



福建省水产饲料研究会 信息简报

B-2088184-5

第 21 期 (总第 323 期)

2020 年 11 月 15 日

本会动态

本会第七届理事会第七次常务理事会工作会议在福州召开

2020 年 11 月 7 日上午,本会在福建省海洋与渔业局办公大楼一楼会议室召开第七届理事会第七次常务理事工作会议,商讨换届各项具体事宜。第七届理事会常务理事(请假 3 人)及秘书处副秘书长 4 人、特邀列席人员 2 名共 25 人参加了本次会议。



会议主要讨论了如下议题:

1.有关第七届理事会的工作报告(草案)

各位与会人员认真讨论了第七届理事会的工作报告(草案),大家畅所欲言,并建议从如下几个方面完善工作报告内容:1)增加有关党建工作内容;2)单列在脱贫攻坚工作中做的工作;3)强化本会在我省水产饲料行业中的作用与贡献;4)补充完善各分支机构 2019 年以来的工作。

2.讨论本会团体会员会费缴纳及管理办法(讨论稿)

与会人员一致同意并通过本会团体会员会费缴纳及管理办法(讨论稿)。

3.讨论本会《章程》的修订条款及修订说明;

按照福建省民政厅修订(制定)发布的《社会组织章程示范文本(2018 年版)》的要求,结合实际情况,秘书处对本会章程提出了修订,并报告了章程修订说明,与会人员对本会

章程修订提出了宝贵的意见和建议，如规范表述等。

4. 讨论推举第八届理事会负责人、常务理事及监事会候选人事宜；

建议扩大理事会人员数，以便扩大常务理事人员数，新增加一些团体会员单位。成立首届监事会，并提出监事会监事长候选人名单以及监事人员的单位。经大家讨论，同意适当扩大理事会人员数，以及监事及监事长候选人提名。

本次常务理事会商议，加快换届相关工作的推进，特别是理事会候选人名单的确定，争取12月中上旬召开本会第八次会员代表大会，完成换届工作。

福建省水产饲料研究会秘书处

行业会议

“十四五”渔业发展规划和渔业科技创新战略研究报告集中研讨会在上海召开

2020年11月6日，农业农村部渔业渔政管理局在上海组织召开“十四五”渔业发展规划和渔业科技创新战略研究报告集中研讨会。



农业农村部渔业渔政管理局局长张显良，长江流域渔政监督管理办公室主任马毅，中国水产科学研究院党组书记魏琦，全国水产技术推广总站站长、中国水产学会秘书长崔利锋，上海海洋大学书记吴嘉敏，农业农村部渔业渔政管理局一级巡视员李书民和副局长江开勇，唐启升院士、朱作言院士、麦康森院士、焦念志院士、桂建芳院士、包振民院士、刘少军院士等院士专家，相关产业技术体系首席及有关专家共同参加研讨，为“十四五”渔业发展建言献策。

农业农村部渔业渔政管理局局长张显良在研讨会作重要讲话。张显良指出，“十三五”期间，渔业转型升级成效显著，水产品供给充足、价格平稳，产业结构不断优

化，推进水产养殖业绿色发展，实施海洋渔业资源总量管理制度，加强水生生物资源养护，实施史上最长和最严格的伏休制度，长江禁渔全面实施，海洋牧场建设快速推进，中国渔政“亮剑”行动取得实效，远洋渔业规范发展，渔民收入较快增长。

张显良指出，农业农村现代化离不开渔业现代化，要加强规划对渔业高质量发展和现代化建设的引领作用。“十四五”渔业发展的总体思路是，坚持新发展理念，以高质量发展为主题，以供给侧结构性改革为主线，以满足人民对优美水域生态环境和优质水产品的需求为目标，推动渔业发展质量变革、效率变革、动能变革，持续推进渔业治理体系和治理能力现代化，不断提高发展质量效益，持续推动渔业增效、渔民增收，加快形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的渔业发展新格局，加快建设现代化渔业强国。

唐启升院士、朱作言院士、麦康森院士、焦念志院士、桂建芳院士、包振民院士和刘少军院士在发言时一致认为，科学技术是第一生产力，长期以来科技创新为我国渔业产业发展提供了强大动力。

“十三五”期间，国家重点研发计划“蓝色粮仓”科技创新重点专项等重大项目启动，渔业科技获得国家级奖励 6 项，培育新品种 61 个，渔业科技进步贡献率由 2015 年的 58%提高至 2020 年的 63%，一大批渔业科技成果加快转化推广应用，为产业的转型升级和高质量发展提供了原始驱动力。迈向渔业现代化新征程必须依靠创新驱动的内涵型增长，“十四五”渔业高质量发展和现代化建设迫切需要科技支撑和引领。院士专家认为，“十四五”渔业科技创新战略研究系统全面、重点突出、面向产业、着眼长远，提出了“十四五”时期渔业科技创新的重点领域和重点任务，为今后一个时期渔业科技工作指出了方向。

摘自中国渔业协会智慧渔业分会微信公众号

2020 第二届中国智慧渔业发展论坛在安徽省合肥市隆重举行

2020 年 11 月 6 日，由中国渔业协会主办的 2020 第二届中国智慧渔业发展论坛在安徽省合肥市滨湖国际会展中心主展馆隆重举行。

本次论坛由中国渔业协会主办，宁波海上鲜信息技术有限公司协办，中国渔业协会智慧渔业分会和中国水产养殖网承办，并得到了通威股份有限公司、武汉市中易天地物联科技有限公司和碧沃丰生物科技集团的大力支持。本次论坛以“与智者同行，

与趋势同行”为主题，进一步总结探讨智慧渔业和渔业智能装备的发展现状与未来机遇，推广优秀创新技术和成果，助力我国现代渔业创新发展。



主题演讲

报告主题：《智慧水产养殖基本构架与发展》

报告嘉宾：中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所副所长、二级研究员 陈军

陈军首先对智慧水产养殖概念进行解读：智慧水产是继数字化之后“信息化+水产养殖”发展的高级形态。智慧水产养殖通过物联网基础设施、云计算基础设施、智能装备基础设施等新一代信息技术以及 APP、交互平台、管理平台融合通信终端等工具和方法的应用，实现全面透彻的感知、宽带泛在的互联、智能融合的应用。并对智慧水产养殖基本架构做了比较详细的介绍，最后介绍了智慧水产养殖的发展状况：

信息采集：初步形成了养殖信息多维度实时获取技术体系与应用。

智能分析：构建了一批养殖生产智能决策和精准管控模型。

企业管理：形成了一些面向养殖生产全过程的企业级信息化管控系统模式。

公共服务：形成了一批面向生产过程管理的智慧渔业服务组件。

报告主题：《数字渔业赋能产业振兴》

报告嘉宾：宁波海上鲜信息技术有限公司董事长 叶宁

传统渔业痛点及公司背景

传统海鲜交易，中间环节多，信息不对称，价格不透明；水产企业需大量收购囤货，渔民/企业融资难。宁波海上鲜信息技术有限公司是目前国内最大的基于“北斗+互联网+渔业”一站式数字渔业服务平台，全国高新技术企业，全国首批线上线下融合发展数字商务企业。致力于对传统海洋渔业进行升级改造，推动渔业产业互联网发展，为渔民增收，为水产企业减负。

未来发展战略

交易驱动：以交易为核心，连接买卖双方。

服务驱动：以产业链服务为核心，加深买卖双方对平台依赖。

数据驱动：以数据服务为核心，提供金融风控、数据预测、区块链溯源、上下游周边产业 SaaS。

智慧驱动：以智慧服务为核心，为捕捞产业提供天气、洋流预测、燃油优化方案，为养殖行业提供鱼苗养殖数据预测和管理，为政府提供海洋捕捞管理数据可控系统。

报告主题：《科技助推渔业保险金融高质量发展》

报告嘉宾：中联智科高新技术有限公司总裁 刘延华

渔业保险发展面临的突出问题

保险服务主体：产品粗放、定价粗放、承保粗放、理赔粗放。

政府监管层面：信息不对称、缺少校验工具、缺乏评价手段、决策水平低。

投保户/经营主体：缺乏知情渠道、风险保障不足、贷款难贷款贵。

渔业保险发展趋势

制度创新：健全完善的渔业保险制度框架。

产品创新：多元产品创新，开发产量指数、天气指数、价格指数等多元化的渔业保险产品。

科技创新：提升渔业保险科技含量，利用地理信息系统、无人机、移动互联网、人工智能、区块链等先进技术加强平时的风险记录与管理。

服务创新：建立以客户满意为导向，以保险服务为重点的服务创新体系。

未来渔业保险发展的建议

加强顶层设计，强化渔险科技创新的共识；加强行业协作，共塑渔险科技创新的环境；加强数据共享，实现渔险科技创新与共赢；加强人才培养，继续渔业保险科技创新的源泉。

报告主题：《通威智能设施渔业小步快跑、快速迭代发展》

报告嘉宾：成都通威水产科技有限公司总经理、通威设施渔业工程研究所所长 梁勤朗

梁勤朗在报告中表示：传统水产养殖业在“人放天养”这个阶段经历了太多的挫折和失败。面对近年来国家法律法规及环保政策的一系列变化，水产养殖业坎坷不断，

转型升级越发迫切。未来的水产养殖业转型方向会朝着规模化、设施化、智能化、标准化方向去发展。

通威坚持科技与模式创新，以科技打造核心竞争力，驱动农业和新能源双主业高效协同发展，紧密围绕“成本最优、操作便捷、养殖可控、生态环保”四个核心关键点。从“品种、技术、模式、管理”上进行探索。加快构建水产养殖绿色发展的空间格局、产业结构和生产方式，大力推广“设施渔业+生态健康养殖模式”，示范推广一批符合水产绿色健康发展要求的技术模式，提升产业发展质量，促进水产养殖的可持续发展。

报告主题：《突破环保瓶颈，科技构建养殖新生态》

报告嘉宾：碧沃丰生物科技股份有限公司首席科学家、总裁 范德朋

范德朋在报告中指出水产养殖产业的环保现状及面临的问题：

- 1、产业大而不强，传统养殖方式占主导地位。技术、装备相对落后
- 2、产品供给结构矛盾突出
- 3、产地环境不优
- 4、水产养殖模式不合理
- 5、渔药残留问题
- 6、监管体系不完善

7、我国水产养殖业发展方式粗犷，不平衡、不协调、不可持续问题非常突出。资源环境约束趋紧，水域环境污染依然严重，过度捕捞长期存在，渔业资源日益衰退。

8、水资源问题是水产养殖业的主要问题，水资源问题导致了水源问题更加突出。随后重点介绍了碧沃丰公司核心专利技术在渔业水环境综合调控治理上的应用以及相关成功案例分析。水产行业从业者可以根据自身实际情况，采取不同的方式对养殖尾水进行处理。

报告主题：《智慧渔业水平衡在生产中的应用》

报告嘉宾：武汉市中易天地物联科技有限公司总裁 唐宾国

唐宾国表示：智慧渔业水平衡是指水体各项水质指标持续保持在合理范围内的状态可定义为水环境的平衡稳定，简称水平衡。在水产养殖过程中，养殖效益受养殖水环境的影响最大（水、种、饵重要性排序水为第一），水越好养殖效益越好！他表示智慧渔业是提升养殖效益的好出路，水体稳不稳定，是否平衡，光靠肉眼和经验不可能判断出来，必须要用 P1 水质检测仪和 Y23 实时在线监测的数据来判断是否平衡稳

定。一旦水质指标不在适宜范围，根据数据进行养殖的指导，进行池塘的用药、投饵和增氧机配置等管理。实现水环境的平衡稳定，最终实现养殖动物（鱼、虾、蟹等）在最舒适的环境里高速生长为高品质的安全水产品目标。

项目路演

主题：内循环 3.0 基础上的尾水治理新模式

嘉宾：上海能正渔业科技开发有限公司水产工程师 吴昊

吴昊表示：能正渔业的愿景使命是构建内循环 3.0 养殖系统，清除水产养殖污染，生产“塘鲜”水产品，媲美“江鲜”“河鲜”“湖鲜”“海鲜”。水产养殖面源污染治理和水产品的提质增效是渔业现代化的战略需求，是现代渔业的关键目标，是渔业高质量发展的必备要素。目前有 95%以上的养殖池塘缺乏尾水处理设施；池塘养殖废水（尾水）治理是长三角一体化面源污染治理的重点；尾水治理成为养殖污染治理的紧迫任务。公司通过长期的自主研发，在节能推水换水、斜底圈养养殖槽、粪便促聚转移设备、短时储粪设备、固液分离设备等方面开展系列创新，形成了圈养去粪养殖技术方案和设备产品，为水产养殖污染治理和水产品品质提升这一战略需求提供了最佳的解决方案。

圆桌会议

在精彩的主题报告后，圆桌论坛成了本次论坛的焦点。本次论坛由水产养殖网主编蔡俊主持。浙江湖州市农业农村局副局长陶忠华、安徽省水产学会理事长/合肥工业大学教授陆剑锋、安徽省农业信息中心主任丁作坤、武汉市中易天地物联科技有限公司总经理李刚、水鲜科技发展河北有限公司总经理宋宏 6 位嘉宾汇聚一堂，以“长江十年禁捕背景下的智慧渔业大发展”为话题展开分享讨论。

摘自水产养殖网，吴康

2020 中渔商贸·蟹都汇中国大闸蟹产业发展峰会暨“中华好蟹”产销对接和品牌创新论坛在江苏泰州隆重举行

2020 年 10 月 23 日~10 月 24 日，由中国渔业协会指导；中国渔业协会水产商贸分会、上海海洋大学、水产养殖网主办；江苏蟹都汇水产有限公司、中国渔业协会水产商贸分会大闸蟹营销品牌联盟、中国渔业协会江苏代表处承办；江苏好润生物产业集团股份有限公司特邀协办，神爽水产科技集团、中国水产学会淡水养殖分会、上海水产行业协会、陕西省延安市黄龙县、江苏省渔业技术推广中心、安徽省水产技术推

广总站、上海江杨水产品批发市场经营管理有限公司共同协办，以“新技术、新标准、新品牌、新市场”为主题的 2020 中渔商贸·蟹都汇中国大闸蟹产业发展峰会暨“中华好蟹”产销对接和品牌创新论坛在江苏泰州隆重举行，河蟹产业相关从业者超 600 人参加了本次峰会。



在习近平总书记提出的“逐步形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局”的背景下。大闸蟹产业要充分发挥国内超大规模市场优势，繁荣国内大闸蟹经济消费、畅通国内大循环，为本国经济发展增添动力。从生态发展、品牌创新等领域助推长三角一体化发展。围绕构建新发展格局、带动产业在更高水平的对外开放中实现更好发展这一目标，全国河蟹产业代表齐聚泰州，共同探讨大闸蟹产业趋势，聚焦新技术、新标准、新品牌、新市场。

嘉宾致辞

江苏省渔业技术推广中心主任张朝晖致辞

江苏省渔业技术推广中心主任张朝晖首先致辞，他代表江苏省渔业技术推广中心欢迎在场嘉宾的到来，对本次活动的成功举办表示热烈的祝贺。

河蟹养殖经过 20 多年的发展，随着在全国范围的兴起推广，现国内精养面积已发展到 1000 多万亩，其中江苏就约 400 万亩，面对其他地区养殖面积迅速扩张和养殖技术的跟进，产业进入一个新的发展时期。泰州历来是我国传统的河蟹养殖集中区，这里湖泊众多，水源充足，以泰州兴化为核心，辐射周边的泗洪、盐城、洪泽等地区，产量多年名列江苏第一。近年来，泰州河蟹不断提升河蟹品种，推广高效养殖，从过去的单一养殖，扩展到加工、储藏、包装、运输、餐饮、服务等多个门类。兴化河蟹产业近些年更是成为了全国河蟹产业的风向标，在河蟹苗种品质、成品蟹上市时间和价格走势、养殖模式、商品饲料产品表现力等方面引领着行业发展。

此次活动的举办，旨在进一步推动大闸蟹产业的向着绿色、健康、可持续的方向不断前行。未来江苏省渔业技术推广中心将继续加大对河蟹产业扶持力度、加强技术人员培训、定期派专业人员开展技术服务，推广大闸蟹销售经验、助力打造大闸蟹地区品牌和发展平台，充分发挥渔业技术示范引领、辐射带动作用，促进行业健康、持续发展。

中国渔业协会水产商贸分会执行会长葛锦海致辞

葛锦海表示：今年是中国渔业协会水产商贸分会发起主办的“中华好蟹”品牌推介活动进入第三个年头，今年的推介活动我们中渔协水产商贸人联合了上海海洋大学和中国水产养殖网，走出上海来到大闸蟹养殖故乡和消费大省江苏，来到人杰地灵的泰州，以全新的姿态举办大型峰会和论坛，以应对新冠疫情带来的影响和挑战，这在今年业内是很少见的，其勇气和精神本身就得到大力支持和点赞。

“中华好蟹”品牌是在分会一批有多年大闸蟹品牌经营经验，以及高水准养殖会员企业共同发起下创立的，同时受到了大闸蟹行业知名专家、学者的大力支持和指导。期间，我们探索出了一条符合行业现状和自身实际的品牌发展之路，首先我们着手制定了大闸蟹行业标准，在此基础上明晰了“中华好蟹”标准，为“中华好蟹”起步和发展作了铺垫，使得“中华好蟹”养殖、生产、经营，包括买卖都有了品质认定依据。因此说制定大闸蟹行业标准和“中华好蟹”品牌标准具有划时代里程碑意义。

上海水产行业协会常务副会长王成致辞

王成表示：大闸蟹产业的发展得到了各级政府的关心和支持，同时也离不开在产业链各个环节不懈奋斗的人们。在此借峰会举办之际向为大闸蟹产业做出贡献的产学研各方面的领导、专家、从业人员致以崇高的敬意。随着人们消费水平的不断提升，对大闸蟹的需求日益增长，对大闸蟹的品质提出了更高的要求。这次论坛以“新技术、新标准、新品牌、新市场”为主题，将进一步推进大闸蟹产业的发展，为全国各地大闸蟹品牌进入上海市场提供一个更加广阔的空间。上海水产行业协会也将为各地大闸蟹品牌进入上海市场提供更多的便利，起到一个桥梁作用。最后预祝本次论坛圆满成功。

启动仪式

在全场参会人员的瞩目下，由中国渔业协会常务副会长兼秘书长林毅、江苏省渔业技术推广中心主任张朝晖、安徽省水产技术推广总站副站长蒋军、安徽省人大

代表/马鞍山农业农村局水产办主任石小平、上海海洋大学教授成永旭、上海水产行业协会常务副会长王成、中国渔业协会水产商贸分会荣誉会长(阳澄湖大闸蟹创始会长)杨维龙、黄龙县委组织部副部长李广爱、蟹都汇大闸蟹全国连锁机构创始人/总经理黄晟昱九位嘉宾共同开启“2020 中渔商贸蟹都汇中国大闸蟹产业峰会暨‘中华好蟹’产销对接和品牌创新论坛”启动仪式。

安徽省农业农村厅副巡视员陈静宏、中粮集团进口食品（上海）有限公司副总经理陈洪、江苏好润生物产业集团股份有限公司副总经理钱禹霖、泰州澳华农牧科技有限公司总经理曾旭东、上海江杨水产品批发市场经营管理有限公司总经理钱国良、神爽水产科技集团副总裁/华东区总裁范守军、浙商总会新零售供应链委员会秘书长助理/平湖国际进口商品城董事长助理许绍斌、中国渔业协会水产商贸分会执行会长葛锦海、天猫食品生鲜运营总监李好、水产养殖网主编/中国渔业协会江苏代表处主任蔡俊上台共同见证了峰会启动仪式。

主题报告

主题：《河蟹繁育推和品质调控技术》

嘉宾：上海海洋大学教授 成永旭

成永旭介绍了目前我国水产业“育繁推”的发展现状，随后重点介绍了河蟹产业育繁推和营养调控发展情况。

产业发展问题：产量基本稳定，产品质量有待提高！

品质下降的主要原因：良种覆盖率低，河蟹养殖的良种覆盖率仅为 10%左右，良种苗种质量保障比较忽视，质量堪忧。上市过度集中。却有早上市趋势，品质不保障；配合饲料使用率低，多使用野杂鱼和低质饲料，营养不平衡，还恶化水质，河蟹品质难保证。

解决办法：构建速生、抗病、早上市和晚熟大规格良种繁育技术，解决均匀上市问题，提高良种覆盖率；研制和推广环保、营养均衡的全价配合饲料，全面替代冰鲜，稳定和提高养殖品质。

最后成永旭教授介绍了团队育繁推和营养调控工作成效。

主题：《蟹都汇的品牌强蟹之路》

嘉宾：蟹都汇大闸蟹全国连锁机构创始人、总经理 黄晟昱

黄晟昱介绍了目前大闸蟹行业的四大特点：

规模突破千亿，仍在快速增长：2018 年大闸蟹产量高达 80 万吨左右，产业规模 2019 年突破 1200 亿元，年增速约 20%。据中商产业研究院预测，到 2020 年我国大闸蟹市场规模或接近 1500 亿元。

阳澄湖大闸蟹仍是最强势品种：调研显示阳澄湖大闸蟹仍旧是消费者提到的第一品种，阳澄湖大闸蟹仍旧被认为是最好吃的大闸蟹品种。

销售渠道众多，品牌化程度仍待提高：目前大闸蟹的主要销售渠道主要集中在菜市场、高端酒店、商超、餐饮、电商、专卖店。但目前除专卖店渠道以外均未出现强势品牌。

行业竞争混乱，暗藏重大隐患：当前，大闸蟹行业陷入无序竞争之中。非良性的市场竞争，让高速发展的大闸蟹行业存在重大隐患。

最后他提出了以品牌化来带动产业化的理念，重点介绍了蟹都汇“只为提供真正好蟹”的经营之道。

主题：《“好润红大闸蟹”的品牌打造之路》

嘉宾：江苏好润生物产业集团股份有限公司副总经理 钱禹霖

钱禹霖介绍了好润红大闸蟹的品牌打造之路。

经营理念

生态好润：做到水产品全程可追溯为市场提供安全的绿色无公害食品。

价值好润：打造行业顶尖的技术团队提供实现人生价值的创业舞台。

梦想好润：为养殖户实现致富让有志者实现创造社会价值的梦想。

核心竞争力

对水产行业发展趋势能准确把握——养什么、怎么养才能致富。

对水产养殖各个环节有深刻领悟——懂养殖才能做好有效服务。

将优良产品在养殖过程中科学合理应用——既要品质过硬，又要会用。

好润红大闸蟹是怎么养出来的

好苗：深入长江及天然湖泊，精心挑选优质种蟹，好润蟹苗具有正统的中华绒螯蟹品系特征，齿尖腿长活力十足。

好水：拒绝使用抗生素等非生态制剂调节水质，肥活嫩爽纯天然。

好草：好润独有水草护理技术，打造蟹池水草“别墅”，净化水体更放心。

好料：1、添加牛磺酸、烟酸、叶酸、肌醇、抗坏血酸、壳聚糖、果寡糖等十多种营养保健成分。

2、不含蜕壳素，使用乳化纳米离子钙促进螃蟹自然蜕壳。

3、添加乳化虾青素、乳化鱼油，提高螃蟹体质，蟹膏红润，口感鲜甜。

主题：《神爽助推河蟹产业健康发展与产业升级》

嘉宾：神爽水产科技集团副总裁 神爽二区（华东区）总裁 范守军

范守军介绍了神爽水产科技集团“六化六中心”理念：文化引领化、形象标准化、运营公司化、管理信息化、服务综合化、养户组织化；品牌展示中心、文化传播中心、综合服务中心、信息交流中心、教育培训中心、参观体验中心。

神爽水产在河蟹产业加强产学研联合，积极参与高品质河蟹投入品攻坚课题“河蟹养殖全程配合饲料技术研发与应用示范项目”等河蟹项目攻关，旗下河蟹饲料率先通过“出口食用动物饲用饲料生产企业”备案。

截止目前，神爽水产养殖服务中心共计建设 130 家。其中具备分子检测能力 10 家，服务中心仪器设备最高投入 50 万元。在服务中心建设上，共计投入设备等固定资产超过 1000 万元！店面打造等总硬件投入达到约 1800 万元！2018-2020 年，神爽在华东地区打造 100 余家标准化综合水产服务中心，以前瞻实践素材完成“神爽高效河蟹综合养殖解决方案”，推广、培训了超过 2 万人次。神爽服务中心影响力在行业处于领先地位！

主题：《大闸蟹行业发展与品牌引领》

嘉宾：中国渔业协会水产商贸分会荣誉会长（阳澄湖大闸蟹创始会长）杨维龙

杨维龙简述了品牌在河蟹行业发展中的重要作用，并对近 30 年来中国河蟹产业的发展做了简要回顾。他表示近 30 年随着河蟹产业的快速发展，无论是内部还是外部的情况都发生了很大的变化，新形势和新业态迫切需要一个覆盖面更广，公信力和带动力更强，受益人群更多，能真正形成内部统一合力，自律监管的这样一种品牌引领模式来替代原有的单一品牌引领模式。

总结了河蟹品牌运作过程中存在以下 6 个方面的痛点：

1、没有统一的行业标准

2、产品质量得不到保证

3、商家诚信度不高，服务态度差

- 4、行业内部缺少有效管理
- 5、发现问题投诉难，解决问题更难
- 6、消费者权益得不到保护

针对这些痛点和问题，在参考和评估了国内和国际上两种先进管理模式的基础上，决定采用大树互保型（母子）品牌共同运作模式。自从确定采用新的品牌运作模式以来，分会和大闸蟹品牌营销联盟在三年的时间里做了大量工作。

主题：《河蟹深加工技术发展现状与趋势》

嘉宾：合肥工业大学教授 陆剑锋

陆剑锋表示：加工是养殖、捕捞的延续和深化，起着联结原料生产与市场消费的纽带和桥梁作用。加工技术的发展改变了现有市场的河蟹鲜活营销模式，缓解了销售季节河蟹大量集中上市时鲜销难的问题，大大提高了河蟹的经济附加值，尤其适用于经济价值较低的小规格蟹及残次蟹，可显著增加河蟹养殖及加工企业的经济效益，加速河蟹产业的转型升级。

陆剑锋教授介绍了河蟹分割加工工艺以及其 GMP 的操作流程。河蟹分割加工工艺实现了对河蟹可食用部分零废弃的全面加工利用，建立了“河蟹分割加工保鲜关键技术及 HACCP 管理体系”，尤其可以大大提高低值小规格蟹的附加值。

主题：《大数据 高效益—2020 河蟹产业大数据应用》

嘉宾：武汉市中易天地物联科技有限公司首席数据官 周凯

周凯表示：通过数据比对 2019 年与 2020 年总碱度、总硬度数据范围没有明显差异。从每个地区数据平均值分析发现总碱度 2020 年较 2019 年整体上升，钙离子水平整体下降。2020 年总碱度水平较 2019 年偏高与实际养殖过程中水草的活力有关，水草活力弱对总碱度的消耗减少，通过调研了解到 2020 年河蟹水草存在问题具有普遍性。

河蟹数据化指导生产的分析：细菌性疾病的爆发与水环境中微生物失衡有关、微生物的失衡与藻类及水草失衡有关、藻类及水草与微生物失衡与水体中营养离子水平失衡有关，这些失衡一定会在基础属性、DO 与 PH 值的指标上表现。病毒性疾病的爆发与应激有很大的关系，应激的强弱与水平衡有极强的关系。

河蟹数据化指导生产总结：低氧是 2020 年养殖过程中影响较大的因素，传统养殖中缺乏实时数据。依据数据化养殖的池塘，因有数据，依实时数据采用各种方法调节到合理范围。

数据化管理提高河蟹养殖效益：2020 年河蟹普遍减产 3-4 成的情况下，通过智能检测、监测系统、定期补充卵囊藻等实现了河蟹养殖的稳定与效益的提升。

主题：《酵母代谢产物在河蟹养殖上的应用》

嘉宾：安琪酵母股份有限公司水产研发高级工程师张煜

张煜首先对什么是酵母代谢产物进行了解释：酿酒酵母在以糖蜜、淀粉质为主要原料的营养液中增殖、发酵并从发酵液中分离出酵母活菌体后剩余的含生物活性成分的有机物质。

水产养殖中的应用

水产肥料：用于水生植物、浮游动植物培养。

有机碳源：用于异养菌群或常见水产菌种培养、活化、扩培。

饲料添加剂：用于降鱼粉替代，促进水产动物生长。

粘合剂：用于水产饲料粘合保水。

在河蟹养殖中怎么用

培菌：可用于乳酸菌、芽孢杆菌活化及扩培。

培虫：轮虫、枝角类、桡足类等浮游动物的好食物。

长草：促进水草茎叶生长，除水草“挂脏”。

肥水：可以改变浮游植物种群结构，丰富藻类多样性，提升水体对环境突变的抵抗力。

降氮：定期使用，补充蟹塘“有机碳源”，以碳促氮，降氨氮。

主题：《数据化助力大闸蟹产业升级发展》

嘉宾：天猫食品生鲜运营总监 李好

主题：《短视频助力大闸蟹品牌营销》

嘉宾：抖音巨量引擎西安客户服务中心市场运营负责人段骏龙

圆桌论坛

在精彩的主题报告后，圆桌论坛成了本次论坛的焦点。本次论坛由水产养殖网主编/中国渔业协会江苏代表处主任**蔡俊**主持。华东师范大学终身教授、博士生导师、国

家虾蟹产业技术体系淡水蟹营养需求与饲料岗位科学家**陈立侨**、江苏省淡水水产研究所河蟹研究中心主任**周刚**、中国水产科学研究院淡水渔业中心研究员**周鑫**、中国水产科学院东海水产研究所研究员**郭全友**、中国渔业协会水产商贸分会大闸蟹营销品牌联盟秘书长**袁道亮**，六位河蟹产业不同领域六位代表汇聚一堂，以“**持续创新与高质量发展，创新大闸蟹品牌发展新格局**”为主题展开分享讨论。

圆桌论坛结束后**上海海洋大学副校长李家乐**上台宣布举办 2021 年中国大闸蟹产业发展峰会的相关决议。

摘自水产养殖网微信公众号

企业管理

如何运用产品开发将企业管理与市场营销相结合

司马秀秀

黄河科技学院附属医院

摘 要：在如今的社会经济新形势下,大多数企业在管理过程中会针对产品开发与市场营销之间的关系进行深入调研,同时立足市场表现与两者发展实情去探究结合的可能性。在企业管理工作中,产品开发与市场营销带来的影响巨大,两者相结合虽然能够为企业带来不错的经济效益,但同时也蕴含着潜在的市场风险,因此在企业管理中还需讲究一定的策略。基于此背景,本文主要针对如何运用产品开发将企业管理与市场营销相结合,希望能为我国社会主义市场经济体制之下的企业发展提供参考。

关键词：企业管理; 产品开发; 市场营销; 结合;

在当前的社会经济新形势下，不同行业均处在激烈竞争环境中，对于企业而言，要想实现可持续发展则一定要采取符合行业发展与企业本身特点的管理方法。在此背景下，企业的产品开发工作切不可盲目进行，而需要牢牢把握市场信息，做好前期的市场调研工作，唯有确保开发出来的产品与市场需求相符，实现生产与销售的完美结合，才能保证企业稳健发展^[1]。所以，在企业管理工作中，需要重视产品开发与市场营销的有机结合，针对这一点本文将做深入探究。

一、企业产品开发的影响因素

在如今我国市场经济体制背景下，市场形势瞬息万变，许多企业在新产品开发中往往会遇到各种问题，投向市场后屡屡受挫，导致企业发展难以为继^[2]。通过调研分析，导致企业产品开发失败的因素众多，主要表现在以下几个方面。

（一）产品价格

许多企业认为产品开发过程中需要高度重视质量，这一点无可厚非，但是“只要质量足够好就不愁销量”的看法是非常片面的，高质量往往带来的是高投入、高定价，与大部分消费者追求的性价比相悖。

（二）产品质量

质量好坏直接决定产品的市场口碑，部分企业在产品开发中过于注重利益，大打“价格战”，后果自然是牺牲产品质量。这类产品流向市场后，虽然前期会有消费者买单，但是口碑一旦恶化，对产品后续销量乃至企业未来发展，都是严重的打击。

（三）市场营销

即便一个产品有良好质量与公道价格，但是市场营销策略的失误也会导致产品销路无法打开，产品投向市场的时机选择不正确、投放地区不合理等都可能是原因之一，比如在寒冷冬季卖夏装，即便是产品质优价廉，但依旧无法提升销量。

（四）前期调研

许多企业在产品开发前并未对市场进行全面调研，对目标消费群体的消费能力认知不清，造成上市之后难打开销路，或者是没有对竞争对手进行调研，本企业推出新产品后却后知后觉竞争对手已有同类型产品在售，自然会出现市场遇冷的情况。

二、做好产品开发与市场营销相结合的企业管理要点

（一）产品开发与市场营销相结合的理论准备

首先，明确产品开发动力来自市场营销。企业产品开发计划的确定并非突发奇想，而是要保证最终面向市场与消费者的产品能够受到欢迎，因此在产品开发之前一定要做好市场调研，倘若只是企业内部在闭门造车，那么产品很有可能不会受到市场的认可。因此从理论上来看，产品开发前需要定位目标人群且对需求量有大致了解，依靠科学的市场调研信息为产品开发做准备^[3]。对于任何一家企业的产品开发而言，市场情报尤为关键，所以需要在产品开发前便制定好市场营销策略，做好预案，保证出现问题时能够第一时间应对。

