



大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对鱼类生长、消化及肠道组织的影响

段 晶, 王婧瑶, 吴莉芳, 瞿子惠, 周 锴, 杨 兰, 王桂芹

(吉林农业大学 动物科学技术学院/动物生产及产品质量安全教育部重点实验室/动物营养与饲料科学重点实验室, 吉林 长春 130118)

摘 要:随着集约化水产养殖业的发展,鱼粉资源短缺,寻求鱼粉蛋白源替代品已成为国际性研究课题。大豆蛋白源是水产饲料应用最多的植物蛋白源之一,主要包括豆粕、去皮豆粕、膨化豆粕、发酵豆粕、全脂豆粉、膨化豆粉、大豆分离蛋白和大豆浓缩蛋白等。但大豆蛋白中含有抗营养因子(antinutritional factor),在饲料中过量添加,对鱼类健康具有一定的影响。本文在查阅国内外相关文献报道的基础上,概述了大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对鱼类生长、消化酶活力、非特异性免疫功能及肠道组织的影响,为合理开发利用大豆蛋白源,节约鱼粉蛋白,优化鱼类饲料配方,降低饲料成本提供理论依据。

关键词:大豆蛋白源;生长性能;消化性能;肠道组织

Effects of Replacement of Fish Meal Protein with Soybean Protein on Growth, Digestion and Intestinal Tissue of Fish

DUAN Jing, WANG Jing-yao, WU Li-fang, QU Zi-hui, ZHOU Kai, YANG Lan, WANG Gui-qin

(College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University/Key Laboratory of Animal Production, Product Quality and Security, Ministry of Education/Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science, Changchun 130118, China)

Abstract: With the development of intensive aquaculture industry and the shortage of fish meal, it has become an international research topic to seek the alternative for fish meal protein. Soybean protein is one of the most widely used plant proteins in aquafeed, it mainly including soybean meal, dehulled soybean meal, extruded soybean meal, fermented soybean meal, full-fat soybean powder, extruded soybean powder, soybean protein isolate and soybean protein concentrate. But soybean protein contains anti-nutritional factors which have negative effects on fish's health if add to a certain extent. The effects of soy protein source instead of fish meal on fish growth, digestive enzyme activity, nonspecific immune function and intestinal tissue were reviewed on the basis of related literature at home and abroad. And these may provide theoretical basis for the rational development and utilization of soybean protein, the conservation of fish meal protein, optimization of fish feed formula and the reduction of feed cost.

Keywords: Soybean protein sources; Growth performance; Digestive performance; Intestinal tissue

我国是水产养殖业大国,随着集约化水产养殖业的迅猛发展,对水产饲料的需求量日益增加。鱼粉是鱼类优质的饲料蛋白源,由于过度捕捞,环境污染等因素导致鱼粉资源短缺,所以人们正利用价格低廉的蛋白源全部或部分地替代鱼粉蛋白,以达到鱼类生长所需的营养水平。大豆蛋白源具有蛋白质含量高、纤维含量低等特点,被广泛应用于鱼类配合饲料的生产中,利用大豆蛋白源替代鱼粉蛋白不仅能够降低养殖成本,还能减少鱼粉中氮磷的排放,既节约了鱼粉资源又保护了水体环境^[1]。大豆蛋白源主要包括:豆粕、膨化豆粕、发酵豆粕、全脂豆粉、膨化豆粉、去皮豆粕、大豆分离蛋白和大豆浓缩蛋白等。目前,国内外学者对鱼类饲料中大豆蛋白源替代鱼粉蛋白做了相关研究,研究的内容主要集中在大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鱼类生长性能、

营养生理效应、消化酶活力、抗氧化能力、非特异性免疫功能、肠道组织的影响等方面。研究的鱼类主要包括:斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[2]、黄鳍(*Monopterus albus*)^[3]、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[4]、乌鳢(*Channa argus fingerlings*)^[5]、真鲷(*Pagrosomus major*)^[6]、黄河鲤(*Cyprinus carpio*)^[7]、红鳍东方鲀(*Rachycentron canadum*)^[8]、洛氏鲮(*Phoxinus lagowskii* Dybowski)^[9]、石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)^[10]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[11]、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[12]、翘嘴鲇(*Culter alburnus*)^[13]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[14]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[15]、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)^[16]、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[17]、翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)^[18]、黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)^[19]、日本鲈鱼

