



福建省水产饲料研究会 信息简报

B-2088184-5

第 20 期 (总第 322 期)

2020 年 10 月 31 日

行业会议

第三届中国鳊鱼产业论坛 2020 暨清新“桂花鱼”品牌战略启动仪式在广东清远举办！

2019 年，国内鳊鱼全产业链产值近 700 亿元，产量 33 万吨。2020 年，鳊鱼以广东省 2021-2025 年重点发展地方优势水产品种之一的全新身份蜕变而来。目前，广东省鳊鱼产量超过 10 万吨，约占全国产量的 1/3，鳊鱼苗产量占全国的 90%，且在良种繁育、病害防控、饲料应用、养殖模式创新等关键环节走在全国前列。

为了进一步巩固与扩大广东鳊鱼产业优势，促进三产融合，打造广东鳊鱼品牌，10 月 30 日，由中国渔业协会、广东省农业农村厅指导，广东省渔业技术推广总站、清远市农业农村局、清远市清新区人民政府的共同支持，水产前沿、广东省水产学会主办，海大集团、鳊鱼前沿承办，清远容海科技养殖有限公司协办的“第三届中国鳊鱼产业论坛（2020）暨‘清新桂花鱼’品牌战略启动仪式”今天正式开幕！



广东省农业农村厅渔业发展处副处长李云伟，广东省水产学会理事长吴灶和，广东省渔业协会巡视员姚国成，清远市农业农村局副局长曾辉，清远市清新区区委常委、副区长李灿成，清远市清新区人民政府办公室副主任罗宁，清新区农业农村局党组书记、清新区

农办扶贫办常务副主任王家文，华中农业大学梁旭方教授，农技推广研究员叶卫，中国水产科学研究院珠江水产研究所叶星研究员，中山大学董传甫副教授，广东省农业科学院动物科学研究所郑春田副所长，中国水产科学研究院珠江水产研究所廖国礼助理研究员，海大集团项目管理副总监孙明华，清远容海养殖科技有限公司流通板块总经理李想，清远容海养殖科技有限公司养殖板块总经理李翹宇，水产前沿熊思先生，水产前沿执行董事揭小丽女士以及其他清远市和清新区的相关领导出席了本次会议，近 300 名全国各地的鳊鱼企业代表和养殖户代表共聚一堂，共襄盛会！

清远市清新区区委常委、副区长李灿成在致辞中提到，清新养殖鳊鱼（俗称“桂花鱼”）已经有 30 年的历史了。清新区目前年产鳊鱼约 1 万吨，年产值 5 亿元，具备一定的规模优势、水源优势和品质优势。近年来，桂花鱼已成为清远市、清新区两级政府重点主推的水产养殖品种。

近年来清新区大力发展桂花鱼产业，加大力度推动桂花鱼的饲料化，建设大型冻库，收储桂花鱼，为清新桂花鱼产业托底，扩大清新桂花鱼的品牌影响力，将“清新桂花鱼”打造成享誉全国的地理标志产品。目前清新区正在根据桂花鱼的品质特性开展深加工产品开发，并且整合成熟的流通资源，拓展销售渠道，为农户提高收益，同时与清远丰富的旅游资源结合起来，实现可持续发展。

本次会议的主办方代表水产前沿熊思先生也在开幕致辞中表示，近年来，鳊鱼产业受到了越来越多的关注，原因大致有两个：臭鳊鱼卖得越来越好；饲料养鳊鱼技术正逐步成熟。整个鳊鱼产业的大发展，就差临门一脚。

今天举办的第三届中国鳊鱼论坛，由广东省水产学会、海大集团、水产前沿，共同组织，得到了中国渔业协会、广东省农业农村厅的指导，清远市农业农村局、清新区政府的大力支持。本届鳊鱼论坛不光是学界、产业界的力量，还有政府、协会的大力参与。我们相信，政府与协会的高度参与，将大大推动鳊鱼产业转型升级的进程。

上午，大会还举行了隆重的“清新桂花鱼”品牌启动仪式。

中国鳊鱼产业现状及发展前景

报告嘉宾：华中农业大学**梁旭方**教授：这几年鳊鱼整体发展较好，产量一直增加，大约 34 万吨，不过养殖面积与产量增长不大一致。广东目前依然稳居全国第一，近年来长江中部区域发展迅速，湖北可能排到全国第二，看发展势头后劲十足。鳊鱼的价格在淡水鱼中应属最高，不过最近趋势不太乐观，虽然产值依然居于前茅，达到 200 多亿元。

鳊鱼养殖模式并没有体现根本性变化，30 多年来还是以广东为代表的活饵养殖占据主流。但传统活饵池塘养鳊生产污染严重，难以持续绿色发展；配套饵料鱼生产供应保障困难也制约了鳊鱼的养殖规模与全国推广；活饵料鱼常携带病原而诱发鳊鱼发病，滥用药物还会导致鳊产品质量安全问题。

长江中下游现在大量发展蟹塘养鳊，对环境更为友好，效益巨大，且还可能继续增加，打造高质品牌。鳊鱼产业的未来还是要符合国家绿色发展理念，强化绿色植物作用。除了池塘，工厂化养殖发展迅速，特别是在长江下游，政府支持力度很大。

我认为吃饲料养出来的鱼，比吃饵料的拥有更高的营养价值。不过，饲料养鳊发展迅猛但缺乏科学引领，除了驯化技术以外，关键在于饲料质量以及其稳定性。目前，鳊鱼养殖生产还存在饲料覆盖度低、养殖效果较差及营养代谢障碍等问题。原因：1、为减低饲料成本，过量使用植物蛋白、植物油，而鳊鱼对植物性蛋白接受能力差，添加量建议在 10% 以下，菜粕少一些，豆粕可以多一点。2、膨化饲料淀粉含量过高，淀粉量一旦超出 8%，养两个月鳊鱼肝脏就会出问题。但如果淀粉含量过低，膨化效果较难把控。另外，随着饲料中脂肪添加量上升，鱼体脂肪蓄积增加，脂肪添加量超过 17% 会抑制鳊鱼 TOR 通路，导致鳊鱼生长减慢。

清新桂花鱼品牌升级之路

报告嘉宾：清远容海养殖科技有限公司养殖技术工程师**周晨辉**：清新桂花鱼是指亲本经清新辖区内养殖驯化选育，且采取生态养殖模式养殖的桂花鱼。桂花鱼被誉为“淡水鱼之王”，是鱼中之佳品。而清新桂花鱼更具有嫩滑、鲜美、浓香等一流品质，且营养丰富。

清新桂花鱼盛名已久。从 1990 年引进原种试验人工养殖开始，清新区便开始示范推广池塘混养桂花鱼技术，到 1996 年清新区已成为清远最大的桂花鱼生产基地，2003 年成为省内重要的桂花鱼生产基地。2010 年产业纳入区“3+X”特色产业体系，2018 年海大集团（清新）桂花鱼省级现代农业产业园申报成功，近期清新区正在着手申报国家级农产品地理标志、省级科技园区建设。

海大（清新）桂花鱼在政府引导下，重品质、扩规模、塑形象、搞推广，协同各企业共同打造高品质、高效益的清新桂花鱼产品。未来海大还将坚持政府引导，有规划，科学的联合其他企业，做强做大清新桂花鱼品牌。

鳊鱼良种选育最新进展

报告嘉宾：中国水产科学研究院珠江水产研究所**叶星**研究员：水产良种对产业增长贡献率在 40%以上。缩短养殖周期可以有效降低养殖风险和成本，而鱼长得快不快，种苗是决定性因素。鳊鱼养殖连年增长，对良种的需求量巨大，优质种苗供不应求。另外，鳊鱼养殖生产上存在着生长速度慢、个体生长分化程度大、成活率低的情况，因此迫切需要进行开展鳊优良品种的培育。

由于长期人工繁殖过程忽视对亲鱼的选育及亲本提纯复壮，出现鳊生长速度下降、抗病力差等种质退化现象，严重影响养殖效益，也危及产品质量安全，因此迫切需要培育鳊优良品种。采集野生鳊鱼群体，进行遗传多样性及遗传结构特性分析很有必要。经研究发现，所采集的 5 个鳊鱼群体中以湖北黄冈野生群体的遗传多样性水平最高，个体间出现极显著的遗传分化（ $P<0.01$ ），而群体间遗传分化属于中低水平；遗传变异 5.44%来自群体间，90.42%来自群体内，说明具有选育潜力。相较野生群体，养殖群体的遗传多样性有所下降，提示长期的人工繁殖活动对鳊鱼遗传多样性产生了一定程度的影响，因此应适当引入野生种质资源、使养殖群体维持较高的遗传多样性、保证我国鳊鱼养殖业健康持续发展。

鳊鱼产业目前存在以下问题：1.育苗与养成期病害问题严重，应重视病原检测；2.苗种质量参差不齐，优质苗种缺乏；3.部分养殖者对生态养殖认知不足；4.生态调控投入品有待规范与监管；5.鳊鱼市场价格波动大，亟待宏观引导；6.产业链上各生产经营环节应有互利共赢的理念。

鳊鱼病害研究进展及防控方法

报告嘉宾：中山大学**董传甫**副教授：鳊传染性脾肾坏死病毒（ISKNV），国内鳊长期以来头号病原。发病后死亡率很快飙升，可高达 90%以上，通常两周内停止；康复鱼很少，但不用担心起再次发病，康复鱼血清具强大中和病毒功能，可作为育种的亲本。目前已研发出效力超过 90%的鳊 ISKNV 疫苗，不久后将上市。

强烈建议育种场对亲本进行免疫，可做到子代公分苗不带毒，但并不意味子代鳊苗具备抗病毒能力；商品鱼需及时免疫，可有效预防 ISKNV 病毒病发生，可安然度过 ISKNV 发病高危期。

渔用疫苗的投入盈亏点取决于疫苗的免疫效力、病原的危害性、发病概率及损耗程度，大致上不打疫苗造成的损失的 1%的费用用来实施疫苗免疫，即可挽回发病损失。

对于病毒性病原，特别是动物病毒病，疫苗接种是预防疾病发生的唯一有效途径，但单靠疫苗无法解决所有的疾病问题；良好的管理措施是减少疾病传播的必要途径。

鳊鱼人工驯饲与饲料养殖关键技术

报告嘉宾：海大集团研究院**张含乐**博士：目前，鳊鱼饲料在市场上的推广比例远远低于其他养殖鱼类，但我相信未来鳊鱼必定是一个非常庞大的产业，拥有巨大的饲料容量空间。相较饵料鱼，人工配合饲料营养浓度高且均衡，脂肪达 12%以上，投喂方便，但亦存在驯化过程，投喂不够稳定，闭口、收肚等现象。

因此需要针对鳊鱼不吃料来解决问题，首先在饲料物理外观上，如长度、软化时间、弹性以及沉浮性要多加注意。鱼粉的新鲜度大于其他来源，评估鳊鱼对不同来源不同品质鱼粉的消化率，依据可消化营养对饲料配方进行优化；另外，饲料添加剂的新鲜度也会影响鱼粉蛋白的表达效果，饲料油脂的抗氧化对增加采食率有一定效果。再者，筛选诱食剂组合，稳定投喂和加料。

在驯饲方面，1.要选择规格接近，体质健康的鱼进行驯化；2.动静结合，前 3 天投活鱼适应网箱，之后不断降低饵料活动性，按照活鱼、半活鱼、死鱼、以及死鱼+饲料，渐变驯化；3.把握节奏变化，选择晨昏等低照度环境，在驯化过程中适时停料一天，靠鱼类饥饿感和摄食惯性加大对饲料摄入；4.观察分筛，鳊鱼大吃小严重，驯化过程中要提筛观察吃料鱼比例，20 天左右及时分筛。

在养成方面，1.饲料投喂，投喂模式要和规格、季节匹配，投喂率和投喂频率需要动态调整；2.监控水体氨氮、亚盐变化，提供适宜的生长环境；3.定期观察寄生虫等疾病感染情况，做到提前发现，提前预防和治疗；4.鳊鱼营养代谢压力大，养殖过程要积极调理其肝肠功能。

鳊鱼苗种培育与品质把控

报告嘉宾：农技推广**叶卫**研究员：鳊鱼苗种培育的方法主要还是采用池塘培育和水泥池培育。鳊鱼苗种培育的关键是及时提供足够的适口饵料鱼，及时过筛分规格培育，也是提高鳊鱼苗种培育成活率的重要措施。当鳊鱼苗达到 4-5 厘米规格后，可以继续投喂饵料鱼，也可以驯食配合饲料。

鳊鱼的品质把控关键在于种质优良、病毒检测、水质管控、病害防治等。选择种质优良的鱼苗、选择不带病毒的苗种是养殖成功的关键，购买前建议委托第三方进行病毒检测。

病害防治需严格执行卫生防疫制度，以防为主，鱼苗进池要经过消毒；每天巡池，观察鱼的活动情况，及时发现问题及时处理；对水体进行定期消毒；发现病虫害及时准确用药。

如何有效降低鳊鱼养殖成本

报告嘉宾: 中国水产科学研究院珠江水产研究所廖国礼助理研究员: 针对珠三角土塘、亩产 5000 斤的养殖模式, 大约 7 成养户亏本, 2 成平本, 仅 1 成盈利。病害是主要的风险来源, 降低病害暴发就大大降低养殖风险。

因此要选好种苗, 哪怕提高种苗成本, 因为好苗畸形率相对较低, 能提升达标商品鱼成数, 增加亩利润。而且好苗长速快, 缩短养殖周期, 降低料比和病害风险, 料钱、电费、动保也能相应降低一些。投苗后计好出售时间, 每 10-15 天抛网称重 1 次, 有价早出, 按规格鱼早出, 卖鱼不等价。

养鳊鱼最为普遍的病害是肠炎, 表现为浮便。投放饵料鱼时, 若池塘溶氧不足, 容易导致鳊鱼肠炎暴发。由于肠道既是消化器官, 也是免疫器官; 肠炎后, 肝胆、鳃部都会由此引致病变。因此, 宜避开急变温、大雨等极端天气时投饵料鱼; 饵料鱼投放要少量多次, 每次投入大约 3-4 天的量; 投放饵料鱼后, 马上补充其他增氧措施, 同时, 使用中药+维生素, 减少因暴食引发肠炎。

鳊鱼养成中后期, 池塘微量元素与碳源不平衡导致常常出现单一藻相和菌相; 温差大、溶氧不足极易引起倒藻死菌, 进一步加重底部有机质沉积、恶化底部。鳊鱼是底层肉食性鱼, 饲养过程是有机质不断沉积于塘底的过程, 保持塘底干净最好办法, 就是让有机质上浮, 通过 24 小时开增氧机保持水体滚动不停。另外, 定期补充土著菌活性微量元素、多维和碳源等水体营养, 稳定碱度和硬度。

摘自水产前沿微信公众号

中国水产流通与加工协会养殖蛙类产业分会在江苏正式成立

“中国蛙类产业发展是由市场拉动的, 且只有短短十年, 诸多原因造成了行业无序发展。尾水排放导致的环保问题、高密度养殖带来的药残及食品安全等问题, 已经成为制约蛙类产业发展的两大痛点。但同时, 市场需求巨大, 与小龙虾产业相比更具有全季特征, 未来前景广阔。”江苏中洋集团总裁钱晓明首先致辞: 为解决行业痛点、规范发展蛙类产业, 中洋集团已经有所探索, 建立了从下游市场、中游加工到上游养殖的全产业链模式, 但行业的健康有序发展不能单靠一两个企业, 而是需要相关部门、科研机构和企业共同努力。此时, 养殖蛙类产业分会的成立显得十分重要。

2020 年 10 月 28 日, 由中国水产流通与加工协会主办, 江苏中洋生态鱼类股份有限公司承办。农业农村部渔业渔政管理局一级巡视员李书民、中国水产流通与加工协会崔和会

长、中国水产科学研究院淡水渔业研究中心徐跑主任、中国科学院动物研究所孟智斌副研究员、农业农村部渔业渔政管理局行业发展处王雪光处长、江西省农业农村厅渔业渔政局张金保局长、广东省农业农村厅三级调研员刘乃安、江苏省农业农村厅科员刘小维主任、海安市农业农村局于木军副书记、江苏中洋集团钱晓明总裁，广东、江苏省以及南通市、海安市领导等出席会议，来自全国十几个省市的行政主管部门、科研院所、推广部门、企业和媒体代表 100 余人出席会议，共商蛙类产业发展大计。



江苏省农业农村厅渔业处刘小维表示，江苏是著名的鱼米之乡，水域资源丰富、水产品丰富多彩，渔业经济领先全国。蛙类作为特色养殖水产品，在养殖端形成了一定规模，消费端深受年轻群体喜爱，前景巨大。养殖蛙类产业分会的成立将对进一步规范和提升蛙类养殖、流通以及加工等蛙类产业链的发展起到积极的促进作用。

农村部渔业渔政管理局一级巡视员李书民强调，2019 年，中国蛙类产量 60 万吨，价值 2000 亿元，发展迅猛。但技术落后、疫病防控、药残超标、尾水排放等问题十分突出。他希望通过分会为推动蛙类产业规范有序生产作出贡献。

中国水产流通与加工协会会长崔和表示，养殖蛙类产业分会的成立将是一个契机，希望分会协同行业内成员，通过行业自律，步步为营解决问题，出台行业规范和标准，制定市场准入条件，实现蛙类产业规范生产，合作共赢。



首届会长确定 组织框架、成员及会徽公开

此次会议中，宣读了“中国水产流通与加工协会养殖蛙类产业分会成立的决定”，并宣布聘任江苏中洋生态鱼类股份有限公司刘大勇总经理为养殖蛙类产业分会首届会长。

刘大勇会长在讲话中认为，担任分会首届会长，倍感荣幸，也责任重大。分会成立之后，将从三个方面开展工作。一，充分发挥分会在政府和企业之间的桥梁、纽带作用；二，完善行业产业链，从上游养殖、中游加工、下游市场各环节展开科研攻关，通过产业链优势为供应链赋能，以纵向合作、横向交流，推动产业规范发展；三，开展蛙类保种、育种、新品种开发等科学研究。

刘大勇会长宣布了养殖蛙类产业分会的组织框架，常务理事、理事及会员单位覆盖江西、湖北、湖南、广东等 11 个省份，形成以牛蛙、黑斑蛙、棘胸蛙等品种为主体的蛙类养殖、饲料、加工、动保、餐饮和贸易企业为成员的分会框架，同时还组建了由行政及科研团队组成专家顾问组，由中国水产科学研究院淡水渔业研究中心主任徐跑担任专家委员会主任。农业部渔业渔政管理局李书民一级巡视员等领导为常务副会长、副会长、专家颁发证书。会上宣读了《中国水产流通与加工协会养殖蛙类产业分会工作细则和产业自律公约》，并揭晓会徽。

强强联手打造万亿规模大品类

会议期间同时举行了养殖蛙类产业分会与天猫进行了战略合作签约。双方依托各自优势，共建蛙类产业新秩序，将蛙类产品打造成百姓喜爱的万亿规模大品类。

在产业对话环节中，养殖蛙类产业分会刘大勇会长、中国科学院动物研究所孟智斌研究员、集美大学水产学院院长张春晓院长、通威股份有限公司郭异忠总裁、天猫生鲜负责人沫海参加讨论，大家分别从生态安全保护、养殖规范和产品品质、科技促进产业发展、新零售模式等热点话题进行探讨。会议同期还召开了养殖蛙类产业分会一届一次理事会，审议通过了张大勇等 3 人担任分会副秘书长议案，探讨了开展可追溯体系工作、制定养殖规范等工作计划。与会代表就产业发展面临的难题进行了探讨，并为产业发展献计献策。活动期间，与会人员参观了中洋现代渔业科技产业园，听取了中洋集团广东清远牛蛙产业基地的介绍。

