

文章编号:1005-8737(2000)04-0108-05

·综述·

水产养殖饲料蛋白源开发利用研究现状

Research status of exploitation and use of dietary protein sources for aquaculture

郭沛涌¹,王运涛²

(1. 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室, 上海 200062; 2. 山东大学 微生物技术国家重点实验室, 山东 济南 250100)

GUO Pei-yong¹, WANG Yun-tao²

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. State Key Laboratory of Microbial Technology, Shandong University, Jinan 250100, China)

关键词: 饲料蛋白源; 配合饲料; 水产养殖

Key words: dietary protein source; compound feed; aquaculture

中图分类号: S963.7

文献标识码: A

饲料是水产动物所需营养素的载体,也是水生动物维持生命和生长繁殖的物质基础。饲料的营养成分有水分、粗蛋白、粗脂肪、碳水化合物、矿物质和维生素等,具有供给能量、构成机体、调节生理机能的功能^[1,2]。而其中粗蛋白是影响水产动物生长的最关键的营养成分。随着水产养殖业的发展,配合饲料原料的需求量越来越大,饲料蛋白源供应不足更为突出,以至饲料价格上涨,养殖成本提高^[3]。而关于水产动物蛋白源开发应用的研究,我国学者虽然从营养学、生理学方面进行了不少研究,但仍薄弱。因此,开发质优价廉的水产动物饲料蛋白源,不仅符合我国国情,而且是当前水产养殖业摆脱困境,降低成本,提高效益的重要课题。目前,水产养殖饲料蛋白源的开发及应用研究主要集中在动物性蛋白源、植物性蛋白源、单细胞蛋白源和植物、动物、单细胞蛋白源综合开发利用等几方面。为了促进水产养殖业的更快发展,研究开发优质蛋白源就具有十分重要的意义。

1 动物性蛋白源的开发利用

动物蛋白源尤其是肉食性鱼类蛋白含量高,糖含量低,矿物质与维生素含量高,营养价值一般比植物蛋白高^[4]。由于植物蛋白价格的季节波动和可利用基本氨基酸含量差异较大,使用动物蛋白从费用方面考虑也是适宜的。

1.1 鱼粉及畜禽类副产品

鱼粉粗蛋白含量为55%~70%,氨基酸种类齐全,还含有丰富的矿物质和维生素。随着饲料业的发展,鱼粉需求量逐年增大,价格上涨。而我国鱼粉年产量仅30万t^[5],目前我国水产配合饲料使用率仅10%的情况下已感鱼粉短缺^[6]。仅1994年我国就进口鱼粉66.3万t,花费外汇2亿多美元^[7,8]。而1997年进口鱼粉96万t,花费外汇6亿多美元^[5]。因此,鱼粉蛋白源市场潜力很大,开发前景看好。我国鱼粉产地主要集中在山东、浙江、河北^[9]。有些厂家生产的鱼粉质量达到或超过进口鱼粉,但也有不少厂家鱼粉质量较差^[5]。其主要原因是原料品质差,生产规模小,设备工艺落后。因此,提高生产与管理水平,扩大生产规模,是我国鱼粉生产的当务之急。我国年产200多万t畜禽类副产品^[7]。为解决动物性蛋白源不足的矛盾,可采用畜禽类副产品如肉骨粉、羽毛粉、血粉等以及其它廉价动物资源作蛋白源部分或全部代替鱼粉^[7,10,11],从而缓解鱼粉缺乏对配合饲料发展的限制。肉骨粉蛋白质含量在45%~50%,铁、钙、磷等矿物质含量很高。用肉骨粉做饲料的动物性蛋白源饲养对虾,不仅提高了虾体对饲料的消化吸收率,有效地促进其生长发育,而且明显降低了养虾成本^[12]。单纯以肉骨粉为蛋白源的饲料也不影响鲢的生长^[13]。用肉粉作为蛋白源代替10%鱼粉制成饲料喂鳊鱼时,其生长、饲料效率、血液性状和鱼体成分等都和对照组相似^[14]。以不同含量肉骨粉饲料投喂牙鲆幼鱼,鱼体重、增重、饲料效率及蛋白质利用率随饲料中肉骨粉增加而减少;摄食含18%肉骨粉饲料组与对照组鱼在鱼体近似组成与血液学、血化学参数上差异很小^[15]。但以肉骨粉饲料喂养金鲷稚鱼,当肉骨粉蛋白含量超过20%时,鱼肝细胞中脂肪积累增多,细胞核极化,出现病灶^[16]。用不同含量家禽下脚料粉(POM)代替鱼粉的饲料喂养(3.

