

[编者按]功能性水产配合饲料是指为了提高饲料品质或增加饲料用途而生产的具有某种特定功能的饲料,它可以调节机体的代谢机能或免疫机能,从而改善养殖水产动物的生产性能或健康水平,最后达到保证水产动物生长快速、健康安全和养殖环境友好的要求。功能性水产配合饲料因其安全、健康、高效、环保和质量稳定被越来越多的人所关注。本期我们特邀厦门大学艾春香教授以“功能性水产配合饲料的研发与应用”为题,介绍了功能性水产配合饲料研发的理论基础、关键技术以及研发与推广应用中值得思考的一些问题,以期功能性水产配合饲料的进一步开发与应用提供参考。

功能性水产配合饲料的研发与应用

■ 艾春香

(厦门大学海洋与地球学院,福建厦门 361005)

摘要:在水产健康养殖业的发展过程中,功能性水产配合饲料的研发与应用意味着拥有更多的机会和更广阔的市场前景。功能性水产配合饲料能够提高养殖水产动物生长性能,改善其健康状况,促进其免疫系统发育,增强机体免疫力,提高饲料的消化吸收率,减轻养殖自身污染,提升水产品品质,比传统的水产配合饲料带来更佳的生理效应,产生良好的经济效益、社会效益和环境效益。本文简要介绍功能性水产配合饲料的概念与类型、研发的理论基础、关键技术以及其研发与推广应用若干思考,以期为其进一步开发与应用提供参考。

关键词:功能性水产配合饲料;功能性饲料添加剂;研发;应用

doi:10.13302/j.cnki.fi.2017.14.001

中图分类号:S963.7

文献标识码:A

文章编号:1001-991X(2017)14-0001-09

The development and application of functional aquatic feed

Ai Chunxiang

Abstract: The development and application of functional aquatic feed represents a great opportunity and broader market prospects in the aquaculture industry. Functional aquatic feed must promote the growth and health of cultivated organisms, improve their immune systems, strengthen their immunity, enhance the absorption rate of feed, reduce the self-pollution of the aquaculture, improve the flesh quality of the cultivated organisms, and induce physiological benefits beyond traditional aquatic feeds, generate good economic, social and environmental benefits. This paper briefly introduces the concept and types, research & development of theoretical basis, and key technology of functional aquatic feed, and reflect on its development and application, aiming at providing theory reference for further development and application.

Key words: functional aquatic feed; functional feed additive; research and development; application

作者简介:艾春香,博士,教授,研究方向为水产动物营养与饲料。

收稿日期:2017-06-23

基金项目:国家基金项目“拟穴青蟹糖代谢调控与利用的生理与分子机制[31572624]”;福建省海洋高新产业发展专项项目“高效环境友好型花鳗鲡专用配合饲料技术的研究NO. 闽海洋高新[2015]09号”

我国是全球最大的水产养殖和水产品消费大国,2016年全国水产品总产量达6 901.25万吨,已连续27年居世界第一。养殖产量5 142.39万吨,捕捞产量1 758.86万吨,养殖产品与捕捞产品的产量比例为74.5 : 25.5;海水产品产量3 490.15万吨,淡水产品产量3 411.11万吨,海水产品与淡水产品的产量比例为50.6 : 49.4(2016年全国渔业经济统计公报)。随着我

国水产养殖业朝着“规模化、标准化、集约化、设施化、工厂化、精准化、信息化和智能化”方向发展,高密度养殖、养殖环境污染、高植物蛋白源的使用等制约现代水产养殖可持续发展的问题也日益突出,极大地影响了水产动物的肝肠健康和机体的免疫力,引发水产养殖动物病害频繁发生,导致重大的经济损失。目前,我国正在全面实施《全国渔业发展第十三个五年规划》,水产养殖业正处于供给侧结构性改革的大环境中,充分把握水产养殖业供给侧结构性改革、减量增收、提质增效、产业融合、绿色发展的历史机遇,遵循“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念,以科技创新驱动优质水产品发展,走出一条“产出高效、产品安全、资源节约、环境友好”的特色水产养殖现代化发展道路,建立“高效、优质、生态、健康、绿色、安全”的可持续现代水产养殖模式,坚持“生态优先、创新驱动”的发展战略、以人为本、依法治渔,大力推进渔业供给侧结构性改革,加快转变渔业发展方式,最终实现优质高效和可持续发展的水产健康养殖目标。

“苗种、环境、病害、饲料”依然是困扰现代水产养殖业健康可持续发展的主要因素,在水产品安全、养殖环境安全日益受到人们关注的今天,赋予水产配合饲料更多的营养价值、保健功效和养殖动物品质改良功能对推进整个水产养殖业健康发展发挥着极其重要的作用。研发功能性水产配合饲料,旨在促进水产动物肝肠发育、修复受损肝细胞与肠道绒毛、维护肝肠健康、促进消化吸收、提高水产动物生长速度、减轻养殖自身污染、增强机体抗应激能力与非特异性免疫力、提升水产动物抗病力、改善水产动物产品品质,进而提高水产动物产量和质量,最终提高水产养殖经济效益、社会效益和生态效益。本文简要介绍功能性水产配合饲料的概念与类型、研发的理论基础、关键技术以及其研发与推广应用若干思考,以期为其进一步开发与应用提供参考。

1 功能性水产配合饲料的概念及其类型

1.1 功能性水产配合饲料的概念

功能性水产配合饲料是指为了提高饲料品质或增强饲料功效而生产的一类具有某种特定生物学功能的新型配合饲料(Soto等,2015),它可以调节水产动物机体的代谢机能,改善水产动物的生产性能;增强水产动物非特异免疫力和抗应激能力,提高水产动物抗病力;维护水产动物肝肠健康和修复其肝肠损

