



# 福建省水产饲料研究会 信息简报

B-2088184-5

第 19 期 (总第 321 期)

2020 年 10 月 15 日

## 行业会议

### 首届全国牛蛙健康产业大会暨中国牛蛙绿色健康养殖联盟启动仪式 在汕头澄海隆重举行

10 月 11-12 日, 由南方报业传媒集团主办, 南方农村报、农财宝典承办的, 以“兴渔富农、绿色升级”为主题的首届全国牛蛙健康产业大会暨中国牛蛙绿色健康养殖联盟启动仪式在汕头澄海如期举行。来自政府部门、技术推广部门、教学科研单位、养殖企业、饲料企业、动保企业、流通企业和餐饮企业等各界人士近 500 人出席本次牛蛙大会, 一起为牛蛙喝彩。



在开幕式上, 南方农村报社总经理张璐先生指出, 此次大会是牛蛙产业历史规模最大、规格最高、产业链最全的一次盛会, 汇聚全产业链上下游企业, 希望借此机会推动“政产学研用”合作, 打造一个全国牛蛙产业战略联盟, 从牛蛙繁养殖、饲料生产、产品加工、销售、餐饮等方面着手, 打造牛蛙产业健全的产业链, 推进牛蛙产业标准化绿色发展。

第一, 纵观牛蛙的 60 余年的发展史, 牛蛙从一只小蝌蚪成长为大蛙的历程可谓一鸣惊人。至 2019 年, 牛蛙养殖产量近 50 万吨, 遍布国内 13 个省市, 形成较为完整的产业链。

第二，牛蛙肉质鲜美，低脂肪高蛋白，尤其受年轻消费者青睐，一步步地跳上国民饮食餐桌。近几年，以牛蛙为主打菜肴的特色餐厅也像雨后春笋一样发展起来，牛蛙作为中国网红餐饮爆品之一，拥有从消费终端反向向上游整合的能力。

2019年国内牛蛙全产业链产值超600亿元，拥有形成千亿产业的巨大潜力，有望赶超小龙虾，成为第二个国民网红水产品。

第三，目前牛蛙养殖标准尚未发布，养殖环保问题较多，牛蛙产业仍处于初级发展阶段。国内参与牛蛙行业的企业品牌数量众多，但缺乏统一的行业标准，牛蛙产业形成了繁荣与乱象并存的生态。

今年是我国牛蛙产业发展一个重要历史拐点，牛蛙列入水生动物管理，可养可食。绿色养殖成为牛蛙养殖不可逆转的主旋律，也是新时代牛蛙产业变革的关键时期。站在新的历史起点上，我们期待与各位优秀同行一起为突破牛蛙养殖瓶颈，探索牛蛙生态健康养殖新模式，推广绿色健康养殖理念，促进牛蛙产业转型升级，推进牛蛙产业可持续发展做出自己应有的贡献。

广东省农业农村厅渔业发展处处长于培松先生说，渔业是广东农业的主要组成部分之一，发展渔业是我省实施乡村振兴战略、发展富民兴村产业的重要途径。牛蛙是近年快速发展的名特优品种，广东也是牛蛙最大产区，产业链完善，带动了数十万人就业，是乡村振兴的好品种。

受疫情影响，牛蛙前期在市场上禁销，牛蛙界企业高度重视，联合上下游企业、专家积极为牛蛙“解禁”呼吁。今年是我国牛蛙产业发展一个重要历史拐点，牛蛙最终列入水生动物管理，可养可食。养殖30多年的牛蛙人感慨：牛蛙终于认了爹娘(列入水生动物)。我们主管部门会做好服务，颁发养殖证，推进绿色健康养殖。今年在疫情期间，为推进水产养殖绿色发展，3月份，广东农业农村厅在水产养殖证颁发时下发了一个通知，通知明确提到，对列入按水生管理的品种，要求各地给予发放养殖证。

今年5月，农业农村部、国家林业和草原局联合发布《关于进一步规范蛙类保护管理的通知》要求，《通知》要求，各地渔业主管部门要加强相关蛙类的养殖管理，强化苗种生产审批和监管。在县级以上地方人民政府颁布的养殖水域滩涂规划确定的养殖区和限养区内从事养殖生产的，要依法向县级以上人民政府渔业主管部门提出申请，由本级人民政府核发养殖证。

水产养殖所造成的污染占总污染不到4%，绿色养殖成为牛蛙养殖不可逆转的主旋律，也是新时代牛蛙产业变革的关键时期。为贯彻落实2020年中央1号文件和《关于加快推进水产养殖业绿色发展的若干意见》精神，推进广东省水产绿色健康养殖发展，按照《农业农村部办公厅关于实施2020年水产绿色健康养殖“五大行动”的通知》要求，广东省农业农村厅结合实际制定了《广东省2020年水产绿色健康养殖“五大行动”实施方案》。

《方案》提出，要通过开展“五大行动”，在广东省建立一批水产生态健康养殖技术模式推广基地、水产养殖尾水治理技术模式推广基地、水产新品种试验推广基地和水产养殖用药减量模式推广点、配合饲料替代幼杂鱼试验推广点，并制定相应系列标准和操作规范开展示范推广，促进水产养殖业绿色发展。

希望大家在此次大会能够凝聚共识，促进行业绿色升级。当前，广东渔业已来到新的发展起点，在新全面深化改革的大背景下，牛蛙产业要不断创新体制机制，坚持提质增效、减量增收，实现高质量发展，承担起引领农业绿色变革的重任。

广东省渔业技术推广总站站长**刘胜敏**说，自年初中央1号文件部署“推进水产绿色健康养殖”以来，农业农村部决定实施水产绿色健康养殖“五大行动”，广东省农业农村厅提出，要在省内建立“五大推广基地+两大推广点”的规划，高质量发展的观念逐步深入人心，推广绿色水产养殖成效日趋显著。

牛蛙是近年来迅速“蹿红”的水产餐饮单品之一。2019年，全国牛蛙产量超40万吨。广东是我国水产品流通和消费的集中地，随着牛蛙消费量快速上升，牛蛙也逐渐成为兴渔富农、乡村振兴的重要支撑。

绿色产业，众心所向。牛蛙养殖要逐步改善原来发展不平衡、不充分的情况，营造新型生态健康养殖格局，走可持续发展道路。2019年，澄海率先出台管理新规，通过政府领导、各方联动，经过一系列宣传推广和专项整治行动，牛蛙绿色、健康养殖初见成效，初步实现牛蛙养殖规范化管理。

根据农业农村部相关部署要求，要推广先进适用的水产绿色健康养殖技术和模式，加快推进水产养殖业绿色发展。广东是我国牛蛙最大产区，牛蛙养殖转型升级能够有力推动整个牛蛙产业走向更高水平。

今天，我们共聚一堂，倡议牛蛙绿色安全健康养殖，商讨可量化的养殖标准，探索牛蛙生态健康养殖新模式，推广绿色健康养殖理念，推动牛蛙产业更好更快发展。为广大消费者提供更优质、更安全、更健康的水产品，满足人民群众不断增长的物质需求。



简短的开幕式后，开始了学术报告。

华中农业大学教授陈昌福博士：介绍了牛蛙病害防控的相关内容牛蛙的传染性疾病包括细菌性溃疡病、肠道败血症、牛蛙白内障病、牛蛙红腿病、黑肝病等，寄生性疾病主要包括曼氏迭宫绦虫、广州管圆线虫、棘颚口线虫引起的人蛙共患病。

在准确诊断与精准用药方面，他指出了水产养殖业者的三大困惑及其联系：无法确诊鱼类疾病、无法筛选合格药物和无法确定药物用量；因为无法确诊鱼类疾病，所以难以做到对症用药；因为无法筛选合格药物，所以难以做到合理用药；因为无法确定药物用量，所以难以做到精准用药。

而科学精准使用渔药的唯一途径是：监测致病生物耐药性变化，根据药物敏感性筛选药物，采用正确用药技术与方法。比如不能作为预防用药的药物包括抗生素、杀虫剂等；可以作为预防用药的药物有消毒剂、中草药和水质改良剂等。

为解决以上三大困惑，陈昌福指出，从2013年至今，他先后在江苏射阳、沈阳辽中、山东枣庄、湖南省安乡、浙江菱湖等地联合企业设立“陈昌福实验室”。这种小型实验室一直坚持通过常年分离、鉴定病原，解决了无法确诊鱼类疾病问题；通过对市售药物质量的检测，解决了无法筛选合格药物问题；通过对病原生物的药敏试验，解决了难以做到精准用药问题。

在中国应用鱼用疫苗，不同于在挪威和日本，在这些国土面积不如我国一个省的国

家使用疫苗，在本质上就如同在中国使用“自家疫苗”。建议国家相关部门尽快制定相应的疫苗管理措施，允许在我国不同的地域使用适宜的“自家疫苗”。

随着水产养殖水环境的不断恶化，养殖鱼类的疾病(尤其是传染性疾病)将趋于严重！环境友好型的“无抗养殖”是我国水产养殖业发展的方向。但是，科学预防、诊断、治疗养殖鱼类疾病不能止于减口号，需要实实在在地努力，坚决实施农业部动物源细菌耐药性监测计划，是水产养殖中做到科学管理、精准用药、保障水产品质量安全的正确抉择。

集美大学水产学院院长张春晓博士介绍了牛蛙营养需求研究与配合饲料研发的进展。指出：牛蛙原产于北美，1959年引入我国，养殖发展迅速，我国牛蛙2019年产量在50万吨以上。牛蛙养殖周期短，单位面积产量高，饲料效率高，目前已形成较集中完整的产业链。关于牛蛙饲料营养研究和饲料配制方面，张春晓表示，通过对牛蛙蝌蚪的蛋白需求量、蛋氨酸需要量等一系列实验，得出以下结论：1、幼蛙饲料蛋白质40%，脂肪7%，高脂促进牛蛙生长，在肝脏健康情况下可以短时间使用。蝌蚪期的营养应引起重视。2、大多数动物蛋白适宜作为牛蛙的蛋白源，如鱼粉、鸡肉粉、肠膜蛋白粉；豆粕、花生粕、玉米蛋白粉等植物蛋白源也适合作为牛蛙的蛋白源，但应限制使用比例，尽量多种蛋白源混合。3、牛蛙对气味物质更敏感，鱼油、豆油和棕榈油皆可作为牛蛙饲料脂肪源。4、肝肠健康问题是牛蛙养殖中的常见问题，植物蛋白的大量使用会影响肠道健康，有益菌的合理使用可以改善牛蛙肠健康。5、应重视牛蛙肉品质下降的问题，胍基乙酸有改善牛蛙肉品质作用，但其应用需要进一步研究。张春晓指出，当前牛蛙产业存在的主要问题包括：1、蛙养殖产业，在国内和国际上的知名度不高。(据不完全统计，2018年我国牛蛙饲料产量达到50万吨。2、种质改良、养殖、营养、病害方面研究不足，尤其由营养不均衡导致的病害问题时有发生。3、由于缺乏科学的技术支持，养殖过程、疾病防治程序、尾水处理不规范，对环境安全方面不够重视。4、精深加工有待进一步发展。对于牛蛙饲料营养配方的展望，张春晓表示，第一，未来将研究营养性肝损伤和慢性肠炎或肠损伤的发生机制，探索通过改善肝肠健康提高蛙类体质和品质的营养调控策略和饲料配制技术，为牛蛙产业健康发展提供保障；第二，开发新的养殖模式，如工厂化养殖、池塘立体养殖和稻-蛙养殖等，积极融入水产养殖绿色发展潮流；第三，开展蛙类基础生物学和营养生理研究，制订养殖操作标准和养殖废物处理流程，推动牛蛙绿色健康养殖，保障食品安全和保护生态环境；第四，采用发酵技术等降低饲料抗营养因子，提高蛙类对植物蛋白的利用率，以节约饲料鱼粉使用，降低氮磷排放，开发环境友好的饲料配制技术；第五，通过生态学、营养学手段改善

蛙类品质，生产富含特殊营养成分(EPA、DHA 或硒等)的产品，以及改善肉质，形成差异化产品，联合餐饮企业，创建高品质蛙产品品牌，满足市场对高端水产品的需求，提高蛙养殖行业整体形象。

福建鸿益生物科技有限公司技术总监张海超介绍：“从 2000 年我们第一车牛蛙进入上海市场销售，鸿益已经走过了二十个春秋。”福建鸿益生物科技有限公司董事长陈裕文指出，2004 年成立漳州市鸿益饲料有限公司，打造了“广宝”品牌，2014 年成立漳州鸿益食品冷冻有限公司，打造了“蛙特康”品牌。牛蛙市场发展潜力非常大，但是一直以来，牛蛙行业存在无序竞争、尾水污染、用药不规范等现象，造成了环境污染和食品安全隐患，严重影响了行业的可持续发展。

当前，牛蛙行业正处在转型的关键时期，环境保护和食品安全两大政策越来越严格。养殖端越来越往规模化、规范化发展。需求端的连锁餐饮客户占比越来越多，对牛蛙规格需求多样化，对药残合格的要求越来越高。

牛蛙饲料和流通企业在这个行业里体量最大，要肩负起行业的主导责任。往上游加强对养殖户的宣传引导、技术服务、监督检测工作，保证养殖端的安全、规范用药，从源头保障牛蛙产品合格；对下游加强销售渠道建设，更好、更高效的为餐饮、超市等客户服务；对内优化配方和工艺，提供更高性价比的饲料产品；对外加强同行业间交流合作，倡议安全健康养殖，树立牛蛙健康优质水产品形象，促进牛蛙产业转型升级，推进牛蛙产业可持续发展，贡献我们的一份力量。

张海超指出，近年来，牛蛙餐饮火爆，消费持续增长，成为小龙虾之后的又一个风口。市场潜力大，冻品出口、商超渠道、即食食品逐步增加。

当前牛蛙产业环保治理严，政策风险大，跨界资本纷纷进入，新场遍地开花，由于养殖分散，流通渠道混乱，价格风险大。养殖病害频发，养殖风险大，养殖分散，牛蛙回收难。批发市场抽检越来越严，连锁餐饮对药残要求越来越高、牛蛙规格需求多样化。

因此，牛蛙绿色、安全、健康无公害养殖，建立可追溯体系，这是国家食品安全要求，是终端消费要求，也是企业责任要求。

为此，鸿益提供优质种苗、饲料、动保产品以及养殖技术服务。通过“公司+基地+农户+标准+服务”的运营模式，提供高性价比饲料产品，建立牛蛙良种场，给客户提供优质种苗，集中采购动保产品，服务团队专业监管，自建养殖基地输出养殖标准，培养养殖管理人才，

建立可持续、稳定的供需关系，打造绿色、安全、健康的牛蛙产业链，从源头保障牛蛙药残合格。

广东源信饲料实业有限公司产品经理张涛：饲料是牛蛙健康养殖的关键因素，绿色养殖的关键要处理好排放、污染问题。饲料正是排放和污染的源头(粪便、残饵)。饲料营养是牛蛙健康生长和正常免疫的基础，健康饲料突破点在转化率的提高：营养平衡和消化吸收是关键。肠胃健康问题已成为牛蛙养殖的首要问题，养殖户 80%以上的药和动保投入，都是围绕着消化道问题(肠胃炎)。从现实考虑，牛蛙对饲料的消化、吸收比饲料的饲料本身的营养平衡更重要，先保障消化、吸收，再平衡营养，而发酵型饲料可以提高蛙对饲料消化率，提高蛙的生长性状。通过三个示范户的牛蛙养殖试验，总结得出：发酵饲料在胃部经过 6-9 小时已基本消化好；发酵饲料组的饲料效率更高；在减少死蛙数量上没有明显效果；发酵颗粒料组的肠道健康更好。对于功能型饲料，通过饲料和动保的结合，解决拌料的人工、时间、成本、不均匀等问题，并降低添加剂和饲料双重损耗，并按照生长阶段、关键节点分阶段使用。

广东恒旺饲料有限公司总经理林映波指出，恒旺坚持打造精品饲料和健康养殖模式的理念，通过饲料营养配方的持续改良，近几年在提高肉料比方面表现出色，持续的给养殖户降低成本，增加养殖户的收入，提高恒旺属下饲料品牌的产品竞争力。恒旺在饲料替抗和养殖现场替抗用品的应用已经走到行业的前面，通过公司推荐的一些预防方案可以大大的降低现场养殖户的抗生素用量，恒旺自有养殖基地基本上可以做到用中草药粉去代替抗生素取得很好的养殖效果。恒旺打造强力的牛蛙销售网络，在全国各大省会城市遍布牛蛙销售点，倚靠批发市场发力，成为顶级牛蛙餐饮企业对接的精品牛蛙资源，真正形成饲料生产-养殖户-销售端的完整产业链布局，使农户的产品能及时上市，提高农户经济效益，也保证批发和终端企业的货源质量和成本控制。林映波表示，恒旺通过精品饲料加强营养，养殖技术服务，打通销售渠道，发挥自身优势，打造精品牛蛙产业链，推动牛蛙产业升级贡献一份力量。

据了解，广东恒旺饲料有限公司，创办于 2000 年，发展至 2019 年拥有员工 200 多名，现有全自动水产膨化线两条，近年通过优化牛蛙产销结构和饲料技术创新，单一牛蛙饲料品种年销量达到 6 万多吨。

广东科绿饲料有限公司技术总监周晓锋：当前牛蛙行业存在饲料生产工艺简单、营养结构不合理、病害严重等问题，这也是常规饲料、常规养殖模式的痛点。周小锋指出，广

东科绿饲料有限公司(下称科绿)通过自创核心技术,在饲料原料前处理、优化科学配方、生产关键节点、先进的制造设备等方面持续发力,创新牛蛙养殖模式,以技术创新为依托,以产品“安全、美味、好口感”为卖点,打造自己的品牌。

科绿是一家以牛蛙食材供应为核心,同时业务涵盖品牌牛蛙饲料销售、牛蛙养殖、活蛙回购、加工和批发销售于一体的全产业链企业。“绿程水产”是珠三角区域优质的牛蛙食材供应商,2020年5月,公司推出核心产品——“田源程”鲜牛蛙。

据介绍,科绿成立于2012年,是一家专注于生产牛蛙饲料、流通、加工、养殖的全产业链公司。2019年12月新厂投产,年产量突破5万吨,产品覆盖广东、广西、湖南、湖北、福建、浙江等11个省份。

农财宝典牛蛙产业研究室首席分析师陈宏霖:由于我国牛蛙养殖标准尚未发布,牛蛙产业仍处于初级发展阶段,还有巨大的发展潜力。虽然国内参与牛蛙行业的企业品牌数量众多,但缺乏统一的行业标准,牛蛙产业形成了繁荣与乱象并存的生态。

我国牛蛙全产业链产值超600亿元,其中数百家蛙苗场产出150亿尾蝌蚪苗,每斤牛蛙平均用药0.5元养活数百家药厂,超70家饲料厂刮分60万吨饲料,上百家流通商供应近50万吨牛蛙,超1万家主题餐饮店和3万多家相关餐饮店火爆全国。牛蛙养殖从一个区域性的品种逐步转变为全国性品种,牛蛙产品消费遍布全国。

由于牛蛙缺乏良种选育,牛蛙育苗场以小作坊为主,缺少品牌意识,行业规则不清晰;销售以中介模式为主,缺乏渠道和品牌苗企,动保超5亿的产值,但品牌整体辨识度低;饲料相对于苗种以及动保板块,产业相对成熟,但在饲料层面的竞争仍然远弱于加州鲈、海鲈、生鱼等特种水产品饲料行业;流通依然以传统活蛙大流通为主,冻品加工比例不到15%,活蛙冰鲜化、品牌化是未来趋势;牛蛙餐饮业品牌企业成为主流。

从2018年至今,饲料市场竞争格局出现新态势。牛蛙消费以及养殖区域的扩大,中小流通商快速崛起,饲料销售区域也逐渐扩大,饲料行业规模化发展,竞争加剧,利润降低,集团企业的规模优势逐步凸显,纯饲料公司与流通商合作利用地理优势打破了原有厂家垄断性的竞争格局。

“厂家料”与“公司料”的边界逐步模糊,趋向融合。虽然牛蛙市场竞争格局边界模糊,但随着饲料利润的逐年降低,以及流通端的竞争不断加剧,厂家料的补贴策略的优势将逐步减弱,未来的市场竞争规则将会改变。

蛙来哒董事长罗清女士:蛙来哒董事长罗清以餐饮行业的消费趋势为切入点,提出了

自己关于牛蛙在餐饮行业的规模化发展的思考。

当前，我国餐饮约 4.7 万亿市场规模，规模化的法人企业数量超 4 万家，从业人员 3000 万+人，复合增长率保持在 8%及以上。然而，罗清认为，餐饮企业的发展并没有跟上社会发展的步伐。一方面，研究表明，当一国人均 GDP 处于 5000 美元至 10000 美元之间时，其餐饮总体上仍然能保持稳定较快的增长速度，增速一般也高于同期 GDP；另一方面，家庭结构的调整(每户家庭人数逐步减少)也在一定程度上增加了居民外出就餐的需求。但是，截至目前我国餐饮上市企业仅 15 家，餐饮企业规范化、资本化成为时代需求，餐饮行业处于高速发展之中。

牛蛙养殖历史十分悠久，因其亩产量、肉料比与营养成分均很高，且没有规模性疾病而广受欢迎。牛蛙品类今年持续增长，上海、北京、武汉、杭州、南京等城市的门店数量居全国前列，截至今年 8 月，仅上海一个城市就有 9367 家。3 月，农业农村部将牛蛙划分为水生生物，标志着牛蛙的可养可食，牛蛙产业发展潜力巨大。

他山之石，可以攻玉。回顾了小龙虾的发展历程，罗清指出，牛蛙将成为继小龙虾后的又一国民爆品，但这需要从上游、中游再到下游全产业头部企业的协同和引领。为引领品类扩展性发展，她提出了三点希冀：一是专注用户教育和市场培育，二是专注环保和食品安全，三是专注品类真实的长期价值。

中国水产科学研究院珠江水产研究所研究员谢 骏博士：没有调查就没有发言权。谢骏从整个淡水养殖品种尾水排放与治理全面铺开，逐渐聚焦牛蛙尾水处理减排。

2019 年，谢骏课题组现场调研了佛山、江门、肇庆、清远、惠州以及河源 6 大城市 7 个企业的尾水减排模式。对四大家鱼、加州鲈鱼、罗非鱼、蛙、鳊等主要淡水养殖品种的区域分布与养殖模式进行了探讨，对淡水养殖尾水排放情况、淡水养殖尾水治理原则和方案进行了论述。

他指出，广东排污在全国最高，为推动牛蛙的健康养殖与可持续发展，必须重视牛蛙尾水处理工作。他详细介绍了牛蛙尾水处理模式主要有四种，分别是城市污水处理模式、三池尔坝处理模式、水泥池工程化模式与蛙稻耦合模式或林下养蛙模式。

他进一步指出，牛蛙尾水处理存在一些亟待解决的问题。一方面，淡水养殖尾水排放缺乏符合本省标准，尾水综合治理无标可依；另一方面，养殖群众对尾水综合治理的意识不强。对此，他提出了自己的思考：第一，提高思想认识，充分认识水产养殖尾水综合治理的重要意义；第二，开展科学研究，加快水产养殖尾水排放标准的制定与颁布；第三，

加大科研投入，开发新型水产养殖模式，推进水产养殖业绿色发展；第四，广东省养殖池塘高标准改造工程，尾水减排长效管理机制研究；设立养殖尾水综合治理专项资金。

仲恺农业工程学院动物科技学院院长林 鑫博士：由于牛蛙行业本身存在污水治理和食品安全问题，当前牛蛙产业核心问题解决，还是需要产业倒逼相关部门和科研。

牛蛙的常见疾病包括病毒性疾病、细菌性疾病和寄生虫性疾病，目前牛蛙常见疾病以消化道疾病为主，饲料营养和吸收是疾病防控的核心环节，种业、疾病和营养产业的卡脖子环节。

“三环理论”指出，当存在病原体，宿主免疫力下降的时候，加上环境恶劣，就很容易暴发疾病，环境、宿主、病原是并列同等的关系，病原、宿主和环境在疾病防控中同等重要。但是，林鑫指出，在一个池塘养殖系统里面，无论是宿主(鱼、虾)，还是病原(细菌、病毒和寄生虫)，都是在池塘这个环境里面生活着，环境大于宿主和病原。

动物排氮的三种主要化合物包括氨氮、尿素和尿酸，蛙类有从排氨氮为主到排尿素的转化过程，牛蛙的尿主要成份是尿素。

牛蛙疾病防控技术包括病毒性疾病，可通过无虹彩病毒苗种生产和免疫；细菌性疾病，可通过环境和免疫调控；寄生虫性疾病，主要通过环境进行相关调控。此外，卵黄抗体技术也可以有效防控牛蛙疾病。

厦门大学艾春香博士指出，我国牛蛙养殖产业的发展与特点有以下四个：其一，牛蛙养殖是满足市场需求的必然途径；其二，牛蛙养殖是保护蛙类自然资源的有效措施；其三，牛蛙养殖是脱贫攻坚的高效产业，产地生态、产品绿色、产出高效；其四，牛蛙繁养殖技术成熟，牛蛙产业链完整，目前形成了以饲料企业为中心的牛蛙养殖、加工、销售、餐饮的全产业链经营模式。

当前牛蛙的主要养殖模式有稻蛙(鱼)综合种养技术模式、牛蛙池塘养殖模式、牛蛙网箱养殖模式、牛蛙大棚养殖模式、工厂化牛蛙养殖模式等。

关于牛蛙健康养殖的技术关键及其标准化方面，艾春香表示，牛蛙健康养殖的技术关键包括完善的基础设施、优质苗种筛选与放养、水质底质改良、优质配合饲料的选择与使用和防病抗应激。

牛蛙标准化健康养殖是确保牛蛙产品质量安全的重要抓手，也是解决牛蛙产品质量安全、活化牛蛙消费市场和提高牛蛙养殖效益的重要措施。为加快和完善牛蛙产业标准化体系建设，可通过用标准化推进牛蛙养殖品牌化，加强牛蛙健康养殖标准化方法推广，坚持“无

标制标，缺标补标，有标完善”的原则，将牛蛙养殖和加工标准体系的建立与完善作为一项重要的基础性工作，坚持牛蛙养殖和加工标准体系建设的完整性、统一性、科学性、实用性、连续性和有效性，逐步实现牛蛙养殖生产、加工和管理各领域各环节有标可依、有规可循：

首先，加快牛蛙养殖和加工标准的制修订工作；其次，相关标准的落地应用，通过集成、研制产生标准，加强牛蛙养殖、加工、餐饮服务标准的落地；建立政府主导制定的标准与市场自主制定的标准协同发展，协调配套的新型标准体系。“三流企业做产品、二流企业做品牌、一流企业做标准。”艾春香强调，标准是产业发展和市场竞争的核心要素，企业作为标准的制定者和领跑者是高质量发展的硬核，可为推进牛蛙产业化体系建设贡献自身力量，通过标准先行引领行业高质量发展。

最后会议宣布了联盟成立。南方报业传媒集团、南方农村报社、农财宝典联合业内权威专家学者、养殖投入品企业、流通商、经销商、养殖户及餐饮企业等产业上下游代表共同发布全国牛蛙绿色健康养殖宣言，倡议牛蛙绿色安全健康养殖，树立牛蛙健康优质水产品形象。28家企业+超500业内人士，凝聚共识，共商可量化养殖标准，倡议绿色安全健康养殖，探索牛蛙生态健康养殖新模式，促进牛蛙产业转型升级和可持续发展。



摘编自农财宝典水产版微信公众号

## 企业管理

### 饲料企业产品售后服务与产品营销协同发展研究

张子峰

石家庄职业技术学院

**摘要：**在我国经济发展新常态背景下，饲料企业已结束高速增长，进入行业整合、微利竞争的新时代。高速增长时代，大部分饲料企业形成以营销为导向的经营策略，售后服务仅为附加形式。这一方式已不符合当下的竞争态势。基于这一背景，本文首先分析了饲料企业产品营销、产品售后服务的现状，并指

出了其中存在的主要问题。其次，提出了企业从营销组织、考核、团队三个方向进行改革，以构建产品售后与营销协同发展的有效模式。此外，还探讨了互联网技术在营销与售后协同模式构建中的重要作用。

**关键词：**售后服务; 产品营销; 饲料企业; 协同发展;

Research on synergistic development of after-sales service and product marketing of feed companies

ZHANG Zifeng

Shi Jiazhuang University of Applied Technology

**Abstract:** Under the background of the new normal of China's economic development, feed companies have ended their rapid growth and entered a new era of industry integration and low-profit competition. In the time of rapid growth, most feed companies have formed marketing-oriented business strategies, and after-sales service is only an additional form. This method is no longer in line with the current competitive situation. Based on this background, this article first analyzed the product marketing and after-sales service in feed companies and pointed out the main problems. Secondly, it put forward the reform of the company from the three directions of the marketing organization, performance assessment, and team to build an effective model for the collaborative development of after-sales and marketing of products. In addition, the important role of Internet technology in the construction of a collaborative model of marketing and after-sales was also discussed.