收稿日期:2000-01-26

基金项目:国家海洋863资助项目(819-02-02)

作者简介:郭沛涌(1969-),男,华东师范大学博士生,电话:021-6223002; E-mail: peiyongguowu@163.net

94±0.12)g 体重的野鲮鱼种, 鱼的生长和饲料转换率无显著变化。研究认为投喂不同 POM 的饲料, 鱼肝的病理组织变化为充血、脂肪变化和固缩核, 但这些变化在 POM 内含物量较高时较大, 选用 100% POM 是所有饲料中最廉价的^[17]。用水产品下脚料代替鱼粉饲料投喂斑节对虾稚虾, 各投喂组的饵料转换率、蛋白质效率等均接近, 且优于含商品鱼粉和虾粉饲料的投喂组^[18]。动物血经膨化加工或酶解后制成血粉^[8,19], 其蛋白质含量高达 80%~93%^[8], 是一种很有开发前景的蛋白源。分别以鱼粉、血粉、鱼粉/血粉为蛋白源, 投喂尼罗罗非鱼 8 周, 结果表明, 血粉代替 50% 的鱼粉对鱼生长和饲料利用无不利影响, 而投喂蛋白源为 100% 血粉和 100% 血粉/氨基酸的饲料, 鱼的增重和特定生长率较低, 饲料中添加氨基酸无效^[20]。

1.2 其它动物蛋白源

除畜禽副产品之外, 研究人员对如蚯蚓、蜗牛、卤虫等营养价值高且易获取的动物资源作为蛋白源的可行性进行了探讨。蚯蚓含粗蛋白 50.4%~65.8%, 其蛋白质生物学价值与鱼粉相似^[8,11,21], 但用赤子爱胜蚓 (EFM) 作为蛋白源饲喂虹鳟, 发现鱼消化道中蛋白质分解酶活性有所下降, 说明 EFM 成分中有抑制消化酶活性物质存在^[22]。用蝇蛆添加在饲料中替代鱼粉饲养成鱼的试验证明, 蝇蛆饲料可用于从鱼种到成鱼的养殖全过程, 若在饲料中添加 10% 的小杂鱼, 可以提高饲料的诱食性和粘合效果, 进一步提高饲料利用率^[23]。用含蜗牛、小虾等动物蛋白源饲料喂养澳大利亚螯虾幼虾 12 周, 各组虾平均体重、增重率、特定生长率等无显著差异, 但养殖生产中动物性蛋白含量要占 20% 以上^[24]。用天然卤虫成体为蛋白源制成对虾配合饲料, 结果证明, 天然优质卤虫成体动物蛋白源替代部分进口鱼粉是可行的, 可明显促进对虾蜕皮生长, 提高产量, 增加养殖经济效益^[25]。用卤虫干粉替代进口鱼粉饲养鲤, 试验组与对照组的鲤增重量、整体整齐度、商品合格率均未出现明显差异。用卤虫干粉替代进口鱼粉, 对鱼的生长潜能没有抑制因子^[26,27]。

对于替代鱼粉的动物性蛋白源的研究, 目前主要集中在畜禽类副产品(肉骨粉、血粉等), 随着畜牧养殖业的发展, 畜禽类副产品资源量在不断增加, 如何充分利用这部分资源, 变废为用, 是以后研究应注意的问题。对某些天然动物蛋白源因地制宜地开展研究, 可达到增加生产和收入的目的。

2 植物性蛋白源的开发利用

可作为植物性蛋白源的主要有豆料籽实、油饼、粕类、饲料、食品和医药工业的废渣、废液、草粉及叶蛋白类饲料^[4]。植物性蛋白源来源广泛, 处理较容易, 但营养价值一般低于动物性蛋白源。

2.1 大豆制品

在植物性蛋白源中大豆蛋白、豆饼、豆粕等大豆制品的蛋白营养价值高, 氨基酸组成更合理, 糖类含量较谷实类低, 目前已成为研究重点。用大豆蛋白混合物替代 30% 鱼粉且

