

# 南极磷虾在水产饲料中的应用

常 青<sup>1</sup> 秦帮勇<sup>1,2</sup> 孔繁华<sup>3</sup> 于朝磊<sup>1,2</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 青岛 266071;  
2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 3. 胶州市畜牧兽医局, 胶州 266300)

**摘 要:** 南极磷虾不但资源量巨大, 而且营养价值丰富, 越来越受到世界各国的重视。磷虾在水产饲料方面的应用已经成为磷虾产品的一个最重要的市场, 也是触发投资磷虾资源开发的一个主要诱因。本文综述了南极磷虾的生物学特征、资源状况和营养学特性以及在水产饲料中的应用效果, 并对其安全性进行了探讨, 以为南极磷虾产品的开发和在水产饲料中的应用提供参考。

**关键词:** 南极磷虾; 营养学特性; 水产动物; 安全性

**中图分类号:** S816      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006-267X(2013)02-0256-07

南极磷虾(*Euphausia superba*)是一种小型海洋浮游甲壳类动物, 生活在南极洲水域, 其蕴藏量极大, 是全球最大的蛋白质库。在全球渔业资源衰退, 大多数海洋渔业品种被过度捕捞的背景下, 南极磷虾巨大的资源量越来越引人关注。南极磷虾以独特的营养特性和巨大的资源量, 使得其在水产饲料方面的应用有着广阔的前景。

## 1 磷虾的生物学特性

磷虾属于甲壳动物, 无脊椎动物, 节肢动物门, 甲壳纲, 磷虾目, 是磷虾科动物的通称。世界上共有 85 种磷虾, 全部生活在海洋里, 营浮游生活。磷虾目中较有名的物种有南极磷虾、太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)和北方磷虾(*Meganycitiphanes norvegica*), 它们是磷虾渔业的主要捕捉对象, 其中南极磷虾的数量最多。生活在南极海域的磷虾有 7~8 种, 生活在南大洋的磷虾通称为南极磷虾, 但通常人们所讲南极磷虾一般指的是南极大磷虾(*Euphausia superba* Dana)。南极磷虾的身体几乎透明, 壳上缀着许多鲜艳的红色斑点。因摄食含有叶绿素的浮游藻类, 消化系统呈

现鲜艳的草绿色并清晰可见。南极磷虾的寿命一般为 5~7 年, 2 龄以后即成熟, 体长最大可达到 60 mm 以上<sup>[1]</sup>。南极磷虾为草食性动物, 主要以南大洋中的浮游藻类为食, 有时也会捕食一些浮游动物。它们具有一定的游泳能力, 但通常游泳能力比较弱, 在大洋中处于随波逐流的状态, 身体比重比水大, 所以停止游泳时会沉入海底<sup>[2]</sup>。南极磷虾在夏季可多次产卵, 每个雌性个体每次产卵 10 000 粒, 这些受精卵会被释放到南大洋的表层海水中, 随后沉入 2 000 m 的深海中, 在那里开始孵化出磷虾幼体<sup>[3]</sup>。

磷虾与其他甲壳动物一样, 也是通过脱壳来生长的, 它们将阻碍身体增长的旧壳脱掉, 在新壳尚未硬化前身体迅速膨胀<sup>[3]</sup>。另外, 磷虾有结群的习性, 其密度可达到每立方水体几千到上万条虾, 能够使海水变成红色, 由于具有昼夜垂直移动的习性, 白天一般生活在深水中, 夜幕降临后才浮到水面摄食, 所以人们很难见到这种景象。它们能忍受长时间的饥饿, 在没有饵料的情况下能存活 200 d, 在这期间, 它们能进行负生长, 即身体不断缩小, 用消耗体内物质来满足代谢的需要<sup>[4]</sup>。

## 2 资源状况

磷虾支持着世界上最庞大的须鲸、海豹和企鹅等高层捕食者的种群,同时也形成巨大的潜在渔业资源,每年的可捕获量可达1亿t,这相当于目前全世界每年鱼类和甲壳类渔获量的总和(0.99亿t),被认为是我们这颗地球上最大、也是最后一个动物蛋白质库<sup>[2]</sup>。南极磷虾资源丰富,根据最新估计,南极磷虾的生物量为6.5~10.0亿t。在南极生态系统中,仅南极磷虾一种就足以维持以它们为饵料的鲸鱼、海豹、企鹅的生存和繁衍。近5年,南极磷虾年捕捞量保持在10万t以上,2000年管理捕捞限制量维持在62万t,并持续至今<sup>[4]</sup>。南极磷虾资源丰富,在技术准备充分的条件下,可捕捞资源量尚不是目前的主要问题<sup>[5]</sup>。