其次，要认识到市场营销能优化企业的产品开发。企业所开发的产品投放市场后，为保证经济效益产出，需要对消费者的使用感受进行了解，而这项工作需要市场营销完成。唯有清楚地了解消费者的看法，才能对后续的产品开发有所优化，从而不断提高消费者的忠诚度。所以从理论上来看，不管是产品开发前还是投入市场后，均需做好市场调研工作，察觉质量问题或是消费者有意见，都要及时改进。

最后，弄清产品开发难度且不急于上市。企业产品开发前需要弄清楚这类产品的开发

难度，做好合理的心理预设，尤其是产品开发的准入门槛，倘若门槛过高，前期需要投入大量成本，则需要核算好投入市场的销售价格，综合起来考虑。此外，产品开发后不必急于推向市场，尤其是机械类产品，要在企业内部经过多轮试验，获取到完整数据，保证万无一失才能投放市场。否则，有可能因为前期自检的缺失而导致出现大范围的消费者投诉，不得不进行召回，损失只会更多。

（二）产品开发与市场营销相结合的行动准备

首先，要分析市场调研结果确定将要开发的产品。在企业产品开发全过程中，市场营销部门同样起到十分关键的作用，通过对市场调研结果展开分析，从中找寻市场规律与需求空白。前期市场调研需要针对消费者对这类产品的具体功能需求全面统计，这些信息都能为产品开发方向提供参考，而开发方向直接决定了未来市场反响。因此，企业应要求市场营销部门对产品的功能、性能、设计等多方面要素进行调研并结合企业开发能力筛选出合理需求。

其次，要对类似产品价格进行调研分析。产品定价一方面要根据企业生产成本，另一方面也要参考市场上类似产品的价格，不能随心所欲。因此，从行动上来讲，企业在产品开发出来后、投向市场前，必须做好对类似产品价格的调研分析工作，如果产品定价太高或太低，则会出现无人问津或是无法收回成本的情况。因此，企业需要做足市场营销功课，避免定价的盲目性。同时，还要保证产品生产成本的稳定，始终保持与同类竞品的竞争优势，比如知名运动品牌耐克公司，不仅在中国设有大量生产线，为了生产成本的缩减与稳定提供保障，并且独创球鞋缓冲气垫技术，也让耐克球鞋在市场上始终保持对同类竞品的竞争优势，深受消费者欢迎。

最后，要确定科学合理的市场营销策略。企业所开发的产品即便质量过硬、价格诱人，但如果没有良好的市场营销策略，也很难有良好发展，这也是如今市场的一个缩影。所以，企业要想确保所推出的产品受到市场的欢迎，则要确定科学合理的市场营销策略。通常来讲，企业的市场营销策略分为无差异营销、差异营销与集中营销三种，选择哪一种市场营销策略则需要结合产品与企业实情进行优选^[4]。具体来讲，对市场营销策略的选择要考虑如下几点因素：(1)企业资源能力。产品开发出来之后投向市场需要进行营销宣传，投放广告，这方面工作取决于企业的实力现状。任何一家企业受自身资源能力制约，均无法独占整个市场，倘若企业所开发的产品盯准的是部分特定人群的专项消费需求，则无须采取差异化营销与无差异营销，只需要集中资源聚焦于单个或多个目标市场，在特定的小市场内获取

最大利润；(2)产品同质性。这里所指的同质性，意思是消费者对产品的特点感知有一种“似曾相识”的感觉，倘若企业将这类同质化产品投向市场，比如食盐、桌椅、纸巾等，则应当采取无差异市场营销策略，目的是通过打开销量去获取大批生产订单，满足市场大部分消费者需求，从中赚取利润；(3)市场同质性。结合大量市场调研信息进行分析，会发现如果将消费者按照喜好、需求、消费习惯等进行划分，有许多消费者存在极高的相似度，这便是市场的同质性表现。倘若市场同质性非常高，一定会引发市场的大范围购买趋势，对市场营销的刺激也是同样的道理，所以最佳选择便是无差异市场营销策略。

（三）产品开发与市场营销相结合的企业管理措施

1. 更新企业管理者的管理理念

企业管理者作为企业的决策层，制定的各项决策会直接影响企业的未来发展，所以需要从管理层着手，树立起产品开发与市场营销相结合的先进管理理念。落实到管理工作中，需要在产品开发前召开动员大会，强调市场调研与信息分析的关键性，唯有企业内部认识到市场调研的重要性，了解具体市场走向与消费者真实需求，才能开发出满足消费者需求的产品。

2. 做好产品开发过程的监督管理工作

许多产品开发与生产人员的综合素质并不高，所以对产品开发过程的监管有所缺失，鉴于此企业管理者则需要加大对产品开发过程的监督管理力度，督促相关人员积极投入。比如，企业管理者可从监管部门抽调人员，成立产品开发监管小组，主要负责对产品开发工作的监督与管理，如果发现相关人员工作态度不端正或是产品开发遇到问题，都要及时向管理者汇报^[5]。

3. 立足消费者利益做好管理

企业经营管理的主要目的在于赚取利润，实现企业稳健发展，所以一定要保证开发出来的产品有获利潜力，意味着新产品无论是质量、性能还是使用便捷性等方面，都要比市场现有的老产品有很大改进，倘若毫无优势可言，消费者自然会选择更便宜、更成熟、更习惯的老产品，新产品遇冷在所难免，比如许多换代车型、数码产品等会遭遇这一问题。可见，企业管理者需要立足消费者利益视角去审视产品开发，换位思考摆出说服自己选择自家产品的理由，以此为方向去做好管理工作。

4. 对市场竞争进行摸底

企业管理者需要清醒地认识到如今市场竞争的激烈程度，所以在产品投向市场前既要

做好摸底工作，也要有冷静的心理预设，最终还需要通过市场营销工作去验证。唯有产品质量过硬，符合消费者需求预期，价格公道，自然能从市场竞争中脱颖而出。同时，企业管理层需要树立风险意识，在市场竞争策略制定中要采取正确风险管理措施，提高风险控制水平才能保证市场营销策略的顺利推行，才能不浪费前期产品开发的资源投入。

结束语：

综上所述，对于一家企业而言，有机结合产品开发与市场营销工作，更有助于企业管理工作的开展，同时也能获得不错的经济效益表现。作为企业管理人员，一定要立足企业管理实情，对各项管理制度予以创新优化，减少产品开发的盲目性与失败率，同时还需要牢牢把握市场信息，做好前期的市场调研工作，只有保证开发出来的产品与市场需求相符，实现生产与销售的完美结合，才能保证企业稳健发展，为企业注入发展动力，从而实现可持续发展，从中获取最大利益。

参考文献:略

原文刊登在《现代营销(经营版)》，2020,(11),84-85

新形势下企业管理会计与财务会计的融合发展

谷晓霞

太原学院

摘 要：在经济发展新形势下,大部分企业开始重视财务会计和管理会计的协调发展,这两者在企业发展中属于相辅相成的关系,除了存在差异外,也有一定共性。对此需要充分把握其差异与联系,实现两者的有机融合。基于此,本文重点探讨两者的融合发展。

关键词：管理会计; 财务会计; 融合发展; 新形势;

引言

在企业经营管理活动日渐复杂和财管工作要求日渐增多的形势下,如果只是依靠财务会计是无法满足当前企业发展的基本需求的,因此站在战略发展角度上,将财务信息作为战略发展的基本依据已经是当前企业发展不得不面临的重要问题。财管工作是企业经营管理的关键,原先将会计核算作为核心的财管模式已经无法满足发展需求,如何有效利用经营生产当中产生的各项数据推动企业经营管理效率提升,是企业发展中不得不解决的问题。与传统财管工作相比,管理会计是一种把财务信息在深化处理之后站在战略发展角度上给经营发展提供决策依据的一种财务手段。所以,可以从管理与会计两个方面入手,促进财务会计与管理会计融合发展,最终给企业内控、转型和效益提升助力。

一、管理会计与财务会计

(一)定义

会计通常是将货币作为基本计量单位,通过自身独有的方法对相关单位、企业以及其他组织的经济活动实施全方位的计算、审核和监督,最终提供经济报告等信息。这是一种为了将企业经济效益提升上去的一类经济活动,后来在不断发展之下,依照具体报告对象的差异,通常包含管理会计和财务会计两类。

管理会计是运用各种专业的方式,将日常产生的各类经济活动作出相应的规划及控制。这是一种将来式,需要将日常生产经营中产生的各项经济活动进行控制规划,并预测和评估未来的发展情况^[1]。这是财管工作中的重要内容,主要是指内部报告。

财务会计则是对已经发生的各项经济活动实施监督与核算,给利益相关者提供经济报告。换句话说就是对已经完成的资金运动实施全方位系统的监督与核算。这是一种过去式,也是企业财管工作的重要组成内容,可以给企业发展提供出财务盈亏,是反映经营状况最直接的一种方式。它是对外报表,是决策者的重要凭证,同时也是外界认知企业的重要途径。因此财会的数据内容一定要保证基本的准确性与真实性。

(二)差异

从上述简单的定义分析之中能够发现,这两者之间还是存在较大差异的。主要体现在两个方面:一是内容上的差异。财会的主要功能是使管理范围中的财务信息具备相应的准确性与有效性,并且还要给企业利益相关者提供会计服务。而管会则是给企业内部和领导提供相应的财务数据和具体分析^[2]。二是特征上的差异。财会在其体征方面最显著的特点就是给信息真实性与准确性提出了相应的要求。管会最显著的特点则是决策全局观以及管理灵活性。这些特征和职能方面存在的差异性,也在很大程度上展现出了这两者的差异性。

(三)联系

不论两者之间存在多大差异,它们都属于会计系统的重要分支,也都必须在全面分析企业发展实际的前提下,给企业长期良性发展提供相应的数据支持,从而促使内部与外部因素带来的影响能够降到最低。虽然这两者获取的信息都是来自同一个企业,同时也都需要在整理分析经营活动数据信息的前提下,给企业带来精确的财务数据分析报告,且在这之中所产生的作用也都具有很大差异性,但是两者最后的目的是为了给企业经营发展提供全面的服务,以此推动后续稳步发展。

二、融合意义和问题

(一)意义

1.降低成本

在企业生产经营中往往需要大量数据予以支持。对企业生产经营中所产生的数据进行核算,能够给企业决策提供数据参照。把企业管会和财会相互结合在一起,不但符合企业发展,还能够降低成本。当成本得到有效控制以及经济收益有效提升下,企业就可以通过资源共享得到精确的信息。不仅如此,两者的有效融合还能够防止企业在生产经营之中减少不必要财力、人力与物力的浪费。

2.强化竞争力

新形势下,各个企业之间竞争激烈。财会能够全面细致地分析负债情况,并高效管理企业发展,促使其经济收益得到稳步提升,从而增大市场占有份额,灵活有效地应用企业经费^[3]。财会在物质核算之中,需要对影响企业竞争力的各项因素进行权衡,并制定出相应的方案和管会相互配合,并在优势互补的前提下,提升竞争力。

3.提升生产力

当前科学技术得到了创新发展,原先企业的发展模型已经不能满足当前企业在新形势下的发展需求。对此企业财务信息就需要实时更新,管会和财会之间也要积极发挥自身优势,给未来的转型发展提供便利,进而突破原本陈旧的管理和经营模式。这两者的有效融合,能够给企业提供良好的发展方向,并带来改革思路。同时促使会计部门强化将财务经济审核,通过现代化的处理方式对企业信息实施整合分析,促进管理规范,推动生产力提升。

(二)影响融合发展的因素

1.会计工作要求上的差异

这两者在工作要求上有着较为明显的差异,从而会使会计工作者的操作有所不同,这是影响其融合发展的主要因素。财会是依照国家会计工作的法律规范开展工作的,因此其法律规范就是工作要求,同时它还要对企业的经济情况实施客观计算和审核。而管会则是依照企业内部的具体工作要求和制度,对具体的经济情况实施控制和调整。从整体来看,它的要求比财务会计低一些,整体工作内容也有很多不同,这就导致其融合难度较大。

2.内部会计信息缺乏共通性

对于企业财务会计来说最终的财务报表是依照国家相应的法律规范去制作的,因此受到法律约束的影响较大,所以整体数据信息规范性较强,但管理会计则是根据内部情况去设计报表的,整体工作内容受到内部制度的影响,规范性不强,因此这就导致两者融合过程中极易出现信息不共通的现象^[4]。

3.会计工作者专业素质不过关

会计工作者自身专业素质的高低也会给这两者的融合发展进程带来一定影响,因此其专业素质需要和融合发展需求相适应。但当前部分会计工作者对这两者的融合缺乏全面了解,同时在专业素养和实践能力上差异较大。特别是长期以来在会计人才培养上过于注重法律法规和制度监督等内容,导致管理会计人才极为紧缺。

三、融合措施

(一)树立正确的会计观念

对于企业来说,要想在新时期将核心竞争力提升上去,在激烈的竞争环境下生存发展起来,就要加大管理会计和财务会计的有效融合。对此需要先树立起正确的会计观念,提升整合效果。目前一部分企业在发展中还未充分认识到业财融合的重要性,也不明确管理职能在企业运用中的重要意义,由此给财会和管会的融合带来了很大制约。对此需要根据企业的发展实际,树立起正确的会计理念,并清晰认识两者整合的基本目标,从而加大认识,以促使所有工作环节都能够顺利实施,最终提升会计管理质量,发挥有效的价值作用,促进企业发展。同时,在发展之中,会计管理者还应该加大会计重视,充分了解并掌握会计的管理业务职能和财务业务职能,并应用到实践之中。与此同时,企业需投入更多资源,引进高层次和高水平的专业人才,通过高标准严要求强化会计人员工作能力。

(二)优化会计制度和体系

在进行两者的融合发展当中,需要构建起相应的会计制度,以促使融合工作的顺利实施。而要落实这一工作,企业还要依照自身情况制定出相应的会计制度,同时明确企业发展目标。在编制会计制度的过程中需要将市场发展趋势充分考虑进去,并明确划分企业所有工作者的职能,使各项制度能够充分落实到位。与此同时,相关监督单位还需要充分落实监督工作,构建起相应的监督机制对企业制度建设和落实情况进行监督。与此同时,在制定会计制度的过程中还需要特别注意两个方面的内容:第一,要将管理会计的各项功能充分展现出来,使管理者可以对这两者的职能有更为充分的认识,并实现对会计资源的有效利用和配置,由此促使这两者能够在企业决策之中产生良好的作用^[5]。第二,一定要明确各个部门的各项职能,并在发展趋势之中,运用两者的相互合作和制约,促进有机融合。

(三)创建统一化的数据库

在财务会计之中,在收集相关数据的时候需要先进行会计确认,然后再开展会计计量,并及时填写会计凭证,其体现方式主要有两种:一是财务报表,二是明细账。在管理会计之中,在

收集相关数据的时候需要先从实际情况入手,对数据实施科学筛选,并运用建模的方式去计算。可以发现,这两者不管是数据收集还是结果获取方面都存在很大区别,但其数据来源却是极为一致的,即财务会计数据是管理会计数据的来源。如果要想实现两者的有机融合,就要重视起对技术的应用,通过相关技术处理最初得到的信息,构建起数据库,使 ERP 系统和会计信息之间相互衔接起来,实现资源共享^[6]。这种共享不会受到时间和空间的限制,可以使会计工作者及时了解对方的实际工作情况同时获得相应的信息数据,整体极为便捷。

(四)循序渐进推动融合

这两者的有效融合并非一朝一夕能够实现,因此这就不能操之过急,需要循序渐进推动融合。第一,及时转变相关人员的工作思想,促使其充分了解财会与管会的内涵、特点、功能和作用。同时加大对这两者的研究,掌握两者的差异性,从而找到结合切入点,开展有计划的融合工作。第二,管理层必须明确相互融合的方式,并及时调整和完善会计管理机制,确保两者融合之后会计机制还可以顺利实施,以此强化财管效率。第三,将财会和管会之间的差距减少,以此促进两者融合。

(五)强化会计工作者专业素质

高素质的会计人才能够促进这两者的有效融合,因此为了强化会计工作者的专业素质,就要求企业加大教育培训,以此提升会计工作者的综合素质与水平。与此同时,在聘用会计工作者的过程中还要提升准入门槛,尽量选择具有较强专业性和技能水平高的人员。并且要注重吸引新型会计管理人才,进一步提升企业内部会计管理质量,以此给财会和管会的融合提供强有力的人才保障。由于会计本身涉及大量的金钱,所以相关人员的职业道德水平也是极为关键的,这就需要在重视道德素养的过程中安排专人从旁协助,避免会计工作者因为道德问题而随意挪用或盗取资金,导致企业受到严重的经济损失。

结语

总体来说,管理会计和财务会计工作的有机融合是时代发展背景之下经营发展的重要基础,也是确保企业资金正常运转的基本途径。实现两者的有机融合能够有效强化财务报表质量、降低投资风险,同时财务数据的有效整合还可以促进企业经营发展,在满足基本外在发展要求的基础上满足内在经营要求。对此需要在融合过程中确立出明确科学的会计理念,建立起完善的管理机制,实现两者循序渐进地融合,最终推动企业良性发展,提升经济效益。

参考文献: 略

饲料微生物检验质量控制

朱慧慧 高冉 刘丽芳 刘文杰 王彩杰 黄好强 向霞霞 曹明月
河南海瑞正检测技术有限公司 郑州赛科药业科技有限公司

摘 要：该文从饲料微生物检验指标要求入手，从“人、机、料、法、环、测”的管理机制分别对饲料微生物检验中的质量控制进行分析讨论。

关键词：饲料微生物; 检验; 质量控制;

Quality Control of Microbiological Examination of Feed

Zhu Huihui Gao Ran Liu Lifang Liu Wenjie Wang Caijie Huang Haoqiang Xiang Xiaxia Cao Mingyue

Henan Hairui Testing Technology Co.,Ltd. Zhengzhou Saike Pharmaceutical Technology Co.,Ltd.

Abstract: This paper analyzes and discusses the quality control in the microbiological examination of feed from the management mechanism of “people,machine,feed,legal,environment and test”.

Keyword: feed microorganism; inspection; quality control;

0 引言

饲料是畜牧业饲养动物的食物，含有丰富的营养物质，但也是微生物生长的天然培养基。饲料在加工、贮藏、运输过程中极易受到微生物污染，微生物大量繁殖，会导致饲料中的营养物质分解变质，甚至会在饲料中产生具有强烈毒性和致癌性的毒素。因此，应大力控制微生物对饲料的污染，加强对饲料微生物的检测，对我国畜牧业健康发展有重要意义。饲料微生物检测过程的质量控制，对保证检验结果的准确性尤为重要。

1 饲料微生物检验指标

在我国现行饲料卫生标准中（GB 13078-2017），通过对饲料微生物的检测，可以有效判断出饲料的卫生和质量。通过对霉菌总数、细菌总数、沙门氏菌等指标的规定，可有效推动饲料相关企业加强对生产、加工、运输、贮存等过程的卫生质量控制^[1]。

2 微生物检验工作质量控制

饲料微生物检验在实际工作中存在很多复杂的干扰因素，影响检验结果，因此结合饲料微生物检验过程中涉及的“人、机、料、法、环、测”因素，分析饲料微生物检验过程中如何进行有效质量控制，确保饲料微生物检验结果的准确性，并形成完整的饲料微生物检验质量管理体系。

2.1 人

“人”是第一要素，检验人员是饲料微生物检验的主导者，检验人员的职业素养贯穿于检验整个过程，参与各个环节。针对人员的质量控制：第一，人员具有微生物学或相近专业学习经历，能正确理解并实施检验工作的技术能力。第二，对检验人员要定期进行监督考核，以测试其检验能力及标准熟练程度。建立责任追踪制，形成检验溯源渠道，提高检验人员的责任意识和严谨求实的工作态度，确保检验工作质量。第三，实验室应支持人员参加微生物检验技能和实验室安全等方面的内外部培训。第四，应积极参加能力验证或实验室间比对，提高检验人员试验设计、报告书写、分析问题、解决问题的能力^[2]。

2.2 机

实验室应配备满足微生物检测工作所需的适宜、充分的仪器设施条件及实验场所设施。第一，加强设备管理，做好设备维护、校准、性能验证和唯一性标识的管理。第二，在日常使用过程中，规范操作，要避免交叉污染，规范的做好相关记录、监督维护及内部核查等。第三，实验室的设备不应频繁移动，应避免偶然发生的交叉污染。

2.3 料

“料”包括食品微生物检验活动所使用的试剂耗材、培养基、菌种，实验用水等物料。第一，实验室应建立并运行选择、购买、接收、验收、使用和储存实验室物料的管理程序，以保证物料安全有效。第二，验收合格的物料进入实验室后，实验室应在适当条件下储存，做好期间核查及相关活动记录。第三，菌种购买必须通过资质认定资格的单位。实验室要建立菌种申购、验收、保藏、使用、销毁的管理程序，使用时进行相关活动记录，以便溯源。注意生物安全操作，避免发生菌种泄漏或实验室感染事件等^[3]。

2.4 法

“法”主要是建立完善的管理体系。实验室应根据微生物检验的特殊性，结合实验室自身实际情况，建立一套微生物检测质量管理程序，内容应涵盖微生物检验过程涉及的所有可能影响检验结果的重要因素。建立严格、规范、系统的实验室管理规章制度，明确责任与要求，使所有的饲料微生物检验活动标准化、规范化、有序化、科学化，保证检验过程的可操作性和检测结果的可靠性、溯源性。对标准方法、非标方法、客户提供方法等，都需进行方法验证或方法确认^[4]。

2.5 环

“环”主要是指饲料微生物检验的工作环境。微生物实验室必须满足国家对微生物检测专业领域的各项要求，体现微生物实验室的规范性和微生物专业特点。第一，实验室应制

定合理的环境监测程序，对环境监测结果进行数据分析，依环境监测结果和交叉污染发生概率制定实验室的程序文件。第二，具有有害微生物发生污染时的处理程序。第三，采取措施防止洁净区的洁净度降低。第四，根据微生物危害等级，采取相应防护措施（保护头发、手和鞋等），并备有急救材料等。第五，微生物实验室应制定合理的消毒程序，确保工作环境的温湿度、洁净度等条件符合饲料微生物检验要求^[5]。

2.6 测

检测过程的质量控制，应结合上述 5 个因素从确认检测任务，检测方法选定，采样及运输，取样，检测操作，结果分析，报告编制等全过程进行控制质量。实验室要建立和维持合同评审程序以及制定并实施实验室的评估和选择程序。规范取样，并依照有关标准和国家标准尽快对样品进行检测，并留下相应检测痕迹方便溯源，得出结果后，形成符合规定的报告文件签发予客户。检测操作过程的质量控制：如在大肠菌群的检验过程中，从制备样品至样品接种完毕不得超过 30 min，进而达到不破坏或改变样品中微生物状态的目的，使微生物检验质量得到有效保证。检测痕迹通常是检验过程中产生的原始检验记录，如霉菌总数检验原始记录不仅要体现样品编号、检测时间、检测环境、检验设备、检测过程和结果，更要体现检测时样品状态情况，以及检测过程中菌落 3~4 d 生长情况的观察描述。当出现不合理情况时容易发现并改正，提高检验工作的速度及质量^[6]。

2.7 重视内部质量控制、积极参与外部质量评估

实验室应制定并执行内部质量控制计划，评定其结果，并对出现的问题提出改进措施，对实施效果进行跟踪评估，进而实现“PDCA”良性循环。实验室应定期参加能力验证、测量审核、实验室间比对等。可以检查整个质量管理体系的有效性，发现实验室潜在的不准确性，了解不同实验室间检测结果的差异，帮助其校正，使其结果具有更好的真实性、准确性。

3 结束语

饲料微生物检验实验室应从内部质量控制工作中多总结，从外部质量评估中不断学习，引入先进的质量控制理念，建立并完善一套行之有效的微生物实验室质量管理体系，从饲料微生物检验活动涉及的“人、机、料、法、环、测”等要素进行全面的质量控制，有效控制和提高饲料微生物检验质量，保证检验结果的准确性和有效性，为饲料卫生监管工作贡献力量。

参考文献：略

研究进展

水产养殖中好氧反硝化细菌的筛选及评价研究进展

马青山 李艳
聊城大学农学院

摘 要: 高密度、集约化水产养殖中氨氮、亚硝酸盐等有害氮源大量积累,严重破坏水环境并损坏水产动物的健康,对水产养殖行业造成极大危害。好氧反硝化细菌可将有害无机氮还原为氮气溢出,有效改善水质,而菌种筛选是好氧反硝化细菌研究和应用中一个关键环节。本文对好氧反硝化细菌菌种的筛选、评价方法进行归纳、总结,从样品采集、培养基配制、培养方式及评价方法等方面探讨适合水产养殖的方法和标准,以期对水产中好氧反硝化菌种筛选和评价提供参考,并对未来的研究方向进行了展望。

关键词: 水产养殖;好氧反硝化细菌;筛选方法;

Advances in Screening and Evaluation of Aerobic Denitrifying Bacteria in Aquaculture

MA Qingshan LI Yan

College of Agronomy,Liaocheng University

Abstract: High density farming techniques easily result in the accumulation of harmful nitrogen sources such as ammonia nitrogen and nitrite,which are highly toxic to water environments and cultured aquatic animals,and they do great harm to the aquaculture industry.However,aerobic denitrifying bacteria can use inorganic nitrogen and reduce it to these forms of reduced nitrate or reduce nitrogen,and then effectively improve water quality,and the strains screening is a key step in the research and application of aerobic denitrifying bacteria.In the review,we summarize the screening and evaluation methods for aerobic denitrifying bacteria,and discuss the methods and standards suitable for aquaculture through some aspects including sample collection,medium preparation,cultivation methods and evaluation methods.This paper will provide a reference for the screening and evaluation criteria for aerobic denitrifying bacteria in aquaculture,and make prospects for future research directions.[Chinese Journal of Animal Nutrition,2021,33(1):-]

Keyword: aquaculture; aerobic denitrifying bacteria; screening methods;

我国是全球最大的水产养殖国家,养殖水产品总量逐年增长。据统计,2019 年我国养殖水产品总产量达 6 450 万 t,超过世界养殖水产品总量的 70%,为优质蛋白质的供给以及国家的粮食安全做出了巨大贡献。目前,高密度、集约化已成为我国水产养殖的主要模式^[1],然而,养殖密度的不断提高极易打破池塘原有的生态平衡,过多的残饵、粪便无法被池

塘中的微生物分解利用,导致氨氮、亚硝酸盐等有害物质积累,影响养殖动物健康^[2]。此外,不经处理的养殖废水排放到外环境中产生面源污染,危害养殖业的可持续发展。生物脱氮不仅安全环保,而且具有可持续性,近年来新发现的好氧反硝化细菌因其能够在有氧的条件下进行反硝化作用,脱氮彻底,而且具有适应性强、生长速度快及容易控制等潜在优点^[3,4,5],逐渐成为脱氮益生菌中研究和应用的热点。

在益生菌研究和应用中,菌种筛选是一个十分重要的环节。然而,由于在菌种筛选过程中候选菌株众多而且筛选条件各异,水产养殖常用的益生菌菌种筛选的方法、标准非常繁杂,导致菌种筛选效率低下;其次,实验室筛选得到的菌种在养殖试验验证过程中,其功能往往不能较好的重现,这主要是由于实验室筛选益生菌的条件或许同其应用的环境有所区别,从而使益生菌应用后在靶位点难以生长、定植及发挥功能^[6];此外,某些对哺乳动物有益的微生物应用于水生动物可能会产生不利影响。因此,在益生菌菌种筛选过程中制定适合水产养殖的方法、标准就显得非常重要。目前,已有很多关于水产养殖中好氧反硝化菌种筛选和应用的研究^[3,7,8,9,10],但尚未见到对该菌种筛选及评价方法进行系统综述的报道。因此,本文对水产养殖中好氧反硝化细菌的筛选、评价方法进行归纳、总结,以期对好氧反硝化细菌筛选和评价标准提供参考,并对未来的研究方向进行了展望。

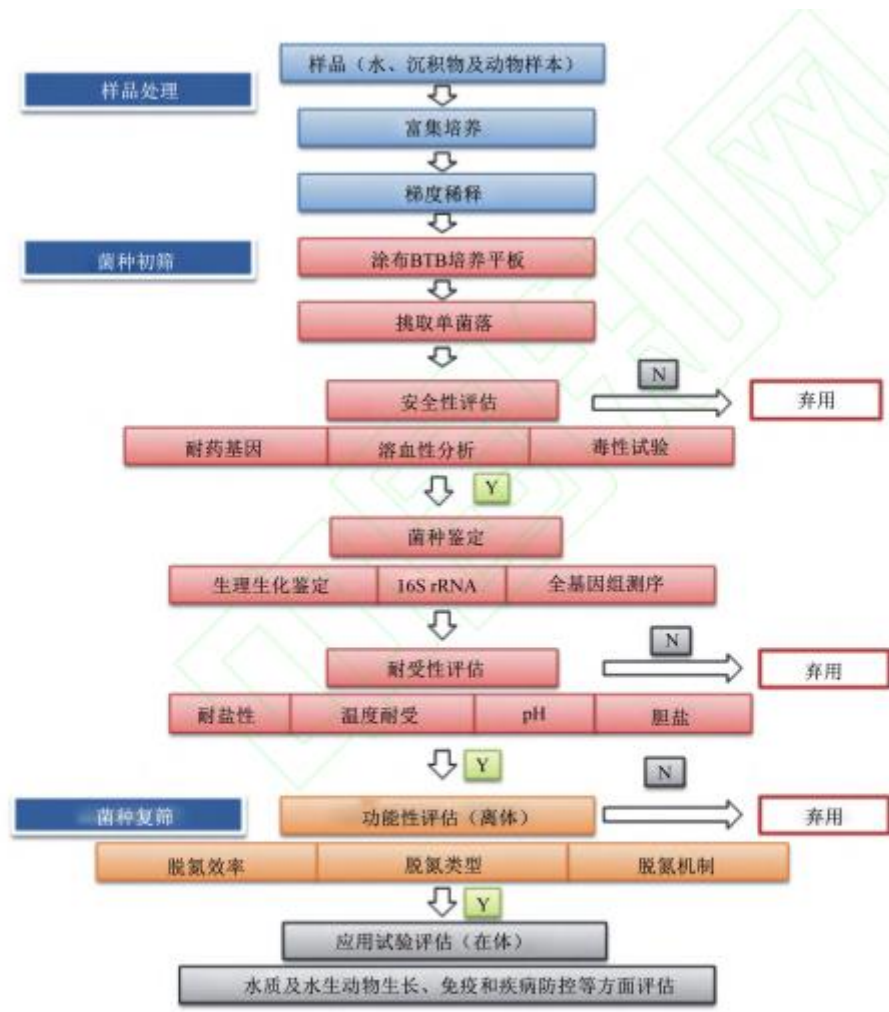
1 菌种筛选流程

随着研究的深入,已有大量好氧反硝化细菌的研究报道,主要菌种包括:假单胞菌(*Pseudomonas* sp.)^[8]、芽孢杆菌(*Bacillus* sp.)^[11]、副球菌(*Paracoccus* sp.)^[13]、海杆菌(*Marinobacter* sp.)^[12]、盐单胞菌(*Halomonas* sp.)^[13]和红球菌(*Rhodococcus* sp.)^[14]等,然而,尚缺乏对该菌种筛选和评价的系统报道。通过归纳、总结国内外相关文献,好氧反硝化菌种筛选流程和标准如图 1 所示。具体而言,好氧反硝化细菌的筛选包括了样品采集、富集培养、安全性评估、菌种鉴定、耐受性评估、功能性评估及应用试验评估等主要组成步骤。通过层层筛选,获得的菌种需要符合安全性、适应性、功能性和便利性等特点^[15]。

2 样品处理

理想的益生菌,应该能够在宿主的肠道或环境中定殖、建立和繁殖,然而,某些应用于水产动物的益生菌常出现相对无效的情况,这或许是由于非鱼类来源的益生菌无法在其肠道中生存或保持最佳的活菌数^[16,17]。基于此,好氧反硝化菌种分离常采集的样本最好选取池塘的水样、沉积物、微生物絮团及水产动物肠道等样本,从这些样本中筛得的菌种具有更好的适应性,即原位/宿主益生菌策略(autochthonous probiotics/host-associated probiotic)。

以往研究也发现，在水、泥、沉积物及生物絮团样品中更易筛得好氧反硝化细菌，如滨海芽孢杆菌 (*Bacillus litoralis*)^[18]、枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)^[19]、施氏假单胞菌 (*Pseudomonas stutzeri*)^[20]及 *Paracoccus saliphilus*^[21]等菌种，且具有较好的适应性。此外，采集的样本还可以用高浓度的硝酸盐、亚硝酸盐及铵盐作为唯一氮源进行富集培养^[22]，培养过程中需要进行间歇曝气以达到好氧反硝化微生物数量增加，同时确保目的菌种的好氧反硝化性能不退化或可得到进一步加强^[23,24]，通过富集培养可大幅度提高后续菌种的筛选效率。



BTB:溴百里酚蓝 bromothymol blue; Y:通过 pass; N:未通过 fail.