**Keyword:** after-sales service; product marketing; feed companies; synergistic development;

随着饲料行业集中度提升，大中型饲料企业整合小微企业，饲料企业数量逐步减少。加之养殖行业纵向扩展进入上游饲料企业，行业整体陷入微利竞争局面。同时，由于投入有限，行业技术革新不大，企业市场营销进入品牌营销及服务竞争以争取客户的买方市场时代。但是饲料企业在粗放发展时代形成的注重营销而不注重售后服务的传统模式，已不适合新的竞争形式。因此，饲料企业尤其是中小企业在新形势下，需提升售后服务，才能与营销协同产生更高的经济效应。

饲料企业营销模式包括传统的直销、经销商营销以及新型的饲料电商、饲料定制等(李剑强, 2017)。小型企业无系统化营销体系，以价格、市场上常见营销手段为主。大型饲料企业作为行业的领导者，率先开展了深度营销、服务营销、整合营销、程序营销、价值营销等多种模式的探索(李新, 2019)。其中，服务营销可分为服务产品的营销和服务顾客的营销，在我国饲料行业主要是指企业围绕其饲料产品，为下游养殖客户提供的一系列提高客户满意度的营销活动过程，产品售后服务即是其中一个环节(刘大忠等, 2006)。但关于饲料

企业产品售后服务目前尚无系统性的研究，主要以具体的企业案例为研究对象(王芳，2019；广东饲料，2015)。此外，部分研究集中在通过新型互联网技术手段实现售后服务上(刘海军等，2015；徐超，2015)。

## 1 饲料企业产品营销与产品售后服务现状分析

### 1.1 饲料企业产品营销的现状

#### 1.1.1 产品

从产品上看，饲料企业普遍呈现同质化竞争的态势。高技术含量、高品质的产品比重较低。在环保收紧、禁抗，以及农产品进口增长的趋势下，未来产品的技术及质量将成为营销重点。饲料的成本占养殖总成本的比重达到了70%，已经可以算是养殖成本的绝对决定性因素。因此，饲料营销企业的饲料品质，将对养殖场的生产安全和效益产生重大影响。不断提高饲料品质、提升饲料产品的性价比，不仅关乎饲料营销企业竞争力的塑造，更关乎千千万万终端养殖场的经济效益与发展。

#### 1.1.2 价格

从价格上来说，由于下游养殖行业的不断整合，以及上游原料粮进口对主要国家的高度依赖，饲料企业在产业链中的议价能力较低，也造成了不断挤压自身利润空间，陷入微利竞争、技术投入不足、竞争力低的死循环之中。但技术及质量的提高需要不断的资金、人才投入和积累，短期来看，饲料企业价格方面议价能力难以提高，在区域型的营销中或仍难以避免价格战的传统营销策略。但产品+服务的综合解决方案模式可以提高整体报价，令企业从服务中获取更高的附加价值。

#### 1.1.3 渠道

渠道方面，经销商代理一方面可以保证饲料营销企业快速的实现资金回笼，解决资金短缺的窘境，另一方面可以利用饲料经销代理商现有的成熟渠道和服务。但其劣势主要是营销成本高和饲料价格低，如果渠道商在市场处于垄断地位，这些问题会更加凸显。饲料营销企业直销的优势为到达终端市场的饲料性价比高，服务较好，但一是需要投资自建营销渠道，二是很难在短时间内将饲料产品转化为资金，解决饲料营销企业资金短缺的不足。此外，电商化可以有效降低饲料营销企业的营销成本，进而提高产品性价比；但也要求养殖场直接购买饲料，加重了养殖场的资金短缺问题，也不能解决一直存在的售后服务问题。而饲料的定制化渠道，可以使终端市场按照养殖种类、生长情况、时间等因素，参与到饲料生产的过程中，可以实现饲料生产和销售的精准化，进而降低饲料的成本和获取更好的

服务，在资金有保障的前提下，该方式对个性化要求比较强的大中规模的养殖场较为适宜。

#### 1.1.4 品牌

我国饲料企业的品牌性比较差。一方面为品牌的识别度偏低，呈现方式五花八门，行业的规范性比较差，如命名、外部包装的设计和展现、定价等方面。此外品牌的特点不明显，我国饲料企业缺乏形象意识和品牌意识。品牌建设方法不够多元化，由于饲料行业的产品价值偏低，在建设方式上会采用单一的简单方法。

#### 1.2 饲料企业产品售后服务的现状

饲料企业的主要客户是各种规模的养殖户，产品的售后服务包括售前宣传、售中指导和售后解决突发问题，以及延伸至金融服务等方面(黄明, 2013)。售后服务主要需解决养殖过程中发生的动物病害等突发事件，养殖户主要依赖政府性质的技术推广机构、兽医和兽药企业及部分饲料企业的售后。与其他主体以此项服务为主业不同，售后对于饲料企业来说属于产品营销的一个环节。面向养殖户的售后服务需要专业的技术人员。

按照规模的不同，饲料企业的售后服务模式及质量也存在极大不同。首先，大型饲料公司主要服务于大型养殖企业及规模养殖户，其售后比较完整，且可以通过定制化饲料，为客户提供个性化服务。大多数采取了服务营销的模式，客户满意度较高。而中小型饲料企业主要服务于区域性的中小型养殖户，这些客户规模小，分布广，缺乏养殖的相关技术和信息，服务成本高，基于饲料企业自身的能力有限性，能够提供的售后服务较少。

从整体来看，饲料企业售后服务主要存在以下几方面的问题。第一，售后服务在饲料企业营销策略中重要性不足。由于饲料行业的快速扩张，大多数企业致力于提高营销能力，而针对服务能力的建设投入不足。企业整体的发展导向和资源分配都以营销为主，对饲料企业来说售后仅是附加形式的服务，是与整体营销策略相分离的。第二，导致企业投入较少的另一方面原因是售后服务的成本较高。大部分的养殖户规模较小，分布较为分散，以专业人员上门服务为主要形式，企业投入的人工、差旅等成本较高，服务效率偏低。第三，专业知识人才不足。为解决养殖户养殖过程中的各种突发的病害等事件，并将其反馈到饲料产品的配方、生产等过程中，需要具备一定的教育水平，对养殖和饲料都有一定了解的复合型人才。我国这方面的人才主要集中于高校、科研机构等。企业自身的营销队伍缺乏这方面的专业知识，只能以招聘专职或兼职的形式雇佣，服务频次、质量都得不到保证。第四，从企业的财务角度看，售后服务是否对营销产生了增值，没有明确的可衡量的标准。在企业组织内部，以及企业薪酬激励政策方面，售后人员报酬都低于营销等部门人员。最

后，部分采取了服务营销等模式的饲料企业，对售后服务的界限不明确，售后人员甚至参与和饲料不相关的部分如打扫、清洁等，不仅提高了成本，也会造成恶性竞争。

## 2 售后服务与产品营销协同发展模式探讨

### 2.1 企业如何构建产品营销和售后服务的协同模式

解决企业售后服务不足的问题，需要在企业内部构建售后服务与产品营销的协同模式，首先需要企业经营层自上而下地对企业市场发展战略进行革新。在企业内部树立营销与服务并重、营销与服务协同的发展理念。其次，作为战略支撑，应从企业的组织设计、激励考核、团队建设等方面进行改革。

#### 2.1.1 在组织设计层面，饲料企业应设专门的售后服务部门

在我国的饲料行业，企业一般按照生产的流程，会设置研发、生产、销售、后勤支持等部门，而在销售部门职能的设置中，一般的饲料企业出于产品的定位和成本的考虑，会仅限于商务建设、售前支持、市场管理等方面，而缺乏相应的售后服务和管理部门。在现代企业运营中，产品和服务不仅仅是一锤子的交易，更多的是要通过良好的售后服务能力以及售后管理能力来实现产品和服务的二次销售和增值，这就要求饲料企业建立独立的售后部门，使之与其他职能部门放在企业中同样的地位，通过售后部门的产品服务跟进，解决产品后期出现的质量、服务等问题，再一方面，通过售后部门与一线养殖市场的不断互动，深度分析需求、挖掘需求，从而创造二次需求，实现饲料产品服务的进一步增值，也能直接促进饲料企业的产品研发、生产管理等改进工作。

#### 2.1.2 企业需进行薪酬及激励方式的变革，改变产品营销团队考核导向

在饲料企业传统的经营活动中，一般对营销团队会比较注重财务类的，例如营业收入、净利润、回款等指标的考核，对售后服务的考核就显得不那么重视，有的仅限于形式上的。然而，考核作为企业经营活动尤其是员工行为的指挥棒，可以引导饲料企业在重视营销团队财务类考核的同时，不断加大对售后服务的考核，实现对售后服务从数量、质量及售后问题解决的及时性等方面的考核，以及对售后服务带来的二次实现的财务类指标进行考核，从而实现售后服务指标在营销团队中的有效落地，切实通过售后服务来促进企业的经营发展。

#### 2.1.3 饲料企业应当注重团队建设变革，改变人才招聘和培养导向

饲料企业应提高从业人员知识与技能，促进售后服务能力的提升。使营销队伍从销售型人才，转变为具备专业知识和技能，可提供服务的复合型人才。在现实中，由于大部分

养殖场的从业人员文化程度偏低，这将导致在养殖过程出现的问题和障碍无法得到妥善解决。因此，饲料营销企业急需聘用接受过专业化知识学习的业务人员来提供更精准的服务，同时，饲料营销企业也可以通过聘用外部的专家和咨询团队，来强化售后服务力量。能否精准射击很大程度上由是否可以向养殖场提供满意的售后服务来决定的。此外，加强饲料营销企业员工的服务营销意识，以服务吸引客户。饲料营销企业应在发展过程中时刻树立服务营销的理念，以服务营销的理念，贯穿并影响饲料的设计、生产再到服务的全过程，在其中的每一个环节，都是养殖场与饲料营销企业的信息沟通和互动交流的过程，养殖场可以将其最新的需求及时反馈给饲料营销企业，并要求其提供相应的服务，饲料营销企业也能在最早的时间里面获取一线市场养殖场的内在需求，以此来不断锤炼饲料营销企业的产品服务竞争力，从而形成饲料营销企业与养殖场的良性互动。

## 2.2 互联网技术推动营销与售后协同模式的探讨

除传统意义上的售后服务外，近年来，通过新型技术手段，饲料企业可以有效提高售后服务的效率，降低人工服务成本。首先，借鉴医院已广泛使用的远程会诊的医疗措施，将这一先进的诊疗方式引入到饲料企业的售后服务中。其中企业售后人员负责组织、搭建会诊交流平台以及设计会诊步骤，兼职或专职的专家以在线形式参与诊断、答疑，养殖户提供视频材料、病情报告并直接与专家交流。如会诊无法解决时再安排上门服务(刘海军等，2015)。这一方式可以大大扩展企业的专家团队，并降低成本。其次，利用社交平台或搭建专门的技术服务网站，饲料企业可以为养殖户提供更为即时、有效的售后服务。最后，借鉴互联网企业跨界进入养殖行业所采用的现场视频监控、大数据记录及分析等手段，饲料企业除可以拓展经营范围，增加盈利方式外，还可以将数据分析结果等用于售后服务、营销，取得双赢的结果。

## 3 结语

综上所述，售后服务不仅是企业内部的一个成本部门，还可以发展成为一个为饲料企业提供更多盈利点，为养殖户提供更多增值服务的重要环节。本文建议饲料企业应当着重挖掘从售后服务出发，改变企业盈利模式的可能性，这在其他行业已经有很多可参考案例。本文不足之处主要在于从饲料企业内部改革的角度进行分析，缺乏从养殖客户的角度进行售后服务需求、实施过程、效果评价的分析。

参考文献：略

# 信息化对饲料企业财务管理的影响分析及策略探讨

景诚

南京旅游职业学院酒店管理学院

**摘要:** 随着我国信息技术的不断发展,我国饲料企业的财务管理已经开始向信息化转型。信息技术在饲料企业财务管理中的应用,一方面改善了现有的财务管理体系,提高了饲料企业的经营效率。另一方面也给财务会计人员带来了新的挑战。本文从财务信息化的角度出发,阐述信息化对饲料企业财务管理的影响,探讨饲料企业如何应对信息化浪潮,并针对饲料企业财务管理信息化可能出现的问题提出了相应的防范措施。

**关键词:** 饲料企业; 信息化; 财务管理; 影响; 策略;

Analysis and strategy discussion on the influence of informatization on financial management of feed enterprises

JING Cheng

School of hotel management,Nanjing Institute of Tourism & Hospitality

**Abstract:** With the continuous development of information technology in China,the financial management of feed enterprises in China has begun to transform towards information.The application of information technology in the financial management of feed enterprises,on the one hand,improves the existing financial management system and improves the operational efficiency of feed enterprises.On the other hand,it also brings new challenges to financial accountants.From the perspective of financial informatization,this paper expounded the impact of informatization on financial management of feed enterprises,discussed how feed enterprises respond to the wave of informatization,and put forward corresponding preventive measures for the problems that may arise in the informatization of financial management of feed enterprises.

**Keyword:** feed enterprise; informatization; financial management; influence; strategy;

信息技术的出现推进了新世界的发展。作为关系民生的重要行业,饲料企业也开始提高对信息技术的重视,逐渐打破了传统的商业模式,进而创造信息共享、灵活高效的经济环境。如何在饲料企业的财务管理中运用信息技术来促进饲料企业的全面发展一直是饲料行业关注的重点之一(王毅婕,2019)。因此,本文针对饲料企业财务管理信息化可能出现的问题提出了相应的防范措施,以期给饲料企业财务管理信息化提供理论基础。

1 饲料企业财务管理现状

随着经济全球化进程的加剧以及市场经济的发展扩张，我国饲料企业的财务管理必须与时俱进，与全球经济接轨。饲料企业如果希望将现代企业管理制度与现有制度相融合，首先要研究现有的企业财务管理体制、财务管理水平和财务管理意识。目前饲料企业的财务管理现状如下。

### 1.1 财务管理体制单一

目前，我国大多数饲料企业表现出明显的家族式企业特征。在建立初期，家族式企业特征可以降低企业的业务成本，并确保团队的凝聚力和决策的有效性。但是，随着饲料行业市场竞争的加剧，特别当饲料企业规模明显扩张后，家族企业的特点难以满足现代企业财务管理的需要。饲料企业所聘的会计人员通常没有适合的文化程度，难以对财务管理体制进行革新(齐广海，2016)。

### 1.2 财务管理水平不高

在我们国家，大多数饲料公司的企业家缺乏丰富的业务管理经验(唐守营，2010)。这种情况的出现会对我国饲料企业财务管理存在根深蒂固的影响。对财务管理的理解以及财务管理的方法和手段都很难满足现代企业的基本要求。同时，相当多的饲料公司仍处于记账的初期，没有制定完整的财务系统，很难充分反映饲料公司的经营状况，更不用说实现所谓的财务管理和风险防控。

### 1.3 财务管理意识薄弱

企业文化在公司发展中起着至关重要的作用，是企业发展的本质。完善公司文化体系能够帮助管理层更好地管理公司和员工，使员工和公司共同发展(董妮，2015)。在我国，大多数饲料企业的领导还是比较注重文化建设，但由于饲料企业财务管理起步较晚，一定程度上影响了饲料企业财务管理工作的顺利进行。在管理过程中，管理层重视程度不足，很多饲料企业只是简单依据财务准则制度进行简单核算，不能深层次思考财务工作内涵，挖掘更深层次的意义，遇到实际问题不知从何着手解决，敷衍了事，不利于财务管理作用的有效发挥(谢风秀，2015)。

## 2 信息化对饲料企业财务管理的影响

通过对传统环境与信息化背景下饲料企业财务管理模式、工作方式以及软件系统进行对比分析发现，信息化背景下的开放性、数字化以及科技性对饲料企业财务管理产生了一定影响。

### 2.1 对财务系统的影响

财务信息化使得管理会计，乃至整个财务系统都发生了颠覆性的变化。人工智能、大数据等技术的引入，对饲料企业财务管理产生了深远影响，甚至是引起企业运行机制的改变(庄银传，2019)。根据对饲料企业的实地调查发现，信息化对饲料企业财务系统的影响主要表现在以下几个方面：

### 2.1.1 员工操作问题

员工操作问题是指饲料企业内部由于管理机制失效，财务工作者没有较好地意识到信息化，导致企业存在财务风险的问题(李淑红，2016)。例如，当饲料企业的网络系统被不法分子恶意入侵，客户在网络实施恶意欺诈，员工本身存在操作不当或者管理层的管理水平较低等，这些都能直接或间接地导致饲料企业财务存在风险，影响企业正常生产经营，甚至会损害企业形象，使企业造成巨大的经济损失。

### 2.1.2 资料存档问题

在信息时代，传统的财务数据已经不再被使用，取而代之的是各种电子符号，这些信息载体的介质也由传统的纸更新换代到现在的磁性，甚至是光电，但这些介质均存在着同样一个问题，那就是如果外界环境存在高温、潮湿、撞击或者磁场等状况，介质中保存的数据就会很容易丢失(林焯，2018)。此外，目前所使用的财务软件往往对计算机硬件系统有较高的要求，网络接口、数据格式以及软件加密等因素都会导致会计资料不兼容而无法查询，最终导致饲料企业会计资料存在不完整，甚至是失效的问题。

## 2.2 对财务审计的影响

财务审计人员将如何适应信息时代？与时俱进的专业素养成为对劳动者的新要求，具有广泛专业素养的复合型人才将是未来就业市场的主力军。根据对饲料企业的实地调查发现，信息化对饲料企业财务审计的影响主要表现在以下几个方面：

### 2.2.1 对财务职能的影响

在信息时代，企业的财务工作者不仅需要掌握财务知识，还要熟悉财务系统操作和维护，如排除常见系统故障和维护日常系统安全等。此外，企业财务人员还必须了解与信息技术有关的法律法规，饲料企业运营和管理的基础知识，可以视为具有创新能力的复合型人才。但在现实环境中，我国饲料企业的很多财务工作者文化程度不高，英语底子薄弱，很难接受新兴事物，这就需要饲料企业加大对现有财务工作者的培训力度，进而降低信息时代饲料企业的财务风险。

### 2.2.2 对审计取证的影响

在传统财务管理中，饲料企业的各种纸质会计凭证以及审批手续都会被严格地记录在案，财务信息真实、完整，经济责任认定清晰，注册会计师在审计过程中的取证是能够被看得见且摸得着的(蒋鸣乐，2018)。然而，在信息时代下，很多传统的签字签章已经被鼠标点击所取代。另外，会计资料在储存和传输的过程中，数据的修改、拦截、删除以及窃取等行为很难被发现，弱化了审计工作的控制能力。信息技术的开放性加大了饲料企业财务失真的可能，审计取证也因此变得难上加难。

### 2.3 对风险控制的影响

信息技术的飞速发展使得饲料企业财务管理高度组织化和集中化的同时，也给饲料企业财务安全带来了极大的风险。财务系统的安全性和保密性是饲料企业财务管理的重要“生命线”(周兆闪，2019)。信息技术对饲料企业财务管理风险控制具有较强的普遍性和隐蔽性，风险的表现形式复杂，来源广泛，易被不法分子利用，对饲料企业危害较大。如果不能采取严格的防范措施和管理手段，会影响饲料企业正常运行。根据对饲料企业的实地调查可以发现，信息化对饲料企业风险控制的影响主要表现在以下几个方面：一是饲料企业内部对员工管理不善可能导致员工利用计算机蓄意伪造财务数据、盗刷公司资金，给企业造成经济损失。二是部分“黑客”利用高科技技术手段，非法闯入饲料企业财务系统作案或进行破坏行为，可能导致信息安全方面的问题，甚至泄漏商业秘密。三是如饲料企业财务软件存在缺陷，存在系统兼容性问题和标准化问题，可能会导致系统故障，甚至崩溃。四是诸如供电系统故障、地震、洪水或雷击之类的自然灾害可能会带来风险。

## 4 饲料企业应对财务管理信息化的对策

### 4.1 完善企业财务系统

#### 4.1.1 员工操作问题的防范

饲料企业的财务工作者应该加强自身的风险意识，对数据进行科学的分析，准确识别能够对实现企业目标产生影响的各种因素，提高对高危财务风险和多发财务风险的重视程度。饲料企业根据财务风险的成因以及企业的可接受水平，确定财务风险的应对策略，建立有效的操作风险方法机制，提高企业财务工作者的素质，从根源上杜绝被不法分子恶意入侵或者被客户实施恶意欺诈。另外，饲料企业要通过制定严格的考核制度，实施财务风险期权制度，与奖金直接挂钩，做到奖罚分明、责任清晰，从源头，到过程，再到结果，都拥有长效的考核机制，有效地减少企业的财务风险，对由于员工操作问题导致的财务风险更好地进行防范。

#### 4.1.2 资料存档问题的防范

为减少由于资料存档问题导致的企业财务风险，第三方财务软件公司应将数据转换的接口进行标准化处理，有利于财务数据兼容性的提高和财务软件的升级，方便财务工作者向银行、政府等有关机构定期报送财务信息，保证企业存档的财务资料是连续且一致的。另外，在对财务资料进行备份时，饲料企业要采取多种形式进行备份，有利于日后数据的使用，同时，在进行财务软件升级时，企业应尽可能在年初进行。在这个时间，企业的财务数据量较少，易于实施系统的检测。

### 4.2 提高员工业务素质

#### 4.2.1 优秀技术人才的引入

人才是保障企业在互联网时代下财务工作正常运转的重要前提。作为企业的重要组成部分之一，人才可以帮助企业在相同的投入下，产生更优的效益。对人力资源的投入是具有弹性的支出，能够帮助公司获得更大的收益。对于互联网时代下财务工作来说，高素质的技术人才能够更好地完成企业财务工作，具有更好的员工向心力，促进战略目标的实现和企业制度的实施(劳海英，2019)。此外，企业可以增加对现有员工的培训并优化现有员工的任务分配，并引入激励制度，调动员工的积极性，挖掘员工更多的技术潜能。在实践中，不断优化员工素质的建设、扩大技术人才队伍，是现代企业管理的最新要求，能够提高企业的运营效率，并帮助其在互联网时代下更好地开展财务工作，提高财务工作的有效性。

#### 4.2.2 审计取证问题的防范

针对由于审计取证问题导致的企业财务风险，我国政府等有关部门可以通过借鉴国内外相关研究成果以及实践经验，制定一套适合我国国情的相关法律法规，对企业财务软件的质量标准、披露内容、责任义务等进行明确的规定，规范互联网时代下企业的财务工作行为。另外，造成审计取证纠纷不能被及时处理的重要原因之一就是相关法律法规并不是十分健全，审计取证双方很难达成意见一致，为后续审计活动的进行产生了负面影响。因此，我国政府等有关部门根据电子合同以及电子签名等争端较多的案例，规范争端的解决规则，提高对网络犯罪的打击力度，帮助饲料企业营造一个安全的互联网财务环境，进而减少互联网时代下企业存在财务风险的可能(张梦凡，2019)。

### 4.3 增强风险控制能力

#### 4.3.1 财务风险意识的加强

现代会计部门除了管理固定资产和财务账目外，还有无形资产。因为无形资产通常是

企业的基础和本质，其实际价值甚至高于有形资产。此外，客户信息、成本资料、销售清单等同样属于重要资料文件，很可能涉及饲料企业的商业秘密。除负责日常财务工作外，饲料企业的财务管理人员必须树立敏感的危机意识和风险意识，积极防范不确定因素，避免潜在风险，并做到与企业其他管理人员及时沟通(何丽，2018)。

#### 4.3.2 网络安全隐患的防范

互联网时代下降低企业财务风险的基础是网络安全，而财务系统的安全也是降低企业财务风险的关键。为了抵御互联时代的干扰，饲料企业应该对信息输入、输出和传送的正确性以及合法性加强控制，在包括通信平台、操作平台以及应用平台的整个财务系统建立多层次、全方位的安全防护体系，保证防范措施的全面性和可操作性(张琳，2018)。另外，财务软件应该对数据的存储、操作以及传输增加有效的保护措施，尤其是在使用数据、查询数据以及分析数据时。对财务软件来说，防火墙、数字签名以及加密技术在保证数据的安全和完整方面具有很好的效果。

### 5 小结

信息化背景下，饲料企业财务发生了根本性的变化，信息技术所带来的挑战与机遇受到越来越多饲料企业管理者的关注。在信息时代，饲料企业管理者需要紧跟时代发展的潮流，根据市场的发展规律，实施有针对性的财务管理模式和手段，将新兴的财务管理模式同传统企业财务风险工作进行有机地整合，最终实现企业财务管理工作进一步发展。

参考文献：略

原文刊登在《中国饲料》2020,(19),91-94 DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20201919

## 研究进展

### 黑水虻营养价值及其在水产动物生产中研究进展

王宇 闫卉果 周兴华

西南大学动物科学学院

**摘要：**我国正面临蛋白质资源紧缺问题，近年来昆虫作为动物蛋白来源引起国内外学者广泛关注。黑水虻营养价值高，富含多种活性物质，可改善动物生长性能，提高免疫力，是一种优质动物蛋白源。在动物生产中，黑水虻作为蛋白源替代饲料中的鱼粉和豆粕，应用效果较好。文章主要对黑水虻营养价值及其在水产动物生产中研究进展进行综述，以期为蛋白源开发提供参考。

**关键词：**黑水虻; 营养价值; 动物蛋白; 水产动物;

Research Advance on Nutritional Values of Black Soldier Fly and Its Application in Aquatic Animal Production

WANG Yu YAN Huiguo ZHOU Xinghua

College of Animal Science, Southwest University

**Abstract:** China is facing the shortage of protein resources, insects as a source of animal protein have attracted extensive attention from scholars at home and abroad in recent years. The black soldier fly was a kind of high quality animal protein source with high nutritive values and multiple active substances, which can improve the growth performance and immunity of animals. In animal production, black soldier fly has achieved good results as a protein source to replace fish meal and soybean meal in feed. This paper mainly reviewed the nutritional characteristics of black soldier fly and its research progress in aquatic animal production, in order to provide a reference for the development of protein sources.

