物蛋白

发酵植物蛋白是指以植物蛋白原料为基础, 利用细菌发酵或酶降解原理, 有效消除或降解原料中各种抗营养因子而得到的饲料原料。目前在水产饲料中应用较多的主要是发酵豆粕。

3.1.1 发酵豆粕

豆粕因其蛋白含量高, 氨基酸含量丰富等优点, 是饲料工业中应用最为广泛的植物蛋白源, 但因其胰蛋白酶抑制因子、氨基酸的平衡性及高的植酸含量, 使其在水产饲料中的大量应用受到限制。发酵能有效改善其品质, 增加其在饲料中的用量。在杂交罗非鱼 $[(7.72 \pm 0.08) \text{g}]$ 的研究表明, 发酵豆粕可代替饲料中 40%的鱼粉, 而对鱼体增重率和饲料系数不会产生影响^[23]; 在斑点叉尾鲴饲料中, 以发酵豆粕可完全代替鱼粉的使用, 鱼粉替代量为 25%~75%时的各组生长率、干物质和粗蛋白表观消化率在数值上高于对照组^[24]。在肉食性鱼类, Restie等^[1]证实, 在大鳞大麻哈鱼饲料中鱼粉替代量达 20.24%时, 对鱼体增重和饲料系数无显著影响; 以 14%发酵豆粕取代 10%鱼粉, 饲养 9.4 斜带石斑鱼, 与鱼粉(68%含量)对照组相比, 鱼体增重率、饲料效率、蛋白质效率并无差异, 折线模型分析表明, 鱼粉被发酵豆粕代替的适宜量为 14.71%^[25]。由上可见, 不同食性鱼类中, 发酵豆粕代替鱼粉的适宜比

例不同,通常在肉食性鱼类中,发酵豆粕代替鱼粉的比例较低,而杂食性鱼类的代替比例较高。

在虾饲料中,发酵豆粕也是一种良好的鱼粉替代源。冷向军等^[26]报道,发酵豆粕在凡纳滨对虾中替代鱼粉的适宜量为20%;在郭冉等^[27]和符广才^[28]试验中发酵豆粕替代凡纳滨对虾饲料中鱼粉的适宜量分别为30%和33.33%。其替代鱼粉比例的不同,原因主要在于试验用虾的大小差异,冷向军等^[26]试验中的凡纳滨对虾初体重为0.10 g,而郭冉等^[27]和符广才^[28]试验中则分别为1.13 g和1.82 g。可见,凡纳滨对虾个体越小,对鱼粉的依赖程度也越大,对植物蛋白较敏感,故替代量不宜过高。

可见,发酵豆粕在水产饲料中的添加量不仅与原料来源、性质、加工工艺有关,同鱼类的食性、生理阶段,饲料的组成(动植物蛋白比)等均有密切关系,而这些都有待进步研究。

3.1.2 发酵豌豆粉

豌豆粉的蛋白含量较低,含多种抗营养因子,在水产饲料中应用较少,但通过发酵降解抗营养因子和提高营养价值后,豌豆粉仍不失为一种廉价蛋白替代源。Ranachandran等^[7]发现,发酵能降低豌豆粉中粗纤维和抗营养因子如单宁,神经毒素等的含量,在南亚野鲮[(7.6±0.12) g]的饲养试验表明,以发酵豌豆粉替代15%~20%鱼粉时,不影响鱼体增重、饲料效率、蛋白质表现消化率。

3.1.3 发酵浮萍

萍的蛋白含量较高,含多种矿物元素,是草鱼的良好天然饲料^[29]。但由于粗纤维含量高,含多种抗营养因子,限制了其应用。将浮萍青饲料粉碎,打浆榨取汁液而凝聚分离,可得到浮萍蛋白饲料。经发酵后,可有效降低其抗营养因子,改善品质。以发酵浮萍蛋白粉替代饲料中20%的鱼粉,南亚野鲮[(6.4±0.31) g]增重率、饲料效率和饲料表现消化率均高于40%鱼粉对照组,当鱼粉替代量达25%时,对其生长、饲料转换率和蛋白质效率也无显著影响^[8]。也可直接对浮萍发酵,降解浮萍粗纤维,促进养分的消化吸收,在南美鲱鱼饲料中添加40%发酵浮萍,可以提高饲料诱食性,提高鱼体增重率^[29]。

