

中国水产科学发展报告

(2011—2015)

中国水产科学研究院 编

中国农业出版社

中国水产科学发展报告

(2011—2015)

中国水产科学研究院 编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国水产科学发展报告. 2011~2015/中国水产科
学研究院编. —北京: 中国农业出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-109-22287-8

I. ①中… II. ①中… III. ①渔业—科学技术—技术
发展—研究报告—中国—2011~2015 IV. ①F326.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 257135 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 郑珂

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 25.75

字数: 595 千字

定价: 180.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

ISBN 978-7-109-22287-8



编辑委员会

主任：张显良

副主任：唐启升

委员（按姓名笔画排序）：

王新鸣	包振民	刘英杰	江世贵	麦康森
李钟杰	李家乐	杨红生	邹桂伟	宋林生
张国范	陈刚	陈雪忠	林洪	金星
金显仕	赵法箴	桂建芳	徐跑	徐皓
徐瑞永	黄种持	常剑波	崔国辉	雷霖

编写组成员

主编：刘英杰

编写人员（按姓名笔画排序）：

王书	王群	王玉梅	王立华	王清印
王鲁民	戈贤平	方辉	孔杰	孔伟丽
艾庆辉	朱健	危起伟	庄平	刘英杰
孙昭宁	孙效文	孙盛明	麦康森	李来好
杨宁生	杨健	岑剑伟	邹桂伟	沈新强
张文兵	张晓娟	陈军	陈松林	陈雪忠
岳冬冬	金显仕	周莉	单秀娟	赵鹏飞
钟汝杰	姜兰	姚林	桂建芳	贾智英
徐皓	黄健	黄太寿	黄洪亮	傅洪拓
曾令兵	谭志军	翟毓秀	樊伟	

序

PREFACE

改革开放以来,我国渔业快速发展,已成长为农业农村经济的重要产业。2015年,全国水产品产量6 699.7万吨,渔业产值达到10 923亿元,渔民人均纯收入达到15 590元,水产品出口顺差超过100亿美元,分别是1978年的14倍、496倍、161倍和38倍。我国渔业持续较快发展,水产品产量大幅增长,市场供应充足,为保障国家食物安全,促进农渔民增收和经济社会发展作出了重要贡献。

渔业取得的巨大成就,科技进步功不可没。2011年以来,我国渔业科技创新和关键技术的推广应用取得显著成效,水产养殖技术、遗传育种等领域取得重要突破,跻身世界先进行列;渔业新资源、新品种的开发能力显著增强,带动了海参、南极磷虾等新产业的形成,形成了新的经济增长点;渔业水域利用率不断提高,劳动生产率大幅提升,养殖单产水平再创历史新高;传统渔业生产方式加快转变,节能减排、生态养护型可持续发展方式得到广泛重视,高新技术逐步得到推广和应用,渔业信息化、现代化水平显著提升。“十二五”期间渔业领域共获得国家级奖励成果11项,通过审定新品种68个,渔业科技贡献率由2010年的55%上升至2015年的58%。

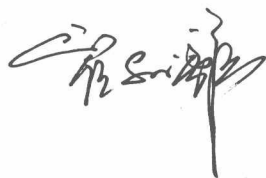
中国水产科学研究院作为我国渔业科技的主力军和“领头雁”,坚持产业导向,突出自主创新,大力开展渔业重大基础研究、应用研究和高新技术产业开发研究,取得了一大批重要科技成果,为推动渔业发展和促进渔民增收提供了有力的科技支撑。由我院组织编写的《中国水产科学发展报告(2011—2015)》,集成学术资源,认真总结了“十二五”期间渔业科技取得的最新进展和重要成果,全面展望了国内外渔业科技发展趋势,探讨了渔业科研的工作重点和主攻方向,对社会各界全面了解渔业科技发展态势和动向,超前规划科技创新战略布局,抢占渔业科技发展制高点,提升渔业科技创新能力,具有重要参考价值。