图 1 好氧反硝化菌种筛选流程和标准

Fig.1 Screening procedure and criteria of aerobic denitrification bacteria

3 菌种初筛

好氧反硝化菌株初步筛选可应用溴百里酚蓝(bromothymol blue,BTB)固体培养基^[25]，接种的细菌由于反硝化作用使 pH 升高，从而产生蓝色晕圈，选取蓝色菌落即可实现菌种的初筛。应用该方法，Chen 等^[5]从循环水养殖系统的生物滤池中分离到好氧条件下能脱氮的菌

株 Z1 和 Z8, Song 等^[11]分离筛选得到高效脱氮的好氧反硝化菌株凝结芽孢杆菌(*Bacillus coagulans*) XY-6, Shao 等^[26]也筛选得到脱氮性能较好的好氧反硝化菌种 *Pseudomonas* sp.B5。根据筛选流程, 初筛获得的菌种还需要进行安全性评估、菌种鉴定及耐受性评价。

3.1 安全性评估

众所周知, 水产养殖中应用的微生物菌种必须是安全的, 对鱼虾不能有致病性。然而, Fu 等^[27]从 92 种动物用益生菌产品中分离出 123 个益生菌菌株, 其中 45 个菌株对抗生素耐药, 33.7%的益生菌产品被肺炎克雷伯菌等危及生命的病原体污染, 而且还发现了炭疽毒素阳性的蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)菌株, 这对水产动物及人类的健康构成巨大威胁。可见, 筛选用于水产养殖的益生菌菌种, 进行安全性评估为最重要一环。好氧反硝化候选菌种不能含有任何质粒编码的耐药基因或基因簇^[28], 不产生溶血圈, 不含有致病基因, 不生成毒性代谢产物, 且需要结合体内的急性、慢性毒性试验进行验证^[29]。

3.2 菌种鉴定

好氧反硝化菌种鉴定方法同常规微生物菌种鉴定方法类似, 包括常规形态学观察、生理生化分析、16S rRNA 测序和全基因测序等。经过菌种鉴定, 可获知菌株的种、属等信息, 这对进一步研究菌种的性能及实际应用提供了重要参考。具体而言, 以饲料添加剂形式饲喂的菌种需符合各个国家规定的菌种目录, 如美国食品与药物管理局(FDA)和美国饲料控制官员协会(AAFCO)公布的可直接饲喂微生物菌种名单(46 种)、欧盟准许饲喂的菌种目录(72 种)、我国《饲料添加剂品种目录》允许添加的微生物菌种目录(35 种);而改良水体环境的菌种目前尚未有明确规定, 但需要符合之前所提到的安全性要求。

3.3 耐受性评估

益生菌能够发挥效果的关键因素之一为耐受所应用的环境, 并且能够在效应位点定植生长, 维持较高的活菌水平, 而后才能发挥功效(图 2)。不同于陆生动物, 益生菌作用水产动物的效应位点除了动物肠道外, 还有水环境。因此, 筛选的候选好氧反硝化菌株需要耐受所应用的外环境, 包括温度、盐度和 pH 等, 饲喂的益生菌还需经过胃酸、胆盐等的耐受性评价^[30]。一般而言, 能够较好满足这一要求的就是选用池塘或水产动物肠道的土著菌群, Boutin 等^[31]在研究美洲红点鲑(*Salvelinus fontinalis*)时发现, 同外源益生菌相比, 本土的益生菌不会干扰鱼皮肤黏液菌群, 是调节鱼类微生物群落更好的选择;Ahmmed 等^[32]也发现, 源于对虾肠道的乳酸杆菌能够更好地适应动物肠道, 而且可抑制病原弧菌的生长繁殖;Muthukrishnan 等^[33]研究发现, 本土菌株越南芽孢杆菌(*Bacillus vietnamensis*) VCM 5、

Bacillus vietnamensis VCM 8 和支气管戈登菌(*Gordonia bronchialis*) VCM12 可显著降低对虾养殖废水中亚硝酸盐含量，显示出较好的适应性。此外，某些需要在饲料制作过程中添加的反硝化菌制剂，还需考虑工厂化水产饲料生产的高温、高压耐受性，在这种情况下，应用芽孢孢子可能更为适宜。

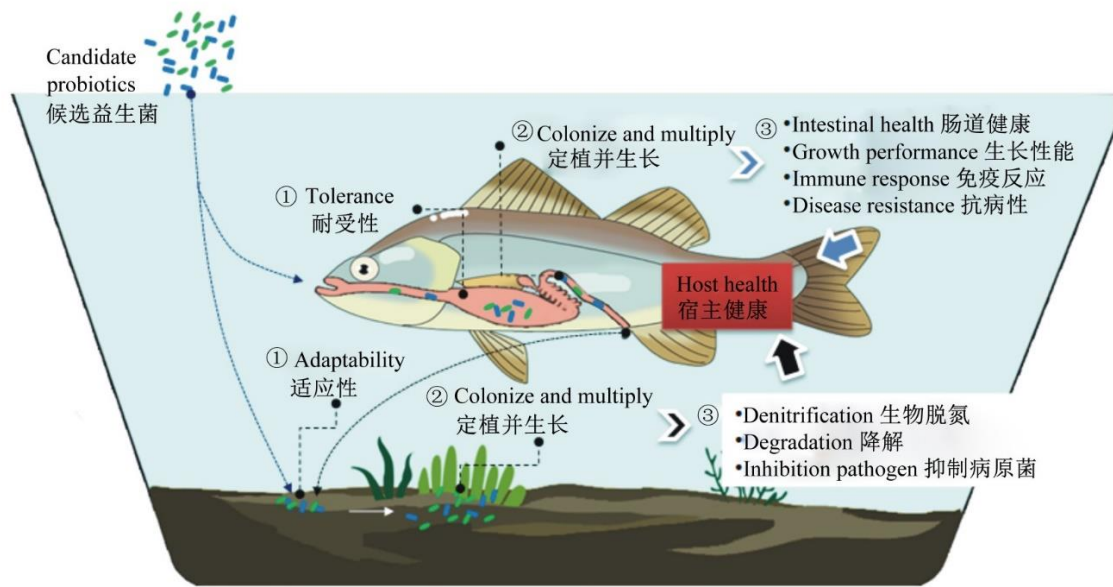


图 2 益生菌在鱼类肠道和水中定植后的作用
Fig.2 Role of probiotics colonization in fish gut and water

4 菌种的复筛

好氧反硝化细菌的复筛包括:应用选择性培养基(selective culture medium)计算菌种脱氮效率、判断脱氮类型以及借助分子生物学和组学手段研究脱氮机制等步骤^[34,35,36,37]。

4.1 脱氮效率研究

在好氧反硝化细菌脱氮效率的研究中选择性培养基的配方同养殖水体的化学组成存在差异，如表 1 所示，选择性培养基常用氮源为 NH_4Cl 、 NaNO_3 及 NaNO_2 等，常用的碳源为琥珀酸钠、柠檬酸钠、葡萄糖、蔗糖和甘油等。然而，在水产养殖水体中常为有机碳源缺乏，而且氮源变为营养丰富的有机氮源^[18]。筛选培养基的富碳特性在实际的养殖环境中很少存在，池塘养殖环境多为低碳高氮，不同于工业污水可以额外提供大量廉价有机碳源，养殖中大量有机碳源的应用可能会造成水产动物缺氧风险及病原微生物滋生等问题出现。基于此，Ma 等^[38]直接配制 0.05 g/L 的 NaNO_2 溶液，并在其中仅补充 1 g/L 粉碎的鱼饲料及粪便以模拟池塘中积累的有机物质，以此反硝化细菌池塘模拟培养基(pond-simulating

denitrification screening medium, PSDSM) 进行菌种筛选, 获得了脱氮效率理想的好氧反硝化菌株 *Bacillus subtilis* M 7-1, 同时, 大田应用试验证实, 该菌株对养殖池塘中的无机氮也具有较高的降解率^[39]。Cui 等^[40]在有机氮(蛋白胨、尿素)存在的情况下, 研究反硝化细菌海洋着色菌(*Marichromatium gracile*) YL28 脱氮性能, 发现存在有机氮源且添加海藻寡糖后, YL28 对无机氮的去除能力显著增强。可见, 在反硝化细菌的筛选过程中, 培养基中氮源、碳源的选择及适宜的碳氮比关系着筛得菌株的脱氮性能, 研究发现, 大多数好氧反硝化细菌的最佳碳氮比在 8~10^[41,42], 然而, 养殖池塘中一般碳氮比在 6~8, 因此在筛选培养基配制需考虑这一差异, 或在应用中补充缓释碳源以确保菌种的脱氮功能^[43]。

温度是反硝化过程的重要参数之一, 已有研究显示, 好氧反硝化细菌脱氮的适宜温度范围为 25~37°C^[37,44,45]。因此, 在菌种筛选的过程中培养温度可设定为 28~30°C(表 1), 但考虑冷水鱼养殖及春秋季节水体脱氮的需要, 嗜冷(10~15°C)好氧反硝化细菌的筛选也尤为重要。He 等^[46]研究发现, 好氧反硝化菌台湾假单胞菌(*Pseudomonas taiwanensis*) 在 15°C 下对硝酸盐的去除率为 100%, 具备低温脱氮能力。然而, 随着温度的降低, 菌种的反硝化效率也会随之降低; Saleh-Lakha 等^[47]研究表明, 在 10°C 条件下, 好氧反硝化菌孟氏假单胞菌(*Pseudomonas mandelii*) 同硝化和反硝化作用相关的基因表达发生滞后和延迟。由此可见, 培养温度的设定需要综合考虑菌种最适条件及所应用的环境这 2 方面因素。

盐度也影响着好氧反硝化细菌的脱氮效率。研究表明, 海水养殖的盐浓度(20‰~35‰) 已可抑制常见细菌的酶系统并可发生溶菌作用^[48]。在反硝化方面, Deng 等^[49]研究表明, 在高盐浓度下, 反硝化过程的功能基因 *nirK* 和 *nosZ* 的表达丰度大大降低, 抑制了细菌的反硝化活性。而同时, 耐盐好氧反硝化细菌也已有研究报道, Al-Rubaye 等^[50]已从盐芽孢杆菌属(*Halobacillus*)、海源菌属(*Idiomarina*)、大洋芽孢杆菌属(*Oceanobacillus*) 和枝芽孢菌属(*Virgibacillus*) 等种属中筛选到反硝化嗜盐菌; Li 等^[51]从青岛胶州湾海水沉积物中分离出 1 株反硝化海洋嗜盐菌弧菌; 而 Mével 等^[52]分离筛选的 *Bacillus* sp. 能够在 16 g/L 的 NaCl 中进行好氧反硝化作用, 这些研究对筛选海水养殖中应用的耐盐好氧反硝化细菌提供依据。

通过调整摇床转速以提供好氧反硝化细菌生长所需的溶氧, 一般而言摇床转速设置为 150~200 r/min(表 1)。然而, 不同菌种适宜的溶氧浓度不同, 即便相同种类的好氧反硝化细菌在不同溶氧情况下脱氮能力也存在差异^[4], 比如某些好氧反硝化细菌对高溶氧具有较高的耐受。Robertson 等^[53]研究发现, 在溶解氧浓度为 80%~90%的培养基中, 泛硫代酵母也具有反硝化酶活性; 无色杆菌属(*Achromobacter*)、不动杆菌属(*Acinetobacter*) 和假单胞菌属

(*Pseudomonas*)能够在溶氧浓度为 3~10 mg/L 条件下进行好氧反硝化脱氮^[54]，而芽孢杆菌则可在溶氧浓度为 3.93~7.65 mg/L 条件下发生反硝化作用^[55]。但考虑到微生物同养殖动物可能存在的争氧问题，筛选兼具有好氧和厌氧反硝化能力的微生物或更具有实用性^[56]。

4.2 脱氮类型研究

在脱氮类型方面，能够同时进行异养硝化-好氧反硝化的菌株具备更高的脱氮效率，如 *Paracoccus saliphilus* SPUM、*Bacillus litoralis* N31、*Marinobacter* sp.、*Bacillus cereus* PB45 及盐田盐单胞菌(*Halomonas campisalis*)等(表 1)。然而，不同菌种脱氮效率、脱氮类型有较大差异，这或许同反硝化细菌所含酶系的种类和数量不同有关。廖绍安等^[57]应用间歇曝气法分筛获得嗜麦芽寡养单胞菌(*Stenotrophomonas maltophilia*)，测序发现该菌株未发现亚硝酸还原酶基因 *nirK* 序列，只鉴定了 *nirS* 基因序列;从废水处理的活性污泥中分离筛选的盐单胞菌属细菌(*Halomonas* sp.)则鉴定出多种脱氮相关的酶类，可同步发生硝化和反硝化反应，脱氮效率较为理想^[58];Wan 等^[59]对脱氮类型为好氧反硝化的假单胞菌 *yy7* 进行分析，确定该菌株含有 *nirK*、*norB* 和 *nosZ* 等多个同反硝化相关的基因，这些功能基因同菌种的反硝化性能密切相关。

表 1 好氧反硝化细菌筛选培养基及筛选条件
Table 1 Screening medium and screening condition of aerobic denitrification bacteria

样品(来源) Samples (source)	选择性培养基(每升含) Selective medium (per liter contained)	筛选条件 Screening conditions	菌株 Strains	脱氮类型 Denitrification mode	参考文献 Reference
水样(虾池) Water (shrimp ponds)	(NH ₄) ₂ SO ₄ 3.035 g, NaCl 0.585 g, KH ₂ PO ₄ 0.1 g, KCl 0.075 g, CaCl ₂ · 2H ₂ O 0.147 g, MgSO ₄ · 7H ₂ O 0.049 g, HEPES 缓冲液 47.66 mL, TE 溶液 5 mL	28 ℃、 180 r/min	<i>Paracoccus</i> <i>saliphilus</i> SPUM	异养硝化- 好氧反硝化	[21]
水样(虾池) Water (shrimp ponds)	琥珀酸钠 6.5 g, (NH ₄) ₂ SO ₄ 0.25 g, K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O 1.5 g, KH ₂ PO ₄ 0.45 g, MgSO ₄ · 7H ₂ O 0.05 g, FeSO ₄ · 7H ₂ O 0.01 g, MnSO ₄ · 4H ₂ O 0.01 g, NaCl 30 g	28 ℃、 160 r/min	滨海芽孢杆菌 (<i>Bacillus</i> <i>litoralis</i>) N31	异养硝化- 好氧反硝化	[18]
水样(鲈鱼池) Water (largemouth bass pond)	柠檬酸钠 1.31 g, KNO ₃ 0.181 g, NH ₄ Cl 0.096 g, KH ₂ PO ₄ 1 g, K ₂ HPO ₄ 5 g, MgSO ₄ · 7H ₂ O 0.2 g, TE 溶液 1 mL	30 ℃、 180 r/min	假单胞菌 (<i>Pseudomonas</i> sp.)	好氧 反硝化	[9]

续表 1

样品 (来源) Samples (source)	选择性培养基 (每升含) Selective medium (per liter contained)	筛选条件 Screening conditions	菌株 Strains	脱氮类型 Denitrification mode	参考文献 Reference
水样 (草鱼池) Water (grass carp pond)	柠檬酸钠 5.66 g, Na_2HPO_4 7.9 g, NaNO_3 0.8415 g (DM) / NaNO_2 0.683 g (NDM) / NH_4Cl 0.529 g (NM), KH_2PO_4 1.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.01 g, TE 溶液 2 mL	30 °C、 200 r/min	施氏假单胞菌 (<i>Pseudomonas</i> <i>stutzeri</i>) F11	反硝化	[20]
		30 °C、 200 r/min	枯草芽孢杆菌 (<i>Bacillus</i> <i>subtilis</i>) SC02	反硝化	[19]
		30 °C、 180 r/min	地衣芽孢杆菌 (<i>Bacillus</i> <i>licheniformis</i>) BSK-4	好氧 反硝化	[60]
水样 (海洋养殖系统 中的生物曝气过 滤系统) Water (biological aerated filter in a marine aquaculture system)	DM: KNO_3 1 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, CaCl_2 0.01 g, EDTA (0.5 mol/L) 0.5 mL, KH_2PO_4 0.5 g, Na_2HPO_4 0.5 g, FeSO_4 0.01 g, NaCl 20 g, TE 溶液 5 mL	30 °C、 150 r/min	海杆菌 (<i>Marinobacter</i> sp.)	异养硝化- 好氧反硝化	[34]
	NM: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.66 g, 琥珀酸钠 1.35 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, EDTA (0.5 mol/L) 0.5 mL, KH_2PO_4 0.5 g, Na_2HPO_4 0.5 g, TE 溶液 5 mL NDM: NaNO_2 0.276 g, 琥珀酸钠 3.16 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, EDTA (0.5 mol/L) 0.5 mL, KH_2PO_4 0.5 g, Na_2HPO_4 0.5 g, FeSO_4 0.01 g, NaCl 20 g, TE 溶液 5 mL				
海水 (西太平洋) Sea water (Western Pacific ocean)	琥珀酸钠 4.72 g, KH_2PO_4 1 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.05 g, NaNO_2 0.002 5 g	30 °C、 180 r/min	蒙氏假单胞菌 (<i>Pseudomonas</i> <i>monteilii</i>) CY06	好氧反硝化	[8]
水及泥样 (虾池) Water and soil (shrimp pond)	琥珀酸钠 4.72 g, NaNO_2 0.05 g, KH_2PO_4 1.5 g, Na_2HPO_4 0.42 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 g	30 °C、 150 r/min	蜡样芽孢杆菌 (<i>Bacillus</i> <i>cereus</i>) PB88	好氧反硝化	[60]
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.5 g, KH_2PO_4 0.7 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g, TE 溶液 1 mL	30 °C、 200 r/min	蜡样芽孢杆菌 (<i>Bacillus</i> <i>cereus</i>) PB45	异养硝化- 好氧反硝化	[61]
	琥珀酸钠 4.72 g, NaNO_2 0.05 g, KH_2PO_4 1.5 g, Na_2HPO_4 0.42 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 g	30 °C、 200 r/min	芽孢杆菌 (<i>Bacillus</i> sp.) YX-6	好氧反硝化	[11]
	柠檬酸钠 8.5 g, KH_2PO_4 1 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.05 g	32 °C、 120 r/min	海杆菌 (<i>Marinobacter</i> sp.)	好氧反硝化	[62]

续表 1

样品 (来源) Samples (source)	选择性培养基 (每升含) Selective medium (per liter contained)	筛选条件 Screening conditions	菌株 Strains	脱氮类型 Denitrification mode	参考文献 Reference
沉积物 (太湖) Sediment (Taihu lake)	KH_2PO_4 87.80 mg, $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 3.26 g, NH_4Cl (NM) 0.382 g/ NaNO_2 (NDM) 0.493 g/ KNO_3 (DM) 0.722 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.0 g, TE 溶液 2 mL	30 ℃、 150 r/min	施氏假单胞菌 (<i>Pseudomonas</i> <i>stutzeri</i>) YG-24	异养硝化- 好氧反硝化	[63]
土样 (粪便处理系统) Soil (nightsoil treatment systems)	葡萄糖 1.05 g, NH_4Cl 0.382 g, KH_2PO_4 0.131 g, 蛋白胨 0.05 g, 酵母浸出物 0.05 g, TE 溶液 1 mL	30 ℃、 150 r/min	芽孢杆菌 (<i>Bacillus</i> sp.)	异养硝化- 好氧反硝化	[64]
污泥 (废水处理系统) Sludge (waste water treatment system)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.5 g, 琥珀酸钠 5.95 g, TE 溶液 50 mL	30 ℃、 150 r/min	施氏假单胞菌 (<i>Pseudomonas</i> <i>stutzeri</i>) YZN-001	异养硝化- 好氧反硝化	[65]
污泥 (盐碱湖) Sludge (saline- alkali lake)	NaCl 40 g, 琥珀酸钠 4.73 g, NaNO_3 0.86 g, KH_2PO_4 1.36 g, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.27 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.19 g, TE 溶液 1 mL	30 ℃、 180 r/min	盐田盐单胞菌 (<i>Halomonas</i> <i>campisalis</i>)	异养硝化- 好氧反硝化	[66]

HEPES: 羟乙基哌嗪乙磺酸 hydroxyethyl piperazine ethylthiosulfonic acid; TE: 微量元素 trace element; DM: 反硝化作用培养基 denitrification medium; NM: 硝化作用培养基 nitrification medium; NDM: 亚硝酸盐降解培养基 nitrite denitrification medium; EDTA: 乙二胺四乙酸 ethylenediamine tetraacetic acid.

4.3 脱氮机制研究

筛选的好氧反硝化菌株可通过 PCR 及全基因组测序获取脱氮相关的酶系基因, 从而进一步分析其脱氮机制。如表 2 所示, 反硝化反应在硝酸还原酶(nitrate reductase)、亚硝酸还原酶(nitrite reductase)、一氧化氮还原酶(nitric oxide reductase)及一氧化二氮还原酶(nitrous oxide reductase)的催化作用下进行。

表 2 反硝化反应中的催化酶及基因
Table 2 Enzymes and genes in denitrification reaction

反硝化反应 Denitrification reaction	催化酶 Enzymes	基因 Genes
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	硝酸还原酶	<i>napA</i> 、 <i>napB</i> 、 <i>narGHI</i>
$\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	亚硝酸还原酶	<i>nirS</i> 、 <i>nirK</i>
$2\text{NO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	一氧化氮还原酶	<i>norB</i> 、 <i>norC</i>
$\text{N}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$	一氧化二氮还原酶	<i>nosZ</i>

由于亚硝酸盐对水产动物的毒害作用较为严重, 催化亚硝酸盐转化的酶系非常值得深入研究。研究表明, 亚硝酸盐可在由 *nir* 基因簇编码的亚硝酸盐还原酶、*nor* 基因簇编码的一氧化氮还原酶及 *nos* 基因簇编码的一氧化二氮还原酶等几种酶的催化下去除^[67,68]。在好氧反硝化细菌中, 主要存在 2 种类型的亚硝酸还原酶, 一种以 CD1 血红素为辅因子, 编码该酶的基因为 *nirS*; 另一种以铜原子为辅因子, 编码该酶的基因为 *nirK*, 自然界中, *nirK* 基因分布的更广泛, 但 *nirS* 基因更丰富。研究发现, 这 2 种周质酶可以发挥相同的功能^[69],

但不能在同一种微生物中共存;然而, Sánchez 等^[70]在慢生根瘤菌(*Bradyrhizobium oligotrophicum*)中发现了编码这 2 种酶的基因。Ma 等^[8]对分离自虾池的好氧反硝化细菌蒙氏假单胞菌(*Pseudomonas monteilii*) CY06 全基因组测序确定了亚硝酸盐降解相关的 3 类还原酶,包括硝酸盐还原酶、亚硝酸盐还原酶、一氧化氮还原酶,通过这些酶菌株 CY06 能够实现反硝化过程($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O}$)的转化,并发现了 5 个亚硝酸盐还原酶相关的基因(*nir1*、*nir2*、*nir3*、*nir4* 及 *nir5*)。Huang 等^[18]从海水养殖池塘中分离到一株高效脱氮 *Bacillus litoralis* N31,该菌株存在 *hao*、*napA* 和 *nirS* 基因,具备异养硝化-好氧反硝化能力。Zhang 等^[21]对分离自深海沉积物的菌株博尔扎诺假单胞菌(*Pseudomonas bauzanensis*) DN13-1 进行基因组分析,找到了同菌株脱氮性能相关的 *nirS*、*norB*、*nosZ*、*nasA* 和 *amo* 基因,证实了菌株存在好氧反硝化途径,其中 *nosZ* 基因已作为检测假单胞菌反硝化作用的生物标志物^[72]。Wang 等^[73]从假黄色单胞菌(*Pseudoxanthomonas*)基因组中扩增出 *nirS*、*nirK*、*narG* 和 *narA* 基因,该菌株同样具有好氧反硝化脱氮功能。然而,由于反硝化细菌的生物多样性,不同菌株的在降解过程起作用的关键酶和基因不同,且脱氮活性还与环境密切相关^[74,75],这使得降解机制探索受到很大的限制,尚需深入研究。

5 应用研究

一般而言,体外筛选获得的好氧反硝化菌株还需要通过养殖动物应用试验评估,在实验室模拟水槽或养殖池塘进一步评价菌种的脱氮性能以及对水产动物生长性能、机体免疫和抗病性等方面的影响。应用实验室模拟水槽研究发现,好氧反硝化细菌 *Bacillus* sp.H2 对亚硝酸盐的平均降解率为 64.04%,总氮和化学需氧量的降解率分别为 16.0%和 32.39%,且提升了水槽中鲤鱼的生长性能和免疫功能^[76]。养殖池塘中的研究发现,均匀泼洒反硝化细菌 *Marichromatium gracile* YL28 显著降低了零换水对虾养殖池塘中氨氮、亚硝酸盐的积累^[77],Gao 等^[78]研究也发现,热带念珠菌(*Candida tropicalis*) HH8 和好氧反硝化菌株 *Pseudomonas stutzeri* LZX301 联合应用显示出更高效的脱氮效率,并能在池塘中快速形成生物菌落;Kong 等^[79]发现除烃海杆菌(*Marinobacter hydrocarbonoclasticus*)是循环水产养殖系统好氧反硝化脱氮的潜在微生物。同时,还可借助于生物反应器以评估菌种的反硝化脱氮功能,Chen 等^[5]选择好氧反硝化菌株 Z1 和 Z8 进行生物反应器脱氮试验,接种 2 周后达到相对稳定状态,该反应器硝酸盐去除率高于 98.8%,总氮去除率高于 71.8%,脱氮效果理想;Liu 等^[80]研究发现,在好氧条件下, *Corynebacterium pollutisoli* 可在移动床生物反应器中进行反硝化去除无机氮素。反硝化细菌饲喂后也能起到较好的脱氮效果,Thurlow 等^[81]应用具有

反硝化功能的贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*) AP193 饲喂斑点叉尾, 显著提高动物生长性能, 降低养殖池塘中总磷、总氮及硝酸盐浓度, 改善水质环境。由此可见, 在应用试验中, 好氧反硝化菌种也表现出较高的脱氮效率, 可改善养殖水体环境。然而, 除菌种外, 应用试验还受到养殖动物品种、应用剂量、应用方式及试验周期等方面因素的影响^[82]。因此, 应用养殖动物试验评价好氧反硝化菌种也需考虑上述几方面因素, 同时还需结合菌种特点设计评价指标, 从而对益生菌菌种功效进行综合评价。

6 小结

综上所述, 好氧反硝化细菌在养殖池塘的生物脱氮方面具有突出的优势与应用潜力, 但不同菌种或相同菌种在不同条件下脱氮效率差别较大, 可从样品采集、培养基配制、培养方式及评价方法等方面优选适合好氧反硝化细菌的方法、标准, 进而实现好氧反硝化细菌菌种的快速、高效筛选。未来还需重点研究的内容包括以下几个方面:1)结合养殖水环境特点配制筛选培养基(碳源、氮源和碳氮比等)、设置筛选条件(溶氧、pH、温度和盐度等), 筛选适合养殖水环境的好氧反硝化细菌;2)借助宏基因组测序技术, 对养殖水体中反硝化脱氮菌群进行全面分析, 从而挖掘更高效、耐受性更强的生物脱氮菌株;3)应用多组学技术(如基因组学、转录组学、蛋白质组学和代谢组学)从不同层次阐明好氧反硝化机理, 比如蛋白质组学可用于研究反硝化酶活性中心的铁、铜等元素功能, 通过代谢组学还可分析不同碳源在反硝化过程中关键代谢产物的变化;4)利用群体感应(quorum sensing, QS)的理论及技术, 开展反硝化细菌之间或同其他益生菌的共培养、共发酵(coculture)研究。不同微生物共存的菌系能够达到某种协同效应, 可进一步提高脱氮效率, 而且复合菌系还具有更强的适应性, 建议对其深入研究并应用于水产养殖, 从而实现更持久、更高效的养殖水体生物脱氮。

参考文献: 略

原文刊登在《动物营养学报录用定稿》 网络首发时间: 2020-11-05 09:51:02

鱼类胆固醇营养需求研究进展

孟晓雪 卫育良 梁萌青 徐后国

上海海洋大学水产与生命学院 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室

摘 要: 胆固醇作为动物机体内含量最为丰富的固醇类化合物, 是动物细胞膜的重要组成成分, 也是类固醇激素、维生素 D₃ 和胆汁酸的重要前体物质。本文综述了鱼类饲料中胆固醇的来源、胆固醇营养需求、鱼体内胆固醇的代谢及其调控机制, 以期为鱼类养殖过程中饲料胆固醇的高效利用提供依据和参考。

关键词: 胆固醇; 鱼类; 营养需求; 代谢调控;

Progress in Cholesterol Nutritional Requirements of Fish

MENG Xiaoxue WEI Yuliang LIANG Mengqing XU Houguo

College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University Yellow Sea Fisheries Research
Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production
Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology

Abstract: Cholesterol, as the most abundant steroid compound in animal body, is an important component of animal cell membranes and an important precursor of steroid hormones, vitamin D₃ and bile acids. This article reviews the sources of dietary cholesterol, the cholesterol nutritional requirement of fish, and the metabolism of cholesterol in fish, as well as the regulation mechanism of cholesterol metabolism in fish, in order to benefit the efficient utilization of cholesterol in fish diets.