补充蛋氨酸制成配合饲料饲喂欧洲鳊, 其增重率、饲料效率、存活率等及试验结束时鱼体生化组成等各项指标均未产生显著差异^[28]。用大豆油粕作为植物蛋白源的饲料饲喂真鲷, 结果表明, 大豆油粕作为替代蛋白源是有效的, 其添加比例约为 25%^[29]。用 3 种添加 10%~30% 大豆油粕的饲料饲喂鳊鱼, 以鱼粉和鳊鱼肝油为主要成分的饲料作为对照, 结果证明各饲料组稚鱼都活泼摄食, 顺利生长, 没出现病害和异常^[30]。以不同比例豆饼、鱼粉为主要蛋白源制成配合饲料饲喂蟹种 40 d, 结果表明, 用 30% 豆饼替代配合饲料较合适; 豆饼添加过量或不足, 均会造成配合饲料中某些必需氨基酸比例失调而降低蟹生长速度^[31]。用大豆粉、全脂大豆粉替代虹鳟饲料中的鱼粉进行实验, 结果表明, 用 50% 植物蛋白替代鱼粉对虹鳟生长和饲料利用率无不良影响^[32]。而 Kanshik^[33]用浓缩大豆蛋白替代饲料中 33%~100% 的鱼粉, 鱼的生长或对营养元素的利用不受影响。饲料中大豆蛋白质水平高低对血浆卵黄蛋白质水平无明显影响, 在投喂以大豆为主饲料的鱼血清中测不出大豆抗体。试验证明大豆蛋白饲料饲喂眼斑拟石首鱼是可行的, 但需添加适量诱食剂和氨基酸。投喂 90% 豆粉蛋白饲料与鱼粉饲养的鱼相比, 差异并不显著, 但投喂 100% 豆粉蛋白饲料, 鱼增重显著降低^[34~36]。用全脂豆粉取代大西洋鲑饲料中 10% 鱼粉, 同样不会影响鱼肉的感官质量^[37]。豆饼、豆粉等因其粗蛋白含量高且与虾类有完全相似的氨基酸组成, 也应用于虾类配合饲料。用豆粉含量 35% 的饲料投喂斑节对虾幼虾效果较好^[38]。用豆饼代替 20% 的鱼粉未影响澳大利亚淡水螯虾幼虾的生长, 当饲料中豆饼含量占 40%~60%, 增加 5% 的蛋白质可显著提高虾生长率^[39]。研究发现, 不同豆类作为蛋白源的效果会有一些差别。用经溶剂提取的大豆粉、烤大豆或未经处理的大豆制成饲料投喂杂交狼鲈稚鱼, 结果投喂含 30% 大豆粉饲料的鱼体重和饲料效率与对照组没有显著差异; 投喂未经处理大豆含量最低为 20% 的鱼体增重和饲料效率明显低于对照组。投喂含 20% 烤大豆的鱼体增重和饲料效率低于对照组但差异不显著^[40]。用大豆、四棱豆、蕹叶派克豆、蠶豆、棉豆、木豆和洋刀豆饲喂尼罗罗非鱼均取得较好效果, 罗非鱼对大豆和四棱豆消化率较高, 可大量代替商品饲料中的鱼粉^[41]。

2.2 其它植物蛋白源

我国菜子饼、棉籽饼年资源量为 700 万 t^[8], 各种饼、粕年产量在 1 亿 t 以上^[42], 开发前景广阔。但该资源目前利用率较低, 主要是饼、粕类蛋白质品质较差, 各种氨基酸比例差异很大, 棉籽饼粕等还含有有毒物质^[8,43]。为了充分利用饼、粕资源, 首先可据不同水产生物的营养和消化特点合理搭配使用, 如大豆粕富含赖氨酸但精氨酸和蛋氨酸不足, 而棉籽饼和菜子饼却富含精、蛋氨酸。将 3 种蛋白源按一定比例混合, 既能满足鱼类的营养需要, 又能降低饲料成本^[44]。而对饼、粕中有毒物质可采用水浸法和微生物脱毒法, 去毒效果显著, 成本也不高^[8]。在罗非鱼饲料中添加 20% 的膨化菜