**Keyword:** hermetia illucens; nutritional values; animal protein; aquatic animals;

预计到 2050 年,世界人口将达到 97 亿,需要增加 25%~70%的粮食供应<sup>[1]</sup>。鱼类是人类营养和微量元素的重要来源,在全球食物供应中扮演重要角色。我国作为世界上水产养殖量最大的国家,养殖产量约占世界总产量 70%。随着规模化、集约化、智能化、生态化趋势发展,水产动物对优质蛋白源需求越来越大。鱼粉因其蛋白质含量高、氨基酸组成均衡、适口性好、含有未知促生长因子等被广泛用于水产饲料中。然而随着渔业资源衰退,鱼粉产量不断下降,供不应求。因此寻找优质蛋白源替代鱼粉,降低鱼粉在饲料中使用是实现水产养殖可持续发展的关键。大量研究表明,采用丰富的昆虫、畜禽加工副产物、豆类和单细胞蛋白等可部分甚至完全替代饲料中的鱼粉。黑水虻蛋白质含量高、氨基酸组成均衡,是优质饲料蛋白原料。

黑水虻(Black Soldier Fly),学名光亮扁角水虻或亮斑扁角水虻(*Hermetia illucens* Linnaeus),隶属于双翅目水虻科扁角水虻属,与蝇蛆、黄粉虫等昆虫齐名,被誉为“凤凰虫”。黑水虻分布广泛,生长速度快,在废物处理中展现巨大潜力,不仅可以将粪便转化为优质肥料,抑制家蝇滋生;还可以降解餐厨垃圾,将废弃有机物转化为自身蛋白质和脂肪<sup>[2]</sup>。

### 1 黑水虻营养特性

黑水虻幼虫干物质占 42%~43%,干物质中粗蛋白质(CP)含量为 35%~63%,粗脂肪(EE)含量占 23%~38%,灰分达到 5%~14%,钙和磷含量分别为 5%和 0.6%左右。黑水虻营养成分差异与饲养条件密切相关<sup>[3]</sup>,脱脂处理后,CP 含量可超过 60%。黑水虻体内精氨酸、赖氨酸和蛋氨酸等必需氨基酸含量与鱼粉相似<sup>[4]</sup>,而赖氨酸和蛋氨酸是鱼类生长的限制性氨基酸,因此添加适宜含量黑水虻幼虫有助于补充饲料中必需氨基酸不足,维持氨基酸平

衡。

此外，黑水虻也是优质脂肪酸源。不饱和脂肪酸含量高，富含月桂酸、棕榈酸、油酸和亚油酸<sup>[5]</sup>，可在短时间内通过饮食调节提高二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)含量<sup>[6]</sup>。除了含有丰富的蛋白质和脂肪，黑水虻也是钾、钙、铁、镁、硒等矿物质和多种维生素的良好来源，其含量主要取决于饲养条件。值得注意的是，黑水虻体内含有丰富的抗菌肽、月桂酸、几丁质、壳聚糖和己二酸等生物活性物质，对动物健康和免疫调节具有重要作用。

## 2 黑水虻在水产动物中的应用

黑水虻幼虫和蛹都含有丰富的必需氨基酸和矿物质，营养价值极高，是优质蛋白质饲料。目前针对黑水虻在动物生产上研究较少，主要集中在部分水产动物。自然状态下，昆虫还是一些肉食性和杂食性鱼类的天然饵料<sup>[7]</sup>。大量研究表明，黑水虻可作为虹鳟<sup>[8,9]</sup>、大西洋鲑<sup>[10,11]</sup>、鲈鱼<sup>[12]</sup>、南美白对虾<sup>[13]</sup>、大黄鱼<sup>[14]</sup>、建鲤<sup>[15,16]</sup>、黄颡鱼<sup>[17,18]</sup>、草鱼<sup>[19]</sup>、斑马鱼<sup>[20]</sup>、小丑鱼<sup>[21]</sup>和锦鲤<sup>[22]</sup>饲料的蛋白源或脂肪源。

### 2.1 对水产动物生长性能、形态指标的影响

黑水虻幼虫可作为蛋白源替代饲料中一定比例鱼粉，对鱼类生长性能没有不良影响，但替代比例过高则会抑制动物生长。Xiao 等研究发现，在不影响黄颡鱼幼鱼生长性能前提下，黑水虻幼虫最高可以替代 48% 的鱼粉；当替代量超过 68% 后，特定生长率(SGR)显著降低( $P < 0.05$ )<sup>[17]</sup>。大黄鱼相关研究也表明，随替代量增加，饲料效率(FE)、增重率(WGR)和 SGR 均呈现先上升后下降的趋势( $0.05 < P < 0.10$ )，且替代量为 40% 时，WGR 和 SGR 最高<sup>[14]</sup>。经脱脂处理的黑水虻幼虫能替代日粮中更多鱼粉。此外，黑水虻还能促进动物摄食和生长。王国霞等研究发现在饲料中添加低剂量黑水虻干幼虫粉或鲜虫浆可以促进杂交鳊摄食，诱食效果比乌贼膏好<sup>[23]</sup>。分子标记也表明，日粮中添加黑水虻能改善动物生长性能，斑马鱼生长因子(igf1 和 igf2a)基因表达均高于对照组<sup>[20]</sup>。

肝脏是动物机体内营养代谢的主要场所。对鱼类肝脏组织学研究表明，日粮中添加适宜比例黑水虻对组织病理没有严重影响。用黑水虻幼虫粉替代 50% 的鱼粉，建鲤肝脏有轻度萎缩现象，但不影响酶活性<sup>[15]</sup>；对小丑鱼肝脏切片进行红外光谱分析发现，肝细胞总脂质量和蛋白质含量较低，糖原含量较高，但各处理之间无显著差异( $P > 0.05$ )<sup>[21]</sup>。

### 2.2 对水产动物体组成的影响

黑水虻幼虫替代不同比例鱼粉，主要对全鱼或肌肉中粗脂肪和粗蛋白质含量有一定影

响,对水分和灰分含量没有显著影响。用黑水虻幼虫粉替代 20%~50%鱼粉能显著提高鲈鱼全鱼粗脂肪含量( $P<0.05$ )<sup>[24]</sup>。Li 等研究发现,黑水虻油与肌肉和肝胰腺中脂肪酸组成密切相关,日粮中添加黑水虻油,建鲤肌肉中 DHA 含量显著高于对照组( $P<0.05$ )<sup>[16]</sup>。但在大菱鲂中却发现 EE 含量随替代量增加而降低<sup>[25]</sup>。

陈晓瑛等在黄颡鱼饲料中采用等氮等脂方式替代鱼粉,发现随黑水虻幼虫粉替代量增加,幼鱼肌肉中 CP 含量出现上升趋势,替代量为 50%达到最高<sup>[18]</sup>。但在大黄鱼中却发现肌肉 CP 含量随脱脂黑水虻幼虫粉的增加而出现下降趋势( $0.05<P<0.10$ ),当替代量达到 40%,CP 含量显著降低( $P<0.05$ )<sup>[14]</sup>。

### 2.3 对水产动物消化、吸收的影响

肠道是消化食物和吸收营养的主要场所,在日粮中添加适宜比例黑水虻,对鱼类肠道组织结构、食物消化率、血清代谢产物及菌落多样性没有明显不良影响。用黑水虻幼虫粉替代 50%以内的鱼粉,对虹鳟肠道<sup>[9]</sup>、小丑鱼肠黏膜和建鲤肠道微绒毛形状均无影响<sup>[15,21]</sup>。不同替代量对鲈鱼肠绒毛长度、宽度和厚度均无显著影响( $P>0.05$ )<sup>[12]</sup>。研究表明,即使用黑水虻 100%替代鱼粉,斑马鱼肠道也没有出现炎症迹象<sup>[20]</sup>。研究指出,黑水虻能改善动物肠道功能,对动物肠道的保护作用可能与昆虫体内月桂酸、几丁质和抗菌肽等生物活性物质有关<sup>[26]</sup>。

动物对饲料中营养物质消化利用率越高,越有利于动物生长。日粮中添加黑水虻对建鲤<sup>[15]</sup>、鲈鱼<sup>[12]</sup>、锦鲤<sup>[22]</sup>和大西洋鲑<sup>[10]</sup>等鱼类肠道消化酶活性均无不良影响;且添加黑水虻后,提高饲料中组氨酸、精氨酸、羟脯氨酸和缬氨酸的表观消化率<sup>[27,28]</sup>。此外,研究指出黑水虻能促进脂类代谢。日粮中添加黑水虻后,黄颡鱼<sup>[18]</sup>、建鲤<sup>[15]</sup>、鲈鱼<sup>[12]</sup>和大西洋鲑<sup>[11]</sup>血清中胆固醇或甘油三酯含量均出现不同程度降低。肠道菌落组成与动物营养代谢和健康状况密切相关。日粮中添加黑水虻幼虫会改变虹鳟肠道黏膜菌落,刺激肠道有益菌群扩大<sup>[29,30]</sup>;Huyben 等进一步研究发现黑水虻发育阶段和脂质含量也会影响虹鳟肠道菌群多样性,取食未经脱脂处理的幼虫会增加肠道棒状杆菌数量<sup>[8]</sup>。但肠道菌群发生变化的原因和对动物的影响尚不清楚,值得深入研究。

### 2.4 对水产动物健康及免疫功能的影响

水产动物的健康状况与其摄食情况、生长速度、抗病力和抗应激能力等密切相关。黑水虻能提高动物抗氧化能力。在对锦鲤的研究中发现,日粮中添加黑水虻,锦鲤肝胰脏中超氧化物歧化酶总活力(T-SOD)和总抗氧化能力(T-AOC)显著提高( $P<0.05$ ),丙二醛(MDA)

含量显著降低( $P<0.05$ )<sup>[22]</sup>。对南美白对虾<sup>[13]</sup>、黄颡鱼<sup>[17]</sup>和草鱼<sup>[19]</sup>研究也表明饲料中包含一定量黑水虻能提高血清抗氧化酶活性。饮食和环境变化都容易引起动物应激反应,不同学者对肝脏应激标记基因研究呈现不同结果。在虹鳟<sup>[30]</sup>和建鲤<sup>[15]</sup>中, hsp70 基因表达随黑水虻添加量增加而上调;而不同添加量对斑马鱼<sup>[20]</sup>(nr3c1 和 hsp70.1)、小丑鱼<sup>[21]</sup>(gr 和 hsp70)和大西洋鲑<sup>[11]</sup>(hsp70)基因表达无显著影响( $P>0.05$ )。

黑水虻能促进动物免疫机能,提高抗病能力。血清溶菌酶和杀菌活性是鱼类非特异性免疫的重要组成部分。Foysal 等研究发现日粮中补充黑水虻能显著提高澳洲淡水小龙虾血淋巴渗透压、血清溶菌酶活性和血细胞总数( $P<0.05$ )<sup>[31]</sup>。在黄颡鱼的研究中也发现血清溶菌酶活性和吞噬活性增强,尤其是替代日粮中 25%鱼粉后,溶菌酶活性比对照组提高 30%<sup>[17]</sup>。Chaklader 等在日粮中添加 10%的黑水虻,用哈维氏弧菌对尖吻鲈进行感染试验,发现存活率显著提高( $P<0.05$ )<sup>[32]</sup>,但通过改变日粮组成提高动物免疫能力的研究还很少。综上所述,在饲料中加入适量黑水虻可提高水产动物抗氧化能力和免疫功能,但其具体有效成分和作用机制还需进一步研究。

### 3 小结

黑水虻不仅含有丰富的蛋白质、氨基酸和脂肪酸等营养物质,还含有抗菌肽、月桂酸、壳聚糖等多种活性物质,是饲料优质蛋白质和脂肪来源。日粮中添加黑水虻能改善动物生长性能、调节肠道菌落和增强免疫力。无论是将黑水虻作为饲料原料还是加工成饲料添加剂,在动物生产中都将展现广阔的应用前景。

参考文献:略

原文刊登在《饲料博览》2020,(08),50-54

## 水产动物亮氨酸营养研究进展

张圆圆 王连生

中国水产科学研究院黑龙江水产研究所黑龙江省水生动物病害与免疫重点实验室

**摘要:**亮氨酸作为支链氨基酸中唯一的生酮氨基酸,是水产动物的必需氨基酸之一,对水产动物的营养生理作用至关重要。本文综述了水产动物亮氨酸需求量、亮氨酸与其他氨基酸的相互作用、亮氨酸对蛋白质代谢、抗氧化能力、免疫功能、肠道发育的影响,以为亮氨酸在水产动物营养需求、功能机理与健康养殖方面的深入研究提供参考。

**关键词:**水产动物;亮氨酸;需求量;免疫;肠道;

## Research Progress of Leucine Nutrition in Aquatic Animals

ZHANG Yuanyuan WANG Liansheng

Key Laboratory of Aquatic Animal Diseases and Immune Technology of Heilongjiang Province, Heilongjiang  
River Fisheries Research Institute of Chinese Academy of Fishery Sciences

**Abstract :** Leucine is a branched-chain amino acid and is one of the essential amino acids for aquatic animals. Leucine, as the only ketogenic amino acid in branched-chain amino acids, is essential for the nutritional and physiological role of aquatic animals. This article reviewed the requirement of leucine in aquatic animals, the interaction between leucine and other amino acids, and the effects of leucine on protein metabolism, antioxidant ability, immune function and intestinal development, in order to provide references for further research of nutritional requirement, functional mechanism and healthful aquaculture on leucine in aquatic animals. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(12)]

**Keyword:** aquatic animals; leucine; requirement; immune; intestinal tract;

必需氨基酸在水产动物生长和健康方面发挥着重要作用。支链氨基酸(branched-chain amino acid, BCAA)属于必需氨基酸。由亮氨酸、缬氨酸和异亮氨酸组成的支链氨基酸,在动物蛋白质总氨基酸中的占比为 18%~20%,主要在骨骼肌中被支链氨基酸脱氢酶复合物氧化,为肌肉内源合成谷氨酰胺提供 $\alpha$ -氨基<sup>[1,2]</sup>。亮氨酸在机体合成蛋白质、能量代谢、葡萄糖平衡等方面具有重要作用<sup>[3]</sup>,是一种功能性氨基酸。亮氨酸通过激活雷帕霉素靶蛋白(target of rapamycin, TOR)信号通路,调控机体蛋白质合成、分解代谢和免疫功能<sup>[4]</sup>。同时,亮氨酸在血红蛋白生成及胁迫条件下血糖水平调节方面具有重要作用<sup>[5]</sup>。本文综述了水产动物亮氨酸需求量、亮氨酸对蛋白质代谢、抗氧化能力、免疫功能、肠道发育的影响,以期对亮氨酸在水产动物营养需求、功能机理与健康养殖方面的深入研究提供参考。

### 1 水产动物亮氨酸需求量

亮氨酸是水产动物的必需氨基酸之一,亮氨酸缺乏会降低草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[6]</sup>、印度鲤鱼(*Cirrhinus mrigala*)<sup>[7]</sup>、印度囊鳃鲶(*Heteropneustes fossilis*)<sup>[8]</sup>、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio* var. CASIII)<sup>[9]</sup>等水产动物的生长性能、饲料转化率及蛋白质沉积率<sup>[6,7,8,9]</sup>。近年发表的水产动物亮氨酸需求量见表 1,由此表可知鱼类对亮氨酸的需求量为 1.29%~3.41%,虾蟹类对亮氨酸的需求量为 1.70%~2.48%。不同品种水产动物的亮氨酸需求量不同,由表 1 可知,吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的亮氨酸需求量仅为 1.25%,而卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)的亮氨酸需求量高达 3.29%。同一品种不同规格的水产动物对亮氨酸

的需求量也不同, 体重为 2.25、295.85 g 草鱼的亮氨酸需求量分别为 1.52%、1.30%, 一般小规格水产动物的亮氨酸需求量高于大规格水产动物<sup>[6,10]</sup>。不同评价指标对水产动物亮氨酸需求量也有较大影响, 杂交石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*Epinephelus lanceolatus*)分别以增重率、蛋白质沉积率为评价指标, 回归分析得出的亮氨酸需求量为 3.25%、3.41%<sup>[11]</sup>。此外, 不同的计算模型也影响水产动物的亮氨酸需求量, 0.38 g 凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)分别以二次多项式模型、折线模型进行估算, 得出的亮氨酸需求量为 2.36%、2.48%<sup>[12,13]</sup>。

表 1 水产动物亮氨酸需求量(占饲料的百分比)

Table 1 Leucine requirement of aquatic animal(percentage of diet)

品种 Species	体重 Body weight/g	模型 Mode	评价指标 Evaluation indicator	需求量 Requirement/%	参考文献 Reference	
鱼类 Fish						
草鱼 Grass carp	295.85	二次多项式模型	增重率	1.30	Deng 等 <sup>[6]</sup>	
			血氨含量	1.29		
			丙二醛含量	1.32		
	2.25	折线模型	增重率	1.52	黄爱霞等 <sup>[10]</sup>	
			饲料转化率	1.53		
杂交鲟鱼 Hybrid Catfish	23.19	折线模型	增重率	2.81	Zhao 等 <sup>[14]</sup>	
团头鲂 Blunt snout bream	23.27	二次多项式模型	增重率	1.40	Liang 等 <sup>[15]</sup>	
			特定生长率	1.56		
			特定生长率	1.44		
	10.2	二次多项式模型	饲料转化率	1.61	Ren 等 <sup>[16]</sup>	
青鱼 Black carp	2.9	二次多项式模型	增重率	2.35	Wu 等 <sup>[17]</sup>	
			饲料转化率	2.39		
露斯塔野鲮 Indian major carp	0.40	二次多项式模型	增重率	1.57	Abidi 等 <sup>[5]</sup>	
			饲料转化率	1.55		
	0.60	二次多项式模型	增重率	1.58	Ahmed 等 <sup>[7]</sup>	
杂交石斑鱼 Hybrid grouper	6.92	二次多项式模型	增重率	3.25	Zhou 等 <sup>[11]</sup>	
			蛋白质沉积率	3.41		
眼斑拟石首鱼 Red drum	1.42	二次多项式模型	增重率	1.57	Castillo 等 <sup>[18]</sup>	
			蛋白质沉积率	1.63		
吉富罗非鱼 Nile tilapia	1.94	二次多项式模型	增重率	1.25	Gan 等 <sup>[19]</sup>	
卵形鲳鲹 Golden pompano	5.76	二次多项式模型	增重率	3.28	Tan 等 <sup>[20]</sup>	
			特定生长率	3.29		
印度囊鳃鲶 Stinging catfish	6.80	二次多项式模型	增重率	1.65	Farhat 等 <sup>[8]</sup>	
			饲料转化率	1.69		
建鲤 Jian carp	7.88	二次多项式模型	增重率	1.29	伍曦 <sup>[21]</sup>	
花鲈 Japanese seabass	167.82	二次多项式模型	增重率	2.76	路凯 <sup>[22]</sup>	
			增重率	2.80		
			饲料转化率	2.80		
	8.0	二次多项式模型	增重率	2.39	Li 等 <sup>[23]</sup>	
吉富罗非鱼 Nile tilapia	53.65	二次多项式模型	增重率	2.33	石亚庆等 <sup>[24]</sup>	
			饲料转化率	2.28		
大黄鱼 Large yellow croaker	6.0	二次多项式模型	增重率	2.92	Li 等 <sup>[25]</sup>	
卡特拉鱼 <i>Catla catla</i>	3.75	二次多项式模型	增重率	1.57	Zehra 等 <sup>[26]</sup>	
甲壳类 Crustacean						
三疣梭子蟹 Swimming crabs	3.75	折线模型	增重率	2.21	Huo 等 <sup>[27]</sup>	
凡纳滨对虾 Pacific white shrimp	0.38	二次多项式模型	增重率	2.36	Lin 等 <sup>[12]</sup>	
			饲料转化率	2.40		
			折线模型	增重率		2.48
			折线模型	增重率		2.46
斑节对虾 Tiger shrimp	0.02	二次多项式模型	增重率	1.70	Millamena 等 <sup>[29]</sup>	
中华绒螯蟹 Chinese mitten crabs	0.90	折线模型	特定生长率	2.36	杨露等 <sup>[30]</sup>	

## 2 亮氨酸与其他氨基酸的相互作用

由于支链氨基酸在细胞膜上的转运载体相同，在水产动物上已开展了关于亮氨酸、缬氨酸和异亮氨酸之间及与其他氨基酸的协同或拮抗作用的相关研究。

### 2.1 亮氨酸与缬氨酸的相互作用

Han 等<sup>[31]</sup>采用 2×3 双因素(亮氨酸含量:1.6%、5.0%;缬氨酸含量:1.2%、1.8%、2.5%)试验明确了亮氨酸能够显著影响增重率、特定生长率及饲料转化率，且与缬氨酸之间存在交互作用;低亮氨酸含量时，增重率和特定生长率与随着缬氨酸含量的增加而升高，在亮氨酸含量为 1.6%、缬氨酸含量为 2.5%时，增重率最高;在亮氨酸含量为 5.0%、缬氨酸含量为 2.5%时，增重率最低;与 1.6%亮氨酸组相比，5.0%亮氨酸组血细胞比容、血红蛋白含量、乳酸脱氢酶、谷草转氨酶活性及甘油三酯含量显著降低。亮氨酸与缬氨酸对牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)消化酶、免疫酶活性存在显著的交互作用，且亮氨酸含量为 2%、缬氨酸含量为 2.27%时，脂肪酶、超氧化物歧化酶的活性得到显著提高<sup>[32]</sup>。上述研究结果表明饲料高亮氨酸、高缬氨酸之间存在拮抗作用，在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[33]</sup>、红点鲑(*Salvelinus namaycush*)<sup>[34]</sup>的研究中也得到类似的结果。

### 2.2 亮氨酸与异亮氨酸的相互作用

王丽萍等<sup>[35]</sup>采用 2×3(亮氨酸含量:2.58%、5.08%，异亮氨酸含量:1.44%、2.21%、4.44%)试验研究了亮氨酸和异亮氨酸对生长性能、消化酶活性的影响，在亮氨酸含量为 5.08%、异亮氨酸含量为 1.44%时，增重率、特定生长率和蛋白酶活性显著高于低亮氨酸低异亮氨酸组;在亮氨酸含量为 2.58%、异亮氨酸含量为 4.44%时，脂肪酶活性显著高于低亮氨酸低异亮氨酸组，且亮氨酸和异亮氨酸之间存在显著的交互作用。此外，随着亮氨酸含量的升高，大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*)的异亮氨酸需求量也相应升高<sup>[36]</sup>。

### 2.3 亮氨酸与其他氨基酸的作用关系

研究发现，眼斑拟石首鱼饲料中亮氨酸含量为 0.90%时血清中异亮氨酸、缬氨酸的含量显著高于亮氨酸含量为 2.50%时<sup>[18]</sup>;草鱼肌肉中异亮氨酸、缬氨酸含量随着饲料中亮氨酸含量的升高而显著降低，但肌肉中总氨基酸的含量显著升高<sup>[37]</sup>;随着饲料中亮氨酸含量的升高，杂交石斑鱼血清中缬氨酸、异亮氨酸的含量显著降低<sup>[11]</sup>。以上结果显示亮氨酸与异亮氨酸、缬氨酸存在拮抗作用，随着饲料中亮氨酸含量的升高，其他 2 种支链氨基酸的含量显著降低。另有研究结果表明，随着饲料中亮氨酸含量的升高，团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)血清中异亮氨酸的含量显著降低，但对血清中缬氨酸含量的影响未达到显著

水平<sup>[16]</sup>。饲料中高亮氨酸含量未对青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)肌肉中缬氨酸、异亮氨酸的含量产生显著影响,但必需氨基酸苏氨酸、赖氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸的含量显著升高,非必需氨基酸谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丝氨酸、半胱氨酸、脯氨酸的含量同样显著升高<sup>[17]</sup>。饲料中亮氨酸含量对凡纳滨对虾肌肉中异亮氨酸、缬氨酸的含量均无显著影响,但适量的亮氨酸可提高肌肉中苯丙氨酸、苏氨酸的含量<sup>[13]</sup>。随着饲料中亮氨酸含量的升高,中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)肌肉中亮氨酸和缬氨酸的含量随之升高,丝氨酸、半胱氨酸、总氨基酸、总必需氨基酸的含量也随之升高<sup>[30]</sup>。亮氨酸的吸收也受其他氨基酸的影响,肠道主要功能物质谷氨酰胺可以促进草鱼肠道对亮氨酸和脯氨酸的吸收,并显著提高肠道蛋白质的合成水平<sup>[38]</sup>。综上,饲料中的亮氨酸与异亮氨酸、缬氨酸、其他氨基酸的作用关系可能与品种、饲料组成等有关。

### 3 亮氨酸对水产动物蛋白质代谢的影响

亮氨酸缺乏或过量阻碍机体蛋白质的沉积。亮氨酸缺乏或过量降低凡纳滨对虾蛋白质沉积率、出肉率、肌肉蛋白质含量,且亮氨酸缺乏还会降低肌肉总氨基酸含量<sup>[12]</sup>。眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)饲料中亮氨酸含量由 0.90%提高至 2.50%时,蛋白质沉积率、出肉率均得到显著提高<sup>[18]</sup>。对于异育银鲫、团头鲂、草鱼、杂交石斑鱼,亮氨酸缺乏显著降低肝脏、肌肉 TOR 基因的表达量,抑制下游基因核糖体 S6 激酶 1(S6K1)基因的表达,降低蛋白质的合成代谢<sup>[9,11,16,37]</sup>。亮氨酸缺乏或过量降低杂交石斑鱼脑垂体生长激素、肝脏生长激素受体 1、胰岛素样生长因子-1 的基因表达量<sup>[11]</sup>。孙姝娟等<sup>[39]</sup>注射亮氨酸 24 h 后,对虾 TOR 表达量是对照组的 3~4 倍,表明亮氨酸对 TOR 的表达具有调节作用。

### 4 亮氨酸对水产动物免疫功能的影响

亮氨酸缺乏显著降低水产动物肠道、肝脏、鳃等器官的免疫功能,主要通过降低非特异性免疫相关酶活性、抗炎因子的基因表达量、免疫器官结构的完整性产生不良影响。亮氨酸缺乏或过量显著降低草鱼前肠、中肠、后肠溶菌酶、酸性磷酸酶活性及补体 3(complement 3,C3)的含量,以溶菌酶活性为指标,进行二次多项式回归分析得到草鱼亮氨酸需求量为 1.29%;亮氨酸缺乏显著提高促炎因子白细胞介素-8(interleukin-8,IL-8)、肿瘤坏死因子- $\alpha$ (tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ )的基因表达量,降低抗炎因子白细胞介素-10(interleukin-10,IL-10)、转化生长因子- $\beta$ (transforming growth factor- $\beta$ , TGF- $\beta$ )的基因表达量<sup>[40]</sup>。此外,亮氨酸缺乏或过量显著提高团头鲂肝脏 TNF- $\alpha$ 的基因表达量<sup>[16]</sup>。亮氨酸预处理可显著降低脂多糖(lipopolysaccharide,LPS)诱导露斯塔野鲮(*Labeo rohita*)肝细胞的促炎因

子 IL-8、TNF- $\alpha$ 、白细胞介素-1 $\beta$ (interleukin-1 $\beta$ , IL-1 $\beta$ )的基因表达量,提高抗炎因子 IL-10 的基因表达量,降低 Toll 样受体 4(Toll like receptor 4,TLR4)信号通路的 TLR4、转录因子 p65、髓样分化因子 88、丝裂原活化蛋白激酶 p38 的基因及蛋白表达量<sup>[41]</sup>。上述研究表明,亮氨酸缺乏引发肠道炎症反应,影响肠道健康。亮氨酸缺乏显著降低卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)血清溶菌酶活性、全血血红蛋白含量及血细胞比容<sup>[20]</sup>。亮氨酸缺乏显著降低青鱼血清溶菌酶活性、C3 含量;亮氨酸缺乏或过量均会显著降低血液中天然抗性相关巨噬细胞蛋白、溶菌酶、C3、补体 9(complement 9,C9)、干扰素- $\alpha$ (interferon- $\alpha$ , IFN- $\alpha$ )、肝杀菌肽等基因的表达量,从而影响鱼类非特异性免疫功能<sup>[17]</sup>。鳃不仅是鱼类呼吸、调节渗透压、酸碱平衡、氨氮排放的器官,同时也是主要的淋巴组织,具有重要的免疫功能<sup>[42,43]</sup>。亮氨酸缺乏通过使细胞凋亡、紧密连接蛋白受损等方式破坏鳃结构的完整性,鳃结构完整性受损会降低免疫功能,甚至造成死亡<sup>[44]</sup>。注射或灌喂亮氨酸显著降低罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)海豚链球菌攻毒后的死亡率,主要作用途径是促进机体缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸的代谢及氨基酰-转移核糖核酸(tRNA)的生物合成<sup>[45]</sup>。

## 5 亮氨酸对水产动物抗氧化能力的影响

活性氧自由基(ROS)可能是引起水产动物机体氧化损伤的主要因素。机体非抗氧化酶系统和抗氧化酶系统是抑制氧化损伤的主要防御系统<sup>[46]</sup>。机体抗氧化酶系统主要受 Kelch 样环氧氯丙烷相关蛋白 $\alpha$ /核因子 E2 相关因子 2(Kelch-like epichlorohydrin-associated protein 1 $\alpha$ -nuclear factor E2-related factor 2,Keap1 $\alpha$ /Nrf2)信号通路调控<sup>[47]</sup>。亮氨酸缺乏或过量均会显著提高肠道、肌肉丙二醛(malondialdehyde,MDA)、蛋白羰基的含量,降低谷胱甘肽(glutathione,GSH)含量以及铜锌超氧化物歧化酶(copper/zinc superoxide dismutase,CuZnSOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase,GPx)的活性,其作用机理可能是亮氨酸缺乏或过量通过 Keap1 $\alpha$ /Nrf2 信号通路降低 CuZnSOD、GPx 的基因表达量,进而降低机体抗氧化能力<sup>[6,37]</sup>。亮氨酸缺乏或过量降低团头鲂血清总抗氧化能力(total antioxidant capacity,T-AOC)与 SOD、GPx、过氧化氢酶(catalase,CAT)的活性,提高 MDA 含量,降低核因子 E2 相关因子 2(nuclear factor-E2-related factor 2,Nrf2)、血红素氧化酶-1(heme oxygenase 1,HO-1)、GPx、谷胱甘肽转移酶(glutathione transferase,GST)、SOD 的基因表达量<sup>[15]</sup>。亮氨酸缺乏显著降低卵形鲳鲹血清 SOD 活性、T-AOC,提高 MDA 含量<sup>[20]</sup>。亮氨酸缺乏显著降低三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)血清 SOD 活性,提高 MDA 含量<sup>[27]</sup>。亮氨酸含量在 1.57%~2.07% 时,卵形鲳鲹血清中 T-AOC、SOD 活性显著升高,MDA 含量显著降低<sup>[48]</sup>。综上所述,适