收稿日期:2018-01-26

基金项目:吉林省科技厅重点科技攻关项目(20160204019NY);国家现代农业(特色淡水鱼)产业技术体系建设专项(CARS-46)。

第一作者简介:段晶(1994-),女,硕士,主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail:964857900@qq.com。

通信作者:吴莉芳(1970-),女,博士,教授,主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail:wulifang2915@126.com。

(*Lateolabrax japonicus*)^[20]、齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)^[21]。本文概述了大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对鱼类生长、消化酶活力、非特异性免疫功能及肠道组织结构等方面的影响,以期为研制鱼类配合饲料提供重要的生物学参数,为进一步合理开发利用大豆蛋白源提供理论依据。

1 大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对鱼类生长、饲料利用及肌肉营养成分的影响

大豆蛋白源具有消化吸收率高,可利用蛋白含量相对较高,氨基酸组成较好,价格合理,资源丰富和供应稳定等特点^[22],但在饲料中过量添加,对鱼类健康具有一定的影响。主要经济鱼类饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白的适宜量见表1。目前国内外学者对大豆蛋白源替代鱼粉对鱼类的影响做了诸多研究报道。Mohd等^[23]在石斑鱼饲料中添加不同比例(0,20%,30%,40%,50%,60%)大豆浓缩蛋白对其生长的影响,结果表明,当替代比例为21.4%~50.0%时,对石斑鱼生长性能无显著影响,替代比例达到40%~60%时,脂肪水平显著降低,0~20%替代水平下蛋白和脂肪的表观消化率显著升高。李惠等^[2]在斑点叉尾鲴饲料中添加不同比例发酵豆粕(25%,50%,75%,100%)的研究结果表明,饲料中发酵豆粕的最适添加量为25%,当替代比例为25%~75%时,斑点叉尾鲴增重率、特定生长率、饲料干物质和粗蛋白的表观消化率高于对照

组。田罡等^[3]在黄鳝饲料中分别添加24%豆粕、25%棉粕、28%菜粕,结果表明,24%豆粕组黄鳝的生长性能、饲料利用率、脏体比和肝体比均大于其它组,棉粕次之,菜粕最差。Lin等^[4]研究报道,在奥尼罗非鱼幼鱼的饲料中豆粕替代鱼粉(0,25%,50%,75%,100%)比例小于75%时,奥尼罗非鱼的生长差异不显著;全部替代鱼粉时,奥尼罗非鱼的增重率、特定生长率和蛋白质效率都显著降低,这是由于豆粕中含有抗营养因子,过量添加,会影响对奥尼罗非鱼的生长。左亚男等^[5]研究饲料中的全脂大豆粉添加氨基酸替代鱼粉对乌鳢生长和代谢的影响,结果表明,膨化大豆添加氨基酸在饲料中的最适宜量为60%~80%。Kader等^[6]研究报道,在真鲷饲料中以去皮豆粕替代饲料中(0,70%,80%,90%,100%)鱼粉,结果表明,70%和80%的去皮豆粕组的特定生长率显著高于对照组。Lim等^[8]研究红鳍东方鲀饲料中不同比例(0,15%,30%,45%,60%)脱脂豆粕替代鱼粉对其生长性能的影响,结果表明,当替代比例为13.6%时,对其生长起到促进作用。上述研究结果表明,与鱼粉蛋白相比,大豆蛋白在鱼类配合饲料中过量使用会导致鱼类生长性能下降。大豆蛋白源替代鱼粉的适宜量在不同种鱼类之间差异较大,主要是由于大豆制品种类、抗营养因子含量、在饲料中的添加量、鱼类种类、同种鱼类不同生理阶段、试验环境条件等诸多因素间的差异造成的。

表1 主要经济鱼类大豆蛋白源替代鱼粉蛋白的适宜量

Table 1 Appropriate amount of fish protein substitutes for major economic fish soy protein sources