伤;提高饲料利用率,减轻水产养殖自身污染,改善水产养殖生态环境;改善水产动物产品品质,最后达到保障水产养殖动物生长快速、健康、营养、安全和养殖环境友好的目标,在一定程度上解决当前水产养殖过程出现的水产动物机体免疫抑制、代谢障碍、肝肠健康以及水产品品质等问题。

功能性水产配合饲料是传统水产配合饲料的功能拓展,是一种在满足水产动物营养需求的同时具有其它多种功能的高效安全环境友好型新型水产配合饲料。从饲料营养角度来看,功能性水产配合饲料在保障水产动物营养需求的基础上,通过饲料营养调控与水产动物机体免疫刺激和抗应激的途径,有效提升水产动物非特异性免疫力,增强机体的抗病力,从而减少水产动物疾病的发生或发病后的死亡率,减少药物的使用,保障水产品安全;通过使用代谢调控和品质调节的功能性饲料添加剂,改善水产动物产品品质;通过精选原料、优化配方、改进加工工艺以及使用植酸酶、非淀粉多糖酶等单一或复合酶制剂、微生物制剂、谷氨酰胺、果寡糖等功能性饲料添加剂,提高水产动物对饲料的消化吸收率,提升水产养殖综合效益,推进水产健康养殖的可持续发展。从饲料推广应用而言,通过饲料营养均衡或免疫刺激提高水产动物先天免疫力和抗病力,减少水产动物应激,改善水产养殖环境,降低水产动物疾病的发生率,保障水产品的安全;通过饲料途径改善水产品的质构、口感、风味、肉色等肉质指标,提升水产品食用品质。

1.2 功能性水产配合饲料的类型

基于功能性水产配合饲料功能的多样性,本文将其分成4种类型。

1.2.1 增强水产动物机体免疫和抗应激能力的功能性水产配合饲料

主要通过传统水产配合饲料中添加增强机体免疫功能的和抗应激的功能性饲料添加剂,如中草药及其提取物、姜黄素、益生菌、高核苷酸酵母水解物、活性肽、葡聚糖等功能性糖类、虾青素、维生素、甘氨酸等,以提高机体抗应激能力,增强机体非特异性免疫功能。这类功能型水产配合饲料的使用要密切关注时效性以及免疫疲劳问题。

1.2.2 保护水产动物肝肠健康和修复肝肠损伤的功能性水产配合饲料

主要通过传统水产配合饲料中添加胆汁酸、肉碱、中草药及其提取物、姜黄素、植物精油、益生菌、果

寡糖、壳寡糖、谷氨酰胺、水飞蓟素、丁酸钠、牛磺酸等功能性饲料添加剂,加强对虾肝脏代谢能力与肝脏细胞修复,促进肠道绒毛发育与修复,以维护水产动物肝肠健康和修复肝肠损伤,促进营养物质的消化吸收,提高饲料效率。

1.2.3 提高营养物质消化吸收,减轻养殖自身污染的功能性水产配合饲料

主要是通过传统水产配合饲料中添加非淀粉多糖酶、植酸酶、蛋白酶等单一酶制剂或复合酶制剂、高效诱食剂等,对原料进行发酵、膨化等预处理,以减少抗营养因子,提高饲料的利用率,采用基于理想氨基酸模式的高能低氮配方以及提高原料和饲料产品的熟化度等加工工艺技术,提高饲料的消化吸收率以及在水中的稳定性,减少养殖自身污染,维持养殖良好环境,促进水产动物健康快速生长。

1.2.4 改善水产品品质的功能性水产配合饲料

通过营养素的合理搭配以及添加一些改善水产品品质的饲料添加剂,如酵母硒、虾青素、EPA、DHA、VC等,提高水产动物机体中功能性物质的含量,生产出水产保健食品,使这类水产品具有独特的风味和特殊功能,这对改善人们的膳食结构和提高水产养殖业经济效益具有重要意义。

2 功能性水产配合饲料研发的理论基础

功能性水产配合饲料是传统水产配合饲料的升级转型产品,有助于促进水产健康养殖业的持续发展,其研发的理论基础主要是基于营养与免疫、营养与养殖水环境健康、肝肠健康的营养调控、营养与水产动物品质之间等领域的基础研究成果,提出了相应的增强水产动物免疫力与抗病力以及改善水产动物营养品质的营养调控技术手段。

2.1 水产动物营养调控与免疫、抗应激

营养素不仅是维持水产动物正常生长、发育、繁殖所必需的物质基础,而且也是维护机体免疫系统的功能并使其免疫活性得到充分表达的过程中起到决定性作用的物质(艾春香,1999;艾庆辉等,2007;周小秋等,2014;左然涛等,2015;Trichet,2010;Kiron,2012;Oliva-Teles,2012;Pohlenz等,2014;Wang等,2014;Zhou等,2014;Yengkokpam等,2016;Shahkar等,2016;Wu等,2016;Zhou等,2017;Mansour等,2017)。营养素与水产动物免疫之间关系密切,营养素不足或缺乏均影响水产动物的免疫反应。通过营养调控可以有效维护免疫防疫系统结构与功能完整性,维护机体正常的免疫防御能力。研究表明,饲料

中蛋白质含量不足会对水产动物免疫力造成负面影响,饲料的蛋白质含量一定要与水产动物的养殖模式相适应。蛋白质与水产动物免疫的关系实质上是氨基酸与免疫的关系,水产动物非特异性免疫与必需氨基酸指数(EAAI)息息相关。赖氨酸、精氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸和缬氨酸等氨基酸的合理平衡对水产动物免疫能力均有显著影响。细胞膜流动性的维持,淋巴细胞增殖的促进,细胞的免疫功能的调节均离不开脂肪酸,特别是必需脂肪酸(EFA)。