籽粕,可达到理想的饲料效果。每生产 1kg 罗非鱼可降低饲料成本 0.13 元^[45]。用棉籽粉作为蛋白源,当棉籽粉含量低于 26.5% 时,对虾的生长率、摄食率、存活率大体相同。当饲料棉籽粉含量超过 26.5% 时,对对虾生长产生负面影响,而棉籽粉含量达 39.8% 时,会抑制虾体生长,虾摄食减少,死亡率增高^[46]。还有研究认为棉籽饼加赖氨酸不影响鲶生长,但棉籽饼比例最好不超过 30%,以防对鲶生殖产生影响^[13]。尼罗罗非鱼对豆饼、棉籽饼、葵花饼的粗蛋白消化率分别为 93.0%、79.4%、89.8%。饲料中添加赖氨酸和蛋氨酸均对尼罗罗非鱼生长无效^[47]。用葵花粉作为蛋白源可取代饲料中鱼粉蛋白质 40% 以上,葵花粉蛋白质消化利用率很高,在用这种原料配制的饲料中添加适量可消化碳水化合物,能提高饲料蛋白利用率^[48,49]。在斑点叉尾鲷人工饲料中狗牙根蛋白质分离物可部分代替鱼粉^[50]。用全豆或脱壳羽扇豆籽粉 A(WAD 和 DAD)、脱壳的羽扇豆籽粉 B(DND)、羽扇豆蛋白质浓缩物(LPCD)和脱脂大豆粉(SBD)5 种饲料分别饲喂斑节对虾稚虾,在为期 42 d 养成试验中,投喂 SBD 或 DND 组虾的生长率显著优于 LPCD、DAD 或 WAD 组($P < 0.05$)虾的生长率^[51]。

可见,尽管植物蛋白质在不同水产动物配合饲料中替代鱼粉比例不尽相同,甚至有较大差异,但其可替代性已得到证实。大豆制品价格低、供给稳定,营养价值高,是最有开发价值的植物蛋白源,而对其它植物蛋白源如菜子饼、粕、棉籽饼、粕等的进一步研究则可拓宽资源利用范围。

3 单细胞蛋白源的开发利用

单细胞蛋白源应用较多的有饲料酵母、单细胞藻类等。利用微生物工程生产单细胞蛋白(SCP)已受到世界各国的普遍重视^[52,53],它具有其它种类不可比拟的繁殖速度和蛋白质生产效率,更重要的是生产单细胞蛋白兼有处理废水、废渣的功效,可进行工业化大生产。SCP 的蛋白质含量高,维生素、矿物质含量丰富,是极具潜在价值的蛋白源。

3.1 饲料酵母

饲料酵母蛋白质含量一般高于 50% 且营养全面。用饲料酵母替代 40% 秘鲁鱼粉喂养对虾,大水面实验结果,对虾产量提高 9.4%~11.5%,体长增长 0.26~0.35 cm,成活率提高 1.5%~2.4%,饲料系数下降 5.36%~7.58%。进一步研究表明,对虾摄食饲料酵母替代 40% 鱼粉的配合饲料比摄食只含鱼粉的配合饲料总消化率高 3.57%,蛋白质消化率高 1.17%^[54]。饲料酵母分别取代原配方中 1/2 和 2/3 秘鲁鱼粉,用于网箱养殖尼罗罗非鱼试验,试验组比对照组饲料系数下降 12.6% 和 9.1%,每 kg 鱼饲料成本减少 17.9% 和 16.6%,饲料经济效益提高 21.7% 和 20.1%^[55]。用酵母取代全部进口鱼粉饲喂鲤,每 kg 鲤饲料可降低成本 0.12 元,提高经济效益 8.9%,且其健康状况优于饲喂鱼粉组^[56]。使用啤酒酵母部分代替等氮饲料中的鱼粉养殖非洲鲶也取得满意效果^[57]。