据了解，中洋集团致力于打造牛蛙全产业，深入养殖环节，在广东省清远市阳山县建立大型生态牛蛙养殖基地，采用全新绿色渔业发展理念进行生态化、工厂化养殖。与中国

水产科学院淡水渔业中心共建国家级牛蛙保种基地、新品种研发基地、牛蛙生态养殖标准化示范基地。将牛蛙产业导入健康有序、高质高效发展大道。

“中国蛙类产业发展是由市场拉动的，且只有短短十年，诸多原因造成了行业无序发展。尾水排放导致的环保问题、高密度养殖带来的药残及食品安全等问题，已经成为制约蛙类产业发展的两大痛点。但同时，市场需求巨大，与小龙虾产业相比更具有全季特征，未来前景广阔。”江苏中洋集团总裁钱晓明首先致辞：为解决行业痛点、规范发展蛙类产业，中洋集团已经有所探索，建立了从下游市场、中游加工到上游养殖的全产业链模式，但行业的健康有序发展不能单靠一两个企业，而是需要相关部门、科研机构和企业共同努力。此时，养殖蛙类产业分会的成立显得十分重要。

江苏省农业农村厅渔业处刘小维表示，江苏是著名的鱼米之乡，水域资源丰富、水产品丰富多彩，渔业经济领先全国。蛙类作为特色养殖水产品，在养殖端形成了一定规模，消费端深受年轻群体喜爱，前景巨大。养殖蛙类产业分会的成立将对进一步规范和提升蛙类养殖、流通以及加工等蛙类产业链的发展起到积极的促进作用。

农业农村部渔业渔政管理局一级巡视员李书民强调，2019年，中国蛙类产量60万吨，价值2000亿元，发展迅猛。但技术落后、疫病防控、药残超标、尾水排放等问题十分突出。他希望通过分会为推动蛙类产业规范有序生产作出贡献。

中国水产流通与加工协会会长崔和表示，养殖蛙类产业分会的成立将是一个契机，希望分会协同行业内成员，通过行业自律，步步为营解决问题，出台行业规范和标准，制定市场准入条件，实现蛙类产业规范生产，合作共赢。

摘编水产养殖网微信公众号

第三届中国水产高值饲料发展研讨会暨首届农牧企业高峰论坛”在江苏南京顺利举办

2020年10月20日-21日，论坛由中国水产前沿展主办，水产前沿杂志、农牧前沿、中国水产频道承办，四川利达华锐机械有限公司、成都通威动物营养科技有限公司、北京奥特奇生物制品有限公司、丰尚农牧装备有限公司、四川新鑫元农牧机械有限公司、常州谷德机械有限公司、北京英惠尔生物技术有限公司、诺伟司国际贸易（上海）有限公司、安琪酵母股份有限公司协办，并得到了厦门君和诚生物科技有限公司、阜大股份·奥海饲料有限公司、广州天科生物科技有限公司、上海绿奥生物科技有限公司、比利时英伟水产集团、中农颖泰集团、荆州市益农饲料有限公司、江苏富海生物科技有限公司、南京诺齐

生物科技有限公司、巴斯夫（中国）有限公司、成都科宏达科技有限公司、焦作八方本草生物科技有限公司、江苏正昌粮机股份有限公司、扬州科润德机械有限公司、江苏天成科技集团等企业的支持，以“拥抱变化·赋能未来”为主题的“‘鲲鹏论坛——第三届中国水产高值饲料发展研讨会暨首届农牧企业高峰论坛’在江苏南京顺利举办。



报告主题：功能性添加剂对大口黑鲈代谢性肝病影响机制研究进展

报告嘉宾：中国农业科学院饲料研究所 薛敏研究员

经典浮性膨化饲料需要 20%淀粉含量以便于加工，大口黑鲈膨化饲料中淀粉水平>10%则有诱导代谢性肝病的危险。在较低淀粉(10.8%)水平下，添加橄榄提取物能调控脂代谢，但对较高淀粉水平的改善作用有限，尚不能针对 ROS 有系统性清除功能。

棉籽浓缩蛋白是优质的植物蛋白源，可以将大口黑鲈饲料配方中鱼粉使用量从 50%降低到 30%，添加益生菌可改善肝肠提高机体免疫作用，同时降低饲料系数，进一步提高生长性能，节约养殖成本。植物蛋白源搭配益生菌是鱼粉替代的绝佳方案。

肠道菌群参与营养物质吸收代谢调控（益生菌功能明确）；结合抗氧化因子和肝肠循环调控对于加州鲈是有效手段。

报告主题：陆源性动物蛋白原料在水产饲料应用研究进展

报告嘉宾：北美动物蛋白及油脂炼得协会亚太区首席代表 李鹏博士

北美动物蛋白及油脂炼得协会一直致力于精确描述鱼粉、海洋蛋白、陆地动物蛋白和植物蛋白的营养成分及其功能性组分；测定动物蛋白的消化率；并且通过在饲料中单独使用或混合使用的方式，评价动物蛋白在水产养殖品种不同生长阶段的效果和效率；开发新策略以提高动物蛋白在水产养殖生产中的效率。

水产饲料中可以使用的陆源性动物蛋白产品主要包括家禽源性(白羽肉鸡、火鸡、蛋鸡、鸡蛋)、猪源性（肉骨粉、血浆、血粉、肠膜），关于牛源性方面我们正在努力推动牛油进入到水产行业中来。

未来提炼行业还需继续深入理解各种原料的营养、功能和适口性，深入阐释“非必需氨基酸”和“核苷酸”在水产动物营养学中的功能，进一步提高用户的认可度，期待与原料和添加剂供应商的进一步合作。

报告主题：竞合时代，粤海的变革思考

报告嘉宾：广东粤海饲料集团常务副总裁 **郑会方**

我国饲料加工企业数量多年来持续减少，集中度在不断提升，行业竞合的态势不会变，成功者都是资源整合能手，都是能抓住行业 and 客户需求，都是能潜下心、怀有基业长青胸怀者。

疫情是一场大考，集团化企业在疫情下有两大生存法则，一是横向大扩张，二是聚焦勤深耕，粤海更是后者。

粤海在特水料领域的体会:1、做特水料的研发，需要脚踏实地的苦行僧；2、理解特水料技术和营销的边界；3、特水料需要更精准服务；4、特水料企业需要学习型氛围和更开放的格局；5、管理架构变革是粤海对内部资源的整合升级，6、适当涉足水产品加工与流通。

水产行业是永不没落的阳光产业，也期待水产行业这个大盘在诸位努力下更加盛放强大。

报告主题：疫时代如何做好国际与国内市场“双循环”

报告嘉宾：北京英惠尔生物技术有限公司副总裁兼大客户事业部总经理 **许媛**

国内的添加剂/预混料企业如果想做海外市场，需要做好前五年不盈利的打算。在产品没有经过完整验证的前提下，不建议贸然去做海外市场，只要犯一个错误可能会导致你所做的工作白做。走出国际市场的第一步必须思考好。

2020年新冠疫情的爆发对全球经济产生了深远的影响，其发展的速度以及对经济的损伤超出预期。疫情产生的封锁和经济停滞大幅削弱了全球消费和投资，外部需求的疲弱及大宗商品价格的走低也广泛冲击了贸易及进出口。但同时也造就一个创新、超越的机遇。

国际与国内市场“双循环”格局即产品在国内市场充分验证增强国际市场信心，国际市场影响力提升，撬动国内市场，最终实现国内+国际市场互相促进的大循环。水产板块可能远比畜禽、反刍料板块更需要去实现双循环。

报告主题：中小水产饲料企业竞争优势及长远发展

报告嘉宾：海博集团董事长 何立发

中国水产企业的趋势是百花齐放而不是寡头垄断！中小企业有很大的竞争优势，近几年发展更为迅猛。竞争提高了水产行业专业水平，有利于淘汰落后产能，更有利于优秀中小饲料发展。

中小水产饲料企业具有区域优势、品种优势、原料采购优势，市场反应快速、灵活，能更快的应对变化，人员结构简单，费用低，作为自己的企业也更注重口碑和产品质量。

中小水产饲料企业需重点关注自身的金融力、产品力、营销力，即保持现金流，打造竞争力产品，有利润地卖出去！不断学习、创新、整合资源，深耕某一品种或某一区域，想方设法提高产品质量，降低成本和费用，才能使得中小水产饲料企业长远的发展下去。

摘自水产前沿微信公众号

企业管理

管理模式变化对饲料企业绩效影响研究

翟金芝

辽宁现代服务职业技术学院

摘 要：企业的管理模式对于企业的绩效将产生深远的影响，企业的绩效体现在企业的未来发展潜力、创新能力以及成长空间等。对于饲料企业而言，传统的企业管理模式从某种程度上制约着饲料企业的绩效评定和企业未来的可持续发展。因此本文采用分析及对比的方法着眼于研究饲料企业现存的主要管理模式以及其弊端，在此基础上进一步分析饲料企业管理模式创新与变化对企业绩效所能产生的影响。通过研究表明，传统企业管理模式向现代企业模式的转变对于提升饲料企业绩效将产生积极的正向影响。

关键词：管理模式; 饲料企业; 企业绩效;

A study of the impact of management style change on the performance of feed companies

ZHAI Jinzhi

Liaoning Vocational Technical College of Modern Service

Abstract: The management mode of an enterprise will have a profound impact on the performance of the enterprise, which is reflected in the future development potential of the enterprise, the innovation ability of the enterprise and the growth space of the enterprise. For feed enterprises, the traditional enterprise management mode to some extent restricts the performance evaluation and the sustainable development of the feed enterprises in the future. Therefore, this paper adopted an analytical and comparative approach to study the main existing management modes of feed enterprises and their shortcomings, and on this basis to further analyzed the impact of feed enterprise management mode innovation and change on their corporate performance. The study showed

that the transformation from traditional enterprise management mode to modern enterprise mode will have a positive impact on the performance of the feed enterprises.

Keyword: management model; feed firm; corporation performance;

饲料企业管理要达到提高产品竞争力和企业服务质量，降低企业生产成本以及优化生产周期等目的，需要对饲料企业中的各种资源，包括但不限于人力资源、财力、物力和信息等整合。饲料企业的管理模式经历着传统企业与现代企业管理模式的选择与更迭。随着市场经济的发展，互联网及电子商务对各行业的深入渗透，饲料企业的管理模式同样需要与时俱进，根据最新的商业模式及企业发展外部及内部环境的变化进行现代化改革，优化企业内部及外部资源的配置，强化企业内部管理的重要价值。本文将基于此在阐述饲料企业现行传统管理模式及弊端的前提下，分析管理模式的变化对饲料企业绩效的影响。

1 饲料企业现行传统管理模式及弊端

企业管理模式是一个企业运行的方式和框架。对于饲料企业而言，主要是在此运行方式和框架下，根据生产经营目标，对企业内部及外部的与生产相关的资源进行合理的配置（李凤兰，2018）。饲料企业现行传统管理模式根据管理目标的不同，大致可以分为以下三种：一是以客户为导向的管理模式；二是以饲料企业生产的产品为导向的管理模式；三是以饲料企业的主要经济活动为导向的管理模式。在饲料企业长远可持续发展过程中，企业管理模式的科学有效选择对于能否实现其原来设定的目标将产生至关重要的影响。饲料企业传统的企业管理模式在新的经济环境与背景下主要存在以下弊端，对于饲料企业成本控制、创新能力的发展以及市场竞争力的提高均有不利影响。

1.1 增加企业经营成本

饲料企业的传统管理模式主要呈现出“纵向一体化”的趋势，即在企业整体采购、分销、生产、服务、销售或服务过程中注重业务的垂直和纵向拓展，向与业务有关的上游或者下游发展，这种“纵向一体化”的传统管理模式，将大大增加管理对象与管理难度，进而增加饲料企业的管理成本，加重企业的经营成本和经济负担（刘学方，2015）。实践中，企业的纵向一体化经营需要其参加至少两个相继阶段的经营，才可称之为“纵向一体化”经营。对于饲料企业内部管理而言，“纵向一体化”的管理方式，将严重降低企业内部的管理效率。此外，在内部管理中，不是每个管理人员都能充分有效地落实精益求精的管理理念，这将进一步降低企业的经营绩效。

1.2 制约企业创新能力

饲料企业传统管理方式中所采用的管理模式比较单一并且僵化，与现代社会的发展趋势如互联网、大数据和电子商务等商务模式格格不入，使得企业管理者无法有效发挥其创造力（朱坤福，2018）。即便企业意识到随着外部市场环境的变化，饲料企业对于内部企业经营方针需要进行彻底的创新与变革；但是由于传统的企业管理模式并未从根本上进行变革以及公司管理人员的管理理念并没有真正的转变和形成新的与时俱进的管理模式；因此即便企业有良好的经营活动方案也可能无法得到认真执行和贯彻，严重降低企业的经营和管理的科学合理发展，不利于企业创新能力的获得与提升。饲料企业的管理模式是由人决定的，因此企业的管理者对于饲料企业生命周期内的发展方向、高度与深度都起着决定性的作用。但是，在传统饲料企业的管理模式中，单一化传统的企业管理模式不仅会限制管理者的创新能力，更加严重的是，最终制约的是饲料企业本身的现代管理方案与措施的实施，进而影响饲料企业的转型与创新能力的发掘与提高（王杰等，2016）。

1.3 错失市场竞争机遇

饲料企业传统的经营与管理中，随着企业规模的壮大和企业经营范围的扩大，一般饲料企业都不止一个经营领域，会涉及众多细分领域与细分产品和服务，所面临的竞争对手也会增多，使得饲料企业的竞争环境变得复杂。如果企业无法与时俱进，提升企业内部与外部管理模式，企业所建立的核心产品的市场份额与市场竞争力都可能处于下降趋势，而新的产品与服务市场竞争力并未形成，从而导致饲料企业错失市场竞争的机遇。企业管理中除了人的管理外，还涉及企业的研发、销售渠道及供应链管理，这些管理均应当针对时代的特征，进行科学合理的管理，以促进产品及企业竞争地位的形成、建立与提升。可是实践中，饲料企业的现代化管理水平和信息化处理能力有限，鲜有利用现代计算机技术及信息管理的方式对企业进行高效的运营与管理，导致对市场中产品的定位和发展趋势以及竞争对手的发展阶段和发展潜力无法进行有效或正确的评估，由此影响饲料企业自身产品的市场定位，不利于其产品市场竞争力的形成（张新艳，2018）。

2 管理模式变化对饲料企业绩效的影响

随着互联网与信息技术的发展，大数据时代已然到来。技术的突飞猛进对于企业现代化管理提供了强大技术支持。不仅促使企业生产经营模式发生质的变化，也倒逼企业必须对内部与外部的管理模式进行变革以帮助企业应对不断变化的内外部环境（张爱红，2016）。目前主要有以下几种现代企业管理模式：一是 CIM 模式，即计算机集成制造系统模式，利用计算机技术集成对企业的生产制造和生产管理进行优化。基本思想是将制造企业的各个

环节进行统一有效的管理，使之成为一个互相紧密相关的整体，即对前期市场分析、经营决策、产品研发与设计、生产制造、售后质量控制与管理等进行集成化和系统化的管理。

二是 AM 模式，该现代企业管理模式要求企业采用现代的通信手段，即运用互联网技术达到快速进行资源配置与调度的能力，从而能够积极高效的对客户的需求进行响应。其中敏捷的应对外界的变化和客户的需求是该管理模式的核心。三是 ERP 模式，该模式主要是运用信息管理系统对企业的供应链进行系统的管理，包括将供应商、加工商、分包商以及客户甚至竞争对手的信息都纳入供应链信息管理系统中。采用现代企业管理模式对饲料企业的绩效将产生深远的影响，主要表现为以下几个方面。

2.1 提高企业经济效益

饲料企业管理模式的变化可以降低企业管理与经营成本，进而提升企业经济效益。如 AM 模式可以以最敏捷的速度对客户的需求进行响应，根据客户的市场订单量和实际的需求对生产设备及其他资源进行调度，避免产品的积压，降低生产制造成本。利用一体化的管理模式，对产品的生产、销售以及售后管理进行强化与控制，提升企业的管理效率和员工的工作效率。相关管理人员树立精益求精的管理理念，加强品控，为饲料企业绩效的整体提升做贡献。实际的工作中采用 AM 模式，可以最大程度地降低库存周转量，提高企业的资金周转率（李亚雄等，2008）。此外，再通过横向一体化的管理，降低饲料企业的管理成本。科技创新是一个企业能否可持续发展的重要保证，对于饲料企业而言，其横向管理的重心亦是新产品的研发，因此企业的管理者应当加强企业创新能力的培养。企业创新能力的培养不仅来源于自我研发这单一途径，进口或通过其他有效途径获得，可以快速实现新产品的获得，还可以大大降低企业的研发成本。如较多科技创新或互联网企业，均通过并购或与其他公司合作的方式获得其所需要的核心技术，有效地降低企业的研发和生产成本，促进经济效益的最大化。

2.2 释放企业经营者活力

现代企业管理模式要求饲料企业的经营者注重公司友情化和系统化的发展，因此饲料企业的经营者应当更加关注员工与企业整体经营目标价值的契合与协同发展，方可激发饲料企业的内部活力与员工的工作动力，为企业的现代化发展扫清障碍和提供基础。经营者友情化管理模式的运用提升了对员工的人文关怀，让员工体会到公司对于其个人价值与人生的高度关注，有利于提升饲料企业员工对公司的忠诚度，进而提升饲料企业整体的经营绩效。实践中，友情化和系统化的管理模式总是以情感为纽带，对员工进行物质和精神方

面的双重激励，提高员工的工作积极性，进而推动企业绩效的改进和提升。饲料企业中不仅有基层员工，同样有高层员工，每一个层级的人员都应当被充分调动工作的积极性和对公司的忠诚度，对于公司整体而言方能真正实现企业绩效的有效提升，因此在现代企业管理模式中对管理者自身的激励与促进也是必不可少的，这将促使管理者真正从企业的切身利益出发，制定符合企业长远发展的目标与规划（马文聪，2012）。此外，友情化管理之外还需要系统化的管理，以释放企业管理者的活力。所谓系统化管理是指饲料企业在日常管理中章可循，有法可依，这就要求企业要制定相应的规章制度和 workflows，以达到系统化管理企业绩效的目的。综上，饲料企业现代化管理模式中，友情化和系统化的管理对于人文情怀的注入至关重要，只有当以人为核心的资源被充分的重视，方可最大程度的激发人的潜力，促进企业员工为企业创造更多的价值，实现企业发展与员工个人发展的协同效应，最终提升企业的经营绩效。

2.3 巩固饲料企业市场竞争力

市场总是瞬息万变，不断涌现出新生代力量在市场中博得头筹，抢占传统饲料企业的市场份额，降低传统饲料企业的竞争力。因此，当新生代企业与传统企业在市场上共同竞争时，原有的竞争格局将被打破。竞争的形式并不局限于产品的竞争，也体现在人力资源、服务以及经营管理模式上的竞争。良好的企业经营管理模式对于巩固饲料企业的市场竞争力至关重要（沈琦超，2015）。现代企业管理模式要求饲料企业的管理者在制定管理制度时，充分考虑企业发展的现状，外部宏观环境与微观环境的变化，以及自身的竞争优势与比较优势，只有当充分认识到内外环境以及自身的竞争优势时，方能审时度势地利用先进的管理方式与经验巩固饲料企业的市场地位。如 ERP 模式即主要集中于饲料企业供应链端的有效管理和控制，通过互联网技术将供应商、企业与客户整合在同一个平台上进行管理，实现饲料企业生产、采购、销售与售后端的最优配置，保障企业绩效最大化。

而传统的供应链管理模式下，企业无法充分掌握竞争对手的信息，也不能将前述多重信息整合在同一个平台中进行直观和清晰的对比，得出最优的管理方案，实际会造成管理的重复，不仅会增加管理成本，还会降低管理效率。新的管理模式以信息化平台整合的信息制定科学有效的管理方案，在知彼知己的基础上提升方案的可行性，进而提高企业绩效（朱涛，2017）。此外，现代企业管理模式中，企业产品能否进行准确的市场定位对于产品打开市场，在市场中获得较高的知名度至关重要，这同样需要现代互联网技术提升产品的精准设计标准，并加强企业产品营销的精细化管理，为提升企业的市场竞争地位提供机会。

总而言之，企业管理模式的变化并不是毫无章法可寻的，而应当是根据企业自身的特点，对市场中的竞争优势和劣势进行合理分析后的结果，方能促进企业绩效的整体提升（毛昆祥，2015）。

3 结语

企业管理对于企业宏伟发展目标的制定以及企业发展的高度均有非常重要的影响。对于饲料企业而言，由于产品的技术含量并不高，企业的现代化程度亦较低，导致其管理模式比较粗放，管理成本居高不下以及管理效率的严重低下，不利于饲料企业在现代社会中的可持续发展。随着互联网技术的发展，饲料企业在谋求自身发展转型的过程中，除了应当注重发展模式的变革外，还应当注重企业现代管理理念的形成与建立，切实从管理模式上与时俱进，这样方能由内而外的从根本上提升企业的经营绩效，实现饲料企业从传统的发展与经营模式向现代的经营与管理模式上转变。

参考文献：略

原文刊登在《中国饲料》2020,(19),95-98 DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20201920

饲料企业利用衍生品市场管理成本的策略研究及风险分析

黄丽

黄河水利职业技术学院金融与会计学院

摘要：伴随着居民动物蛋白急速增长的需求，我国饲料行业经过几十年的发展而迅速成长起来。但与国际发达经济体的同行相比，我国饲料企业在利用衍生产品进行成本管理的能力和和经验尚显不足。在日益激烈的竞争下，饲料企业必须要学会利用衍生品市场管理自己的生产成本，平滑利润。本文主要对利用衍生品进行成本管理的策略，以及对相应蕴含的风险进行探讨。企业应根据自身的情况选择最优的衍生品应用策略，并规避相应的风险。

关键词：饲料企业; 衍生品; 策略; 风险; 成本管理;

The strategies and risks for feed stuff enterprises to take use of derivatives to manage cost

HUANG Li

School of Finance And Accounting, Yellow River Conservancy Technical Institute

Abstract: In recent 40 years, feedstuff industry in our country has been enjoy a long booming period, because of the large expansion demand of our countries' consumers for animal protein. But compared with peers in developed countries, the feedstuff enterprises are not expertized in taking use of derivatives market to manage cost and smooth profit. This article discussed the strategies to take use of derivatives to manage cost and the risks relevant to these strategies. Feedstuff enterprises should take the strategy that's suitable to themselves and avoid relevant risks.