鱼类名称 Species	体质量 Body weight/g	大豆蛋白种类 Soybean protein	适宜替代比例 Substitution ratio/%	考核指标 Assessment indicator	资料来源 Reference cited
斑点叉尾鲴 <i>Ictalurus punctatus</i>	1.10	发酵豆粕	25.0	增重率、特定生长率	李惠等 ^[2]
奥尼罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i> × <i>O. aureus</i>	4.00	豆粕	50.0~75.0	增重率、特定生长率、蛋白质效率	Lin等 ^[4]
乌鳢 <i>Ophiocephalus argus</i> Cantor	8.25 ± 1.30	膨化大豆	60.0~80.0	增重率、蛋白质效率	左亚男等 ^[5]
真鲷 <i>Pagrus major</i>	7.30	豆粕	20.0~30.0	增重率、特定生长率	Kader等 ^[6]
黄河鲤 <i>Cyrinus carpio</i>	13.21 ± 0.24	发酵豆粕	10.0~30.0	特定生长率、饵料系数	殷海成等 ^[7]
红鳍东方鲀 <i>Takifugu rubripe</i>	20.10	脱脂豆粕	13.6	增重率、特定生长率、饲料转化率	Lim等 ^[8]
洛氏鲮 <i>Phoxinus lagowskii</i> Dybowski	8.06 ± 0.95	发酵豆粕	33.0	终末体质量、体质量增加率、特定生长率、蛋白质沉积	闫磊等 ^[9]
石斑鱼 <i>Epinephelus coioides</i>	59.00 ± 3.00	豆粕	50.0~100.0	增重率、摄食量、饲料效率	Wang等 ^[10]
牙鲆 <i>Paralichthy olivaceus</i>	13.22 ± 0.02	豆粕	16.0	增重率、饵料系数、特定生长率、蛋白质效率、肝体指数、肥满度	刘襄河等 ^[11]
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	10.49 ± 0.03	发酵豆粕	30.0	特定生长率、增重率、饲料系数	冯建等 ^[12]
翘嘴鲈 <i>Culter alburnus</i>	1.34 ± 0.03	豆粕	35.0	终末体重、增重率、特定生长率	刘汝鹏等 ^[13]
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>	8.30	豆粕	20.0	增重率、饲料转化率、蛋白质效率	Zhou等 ^[14]

续表 1

鱼类名称 Species	体质量 Body weight/g	大豆蛋白种类 Soybean protein	适宜替代比例 Substitution ratio/%	考核指标 Assessment indicator	资料来源 Reference cited
虹鳟 <i>Oncorhynchus mykiss</i>	4.00 ± 0.04	膨化豆粕	27.0	增重率、特定生长率、蛋白质效率、 饲料系数	陆阳等 ^[15]
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>	1.18 ± 0.01	豆粕	40.0	增重率、蛋白质效率、特定生长率	Yu 等 ^[16]
日本鲈鱼 <i>Lateolabrax japonicus</i>	6.67 ± 0.03	豆粕	50.0	特定生长率、蛋白质效率、饲料效率	Zhang 等 ^[20]
石斑鱼 <i>Epinephelus lanceolatus</i>	45.90 ± 7.10	豆粕和海藻粉	40.0	增重率、特定生长率	García 等 ^[24]
真鲷 <i>Pagrus major</i>	24.00	豆粕	30.0	增重率、蛋白质效率、特定生长率	Biswas 等 ^[25]
牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	45.50 ± 0.08	去皮豆粕	30.0	增重率、饲料效率、特定增长率	Choi 等 ^[26]
乌苏里拟鲮 <i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	0.50 ± 0.00	豆粕	40.0	增重率、特定生长率、蛋白质效率	王裕玉等 ^[27]
牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	2.45 ± 0.01	豆粕	25.0	摄食量、特定生长率、蛋白质效率	Deng 等 ^[28]
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	19.55 ± 0.15	膨化豆粕	18.6	增重率、机体粗脂肪含量	张俊智等 ^[29]
紫红笛鲷 <i>Lutjanus argentimaculatus</i>	58.22 ± 5.28	脱脂豆粕	24.0	增重率、特定生长率、饲料效率	Catacutan 等 ^[30]
大西洋鳕 <i>Gadus morhua</i>	24.10 ± 1.40	豆粕	50.0	摄食率、增重率	Heidi 等 ^[31]

