

肖金星, 钟志文, 相兴伟, 等. 南极磷虾粉对黑鲷幼鱼生长性能和氟蓄积的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(21): 202–206.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.21.037

南极磷虾粉对黑鲷幼鱼生长性能和氟蓄积的影响

肖金星¹, 钟志文², 相兴伟³, 郑刚¹, 邵庆均², 周宇芳³

(1. 浙江大学舟山海洋研究中心, 浙江舟山 316021; 2. 浙江大学动物科学学院, 浙江杭州 310058;

3. 浙江省海洋开发研究院, 浙江舟山 316021)

摘要:为探究南极磷虾(*Euphausia superba*)粉对黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)幼鱼生长性能和鱼体组织氟蓄积的影响, 选用初始体质量为(11.22±0.15) g 的黑鲷幼鱼随机分为 6 组, 投喂采用南极磷虾粉分别替代基础日粮中 0% (对照组)、10%、20%、30%、40%、50% 鱼粉的 6 组试验饲料, 开展 8 周的室内微流水养殖。结果显示, 随着饲料中南极磷虾粉添加量的增加, 黑鲷幼鱼的增质量率呈现先提高后下降趋势, 南极磷虾粉的添加量为 7.5% 和 11.2% 的试验组的增质量率显著高于基础日粮组($P<0.05$); 各组织出现不同程度的氟蓄积: 鱼骨>鱼鳃>鳞片>鱼皮>肝脏>肌肉, 肌肉中氟含量在各试验组之间没有显著差异(均低于 2 mg/kg)。本研究表明, 南极磷虾粉能够提高黑鲷幼鱼的生长性能, 可作为黑鲷饲料的鱼粉替代蛋白源。

关键词:黑鲷幼鱼; 南极磷虾粉; 生长性能; 氟蓄积

中图分类号: S963.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)21-0202-05

南极磷虾(*Euphausia superba*)是一种小型海洋浮游冷水性虾类, 主要分布在南极海域^[1], 资源丰富, 是世界海洋生物储备量最大的生物之一, 开发潜力巨大, 被认为是地球上最大的蛋白质资源库^[2]。随着世界海洋渔业资源的逐渐萎缩, 开发和利用南极磷虾资源是必然的选择^[3]。南极磷虾粉富含多种不饱和脂肪酸、氨基酸、维生素、矿物质和微量元素, 且富含虾青素和胡萝卜素, 对动物的生长、免疫力和体色有积极的影响^[4-6], 是一种良好的饲料蛋白源^[7]。然而, 南极磷虾极易发生氟蓄积, 其体内氟含量可达到 800~2 400 mg/kg, 南极磷虾粉氟含量可达到 2 518 mg/kg^[8-10], 限制了其在动物饲料中的添加量。因此, 研究水产动物摄食南极磷虾粉后, 鱼体内氟蓄积和分布情况, 对于南极磷虾粉作为水产饲料蛋白源的安全性评估具有重要的意义。

黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*), 具有广温广盐性、抗逆性强、生长迅速、肉质好等优点, 是海水增

养殖和放流的优良品种, 市场前景广阔^[11-12]。王月研究表明, 在大豆浓缩蛋白为主要蛋白源的饲料中添加全磷虾粉, 可以显著提高黑鲷幼鱼的增质量率和饲料效率, 但是未开展黑鲷体内氟蓄积研究^[13]。本试验以黑鲷幼鱼为研究对象, 投喂以南极磷虾粉替代部分鱼粉的饲料, 开展为期 8 周的养殖试验, 研究饲料中南极磷虾粉替代鱼粉对黑鲷幼鱼生长性能和鱼体氟蓄积的影响, 为南极磷虾粉在黑鲷等海水鱼饲料中的应用以及饲料蛋白源的开发提供基础研究数据。