3.2 单细胞藻类

单细胞藻类蛋白质含量高,营养全面,易吸收,近年日益受到重视^[58,59]。用紫球藻饲喂舔食性幼鲈,发现与投喂双点舟形藻对照组幼鲈之间成活率和壳长都没有显著差异^[60]。研究还发现后期仔鲈摄食弯杆藻和菱形藻生长率最快。摄食快速生长硅藻的仔鲈成活率最高,成活率与生长率和硅藻消化率呈正相关,对硅藻消化率是决定饵料价值主要因素,硅藻形态、附着强度、硅藻细胞强度和后期仔鲈年龄及大小都会影响消化率^[61]。用湛江叉鞭金藻、牟氏角毛藻、扁藻、小球藻分别单独或混合投喂,结果角毛藻、扁藻、小球藻混合组投喂文蛤稚贝效果最好,单独投喂扁藻组和叉鞭藻组也较好^[62]。用藻类饵料养殖扇贝幼体,其营养价值依次为陆兹尔单鞭金藻>角毛藻>球等鞭毛藻>四胞藻。投喂单细胞藻类的扇贝幼体组,其生长率与投喂高营养价值人工饵料实验组的相同^[63]。用螺旋藻代替鱼粉不影响鲤鱼苗增重、饲料转换率和蛋白质效率。投喂螺旋藻为唯一蛋白源饲料的鱼蛋白质净滞留率高,且 RNA 与 DNA 之比较高,鱼体水分和蛋白质含量与投喂鱼粉饲料鱼无显著差异,螺旋藻可提高饲料蛋白质消化率^[64]。

4 植物、动物、单细胞蛋白源综合开发利用

在实际生产中往往将几种蛋白源互相配合使用,起到了营养互补作用,使配合饲料营养成分更全面。利用酵母、DDG(酒精废液中的固形物加工成的蛋白饲料)、红粉(土霉素药渣滓)等作为主要蛋白饲料池塘喂养团头鲂,平均产量达 5 128.5 kg/hm²,最高产量达 8 115 kg/hm²,投入产出比为 1:2.27^[65]。将饲料酵母、土霉素渣、月见草籽粕、食用酒精废弃物(DDG)配合使用代替配合饲料中的鱼粉,经 2 年池塘大面积推广应用养殖鲤,取得较好的养殖效果和经济效益,平均产量 7 932 kg/hm²,平均盈利 1 120 元/hm²,每 kg 鱼饲料成本 1.98 元,投入产出比为 1:1.58^[66]。用脱脂大豆粕、玉米谷蛋白粉和肉粉作为裂喉鲢稚鱼饲料蛋白源,发现稚鱼摄食性下降,但蛋白质消化率却高达 91%~93%,同时氨基酸组成与鱼粉相近似,在 44% 饲料蛋白质水准下,用 30% 脱脂大豆粕、15% 玉米谷蛋白粉、15% 肉粉加以配合使用,可代替 90% 的鱼粉^[67]。用含 65:35 比例植物和动物蛋白质的饲料饲养蟹 9 周,蟹的增重量、饲料效率、表观净蛋白质和肉体成分的比较表明,大豆粉/油鲱鱼粉是试验最好的蛋白质组合;棉籽粉、肉骨粉、肉骨粉/血粉混合物可用做池养蟹饲料中大豆粉和鱼粉的廉价替换物^[68]。用 12%、24%、36% 粉碎羽扇豆和 20%、30% 饲料酵母代替等量的鱼粉饲喂平均始重 170 g 的幼鲤,实验后鱼体组成不受饲料组成影响,最佳饲料结果为 10% 饲料酵母/24% 羽扇豆饲料^[69]。

几种蛋白源配合应用,并不是各原料的机械相加,而是以养殖对象的营养需求为依据,以氨基酸平衡为中心,通过几种原料各自占优的成分间互补及其它成分间的累加从而

在整体上提高配合饲料的营养水平,增强整体养殖效果。

综上所述,畜禽类副产品及某些廉价低等动物资源是鱼粉较好的替代性蛋白源;大豆制品、各种饼、粕等植物蛋白源的开发利用是水产养殖饲料蛋白源研究重要方面,而饲料酵母、单细胞藻类则以质优价廉,易于生产而成为最具开发前景的饲料蛋白源;利用营养学配伍原则,将几种蛋白源配合使用,则有效地利用了各种蛋白源之间互补能力。但不管开发哪种蛋白源,都应符合以下几个条件:(1)必须是价格便宜,来源丰富的蛋白源;(2)蛋白质含量高;(3)氨基酸组成优良;(4)消化性能好;(5)抗营养因子少^[70]。

致谢:山东大学张玉忠老师、中科院海洋所董瑞琪老师提供便利条件,华东师范大学沈焕庭先生审阅全文,特此致谢!