## 3 磷虾的营养成分

磷虾不仅资源丰富,而且是一种有价值的蛋白质来源。它们以浮游植物为食物,位于食物链的初级阶段,这意味着它们的蛋白质对人类有着特别的营养价值<sup>[6]</sup>。孙雷等<sup>[7]</sup>报道,虾肌肉鲜样中含粗蛋白质16.31%、粗脂肪1.30%、粗灰分2.76%、无氮浸出物4.94%、水分74.69%;肌肉干样中含粗蛋白质64.44%、粗脂肪5.14%、粗灰分10.90%、无氮浸出物19.52%。磷虾富含多不饱和脂肪酸,其中二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)在不饱和脂肪酸中所占的比例为79.1%~89.2%,这些指标远高于普通鱼油<sup>[8]</sup>。南极磷虾脂肪中还含有大量磷脂,磷脂的含量约占磷虾油脂总量的40%<sup>[9]</sup>。南极磷虾含有各种丰富的矿物质元素,是生物利用矿物质的优良来源,干制虾粉中铜101 mg/kg、硒12 mg/kg、锌72 mg/kg<sup>[10]</sup>。

南极磷虾体内还含有一些生物活性物质,含有高效的蛋白质降解酶体系,其对复杂蛋白质的降解活性比目前所有的商品酶均高;还具有低温下活性很高的1,3-葡聚糖内切酶<sup>[11]</sup>。

## 4 磷虾在水产饲料中的应用

最初捕捞的南极磷虾都是在船上生鲜冷冻、剥肉、水煮加工或制成虾粉。生鲜冷冻者几乎都是当做钓饵,或者和鱼粉一样作为养殖鱼类色泽

改善用的饲料<sup>[1]</sup>。尽管南极磷虾产品出现在市场上已经有一段时间,但是仅仅在过去的几年中它在市场中的定位才是高价值的水产饲料,这与磷虾独特的优质蛋白质含量、良好的诱食性、天然 $\beta$ -胡萝卜素以及优良的脂肪和矿物质特性、几丁质和壳聚糖组成密切相关。除此之外,南极磷虾中含有极微量的二噁英、多氯化联苯和重金属,这些主要特性决定了南极磷虾粉将成为不可替代的饲料成分。

由于鱼粉和鱼油资源的紧缺,人们开始寻找廉价替代品或者将来可能有更大可利用的资源。利用南极磷虾取代鱼粉,养殖大西洋鲑鱼(*Gadus morhua*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)和尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[12-15]</sup>,试验表明,其营养价值与鱼粉相近,甚至超过鱼粉。然而,由于南极磷虾粉价格较高,其更多的是作为高价值的水产饲料添加剂来使用<sup>[16]</sup>,而不是基本的饲料原料。

### 4.1 蛋白质源

目前,利用南极磷虾粉作为饲料蛋白质源的报道已有不少,在一定范围内添加都有促进生长的作用。在饲料中添加0%、10%、20%、30%的磷虾粉制成4组饲料,饲喂大西洋鲑(*Salmo salar* L.)12周,试验结束后,试验鱼体重几乎都增长1倍,但是对照组和试验组的生长性能没有差异<sup>[17]</sup>。用北极磷虾粉蛋白质替代20%、40%、60%的鱼粉蛋白质及用南极磷虾粉蛋白质替代40%的鱼粉蛋白质制成的饲料饲喂410 g的大西洋鲑,经160 d的饲养,鱼体体重达1500 g,结论是饲料中的磷虾粉可以提高大西洋鲑的特定生长率,尤其是在前100天<sup>[18]</sup>。用北极磷虾粉蛋白质替代60%鱼粉蛋白质饲喂庸鲽(*Hippoglossus hippoglossus* L.),经150 d的饲养,其特定生长率的增长显著大于只有鱼粉蛋白质的饲料<sup>[18]</sup>。用磷虾粉替代7%、15%的鱼粉饲喂虹鳟92 d,其增重及特定生长率和鱼粉组(对照组)相比,没有变化,但是磷虾粉替代30%鱼粉组与对照组相比,增重及特定生长率显著降低<sup>[19]</sup>。