Keyword: feedstuff enterprises; derivatives; strategies; risks; cost management;

利用衍生品进行风险管理和套期保值，是很多大宗商品行业的通用作法。农业是最基础的大宗商品行业，也是衍生品市场产生最早的行业。早在古希腊时期，从海外购买粮食的商人就会与希腊本土的商人签订远期合同，成为最早的粮食衍生品。工业革命开启的近代以来，农业行业更加依赖于期货、期权等衍生品市场。饲料行业的原材料是玉米、豆粕、菜籽粕、小麦等，其是衍生品市场最为发达的农产品，饲料行业利用衍生品市场管理成本、规避风险，具有良好的市场基础。然而，我国饲料企业对衍生品市场的利用却并不充分，很多中小饲料企业完全隔离于衍生品市场以外。究其原因在于我国饲料企业发展的历史过于短暂，自改革开放后第一批国外饲料企业进入我国开始计算，也不过 40 年的时间。长期供不应求的卖方市场，也导致饲料企业无需精细化管理，只要产品卖得出去，不愁没有利润。但市场总会向供过于求发展，残酷的竞争要求企业不得不进行精细化管理。在利润越来越薄的今天，饲料企业如果不学会利用衍生品进行成本管理，势必会在未来的竞争中被淘汰。

1 我国饲料行业和衍生品市场的概况

改革开放前，我国不存在现代意义上的养殖业，更不用提饲料行业。彼时，我国绝大多数的禽畜是吃草、农作物废料和厨余垃圾。改革开放后，伴随收入增长，居民对动物性蛋白的需求也快速上升，带动饲料行业从无到有、从小到大爆炸性发展。从 2012 年，我国饲料产量持续多年全球第一，在猪饲料、淡水鱼饲料等领域，也是世界第一（展进涛等，2018）。饲料行业的主要成本在于原材料，而一部分原材料的价格受国际市场影响较大。例如，我国 80% 的大豆依赖于进口，豆粕的价格受到美国、南美等大豆价格影响；油菜籽中超过一半从加拿大进口，菜籽粕的价格受到加拿大菜籽的影响。另一部分原材料，曾经价格较为稳定，但伴随近年来的市场化改革，波动也在不断加大。从 2004 年前后开始，我国开始试点收储制度，维持基本农产品价格稳定，这其中就包括玉米和小麦。但到 2014 年，收储带来的财政负担和对产业链的扭曲，已经到了整个社会不能承受的地步，因此开始向目标价格制度转变，特别是口粮属性不强的玉米，价格波动较 2004—2014 年明显加大（张瑞雪，2019）。面临原材料价格波动加剧，一个成熟的风险管理手段是利用衍生品市场平滑成本。但我国饲料企业一般都是农民的家庭作坊起家，企业主的学识和阅历较浅，他们对衍生品的了解不够，因此普遍没有使用衍生品市场进行成本管理。

衍生品市场是指以某些基础产品的价格为标的进行交易的产品，典型的衍生品包括期

货、期权、场外衍生品合同等。衍生品是从远期现货合同中衍生而来。当生产和消费不能完全匹配时，人们会自然选择远期合同来提前确定价格、锁定风险。当远期合同使用标准化合约时，就变成了期货。在粮食收获季节，粮食价格暴跌；而在青黄不接时，粮食价格又暴涨。为了解决这一问题，粮食贸易行会的商人们开始签订远期合同，在多年完善后，远期合同成为了期货（陈心恬，2020）。期货买卖的是货物，期权买卖的是权力，即期权的卖方获得某种权力。在粮食行业，类似于买卖用某一价格买入或者买入某种粮食的权力。与标准化的期货、期权相比，场外衍生品更为灵活，是交易者和某些机构，特别是金融机构签订以某种商品价格为标的合同。

衍生品交易的中心是交易所。目前全球较大的商品交易所包括 CME、ICE 和 LME，LME 集中于金属商品的交易。其他两家则包括几乎全部系列的农产品。我国目前有四家商品交易所，挂牌了 83 个期货和期权交易品种。饲料企业涉及的商品，包括小麦、玉米、豆粕、菜籽粕等，我国商品交易所都有相关的期货和期权品种。此外，我国很多金融机构也开始逐步开展场外衍生品的业务。

2 饲料企业利用衍生品市场的策略

饲料企业参与衍生品市场最简单的方法就是购买期货。作为玉米等农产品的需求方，饲料企业可以使用两种方法利用期货市场进行成本管理。一是直接将期货市场作为现货采购的一种渠道，在合适的价格买入期货，一直持有到期，等待空头交个现货。二是利用期货市场套期保值。在价格合适但暂时不需要现货时买入期货，需要使用现货时在现货市场买入现货，同时期货市场平仓，理论上期货市场和现货市场的盈亏可以抵消（朱斌，2016）。这个策略可以让企业在较长时间范围内，选择合适的时机，提前锁定价格。例如，饲料企业可以观察农产品每年的价格走势，大约在某个季节价格是一年低点，饲料企业可以在此时买入，随后可以选择实物交割，或者平仓买入现货。很多大型的农业企业，如国际四大粮商 ABCD 都是如此。如果饲料企业的规模比较大，涉及到国际贸易，还可以在美国和欧洲的交易所中交易农产品期货。

期货市场的风险是比较大的，如果做多，可能会亏到商品价格为零，特殊情况下可能会亏到商品价格为负值，例如中行原油宝事件。如果饲料企业有此担心的话，可以跳过期货，直接做期权。买入此期权后，如果商品的价格上涨到一定高度，饲料企业可以获得收益，弥补现货贸易中的亏损。如果价格没有上涨到一定高度，饲料企业损失最多的也就是期权费。某种角度上说，饲料企业可以将期权看作价格保险，期权费就是保险费（林姝琼，

2016)。

前文所说的期货和期权，都是场内交易产品，即在交易所进行竞价交易的产品。这类产品的优点是价格透明、流动性高，但也有明显的缺点，即个性化不足。比如部分饲料使用大米粕，但我国并没有上市大米粕期货或者期权。饲料企业可以通过与部分企业签订场外合同的方式固定未来购买的价格。此类合同最简单的是与现货供应商签订现货远期贸易合同，更为复杂的是与金融机构签订场外衍生品合同。与现货合同不同，场外衍生品合同，一般以现金结算。目前，我国越来越多的金融机构开始尝试场外衍生品的业务，例如很多期货公司的风险管理子公司正在尝试的“保险+期货”（庞竹，2018）。这些金融机构签立了场外衍生品合同后，往往会通过一些方法在场内市场将风险头寸对冲掉。

饲料企业还可能通过不直接参与期货市场的方式利用期货市场管理成本，即利用期货价格进行现货贸易。例如，通过“期货+价差”的模式从农户手中购买所需原材料。具体的贸易模式之一是，在农产品生产季节之初，与农户签订购货合同，约定购货的价格是某一时点或者某一时间段的期货价格，加上或者减去一些价差（李娜，2019）。这种方式下，期货市场对起的作用主要是价格发现，因为虽然理论上可以将价格约定为已知的价格，但通常的做法是约定一个未来时间的价格。这种方法下，企业可以根据历史价格推算出约定价格的上下限，也有利于饲料企业管理成本。

3 饲料企业利用衍生品市场的风险

利用衍生品市场管理成本，只是锁定成本，不意味着降低成本。从理论上说，如果饲料企业完全利用衍生品市场管理成本，企业只是在跨期平滑成本，而非降低成本。换句话说，企业在某一时期通过期货市场减少了成本，也必然在另外一些事件上增加了成本（赵曼竹，2018）。例如，铜期货在 2007—2008 年经历了一次超级牛熊市的转换。部分用铜企业，如电器企业，可以在 07 年的牛市中利用期货市场降低铜成本，也必然要在 08 年付出惨痛的代价，铜成本依然要维持在高位，无法享受到铜价格下跌带来的好处。在玉米等商品价格下跌过程中，饲料企业也必然会付出这种代价。

从理论和实践中，场内衍生品市场的非价格风险是最小的。2008 年金融危机中，所有 CME 场内的头寸都获得了清算，没有一笔违约。但是，在场内交易的个体，仍然会面临种种的风险。首当其冲的是交易中的逼仓风险。虽然现在期货交易受到严格的监管，但交易中的逼仓情况，依然难以避免，特别是市场形势而非主观意愿形成的逼仓（胡晓辉，2018）。假如市场普遍认为目前的仓储不可能在装得下交割的粮食，很有可能逼迫饲料企业在承担

高昂储存成本的情况下接受现货。此外，在交割环节中，饲料企业也有可能面临交割的货物离企业过远导致运输成本高昂，或者交割的品级较差，又因种种原因不能申诉等风险。

如果说前面两种风险，是市场风险，那么这种风险就是来源于企业自身。企业参与套期保值时可能会尝到一点甜头，然后开始投机，最终亏大钱。这种案例在衍生品发展史上数不胜数。在实践中，企业很容易从套期保值转向投机。例如，前文说到，如果企业完全套期保值，只会长期平滑成本，而不是降低成本。在这个过程中，如果企业不满于平滑成本，而进行主观操作，在认为价格低的时候买入套保，在认为价格高的时候不进行操作，这本身就是一种投机交易。

与场内衍生品相比，场外衍生品有一种特殊的风险，即对手方信用风险，指的是如果对手方的资本实力不足，会缺乏履行合同义务的能力。例如，饲料企业与某一企业签立关于玉米的场外合同，约定玉米价格高于某一水平时，对手企业必须对饲料企业做出某种补偿。如果玉米价格大幅上升，这一对手方或许缺乏足够的资本金履行该项业务。最终，玉米价格上涨的风险还是需要饲料企业自己承担。

4 结语

利用衍生品进行成本管理是现代企业通常的做法，虽然我国目前已经具备相应的基础市场条件，但限于自身学识能力，饲料企业很少参与衍生品市场交易，这限制了饲料企业管理成本的方法和能力。饲料企业必须参与到衍生品交易中，否则无法适应未来激烈的市场竞争。饲料有多种策略参与衍生品市场，包括参与期货和期权的交易，签立场外衍生合同，以及利用期货市场价格。同时，饲料企业应该注意到，这些参与衍生品交易管理成本的策略，都有相应的风险，包括交易交割中的风险，自身无法驾驭交易的风险，以及对手方的信用风险。企业要想利用好衍生品这一工具，仍需要加强自身的能力建设。

参考文献：略

原文刊登在《中国饲料》2020,(19),102-105 DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20201922

检测分析

饲料及饲料原料中霉菌毒素快速检测技术研究进展

孟卫芹 王金良 沈志强 陈金龙

山东省滨州畜牧兽医研究院 山东绿都生物科技有限公司

摘要：霉菌毒素是由真菌产生的有毒代谢产物或次生代谢产物，在自然界中分布广泛，对动物和人类健康造成了极大危害。为此，本文介绍了饲料及饲料原料中常见的霉菌毒素及其对动物的危害，总结了近

年来几种快速检测技术(酶联免疫吸附法、化学发光酶免疫分析法、免疫层析法、核酸适配体生物传感器)在霉菌毒素检测方面所取得的进展和存在的问题，并对霉菌毒素快速检测技术发展前景作出了展望。

关键词：霉菌毒素; 快检技术; 饲料;

霉菌毒素(mycotoxins)是一类低分子质量化合物，是由霉菌或者丝状真菌在适宜条件下产生的有毒次生代谢产物^[1]，广泛存在于粮食、饲料及饲料原料中，动物食用感染的饲料可引起机体多种中毒症状甚至死亡，并可通过食物链威胁人类健康。根据联合国粮农组织（FAO）统计，全球每年约有 25%的农作物受到霉菌毒素不同程度的污染，约 2%的农作物因污染严重失去应用价值，由此造成的经济损失可达数千亿美元。我国是家畜养殖大国，畜牧业也是我国农业的重要支柱产业，而微量的霉菌毒素便可产生巨大的毒害作用，对我国畜牧业的健康可持续发展和人类食品安全构成了巨大挑战^[1,2,3]。因此，快速、准确检测饲料及饲料原料中霉菌毒素含量，是保障动物和人类健康的重要手段，现对国内外霉菌毒素及其快速检测方法进行综述。

1 霉菌毒素的主要种类及危害

目前，可产生霉菌毒素的真菌主要来自曲霉菌属、镰刀菌属、麦角菌属、链格孢属以及青霉菌属。发现的霉菌毒素种类已超过 500 种，在饲料及原料中常见、且对动物健康危害严重的霉菌毒素主要有 6 种，即黄曲霉毒素 B1、玉米赤霉烯酮、呕吐毒素、赭曲霉毒素 A、伏马毒素 B1、T-2 毒素，这些毒素即使在饲料及饲料原料中含量很低，也会使其营养价值和适口性下降，引起动物免疫机能下降、生长受阻、繁殖性能降低等，且毒素间的毒副作用具有协同或加和效应^[4,5]。饲料中常见霉菌毒素及其危害见表 1，残留在动物组织和动物制品中的霉菌毒素导致食品安全风险进而影响人类健康。

表 1 霉菌毒素及其危害

霉菌毒素种类	饲料及原料	敏感动物	危害性
黄曲霉毒素	花生、玉米及其副产物、小麦、棉籽、鱼粉等	雏鸡和雏鸭最敏感,猪、鸡、鸭等	肝硬化、肝癌等
玉米赤霉烯酮	玉米、小麦、稻谷、高粱、鱼粉等	猪、牛和禽,青年母猪	破坏繁殖能力
呕吐毒素	玉米、小麦、大麦、燕麦、米、麦芽等	猪最敏感,鸡、鸭以及成年反刍动物等次之	呕吐及腹泻
赭曲霉毒素	玉米、小麦和大麦等	猪和禽类	脂肪肝及流产等
T-2 毒素	玉米、小麦、大麦、燕麦、米、鱼粉等	猪最敏感,家禽次之	机体免疫力下降
伏马毒素	玉米、稻谷、大豆、高粱等	马最敏感,猪次之	马脑坏死,猪肺水肿、呼吸障碍等

2 霉菌毒素快速检测技术

我国已经建立一些饲料中常见霉菌毒素的检测标准，如 GB/T 17480-2008 饲料中黄曲霉毒素 B1 的测定（酶联免疫吸附法）、GB/T 28716-2012 饲料中玉米赤霉烯酮的测定（免疫亲和柱净化-高效液相色谱法）、GB/T 8381.6-2005 配合饲料中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的测

定(薄层色谱法)、NY/T1970-2010 饲料中伏马毒素的测定(液质法)。这些标准大多采用高效液相色谱法(HPLC)、液质联用技术(LC-MS/MS)、薄层层析法(TLC)、酶联免疫吸附法(ELISA)等。TLC 操作简便,但灵敏度差;仪器检测灵敏度高,但样品处理复杂,且仪器昂贵,标准品消耗大。目前霉菌毒素残留检测技术的发展趋势,要求样品提取方便、试剂耗用少、在线自动化处理、多组分高通量地快速检测。因此,快速检测技术必将成为霉菌毒素残留检测研究的重点。

2.1 酶联免疫吸附法

酶联免疫吸附法(ELISA)是利用酶分子与抗原或抗体相结合,然后用酶标记的抗原或抗体,与固定在聚苯乙烯材料上的抗体或抗原发生特异性反应,通过洗涤使固相载体上形成的抗原抗体复合物与其他物质分开,经底物液反应显色,测定光学信号强度,进而确定待检物的含量。ELISA 方法比胶体金免疫层析快速检测技术灵敏度更高,具有低成本、快速、操作简单、便捷等优点,广泛应用于医疗、食品和饲料检测领域。龚阿琼等^[4]采用 ELISA 法检测了我国饲料原料及配合饲料中 AFB₁、ZEN、DON 的含量。李卫娟等^[5]通过 ELISA 法对牧草、秸秆、青贮等反刍动物饲料中 AFB₁、DON、ZEN、FB₁ 进行定量检测。

2.2 化学发光酶免疫分析法

化学发光酶免疫分析方法(CLEIA)是将化学发光分析和酶免疫反应相结合而建立的一种测定方法,兼具有化学发光的高灵敏性和抗原抗体反应的高度特异性,与传统 ELISA 的主要区别是显色系统的不同,比常规酶免疫分析法的灵敏度提高了 3~5 个数量级。因化学发光检测技术灵敏度高、特异性强、成本低廉、快速稳定、检测范围广、操作简便、自动化高等优点而被广大研究技术人员认可与推广,广泛应用于食品安全、环境检测、医药科学和临床疾病诊断等方面,成为药物残留检测发展的一种趋势。叶云峰等^[6]采用化学发光免疫分析方法实现了粮食作物中的 OTA 残留的快速检测。

2.3 免疫层析法

免疫层析法(IC)是以免疫渗滤为基础发展起来的一种简便快速的检测方法,其原理是将特异的抗体固定于硝酸纤维素膜的某一区带,当一端浸入样品后,由于毛细管的作用,样品将沿着该膜向前移动,当移动至固定有抗体的区域时,样品中相应的抗原即与该抗体发生特异性结合,根据颜色反应从而实现样品的特异性免疫诊断。该方法具有操作简便、快速经济、灵敏度高且不需要昂贵的仪器设备等优点,特别适用于大批量样本的快速筛查和基层检测。随着免疫层析技术的迅猛发展,多种纳米材料标记物被应用于免疫层析试纸

条,常见的有胶体金、荧光微球、量子点等,呈现出高灵敏度、可定量检测、多元检测的发展趋势。与 ELISA 法相比,虽然胶体金免疫层析试纸条检测限高,但大大缩短了检测时间。为了提高灵敏度,Wang 等^[7]用荧光微球标记 FB1 单克隆抗体,建立了一种检测玉米中 FB1 的免疫层析法,与 FB2 和 FB3 的交叉反应率分别为 1.5%和 67.3%,回收率在 90%以上。肖理文等^[8]通过荧光纳米微球标记玉米赤霉烯酮抗体和羊抗鸡抗体,研发的玉米赤霉烯酮荧光定量试纸条,在样品中检测添加回收率为 90%以上,3 次重复的变异系数在 13.11%以内,与其他真菌毒素的交叉反应率均小于 5%,满足快速、简便、准确定量的需求。李鑫^[9]研制的多元胶体金免疫层析试纸条,可同时检测 AFB1、OTA 和 ZEN 等 3 种组分,检测限分别为 0.25、0.5、1 ng/mL,该试纸条特异性好,3 种真菌毒素之间无交叉反应,满足多组分同步检测的需要,在饲料真菌毒素混合污染同步快速检测中具有应用前景。