参考文献:

- [1] 童合一,邢湘巨.鱼虾蟹饲料配制及饲喂[M].北京:农业出版社,1991.1-12.
- [2] 石文雷,陆茂英.鱼虾蟹高效益饲料配方[M].北京:中国农业出版社,1998.1-341.
- [3] 饲料研究编辑部.世界1997/1998年度鱼粉市场趋紧[J].饲料研究,1998,(4):33.
- [4] 李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,1996.8-198.
- [5] 李国胜.国产鱼粉真的没有好货吗? [J].中国饲料,1998,(13):29-30.
- [6] 岑玉吉.我国水产饲料业的现状与发展动态[J].淡水渔业,1999,29(2):37-40.
- [7] 周旭英,梁业森.我国动物性下脚料资源的开发利用[J].饲料研究,1996,(3):10-11.
- [8] 张无敌,夏朝凤.一些蛋白资源的开发评价[J].粮食与饲料工业,1998,(4):22-24.
- [9] 李国胜.交流国际信息,促进行业发展[J].中国饲料,1999,(7):5.
- [10] 吴莉芳.配合饲料中鱼粉代用品的开发利用[J].中国饲料,1999,(4):32.
- [11] 王华朗.水产动物鱼粉代用品的开发和利用[J].广东饲料,1997,(5):11-12.
- [12] 吴新民,杨金晓,范葵红,等.饲料中不同的动物性蛋白源对虾体生长和营养组成的影响[J].饲料研究,1997,(3):4-5.
- [13] Robinson E H, Li M H. Protein quantity and quality of catfish feeds[J]. Nutr Abstr Rev (Series B), 1994, 64(4): 2 077.
- [14] 示野贞夫,美马孝好.ブリ饲料の鱼粉代替源2,代替タンパク质源の探索[J]. 养殖,1995,32(1):76-79.
- [15] Kikuchi Kataro, Sato Tomonori, Takeshi Sakaguchi, et al. Use of meat and bone meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder[J]. Fish Sci, 1997, 64(4): 29-32.
- [16] Robaina L, Moyano F J, Izquierdo M S, et al. Carn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): Nutritional and hisological implications[J]. Aquac, 1997, 157(3/4): 343-355.
- [17] Hasan M R, Das P M. A preliminary study on the use of poultry of fat meal as dietary protein source for the fingerling of Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton)[J]. Nutr Abst Rev (Series B), 1994, 64(1): 453.
- [18] Sudaryono A, Hoxey M J, Kailis S G, et al. Investigation of alternative protein sources in practical diets for juvenile shrimp, *Penaeus monodon* [J]. Aquac, 1995, 134(3/4): 313-323.
- [19] 周 华.膨化猪血粉的研究[J]. 渔业现代化, 1998, (3): 39-41.
- [20] Lee K J, Bai S C. Hemoglobin power as a dietary animal protein source for juvenile Nile tilapia[J]. Prog Fish Cult, 1997, 59(4): 266-271.
- [21] 章 创.可替代鱼粉的太湖红蚯蚓[J]. 中国饲料, 1998, (7): 16-17.
- [22] Cardenete G, Garzon A, Moyano F, et al. Nutritive utilization of earthworm protein by fingerling rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Nutr Abst Rev (Series B), 1994, 64(1): 454.
- [23] 薄占珍,马云聪,高彦生.使用蝇蛆替代鱼粉蛋白饲养成鱼实验[J].河北渔业,1996,(1):36-37.
- [24] Jones P L, De Silva S S, Mitchell B D. The effect of dietary protein source on growth and carcass composition in juvenile Australian freshwater crayfish[J]. Aquac Int, 1996, 4(4): 361-376.
- [25] 王道力,孙久峰,袁海均.天然优质昆虫动物蛋白源的开发应用[J].饲料研究,1995,(6):19-20.
- [26] 武满伟,贾崇智.昆虫干粉替代鲤鱼饲料中进口鱼粉的饲养试验[J].河北渔业,1997,(5):16-17.
- [27] 杨再福,赵 姬,张阿林,等.饲料中添加昆虫粉养殖鳊夏花当年养成试验[J].科学养鱼,1999,(1):37-38.
- [28] 陈乃松,艾庆辉,王道尊.欧洲鳊配合饲料中大豆蛋白替代鱼粉的研究[J].水产学报,1998,22(3):283-287.
- [29] 宇川正治,渡井健仁,中村元二,等.マダイ用配合饲料に対する大豆油粕の利用[J].水产养殖,1994,42(2):335-338.
- [30] 示野贞夫,久门道彦.ブリ饲料の鱼粉代替源1,代替源研究の必要性和大豆油粕の有性[J].养殖,1994,31(12):78-81.
- [31] 陈立桥,堵南山,赖 伟.中华绒螯蟹种配饵中豆饼替代部分鱼粉的适宜含量[J].水产学报,1994,18(1):24-31.
- [32] Gomes E F, Rema O, Goveia A, et al. Replacement of fish meal by plant proteins in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effect of the quality of the fish meal based control diets on digestibility and nutrient balances [J]. Wates Sci&Tech, 1995, 31(10): 205-211.
- [33] Kanshik S J, Cravedi J P. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 1995, 133(3/4): 257-274.
- [34] Davis D A, Jirsa D, Arnold C R. Evaluation of soybean proteins as replacements for menhaden fish meal in practical diets for the red drum *Sciaenops ocellatus* [J]. J World Aquac Soc, 1995, 26(1): 48-58.