在以膨化豆粕为唯一蛋白质源的配合饲料(蛋白质含量40%)中,用冷冻干燥的水解磷虾粉取代12.5%的饲料蛋白质,饲喂美国龙虾(*Homarus americanus*)没有影响其生长<sup>[16]</sup>。在大西洋鲑鱼仔鱼的微颗粒饲料中用磷虾粉和囊虾粉部分或完全替代鱼粉,结果发现磷虾粉100%取代鱼粉,

在生长、骨骼畸形率和成活率方面没有差异,但是随着囊虾粉替代量的增加,生长下降,死亡率和畸形率增高<sup>[14]</sup>。此外,存在于磷虾头胸部的甾族物质是促进饲料中蛋白质有效利用的物质,可以充当促生长剂,提高生长性能和饵料转化率<sup>[20]</sup>。南极磷虾中的几丁质含量高,在饲料中使用磷虾粉过高,会影响大西洋鲑、大麻哈鱼幼鱼和虹鳟的生长,这可能是鲑鳟鱼类对几丁质的利用率较低缘故<sup>[21]</sup>。

#### 4.2 脂质

真鲷(*Pagrus major*)亲鱼饲料中加入2.5%的磷虾油极性脂或非极性脂,可以显著提高上浮卵的比例和孵化率,可能是极性脂中的磷脂酰胆碱和非极性脂中的虾青素是天然的自由基清除剂的缘故<sup>[22]</sup>。Betancor等<sup>[23]</sup>发现在金头鲷仔鱼的微颗粒饲料中加入来源于磷虾的磷脂,与大豆磷脂相比,可以促进仔鱼生长,提高肝脏对脂质的利用率,以及减少肠细胞受损的几率,从而对于改善鱼类的健康有潜在的影响。南极磷虾含有高含量的n-3多不饱和脂肪酸,通过饲料中添加磷虾粉可以提高养殖鱼类天然n-3脂肪酸的含量。

#### 4.3 天然色素

南极磷虾粉的天然色素含量(以虾青素形式)以干重折算,平均含量为180 mg/kg(132~250 mg/kg),此功能被用于增加大麻哈鱼、鳟鱼、虾和其他养殖种类的鲜艳色素<sup>[10]</sup>。单纯投喂配合饲料会引起鳊鱼(*Seriola quinqueradiata*)体色变黑,失去野生鱼的蓝绿色光泽,侧线附近特有的黄线消失,以致售价下降;但当配合饵料中添加2%的南极磷虾油后,就可以使鱼体颜色的变化得到改善<sup>[24]</sup>。给养殖在海水网箱中的大西洋鳕投喂添加不同比例磷虾粉取代鱼粉作为蛋白质源的饲料,9周试验结束时发现,添加磷虾粉的鱼皮肤侧线上方和下方比对照组红色强一些,而且有更多的黄色;增加磷虾粉会使肌肉颜色更白、黄色调更强;肌肉的pH、质地和感官评价在各组之间没有差异。总体而言,在上市之前的2个月给大西洋鳕投喂添加磷虾粉的饲料,并不能使养殖鱼的感官品质与野生鱼相近<sup>[25]</sup>。