1 材料与方法

1.1 养殖试验

本试验于 2017 年 7 月 28 日至 2017 年 9 月 23 日在浙江省海洋水产研究所西轩岛试验基地开展, 试验用黑鲷幼鱼由试验基地提供。挑选初始体质量为(11.22±0.15) g 的黑鲷幼鱼随机分为 6 组, 每组 3 个重复, 每个重复 25 尾鱼, 放入容积为 310 L、玻璃纤维缸内微流水式养殖 56 d。养殖试验期间, 试验黑鲷分别投喂 6 组试验饲料(D1~D6), 每天饱食投饵 2 次(08:00 和 16:00)^[14]。

1.2 饲料配方

根据黑鲷营养需求研究, 设计了基础饲料配方, 采用南极磷虾粉(氟含量为 1 200 mg/kg)分别替代基础饲料中 0%、10%、20%、30%、40%、50%

收稿日期: 2020-03-10

基金项目: 浙江省舟山市科技计划项目(编号: 2017C12030、2017C12032); 浙江省重点研发计划(编号: 2019C02076)。

作者简介: 肖金星(1986—), 男, 山东济南人, 硕士, 工程师, 主要从事水产动物营养与饲料研究。Tel: (0580) 8171365; E-mail: xiaojinxing@yeah.net。

通信作者: 周宇芳, 硕士, 工程师, 主要从事水产品加工与利用研究。

Tel: (0580) 2299220; E-mail: yfzhou@yeah.net。

的鱼粉,制成 6 组等能等氮的试验饲料(D1 ~ D6), 各组试验饲料组分及营养组成见表 1。饲料原料在

实验室内加工成粒径为 2.5 mm 的颗粒饲料,干燥后,保存于 -20 ℃ 冰柜中备用^[14]。

表 1 试验饲料组分及营养组成

原料	D1	D2	D3	D4	D5	D6
饲料组分(%)						
南极磷虾粉	0	3.7	7.5	11.2	14.9	18.7
鱼粉	40	36	32	28	24	20
大豆浓缩蛋白	21	21	21	21	21	21
高筋面粉	20	20	20	20	20	20
鱼油	4	4	4	4	4	4
玉米油	4	4.2	4.4	4.7	4.9	5.1
羧甲基纤维素	2	2	2	2	2	2
磷酸二氢钙	2	2	2	2	2	2
多维 ^[13]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
多矿 ^[13]	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
沸石粉	2.85	2.95	2.95	2.95	3.05	3.05
L-肉碱	1	1	1	1	1	1
植酸酶	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
三氧化二钨	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
营养组成						
粗蛋白(%)	41.83	41.81	41.86	41.83	41.81	41.86
粗脂肪(%)	15.59	15.57	15.55	15.63	15.60	15.59
磷(%)	1.60	1.56	1.51	1.47	1.43	1.39
氟(mg/kg)	88.33	116.67	146.67	188.33	231.67	268.33

1.3 样品采集及分析测定

养殖试验结束后,将试验鱼饥饿 24 h 后,用 MS-222(60 mg/L)麻醉,计数并称质量、测体长。试验鱼尾静脉取血后,取鱼皮、鳞片、鳃、背部肌肉、肝脏、脊椎骨,采用超纯水清洗,滤纸吸干,105 ℃ 烘干并研碎,-20 ℃ 保存备用^[14]。

饲料中氟含量采用 GB/T 13083—2002 标准方法检测;其他样品中氟含量采用 GB/T 5009.18—2003 第三法检测。

1.4 数据处理

本试验数据均采用“平均值 ± 标准差”表示,SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析后,采用 Tukey's 多重比较检验组间差异,显著水平 P 取 0.05。

2 结果与分析

2.1 南极磷虾粉对黑鲟幼鱼增质量率的影响

由图 1 可知,随着南极磷虾粉在饲料中用量的提高,黑鲟幼鱼的增质量率先增高后降低。饲料中南极磷虾粉的添加量为 7.5% 和 11.2% 试验组的增质量率显著高于对照组($P < 0.05$),其余各试验组