- [35] McGoogan B B, Gatlin D M III. Effects of replacing fish meal with soybean meal in diets for red drum *Sciaenops ocellatus* and potential for palatability enhancement[J]. J World Aquac Soc, 1997, 28(4): 374-385.
- [36] 任维美. 豆粉代替美国红鱼饲料中的鱼粉之效果[J]. 饲料工业, 1998, 19(6): 30-32.
- [37] Bjerkeng B, Refstie S, Fjalestad K T, et al. Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet[J]. Aquaculture, 1997, 157(3/4): 295-307.
- [38] Piedad-pascual E M, Cruz A, Sumalancay Jr. Supplemental feeding of *Penaeus monodon* juveniles with diets containing various levels of defatted soybean meal[J]. Aquaculture, 1990, 89(2): 183-191.
- [39] Jones P L, De Silver S S, Mitchell B D. Effects of replacement of animal protein by soybean meal on growth and carcass composition in juvenile Australian freshwater crayfish[J]. Aquac Int, 1996, 4(4): 339-359.
- [40] Brown P B, Twibell R, Jonker Y, et al. Evaluation of three soybean products in diets fed to juvenile hybrid striped bass *Morone saxatilis* × *M. chrysops* [J]. J World Aquac Soc, 1997, 28(3): 215-223.
- [41] Fagbenro O A. Apparent digestibility of various legume seed meals in *Nile tilapia* diets[J]. Aquac Int, 1998, 6(1): 83-87.
- [42] 刘建康, 何碧梧. 中国淡水鱼类营养学[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 210-241.
- [43] 朱旺明, 廖昌容, 王道尊. 水产动物饲料中大豆蛋白代替鱼粉的研究进展[J]. 饲料工业, 1999, 20(3): 42-44.
- [44] 王吉桥, 宋大强. 鱼配合饲料中鱼粉代用品的研究现状[J]. 水产科学, 1993, 12(5): 1-5.
- [45] 王剑英, 王毛毛, 陈廷元. 膨化菜籽粕在罗非鱼饲料中的饲喂试验[J]. 中国饲料, 1997, (5): 28-29.
- [46] Lim C. Substitution of cottonseed meal for marine animal protein in diets for *Penaeus vannamei* [J]. J World Aquac Soc, 1996, 27(4): 402-409.
- [47] Sintayehu A, Mathies E, Meyer - Burgdorff K H, et al. Apparent digestibilities and growth experiments with tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed soybean meal, cottonseed meal and sunflower seed meal[J]. J Applied Ichthyology, 1996, 12(2): 125-130.
- [48] Sanz A, Morales A E, De la Higuera M, et al. Sunflower meal compared with soybean meal as partial substitutes for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: protein and energy utilization[J]. Aquaculture, 1994, 128(3/4): 287-300.
- [49] Cardenete G, Morales A E, Higuera M DE LA, et al. Nutritive evaluation of sunflower meal as a protein source for rainbow trout [J]. Nutr Abst Rev (series B), 1994, 64(1): 451.