2.4 核酸适配体生物传感器

核酸适配体(aptamer)是利用体外筛选技术得到的一种功能与抗体相似的寡核苷酸片段,可与多种目标物质高特异性、高选择性地结合,如蛋白质和药物等,被广泛应用于生物传感器领域。基于核酸适配体的生物传感器具有易合成、易标记、易修饰、灵敏度高、特异性高、分子质量小、检测成本低等优势而受到广泛的关注。桂海变等^[10]利用非标记荧光染料 Pico Green 与双链核酸结合的特异性,建立了一种快速检测伏马毒素 B1 的核酸适配体方法,该方法的最低检测限为 0.1 μg/L,线性范围为 0.1~1 μg/L,整个检测流程可在 40 min 内完成。乔勤勤等^[11]设计的一种新型光子晶体编码悬浮阵列适配体,可同时量化和鉴定谷类样品中的 OTA 和 FB1。这些传感器具有操作简单、灵敏度高、亲和力高等优点,并且同时检测 2 种霉菌毒素的适配体传感器对之后同时检测多种霉菌毒素的传感器的发展提供了新的研究方向。

3 总结与讨论

霉菌毒素快速检测方法是在免疫学的基础上结合胶体金、酶标记、荧光免疫、核酸适配体等技术开发出的快速、高灵敏度、高特异性的检测方法。霉菌毒素的危害性现已被人们高度重视,而霉菌毒素的快速、准确检测方法是当今研发人员亟需解决的问题。通过广泛查阅文献发现 2 个问题:一是饲料中多种霉菌毒素共存的现象非常普遍,而多数检测方法只针对一种霉菌毒素,应该建立混合污染免疫检测技术,如研究一种便携、亲和力强、成本效益高的核酸适配体通过多种修饰,同时检测多种霉菌毒素的快速检测技术;二是隐蔽型霉菌毒素的检测问题,隐蔽型霉菌毒素是指霉菌毒素通常以与糖和氨基酸等极性物质

共轭的方式同时存在，难以通过常规分析方法检测出，对动物和人类健康存在潜在风险。对于隐蔽型真菌毒素的测定思路，目前国外主要采用色谱法，学者提出理论上免疫组化法是可以替代色谱法的快速且经济的方法，但仍处于起步阶段，密切关注学习国外新技术、新方法，研发出新型霉菌毒素快速检测技术，对加强动物饲料安全监控，保证人们食品安全与身体健康，促进社会经济稳定发展具有重大意义。

参考文献：略

原文刊登在《养殖与饲料》2020,19(11),70-72

加工工艺

饲料营养成分与加工工艺对饲料利用效率影响的研究进展

何健 冯光德 朱正鹏 李元凤

西南科技大学生命科学与工程学院 四川铁骑力士实业有限公司 四川特驱农牧科技集团有限公司

摘 要：动物养殖生产中，饲料成本在整个养殖成本中占有较大比例，对养殖经济效益有着重要影响。饲料成本取决于饲料价格(配方成本和加工成本)和饲料利用效率。而饲料利用效率受动物种类、饲粮营养价值、饲养管理、动物健康状况、死淘率、环境设施和上市体重与时间等因素影响。通过查阅近几年国内外相关文献，本文从饲粮能量水平、蛋白质和氨基酸水平、脂肪水平、微量元素、添加剂应用和饲料加工工艺对饲料利用效率的作用与影响进行综述，以期养殖生产降本增效提供参考。

关键词：饲料利用效率; 能量; 氨基酸; 添加剂; 饲料加工工艺;

Research Progress on Effects of Dietary Nutrition and Feed Processing Technology on Feed Efficiency

HE Jian FENG Guangde ZHU Zhengpeng LI Yuanfeng

College of Life Science and Engineering,Southwest University of Science and TechnologySichuan Tieqilishi

Industrial Co.,Ltd. Sichuan Tequ Agriculture and Animal Husbandry Technology Group Co.,Ltd.

Abstract: In animal huabandry production,feed cost has a greater proportion in the whole breeding cost,which has an important impact on the economic benefits of animal huabandry.Feed cost depends on feed price(formula cost and processing cost) and feed efficiency.However,feed efficiency is affected by animal species and gender,feed nutrition,feeding management,animal health status,the rate of dead and elimination,environmental facilities, marketing weight and time.Through consulting relevant domestic and foreign literature literature in recent years,this paper reviewed the effects of dietary energy level,protein and amino acid levels,fat addition,trace elements,additive application and feed processing on animal feed efficiency,so as to provide references for reducing cost and increasing efficiency in animal huabandry production.

Keyword: feed efficiency; energy; amino acid; additive; feed processing technology;

随着我国经济快速发展,养殖业从过去分散、粗放、低效向现代集约、精细、高效生产方式转变。现代养殖生产主要特点是“六化”,即品种良种化、设施现代化、生产标准化、防疫制度化和粪污资源化和监管常态化。小型散养户正逐渐被“环保与禁养”和重大疫病(如非洲猪瘟)淘汰,未来养殖业主体将是专业化的养殖企业。如何应对市场竞争、建立企业核心竞争力是企业面临的重大课题。其中,降低饲养成本,特别是饲料成本,提升养殖效率和效益的能力,是企业重要核心竞争力之一。

在养殖生产中,饲料成本占整个养殖成本的 60%~80%,直接影响养殖效益。饲料成本取决于饲料价格(单价)和饲料利用效率。饲料价格包括配方成本和加工成本;饲料利用效率即通常所说的料重比(F/G)或增重耗料比(G/F)、料蛋比或蛋料比,在实际生产中,更习惯于用钱肉比或钱蛋比来表示。饲料利用效率受诸多因素影响,包括品种、营养、饲料加工、饲养管理、动物健康状况、圈舍环境条件,肉用动物还包括入栏和出栏体重、饲养天数等^[1]。通过查阅近几年国内相关文献,并参考部分国外文献,本文将就饲粮营养成分和加工工艺对动物饲料利用效率的作用与影响进行综述,以期对养殖生产提供些许借鉴与参考。

1 饲粮能量水平

据估计,能量约占动物饲粮总成本的 86%。理论上,增加 1%的饲粮能量水平可以提高 1%的饲料利用效率^[1],实际上,能量的利用率和动物品种、代谢、生长阶段及能量来源等有关。因此,如何优化饲粮能量的利用效率显得尤为重要,这也是确保养殖场净收益最大化的关键因素^[2]。在生产上,通过为动物提供一个最佳环境和最大限度地减少动物健康压力来减少机体维持的能量比率;在营养上,通常采用减少饲粮颗粒大小、使用酶制剂、在热应激期间使用热增耗(HI)低的饲料成分(如脂肪)等方式来最大限度地提高饲料的消化率;在遗传上,选择更有效地利用能量、更低维持需要和更高瘦肉率的猪,可以提高饲料能量利用效率^[3]。

通常情况下随着饲粮能量水平的增加,猪的平均日增重(ADG)上升, F/G 下降^[4]。研究发现, 70 kg 左右育肥猪(杜×长×大)消化能水平提高 0.20 或 0.40 MJ/kg, F/G 分别显著降低 0.07 和 0.08,但对增重和采食量无显著影响^[5]。Nitikanchana 等^[6]通过对 41 篇研究报告、100 个试验结果进行回归分析,以饲粮能量水平和平均体重作为预测因子,对生长育肥猪 ADG 和 G/F 建立了回归方程: $ADG(g/d) = 0.113 \quad 5 \times NE + 8.814 \quad 2 \times BW - 0.050 \quad 68 \times BW^2 + 275.99$; $G/F = 0.000 \quad 096 \times NE - 0.002 \quad 5 \times BW + 0.003 \quad 071 \times Fat + 0.325 \quad 7$ 。式中:NE 为饲粮净

能(kcal/kg),BW 为猪平均体重(kg),Fat 为饲料中脂肪含量(%).从上述方程可知,提高饲料净能水平和添加油脂可以提高生长育肥猪 G/F,改善饲料利用效率。

在家禽中也发现能量水平可以改善饲料利用效率。有研究发现,慢速型岭南黄羽雏鸡代谢能(ME)水平分别提高 0.78 和 1.45 MJ/kg,ADG 分别显著增加 0.3 和 0.5 g,F/G 分别显著下降 0.06 和 0.09^[7]。还有研究表明,ME 水平增加 1.26 MJ/kg,F/G 显著降低 0.24,但对 ADG 无显著影响^[8]。

对荷斯坦育成牛的研究发现,产奶净能(NE_L)提高 0.57 MJ/kg,ADG 显著增加 210 g,F/G 显著降低 2.65^[9],提高舍饲育肥麦洼公牦牛增重净能(NE_g)有相似的结果^[10]。燕山绒山羊育成公羊饲料 ME 水平提高 0.80 MJ/kg,F/G 从 6.60 显著降低到 5.08,但 ADG 无显著差异^[11]。反刍动物上的研究进一步说明能量水平对饲料利用效率影响大,总体来讲提高能量水平会改善饲料利用效率。

能量来源对饲料利用效率改善也有较大影响。与土豆淀粉和糯米淀粉相比,玉米淀粉可以提高 PIC 育肥猪全期日增重,降低 F/G^[12]。李丰隆^[13]研究也发现,玉米淀粉作为饲料主要能量来源饲喂育肥猪,ADG 分别比土豆淀粉和糯米淀粉组显著提高 28 和 31 g,F/G 分别显著降低 0.10 和 0.08。直链/支链淀粉对动物生产性能也有显著影响。对爱拔益加(AA)肉鸡研究表明,与直链/支链淀粉为 0.11 的组相比,直链/支链淀粉为 0.23 的组肉鸡 ADG 显著提高 3.69%,但 F/G 无显著改善^[14]。直链/支链淀粉增加至 0.47 时,ADG 则显著降低 5.45%,F/G 显著提高 0.10^[14]。

总之,提高饲料 NE 水平可以改善动物饲料利用效率,育肥猪使用玉米淀粉优于其他淀粉,适宜的直链/支链淀粉也能提高饲料利用效率,但因动物饲养阶段、能量来源等有一定差异。减小环境应激、提供最适温度、减少疾病发生均可以提高能量利用效率。

2 饲料蛋白质和氨基酸水平

氨基酸是动物体内蛋白质沉积的基础,氨基酸的缺乏会影响动物生长发育、内分泌和基因表达。饲料配方中氨基酸过多或者能量缺乏时,氨基酸就会作为一种昂贵的能量在机体内被转换。因此,当氨基酸水平低于或高于动物机体需要,饲料利用效率会受到影响。饲料蛋白质和氨基酸水平对饲料利用效率的影响与饲料能量水平有关,当饲料 ME 或 NE 一定的情况下,有一个最佳回肠末端标准化可消化赖氨酸(SIDLys)/ME (或 SIDLys/NE)比值。当比值过高或过低时,F/G 均会升高,饲料利用效率下降^[15]。Nitikanachana 等^[6]对猪 G/F、ADG、NE 和标准可消化赖氨酸的关系建立了回归方程: $G/F=0.000\ 004\ 365\times NE-0.001$

$62 \times BW - 0.08023 \times SIDLys + 0.000094 \times NE \times SIDLys + 0.3496$ 。从方程中可知,氨基酸与能量水平之间的关系。

薛强等^[16]研究表明,断奶仔猪饲料蛋白质水平从 18.3%降低到 14.9%,氨基酸水平不变的情况下,不会影响断奶仔猪饲料利用效率和生长性能,但当饲料蛋白质水平继续降低到 13.2%时,则显著影响饲料利用效率。其他研究也发现饲料氨基酸水平不变时,饲料蛋白质水平从 19.7%降低到 16.8%,不会影响仔猪饲料利用效率,但蛋白质水平降低到 14%时,则会显著影响仔猪饲料利用效率^[17,18,19]。总的来讲,仔猪饲料蛋白质水平降低 2~4 个百分点,同时补充一定的必需氨基酸来满足机体营养需求,不会对饲料利用效率产生显著影响。饲料蛋白质水平降低 4 个百分点以上,不仅需要保证必需氨基酸足量供给,某些非必需氨基酸缺乏可能会影响到仔猪饲料利用效率。崔荣飞等^[20]研究发现,饲料赖氨酸水平从 0.8%提高到 0.9%,70~147 日龄生长育肥猪 F/G 从 2.53 降低到 2.42,饲料利用效率显著提高;同时也发现饲料赖氨酸水平稳定在 0.9%时,蛋白质水平从 19.5%降低到 13.5%时,可以显著提高粗蛋白质消化率,降低饲料成本。赖氨酸作为猪饲料第一限制性氨基酸,商业配方中通常会根据理想蛋白质模型来平衡赖氨酸和其他氨基酸比例,将赖氨酸需要量看作已知,从而估算出苏氨酸、蛋氨酸、色氨酸水平。

在家禽上也有同样发现,Wang 等^[21]研究发现,在平衡饲料氨基酸和电解质的基础上,7~42 日龄肉仔鸡饲料蛋白质水平可以在饲养标准基础上降低 3 个百分点。当饲料中蛋白质水平降低到 4 个百分点,则会显著影响鸡饲料利用效率^[22]。其他试验研究发现,甘氨酸在低蛋白质水平饲料中具有促生长作用^[23,24]。由于甘氨酸和丝氨酸可以相互转换,因此肉鸡饲料中甘氨酸和丝氨酸的总量不小于 2.44%时,肉鸡可以获得较佳的饲料利用效率。侯海锋等^[25]研究发现,将蛋鸡饲料蛋白质水平从 17%降低至 15%后补充 0.2%的色氨酸,可以有效降低料蛋比。但反刍动物氨基酸营养研究相对于猪和禽的理想氨基酸模式研究较晚,反刍动物具有特殊的瘤胃,瘤胃内的微生物可以分解饲料中的蛋白质。谭继忠等^[26]发现奶牛的第一和第二限制性氨基酸分别为赖氨酸和蛋氨酸。氨基酸在反刍动物的吸收部位主要是小肠,因此要想通过氨基酸平衡获得最佳饲料利用效率,使用过瘤胃氨基酸技术是反刍动物氨基酸平衡的主要手段。

3 饲料脂肪水平

脂肪的价值主要表现在 ME 价值,饲料中添加油脂不仅因为本身热量高,还可以通过降低食糜排空速度来提高饲料消化率^[27]。大量研究表明,油脂是优质能量来源,油脂不仅

能减少 HI，还具有额外能量效应，能直接在畜禽体内沉积为机体脂肪，减少耗能^[28]。断奶仔猪饲料中添加 2.5%的大豆油，F/G 降低 22.9%^[29]。肉鸡饲料添加 2%花生油则可以使 F/G 降低 11.5%^[30]。与添加鱼油饲料相比，蛋鸡饲料添加豆油、椰子油可以使料蛋比分别降低 5.6%和 8.4%^[31]。黑山羊饲料中添加芝麻油比添加大豆油和葵花油的 F/G 更低^[32]。油脂因种类及添加量的差异对动物有不同的生长效率表现。

油脂主要通过 3 个因素影响饲料转化效率:一是脂肪酸饱和与不饱和比例;二是必需脂肪酸 n-6/n-3 比例;三是脂肪酸链长短。仔猪脂肪消化率与不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸的比例在一定范围内成正比。研究发现，与动物油脂相比，育肥猪单独饲喂 5%亚麻籽油饲料利用效率有提高趋势^[33]，可能是因为亚麻籽油组含不饱和脂肪酸比动物油脂组高，同时亚麻油组猪肉中含有不饱和脂肪酸显著高于动物油脂组。宁乡猪基础饲料中添加 2%亚麻籽油可以显著改善饲料利用效率^[34]。饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的比例为 2.5：1.0 和 5：1 时对育肥猪猪肉品质有改善的潜能^[35]。饲料中 n-6/n-3 多不饱和脂肪酸比例也极为重要，不仅影响畜禽健康状况，还对畜产品品质产生了一定影响。饲料中 n-6/n-3 多不饱和脂肪酸比例越低，越有益于畜禽健康和畜产品品质提升。配制饲料时加入富含 n-3 多不饱和脂肪酸来源的原料(鱼油、植物油、种子)，可以降低畜产品 n-6 多不饱和脂肪酸沉积，n-6/n-3 多不饱和脂肪酸比例也随之降低。反刍动物中由于瘤胃微生物群体会降解 n-3 多不饱和脂肪酸，需要添加保护性的不饱和脂肪酸和大豆粉、蜜粉等混合物来防止降解。其次脂肪酸链的长短也会影响饲料利用效率，长链脂肪酸吸收过程复杂。相比而言，中链脂肪酸的消化、吸收和代谢途径更加简单，更易被吸收。中链脂肪酸对营养物质具有重要调控作用，能够明显提高断奶仔猪饲料转化率^[36]。研究发现，肉鸡饲料中添加了部分中链脂肪酸也可以显著提高饲料利用效率^[37]。由此可见，适宜的饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸比例、降低 n-6/n-3 多不饱和脂肪酸比例以及选用中链脂肪酸均可以提高饲料利用效率。

通常情况下，为了提高油脂消化率，一般会在饲料中加入乳化剂和脂肪酶。陆长慧^[38]研究发现，在肉鸡饲料中加入 1 000 mg/kg 乳化剂可以改善饲料利用效率，但是差异不显著。李静^[39]在肉鸭饲料中加入 0.02%乳化剂发现，与对照组相比，F/G 显著降低 2.18%。这主要是由于乳化剂可以显著降低油水两相界面张力，使互不相溶的油相和水相形成稳定乳浊液，从而促进脂肪吸收。王润之等^[40]研究发现，在黄羽肉鸡饲料中加入脂肪酶可以显著降低 F/G。Hu 等^[41]研究发现，饲料中加入脂肪酶可以提高消化道胰脂酶活性，从而提高脂肪消化率，降低 F/G。同时油脂过量和氧化都会影响饲料利用效率，因此在实际生产中应注

意油脂质量和添加量。

4 饲料微量元素

微量元素在动物体内常作为酶的组成成分或激活剂，并构成体内重要的载体及电子传递系统，还参与某些激素和维生素的合成，是机体正常代谢和功能活动所必需的。微量元素的添加水平或来源会影响到微量元素吸收利用，间接影响体内相关酶的活性，从而影响动物对饲料的转化利用。戴德渊等^[42]通过在生长育肥猪饲料中添加相同水平的复合氨基酸微量元素螯合物和无机微量元素研究发现，试验组 ADG 比对照组提高 3.21%，F/G 降低 0.13；试验组屠宰率比对照组高 2.5 个百分点。谭静等^[43]在育肥猪饲料中添加有机铜、铁、锌和锰，研究发现育肥猪 ADG 显著提高，F/G 和平均日采食量(ADFI)无显著差异。李玲^[44]在保育猪饲料中添加小肽络合铜、铁、锰、锌及酵母硒，采食量和日增重增加，而 F/G 降低。喻哲昊^[45]在生长猪和后备母猪饲料中添加包被无机微量元素，显著提高了生长猪及后备猪 ADFI 和 ADG，显著降低了 F/G。

臧鸡饲料中以 100%比例复合氨基酸铁、锌络合物(以铁、锌含量计)替代无机铁、锌研究发现，ADG 显著提高 6.11%，F/G 显著降低 0.20^[46]。王林^[47]在北京油鸡上研究发现，基础饲料中添加 75%NRC 推荐量的有机螯合微量元素，ADFI 显著提高 2.61%，但对 ADG、料蛋比和蛋重均没有显著影响。

Li 等^[48]在 30 kg 左右的生长猪饲料中添加 200 μ g/kg 不同来源的有机铬(氯化铬、吡啶甲酸铬、纳米氯化铬和纳米微粒吡啶甲酸铬)研究发现，ADG 显著增加，饲料利用效率显著改善。35 日龄热应激黄羽肉鸡饲料中添加 1.20 mg/kg 有机铬，肉鸡 ADG 和 ADFI 分别显著提高 10.1 和 10.0 g，F/G 显著降低 0.57^[49]。但在肉鸡饲料中添加不同水平烟酸铬(以 Cr^{3+} 计:0、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/kg)的研究发现，ADG、ADFI 和 F/G 均无显著差异^[50]。