量的亮氨酸可以通过 Keap1 $\alpha$ /Nrf2 信号通路提高水产动物机体抗氧化酶活性, 缓解机体氧化损伤。

## 6 亮氨酸对水产动物肠道发育的影响

肠道在水产动物消化吸收、抗氧化及免疫方面发挥重要作用, 且肠道消化吸收能力与肠道黏膜结构完整性具有相关性。因此, 肠道发育情况直接影响水产动物生长及健康。亮氨酸缺乏显著降低罗非鱼肠道表皮生长因子和肠道表皮生长因子受体的表达量, 降低肠 Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATP 酶以及胃蛋白酶、肠蛋白酶、肠脂肪酶、肠淀粉酶的活性;添加亮氨酸显著提高吉富罗非鱼肠道表皮生长因子(epidermal growth factor,EGF)、表皮生长因子受体(epidermal growth factor receptor,EGFR)的含量, EGF 与 EGFR 结合后促进肠道黏膜微绒毛的发育, 进而提高肠道消化酶的活性和肠道结构的完整性<sup>[24]</sup>。亮氨酸缺乏显著降低青鱼肠道 $\alpha$ -淀粉酶、胰蛋白酶、糜蛋白酶、弹性蛋白酶的活性<sup>[17]</sup>。此外, 亮氨酸作为支链氨基酸可以为谷氨酰胺合成提供碳源和氮源, 促进肠道谷氨酰胺的合成, 谷氨酰胺可以为肠道提供能量, 进而促进肠道发育<sup>[38]</sup>。亮氨酸缺乏降低肠道消化酶活性的主要原因可能是由于肠道发育受到抑制。亮氨酸缺乏显著降低卵形鲳鲹肠道微绒毛数量、长度, 提高隐窝深度<sup>[20]</sup>。亮氨酸缺乏或过量显著降低杂交石斑鱼褶皱高度、褶皱宽度、肠上皮细胞高度、微绒毛高度<sup>[11]</sup>。亮氨酸含量在 1.57%~2.07%时, 显著提高卵形鲳鲹肠淀粉酶、胃蛋白酶的活性<sup>[48]</sup>。亮氨酸促进肠道完整性主要是通过提高肠道紧密连接蛋白——闭合蛋白(claudin)b、claudin c、claudin 3、claudin 15、闭锁蛋白(occludin)、闭锁小带蛋白-1(zonula occluden-1,ZO-1)等基因的表达量, 进而促进肠道发育、提高消化酶活性<sup>[40]</sup>。

## 7 小结与展望

近年来, 研究人员开展了大量亮氨酸的相关研究, 确定了鱼类对亮氨酸的需求量为 1.29%~3.41%, 虾蟹类对亮氨酸的需求量为 1.70%~2.48%;分析了亮氨酸与缬氨酸、异亮氨酸氨基酸的相互作用的;探讨了亮氨酸对蛋白质代谢、免疫功能、抗氧化功能的影响。未来对于亮氨酸的研究, 应不局限于鱼类的小规格阶段, 需拓展至生长中后期;作为支链氨基酸, 其与其他氨基酸和营养物质的互作关系亦是值得深入的方向, 从而更全面地了解亮氨酸的功能以及营养作用机制, 为水产养殖业、动物健康保障和功能性物质的开发奠定基础。

参考文献:略

## 科学研究

# 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆幼鱼生长性能、体营养成分、消化及生理代谢指标的影响

张宇 高佳朋 韩和平 夏辉 李雪鹤 荆冰妍 吴彦 郭冉

河北农业大学海洋学院 河北省秦皇岛广播电视大学 河北省海洋生物资源与环境重点实验室

**摘要:** 试验旨在研究酶解肽部分替代鱼粉后加入胆汁酸对大菱鲆(12.15±0.03) g 生长性能及消化代谢的影响。试验设计了五组等氮等能饲料,鱼粉组为对照组 D<sub>0</sub>,试验组等比例替代鱼粉,分别为 7%肽组 D<sub>1</sub>、14%肽组 D<sub>2</sub>、7%肽加胆汁酸组 D<sub>3</sub>、14%肽加胆汁酸组 D<sub>4</sub>。每组三个重复,每重复 30 尾鱼,试验期 56 d。结果表明:各试验组增重率、饲料系数、成活率、肝体比与 D<sub>0</sub>组相比无显著差异(P>0.05)。D<sub>1</sub>、D<sub>3</sub>组背肌粗蛋白含量显著高于其他各组(P<0.05)。血浆中总胆固醇、甘油三酯、谷草转氨酶含量和肝脏中谷丙转氨酶含量对照组(D<sub>0</sub>)低于 D<sub>1</sub>组和 D<sub>2</sub>组且 D<sub>3</sub>组显著低于 D<sub>1</sub>组,D<sub>4</sub>组显著低于 D<sub>2</sub>组(P<0.05),血浆中各组总胆汁酸含量无显著差异(P>0.05);血浆中葡萄糖含量 D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>组显著低于其他各组。全鱼背肌粗脂肪和蛋白酶含量为 D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>组分别显著高于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>组(P<0.05);D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>组脂肪和干物质的表观消化率分别显著高于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>组(P<0.05)且对照组(D<sub>0</sub>)显著高于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>组(P<0.05);D<sub>4</sub>组粗蛋白表观消化率显著高于 D<sub>2</sub>组(P<0.05);肝脏中 D<sub>1</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>组脂肪酶活力与 D<sub>0</sub>组无显著性差异(P>0.05),但 D<sub>3</sub>组高于 D<sub>1</sub>组(P>0.05),D<sub>4</sub>组显著高于 D<sub>2</sub>组(P<0.05)。综上所述:酶解肽替代部分鱼粉后补充胆汁酸对大菱鲆生长性能、脂肪累积及消化代谢有一定的促进作用。

**关键词:** 酶解肽; 胆汁酸; 大菱鲆; 生长性能; 消化代谢;

Effects of enzymatic peptide substituting partial fish meal and supplementing bile acid on growth performance, body nutrients, digestion and physiological metabolism index of *Scophthalmus maximus* L.

Zhang Yu Gao Jiapeng Han Heping Xia Hui Li Xuehe Jing Bingyan Wu Yan Guo Ran

**Abstract:** The purpose of this experiment was to research the effects of adding bile acid after partial substitution of fish meal with enzymatic peptides on growth performance and digestive metabolism of turbot(*Scophthalmus maximus* L.) with initial body weight of(12.15±0.03) g.Five groups of isonitrogenous and isoenergetic diets were designed.Fish meal group was the control group D<sub>0</sub>.The experimental group was treated with enzymolysis peptide(7% and 14%) instead of fish meal as group D<sub>1</sub> and group D<sub>2</sub>,and bile acid(7% and 14%) was added on the basis of the group D<sub>1</sub> and group D<sub>2</sub> as group D<sub>3</sub> and group D<sub>4</sub>.Every treatment had 3 repetitions that had 30 turbot,the indoor feeding experiment lasted for 56 days.The results showed that there was no significant difference in weight gain rate,feed coefficient,survival rate and liver to body ratio compared

with group D<sub>0</sub>(P>0.05).The crude protein content of dorsal muscle in group D<sub>1</sub> and group D<sub>3</sub> was significantly higher than that in other groups(P<0.05).The contents of total cholesterol,triglyceride,aspartate aminotransferase in plasma and alanine aminotransferase in liver in group D<sub>0</sub> were lower than those in group D<sub>1</sub> and group D<sub>2</sub>,group D<sub>3</sub> was significantly lower than group D<sub>1</sub>,group D<sub>4</sub> was significantly lower than group D<sub>2</sub>(P<0.05),there was no significant difference in plasma total bile acid content among each group(P>0.05).The plasma glucose content in the group D<sub>3</sub> and group D<sub>4</sub> was significantly lower than the other groups.The contents of crude fat and protease in the dorsal muscle of whole fish were significantly higher in group D<sub>3</sub> and group D<sub>4</sub> than in group D<sub>1</sub> and group D<sub>2</sub>,respectively(P<0.05);the apparent digestibility of crude fat and dry matter in group D<sub>3</sub> and group D<sub>4</sub>were significantly higher than that in group D<sub>1</sub> and group D<sub>2</sub>,respectively(P<0.05),and group D<sub>0</sub> was significantly higher than group D<sub>1</sub>,group D<sub>2</sub>(P<0.05);The crude protein apparent digestibility in group D<sub>4</sub> was significantly higher than group D<sub>2</sub>(P<0.05);The liver lipase activity in group D<sub>1</sub>,D<sub>3</sub>,D<sub>4</sub> were no significantly difference compared with group D<sub>0</sub>(P>0.05),but the group D<sub>3</sub> was higher than the group D<sub>1</sub>(P>0.05),and the group D<sub>4</sub> was significantly higher than group D<sub>2</sub>(P<0.05).In conclusion,the fish meal was partially replaced by enzymatic peptides and the bile acids were supplemented can promote growth performance,fat accumulation,digestion and metabolism of turbot.

**Keyword:** enzymatic peptide; bile acid; turbot; growth performance; digestion and metabolism;

大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)自 1992 年引入我国后,养殖规模逐年扩大,近十年年平均产量可达 5.7 万吨,是我国北方主要的海水养殖鱼类之一<sup>[1]</sup>。大菱鲆是肉食性鱼类,以工厂化养殖模式为主,对配合饲料的蛋白质要求较高<sup>[2,3]</sup>,主要以鱼粉作为蛋白源<sup>[4]</sup>。我国面对饲料行业对于鱼粉需求的紧迫压力,寻找新的蛋白源替代鱼粉是养殖业和饲料企业的重大需求<sup>[5]</sup>。

羽毛粉水解肽一直存在着氨基酸不平衡,角蛋白和硬质蛋白不易吸收的问题,本试验所用酶解肽为利用生物酶技术将羽毛粉和血粉混合酶解后的功能性混合肽,具有氨基酸较平衡,吸收率高等优点。小肽作为蛋白质降解过程中的中间产物,具有吸收速度快,耗能低和其他营养物质吸收过程无竞争等优点,而且生产成本较低,蛋白质含量较高,可以作为鱼粉替代中的一种蛋白源<sup>[6]</sup>。姚清华等<sup>[7]</sup>研究表明羽毛粉类小肽产品较适合作为大黄鱼饲料蛋白源,其次依次为日本鳗鲡、凡纳滨对虾、杂色鲍的饲料蛋白源。施用晖等<sup>[8]</sup>研究表明,在产蛋鸡日粮中添加小肽制品后,其产蛋率和饲料转化率有明显的提高,鸡蛋壳的硬度也有提高的趋势。目前发现小肽制品只能低比例替代鱼粉,如何提高小肽制品在作为

新型蛋白源替代水产动物配合饲料中鱼粉是值得思考的问题，我们前期研究表明酶解肽制品替代大菱鲆配合饲料中鱼粉比例超过 8%时，会降低其生长性能，超过 16%时会严重影响大菱鲆的脂肪吸收代谢机能<sup>[9]</sup>，因此我们推测高比例替代鱼粉组大菱鲆体内的胆汁酸合成代谢可能受到影响。

胆汁酸是一种在肝脏中由胆固醇合成的两性甾醇类化合物<sup>[10,11]</sup>，是胆汁中的重要成分。胆汁酸能够促进脂质的消化代谢，在调节机体脂肪的消化代谢过程中起着不可或缺的作用<sup>[12]</sup>。因此，本试验以大菱鲆为研究对象，在不同比例酶解肽替代鱼粉条件下补充胆汁酸，研究其对大菱鲆生长性能、消化代谢和脂肪累积的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验原料与试验配方

酶解肽来自秦皇岛益尔生物科技有限公司，主要营养成分见表 1，胆汁酸(分析纯)购买自麦克林试剂有限公司。饲料所有原料经粉碎后过 60 目筛并按照配方中比例逐级混匀再加入大约 20%纯水搅拌均匀，用膨化饲料机(江门市江晟电机厂有限公司 Y80MT-2)制成直径大约 1.5 mm 的颗粒状饲料，自然晾干 12 h 后(饲料水分 2%)，将其放于-20℃冰箱中备用。试验配方和主要营养水平见表 2。

表 1 酶解肽主要营养水平(干物质基础，%)

项目	含量	项目	含量
粗蛋白(CP)	62.07	粗脂肪(EE)	2.92
必需氨基酸(EAA)		非必需氨基酸(NEAA)	
蛋氨酸(Met)	0.66	酪氨酸(Tyr)	2.06
色氨酸(Trp)	0.53	丝氨酸(Ser)	3.85
缬氨酸(Val)	3.69	谷氨酸(Glu)	8.50
异亮氨酸(Leu)	2.65	脯氨酸(Pro)	3.94
亮氨酸(Ile)	5.13	甘氨酸(Gly)	3.22
苏氨酸(Thr)	2.58	丙氨酸(Ala)	3.28
苯丙氨酸(Phe)	3.08	半胱氨酸(Cys)	1.45
组氨酸(His)	1.77	天冬氨酸(Asp)	5.73
赖氨酸(Lys)	3.97		
精氨酸(Arg)	3.99		

表 2 试验饲料组成和营养水平(干物质基础)

项目	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
原料组成(%)					
鱼粉	52	46	38	46	38
鱼油	3	3.7	4.5	3.7	4.5
酶解肽	0	7	14	7	14
面粉	14.39	12.69	12.89	12.64	12.84
胆汁酸	0	0	0	0.05	0.05
其他	30.61	30.61	30.61	30.61	30.61
合计	100	100	100	100	100
营养水平					
粗蛋白质(%)	50.26	50.21	50.91	50.24	50.64
粗脂肪(%)	12.33	12.24	12.59	12.02	12.15
粗灰分(%)	12.15	12.26	12.23	11.49	11.24
能量(MJ/kg)	19.98	19.83	19.67	19.82	19.66

注：1.预混料为每千克饲料提供：虾粉 70 000 mg、豆粕 170 000 mg、玉米油 30 000 mg、卵磷脂 10 000 mg、复合维生素 1%，复合矿物盐 0.5%、VC 磷酸脂 0.5%，三氧化二钼 0.01%，氯化胆碱 0.5%；2.1%复合维生素的组成：肌醇 222 mg、VC 111 mg、泛酸钙 83 mg、VB<sub>1</sub> 22 mg、VB<sub>2</sub> 56 mg、VB<sub>6</sub> 6 mg、VK 6 mg、叶酸 2 mg、VB<sub>12</sub> 0.03 mg、生物素 0.6 mg、醋酸 $\alpha$ -生育酚 44 mg、纤维素 9 447 mg；3.0.5%复合矿物盐的组成：乳酸钙 2 371 mg、NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 210 mg、NaCl 161.5 mg、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 819 mg、KCl 329 mg、柠檬酸钙 191.5 mg、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 53.5 mg、MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 221 mg、ZnSO<sub>4</sub> 23.5 mg、MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 1.65 mg、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 1.1 mg、CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 2.15 mg、KIO<sub>4</sub> 1.1 mg。

## 1.2 试验设计及饲养管理

全鱼粉组作为基础饲料 D<sub>0</sub>，其他四组分别为等比例替代鱼粉 7%D<sub>1</sub>、14%D<sub>2</sub>、7%加胆汁酸组 D<sub>3</sub>、14%加胆汁酸组 D<sub>4</sub>。胆汁酸添加量为 0.05%，以三氧化二钼作为指标物。试验用大菱鲆鱼来自营口文慧生物饲料有限公司，养殖试验在河北农业大学海洋学院水产经济动物增养殖重点实验室进行。养殖用水族箱(40 cm×50 cm×60 cm)为室内水族箱，先将大菱鲆鱼在水族箱内暂养两周，投喂商业饲料(蛋白≥50%，脂肪≥10%)。然后随机挑选大小均匀，体质健壮初始体质量为(12.15±0.03) g 的大菱鲆鱼 450 条，每组三个重复，每个重复为一个水族箱放 30 尾鱼。养殖用水为自然海水，盐度为(30±1)‰，经过紫外消毒、沉淀、砂滤的过程进入养殖系统，养殖系统为室内流水系统，整个养殖期间 24 h 供氧，每天 12 h 日光灯照射，每天早 8:00 和晚 8:00 饱食投喂两次，每天喂食 1 h 后吸出剩余残饵和粪便，用于计算饲料系数。每天换水量为整个系统的 1/3~1/2。试验过程中每天测定水温，记录天气及进食情况，每两周进行一次溶氧、pH 值、氨氮、亚硝酸盐的检测。试验周期为 8 周。养殖全程水温(17±1)°C，溶氧含量(8±0.3)mg/l，pH 值在 8.0~8.6，氨氮(0.49±0.12)mg/l。

## 1.3 样品采集

试验开始 4 周后开始收集粪便，每次投喂饲料 1 h 后先排出残饵然后再用吸管吸出新

鲜、饱满、成型的粪便，放入-80℃冰箱中用于消化率的检测。试验结束后，将大菱鲆空腹 24 h，拭干大菱鲆体表水分后称量每个水族箱中大菱鲆总重、并计数，用于计算大菱鲆生长指标中的存活率、增重率和特定生长率。每个水族箱随机选出 3 条鱼用 MS222 麻醉后用于体成分分析。另取 5 尾鱼麻醉后量其体长、体重，用于计算肥满度等指标，然后用 1 ml 一次性注射器(肝素钠润洗)从尾静脉抽血，放置 4℃冰箱冷藏室过夜后在 4℃、3 500 r/min 离心 10 min，取上清液用于血浆生化指标(葡萄糖、甘油三酯、总胆固醇、总胆汁酸)和理化指标的检测。摘取肝脏用生理盐水漂洗后用滤纸拭干水分后称重，经研磨后 4℃、2 500 r/min 离心 10 min 取上清液用于消化代谢指标的检测。最后刮取大菱鲆背部肌肉用于背肌蛋白、脂肪和灰分的检测。

## 1.4 指标测定方法

### 1.4.1 生长和体成分指标

鱼体和饲料常规成分分析参照 AOAC 法<sup>[13]</sup>。饲料及粪便中三氧化二钼的含量通过电感耦合等离子体质谱仪(美国 thermo 公司 iCAPQ)检出。

### 1.4.2 消化代谢酶指标

肝脏中脂肪酶(LPS)采用比浊法、胃蛋白酶(PPS)采用紫外分光光度法；肝脏和血浆中谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)采用赖氏法。血浆中葡萄糖(GLU)含量采用 DNS 比色法测定，总胆固醇(TCHO)含量采用氧化酶法测定，甘油三酯(TG)含量采用甘油氧化酶法测定，总胆汁酸(TBA)含量采用循环酶速率法，组织中蛋白质含量采用考马斯亮兰法测定。各种酶指标和组织中蛋白质含量检测均使用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定，血浆生化指标送秦皇岛海港医院检测。

## 1.5 数据分析

试验得出所有数据均使用 SPASS17.0 分析软件分析，采用单因素方差分析(one-way ANOVA)，结果表示为“平均值±标准差(Mean±SD.)”，若组间有显著性差异，再使用 Duncan's 法进行多重比较分析，显著性水平为 P<0.05。

## 2 试验结果

### 2.1 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆生长性能的影响(见表 3)

表 3 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆生长性能的影响

项目	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
饲料系数(FCR)	1.51±0.01	1.59±0.01	1.60±0.06	1.64±0.24	1.49±0.15
存活率(SR, %)	100±0.00	100±0.00	96.67±3.35	100±0.00	100±0.00
增重率(WGR, %)	92.31±1.29 <sup>ab</sup>	87.96±0.64 <sup>ab</sup>	83.04±0.57 <sup>a</sup>	96.00±7.94 <sup>b</sup>	88.93±7.76 <sup>ab</sup>
肝体比(HSI, %)	0.73±0.08	0.66±0.11	0.85±0.11	0.74±0.09	0.77±0.09
肥满度(CF, %)	11.74±0.26 <sup>c</sup>	12.86±1.18 <sup>ab</sup>	13.19±0.53 <sup>ab</sup>	13.07±1.36 <sup>ab</sup>	13.62±0.87 <sup>b</sup>

注：同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)；下表同。

由表 3 可知，各试验组增重率与对照组相比无显著性差异(P>0.05)。各组间饲料系数、成活率、肝体比无显著性差异(P>0.05)；各试验组肥满度均高于对照组，且 D<sub>4</sub> 显著高于对照组(P<0.05)。

## 2.2 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆组织成分的影响(见表 4)

表 4 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆体成分的影响(干物质基础, %)

项目	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
全鱼粗蛋白质(CP)	64.89±0.07	63.42±1.80	62.94±0.37	64.62±0.35	64.01±1.52
全鱼粗脂肪(CF)	10.54±0.10 <sup>b</sup>	10.40±0.21 <sup>b</sup>	9.64±0.19 <sup>a</sup>	11.23±0.08 <sup>c</sup>	11.16±0.30 <sup>c</sup>
全鱼灰分(Ash)	17.63±1.00 <sup>c</sup>	15.59±0.09 <sup>a</sup>	16.29±0.15 <sup>ab</sup>	16.88±0.4 <sup>bc</sup>	17.83±0.55 <sup>c</sup>
全鱼水分(Moisture)	75.77±4.5	73.67±4.01	75.44±1.19	75.15±3.44	76.13±1.11
背肌粗蛋白质(CP)	83.84±0.60 <sup>a</sup>	84.75±0.45 <sup>b</sup>	83.76±0.43 <sup>a</sup>	85.03±0.26 <sup>c</sup>	83.08±0.28 <sup>a</sup>
背肌粗脂肪(CF)	6.91±0.52 <sup>d</sup>	4.78±0.24 <sup>b</sup>	2.57±0.07 <sup>a</sup>	5.53±0.34 <sup>c</sup>	6.59±0.15 <sup>d</sup>
背肌灰分(Ash)	7.20±0.49	7.42±0.72	7.65±1.21	6.64±0.44	8.17±0.80
背肌水分(Moisture)	78.90±0.79	77.70±2.28	78.52±0.37	78.19±0.25	78.53±0.26
肝脏粗脂肪(CF)	18.12±0.38 <sup>a</sup>	22.97±0.51 <sup>c</sup>	26.51±0.36 <sup>d</sup>	20.36±0.02 <sup>b</sup>	20.47±0.30 <sup>b</sup>

由表 4 可知，各组全鱼粗蛋白、水分和背肌灰分无显著差异(P>0.05)，D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub> 组全鱼粗脂肪含量显著高于 D<sub>0</sub>、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 组(P<0.05)；D<sub>1</sub>、D<sub>3</sub> 组背肌粗蛋白含量显著高于其他组(P<0.05)，D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub> 组背肌粗脂肪含量分别显著高于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 组(P<0.05)；D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub> 组肝脏粗脂肪含量分别显著低于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 组。

## 2.3 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆表观消化率的影响(见表 5)

表 5 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆粗蛋白、粗脂肪和干物质表观消化率的影响(%)

项目	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
粗蛋白质表观消化率(ADCP)	82.96±0.48 <sup>c</sup>	82.41±0.38 <sup>c</sup>	76.55±0.40 <sup>a</sup>	83.13±0.28 <sup>c</sup>	80.14±0.67 <sup>b</sup>
粗脂肪表观消化率(ADCF)	97.40±0.75 <sup>d</sup>	84.13±1.73 <sup>b</sup>	72.63±0.75 <sup>a</sup>	90.60±2.70 <sup>c</sup>	86.21±1.78 <sup>b</sup>
干物质表观消化率(ADCD)	59.75±0.12 <sup>d</sup>	57.73±0.26 <sup>c</sup>	52.36±0.16 <sup>a</sup>	60.02±0.01 <sup>d</sup>	53.58±0.16 <sup>b</sup>

由表 5 可知，D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub> 组蛋白质、脂肪和干物质的表观消化率分别显著高于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 组(P<0.05)且对照组显著高于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 组(P<0.05)；D<sub>4</sub> 组粗蛋白表观消化率显著高于 D<sub>2</sub> 组(P<0.05)。

## 2.4 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆血浆中 GLU、TCHO、TG 和 TBA 的影响(见表 6)

由表 6 可知, D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>组 GLU、TCHO、TG 含量分别显著低于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>组(P<0.05), 各组 TBA 含量无显著性差异(P>0.05)。

### 2.5 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆肝脏脂肪酶和胃蛋白酶的影响(见表 7)

由表 7 可知, 肝脏中 D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub>组脂肪酶活性与 D<sub>0</sub>组无显著性差异(P>0.05), 但 D<sub>3</sub>组高于 D<sub>1</sub>组(P>0.05), D<sub>4</sub>组显著高于 D<sub>2</sub>组(P<0.05), 胃蛋白酶活性 D<sub>3</sub>组显著高于 D<sub>1</sub>组, 且 D<sub>4</sub>组显著高于 D<sub>2</sub>组(P<0.05)。

### 2.6 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆肝脏 GOT、GPT 的影响(见表 8)

由表 8 可知, 血浆中 GOT 和肝脏中 GPT 含量 D<sub>3</sub>组显著低于 D<sub>1</sub>组, D<sub>4</sub>组显著低于 D<sub>2</sub>组(P<0.05), 对照组显著低于 D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>组(P<0.05); 血浆中 GPT 含量 D<sub>3</sub>组低于 D<sub>1</sub>组, D<sub>4</sub>组低于 D<sub>2</sub>组, 但差异不显著(P>0.05); 肝脏中 GOT 含量 D<sub>3</sub>组低于 D<sub>1</sub>组, D<sub>4</sub>组显著低于 D<sub>2</sub>组(P<0.05)。

表 6 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆血浆 GLU、TCHO、TG 和 TBA 的影响

项目	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
葡萄糖(GLU, mmol/l)	2.49±0.02 <sup>c</sup>	2.23±0.01 <sup>b</sup>	2.75±0.05 <sup>d</sup>	1.82±0.01 <sup>a</sup>	1.86±0.05 <sup>a</sup>
总胆固醇(TCHO, mmol/l)	1.82±0.02 <sup>c</sup>	2.16±0.06 <sup>e</sup>	2.40±0.04 <sup>d</sup>	0.98±0.01 <sup>a</sup>	1.12±0.01 <sup>b</sup>
甘油三酯(TG, mmol/l)	0.70±0.01 <sup>c</sup>	1.12±0.02 <sup>e</sup>	1.25±0.01 <sup>d</sup>	0.43±0.02 <sup>a</sup>	0.66±0.02 <sup>b</sup>
总胆汁酸(TBA, μmol/l)	1.11±0.12	1.24±0.12	1.11±0.11	1.21±0.05	1.31±0.17

表 7 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆肝脏脂肪酶和胃蛋白酶指标的影响

项目	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
脂肪酶(LPS, U/g prot.)	18.76±2.90 <sup>b</sup>	15.88±2.49 <sup>ab</sup>	11.92±2.68 <sup>a</sup>	16.54±0.06 <sup>b</sup>	20.08±3.49 <sup>b</sup>
胃蛋白酶(PPS, U/mg prot.)	0.92±0.17 <sup>c</sup>	0.91±0.09 <sup>c</sup>	0.38±0.00 <sup>a</sup>	1.21±0.00 <sup>d</sup>	0.63±0.18 <sup>b</sup>