蛋白质和氨基酸以及必需脂肪酸之外,脂类、糖类、VA、VD、VC、VB₆、VB₁₂、叶酸以及铁、锌、铜、硒、铬等对水产动物的免疫功能的影响研究较多,研究表明,根据水产养殖动物的品种、生长阶段、生理状态及养殖模式合理使用或添加上述物质,才能达到提高水产动物免疫力,促进水产动物健康生产的目标。

除研究了营养素合理平衡搭配可有效增强水产动物免疫功能之外,更多的研究集中在免疫增强剂对水产动物的免疫调节上。研究发现,适量的功能性多糖、果寡糖、小肽、核苷酸、虾青素、姜黄素、中草药提取物产品和微生态制剂等功能性饲料添加剂能有效增强水产动物的免疫力(关燕云等,2015;张蕉南,2016;Van Hai,2015;Syahidah等,2015;Acar等,2015;Deivasigamani等,2016;Abdel-Tawwab等,2016;AftabUddin等,2017;Lim等,2017;Abdelrazek等,2017)。然而,这类功能性饲料添加剂只有在合适的剂量和合理的搭配条件下才能发挥作用,不是添加得越多越好,免疫刺激剂长期添加容易引起机体的免疫疲劳,进而影响水产动物的正常生长和健康。

应激(stress)是水产动物受到各种内外环境刺激产生的非特异性全身性生理反应。环境胁迫启动了水产动物的应激反应,肝胰脏(腺)作为水产动物重要的免疫和消化吸收的器官,抗环境胁迫的过程中会造成肝细胞损伤,通过控料甚至减料可以有效降低环境污染,降低水产养殖动物能量消耗(肝糖原、肌肉糖原),减轻代谢负担,进而实现保护肝胰脏(腺)的作用。营养学调控途径大多是通过提高水产动物机体的免疫力和抗氧化能力来提高机体抗应激水平,如适量添加虾青素、VC、植物提取物、发酵产品、核苷酸、牛磺酸、脯氨酸、谷氨酰胺、甘氨酸、铬制剂等(潘孝毅等,2017;El-Sayed,2014;Salze等,2015;Ringø等,2016;Xie等,2016;Dawood等,2016、2017;Lim等,2017;Schleder等,2017;Schleder Abdelrazek等,2017)可以有效提高水产动物的抗应激能力,开发提高水产

动物机体抗应激、健康维护的功能性水产配合饲料,具有非常重要的意义。

2.2 水产营养与养殖水环境健康

水产动物和养殖环境是一个有机的整体,要想获得更高的水产养殖效益,必须在提高饲料转化利用率的同时降低未被吸收的蛋白质进入水体所产生的氨氮污染,维持水环境健康。水产动物营养与养殖水环境关系的研究主要是解决养殖自身污染的问题,维持养殖水环境健康(艾春香,2012;Morales等,2014;Morales等,2016;Chatvijitkul等,2017)。水产动物生活在水环境中,残饵、饲料溶失成分和排泄物等进入养殖水环境中往往造成水产动物应激或发病。因此,通过饲料营养和加工工艺技术手段来降低残饵、饲料溶失成分和排泄物对水产动物养殖水体的污染,是提高水产养殖成功率的重要保障。集成低氮低磷高能配方、氨基酸平衡配方、原料发酵处理、高效诱食剂、植酸酶等酶制剂、微生物制剂、植物提取物等技术(Castillo等,2015;Morales等,2016;Lemos等,2016;Ringø等,2016;Dalgaard等,2016;Zhu等,2016;Rabia等,2017)以及精细加工工艺(如改善水产配合饲料生产工艺中的调质环节,提高饲料淀粉糊化度,提高饲料水中稳定性,减少饲料在水体中的溶失)等技术,研发推广高效环境友好型水产配合饲料产品,以提高水产配合饲料的诱食性、水中稳定性和消化吸收率,有效控制饲料来源的氮、磷排放,减轻养殖自身污染,维护养殖水环境健康,促进水产动物健康生长。

2.3 水产动物肝肠健康的营养调控

肝脏是水产动物重要的代谢器官、最大的消化腺,它在水产动物的健康、生长、发育、代谢活动中具有中心地位和作用,发挥着代谢、消化、解毒、免疫、胆汁的分泌与排泄、产生凝血原酶等多种功能。水产动物肠道不仅负责营养物质的消化和吸收,同时发挥着免疫、内分泌以及新陈代谢的功能,是水产动物最大的免疫器官,其健康对于水产动物的整体健康起着非常重要的作用。肠道病变往往会引起水产动物其他器官(如肝脏或胰腺)的损伤和功能障碍,进而影响水产动物健康。采用营养调控的手段维护水产动物肝肠健康、修复肝肠损伤,是促进水产动物健康快速生长极为有效的技术措施。肠道肝脏健康是水产动物生产性能提升的关键驱动力,饲料中添加胆汁酸、酸化剂、益生菌、肉碱、中草药及其提取物、姜黄素、植物精油、谷氨酰胺、益生菌、壳寡糖、果寡糖、抗氧化剂等(徐奇友等,2009;叶沙舟等,2016;陈昊杰等,2017;

Akrami等,2013;Ahmed等,2015;Akhte等,2015;Safari等,2015;Ali等,2016;Benedito-Palos等,2016;Reda等,2016;Carbone等,2016;Sutuli等,2017),有助于促进水产动物肝肠健康,提高水产养殖动物的生产性能和健康水平。

2.4 水产动物营养与水产品质量

影响水产动物产品品质的因素主要包括品种遗传特性、饲料营养、养殖方式、饲养管理以及加工技术等(艾春香等,2003;王清滨等,2015;姜俊等,2015;庄柯瑾等,2015;汪先进等,2016;Lie,2001;Ozorio等,2016;Liang等,2017;Salas-Leiton等,2017)。水产动物产品品质形成的原理是构成水产品的化学组成和化学结构。抗氧化剂、有机盐、中草药、甜菜碱、多糖、肉碱、富硒酵母、虾青素、核苷酸、风味氨基酸等都会对水产动物肌肉品质(质构、口感、风味(脆肉皖、脂肪与肉质)以及保健功能)产生影响。同时,密切关注饲料添加剂及药物残留对人类食品安全性的影响。