5 饲料添加剂应用

某些非营养性添加剂对动物饲料利用效率有一定的改善作用，比如胍基乙酸、益生菌、酶制剂、乳化剂等。

张德福等^[51]在 28 kg 生长猪饲料中添加 300 和 600 mg/kg 胍基乙酸，ADG 分别显著增加 44 和 64 g，F/G 分别显著降低 0.08 和 0.13。但在 60.0 kg 杜×长×大三元杂种猪饲料中添加 800 mg/kg 胍基乙酸的研究发现，ADG 显著增加 78 g，F/G 差异不显著^[52]。潘宝海等^[53]在 75 kg 杜×长×大育肥猪饲料中添加 500 mg/kg 胍基乙酸的研究发现，育肥猪 ADG 显著提高了 59 g，F/G 显著降低 0.18。在 75 kg 育肥猪饲料中添加 300 和 600 mg/kg 胍基乙酸，研究发现

ADG 分别显著增加 29 和 51 g,F/G 分别显著降低 0.15 和 0.21^[53]。张俊玲等^[54]在 1 日龄 AA 肉鸡饲料中添加 600 mg/kg 胍基乙酸研究发现,肉鸡 ADG 显著增加 4.4 g,F/G 显著降低 0.10。由此可见,胍基乙酸能促进猪和肉鸡的生长,提高其饲料转化效率。

郑伟萍等^[55]在肉仔鸡饲料中添加 750 U/kg 过氧化氢酶,研究发现 ADG 显著增加 1.2 g,F/G 显著降低 0.09。另外,肉仔鸡饲料中联合使用木聚糖酶(2 000 U/g)和葡聚糖酶(800 U/g),ADFI 和 ADG 分别显著降低 165 和 26 g,F/G 显著下降 0.04^[56]。周传凤等^[57]研究表明,小麦-杂粕型饲料中添加 2 000、2 500 和 3 000 mg/kg 复合酶制剂(含木聚糖酶 950 U/g、纤维素酶 900 U/g、 β -葡聚糖酶 150 U/g 和植酸酶 2 500 U/kg),ADG 分别显著提高 13.19%、15.90%和 9.43%,F/G 分别显著降低 0.11、0.10 和 0.10。上述研究表明酶制剂也能促进猪和肉鸡的生长,降低 F/G。

韩启春^[58]在 55 kg 左右的杜×长×大阉割公猪饲料中添加益生菌发酵饲料,研究发现 ADFI 显著提高 320 g,F/G 显著降低 0.71。但是,程皇座^[59]在二元杂交(长白×大白)育肥猪饲料中添加 3 000 mg/kg 的 2 种益生菌(枯草杆菌 1.0×10^4 CFU/g、乳酸菌 1.0×10^5 CFU/g+枯草杆菌 1.0×10^7 CFU/g+酵母菌 1.0×10^7 CFU/g),研究发现育肥猪 ADG、ADFI 和 F/G 均无显著差异,这可能与益生菌种类、添加剂量以及试验环境条件有关。在 12 kg 左右的杜×长×大杂交保育猪饲料中添加 3%发酵杜仲叶粉,研究发现 ADG 显著增加 50 g,F/G 显著降低 0.13^[60]。郭欣怡等^[61]研究发现,1 日龄 AA 肉鸡饲料中添加 1 mL/kg 复合菌制剂(乳酸菌、酵母菌和枯草芽孢杆菌的发酵液按 1:1:1 混合),ADG 显著提高 12.86%,F/G 显著降低 0.06。

于航宇^[62]在 54 kg 左右的杜×长×大杂交肥育猪饲料中分别添加 5 000、10 000 和 15 000 mg/kg α -酮戊二酸,研究发现 ADG 分别显著增加 100、190 和 240 g,F/G 分别显著降低 0.43、0.76 和 0.61。雌性 AA 商品代肉仔鸡饲料添加 N-乙酰半胱氨酸,研究发现肉鸡 ADFI 和 ADG 显著提高 6.2 和 3.2 g,对 F/G 无显著影响,但热应激条件下肉鸡 F/G 显著降低 0.07^[63]。将 125 mg/kg 氨基酸铁+125 mg/kg 氨基酸锌络合物添加在肉仔鸡饲料中,ADG 提高 5 g,但对 F/G 无显著改善^[64]。在羊上的研究发现,不同纤维比例[非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维(NFC/NDF)比值从 1.16 提高至 1.66]饲料饲喂川中黑山羊,ADG 显著提高 36 g,F/G 显著降低 0.69,但与外源纤维素酶(400 mg/kg)无协同作用^[65]。

6 饲料加工工艺

饲料加工工艺参数或饲料调制方法不同均会影响动物采食量、饲料中养分消化率、饲料损耗,从而影响到动物生产性能和饲料利用效率。

据国外研究, 生长育肥猪饲料原料适宜粉碎粒度为 500~600 μm , 当超过最适粒度, 每增加 100 μm , F/G 增加 1.2%^[66]。原料粉碎粒度越小, 与消化酶的接触面积就越大, 消化率就越高, 但原料粉碎粒度过细, 一方面增加能耗, 降低生产效率; 另一方面使动物胃角质化和胃溃疡发生率增加。Rojas 等^[67]将谷物粒径减少到 400~500 μm , 提高了能量的消化率。段海涛^[68]研究了饲料原料粉碎粒度对颗粒饲料加工质量和生长性能的影响。试验选用 1.5、2.0、2.5 和 3.0 mm 孔径的筛片对混合后饲料原料进行粉碎, 得到几何平均粒径分别为 595、626、758、856 μm 的饲料原料。在试验开始后前 1~4 周, 2.0 mm 组生长猪 ADG 显著高于其余 3 个组, 该组 F/G 为 2.09, 显著低于其余 3 个组(分别为 2.29、2.39 和 2.35); 但在 1~8 周, 4 组间 ADFI、ADG、F/G 差异均不显著。倪海球^[69]研究发现, 玉米粉碎粒度对育肥猪末重和 ADFI 有显著影响, 其中用 Φ 2.5/2.5 mm 孔径筛片粉碎组(几何平均粒径 358.51 μm) 育肥猪末重、ADG 最大, 但各组间 F/G 没有显著差异, 2.5/3.0 mm 组 F/G 为 2.96, 在所有组中最低。Huang 等^[70]也证实了饲喂细玉米的猪比饲喂粗玉米的猪有更高的养分消化率。因此, 一般建议肥育猪饲粮玉米粉碎粒度采用 2.5/2.5 mm 筛片孔径。

葛春雨^[71]研究了仔猪饲粮不同淀粉糊化度(75%、83%、89%、93%)对其生长性能的影响, 发现 75%淀粉糊化度组仔猪全期 ADG 和 ADFI 最高, F/G 最低。段海涛^[72]研究了普通制粒(调质时间约为 30 s, 调质温度为 80 $^{\circ}\text{C}$, 制粒温度为 80 $^{\circ}\text{C}$)和高温调质低温制粒(调质时间约为 30 s, 调质温度为 80 $^{\circ}\text{C}$, 制粒温度为 60 $^{\circ}\text{C}$) 2 种工艺生产的饲料对生长育肥猪的影响, 发现高温调质低温制粒工艺组生长猪末重高于普通制粒组, F/G 略低于普通制粒组, 但差异不显著。马世峰等^[73]研究发现, 筛片孔径为 2.0 或 2.5 mm、调质温度为 70 $^{\circ}\text{C}$ 、模孔直径为 4.0 mm 的制粒条件下, 1~42 日龄肉鸡的生长性能较高, F/G 较低。

粉料制粒后, 淀粉糊化度提高, 蛋白质变性, 适口性增加, 饲料消化率提高。邓君明等^[74]研究发现, 颗粒料比粉料的蛋白质消化率提高 13.3%。张亮等^[75]研究发现, 与粉料相比, 颗粒饲料能够显著提高肉鸡的 ADFI 和 ADG, 显著降低 F/G。Jafarnejad 等^[76]研究表明, 1~21 日龄期间采食颗粒料的肉鸡体增重和饲料转化率显著高于粉料。张亮等^[77]研究表明, 肉鸡 18~21 日龄时, 粉料的养分和能量利用率高于颗粒饲料; 而在 38~41 日龄时, 颗粒饲料养分和能量的利用率高于粉料, 其原因可能与不同阶段肉鸡消化道的发育情况有关。王昊等^[78]研究发现, 饲喂模孔长径比 6:1 制粒饲料组肉鸡的 F/G 最低为 2.06, 显著低于饲喂模孔长径比 10:1 制粒饲料组肉鸡(F/G 为 2.25); 饲喂颗粒饲料直径为 4.0 mm 组饲料肉鸡的 F/G 显著低于 3.0 mm 组(2.13 vs. 2.25)。韩晴等^[79]发现 22~35 日龄饲喂颗粒直径 3 mm 的颗

粒料、35~42 日龄饲喂颗粒直径 4 mm 的颗粒料，不仅肉鸡生长性能较好，而且还有利于降低加工能耗，提高制粒效率。

粉化率是判断颗粒质量的重要指标。Nemecek 等^[80]表明猪颗粒饲料的粉化率越高，饲料效率越低。刘松柏等^[81]也发现了颗粒饲料的含粉率从 5%增加到 45%时，肉鸡的 F/G 线性上升，ADG 逐步下降。因此，为了保证颗粒饲料能改善动物的生长性能，减少颗粒的粉化率是关键。研究发现调整配方中的原料，如使用小麦、蜡样胚乳谷物和颗粒饲料黏结剂、增加环模压缩比、减小原料粉碎粒度、提高调质温度，均可降低颗粒料粉化率^[82]。

液态饲料相较于传统颗粒料、粉料而言，养分的消化率、动物日增重和饲料效率都有不同程度的改善。Hurst 等^[83]研究发现，料水比(w/v) 1:3 相较于全干饲料，液态饲料可显著提高生长猪 ADG 和瘦肉率。欧维金等^[84]研究了液态发酵饲料与干料对断奶仔猪生长性能的影响，液态发酵饲料可显著提高仔猪生长性能，ADFI 提高 11.44%,ADG 提高 19.28%。胡新旭等^[85]研究了发酵饲料对生长育肥猪生长性能和养分表观消化率的影响，发现用发酵饲料替换 20%对照组饲粮，ADFI、ADG 显著高于对照组，F/G 显著低于对照组;粗蛋白质和粗纤维表观消化率显著高于对照组。李洁等^[86]对仔猪液态发酵饲料的研究发现，用料水比(w/v) 1:3.5 的液态发酵饲料替换 50%全价粉料，仔猪 ADG 提高 11.68%,ADFI 提高 1.96%。

7 小结

未来养殖业的竞争主要是养殖效率和养殖成本的竞争，饲料利用效率对养殖成本有着重要影响。在一定范围内，增加饲粮能量水平，提高能量利用效率，均可显著改善饲料利用效率，这是最直接、最有效的一条途径。饲粮蛋白质和氨基酸水平对饲料利用效率的作用，与饲粮能量水平有关，当饲粮能量水平在一定的情况下，蛋白质或赖氨酸与能量之间有一个最佳比值(赖能比)，这个比值使得动物饲料利用效率达到最高，不过值得注意的是，动物最快生长速度或最低增重成本的赖能比值可能不同于最低 F/G 的赖能比值;另外，饲粮必需氨基酸之间平衡性、必需氨基酸与非必需氨基酸的比例，也会影响饲料利用效率。油脂具有额外的能量效应和低 HI 的特点，饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸的比例、n-6/n-3 的比例和脂肪酸的链长对油脂供能效率产生影响。微量元素是体内多种酶的组成成分，参与体内多个代谢过程，从而影响到养分的利用率。胍基乙酸、益生菌、酶制剂、乳化剂等饲料添加剂对动物饲料利用效率也有一定的改善作用。不同种类或不同生理阶段的动物，其饲料有最适的粉碎粒度，过粗或过细均会降低饲料效率;颗粒饲料比粉料和液体饲料饲料效率更高;颗粒饲料中粉化率增加，会降低饲料利用效率。总之，饲料利用效率受多种因素影响，

改善饲料利用效率是一个系统工程，也是养殖业持续关注和需要解决的重大课题。

参考文献：略

原文刊登在《《动物营养学报录用定稿》》网络首发时间: 2020-10-20 15:15:48

研究进展

水产新型饲料添加剂的研发与应用

赵红霞 王国霞 孙育平 胡俊茹 陈冰 彭凯 黄燕华 曹俊明

广东省农业科学院动物科学研究所/农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室/广东省畜禽育种与营养
研究重点实验室 广东海洋大学

摘 要：水产饲料添加剂具有提高水产动物摄食率和饲料转化效率、促进生长和发育、调节机体代谢机能或免疫功能、增强抗病力、改善水产品品质等作用。近年来，国内外已有较多关于水产饲料添加剂的研究报道，通过传统配合饲料中使用水产饲料添加剂可调控水产动物生长、品质、免疫和抗病抗应激能力，能产生良好的经济效益、社会效益和环境效益，因此水产饲料添加剂已成为科研热点和商业焦点。综述了免疫刺激剂、促生长和抗氧化剂、诱食剂、植物提取物等新型水产饲料添加剂在各种水产动物中的作用机制、应用效果和适宜添加剂量，并指出其存在的问题和未来的研究方向，以期为促进我国水产饲料添加剂的研究与应用提供参考。

关键词：水产动物; 饲料添加剂; 营养; 免疫; 抗氧化;

Development and Application of New Aquatic Feed Additives

ZHAO Hongxia WANG Guoxia SUN Yuping HU Junru CHEN Bing PENG KaiHUANG Yanhua CAO
Junming

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

Abstract: Aquatic feed additives play important roles in raising the feeding rate of aquatic animal and the feed conversion efficiency, promoting growth and development, regulating body metabolic function or immune function, strengthening disease resistance and improving quality of aquatic products. In recent years, many studies about aquatic feed additives at home and abroad have been reported. In order to produce good economic, social and environmental benefits, aquatic feed additives are used in traditional compound feeds to improve the growth and quality and regulate immunity and disease-resistant response ability of aquatic animals. Therefore, aquatic feed additives have been a hot spot of scientific researches and a focal point of business. The mechanism,

application effect and appropriate dose of aquatic additives in aquatic animals, such as immunologic stimulants, growth promoters, antioxidants, feeding attractants and plant extracts were summarized. The existing problems in the previous researches and future research directions of aquatic feed additives were pointed out to provide references for the promotion of the research and application of aquatic feed additives in China.

Keyword: aquatic animal; feed additive; nutrition; immune; antioxidant;

水产饲料添加剂是在饲料生产加工、使用过程中添加的少量或微量物质,对强化基础饲料营养价值、提高动物生产性能、保证动物健康、节省饲料成本和改善水产品品质等方面有明显的效果。水产饲料添加剂可分为营养性(氨基酸添加剂、维生素添加剂、微量元素添加剂等)和非营养性饲料添加剂(免疫刺激剂、抗氧化剂、促生长剂、诱食剂等)。水产饲料添加剂是配合饲料的核心,种类繁多、成分多样、功能广泛,虽然在水产配合饲料中用量少,但却发挥着重要作用。我国水产动物营养研究与饲料工业经过 40 多年的快速发展,取得了巨大成就。1991 年我国水产饲料产量 75 万吨,2019 年则达到 2 200 多万吨,而水产养殖产量达到 5 000 万吨,占世界总产量的 2/3^[1]。然而,随着水产养殖规模化、集约化程度的提高,养殖过程中面临着大量的如拥挤、环境、代谢等因子的激烈应激,使水产动物抗病力减弱,易暴发大规模病害,影响水产养殖业的健康可持续发展。因此,迫切需要寻求解决水产养殖安全生产的新途径。应用营养调控提高水产动物抗氧化应激能力和免疫力是一种有效途径,使用水产饲料添加剂也是一种有效手段。加强营养与免疫学方面的研究工作将有利于推动水产养殖业的健康可持续发展,因而具有重要的理论意义和实际应用价值。研究表明,水产饲料添加剂在提高饲料转化效率、促进营养吸收、增强抗病能力、减少环境污染等方面都有积极作用。广东省农业科学院动物科学研究所近 10 多年来较系统深入地开展了水生经济动物特别是华南地区特色水产养殖动物的抗氧化应激和免疫力营养调控研究,并开展水产动物的营养需要研究、功能性添加剂研发与应用以及鱼虾环保高效饲料的研发和推广等,在水产动物抗氧化应激和免疫力营养调控等方面取得了创新性成果。本文综述了免疫刺激剂、促生长和抗氧化剂、诱食剂、植物提取物等水产饲料添加剂的研究进展,以期为促进我国水产饲料添加剂的研究与应用提供参考。

1 水产饲料功能性添加剂的开发应用

1.1 免疫刺激剂: β -1,3-葡聚糖

β -葡聚糖广泛分布于真菌、细菌和植物中,是目前研究最广泛的免疫刺激剂之一。饲料中添加 β -1,3-葡聚糖能促进凡纳滨对虾的生长性能、提高免疫功能和抗环境应激能力^[2,3]。

研究表明,长期摄食免疫刺激剂的鱼类可能产生免疫抑制和抗病力下降^[4],摄食较高剂量的免疫刺激剂可能对鱼虾的存活和健康产生负面影响^[5]。广东省农业科学院动物科学研究所开展了 β -1,3-葡聚糖在凡纳滨对虾、斑节对虾、草鱼、黄颡鱼和花鲈中的应用研究,获得了 β -1,3-葡聚糖在不同水产动物中的最适添加量:凡纳滨对虾饲料中添加量为 336.5 mg/kg,斑节对虾和草鱼饲料中添加量为 400 mg/kg,黄颡鱼饲料中添加量为 600 mg/kg,花鲈饲料中添加量为 415.10 mg/kg^[6,7,8,9,10,11,12]。

1.1.1 β -1,3-葡聚糖在凡纳滨对虾中的应用研究

β -葡聚糖使用剂量、使用时间与效应关系的研究至关重要,其实际作用效果与养殖水产动物的各个生长阶段、投喂方式和添加时间密切相关。王计刚等^[6]研究凡纳滨对虾在停饲 β -1,3-葡聚糖后 0、7、14、21、28、35 d 的免疫酶活性变化动态规律,发现连续摄食 β -1,3-葡聚糖 14 d 后停饲的凡纳滨对虾具有最高的免疫保护率,停饲 28 d 相对免疫保护率达到 77.01%。长期投喂 β -1,3-葡聚糖对凡纳滨对虾血液代谢物和肌肉免疫相关酶活性产生显著影响,饲料中添加 250、500 mg/kg β -1,3-葡聚糖 14、42、56 d,能够显著提高低盐度养殖凡纳滨对虾营养物质代谢和非特异性免疫功能^[7,8,9]。 β -1,3-葡聚糖的间隔投喂方式显著提高凡纳滨对虾生长、血清代谢和抗亚硝酸氮应激能力,14 d 间隔投喂 0.1% β -1,3-葡聚糖可能通过促进能量代谢和脂多糖/ β -1,3-葡聚糖结合蛋白、酚氧化物酶原和超氧化物歧化酶 mRNA 表达而增强凡纳滨对虾抗亚硝酸氮的应激能力。

1.1.2 β -1,3-葡聚糖在花鲈中的应用研究

饲料中添加 β -1,3-葡聚糖可显著提高花鲈的免疫和抗氧化能力,400 mg/kg 和 600 mg/kg β -1,3-葡聚糖能显著提高血清和肝脏免疫球蛋白 M、补体 C3 含量,血清超氧化物歧化酶、碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性,以及一氧化氮含量和总抗氧化能力,显著降低血清和肝脏丙二醛含量。通过开展氯化铵应激试验,400、600 mg/kg β -1,3-葡聚糖显著降低应激 96 h 的累计死亡率,相对保护率分别为 60.0%和 58.1%^[10]。与未添加组相比,应激后摄食 β -1,3-葡聚糖的花鲈血清酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和总抗氧化能力显著升高,丙二醛含量显著降低,饲料中添加一定水平的 β -1,3-葡聚糖可显著降低氨氮应激累计死亡率和提高抗氧化能力^[11]。

1.1.3 β -1,3-葡聚糖在黄颡鱼中的应用研究

饲料中添加 200、600、1 000 mg/kg β -1,3-葡聚糖,无论采取连续投喂还是间隔投喂方式,对黄颡鱼幼鱼生长性能、体成分、血清生化指标、免疫、抗氧化和抗嗜水气单胞菌感染能力均没有显著影响,但间隔投喂 1 000 mg/kg β -1,3-葡聚糖显著降低黄颡鱼肝体比,显著