2 大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对鱼类消化酶活力的影响

鱼类消化酶活性受发育阶段、健康状况、食物组成、水温、盐度等因素影响,饲料中大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对鱼类消化酶产生影响,国内外学者对此做了大量研究。Lin 等^[4] 研究结果表明,当豆粕替代鱼粉比例大于 75% 时,奥尼罗非鱼幼鱼肠道蛋白酶活性显著低于对照组。Yu 等^[16] 研究在胭脂鱼饲料中添加不同比例豆粕(0, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) 替代鱼粉对其消化酶活性的影响,结果表明,当替代比例高于 60% 时,肠道蛋白酶活性显著低于对照组;替代比例高于 40% 时,脂肪酶活性显著低于对照组;替代比例高于 20% 时,肝胰脏中淀粉酶活性显著低于对照组。过高的豆粕比例使消化酶活性降低的原因是豆粕中含有抗营养因子,过量添加会影响鱼类的消化吸收,降低其消化酶的活力,进而影响鱼类生长发育。Zhao 等^[17] 研究在黄颡鱼饲料中添加不同比例大豆肽(0, 20%, 35%, 50%) 替代鱼粉,结果表明,20% 替代组前肠蛋白酶活力显著高于其它各组。钱曦等^[18] 研究在翘嘴红鲌饲料中添加不同替代比例的豆粕(0, 13.5%, 27.0%, 40.5%, 54.0%) 替代鱼粉,结果表明,当替代比例达到 40.5% 和 54% 时,肠道和肝胰脏的蛋白酶活力显著低于对照组。Zhang 等^[32] 研究在大黄鱼饲料中不同比例豆粕替代(0, 35%, 40%, 45%) 鱼粉,结果表明,随着豆粕替代比例的增加,肠道胰蛋白酶活性显著降低,而脂肪酶活性先升高后降低,淀粉酶活性无显著影响。Azarm 等^[19] 研究在黑鲷幼鱼饲料中添加不同比例发酵豆粕(0, 8%, 16%, 24%, 32%), 结果表明,黑鲷幼鱼

肠道在不同发酵豆粕替代水平下胰蛋白酶, 脂肪酶、淀粉酶活性均无显著变化。Zhang 等^[20] 研究在日本鲈鱼饲料中添加不同比例豆粕替代(0, 50%, 75%) 鱼粉, 结果表明, 试验组前肠蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活力显著低于对照组。Li 等^[33] 研究在日本鲈鱼饲料中添加不同比例商品豆粕(0, 15%, 30%, 45%, 60%) 替代鱼粉, 结果表明, 当商品豆粕替代鱼粉比例高于 30% 时, 胃蛋白酶活性显著低于对照组。综上所述, 大豆蛋白替代鱼粉蛋白对不同食性鱼类消化道蛋白酶活力有显著的影响。随着大豆蛋白替代比例的增加消化道蛋白酶活力通常呈下降趋势。鱼类的食性不同及同种鱼类的不同生理阶段, 大豆蛋白对其消化道蛋白酶活力的影响不同; 同种鱼类不同的消化器官, 对大豆蛋白的敏感程度亦不相同。大豆蛋白替代鱼粉蛋白对不同食性鱼类消化道淀粉酶及脂肪酶活性的影响各异。

3 大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对鱼类非特异性免疫功能的影响

鱼类是特异性免疫和非特异性免疫并存的脊椎动物, 但与哺乳动物相比, 鱼类特异性免疫机制还不完善, 在抵御病原微生物时主要依赖非特异性免疫发挥作用。国内外关于大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鱼类非特异免疫方面的影响, 进行了相关研究。Lin 等^[4] 在奥尼罗非鱼幼鱼的饲料中不同比例豆粕替代鱼粉, 结果表明, 当替代比例为 50% ~ 100% 时, 超氧化物歧化酶活性显著低于对照组, 当替代比例为 75% ~ 100% 时, 溶菌酶活性显著低于对照组。张俊智等^[28] 研究不同比例的膨化豆粕(0, 9.3%, 18.6%, 28%, 37.2%) 替代鱼粉对黄鳝血清生化指标的影响, 结果表明, 当饲料中膨化豆粕含