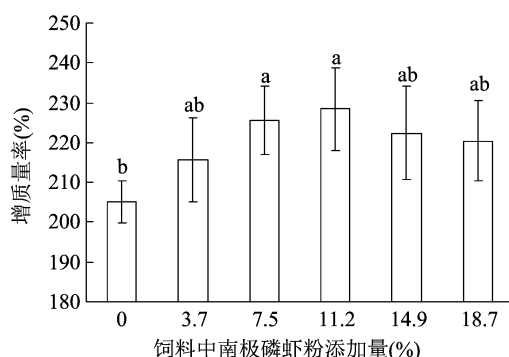


图 1 南极磷虾粉对黑鲟幼鱼增质量率的影响

的增质量率与对照组无明显差异($P > 0.05$)。

2.2 南极磷虾粉对黑鲟幼鱼组织氟含量的影响

2.2.1 肌肉 由图 2 可知,随着南极磷虾粉在饲料中用量的提高,各试验组黑鲟幼鱼肌肉中氟含量没有显著差异($P > 0.05$),且均低于 2 mg/kg。

2.2.2 肝脏 由图 3 可知,随着南极磷虾粉在饲料中用量的提高,黑鲟幼鱼肝脏中氟含量显著升高($P < 0.05$),当饲料中南极磷虾粉添加量达到 18.7% 时,黑鲟幼鱼肝脏中氟含量最高达到 42.33 mg/kg。