Keyword: cholesterol; fish; nutritional requirement; metabolism regulation;

脂类是鱼类的重要营养要素之一，胆固醇作为类脂的一种，是鱼体内最为丰富的固醇类化合物。胆固醇不仅是动物细胞膜的重要组成成分，还是类固醇激素、维生素 D₃ 及胆汁酸的重要前体物。在体内，胆固醇主要以游离胆固醇和胆固醇酯的形式存在，二者合称为总胆固醇。水生动物中，甲壳动物由于不能自身合成胆固醇，需要在其饲料中进行添加，而鱼类等脊椎动物能够合成胆固醇，通常认为胆固醇是鱼类的非必需营养物质，因此鱼类营养学家较少关注鱼类饲料胆固醇的营养生理作用^[1,2]。然而，近几年的报道表明，鱼类饲料中胆固醇的营养需求受饲料配方及鱼的种类等因素影响较显著。目前国内外对饲料胆固醇影响鱼类生长及代谢机理的研究还处于初步探讨阶段，本文主要对鱼类胆固醇的营养需求、鱼体内胆固醇代谢及其代谢的调控机制进行综述。

1 鱼类饲料胆固醇的来源

在当今的水产养殖中，出于环境和经济成本的考虑，鱼粉和鱼油越来越多地被植物性原料所代替。不同饲料原料中，胆固醇含量的差别较大，部分饲料原料中胆固醇含量见表 1。胆固醇是动物体内主要的甾醇类物质，因此动物原料中的胆固醇含量较高，而植物原料中胆固醇含量较低^[3]。植物原料中的甾醇类主要包括 β -谷甾醇、菜油甾醇及少量的豆甾醇和菜籽甾醇。这些植物固醇在动物体内会与肠道胆固醇进行竞争，抑制胆固醇的吸收并降低血液胆固醇的含量^[4]。研究表明，摄食大豆蛋白的虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[5]和大西洋鲑鱼(*Gadus morhua*)^[6]均存在低胆固醇效应，这种现象可能主要与植物原料中胆固醇的缺乏及植物甾醇的竞争有关^[7,8]。

表 1 常用饲料原料中胆固醇含量
Table 1 Cholesterol content in common feed ingredients^[2] %

项目 Items	含量 Content
牛脂 Beef tallow	0.1
猪油 Lard	0.095
家禽油 Poultry oil	0.077
鳕鱼肝油 Cod liver oil	0.57
太平洋鲱鱼油 Pacific herring oil	0.766
鲱鱼油 Herring oil	0.521
野生鲑鱼油 Wild salmon oil	0.485
沙丁鱼 Sardine fish oil	0.71
鱿鱼油 Squid oil	1.3

2 动物体内胆固醇的代谢

2.1 胆固醇的内源合成

肝脏是机体胆固醇合成的主要场所，也是维持胆固醇需求和血液胆固醇含量稳定的重要器官。胆固醇的稳态是维持正常生命活动的保障，不同动物合成胆固醇的能力存在显著差异。虾蟹类等甲壳动物不能自身合成胆固醇，所需要的胆固醇依靠外源性摄入^[2]。而对于鱼类等脊椎动物而言，机体自身能够利用乙酸合成胆固醇^[9]。胆固醇的生物合成可以分为 4 个阶段:甲羟戊酸合成、异戊二酸合成、鲨烯合成、胆固醇生成。羟甲基戊二酸辅酶 A 还原酶(HMGR)是胆固醇合成的主要限速酶^[10]。

2.2 胆固醇的分解与转化

胆固醇在体内不能被彻底氧化分解为二氧化碳和水，但其侧链可以被氧化、还原和降解，转化为固醇类物质。皮肤组织中的胆固醇可转化为维生素 D₃。胆固醇还可以与脂肪酸在胆固醇脂酰转移酶的催化作用下结合形成胆固醇酯，并通过脂蛋白运至其他组织中进行储存^[11]。

此外，由胆固醇转化为孕烯醇酮是所有类固醇激素(性类固醇激素和皮质类固醇)合成的第 1 步^[12,13]。所利用的胆固醇主要来源于贮存在脂滴中的胆固醇酯，以及通过选择性摄取获得的血浆脂蛋白^[14]。类固醇激素生物合成的限速步骤是胆固醇从肾上腺或性腺的线粒体外膜转移至线粒体内膜，由类固醇合成急性调节蛋白介导。随后在细胞色素 P450 胆固醇侧链裂解酶的催化作用下生成孕烯醇酮，从而转化为有活性的性激素(睾酮、雌二醇和孕酮)。类固醇激素会激活性腺发育，并在鱼类的整个生殖期发挥重要的调节作用。

胆固醇降解最重要的机制是转化为胆汁酸，主要包括经典途径和替代途径^[15,16]。胆固醇在肝脏中转化为胆汁酸后贮存于胆囊，在肠道中被重新吸收由门静脉进入肝脏，从而实现胆汁酸的肝肠循环。以胆汁酸盐的形式进入肠道未被吸收的胆固醇，一般是在细菌作用下转化为粪固醇或以残量胆固醇的形式排出体外。

2.3 胆固醇的转运

胆固醇在动物机体内主要以胆固醇酯的形式借助具有亲水性结构的脂蛋白通过血液进行运输^[14]。饲料中的脂类与载脂蛋白结合形成乳糜微粒,将外源胆固醇和甘油三酯从肠道运输到其他组织进行利用。在肝细胞中合成的极低密度脂蛋白(VLDL),主要将外源摄入和内源合成的胆固醇以及甘油三酯由肝脏运输到其他组织进行利用、贮存或代谢转化。在血液循环的过程中,VLDL在脂蛋白脂肪酶的作用下通过脱脂得到低密度脂蛋白(LDL),然后肝外组织在LDL受体的帮助下通过内吞作用对其进行摄取和胆固醇的利用。过多的胆固醇则被高密度脂蛋白(HDL)逆转运回肝脏进行降解清除,以维持体内胆固醇的稳态。

低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)/高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)比值作为胆固醇转运的标志,同时也是反映外周血管中胆固醇蓄积的指标^[17]。在以鱼粉为基础的饲料中添加胆固醇显著增加了LDL-C/HDL-C比值^[9,18],即增加了胆固醇在外周组织中的蓄积,而在以植物性蛋白质源为基础的饲料中添加胆固醇则该比值显著降低^[9,17,19,20]。

3 鱼类胆固醇营养需求

水产养殖对鱼粉鱼油具有很强的依赖性。为缓解鱼粉鱼油短缺对水产养殖可持续发展的影响,鱼粉鱼油替代逐渐成为目前鱼类营养研究的一大热点,也是产业应用的一大趋势。植物性原料由于可获得性高且相对廉价,正越来越多地被用在水产饲料中。以植物性原料部分或全部替代鱼粉鱼油后,一些必需氨基酸、脂肪酸和矿物质通常需要额外补充,但胆固醇等因子则容易被忽略,导致水产动物的生长以及机体成分可能受到胆固醇缺乏的影响。

由于鱼类等脊椎动物能够在体内合成胆固醇,目前很少有研究关注胆固醇在鱼类营养代谢中的作用及机理。然而,胆固醇的生物合成是一个高耗能的过程,合成1个胆固醇需要18个乙酰辅酶A、36个ATP和16个还原型辅酶II(NAD-PH)。若饲料中胆固醇含量较低,则会迫使养殖鱼类不断进行内源性胆固醇合成,产生大量能量消耗。因此,外源胆固醇对于鱼类营养生理的重要性和必要性需要重新进行评估。

3.1 饲料胆固醇对鱼类摄食和生长的影响

多年来,研究者针对鱼类胆固醇营养的研究主要集中于摄食和生长。在以动物性蛋白质源为基础的饲料中添加胆固醇对大西洋鲑(*Salmo salar* L.)^[18]、杂交条纹鲈(*Morone chrysops*×*M. saxatilis*)^[11]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[21]和团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[22]的生长均无显著影响;但以植物性蛋白质原料为饲料主要蛋白质源时,添加0.9%~2.0%的胆固醇能显著促进斑点叉尾(*Ictalurus punctatus*)^[23]、牙鲆(*Paralichthys*

olivaceus)^[9,24]、大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)^[17,19]、罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[25]和虹鳟^[20,26]的摄食与生长。并且,胆固醇对鱼类的营养生理作用具有剂量效应^[24,27,28],添加量过少不能满足鱼类对胆固醇的需求,而添加量过多则可能会导致机体的胆固醇代谢产生紊乱^[20]。对于以植物性蛋白质源为基础的饲料中补充适量胆固醇促进鱼体生长的解释,目前有 3 种观点,但确切机制还需要进一步研究。一种观点认为胆固醇在以植物性蛋白质源为基础的饲料中可能具有一定的促摄食作用^[17,23],而在以鱼粉为基础的饲料中,其促摄食作用得不到发挥^[29]。另一种观点认为外源性胆固醇的摄入弥补了饲料高植物性蛋白质导致的血液胆固醇含量降低,从而维持了脂类的正常生理代谢^[24]。还有一种观点认为胆固醇的促生长作用可能是因为减轻了植物性蛋白质饲料中抗营养因子的负面影响^[20]。然而,不论哪种机理,可以肯定的是,胆固醇对鱼体生理代谢的影响与饲料蛋白质源的性质及胆固醇的添加量密切相关。

饲料中的植物性蛋白质源经过不同处理后添加等量胆固醇对鱼类摄食和生长的影响也不尽相同。在以大豆分离蛋白为基础的饲料中添加 1%的胆固醇显著促进了牙鲆的摄食和生长,但在以大豆浓缩蛋白为基础的饲料中添加等量胆固醇却没有类似的作用^[2]。与之相似的结果是,在以大豆浓缩蛋白和小麦面筋粉为主要蛋白质源的饲料中添加 1.5%的胆固醇对大西洋鲑的生长也无显著影响^[30]。此外,在以 275.4 g/kg 豆粕为主要蛋白质源的饲料中添加 1%的胆固醇对石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*)的摄食和生长无显著影响^[31]。然而,在等量胆固醇添加的情况下,摄食豆粕使用量分别为 145 和 555 g/kg 饲料的大菱鲂^[17,19]与斑点叉尾^[23]的生长性能均得到显著提高。由此可见,饲料原料的处理方式、饲料蛋白质源的添加水平以及养殖鱼种类都对饲料胆固醇生理作用的发挥有重要影响。目前关于饲料胆固醇促进鱼类摄食和生长机理的研究仍然非常有限,因此需要在该领域进行更深入地研究,以阐明外源胆固醇的添加对鱼类生长和摄食的影响机制。

3.2 饲料胆固醇对鱼体营养组成的影响

肝脏中胆固醇的沉积量随饲料胆固醇含量的增多而上升^[1,17]。饲料中胆固醇的过度添加可能会造成肝脏中胆固醇的过度累积,引发肝脏损伤或组织病变^[27]。使用豆粕替代饲料中 45%的鱼粉后,牙鲆鱼体的粗脂肪和血清胆固醇含量显著降低^[24];而饲料中添加 1%左右的胆固醇显著提高了大菱鲂^[17]、牙鲆^[24]、虹鳟^[26]鱼体粗脂肪和血清胆固醇含量。与之类似的,当以脱脂鱼粉为主要蛋白质源时,在饲料中梯度添加(<2%)胆固醇显著升高了大菱鲆鱼体粗脂肪和血清胆固醇含量^[29]。与对鱼体粗脂肪含量的影响相对应,饲料中添加 1%的胆固醇

后,大西洋鲑的肝体指数(HSI)显著升高^[18]。脂蛋白脂肪酶(LPL)与肝脂酶(HL)是血液中参与脂肪分解代谢的 2 种关键酶,而激素敏感脂酶(HSL)是负责脂肪组织细胞中脂肪水解的限速酶之一。研究发现,饲料胆固醇对血液中 HL 活性的影响不显著,但显著提高了 LPL 和 HSL 的活性^[27]。这些研究出现饲料胆固醇影响鱼体粗脂肪含量的结果,可能是因为所添加的胆固醇能够在体内转化为胆汁酸,促进脂类物质的消化和吸收,从而促进了脂肪的累积^[24],但过多添加胆固醇又会造成脂质代谢紊乱,使得机体粗脂肪含量降低^[27]。与脂类沉积规律不同,在鲟鲈鱼类中,鱼体的粗蛋白质、水分和粗灰分含量均未受到饲料胆固醇添加量的显著影响^[24-29];在军曹鱼中,饲料胆固醇含量在一定范围内增加(0~0.8%)对鱼体粗蛋白质含量无显著影响,但当胆固醇含量继续增加(1.2%~2.0%)时,鱼体粗蛋白质含量显著增加^[27]。

表 2 鱼类胆固醇营养需求的相关研究
Table 2 Correlational researches on cholesterol nutritional requirements in fish

种类 Species	初始规格 Initial size	试验周期 Experiment duration	主要蛋白质源 Main protein source	胆固醇添加量 Cholesterol addition	简要结果 Summary results	参考文献 References
杂交条纹鲈 <i>Morone chrysops</i> × <i>M. saxatilis</i>	5.0 g	8 周	脱脂鱼粉	1%	对生长无显著影响	Sealey 等 ^[13]
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	(70.9±1.5) g	40 d	鱼粉; 酪蛋白	<25 g/kg	对生长无显著影响	徐登辉 ^[22]
大西洋鲑 <i>Salmo salar</i> L.	0.7 kg	175 d	鱼粉	1%	对生长无显著影响, 提高了鱼体肝体指数	Bjerkeng 等 ^[18]
	(362±95) g	77 d	大豆浓缩蛋白; 小麦筋粉	1.5%	对生长无显著影响, 使胆固醇生物合成减少, 胆汁酸合成增加	Kortner 等 ^[30]
军曹鱼 <i>Rachycentron canadum</i>	(108.2±3.0) g	7 周	40% 玉米蛋白粉; 16.8% 鱼粉	1%	对生长无显著影响, 提高了全鱼粗脂肪含量, 对全鱼粗蛋白质和粗灰分含量无显著影响	骆艺文 等 ^[21]
	(24.00±0.19) g	8 周	33% 豆粕; 17% 酪蛋白; 15% 鱼粉	0.4%	0.4% 促进生长, 过多添加则抑制生长; 鱼体粗蛋白质含量与胆固醇添加量成正比	陈强 等 ^[27]
斑点叉尾鲷 <i>Ictalurus punctatus</i>	7.0 g	8 周	豆粕	1%	促进摄食与生长	Twibell 等 ^[23]
牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	(3.03±0.05) g	70 d	豆粕蛋白替代 45% 鱼粉蛋白	1%	促进摄食与生长, 使鱼体粗脂肪和血清胆固醇含量提高, 对鱼体粗蛋白质、水分和粗灰分含量无显著影响	陈京华 等 ^[24]
	(1.93±0.02) g	8 周	大豆浓缩蛋白	1%	未促进摄食与生长	Deng 等 ^[9]
	(1.93±0.02) g	8 周	大豆分离蛋白	1%	促进摄食与生长	Deng 等 ^[9]
斜带石斑鱼 <i>Epinephelus coioides</i>	(84.30±0.25) g	10 周	酪蛋白	0.5%	0.5% 促进生长, 过多则抑制生长	张武财 等 ^[25]
石斑鱼 <i>Epinephelus lanceolatus</i>	(12.39±0.36) g	8 周	豆粕	1%	对生长和摄食无显著影响	Wu 等 ^[21]
罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i>	(374±15) mg	7 周	海蓬子粉	2%	促进生长	Rios-Durán 等 ^[25]

续表 2

种类 Species	初始规格 Initial size	试验周期 Experiment duration	主要蛋白质源 Main protein source	胆固醇添加量 Cholesterol addition	简要结果 Summary results	参考文献 References
大菱鲆 <i>Scophthalmus maximus</i>	(5.84±0.02) g	9 周	豆粕	1%	促进生长	Yun 等 ^[17]
	(5.84±0.02) g	9 周	豆粕	1%	促进摄食与生长	Yun 等 ^[19]
	(5.18±0.01) g	10 周	65% 脱脂鱼粉	<2%	生长率、鱼体脂肪以及血清胆固醇含量与胆固醇添加量成正比, 无促摄食作用	Zhu 等 ^[29]
虹鲟 <i>Oncorhynchus mykiss</i>	57.81 g	9 周	豆粕	1.2%	促进生长	Deng 等 ^[20]
	57.8 g	9 周	豆粕	0.9%~1.2%	提高免疫应答和对嗜水气单胞菌的抵抗力	Deng 等 ^[33]
	(69.91±0.30) g	4 周	棉籽粕或菜籽粕	0.9%	促进生长	Deng 等 ^[26]

此外,在大西洋鲑上的研究表明,饲料中添加 1%的胆固醇使得肝脏中棕榈酸(C16:0)、花生四烯酸(C20:4n-6,ARA)和二十二碳六烯酸(C22:6n-3,DHA)的相对含量显著降低,油酸(C18:1n-9)和二十碳烯酸(C20:1n-9)的相对含量显著升高,而粪便中饱和脂肪酸的相对含量显著降低,不饱和脂肪酸的相对含量显著升高^[18]。这说明胆固醇的添加不但会导致肝脏胆固醇的累积,还会对粪便和肝脏的脂肪酸组成产生一定的影响。

3.3 饲料胆固醇对鱼体健康的影响

胆固醇添加量过低或过高都会降低鱼体的免疫功能并加重其炎症反应。饲料中胆固醇含量的异常会降低草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)抗皮肤出血和损伤能力及相关免疫酶的活性^[32]。在以豆粕为基础的饲料中添加适量(0.9%~1.2%)的胆固醇可以提高虹鳟的免疫应答能力和抗嗜水气单胞菌能力^[33]。

本文就目前针对鱼类胆固醇营养需求的相关研究进行了总结,详见表 2。

4 胆固醇代谢的影响因素及调控机制

4.1 胆固醇代谢的影响因素

4.1.1 营养素

外源摄入的营养物质可以通过调节胆固醇代谢的相关因子及关键酶的活性来改变机体的胆固醇代谢,影响胆固醇稳态。胆固醇在机体内的运输与脂蛋白密切相关,而磷脂又是脂蛋白的重要组成成分,在胆固醇的转运过程中发挥着重要作用。韩冰^[34]研究发现,饲料中磷脂与胆固醇在影响半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)稚鱼的生长作用上具有很强的相关性,当饲料中不含磷脂时,随胆固醇含量的升高,特定生长率先升高后下降;而当饲料磷脂含量为 5.0%或 7.5%时,不添加胆固醇组的特定生长率显著高于胆固醇添加组。由此可见,在饲料中添加磷脂可以起到一定的节约胆固醇的作用。

升高狼鲈(*Dicentrarchus labrax*)饲料中碳水化合物的含量后,肝脏 HMGR 基因表达上调,胆固醇合成增多^[35]。在虹鳟中,投喂富含碳水化合物的饲料也导致了血浆胆固醇含量的增加^[36]。植物油替代鱼油使得大西洋鲑的胆固醇生物合成相关基因表达量升高^[37]。而本实验室在对红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)的研究中则发现,富含 n-6 多不饱和脂肪酸的油源倾向于升高总胆固醇含量而降低 HDL-C 含量^[38]。对长链多不饱和脂肪酸调节鲆鲽类性类固醇激素合成的作用,本实验室也进行了初步的研究,发现在半滑舌鳎饲料中 DHA/二十碳五烯酸(C20:5n-3,EPA)比例为 1.09 时显著促进了雌鱼雌二醇的生成,DHA/EPA 比例为 2.05 时显著促进了雄鱼睾酮的生成^[39]。饲料中的 ARA 亦可调节半滑舌鳎体内性类固醇激素的

合成,但其效果取决于鱼的性别和成熟阶段^[40]。大体来看,ARA对性类固醇激素合成的调控作用在性腺发育早期更加明显(相对于性腺发育后期),在雄鱼中更加明显(相对于雌鱼)^[40]。而且,相关研究结果还发现,3 β -羟基类固醇脱氢酶(3 β -HSD)可能是饲料脂肪酸调控半滑舌鳎性类固醇激素合成的重要靶标蛋白。本实验室在另一种鲆鲽鱼类大菱鲆中也进行了类似的相关试验,但与在半滑舌鳎中所得结果不同的是 ARA 的添加降低了亲鱼性类固醇激素的合成^[41]。饲料中添加抗坏血酸会增加虹鳟血清总胆固醇和 LDL 及粪便胆汁酸含量,上调肝脏 HMGR 和胆固醇 7 α -羟化酶(CYP7A1)的表达,降低肝脏 LDL 受体含量和血清皮质醇含量^[42]。

抗坏血酸的添加不仅促进了肝脏胆固醇的合成,也有助于肝脏胆固醇向胆汁酸的转化。此外,本实验室最近的一项研究表明红鳍东方鲀饲料中牛磺酸的添加显著影响了胆固醇代谢^[43]。与对照组(饲料牛磺酸含量为 0.17%)相比,饲料牛磺酸含量为 1.40%时显著升高了肝脏及血清中总胆固醇和 HDL-C 的含量,但对 LDL-C 的含量却没有显著影响;而且,肝脏中 HMGR 基因表达量及卵磷脂胆固醇酰基转移酶的活性也显著升高^[43]。与上述结果不同的是,在黄条(*Seriola dorsalis*)中没有观察到饲料牛磺酸含量对胆固醇代谢有显著影响^[44]。本实验室对红鳍东方鲀的另外一项研究中,通过肝脏脂质组学分析发现,饲料中高水平的蛋氨酸增加了胆固醇酯的丰度^[45]。

当然,低胆固醇含量的饲料原料替代鱼粉会影响胆固醇代谢,但这种影响可能主要是胆固醇含量的变化而非其他营养成分的变化所带来。例如,以脱脂豆粕替代鱼粉会降低虹鳟血浆胆固醇和甘油三酯的含量^[46]。饲料中添加 450~600 g/kg 橡胶籽粕可降低杂交罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)肝脏 HMGR、CYP7A1 活性和 LDL 受体含量^[47]。此外,饲料营养水平的不同对机体胆固醇代谢产生的影响也不同。饥饿和禁食处理会减少机体 HMGR 的合成,从而抑制肝脏胆固醇的合成^[48]。最后,值得一提的是,植物固醇的添加可能会抑制外源性胆固醇的吸收,增加肝脏合成胆固醇的能力,这在大鼠中得到了证实^[49],但是在鱼类中尚未有相关报道发表。

4.1.2 非营养性饲料添加剂

大豆皂苷具有热稳定性,是三萜系化合物配糖体。饲料中添加 300 mg/kg 的皂苷可以显著提高尼罗罗非鱼肌肉胆固醇的含量^[50],但是在以鱼粉为基础的饲料中添加大豆皂苷对大菱鲆胆固醇代谢无显著影响^[4]。赵峰等^[51]研究表明,在罗非鱼饲料中分别以及联合添加果寡糖和枯草芽孢杆菌,均能使得机体血清甘油三酯及胆固醇含量下降。

4.1.3 环境因素

鱼类作为一种水生脊椎动物，其生长及生理代谢受环境因子如盐度、密度以及水污染的影响较大。盐度是影响鱼类生长和生存的重要环境因子之一，金枪鱼(*Trachinotus ovatus*)血清胆固醇含量随水环境盐度的增加先降低后升高，当盐度为 25‰时机体血清胆固醇含量最低^[52]。随着饲养密度的增加，团头鲂血清中的皮质醇和甘油三酯含量显著增加，而总胆固醇含量显著下降^[53]。当对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)进行急性氨氮胁迫时，对照组与试验组间血清胆固醇含量无显著差异^[54]。此外，重金属和人工合成药物的不恰当处理会导致脂质调节类药物被排放到水环境中成为污染物，通过水环境干扰鱼类的脂质代谢^[55]。对成年斑马鱼(*Danio rerio*)分别投喂喷洒有吉非罗齐和阿伐他汀的饲料后，发现雌鱼和雄鱼的胆固醇含量均显著降低^[56]。

4.2 胆固醇代谢的调控机制

4.2.1 激素调节

激素是调节胆固醇代谢的重要因素之一，主要通过促使 HMGR 磷酸化(非活性)和去磷酸化(活性)的发生影响胆固醇的合成。可对胆固醇代谢产生调节作用的激素主要包括胰岛素、胰高血糖素、甲状腺激素和皮质醇等。胰高血糖素会促进 HMGR 的磷酸化，从而抑制胆固醇的合成^[11]，胰岛素的作用与之相反。此外，胰岛素和甲状腺激素还可以通过诱导 HMGR 的合成来促进胆固醇的合成。

4.2.2 胆固醇的负反馈调节

细胞内胆固醇的含量可以负反馈调节胆固醇的合成代谢，主要是通过调节胆固醇合成的主要限速酶 HMGR 来实现的^[10]。肝脏 HMGR 的活性以及 mRNA 水平的反馈调节有助于实现机体的胆固醇稳态^[57,58]。HMGR 的合成与降解都受到胆固醇含量的调控，当机体内胆固醇含量超过正常水平时，HMGR 的转录减少且降解增加，从而减少机体胆固醇的合成。相关研究表明，随着饲料胆固醇含量的增加，鱼类肝脏中 HMGR 的表达量显著降低^[17,20,59]。并且，与植物性蛋白质组相比，鱼粉组黄尾鲷肝脏中 HMGR 的表达量显著降低^[10]。与之相对应的是，胆汁酸合成关键酶 CYP7A1 的表达量显著上升。这表明胆固醇底物的增加促进了胆汁酸的合成，从而增加了胆汁酸的转化率^[30]。

5 小结与展望

鱼类能够自身合成胆固醇，但外源胆固醇的添加在鱼类饲料中的必要性目前存在争议，尤其是在“不含胆固醇的植物性原料在水产饲料中应用越来越广泛”这一大背景下，在高植

物性蛋白质饲料中添加外源性胆固醇的必要性需要重新进行系统的评估。目前关于鱼类胆固醇营养需求的评估仍然仅仅局限在对鱼类摄食、生长性能和体成分的关注上。然而,胆固醇作为一种重要的类脂质及载脂蛋白的重要组成成分,其对鱼体脂质代谢的影响及相关调节机制值得进行深入研究。此外,胆固醇代谢的鱼类种属差异、鱼类不同生长阶段间胆固醇的营养需求差异、不同饲料原料及其他营养素对胆固醇代谢的影响也需要进行进一步评估和深入研究。此外,目前关于胆固醇代谢途径的研究多集中于哺乳动物,相关代谢途径在鱼类中是否完全保守,也需要大量试验进行科学验证。

参考文献:略

原文刊登在《动物营养学报录用定稿》网络首发时间:2020-10-20 16:00:26

科学研究

饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长性能、抗氧化指标及抗胁迫能力的影响

王咏梅 陈冰 王国霞 曹俊明 黄燕华 莫文艳 彭凯 赵红霞

广东省农业科学院动物科学研究所 上海海洋大学水产与生命学院 农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室 广东省畜禽育种与营养研究重点实验室

摘要: 为了探讨桑叶黄酮对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长性能、体成分、血清生化 and 抗氧化指标的影响,选用初始体重为(1.32±0.01) g 的凡纳滨对虾 960 尾,随机分为 6 组(每组 4 个重复,每个重复 40 尾),分别投喂在基础饲料中添加 0、10 mg/kg、50 mg/kg、100 mg/kg、150 mg/kg 和 300 mg/kg 桑叶黄酮的实验饲料,饲养 50 d 后测定成活率、生长相关指标、血清生化指标、抗氧化指标及抗低氧胁迫能力。结果显示,饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾成活率、增重率、特定生长率、饲料系数等无显著影响(P>0.05)。饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾体成分无显著性影响(P>0.05)。添加 150 mg/kg 和 300 mg/kg 桑叶黄酮可显著提高凡纳滨对虾血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性(P<0.05)。添加 10~300mg/kg 桑叶黄酮可显著提高血清和肝脏总抗氧化能力,显著降低肝胰腺丙二醛和脂质过氧化物的含量,添加 50mg/kg 桑叶黄酮可提高血清谷胱甘肽过氧化物酶的活性(P<0.05)。低氧胁迫 2h 时,10 mg/kg、50 mg/kg 组的累计死亡率显著低于对照组(P<0.05);在低氧胁迫 4 h 时,10 mg/kg、50 mg/kg、100 mg/kg 组的累计死亡率显著低于对照组(P<0.05)。结果表明,以血清总抗氧化能力为评价指标进行回归分析得出,桑叶黄酮在凡纳滨对虾饲料中的适宜添加量为 56.18 mg/kg,添加 10~100mg/kg 桑叶黄酮可提高凡纳滨对虾抗低氧胁迫能力。

关键词: 桑叶黄酮; 凡纳滨对虾; 生长性能; 抗氧化; 低氧胁迫;

Effects of dietary mulberry leaf flavonoids on growth performance, antioxidant indices, and anti-hypoxic stress

WANG Yongmei CHEN Bing WANG Guoxia CAO Junming HUANG Yanhua MO Wenyan PENG Kai ZHAO

Hongxia

Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary mulberry leaf flavonoids on growth performance, serum biochemical parameters, antioxidant indices and anti-hypoxic stress ability of *Litopenaeus vannamei*. A total of 960 *L. vannamei* individuals (initial body weight: 1.32 ± 0.01 g) were divided into 6 groups, with 4 replicates per group and 40 shrimp per replicates. Six diets were formulated to contain 0 mg/kg, 10 mg/kg, 50 mg/kg, 100 mg/kg, 150 mg/kg, and 300 mg/kg diet of mulberry leaf flavonoids. The trial ran for 50 days. The survival rate, growth related indicators, serum biochemical indexes, antioxidant index and resistance to hypoxia stress were determined. The results indicated that: (1) there were no significant differences in the survival rate (SR), weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), or feed conversion ratio (FCR) among the groups ($P > 0.05$). WGR was highest in the 50 mg/kg group, 6.76% higher than the control group. (2) There were no significant effects on whole-body composition ($P > 0.05$). (3) Adding 150 mg/kg and 300 mg/kg of mulberry leaf flavonoids to the diet significantly increased the activities of aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) in the serum of *L. vannamei* ($P < 0.05$). (4) Adding 10-300 mg/kg of mulberry leaf flavonoids to the diet significantly increased the total antioxidant capacity (T-AOC) in the serum and liver, and significantly decreased the malondialdehyde (MDA) and lipid peroxide (LPO) contents in the liver of *L. vannamei*. Adding 50 mg/kg mulberry leaf flavonoids significantly increased glutathione peroxidase (GSH-Px) activity in the serum ($P < 0.05$). (5) After 2 h of hypoxic stress, the cumulative mortality of the 10 mg/kg and 50 mg/kg groups were significantly lower than the control group, and after 4 h, the cumulative mortality of the 10 mg/kg, 50 mg/kg, and 100 mg/kg groups were significantly lower than the control group ($P < 0.05$). In conclusion, the evaluative index of T-AOC in the serum and regression equation analyses showed that the optimal supplemental level of mulberry leaf flavonoids in the diet of *L. vannamei* was 56.18 mg/kg. Adding 10-100 mg/kg mulberry leaf flavonoids to the diet improved the anti-hypoxic stress ability of *L. vannamei*.

Keyword: mulberry leaf flavonoids; *Litopenaeus vannamei*; growth performance; antioxidant; hypoxic stress;

黄酮类化合物(flavonoids)是一类化学结构相似的植物次生代谢产物,具有抗癌^[1,2]、抗氧化^[3,4]、调节脂代谢^[5,6]、抗菌抗病毒^[7,8]、抗炎^[9]等生理功能。黄酮类化合物作为一种天然、绿色、环保抗氧化剂,可提高鱼类生长性能和抗氧化能力。水飞蓟素(从水飞蓟果实中分离得到的一种黄酮类抗氧化剂)能够显著提高草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的增重率和特定生长率,降低饲料系数^[10]。在饲料中添加槐属植物黄酮能显著提高罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的增重率、特定生长率、蛋白质效率和肥满度并降低饲料系数^[11],在饲料中添加 10~20 mg/kg 的大豆黄酮能降低大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼血清丙二醛(MDA)水平,显著提高血清超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性,提高抗氧化能力^[12]。桑叶黄酮为从桑叶中提取的黄酮类化合物,本实验室前期实验结果表明,在吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*, GIFT)饲料中添加适量的桑叶黄酮可提高吉富罗非鱼抗氧化能力^[13,14],但在甲壳动物上尚未见报道。凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是中国重要的经济养殖水产动物之一,其快速发展的集约化、高密度的养殖模式,常伴随水质污染、疾病暴发等一系列问题,造成成活率、对抗氧化能力下降等后果。因此,本研究以凡纳滨对虾为实验对象,探讨桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长性能、体成分、血清生化和抗氧化指标的影响,研究结果将为桑叶黄酮在甲壳动物上的应用提供理论基础,为对虾饲料中适宜添加量提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉、豆粕和花生麸为蛋白源,鱼油和磷脂油为脂肪源,高筋面粉为糖源配制基础饲料,其配方及营养水平见表 1。在基础饲料中分别添加 0、10 mg/kg、50 mg/kg、100 mg/kg、150 mg/kg、300 mg/kg 桑叶黄酮,配制 6 种实验饲料,分别标记为 G0、G10、G50、G100、G150、G300。桑叶黄酮(主要成分为黄酮和黄酮醇类,纯度为 81.40%)由广东省农业科学院蚕业与农产品加工所提供。饲料原料经粉碎后过 60 目筛,微量成分采取逐级扩大法添加,桑叶黄酮先溶于水配制成液体,将该液体与混合好的饲料原料均匀混合,保持足够水分,在 NH-10 捏合机中加入鱼油和磷脂油,混合均匀后,用 SLX-80 型双螺杆挤压机(华南理工大学科技实业总厂生产)和 G-500 型造粒机(华南理工大学科技实业总厂生产)制成粒径为 1.5 mm 的颗粒饲料,55℃烘干,自然冷却,筛去粉末和破碎小颗粒饲料后放入封口袋排出空气密封,于-20℃冰箱中保存备用。

1.2 实验虾与饲养管理

实验虾购于广东中山市龙泽水产养殖有限公司,置于 3.0 m×2.0 m×1.2 m 的水泥池中暂

养 2 周,每天投喂对照组饲料两次。饲养实验在广东省农业科学研究院动物科学研究所水产室进行,使用直径 80 cm,高 70 cm,体积约 300 L 的玻璃纤维桶进行养殖,采用室内循环养殖系统。选取初始体重为 (1.32 ± 0.01) g 的凡纳滨对虾 960 尾,随机分为 6 组,每组 4 个重复,每个重复 40 尾虾。分别饲喂基础饲料和 5 种实验饲料,以饱食投喂的方式每天投喂 3 次(8:00、14:00 和 20:00)。养殖水体为天然海水和自来水混合后的淡咸水,经过滤、消毒后加入养殖系统,盐度为 5~6,每周换水 2 次,每次换水量为总水量的 1/3,从养殖第 4 周开始每天排污(约占总水量 1/10)。养殖期间氨氮 ≤ 0.2 mg/L,亚硝酸盐 ≤ 0.05 mg/L,溶氧 ≥ 7.0 mg/L,采用自然光照,水温 27~30℃。实验周期 50 d。

1.3 样品采集

养殖实验结束后,禁食 24 h,称重和计数,计算存活率(survival rate,SR)、增重率(weight gain rate,WGR)、特定生长率(specific growth rate,SGR)、饲料系数(feed conversion ratio,FCR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio,PER)等。每个重复随机取 5 尾虾,用于体成分测定,包括水分(moisture)、粗蛋白(crude protein,CP)、粗脂肪(ether extract,EE)、粗灰分(ash)。每个重复随机取 14 尾,用 1 mL 注射器围心腔采血,于离心管中,4℃静置 24 h,取上清液于-80℃保存,用于血清生化指标和酶活测定。每个重复随机取 6 尾测体长、体重,解剖并分离内脏,用于肥满度(condition factor,CF)、肝胰腺指数(hepatosomatic index,HSI)计算。肝胰腺和肌肉于 2 mL 离心管中-80℃保存,用于酶活测定。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能各参数按下列公式进行计算:

存活率(SR,%)= $100\times$ 终末尾数/初始尾数;

增重率(WGR,%)= $100\times$ (终末平均体重-初始平均体重)/初始平均体重;

特定生长率(SGR,%/d)= $100\times[\ln(\text{终末平均体重}+\text{死亡体重})-\ln \text{初始平均体重}]/\text{饲养天数}$;

饲料系数(FC)=投饲总量/(终末体重+死亡体重-初始体重);

蛋白质效率(PER,%)= $100\times$ (终末体重+死亡体重-初始体重)/(饲料摄入量 $\times$ 饲料粗蛋白含量);

肥满度(CF,g/cm³)= $100\times$ 体重/体长³;

肝胰腺指数(HSI,%)= $100\times$ 肝脏重/体重;

摄食量(FI,g/尾)=投饲总量/[(初始尾数+终末尾数)/2]

1.4.2 体成分

水分的测定为 105℃烘干至恒重法(GB/T 6435-2014);粗蛋白的测定为凯氏定氮法(GB/T 6432-2018);粗脂肪的测定为索氏抽提法(GB/T 6433-2006);粗灰分的测定为箱式电阻炉 550℃灼烧法(GB/T 6438-2007)。

表 1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)
Tab. 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)

		%
项目 item	含量 content	
原料 ingredient		
鱼粉 fish meal	23	
豆粕 soybean meal	21	
花生麸 peanut bran	12	
乌贼膏 squid paste	3	
虾壳粉 shrimp shell meal	5	
高筋面粉 high gluten flour	26.5	
鱼油 fish oil	3	
磷脂油 phosphatidic oil	1.5	
胆固醇 cholesterol	0.2	
维生素 C 酯 vitamin C ester	0.1	
胆碱 choline	0.3	
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.5	
维生素预混料 ¹⁾ vitamin premix ¹⁾	0.2	
矿物质预混料 ²⁾ mineral premix ²⁾	0.5	
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	2	
食盐 NaCl	0.2	
合计 total	100.00	
营养水平 ³⁾ nutrient level ³⁾		
粗蛋白质 crude protein (CP)	40.08	
灰分 ash	9.79	
粗脂肪 ether extract (EE)	8.5	
水分 moisture	6.37	

注: 1) 每千克维生素预混料含维生素含: 维生素 A 4000000 IU, 维生素 D 2000000 IU, 维生素 K₃ 10 g, 维生素 B₁ 5 g, 维生素 B₂ 15 g, 维生素 B₆ 8 g, 维生素 B₁₂ 0.02 g, 泛酸钙 25 g, 叶酸 2.5 g, 生物素 0.08 g, 烟酸 40 g, 肌醇 150 g.
2) 每千克矿物质预混料含: 一水硫酸镁 12 g; 氯化镁 90 g; 蛋氨酸-铜 3 g; 一水硫酸铁 1 g; 一水硫酸锌 10 g; 碘酸钙 0.06 g; 蛋氨酸-钴 0.16 g; 硒酸钠 0.0036 g.
3) 营养水平为实测值.
Note: 1) One kg of multi-vitamin premix containing: vitamin A 4000000 IU, vitamin D 2000000 IU, vitamin K₃ 10 g, vitamin B₁ 5 g, vitamin B₂ 15 g, vitamin B₆ 8 g, vitamin B₁₂ 0.02 g, calcium pantothenic 25 g, folic acid 2.5 g, biotin 0.08 g, nicotinic acid 40 g, inositol 150 g.
2) One kg of mineral premix containing: MgSO₄·H₂O 12 g, MgCl₂ 90 g, Met-Cu 3 g, Met-Co 0.16 g, FeSO₄·H₂O 1 g, ZnSO₄·H₂O 10 g, CaH₄I₂O₆ 0.06 g, Na₂SeO₄ 0.0036 g.
3) Nutrient levels were measured values.