量的不断升高,肠道中的胰蛋白酶和血清中的谷草转氨酶活性均明显下降,而血清中的谷丙转氨酶活却呈上升趋势。陆阳^[15]等研究不同比例膨化豆粕(0,13.6%,27.2%,40.8%,54.4%)替代鱼粉对虹鳟血液学指标的影响,结果表明,随着饲料中膨化豆粕的含量不断增加,谷草转氨酶的活性先降低后升高。Zhao等^[17]研究在黄颡鱼饲料中添加不同比例大豆肽(0,20%,35%,50%)替代鱼粉对其非特异性免疫功能的影响,结果表明,50%替代组碱性磷酸酶活性高于其他各组,可显著改善黄颡鱼非特异性免疫功能以及生长性能。闫磊等^[9]研究在洛氏鲮饲料中不同替代比例发酵豆粕(0,16.5%,33.0%,49.5%,66.0%)替代鱼粉对其非特异性免疫的影响,结果表明,当发酵豆粕替代比例为49.5%~66.0%时,超氧化物歧化酶和溶菌酶的活性显著降低。Azarm等^[19]研究在黑鲷幼鱼饲料中添加不同比例发酵豆粕(0,8%,16%,24%,32%)对其超氧化物歧化酶活力的影响,结果表明,黑鲷幼鱼肠道在不同发酵豆粕替代水平下超氧化物歧化酶活性无显著变化。向泉等^[21]研究在齐口裂腹鱼幼鱼饲料中不同比例豆粕蛋白(0,20%,40%,60%,80%,100%)替代鱼粉蛋白对血液生化指标的影响,结果表明,当豆粕蛋白的替代比例为40%时,超氧化物歧化酶的活性最高,当豆粕蛋白替代比例为20%~60%时,溶菌酶的活性可达最高,当豆粕蛋白替代比例高达80%时,谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性可达最高。因此,在鱼类配合饲料中,过量添加大豆蛋白源会导致其非特异免疫功能下降,适量添加大豆蛋白源对其非特异性免疫功能影响不显著。关于大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鱼类免疫功能的影响有待于进一步深入研究。大豆蛋白对鱼类非特异性免疫功能的影响研究不仅可以有助于阐明脊椎动物免疫系统的进化规律,而且对鱼类的健康养殖有着重要意义。

4 大豆蛋白源替代鱼粉蛋白对鱼类肠道组织的影响

鱼类的肠道是体内最重要的营养物质消化吸收器官,鱼类整体的健康水平和生产性能的发挥主要依赖于肠道的健康水平。饲料中大豆蛋白源过量添加会破坏鱼类肠道组织结构。Wang等^[10]研究在石斑鱼饲料中豆粕替代(0,50%,100%)鱼粉对肠道组织的影响,结果表明,石斑鱼肠道绒毛高度无显著变化。张锦绣等^[34]研究在幼建鲤饲料中分离大豆蛋白替代(0,40%,60%,80%,100%)鱼粉对其肠道的影响,结果表明,随着大豆蛋白替代比

例的逐渐升高,会导致建鲤肠道上皮完整性被破坏,这主要是由于分离大豆蛋白中含有抗营养因子,过量添加,会损坏肠道组织的健康。Li等^[35]研究鲤鱼饲料中添加发酵豆粕替代豆粕对其肠道组织的影响,结果表明,当50%发酵豆粕替代豆粕时,中肠皱襞高度无显著变化,当38%的豆粕替代鱼粉时,中肠的杯状细胞数目减少。Zhang等^[32]研究在大黄鱼饲料中不同比例豆粕替代(0,35%,40%,45%)鱼粉,结果表明,当替代比例达为40%~45%时,肠壁会明显变薄,小肠绒毛会受到机械性的损伤。Shi等^[36]研究在鲫鱼(*Carassius auratus*)幼鱼饲料中豆粕和小球藻不同比例混合(0,25%,50%,75%,100%)替代鱼粉对其生长、肠道组织的影响,结果表明,当替代比例为25%时,对鲫鱼幼鱼的生长性能、饲料利用率、肠道组织均无显著影响。Zhang等^[20]研究在日本鲈鱼饲料中不同比例豆粕替代(0,50%,75%)鱼粉对其生长、消化酶活性和肠道组织的影响,结果表明,当替代比例达到75%时,前肠和中肠的绒毛高度显著降低。大量的研究表明,大豆蛋白对鱼类的影响主要发生在其肠道。引起鱼类肠道发生病理变化的原因是大豆蛋白源中含有多种抗营养因子。大豆蛋白中主要的抗营养因子有蛋白酶抑制因子、大豆凝集素、大豆抗原蛋白、植酸、大豆寡糖、致甲状腺肿因子、单宁、皂苷、异黄酮、抗维生素因子等。这些抗营养因子通过干扰营养物质的消化吸收、破坏正常的新陈代谢和引起不良的生理反应等多种方式危害人和动物尤其是幼龄动物的生长和健康,在生产实践中缺乏完全有效地去除这些抗营养因子的加工方法。因此,长期以来,大豆中含有的抗营养因子在很大程度上影响了大豆蛋白源的开发和利用。