#### 4.4 诱食剂

南极磷虾粉的适口性来源于含有低分子质量的水溶性物质,如核苷酸、脯氨酸、甘氨酸和氨基葡萄糖,以及高含量的氧化三甲胺(TMAO)。这

些物质组合在一起形成优良的诱食剂和增味剂,用于适口性比较差的饲料中。

日本学者Shimizu等<sup>[26]</sup>和Ibrahim等<sup>[27]</sup>报道,在饲料中添加南极磷虾粉对真鲷(*Pagrosomus major*)、黑鲷(*Spar macrocephalus*)、日本鳗鲡(*Anguilla japonicus*)有明显的诱食作用。Gaber<sup>[15]</sup>的试验表明,饲料中添加1.5%南极磷虾肉可以有效促进尼罗罗非鱼幼鱼的进食,增加体重,提升摄食率和消化率。黄艳青等<sup>[28]</sup>在研究中亦发现,饲料中添加2.0%~6.0%的南极大磷虾粉,对于点带石斑鱼均有促进摄食和降低饲料系数的作用,其中4.0%的添加组摄食行为最积极,其生长性能最高而饲料系数最低,产生了最大的生产效益。为了考察几种陆上和海洋蛋白质源对蓝虾的诱食性和适口性,在其无鱼粉饲料中分别添加3%的血粉、水解羽毛粉、鳀鱼鱼粉、鱼水解物、鲑鱼粉和南极磷虾粉,发现只有南极磷虾粉对蓝虾有很好的诱食性和适口性,并且能够促进生长<sup>[29]</sup>。

#### 4.5 免疫增强剂

磷虾粉中的 $\beta$ -胡萝卜素、虾青素在调节鱼的免疫系统中发挥着重要作用,虾青素可以防止活性氧的损伤<sup>[30]</sup>,从而增强疾病的抵抗力,提高存活率。磷虾粉中含有丰富的几丁质,其作为免疫增强剂可以在饲料中使用,促使免疫激活,从而保护鱼体免受病原菌的侵害。同时也提出这种提高免疫力的作用依鱼种而不同,要使促进免疫力的效果获得最大化,还要注意几丁质的负面影响,如免疫抑制和降低生长性能<sup>[21]</sup>。壳聚糖是几丁质的一种衍生物,存在于磷虾中,通过口服(加入饲料中)、浸泡或注射可以显著提高鱼体免疫力。磷虾粉中含有高含量的TMAO,使之具有渗透压调节功能,可以减少鲑鳟鱼类从淡水进入到海水中的生理应激反应<sup>[31]</sup>。

Merchie等<sup>[32]</sup>研究表明,在饲料中添加虾青素可增强对虾的抗病力,提高其存活率,还可以削弱紫外线辐射对其的伤害。Amar等<sup>[33]</sup>研究发现虾青素可改善虹鳟体液指标,如血清防御素和溶菌酶活性等。孔繁华<sup>[34]</sup>利用南极磷虾粉替代60%的鱼粉蛋白质能显著提高半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)血清中溶菌酶的活性。

#### 4.6 安全性

南极磷虾生活的水域二噁英、多氯化联苯和重金属等污染物的浓度很低,因此磷虾粉中不良

物质的含量较低,铅、汞、镉、砷几种重金属含量平均值均低于相关食品卫生标准限量<sup>[8]</sup>。

海水的富氟环境使海洋动物中的氟含量要比陆生动物高一个数量级,陆生动物体内的氟含量平均为  $n \times 10^{-6}\%$ ,而大磷虾的氟含量却高达  $n \times 10^{-3}\%$ 。大磷虾的氟含量尽管远大于其他动物,但氟的分布同其他甲壳类,也主要富集于甲壳<sup>[35]</sup>。大磷虾各部位中氟含量的分布为腹壳 > 尾足 > 头胸部 > 肌肉。尤其值得注意的是,肌肉虽占大磷虾总重量的 40%,但氟含量仅为大磷虾的 6.8%,另外,头胸部中的氟含量相当高<sup>[36]</sup>。在研究南极海洋甲壳类动物的氟含量时发现,磷虾氟含量最高,桡足类的氟含量最低,一些端足目和糠虾类也显示有较高含量的氟。氟主要集中于外骨骼,但是分布不均匀,南极磷虾口部甲壳氟含量最高,达到 13 000  $\mu\text{g/g}$  干重,其尾部肌肉中氟含量最低。