3.1.4 发酵棉粕、菜粕

棉粕、菜粕是资源丰富的两类植物蛋白原料,随着鱼粉价格的上涨,其在水产饲料中的用量也越来越大,然而其抗营养因子或有毒物质的存在,制约着这类原料在水产饲料中的大量使用。对其进行发酵处理,可降低抗营养因子如游离棉酚的含量,提高营养价值^[5-6,13]。目前,在水产饲料生产中已有应用发酵棉粕,发酵菜粕的事例,但到目前为止,尚未见有关报道。

3.2 发酵动物蛋白

发酵动物蛋白主要包括发酵畜禽、水产加工副产物,这类蛋白原料脂肪含量高,不利于饲料储存,且营养价值波动范围较大。

3.2.1 发酵畜禽副产物

畜禽副产物是指畜禽屠宰加工后的废弃部分,其粗蛋白含量较高,脂肪含量高易氧化,原料来源及成分,加工方法,掺假等影响着其适口性和消化率。发酵是延缓脂肪氧化,改善原料适口性的有效途径。以家禽粉-血粉(4:1)的混合发酵物,可替代石斑鱼幼鱼饲料中80%的鱼粉^[30],远高于罗智等^[25]报道的石斑鱼饲料中发酵豆粕替代鱼粉的量(14.71%)。Fagbenro等^[10]以罗非杂鱼分别与豆粕、水解羽毛粉、家禽粉、肉骨粉混合发酵(按蛋白比1:1),所得四种产物分别替代饲料中65%鱼粉饲养鳊鱼。结果表明,发酵家禽粉组的鱼体生长性能与全鱼粉对照组基本一致,优于其他三种发酵产物。

血粉蛋白含量高,传统蒸煮法制得的血粉存在适口性差、消化率低和氨基酸含量不平衡三大营养缺陷。发酵血粉是将动物血液与透气性好的辅料以一定的比例混合,接入特定菌种发酵,然后干燥粉碎制得的产品。发酵过程中,血粉中的蛋白质被微生物分解成动物较易消化的蛋白胨、多肽及各种氨基酸,并可进一步合成氨基酸比较平衡的菌体蛋白。同时,微生物可去除血粉的腥味,增加饲料中B族维生素和酶类含量,提高饲料适口性。目前,发酵血粉在畜禽上研究较多,而在水产动物上尚未有报道。发酵血粉完全替代日粮中鱼粉饲养肉猪,对肉猪增重无显著影响,但可降低其料肉比^[31]。冯春贵等^[32]认为,在饲料中添加6%米曲发酵血粉,肉仔鸡增重率、存活率、肉料比等指标与进口鱼粉组基本一致。但用6%发酵血粉完全代替进口鱼粉(3%),饲养种蛋鸡时,发现适口性、消化利用率、产蛋率以及蛋重都

不及进口鱼粉组^[33]。可见,发酵血粉虽然在蛋白质消化率、适口性及氨基酸平衡等方面得到了一定的改善,但其添加过量仍可使动物生长受到影响。关于发酵血粉在水产饲料中的应用,有待进一步研究。

3.2.2 发酵水产加工副产品

小杂鱼虾是目前肉食性鱼类养殖中广泛应用的一种饲料源,但存在环境污染以及安全隐患等问题。采用 10^7 CFU/乳酸菌接种密度, pH 4.5 温度 30°C ,液态发酵处理罗非小杂鱼 7 d 90°C 保温 30 min 调节 pH 至 7,加入抗氧化剂,以该发酵产品和鲱鱼粉(2:1)完全替代罗非鱼饲料中鱼粉,可使饲料水中稳定性由 4.1% 提高到 6.6%,对饲料蛋白表观消化率、脂肪消化率无显著影响^[3]。以同样方法发酵罗非小杂鱼 豆粕(1:1)混合物,产物可完全替代鲈鱼饲料中的鱼粉用量,而不影响饲料干物质、蛋白、脂肪表观消化率^[10]。可见,利用水产动物和植物性蛋白按一定比例混合发酵,可消除植物性蛋白限制性氨基酸对动物的影响,有效平衡氨基酸含量,在某些水产饲料中具有完全替代鱼粉使用的可能性。

虾头、虾壳粉是将虾可食部分除去后,干燥粉碎而得,粗蛋白含量较高(40%左右),但部分含 N 物为几丁质,营养价值低,在鱼虾饲料中用量一般在 5% 以下。虾壳粉含丰富胆碱、磷脂、胆固醇等成分,可做鱼虾饲料之诱食剂;含虾青素,可用于观赏鱼饲料,具着色效果。目前,对虾头、虾壳的处理有晒干或蒸煮两种方式,但前者受自然条件影响大,且所得产物不卫生,而后者耗能高,成本高。利用乳酸菌发酵罗氏沼虾副产物(虾头),游离脂肪酸含量由 0.92% 提高到 1.6%,粗灰分为 23.9%,再分别与豆粕、羽毛粉、家禽副产物混合发酵,粗灰分含量降为 10.3%, 8.7%, 15.2%,对鲈鱼生长实验表明,与晒干虾头粉相比,发酵虾头 豆粕混合物,能显著促进鱼体生长,蛋白质表观消化率由 76.2% 提高到 90.8%^[3]。可见,水产加工副产品经发酵后,其物理特性、化学成分,及饲料干物质、蛋白质、脂肪消化率等都有一定改善。