“十三五”是全面建成小康社会的决胜阶段,也是渔业率先实现现代化的

关键阶段, 渔业要在高起点上实现新发展, 必须牢牢抓住转方式、调结构的主线, 依靠科技创新驱动渔业转型升级, 加强关键领域和环节的科研攻关, 推广新技术、新品种、新模式、新装备, 加强渔船、渔港及配套设施建设, 强化渔业的物质装备和技术支撑, 推进信息化与现代渔业深度融合, 用现代技术手段改造传统渔业。

我们将与广大渔业科技工作者一同深入贯彻落实中央的决策部署, 牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念, 以提质增效、减量增收、绿色发展、富裕渔民为目标, 以提升渔业科技自主创新能力为核心, 加快关键技术突破、技术系统集成和科技成果转化, 促进渔业发展方式转型升级, 为形成生态良好、生产发展、装备先进、产品优质、渔民增收、平安和谐的现代渔业发展新格局提供强有力的技术支撑。

《中国水产科学发展报告 (2011—2015)》的编写, 凝聚了相关学科多位专家学者的集体智慧, 借此机会, 谨向付出了艰辛劳动的全体编写人员, 以及为此书提供支持的各级领导和兄弟单位表示衷心的感谢。



2016年11月

前言

FOREWORD

《中国水产科学发展报告》由中国水产科学研究院组织编写，自 2006 年开始，每个国家五年规划出版一卷。主要介绍我国渔业科技取得的突出成果，总结我国渔业重点领域的科技进展和发展态势，宣传广大渔业科技工作者努力创新，为推进现代渔业转型升级、全面建成小康社会、建设世界科技强国所取得的成就，为社会各界全面掌握渔业科技发展动向提供参考。

《中国水产科学发展报告（2011—2015）》是《中国水产科学发展报告》系列的第二卷，较为系统地总结了“十二五”期间我国渔业科技最新进展和重要成果，比较分析了国内外水产科技发展现状，探讨了水产科学主要领域的发展趋势，汇编了 5 年间获得的国家级渔业科技奖励成果、通过审定的水产新品种、主要渔业科学家代表及其取得的突出科研成绩，并围绕水产动物营养与饲料、水产种业、远洋渔业与南极磷虾开发和水产工业化养殖等渔业科技热点领域撰写了专题报告。

本报告编写过程中得到农业部科技教育司和渔业渔政管理局的帮助和指导，中国水产科学研究院学术委员会各学科委员会参与了报告的撰写工作，国内渔业领域相关高校、科研院所的许多专家提供了诸多帮助，在此一并表示感谢。由于时间所限，报告中存在的疏漏和不足在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 10 月

目 录

CONTENTS

序

前言

第一部分 专题报告	1
水产动物营养与饲料学科研究展望	3
水产遗传育种与水产种业发展回顾与展望	25
远洋渔业与南极磷虾开发	36
水产工业化养殖发展研究	53
第二部分 重点领域研究进展	69
渔业资源保护与利用领域研究进展	71
渔业生态环境领域研究进展	100
水产生物技术领域研究进展	122
水产遗传育种领域研究进展	146
水产病害防治领域研究进展	163
水产养殖技术领域研究进展	183
水产品加工与产物资源利用领域研究进展	205
水产品质量安全领域研究进展	226
渔业装备与工程领域研究进展	251
渔业信息技术应用领域研究进展	280
第三部分 主要渔业科学家	301
第四部分 渔业领域国家级科学技术奖励	325
第五部分 “十二五”通过审定的水产新品种	341

《中国水产科学发展报告（2011—2015）》

第一部分

专 题 报 告

水产动物营养与饲料学科研究展望

“十二五”时期是我国承上启下的重要历史转折期。在此期间，我国水产动物营养与饲料研究蓬勃发展，这为我国水产饲料产业乃至养殖产业快速平稳地发展提供了助力。在此期间研究经费相对充足，各项工作均有条不紊地进行。分别在水产动物营养需要量数据库的构建、饲料原料生物利用率、蛋白质营养和替代、脂肪营养和替代、糖类营养、维生素营养、矿物质营养、添加剂开发、仔稚鱼与亲本营养、食品安全与水产品品质以及高效环保饲料开发等方面进行了大量研究，取得了一系列重要的研究成果，以上成果为推动我国水产饲料产业以及我国水产养殖业的健康可持续发展做出了巨大贡献。