5 展望

综上所述,尽管人们对大豆蛋白替代鱼粉蛋白做了相关的研究,但关于大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鱼类抗营养作用机制方面缺乏系统、深入的研究,尚有许多深层次的重要问题未能解决。未来的研究应以不同生理阶段的鱼类为研究对象,进一步研究大豆蛋白替代鱼粉蛋白对鱼类抗营养作用的分子机制。此外,还可以将分离纯化的各种大豆主要抗营养因子,不同比例添加在其配合饲料中,通过饲养试验,采用物理、化学、生物学、免疫学及分子生物学等方法和技术手段,研究大豆主要抗营养因子对鱼类生长性能、消化性能、免疫功能及肠道病理变化。进而揭示大豆抗营养因子的抗营养作用机理,对合理开发利用大豆蛋白源,缓解我国鱼粉

资源短缺的紧张局势,保障水产动物饲料安全均具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 吴莉芳,王洪鹤,张东鸣,等. 饲料中大豆蛋白对草鱼生长及饲料利用的影响[J]. 华南农业大学学报,2009,30(2):78-81. (Wu L F, Wang H H, Zhang D M, et al. Effects of different levels of dietary soybean protein on growth performance and feed utilization of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Journal of South China Agricultural University, 2009,30(2):78-81.)
- [2] 李惠,黄峰,胡兵,等. 发酵豆粕替代鱼粉对斑点叉尾鲷生长和饲料表观消化率的影响[J]. 淡水渔业,2007,37(5):41-44. (Li H, Huang F, Hu B, et al. Effects of replacement of fish meal with fermented soybean in the diet for Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) on growth performance and apparent digestibility of feed [J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(5):41-44.)
- [3] 田罡,龚世园,潘望城. 三种植物蛋白源对黄鳝生长和肌肉营养成分的影响[J]. 湖北农业科学,2013,52(5):1109-1117. (Tian G, Gong S Y, Pan W C, et al. Effects of three plant protein sources on growth and muscle nutrition of *Monopterus albus* [J]. Hubei Agricultural Sciences,2013,52(5):1109-1117.)
- [4] Lin S, Luo L. Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Animal Feed Science and Technology, 2011,168:80-87.
- [5] 左亚男,郑伟,刘凡宁,等. 饲料中的全脂大豆粉添加氨基酸替代鱼粉对乌鳢生长和代谢的影响[J]. 饲料工业,2015,36(24):17-21. (Zuo Y N, Zheng W, Liu F N, et al. Effect of replacing fish meal with full-fat extruded soybean meal adding methionine on growth and metabolism of *Channa argus* fingerlings [J]. Feed Industry, 2015,36(24):17-21.)
- [6] Md. Abdul K, Mahbuba B, Shunsuke K, et al. Effect of complete replacement of fishmeal by dehulled soybean meal with crude attractants supplementation in diets for red sea bream, *Pagrus major* [J]. Aquaculture, 2012,350-353(2):109-116.
- [7] 殷海成,贾峰,张哲,等. 饲料中发酵豆粕替代鱼粉对黄河鲤生长及消化酶活性的影响[J]. 饲料与粮食工业,2014,12(3):48-51. (Yin H C, Jia F, Zhang Z, et al. Effects of replacement of dietary fish meal by fermented soybean meal on growth performance and digestive enzyme activity of *Cyrinus Carpio* [J]. Cereal Feed Industry, 2014,12(3):48-51.)
- [8] Lim S J, Kim S S, Ko G Y, et al. Fish meal replacement by soybean meal in diets for Tiger puffer, *Takifugu rubripes* [J]. Aquaculture, 2011, 313(1):165-170.
- [9] 闫磊,祖岫杰,吴莉芳,等. 发酵豆粕替代鱼粉对洛氏鲮生长、饲料利用及非特异性免疫指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报,2017,45(1):7-13. (Yan L, Zu X J, Wu L F, et al. Effects of replacing fish meal with fermented soybean on growth performance feed utilization and non-specific immune indexes of *Phoxinus lagowskii* Dybowski [J]. Journal of Northwest A & F University, 2017,45(1):7-13.)