表 8 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆肝脏 GOT、GPT 指标的影响

项目	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
血浆谷草转氨酶(GOT, U/l)	35.50±4.40 <sup>c</sup>	79.10±1.83 <sup>b</sup>	107.44±18.30 <sup>a</sup>	16.72±0.86 <sup>d</sup>	26.00±2.81 <sup>cd</sup>
血浆谷丙转氨酶(GPT, U/l)	22.78±5.38 <sup>b</sup>	38.10±17.01 <sup>ab</sup>	41.53±8.91 <sup>a</sup>	29.69±3.71 <sup>ab</sup>	31.52±1.15 <sup>ab</sup>
肝脏谷草转氨酶(GOT, U/l)	13.13±2.57 <sup>b</sup>	17.64±0.14 <sup>b</sup>	28.79±5.11 <sup>a</sup>	16.59±2.81 <sup>b</sup>	16.53±1.86 <sup>b</sup>
肝脏谷丙转氨酶(GPT, U/l)	54.80±1.17 <sup>d</sup>	116.57±7.73 <sup>b</sup>	148.31±6.24 <sup>a</sup>	84.27±10.18 <sup>c</sup>	86.29±2.79 <sup>c</sup>

## 3 讨论

### 3.1 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆生长、组织成分以及粗蛋白、粗脂肪和干物质表观消化率的影响

在饲料中添加适量酶解肽对异育银鲫生长和鱼体成分无显著影响<sup>[14]</sup>, 还能降低其饲料

成本。酶解肽在凡纳滨对虾饲料中替代鱼粉比例过高时，会显著降低全虾粗脂肪含量<sup>[15]</sup>。孙建珍等<sup>[16]</sup>发现大菱鲆饲料中添加胆汁酸能够提高其增重率，促进其对脂肪的消化吸收，显著提高脂肪酶的活力。谭永刚等<sup>[17]</sup>、张玲等<sup>[18]</sup>、胡田恩等<sup>[19]</sup>在异育银鲫、鲤鱼、牛蛙上的研究均表明在饲料中添加胆汁酸能够提高机体的生长性能、增重率和饲料利用率。以上研究结果与本试验结果一致。由肝脏粗脂肪含量、脂肪酶活性和粗脂肪的表观消化率结果推测酶解肽替代鱼粉比例过高时会导致肝脏脂肪增加而影响鱼体内胆汁酸的合成，进而影响鱼体对脂肪的吸收利用，最后导致背肌脂肪沉积率显著降低。添加胆汁酸两组全鱼、背肌粗脂肪含量显著高于试验组中未添加胆汁酸组，且肝脏脂肪低于未添加组( $P<0.05$ )。加入胆汁酸后提高了饲料脂肪利用率和饲料蛋白质沉积率，增加了鱼体背肌蛋白和脂肪累积。有研究显示适量小肽添加到星斑川鲈幼鱼日粮中能够提高对蛋白质的吸收利用，蛋白质分解后的小肽可以直接被机体吸收利用，能够增加蛋白吸收速度，所以小肽在蛋白质代谢过程中有着不可或缺的作用<sup>[20,21,22]</sup>，也验证了本试验中低比例酶解肽替代鱼粉组背肌粗蛋白高于其他组的结果。但是鱼粉替代量过高时又会影响其生长的原因可能是酶解肽的替代量过高其本身存在的一些角蛋白不易吸收问题更加明显，正好跟本试验粗蛋白表观消化率结果相一致。

### 3.2 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆血浆 GLU、TCHO、TG 和 TBA 和肝脏胃蛋白酶、脂肪酶的影响

本试验结果显示添加酶解肽和胆汁酸组显著降低了血浆中 GLU、TCHO、TG 含量，且高比例肽加胆汁酸组肝脏中脂肪酶活性显著高于高比例肽未添加胆汁酸组。单添加酶解肽组 TCHO、TG 含量高于对照组，可能由于酶解肽的替代导致大菱鲆鱼摄入的脂肪用于能量的消耗，脂肪分解后使血浆中 TCHO、TG 含量升高，而鱼体肌肉脂肪累积下降，而加入胆汁酸组显著降低了血浆中 TCHO、TG 含量，促进了脂肪在肌肉中的累积。由于鱼体可能将脂肪分解为脂肪酸用于肌肉的氧化供能从而减少了 GLU 的利用，使血浆中 GLU 的含量有所积累。有研究发现<sup>[23]</sup>，饲料中添加胆汁酸能够促进脂肪的乳化，活化脂肪酶，增强脂肪酶的活性。相同替代水平下添加酶解肽加胆汁酸组胃蛋白酶活性显著高于单添加酶解肽组，与试验结果粗蛋白表观消化率相一致，说明酶解肽替代鱼粉后加入胆汁酸有利于大菱鲆对蛋白质的消化吸收。

### 3.3 酶解肽替代部分鱼粉及补充胆汁酸对大菱鲆肝脏 GOT、GPT 的影响

GOT、GPT 为肝损伤程度的重要指标，GOT、GPT 含量的不正常升高为肝损伤和肝炎

发生的标志。张国安等<sup>[24]</sup>、黄炳山等<sup>[25]</sup>等研究表明,大菱鲆饲料中添加胆汁酸组血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶含量显著低于未添加胆汁酸组,与本试验结果相类似。说明酶解肽替代部分鱼粉后加入胆汁酸能有效降低血浆中 GOT、GPT 含量,起到保护肝脏的作用。

#### 4 结论

在本试验条件下,酶解肽替代部分鱼粉后加入胆汁酸对大菱鲆生长性能、脂肪累积及消化代谢有一定的促进作用,因此酶解肽高比例替代鱼粉蛋白饲料加入胆汁酸效果较好。

参考文献:略

原文刊登在《饲料工业》2020,41(18),59-64 DOI:10.13302/j.cnki.fi.2020.18.011

## 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹滋味品质的影响

从娇娇 韩昕苑 于立志 王红丽 吴旭干 王锡昌

上海海洋大学食品学院 国家淡水水产品加工技术研发分中心 上海海洋大学农业农村部淡水种质资源重点实验室

**摘要:**为研究饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹滋味品质的影响,采用植物油(W(豆油):W(菜籽油)=3:1)替代不同水平鱼油(0%、50%和100%)的3种等氮等脂饲料(F1、F2和F3,F1为对照组)喂养体质量(95±10)g的成体雌蟹70d后,分析3组蟹可食部位的基本营养成分、游离氨基酸和呈味核苷酸的含量,并利用电子舌结合感官评价分析其整体滋味差异。结果显示,3组蟹的体肉、性腺和肝胰腺的粗脂肪含量无显著差异( $P > 0.05$ ),而F2组肝胰腺的粗蛋白含量显著高于其他两组( $P < 0.05$ ),F3组体肉的粗蛋白含量显著低于其他两组( $P < 0.05$ )。与F1组相比,F2组可食部位的鲜味、甜味感官强度值以及呈味核苷酸总量,味精当量均最高,而F3组较低。F2组性腺和肝胰腺中呈鲜味、甜味氨基酸含量也均较高。由此可得,使用50%植物油替代鱼油饲料喂养雌性中华绒螯蟹可提高其营养品质,增强其滋味品质,这可为养殖中华绒螯蟹的滋味品质的改善和育肥饲料中鱼油替代源的开发等提供一定的参考依据。

**关键词:**中华绒螯蟹;感官评价;电子舌;游离氨基酸;核苷酸;滋味;

Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on the taste quality of

Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

CONG Jiaojiao HAN Xinyuan YU Lizhi WANG Hongli WU Xugan WANG Xichang

College of Food Science & Technology, Shanghai Ocean University National R&D Branch Center for Freshwater Aquatic Products Processing Technology (Shanghai) Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University

**Abstract:** In order to study the effect of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on the taste

quality of Chinese mitten crab, vegetable oil (W(soybean oil): W(rapeseed oil)=3:1) was used to replace different levels of fish oil (0%, 50% and 100%) to make three kinds of feeds with equal nitrogen and fat (F1, F2 and F3, F1 as control) to feed adult female crabs (mass  $95 \pm 10$  g) for 70 days. In this study, the proximate composition, the content of free amino acid and taste nucleotide of the edible parts of the three groups of crabs, and the overall taste difference by using electronic tongue were analyzed in combination with sensory evaluation. The results showed that the crude lipid content of meat, gonads and hepatopancreas of three groups of crabs had no significant difference ( $P > 0.05$ ). The crude protein content of hepatopancreas of F2 was significantly higher than that of F1 and F3 ( $P < 0.05$ ), while the crude protein content of meat of F3 was significantly lower than that of F1 and F3 ( $P < 0.05$ ). Compared with F1, the umami and sweet sensory intensity value as well as the total amount of taste nucleotides and equivalent umami concentration in the edible part of F2 were increased, whereas those of F3 were decreased. Moreover, the content of umami and sweet amino acids of gonads and hepatopancreas of F2 were also increased. The above results showed that replacement of fish oil by 50% vegetable oil in feed not only improved the nutritional quality of Chinese mitten crab, but also enhanced its taste quality, which provided a reference for the improvement of the taste quality of cultured Chinese mitten crabs and the development of fish oil substitute sources in fattening feed.

**Keyword :** Chinese mitten crab; sensory evaluation; electronic tongue; free amino acid; nucleotide; taste;

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*), 俗称大闸蟹、河蟹, 是我国重要的经济养殖蟹类之一。2018年我国中华绒螯蟹的养殖产量高达 75.68 万 t<sup>[1]</sup>。因其营养价值高、风味独特备受消费者的青睐<sup>[2]</sup>。为促进中华绒螯蟹性腺发育, 使其风味更加鲜美, 通常在上市前育肥 1 个月左右<sup>[3]</sup>。目前在中华绒螯蟹的育肥过程中, 越来越广泛的使用配合饲料<sup>[3]</sup>。有研究表明, 中华绒螯蟹独特的风味和较高的营养价值与其含有较多的多不饱和脂肪酸有很大关系<sup>[4]</sup>。鱼油富含 n-3 多不饱和脂肪酸, 因此往往在中华绒螯蟹育肥饲料中添加一定含量的鱼油<sup>[5,6]</sup>。但是由于目前鱼油的资源不稳定, 市场供不应求导致其价格不断上涨, 使得越来越多的养殖者开始采用植物油替代鱼油。植物油来源广泛, 供应稳定, 并且价格低廉。不同的植物油的脂肪酸组成也不同, 因此不同的植物油混合使用能起到脂肪酸互补和平衡的作用, 有

利于提高育肥效果<sup>[7,8]</sup>。

先前的研究<sup>[9]</sup>表明，使用一定比例植物油替代鱼油的饲料对中华绒螯蟹的生长性能没有负面影响。赵磊等<sup>[10]</sup>发现饲料中植物油替代不同水平鱼油对雄性河蟹可食部分中水分和粗蛋白含量无显著影响，同时使用 50%植物油替代鱼油有利于雄蟹可食部分的脂肪沉积。REGOST 等<sup>[11]</sup>发现植物油替代鱼油对大菱鲆的生长性能没有显著影响，但用大豆油替代鱼油的饲料来饲喂大菱鲆会产生明显的马铃薯气味。易新文等<sup>[12]</sup>发现饲料中菜籽油替代鱼油对大黄鱼生长性能和基本营养成分无显著影响，却显著影响了大黄鱼的肌肉脂肪酸组成和体色。据庄柯瑾等<sup>[13,14]</sup>报道饲料中添加不同水平花生四烯酸或饲料中不同 DHA/EPA 比例对河蟹的性腺和肝胰腺整体气味轮廓及香气物质有一定影响。然而近年来国内外的相关研究多集中在饲料中植物油替代鱼油对水产动物的生长性能、脂肪酸组成及气味的影响，关于其对滋味品质的影响却鲜有报道。水产养殖饲料中最常用的为豆油和菜籽油，两者的维生素和脂肪酸组成具有一定互补性，因此混合使用更有利于蟹的生长发育<sup>[15,16]</sup>。本研究使用混合植物油(豆油:菜籽油=3:1)替代鱼油研究饲料中植物油部分或全部替代鱼油对中华绒螯蟹营养和滋味品质的影响，以期为养殖中华绒螯蟹的滋味品质改善和育肥饲料中鱼油替代源的开发等提供一定的理论依据和实践参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料及蟹的养殖

根据本课题组前期实验已确定雌蟹饲料中混合植物油(豆油:菜籽油=1:1)替代鱼油的适合水平为 50%，且基于 50%植物油替代鱼油的水平下豆油与菜籽油的适宜比例为 3:1。因此本实验中，配制全鱼油饲料、50%植物油替代鱼油饲料(豆油:菜籽油=3:1)和全植物油饲料(豆油:菜籽油=3:1)3 种等氮等脂育肥饲料，分别记为 F1、F2 和 F3(F1 作为对照组)，具体饲料配方见表 1。所有饲料粉料过 60 目筛后根据饲料配方将原料充分混合，按比例加入鱼油和植物油并混匀，然后加 30%蒸馏水混合，最后用饲料膨化机制成沉性膨化饲料，粒径 4.5~5.0 mm，长度 10 mm 左右，风干后用装入密封袋，于-20℃冰箱中保存备用。

实验用成蟹采自崇明养殖池塘，均为生殖蜕壳后的雌蟹，体质量(95 ± 10)g，挑选 270 只附肢健全、体无外伤、活力良好的个体用于育肥养殖实验。养殖实验在上海海洋大学崇明基地的室内循环水系统中进行，养殖水槽为 PE(polyethylene)圆桶(直径×高=108 cm×120 cm)。养殖期间水质指标要求为 pH 7.0~9.0，平均溶氧 > 4 mg/L，氨氮 < 0.5 mg/L，亚硝酸盐 < 0.15

mg/L。养殖实验从 2018 年 9 月初至 11 月中旬，养殖期 70 d。

## 1.2 实验样品

本实验所用中华绒螯蟹采于 2018 年 11 月 21 日并立即运回实验室。用洁净的自来水对所有蟹进行清洗，分别从 3 组饲料投喂的蟹中随机选取 5 只蟹用于感官评价，每组 20 只蟹称重后立即活体解剖，分别取出体肉(仅指腹肉，不包括足肉和钳肉)、性腺和肝胰腺，将每组 4 只蟹相同部位样品混合后均匀分装至小密封袋，均冻藏于-80℃冰箱用于后续实验分析。

## 1.3 主要仪器设备

鼓风干燥箱(上海慧泰, DHG-9140A); 全自动凯氏定氮仪(丹麦 FOSS, Kjelttec 8400); 消化炉(丹麦 FOSS, DT208); 索氏抽提仪(丹麦 FOSS, Soxtec); 数显加热板(德国 IKA, C-MAG HP7); 马弗炉(上海精宏, SXL-1002); 电子舌(法国 Alpha MOS, ASTREE); 氨基酸全自动分析仪(日本 Hitachi, L-8800); 高效液相色谱仪(美国 Waters, W2690/5)。

表 1 实验饲料配方%

Tab. 1 Feed formula of experiment %

配料 Ingredients	F1	F2	F3
豆粕 Soybean meal-46%	24.35	24.35	24.35
菜粕 Rapeseed meal-36%	15.00	15.00	15.00
鱼粉 Fish meal	20.00	20.00	20.00
虾膏 Shrimp meal	6.00	6.00	6.00
啤酒酵母粉 Brewer's yeast	6.00	6.00	6.00
面粉 Wheat flour	16.00	16.00	16.00
多矿预混料 Mineral premix	0.25	0.25	0.25
多维预混料 Vitamin premix	0.20	0.20	0.20
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.20	1.20	1.20
氯化胆碱 Choline chloride(60%)	0.40	0.40	0.40
甜菜碱 Betaine	0.15	0.15	0.15
牛磺酸 Taurine	0.30	0.30	0.30
35%维生素 C 酯 Vitamin C ester	0.10	0.10	0.10
维生素 E Vitamin E(50%)	0.05	0.05	0.05
磷脂油 Lecithin	2.00	2.00	2.00

精炼鱼油 Fish oil	8.00	4.00	0.00
豆油 Soybean oil	0.00	3.00	6.00
菜籽油 Rapeseed oil	0.00	1.00	2.00
组成成分 Composition			
水分 Moisture	11.42 ± 0.33	10.66 ± 0.12	11.43 ± 0.05
粗蛋白 Crude protein	39.51 ± 0.19	39.31 ± 0.13	39.66 ± 0.20
粗脂肪 Crude lipid	8.27 ± 0.08	8.29 ± 0.02	8.27 ± 0.04
灰分 Ash	12.05 ± 0.27	12.47 ± 0.25	12.08 ± 0.60

## 1.4 实验方法

### 1.4.1 基本成分测定

水分参照 GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》的直接干燥法测定；灰分参照 GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》的方法测定；粗蛋白参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》的凯氏定氮法测定；粗脂肪参照 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》的石油醚索氏提取法测定。

### 1.4.2 感官评价

根据付娜等<sup>[17]</sup>研究结果，选取河蟹最佳加热方式(热水蒸制 20 min)。挑选经过培训合格的感官评定人员 10 名(5 男 5 女)，对中华绒螯蟹可食部位的鲜味、甜味、苦味及咸味 4 个滋味指标进行感官强度打分。根据 GB 12313—1990《感官分析方法风味剖面检验》分 5 个强度点打分，0 = 不存在；1 = 刚好可识别阈；2 = 弱；3 = 中等；4 = 强；5 = 很强。

### 1.4.3 电子舌分析

参考周纷等<sup>[18]</sup>方法，分别称取河蟹的体肉、性腺和肝胰腺各 2.00 g(精确到 0.0001 g)，均质过程中加入 25 mL 超纯水，超声 5 min 并静置 30 min 后离心(12000 r/min, 15 min, 4°C)，过滤后取沉淀重复以上步骤，合并两次滤液后定容至 100 mL，取 5 mL 至电子舌专用进样杯中，并用超纯水定容至 80 mL，在室温条件下进行测定。每个样品数据采集时间为 120 s，1 s 采集一个数据，选取各根传感器上第 120 s 的响应值作为电子舌的原始数据。

### 1.4.4 游离氨基酸测定

参考付娜等<sup>[17]</sup>方法，称取河蟹的体肉、性腺和肝胰腺各 0.50 g(精确到 0.0001 g)，加入 5%的三氯乙酸溶液 15 mL，高速匀浆后超声 15 min，4°C 冰箱静置 2 h 后冷冻离心(10000 r/min, 10 min, 4°C)，取上清液 5 mL，调 pH 至 2.0 后定容至 10 mL，摇匀后用 0.22 μm 水

相滤膜过滤打入进样瓶后用氨基酸全自动分析仪进行测定分析。

#### 1.4.5 呈味核苷酸测定

参考 CHEN 等<sup>[19]</sup>方法并稍作修改, 分别称取河蟹的体肉、肝胰腺和性腺各 5.00 g(精确到 0.0001 g), 加入 10%的高氯酸溶液 10 mL 高速匀浆, 超声 5 min 后离心(10000 r/min, 15 min, 4°C), 取上清液, 沉淀用 5 mL 5%的高氯酸溶液洗涤, 再次离心取上清液, 重复操作两次合并上清液, 调 pH 至 5.8, 静置 30 min 后取上清液定容至 50 mL, 摇匀后用 0.22 μm 水相滤膜过滤打入进样瓶后上机测定。整个过程保持在 0-4°C 条件下操作。

HPLC 条件: GL Inertsil ODS-3 色谱柱: 250 mm × 4.6 mm, 5 μm, 柱温 30°C; 流速 1 mL/min; 进样量 10 μL; 紫外检测器检测波长: 254 nm。流动相 A 为甲醇, B 为 0.02 mol/L 磷酸二氢钾和磷酸氢二钾溶液, 并用磷酸调节 pH 至 5.8。

#### 1.4.6 味道强度值(TAV)及味精当量(EUC)

滋味物质的味道强度值(taste activity value, TAV)<sup>[20]</sup>的计算公式如下:

$$T_{AV} = C/T \quad (1)$$

式中:  $T_{AV}$  为味道强度值;  $C$  为滋味物质的绝对浓度值, mg/100 g;  $T$  为滋味物质的阈值, mg/100 g。通常  $TAV > 1$  时, 该物质对样品呈味有重要影响, 并且数值越大, 贡献越大。

味精当量(equivalent umami concentration, EUC)表示鲜味氨基酸与呈味核苷酸混合物协同作用所产生的鲜味强度相当于多少浓度的单一味精(MSG)所产生的鲜味强度<sup>[19]</sup>, 计算公式如下:

$$Euc = \sum a_i b_i + 1218(\sum a_i b_i)(\sum a_j b_j) \quad (2)$$

式中:  $Euc$  为味精当量(g MSG/100 g);  $a_i$  为鲜味氨基酸(Asp、Glu)的含量(g/100 g);  $b_i$  为鲜味氨基酸相对于 MSG 的相对鲜度系数(Glu 为 1.0, Asp 为 0.077);  $a_j$  为呈味核苷酸(GMP、IMP、AMP)的含量(g/100 g);  $b_j$  为呈味核苷酸相对于 IMP 的相对鲜度系数(IMP 为 1.0, GMP 为 2.3, AMP 为 0.18); 1218 为协同作用系数。

### 1.5 数据处理

本实验所有数据使用 SPSS20.0 软件进行统计分析, 结果均以平均值±标准偏差(Mean ± SD, n=3)表示, 采用 ANOVA 分析, 数据进行正态分布检验, 符合正态分布的多重比较采用 Duncan's 法, 不符合正态分布的用 Kruskal-Wallis 检验, 差异显著性为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本营养成分分析

表 2 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹基本营养成分组成的影响 (%湿重)  
 Tab. 2 Effect of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on proximate composition of *Eriocheir sinensis* (% wet weight)

成分 Composition	体肉 Meat			性腺 Gonads			肝胰腺 Hepatopancreas		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
水分 Moisture	80.35 ± 0.33 <sup>a</sup>	79.78 ± 0.42 <sup>a</sup>	82.21 ± 0.06 <sup>b</sup>	52.28 ± 0.61	52.33 ± 0.59	51.83 ± 0.43	68.58 ± 1.46 <sup>b</sup>	65.39 ± 3.17 <sup>ab</sup>	62.90 ± 1.82 <sup>a</sup>
粗蛋白 Crude protein	16.70 ± 0.34 <sup>b</sup>	16.46 ± 0.36 <sup>b</sup>	13.70 ± 0.61 <sup>a</sup>	30.00 ± 0.75	30.03 ± 0.17	30.67 ± 0.31	10.54 ± 0.31 <sup>a</sup>	13.19 ± 0.19 <sup>b</sup>	10.02 ± 0.49 <sup>a</sup>
粗脂肪 Crude lipid	1.81 ± 0.22	1.83 ± 0.26	1.95 ± 0.05	14.77 ± 0.35	14.74 ± 0.77	15.19 ± 0.84	20.82 ± 1.57	21.38 ± 2.29	22.69 ± 0.70
灰分 Ash	1.17 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.09 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.86 ± 0.10	1.82 ± 0.09	1.92 ± 0.08	1.14 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.64 ± 0.20 <sup>b</sup>	1.79 ± 0.19 <sup>b</sup>

注：对于同一可食部位，同行不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05)

Notes: For the same edible part, different lowercase letters in the same row indicate significant difference (P < 0.05)

表 2 感官评价分析

表 2 显示，中华绒螯蟹体肉中水分含量最高，其次为粗蛋白含量，粗脂肪含量很低。F3 组中华绒螯蟹体肉的粗蛋白含量显著低于 F1 和 F2 组(P < 0.05)，与此同时水分含量显著高于 F1 和 F2 组(P < 0.05)。

3 组中华绒螯蟹性腺的基本营养成分含量无显著性差异(P > 0.05)。中华绒螯蟹肝胰腺以水分和脂肪为主，两者占总基本营养成分的 90.00%左右，从表 2 中可以看出肝胰腺中的水分含量随植物油替代鱼油水平的上升呈下降趋势，灰分则呈现上升的趋势。F2 组肝胰腺的粗蛋白含量显著高于其他两组(P < 0.05)。

## 2.2 感官评价分析

图 1 显示中华绒螯蟹相同部位的感官评分相似，不同部位的主要滋味指标评分之间有很大差异。体肉中的鲜味强度值最高为 3.9，其次为甜味 3.1，这两种滋味指标的评分值明显高于其他指标。图 1b 显示对中华绒螯蟹性腺滋味贡献最大的为鲜味，且 3 组感官评分存在差异，G-F2 的鲜味强度值为 4.4，明显高于其他两组。图 1c 显示：使用全植物油饲料喂养中华绒螯蟹增加了肝胰腺的苦味强度，同时降低了甜味强度，而 50%植物油替代鱼油组的肝胰腺的鲜味和甜味强度值最高，同时苦味强度值并没有增加。

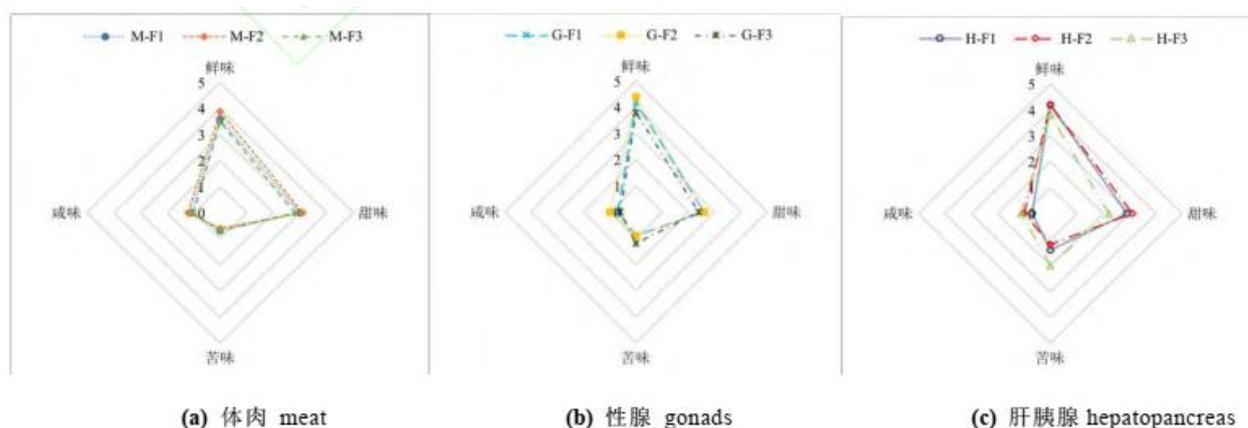


图 1 不同植物油替代鱼油水平下中华绒螯蟹的滋味感官评价雷达图  
 Fig. 1 The taste radar graphs analyzed by sensory evaluation for edible tissues of *Eriocheir sinensis* with different dietary replacement of fish oil by vegetable oil

### 2.3 电子舌分析

中华绒螯蟹体肉、性腺和肝胰腺的滋味轮廓 PCA 图的第一主成分(PC1)与第二主成分(PC2)的贡献率之和分别为 98.932%、98.572%和 98.218%，均高于 98.000%，其值越大表明样本整体差异性信息遗失的越少<sup>[21,22]</sup>。中华绒螯蟹体肉、性腺及肝胰腺的判别指数 (discrimination index, DI)分别为-5、91 和 94，判别指数体现了不同类别样品滋味轮廓的区分度，DI 在 50-100 区间内表示区分有效，并且数值越大表明区分越明显<sup>[21]</sup>，由此可以看出不同植物油替代鱼油水平的饲料对肝胰腺整体滋味轮廓的影响最大，对体肉的影响最小。另外，M-F1 和 M-F2 的滋味轮廓有所重叠，说明其滋味成分中具有相似之处，且判别指数为-5，表明存在不能有效区分的样品组<sup>[18]</sup>。从性腺滋味轮廓的 PCA 图可以看出，3 组性腺的数据采集点均能被电子舌较好区分开来。PC1 轴和 PC2 轴将三组性腺的整体滋味轮廓分为 3 部分，G-F1 与 G-F2 的差异主要在第二主成分轴上，G-F3 与 G-F1 的差异在第一主成分轴上，而第一主成分的贡献率要远大于第二主成分的贡献率，因此 G-F3 与 G-F1 的差异显著大于 G-F2 与 G-F1 的差异。3 组中华绒螯蟹肝胰腺的滋味轮廓 PCA 图显示出与性腺相似规律。