一、近年来我国水产动物营养与饲料研究进展与科技成果

(一) 研究进展

1. 构建主要水产养殖种类营养需要以及饲料原料利用率数据库

营养需要参数是水产养殖动物饲料配方的基础，也是该研究领域的基石。“十二五”期间，集中了全国水产营养饲料研究和开发的主要技术力量，继续研究完善我国主要水产养殖品种营养素的需要量。研究对象广泛，涉及大黄鱼、花鲈、军曹鱼、石斑鱼、黑鲷、皱纹盘鲍、凡纳滨对虾、草鱼、鲫、团头鲂、罗非鱼、黄颡鱼、中华绒螯蟹等。研究内容主要包括蛋白质、脂肪、必需氨基酸、必需脂肪酸、维生素（维生素A、维生素D、维生素E、维生素C、肌醇、叶酸、生物素、胆碱等）以及主要矿物元素（Ca、P、Fe、Cu、Zn、Se等）等38种营养素。此外，比较研究了我国主要水产养殖品种不同生长阶段的营养素需要量。通过近几年大量的研究工作，基本构建了我国主要养殖品种不同生长阶段38种营养素需要量参数的数据库平台，为精准饲料配方设计提供理论基石，为我国水产饲料业乃至水产养殖业健康持续发展奠定坚实的基础。

构建了水产养殖代表种类（大黄鱼、花鲈、军曹鱼、石斑鱼、团头鲂、草鱼、鲫、罗非鱼、凡纳滨对虾和中华绒螯蟹）对常用饲料原料利用率数据库；比较了不同实验方法对消化率结果的影响，使消化率数据更加准确、可靠；根据养殖种类食性差异，对20种以上的常规原料（动物性蛋白源：鱼粉、肉粉、肉骨粉、鸡肉粉、血粉、羽毛粉

和虾粉等；植物性蛋白源：大豆及其副产物、菜粕、棉粕、花生粕、酵母、酒糟、玉米蛋白粉等）进行评估，经过多年的努力，我国已经基本构建了水产养殖代表种类对主要饲料原料生物利用率数据库，为开发营养均衡的人工配合饲料提供了参考和依据。

2. 蛋白质营养及蛋白源替代研究

蛋白质是鱼类最重要的营养素之一，是生物体的重要组成部分，也是生命功能实现的重要物质基础。水产动物对蛋白质的需要量受到其种类大小、饲料蛋白源的营养价值以及环境等多方面的影响。蛋白质不仅参与体内组织的构成，是酶和激素的重要组成部分，同时也是饲料成本中花费最大的部分。因此，饲料蛋白质营养及替代研究一直是水产动物营养的研究热点所在。

(1) 蛋白质需要量研究

“十二五”期间，我国水产动物营养科研人员研究了多种水产养殖动物的蛋白质需要量，主要包括：长吻鮠幼鱼（45%；陈斌等，2013）、异育银鲫幼鱼（35.1%~37.2%；何吉祥等，2013）、岩原鲤幼鱼（38.9%~40.3%；钱前等，2013）、镜鲤（34%；黄金凤等，2013）、翘嘴鲌（45%；宋林等，2013）、尼罗罗非鱼（25%；杨弘，2012）、草鱼（26.5%；李彬等，2014）、黄河鲇（42.5%；赛清云等，2012）、团头鲂（30%；蒋阳阳等，2012）、奥尼罗非鱼（24.8%；乐贻荣等，2013）、中华鳖（43%；周凡等，2012）、斑节对虾（39.7%；张加润等，2012）、刺参（32%；吴永恒等，2012）和方格星虫稚虫（46.5%；张琴等，2012）等。这些研究数据的发表，为相关养殖品种高效配合饲料的配制提供了数据支持和理论参考。