- [10] Wang Y R, Wang L, Zhang C X, et al. Effects of substituting fishmeal with soybean meal on growth performance and intestinal morphology in orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) [J]. Aquaculture Reports, 2017, 5:52-57.
- [11] 刘襄河,叶继丹,王子甲,等. 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆生长性能及生化指标的影响[J]. 水产学报,2010,34(3):450-458. (Liu X H, Ye J D, Wang Z J, et al. Partial replacement of fish meal by soybean meal in diets for juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2010,34(3):450-458.)
- [12] 冯建,王萍,何娇娇,等. 发酵豆粕替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长性能、体成分、血清生化指标及肝脏组织形态的影响[J]. 动物营养学报,2016,28(11):3493-3502. (Feng J, Wang P, He J J, et al. Effects of replacement of fish meal by fermented soybean meal on growth performance, body composition, serum biochemical indices and liver tissue morphology of juvenile Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016,28(11):3493-3502.)
- [13] 刘汝鹏,樊启学,全德文,等. 饲料中豆粕替代鱼粉及添加牛磺酸对翘嘴鲈生长及若干生理指标的影响[J]. 淡水渔业,2015,45(5):63-69. (Liu R P, Fan Q X, Quan D W, et al. Effect of dietary replacement of fishmeal by soybean meal and taurine on growth performance and some physiological indices of juvenile topmouth culter, *Culter alburnus* [J]. Freshwater Fisheries, 2015,45(5):63-69.)
- [14] Zhou Q C, Mai K S, Tan B P, et al. Partial replacement of fishmeal by soybean meal in diets for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2015, 11(3):175-182.
- [15] 陆阳,杨雨虹,王裕玉,等. 不同比例膨化豆粕替代鱼粉对虹鳟生长、体成分及血液学指标的影响[J]. 动物营养学报,2010,22(1):221-227. (Lu Y, Yang Y H, Wang Y Y, et al. Effects of different replacement ratio of fish meal by extruded soybean meal on growth, body composition and hematology indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(1):221-227.)
- [16] Yu D H, Gong S Y, Yuan Y C, et al. Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth, body composition and digestive enzyme activities of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2013, 19(1):84-90.
- [17] Zhao Z X, Song C Y, Xie J, et al. Effects of fish meal replacement by soybean peptide on growth performance, digestive enzyme activities, and immune responses of yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Fisheries Science, 2016(4):1-9.
- [18] 钱曦,王桂芹,周洪琪,等. 饲料蛋白水平及豆粕替代鱼粉比例对翘嘴红鲌消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报,2007,19(2):182-187. (Qian X, Wang G Q, Zhou H Q, et al. Effect of dietary protein on the activities of digestive enzymes of topmouth culter (*Erythroculter ilishaefomis* Bleeker) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2007,19(2):182-187.)
- [19] Azarm H M, Lee S. Effects of partial substitution of dietary fish meal by fermented soybean meal on growth performance, amino acid and biochemical parameters of juvenile black sea bream *Acanthopagrus schlegelii* [J]. Aquaculture Research, 2014, 45(6):994-1003.
- [20] Zhang C, Rahimnejad S, Wang Y R, et al. Substituting fish meal with soybean meal in diets for Japanese seabass (*Lateolabrax ja-*