南极磷虾的壳对氟有很强的富集能力,其含量是海水中氟含量的 3 000 倍。鲜活情况下南极磷虾肌肉内氟含量很低,在人类食用允许范围内,但南极磷虾死后,虾壳中的氟会很快渗透到虾肉中,使得南极磷虾肉因含有过量高的氟而失去食用价值<sup>[5]</sup>。由于磷虾体内含有活性很强的消化酶,这些酶在磷虾死后会立即将身体组织分解,因此,在磷虾捕获后必须立即进行加工。如果是作为人的食品,那么在磷虾捕获后的 3 h 内必须加工完毕;如果是作为动物饵料,则必须在 10 h 内加工完毕<sup>[1]</sup>。氟是最大的负电性元素,在高浓度下具有毒性。人类饮用中度或高浓度含氟水,会出现慢性氟中毒的症状,如关节疼痛、变硬。对淡水鱼类而言,低浓度的水溶性氟就有毒性。目前饲料中氟的毒性对鱼类影响的研究不多,鱼类对氟毒性的反应,不但与鱼类的品种有关,而且与暴露时间和水体硬度以及饲料中氟的存在形式均密切相关。

欧盟 2002 年规定鱼饲料中氟含量上限为 150  $\text{mg/kg}$  (Commission dir. 2002/32/EC), 2008 年上升为 350  $\text{mg/kg}$  (Commission dir. 2008/76/EC)。这个数据主要来源海水养殖,投喂来自磷虾和其他来源的氟。给养殖于海水中的大西洋鲑、大西洋鳕、虹鳟和庸鲽投喂不同氟含量的磷虾产品,最高氟含量达到 1 000  $\text{mg/kg}$ ,没有发现骨骼、肌肉中氟累积,也没有影响生长和健康<sup>[17,37-38]</sup>。与此相反,Hansen 等<sup>[39]</sup>发现给养殖在海水中的大西洋鲑饲喂含有完全磷虾粉的饲料,与部分使用

脱壳磷虾粉饲料养殖的大西洋鲑相比,鱼体骨骼中有少量但很明显的氟累积。

Camargo<sup>[40]</sup>发现水生生物对氟的生物利用率随着水质硬度增加而降低,相对水质硬度大或海水而言,环境中氟的含量对生活在水体硬度小的水生生物的负面影响更大。来源于磷虾粉中的氟会因骨骼中富集氟而对生活于淡水中的虹鳟的生长产生负面效应<sup>[19]</sup>。Yoshitomi 等<sup>[12]</sup>使用低氟磷虾粉(氟含量为 230  $\text{mg/kg}$ )分别替代 0、7.7%、15.4%、30.8%、46.2%、100.0% 的鱼粉制成 6 组饲料,饲喂淡水中的虹鳟 95 d,低氟磷虾粉可以完全替代鱼粉,除去替代 100.0% 组,其他各试验组虹鳟的背部肌肉氟含量均低于检测极限 (1  $\text{mg/kg}$ ),骨的氟含量在 220 ~ 420  $\text{mg/kg}$ 。在淡水养殖的西伯利亚鲟 (*Acipenser baerii*) 饲料中添加氟(氟化钠)的浓度高于 10  $\text{mg/L}$  也会影响生长,造成骨骼中氟的累积<sup>[41]</sup>。

Okamura 等<sup>[42]</sup>给日本鳗鲡的幼体柳叶鳗单独投喂整个磷虾的提取物,结果出现急性中毒,可能与含有高含量的氟 (37.89  $\text{mg/kg}$ ) 有关。通常氟积累于骨组织中,这也是鱼类的一种保护措施,以免高浓度的氟进入循环系统<sup>[40]</sup>。而柳叶鳗的骨骼还未分化,可能是造成这样结果的原因。养殖于淡水或半咸水中的鱼类随着饵料中氟含量的增加,会增加骨骼中氟累积<sup>[19,43]</sup>。Hansen 等<sup>[44]</sup>研究发现,添加氟化钠饲料喂食的养殖于淡水中的大西洋鲑,对于氟的吸收高于来自磷虾壳粉配制饲料喂食的个体。来自磷虾壳粉中的氟不会对鱼肾脏造成损害。但是 Yoshitomi 等<sup>[45]</sup>发现,来源于南极磷虾壳中的氟会在海水鱼类鲷鱼的骨骼中富集,并且影响生长,提出鱼类骨骼中氟的富集不是取决于生活水体中的硬度,而是与鱼类的品种相关,建议使用脱壳磷虾作为饲料源。但是对于生活在南极海域中的 2 种鱼类,它们骨骼中的氟含量很高,达到 33 000 和 15 000  $\text{mg/kg}$ ,但无不良反应。那些以磷虾为饵料的物种,可能在进化过程中获得了不在组织或骨骼中富集氟的能力。Shi 等<sup>[46]</sup>给西伯利亚鲟幼鱼投喂氟含量为 75.2 ~ 1 478.3  $\text{mg/kg}$  的饲料(以氟化钠形式添加),经过 12 周养殖发现,氟含量低于 360.8  $\text{mg/kg}$  的饲料对于生长没有影响,随着时间和饲料氟含量增加,鳞甲、软骨、鳃和皮肤中氟含量增加,而对肌肉、肝脏和肠道无影响。给大西洋鲑喂食用 50% 磷虾粉