2.2.3 鱼皮 由图 4 可知,随着南极磷虾粉在饲料中用量的提高,黑鲟幼鱼鱼皮中氟含量显著升高

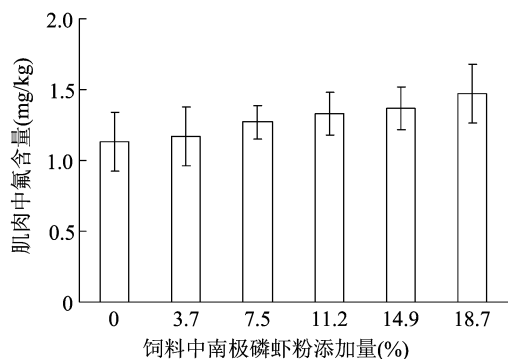


图2 南极磷虾粉对黑鲮幼鱼肌肉氟含量的影响

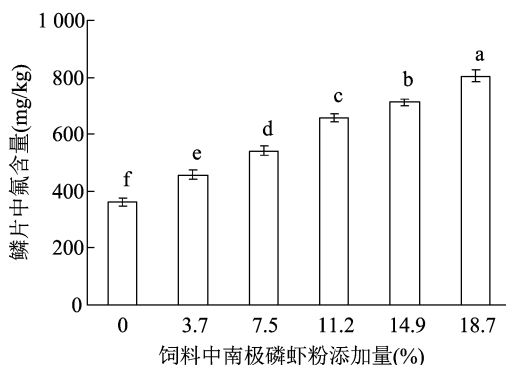


图5 南极磷虾粉对黑鲮幼鱼鳞片氟含量的影响

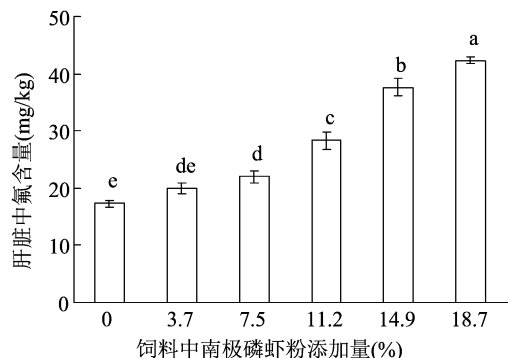


图3 南极磷虾粉对黑鲮幼鱼肝脏氟含量的影响

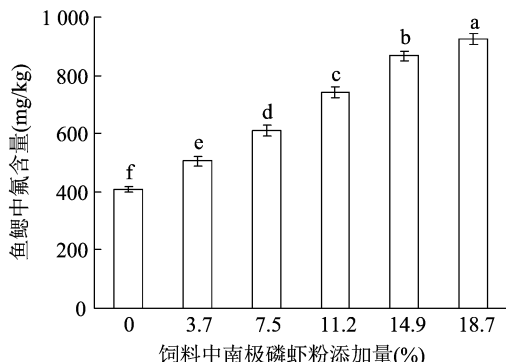


图6 南极磷虾粉对黑鲮幼鱼鱼鳃氟含量的影响

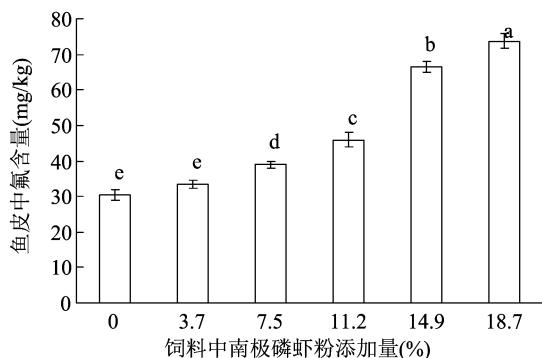


图4 南极磷虾粉对黑鲮幼鱼鱼皮氟含量的影响

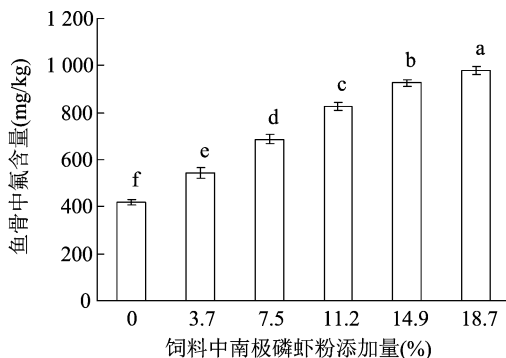


图7 南极磷虾粉对黑鲮幼鱼鱼骨氟含量的影响

($P < 0.05$), 当饲料中南极磷虾粉添加量达到 18.7% 时, 黑鲮幼鱼鱼皮中氟含量最高, 达 73.67 mg/kg。

2.2.4 鳞片 由图 5 可知, 随着南极磷虾粉在饲料中用量的提高, 黑鲮幼鱼鳞片氟含量显著升高 ($P < 0.05$), 当饲料中南极磷虾粉添加量达到 18.7% 时, 黑鲮幼鱼鳞片氟含量最高, 达到 803.33 mg/kg。

2.2.5 鱼鳃 由图 6 可知, 随着南极磷虾粉在饲料中用量的提高, 黑鲮幼鱼鱼鳃中氟含量显著升高 ($P < 0.05$), 当饲料中南极磷虾粉添加量达到 18.7% 时, 黑鲮幼鱼鱼鳃中氟含量最高, 达到 925.00 mg/kg。

2.2.6 鱼骨 由图 7 可知, 随着南极磷虾粉在饲料中用量的提高, 黑鲮幼鱼鱼骨中氟含量显著升高 ($P < 0.05$), 当饲料中南极磷虾粉添加量达到 18.7%

时, 黑鲮幼鱼鱼骨中氟含量最高, 达 978.33 mg/kg。

3 讨论与结论

3.1 南极磷虾粉对黑鲮幼鱼生长性能的影响

目前, 有关南极磷虾粉对水产动物生长的影响已有较多研究, 有报道指出在饲料中添加适量的南极磷虾粉对水产动物的生长具有一定的促进作用^[15], 但是饲料中添加过量的南极磷虾粉则可能导致水产动物的生长性能降低^[16]。Suontama 等研究发现, 采用南极磷虾粉替代饲料中 40% 的鱼粉, 可显著提高大西洋鲑 (*Salmo salar*) 的特定生长率, 可能是由于与鱼粉相比, 南极磷虾粉营养组成更适合于大西洋鲑的生长需求, 进而促进其特定生长率的