3 功能性水产配合饲料研发的关键技术

3.1 饲料配方的确定及功能性的拓展定位

功能性水产配合饲料种类繁多,开发过程中,要遵照水产动物营养需求、饲料原料特性、产品加工工艺和产品的功能性确定其饲料配方:满足水产动物各阶段生长需求和摄食习性,依据养殖环境、养殖种类与阶段、养殖模式、养殖水产品质量、饲料产品的定位等要求而设计水产配合饲料配方,不但要满足水产动物的营养需求,还要拓展饲料的特殊功能,实现饲料的升级,以功能性的饲料原料和功能性饲料添加剂为基础设计功能性的饲料配方,优化加工工艺,以生产出满足水产养殖动物抗应激、维护机体健康、修复器官组织损伤的功能性水产配合饲料。

3.2 功能性水产配合饲料原料的筛选

根据《饲料与饲料添加剂管理条例》(国务院令第609号)的规定,生产各类配合饲料所用的原料必须在《饲料原料目录》(1773号公告)及其修订单中。众所周知,饲料原料是生产功能性水产配合饲料的基础,全面掌握饲料原料的营养组成、特性、消化率和生物利用率,建立饲料原料动态数据库,选择营养全面均衡、消化吸收率高或具有特殊功能作用的饲料原料用于开发功能性水产配合饲料:如鱼粉、鱼溶浆、鱼浆、虾膏、鱼膏、南极磷虾粉、昆虫类原料(如黄粉虫粉、黑水虻粉)、酶解或发酵的蛋白质原料、酵母培养物、天然植物类、藻类等等(吴代武等,2015;郁欢欢等,2015;麦康森等,2016;Hemaiswarya等,2011;Roy等,

2015;Henry等,2015)。近年来,微生物对鱼粉的替代研究较为广泛,使用酵母及其培养物替代鱼粉,不仅原料来源稳定,其含有的小肽、诱食氨基酸、多糖物质、B族维生素、有机酸、酵母细胞壁、核苷酸也对水产动物的诱食、营养、生长、抗氧化、免疫、霉菌毒素的吸附以及水产动物肠道黏膜细胞增殖、肠道健康有着积极的作用,是未来理想的蛋白质源。应用发酵原料可降低甚至去除饲料原料中的抗营养素,保证养殖动物肠道、肝脏健康和机体免疫系统健全。

3.3 功能性饲料添加剂的筛选

功能性水产饲料添加剂是指添加到水产养殖动物配合饲料中,在水产动物体内发挥着调节营养代谢、生理机能、肝肠健康和营养品质等生物学功能的饲料添加剂。研发效果确切的功能性水产配合饲料就是开发和应用“作用明确、安全高效、质量可控”的功能性饲料添加剂。功能性饲料添加剂研发是当今饲料研究中最活跃的领域之一。目前,我国功能性饲料添加剂年总产值近500亿元,并在以年均20%的速度递增。选用的功能性饲料添加剂必须在《饲料添加剂品种目录(2013)》及农业部有关新饲料添加剂品种公告中的产品。按功能性水产配合饲料的产品定位与分类,筛选出合适的安全高效绿色功能性饲料添加剂。根据功能性饲料添加剂在水产养殖动物体内发挥的调节作用,将其大致分为4大类:①增强饲料诱食性、提升水产动物的消化吸收能力、提高水产配合饲料转化率的功能性水产饲料添加剂产品,如植物提取物、有机酸、益生菌、小肽、酶制剂等;②维护水产动物肝脏和肠道健康的功能性水产饲料添加剂产品,如胆汁酸、肉碱、中草药及其提取物、姜黄素、植物精油、益生菌、果寡糖、壳寡糖、谷氨酰胺、酸化剂、丁酸钠、抗氧化剂等;③提高水产动物体抗应激能力和免疫力的功能性水产饲料添加剂产品,如中草药及其提取物、益生菌、葡聚糖、铬制剂、VC、虾青素、类胡萝卜素、核苷酸、姜黄素、牛磺酸、甘氨酸等;④改善水产养殖动物品质的功能性饲料添加剂产品,如虾青素、酵母硒、中草药及其提取物、海洋生物活性物质等。

功能性饲料添加剂是功能性饲料开发的核心,需要不断研发新型功能性饲料添加剂,如研发具有抗氧化、抗应激、分解霉菌毒素等特殊功能的新型酶制剂;开发具有耐酸、耐热等不同特点的微生物制剂;加强药食同源类植物功能挖掘,鼓励提取工艺稳定、功能成分清楚、应用效果明确、安全绿色的产品申报新饲

料添加剂;制定完善功能性饲料添加剂质量安全标准和评价技术规范,引导新型功能性饲料添加剂产业规范有序发展。

理想的功能性水产饲料添加剂要符合下列要求:

- ①产品安全,对水产养殖动物毒副作用小;
- ②添加量小,作用明确,效果明显;
- ③产品稳定性好,可以耐受水产配合饲料加工过程中的高温、高湿和高压条件;
- ④产品分散性好,方便使用;
- ⑤产品适用范围广。

各类功能性饲料添加剂的使用要充分考虑相互之间是否存在配伍禁忌以及不同添加物质之间的合理添加量和安全限量,如不同功能性多糖类之间、多糖与酸化剂之间、谷氨酰胺与果寡糖之间,植物提取物之间以及植物提取物与其他添加剂或活菌类物质是否存在配伍禁忌都是需要系统研究,积极解决的问题。通过对功能性饲料添加剂的系统研究与应用示范,建立其动态精准的数据库,以提升其应用效果。