取代鱼粉的饲料,对于鱼的生长性能没有影响,但是后肠的菌群特征发生了改变,而且饲喂磷虾粉组的鱼后肠的肠上皮细胞出现大量无规则的空泡<sup>[47]</sup>。

## 5 小 结

随着人类食品消费需求的增加和全球渔业资源的日益紧张,人们重新开始关注资源量巨大的南极磷虾。由于南极磷虾属于寒带海洋生物,具有较为特殊的营养学特征,形成高附加值产品的潜力较大。最近几年,磷虾产品的开发主要集中于水产养殖、药物和保健食品。对于磷虾产品类型的变化,可以通过专利数量的变动看出。从1976年至2009年,共申报专利812项,尤其从2000年以后,专利数量有着显著提高。1976年至1986年有关水产养殖方面的专利占专利总数的11%,而1999年至2008年则上升到39%<sup>[48]</sup>。

磷虾在水产饲料方面的应用似乎已经成为磷虾产品的一个最重要的市场,也是触发投资磷虾资源开发的一个主要诱因。水产养殖业特别是鲑鳟鱼类的养殖,需要耗费全球88.5%的鱼油和68.2%鱼粉<sup>[49]</sup>。联合国粮食与农业组织(FAO)统计表明,2010年养殖鲑鳟鱼类需要消耗62万t鱼油,随着需求的增加和价格上扬,鱼油将会成为“新的蓝色黄金”。随着鱼粉、鱼油的紧缺,寻求新的饲料源显得很紧迫。南极磷虾以其高含量的蛋白质和必需氨基酸,污染物含量低于鱼油和鱼粉,并且天然色素可以为养殖鱼虾进行着色,成为水产饲料中高附加值的饲料源。

由于南极磷虾资源开发面临困难较多,与其他渔业相比具有较大的成本压力,因此,仅仅将磷虾作为普通饲料蛋白质源来使用,其低廉的价格根本无法与巨大的投入相匹配。磷虾渔业的发展趋势就是对捕获的磷虾进行最大限度的综合利用,随着捕捞和加工技术的不断进步,南极磷虾的用途逐步扩大,人们先后开发出多种磷虾产品,使产品的附加值不断提高。在开发高附加值产品的同时,应用南极磷虾粉或提取虾油后的虾肉与虾壳的混合物作为专用饲料添加剂,如诱食剂、着色剂、免疫增强剂等;或者应用于幼体和亲体的饲料中,提高成活率和繁殖率,将具有广阔的市场前景。

## 参考文献:

- [1] 黄洪亮,陈雪忠,冯春雷. 南极磷虾资源开发现状分析[J]. 渔业现代化,2007(1):48-51.
- [2] 孙松,刘永芹. 南极磷虾与南大洋生态系统[J]. 自然杂志,2009,31(2):88-90,104.
- [3] 孙松. 南极磷虾[J]. 世界科技研究与发展,2002,24(4):57-60.
- [4] 项鹏. 太平洋磷虾胰蛋白酶样酶的分离纯化及其酶学性质研究[D]. 硕士学位论文. 青岛:中国海洋大学,2006.
- [5] 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.
- [6] 陈一平. 磷虾——新的渔业资源[J]. 海洋信息,1997(9):17-28.
- [7] 孙雷,周德庆,盛晓风. 南极磷虾营养评价与安全性研究[J]. 海洋水产研究,2008,29(2):57-64.
- [8] SAITO H, KOTANI Y, KERIKO J M. High levels of n-3 polyunsaturated fatty acids in *Euphausia pacifica* and its role as a source of docosahexaenoic and icosapentaenoic acids for higher trophic levels[J]. Marine Chemistry,2002,78(1):9-28.
- [9] BOTTIN N R. Lipid composition of two species of Antarctic krill: *Euphausia superba* and *E. Cyrstallophias* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology B,1975,50(4):479-484.
- [10] 徐吟梅,邱卫华,余丽萍,等. 南极磷虾粉的营养与功能[J]. 现代渔业信息,2010,25(8):14-16.
- [11] 孙松,严小军. 南极大磷虾的生物活性物质及其用途研究进展[J]. 极地研究,2001,13(3):213-216.
- [12] YOSHITOMI B, AOKI M, OSHIMA S. 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.
- [13] KARLSEN Ø, SUONTAMA J, OLSEN R E. Effect of Antarctic krill meal on quality of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) [J]. Aquaculture Research,2006,37(16):1676-1684.
- [14] OPSTAD I, SUONTAMA J, LANGMYHR E, et al. Growth, survival and development of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) weaned onto diets containing various sources of marine protein [J]. ICES Journal of Marine Science,2006,63(2):320-325.
- [15] GABER M M A. 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,2005,36(3):