(2) 氨基酸营养研究

氨基酸是构成蛋白质的基本单位，赋予蛋白质特定的分子结构形态，使蛋白质分子具有生化活性。鱼类在不同生长阶段必需氨基酸组成模式不同，因此，必需氨基酸需要量也不尽相同（Qi et al, 2012）。相关研究确定了大鳞鲃的各种氨基酸、吉富罗非鱼亮氨酸和异亮氨酸、鲈鱼苏氨酸、胭脂鱼幼鱼赖氨酸和蛋氨酸、团头鲂精氨酸和蛋氨酸的需要量、克氏原螯虾蛋氨酸、凡纳滨对虾幼虾蛋氨酸的需要量（Xie et al, 2012；刘福佳等，2014；朱杰等，2014；霍雅文等，2014；许红等，2013；Ren et al, 2013；Ren et al, 2014；Liao et al, 2014）。

研究越来越多地关注于氨基酸代谢调控以及对机体生长以及免疫的影响及其作用机制。研究表明，饲料中一定含量的谷氨酰胺和牛磺酸能够提高鱼体的免疫力（骆艺文等，2013；Zhang et al, 2013）。

(3) 蛋白源替代研究

随着水产养殖业的发展，对鱼粉的需要量越来越大。然而，近些年鱼粉产量逐年下降，因此，植物蛋白替代鱼粉的研究越来越受到重视。与鱼粉等动物蛋白相比，植物蛋白具有产量稳定、可持续和价格低廉等优点。然而，植物蛋白存在氨基酸不平

衡、含有抗营养因子和适口性比较差等缺点,限制了其广泛应用。

豆粕、棉粕、玉米蛋白粉以及小麦蛋白粉等植物蛋白源已经广泛应用在水产养殖当中。但由于适口性差、氨基酸不平衡以及含有抗营养因子等原因,仍需不断开发新型蛋白源。“十二五”期间,豆粕等植物蛋白源在鱼类中的替代水平仍在不断探索,研究发现齐口裂腹鱼饲料中豆粕替代鱼粉蛋白的适宜比例应为 34.25%~45.46% (向泉等, 2012)。草鱼摄食菜籽粕替代 32% 鱼粉时,不影响生长和免疫指标 (Tan et al, 2013)。日本沼虾 (胡盼等, 2011)、军曹鱼 (周晖等, 2012) 和黄颡鱼 (朱磊等, 2013) 饲料中的玉米蛋白粉可以部分替代鱼粉,但玉米蛋白粉的比例不超过 20%。同时,新型蛋白源 (鱼肉水解蛋白、蝇蛆粉以及蚕蛹粉等)、复合蛋白源 (植物复合蛋白以及动物复合蛋白) 以及新的技术手段 (酶解技术以及发酵技术) 等也在不断开发,以满足水产养殖业的发展。已有研究表明,蝇蛆粉可以替代不超过 60% 的鱼粉而不影响凡纳滨对虾的生长 (严晶等, 2012),然而替代鱼粉比例超过 20% 时会显著影响黄颡鱼幼鱼的生长性能 (文远红等, 2013); 蚕蛹替代 50% 鱼粉,可提高吉富罗非鱼的生长性能 (王淑雯等, 2015)。类似的是,脱脂蚕蛹可替代建鲤饲料中 50% 以下的鱼粉 (张建禄等, 2013); 动物复合蛋白源 (肉骨粉、血粉、鸡肉粉以及蛹肽蛋白) 可以替代大菱鲆 30% 的鱼粉。植物复合蛋白源 (花生粕、玉米蛋白粉、豆粕、谷朊粉) 以及 10% 的蚕蛹 (蚕粉) 蛋白可以替代大菱鲆 40% 的鱼粉,对生长不会产生显著影响 (魏艳洁等, 2013); 通过酶解技术所制得的水解鱼蛋白,在高水平植物蛋白的饲料中可以起到与鱼粉相似的生长效果,促进大菱鲆幼鱼的生长 (卫育良等, 2014)。此外,采用微生物富集法,通过选择性培养基成功筛选出能同时降低植酸和单宁等抗营养因子的高效菌株,进行了豆粕和菜籽粕等复合发酵,使植物蛋白替代鱼粉比例从 20% 提高到 50% (苗又青等, 2010)。新型复合蛋白源的开发以及复合蛋白源与新技术手段的应用为鱼粉替代提供了新的思路。