4 研究展望

4.1 加工工艺的稳定性和评价标准

原料性质的不同性和发酵条件的多因素性决定了发酵工艺的多样性,因而迫切需要统一的评价标准来衡量、规范发酵蛋白的品质。评价标准内容除包括各物理、化学、感官、营养等指标外,还应包括如何衡量发酵程度、发酵质量等。

4.2 发酵蛋白对鱼粉的适宜替代量

发酵蛋白是否能替代鱼粉,其适宜替代比例是多少,除与前述的动物种类和生理阶段有关外,还与基础配方中蛋白质数量和质量有关。总蛋白质水平高于鱼类正常营养需求,配方中鱼粉被替代的比例相应就大;当总蛋白质水平不足时,即使鱼粉被替代很小比例也会对鱼类生长造成影响。

动、植物蛋白比影响饲料的氨基酸组成和适口性,以植物蛋白替代鱼粉后,会对饲料中氨基酸组成和适口性产生影响,这可以通过营养性添加剂和诱食剂的使用得到一定的改善。对肉食性鱼类,由于体内糖类消化和代谢酶的不足,对植物性原料利用较差,故鱼粉替代比例小。针对不同水产动物的营养需求,合理应用发酵蛋白,控制饲料中动、植物蛋白比,降低饲料和养殖成本。

4.3 作用机理有待研究

关于发酵蛋白对水产动物作用的研究,目前主要集中在对生长性能的影响方面,而关于其作用机理的研究还未见报道,应结合现代分子生物学、组织学、免疫学等对其作用机理进行研究。

目前,发酵蛋白在水产饲料中的应用还处于起步阶段,存在不少问题。在当今渔业资源日趋衰竭,饲料工业飞速发展,鱼粉价格不断上扬的背景下,加强对发酵蛋白的研究,将有助于推动发酵蛋白在生产中的应用,对于拓展饲料资源具有重要意义。

参考文献:

- [1] Rejzic S, Sahstrom S, Brahen E, et al. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and anti-nutritional factors in