3.4 加工工艺的确定

水产配合饲料加工工艺主要包括:原料接收→粗粉碎→一次混合→超微粉碎→二次混合→调质、制粒→烘干→外喷油脂→冷却、过筛→成品包装。影响水产配合饲料加工质量的因素主要有原料粉碎、配料混合、调质效果、制粒设备的质量及操作、加工工艺等几个方面。为了杀灭饲料中的有害微生物,同时产生淀粉糊化、蛋白质变性等一系列变化,并利于后续制粒、膨化等过程,利于动物体对饲料中营养物质的消化,需要进行调质,以提高物料熟化度,进而提高产品的水中稳定性及饲料的消化吸收率。淀粉高糊化度的维持需要足够的水分添加量,淀粉糊化度低是导致能量消化率低的原因之一,也是导致饲料水中稳定性差的原因之一。此外,乳酸菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌等有益菌能在水产动物肠道黏膜上定植,在形成优势菌落的条件下,这些有益菌产生的酸性环境或分泌的肽类物质也具有抑制有害菌繁殖和定植侵害的作用。这些益生菌类物质如何合理添加,如何渡过制粒和熟化的高温高湿高压环境而存活,都是需要面对的技术难题。目前通常采用的技术措施:一是提高这些有益菌的耐热性能;二是优化加工工艺,开发出低温调质膨化加工工艺。

3.5 功能性饲料添加剂添加量的确定

由于大多数水产动物均为变温动物,其摄食量与水温具有较大的相关性,会因季节和水温的变化而变化,为了保证它们摄食到有效剂量和安全剂量的功能性饲料添加剂,就必须根据它们在不同生长发育阶

段、季节、养殖模式和环境条件下的摄食率来调整功能性饲料添加剂在功能性水产配合饲料中的添加量。

3.6 功能性水产配合饲料的生产

功能性水产配合饲料的生产与普通水产配合饲料基本相同,但需要注意如下问题:①饲料配方的调整。根据功能性水产配合饲料产品的功能定位和功能性饲料添加剂的理化性质和生物学功能,采用精准配方和动态配方相融合的技术理念,相应调整水产饲料配方,使其能充分发挥基本的营养功能和特殊新功能。②功能性饲料添加剂必须混合均匀。生产功能性水产配合饲料时,功能性饲料添加剂的添加量通常较少,稀释度较高,其所占饲料的相对比例很小,通常应先将功能性饲料添加剂与其它小料预混合后,再与其它用量大的原料进行二次混合。

4 功能性水产配合饲料开发与推广应用的几点思考

功能性水产配合饲料由于其多功能性,要细分产品,其使用的阶段及使用周期应与产品的定位相适应。生产者和使用者都应该明白,功能性水产配合饲料,不是药物,仅是在满足水产动物营养的基础上增加了保健和品质改善功能,其作用的有效发挥受很多因素的影响,如水产养殖动物的品种、生长发育阶段、生理状态、水质状况、养殖模式、季节、管理水平等,要用系统的理论来看待其使用效果的发挥。一般而言,功能性水产配合饲料使用具有阶段性、目的性和专门性。生产企业对功能性水产配合饲料的功能要准确定位,使用者对其要理解清晰,功能性配合饲料不是药,使用不当不仅会让养殖者花费更高的饲料成本,其功能性也难以得到体现。在水产配合饲料产品转型升级、提质增效转型的今天,研发功能性水产配合饲料,并在水产健康养殖过程中合理使用,可有效降低养殖的风险,实现水产养殖从数量型向质量型、效益型的转变,具有十分重要的意义。功能性水产配合饲料的研发必将成为水产饲料工业发展的必然趋势,其推广应用将成为今后水产养殖业发展的方向,也是推动水产养殖业健康、可持续发展的有效措施,其前景十分广阔。

4.1 功能性水产配合饲料产品的定位

根据水产养殖品种、生长阶段、饲料产品市场需求以及产品预期目标确定功能性水产配合饲料产品定位与细分,同时要充分考虑养殖模式与功能性水产配合饲料的适应性。众所周知,功能性水产配合饲料不是万能的,水产养殖成功不仅仅与饲料有关,还与水产动物苗种的质量、水质状况及其调节水平、日常

管理能力等密切相关。水产健康养殖过程中仅仅优化水产配合饲料这一个环节,很多时候无法表达出其效果,要对苗种、养殖水环境调控和饲料等多个环节协同优化,以充分体现饲料的高效。目前,功能性水产配合饲料在整个水产配合饲料中占比仍然较少,以功能性水产配合饲料产品提高整个饲料企业的竞争力与竞争门槛、盈利水平,需要走的路仍然很长。

4.2 功能性水产配合饲料的产品标准及评价指标体系

目前,功能性水产配合饲料的质量良莠不齐,有的产品无明确的功能性饲料添加剂成分标示,有成分标示的却大多没有明确的剂量和安全限量规定,也没有产品的国家、行业和地方标准,质量评价指标体系尚未建立,导致产品监管存在盲区,仍按传统水产配合饲料产品的标准和评价技术体系评价,不能突出其功能性,也不利于这类产品的定位和细分。为此,应组织产学研用等相关部门的有关研发人员,在全面研究与分析市场上功能性水产配合饲料产品技术参数、使用效果和存在问题的基础上,结合基础研究成果,尽快制定出功能性水产配合饲料产品标准和评价指标体系,以规范其生产、销售、使用和监管。