1.4.3 血清生化指标

应用金域医学检验中心全自动生化分析仪检测,包括总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、尿酸(UA)、甘油三酯(TG)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、胆固醇(CHOL)、血糖(GLU)等。

1.4.4 血清、肝胰腺抗氧化指标

采用南京建成生物工程研究所试剂盒,检测血清、肝胰腺抗氧化酶活,主要指标包括总抗氧化能力(total antioxidant capacity,T-AOC)、丙二醛(malondialdehyde,MDA)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,SOD)、过氧化氢酶(catalase,CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase,GSH-Px)、脂质过氧化物(lipid peroxide,LPO)等。

1.4.5 低氧应激实验

饲养实验结束后,每桶随机选取 12 尾虾进行低氧胁迫实验,方法参照 Mugnier 等^[15]、Zeng 等^[16]并做适当调整。低氧胁迫开始前,将循环水关闭,每桶中水量下调至 60 L,水面距离桶底约 12 cm,将 1 层透明的悬浮薄膜覆盖在水面上,防止空气和水体中氧气交换。实验期间使用便携式溶氧仪(Seven2Go,Mettler Toledo,美国)每隔 30 min 监测 1 次水体溶氧量。当水体溶氧量由饱和状态(7.0 mg/L 左右)下降至低氧状态(0.6 mg/L)时,记录每桶实验起始时间以及虾的死亡情况。当 G0 组(未添加组)中虾的死亡率达到 50%时,终止低氧胁迫实验。

累计死亡率(cumulative mortality rate,CMR,%)=低氧胁迫后死亡虾尾数/低氧胁迫虾尾数×100

1.5 数据统计分析

结果用平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。采用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计学分析,进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 多重比较, $P < 0.05$ 认为差异显著。

2 结果与分析

2.1 桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长性能的影响

如表 2 所示,在饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾 FBW、WGR、SR、SGR、FCR 以及 FC 和 HSI 无显著影响($P > 0.05$),但 50 mg/kg 组 FBW、WGR、SGR 比对照组分别高出 6.07%、6.76%和 2.83%。50 mg/kg 组摄食量显著高于对照组($P < 0.05$),300 mg/kg 组摄食量显著低于对照组($P < 0.05$)。300 mg/kg 组蛋白质效率显著高于对照组($P < 0.05$)。

表 2 桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长性能的影响
Tab. 2 Effects of mulberry leaf flavonoids on growth performance of *Litopenaeus vannamei*
n=4; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	添加量/(mg/kg) supplementation					
	0	10	50	100	150	300
初始体重/g IBM	1.32±0.01	1.32±0.01	1.32±0.01	1.32±0.01	1.32±0.01	1.32±0.01
终末体重/g FBW	12.52±0.44	12.43±0.57	13.28±0.53	12.48±0.48	12.36±0.67	12.56±0.96
增重率/g WGR	848.57±33.18	841.30±37.92	905.95±40.33	846.69±46.20	837.55±43.79	851.04±65.61
成活率/% SR	88.64±2.71	88.00±5.96	89.73±3.70	93.30±3.46	90.22±6.87	89.91±3.41
特定生长率/(%/d) SGR	4.24±0.07	4.23±0.07	4.36±0.08	4.24±0.09	4.22±0.09	4.29±0.13
肥满度/(g/cm ³) FC	0.79±0.01	0.80±0.02	0.79±0.03	0.80±0.04	0.81±0.01	0.79±0.03
肝胰腺指数/% HSI	5.04±0.38	4.79±0.35	4.83±0.14	4.84±0.34	5.22±0.26	4.85±0.11
饲料系数 FCR	1.19±0.06	1.18±0.04	1.18±0.02	1.20±0.02	1.21±0.05	1.16±0.06
摄食量/(g/尾) FI	13.36±0.29 ^{ab}	14.12±0.55 ^b	14.87±0.45 ^c	13.70±0.19 ^{ab}	13.69±0.38 ^{ab}	13.27±0.33 ^a
蛋白质效率/% PER	194.47±4.71 ^a	190.39±5.98 ^a	194.39±2.77 ^a	198.72±3.68 ^a	191.47±4.79 ^a	212.99±8.8 ^b

注：同行数据上标字母不同表示组间存在显著差异(P<0.05).
Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

2.2 桑叶黄酮对凡纳滨对虾体成分的影响

由表 3 可知,在饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾体成分并无显著影响(P>0.05)。

表 3 桑叶黄酮对凡纳滨对虾体成分的影响(湿重基础)
Tab. 3 Effects of mulberry leaf flavonoids on body composition of *Litopenaeus vannamei* (wet weight basis)
n=4; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	添加量/(mg/kg) supplementation					
	0	10	50	100	150	300
水分 moisture	76.77±1.01	77.33±0.90	76.44±0.86	76.74±0.84	76.63±1.22	76.35±1.21
粗蛋白 crude protein	18.56±0.65	17.82±1.01	17.95±0.56	17.55±0.49	17.45±0.60	17.75±0.36
粗脂肪 ether extract	1.46±0.25	1.53±0.22	1.48±0.22	1.41±0.20	1.44±0.30	1.59±0.29
灰分 ash	2.59±0.10	2.56±0.13	2.68±0.13	2.66±0.15	2.71±0.21	2.68±0.29

注：同行数据上标字母不同表示组间存在显著差异(P<0.05).
Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different (P<0.05).

2.3 桑叶黄酮对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

由表 4 可知,在饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾血清中 ALB、GLB、TP 无显著性影响(P>0.05)。CHO 含量在 10 mg/kg 组最低,300 mg/kg 组最高,但 LDL 和 HDL 含量各组间无显著性差异(P>0.05)。150 mg/kg 组和 300 mg/kg 组 ALT 和 AST 显著高于对照组(P<0.05)。与对照组相比,实验组尿酸含量均有增加,150 mg/kg 组尿酸含量最高。血糖和甘油三酯并无显著性差异(P>0.05)。

表 4 桑叶黄酮对凡纳滨对虾血清生化指标的影响
Tab. 4 Effects of mulberry leaf flavonoids on serum biochemical indices of *Litopenaeus vannamei*

n=4; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	添加量/(mg/kg) supplementation					
	0	10	50	100	150	300
白蛋白/(g/L) ALB	43.80±4.26	41.98±3.20	43.05±4.28	42.18±3.37	42.10±1.71	43.83±3.17
球蛋白/(g/L) GLB	35.15±3.97	30.78±3.41	34.25±4.69	33.18±2.34	32.58±2.75	35.68±2.80
总蛋白/(g/L) TP	78.95±8.16	72.75±6.39	77.30±8.90	75.35±5.05	74.68±4.37	79.5±5.49
胆固醇/(mmol/L) CHO	1.99±0.22 ^{ab}	1.70±0.15 ^a	2.00±0.20 ^{ab}	1.86±0.23 ^{ab}	1.83±0.25 ^{ab}	2.04±0.17 ^b
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) LDL	0.02±0.01	0.03±0.02	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.02	0.02±0.01
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) HDL	0.02±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01
甘油三酯/(mmol/L) TG	1.26±0.12	1.27±0.23	1.26±0.13	1.26±0.21	1.35±0.36	1.35±0.19
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	285.50±16.03 ^b	277.00±20.52 ^{ab}	256.25±37.42 ^{ab}	247.75±16.34 ^a	341.75±17.50 ^c	341.00±11.53 ^c
谷草转氨酶/(U/L) AST	246.67±32.47 ^a	219.67±45.00 ^a	284.75±46.65 ^a	253.50±41.04 ^a	349.75±41.37 ^b	353.33±16.74 ^b
葡萄糖/(mmol/L) Glu	4.51±0.70	3.64±0.22	4.64±0.60	3.94±0.32	3.79±0.83	4.38±0.95
尿酸/(nmol/L) UA	69.00±9.54 ^a	83.75±13.43 ^{ab}	91.50±6.95 ^b	77.00±8.72 ^{ab}	92.25±8.81 ^b	71.67±8.81 ^a

注: 同行数据上标不同表示组间存在显著差异($P<0.05$).

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

2.4 桑叶黄酮对凡纳滨对虾抗氧化指标的影响

由表 5 可知,对于血清抗氧化指标,添加桑叶黄酮组血清 T-AOC 显著高于对照组,50 mg/kg 组血清 T-AOC 最高且显著高于其他各组($P<0.05$)。10 mg/kg 组 SOD 活性显著高于对照组($P<0.05$)。50 mg/kg 组 GSH-Px 活性显著高于对照组($P<0.05$),比对照组提高了 81.92%。10 mg/kg、50 mg/kg、100 mg/kg 和 150 mg/kg 组 CAT 活性显著低于对照组($P<0.05$),100 mg/kg 组最低。150 mg/kg 组 MDA 含量显著低于其对照组($P<0.05$)。50 mg/kg 组 LPO 含量最低且显著低于对照组($P<0.05$)。通过线性回归分析桑叶黄酮添加量(X)与血清 T-AOC(Y)之间的关系,得到 0~100 mg/kg 桑叶黄酮添加量与血清 T-AOC 的回归方程为: $Y=-0.0011X^2+0.1236X+3.6324$ ($R^2=0.9439$),100、150 和 300 mg/kg 组无显著性差异($P>0.05$)。由方程得出,血清 T-AOC 最高值时,桑叶黄酮的添加量为 56.18 mg/kg。

表 5 桑叶黄酮对凡纳滨对虾血清抗氧化指标的影响
Tab. 5 Effects of mulberry leaf flavonoids on antioxidant indices in serum of *Litopenaeus vannamei*

n=4; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	添加量/(mg/kg) supplementation					
	0	10	50	100	150	300
总抗氧化能力/(U/mL) T-AOC	3.73±0.19 ^a	4.63±0.34 ^b	7.21±0.49 ^d	5.38±0.38 ^c	4.37±0.38 ^b	4.62±0.40 ^b
超氧化物歧化酶/(U/mL) SOD	7.45±0.81 ^b	8.64±0.28 ^c	6.82±0.44 ^{ab}	6.25±0.21 ^a	7.10±0.38 ^{ab}	6.22±0.31 ^{ab}
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/mL) GSH-Px	54.49±4.90 ^a	48.79±2.47 ^a	99.13±6.27 ^c	53.37±2.73 ^a	64.44±3.71 ^b	55.69±5.61 ^a
过氧化氢酶/(U/mL) CAT	7.20±0.65 ^c	6.22±0.35 ^{ab}	6.20±0.56 ^{ab}	5.47±0.06 ^a	6.65±0.65 ^b	7.09±0.50 ^c
丙二醛/(nmol/mL) MDA	20.31±1.12 ^{bc}	20.20±0.89 ^{bc}	21.31±1.10 ^c	20.19±1.75 ^{bc}	18.35±0.96 ^a	19.12±0.71 ^{ab}
脂质过氧化物/(μmol/L) LPO	8.55±0.30 ^{ab}	8.85±0.20 ^{ab}	8.25±0.45 ^a	9.56±0.63 ^b	10.93±0.64 ^c	9.26±0.48 ^{ab}

注: 同行数据上标字母不同表示组间存在显著差异($P<0.05$).

Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

由表 6 可知,对于肝胰脏抗氧化指标,添加组肝胰腺 T-AOC 显著高于对照组($P<0.05$),50

mg/kg 组最高,且比对照组增加了 176%。对照组 SOD 活性最高,50 mg/kg 组最低。GSH-Px 活性呈降低后升高趋势,300 mg/kg 组最高,显著高于其他各组($P<0.05$)。添加组 CAT 活性显著降低($P<0.05$)。添加组 MDA 含量显著低于对照组($P<0.05$),且在 100 mg/kg 组 MDA 含量最低。添加组 LPO 含量显著降低($P<0.05$),在 50 mg/kg 组 LPO 含量最低。

表 6 桑叶黄酮对凡纳滨对虾肝胰腺抗氧化指标的影响
Tab. 6 Effects of mulberry leaf flavonoids on antioxidant indices in hepatopancreas of *Litopenaeus vannamei*
 $n=4$; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	添加量/(mg/kg) supplementation					
	0	10	50	100	150	300
总抗氧化能力/(U/mg prot) T-AOC	1.29±0.15 ^a	3.11±0.37 ^d	3.56±0.22 ^c	2.49±0.39 ^c	3.26±0.07 ^{de}	1.83±0.12 ^b
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	3.97±0.38 ^c	2.76±0.26 ^b	2.27±0.28 ^a	2.55±0.29 ^{ab}	3.80±0.15 ^c	2.57±0.29 ^{ab}
谷胱甘肽过氧化物酶/(U/mL) GSH-Px	29.37±1.45 ^b	27.29±0.60 ^{ab}	24.68±0.79 ^a	25.50±2.65 ^a	29.68±2.22 ^b	45.72±3.67 ^c
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	4.29±0.19 ^c	1.45±0.03 ^b	1.31±0.08 ^b	0.48±0.11 ^a	1.87±0.29 ^c	3.74±0.29 ^d
丙二醛/(nmol/mg prot) MDA	8.19±0.70 ^c	2.54±0.63 ^b	1.51±0.20 ^b	0.53±0.06 ^a	1.18±0.21 ^b	1.19±0.12 ^b
脂质过氧化物/(μmol/g prot) LPO	52.19±1.52 ^d	33.99±1.33 ^c	21.15±1.42 ^a	23.58±1.75 ^b	22.78±1.39 ^{ab}	22.94±0.37 ^{ab}

注: 同行数据上标字母不同表示组间存在显著差异($P<0.05$).
Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

2.5 桑叶黄酮对凡纳滨对虾低氧胁迫累计死亡率的影响

由表 7 可知,对照组、150 mg/kg 和 300 mg/kg 组 3 组累计死亡率较高且相近,10 mg/kg、50 mg/kg 和 100 mg/kg 3 组累计死亡率较低且相近。在低氧胁迫 2 h 时,10 mg/kg 和 50 mg/kg 组累计死亡率显著低于对照组($P<0.05$);在低氧胁迫 4 h 时,10 mg/kg、50 mg/kg 和 100 mg/kg 组累计死亡率显著低于对照组($P<0.05$)。

表 7 桑叶黄酮对凡纳滨对虾低氧胁迫累计死亡率的影响
Tab. 7 Effects of mulberry leaf flavonoids on cumulative mortality rate of *Litopenaeus vannamei* suffered hypoxic challenges
 $n=4$; $\bar{x} \pm SD$

项目 item	添加量/(mg/kg) supplementation					
	0	10	50	100	150	300
2 h 累计死亡率/% 2 h cumulative mortality rate	29.17±4.81 ^b	20.83±4.81 ^a	20.83±4.81 ^a	22.92±4.17 ^{ab}	27.08±4.17 ^{ab}	29.17±4.81 ^b
4 h 累计死亡率/% 4 h cumulative mortality rate	52.08±4.17 ^c	39.58±7.98 ^a	39.58±4.17 ^a	41.67±6.80 ^{ab}	47.92±4.17 ^{abc}	50.00±6.80 ^c

注: 同行数据上标字母不同表示组间存在显著差异($P<0.05$).
Note: Values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长性能的影响

本研究在饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长性能包括终末体重、增重率、成活率、特定生长率无显著性影响。黄酮类化合物对动物生长的影响报道结论各异。研究表明,沙葱黄酮能够通过促进血清中生长激素(GH)和胰岛素样生长因子-1(IGF-1)分泌提高肉用绵羊生长性能^[17];大豆异黄酮可通过提高生长激素和睾酮水平促进奥里亚罗非鱼(*Oreochromis aureus*)雄鱼生长^[18];低浓度的金雀异黄素对尼罗罗非鱼生长无影响,但高浓度的金雀异黄素可下调尼罗罗非鱼垂体 GH、肝脏 GHRs 和 IGF-1 m RNA 的表达,抑制尼罗罗非鱼的生长

[19,20];槐属黄酮可通过改善罗非鱼增重率、特定生长率、饲料系数、蛋白质效率等促进罗非鱼生长^[11]。这可能是因为黄酮类化合物与雌二醇结构相似,具有弱雌激素活性,能与下丘脑、垂体等处的雌二醇受体结合,发挥雌激素或抗雄激素作用,通过生长轴、性腺轴和甲状腺轴等,促进动物机体生长发育。而杨继华等^[13]研究表明,桑叶黄酮对吉富罗非鱼生长性能无显著性影响;陈密等^[21]研究表明在饲料中添加芦丁不会促进草鱼生长;郭海燕等^[22]研究指出,在饲料中添加染料木黄酮对大菱鲃幼鱼的存活、终末体重、特定生长率、饲料效率、摄食量、肥满度、脏体比和肝体比均无显著性影响。此外,肖凡等^[23]研究发现大豆异黄酮可提高荷斯坦牦牛增重,促进生长,但饲喂时间在 40 d 以上效果最佳。由此可见,黄酮类化合物可通过影响动物机体对营养物质的吸收和内分泌激素分泌而影响动物生长发育,但可能与动物种类、黄酮类化合物剂量、饲养时间、动物性别等有关。

本研究中添加桑叶黄酮组的终末体重、增重率、特定生长率虽与对照相比没有显著差异,但均随添加量增加呈先增加后降低的趋势,且均在 50 mg/kg 组达最大值,分别比对照组增加了 6.07%、6.76%和 2.83%,这可能是低剂量的桑叶黄酮可促进凡纳滨对虾生长,但养殖周期较短,还未出现显著性差异,也可能是凡纳滨对虾与鱼类以及牛、羊等陆生动物内分泌机制不同,造成桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长作用机制不同,也可能是桑叶黄酮对凡纳滨对虾促生长方面的作用不明显,还需进一步研究。50 mg/kg 组摄食量显著高于对照组,300 mg/kg 组摄食量显著低于对照组,可能是高剂量桑叶黄酮影响了凡纳滨对虾饲料的适口性。

3.2 桑叶黄酮对凡纳滨对虾体成分的影响

本研究中,桑叶黄酮对凡纳滨对虾全虾和肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分无显著影响。刘淑兰^[11]、胡海滨等^[12]、郭海燕等^[22]研究表明,黄酮类化合物可降低鱼体脂肪含量,可能是通过提高脂肪分解相关酶的活性,降低脂肪合成酶的活性,减少脂肪在体内的蓄积^[24,25];此外有研究表明黄酮类化合物可通过下调肝脏脂质合成相关基因的表达和抑制草鱼脂肪细胞分化,降低鱼体肝脏脂肪蓄积^[26,27],说明黄酮类化合物可以调节水产动物脂代谢,保持机体健康。桑叶黄酮对降低粗脂肪含量的效果各异。Kamboh 等^[28]研究认为黄酮类化合物可通过促进动物分泌生长激素,直接促进肌肉蛋白质的合成能力,异黄酮能增加肉仔鸡肌肉中蛋白质的合成,促进肌肉生长;陈密等^[21]研究表明芦丁可提高草鱼全鱼粗蛋白含量;胡海滨等^[12]研究表明大豆异黄酮可降低大菱鲃幼鱼粗蛋白含量;杨继华等^[13]研究表明桑叶黄酮对吉富罗非鱼体成分无显著性影响,这与本研究结论一致。以上研究结果的差异性可能与黄酮类化合物的种类、养殖对象以及水产动物本身生长机制的特性有关。

3.3 桑叶黄酮对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

本研究结果表明桑叶黄酮对血清 LDL、HDL、TG 无显著性影响,10 mg/kg 组 CHO 水平最低,说明在饲料中添加 10 mg/kg 桑叶黄酮可降低血清 CHO 水平。黄酮类化合物可以通过肠道内脂质的吸收和排泄、肝脏脂质的合成和分解调节脂代谢。李登清等^[29]研究发现,银杏叶提取物可能通过扶植高脂血症大鼠肠道有益菌,发挥调节脂代谢作用。虽然黄酮类化合物对调节脂代谢的作用机制复杂,但黄酮类化合物可显著降低动物血清 TG、TC、LDL 水平^[30,31,32,33,34,35],显著提高血清 HDL 水平^[33,34,35]。

血清中的蛋白与免疫和营养物质代谢相关^[35],沙葱黄酮可提高肉羊血清中 TP 和 ALB 的含量,GLB 在第 0、15、30、60 天无显著性差异,第 45 天 GLB 含量显著增加^[36]。本研究结果表明桑叶黄酮对凡纳滨对虾血清 ALB、GLB、TP 水平无显著性影响,这可能与实验周期有关,还需进一步研究。血清中转氨酶不仅可反映蛋白质代谢的状况,还可以反映肝脏、心脏等组织健康状况,肝细胞受损时,ALT 和 AST 便会释放到血液里,使血清中 ALT 和 AST 的含量升高。本研究结果表明 10mg/kg、50 mg/kg 和 100 mg/kg 组 ALT 活性有下降趋势,100 mg/kg 组 ALT 活性显著低于对照组,150 mg/kg 和 300 mg/kg 组血清 ALT 和 AST 活性显著高于对照组,说明在桑叶黄酮添加量为 150mg/kg 和 300 mg/kg 时可能对凡纳滨对虾肝胰腺造成了负面影响。李彦先^[37]、李方方等^[38]研究表明适量的大豆黄酮可降低异育银鲫、哺乳母猪血清尿素氮水平,而本研究结果表明 50 mg/kg 和 150 mg/kg 组尿酸含量显著高于对照组,可能是桑叶黄酮影响了蛋白质的吸收,还需进一步研究。

3.4 桑叶黄酮对凡纳滨对虾抗氧化指标的影响

动物机体在代谢过程中会不断产生自由基,自由基性质活泼,氧化能力极强,通过连锁氧化反应,可产生 MDA,MDA 可攻击动物体内核酸、蛋白质、糖类及细胞膜系统中的不饱和脂肪酸等,造成氧化损伤,诱发多种病理损伤,危害机体健康^[39]。黄酮类化合物可清除自由基和抑制自由基生成酶的合成^[40],还可以可通过提高机体抗氧化酶活力^[41]和清除脂质过氧化物抑制脂质过氧化反应达到抗氧化作用。机体抗氧化状态由抗氧化酶和非酶抗氧化物质共同维持,在一定程度上反映了机体的健康状况。抗氧化酶活力的升高说明机体受到了一定的刺激,也说明机体受到这种刺激后可通过提高抗氧化酶的活性来保护机体免受更大的伤害。SOD、CAT、GSH-Px 等抗氧化酶可保护活细胞避免产生氧化应激,与 T-AOC 等是评价机体抗氧化水平的重要指标。本研究表明,10 mg/kg 组血清 SOD 活性和 50 mg/kg 组血清 GSH-Px 活性显著高于对照组,肝胰腺中 SOD 和 GSH-Px 的活性随桑叶黄酮添加量的增加呈先降

低后升高趋势,且添加组肝胰腺 SOD 活性低于对照组,10 mg/kg、50 mg/kg 和 100 mg/kg 组肝胰腺 GSH-Px 活性低于对照组。部分研究表明,饲料中添加适量的黄酮类化合物能提高动物 SOD、GSH-Px 活性^[12,13,42,43],亦有研究表明断奶仔猪血清和肝脏 SOD、GSH-Px 活性随饲料中苜蓿黄酮添加剂量的增加先降低后升高^[44],说明黄酮化合物对动物血清和肝脏中 SOD、GSH-Px 的活性影响并不相同。本研究中添加桑叶黄酮组血清和肝胰腺 CAT 活性下降,杨继华等^[13]发现桑叶黄酮对吉富罗非鱼血清 CAT 无显著性影响,但添加 100~1000 mg/kg 桑叶黄酮可提高肝脏 CAT 活力;曲根对断奶仔猪肝脏 CAT 活性无显著性影响^[44];Li 等^[42]报道大豆异黄酮可提高异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)血清 CAT 活性,说明黄酮类化合物对 CAT 影响并不一致,可能与黄酮类化合物的种类和动物品种不同有关。部分研究表明黄酮类化合物可提高动物机体 T-AOC^[13,43,44,45],与本研究结果一致,说明黄酮类化合物可提高动物机体 T-AOC,根据回归曲线方程,桑叶黄酮添加量为 56.18 mg/kg 时血清 T-AOC 最强。

研究表明,染料木黄酮可通过清除脂质过氧化产物来降低脂质过氧化的速度^[46],大豆黄酮可通过镶嵌在细胞膜磷脂双分子层之间限制包膜的流动性,进而抑制脂质过氧化产物的形成和降低脂肪氧化速率^[47],本研究表明,150 mg/kg 桑叶黄酮可降低血清 MDA 含量,50 mg/kg 桑叶黄酮可降低血清 LPO 含量,所有添加剂量的桑叶黄酮均可降低肝胰腺 MDA 含量和 LPO 含量,杨继华等^[13]、吕小文等^[48]研究表明适量黄酮类化合物可降低血清 MDA 含量,与本研究结论一致。说明黄酮类化合物可能清除脂质过氧化产物提高机体抗氧化能力。在肝胰腺中 10 mg/kg、50 mg/kg 和 100 mg/kg 组与对照组相比 SOD、GSH-Px、CAT 抗氧化酶活性降低,MDA 和 LPO 含量降低,T-AOC 提高,说明桑叶黄酮可能主要通过清除脂质过氧化产物来达到抗氧化的目的,但具体作用机制还需进一步研究。

3.5 桑叶黄酮对凡纳滨对虾抗低氧胁迫的影响

本研究表明,在饲料中添加 10~100 mg/kg 桑叶黄酮可提高凡纳滨对虾抗低氧胁迫能力。在高密度集约化的养殖条件下,水体中溶氧是保证水产动物生长、存活的条件之一,缺氧是水产动物经常遭受的不利的养殖条件之一,影响动物行为和生理生化机制,容易导致机体和细胞氧化损伤,严重缺氧会导致水产动物的死亡。研究表明,甲壳动物中虾类对低氧胁迫最为敏感^[49],水温 28℃时,溶氧不低于 0.6 mg/L 并不会造成细角滨对虾(*Litopenaeus stylirostris*)死亡,而在低氧环境下暴露 100 min,死亡率达到 50%^[15]。说明水中溶氧一旦到达窒息临界点就会加剧水产动物的死亡。在饲料中添加 10~100 mg/kg 桑叶黄酮可能通过提高机体抗氧化能力从而提高低氧胁迫条件下凡纳滨对虾的成活率,其具体作用机制还需进一步研究。

4 结论

在饲料中添加桑叶黄酮对凡纳滨对虾生长性能和体成分没有显著性影响;在饲料中添加桑叶黄酮可提高血清和肝胰腺总抗氧化能力,降低血清肝胰腺丙二醛和脂质过氧化物的含量,提高凡纳滨对虾抗氧化能力。以血清 T-AOC 为评价指标,桑叶黄酮在凡纳滨对虾饲料中适宜添加量为 56.18 mg/kg。

参考文献:略

原文刊登在《中国水产科学》2020,27(10),1184-1195 DOI:10.3724/SP.J.1118.2020.20016

发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾生长性能、饲料效率及免疫力的影响

李洪琴 朱伟 席庆凯 陶玉岭 刘天骥 刘匆 顾夕章 相福生 种金豆 赵敏

新希望六和股份有限公司 四川新希望六和科技创新有限公司 农业农村部饲料及畜禽产品质量安全控制

重点实验室 青岛农业大学 山东新希望六和集团有限公司 海阳新希望六和饲料有限公司

摘 要: 为研究发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾生长性能、饲料效率及免疫力的影响,试验采用单因素试验设计,分为 4 个处理,其中处理 1 组为花生粕组,处理 2 组为添加去皮豆粕 7%,处理 3 组为添加发酵豆粕 3%,处理 4 组为添加发酵花生粕 3%,调整花生粕和米糠粕添加比例配制 4 组试验饲料。挑选初始体质量为 (2.2 ± 0.1) g 的凡纳滨对虾 80000 尾,随机分为 4 组,每组 5 个重复,每个重复 4000 尾,在室内流水养殖系统进行为期 67 d 的养殖试验,养殖池面积 17 m²/个。然后对生长、存活率、消化及免疫相关酶等指标进行测定。结果表明:发酵花生粕组质量增加率和特定生长率显著高于花生粕组 162.26、0.43 个百分点($P<0.05$);发酵花生粕组饲料转化率显著高于花生粕组 20.59 个百分点($P<0.05$),发酵豆粕组饲料转化率显著高于花生粕组 7.73 个百分点($P<0.05$),而与去皮豆粕组无显著性差异($P>0.05$);发酵花生粕组成活率与去皮豆粕组和发酵豆粕组之间无显著性差异($P>0.05$),但显著高于花生粕组 19.92 个百分点($P<0.05$);发酵花生粕组胰蛋白酶活性与发酵豆粕组之间无显著性差异($P>0.05$),但显著高于花生粕组 2047.21 U/mg prot($P<0.05$);发酵花生粕组超氧化物歧化酶、总抗氧化能力及多酚氧化酶活性高于其他各试验组,但各组之间差异不显著($P>0.05$);发酵花生粕组和发酵豆粕组溶菌酶活性高于其他两组,但各试验组之间差异不显著($P>0.05$);发酵花生粕组碱性磷酸酶活性显著低于花生粕组 157.88 U/g prot($P<0.05$),但与其他各试验组之间无显著性差异($P>0.05$);发酵花生粕组酸性磷酸酶、谷草转氨酶活性低于花生粕组 54.81、0.17U/g prot($P>0.05$)。综上所述,本次试验条件下,饲料中添加发酵原料能改善凡纳滨对虾生长性能、饲料效率及免疫力,且发酵花生粕效果优于发酵豆粕。

关键词: 花生粕; 去皮豆粕; 发酵豆粕; 发酵花生粕; 生长性能; 饲料效率; 免疫力;

Effects of fermented soybean meal and fermented peanut meal on growth performance, feed efficiency and immunity of *Penaeus vannamei*

LI Hongqin ZHU Wei XI Qingkai TAO Yuling LIU Tianji LIU Cong GU Xizhang XIANG Fusheng CHONG Jindou ZHAO Min

NewhopeLiuhe Co.Ltd. Sichuan New Hope Liuhe Technology Innovation Co., Ltd. Key Laboratory of Quality and Safety Control of Feed and Livestock Products of the Ministry of Agriculture Qingdao Agricultural University Shandong New Hope Liuhe Group Co., Ltd. Haiyang New Hope Liuhe Feed Co., Ltd. Yantai

Abstract: A 67-day single factor feeding trial was conducted to investigate the effects of fermented soybean meal and fermented peanut meal on growth performance, feed efficiency and immunity of *Penaeus vannamei*. Different feeds of 4 test groups were prepared: comparing to the peanut meal diet (PM), 7% dehulled soybean meal (DSM), 3% fermented soybean meal (FSM), 3% fermented peanut meal (FPM). 80000 *P. vannamei* with body weight of (2.2 ± 0.1) g were selected and randomly divided into 4 groups with 5 replicates in each group and 4000 per replicate. The results showed that: the weight gain rate and specific growth rate of the FPM group were 162.26, 0.43 percent higher than that of the PM group ($P < 0.05$); The feed efficiency ratio of the FPM group were 20.59 percent higher than that of the PM group ($P < 0.05$), and the feed efficiency ratio of FSM group was 7.73 percent higher than that of PM group ($P < 0.05$), while there was no significant difference from the DSM group ($P > 0.05$); The survival rate of the FPM group were no significant difference between the DSM group and FSM group, but 19.92 percent higher than that of the PM group ($P < 0.05$); There was no significant difference between the trypsin activity of the FPM group and the FSM group ($P > 0.05$), but it was significantly 2047.21 U/mg prot higher than that of the PM group; The activities of superoxide dismutase, total antioxidant capacity and polyphenol oxidase in the FPM group were higher than those in the other experimental groups, but the differences were not significant ($P > 0.05$); The lysozyme activity of the FPM group and the FSM group was higher than the other two groups, but there was no significant difference between the experimental groups ($P > 0.05$); The alkaline phosphatase activity of the FPM group was significantly 157.88 U/g prot lower than that of the PM group at ($P < 0.05$), but there was no significant difference with other test groups ($P > 0.05$); The activities of acid phosphatase and aspartate aminotransferase in the FPM

group were 54.81 U/gprot and 0.17 U/g prot lower than those in the PM group(P >0.05).In conclusion, under the conditions of this experiment, the addition of fermentation material to the feed could improve the growth performance, feed efficiency and immunity of Penaeus vannamei,and the effect of FPM was better than that of FSM.