- [50] Buentello J A, Gatlin D M III, Dale B E. Evaluation of Coastal Bermuda grass protein isolate as a substitute for fishmeal in practical diets for channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. J World Aquac Soc, 1997, 28(1): 52-61.
- [51] Sudaryono A, Tsretrenko E, Hutabarat J, et al. Lupin ingredients in shrimp (*Penaeus monodon*) diets: influence of lupin species and types of meals[J]. Aquac, 1999, 171(1/2): 121-133.
- [52] 余伯良. 微生物饲料生产技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993. 1-197.
- [53] 尤彩英. 浅谈啤酒废酵母在水产养殖业中的应用[J]. 水产养殖, 1998, (1): 27.
- [54] 张淑华. 饲料酵母代替秘鲁鱼粉的对虾饵料消化率研究[J]. 齐鲁渔业, 1992, (5): 32-34.
- [55] 刘祖本, 李兆海, 陈奇, 等. 饲料酵母取代秘鲁鱼粉养殖罗非鱼试验[J]. 齐鲁渔业, 1995, 12(2): 30-32.
- [56] 王忠, 马永兵. 用酵母粉代替鲤鱼饵料中秘鲁鱼粉的研究[J]. 贵州水产, 1995, (1): 7-9.
- [57] Hoffman L C, Prinsloo J F, Rukan G. Partial replacement of fish meal with either soybean meal, brewers yeast or tomato meal in the diets of African sharp-tooth catfish *Clarias gariepinus* [J]. Aquac Abst, 1997, 14(5): 3 168.
- [58] 唐理舟. 螺旋藻在水产饲料中的应用[J]. 中国饲料, 1999, (12): 23-24.
- [59] 杨丽萍. 饲料用藻类细胞蛋白[J]. 饲料博览, 1998, 10(6): 36-37.
- [60] 张继红, 马志珍. 紫球藻培养幼体的饵料效果试验报告[J]. 海洋科学, 1997, (3): 14-15.
- [61] Kawamura T, Roberts R D, Nicholson C M. Factors affecting the food value of diatom strains for post-larval abalone *Haliotis iris* [J]. Aquac, 1998, 160(1/2): 81-88.
- [62] 王笑月. 几种饵料对文蛤稚贝生长与成活的影响[J]. 水产科学, 1998, 17(2): 11-13.
- [63] Laing I, Psimopoulos A. Hatchery cultivation of king scallop (*Pecten maximus*) spat with cultured and bloomed algal diets [J]. Aquac, 1998, 169(1/2): 55-68.
- [64] Nandeesha M C, Gangadhar B, Varghese T J, et al. Effect of feeding *Spirulina platensis* on the growth, proximate composition and organoleptic quality of common carp, *Cyprinus carpio* L [J]. Aquac Res, 1998, 29(5): 305-312.
- [65] 祖岫杰. 新饲料蛋白源在团头鲂配合饲料中的应用[J]. 饲料工业, 1993, 14(7): 54-55.
- [66] 王砚林, 张得隆, 王兆军, 等. 渔用新饲料蛋白源的开发和应用研究[J]. 水产科学, 1993, (11): 7-9.
- [67] Watanabe T, Pongmacrat J, Sato S, et al. Replacement of fish meal by alternative protein sources in rainbow trout diets[J]. 日本水志, 1993, 59(9): 1 573-1 579.
- [68] Reigh R C, Ellis S C. Utilization of animal - protein and plant protein supplements by red swamp crayfish *Procambarus clarkii* fed formulated diets[J]. J World Aquac Soc, 1994, 25(4): 541-552.
- [69] Filipiak J, Trzebiatowski R. Possibility of using ground yellow lupin seeds and fodder yeast in diets for carp C₂-3 [J]. Nutr Abst Rev (Series B), 1994, 64(1): 448.
- [70] 示野贞夫. フリ饲料の鱼粉代替源 9, 代替源研究の現状と今後の課題[J]. 养殖, 1995, 32(8): 73-75.