4.3 功能性水产配合饲料效果提升的投喂技术

4.3.1 选择合适的使用时间

由于功能性水产配合饲料产品的使用具有阶段性、专门性和目标性的特点,因此要根据不同的功能性水产配合饲料的类型选择适合的时间使用。不同的阶段使用不同的功能性水产配合饲料,可以实现促进水产动物肠道发育、维护肝肠健康,修复肝肠损伤、提高机体的抗应激能力、免疫力和抗病力,促进水产动物生长,达到提高饲料利用率,缩短养殖周期,维护养殖环境监控,保障水产品质量安全,提高水产养殖经济效益的目标。

4.3.2 选择合适功能性水产配合饲料的类型

根据要实现的目标和水产动物生长发育阶段选择合适功能性水产配合饲料类型,以提升其使用效果。如水产动物苗种期,由于其消化系统发育不全、抗逆性差,采用能维护肠道黏膜健康,促进肠道菌群发育,可消化性、抗病防病性强的功能性苗期配合饲料。通常而言,使用功能性水产配合饲料,投喂量与传统水产配合饲料相比应当适当减少,一般来说其投喂量为普通饲料正常投喂量的80%~85%比较好。

4.3.3 优化养殖环境,增加水体溶氧,特别是投喂区溶氧

水温、溶氧、盐度、pH值、光照、氨氮、亚硝酸盐等环境因子显著影响水产动物的生理与行为,为水产养殖动物营造一个良好的养殖环境,满足其正常的生理需求,有助于提升水产养殖的成功率。水产养殖过程,通常采取物理、化学和生物学的方法,综合调节养殖水质,使水质指标处于合理的水平,减轻环境胁迫对水产动物造成的不利影响,提高水产配合饲料的转化效率,改善养殖动物福利。溶氧是影响水产养殖效果的主要因子之一,它参与生命的新陈代谢,直接影响水产养殖动物生理,此外它还影响水产养殖环境质量从而间接地影响着养殖动物。提高水产配合饲料效率最有效的措施之一就是增加水体溶氧。国内许多饲料集团(如通威集团)提出了投喂区均衡增氧技术以提升饲料效率。投喂区均衡增氧通常采用低应激微孔立体增氧方式,实现有效提高投饵量和提升饲料转化率的目标。众所周知,投喂区是水产动物的主要活动场所也是饲料转化的关键区域,该区域水体溶氧的高低直接关系到饲料转化效率和养殖综合效益。投喂区水体溶氧太低不仅会造成水产动物食欲低下、摄食不良、消化吸收不好,导致水产动物生长性能不佳、饲料利用率低,而且会造成投喂区底质有机质不能有效的氧化分解,产生的有毒、有害物质易引起水产动物发病。因此,增加投喂区水体溶氧意义重大。

5 结语

在大力推进水产健康养殖转型升级、重视水产品安全与环保以及加速水产供给侧改革的大背景下,研发和推广应用功能性水产配合饲料将成为水产饲料工业发展的必然趋势,也是推动水产养殖业健康、可持续发展的有效措施。功能性水产配合饲料作为一个新兴的研发领域,尚有许多关键技术问题需要突破,需要强化功能性水产配合饲料研发的基础理论研究,应用精准和动态配方技术,开发养殖模式配方、季节配方、阶段配方和区域配方,细化功能性水产配合饲料产品定位;加快饲料生产装备与加工工艺开发,提升饲料加工质量水平;积极开发高效安全的功能性饲料原料及功能性饲料添加剂;加速产品标准制定,建议制定行业协会标准;规范功能性水产配合饲料产品使用,提升产品使用效果,科学投喂功能性水产配合饲料,以促进水产动物生长、增强机体免疫力、改善水产品品质,并减少养殖环境污染、改善养殖生态环境。

参考文献

[1] 艾春香,唐媛媛,许洁.海水养殖动物营养生态学研究及其养殖

可持续发展[J].饲料工业,2012,33(8):1-9.

- [2] 艾春香,李少菁,王桂忠.饲料营养对水产品品质的影响[J].台湾海峡,2003,22(增刊):43-51.
- [3] 艾春香.水生动物营养免疫学研究探讨[J].广东饲料,1999(5):36-38.
- [4] 艾庆辉,麦康森.鱼类营养免疫研究进展[J].水生生物学报,2007,31(3):425-430.
- [5] 关燕云,解文丽,艾春香.姜黄素的生理功能及其在水产配合饲料中的应用[J].中国饲料,2015(16):11-15.
- [6] 解文丽,关燕云,艾春香.牛磺酸的生理功能及其在鱼类配合饲料中的应用[J].饲料工业,2015,36(14):28-35.
- [7] 麦康森,魏玉婷,王嘉,等.南极磷虾的主要营养组成及其在水产饲料中的应用[J].中国海洋大学学报,2016,46(11):1-15.
- [8] 潘孝毅,张琴,李俊,等.饲料中添加甘氨酸可提高大黄花鱼 (*Larimichthys crocea*) 的抗氧化和抗应激能力[J].渔业科学进展,2017,38(2):91-98.
- [9] 吴代武,叶元土,蔡春芳,等.鱼溶浆粉替代鱼粉对草鱼生长及健康的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2094-2105.
- [10] 许友卿,丁兆坤.水产动物饲料添加剂促进营养与免疫的研究[J].水产科学,2013,32(5):300-305.
- [11] 郁欢欢,周文豪,曾虹,等.酵母培养物在水产动物中的应用及作用机理研究进展[J].饲料工业,2015,36(18):25-29.
- [12] 张蕉南.酵母核苷酸在水产动物上的研究进展与应用前景[J].饲料工业,2016,37(14):28-31.
- [13] 周小秋,冯琳,姜维丹,等.营养与鱼类免疫研究进展[J].动物营养学报,2014,26(10):3175-3184.
- [14] 庄柯瑾,王帅,王锡昌,等.饲料中脂肪对水产品品质影响的研究进展[J].食品科学,2015,36(15):288-293.
- [15] 左然涛,麦康森,徐玮,等.脂肪酸对鱼类免疫系统的影响及调控机制研究进展[J].水产学报,2015,39(7):1079-1088.
- [16] Abdelrazek H M A, Tag H M, Kilany O E, et al. Immunomodulatory effect of dietary turmeric supplementation on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, 1-7 DOI: 10.1111/anu.12472.
- [17] Abdel-Tawwab M, Abbass F E. Turmeric powder, *Curcuma longa* L. in common carp, *Cyprinus carpio* L., diets: growth performance, innate immunity, and challenge against pathogenic *Aeromonas hydrophila* infection[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2016,48(2):303-312.
- [18] Acar Ü, Kesbiç O S, Yılmaz S, et al. Evaluation of the effects of essential oil extracted from sweet orange peel (*Citrus sinensis*) on growth rate of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and possible disease resistance against *Streptococcus imiae*[J]. *Aquaculture*, 2015, 437: 282-286.
- [19] AftabUddin S, Siddique M A M, Romkey S S, et al. Antibacterial function of herbal extracts on growth, survival and immunoprotection in the black tiger shrimp *Penaeus monodon*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017,65:52-58.
- [20] Ahmed H A, Sadek K M. Impact of dietary supplementation of sodium butyrate and/or protexin on the growth performance,