- soybean meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J. *Aquaculture*, 2005, 46(4): 331-345
- [2] Faegbeno O A, Jauncey K. Physical and nutritional properties of moist fermented fish silage pellets as a protein supplement for tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J. *Animal Feed Science Technology*, 1998, 71: 11-18
- [3] Faegbeno O A, Oluayo A, Bell Q. Preparation, nutrient composition and digestibility of fermented shrimp head silage [J. *Food Chemistry*, 1997, 60(4): 489-493
- [4] 姚晓红, 吴逸飞, 汤江武. 微生物混合发酵去除豆粕中胰蛋白酶抑制剂的研究 [J. *中国饲料*, 2005, 24: 16-18
- [5] 顾赛红, 孙建义, 李卫芬. 黑曲霉 PES 固体发酵对棉籽粕营养价值的影响 [J. *中国粮油学报*, 2003, 18(1): 70-72
- [6] 张文举, 赵顺红, 许梓荣等. 复合固体发酵对棉籽饼脱毒效果的影响研究 [J. *粮食与饲料工业*, 2006, 6: 35-37
- [7] Ramachandran S, Bairagi A, Ray AK. Improvement of nutritive value of grass pea (*Lathyrus sativus*) seed meal in the formulated diets for rohu (*Labeo rohita* (Lamilton)) fingerlings after fermentation with a fish gut bacterium [J. *Bioresour. Technology*, 2005, (96): 1465-1472
- [8] Bairagi A, Sarker K, Sen SK, et al. Duckweed (*Lemna polyrrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium [J. *Bioresour. Technology*, 2002, (85): 17-24
- [9] 余 勃. 枯草芽孢杆菌发酵豆粕生产大豆活性多肽的研究 [D]. 南京农业大学博士论文, 2006
- [10] Faegbeno O A, Jauncey K. Growth and protein utilization by juvenile catfish (*Catarias gariepinus*) fed dry diets containing co-dried lactic acid fermented fish silage and protein feedstuff [J. *Bioresour. Technology*, 1995, 51(1): 29-35
- [11] 季 伟. 乳酸链球菌固态发酵豆粕的研究 [D]. 江南大学硕士论文, 2006.
- [12] 莫重文, 黄 岗. 固态发酵法生产发酵豆粕的研究 [J. *中国油脂*, 2007, 32(7): 38-40
- [13] 杨景芝. 棉酚脱毒微生物的筛选及其脱毒效果的研究 [J. *山东农业大学学报*, 1999, 30(1): 26-30
- [14] 董应凯, 李伯辉, 李汉克, 等. 二次发酵血粉生产工艺的研究 [J. *食品研究与开发*, 1997, 18(3): 22-26
- [15] 胡梦红, 王有基, 熊邦喜. 发酵豆粕在水产饲料中的应用研究 [J. *饲料工业*, 2007, 28(12): 60-62
- [16] Klofalah L, Rbed K H, Baeverfjord G, et al. Feeding a Atlantic salmon (*Salmo salar* L), soybean products: effects on disease resistance (fungulosis), and lysozyme and IgM levels in the intestinal mucosa [J. *Aquaculture*, 2000, 6: 77-84
- [17] 陈 萱, 梁运祥, 陈昌福. 发酵豆粕饲料对异育银鲫非特异性免疫功能的影响 [J. *淡水渔业*, 2005, 25(2): 6-8
- [18] Jørgensen J B, Robertsen B. Peritoneal and head kidney cell response to intraperitoneally injected yeast glucan in Atlantic salmon (*Salmo salar* L) [J. *Fish Diseases*, 1993, 16: 313-325
- [19] Bauhu M O D, Quenel C, Fournier V. Effect of long term oral administration of β -glucan as an immunostimulant or an adjuvant on some non-specific parameters of the immune response of turbot *Scophthalmus maximus* (Linnaeus) [J. *Disease of Aquatic Organism*, 1996, 26: 139-147
- [20] 李述银, 张永红, 王慈南, 等. 浮萍发酵饲料养殖巴西鲷的试验 [J. *台湾海峡*, 2001, 20: 127-129
- [21] Van W, Eydens'ch H J. The production of naturally fermented fish silage using various lactobacilli and different carbohydrate sources [J. *Science of Food & Agriculture*, 1985, 36: 1093-1103
- [22] Faegbeno O A, Jauncey K. Chemical and nutritional quality of dried fermented fish silages and their nutritive value for tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J. *Animal Feed Science Technology*, 1993, 45: 167-176
- [23] 程成荣. 杂交罗非鱼饲料中发酵豆粕和肉骨粉替代鱼粉的研究 [D]. 中山大学硕士论文, 2004
- [24] 李 惠, 黄 峰, 胡 兵, 等. 发酵豆粕替代鱼粉对斑点叉尾鲴生长和饲料表观消化率的影响 [J. *淡水渔业*, 2007, (5): 41-44
- [25] Luo Z, Liu Y J, Mai K S. Partial replacement of fish meal by soybean protein in diets for grouper *Epinephelus coioides* juveniles [J. *水产学报*, 2004, 28(2): 175-182
- [26] 冷向军, 王文龙, 李小勤. 发酵豆粕部分替代鱼粉对凡纳滨对虾的影响 [J. *粮食与饲料工业*, 2007, (3): 40-41
- [27] 郭 冉, 牛 津, 张朝正. 南美白对虾饲料中发酵豆粕替代鱼粉的研究 [J. *中大水生通讯*, 2004, 5: 12-14
- [28] 符广才. 凡纳滨对虾饲料中不同大豆蛋白源替代鱼粉蛋白的研究 [D]. 中山大学硕士论文, 2004
- [29] Shiman J V, Smith C R. Synopsis of biological data on grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Cuvier and Valenciennes, 1844) [J. *FAO Fish Sheet*, 1983, (1350): 47-50
- [30] Milamena O M. Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow out culture of grouper *Epinephelus coioides* [J. *Aquaculture*, 2002, 204: 75-84
- [31] 李春风. 发酵血粉替代鱼粉饲喂肉猪试验 [J. *兽药与饲料添加剂*, 2003, 8: 4-5
- [32] 冯春贵, 代国柱. 二次发酵血粉饲喂肉鸡试验 [J. *饲料工业*, 1992, 4: 21
- [33] 卞克明, 孙守信, 王玉华, 等. 发酵血粉代替进口鱼粉对种鸡产蛋性能和孵化率的影响 [J. *饲料博览*, 1990, 4: 16-18