- ponicus): Effects on growth, digestive enzymes activity, gut histology, and expression of gut inflammatory and transporter genes[J]. *Aquaculture*, 2018,483:173-182.
- [21] 向泉,周兴华,陈建,等. 饲料中豆粕蛋白替代鱼粉蛋白对齐口裂腹鱼幼鱼生长性能、体成分及血液生化指标的影响[J]. *水产学报*,2012,36(5):723-729. (Xiang X, Zhou X H, Chen J, et al. Effect of dietary replacement of fish meal protein with soybean meal protein on the growth, body composition and hematology indices of *Schizothorax prenanti*[J]. *Journal of Fisheries of China*,2012,36(5):723-729.)
- [22] 黄金善,王裕玉,杨雨虹. 大豆蛋白源在冷水性鱼类饲料中的应用研究进展[J]. *中国饲料*,2013(14):33-37. (Hung J S, Wang Y Y, Yang Y H, et al. Application of soybean protein sources in cold water fish feed [J]. *China Feed*,2013(14):33-37.)
- [23] Mohd Faudzi N, Yong A S K, Shapawi R, et al. Soy protein concentrate as an alternative in replacement of fish meal in the feeds of hybrid grouper, brown-marbled grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) × giant grouper (*E. lanceolatus*) juvenile[J]. *Aquaculture Research*, 2017(4):1-11.
- [24] García-Ortega A, Kissinger K R, Trushenski J T. Evaluation of fish meal and fish oil replacement by soybean protein and algal meal from *Schizochytrium limacinum*, in diets for giant grouper *Epinephelus lanceolatus*[J]. *Aquaculture*, 2016, 452:1-8.
- [25] Biswas A K, Kaku H, Ji S C, et al. Use of soybean meal and phytase for partial replacement of fish meal in the diet of red sea bream, *Pagrus major* [J]. *Aquaculture*, 2007, 267(1-4):284-291.
- [26] Choi, Se Min, Wang X, et al. Dietary dehulled soybean meal as a replacement for fish meal in fingerling and growing olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) [J]. *Aquaculture Research*, 2004, 35(4):410-418.
- [27] 王裕玉,周歧存,卜宪勇,等. 饲料中不同含量豆粕对乌苏里拟鲢生长、体成分及表观消化率的影响[J]. *水生生物学报*, 2016,40(4):681-689. (Wang Y Y, Zhou Q C, Bu X Y, et al. Effects of replacing fish meal with soybean meal on growth performance, body composition and apparent digestibility coefficients of *Pseudobagrus Ussuriensis*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(4):681-689.)
- [28] Deng J, Mai K, Ai Q, et al. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. *Aquaculture*, 2006, 258(1-4):503-513.
- [29] 张俊智,吕富,邹志利,等. 膨化豆粕替代不同比例鱼粉对黄鳝生长性能、体成分、肠道消化酶活力及血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*,2015,27(11):3567-3576. (Zhang J Z, Lyu F, Huan Z L, et al. Effects of fish meal replacement by different proportions of extruded soybean meal on growth performance, body composition, intestinal digestive enzyme activities and serum biochemical indices of Rice filed eel (*Monopterus albus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015,27(11):3567-3576.)
- [30] Catacutan M R, Pagador G E. Partial replacement of fishmeal by defatted soybean meal in formulated diets for the mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal 1775) [J]. *Aquaculture Research*, 2015, 35(3):299-306.
- [31] Heidi R C, Abigail B W, Timothy S B, et al. Partial replacement of fishmeal with soybean meal and soy protein concentrate in diets of atlantic cod [J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2012, 74(3):330-337.
- [32] Zhang F, Zhang W B, Mai K S, et al. Effects of replacement of dietary fish meal by soybean meal on growth, digestive enzyme activity and digestive tract histology of juvenile large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2012,42:75-82.
- [33] Li Y, Ai Q, Mai K, et al. Comparison of high-protein soybean meal and commercial soybean meal partly replacing fish meal on the activities of digestive enzymes and aminotransferases in juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*, (Cuvier, 1828) [J]. *Aquaculture Research*, 2014, 45(6):1051-1060.
- [34] 张锦绣,周小秋,倪学勤,等. 分离大豆蛋白对幼建鲤生长性能及肠道的影响[J]. *水产学报*,2008,32(1):84-90. (Zhang J X, Zhou X Q, Ni X Q, et al. Effects of soybean protein isolate on growth performance and intestine of *Cyprinus carpio* var. jian juveniles[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008,32(1):84-90.)
- [35] Li Y L, Gao Q, Shuai K, et al. Effects of soybean meal replacement by fermented soybean meal on growth performance and intestinal tissue structure of common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(2):469-475.
- [36] Shi X, Luo Z, Chen G H, et al. Replacement offishmeal by a mixture of soybean meal and chlorella meal in practical diets for juvenile crucian carp, *Carassius auratus* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2017, 48(5).