Keyword: Penaeus vannamei; dehulled soybean meal; fermented soybean meal; fermented peanut meal; growth; feed efficiency; immunitys;

豆粕和花生粕蛋白质含量丰富，是目前畜牧业中广泛应用的植物性蛋白原料，因含有多抗营因子，不仅影响动物对营养物质的消化吸收和利用效率，还会影响动物肝脏的健康发育（常寨成等，2019）。发酵是利用微生物降解植物原料，并产生益生菌、寡肽、乳酸等活性物质的过程。已有研究表明，发酵可有效降低或完全消除抗营因子（Teng 等，2012），并产生蛋白酶、非淀粉多糖酶等多种活性物质，可将大分子蛋白质分解为可消化吸收的小肽（Shiu 等，2015），还能有效提高酸溶蛋白和总酸含量，进而提高原料利用率，并最终促进动物生长（马静等，2019；袁新杰等，2019）。目前，已有大量关于发酵粕类产品在水产养殖中应用的研究（燕磊等，2019；吴业阳等，2018；包鹏云等，2018；高绪娜等，2017），但鲜见发酵豆粕和发酵花生粕对比效果的研究。

本研究将不同加工工艺生产的豆粕和发酵花生粕添加到饲料中饲喂凡纳滨对虾，研究其对对虾生长性能和免疫力的影响，以期为豆粕和花生粕在对虾饲料中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验原料及饲料配方

本试验所用原料由海阳新希望六和饲料有限公司提供。在花生粕组基础上用去皮豆粕、发酵豆粕及发酵花生粕替代部分花生粕配制试验饲料。试验饲料组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲料组成及营养水平 %

项目	花生粕组	去皮豆粕组	发酵豆粕组	发酵花生粕组
日粮组成				
脱脂鱼粉	22.00	22.00	22.00	22.00
血球蛋白粉	3.00	3.00	3.00	3.00
虾壳粉	4.00	4.00	4.00	4.00
花生粕	33.00	27.00	31.00	31.00
去皮豆粕	0.00	7.00	0.00	0.00
发酵豆粕	0.00	0.00	3.00	0.00
发酵花生粕	0.00	0.00	0.00	3.00
高筋面粉	18.00	18.00	18.00	18.00
玉米 DDGS	7.00	7.00	7.00	7.00
米糠粕	6.30	5.40	5.20	5.30
鱼油	2.50	2.40	2.60	2.50
氯化胆碱	0.20	0.20	0.20	0.20
磷酸二氢钙	1.00	1.00	1.00	1.00
预混料添加剂	3.00	3.00	3.00	3.00
营养水平				
水分	9.90	10.20	9.8	11.2
蛋白质	41.94	40.89	41.24	41.16
脂肪	6.10	6.4	6.5	6.5
灰分	10.7	10.4	10.7	10.6
钙	1.42	1.53	1.57	1.62
总磷	1.24	1.17	1.20	1.24

注：每千克预混料添加剂含有维生素 A 22 mg，维生素 C 52 mg，维生素 D 15 mg，维生素 K₃13mg，维生素 E 128 mg，维生素 B₁34 mg，维生素 B₂34 mg，烟酸 200 mg，叶酸 28 mg，泛酸 50 mg，次粉 20.45 g，氯化钠 3 mg，沸石粉 16.21 g，硫酸镁 Mg SO₄·7H₂O 1100 mg，硫酸锌 Zn SO₄·7H₂O 30 mg，氯化钴 Co Cl₂·6H₂O 60 mg，硫酸铜 Cu SO₄·5H₂O 15 mg，磷酸二氢钙 (H₂PO₄)₂·H₂O 3500 mg，硫酸铁 Fe SO₄·7H₂O 70 mg，碘化钾 0.9 mg。

1.2 试验动物及饲养管理

本试验在新希望饲料研究院即墨特水养殖基地进行，试验选取初始体质量为 (2.2±0.1)g 体格壮、活力好、规格整齐、无明显疾病的对虾 80000 尾，随机分成 4 个处理，每组 5 个重复，每个重复 4000 尾对虾，每个养殖池面积为 17 m²。分别投喂以上 4 种饲料，即花生粕组、去皮豆粕组、发酵豆粕组、发酵花生粕组。试验周期为 67 d。饲养管理参考祁真等 (2019) 的研究方法，每日投料 4 次 (06:00、10:00、14:00、18:00)，每周对投饵量进行调整。水池内配置充氧设施，并定时开启，以保证虾池中溶解氧>5 mg/L，盐度为 31‰自然海水，水温 23~32℃，pH 7.5~8.5，氨氮浓度低于 1.0 mg/L，亚硝酸盐浓度低于 0.01 mg/L。

1.3 样品收集

饲养试验结束时，将试验虾禁食 24 h，然后计算每个水泥池试验虾的数量并称取总重量，用于计算试验虾存活率 (SR)、初始均重 (IBW)、终末均重 (FBW)、质量增加率 (WGR)、特定生长率 (SGR) 和饲料转化率 (FE)。生长性能公式如下：

$$\text{质量增加率} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100;$$

$$\text{特定生长率} = (\ln W_2 - \ln W_1) / T \times 100;$$

$$\text{饲料转化率} = F / (W_2 - W_1);$$

$$\text{成活率} = \text{终末虾尾数} / \text{初始虾尾数} \times 100。$$

式中：T 为试验天数；W₂ 试验结束时各处理虾的平均体质量，g；W₁ 为试验开始时各处理虾的平均体质量，g；F 为试验期间所用饲料总重。

试验结束后，每池随机选取 6 尾试验虾取肝胰脏，并置于 -80℃ 冰箱保存，用于分析胰蛋白酶 (Trypsin)、淀粉酶 (Amylase)、超氧化物歧化酶 (SOD)、总抗氧化能力 (T-AOC)、溶菌酶 (LZM)、碱性磷酸酶 (ALP)、酸性磷酸酶 (ACP)、谷草转氨酶 (AST)、酚氧化酶 (PO) 活性。

1.4 样品分析

将饲料样品烘干 (105℃) 至恒重，采用凯氏定氮法 (VELP,UDK142 automatic distillation

unit，意大利）测定粗蛋白质含量，索氏抽提法测定脂肪含量（SOX416, Gerhardt，瑞典），失重法测定灰分含量；肝胰脏样品送至南京建成生物科技有限公司测定相关酶活性。

1.5 数据统计

试验数据采用 SPSS 17.0 统计软件以 ANOVA 方法进行分析，所有指标以每个重复为试验单位。若各个处理间差异显著，则用 Duncan’s 多重比较进行检验。结果用最小二乘法的均值及平均标准误表示， $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 生长性能和饲料效率

发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾生长性能和饲料效率的影响如表 2 所示，其中发酵花生粕组终末均重高于其他各试验组，但各组之间无显著性差异 ($P>0.05$)；发酵花生粕组质量增加率和特定生长率显著高于花生粕组，分别提高 162.26、0.43 个百分点 ($P<0.05$)，而其他各试验组之间无显著性差异 ($P>0.05$)；发酵花生粕组饲料转化率显著高于花生粕组 20.59 个百分点 ($P<0.05$)，发酵豆粕组饲料转化率显著高于花生粕组 7.73 个百分点 ($P<0.05$)，而与去皮豆粕组无显著性差异 ($P>0.05$)；发酵花生粕组成活率与去皮豆粕组和发酵豆粕组之间无显著性差异 ($P>0.05$)，但显著高于花生粕组 19.92 个百分点 ($P<0.05$)。

表 2 发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾生长性能和饲料效率的影响

项目	花生粕组	去皮豆粕组	发酵豆粕组	发酵花生粕组	P 值
初始均重/g	2.44±0.20	2.11±0.27	2.19±0.36	2.00±0.27	0.139
终末均重/g	11.14±1.17	10.25±0.47	10.76±1.03	12.24±1.85	0.148
质量增加率/%	356.35±14.65 ^b	391±58.73 ^b	401.52±83.92 ^b	518.61±106.03 ^a	0.021
特定生长率/(%/d)	2.27±0.05 ^b	2.37±0.18 ^b	2.39±0.27 ^b	2.70±0.26 ^a	0.028
饲料转化率/%	38.92±5.95 ^c	42.07±1.16 ^a	46.65±3.44 ^b	59.51±3.35 ^a	0.000
成活率/%	55.29±6.66 ^b	65.50±3.75 ^b	71.58±12.07 ^a	75.21±13.62 ^a	0.036

注：同行数据肩标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)，相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)；下同。

2.2 消化酶活性指标

发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾消化酶活性的影响如表 3 所示，发酵花生粕组胰蛋白酶活性与发酵豆粕组之间无显著性差异 ($P>0.05$)，但显著高于花生粕组 2047.21 U/mg prot ($P<0.05$)；发酵花生粕组淀粉酶活性高于花生粕组 10.34 U/mg prot，但两个试验组之间差异不显著 ($P>0.05$)。

表 3 发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾消化酶活性的影响 U/mg prot

项目	花生粕组	去皮豆粕组	发酵豆粕组	发酵花生粕组	P 值
胰蛋白酶	6139.71±312.27 ^b	6071.35±1282.96 ^b	7240.26±621.62 ^a	8186.92±486.4 ^a	0.001
淀粉酶	45.73±6.19	57.40±12.31	61.50±10.64	56.07±11.73	0.148

2.3 免疫酶活性指标

发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾免疫相关酶活性的影响如表 4 所示，发酵花生粕组超氧化物歧化酶、总抗氧化能力及多酚氧化酶活性高于其他各试验组，但各试验组之间差异不显著（ $P>0.05$ ）；发酵花生粕组和发酵豆粕组溶菌酶活性高于其他两组，但各试验组之间差异不显著（ $P>0.05$ ）；发酵花生粕组碱性磷酸酶活性显著低于花生粕组 157.88 U/g prot($P<0.05$)，但与其他各试验组之间无显著性差异（ $P>0.05$ ）；发酵花生粕组酸性磷酸酶、香草转氨酶活性低于花生粕组 54.81、0.17 U/g prot($P>0.05$)。

表 4 发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾免疫相关酶活性的影响

项目	花生粕组	去皮豆粕组	发酵豆粕组	发酵花生粕组	P 值
超氧化物歧化酶/(U/mg prot)	10.97±3.39	14.95±5.56	15.81±2.58	17.01±5.55	0.205
总抗氧化能力/(U/mg prot)	0.84±0.22	0.99±0.17	0.90±0.33	1.06±0.35	0.611
溶菌酶/(U/mg prot)	44.73±13.18	46.88±9.89	51.20±2.03	50.37±9.71	0.691
多酚氧化酶/(U/mg prot)	3.42±0.81	3.70±0.55	4.19±0.80	4.71±0.96	0.093
碱性磷酸酶/(U/g prot)	376.76±109.09 ^a	263.84±58.38 ^{ab}	265.59±94.95 ^{ab}	218.88±46.93 ^b	0.043
酸性磷酸酶/(U/g prot)	184.41±51.75	190.38±53.56	160.06±34.08	129.60±77.55	0.341
香草转氨酶/(U/g prot)	0.72±0.30	0.87±0.23	0.86±0.32	0.55±0.43	0.407

3 讨论

3.1 发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾生长性能及饲料效率的影响

花生粕氨基酸不平衡，且存在抗营养因子，从而限制了其在水产饲料中的应用。已有研究表明，发酵不仅能将花生粕中大分子蛋白降解为易消化吸收的小肽，还能产生大量益生菌、寡肽、乳酸及未知生长因子等物质，从而提高动物机体免疫力，抑制消化道疾病发生，进而提高动物的成活率（常寨成等，2019；任晓静等，2013）；另外，赵朝阳等（2015）研究发现，发酵花生粕具有独特的芳香味，能显著改善饲料风味及品质，提高饲料诱食性，并最终促进动物生长。本研究发现发酵花生粕组质量增加率、特定生长率和饲料转化率均显著高于其他各试验组（ $P<0.05$ ），这与金红春（2011）研究发现，使用发酵粕类饲喂青鱼（*Mylopharyngodon piceus*），可显著改善青鱼增重及饲料效率的结果一致。分析这一结果可能是由于发酵降解了花生粕中的植酸，而植酸不仅能降低动物对磷的利用，还能与蛋白质结合形成络合物影响蛋白质的消化吸收；这也与本研究发现的，发酵豆粕和发酵花生粕组肝脏内蛋白酶活性显著高于未发酵组相符合。另外，豆粕和花生粕中胰蛋白酶抑制因子等抗营养因子较多，抑制了消化酶活性，而发酵可以显著降低豆粕和花生粕中各种抗营养因子，而且发酵豆粕和发酵花生粕中氨基酸和肽类物质可做为底物诱导消化酶分泌并提高消

化酶活性（吴慧，2016）。

3.2 发酵豆粕和发酵花生粕对凡纳滨对虾免疫力的影响

免疫学指标能够反映机体的免疫功能和生理状况。超氧化物歧化酶活力、总抗氧化能力及溶菌酶活力反映了机体抗氧化能力及清除自由基的能力；酚氧化酶活性与机体免疫力呈正相关，酚氧化酶活性高，机体抗病能力强（Palmer 等，2010;Mucklow 等，2004）；碱性磷酸酶、酸性磷酸酶及谷草转氨酶是参与机体内氨基酸氨基转运的酶，其活性的高低常用于反映机体肝组织的健康状态（鲁耀鹏等，2019）。已有研究表明，发酵原料可以提高青鱼（金红春，2011），刺参（*Scophthalmus maximus*）（包鹏云等，2018），凡纳滨对虾（彭松等，2015），异育银鲫（*Carassius gibelio*）（陈萱等，2005）等水产动物的免疫力。本研究发现，发酵豆粕和发酵花生粕组超氧化物歧化酶活性和酚氧化酶活性高于花生粕组，这可能是由于发酵粕中含有大量有益微生物，这些微生物进入肠道后抑制病原菌，并通过其代谢物调节微生态平衡，从而提高机体免疫力。这与彭松等（2015）研究发现的饲料中添加发酵花生粕可以显著提高凡纳滨对虾酚氧化酶酶活性结果一致。另外，本研究中花生粕组碱性磷酸酶、酸性磷酸酶及谷草转氨酶活性高于发酵花生粕组，可能与花生粕组对虾肝胰腺受到一定程度的损伤有关，这与抗氧化活力结果一致。

4 结论

本次试验条件下，饲料中添加发酵原料能改善凡纳滨对虾生长性能、饲料效率及免疫力，且发酵花生粕效果优于发酵豆粕。

参考文献：略

原文刊登在《中国饲料》2020,(19),82-86 DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20201917

核苷酸对凡纳滨对虾低蛋白质水平饲料中营养物质表观消化率的影响

陈晓瑛 赵红霞 王国霞 曹俊明 孙育平

广东省农业科学院动物科学研究所农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室广东省畜禽育种与营养研究重点实验室 广州飞禧特生物科技有限公司

摘 要：本试验旨在研究核苷酸对凡纳滨对虾饲料中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、总磷、氨基酸和脂肪酸表观消化率的影响。选取初始体质量为 (2.00 ± 0.01) g 的凡纳滨对虾 480 尾，随机分成 3 组，每组 4 个重复，每个重复 40 尾。设置 2 个对照组，即低蛋白质水平对照组（L₀ 组，饲料粗蛋白质水平为 37.92%）和高蛋白质水平对照组（H₀ 组，饲料粗蛋白质水平为 46.45%），并在 L₀ 组基础上添加 400 mg/kg 的核苷酸混合物（LN 组）。自正式投喂试验饲料后的第 10 天开始，采用虹吸法连续收集粪便 30

d. 结果显示: 1) LN 组的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和总磷表观消化率最高。LN 组的粗脂肪和总磷表观消化率显著高于 H_0 组 ($P < 0.05$), 但与 L_0 组无显著差异 ($P > 0.05$)。2) 各组之间的各氨基酸、非必需氨基酸和必需氨基酸表观消化率均无显著差异 ($P > 0.05$)。3) LN 组的饱和脂肪酸、C17 : 0、C20 : 0、C22 : 1、C18 : 3、二十二碳六烯酸 (DHA) 表观消化率显著高于 L_0 组和 H_0 组 ($P < 0.05$)。LN 组的 C14 : 0、C16 : 1 表观消化率显著高于 H_0 组 ($P < 0.05$), 但与 L_0 组无显著差异 ($P > 0.05$)。各组之间的单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸和总脂肪酸表观消化率均无显著差异 ($P > 0.05$)。由此可见, 在低蛋白质水平饲料中添加核苷酸具有改善凡纳滨对虾对饲料营养物质表观消化率的效果, 特别是对粗脂肪、总磷和脂肪酸。

关键词: 核苷酸; 凡纳滨对虾; 低蛋白质水平饲料; 营养物质表观消化率;

Effects of Nucleotides on Nutrient Apparent Digestibility in Low Protein Level Diet of

Litopenaeus vannamei

CHEN Xiaoying ZHAO Hongxia WANG Guoxia CAO Junming SUN Yuping

Institute of Animal Science,Guangdong Academy of Agricultural Sciences,Key Laboratory of

Animal Nutrition and Feed Science in South China,Ministry of Agriculture and Rural

Affairs,Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition Guangzhou Fishtech

Biotechnology Co.,Ltd.

Abstract: This experiment was aiming to study the effects of nucleotides on apparent digestibilities of dry matter,crude protein,ether extract,phosphorus,amino acids and fatty acids of *Litopenaeus vannamei*. A total of 480 *Litopenaeus vannamei* with initial weight of (2.00 ± 0.01) g were randomly divided into 3 groups with 4 replicates per group and 40 fish per replicate. Two control groups were set,which were low protein control group(L_0 group,dietary crude protein level was 37.92%)and high protein control group(H_0 group,dietary crude protein level was 46.45%),and supplemented with 400 mg/kg nucleotides based on L_0 group(LN group). From the 10 th day after feeding the formal experimental diets,and the feces were collected continuously by siphon method for 30 days. The results showed as follows:1)the apparent digestibilities of dry matter,crude protein,ether extract,ash and total phosphorus of LN group were the highest. The apparent digestibilities of ether extract and total phosphorus of LN group were significantly higher than those of the H_0 group($P < 0.05$),but there were no significant differences with the L_0 group($P > 0.05$). 2)There were no significant differences on apparent digestibilities of each amino acids,nonessential amino acids and essential amino acids among all groups($P > 0.05$). 3)The apparent digestibilities of saturated fatty acids C17 : 0,C20 : 0,C22 : 1,C18 : 3 and docosaheaxaenoic acid(DHA)of LN group were significantly higher than those of L_0 group and H_0 group($P < 0.05$). The apparent

digestibilities of C14 : 0 and C16 : 1 of LN group were significantly higher than those of the H₀ group($P<0.05$),but there were no significant differences with the L₀ group($P>0.05$). There were no significant differences on apparent digestibilities of monounsaturated fatty acids,polyunsaturated fatty acids and total fatty acids among all groups($P>0.05$). In conclusion,adding nucleotides in low protein level diets can improve the nutrient apparent digestibilities of diets of *Litopenaeus vannamei*,especially for the ether extract,total phosphorus and fatty acids.

Keyword: nucleotides; *Litopenaeus vannamei*; low protein level diets; nutrient apparent digestibilities;

我国是水产养殖大国，养殖产量多年位居全球首位。饲料蛋白质是水产动物的主要能源物质。我国水产饲料工业使用的蛋白质资源（如鱼粉）较长时间处于短缺状态，依赖进口程度高，这制约着我国水产饲料工业和养殖业的可持续发展。但是，随着我国水产养殖业的高速发展，产业模式逐渐向高密度、集约化精养转变，养殖过程废水增多，易造成水体污染，破坏生态环境，不利于生态文明建设。“节能减排”一直是水产养殖业关注的方向。低蛋白质水平饲料（也称平衡氨基酸饲料）技术具有减少蛋白质原料的添加量、减少氮排放、改善动物生长性能的优势^[1]，是一种“节能减排”的有效手段。赵卿尧等^[1]表明，低蛋白质水平饲料技术已经在畜禽养殖，特别是在猪生产中有了较深入的研究^[2,3]，在禽类^[4]中也有了进一步的研究。在水产养殖中，低蛋白质水平饲料技术也有一定的开展，适量降低饲料中蛋白质含量不仅能提高草鱼（*Ctenopharyngodon idellus*）幼鱼生长性能，提高草鱼幼鱼的干物质和粗蛋白质表观消化率，还能减少草鱼幼鱼对水体的氮排泄^[5]。低蛋白质水平饲料中添加色氨酸可提高凡纳滨对虾（*Litopenaeus vannamei*）饲料蛋白质、氨基酸、干物质和能量的表观消化率，提高蛋白酶活性，并改善全虾氨基酸的组成^[6]。而陈乃松等^[7]发现，在低蛋白质水平饲料中补充的晶体必需氨基酸对大口黑鲈（*Largemouth bass*）的生长、体组成和免疫指标产生的有益作用不及等量的以蛋白质为来源的必需氨基酸。因此，低蛋白质水平饲料技术在水产中的应用有待进一步研究。

核苷酸包括嘌呤核苷酸和嘧啶核苷酸，是动物体重要的组成成分，在机体能量转化、蛋白质合成、遗传信息编码、信号传导等几乎所有生物化学过程中都发挥重要作用。在机体处于快速生长、应激和病理状况下，机体快速分裂的免疫细胞、肠细胞等需要消耗大量的核苷酸，自身合成不足，需要外源补充，被称为“条件必需营养素”^[8]。最初，核苷酸在水产动物中被作为一种诱食剂^[9]，而且混合核苷酸的诱食效果比单一核苷酸的好^[10]。前人研究发现，饲料中添加一定量的核苷酸（或核苷酸类产品）具有促进水产动物生长^[11,12]、提高

消化酶活性^[13,14]、促进营养物质沉积^[15]、提高免疫抗氧化能力^[16,17]等作用。这表明核苷酸作为一种新型绿色添加剂具有保护水产动物健康和提高生产效益的作用。

饲料的营养价值由多种因素决定，包括饲料营养成分及动物对饲料中营养成分的消化、吸收和利用率等。表观消化率对评估饲料营养价值具有重要意义，是科学配制营养均衡饲料的前提。但是有关核苷酸对动物饲料营养物质表观消化率影响的报道尚不多见。饲料中添加 0.2%核苷酸能提高断奶仔猪的粗脂肪、总磷、干物质和总能的表观消化率^[18]。饲料中添加 0.62%核苷酸能显著提高凡纳滨对虾干物质和粗脂肪的表观消化率^[19]。目前，水产动物低蛋白质水平饲料中添加核苷酸对营养物质表观消化率的研究尚未见报道。因此，本试验旨在探究核苷酸对凡纳滨对虾低蛋白质水平饲料的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、总磷、氨基酸和脂肪酸的表观消化率的影响，以期核苷酸在对虾低蛋白质水平饲料中的应用提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

5'-胞苷酸、5'-腺苷酸、5'-肌苷酸二钠、5'-尿苷酸二钠和 5'-鸟苷酸二钠由南京某生物技术有限责任公司提供，纯度均>99%。试验所用核苷酸为上述 5 种核苷酸按质量比为 1：1：1：1：1 混合而成的核苷酸混合物。

1.2 试验设计与饲料组成

本试验设 2 个对照组，低蛋白质对照组饲料粗蛋白质水平为 37.92%，粗脂肪水平为 6.74%，记为 L₀ 组；高蛋白质对照组饲料粗蛋白质水平为 46.45%，粗脂肪水平为 6.57%，记为 H₀ 组；此外，在 L₀ 组基础上添加 400 mg/kg 核苷酸混合物，记为 LN 组。3 种试验饲料按照等脂方式配制。

表 1 饲料组成及营养水平（风干基础）
Table 1 Composition and nutrient levels of diets(air-dry basis) %

项目 Items	组别 Groups		
	L ₀	LN	H ₀
原料 Ingredients			
核苷酸 Nucleotide		0.04	
鱼粉 Fish meal	25.00	25.00	25.00
乌贼膏 Cuttlefish cream	2.50	2.50	2.50
虾壳粉 Shrimp shell powder	5.00	5.00	5.00
大豆浓缩蛋白 Soy protein concentrate	6.70	6.70	17.50

续表 1

项目 Items	组别 Groups		
	L ₀	LN	H ₀
花生麸 Peanut bran	4.50	4.50	10.00
豆粕 Soybean meal	3.00	3.00	7.00
面粉 Wheat flour	33.79	33.75	20.49
鱼油 Fish oil	3.00	3.00	3.00
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	2.00	2.00	2.00
胆固醇 Cholesterol	0.10	0.10	0.10
维生素 C 磷酸酯 Vitamin C phosphate (35%)	0.10	0.10	0.10
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.50	1.50	1.50
沸石粉 Powder zeolite	2.50	2.50	2.50
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.25	0.25	0.25
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	0.20	0.20	0.20
矿物质预混料 Mineral premix ²⁾	0.50	0.50	0.50
羧甲基纤维素钠 Sodium carboxymethyl cellulose	2.00	2.00	2.00
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	7.00	7.00	0.00
晶体 DL-蛋氨酸 Crystalline DL-Met	0.35	0.35	0.35
三氧化二钇 Y ₂ O ₃	0.01	0.01	0.01
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾			
粗蛋白质 CP	37.92	37.88	46.45
粗脂肪 EE	6.74	6.46	6.57
粗灰分 Ash	10.98	10.94	11.71
水分 Moisture	6.88	6.61	7.82
总磷 TP	1.51	1.48	1.64

1) 维生素预混料为每千克饲料提供 The vitamin premix provided the following per kg of diets:VA 8 000 IU,VD₃4 000 IU,VE 60 mg,VK₃20 mg,VB₁10 mg,VB₂30 mg,VB₆16 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 50 mg, 叶酸 folic acid 5 mg, 生物素 biotin 0.16 mg, 烟酸 nicotinic acid 60.3 mg,VB₁₂0.03 mg, 肌醇 inositol 300 mg。2) 矿物质预混料为每千克饲料提供 The mineral premix provided the following per kg of diets:MgSO₄·H₂O 60 mg,KCl450 mg,Met-Cu 15 mg,FeSO₄·H₂O 5 mg,ZnSO₄·H₂O 50 mg,Ca(IO₃)₂0.3 mg,Met-Co 0.8 mg,NaSeO₃0.018 mg。3) 实测值 Measured values。

表 2 饲料的氨基酸组成(风干基础)

Table 2 Amino acid composition of diets(air-dry basis) %

项目 Items	组别 Groups		
	L ₀	LN	H ₀
天冬氨酸 Aspartic acid	3.07	3.11	4.15
谷氨酸 Glutamic acid	6.83	6.86	8.29
丝氨酸 Serine	1.46	1.44	1.77
甘氨酸 Glycine	1.91	1.88	2.24
丙氨酸 Alanine	1.84	1.90	2.11
酪氨酸 Tyrosine	0.77	0.82	1.02
非必需氨基酸 Non-essential amino acids	15.88	16.01	19.58
苏氨酸 Threonine	1.25	1.24	1.51
精氨酸 Arginine	2.00	1.90	2.70

续表 2

项目 Items	组别 Groups		
	L ₀	LN	H ₀
组氨酸 Histidine	0.77	0.78	1.07
缬氨酸 Valine	1.71	1.68	2.11
蛋氨酸 Methionine	0.58	0.57	0.64
苯丙氨酸 Phenylalanine	1.49	1.55	1.86
异亮氨酸 Isoleucine	1.43	1.48	1.75
亮氨酸 Leucine	2.51	2.50	3.11
赖氨酸 Lysine	2.31	2.29	2.78
色氨酸 Tryptophan	ND	ND	ND
必需氨基酸 Essential amino acids	14.04	14.01	17.55

ND 表示因色氨酸酸水解无法测定。表 5 同。

ND mean that it cannot be determined due to tryptophan hydrolysis.The same as Table 5.

饲料原料粉碎过 80 目筛，微量成分采用逐级扩大法混匀后，再加入油和水，用双螺杆压机（SLX-80 型）制得直径 2.0 mm 颗粒料，经 55℃烘干 7~8 h，自然冷却，过筛装袋，室温保存备用。各组饲料组成及营养水平、饲料氨基酸的组成、饲料脂肪酸的组成如表 1、表 2、表 3 所示。

表 3 饲料的脂肪酸组成（风干基础）
Table 3 Fatty acid composition of diets(air-dry basis) %

项目 Items	组别 Groups		
	L ₀	LN	H ₀
C12:0	3.32	3.35	4.75
C14:0	4.91	4.62	4.81
C15:0	0.89	0.91	0.79
C16:0	22.42	24.02	22.89
isoC16:0	0.58	0.64	0.61
C17:0	0.72	0.74	0.81
C18:0	4.75	4.84	4.91
isoC19:0	0.51	0.48	0.61
C20:0	0.45	0.38	0.43
C22:0	0.94	0.91	0.93
饱和脂肪酸 Saturated fatty acids	39.48	40.89	41.54
C16:1	5.65	5.72	5.83
C18:1	19.03	19.08	18.89
C20:1	2.04	2.13	2.21
C22:1	1.69	1.72	1.76
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acids	28.41	28.65	28.69
C18:2	10.77	10.89	10.85
C18:3	1.18	1.21	1.56
C20:4	0.88	0.98	0.91
二十碳五烯酸 EPA	7.26	7.28	7.29
二十二碳六烯酸 DHA	10.91	10.98	10.79
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acids	31.00	31.34	31.40
总脂肪酸 Total fatty acids	98.89	100.88	101.63

1.3 饲养对象、养殖管理和样品采集

凡纳滨对虾虾苗购自广东省中山市合一虾苗场。先以商品饲料在室内循环水养殖系统进行 7 d 暂养，每天分别在 08:00、14:00 和 20:00 分 3 次投喂。室内循环水养殖系统由 24 个玻璃纤维桶构成，其容积为 350 L（直径 80 cm，高 70 cm，实际水量 300 L），进水速率为 2.6~3.2 L/min。正式试验在广东省农业科学院动物科学研究所室内循环水养殖系统内进行。挑选健康且体质量为 (2.00±0.01)g 凡纳滨对虾 480 尾，随机分成 3 组，每组 4 个重复，每个重复 40 尾。各组分别投喂 3 种试验饲料。采用表观饱食投喂法，每天在 08:00、14:00、20:00 进行投喂。每次投喂 30 min 后采取虹吸法清理残饵和粪便。正式投喂后的第 10 天开始，每次投喂 1 h 后通过虹吸法收集完整的粪便，连续收集 30 d。收集的各重复虾粪便置于 60℃烘箱中烘干后，-20℃冰箱中保存备用。将消毒过的海水和曝气的自来水混合，经砂滤后供养殖过程使用。每 3~4 d 吸污 1 次，吸污后换 1/3 水。每天记录对虾的死亡情况。每周测定水质情况。自然光照。养殖过程中水盐度 4.5~5.5，水温 24.4~29.5℃，pH 7.7~8.0，溶氧含量>5.0 mg/L，氨氮含量≤0.1 mg/L，亚硝酸盐含量≤0.01 mg/L。

1.4 检测指标和计算方法

饲料原料及饲料和粪便中水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和总磷含量分别按照 GB/T

5009.3—2016、GB/T 6432—2018、GB/T 6433—2006、GB/T 6438—2007、GB/T 6437—2018 的方法进行测定。饲料和粪便的氨基酸组成和含量按照 GB/T 18246—2000 的方法，使用安捷伦 1260 型液相色谱仪通过衍生法测定。饲料和粪便通过甲酯化前处理，使用安捷伦 6890 型气相色谱仪按照 GB/T 17377—2008 的方法测定脂肪酸组成和含量。饲料和粪便样品中钼含量委托广州分析测试中心采用等离子发光色谱仪进行测定。

饲料干物质表观消化率(%) = 100×(1-A₁/A₂) ;
饲料营养物质表观消化率(%) = 100×
[1-(A₁/A₂)×(B₂/B₁)] 。

式中：A₁ 为饲料中三氧化二钼（Y₂O₃）含量；A₂ 为粪便中 Y₂O₃ 含量；B₁ 为饲料中某种营养成分含量；B₂ 为粪便中某种营养成分含量。

1.5 数据统计

试验数据用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），结果采用平均值±标准差显示，若组间差异显著，再用 Duncan 氏法进行多重比较，以 P<0.05 为差异显著标准。

2 结果

2.1 各组干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和总磷表观消化率

由表 4 可知，H₀ 组的干物质和粗蛋白质表观消化率最低，L₀ 组其次，LN 组最高，各组之间无显著差异（P>0.05）。LN 组的粗脂肪和总磷表观消化率显著高于 H₀ 组（P<0.05），与 L₀ 组无显著差异（P>0.05）。LN 组的粗灰分表观消化率最高，与 L₀ 和 H₀ 组无显著差异（P>0.05）。

表 4 核苷酸对凡纳滨对虾饲料中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分和总磷表观消化率的影响

Table 4 Effects of nucleotide on apparent digestibilities of dry matter,crude protein,ether extract,ash and total phosphorus in diets of Litopenaeus vannamei(n=4) %

项目 Items	组别 Groups		
	L ₀	LN	H ₀
干物质 DM	70.68±1.03	71.35±2.33	69.71±0.70
粗蛋白质 CP	81.44±1.96	82.32±1.58	81.29±1.49
粗脂肪 EE	95.18±0.55 ^{ab}	96.36±0.44 ^a	94.42±1.08 ^b
粗灰分 Ash	28.23±3.69	29.48±3.21	28.51±9.98
总磷 TP	32.85±3.44 ^a	33.15±3.58 ^a	26.69±3.32 ^b

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。
In the same row,values with different small letter superscripts mean significant difference(P<0.05),while with the same or no letter superscripts mean no significant difference(P>0.05).The same as below.