提高^[17]。Gaber 研究发现,添加 1.5% 的南极磷虾粉可以提高尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 的摄食率、增质量率和生长速度,可能是由于南极磷虾粉具有诱食效果,可以提高尼罗罗非鱼的摄食量,进而提升其增质量率^[15]。Hansen 等采用磷虾粉完全替代饲料中鱼粉,得到氟含量分别为 470、640 mg/kg 的试验饲料,投喂大西洋鲑 100 d 后,发现前者大西洋鲑的生长性能与对照组无显著差异,而后者大西洋鲑的增质量率明显降低^[16]。Yoshitomi 等研究发现,采用全磷虾粉替代饲料中的鱼粉,虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 的生长性能显著低于对照组,推测可能是因为骨骼中氟的蓄积对虹鳟的生长具有抑制作用^[17]。上述研究表明,南极磷虾粉对不同水产动物生长性能的影响差异明显,这可能与水产动物的品种、生长阶段和生活环境等有关,其机制还需进一步深入研究。

本研究中,随着南极磷虾粉在饲料中用量的增加,黑鯛幼鱼的增质量率先增高后降低,南极磷虾粉的添加量为 7.5% 和 11.2% 试验组的增质量率显著高于基础日粮组 ($P < 0.05$),表明南极磷虾粉替代适当比例鱼粉可以提高黑鯛幼鱼的生长性能;其余各试验组的增质量率与对照组无明显差异 ($P > 0.05$),饲料中添加 18.7% 的南极磷虾粉对黑鯛幼鱼的生长未产生不利影响。以生长性能为评价指标,黑鯛幼鱼饲料中南极磷虾粉的最适添加量为 11.2%。

3.2 南极磷虾粉对黑鯛幼鱼组织氟蓄积的影响

目前,关于南极磷虾粉对水产动物组织氟蓄积的影响已有大量研究,有研究表明水产动物摄食添加南极磷虾粉的饲料后,鱼体组织通常发生氟蓄积^[18-19],但也有研究发现鱼体组织氟含量未产生明显变化^[20-21]。本研究对摄食添加南极磷虾粉的饲料后黑鯛幼鱼组织中氟含量进行测定发现,氟在黑鯛幼鱼组织中的分布程度,以鱼鳃、鱼骨和鳞片中的氟含量最高,其次是鱼皮和肝脏组织,肌肉中氟含量最低,各组织按照氟含量排序为:鱼骨 > 鱼鳃 > 鳞片 > 鱼皮 > 肝脏 > 肌肉,这与黄艳青等在点带石斑鱼上的研究结果^[22]相似。

水产动物摄入的氟主要在骨骼、鱼鳃、鳞片等^[17]的硬组织器官发生沉积,这可能是水产动物预防氟损伤的一种保护机制^[18],以免高浓度的氟进入循环系统。研究发现,部分鱼类骨骼中的氟含量与南极磷虾粉在饲料中的添加量呈正相关,例如虹

鳟^[17]、珍珠龙胆石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂)^[23] 和 黄尾鲷 (*Seriola lalandi*)^[24] 等。然而,对凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)^[20]、虹鳟^[21]、大西洋鲑^[25] 等的研究发现,南极磷虾粉对鱼骨中的氟含量没有显著影响。上述的研究表明,摄食添加南极磷虾粉的饲料后,水产动物组织氟蓄积的情况受到水产动物品种的影响。本研究中,黑鯛幼鱼摄食添加南极磷虾粉的饲料 8 周后,黑鯛幼鱼各组织中以脊椎骨的氟含量最高,达到 978 mg/kg,这与 Yoshitomi 等^[17] 和 Grave^[19] 的研究结果相一致。本研究中,添加 7.5% 和 11.2% 的南极磷虾粉替代饲料中鱼粉,黑鯛幼鱼的增质量率呈现显著的提高,继续增加南极磷虾粉的用量,黑鯛幼鱼的增质量率出现一定的下降,可能是因为黑鯛幼鱼鱼骨中氟的蓄积,影响了骨骼的发育,导致了黑鯛幼鱼生长速度变慢。另外,黑鯛幼鱼鱼鳃、鳞片中的氟含量均高于 800 mg/kg,鳞片是外骨骼,鱼鳃是软骨组织,进一步印证了氟在黑鯛幼鱼硬组织和软骨组织中发生明显的蓄积现象,符合氟在生物体内的分布规律,这与 Shi 等给西伯利亚鲟 (*Acipenser baerii*) 幼鱼投喂氟含量 75.2 ~ 1 478.3 mg/kg 饲料,经 12 周养殖,发现其鳞片、软骨和鳃等组织发生显著氟蓄积的研究结果^[26]一致。