- 346–353.
- [16] FLORETO E A T, BROWN P B, BAYER R C. The effects of krill hydrolysate-supplemented soy-bean based diets on the growth, colouration, amino and fatty acids profiles of juvenile American lobster, *Homarus americanus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2001, 7(1): 33–43.
- [17] JULSHAMA K, MALDE M K, BJORVATN K, et al. Fluoride retention of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed krill meal [J]. Aquaculture Nutrition, 2004, 10(1): 9–13.
- [18] 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.
- [19] YOSHITOMI B, AOKI M, OSHIMA S, et al. Evaluation of krill (*Euphausia superba*) meal as a partial replacement for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets [J]. Aquaculture, 2006, 261(1): 440–446.
- [20] ALLAHPICHAY I, SHIMIZU C. Separation of growth promoting factors from non-muscle krill meal of *Euphausia superba* [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1985, 51(6): 945–951.
- [21] RINGØ E, ZHOU Z, OLSEN R E, et al. Use of chitin and krill in aquaculture - the effect on gut microbiota and the immune system: a review [J]. Aquaculture Nutrition, 2012, 18(2): 117–131.
- [22] WATANABE T, LEE M J, MIZUTANI J, et al. Effective components in cuttlefish meal and raw krill for improvement of quality of red seabream *Pagrus major* eggs [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1991, 57(4): 681–694.
- [23] BETANCOR M B, NORDRUM S, ATALAH E, et al. Potential of three new krill products for seabream larval production [J]. Aquaculture Research, 2012, 43(3): 395–406.
- [24] FUJITA T, SATAKE M, HIKICHI S, et al. Pigmentation of cultured yellowtail with krill oil [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1983, 49(10): 1595–1600.
- [25] KARLSEN Ø, SUONTAMA J, OLSEN R E. Effect of Antarctic krill meal on quality of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) [J]. Aquaculture Research, 2006, 37(16): 1676–1684.
- [26] SHIMIZU C, IBRAHIM A, TOKORO T, et al. Feeding stimulation in sea bream, *Pagrus major*, fed diets supplemented with Antarctic krill meals [J]. Aquaculture, 1990, 89(1): 43–53.
- [27] IBRAHIM A, SHIMIZU C, KONO M. Pigmentation of cultured red sea bream, *Chrysophrys major*, using astaxanthin from Antarctic krill, *Euphausia superba*, and a mysid, *Neomysis* sp. [J]. Aquaculture, 1984, 38(1): 45–57.
- [28] 黄艳青, 高露姣, 陆建学, 等. 饲料中添加南极大磷虾粉对点带石斑鱼幼鱼生长与肌肉营养成分的影响 [J]. 海洋渔业, 2010, 32(4): 442–446.
- [29] SURESH A V, KUMARAGURU-VASAGAM K P, NATES S. Attractability and palatability of protein ingredients of aquatic and terrestrial animal origin, and their practical value for blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* fed diets formulated with high levels of poultry byproduct meal [J]. Aquaculture, 2011, 319(1/2): 132–140.
- [30] SHIMIDZU N, GOTO M, MIKI W. Carotenoids as singlet oxygen quenchers in marine organisms [J]. Fisheries Science, 1996, 62(1): 134–137.
- [31] FINNE G. Non-protein nitrogen compounds in fish and shellfish [M]//FLICK G, MARTIN R E. Advances in Seafood Biochemistry. Lancaster: Technomic Publishing Ltd., 1992: 393–401.
- [32] MERCHIE G, KONTARA E, LAVENS P, et al. Effect of vitamin C and astaxanthin on stress and disease resistance of postlarval tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius) [J]. Aquaculture Research, 1998, 29(8): 579–585.
- [33] AMAR E C, KIRON V, SATOH S, et al. Influence of various dietary synthetic carotenoids on bio-defence mechanisms in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture Research, 2001, 7(2): 62–173.
- [34] 孔繁华. 南极磷虾粉对大菱鲆和半滑舌鳎生长、非特异性免疫及肌肉品质的影响 [D]. 硕士学位论文. 大连: 大连海洋大学, 2011: 19–28.
- [35] 潘建明, 张海生, 刘小涯. 南大洋磷虾富氟机制: 氟的化学赋存形态研究 [J]. 海洋学报, 2000, 22(2): 58–64.
- [36] 张海生, 潘建明, 刘小涯. 南极磷虾富氟异常的原因及机理 [J]. 海洋学报, 1994, 16(4): 120–125.
- [37] 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(1/2/3/4): 525–531.