- some blood parameters, and immune response of *Oreochromis niloticus*[J]. International Journal of Agriculture Innovations and Research, 2015, 3(4): 985–991.
- [21] Akhter N, Wu B, Memon A M, et al. Probiotics and prebiotics associated with aquaculture: a review[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 45(2): 733–741.
- [22] Akrami R, Iri Y, Rostami H K, et al. Effect of dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) on growth performance, survival, lactobacillus bacterial population and hemato-immunological parameters of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) juvenile[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2013, 35(4): 1235–1239.
- [23] Ali S S R, Ambasankar K, Praveena P E, et al. Effect of dietary fructooligosaccharide supplementation on growth, body composition, hematological and immunological parameters of Asian seabass (*Lates calcarifer*) [J]. Aquaculture International, 2016: 1–12.
- [24] Benedito-Palos L, Ballester-Lozano G F, Simó P, et al. Lasting effects of butyrate and low FM/FO diets on growth performance, blood haematology/biochemistry and molecular growth-related markers in gillhead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture, 2016, 454: 8–18.
- [25] Carbone D, Faggio C. Importance of prebiotics in aquaculture as immunostimulants. Effects on immune system of *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2016, 54: 172–178.
- [26] Castillo S, Gatlin D M. Dietary supplementation of exogenous carbohydrase enzymes in fish nutrition: a review[J]. Aquaculture, 2015, 435: 286–292.
- [27] Chatvijitkul S, Boyd C E, Davis D A, et al. Pollution potential indicators for feed-based fish and shrimp culture[J]. Aquaculture, 2017, 477: 43–49.
- [28] Dalsgaard J, Bach Knudsen K E, Verlhac V, et al. Supplementing enzymes to extruded, soybean-based diet improves breakdown of non-starch polysaccharides in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 22(2): 419–426.
- [29] Dawood M A O, Koshio S. Vitamin C supplementation to optimize growth, health and stress resistance in aquatic animals[J]. Reviews in Aquaculture, 2016. O, 1–17 doi: 10.1111/raq.12163.
- [30] Dawood M A O, Koshio S, Ishikawa M, et al. Dietary supplementation of β -glucan improves growth performance, the innate immune response and stress resistance of red sea bream, *Pagrus major* [J]. Aquaculture Nutrition, 2017, 23(1): 148–159.
- [31] Deivasigamani B, Subramanian V. Applications of Immunostimulants in Aquaculture: A Review[J]. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., 2016, 5(9): 447–453.
- [32] El-Sayed A F M. Is dietary taurine supplementation beneficial for farmed fish and shrimp? A comprehensive review[J]. Reviews in Aquaculture, 2014, 6(4): 241–255.
- [33] Hemaiswarya S, Raja R, Ravi Kumar R, et al. Microalgae: a sustainable feed source for aquaculture[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2011, 27(8): 1737–1746.
- [34] Henry M, Gasco L, Piccolo G, et al. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future[J]. Animal Feed Science and Technology, 2015, 203: 1–22.
- [35] Kiron V. Fish immune system and its nutritional modulation for preventive health care[J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 173(1): 111–133.
- [36] Lemos D, Tacon A G J. Use of phytases in fish and shrimp feeds: a review[J]. Reviews in Aquaculture, 2016. O, 1–17 doi: 10.1111/raq.12138.
- [37] Lim K C, Yusoff F M, Shariff M, et al. Astaxanthin as feed supplement in aquatic animals[J]. Reviews in Aquaculture, 2017. 1–36 doi: 10.1111/raq.12200.
- [38] Mansour A T, Esteban M Á. Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2017, 64: 202–209.
- [39] Moody E K, Corman J R, Elser J J, et al. Diet composition affects the rate and N: P ratio of fish excretion[J]. Freshwater Biology, 2015, 60(3): 456–465.
- [40] Morales G A, Denstadli V, Collins S A, et al. Phytase and sodium diformate supplementation in a plant-based diet improves protein and mineral utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 22(6): 1301–1311.
- [41] Morales G A, Marquez L, Hernández A J, et al. Chapter 9 Phytase effects on protein and phosphorus bioavailability in fish diets [M]//Phytate destruction—consequences for precision animal nutrition. Wageningen Academic Publishers, 2016: 1–8.
- [42] Morales G A, Márquez L, Saenz de Rodríguez M, et al. Effect of phytase supplementation of a plant-based diet on phosphorus and nitrogen bioavailability in sea bream *Sparus aurata* [J]. Aquaculture Nutrition, 2014, 20(2): 172–182.
- [43] Oliva-Teles A. Nutrition and health of aquaculture fish[J]. Journal of Fish Diseases, 2012, 35(2): 83–108.
- [44] Pohlenz C, Gatlin D M. Interrelationships between fish nutrition and health[J]. Aquaculture, 2014, 431: 111–117.
- [45] Rabia S, Afzal M, Shah S Z H. Nutrient digestibility performance by rohu (*Labeo rohita*) juveniles fed acidified and phytase pre-treated sunflower meal-based diet[J]. Journal of Applied Animal Research, 2017, 45(1): 331–335.
- [46] Ringø E, Song S K. Application of dietary supplements (synbiotics and probiotics in combination with plant products and β -glucans) in aquaculture[J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 22(1): 4–24.
- [47] Roy S S, Pal R. Microalgae in aquaculture: a review with special references to nutritional value and fish dietetics[J]. Proceedings of the Zoological Society, 2015, 68(1): 1–8.
- [48] Rufchaei R, Hoseinifar S H, Mirzajani A, et al. Dietary administration of *Pontogammarus maoticus* extract affects immune responses, stress resistance, feed intake and growth performance of caspian roach (*Rutilus caspicus*) fingerlings[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2017, 63: 196–200.