本研究中,黑鯛幼鱼摄食南极磷虾粉替代部分鱼粉的饲料后,氟在鱼皮和肝脏中出现蓄积现象,并且氟含量随着南极磷虾粉添加量的增加呈现正相关的效应,而黄艳青等采用添加 0% ~ 6% 的南极大磷虾粉饲料投喂点带石斑鱼 100 d,发现肝脏中氟含量在各组间无显著差异^[22];Shi 等给西伯利亚鲟幼鱼投喂氟含量为 75.2 ~ 1 478.3 mg/kg 的饲料(以氟化钠形式添加)养殖 12 周,发现随着时间和饲料氟含量增加,对肝脏中氟含量无显著影响^[26],本研究结果与之不一致,这可能是因为不同品种的水产动物肝脏对氟离子代谢的能力不一致,有待进一步研究确认。

本研究中,随着南极磷虾粉在饲料中用量的增加,各试验组黑鯛幼鱼肌肉中氟含量与对照组相比没有显著差异 ($P > 0.05$),黑鯛幼鱼肌肉未出现氟蓄积,这也表明肌肉并非食源氟蓄积的靶器官,这与虹鳟^[8,17]、大西洋鲑鱼^[21]、大西洋鲑^[21]、西伯利亚鲟^[26] 等的研究结果相类似。黑鯛幼鱼肌肉中氟的含量均 < 2 mg/kg,符合食品中氟的限量标准 (GB 4809—1984)^[27]。

综上所述,饲料中添加适量的南极磷虾粉能够提升黑鲷幼鱼的生长性能,但是添加过量的南极磷虾粉会导致黑鲷幼鱼组织氟蓄积量过高,会抑制黑鲷幼鱼的生长,因此,需要控制南极磷虾粉在饲料中的使用量。黑鲷摄食添加南极磷虾粉的饲料,氟蓄积主要发生在鱼骨、鳞片、鱼鳃等硬组织,少量蓄积在鱼皮、肝脏等组织,而在肌肉中不发生氟蓄积,不影响食用安全性。因此,南极磷虾粉可作为黑鲷饲料中鱼粉的良好替代蛋白源。

参考文献:

- [1] Hecht T. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds [M]. Berlin: Springer Netherlands, 2000.
- [2] 常 青, 秦帮勇, 孔繁华, 等. 南极磷虾在水产饲料中的应用 [J]. 动物营养学报, 2013, 25(2): 256 – 262.
- [3] 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析 [J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 451 – 458.
- [4] Amar E C, Kiron V, Satoh S, et al. Influence of various dietary synthetic carotenoids on bio – defence mechanisms in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) [J]. Aquaculture Research, 2001, 32(增刊 1): 162 – 173.
- [5] Kalinowski C T, Robaina L E, Izquierdo M S. Effect of dietary astaxanthin on the growth performance, lipid composition and post – mortem skin colouration of red porgy *Pagrus pagrus* [J]. Aquaculture International, 2011, 19(5): 811 – 823.
- [6] Floreto E T, Brown P B, Bayer R C. The effects of krill hydrolysate – supplemented soya – bean based diets on the growth, colouration, amino and fatty acid profiles of juvenile American lobster, *Homarus americanus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2001, 7(1): 33 – 43.
- [7] 刘志东, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 南极磷虾粉的营养成分分析及评价 [J]. 中国海洋药物, 2012, 31(2): 43 – 48.
- [8] Yoshitomi B, Aoki M, Oshima S I. Effect of total replacement of dietary fish meal by low fluoride krill (*Euphausia superba*) meal on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in fresh water [J]. Aquaculture, 2007, 266(1/2/3/4): 219 – 225.
- [9] 赵晓君, 朱兰兰, 苏婧怡, 等. 南极磷虾粉中氟形态及其分析技术 [J]. 南方农业学报, 2012, 43(9): 1386 – 1390.
- [10] Soevik T, Braekkan O R. Fluoride in Antarctic krill (*Euphausia superba*) and Atlantic krill (*Meganyctiphanes norvegica*) [J]. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1979, 36(11): 1414 – 1416.
- [11] Nip T M, Ho W Y, Wong C K. Feeding ecology of larval and juvenile black seabream (*Acanthopagrus schlegelii*) and Japanese seaperch (*Lateolabrax japonicus*) in Tolo Harbour, Hong Kong [J]. Environmental Biology of Fishes, 2003, 66(2): 197 – 209.
- [12] Shao Q J, Ma J, Xu Z R, et al. Dietary Phosphorus requirement of juvenile black seabream, *Sparus macrocephalus* [J]. Aquaculture, 2008, 277(1/2): 92 – 100.
- [13] 王 月. 南极磷虾产品在黑鲷幼鱼饲料中的应用研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [14] 肖金星, 李广经, 华颖, 等. 饲料碳水化合物水平对黑鲷幼鱼生长性能和血清生化指标的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(10): 125 – 129.
- [15] Magdy M G. The effect of different levels of krill meal supplementation of soybean – based diets on feed intake, digestibility, and chemical composition of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2007, 36(3): 346 – 353.
- [16] Hansen J Ø, Penn M, Øverland M, et al. High inclusion of partially deshelled and whole krill meals in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 2010, 310(1/2): 164 – 172.
- [17] Suontama J, Karlsen Ø, Moren M, et al. Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed diets supplemented with krill or amphipods [J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13(4): 241 – 255.
- [18] Camargo J A. Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review [J]. Chemosphere, 2003, 50(3): 251 – 264.
- [19] Grave H. Fluoride content of salmonids fed on Antarctic krill [J]. Aquaculture, 1981, 24: 191 – 196.
- [20] Nunes A P, Sá M C, Neto H S. Growth performance of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed on practical diets with increasing levels of the Antarctic krill meal, *Euphausia superba*, reared in clear – versus green – water culture tanks [J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(2): e511 – e520.
- [21] Moren M, Malde M K, Olsen R E, et al. Fluorine accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*), rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets with krill or amphipod meals and fish meal based diets with sodium fluoride (NaF) inclusion [J]. Aquaculture, 2007, 269(1/4): 525 – 531.
- [22] 黄艳青, 龚洋洋, 陆建学, 等. 南极大磷虾粉对点带石斑鱼幼鱼氟蓄积的影响 [J]. 海洋科学, 2015, 39(6): 32 – 38.
- [23] 魏佳丽. 磷虾粉在星斑川鲷和珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中的应用研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- [24] Yoshitomi B, Nagano I. Effect of dietary fluoride derived from Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal on growth of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) [J]. Chemosphere, 2012, 86(9): 891 – 897.
- [25] Lee M F, Lai C S, Cheng A C, et al. Krill oil and xanthigen separately inhibit high fat diet induced obesity and hepatic triacylglycerol accumulation in mice [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 19: 913 – 921.
- [26] Shi X T, Wang R F, Ping Z, et al. Fluoride retention after dietary fluoride exposure in Siberian sturgeon *Acipenser baerii* [J]. Aquaculture Research, 2013, 44(2): 176 – 181.
- [27] 孔凡华, 梁萌青, 吴立新, 等. 南极磷虾粉对大菱鲆生长、非特异性免疫及氟残留的影响 [J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 54 – 60.