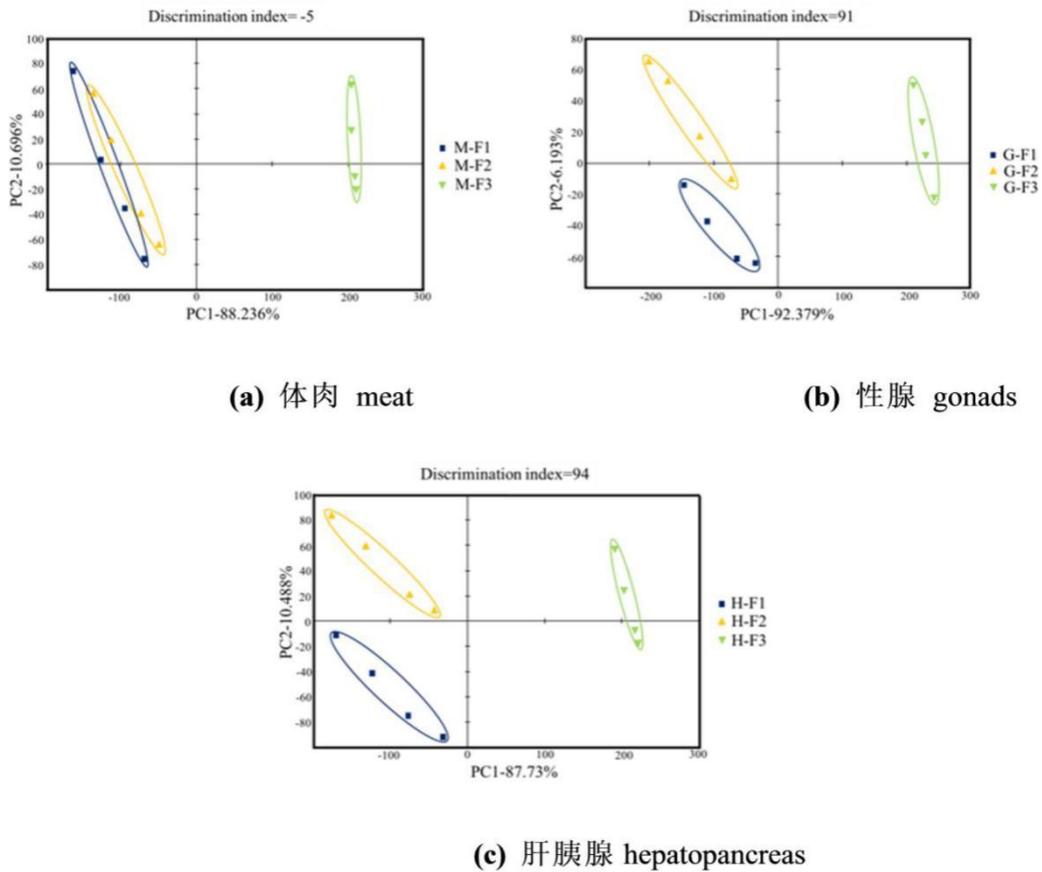


图 2 不同植物油替代鱼油水平下中华绒螯蟹的滋味轮廓主成分分析图

Fig. 2 Principal component analysis(PCA)plot by electronic tongue for of *Eriocheir sinensis* with different dietary replacement of fish oil by vegetable oil

#### 2.4 游离氨基酸含量及 TAV 分析

游离氨基酸是蟹类等水产品的主要呈味物质，其组成和含量的不同会影响食物鲜美程度。其中呈甜味氨基酸(甘氨酸、丙氨酸、苏氨酸、丝氨酸、精氨酸、脯氨酸)在中华绒螯蟹中含量较高，因其阈值较低，所以对甜味贡献较大<sup>[23]</sup>。鲜味是蟹类等水产品最重要的风味特征，即味精的特征性风味。表 3 显示体肉中游离氨基酸含量较高的均为呈甜味氨基酸(脯氨酸 Pro、甘氨酸 Gly、丙氨酸 Ala、精氨酸 Arg)，这与彭静文等<sup>[24]</sup>、王丹青等<sup>[25]</sup>和 WANG 等<sup>[26]</sup>的研究结果一致，但本实验测得的甘氨酸 Gly、丙氨酸 Ala、精氨酸 Arg 含量都高于先前的研究结果，这可能由地域差异、规格体重以及养殖模式、饲料因素导致。3 组 TAV > 1 的氨基酸有 Glu、Gly、Ala、Arg 和 His，说明这几种氨基酸对体肉的滋味特征贡献占比大。

表 3 中华绒螯蟹体内的游离氨基酸含量和 TAV  
 Tab. 3 The contents and TAV of free amino acids in meat of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 <sup>[2]</sup> Taste attribute	阈值 <sup>[23]</sup> Threshold/(mg/g)	含量 Content/(mg/g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
天冬氨酸 Asp	鲜 (+)	1.00	0.11 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.08 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.11	0.08	0.07
苏氨酸 Thr*	甜 (+)	2.60	1.23 ± 0.29 <sup>b</sup>	1.17 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.47	0.45	0.00
丝氨酸 Ser	甜 (+)	1.50	0.56 ± 0.01	0.57 ± 0.01	0.56 ± 0.02	0.37	0.38	0.37
谷氨酸 Glu	鲜 (+)	0.30	1.45 ± 0.14 <sup>b</sup>	1.36 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.00 ± 0.08 <sup>a</sup>	4.82	4.52	3.32
甘氨酸 Gly	甜 (+)	1.30	17.77 ± 0.21 <sup>b</sup>	14.36 ± 0.64 <sup>a</sup>	15.09 ± 1.04 <sup>a</sup>	13.67	11.05	11.61
丙氨酸 Ala	甜 (+)	0.60	13.75 ± 0.35 <sup>c</sup>	11.87 ± 0.73 <sup>b</sup>	10.27 ± 0.73 <sup>a</sup>	22.91	19.79	17.11
缬氨酸 Val*	甜/苦 (-)	0.40	0.45 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.22 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.21 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.12	0.54	0.52
蛋氨酸 Met*	苦/甜/硫 (-)	0.30	0.41 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.30 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.38	0.99	1.10
异亮氨酸 Ile*	苦 (-)	0.90	0.15 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.17	0.16	0.11
亮氨酸 Leu*	苦 (-)	1.90	0.35 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.24 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.18	0.18	0.13
酪氨酸 Tyr	苦 (-)	N.A.	0.29 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.25 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.23 ± 0.02 <sup>a</sup>	-	-	-
苯丙氨酸 Phe*	苦 (-)	0.90	0.60 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.47 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.10 <sup>ab</sup>	0.67	0.52	0.59
赖氨酸 Lys*	甜/苦 (-)	0.50	0.62 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.69 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.45 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.24	1.37	0.90
组氨酸 His	苦 (-)	0.20	0.52 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.45 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.61	2.21	2.25
精氨酸 Arg	苦/甜 (+)	0.50	11.32 ± 0.51 <sup>b</sup>	9.97 ± 0.73 <sup>a</sup>	10.70 ± 0.57 <sup>ab</sup>	22.64	19.93	21.40
脯氨酸 Pro	甜/苦 (+)	3.00	3.09 ± 0.51 <sup>b</sup>	4.25 ± 0.18 <sup>c</sup>	1.99 ± 0.22 <sup>a</sup>	1.03	1.42	0.66
合计 Total			52.67 ± 1.45 <sup>c</sup>	46.47 ± 1.05 <sup>b</sup>	42.21 ± 2.10 <sup>a</sup>	-	-	-

注: \*表示必需氨基酸; N.A.: not acquired 表示未查询到; 同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); +表示 pleasure; - 表示 unpleasure  
 Notes: \* indicates essential amino acid; N.A.: not acquired; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ( $P < 0.05$ ); + indicates pleasure; - indicates unpleasure

表 4 显示性腺中游离氨基酸含量较高的为谷氨酸 Glu、脯氨酸 Pro、丙氨酸 Ala 和精氨酸 Arg, 3 组 TAV > 1 的有 Glu、Ala、Lys、His 和 Arg, 与彭静文等[24]研究结果一致。

表 4 中华绒螯蟹性腺中的游离氨基酸含量和 TAV  
 Tab. 4 The contents and TAV of free amino acids in gonads of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 <sup>[2]</sup> Taste attribute	阈值 <sup>[23]</sup> Threshold/(mg/g)	含量 Content/(mg/g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
天冬氨酸 Asp	鲜 (+)	1.00	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.57 ± 0.07 <sup>c</sup>	0.01	0.35	0.57
苏氨酸 Thr*	甜 (+)	2.60	0.82 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.37 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.32	0.55	0.20
丝氨酸 Ser	甜 (+)	1.50	0.60 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.57 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.40	0.38	0.28
谷氨酸 Glu	鲜 (+)	0.30	1.40 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.84 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.60 ± 0.24 <sup>ab</sup>	4.67	6.12	5.32
甘氨酸 Gly	甜 (+)	1.30	0.64 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.67 ± 0.05 <sup>ab</sup>	0.49	0.55	0.52
丙氨酸 Ala	甜 (+)	0.60	3.42 ± 0.30 <sup>b</sup>	2.18 ± 0.07 <sup>a</sup>	2.21 ± 0.29 <sup>a</sup>	5.69	3.63	3.69
缬氨酸 Val*	甜/苦 (-)	0.40	0.38 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.30 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.95	0.79	0.75
蛋氨酸 Met*	苦/甜/硫 (-)	0.30	0.31 ± 0.04	0.33 ± 0.01	0.27 ± 0.03	1.02	1.10	0.91
异亮氨酸 Ile*	苦 (-)	0.90	0.27 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.22 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.21 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.29	0.25	0.23
亮氨酸 Leu*	苦 (-)	1.90	0.36 ± 0.04	0.35 ± 0.01	0.39 ± 0.03	0.19	0.19	0.20
酪氨酸 Tyr	苦 (-)	N.A.	0.41 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.36 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.03 <sup>a</sup>	-	-	-
苯丙氨酸 Phe*	苦 (-)	0.90	0.72 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.57 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.45 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.80	0.63	0.50
赖氨酸 Lys*	甜/苦 (-)	0.50	1.30 ± 0.26	1.14 ± 0.07	1.42 ± 0.24	2.60	2.28	2.84
组氨酸 His	苦 (-)	0.20	0.80 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.60 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.13 <sup>ab</sup>	3.99	3.00	3.15
精氨酸 Arg	苦/甜 (+)	0.50	5.32 ± 0.63	5.08 ± 0.14	6.28 ± 0.83	10.64	10.15	12.57
脯氨酸 Pro	甜/苦 (+)	3.00	1.55 ± 0.14	1.49 ± 0.14	1.47 ± 0.34	0.52	0.50	0.49
合计 Total			18.29 ± 1.32	17.54 ± 0.54	17.74 ± 1.80	-	-	-

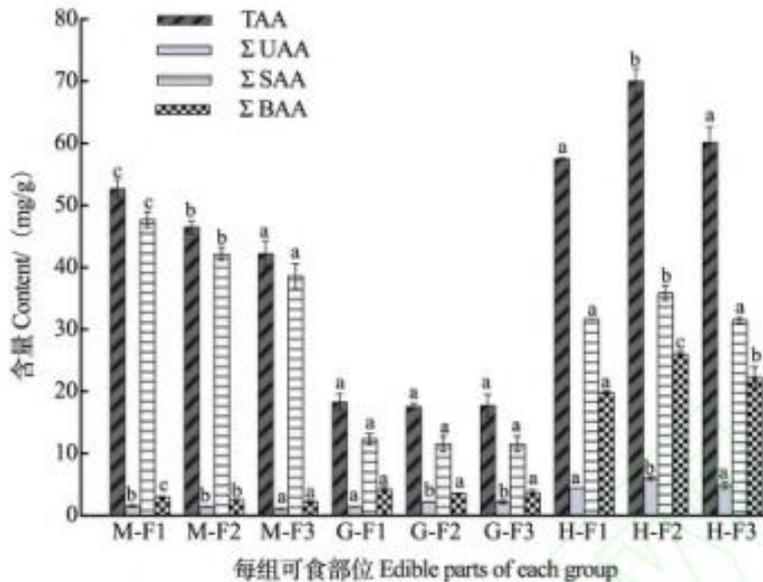
注: \*表示必需氨基酸; N.A.: not acquired 表示未查询到; 同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); +表示 pleasure; - 表示 umpleasure  
 Notes: \* indicates essential amino acid; N.A.: not acquired; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ( $P < 0.05$ ); + indicates pleasure; - indicates umpleasure

表 5 表明肝胰腺中游离氨基酸含量较高的为 Glu、Pro、Gly、Thr、Ala、Lys、Leu 和 Arg, 与赵樑等<sup>[27]</sup>研究结果一致。与体肉和性腺相比, 肝胰腺中主要游离氨基酸种类及含量较多, 且 TAV 大于 1 的游离氨基酸占比多。

表 5 中华绒螯蟹肝胰腺中的游离氨基酸含量和 TAV  
Tab. 5 The contents and TAV of free amino acids in hepatopancreas of *Eriocheir sinensis*

氨基酸 Amino acid	滋味贡献 <sup>[2]</sup> Taste attribute	阈值 <sup>[2]</sup> Threshold/(mg/g)	含量 Content/(mg/g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
天冬氨酸 Asp	鲜 (+)	1.00	0.64 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.71 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.64	0.87	0.71
苏氨酸 Thr*	甜 (+)	2.60	4.62 ± 0.04 <sup>a</sup>	5.45 ± 0.25 <sup>b</sup>	4.51 ± 0.12 <sup>a</sup>	1.78	2.10	1.73
丝氨酸 Ser	甜 (+)	1.50	1.22 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.97 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.26 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.81	1.32	0.84
谷氨酸 Gln	鲜 (+)	0.30	3.80 ± 0.03 <sup>a</sup>	5.19 ± 0.33 <sup>b</sup>	4.19 ± 0.58 <sup>a</sup>	12.66	17.30	13.97
甘氨酸 Gly	甜 (+)	1.30	3.76 ± 0.03 <sup>b</sup>	4.14 ± 0.28 <sup>c</sup>	3.32 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.89	3.19	2.55
丙氨酸 Ala	甜 (+)	0.60	10.15 ± 0.10 <sup>b</sup>	10.11 ± 0.62 <sup>b</sup>	8.96 ± 0.29 <sup>a</sup>	16.91	16.85	14.94
缬氨酸 Val*	甜/苦 (-)	0.40	3.03 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.82 ± 0.17 <sup>b</sup>	3.04 ± 0.05 <sup>a</sup>	7.58	9.55	7.61
蛋氨酸 Met*	苦/甜/硫 (-)	0.30	1.52 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.02 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.48 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.05	6.73	4.93
异亮氨酸 Ile*	苦 (-)	0.90	2.15 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.70 ± 0.11 <sup>b</sup>	1.88 ± 0.35 <sup>a</sup>	2.39	3.00	2.09
亮氨酸 Leu*	苦 (-)	1.90	4.18 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.22 <sup>b</sup>	5.61 ± 0.46 <sup>b</sup>	2.20	2.90	2.95
酪氨酸 Tyr	苦 (-)	N.A.	1.49 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.65 ± 0.30 <sup>a</sup>	-	-	-
苯丙氨酸 Phe*	苦 (-)	0.90	2.87 ± 0.03 <sup>a</sup>	3.79 ± 0.16 <sup>b</sup>	2.99 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.19	4.21	3.32
赖氨酸 Lys*	甜/苦 (-)	0.50	4.63 ± 0.10 <sup>a</sup>	6.13 ± 0.16 <sup>c</sup>	5.28 ± 0.47 <sup>b</sup>	9.26	12.26	10.57
组氨酸 His	苦 (-)	0.20	1.51 ± 0.03	1.74 ± 0.04	1.83 ± 0.34	7.56	8.69	9.16
精氨酸 Arg	苦/甜 (+)	0.50	8.78 ± 0.14 <sup>a</sup>	9.23 ± 0.14 <sup>b</sup>	9.55 ± 0.08 <sup>c</sup>	17.56	18.45	19.11
脯氨酸 Pro	甜/苦 (+)	3.00	3.15 ± 0.05 <sup>a</sup>	5.03 ± 0.11 <sup>c</sup>	3.89 ± 0.30 <sup>b</sup>	1.05	1.68	1.30
合计 Total			57.5 ± 0.23 <sup>a</sup>	70.03 ± 2.03 <sup>b</sup>	60.15 ± 2.54 <sup>a</sup>	-	-	-

注: \*表示必需氨基酸; N.A.: not acquired 表示未查询到; 同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); +表示 pleasure; -表示 unpleasure  
Notes: \* indicates essential amino acid; N.A.: not acquired; different lowercase letters in the same row indicate significant difference ( $P < 0.05$ ); + indicates pleasure; - indicates unpleasure



TAA,  $\Sigma$  UAA,  $\Sigma$  SAA 和  $\Sigma$  BAA 分别表示总游离氨基酸含量, 鲜味氨基酸总和、甜味氨基酸总和和苦味氨基酸总和。对于不同饲料组的同一可食部位, 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

TAA,  $\Sigma$  UAA,  $\Sigma$  SAA and  $\Sigma$  BAA represent the total free amino acid content, the sum of umami amino acids, the sum of sweet amino acids and the sum of bitter amino acids, respectively. For each edible part, different letters of the same indicator indicate significant difference ( $P < 0.05$ )

图 3 中华绒螯蟹可食部位总游离氨基酸和鲜味、甜味和苦味氨基酸的含量

Fig. 3 The amount of total, umami, sweet and bitter taste amino acids content in edible parts of *Eriocheir sinensis*

图3为中华绒螯蟹可食部位总游离氨基酸(包括测检出的16种氨基酸)、鲜味氨基酸(以天冬氨酸和谷氨酸计)、甜味氨基酸(以苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸和脯氨酸计)和苦味氨基酸(以缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸和组氨酸计)的含量<sup>[23]</sup>。随着饲料中植物油替代鱼油水平的上升, 体肉中TAA、SAA和BAA的含量呈下降趋势。

3组性腺中TAA、SAA和BAA的含量均无显著性差异( $P > 0.05$ ), 而植物油全部或部分替代鱼油饲料都能增加性腺中UAA的含量。

肝胰腺中TAA含量明显高于体肉和性腺。使用50%植物油替代鱼油饲料增加了肝胰腺中UAA和SAA的含量, 但使用植物油全部或部分替代鱼油饲料也使得苦味氨基酸含量增加。

## 2.5 呈味核苷酸、TAV及EUC分析

中华绒螯蟹中主要的呈味核苷酸为5'-肌苷酸二钠(IMP)、5'-腺苷酸二钠(AMP)和5'-鸟苷酸二钠(GMP), 这3种呈味核苷酸不仅本身带有鲜味, 还能与MSG、游离氨基酸以及无机离子等产生协同增鲜作用, 改善水产品的整体鲜味<sup>[28]</sup>。表6、7显示中华绒螯蟹体肉和性腺的主要呈味核苷酸以IMP为主, 且对应的TAV均大于1, 说明IMP对体肉和性腺呈鲜味特征有显著贡献。表8显示除F2组肝胰腺中GMP的TAV大于1, 其他均小于1。

结果显示3组中华绒螯蟹可食部位的呈味核苷酸总量具有显著性差异( $P < 0.05$ ), F2组体肉、性腺和肝胰腺中呈味核苷酸总量和EUC最高, F3组体肉和肝胰腺中呈味核苷酸总量和EUC最低。

表6 中华绒螯蟹体肉中的呈味核苷酸含量、TAV和EUC  
Tab. 6 The contents, TAV and EUC of nucleotides in meat of *Eriocheir sinensis*

核苷酸 Nucleotide	滋味贡献 <sup>±</sup> Taste attribute	阈值 <sup>±</sup> Threshold/(mg/100g)	含量 Content/(mg/100 g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
IMP	鲜(-)	25.00	98.88 ± 4.35 <sup>b</sup>	119.91 ± 7.62 <sup>c</sup>	86.37 ± 1.90 <sup>a</sup>	3.96	4.80	3.45
AMP	鲜/甜(+)	50.00	11.64 ± 0.49 <sup>a</sup>	12.67 ± 0.16 <sup>b</sup>	11.00 ± 0.36 <sup>a</sup>	0.23	0.25	0.22
GMP	鲜(-)	12.50	4.15 ± 0.02 <sup>ab</sup>	4.38 ± 0.01 <sup>b</sup>	3.93 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.33	0.35	0.31
Total	-	-	114.67 ± 4.82 <sup>b</sup>	136.96 ± 7.76 <sup>c</sup>	101.3 ± 2.47 <sup>a</sup>	-	-	-
EUC (g MSG/100 g)	-	-	19.73	22.10	11.98	-	-	-

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); +表示 pleasure

Notes: Different letters in the same row indicate significant difference ( $P < 0.05$ ), + indicates pleasure

表 7 中华绒螯蟹性腺中的呈味核苷酸含量、TAV 和 EUC

Tab. 7 The contents, TAV and EUC of nucleotides in gonads of *Eriocheir sinensis*

核苷酸 Nucleotide	滋味贡献 <sup>[2]</sup> Taste attribute	阈值 <sup>[2]</sup> Threshold/(mg/100g)	含量 Content/(mg/100 g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
IMP	鲜(+)	25.00	273.6 ± 9.71 <sup>a</sup>	333.17 ± 4.12 <sup>b</sup>	280.48 ± 4.77 <sup>a</sup>	10.95	13.33	11.22
AMP	鲜/甜(+)	50.00	152.28 ± 2.98	152.75 ± 3.89	154.26 ± 6.01	3.05	3.06	3.09
GMP	鲜(+)	12.50	80.05 ± 2.04 <sup>a</sup>	82.48 ± 1.96 <sup>a</sup>	105.29 ± 3.76 <sup>b</sup>	6.44	6.60	8.42
Total	-	-	505.93 ± 12.44 <sup>a</sup>	568.4 ± 5.59 <sup>c</sup>	540.04 ± 5.27 <sup>b</sup>	-	-	-
EUC (g MSG/100 g)	-	-	83.09	125.13	110.19	-	-	-

注：同行不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05)；+表示 pleasure  
Notes: Different letters in the same row indicate significant difference (P < 0.05), + indicates pleasure

表 8 中华绒螯蟹肝胰腺中的呈味核苷酸含量、TAV 和 EUC  
Tab. 8 The contents, TAV and EUC of nucleotides in hepatopancreas of *Eriocheir sinensis*

核苷酸 Nucleotide	滋味贡献 <sup>[2]</sup> Taste attribute	阈值 <sup>[2]</sup> Threshold/(mg/100g)	含量 Content/(mg/100 g)			TAV		
			F1	F2	F3	F1	F2	F3
IMP	鲜(+)	25.00	6.03 ± 0.56 <sup>a</sup>	10.91 ± 0.18 <sup>b</sup>	10.60 ± 0.23 <sup>b</sup>	0.95	0.87	0.85
AMP	鲜/甜(+)	50.00	4.38 ± 0.16 <sup>a</sup>	8.24 ± 0.96 <sup>b</sup>	9.27 ± 1.43 <sup>b</sup>	0.37	0.33	0.37
GMP	鲜(+)	12.50	37.94 ± 1.82 <sup>b</sup>	58.51 ± 2.16 <sup>c</sup>	8.24 ± 1.03 <sup>a</sup>	0.76	1.17	0.16
Total	-	-	48.35 ± 2.21 <sup>b</sup>	77.66 ± 3.30 <sup>c</sup>	28.10 ± 2.23 <sup>a</sup>	-	-	-
EUC (g MSG/100 g)	-	-	20.94	23.71	13.39	-	-	-

注：同行不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05)；+表示 pleasure  
Notes: Different letters in the same row indicate significant difference (P < 0.05), + indicates pleasure

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中植物油替代鱼油对基本营养成分的影响

国内外许多学者研究了不同水平植物油替代鱼油的饲料对水产品基本营养成分组成的影响，但是对于不同水产品，得到的结果并不一致，即使同一种水产品，在各生长阶段下，其基本营养成分组成也会有所差异<sup>[6]</sup>。本实验结果说明在育肥阶段饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹性腺的基本营养成分组成没有影响，且对中华绒螯蟹可食部位的粗脂肪含量也无影响，50%植物油替代鱼油的饲料更有利于其肝胰腺中蛋白质的积累，但用全植物油

不利于其体肉蛋白的积累。这与 WU 等<sup>[29]</sup>研究结果相似,但 WU 等<sup>[29]</sup>11 月份测得雌蟹肝胰腺粗脂肪含量高于本实验,可能是由于蟹的粗脂肪含量受饲料以及温度和气候的影响较大<sup>[30,31]</sup>。吴旭干等<sup>[32]</sup>在文章中提到“为了维持肌肉的运动、保护内脏等生理功能,三疣梭子蟹肌肉的基本营养成分具有保守性”。WU 等<sup>[6]</sup>研究得出用大豆油替代鱼油对中华绒螯蟹基本营养成分含量没有影响的结论。赵磊等<sup>[10]</sup>研究发现饲料中 50%植物油替代鱼油有利于雄蟹肝胰腺和肌肉中的脂肪沉积。造成这些结果差异的可能是由于实验选用水生动物种类的不同、中华绒螯蟹生长阶段、性别、体重不同等原因所导致。

总体来看,饲料中使用 50%植物油替代鱼油对中华绒螯蟹可食部位的基本营养成分没有负面作用,且有一定正面作用。

### 3.2 饲料中植物油替代鱼油对滋味的影响

有大量研究表明饲料中植物油替代鱼油对水生动物的脂肪酸组成有显著影响,但对其滋味品质的影响鲜有报道。机体组织脂肪酸组成的不同势必会引起其感官特性的差异,WU 等<sup>[29]</sup>研究发现使用植物油部分替代鱼油能增加中华绒螯蟹性腺和肝胰腺的香气物质,但并没有对其滋味进行研究。TORTENSEN 等<sup>[33]</sup>对大西洋鲑幼鱼使用不同比例植物油替代鱼油饲喂发现植物油替代鱼油对其感官品质没有负面作用。

本实验电子舌结果表明除了 F1 和 F2 组体肉滋味轮廓有重叠部分,其它均能很好地被区分,这说明饲料中植物油替代鱼油对雌性中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的滋味的影响大于体肉,这在感官评价分析中也有所体现,这可能也与河蟹育肥后期性腺和肝胰腺快速发育有关<sup>[34,35]</sup>。

感官评价结果显示体肉以鲜甜味为主,性腺鲜味强度高,肝胰腺以鲜味为主,甜味弱于体肉,且带有一点苦味,这与彭静文<sup>[24]</sup>等研究结果一致。虽然随着植物油替代水平的上升,体肉中 TAA 和 UAA 含量逐渐减少,但因体肉中的游离氨基酸总量较大,一定程度的减少对其滋味影响不大,其中 F2 组体肉中 UAA 没有变化但 BAA 的含量降低了。结合 F2 组体肉 IMP、AMP、GMP 含量及 EUC 最高,且一定浓度的 AMP 与谷氨酸钠协同作用对提高水产品的鲜味具有贡献作用<sup>[36]</sup>。这可能是感官评价中 F2 组体肉滋味更佳的原因。

游离氨基酸数据结果表明 3 组性腺之间差别不大,但 F2 组性腺的 IMP 含量显著高于其他两组,从而导致其 EUC 最高。施文正等<sup>[37]</sup>研究表明当 IMP 与 AMP 低含量共存时,依旧可以呈现出鲜味,并且增加甜味,YAMAGUCHI<sup>[38]</sup>提出呈味核苷酸会与呈鲜味游离氨基酸(Glu 和 Asp)产生协同作用,即使非常低含量的 IMP 也可极大的提高氨基酸的呈鲜味效果,

并且会增加甜味效果。这也是感官评价结果得到 F2 组性腺鲜味和甜味优于其他两组的原因。

肝胰腺中游离氨基酸总量和 TAV>1 的氨基酸种类占比多,证明肝胰腺的滋味更加丰富浓厚。多种氨基酸进入能量代谢循环的中间产物为谷氨酸,这可能是肝胰腺中谷氨酸高于体肉和性腺的重要原因<sup>[39]</sup>,且 F2 组肝胰腺中谷氨酸含量最高。除此之外,F2 组肝胰腺中 TAA、UAA、SAA 和呈味核苷酸含量以及 EUC 均高于 F1 和 F3 组,这些导致了感官评价分析 F2 组肝胰腺鲜甜味最佳。但使用植物油全部或部分替代鱼油饲料也使得苦味氨基酸含量增加,因此导致感官评价结果 F3 组苦味强度值显著高于其他两组,而由于 F2 组含有大量 SAA,尤其是 Gly,它除本身可以提供清香味外,还能减少苦味并从食物中除去令人不快的口味<sup>[40]</sup>,因此感官评价结果 F2 组肝胰腺的苦味强度值反而最低。