- [38] OLSEN R E, SUONTAMA J, LANGMYHR E, et al. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12(4): 280–290.
- [39] 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.
- [40] CAMARGO J A. Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review [J]. Chemosphere, 2003, 50(3): 251–264.
- [41] SHI X, ZHUANG X, ZHANG L, et al. The bioaccumulation of fluoride ion ( $F^-$ ) in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) under laboratory conditions [J]. Chemosphere, 2009, 75(2): 376–380.
- [42] OKAMURA A, YAMADA Y, HORIE N, et al. Hen egg yolk and skinned krill as possible foods for rearing leptocephalus larvae of *Anguilla japonica* Temminck & Schlegel [J]. Aquaculture Research, 2012, 43(1): 1–8.
- [43] GRAVE H. Fluoride content of salmonids fed on Antarctic krill [J]. Aquaculture 1981, 24: 191–196.
- [44] HANSEN J Ø, SHEARER K D, ØVERLAND M, et al. Dietary calcium supplementation reduces the bioavailability of fluoride from krill shell and NaF in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared in fresh water [J]. Aquaculture, 2011, 318(1/2): 85–89.
- [45] 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.
- [46] SHI X, WANG R, ZHUANG P, et al. Fluoride retention after dietary fluoride exposure in Siberian sturgeon *Acipenser baerii* [J]. Aquaculture Research, 2011, 42(1): 1–6.
- [47] RINGØ E, SPERSTAD S, MYKLEBUST R, et al. The effect of dietary krill supplementation on epithelium-associated bacteria in the hindgut of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): a microbial and electron microscopical study [J]. Aquaculture Research, 2006, 37(16): 1644–1653.
- [48] NICOL S, FOSTER J, KAWAGUCHI S. The fishery for Antarctic krill-recent developments [J]. Fish and Fisheries, 2012, 13(1): 30–40.
- [49] TACONA A G J, METIAN M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects [J]. Aquaculture, 2008, 285(1/2/3/4): 146–158.

## Application of Antarctic Krill in Aquatic Feed

CHANG Qing<sup>1</sup> QIN Bangyong<sup>1,2</sup> KONG Fanhua<sup>3</sup> YU Chaolei<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Aquatic and Life School, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Jiaozhou, Jiaozhou 266300, China)

**Abstract:** Antarctic krill (*Euphausia superba*) not only have a huge amount of marine resources, but also rich in nutritional value, which is paid more and more attention all over the world. The use of krill for aquatic feed seems to be the most important market development that is triggering investments in krill harvesting. This paper reviewed biological characteristics, resource status, nutritional properties and the application in aquatic feed of Antarctic krill, and analyzed its safety. This review was expected to be a reference for the development of Antarctic krill products and its application in aquatic feed. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(2): 256-262]

**Key words:** Antarctic krill; nutritional properties; aquatic animal; safety