升高肾脏白细胞介素-1 β 、白细胞介素-6 和肿瘤坏死因子- α 水平。腹腔注射 β -1,3-葡聚糖可以增强黄颡鱼成鱼血清免疫球蛋白 M、白细胞介素-6 水平和超氧化物歧化酶活性, 降低嗜水气单胞菌感染 48 h 后的累计死亡率, 提高抗嗜水气单胞菌感染能力^[12]。

1.2 促生长、抗氧化剂: 谷胱甘肽

谷胱甘肽(GSH) 是广泛存在于细胞中的一种生物活性肽, 其中在动物肝细胞、酵母和小麦胚芽细胞中较为丰富, 一般达 0.1~10.0 mmol /L^[13]。GSH 具有活性巯基(-SH) 和 γ -酰胺键, 这使得它具有多种生理功能, 能参与机体自由基清除、免疫应答激活、毒素螯合、细胞完整性保护和部分物质吸收等多方面生理活动, 在临床医学和营养学上已有大量相关研究^[14]。水产动物饲料中添加 GSH, 能够增强水产动物的抗氧化应激能力, 改善其机体健康, 并促进生长。

1.2.1 GSH 在对虾中的应用研究

通过对虾肝细胞离体培养试验表明, 谷胱甘肽对肝细胞增殖有显著促进作用, 可降低肝细胞 RNA/DNA 比值, 提高肝细胞中类胰岛素生长因子(IGF-1) 含量, 超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX) 活性, 以及 SOD、过氧化氢酶(CAT) 基因表达量, 并降低丙二醛(MDA) 含量, 对肝胰腺线粒体损伤有显著保护方面^[15]。饲料中添加 GSH 能显著增加凡纳滨对虾的增重率、成活率、饲料转化效率和血清、肝胰腺、肌肉中的蛋白浓度, 提高虾肝胰腺中谷胱甘肽还原酶(GR)、GSH-PX、血清碱性磷酸酶、酸性磷酸酶活性、总抗氧化能力(T-AOC)、血淋巴细胞计数等, 并降低组织 MDA 含量^[16]。GSH 通过激发凡纳滨对虾的非特异免疫功能, 提高凡纳滨对虾成活率, 改善离子铵对凡纳滨对虾造成的氧化胁迫。以增重率为评价指标, GSH 在凡纳滨对虾饲料中的适宜添加量为 174.13 mg/kg^[17]。

1.2.2 GSH 在草鱼中的应用研究

初体质量约 8.50 g 的草鱼, 在 56 d 饲养期中分别投喂添加 5 种不同剂量 GSH (添加量分别为 0、100、200、300、400 mg/kg) 的试验饲料, 研究发现, 饲料中添加 GSH 能够提高草鱼特定生长率、存活率和饲料效率, 其中 200 mg/kg 剂量组达到显著水平^[18]。饲料中添加 GSH 明显提高草鱼肝胰指数, 显著升高血清 IGF-1 水平、血液白细胞数目, 并提高草鱼对嗜水气单胞菌的抵抗能力, 其中 200 mg/kg GSH 组草鱼攻毒后存活率达到最高^[19]。以特定生长率为评价指标, GSH 在草鱼饲料中的适宜添加量为 350 mg/kg^[18]。

1.2.3 GSH 在罗非鱼中的应用研究

饲料中添加一定量的谷胱甘肽能显著提高吉富罗非鱼幼鱼的生长性能, 提高全鱼粗蛋白与粗脂肪含量、血清和肝脏 IGF-1 水平及非特异性免疫相关酶活性, 诱导肝脏生长激素 (GH)、IGF-1、SOD、谷胱甘肽 S-转移酶 (GST) mRNA 表达。以增重率为评价指标, 吉富罗非鱼幼鱼饲料中 GSH 的适宜添加量为 355.13 mg/kg^[20]。饲料添加 320 mg/kg GSH 显著提高罗非鱼肝脏 GST、GR、SOD、CAT 活性和抗超氧阴离子 (anti-O²⁻), 降低肝脏 MDA 含量^[21]。在亚硝基氮应激 96 h 内, 饲料添加 320 mg/kg GSH 显著降低应激的累计死亡率, 饲料中添加 GSH 通过激活吉富罗非鱼的抗氧化性能提高其抗亚硝基氮应激能力^[21]。

1.2.4 GSH 在花鲈中的应用研究

饲料添加 GSH 对花鲈幼鱼的生长性能和常规营养成分无明显影响, 添加 400 mg/kg 其增重率比对照组提高 6.2%, 明显增强血清 T-AOC、GSH-PX、GST 活性和 GSH 含量, 显著提高肝脏 SOD 和 GSH-PX 活性及白细胞介素-6 含量, 抗亚硝态氮 96 h 累计死亡率明显低于对照组^[22]。以生长性能、血清和肝脏抗氧化指标、抗亚硝态氮应激能力为评价指标, 花鲈幼鱼饲料中谷胱甘肽适宜添加量为 300~400 mg/kg^[22]。

1.2.5 GSH 在黄颡鱼中的应用研究

饲料添加适量 GSH 能提高黄颡鱼幼鱼生长、免疫及抗氧化性能和上调黄颡鱼 igf1 基因的表达, 但过量添加 GSH 会产生负面效果^[23]。饲料中添加适量 GSH 可降低黄颡鱼幼鱼血细胞活性氧浓度, 维持血细胞内的钙离子平衡, 上调 bcl2 基因和下调 bax 基因表达, 抑制血细胞凋亡^[23]。此外, 饲料中添加适量 GSH 可降低黄颡鱼氨氮应激后血清皮质醇浓度和累计死亡率, 改善应激过程中的抗氧化性能, 上调 hsp70 基因表达, 有效提高其抗氨氮应激能力^[23]。以特定生长率为评价指标, GSH 在黄颡鱼饲料中的适宜用量为 357.69 mg/kg^[24]。

1.3 新型高效诱食剂

1.3.1 二甲基丙酸-β-噻亭

二甲基-β-丙噻亭 (DMPT) 是从海洋植物中提取的生物活性物质, 大量存在于海藻和盐生高等植物体内。DMPT 具有多种功能, 能够作为有效的甲基供体, 对哺乳动物、禽类及水产动物的营养代谢具有促进作用, 可提高一些鱼类的游泳能力和抗应激能力, 刺激虾类蜕壳和生长, 具有类似维生素的功能^[25,26]。赵红霞等^[27]研制开发了以 DMPT 为主的复合诱食剂, 在凡纳滨对虾饲料中可以替代乌贼膏发挥诱食作用, 饲料中添加 400 mg/kg DMPT 可以显著提高对虾的增重率, 并对凡纳滨对虾血液渗透压具有调节作用。DMT (二甲基噻亭) 为 DMPT 的同系物, 饲料中添加 200~400 mg/kg DMT 对鲫鱼有明显的促生长效果, 并有

利于鲫鱼体形改善（相对体形变长）以及提高出肉率，同时提高鲫鱼的免疫学功能、肝胰脏功能，减轻运输应激对鱼体造成的损伤，对应激造成的负作用有一定抑制作用。

1.3.2 酵母提取物

陈晓瑛等^[28]研究比较了凡纳滨对虾对 3 种酵母产品（鲜酵母粉、酵母核苷酸、啤酒酵母水解物）的诱食效果，并探讨了诱食效果最佳的产品在高低蛋白水平下对凡纳滨对虾生长性能的影响。将基础饲料中 3% 秘鲁鱼粉等量替换为鲜酵母粉、酵母核苷酸、啤酒酵母水解物，添加氧化钇（ Y_2O_3 ）、氧化钕（ Nd_2O_3 ）、氧化镧（ La_2O_3 ）和氧化铈（ Yb_2O_3 ）作为惰性标物，用于测定选食偏好，结果发现对虾对不同饲料的选食偏好高低依次为酵母核苷酸组 > 鲜酵母粉组 > 鱼粉组 > 啤酒酵母水解物组。在此基础上，采用 2×2 双因素设计 2 个蛋白水平（36%、45.27%）和 2 个酵母核苷酸水平（0、0.8%）的试验以探讨酵母核苷酸在不同蛋白水平下对凡纳滨对虾的生长影响。结果表明，低蛋白水平能显著提高对虾存活率、终末体均质量、增重率、特定生长率、摄食量和蛋白质保留率，降低饵料系数；饲料中添加酵母核苷酸能显著提高对虾存活率，提高终末体均质量、增重率和特定生长率，降低饵料系数。酵母核苷酸具有较好的诱食效果，饲料添加 0.8% 酵母核苷酸能促进摄食，提高生长性能，在低蛋白水平下作用更显著^[28]。

2 其他新型饲料添加剂的开发应用

2.1 核苷酸

核苷酸是遗传物质 DNA、RNA 的重要组成成分，在机体内具有许多重要的生理生化功能。研究表明，动物处于快速生长、应激和病理状况下，内源核苷酸往往不能满足各种代谢旺盛的组织 and 细胞的需要，因此补充外源核苷酸尤为重要^[29]。在大菱鲆、罗非鱼、虹鳟、大西洋鲑、美国红鱼中研究发现，外源核苷酸能够促进生长性能、肠道功能和免疫相关因子活性，核苷酸缺乏会削弱肝脏、肠道和免疫系统的功能^[29]。饲料中添加 5 种核苷酸混合物（5'-腺苷酸:5'-胞苷酸:5'-尿苷酸二钠:5'-肌苷酸二钠:5'-鸟苷酸二钠=1:1:1:1:1）能够改善凡纳滨对虾幼虾的生长性能，促进摄食，改善肝胰腺功能和肠道形态，提高凡纳滨对虾体内的非特异性免疫相关因子水平，降低脂质过氧化物含量，从而提高对虾的抗氧化能力和非特异性免疫功能，核苷酸混合物在凡纳滨对虾幼虾饲料中的适宜添加量为 400~600 mg/kg 饲料^[30]。研究发现，在凡纳滨对虾低蛋白质（37.92%）饲料基础上添加 400 mg/kg 核苷酸混合物可明显提高饲料干物质、粗蛋白质、粗脂肪、灰分和总磷表观消化率，粗脂肪和总磷表观消化率显著高于高蛋白（46.45%）对照组，但与低蛋白（37.92%）对照组相

比无明显差异；显著提高了饲料 C16:0、C17:0、C20:0、C22:1、C18:3n-3、DHA 表观消化率，C14:0、C16:1 的表观消化率显著高于高蛋白（46.45%）对照组，但与低蛋白（37.92%）对照组无明显差异；与高、低蛋白质水平饲料相比，在低蛋白质饲料中添加核苷酸混合物具有改善凡纳滨对虾对饲料营养物质表观消化率的效果，特别是对粗脂肪、总磷和脂肪酸的作用明显^[31]。而在黄颡鱼的基础饲料中分别添加 0.2、0.4、0.6、1.0、1.5 g/kg 混合核苷酸，1.5 g/kg 添加组黄颡鱼的增重率、特定生长率、饲料效率、蛋白质沉积率和血清胆固醇水平显著高于对照组，饲料中添加核苷酸能够提高黄颡鱼生长性能，促进脂类代谢和增强抗氧化能力^[32]。

2.2 低聚木糖

低聚木糖（xylo-oligosaccharides, XOS）是功能性寡糖常用种类，是 2~7 个 D-木糖经 β -1,4 糖苷键结合成的直链或支链低度聚合糖，有效成分以木二糖和木三糖为主，具有稳定性好、有效用量少、无残留及来源丰富等特点^[32]。XOS 克服了抗生素、活菌益生菌、酸化素等的不足，对饲料加工和储存环境具有很高的耐受性，能抵抗胃酸的灭活作用，在水产饲料中的应用前景十分广阔。目前，已有欧洲鲈鱼、异育银鲫、奥尼罗非鱼、草鱼、宝石鲈、斑点叉尾鮰和凡纳滨对虾饲料添加 XOS 进行生长性能、消化酶活性和肠道菌群等相关研究^[33]。张荣斌等^[35]研究表明，饲料中添加 200 mg/kg 低聚木糖能显著促进对虾生长性能，降低饵料系数，提高消化酶活性，提高对虾总蛋白，改善中肠肠道形态，提高血清 PO、LZM 活性和肝胰腺 T-AOC 活性，降低肝胰腺 MDA 含量，显著提高 anti-O²⁻，显著增强抗白斑综合征病毒能力，显著提高肠道细菌数量和双歧杆菌数量，降低弧菌数量，影响肠道细菌种类^[34]。另有研究表明，低聚木糖能显著改善奥尼罗非鱼肠道形态，增加基层厚度和皱襞面积，显著提高肠道双歧杆菌和乳酸杆菌数量，明显提高抗嗜水气单胞菌感染的能力。

2.3 有机硒

硒是动物的必需微量元素，对维持动物的正常生长、促进发育具有重要作用。硒提高水产动物生产性能可能通过以下 3 条途径：（1）硒通过提高水产动物的免疫力和抗氧化能力来提高生产性能^[36]；（2）硒通过 5'-脱碘酶介导甲状腺激素的形成和降解，控制生长激素基因的表达和生长激素的合成，从而促进生长^[37]；（3）硒是许多酶的组成部分和激活因子，具有分解、合成、稳定酶蛋白四级结构、调整酶活性等多种生物作用，硒亦可能通过提高消化酶活性，增加消化吸收速率，促进动物生长^[36]。硒在水产动物中的抗氧化作用被广泛研究，其能够增强抗氧化的能力在水产动物体液水平以及基因水平上均已被证实。Hu 等^[38]

系统开展硒的营养生理及其抗氧化应激调控研究，确定了黄颡鱼幼鱼对硒的适宜需要量为 0.20 mg/kg。适量的硒能显著提高黄颡鱼的抗氧化能力，缺硒和高硒激活 ROS 信号分子，诱导细胞凋亡对黄颡鱼造成氧化应激，高硒诱导 Ca^{2+} 信号分子产生，在细胞凋亡中发挥重要作用，黄颡鱼通过上调 hsp70 基因表达降低高硒对机体产生的氧化应激^[38]。研究发现，有机硒的促生长效果优于无机硒，能显著提高全鱼和肌肉组织中硒的沉积及肝脏抗氧化能力，酵母硒通过提高鱼体血糖含量，降低尿素氮排出，提高黄颡鱼的抗低温胁迫能力^[39]。

2.4 抗菌肽

抗菌肽是机体的内源性抗生素，是先天性免疫系统的重要组成部分，可广谱灭杀革兰氏阴性菌、阳性菌等多种有害菌，对真菌、螺旋体、包膜病毒等微生物也有抗菌活性，甚至对某些病毒和肿瘤细胞有抑制作用^[40]。研究表明，抗菌肽在凡纳滨对虾、罗非鱼、锦鲤、草鱼等具有提高免疫和促进生长的作用，其作为一种安全、环保、高效的饲料添加剂具有广阔的应用前景^[41]。Hu 等^[42]采用超声波诱导的方式筛选出生长状况良好的蝇蛆，通过组织匀浆、乙酸铵浸提、热处理、冻融处理、盐析、透析、蒸馏浓缩等方法提取家蝇抗菌肽，应用分光光度法测定其浓度和提取率，比浊法测定其抗菌活性。饲料中添加 0.2%~1.0% 家蝇抗菌肽可显著提高黄颡鱼的增重率、特定生长率和饲料效率，并显著提高白细胞吞噬百分比，以副溶血弧菌进行攻毒，随抗菌肽添加量的增加，黄颡鱼死亡率有下降趋势。饲料中添加适量的家蝇抗菌肽对凡纳滨对虾有一定的促生长作用，可提高凡纳滨对虾的免疫能力和抗白斑综合征病毒能力，添加 0.2% 抗菌肽可显著提高对虾特定生长率、饲料效率和血清过氧化物酶（POD）、溶菌酶（LZM）等酶活性^[43]。

2.5 植物提取物

植物提取物指通过物理、化学或生物学方法从植物中提取出来的天然生物活性成分，具有某类功效的天然产品。不同的植物提取物活性成分对水产动物有着差异的作用效果，发挥主要作用的植物成分主要包括多糖、生物碱、甙类、有机酸类、类固醇类、精油、植物色素及单宁等。

2.5.1 缩合单宁

天然植物提取物缩合单宁是由黄烷-3-醇单体组成的多酚类聚合物，广泛存在于自然界，具有显著的抗氧化、免疫刺激、抗菌、抗炎、抗寄生虫等生物活性。与化学合成的抗氧化剂相比，缩合单宁具有无污染、无残留、安全高效等诸多优点，在抵御氧化应激对机体危害、增强机体抗氧化能力、改善肠道健康等方面有巨大的研究价值和开发潜力，是理想的抗生

素替代品^[44]。缩合单宁可促进鱼类生长，提高免疫力和缓解氧化损伤和^[45,46]。Peng 等^[47]研究表明，饲料中添加缩合单宁不影响花鲈幼鱼末体重、增重率、特定生长率、成活率、饲料系数、摄食量、蛋白质效率、肥满度、肝体比和脏体比，但可显著提高鲈鱼肠道菌群多样性，抑制 *Cetobacterium* 和 *Aeromonas* 菌属，促进 *Clostridium* 和 *Brevinema* 相对丰度增加。随着缩合单宁添加量升高，血清胆固醇和血清甘油三酯含量显著降低，血清总抗氧化能力、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性显著升高；肝脏总抗氧化能力、超氧化物歧化酶和谷胱甘肽 S 转移酶活性显著升高；肝脏 SOD 和 Nrf2 mRNA 的表达量显著上升。饲料中添加缩合单宁可显著降低花鲈对急性硫酸铜应激的累计死亡率，提高应激花鲈血清超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶和肝脏总抗氧化能力、过氧化氢酶活性。

2.5.2 桑叶黄酮

黄酮类化合物是一类化学结构相似的植物次生代谢产物，具有抗癌、抗氧化、调节脂代谢、抗菌抗病毒、抗炎等生理功能^[48,49]。黄酮类化合物作为一种天然、绿色、环保抗氧化剂，可提高鱼类生长性能和抗氧化能力。水飞蓟素（从水飞蓟果实中分离得到的一种黄酮类抗氧化剂）能够显著提高草鱼的增重率和特定生长率，降低饲料系数^[50]。在饲料中添加槐属植物黄酮能显著提高罗非鱼的增重率、特定生长率、蛋白质效率和肥满度并降低饲料系数^[51]，在饲料中添加 10~20 mg/kg 大豆黄酮能降低大菱鲆幼鱼血清 MDA 水平，显著提高血清 SOD 和 GSH-PX 的活性，提高抗氧化能力^[52]。广东省农业科学院动物科学研究所在国内首次开展有关桑叶黄酮提高水产动物生长、抗氧化及其机理的研究。研究表明，在饲料中添加适量桑叶黄酮可改善吉富罗非鱼的生长性能，显著提高其抗氧化能力及抗亚硝酸盐应激能力，改善肌肉品质，提高抗氧化酶 SOD 和 CAT 基因表达水平，初步判断其抗氧化作用可能与 Nrf2 信号通路有关^[53]。在凡纳滨对虾饲料中添加桑叶黄酮可提高血清和肝胰腺总抗氧化能力，降低血清肝胰腺丙二醛和脂质过氧化物的含量，提高凡纳滨对虾抗氧化能力，添加 50 mg/kg 桑叶黄酮可促进凡纳滨对虾肠道发育，增加肠道菌群多样性^[55]。以血清 T-AOC 为评价指标，桑叶黄酮在凡纳滨对虾饲料中的适宜添加量为 56.18 mg/kg^[54]。

3 展望

在大力推进水产健康养殖转型升级、重视水产品安全与环保以及加速水产供给侧改革的大背景下，研发和推广应用水产饲料添加剂是水产饲料工业发展的重要内容，也是推动水产养殖业健康、可持续发展的有效措施^[56]。水产饲料添加剂的功能广泛，在动物营养和动物养殖中具有重要的地位和作用，但目前尚有许多关键技术问题需要突破，这也将是今