此外,“十二五”期间还研究了不同蛋白源对养殖动物蛋白质代谢、氨基酸转运和消化酶活力等相关基因表达的影响,从而提高水产养殖动物对替代蛋白源的利用率,为开发新型蛋白源提供了有力的理论依据。

3. 脂肪营养及脂肪源替代研究

(1) 脂肪需要量的研究

脂类对维持鱼体的正常生理功能及生长发育具有重要作用,脂类主要包括脂肪、磷脂、糖脂和胆固醇等物质。脂肪是鱼体重要的能量来源,可以起到节约蛋白质的作用,还能为其提供生长所必需的脂肪酸,参与鱼体生理功能的调节。同时,脂肪还可以作为脂溶性维生素的载体为机体运输必需的维生素。

“十二五”期间我国水产动物研究人员补充完善了主要养殖品种的脂肪需要量,主要包括鳊 (7.71%; 赵巧娥等, 2012)、梭鱼 (9.30%~9.64%; 张春暖等,

2012)、吉富罗非鱼 (6.19%, 石桂城 等, 2012)、尼罗罗非鱼 (8.30%~9.75%; 涂玮 等, 2012)、奥尼罗非鱼 (7.6%~10.7%; 韩春艳 等, 2013)、红鳍东方鲀 (8.93%; 孙阳 等, 2013)、锦鲤 (10.52%; 梁拥军 等, 2012)、黑尾近红鲌 (7.57%~8.49%; 李伟东 等, 2014) 等。除了脂肪需要量的单因素研究以外, 双因素实验 (蛋白水平和脂肪水平) 也展开了相应的研究 (Xu et al, 2013, 2014)。在研究需要量的同时, 脂肪水平对养殖对象免疫力以及脂代谢的影响也得到了广泛的关注 (Leng et al, 2012; Jin et al, 2013)。

(2) 脂肪酸营养研究

脂肪酸的含量和种类对养殖生物的生长、存活以及免疫力等均有显著的影响。“十二五”期间的研究不仅仅是局限于必需脂肪酸的研究, 还针对某些非必需脂肪酸 (如共轭亚油酸)。Ma et al (2013) 研究发现, 饲料中 n-3 长链多不饱和脂肪酸可以显著影响黑鲷的生长以及脂肪酸组成, 并发现其最适需要量为 0.94%。Tian et al (2014) 发现, 花生四烯酸 (ARA) 可以显著改善饲料摄食率, 并对脂肪代谢以及免疫性能产生显著影响。Tan et al (2013) 研究发现, 共轭亚油酸可以提高鱼体的生长性能、降低脂肪沉积并提高 CPTI 的表达量来促进氧化。