由上可得,饲料中 50%植物油替代鱼油对雌性中华绒螯蟹的滋味品质有正面作用;而使用全植物油饲料对中华绒螯蟹体肉和肝胰腺的滋味品质有一定负面影响,可能由于全植物油饲料缺少鱼油中丰富的 EPA 和 DHA,影响其生长发育而使得滋味品质变差。肝胰腺是受饲料中植物油替代鱼油影响最大的部位,这是因为肝胰腺是中华绒螯蟹脂肪储存的部位,先前研究<sup>[19,21]</sup>证明肝胰腺受饲料脂肪源的影响造成其脂肪酸组成差异明显,进而导致品质的差异。但至于脂肪酸组成的不同如何造成滋味的差异,还需进一步研究。综上,在育肥阶段使用 50%植物油替代鱼油饲料不但增强了雌性中华绒螯蟹的营养品质和滋味品质,而且对于养殖者而言,也降低了养殖成本,有利于养殖业发展。

参考文献:略

原文刊登在《上海海洋大学学报录用定稿》网络首发时间:2020-04-15 11:05:52

## 饲料研发

# 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 m<sup>2</sup>/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; immunity;

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，因含有多种抗营养因子，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养因子(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，以期对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 K<sub>3</sub>13mg，维生素 E 128 mg，维生素 B<sub>1</sub>34 mg，维生素 B<sub>2</sub>34 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 SO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 1100 mg，硫酸锌 Zn SO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 30 mg，氯化钴 Co Cl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 60 mg，硫酸铜 Cu SO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 15 mg，磷酸二氢钙(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O 3500 mg，硫酸铁 Fe SO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 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 m<sup>2</sup>。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 $>5\text{ mg/L}$ ，盐度为 31‰自然海水，水温  $23\sim 32^{\circ}\text{C}$ ，pH  $7.5\sim 8.5$ ，氨氮浓度低于  $1.0\text{ mg/L}$ ，亚硝酸盐浓度低于  $0.01\text{ mg/L}$ 。

### 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：

质量增加率 $=\frac{W_2-W_1}{W_1}\times 100$ ;

特定生长率 $=\frac{\ln W_2-\ln W_1}{T}\times 100$ ;

饲料转化率 $=F/(W_2-W_1)$ ;

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

式中：T 为试验天数； $W_2$  试验结束时各处理虾的平均体质量，g； $W_1$  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  $-80^{\circ}\text{C}$  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( $105^{\circ}\text{C}$ )至恒重，采用凯式定氮法(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 <sup>b</sup>	391±58.73 <sup>b</sup>	401.52±83.92 <sup>b</sup>	518.61±106.03 <sup>a</sup>	0.021
特定增长率/(%/d)	2.27±0.05 <sup>b</sup>	2.37±0.18 <sup>b</sup>	2.39±0.27 <sup>b</sup>	2.70±0.26 <sup>a</sup>	0.028
饲料转化率/%	38.92±5.95 <sup>c</sup>	42.07±1.16 <sup>bc</sup>	46.65±3.44 <sup>b</sup>	59.51±3.35 <sup>a</sup>	0.000
成活率/%	55.29±6.66 <sup>b</sup>	65.50±3.75 <sup>ab</sup>	71.58±12.07 <sup>a</sup>	75.21±13.62 <sup>a</sup>	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 <sup>b</sup>	6071.35±1282.96 <sup>b</sup>	7240.26±621.62 <sup>a</sup>	8186.92±486.4 <sup>a</sup>	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、谷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 <sup>a</sup>	263.84±58.38 <sup>ab</sup>	265.59±94.95 <sup>ab</sup>	218.88±46.93 <sup>b</sup>	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
谷草转氨酶/(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(*Carassiusgibelio*)(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

## 饲料投喂

### 配合饲料驯饲频率对虎龙斑幼鱼驯化效果的影响

李涛 黄小林 杨育凯 黄忠 虞为 林黑着

中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室/广东省渔业生态环境重点实验室 中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地

**摘要：**为研究配合饲料驯饲频率对虎龙斑幼鱼驯化效果的影响,设置了1、2、3、4、5、6次/d 6个驯饲频率试验组,进行配合饲料驯饲试验,每天观察鱼苗摄食和生长情况,结束后对各试验组存活率、特定生长率和肥满度进行分析。结果显示,驯饲频率 $\geq 4$ 次/d 试验组均为5 d完成驯化,驯化完成时间最短;随着驯饲频率增加,存活率呈下降趋势,驯化频率为4次/d的试验组存活率为74%,显著低于1、2、3次/d的试验组,但显著高于5、6次/d试验组;驯饲频率 $\geq 4$ 次/d试验组特定生长率和肥满度无显著性差异,但显著高于

1、2、3次/d 试验组。1、2、3次/d 的驯饲频率能获得比较高的存活率,但完成驯化时间相对较长,且生长受到一定的影响,个体消瘦、活力较差、鱼苗品质不高,配合饲料驯饲频率为4次/d时,虎龙斑驯化效果较为理想。

**关键词:** 虎龙斑; 驯饲频率; 存活率; 特定生长率; 肥满度;

Effect of bait domestication frequency with compound feed on domestication of juvenile hybrid grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂

Li Tao

虎龙斑,又名珍珠龙胆,是褐点石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus* ♀)(俗称“老虎斑”)和鞍带石斑鱼(*E. lanceolatus* ♂)(*E. lanceolatus* ♂)(俗称“龙趸”)的杂交子代,遗传了双亲特有的快速生长和高抗病力能力<sup>[1]</sup>,在广东、海南和福建等南方沿海省份已开展规模化养殖,北方地区亦有少量养殖。目前,国内外有关虎龙斑的研究并不多,主要集中在营养饲料方面<sup>[2,3,4,5]</sup>及环境因子温度、盐度、光照和养殖模式对其摄食、生长的影响方面<sup>[6,7,8,9]</sup>。

石斑鱼是典型的肉食性凶猛鱼类,以甲壳类、小型鱼虾类和头足类等鲜活饵料为食,但鲜活饵料易孳生细菌、污染水体、成本高及来源不足等缺点,养殖单位多采用人工配合饲料来饲养石斑鱼。对养殖石斑鱼而言,采用配合饲料饲养是石斑鱼规模化生产的前提,一般情况下石斑鱼不会摄食人工投喂的配合饲料,比较通行的做法是用活饵作为开口饲料进行苗种培育,达到一定规格后,再用配合饲料驯化,逐步过渡到完全用配合饲料饲养,这个由活饵转换至人工饲料的过程,生产上称为“饲料驯化”<sup>[10]</sup>,饲料驯化的成活率和苗种质量直接关系到养殖户的经济效益。有关鱼类驯饲的研究仅在鳜鱼<sup>[11,12]</sup>、中华鲟<sup>[13]</sup>、江鳙<sup>[14]</sup>、加州鲈<sup>[15]</sup>、美洲鲈<sup>[16]</sup>及黄鳝<sup>[17]</sup>等少数几种鱼类中有报道,有关石斑鱼驯饲研究未见报道。驯化效果受多种因素影响,与鱼种、放养密度、日龄、饲料配方、养殖环境及驯饲频率等有关<sup>[3]</sup>,本研究从生产实际设置配合饲料不同驯饲频率,研究配合饲料驯饲频率对虎龙斑鱼苗驯化完成时间及驯化期生长、鳞片覆盖和存活的影响,以期对石斑鱼驯养投喂提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验在中国水产科学研究院南海水产研究所深圳试验基地进行,采用40 cm×40 cm×30 cm(有效水体40 L)的透明玻璃缸进行驯化试验。试验用鱼从深圳东海岸苗种培育场购买,为同一批次未进行配合饲料驯化的28日龄稚鱼期鱼苗,身体半透明、无鳞片覆盖、挑选体质健康、规格均匀的鱼苗[体长(2.19±0.08) cm,体质量(0.25±0.06) g]用于试验。试验用水为经沙

滤的自然海水,温度为(22±2) °C,盐度为 3%~3.3%。试验饵料为东丸种苗人工配合饲料,为沉性饲料,直径(1.3±0.05) mm,投喂前喷洒少量自来水软化饲料,防止硬质的颗粒饲料损伤试验鱼口裂和肠胃。

## 1.2 方法

### 1.2.1 试验设计及驯养管理

每个玻璃缸加注试验用水 40 L,并放置 1 个气石增氧,随机选取试验鱼苗 50 尾放入试验缸。共设置 6 个试验组,每个试验组设置 3 个重复,采用直接转食法,既试验第 1 天开始全部试验组驯食人工配合饲料。第 1 组驯饲频率为 1 次/d(07:30),第 2 组驯饲频率为 2 次/d(07:30 和 17:30),第 3 组驯饲频率为 3 次/d(07:30、12:30、16:30),第 4 组驯饲频率为 4 次/d(07:30、10:30、13:30、16:30),第 5 组驯饲频率为 5 次/d(07:30、10:00、12:30、15:00、17:30),第 6 组驯饲频率为 6 次/d(07:30、9:30、11:30、13:30、15:30、17:30),驯食前期阶段鱼苗对人工配合饲料不敏感,驯饲时,抓取少量饲料撒入玻璃缸,待饲料沉底后,再次撒入少量饲料,每次驯饲时间设定为 10 min;自各试验组个体开始吃配合饵料起,适当增加配合饲料撒入量,减少驯饲时间,当鱼苗分散开不再对投喂的饲料感兴趣时,停止投喂饲料。投喂饲料 1 h 后用虹吸管吸出残饵和粪便,并补充过滤海水,驯化周期为 7 d,每天记录水温,观察鱼苗行为特征、转食情况和鱼苗发育情况。

### 1.2.2 指标的计算

试验结束后,停止喂饵,第 2 天肠道排空后,每个玻璃缸随机抽取 20 尾试验鱼,用毛巾吸干体表水分,分别称质量、测量体长,统计各试验缸鱼苗存活数,并按下式计算各项指标:

$$\text{存活率} = \text{试验末鱼苗尾数} / \text{试验初鱼苗尾数} \times 100\% ;$$

$$\text{特定生长率} = (\ln m_t - \ln m_0) / t \times 100\% ;$$

$$\text{肥满度} = m_t / L^3 \times 100。$$

式中: $m_t$  和  $m_0$  分别为试验末和试验初虎龙斑鱼苗的平均体质量(g); $L$  为试验末虎龙斑鱼苗的平均体长(cm); $t$  为试验时间(d)。

## 1.3 数据处理

试验数据用“平均值±标准差”表示,采用 SPSS 19.0 软件进行单因子方差和 LSD 多重比较分析,显著性水平设为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 投喂频率对虎龙斑鱼苗驯化时间、鳞片覆盖和相互残食行为的影响

经 7 d 的驯饲,所有试验组鱼苗全身覆盖鳞片,体上布满纹带,并都开始聚集抢食配合饲

料,驯化成功。其中驯饲频率为4、5、6次/d的试验组第5天全部个体聚集抢食配合饲料,完成驯化,驯饲频率为2、3次/d的试验组第6天全部个体聚集抢食配合饲料,完成驯化,驯饲频率为1次/d的试验组第7天全部个体聚集抢食配合饲料,完成驯化。驯饲频率不同,各试验组鳞片覆盖情况存在差异,试验第2天,所有试验组的小部分个体背部覆盖鳞片,出现纹带,驯饲频率为5、6次/d的试验组第4天全部个体全身覆盖鳞片,布满纹带,驯饲频率为4次/d的试验组第6天全部个体全身覆盖鳞片、布满纹带,驯饲频率为1、2、3次/d试验组第7天全部个体全身覆盖鳞片,布满纹带。根据观察,高驯饲频率(4、5、6次/d)试验组驯化期间个体差异较大,相互残食现象较多,低驯饲频率(1、2、3次/d)试验组驯化期间个体差异较小,相互残食现象较少。表明驯饲频率越高,完成驯化时间相对越短,个体发育越快,但因个体差异大,残食现象比较多。

## 2.2 投喂频率对虎龙斑鱼苗存活率的影响

由表1和图1可知,随着驯饲频率的增加存活率呈下降趋势,其中驯饲频率为1、2次/d的试验组存活率高达86%,显著高于其他组,驯饲频率为4次/d的试验组存活率为74%,显著低于1、2、3次/d的试验组,但显著高于5、6次/d的试验组。

表1 驯饲频率对虎龙斑幼鱼生长指标的影响

驯饲频率 (次/d)	存活率 (%)	特定生长率 (%/d)	肥满度 (%)
1	86.67 ± 1.15abc	4.04 ± 1.07bc	2.34 ± 0.05bc
2	86.00 ± 4.00abc	11.30 ± 1.87ac	2.51 ± 0.23c
3	80.67 ± 5.03ab	11.84 ± 0.75ac	2.65 ± 0.01a
4	74.00 ± 4.00ac	14.72 ± 0.62ab	2.77 ± 0.10ab
5	69.33 ± 4.16acd	14.37 ± 1.00ab	2.82 ± 0.10ab
6	61.33 ± 3.05bcd	15.67 ± 0.43ab	2.88 ± 0.10ab

注:同列数据后不同小写字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.3 驯饲频率对虎龙斑鱼苗生长的影响

由表1和图2可知,随着驯饲频率的增加,特定生长率呈升高趋势,但当驯饲频率 $\geq 4$ 次/d时,特定生长率随驯化频率的增加趋于稳定,驯化频率为4、5、6次/d试验组的特定生长率之间无明显差异,但显著高于驯化频率为1、2、3次/d的试验组,驯化频率为1次/d的试验组特定生长率最低,为(4.04±1.07)%/d,显著低于其他组。驯化频率为2、3次/d的试验组特定生

长率无显著差异。由表 1 和图 3 可知,随驯饲频率的增加,肥满度值呈升高趋势,当驯饲频率  $\geq 4$  次/d 时,试验组肥满度值间无显著性差异,但显著高于其他试验组,驯化频率为 1 次/d 的试验组肥满度值最低,为 $(2.34 \pm 0.05)\%$ 。结果表明,驯化频率过低、饵料不足,导致鱼苗个体消瘦,高频驯饲化有利于虎龙斑鱼苗生长,但驯饲频率增加到一定阶段后,虎龙斑鱼苗生长不受驯饲频率的影响。

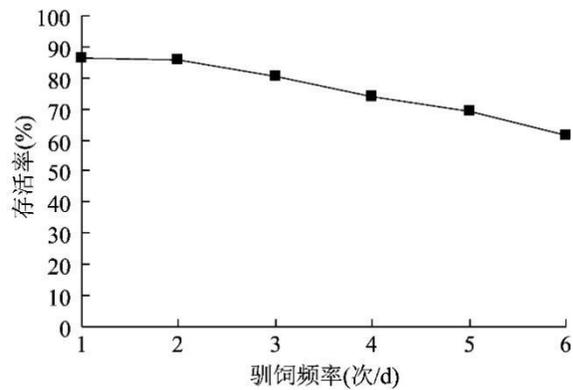


图1 驯饲频率对虎龙斑幼鱼存活率的影响

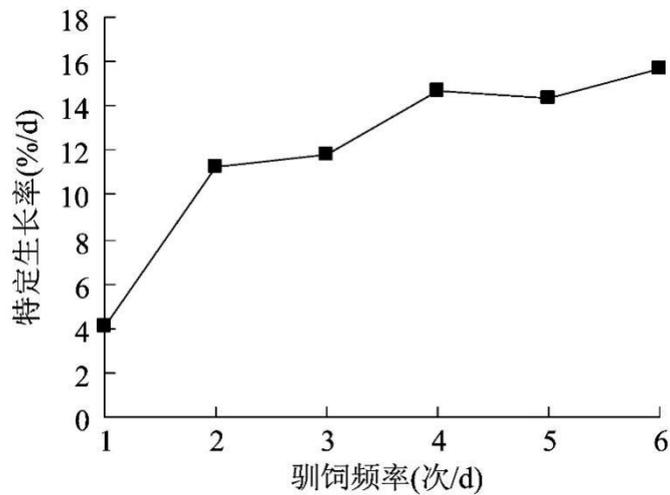


图2 驯饲频率对虎龙斑幼鱼特定生长率的影响

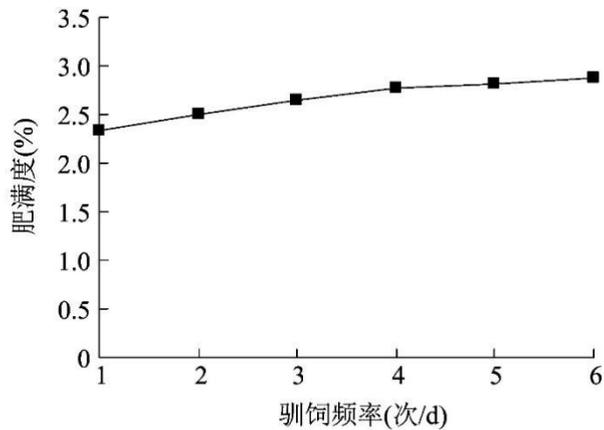


图3 驯饲频率对虎龙斑幼鱼肥满度的影响

### 3 讨论

本研究设置了不同配合饲料驯饲频率(1、2、3、4、5、6次/d)的驯化试验,结果表明高驯饲频率(4、5、6次/d)能有效缩短配合饲料驯化成功的时间,并促进个体生长,且高驯饲频率能促进鳞片生长发育,加快鳞片全覆盖进程,鱼鳞是鱼类特有的皮肤衍生物,对鱼体具有保护功能<sup>[18]</sup>,可辅助判断鱼苗的生长状况和培育效果<sup>[19]</sup>,鱼苗体表鳞片全覆盖越早,鱼苗感染疾病的风险就越小,鱼苗品质越高。其中,驯饲频率为4次/d的试验组鱼苗的生长特定生长率和肥满度与5、6次/d试验组无显著差异,但驯饲频率为4次/d的试验组鱼苗存活率显著高于5、6次/d试验组,主要原因是较高的驯饲频率容易造成养殖水体污染,且优先摄食配合饲料的个体因饵料充足,生长较快,个体差异大,发育快的个体容易残食弱小个体,影响存活率。低驯饲频率(1、2、3次/d)试验组虽然能获得较高的存活率,但驯饲成功时间相比高驯饲频率组长,发育较慢,且低驯饲频率因投喂饲料不足,影响鱼苗生长,鳞片生长发育慢,其中驯饲频率1次/d试验组因长时间处于饥饿状态,特定生长率和肥满度分别为 $(4.04\pm 1.07)\%/d$ 和 $(2.34\pm 0.05)\%$ ,显著低于其他试验组,个体消瘦、活力较差,鱼苗品质受到严重影响,可见驯饲频率为4次/d为虎龙斑配合饲料驯化的最理想驯饲频率。在进行石斑鱼鱼苗配合饲料驯化时,每1~2d进行1次筛苗,将大小规格的个体分开进行驯饲,能有效减少残食现象,提高苗种成活率。

参考文献: 略

原文刊登在《江苏农业科学》2020,48(05),153-156 DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.05.032

## 不同饲料投喂模式对脊尾白虾生长、消化酶、体成分及养殖水环境的影响

张志东 陈爱华 吴杨平 张雨 曹奕 陈素华 田镇 李秋洁

江苏省海洋水产研究所 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心

**摘要:**为研究池塘多元养殖模式下不同饲料投喂模式对脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)生长、消化酶活性、体成分及养殖水环境的影响,实验以脊尾白虾及其养殖水为研究对象,设置3个实验组,分别为投喂冰鲜饲料组(Diet1组)、投喂配合饲料组(Diet3组)及两者1:1混合投喂组(Diet2组)。每个实验组设3个重复,实验周期为45d,实验每隔5d测脊尾白虾体重和养殖水质指标并分析;实验结束时,采集脊尾白虾样品,用于消化酶及体成分的测定与分析。结果显示:(1)不同饲料投喂30d后,Diet2组脊尾白虾的体重显著高于Diet1组和Diet3组( $P<0.05$ ),而Diet1组与Diet3组之间差异不显著( $P>0.05$ );增重率与特定生长率随时间呈下降趋势。(2)从Diet1组至Diet3组饲料中蛋白水平逐渐降低,而脊尾白虾蛋白酶活性逐渐降低,淀粉酶活性逐渐提高;各实验组脂肪酶活性差异不显著( $P>0.05$ )。(3)Diet2组脊尾白虾粗蛋白

含量显著高于 Diet3 组( $P<0.05$ ),与 Diet1 组差异不显著( $P>0.05$ )。Diet2 组脊尾白虾水分含量显著低于 Diet1 组和 Diet3 组( $P<0.05$ )。各实验组之间脊尾白虾粗脂肪含量与灰分含量差异不显著( $P>0.05$ )。(4) 随着实验的进行,脊尾白虾养殖水环境中 COD、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、无机氮及无机磷均呈上升趋势,实验结束时,各水质指标由高到低依次为 Diet1 组、Diet2 组、Diet3 组。因此,池塘多元养殖模式下混合投喂“冰鲜饲料+人工配合饲料”,有利于脊尾白虾的生长、消化及蛋白积累,然而对养殖水环境仍存在一定的污染,研制环保型人工配合饲料仍是大势所趋。

**关键词:** 投喂模式; 脊尾白虾; 生长; 消化酶; 体成分; 养殖水质;

## Effects of different feeding modes on the growth, digestive enzyme activity, body composition, and aquaculture water quality of *Exopalaemon carinicauda*

ZHANG Zhidong CHEN Aihua WU Yangping ZHANG Yu CAO Yi CHEN Suhua TIAN Zhen LI Qiuji  
Jiangsu Institute of Marine Fisheries National Demonstration Center for Experimental Fisheries  
Science Education, Shanghai Ocean University

**Abstract:** This study aimed to explore the effects of different feeding modes on the growth, digestive enzymes, body composition, and aquaculture water quality of *Exopalaemon carinicauda* in pond polyculture. Three experimental groups were fed chilled feed(Diet 1 group), an artificial diet(Diet 3 group), or a 1 :1 mixture of the chilled feed and artificial diet(Diet 2 group). Each experimental group contained 3 replicates, and the experimental period was 45 days. The body weight of *E. carinicauda* and the water quality factors were measured and analyzed every 5 days. At the end of the experiment, *E. carinicauda* samples were collected to analyze the digestive enzymes and body composition. The results are as follows:(1) After 30 days, the body weight of *E. carinicauda* in Diet 2 group was significantly higher than in the Diet 1 and Diet 3 groups( $P<0.05$ ), but the Diet 1 and Diet 3 groups did not differ significantly( $P>0.05$ ). The weight gain rate and specific growth rate gradually decreased throughout the experiment.(2) The protein level in the feed gradually decreased from Diet 1 group to Diet 3 group, while the protease activity of *E. carinicauda* gradually decreased and the amylase activity gradually increased. There were no differences in the lipase activity among the experimental groups( $P>0.05$ ).(3) Diet 2 group had the highest contents of crude protein, followed by Diet 1 group, and then Diet 3 group. The crude protein contents in Diet 2 group were significantly higher than Diet 3 group( $P<0.05$ ), but not differ from Diet 1 group significantly( $P>0.05$ ). The water contents in Diet 2 group were significantly lower than in the Diet 1 and Diet 3 groups( $P<0.05$ ). There were no significant differences in the crude fat or ash contents( $P>0.05$ ).(4) As the experiment progressed, chemical oxygen demand(COD), ammonia nitrogen, nitrite, nitrate, inorganic nitrogen, and inorganic phosphorus levels in the aquaculture water increased. At the end of

the experiment, the water quality indicators were in the order of Diet 1 group >Diet 2 group>Diet 3 group. Together, these results suggest that mixed feeding(chilled feed + artificial diet) was beneficial to the growth, digestion, and protein accumulation of *E. carinicauda* but polluted the aquaculture water to some extent. Thus, the development of an environment-friendly artificial diet is still preferred.

**Keyword :** feeding modes; *Exopalaemon carinicauda*; growth; digestive enzymes; body composition; aquaculture water quality;

近年来,中国虾类养殖业迅猛发展,冰鲜杂鱼、麻虾等冰鲜饲料因其适口性与可得性较好,被广泛应用到养殖生产中。然而冰鲜饲料稳定性差,在进入水体后,很大一部分会直接散失到水体中,导致水体富营养化、滋生病菌、危害环境,由此引发的问题困扰着对虾养殖业的可持续发展<sup>[1,2]</sup>。而人工配合饲料可根据不同养殖对象合理搭配各种营养成分,提高蛋白的利用率,减少水体氮磷的排放量。因此,用人工配合饲料代替冰鲜饲料已经成为一种趋势<sup>[3]</sup>。目前对人工配合饲料的开发已涉及南美白对虾(*Litopenaeus vannamei*)<sup>[4,5]</sup>、斑节对虾(*Penaeus monodon*)<sup>[6,7]</sup>及红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)<sup>[8]</sup>等诸多种类,然而受困于目前饲料加工条件,人工配合饲料在营养和工艺层面难以全程满足对虾养殖需求<sup>[9]</sup>,这就导致在实际养殖过程中,冰鲜杂鱼、麻虾等冰鲜饲料投喂量仍占据较高比例。因此,研究冰鲜饲料与人工配合饲料搭配策略,对进一步认识当前生产中仍在广泛运用的混合投喂模式的利与弊,具有重要的现实意义。

脊尾白虾俗称小白虾,是中国大陆特有的经济虾类之一。由于具有生长快、繁殖性能好、抗病能力强等诸多优点,脊尾白虾养殖面积不断扩大,其养殖面积可占多元养殖池塘总养殖面积的三分之一<sup>[10]</sup>。目前,脊尾白虾养殖幼苗阶段采用人工配合饲料投喂,养殖阶段仍以“冰鲜饲料+人工配合饲料”混合投喂为主,迄今为止,尚未见全程投喂人工配合饲料的脊尾白虾的养殖报道。有关脊尾白虾的研究也局限在基因与环境互作作用<sup>[11,12]</sup>、功能基因的挖掘<sup>[13,14]</sup>、营养成分分析<sup>[15,16]</sup>及基因组学测序<sup>[17,18,19,20]</sup>等方面,对脊尾白虾的饲料投喂模式还未见报道。池塘多元养殖(pond polyculture)俗称混养,它能充分利用池塘空间,提升经济效益。目前与脊尾白虾混养的种类主要有梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)和拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)等,还未见与文蛤(*Meretrix meretrix*)混养的报道。本研究通过研究不同饲料投喂模式对与文蛤混养的脊尾白虾生长、消化酶、体成分及养殖水环境的影响,旨在为脊尾白虾的人工配合饲料开发及生态健康养殖提供科学参考与理论基础。

## 1 材料与方法

## 1.1 实验材料

实验所用脊尾白虾均取自江苏省文蛤良种场吕四基地,挑选健康活跃、大小基本一致的脊尾白虾[初始体重为(0.23±0.03)g],随机分配到室内水泥池中暂养 7 d。实验所用冰鲜饲料购自江苏启东金龙水产经营部,实验前融化后取肉糜使用(Diet1);所用配合饲料由启东施卫萍家庭农场配制(Diet3);混合饲料为肉糜与配合饲料按 1 : 1 的比例混合加水搅拌捻成饼状(Diet2)(表 1)。

表 1 饲料原料及营养成分分析

Tab.1 Formulation and nutrient level of the diets n=3; $\bar{x}\pm SD$ ;%

饲料编号 diet no.	主要原料 principal raw material	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash	水分 moisture
Diet1	冰鲜虾、蟹等 chilled shrimp and crab, etc	39.11±3.41	4.23±0.12	20.45±2.14	78.90±3.20
Diet2	豆粕、菜粕、冰鲜虾、蟹等 chilled shrimp, crab, soybean and rapeseed meal, etc	29.02±2.98	3.58±0.23	16.22±2.67	33.80±6.50
Diet3	豆粕、菜粕等 soybean and rapeseed meal, etc	24.85±3.63	3.46±0.12	14.27±3.26	10.30±2.00

## 1.2 实验设计与饲养管理

实验在江苏文蛤良种场吕四基地大棚内 9 个虾贝多元养殖池中进行,多元生态养殖池边设有平台用于文蛤养殖,深水区用于脊尾白虾养殖(图 1,图 2)。文蛤放养密度为 225 粒/m<sup>3</sup>,脊尾白虾放养密度为 150 尾/m<sup>3</sup>。实验设置 3 个实验组,即投喂冰鲜饲料组(Diet1 组),混合实验组(Diet2 组)和投喂人工配合饲料组(Diet3 组)。实验所用水为经过沙滤和黑暗沉淀的吕四近海水,实验期间采用小型气泵连续曝气,溶氧 DO>6.5 mg/L,水温 20~28℃,水质初始指标为:化学需氧量(COD)2.987 mg/L,氨氮 0.015 mg/L,亚硝酸盐 0.022 mg/L,硝酸盐未检出,无机氮 0.037 mg/L,无机磷 0.0021 mg/L,pH 7.5~8.5,实验期间每天 7:00 和 17:00 各投喂 1 次,投喂量为虾总体重的 5%,养殖实验共持续 45 d。