后主要的研究方向：（1）水产动物品种繁多，水产添加剂在不同水产动物中的适宜添加剂量、添加方式和添加时间仍需要继续深入探索；（2）我国地域辽阔，应针对不同养殖环境、养殖模式、养殖季节、养殖阶段开展水产饲料添加剂在不同养殖条件下的应用效果和适宜添加量研究；（3）细化水产饲料添加剂的产品定位，根据生长性能、健康状态、形体参数、繁殖性能、产品品质、抗病抗应激能力等不同评判标准，制定不同生产目的的产品使用标准；（4）针对不同养殖环境、不同生长阶段水产动物营养代谢差异，研究水产动物对重要营养物质消化、吸收、转动和代谢的途径和特点，阐明营养代谢的关键调控元件与信号网络。

原文刊登在（广东农业科学录用定稿）网络首发时间: 2020-10-30 15:39:25

小丑鱼营养需求与配合饲料的研究进展

王秀琴 宋凯 鲁康乐

集美大学水产学院

摘 要：小丑鱼是海水观赏鱼，具有很高的商业价值和观赏价值。随着观赏水族产业的发展,小丑鱼逐渐被人们所重视,在家庭观赏养殖过程,人工配合饲料是简单方便养殖的前提。本文查阅相关文献，综述小丑鱼配合饲料的研究进展，以为小丑鱼作为观赏鱼进行家庭养殖提供借鉴。

关键词：小丑鱼; 配合饲料; 研究进展;

小丑鱼，又称海葵鱼，雀鲷科，双锯鱼属，分布于热带浅水区，其性情温顺，喜游动，易饲养，体色鲜艳，属于热带珊瑚礁鱼，是一种重要的观赏水族品种。随着观赏水族产业的发展,小丑鱼逐渐被人们所重视,在家庭观赏养殖过程,人工配合饲料是简单方便养殖的前提。本文查阅相关文献，综述小丑鱼配合饲料的研究进展，以为小丑鱼作为观赏鱼进行家庭养殖提供借鉴。

1 小丑鱼配合饲料的原料选择

合适的原料是配制配合饲料的前提,目前常见的饲料原料主要有动物和植物原料。动物原料中应用最广泛的是鱼粉，鱼粉的蛋白含量在 60%以上,氨基酸组成较全面，但鱼粉的价格较高。其次是鸡肉粉,蛋白含量和鱼粉差不多，在一定范围内可以替代鱼粉作为原料，但存在消化率低、氨基酸组成不平衡等缺点。已有研究认为，鱼粉、鸡肉粉、扇贝边粉与虾头粉等具有良好的诱食性，可以在小丑鱼饲料中大量使用；豆粕、花生粕、啤酒酵母、玉米蛋白粉与谷元粉等植物性原料可以在小丑鱼饲料中适量使用；而次粉、菜籽粕与棉籽粕会对动物的肝脏和性腺造成毒性，不宜在小丑鱼饲料中使用。

2 小丑鱼配合饲料的蛋白质需求

据很多研究论文表明,小丑鱼的对饲料蛋白的需求为 50%左右。其中,鱼粉作为最优质的饲料蛋白源,小丑鱼配合饲料中鱼粉的用量可达 60%~70%,但鱼粉近两年的产量降低,价格上升。因此,降低鱼粉的使用,利用其他蛋白源替代鱼粉成为饲料行业的必然。研究表明,小丑鱼的饲料中添加南极磷虾粉 60%替代鱼粉,能促进小丑鱼的生长发育,增加其鱼体亮度,使其色彩更加鲜饱满,提高观赏鱼的视觉效果。一些学者认为,用一定比例的鸡肉粉、羽毛粉和血粉替代鱼粉,对水产动物的生长发育无显著影响,但过量替代,适口性降低、饲料氨基酸含量不平衡,会影响健康生长。

3 小丑鱼配合饲料的脂肪需求

脂肪是鱼类必需的营养素之一,能提供能量,也可提供必需脂肪酸。特别是鱼油富含必需脂肪酸,是水产动物最好的脂肪原料。然而,自然渔业资源的有限,水产品消费量的日益增大导致鱼油价格上涨。因此,学者们致力于研究一种鱼油替代物来降低饲料的成本。常见的鱼油替代物主要有植物油和动物油脂。李桑的研究表明 66.67%的菜籽油或者植物混合油替代鱼油对大黄鱼生长无显著影响。何凌云的研究表明,大豆油或棕榈油大比例甚至完全替代鱼油不会对斜带石斑鱼生长产生显著影响。但关于小丑鱼饲料中鱼油替代问题研究较少,需要继续深入研究。

4 小丑鱼配合饲料的碳水化合物需求

碳水化合物即糖类,虽然不是鱼类必需的营养物质,因为鱼类可以利用脂肪和蛋白质合成一些碳水化合物,但碳水化合物对配合饲料的制粒非常重要,饲料中缺乏碳水化合物往往会导致饲料的水稳性降低。一般认为,暖水性鱼类对碳水化合物的利用率要高于冷水性的鱼类;一般的暖水性鱼类的饲料中碳水化合物的水平为 30%左右较为适宜。因此,小丑鱼饲料的碳水化合物含量为 30%左右即可。此外,纤维素也属于碳水化合物,纤维素不能被鱼类消化吸收,但对肠道的蠕动有很大的帮助,一般鱼类的配合饲料中粗纤维的含量为 3%~5%较适宜。

5 小丑鱼配合饲料的维生素需求

维生素是维持机体生理、生长和繁殖必需的物质,起到调节新陈代谢的作用。机体对维生素的需求量虽然很少,但不可或缺,缺乏会引起缺乏症。对小丑鱼的维生素需要目前未见报道,但可以参考一般经济鱼类的需求量。

6 小丑鱼配合饲料的矿物质需求

鱼类也需要矿物质来满足骨骼生长发育、代谢调控等生理需求。鱼类可从水体或饲料中获取矿物质。一般来说,从水体中吸收的矿物质较少,所以在鱼类饲料配制时均需保证基本的营养需求。矿物质元素按动物体内含量分为常量矿物质元素和微量矿物质元素两大类。常量矿物质元素包括钙、磷、钾、钠和硫等,微量元素包括铜、铁、锌、锰、碘、钴和铬等。对小丑鱼的矿物质需要目前未见报道,可以参考一般经济鱼类的需求量。

7 小丑鱼配合饲料的增色剂需求

小丑鱼的观赏价值在于其体色鲜艳,而体色是色素在体内积累的原因,受营养等因素的影响。研究发现在饲料中添加增色剂能加强体色,常见的增色剂有化学合成的类胡萝卜素及其衍生物、微生物生产的叶黄素等。饲料中添加 80~160 毫克/公斤酯化虾青素能改善公子小丑色素聚集、类胡萝卜素积累,使其体色更加饱满。也有研究表明,饲料中添加类胡萝卜素能改善虹鳟、金鱼和锦鲤的体色,增加其商业价值。也有研究表明,小丑鱼饲料中添加南极磷虾粉能增加其鱼体亮度,使其色彩更加鲜饱满,提高观赏的视觉效果。

小丑鱼作为最常见的海水观赏鱼类,配合饲料的普及使用迫在眉睫,但有关小丑鱼配合饲料还没有系统研究。目前,小丑鱼配合饲料的一些营养需求参数借鉴食用经济鱼类的需求量,但主要营养参数不能盲目套用食用鱼,不仅不适用于小丑鱼,还可能造成氮磷等过多排放,污染水族水质,危及鱼体健康。因而,亟需开展观赏鱼营养需要的研究,推动观赏鱼配合饲料产业的发展。

原文刊登在《新农业》2020,(19),50-51

科学研究

三种铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能、肝脏抗氧化酶活性及肠道发育形态的影响

郭鑫伟 张洋 迟淑艳 谭北平 姚亚军 姚红梅

广东海洋大学水产动物营养与饲料实验室 农业农村部南方水产与畜禽饲料重点实验室 广东省水产动物

精准营养与高效饲料工程技术研究中心 长沙兴嘉生物工程股份有限公司

摘 要: 为研究配合饲料中添加不同铁源对珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*♂×*Epinephelus fuscoguttatus*♀)幼鱼的影响。选取遗传背景一致的健康珍珠龙胆石斑鱼(初重(9.00±0.49) g)270 尾,随机分成 3 个处理,分别饲喂硫酸亚铁(FeSO₄)、甘氨酸亚铁(Fe-Gly(II))和羟基蛋氨酸铁(Fe-MHA)3 种铁源等氮等脂的试验饲料,养殖 8 周,测量各组珍珠龙胆石斑鱼的生长性能、抗氧化能力和肠道发育等形态结构指

标。研究表明:(1)铁源对各组间成活率、增重率和特定生长率均无显著影响($P>0.05$),但 Fe-MHA 组肥满度、全鱼和脊椎骨中 Fe 含量显著高于其余 2 组($P<0.05$)。(2)Fe-MHA 组肝脏 CAT 活性显著高于 Fe-Gly(II)组和 FeSO₄ 组($P<0.05$),且该组肝脏 MDA 含量显著低于 Fe-Gly(II)组和 FeSO₄ 组($P<0.05$)。(3)摄食 Fe-MHA 组饲料的石斑鱼前、中、后肠的绒毛高度显著高于 FeSO₄ 组和 Fe-Gly(II)组($P<0.05$),而绒毛宽度显著低于 FeSO₄ 组和 Fe-Gly(II)组($P<0.05$);该组中肠段肌层厚度显著高于 Fe-Gly(II)组和 FeSO₄ 组($P<0.05$)。研究结果表明,与 Fe-Gly(II)和 FeSO₄ 相比,Fe-MHA 有利于机体对铁元素的沉积,改善鱼体肠道发育,显著提高珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肝脏的抗氧化能力,建议珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中添加的铁源形式为 Fe-MHA。

关键词: 铁源; 珍珠龙胆石斑鱼; 生长性能; 抗氧化酶; 矿物元素沉积; 肠道发育形态;

Effects of Three Kinds Fe Sources on Growth Performance, Hepatic Antioxidative Enzymes and Intestinal Morphology of Juvenile Pearl Gentian Grouper(*Epinephelus lanceolatus*♂×*Epinephelus fuscoguttatus*♀)

GUO Xin-Wei ZHANG Yang CHI Shu-Yan TAN Bei-Ping YAO Ya-Jun YAO Hong-Mei

Laboratory of Aquatic Animal Nutrition and Feed, Guangdong Ocean University Key Laboratory of Aquatic, Livestock and Poultry Feed Science and Technology in South China of Ministry of Agriculture Research Center for Accurate Nutrition and Highly Efficient Feed Engineering of Aquatic Animals of Guangdong Province Changsha Xingjia Biotechnology Share Co., Ltd

Abstract: The three kinds of iron sources iron sulfate(FeSO₄), glycine chelated iron(II)(Fe-Gly(II)), and iron hydroxymethionine(Fe-MHA) were added in the juvenile pearl gentian grouper(*Epinephelus lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀) isonitrogenous and isolipidic experimental diets respectively. The grouper(initial weight(9.00±0.49) g) were randomly divided into 3 groups with 3 replicates, and 30 individuals in each replicate. The experiment lasted 8 weeks. The effects of three different iron sources on the growth performance, hepatic antioxidative abilities, and intestinal morphology of were evaluated. The results showed that although three kinds of Fe sources did not influenced significantly the survival ratio, weight gain ratio, and specific growth rate($P>0.05$), the condition factor, Fe contents of whole body and vertebrae of fish fed Fe-MHA diet were significantly higher than those of fish fed FeSO₄ and Fe-Gly(II) diets($P<0.05$). Hepatic CAT activities in Fe-MHA group was significantly higher than that in other two groups($P<0.05$). MDA contents of liver in Fe-MHA group was significantly lower than that in other two groups($P<0.05$). The plica height of the three part of the fish intestinal in Fe-MHA group were significantly higher than those in FeSO₄ and Fe-Gly(II) groups($P<0.05$), the plica width of foregut, midgut and hindgut in Fe-MHA group were significantly lower than that in other two groups($P<0.05$). The muscle thickness of midgut in Fe-MHA group was significantly higher than that in FeSO₄ and Fe-Gly(II) groups($P<0.05$). Based on the above experimental results, compared with Fe-Gly(II) and

FeSO₄, adding Fe-MHA in grouper diet improved the iron deposition and intestinal development, and then ameliorate antioxidant capacity of juvenile pearl gentian grouper. It was recommended that Fe-MHA should be better as the iron sources in the feed of juvenile pearl gentian grouper.

Keyword : Fe source; pearl gentian grouper(*Epinephelus lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀); growth performance; antioxidative enzyme; mineral accumulation; intestinal development and morphology;

铁(Fe)作为鱼类健康生长所需微量元素之一,参与肌红蛋白和血红蛋白的行成,并且以 Fe²⁺或 Fe³⁺的形式激活糖代谢酶,催化该过程中的多种生化反应^[1]。相比于无机态铁和简单有机酸铁两种形式,饲料中添加有机螯合铁被认为更易吸收,具有更高的生物活性^[2,3]。甘氨酸铁(Fe-Gly(II))和柠檬酸铁比无机态的 FeSO₄ 能够更有效地提高凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei* Boone)蛋白质效率和饲料效率^[4]。然而,评价依据不同,铁源的生物效价存在差异,当分别以增重率和饲料效率为参考依据时,军曹鱼(*Rachycentron canadum*)对蛋氨酸铁的生物利用率和 FeSO₄ 是相似的,但当以血清 CAT 活性为判据时,前者的生物利用率是后者的 2.75 倍^[5]。目前关于铁源如 FeSO₄、Fe-Gly(II)和羟基蛋氨酸铁(Fe-MHA)的利用效果在猪^[6]、肉仔鸡^[7,8]和小鼠^[9]等陆生动物上已经开展了比较研究,关于水产动物尤其是海水鱼类的研究较少。

石斑鱼目前已经成为中国四大海水养殖鱼类之一,珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus lanceolatus*♂×*E. fuscoguttatus*♀)由于其生长速度快、肉质鲜嫩和抗病力强等优势已成为南海主养海水品种^[10]。本研究分别添加无机态 FeSO₄、氨基酸螯合态 Fe-MHA 和 Fe-Gly(II)3 种铁源,探讨珍珠龙胆石斑鱼饲料中适宜铁源的应用效果,以期获得满足石斑鱼健康快速生长的微量元素 Fe 的适宜添加形式。

1 材料与方法

1.1 试验材料和养殖管理

参考有关鱼类商业饲料及文献[4,11,12,13,14]报道中 Fe 需要量,分别添加 FeSO₄、Fe-Gly(II)和 Fe-MHA (纯度均为 99%,长沙兴嘉生物工程发展股份有限公司)3 种铁源,配制 3 组等氮等脂的试验饲料。根据饲料配方(见表 1)准确称取已粉碎过 60 目筛的饲料原料,在 V 型立式混合机(JS14S 型)中与微量组分预混合 10 min 后,倒入搅拌机并逐次加入鱼油、磷脂和适量的水,混合 15 min 后经双螺杆挤条机(F-75 型)挤压成直径为 3 mm 的条状饲料。在室内自然风干至饲料水分将至 10%左右,将各组饲料进行破碎分装,-20 °C冰箱保存供养殖试验用。

在广东海洋大学海洋生物研究基地(东海岛,湛江)实施石斑鱼的养殖试验。将购回的试

验用珍珠龙胆幼鱼(东海岛石斑鱼苗场,湛江,广东)置于室外水泥池中暂养 10 d,期间投喂石斑鱼商业配合饲料(粗蛋白≥49%,粗脂肪≥8%)。待石斑鱼稳定并适应养殖环境后,挑选健康且规格均一的试验鱼(初重(9.00±0.49)g)随机分配到室内海水养殖玻璃钢桶中。根据试验设计,共设 3 个处理组,每个处理组 3 个重复,每个重复放养 30 尾鱼,静水养殖 8 周,定时换水 2/3。每天在 8:00 和 17:00 进行投喂,投喂量约为其体重的 3%,定时观察石斑鱼摄食情况及时调整投喂量,同时记录死亡数^[15]。

Ingredients	FeSO ₄	Fe-Gly(II)	Fe-MHA
低温蒸汽红鱼粉			
Low-temperature steam dried brown fish meal/%	42	42	42
去皮豆粕			
Dehulled soybean meal/%	20.13	20.13	20.13
小麦谷朊粉			
Wheat gluten flour/%	9	9	9
面粉			
Wheat flour/%	18	18	18
鱼油			
Fish oil/%	4.49	4.49	4.49
磷脂			
Lecithin/%	3	3	3
磷酸二氢钙			
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ /%	1.5	1.5	1.5
维生素 C			
Vitamin C/%	0.03	0.03	0.03
氯化胆碱			
Choline chloride/%	0.5	0.5	0.5
多维			
Vitamin mix ^① /%	0.5	0.5	0.5
无铁多矿 ^②			
Fe-free mineral mix ^② /%	0.5	0.5	0.5
乙氧基喹啉			
Ethoxyquin/%	0.05	0.05	0.05
蛋氨酸			
Methionine/%	0.3	0.3	0.3
营养成分			
Nutrients proximate			
粗蛋白			
Crude protein/%	54.97	54.91	55.04
粗脂肪			
Ether extract/%	10.98	12.48	12.52
铁 Iron/mg • kg ⁻¹	152.58	156.25	159.00

注:①多维:青岛玛斯特生物技术有限公司惠赠。②无铁多矿(以 kg 饲料计):一水合硫酸锰 46.61 mg;五水合硫酸铜 11.91 mg;七水合硫酸锌 145.85 mg;亚硒酸钠 0.73 mg;碘酸钾 6.78 mg;六水合氯化钴 42.00 mg。

Note:①Vitaminmix:Qingdao Master Biotech Co.,Ltd offered.②Fe-free mineral mix(kg dietbasis):MnSO₄ • H₂O,46.61 mg;CuSO₄ • 5H₂O,11.91 mg;ZnSO₄ • 7H₂O,145.85 mg;Na₂SeO₄,0.73 mg;KI,6.78 mg;CoCl₂ • 6H₂O,42.00 mg.