(3) 脂肪源替代研究

鱼油替代仍是研究的一个重要方向。植物油由于来源稳定、价格低廉、脂肪酸比例较为得当等原因得到关注, 成为替代鱼油的一个重要选择。潘瑜等 (2014) 发现, 以亚麻油替代 25% 鱼油时鲤的生长效果最好; 而完全替代鱼油会阻碍鲤的生长, 并危及肝胰脏的健康。在大菱鲆的研究中发现, 大菱鲆饲料中亚麻籽油以及豆油替代水平应低于 66.7%, 且大菱鲆饲料中 n-3 长链多不饱和脂肪酸含量需大于 0.8% (彭墨 等, 2014; Peng et al, 2014)。彭祥和等 (2014) 则发现, 以亚麻籽油替代 50% 鱼油时罗非鱼的生长效果最好; 而完全替代鱼油会阻碍罗非鱼的生长, 但亚麻籽油高水平替代鱼油会促进罗非鱼肌肉中 DHA 的合成能力。半滑舌鳎饵料中棕榈油替代鱼油的水平在 32%~60% 的范围内较为适宜 (程民杰 等, 2014)。现在的研究不仅仅局限于适宜的替代水平的探索, 还对替代后脂肪代谢的分子机制进行深入的探究。如在大菱鲆的研究中发现, 过高的豆油替代会引发脂肪沉积, 这与脂肪合成相关酶 (如 FAS 等) 表达的升高以及脂肪氧化相关酶 (CPTI) 表达量的降低有关。鱼油替代后对脂代谢机制的研究有助于阐明替代水平低下的原因, 进而实现鱼油的高效利用。此外, 脂类物质如磷脂和胆固醇等对生长、脂肪沉积以及免疫力的研究也在不断展开 (Deng et al, 2013; Gao et al, 2014)。

4. 糖类营养研究

“十二五”期间我国水产动物糖类营养研究大多关注饲料中糖对于养殖品种生长性能的影响, 包括: 糖水平 [点篮子鱼: 15%~25% (李葳 等, 2012); 吉富罗非

鱼: 29.1%~35% (蒋利和 等, 2013); 克氏原螯虾: 20.3% (Xiao et al, 2014)]、最适糖脂比 [瓦氏黄颡鱼: 4.06 (张世亮 等, 2012); 胭脂鱼: 4.65 (张颂 等, 2014)]、最适糖源 [吉富罗非鱼: 蔗糖糖蜜 (吴彬 等, 2013)] 的数据。另外, 研究还对摄入的糖对鱼体免疫、肠道健康等方面的影响进行了一定的论述。对于养殖水产动物的糖代谢机理的研究, 目前主要集中在不同糖添加梯度、不同糖源及不同糖脂比对于糖代谢过程中的关键酶的活性及 mRNA 表达含量的影响 (张世亮 等, 2012; Yuan et al, 2013; 吴彬 等, 2013; 张颂 等, 2014)。另外, 不同环境条件 (Qiang et al, 2014) 对鱼类糖代谢的影响也有相关研究。

5. 维生素营养研究

维生素由于其在鱼类的生长繁殖、免疫、抗氧化和其他应激等方面的有益作用而得到了广泛的研究。目前为止, 水产动物对多种维生素 (如维生素 A、维生素 C、维生素 D 和维生素 E 等) 的需要量及其生理功能已经确定并被广泛研究。研究表明, 饲料中添加适量维生素 C 和维生素 E 均能够显著促进鱼虾的生长, 提高繁殖、免疫及抗应激、抗氧化能力, 并提高相关基因的表达 (Ming et al, 2012; Tang et al, 2013; 肖登元 等, 2012; Liu et al, 2014)。同时, 维生素对脂类代谢调控和清除鱼类体内氧自由基也发挥着重要的作用 (Zhang et al, 2012; 牛化欣 等, 2014)。维生素与维生素或与其他物质如大黄素、Se 等的交互作用对水产动物的生长繁殖和氧化的影响, 以及饲料加工工艺对维生素在饲料中的作用的发挥也得到了研究 (Ming et al, 2012; 覃希 等, 2013; 马飞 等, 2014)。

6. 矿物质营养研究

矿物质是构成鱼体组成的重要物质, 其主要生物功能包括: 参与骨骼形成, 参与电子传递, 维持鱼体渗透压, 调节机体酸碱平衡以及保证机体正常代谢。矿物质无法自身合成, 是鱼类的必需营养素; 主要包括常量元素 Ca、P、Mg、K、S 和微量元素 Fe、Mn、Cu、Co、Se、I、Al 和 F。研究发现, 适宜的矿物元素添加量, 可以提高水产养殖动物存活率、增重率、饲料效率、抗氧化水平和免疫能力; 而过少、过多或不合适的比例, 皆会产生不利影响。