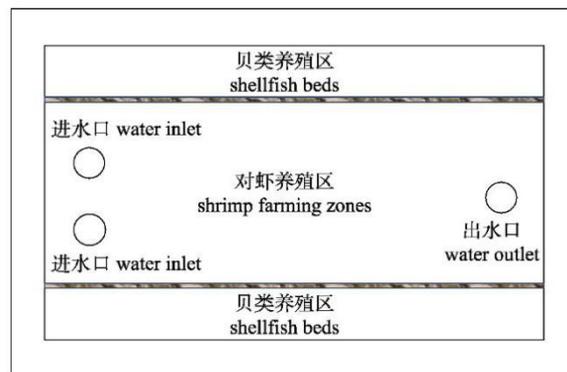


图 1 虾贝多元养殖池示意图

Fig.1 Diagram of the polyculture pond

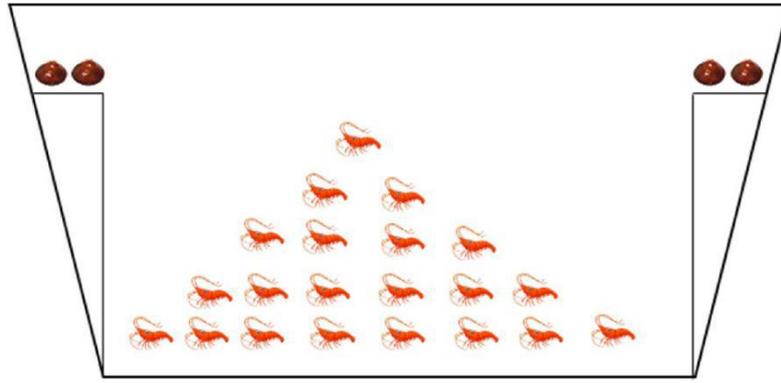


图 2 虾贝多元养殖池剖面图

Fig.2 Profile diagram of the polyculture pond

### 1.3 样品采集

分别于养殖实验的第 5 天、10 天、15 天、20 天、25 天、30 天、35 天、40 天和 45 天随机取 15 尾脊尾白虾,测量其体重,测量后迅速放回池中。同时在各时间点各取 500 mL 水样 4%甲醛溶液固定运回实验室,4°C冰箱保存,并用于水质指标测定。实验结束后,收集每个池中脊尾白虾,记录存活数并进行称重。然后随机取 5 尾脊尾白虾置于冰面解剖,取其肝胰腺,于 -80°C冰鲜保存,用于消化酶的测定。另取 10 尾虾-20°C保存,用于体成分分析。

### 1.4 指标测定

#### 1.4.1 生长性能分析

实验虾的存活率、增重率和特定生长率的计算公式如下:

存活率(survival rate, SR)= $n_t/n_0 \times 100\%$  ;

增重率(weight gain rate, WGR)=

$(W_{t2}-W_{t1})/W_{t1} \times 100\%$ ;

特定增长率(specific growth rate, SGR)=

$(\ln W_{t2}-\ln W_{t1}) \times 100\%/t$

式中, $n_t$ 为实验结束时脊尾白虾的数量, $n_0$ 为实验开始时脊尾白虾的数量, $W_{t2}$ 为每次采样时测定的虾的质量(g), $W_{t1}$ 为上次采样时测定的虾的质量(g), $t$ 为两次采样间隔时间(d)。

#### 1.4.2 消化酶活性的测定

实验所取脊尾白虾肝胰腺中蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶活性及总蛋白含量均采用南京建成生物工程研究所研制的试剂盒测定。

#### 1.4.3 体成分的测定

将整虾样品放入烘箱中,烘干至恒重,根据烘干前后质量的变化算出水分的含量。采用马

弗炉 550°C灼烧法(GB/T 5009.4-1985)测定灰分含量;索氏抽提法(GB/T 5009.6-1985,上海力辰邦西仪器科技有限公司,SZF-06B 脂肪测定仪)测定粗脂肪含量;凯氏定氮法(GB/T 5009.5-1985,上海力辰邦西仪器科技有限公司,HR-500 全自动定氮仪)测定粗蛋白含量。

#### 1.4.4 水质指标测定

实验测定的水质指标主要包括水体中的 COD、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、亚硝酸盐(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)、硝酸盐(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、无机氮(IN)、无机磷(IP);其中 COD 含量通过碱性高锰酸钾法测定;氨氮含量通过次溴酸盐氧化法测定;亚硝酸盐含量通过磺胺-盐酸萘乙二胺法测定;硝酸盐含量采用铈还原法测定;无机磷含量通过钼蓝分光光度法测定;无机氮含量计算公式如下:

$$C_{IN}=C_1+C_2+C_3$$

式中,C<sub>IN</sub> 为水体无机氮含量(mg/L),C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>及 C<sub>3</sub>分别为水体氨氮、亚硝酸盐及硝酸盐含量(mg/L)。

#### 1.5 数据处理

采用 SPSS19.0 软件对实验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)及 LSD 法多重比较,采用 OriginPro 2016 绘制柱状图。实验数据均用平均值±标准差( $\bar{X}\pm SD$ )表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同饲料投喂模式对脊尾白虾生长性能的影响

实验结束时,各实验组脊尾白虾的存活率均高于 90%,各实验组间死亡率没有显著差异(P>0.05)。投喂不同饵料对脊尾白虾生长性能的影响如图 3 所示。统计分析结果表明,在第 30 天之前,3 个实验组脊尾白虾体重差异不显著(P>0.05);在第 30 天后,Diet2 组脊尾白虾的体重显著高于 Diet1 组和 Diet3 组(P<0.05),而 Diet1 组与 Diet3 组之间差异不显著(P>0.05)。增重率和特定生长率随着实验的进行呈下降趋势,其中在 35 d 之前,Diet2 组脊尾白虾的增重率和特定生长率显著高于 Diet1 组和 Diet3 组(P<0.05),40 d 之后,各实验组增重率和特定生长率之间差异不显著(P<0.05)。

### 2.2 不同饲料投喂模式对脊尾白虾消化酶活性的影响

由图 4 所示,不同饲料投喂模式对脊尾白虾消化酶有一定影响。蛋白酶活性 Diet1 组最高 [(2.79 ± 0.35)U/mg(prot)],Diet2 组次之 [(2.40 ± 0.47)U/mg(prot)],Diet3 组最低 [(1.74±0.36)U/mg(prot)]。Diet1 组蛋白酶活性显著高于 Diet3 组(P<0.05)。Diet1 组、Diet2 组和 Diet3 组脂肪酶活性分别是[(1.33±0.18)U/mg(prot)]、[(1.25±0.11)U/mg(prot)]、[1.12±0.18 U/mg(prot)],3 个实验组脂肪酶活性无显著差异(P>0.05)。淀粉酶活力 Diet3 组最高

[(34.49 ± 1.19)U/mg(prot)],Diet2 组次之 [(32.53 ± 1.33)U/mg(prot)],Diet1 组最低 [(28.51±2.10)U/mg(prot)]。Diet2 组淀粉酶活性显著高于 Diet1 组(P<0.05),与 Diet3 组无显著差异(P>0.05)。

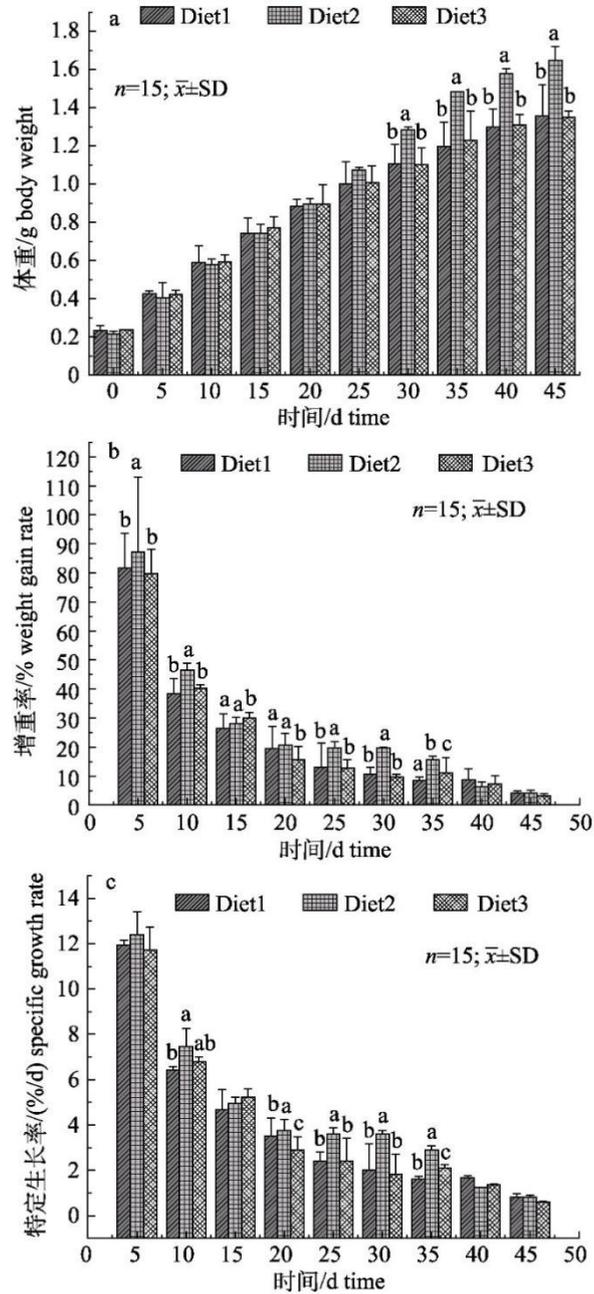


图3 不同饲料投喂模式对脊尾白虾生长性能的影响 Diet1:冰鲜饲料组;Diet2:混合投喂组;Diet3:人工配合饲料组.柱状图上方不同的小写字母表示同一时间不同实验组之间差异显著(P<0.05).

Fig.3 Effects of different feeding modes on growth performance of *Exopalaemon carinicauda* Diet1: chilled feed group; Diet2: chilled feed+artificial diet group; Diet3: artificial diet group. Different letters indicate significant differences between different groups at the same time(P<0.05).

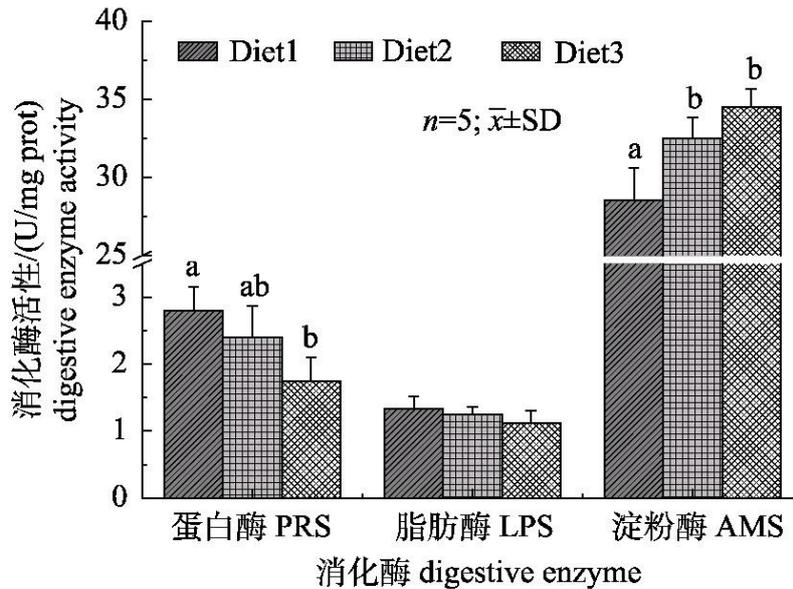


图 4 不同饲料投喂模式对脊尾白虾消化酶活性的影响 Diet1:冰鲜饲料组;Diet2:混合投喂组;Diet3:人工配合饲料组.柱状图上方不同的小写字母表示同一种酶不同实验组之间差异显著( $P < 0.05$ ).

Fig.4 Effects of different feeding modes on digestive enzyme activity of *Exopalaemon carinicauda* Diet1:chilled feed group;Diet2:chilled feed+artificial diet group;Diet3:artificial diet group.Different letters indicate significant differences between different groups for the same enzyme( $P < 0.05$ ).

### 2.3 不同饲料投喂模式对脊尾白虾体成分的影响

由表 2 可知,不同饲料投喂模式对脊尾白虾体成分有一定影响。其中 Diet2 组脊尾白虾粗蛋白含量最高,Diet1 组次之,Diet3 组最低,Diet2 组脊尾白虾粗蛋白含量显著高于 Diet3 组 ( $P < 0.05$ ),与 Diet1 组差异不显著( $P > 0.05$ )。Diet2 组脊尾白虾水分含量显著低于 Diet1 组和 Diet3 组( $P < 0.05$ )。各实验组之间脊尾白虾粗脂肪含量与灰分含量差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.4 不同饲料投喂模式对脊尾白虾养殖水质的影响

#### 2.4.1 不同饲料投喂模式对脊尾白虾养殖水体 COD 含量的影响

由图 5a 所示,随着实验的进行,各实验组脊尾白虾养殖水体 COD 含量均呈上升趋势。在实验进行 30 d 时,Diet1 组和 Diet2 组水体 COD 含量均超过 10 mg/L;在实验进行 40 d 后,各实验组 COD 含量均超过 10 mg/L(SC/T 9103-2017 水产行业一级排放标准)。实验进行 20 d 后,Diet1 组和 Diet2 组水体 COD 含量显著高于 Diet3 组( $P < 0.05$ );在 20~40 d 时,Diet1 组和 Diet2 组差异不显著( $P > 0.05$ );第 45 天时,Diet1 组水体 COD 含量显著高于 Diet2 和 Diet3 组,且 Diet2 组 COD 含量也显著高于 Diet3 组( $P < 0.05$ )。

表 2 不同饲料投喂模式对脊尾白虾体成分的影响

Tab.2 Effects of different feeding modes on whole body composition of *Exopalaemon carinicauda*  
n=10; $\bar{x}\pm SD$ ;%

饲料编号 diet no.	采样时间/d time	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash	水分/ moisture
Diet1	45	70.16±1.58 <sup>ab</sup>	4.44±0.87 <sup>a</sup>	15.83±2.33 <sup>a</sup>	80.00±2.80 <sup>a</sup>
Diet2	45	72.37±2.44 <sup>a</sup>	4.88±0.28 <sup>a</sup>	16.02±1.25 <sup>a</sup>	72.30±3.50 <sup>b</sup>
Diet3	45	67.21±1.67 <sup>b</sup>	4.21±0.39 <sup>a</sup>	15.39±2.47 <sup>a</sup>	78.50±2.00 <sup>a</sup>

注:Diet1 表示冰鲜饲料组;Diet2 表示混合投喂组;Diet3 表示人工配合饲料组;同列数据上标不同字母表示存在显著差异(P<0.05).

Note:Diet1 indicates chilled feed group;Diet2 indicates chilled feed+artificial diet group;Diet3 indicates artificial diet group.Values in the same column with different superscripts are significantly different from each other(P<0.05).

#### 2.4.2 不同饲料投喂模式对脊尾白虾养殖水体无机氮(IN)含量的影响

由图 5e 所示,随着实验的进行,各实验组水体无机氮含量均呈上升趋势,实验在第 45 天时,仅有 Diet1 组水体无机氮含量超过 1 mg/L(SC/T9103-2017 水产行业一级排放标准),Diet2 组和 Diet3 组水体无机氮含量均介于 0.1~1 mg/L 之间,符合二级排放标准。在实验第 5~45 天时,Diet1 组水体无机氮含量显著高于 Diet3 组(P<0.05)。由图 5b 所示,随着实验的进行,各实验组水体氨氮含量均呈上升趋势。水体氨氮含量由高到低依次为 Diet1 组、Diet2 组、Diet3 组,其中 Diet1 组水体氨氮含量显著高于 Diet3 组(P<0.05)。由图 5c 和图 5d 所示,各实验组水体亚硝酸盐和硝酸盐含量总体呈上升趋势,在实验结束时,Diet1 组水体亚硝酸盐和硝酸盐含量显著高于 Diet2 组或 Diet3 组(P<0.05)。

#### 2.4.3 不同饲料投喂模式对脊尾白虾养殖水体无机磷(IP)含量的影响

由图 5f 所示,随着实验的进行,各实验组水体无机磷含量均呈上升趋势,在第 20 天时,各实验组水体无机磷含量均超过 0.1 mg/L(SC/T9103-2017 水产行业二级排放标准)。水体无机磷含量由高到低依次为 Diet1 组、Diet2 组、Diet3 组,其中 Diet1 组水体无机磷含量显著高于 Diet3 组(P<0.05)。

### 3 讨论

#### 3.1 不同饲料投喂模式对脊尾白虾生长性能的影响

在生产养殖过程中,饲料被认为是决定水产动物生长和盈利的重要因素之一。不同饲料因其可得性、适口性、诱食效果及糖类、蛋白、脂肪等营养成分差异,对养殖对象生长性能有不同的影响<sup>[21]</sup>。许多研究发现“鲜活饵料+人工配合饲料”混合投喂模式有利于长薄鳅(*Leptobotia elongata*)<sup>[21]</sup>、南美白对虾<sup>[22]</sup>和中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)<sup>[23]</sup>等的生长。本研究发现,不同饲料投喂 30 d 后,Diet2 组脊尾白虾的体重显著高于 Diet1 组和 Diet3 组(P<0.05),

而 Diet1 组与 Diet3 组之间差异不显著( $P>0.05$ ),在实验第 35 天之前,Diet2 组增重率和特定生长率也显著高于 Diet1 组和 Diet3 组( $P<0.05$ )。一方面可能是因为投喂单一类型饲料,造成脊尾白虾营养不均衡;另一方面可能因为单一冰鲜饲料或人工配合饲料其所含蛋白或糖类水平不在脊尾白虾最佳利用范围。董兰芳等<sup>[24,25]</sup>研究发现,拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)幼蟹饲料蛋白质适宜水平为 49.03%,糖类最适添加水平为 29.93%。达到此水平时,拟穴青蟹幼蟹生长显著高于其余添加量( $P<0.05$ ),姜松等<sup>[26]</sup>研究发现饲料蛋白水平达到 38%时,斑节对虾(*Penaeus monodon*)可获得较快的生长。本研究推测脊尾白虾饲料蛋白质适宜水平应与 Diet2 组接近,数值在 29.02%左右。因此,脊尾白虾饲料蛋白质添加水平还需进行定量化研究。另外,曹梅等<sup>[27]</sup>研究发现粗脂肪含量达 8.67%时,能显著促进脊尾白虾生长,而本研究中各组饲料中脂肪均远小于此值(最高水平为 4.23%),难以满足脊尾白虾生长需要,也是限制脊尾白虾生长的原因之一。

### 3.2 不同饲料投喂模式对脊尾白虾消化酶活性的影响

饲料组成是影响甲壳动物消化酶活性的重要因素<sup>[28]</sup>。甲壳动物在摄食不同组成的饲料后消化酶分泌量会出现差异,以便更好地消化、吸收和利用饲料中的营养物质<sup>[29]</sup>。本研究结果显示,各实验组淀粉酶活性显著大于蛋白酶和脂肪酶活性( $P<0.05$ )。其可能原因是,各实验组饲料组成成分中淀粉或糖类水平都比较高。从 Diet1 组至 Diet3 组,饲料中蛋白水平逐渐降低,而脊尾白虾蛋白酶活性逐渐降低,淀粉酶活性逐渐提高。蛋白酶和淀粉酶活性的变化正是脊尾白虾对饲料蛋白质和糖含量变化的适应,与拟穴青蟹<sup>[25]</sup>、克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)<sup>[30]</sup>等消化酶活性变化规律一致。另外,由于饲料中脂肪均处于较低水平,且无显著差异( $P>0.05$ ),故脊尾白虾脂肪酶活性很低,且无显著差异( $P>0.05$ )。而潘鲁青等<sup>[29]</sup>认为甲壳动物的脂肪酶活性测不出或者活性很低,是目前脂肪酶检测方法存在问题,董兰芳等<sup>[25]</sup>在研究不同蛋白质水平对拟穴青蟹幼蟹的脂肪酶的影响时,也得出相似结论。

### 3.3 不同饲料投喂模式对脊尾白虾体成分的影响

不同饲料因其组成成分的差异,对养殖对象的体成分有不同程度的影响。一般来说,随着饲料蛋白质水平的提高,动物体内蛋白质含量会有所升高,达到一定程度后趋于稳定<sup>[31]</sup>。陈曦飞等<sup>[32]</sup>和宋青青等<sup>[33]</sup>认为,动物机体合成组织蛋白的能力有一定上限,吸收到体内的氨基酸首先被用于机体组织蛋白的更新与修复,若有剩余则合成蛋白用于生长,若仍有剩余,这部分氨基酸将作为能源被消耗<sup>[25,34]</sup>。本研究结果显示,从 Diet1 组至 Diet3 组饲料中蛋白水平逐渐降低,而 Diet2 组脊尾白虾粗蛋白含量最高,Diet1 组次之,Diet3 组最低,其中 Diet2 组粗蛋白含

量显著高于 Diet3 组( $P<0.05$ ),与 Diet1 组差异不显著( $P>0.05$ )。可能是由于脊尾白虾机体合成蛋白的能力在摄入饲料蛋白量 29.02%(Diet2 组)时,达到了上限。该结果与拟穴青蟹<sup>[25]</sup>、斑节对虾<sup>[27]</sup>及日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)<sup>[35]</sup>等研究结果相似。此外,Diet2 组脊尾白虾水分含量显著低于 Diet1 组和 Diet3 组( $P<0.05$ ),可能是由于脊尾白虾体内蛋白积累所致,姜松等<sup>[27]</sup>及张凌燕等<sup>[36]</sup>均得出相似结论。灰分主要是由甲壳质及钙质形成<sup>[29]</sup>,本研究中各实验组之间灰分含量差异不显著( $P>0.05$ ),说明投喂上述 3 种不同饲料对脊尾白虾壳质形成影响不显著。甲壳动物体脂主要是靠摄入高糖类的饲料维持<sup>[27]</sup>。本研究中各实验组之间脊尾白虾粗脂肪含量差异不显著( $P>0.05$ ),其原因可能是不同饲料中糖类含量虽有差异,但不足以在脊尾白虾体内形成过多脂肪。

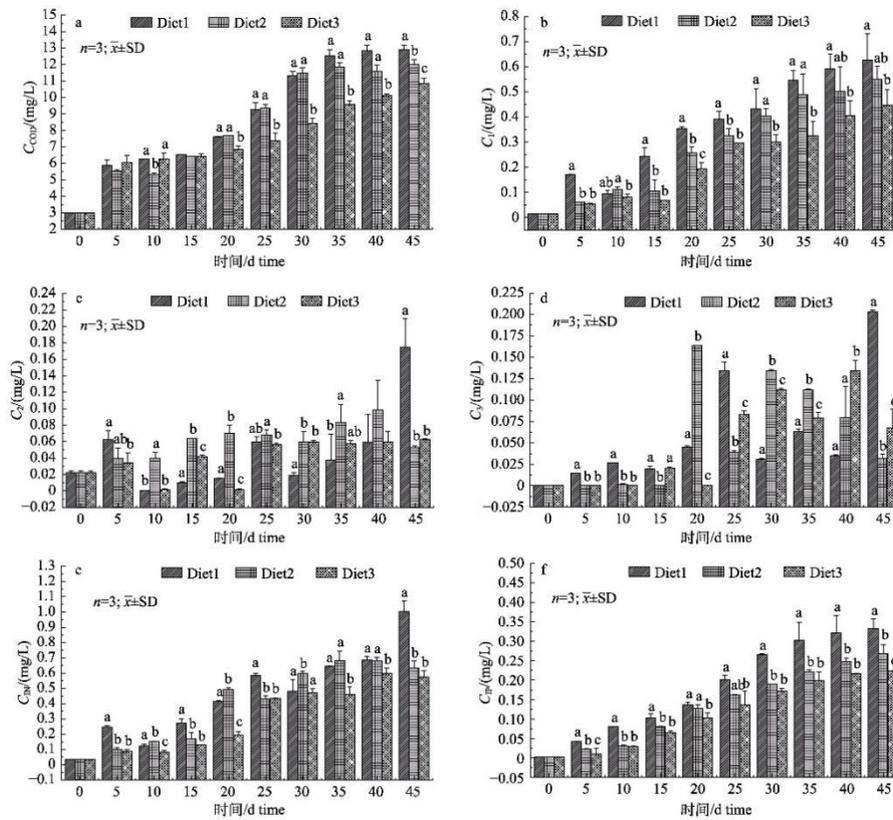


图 5 不同饲料投喂模式对脊尾白虾养殖水质的影响

Fig.5 Effects of different feeding modes on aquaculture water quality of *Exopalaemon carinicauda*

Diet1:冰鲜饲料组;Diet2:混合投喂组;Diet3:人工配合饲料组; $C_{COD}$ :COD 含量; $C_1$ , $C_2$ , $C_3$  分别指氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐含量; $C_{IN}$ :无机氮含量; $C_{IP}$  无机磷含量.柱状图上方不同的小写字母表示同一时间不同实验组之间差异显著( $P<0.05$ ).

Diet1:chilled feed group;Diet2:chilled feed+artificial diet group;Diet3:artificial diet group. $C_{COD}$ :concentration of COD; $C_1$ , $C_2$ , $C_3$ refer to concentration of ammonia nitrogen,nitrite and nitrate,respectively; $C_{IN}$ :concentration of inorganic nitrogen; $C_{IP}$ :concentration of inorganic phosphorus.Different letters indicate significant differences between different groups at the same time( $P<0.05$ ).

### 3.4 不同饲料投喂模式对脊尾白虾养殖水体水质的影响

饲料作为外来营养源,在被养殖对象摄食后,经过微生物作用主要以无机氮和无机磷形式进入水体,进而提高水体的氮磷含量<sup>[37]</sup>。随着养殖时间的延长,水体无机氮和无机磷含量逐渐积累。本实验结果显示,Diet1 组水体无机氮和无机磷含量显著高于 Diet3 组( $P<0.05$ )。其原因可能是冰鲜饲料中氮磷含量高于人工配合饲料。氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐会影响养殖对象的生长发育。有研究表明氨氮和亚硝酸盐含量的升高会降低水产动物的免疫能力,损伤机体组织器官,导致其生长速度减缓,氨氮含量过高甚至会导致水生动物发生死亡<sup>[38,39]</sup>。而本研究中脊尾白虾增重率与特定生长率逐渐降低,推测氨氮和亚硝酸盐对脊尾白虾的生长具有抑制作用,李志辉等<sup>[40]</sup>在研究不同养殖密度对脊尾白虾生长和水质氨氮含量的影响时,也得出相似结论。因此在实际养殖过程中,可适当减少冰鲜饲料的投喂,以减缓水体氨氮和亚硝酸盐含量的积累。另外,本养殖实验过程中,养殖水体 COD 含量及无机氮含量均符合 SC/T 9103-2017 水产行业二级排放标准( $0.1\text{ mg/L}$ ),而养殖 20 d 后,养殖水体各实验组无机磷含量均超过 SC/T 9103-2017 水产行业二级排放标准,造成水体富营养化现象,建议在实际养殖过程中要清除水体中残饵和粪便,并通过栽培水生植物或藻类对水体无机磷进行有效控制。

## 4 结论

鉴于冰鲜饲料对水体高污染的现状,环保部门已逐渐限制甚至禁用投喂冰鲜饲料,研制环保型人工配合饲料仍是大势所趋。然而受限于目前饲料加工条件与营养添加水平,全程使用人工配合饲料还不能满足生产需要,“冰鲜饲料+人工配合饲料”混合投喂模式仍将继续存在。通过本研究发现,采取“冰鲜饲料+人工配合饲料”混合投喂模式,有利于脊尾白虾的生长、消化及蛋白积累,因此在目前实际养殖过程中仍广泛使用。然而这种投喂方式对养殖水质仍存在一定的污染,因此,要加快研制满足脊尾白虾生长的环保型人工配合饲料,以满足脊尾白虾可持续生产的需要。

参考文献: 略

原文刊登在《中国水产科学》2020,27(09),1075-1084 DOI:10.3724/SP.J.1118.2020.20008