2.2 各组氨基酸的表观消化率

由表 5 可知，各组之间的各氨基酸、非必需氨基酸和必需氨基酸表观消化率均无显著差异 ($P>0.05$)。其中，LN 组的天冬氨酸表观消化率最低，H₀ 组最高。LN 组的谷氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸和非必需氨基酸表观消化率高于 H₀ 组，但均低于 L₀ 组。LN 组的酪氨酸表观消化率高于 L₀ 和 H₀ 组。LN 组的苏氨酸、组氨酸、蛋氨酸表观消化率低于 L₀ 和 H₀ 组。LN 组的精氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸和必需氨基酸表观消化率高于 H₀ 组，但均低于 L₀ 组。LN 组的异亮氨酸和赖氨酸表观消化率高于 H₀ 和 L₀ 组。

表 5 核苷酸对凡纳滨对虾饲料中氨基酸表观消化率的影响

Table 5 Effects of nucleotide on apparent digestibilities of amino acids in diets of *Litopenaeus vannamei*(n=4) %

项目 Items	组别 Groups		
	L ₀	LN	H ₀
天冬氨酸 Aspartic acid	79.20±1.99	78.27±1.97	80.22±2.57
谷氨酸 Glutamic acid	86.43±1.40	86.16±1.17	85.46±1.98
丝氨酸 Serine	79.05±1.88	77.13±2.54	76.84±2.53
甘氨酸 Glycine	79.18±1.79	77.94±1.42	76.67±1.65
丙氨酸 Alanine	78.11±2.13	77.23±2.36	75.50±2.48
酪氨酸 Tyrosine	79.34±2.64	79.69±1.79	76.42±2.45
非必需氨基酸 Non-essential amino acids	82.17±1.73	81.46±1.62	81.02±2.17
苏氨酸 Threonine	81.21±2.18	80.64±1.58	81.81±1.99
精氨酸 Arginine	76.32±2.23	74.75±2.68	74.17±2.66
组氨酸 Histidine	78.00±5.05	73.60±4.05	77.96±4.57
缬氨酸 Valine	78.52±2.05	76.94±1.90	76.69±2.51
蛋氨酸 Methionine	80.05±2.30	77.70±3.27	79.04±2.01
苯丙氨酸 Phenylalanine	78.72±2.52	78.48±1.47	76.27±2.85
异亮氨酸 Isoleucine	78.07±2.56	78.42±1.55	75.69±3.06
亮氨酸 Leucine	80.17±2.17	79.96±1.61	78.44±2.45
赖氨酸 Lysine	84.60±2.09	84.67±1.58	83.16±2.63
色氨酸 Tryptophan	ND	ND	ND
必需氨基酸 Essential amino acids	77.93±2.08	76.78±1.92	76.39±2.65

2.3 各组脂肪酸的表观消化率

由表 6 可知，各组之间的单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸、总脂肪酸表观消化率无显著差异 ($P>0.05$)。L₀ 组的 C12 : 0、C15 : 0、C17 : 0、isoC19 : 0、C20 : 0 和 C22 : 0 表观消化率均高于 H₀ 组 ($P>0.05$)，L₀ 组的 C14 : 0 表观消化率显著高于 H₀ 组 ($P<0.05$)。LN 组的饱和脂肪酸、C17 : 0、C20 : 0 表观消化率均显著高于 L₀ 和 H₀ 组 ($P<0.05$)，但 L₀ 组和 H₀ 组之间无显著差异 ($P>0.05$)。LN 组的 C16 : 1 表观消化率显著高于 H₀ 组 ($P<0.05$)，LN 组的 C22 : 1、C18 : 3 和 DHA 表观消化率显著高于 L₀ 和 H₀ 组 ($P<0.05$)，但 L₀ 组和 H₀ 组之间无显著差异 ($P>0.05$)。

表 6 核苷酸对凡纳滨对虾饲料中脂肪酸表观消化率的影响

Table 6 Effects of nucleotide on apparent digestibilities of fatty acids in diets of *Litopenaeus vannamei*(n=4) %

项目 Items	组别 Groups		
	L ₀	LN	H ₀
C12:0	71.95±11.51	70.53±6.17	59.63±4.46
C14:0	72.67±1.07 ^a	71.95±2.11 ^a	68.85±1.68 ^b
C15:0	76.26±3.15	75.72±1.89	73.79±0.89
C16:0	59.93±2.50 ^b	64.46±2.91 ^a	62.24±1.55 ^{ab}
isoC16:0	59.21±7.88	55.61±5.10	59.27±3.78
C17:0	52.37±5.79 ^b	76.26±3.55 ^a	51.05±6.61 ^b
C18:0	55.73±4.14	59.42±5.60	55.84±1.90
isoC19:0	61.50±6.36	66.69±4.47	59.74±4.30
C20:0	45.00±5.78 ^b	58.72±3.88 ^a	41.20±4.17 ^b
C22:0	72.23±1.84	72.55±3.46	72.05±1.30
饱和脂肪酸 Saturated fatty acids	62.39±1.37 ^b	65.90±2.13 ^a	62.02±1.34 ^b
C16:1	74.61±1.60 ^{ab}	77.09±1.83 ^a	72.96±1.31 ^b
C18:1	66.22±1.32	61.35±6.42	66.32±0.92
C20:1	70.32±7.66	77.34±4.05	69.65±2.80
C22:1	81.76±1.54 ^b	83.71±0.89 ^a	82.04±0.89 ^b
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acids	69.10±1.64	67.15±4.87	68.84±0.93
C18:2	72.86±0.91	69.91±2.98	71.34±0.69
C18:3	77.03±2.18 ^b	83.15±1.20 ^a	75.90±3.27 ^b
C20:4	78.27±2.20	78.40±2.42	77.42±2.14
二十碳五烯酸 EPA	85.05±0.92	86.69±1.60	84.40±0.72
二十二碳六烯酸 DHA	81.97±0.70 ^b	84.64±1.39 ^a	81.01±0.57 ^b
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acids	75.44±5.13	78.86±1.42	78.92±0.65
总脂肪酸 Total fatty acids	69.60±0.84	70.54±1.94	68.96±0.88

3 讨论

3.1 核苷酸对凡纳滨对虾饲料中干物质表观消化率的影响

干物质表观消化率是饲料中营养物质（包括粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、总磷等）总体消化水平的体现。在本试验中，与高、低蛋白质水平饲料相比，虽然在低蛋白质水平饲料中添加核苷酸能提高凡纳滨对虾对饲料中干物质表观消化率，但效果不明显。这与前人研究结果有所不同。周乐等^[18]研究发现，饲料中添加 0.05%和 0.10%核苷酸能提高断奶仔猪干物质表观消化率，而当核苷酸添加量为 0.20%时，其干物质表观消化率显著提高。Li 等^[20]也报道，在 7~42 日龄仔猪饲粮中添加核苷酸能提高仔猪的干物质、粗蛋白质和总能的表观消化率，提高仔猪的生长性能。仔猪饲粮中添加 0.5%酵母核苷酸产品能显著提高其干物质和粗蛋白质表观消化率^[21]。饲料中添加 0.62%核苷酸混合物能显著提高凡纳滨对虾干物质表观消化率^[22]。核苷酸能提高动物对干物质表观消化率原因，Li 等^[20]报道认为是核苷酸可通过促进提高水产动物的摄食速率，减少饲料中营养物质的溶失，更多用于体内的代谢过程，促进营养物质的沉积，从而提高动物生长。但也有不同研究结果，饲料中添加核

核苷酸对草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)^[16]、尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*×*O.areus*)^[23] 全鱼的干物质 (或水分) 含量无显著效果。这可能与核苷酸对干物质表观消化率与饲料原料组成、营养水平及核苷酸类型和用量有关, 此外, 动物种类、生长阶段以及养殖环境等也会对干物质表观消化率有所影响, 具体原因有待进一步探讨。

3.2 核苷酸对凡纳滨对虾饲料中蛋白质及氨基酸表观消化率的影响

蛋白质表观消化率是评估动物对饲料蛋白质消化利用程度的重要指标。饲料蛋白质水平、氨基酸组成和含量、机体对蛋白质的消化吸收能力都与蛋白质的消化率密切相关。氨基酸是蛋白质的基本组成, 对蛋白质的消化实质是对氨基酸的利用。本试验结果显示, 饲料中添加核苷酸对凡纳滨对虾饲料粗蛋白质、6 种非必需氨基酸、9 种必需氨基酸、总非必需氨基酸和总必需氨基酸的表观消化率均无显著影响, 这与饲料中添加核苷酸对断奶仔猪的粗蛋白质表观消化率无显著影响的结果类似^[18]。而陈冰等^[19]研究发现, 在植物蛋白质源替代鱼粉饲料中添加 0.62% 核苷酸混合物对凡纳滨对虾的粗蛋白质表观消化率无显著影响, 但能显著改善凡纳滨对虾对饲料的苯丙氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、总必需氨基酸、天门冬氨酸、脯氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸和总非必需氨基酸的表观消化率。核苷酸对蛋白质表观消化率研究结果迥异, 与核苷酸产品来源、核苷酸单体混合物种的各成分的含量、养殖对象、规格和所处的养殖环境、养殖周期和核苷酸添加方式都有一定的关系。此外, 核苷酸对不同动物影响作用途径, 也会对蛋白质表观消化吸收率产生影响。饲料中添加混合核苷酸能提高大黄鱼血液中血红蛋白和总蛋白含量, 但是差异不显著^[17]。据报道, 饲料中添加 0.03% 的核苷酸对凡纳滨对虾血清中的总蛋白含量影响不显著^[24]。王锐等^[25]研究发现, 在异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 幼鱼饲料中添加核苷酸能提高其肠道和肝胰腺消化酶活性。但是也有一些研究存在不同的结果, 饲料中添加适量的核苷酸显著提高斑点叉尾 (*Ictalurus punctatus*)^[26] 鱼体粗蛋白质含量。饲料中添加核苷酸能显著提高半滑舌鳎 (*Cynoglossus semilaevis*) 稚鱼的胰脏和肠道蛋白酶活性^[13]。饲料中添加 0.06% 核苷酸显著提高了草鱼的肌蛋白和中肠总蛋白含量, 提高了肝蛋白和前肠总蛋白含量^[27]。饲料中添加 1.5 g/kg 的核苷酸能显著提高黄颡鱼的蛋白质沉积率^[28]。咎林森等^[29]推测核苷酸可能是通过作为蛋白激酶促进代谢酶和激素的生成, 进而促进蛋白质的合成。

3.3 核苷酸对凡纳滨对虾饲料中粗脂肪和脂肪酸表观消化率的影响

脂肪是动物组织中主要的组成物质和储能物质, 为机体提供能量和脂肪酸。高等动物

中已有核苷酸对脂肪代谢调节作用的研究。在奶粉配方中添加核苷酸能够提高早产儿肠上皮细胞、足月婴儿肠上皮细胞和血浆中长链多不饱和脂肪酸的含量。关于饲料中添加核苷酸对动物饲料中粗脂肪表观消化率的影响,前人已有少量研究报道。周乐等^[18]研究发现,饲料中添加核苷酸能显著提高断奶仔猪的粗脂肪表观消化率。陈冰等^[19]也发现核苷酸能显著提高凡纳滨对虾对饲料中粗脂肪表观消化率。在真鲷(*Pagrus major*)幼鱼饲料中添加 0.2% 腺嘌呤核糖核苷酸能提高粗脂肪表观消化率^[30]。本试验结果与上述结果相似,但本试验结果还发现饲料中添加核苷酸能显著提高饱和脂肪酸、C17:0、C20:0、C22:1、C18:3、DHA 表观消化率,而 C14:0、C16:1 表观消化率显著高于 H₀ 组,与 L₀ 组无显著差异。近年来有关核苷酸对水产动物脂代谢的作用受到关注。李解^[31]发现添加 0.1% 复合核苷酸在促进斑马鱼(*Danio rerio*)生长的同时可以降低肝脏脂肪含量并提高肌肉脂肪含量。饲料中添加混合核苷酸能显著提高大黄鱼血液中甘油三酯和胆固醇含量^[17]。已有研究发现,饲料中添加核苷酸能显著提高鲟鱼(*Beluga sturgeon*)的鱼体饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量,而各组间的单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸、n-3 多不饱和脂肪酸、n-6 多不饱和脂肪酸、n3/n6 和二十碳五烯酸+二十二碳六烯酸含量差异不显著^[32]。饲料中添加核苷酸能显著提高凡纳滨对虾的虾体 C14:1n-5、C20:3n-3 和 C22:6n-6 含量,但对饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸以及多不饱和脂肪酸含量没有显著影响,推测这可能是脂肪酶对不同的脂肪酸的消化吸收能力不一致导致的^[33]。不同的研究对象及脂肪酸的长度、饱和度、组成和含量等都能影响机体对脂肪酸的消化吸收能力,进而影响机体对粗脂肪的消化能力。核苷酸对脂肪代谢影响的作用机理还比较缺乏,其具体机制并不明确。

4 结论

与高、低蛋白质水平饲料相比,在低蛋白质水平饲料中添加核苷酸具有改善凡纳滨对虾对饲料营养物质表观消化率的效果,特别是对粗脂肪、总磷和脂肪酸。

参考文献:略

原文刊登在《动物营养学报》2020,32(09),4408-4417 DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2020.09.052

酶解豆粕蛋白替代鱼粉对凡纳滨对虾生长、饲料利用 和消化酶的影响

刘慧玲 闫方权 吴世林 秦海鹏 杨世平

广东海洋大学水产学院广东省水产经济动物病原生物学及流行病学重点实验室暨水产经济动物病害控制广东省普通高等学校重点实验室 广州智特奇生物科技股份有限公司

摘 要: 试验旨在研究酶解豆粕蛋白替代部分鱼粉对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长、饲料利用及消化酶的影响。选用初始体质量为 (1.10 ± 0.02) g 的健康对虾, 随机分成 5 组, 饲养在 0.5 m^3 的玻璃纤维钢桶中, 分别投喂酶解豆粕蛋白(0、7.40%、14.80%、22.20%和 30.20%)替代基础配方中鱼粉(0、25%、50%、75%和 100%)制成 5 组等氮等脂的饲料, 试验时间为 56 d。试验结果显示投喂 25%和 50%的酶解豆粕蛋白替代鱼粉的凡纳滨对虾增重率、特定生长率、饲料系数和蛋白质效率等无差异统计学意义($P>0.05$), 替代 25%组和替代 50%组凡纳滨对虾肝胰腺的蛋白酶和淀粉酶活性显著高于对照组($P<0.05$)。研究结果表明, 凡纳滨对虾饲料中酶解豆粕蛋白替代鱼粉的比例不宜超过 50%。

关键词: 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*); 酶解豆粕; 鱼粉; 生长性能; 饲料系数; 消化酶;

Effects of enzymolytic soybean meal replacing fish meal on growth, feed utilization and digestion enzymes for *Litopenaeus vannamei*

Liu Huiling Yan Fangquan Wu Shilin Qin Haipeng Yang Shiping

College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Pathogenic Biology and Epidemiology for Aquatic Economic Animals Guangzhou Wisdom BioTechnology Co., Ltd.

Abstract: The aim of this paper was to study the effects of enzymolytic soybean meal protein replacing fish meal on the growth, feed utilization and digestive enzymes for *Litopenaeus vannamei*. Healthy shrimps with initial weight of (1.10 ± 0.02) g were randomly divided into 5 groups and fed with 5 five isoprotein and isolipid diets that contains different levels of enzymatic soybean meal(0, 7.40%, 14.80%, 22.20% and 30.20%) correspondingly replacing fish meal(0, 25%, 50%, 75% and 100%) in a basic formula. Shrimps were cultured in 0.5 m^3 fiberglass buckets for 56 d. The results showed that no significant difference was observed in the weight gain rate, specific growth rate, feed coefficient, protein efficiency of shrimp between the group at 25% level of replacement and the group at 50% level of replacement. The activities of protease and amylase in the hepatopancreases of shrimp fed with diets of groups at 25% and 50% level of replacement were significantly higher than those of control group($P<0.05$). The results indicated that the proportion of enzymolytic soybean meal replacing fish meal should be no more than 50%.

Keyword : *Litopenaeus vannamei*; enzymolytic soybean meal; fish meal; growth performance; feed coefficient; digestive enzymes;

鱼粉是水产饲料原料中最优质的蛋白源, 随海洋渔业资源逐渐衰竭, 鱼粉的数量逐年

减少，价格大幅上升。开发利用其他蛋白，寻找廉价高效的蛋白原料，全部或部分替代鱼粉，降低饲料成本，是当前一个重要的研究热点。豆粕的蛋白质含量高、价格便宜、资源丰富，因其存在胰蛋白酶抑制因子等抗营养因子，限制了其在饲料中的大量应用。豆粕在发酵前后营养价值发生极大的变化，蛋白质含量提高，小分子肽类增加，各类抗营养因子被去除，更加适合动物摄食^[1]。豆粕发酵或酶解后，低分子蛋白的含量大幅提高，且胰蛋白酶抑制因子等抗营养因子得到了彻底消除^[2]。发酵豆粕能改善断奶仔猪的生长性能和对饲料的利用率^[3]，提高肉鸡肌肉产率^[4]和改善鸡蛋品质^[5]。在对虾养殖中，已有利用发酵豆粕替代鱼粉的报道^[6,7,8,9]。替代部分鱼粉后，并未发现对凡纳滨对虾（*Litopenaeus vannamei*）增重率、体肌肉组成等产生显著影响^[6,7,8]，但过高的替代水平会降低对虾的生长性能和饲料利用率^[7]。发酵豆粕适量替代鱼粉可提高凡纳滨对虾的免疫力，但替代量过高，也会引起机体的过度应激^[9]。该试验以凡纳滨对虾为研究对象，在凡纳滨对虾配合饲料中用酶解豆粕蛋白替代部分鱼粉，研究酶解豆粕蛋白对凡纳滨对虾生长性能的影响，旨在为酶解豆粕蛋白替代鱼粉在凡纳滨对虾以及其他虾类的商品饲料中使用提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

酶解豆粕蛋白为广州智特奇生物科技股份有限公司通过特殊工艺制备（商品名为唐吉诃德蛋白），其粗蛋白含量为 56.0%、粗脂肪为 2.6%，水分为 8.0%，灰分为 7.0%。鱼粉为秘鲁进口鱼粉。试验用水为未经过沉淀、过滤的自然海水。

饲料配方中用 0、7.40%、14.80%、22.20%、30.20%的酶解豆粕蛋白分别替代基础配方中 0、25%、50%、75%和 100%的鱼粉制成 5 种等氮、等脂的饲料。试验饲料的蛋白源由鱼粉、酶解豆粕蛋白、豆粕、花生粕、酵母粉和虾粉等组成。饲料原料全部经粉碎，过 80 目筛，微量成分采取逐级扩大法添加，与大原料混合均匀后（水分添加 25%~30%左右），挤压成 1.2 mm 粒径的颗粒饲料，60℃烘干（水分 8%~10%）备用。饲料配方及营养成分含量见表 1。

1.2 试验动物

试验对虾为该实验室自行培育的同一批健康的凡纳滨对虾幼虾，初始体质量为 (1.10 ± 0.02) g，试验前暂养 1 周。

1.3 饲养管理

试验在广东海洋大学东海岛海洋生物基地室内养殖系统进行。将对虾随机分为 5 组，

每组设 3 个平行，每个平行 40 尾。试验在 0.5 m³ 的玻璃纤维钢桶中进行，分别投喂 5 种不同饲料，投喂量为体质量的 5%~10%，在 08:00、14:00、20:00 各投喂 1 次，根据对虾摄食情况做相应调整。每天观察对虾摄食、蜕壳、生长情况，并记录投喂量、水温、pH 值、盐度等水质参数。试验期间，根据对虾生长状况、摄食情况，相应调节投饲量。每天吸污和换水 1 次，换水量为 20%。试验期间水温为(28.3±0.86)°C，盐度为 27.3±0.1,pH 值为 8.12±0.04，试验时间为 56 d。

表 1 试验饲料配方 %

	对照组	25%替代组	50%替代组	75%替代组	100%替代组
鱼粉	25.00	18.75	12.50	6.25	0.00
酶解豆粕蛋白		7.40	14.80	22.20	30.20
豆粕	21.00	21.50	21.00	21.00	20.30
面粉	27.69	24.96	23.31	21.08	19.19
鱼油	1.00	1.25	1.49	1.75	2.05
磷酸二氢钙	1.00	1.30	1.55	1.80	2.00
花生粕	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
啤酒酵母	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
虾粉	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
大豆卵磷脂	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
大豆油	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
胆碱	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
维生素混合物	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
矿物质混合物	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VC 磷酸脂	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
苏氨酸	0.00	0.05	0.11	0.17	0.24
甘氨酸	0.00	0.11	0.18	0.28	0.42
丙氨酸	0.00	0.06	0.12	0.21	0.31
蛋氨酸	0.00	0.11	0.23	0.35	0.51
赖氨酸	0.00	0.18	0.35	0.53	0.85
羧甲基纤维素	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
牛磺酸	0.00	0.03	0.06	0.08	0.13
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
粗脂肪	6.05	6.15	6.00	6.08	6.18
粗蛋白	38.76	38.89	38.67	38.56	38.82

1.4 样品采集与分析

试验 28 d 和 56 d 时，称重计数。每桶随机选取处于蜕皮间期的 5 尾对虾，取对虾的肝胰腺、中肠（去除肠道内容物），并称重，然后置于冰箱中（-80°C）保存。分析时将样品按其质量的 9 倍加入生理盐水（4°C，pH 值 7.0），低温下用玻璃匀浆器匀浆，再以 4 000 r/min,4°C，离心 20 min，取上清液测定酶活性。蛋白酶活性的测定采用福林—酚试剂法，在 40°C下每分钟水解酪蛋白产生 1μg 酪氨酸，定义为 1 个蛋白酶活力单位（U）。淀粉酶活性和脂肪酶活性采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。

随机选取处于蜕皮间期的 8 尾对虾进行虾体成分分析。将全虾样品在 105°C下烘干至恒重分别测定水分含量；采用凯氏定氮法测定虾体蛋白含量。

增重率 (WG)(%)=100× (W_t-W₀) /W₀;

特定生长率 (SGR) (%/d)=100×[ln(W_t)-ln(W₀)]/t;

饲料系数=F/ (W_t-W₀);

蛋白质效率 (PER)(%)=100× (W₀-W_t) /蛋白质摄入量。

式中: W₀ 为每桶的初始平均体质量 (g);W_t 为终末平均体质量 (g);t 为养殖的天数 (d);F 为是消耗的饲料干物质的量 (g)。

1.5 数据处理与分析

结果用平均值±标准差表示。采用 SPSS Statistics21 统计软件对数据进行单因素方差分析(Oneway ANOVA), 并结合 Duncan 法进行多重比较, 以 P<0.05 表示差异具统计学意义。

2 试验结果

2.1 对凡纳滨对虾生长和存活情况的影响

由表 2 可知, 养殖 28 d 时, 酶解豆粕蛋白替代不同比例鱼粉对凡纳滨对虾体质量、WG 和 SGR 影响显著 (P<0.05), 而对存活率无显著影响 (P>0.05)。WG 以对照组最高, 替代 25%组次之, 替代 100%组最低; 对照组、替代 25%组的 WG 显著高于替代 75%组和替代 100%组(P<0.05)。对照组、替代 25%组和替代 50%组间差异不具统计学意义(P>0.05)。由表 3 可知, 养殖 56 d 时, 酶解豆粕蛋白替代不同比例鱼粉对凡纳滨对虾体质量、WG、SGR 和存活率影响显著 (P<0.05)。WG 以对照组最高, 替代 25%组次之, 替代 100%组最低; 对照组的 WG 显著高于替代 75%组和替代 100%组 (P<0.05); 对照组、替代 25%组和替代 50%组间差异不具统计学意义 (P>0.05)。而存活率以替代 25%组最高, 对照组次之, 替代 100%组最低; 替代 25%组的存活率比对照组高 5.83%, 且显著高于替代 75%组和替代 100%组 (P<0.05), 但对照组、替代 25%组和替代 50%组间无差异统计学意义 (P>0.05)。

表 2 酶解豆粕蛋白替代鱼粉对凡纳滨对虾 28 d 生长的影响

替代水平/%	初始体质量/g	28 d 体质量/g	WG/%	SGR/(%·d ⁻¹)	存活率/%
0	1.12±0.03 ^a	3.29±0.14 ^a	217.33±5.12 ^a	3.86±0.01 ^a	97.5±4.30 ^a
25	1.10±0.02 ^a	3.16±0.15 ^{ab}	216.25±4.67 ^a	3.89±0.03 ^a	95.83±5.20 ^a
50	1.08±0.02 ^a	3.14±0.16 ^{abc}	206.17±12.50 ^{ab}	3.69±0.14 ^a	95.83±5.20 ^a
75	1.09±0.02 ^a	3.01±0.20 ^c	192.08±21.97 ^b	3.62±0.29 ^a	95.83±5.20 ^a
100	1.10±0.02 ^a	2.74±0.08 ^d	164.92±8.25 ^c	3.27±0.13 ^b	98.33±2.89 ^a

注: 表中同一列数据标不同字母表示差异具统计学意义 (P<0.05), 下表同。

表 3 酶解豆粕蛋白替代鱼粉对凡纳滨对虾 56 d 生长的影响

替代水平/%	56 d 体质量/g	WG/%	SGR/(%·d ⁻¹)	存活率/%
0	6.05±0.25 ^a	493.33±27.60 ^a	3.02±0.12 ^a	76.67±7.64 ^{ab}
25	5.84±0.32 ^{ab}	474.58±32.19 ^{ab}	2.98±0.11 ^a	82.50±2.50 ^a
50	5.50±0.45 ^{ab}	441.50±46.22 ^{ab}	2.89±0.16 ^a	72.50±5.00 ^{ab}
75	5.16±0.39 ^b	407.42±38.78 ^b	2.78±0.14 ^a	68.33±8.78 ^{bc}
100	4.06±0.36 ^c	296.25±34.16 ^c	2.33±0.13 ^b	59.17±7.64 ^c

2.2 对凡纳滨对虾体成分和饲料利用情况的影响

由表 4 可知,酶解豆粕蛋白替代不同比例鱼粉对凡纳滨对虾饲料系数和 PER 影响显著 ($P<0.05$),而对体蛋白含量无显著影响 ($P>0.05$)。28 d 饲料系数和 56 d 饲料系数均以对照组最低,替代 25%组次之,替代 100%组最高;对照组的饲料系数显著低于替代 75%组和替代 100%组 ($P<0.05$)。饲料系数和 PER 在对照组、替代 25%组和替代 50%组间均无差异统计学意义 ($P>0.05$)。

2.3 对凡纳滨对虾消化酶活性的影响

由表 5 可知,酶解豆粕蛋白替代不同比例鱼粉对凡纳滨对虾肝胰腺和肠道的蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶的活力有显著的影响 ($P<0.05$)。替代 25%组肝胰腺蛋白酶活力显著高于其他组 ($P<0.05$),替代 50%组次之,替代 100%组最低。而酶解豆粕蛋白替代不同比例鱼粉却显著降低了对虾肠道中蛋白酶活力 ($P<0.05$)。各酶解豆粕蛋白组的肝胰腺和肠道的淀粉酶活力均显著高于对照组 ($P<0.05$)。对照组肝胰腺的脂肪酶活力与替代 25%组、替代 50%组和替代 75%组间无差异统计学意义 ($P>0.05$)。

表 4 酶解豆粕蛋白替代鱼粉对凡纳滨对虾体成分和饲料利用情况的影响

替代水平/%	体蛋白含量/%	28 d 饲料系数	56 d 饲料系数	PER/%
0	72.12±0.81 ^a	1.51±0.01 ^a	1.59±0.05 ^a	1.30±0.06 ^a
25	71.59±1.03 ^a	1.52±0.04 ^{ab}	1.61±0.06 ^a	1.28±0.06 ^a
50	71.57±0.37 ^a	1.70±0.18 ^{ab}	1.78±0.09 ^{ab}	1.14±0.08 ^{ab}
75	70.69±1.30 ^a	1.75±0.19 ^{bc}	1.96±0.19 ^b	1.01±0.13 ^b
100	71.08±0.95 ^a	1.97±0.10 ^c	2.49±0.24 ^c	1.09±0.23 ^c

表 5 酶解豆粕蛋白替代鱼粉对凡纳滨对虾消化酶活性的影响

替代水平	肝胰腺			肠道		
	蛋白酶/ (U·g ⁻¹ tissue)	淀粉酶/ (U·mgprot ⁻¹)	脂肪酶/ (U·gprot ⁻¹)	蛋白酶/ (U·g ⁻¹ tissue)	淀粉酶/ (U·mgprot ⁻¹)	脂肪酶/ (U·gprot ⁻¹)
0	4 166.69±40.28 ^c	3.32±0.03 ^d	1.18±0.24 ^b	1 888.03±87.71 ^a	11.39±0.11 ^c	3.73±0.47 ^a
25	6 163.23±33.15 ^a	3.67±0.10 ^c	1.41±0.38 ^b	872.88±29.23 ^b	12.85±0.11 ^a	2.86±0.33 ^{ab}
50	5 297.58±175.01 ^b	5.11±0.08 ^b	0.87±0.19 ^b	752.32±120.83 ^b	12.20±0.10 ^b	1.80±0.89 ^{bc}
75	3 694.08±79.68 ^d	5.37±0.06 ^a	1.44±0.47 ^b	511.19±46.51 ^c	12.02±0.05 ^b	1.60±0.21 ^c
100	2 797.09±173.66 ^e	5.15±0.06 ^b	4.28±0.22 ^a	523.24±22.10 ^c	12.32±0.07 ^b	2.72±0.67 ^{abc}

3 分析与讨论

3.1 酶解豆粕蛋白对凡纳滨对虾生长性能的影响

许多研究表明,豆粕经过深加工之后(发酵)适量替代饲料中的鱼粉对水产动物的生长无显著影响^[6,7,8,9]。冷向军等^[6]研究发现,发酵豆粕可取代饲料中鱼粉用量的 20%,而不会对凡纳滨对虾体增重率、体肌肉组成产生显著影响。杨耐德等^[7]发现发酵豆粕替代鱼粉量小于 33.33%时,对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用率无显著影响,过高的替代水平会降低对虾的生长性能和饲料利用率。李贵生等^[8]发现使用发酵杂粕等氮替代 10%鱼粉饲养凡纳滨对虾,与对照组相比,对虾的生长均无差异统计学意义。刘韬等^[9]研究发现,8%~12%发酵豆粕替代鱼粉对凡纳滨对虾生长性能无显著影响。该试验中,养殖前期(28 d)和后期(56 d),酶解豆粕蛋白替代不同比例鱼粉对凡纳滨对虾的体质量、增重率和特定生长率影响显著($P<0.05$),且随替代率的增加,各指标均逐渐下降,但当酶解豆粕蛋白替代鱼粉量不超过 50%时,不同养殖阶段的增重率和特定生长率与对照组均无差异统计学意义($P>0.05$),这说明该种工艺制备的酶解豆粕蛋白与其他发酵豆粕一样,改善了豆粕的品质,更加符合对虾生长的需要。而同时,在本试验过程中,观察发现各组之间对虾的摄食情况有很大不同,投喂酶解豆粕蛋白组的对虾,在投喂几天后对虾的摄食速度明显增加,说明发酵豆粕的适口性增加,与 Visessanguan^[11]的研究结果一致。也有研究发现,饲料中添加酶解豆粕蛋白可以促进动物的生长。3.5%大豆酶解蛋白替代日粮中 3%的鱼粉投喂断奶仔猪,获得了最高的试验期末体质量、日增重和采食量^[3]。异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)饲料中添加 30%发酵豆粕,能起到促进生长和改善肝功能的作用^[12]。

3.2 酶解豆粕蛋白对凡纳滨对虾存活率的影响

许多研究证明,发酵豆粕适量替代饲料中的鱼粉对水产动物的存活率无显著影响^[6,9,13,14]。该试验的研究发现,酶解豆粕蛋白替代不同比例鱼粉对凡纳滨对虾养殖前期(28 d)的存活率无显著影响($P>0.05$),但对养殖后期(56 d)各组存活率影响显著($P<0.05$)。可能是在养殖前期时进行对虾称重等操作后,养殖对虾受到了严重刺激后,造成了养殖后期对虾的存活率出现了组间的显著差异($P<0.05$)。替代鱼粉量为 25%时,其存活率比对照组还高 5.83%,虽然统计上无差异统计学意义($P>0.05$),但在生产中可能有很大意义,可能是酶解豆粕蛋白提高了对虾免疫力。刘韬等^[9]认为发酵豆粕适量添加,可提高对虾免疫相关酶活力,改变免疫相关基因的表达,不过替代量过高,会引起机体的过度应激。Lin 等^[10]发现豆粕在替代 20%鱼粉蛋白质时会降低凡纳滨对虾的免疫能力,使用发酵蛋白能减少这

种负面效应，但并不能消除。也有研究发现，发酵豆粕替代 28.6%鱼粉时，凡纳滨对虾的成活率显著提高 ($P<0.05$)^[15]。大豆酶解蛋白具有提高断奶仔猪的血清抗体水平、增强免疫力的作用^[3]。