每千克饲料含硫酸铜 11.5~11.9 毫克和蛋氨酸铜 8.2~8.3 毫克最有益于军曹鱼的生长 (乔永刚 等, 2013), 每千克饲料含锌 184.85~190.39 毫克, 团头鲂具有最大特定生长率, 并可以促进其脊椎骨生长 (刘汉超 等, 2014)。饲料中适量添加硒, 能促进中华绒螯蟹幼蟹的生长, 提高饲料蛋白质效率和抗氧化能力 (田文静 等, 2014), 每千克饲料总磷水平为 9~10 克时, 吉富罗非鱼饲料中钙磷比的适宜水平为 1: (1.1~1.5) (姚鹰飞 等, 2012)。

7. 饲料添加剂的开发

集约化和工厂化水产养殖业的发展使得对水产动物饲料添加剂的研究也日益深入,

这其中既包括可提供水产动物营养的营养性添加剂,如中草药、益生菌、酶制剂、维生素、矿物质、氨基酸等,也包括用以促进生长发育、改善饲料结构、保持饲料质量、帮助消化吸收、防病抗病的非营养性添加剂,如黏合剂、促生长剂、诱食剂、着色剂等。

中草药由于具有免疫调节、抑菌、抗病毒、清除自由基等生理功能,在水产养殖中起到增强免疫、抵抗感染、增加产量、促进增殖、提高产量、改善饲料品质等作用。近些年研究发现,地黄可以显著促进鲤生长和提高其抗病力;黄芪多糖添加量为0.15%时,能够极显著地提高鲫的生长性能,降低病死率,增强机体免疫性能。饲料中添加0.5%~1%的茯苓、白芍、鱼腥草及大黄配制的复方药用植物,可以增加施氏鲟摄食量、提高消化率和调控内分泌激素水平,改善施氏鲟的生长性能、降低血脂含量、减缓应激和提高非特异性免疫的作用(王俊丽等,2014;张银花等,2013;彭晓珍等,2014)。

益生菌又称益生菌、生菌剂、活菌素等,是根据微生物生态学原理制成的含有大量有益菌的活菌制剂,它可在动物消化道内竞争性抑制有害菌生长,形成优势菌群优化肠道菌群结构,或者通过增强非特异性免疫功能来预防疾病,从而对动物的生理和健康产生积极的影响。有研究表明,在含有5%鱼粉饲料中添加0.5%~1%酵母免疫多糖,能显著改善草鱼幼鱼的生长性能;在不含鱼粉饲料中添加0.1%~0.5%时,能使草鱼幼鱼达到最佳生长性能。饲料中添加枯草芽孢杆菌,可以改善草鱼肠道菌群,提高草鱼部分免疫功能,进而促进草鱼生长,同时,能减少水体中氨氮的含量。此外,大黄鱼饲料中添加枯草芽孢杆菌,可以显著提高其机体免疫能力(王文娟等,2014;胡凡光等,2014)。

诱食剂又称引诱剂、食欲增进剂或适口性添加剂,属非营养性饲料添加剂,具有改善饲料适口性,增强动物食欲,提高动物采食量、摄食速度,促进水产动物对饲料的消化吸收及其生长,提高饲料转化率,减轻水质污染和降低成本的作用。诱食剂种类较多,常见的有诱食剂氨基酸及其混合物、甜菜碱、含硫有机物、动植物及其提取物、中草药和核苷酸。研究发现,添加0.3%的甜菜碱对异育银鲫、奥尼罗非鱼均具有极显著的诱食效果。此外,添加不同中草药对鲫有促进生长的作用。同时,6种中草药诱食剂对黄金鲫进行诱食效果研究发现增重率、特定生长率和饲料效率均有提高(董晓庆等,2013)。