- [49] Rufchaei R, Hoseinifar S H, Mirzajani A, et al. Dietary administration of *Pontogammarus maoticus* extract affects immune responses, stress resistance, feed intake and growth performance of caspian roach (*Rutilus caspicus*) fingerlings[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 63: 196–200.
- [50] Safari O, Atash M M S, Paolucci M. Effects of dietary L-carnitine level on growth performance, immune responses and stress resistance of juvenile narrow clawed crayfish, *Astacus leptodactylus leptodactylus* Eschscholtz, 1823[J]. *Aquaculture*, 2015, 439: 20–28.
- [51] Schleder D D, da Rosa J R, Guimarães A M, et al. Brown seaweeds as feed additive for white-leg shrimp: effects on thermal stress resistance, midgut microbiology, and immunology[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2017: 1–7. doi 10.1007/s10811-017-1129-z.
- [52] Shahkar E, Yun H, Lee S, et al. Evaluation of the optimum dietary arachidonic acid level and its essentiality based on growth and non-specific immune responses in Japanese eel, *Anguilla japonica*[J]. *Aquaculture*, 2016, 452: 209–216.
- [53] Song S K, Beck B R, Kim D, et al. Probiotics as immunostimulants in aquaculture: a review[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 40(1): 40–48.
- [54] Sutuli F J, Gatlin D M, Heinzmann B M, et al. Plant essential oils as fish diet additives: benefits on fish health and stability in feed[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2017.1–11doi:10.1111/raq.12197.
- [55] Syahidah A, Saad C R, Daud H M, et al. Status and potential of herbal applications in aquaculture: A review[J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2015, 14(1): 27–44.
- [56] Trichet V V. Nutrition and immunity: an update[J]. *Aquaculture Research*, 2010, 41(3): 356–372.
- [57] Van Hai N. The use of medicinal plants as immunostimulants in aquaculture: a review[J]. *Aquaculture*, 2015, 446: 88–96.
- [58] Wang L N, Liu W B, Lu K L, et al. Effects of dietary carbohydrate/lipid ratios on non-specific immune responses, oxidative status and liver histology of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. *Aquaculture*, 2014, 426: 41–48.
- [59] Wu C, Ye J, Gao J, et al. The effects of dietary carbohydrate on the growth, antioxidant capacities, innate immune responses and pathogen resistance of juvenile Black carp *Mylopharyngodon piceus*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016, 49: 132–142.
- [60] Xie S, Zhou W, Tian L, et al. Effect of N-acetyl cysteine and glycine supplementation on growth performance, glutathione synthesis, anti-oxidative and immune ability of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016, 55: 233–241.
- [61] Yengkokpam S, Debnath D, Sahu N P, et al. Dietary protein enhances non-specific immunity, anti-oxidative capability and resistance to *Aeromonas hydrophila* in *Labeo rohita* fingerlings pre-exposed to short feed deprivation stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016, 59: 439–446.
- [62] Zhou C, Ge X, Lin H, et al. Effect of dietary carbohydrate on non-specific immune response, hepatic antioxidative abilities and disease resistance of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 41(2): 183–190.
- [63] Zhou C, Ge X, Liu B, et al. Comparative study on the effect of high dietary carbohydrate on the growth performance, body composition, serum physiological responses and hepatic antioxidative abilities in Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) and black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson, 1846)[J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(3): 1020–1030.
- [64] Zhu D, Wen X, Li S, et al. Effects of exogenous non-starch polysaccharide-degrading enzymes in diets containing *Gracilaria lemaneiformis* on white-spotted snapper *Lutjanus stellatus* Akazaki [J]. *Aquaculture International*, 2016, 24(2): 491–502.

(编辑:沈桂宇,guiyush@126.com)

作者简介 Author



艾春香,理学博士,厦门大学海洋与地球学院教授,主要从事水产动物营养与饲料学的教学科研工作,特别是在水产动物免疫营养学、营养生态学及高效环境友好型水产配合饲料研发等方面开展了一系列工作。先后主持和参加了国家公益性行业(农业)专项、国家“973”项目、国家“863”项目、国家自然科学基金项目、福建省重大科技专项等科研课题20多项,发表学术论文80多篇,参编《水生动物营养与配合饲料学》教材一部,主持制订水产配合饲料国家标准1项、农业行业标准2项和福建省地方标准3项,先后获得省市级科技进步奖一等奖1项、二等奖2项、三等奖4项,福建省标准贡献奖二等奖1项和三等奖2项。现兼任全国饲料评审委员会委员、全国饲料工业标准化技术委员会委员、中国水产学会水产动物营养与饲料专业委员会委员、中国渔业协会鳃业工作委员会专家委员会委员、福建省水产饲料研究会理事长等。