3.3 酶解豆粕蛋白对凡纳滨对虾饲料利用的影响

发酵豆粕替代日本沼虾 (*Macrobrachium nipponense*) 饲料中的 25%的鱼粉时，其增重率和饲料系数达到最佳且优于对照组^[16]。刘韬等^[9]则发现过高或过低发酵豆粕替代鱼粉饲料均会降低凡纳滨对虾的生长性能，降低饲料效率。该试验中，酶解豆粕蛋白替代不同比例的鱼粉蛋白质对凡纳滨对虾饲料系数和蛋白质利用率的影响显著 ($P<0.05$)。28 d 饲料系数和 56 d 饲料系数均以对照组最低。当酶解豆粕蛋白替代鱼粉量不超过 50%时，不同养殖阶段的饲料系数和蛋白质利用率与对照组间均无差异统计学意义 ($P>0.05$)。这说明凡纳滨对虾饲料中添加部分酶解豆粕蛋白替代一定量的鱼粉，对饲料利用无显著影响，与杨耐德在对虾中的研究结果一致^[7]。彭松等^[17]在进行 3 种发酵豆粕试验时，发现分别添加其中两种发酵豆粕试验组的饲料系数显著高于对照组 ($P>0.05$)，但另一种发酵饲料却显著降低了饲料系数 ($P<0.05$)，说明发酵豆粕的质量存在差异，不同的发酵豆粕会表现出不同的效果。

3.4 酶解豆粕蛋白对凡纳滨对虾消化酶活性的影响

蛋白酶的活力在消化酶中最强，说明凡纳滨对虾具有较高的蛋白质消化能力^[18]。该试验中的对虾蛋白酶活力为肝胰脏显著大于肠道，说明蛋白酶主要分布于肝胰脏，肠道的蛋白酶活力迅速下降，与黄燕华的研究结果一致^[19]。消化酶活性的高低是评价养殖动物对营养物质消化能力的重要指标。Feng 等^[20]研究表明，枯草芽孢杆菌发酵豆粕显著提高了断奶仔猪十二指肠胰蛋白酶活性。该试验中，当酶解豆粕蛋白替代鱼粉量不超过 50%时，对虾肝胰腺蛋白酶活性显著提高，淀粉酶活性也在不同程度有所提高。发酵豆粕也能诱导黄河鲤 (*Cyprinus carpio-haematopterus*) 前肠分泌淀粉酶，提高前肠淀粉酶活力^[21]。凡纳滨对虾消化酶活性的提高可能与酶解豆粕蛋白产品中抗营养因子的彻底降解、大分子肽含量较低等有关^[22]。本试验中，酶解豆粕蛋白组对对虾肠道蛋白酶的活力显著低于对照组，可能与肝胰腺中蛋白酶活力的大幅提高，进而降低进入肠道食糜的大分子蛋白含量，肠道不需要分泌更多的蛋白酶来消化食物有关。投喂发酵豆粕的黄河鲤中肠和后肠淀粉酶活力也出现了下降^[21]。袁春营等^[23]则报道发酵豆粕能显著提高对虾肝胰腺和肠道的蛋白酶活力。

4 结论

综合考虑对虾的生长性能，饲料系数、消化酶活性等，酶解豆粕蛋白替代饲料中 25%~

50%的鱼粉含量为宜，不能超过 50%，过高的替代比例会造成对虾消化酶活力下降，生长性能下降，饲料系数升高。

参考文献：略

原文刊登在《水产养殖》 2020,41(09),1-6 DOI:10.3969/j.issn.1004-2091.2020.09.001

饲料研发

饲料中添加浒苔对凡纳滨对虾生长性能和肌肉品质的影响

王靖 姚文祥 李小勤 冷向军

上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心 上海海洋大学农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心 上海海洋大学水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心

摘 要：为研究饲料中添加浒苔对凡纳滨对虾生长性能和肌肉品质的影响，在鱼粉含量分别为 18% (A) 和 15% (B) 的基础饲料中添加 0%、3%、6% 的浒苔(记为 A0、A3、A6、B0、B3、B6)，共 6 组等氮等能饲料，饲喂初始体质量为 (3.0 ± 0.1) g 的凡纳滨对虾 8 周。结果显示，A0 组具有最大增重率(654.2%)和最低饲料系数(1.61)，在 18%、15% 鱼粉饲料中添加 3% 浒苔，对虾体生长性能没有显著影响，添加 6% 浒苔，显著降低了增重率，升高了饲料系数，降低了虾体粗脂肪含量；在 18%、15% 鱼粉饲料中添加 3%、6% 浒苔，显著降低了凡纳滨对虾的蛋白质效率、蛋白质沉积率、脂肪沉积率和蛋白质消化率。在肌肉品质方面，A3、A6、B6 组肌肉硬度和咀嚼性均较 A0、B0 组显著提高；饲料中添加 6% 浒苔显著提高了肌肉胶原蛋白含量，降低了肌肉煮失水率和冷冻失水率；以上结果表明，在凡纳滨对虾饲料中添加 3% 浒苔，对虾体生长性能没有显著影响，添加 6% 浒苔，降低了虾体增重率和饲料利用，但可改善肌肉品质。

关键词：凡纳滨对虾；浒苔；生长；肌肉品质；

Dietary effects of *Enteromorpha prolifera* on growth performance and flesh quality
of *Litopenaeus vannamei*

WANG Jing YAO Wenxiang LI Xiaoqin LENG Xiangjun

National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University Fish Nutrition and Environmental Ecology Research Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University

Abstract: This trial was conducted to evaluate the effects of dietary *Enteromorpha prolifera* (EP) on growth and flesh quality of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Two basal diets were designed to contain 18% (A) and 15% (B) fish meal, and then EP was added in both basal diets at the levels of 0%, 3%, 6% to form six isonitrogenous and isoenergetic diets, referring to A0, A3, A6, and B0, B3, B6, respectively. The six diets were

fed to white shrimp with an initial body weight of 3.00 g for 8 weeks. The results showed that A0 group had the highest weight gain (WGR, 654.2%) and the lowest feed conversion ratio (FCR, 1.61). The supplementation of 3% EP in both basal diets did not significantly affect the growth performance, while the supplementation of 6% EP significantly decreased the WGR, increased the FCR and reduced the crude fat content of shrimp body. The addition of 3% and 6% EP in both basal diets significantly reduced the protein efficiency ratio (PER), protein retention efficiency (PRE), lipid retention efficiency (LRE) and apparent digestibility coefficient of crude protein (ADCCP). In terms of flesh quality, the flesh hardness and chewiness of A3, A6 and B6 groups were significantly higher than those of A0 and B0 groups, respectively. Dietary EP (6%) significantly increased the flesh collagen content and reduced the cooking loss and thawing loss. In conclusion, the supplementation of 3% EP in diet did not significantly affect the growth of Pacific white shrimp, and 6% EP supplementation improved the flesh quality, although the supplementation reduced the weight gain and feed utilization.

Keyword: *Litopenaeus vannamei*; *Enteromorpha prolifera*; growth performance; flesh quality;

浒苔 (*Enteromorpha prolifera*) 俗称苔条、青海苔, 属绿藻门 (Chlorophyta) 绿藻纲 (Chlorophyceae)、石莼目 (Ulvales) 石莼科 (Ulvaceae)^[1], 广泛分布于全世界, 具有环境适应性强, 生长迅速等特点^[2]。浒苔暴发后, 规模大, 持续时间长, 且具有很强黏附性, 常常附着在海洋基础设施和船体上, 给海洋生态环境、沿海景观以及海洋渔业和旅游业造成严重破坏^[3,4]。另一方面, 浒苔本身被认为是一种高蛋白、低脂肪、矿物质丰富, 以及富含人体的 8 种必需氨基酸的优质海藻^[5,6]。然而, 浒苔纤细胞壁较为坚韧, 影响了动物体对其细胞内的营养物质的消化^[7]。

目前, 国内外已有一些在水产饲料中添加浒苔的报道。在黄斑蓝子鱼 (*Siganus oramin*) 饲料中添加 5% 浒苔对鱼体生长性能没有显著影响, 但当浒苔添加量为 10%、15% 时, 其生长性能显著下降^[8]; 卢青等^[9]在对大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 的研究中发现, 在饲料中添加 5% 浒苔对鱼体生长有促进作用; Asino 等^[10]在大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*) 幼鱼的饲料中添加 15% 浒苔, 对鱼体生长无影响。

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 是世界范围内广泛养殖的一种虾类, 2016 年的全球年产量为 415.6 万吨^[11]。在凡纳滨对虾饲料中是否可添加浒苔, 对虾体生长和肉质是否会产生影响? 目前均未见有关报道。故本实验以凡纳滨对虾为实验对象, 在不同比例鱼粉 (18%、15%) 的基础饲料中, 分别添加浒苔 3%、6%, 考察对凡纳滨对虾的生长性能、虾体成分、肌肉系水力和肌肉质构的影响, 为浒苔的开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验设计和实验饲料

采用 2×3 双因子实验设计，在鱼粉含量 18%、15% 的饲料中分别添加 0%、3%、6% 浒苔，相应减少次粉比例，配制成 6 组等氮等能饲料。浒苔经超微粉碎处理，含粗蛋白质 13.5%，粗脂肪 1.3%。其他主要饲料原料粉碎后过 60 目筛，另添加 500 mg/kg Y_2O_3 作为外源指示剂，按饲料配方(表 1)混合均匀。用单螺杆挤压机制成直径为 1.2 mm 的沉性颗粒饲料[制粒温度为(85±5)℃]，95 °C 烘箱内后熟化 20 min，风干至水分含量低于 10%，密封保存备用。

1.2 实验虾及饲养管理

凡纳滨对虾虾苗购于上海市浦东新区某育苗种场，购回后在水泥池中暂养，并投喂商品饲料（苏州通威特种饲料有限公司生产，粗蛋白含量≥42%）。在正式开始实验前 24 h 停止投喂饲料，挑选个体大小均匀的健康对虾 1 200 尾（初始体质量约为 3.00 g），随机分配至 24 个网箱(1.5 m×1.0 m×1.2 m)中，分置于 3 个水泥池(5 m×3 m×1.2 m)中，每个水泥池中放置 8 个网箱，每个网箱 50 尾，实验共设置 6 个处理组，每个处理组 4 个平行（网箱）。在养殖实验过程中，每日的投喂量约为对虾体质量的 3%~8%（前期投喂率高，后期投喂率低），分 4 次投喂(6:00、12:00、17:00 和 23:00)，根据对虾吃食习性，早晚投喂量约占总量的 70%。根据对虾的进食情况和天气情况等作出投喂量的调整，使各网箱饲料投喂量基本一致，并确保饲料在投喂后 2 h 内被采食完；昼夜充气，采用虹吸法吸走池底粪便，前期每周吸污 1 次，后期每周吸污 2 次，吸污后换水 1/3。在养殖实验期间，水温 29~32 °C、盐度 1~2、溶氧≥5.6 mg/L、pH 7.8~8.5、氨氮≤0.2 mg/L，亚硝酸盐≤0.1 mg/L。饲养实验共持续 8 周。养殖实验于上海海洋大学滨海特种养殖场进行。

1.3 粪便收集

实验开始 4 周后，在每次投喂后 2 h，用镊子轻取食台上包膜完整的粪便，保存于-20 °C 冰箱中。待收集足量粪便样品后，105 °C 干燥、密封存放于-20 °C 冰箱中，用于营养物质消化率的分析。

1.4 样品采集

养殖实验开始时，随机选取 60 尾对虾于-20 °C 冰箱中保存，其中 10 尾虾合并为一个样本，用于初始样体成分分析。实验结束前 24 h 停止投喂。每个网箱随机挑选 3 尾对虾，保存于-20 °C 的冰箱中用于全虾体成分分析，另取 3 尾虾，取其肌肉立即用于煮失水率和冷冻失水率的测定；取 3 尾对虾用于肌肉质构和肌肉胶原蛋白含量的测定。

1.5 测定指标和方法

生长性能 实验结束前 24 h 停止投喂。每个网箱进行称重并记录尾数，计算生长性能指标，包括存活率(SR)、增重率(WGR)、饲料系数(FCR)、蛋白质效率(PER)、蛋白质沉积率(PRE)和脂肪沉率(LRE)：

$$\text{存活率(survival rate, SR, \%)} = N_t/N_0 \times 100\%$$

$$\text{增重率(weight gain rate, WGR, \%)} = (W_t - W_0)/W_0 \times 100\%$$

$$\text{饲料系数(feed conversion ratio, FCR)} = W_f/(W_t - W_0)$$

$$\text{蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, \%)} = (W_t - W_0)/(W_f \times W_p) \times 100\%$$

$$\text{蛋白质沉积率(protein retention efficiency, PRE, \%)} = (W_t - W_0)/M \times 100\%$$

$$\text{脂肪沉积率(lipid retention efficiency, LRE, \%)} = (W_t \times W_{2CL} - W_0 \times W_{1CL})/(W_f \times F_{CL}) \times 100\%$$

式中， N_t 为终末尾数， N_0 为初始尾数， W_t 为终末体质量(g)， W_0 为初始体质量(g)， W_f 为摄入饲料量(g)， W_p 为饲料中的粗蛋白含量(%), M 为摄食蛋白质含量， W_{2CL} 为终末全虾粗脂肪含量， W_{1CL} 为初始全虾粗脂肪含量， F_{CL} 饲料粗脂肪含量。

饲料、粪便、全虾组成和钇元素含量 凡纳滨对虾及饲料样品的常规成分分析采用国际标准方法。水分含量在 105 °C 下烘干至恒重测定；粗蛋白质含量采用自动凯氏定氮仪(2300-Auto-analyzer, Foss Tecator, Sweden) 测定；粗脂肪含量采用氯仿-甲醇提取法测定；粗灰分含量是在 550 °C 中灼烧 4 h 后测得。饲料和粪便中钇元素的分析采用等离子体原子发射光谱法(ICP) (Vista MPX, Varian, Alo Alto, California, America)。在此基础上，计算蛋白质表观消化率(ADCCP)，如下：

$$\text{蛋白表观消化率(ADCCP, \%)} = [1 - (D_Y \times F_{CP})] / (F_Y \times D_{CP}) \times 100\%$$

式中， D_Y 为饲料钇含量(%), F_{CP} 为粪便粗蛋白含量(%), F_Y 为粪便钇含量(%), D_{CP} 为饲料中粗蛋白含量(%)。

胶原蛋白 参照 AOAC 方法 990.26 (AOAC, 2000)，先测定样品总羟脯氨酸(Hyp)含量，胶原蛋白含量可用所测羟脯氨酸含量乘以换算系数 8 得到。总羟脯氨酸含量的测定采用碱水解法，按试剂盒(A030-2, 南京建成生物工程有限公司，中国)说明操作，用紫外分光光度计(UV759, 上海精密科学仪器有限公司，中国)在 560 nm 波长下测定。

肌肉系水力 煮失水率：取虾肉 3~4 g (W_1)，置于沸水锅中煮 3 min，用吸水纸吸干表面水分，称重(W_2)。

冷冻失水率：取虾肉 3~4 g (W_1)，于 -20 °C 冻存 24 h，取出后在室温解冻 15 min，用吸水纸吸干表面水分，称重(W_2)。

失水率(%)的计算公式: $(W_1 - W_2) / W_1 \times 100$

肌肉质构(TPA) 带壳虾煮熟后(沸水中 3 min),取第二腹节的肌肉,长宽高约为 1.5 cm、1 cm、1 cm,采用 Universal TA 质构分析仪(上海腾跋仪器科技有限公司,中国),进行全质构分析,包括硬度、咀嚼性、黏聚性、弹性、回复性等。选用 25 mm×25 mm 柱形探头接触感应 5 gf,测试速度 1 mm/s,目标模式为形变,型变量 40%,时间 2 s。

1.6 数据处理

本实验数据以平均数±标准差(mean±SD)表示,采用 SPSS 22.0 分析软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)和双因素方差分析(Two-Way ANOVA),多重比较用 Duncan 氏多重比较法进行检验,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。

表 1 实验饲料组成和营养水平(风干基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air dry basis) %

	A0	A3	A6	B0	B3	B6
原料 ingredients						
鱼粉 fish meal	18.00	18.00	18.00	15.00	15.00	15.00
次粉 wheat middlings	29.25	26.25	23.25	27.01	24.01	21.01
浒苔 E.prolifera	0.00	3.00	6.00	0.00	3.00	6.00
豆粕 soybean meal	12.00	12.00	12.00	17.00	17.00	17.00
鱼油 fish oil	2.10	2.10	2.10	2.34	2.34	2.34
维生素预混料 vitamin premix ¹⁾	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
矿物质预混料 mineral premix ²⁾	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
其他 other ³⁾	37.55	37.55	37.55	37.55	37.55	37.55
总计 total	100	100	100	100	100	100
营养成分 nutrient content						
粗蛋白 crude protein	38.76	38.30	38.93	38.28	38.53	38.29
粗脂肪 crude fat	8.31	7.87	7.96	8.41	7.93	7.71
水分 moisture	7.15	6.74	6.84	7.26	6.42	6.97

注: 1) 1 公斤维生素预混料含有: 维生素 A 3 000 00 IU, 维生素 D₃ 1 700 00 IU, 维生素 E 2 000 IU, 维生素 K₃ 500 mg, 维生素 B₁ 1 200 mg, 维生素 B₂ 2 000 mg, 维生素 B₆ 1 500 mg, 叶酸 150 mg, 烟酸 2 700 mg, 泛酸 2 500 mg; 2) 1 公斤矿物质预混料含有: 铜 1 000 mg, 铁 1 800 0 mg, 锰 2 500 mg, 锌 3 500 mg, 硒 16 mg, 碘 430 mg, 钴 50 mg。原料组成: 无水硫酸铜, 一水硫酸亚铁, 一水硫酸锰, 一

水硫酸锌，亚硒酸钠，无水碘酸钾，氯化钴；3) 其他：花生粕 12%、鱿鱼膏 6%、啤酒酵母 4%、大豆磷脂 1.5%、大豆浓缩蛋白 5%、玉米蛋白粉 5%、三氧化二钼 0.05%、膨润土 2%、磷酸二氢钙 2%Notes: 1) One kilogram of vitamin premix contained: vitamin A 3 000 00 IU, vitamin D₃ 1 700 00 IU, vitamin E 2 000 IU, vitamin K₃ 500 mg, vitamin B₁ 1 200 mg, vitamin B₂ 2 000 mg, vitamin B₆ 1 500 mg, folic acid 150 mg, nicotinic acid 2 700 mg, pantothenic acid 2 500 mg; 2) One kilogram of mineral premix contained: cuprum 1 000 mg, iron 1 800 0 mg, manganese 2 500 mg, zinc 3 500 mg, selenium 16 mg, iodine 430 mg, cobalt 50 mg. Composition of raw materials: anhydrous copper sulfate, ferrous sulfate monohydrate, manganese sulfate monohydrate, zinc sulfate monohydrate, sodium selenite, anhydrous potassium iodate, cobalt chloride; 3) others: peanut meal 12%, squid visceral meal 6%, brewers dried yeast 4%, soybean lecithin 1.5%, soyprotein concentrate 5%, cornprotein powder 5%, Y₂O₃ 0.05%, bentonite 2%, monocalcium phosphate 2%

2 结果

2.1 生长性能

A0 组有最高增重率和最低饲料系数，随浒苔添加量增加，虾体增重率降低，饲料系数升高，其中 A6、B6 组的增重率分别较 A0、B0 显著降低(P<0.05)，饲料系数显著升高(P<0.05)。在同等的浒苔添加量下，15%鱼粉组（B 组）的增重率在数值上低于 18%鱼粉组（A 组），各实验组的凡纳滨对虾成活率均在 92%以上，且无显著性差异(P≥0.05)。双因素分析表明，饲料中鱼粉和浒苔水平对凡纳滨对虾的末均质量、增重率和饲料系数均有显著影响(P<0.05)，但 2 个因素间无显著交互影响(P≥0.05)（表 2）。

表 2 饲料中添加浒苔对凡纳滨对虾生长性能的影响

Tab. 2 Effect of *E. prolifera* supplementation on growth performance of *L.vannamei*

组别 groups	初始均质量/gW ₀	终末均质量/gW _t	增重率/%WGR	饲料系数 FCR	存活率/%SR
A0	3.0 ± 0.1	22.6 ± 0.7 ^a	654.2 ± 24.3 ^a	1.61 ± 0.06 ^c	95.5 ± 5.2
A3	3.0 ± 0.1	22.2 ± 0.3 ^{ab}	641.6 ± 12.6 ^{ab}	1.72 ± 0.11 ^{abc}	93.5 ± 1.0
A6	3.0 ± 0.1	21.9 ± 0.2 ^b	630.4 ± 23.1 ^b	1.75 ± 0.09 ^{ab}	93.5 ± 5.9
B0	3.0 ± 0.1	22.5 ± 0.8 ^{ab}	651.3 ± 26.3 ^{ab}	1.65 ± 0.06 ^c	92.0 ± 2.8
B3	3.0 ± 0.1	21.1 ± 0.8 ^{bc}	615.4 ± 27.5 ^{bc}	1.78 ± 0.06 ^a	94.0 ± 2.8
B6	3.0 ± 0.1	20.8 ± 0.6 ^c	595.7 ± 21.2 ^c	1.81 ± 0.06 ^a	93.5 ± 3.0
双因素分析 Two-Way ANOVA					
鱼粉 fishmeal		0.006	0.033	0.028	0.534
浒苔 <i>E.prolifera</i>		0.004	0.004	0.000	0.989
交互 interaction		0.214	0.552	0.544	0.540

注：同列数据具不同小写字母，表示差异显著(P < 0.05)。下同 Notes: in the same column, values with different superscripts mean significantly different(P<0.05). the same below

2.2 全虾成分

各组的全虾水分和粗灰分含量均无显著性差异($P \geq 0.05$), 在 18%鱼粉饲料中添加 6% 浒苔, 显著降低了粗蛋白含量($P < 0.05$), 15%鱼粉各组的粗蛋白含量也较 18%鱼粉组(A0) 显著降低($P < 0.05$)。虾体脂肪含量随浒苔添加量的增加而降低, 其中 A6, B6 组显著低于 A0, B0 组($P < 0.05$)。双因素分析表明, 饲料浒苔水平显著影响了全虾的粗蛋白和粗脂肪含量($P < 0.05$), 饲料鱼粉水平和交互作用对全虾的粗蛋白和粗脂肪含量无显著影响($P \geq 0.05$) (表 3)。

表 3 饲料中添加浒苔对凡纳滨对虾体组成的影响(湿重)

Tab. 3 Effect of E.prolifera supplementation on body composition of L.vannamei(wet weight) %				
组别 groups	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	粗灰分 ash
A0	74.11 ± 0.66	19.30 ± 0.48 ^a	2.23 ± 0.32 ^a	2.80 ± 0.08
A3	75.12 ± 0.80	18.65 ± 0.68 ^{ab}	1.84 ± 0.27 ^{ab}	2.70 ± 0.36
A6	76.81 ± 0.82	17.23 ± 0.59 ^b	1.60 ± 0.14 ^b	2.50 ± 0.25
B0	76.06 ± 1.24	17.76 ± 0.98 ^b	2.09 ± 0.17 ^a	2.60 ± 0.22
B3	76.54 ± 1.33	17.56 ± 0.93 ^b	1.92 ± 0.19 ^{ab}	2.80 ± 0.24
B6	76.29 ± 1.86	17.31 ± 0.43 ^b	1.67 ± 0.35 ^b	2.90 ± 0.35
双因素分析 Two-Way ANOVA				
鱼粉 fishmeal	0.225	0.061	1.000	0.457
浒苔 E.prolifera	0.057	0.016	0.001	0.908
交互 interaction	0.148	0.202	0.533	0.103

2.3 营养物质利用率

在 18%、15%鱼粉饲料中添加 3%、6%浒苔, 均显著降低了凡纳滨对虾的蛋白质效率、蛋白质沉积率、脂肪沉积率和蛋白质消化率($P < 0.05$)。双因素分析表明, 饲料中鱼粉和浒苔水平均显著影响蛋白质效率和蛋白质沉积率($P < 0.05$), 饲料浒苔水平还显著影响脂肪沉积率和蛋白质消化率($P < 0.05$)。但二者无显著交互作用($P \geq 0.05$) (表 4)。

2.4 肌肉系水力和胶原蛋白含量

在饲料中添加 6%浒苔, 显著降低了肌肉煮失水率、冷冻失水率, 提高了胶原蛋白含量($P < 0.05$)。双因素分析表明, 浒苔水平显著影响着肌肉的煮失水率、冷冻失水率和肌肉胶原蛋白含量($P < 0.05$), 但鱼粉水平和鱼粉、浒苔的交互作用对上述指标均无显著影响($P \geq 0.05$) (表 5)。

表 4 饲料中添加浒苔对营养物质利用率的影响

Tab.4 Effect of *E. prolifera* supplementation on nutrient utilization of *L.vannamei*%

组别 groups	蛋白质效率 PER	蛋白质沉积率 PRE	脂肪沉积率 LRE	蛋白质消化率 ADCCP
A0	1.97 ± 0.09 ^a	30.99 ± 0.97 ^a	18.48 ± 0.32 ^a	89.01 ± 1.62 ^a
A3	1.87 ± 0.03 ^b	28.20 ± 1.49 ^b	14.97 ± 0.24 ^{bc}	87.27 ± 1.36 ^b
A6	1.81 ± 0.02 ^b	25.86 ± 1.27 ^b	12.34 ± 0.21 ^c	84.56 ± 1.59 ^{bc}
B0	1.96 ± 0.08 ^a	29.36 ± 0.88 ^a	17.20 ± 0.23 ^{ab}	87.92 ± 1.33 ^a
B3	1.74 ± 0.07 ^{bc}	26.38 ± 2.35 ^b	14.32 ± 0.14 ^c	85.40 ± 1.54 ^{bc}
B6	1.71 ± 0.06 ^c	24.35 ± 2.92 ^b	11.97 ± 0.28 ^c	83.33 ± 1.26 ^c
双因素分析 Two-Way ANOVA				
鱼粉 fishmeal	0.008	0.015	0.413	0.614
浒苔 <i>E.prolifera</i>	0.000	0.000	0.000	0.000
交互 interaction	0.320	0.727	0.916	0.857

表 5 饲料中添加浒苔对凡纳滨对虾系水力和胶原蛋白的影响

Tab.5 Effect of *E. prolifera* supplementation on water-holding capacity and collagen content of *L.vannamei* flesh

组别 groups	煮失水率/ %cooking loss	冷冻失水率/ %thawing loss	胶原蛋白含量/(g/kg)collagen content
A0	16.80 ± 1.12 ^a	2.25 ± 0.19 ^a	2.82 ± 0.34 ^b
A3	15.05 ± 0.95 ^{ab}	1.98 ± 0.30 ^{ab}	3.00 ± 0.26 ^{ab}
A6	14.71 ± 0.94 ^b	1.86 ± 0.42 ^b	3.14 ± 0.38 ^a
B0	15.82 ± 0.88 ^a	2.19 ± 0.18 ^a	2.73 ± 0.21 ^b
B3	14.98 ± 0.95 ^{ab}	1.95 ± 0.26 ^{ab}	3.02 ± 0.08 ^{ab}
B6	14.68 ± 0.86 ^b	1.83 ± 0.23 ^b	3.13 ± 0.13 ^a
双因素分析 Two-Way ANOVA			
鱼粉 fishmeal	0.623	0.089	0.165
浒苔 <i>E.prolifera</i>	0.042	0.033	0.028
交互 interaction	0.123	0.421	0.244

2.6 肌肉质构(TPA)

在 18%、15%鱼粉饲料中添加 3%、6%浒苔，除 B3 组的硬度外，均显著增加了肌肉硬度和咀嚼性 ($P < 0.05$)；各组在肌肉黏聚性、弹性、回复性上均无显著性差异($P \geq 0.05$)。双因素分析表明，浒苔水平和鱼粉、浒苔交互作用显著影响了肌肉硬度和咀嚼性($P < 0.05$)。（表 6）

表 6 饲料中添加浒苔对凡纳滨对虾肌肉 TPA 的影响
Tab.6 Effect of *E. prolifera* supplementation on flesh TPA of *L.vannamei*

组别 groups	硬度/ gf hardness	咀嚼性/gf chewiness	黏聚性 cohesiveness	弹性 springiness	回复性 resilience
A0	1012.5 ± 84.2 ^b	420.2 ± 33.4 ^c	0.67 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.61 ± 0.04
A3	1188.5 ± 67.9 ^a	502.8 ± 59.9 ^a	0.65 ± 0.03	0.63 ± 0.04	0.58 ± 0.02
A6	1242.0 ± 25.4 ^a	510.2 ± 11.1 ^a	0.65 ± 0.01	0.63 ± 0.02	0.57 ± 0.02
B0	1009.4 ± 63.4 ^b	450.3 ± 37.4 ^b	0.65 ± 0.02	0.61 ± 0.01	0.57 ± 0.03
B3	1063.3 ± 77.3 ^{ab}	497.4 ± 35.4 ^a	0.64 ± 0.01	0.62 ± 0.02	0.57 ± 0.03
B6	1156.5 ± 91.2 ^a	501.5 ± 10.5 ^a	0.64 ± 0.02	0.66 ± 0.05	0.55 ± 0.02
双因素分析 Two-Way ANOVA					
鱼粉 Fishmeal	0.650	0.257	0.138	0.551	0.136
浒苔 <i>E. prolifera</i>	0.042	0.007	0.123	0.432	0.217
交互 interaction	0.001	0.025	0.405	0.312	0.482

3 讨论

3.1 浒苔对生长性能和营养物质利用的影响

本实验在含 18%鱼粉的饲料中添加 6%浒苔，在含 15%鱼粉的饲料添加 3%、6%浒苔，均显著降低了虾体生长性能($P < 0.05$)，并且浒苔添加组的蛋白质效率、蛋白质沉积率、脂肪沉积率和蛋白质消化率均显著性下降($P < 0.05$)。周胜强等^[8]在黄斑篮子鱼的饲料中添加 10%、15%的浒苔，显著降低了鱼体生长性能，同样在 Yousif 等^[12]对黄斑蓝子鱼的研究中，当饲料中添加 30%浒苔，也显著减低了生长性能。其原因可能是浒苔具有坚韧的纤维素细胞壁，影响了动物对细胞内营养物质的吸收利用^[2]。徐安乐等^[2]在对花鲈的研究中发现，浒苔中丰富的多糖及其复合物对消化酶的活性有负反馈调节机制，饲料中添加过量的浒苔会起到一定抑制生长的作用，如果在浒苔饲料中添加非淀粉多糖酶，则有助于营养物质消化吸收率的提高，这也从另一个方面表明了浒苔非淀粉多糖的抗营养作用。也有研究表明，

在饲料中添加适宜水平的浒苔能够促进鱼类生长或不影响生长。徐安乐等^[13]在珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus* ♂ × *E. fuscoguttatus* ♀)的饲料中添加 1%、4%浒苔, 分别提高了增重率 15.8%、10.9%($P < 0.05$); 在黄斑蓝子鱼饲料中添加 5%浒苔, 对鱼体生长无显著影响($P \geq 0.05$)^[8]。在这两项研究中, 饲料中鱼粉含量分别为 42%、29%, 而本实验中鱼粉含量较低(18%、15%), 这可能是产生不同结果的重要原因。这表明在较低鱼粉含量的饲料中即使添加富含多种游离氨基酸、甜菜碱、多糖的浒苔^[14], 也难以使得生长性能得到提升。

3.2 饲料中添加浒苔对肌肉品质的影响

一般来说, 对虾肌肉中较低的粗脂肪含量, 会使得肌束间存在较大的摩擦力, 肌肉就会具有较高的剪切力, 也意味着肌肉有较高的咀嚼性^[15]。本实验在 18%、15%鱼粉饲料中分别添加 6%浒苔(A6、B6), 虾体粗脂肪显著下降($P < 0.05$), 同时, 肌肉咀嚼性、硬度(B3 除外) 显著增加($P < 0.05$), 这可能与肌肉脂肪含量的下降有关。

肌肉品质与肌肉中的胶原蛋白含量密切相关^[16]。肌肉组织结构、质地和柔韧性也与胶原蛋白紧密联系, 硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性和回复性是肌肉的主要质构特征^[17]。常海军等^[18]发现, 肌肉中胶原蛋白含量增加, 使肌肉具有了更高的机械强度, 在对凡纳滨对虾的研究中, 也有随着肌肉中胶原蛋白含量的增加, 肌肉的硬度也随之增加的报道^[19]。本实验中, 随饲料浒苔水平的增加, 肌肉中胶原蛋白含量显著上升($P < 0.05$), 这可能是肌肉硬度、咀嚼性提高的另一个原因。

衡量肌肉品质另外一个重要特性是系水力(或保水能力)^[20]。失水率可以反映肌肉所含液态以及可溶性的物质在不同条件下的损失情况。失水率低, 表明肌肉的营养和风味能得到更好的保留。本实验中, 饲料中添加 6%浒苔显著降低了凡纳滨对虾肌肉的煮失水率和冷冻失水率($P < 0.05$), 其原因可能与肌肉胶原蛋白含量的增加有关, 是否与肌肉的抗氧化性增加有关, 尚有待于进一步研究。

总体来看, 浒苔在水产饲料中的应用还有待于进一步开发。在对浒苔资源的利用中, 非淀粉多糖是需要考虑的一个重要限制因素, 非淀粉多糖酶的使用可以在一定程度上加以解决; 此外, 如何发挥浒苔所含有的一些生物活性物质的功效, 也是今后值得深入研究的领域。

4 结论

在本实验条件下, 在含 18%、15%鱼粉饲料中添加 3%浒苔, 对凡纳滨对虾生长性能没有显著影响, 添加 6%浒苔显著降低了虾体增重率和饲料利用, 但可提高肌肉硬度、咀嚼性

和胶原蛋白含量，在一定程度上改善肌肉品质。

参考文献：略

原文刊登在《(水产学报录用定稿)》 网络首发时间: 2020-08-25 11:20:10