8. 幼体和亲本营养研究

(1) 幼体营养研究和微颗粒饲料开发

“十二五”期间主要研究了淡水仔稚鱼(如匙吻鲟和泥鳅等)与海水仔稚鱼(点带石斑鱼)发育过程中消化酶(胰蛋白酶、酸性蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶)及碱性磷酸酶活力的变化(吉红等,2012;张云龙等,2013;李鑫炜等,2012)。在大黄鱼仔稚鱼的研究中发现,脂肪酶基因在仔稚鱼阶段即有表达。有学者研究了不同驯化方

式、不同饵料（微颗粒饲料或桡足类）对仔稚鱼生长和存活的影响（贾钟贺等，2012；于海瑞等，2012）。相关试验进一步研究了仔稚鱼对不同营养素的需求参数，如磷脂、n-3 长链多不饱和脂肪酸以及花生四烯酸（ARA）（冯硕恒等，2014；Li et al, 2014；Yuan et al, 2013）。

有研究比较了大黄鱼仔稚鱼对蛋白质、多肽和氨基酸代谢差异，发现并揭示了氨基酸和小肽类物质引起的肠道小肽转运载体 PepT1 及缩胆囊素 CCK 表达上调，是其比蛋白质更有利于仔稚鱼生长、发育的原因。同时还有研究探究了脂肪水平以及脂肪酸种类（DHA、EPA 以及 ARA）对海水仔稚鱼（斜带石斑鱼和半滑舌鲷等）消化酶活力以及脂肪代谢的影响，发现适宜的脂肪水平以及脂肪酸合理搭配，可以显著提高仔稚鱼的生长性能并促进其消化系统的发育。

（2）亲本营养研究

亲本的营养是影响其繁殖力的重要因素，进而影响到苗种的质量。“十二五”期间的研究包括：营养强化和控光控温对大菱鲆亲鱼性腺发育及卵子质量的影响，结果表明，控光控温和营养强化能在一定程度上缩短性腺发育时间和产卵期；经营养强化后亲鱼产卵量、上浮卵量、上浮率及受精卵活率、孵化率均有显著提高（李庆华等，2013）；饲料中添加高剂量（0.525%）的维生素 C，更有利于促进半滑舌鲷亲鱼性激素的合成，改善亲鱼的繁殖性能，提高精卵质量，促进受精卵孵化，减少仔鱼畸形的发生。这些研究为深入研究亲本营养，开发高效亲本饲料奠定了坚实基础。

9. 营养、环境因子与水产品品质调控

“十二五”期间，随着生活水平的日益提高，人们逐渐关注水产品的品质。而有关营养、环境因子与水产品品质关系的研究也日益增多。已有的研究表明，饲料中添加虾青素和叶黄素能够显著影响大黄鱼体色（Yi et al, 2014a）。饲料脂肪水平不仅影响大黄鱼幼鱼生长，而且能够影响大黄鱼类胡萝卜素以及皮肤色素的沉积，进而影响大黄鱼体色（Yi et al, 2014b）。黄颡鱼可以有效利用玉米蛋白粉中的色素，提高鱼体黄色色泽深度；随着玉米蛋白粉使用量的增加，总类胡萝卜素、叶黄素在黄颡鱼皮肤中的沉积量逐渐增大（朱磊等，2013）。此外，研究发现豆粕替代膨化饲料中 50% 的鱼粉，对建鲤肌肉的组织特性、质构特性、颜色、化学性状均无不良影响。

10. 分子和组学技术为水产动物营养研究提供助力

1900 年至今，营养学的研究已经历了三个发展阶段：第一个阶段研究对象主要是营养素、维生素和矿物元素的代谢途径与作用；第二个阶段主要研究营养素在体内代谢、生理功能及对组织细胞的影响；第三个阶段随着人类基因组草图和基因组序列图的绘制及基因组测序完成，营养科学也由营养素对单个基因表达及作用的分析开始向基因组及表达产物在代谢调节中的作用研究，即营养基因组研究方向发展。目前，水产动物营养研究虽然滞后于人类或哺乳动物营养研究，但随着相关技术的日益成