养殖期间用水为经过沉淀和沙滤的天然海水,水体中铁元素含量 $\leq 0.000\ 67\ \text{mg/L}$,24 h 供应氧气,溶解氧 $\geq 5\ \text{mg/L}$,盐度 27~29,水温 $(29.14\pm 0.75)^\circ\text{C}$,氨氮 $\leq 0.03\ \text{mg/L}$ 。

1.2 样本采集与处理

8 周末,养殖试验结束,禁饲 24 h 后称重,记录每个重复存活尾数,分别用于计算各处理组的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)和成活率(SR)。分别在每个玻璃钢桶中随机取 3 尾鱼,测量体长和体质量后置于 $-20\ ^\circ\text{C}$ 冰箱,备测全鱼常规养分和 Fe、铜(Cu)、锰(Mn)和锌(Zn)含量;另取 4 尾鱼分离肝脏并称重后迅速放于液氮中,后移至 $-80\ ^\circ\text{C}$ 保存备测抗氧化酶活性,同时剥离脊椎骨保存于 $-20\ ^\circ\text{C}$,备测 Fe、Cu、Mn 和 Zn 含量;每重复取 2 尾鱼分离肠道,并标记前、中和后肠固定于 10%甲醛溶液中,用于肠道石蜡切片的制作。

1.3 检测方法

1.3.1 肝脏抗氧化酶活性

测定肝脏中丙二醛(MDA)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)、过氧化氢酶(CAT)和碱性磷酸酶(AKP)的活性(南京建成生物工程研究所),样本前处理和操作过程参考说明书。

1.3.2 矿物元素含量

准确称量养殖水体、实验饲料、全鱼和脊椎骨样品(0.10~0.15 g)于消解罐中,滴加 8 mL 默克硝酸和 2 mL 双氧水后放入微波消解仪(CEM MARS)消解。赶酸后转入比色管中用超纯水定容。等离子体质谱仪(ICP 6000)测定样品中 Cu、Fe、Mn 和 Zn 四种元素的含量^[15]。

1.3.3 肠道石蜡切片

将固定好的珍珠龙胆石斑鱼前、中、后肠样本分别进行常规石蜡包埋,切片厚度为 $6\ \mu\text{m}$,苏木精-伊红(HE)染色,在全自动生物显微镜(DM600)下观察、拍照并测量肠道样本的皱襞高度(PH)、皱襞宽度(PW)和肌层厚度(MT),每张切片分别测定 10 个相应数据^[15]。

1.4 计算方法^[15]

成活率(Survival rate, SR, %)= $100\times N_t/N_0$;

饲料系数(Feed coefficient rate, FCR)= $W_f/(W_t-W_0)$;

增重率(Weight gain rate, WGR, %)= $100\times(W_t-W_0)/W_0$;

特定生长率(Special growth rate, SGR, %/d)= $100\times(\ln W_t-\ln W_0)/t$;

脏体比(Viscerosomatic index, VSI, %)= $100\times W_v/W_t$;

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %)= $100\times W_L/W_t$;

肥满度(Condition factor, CF,%)= $100\times W_t/L^3t^3$ 。

式中: N_t 为终末尾数; N_0 为初始尾数; W_t 为终末体质量(g); W_0 为初始体质量(g); t 为试验天数(d); W_f 为摄入饲料干重(g); W_L 为肝脏质量(g); W_v 为内脏团质量(g); L_t 为终末体长(cm)。

1.5 数据分析^[15]

实验数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示,通过 SPSS 20.0 软件进行单因素分析,当处理间有显著差异($P<0.05$)时,用 Duncan 氏法进行多重比较检验。

2 结果分析

2.1 铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能和形态学指标的影响

3 种铁源对珍珠龙胆石斑鱼 SR、WGR 和 SGR 均无显著影响($P>0.05$);Fe-MHA 组的 FCR 显著高于 FeSO₄ 组($P<0.05$)。FeSO₄ 组 HIS 和 VSI 显著高于 2 个添加氨基酸螯合态 Fe 源组($P<0.05$),其中 Fe-Gly(II)组的 HSI 和 VSI 显著高于 Fe-MHA 组($P<0.05$)。Fe-Gly(II)组和 Fe-MHA 组的 CF 显著高于 FeSO₄ 组($P<0.05$),Fe-MHA 组 CF 显著高于 Fe-Gly(II)组($P<0.05$)(见表 2)。

表 2 铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能及体形态学指标的影响
Table 2 Effects of Fe sources on growth performance and morphological characteristics of juvenile grouper

生长指标 Growth index	FeSO ₄	Fe-Gly(II)	Fe-MHA
初重 IBW/g	9.00±0.59	9.00±0.41	9.00±0.51
成活率 SR/%	90.00±3.33	88.89±1.92	91.11±8.39
增重率 WGR/%	655.97±27.88	646.70±18.28	656.19±85.78
特定生长率 SGR/%·d ⁻¹	3.61±0.07	3.59±0.04	3.60±0.20
饲料系数 FCR/%	0.92±0.03 ^a	0.97±0.01 ^{ab}	0.99±0.02 ^b
肝体比 HSI/%	3.57±0.06 ^c	2.84±0.07 ^b	2.45±0.06 ^a
脏体比 VSI/%	11.40±0.01 ^c	10.65±0.01 ^b	8.60±0.13 ^a
肥满度 CF/%	2.55±0.04 ^a	3.04±0.03 ^b	3.17±0.02 ^c

注:同行数据上标字母不同表示组间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Data in each line with different superscripts are significantly different ($P<0.05$). The same as below.

2.2 铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼鱼体和脊椎骨矿物元素含量的影响

Fe-MHA 组全鱼 Fe 和 Zn 含量显著高于 FeSO₄ 和 Fe-Gly(II)组($P<0.05$);FeSO₄ 组全鱼 Cu 含量显著高于有机铁源组($P<0.05$),且这两个有机铁源组间无显著差异($P>0.05$);铁源对珍珠龙胆石斑鱼全鱼 Mn 含量没有显著性影响 ($P>0.05$)(见表 3)。

FeSO₄ 组幼鱼脊椎骨 Cu 含量显著高于其余 2 个 Fe 的氨基酸螯合物组($P<0.05$);Fe-MHA 组石斑鱼脊椎骨中 Fe 含量显著高于其他 2 组($P<0.05$);Fe-Gly(II)组 Mn 含量显著低于 FeSO₄ 组和 Fe-MHA 组($P<0.05$),且 FeSO₄ 组和 Fe-MHA 组这 2 组间无显著差异($P>0.05$);Fe-MHA

组 Zn 含量显著高于 Fe-Gly(II)组和 FeSO₄ 组(P<0.05),而后 2 组间无显著差异(P>0.05)(见表 4)。

表 3 铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼全鱼 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量的影响
Table 3 Effects of Fe sources on iron, zinc, copper and manganese contents in whole fish

矿物元素含量 Mineral contents	FeSO ₄	Fe-Gly(II)	Fe-MHA
Fe/mg · kg ⁻¹	51.46±0.65 ^a	62.87±1.10 ^b	174.04±3.58 ^c
Zn/mg · kg ⁻¹	82.53±2.37 ^b	67.48±1.05 ^a	113.20±1.77 ^c
Cu/mg · kg ⁻¹	19.55±0.20 ^b	12.06±0.19 ^a	11.07±2.26 ^a
Mn/mg · kg ⁻¹	17.94±0.39	18.20±0.40	18.58±0.32

表 4 铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼脊椎骨 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量的影响
Table 4 Effects of Fe sources on iron, zinc, copper and manganese contents in the grouper vertebrae

矿物元素含量 Mineral contents	FeSO ₄	Fe-Gly(II)	Fe-MHA
Fe/mg · kg ⁻¹	102.05±0.98 ^a	118.34±1.00 ^b	174.95±1.34 ^c
Zn/mg · kg ⁻¹	116.85±0.54 ^a	117.36±0.29 ^a	126.31±1.21 ^b
Cu/mg · kg ⁻¹	13.09±0.06 ^c	7.88±0.55 ^a	10.47±0.00 ^b
Z/mg · kg ⁻¹	47.40±0.27 ^b	45.79±0.43 ^a	47.08±0.42 ^b

2.3 铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肝脏抗氧化能力的影响

如表 5 所示,Fe-Gly(II)组和 FeSO₄ 组肝脏 CAT 活性无显著差异,但是,显著低于 Fe-MHA 组(P<0.05)。Fe-MHA 组肝脏 AKP 活性显著低于 Fe-Gly(II)组(P<0.05)。Fe-MHA 组肝脏 MDA 含量显著低于其余 2 组(P<0.05)。Fe-Gly(II)和 Fe-MHA 组对肝脏 T-SOD 活性无显著影响(P>0.05),但是这 2 组的 T-SOD 活性显著高于 FeSO₄ 组(P<0.05)。

表 5 三种铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肝脏抗氧化酶活性的影响
Table 5 Effects of three kinds Fe sources on antioxidative enzymes of juvenile pearl gentian grouper

抗氧化酶 Antioxidative enzymes	FeSO ₄	Fe-Gly(II)	Fe-MHA
过氧化氢酶 CAT /U · (mg prot) ⁻¹	5.46±0.12 ^a	6.15±0.81 ^a	16.43±0.57 ^b
碱性磷酸酶 AKP/金氏单位 · (g prot) ⁻¹	10.12±0.25 ^{ab}	15.10±1.43 ^b	6.35±0.22 ^a
总超氧化物歧化酶 T-SOD/U · (mg prot) ⁻¹	22.79±0.44 ^b	20.06±0.62 ^b	13.75±0.69 ^a
丙二醛 MDA/nmol · (mg prot) ⁻¹	321.99±0.24 ^a	568.48±37.86 ^b	497.96±6.45 ^b

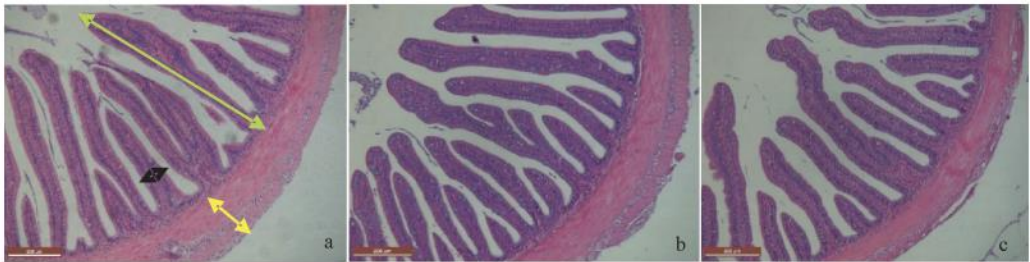
2.4 铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肠道结构的影响

如表 6 所示,Fe-MHA 组石斑鱼 3 个肠段 PH 显著高于 FeSO₄ 组和 Fe-Gly(II)组(P<0.05)。Fe-Gly(II)组和 FeSO₄ 组前、中、后肠 PW 均显著高于 Fe-MHA 组(P<0.05)。Fe-Gly(II)组前肠和后肠 MT 显著高于 Fe-MHA 组和 FeSO₄ 组(P<0.05);Fe-MHA 组中肠 MT 显著高于 Fe-Gly(II)组和 FeSO₄ 组(P<0.05)。肠道切片显示(见图 1~3),有机铁源组石斑鱼中肠的杯状细胞

数量显著多于无机 FeSO₄ 组。

表 6 铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肠道形态的影响
Table 6 Effects of Fe sources on intestinal morphology of grouper

铁源 Fe sources	不同肠段形态 Dissimilar intestinal morphology								
	前肠 Foregut			中肠 Midgut			后肠 Hindgut		
	PH	PW	MT	PH	PW	MT	PH	PW	MT
FeSO ₄	671.76±4.88 ^b	52.57±0.33 ^b	94.48±3.17 ^a	408.33±1.98 ^b	52.47±0.24 ^b	83.73±3.08 ^a	415.71±3.68 ^a	64.58±0.37 ^c	116.13±2.06 ^a
Fe-Gly(II)	529.39±4.84 ^a	52.89±0.05 ^b	134.38±3.04 ^c	354.36±2.71 ^a	53.58±0.39 ^c	103.09±3.44 ^b	454.69±3.06 ^b	60.44±0.32 ^b	123.69±2.54 ^b
Fe-MHA	763.31±5.90 ^c	47.62±0.21 ^a	115.24±2.92 ^b	466.49±1.91 ^c	47.64±0.24 ^a	115.49±1.26 ^c	483.90±2.42 ^c	51.22±0.16 ^a	114.88±3.21 ^a



(绿色双向箭头; 皱襞高度; 黑色双向箭头; 皱襞宽度; 黄色双向箭头; 肌层厚度。a: FeSO₄ 组; b: Fe-Gly(II) 组; c: Fe-MHA 组, 下同。Green two-way arrows; plica height; Black two-way arrow; plica width; Yellow two-way arrow; muscle thickness. a: FeSO₄ group; b: Fe-Gly (group II); c: MHA-Fe group. The same below.)

图 1 铁源对珍珠龙胆幼鱼前肠发育形态的影响(HE 染色, 10×)
Fig.1 Effect of dietary iron sources on histomorphology appearance of the foregut of *E.fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatu* ♂ (HE stain, 10×), the same as follow



(白色箭头表示杯状细胞。White arrow represent goblet cells.)
图 2 铁源对珍珠龙胆幼鱼中肠发育的影响(HE 染色, 10×)
Fig.2 Effect of dietary iron sources on histomorphology appearance of the midgut of *E.fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatu* ♂ (HE stain, 10×)

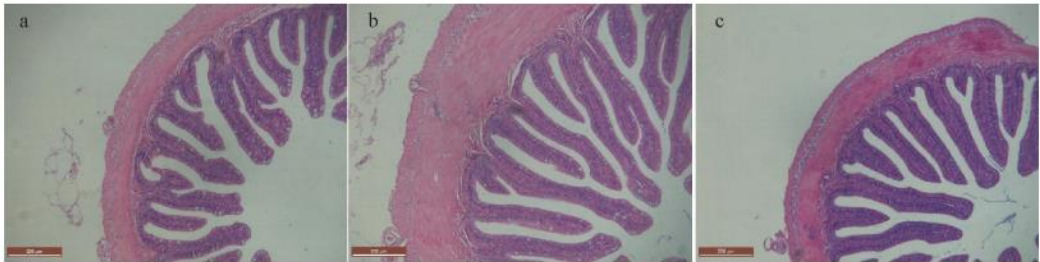


图 3 铁源对珍珠龙胆幼鱼后肠发育的影响(HE 染色, 10×)
Fig.3 Effect of dietary iron sources on histomorphology appearance of the hindgut of *E.fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatu* ♂ (HE stain, 10×)

3 讨论

3.1 三种铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼生长性能和形态学指标的影响

金属离子只有在肠道内与蛋白质或氨基酸结合形成络合物,才能通过富含阴离子的细胞膜,被机体吸收利用。并且,该络合物的形成需要动物体内辅酶的参与,在吸收进入血液后与某些蛋白结合被运输到所需组织才能发挥其功效^[15]。金属离子在鱼的碱性中肠环境下溶解度较低,降低了消化吸收率,而矿物质的氨基酸螯合物可直接被吸收^[10,16]。当微量元素与氨基酸以螯合物的形式进入机体后,则以胞饮的方式被吸收,这样不但减弱了矿物元素之间的竞争,提高了吸收效率,还改善了其他营养物质的吸收。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)摄食氨基酸螯合态铁后增重率、蛋白质效率以及饲料系数均优于七水合硫酸亚铁组^[17],这与军曹鱼^[18]和奥尼罗非鱼(*Oreochromis aureus*×*O. niloticus*)^[19]的研究结果类似。添加 Fe、Cu、Mn 和 Zn 复合的氨基酸螯合物与其无机盐相比,可以改善青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)^[20]和尼罗罗非鱼(*Oreochromis spp*)^[21]的生长,提高非特异性免疫力,表明相比无机微量元素,鱼类能够更有效地利用矿物元素的氨基酸螯合物提高机体的生长性能。并且,氨基酸的分子量亦会影响微量元素的吸收。氨基酸螯合矿物盐 Fe-MHA 和 Fe-Gly 在动物体内的生物利用度较 FeSO₄ 高的原因可能是由于氨基酸的分子量和氨基酸的需要程度。甘氨酸的分子量在所有氨基酸中最小,而依据饲料原料的使用,蛋氨酸成为鱼类的第一限制性氨基酸。氨基酸分子量的大小有利于维持其与矿物元素螯合结构的稳定性,并且可以减少消化道内其他相关抑制因子的干扰,从而有利于微量元素的吸收^[22]。

循环养殖的水体矿物质浓度会对鱼体组织的矿物质沉积产生一定影响^[23],本实验会定期换水,并且通过定期采样抽查发现养殖用水体中的 Fe 元素含量较低,并且各重复玻璃钢桶中水体 Fe 含量无显著差异,对本实验中矿物元素有效利用不会造成显著影响。尽管 3 种铁源对石斑鱼的生长性能在统计学未产生显著影响,但是石斑鱼摄食含有 Fe-MHA 的饲料,对鱼体的形态学相关数据有显著改善,HIS 和 VSI 显著低于无机组,CF 显著高于无机组,表明 Fe-MHA 比 FeSO₄ 更能改善珍珠龙胆石斑鱼的生长。有研究表明,相比 FeSO₄,蛋氨酸螯合铁更有效地参与大鼠肝脏脂肪酸和类固醇的合成,上调电子呼吸链途径中电子传递复合体I、细胞色素 C 氧化酶及 ATP 合成相关基因表达,下调氨基酸分解和尿素循环途径中的关键酶基因表达,表明蛋氨酸螯合铁有利于降低机体氨基酸分解产氨,促使能量更有效地参与动物的生长和合成代谢^[24],更有效地促进机体的生长发育。

矿物元素的添加形式不同,会导致不同的吸收效率,因此也会影响矿物元素发挥其生理

作用和在机体内的沉积效率。蛋氨酸螯合盐可有效提高加州鲈(*Micropterus salmoides*)机体各组织微量元素的含量^[25]。本实验中,Fe-MHA 组和 Fe-Gly(II)组全鱼和脊椎骨中 Fe 和 Zn 含量显著高于 FeSO₄ 组,其中以 Fe-MHA 组最高,表明氨基酸螯合铁 Fe-MHA 和 Fe-Gly(II)比 FeSO₄ 更有利于珍珠龙胆石斑鱼对 Fe 和 Zn 的沉积。Cu 作为造血反应的激活剂可催化 Fe 合成血红蛋白和生成红细胞、参与将 Fe²⁺转化为 Fe³⁺合成转铁蛋白和参与生成铜蓝蛋白^[26]。本实验中 FeSO₄ 组全鱼和脊椎骨 Cu 含量显著高于 Fe-Gly(II)组和 Fe-MHA 组,可能是由于 Fe-MHA 和 Fe-Gly(II)更有利于 Fe 的吸收转运,加速了 Cu 的动员而降低了组织 Cu 的沉积。尽管各处理组全鱼 Mn 含量没有受到 3 种铁源的显著影响,但是从数据上可以看出,各组脊椎骨 Mn 的含量均为其全鱼 Mn 含量的 2.5 倍,提示脊椎骨可能是 Mn 元素沉积的主要场所。

3.2 三种铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肝脏抗氧化酶活性的影响

Fe 在动物机体内参与血红蛋白与肌红蛋白的合成、激活碳水化合物代谢过程的关键酶、直接参与 CAT 等的合成,是细胞抗氧化防御体系的重要组成部分^[27]。Fe²⁺非常活跃,容易被氧化为 Fe³⁺,而氨基酸螯合铁由于其结构稳定,能更好地避免这种氧化反应^[28]。相比无机铁,Fe-Gly(II)和 Fe-MHA 具有较低的氧化性,增强了机体的抗氧化能力。

与 FeSO₄ 相比,军曹鱼^[4]、猪^[6]和肉仔鸡^[8]摄食含有蛋氨酸铁和甘氨酸螯合铁的饲料可提高血清 CAT 活性,本实验中相比于 FeSO₄ 和 Fe-Gly,添加 Fe-MHA 显著提高了肝脏 CAT 活性。氨基酸螯合铁具有较高的生物活性也体现在其较强地清除自由基的能力方面^[11]。除 CAT 外,体内自由基的动态变化及组织损伤情况亦可通过 SOD 的活性得到体现^[21]。珍珠龙胆石斑鱼肝脏 SOD 的活性在其摄食氨基酸螯合铁 Fe-Gly(II)或者 Fe-MHA 后得到显著改善。机体对氨基酸螯合铁吸收效率高,提高了血红蛋白、肌红蛋白以及细胞色素等物质的生物活性,有利于调节呼吸、氧化应激以及电子转移,进而提高了铁的利用率,同时,SOD 的活性有赖于 Cu、Mn 和 Zn 的参与,本实验的结果亦表明氨基酸螯合 Fe 有利于机体对这几种元素的吸收利用,从而使石斑鱼肝脏 SOD 活性的增强。AKP 活性表示吞噬细胞清除异物的能力,是巨噬细胞溶酶体的标志酶,同时与一些营养物质的消化吸收能力有关^[29]。Fe-Gly(II)组珍珠龙胆石斑鱼肝脏 AKP 活性较高,表明氨基酸螯合铁有利于提高鱼体吞噬细胞清除外源有害物质的能力。本实验中石斑鱼摄食 Fe-MHA 后肝脏 MDA 含量显著低于其余两组,更加印证了氨基酸 Fe 螯合物具有可以增强机体抗氧化酶活性和清除自由基的能力的生物活性。

此外,氨基酸螯合铁改善细胞防御机制,促进机体对炎症的自然反应,提高机体免疫反应^[30]的结果也可能是通过对肠道粘膜发育及物理屏障的改善产生的影响。

3.3 三种铁源对珍珠龙胆石斑鱼幼鱼肠道形态的影响

肠道分为粘膜层、粘膜下层、肌肉层和浆膜层,是鱼体消化吸收营养物质的重要场所^[31]。增加鱼类肠道粘膜厚度、PH 和微绒毛长度能够提高肠道吸收养分的表面积,促进营养物质的吸收^[32]。小肠绒毛高度与隐窝深度的比值(Villus height/Crypt depth,V/C)上升时表明消化吸收能力增强,下降时则表明该能力减弱^[33]。有机 Fe 相比于无机 Fe 可以改善仔猪肠道发育形态,优化空肠 V/C 值^[34]。氨基酸螯合 Fe 可能在肠道存在特定或非特定的转运系统,使其在 Caco-2 细胞中的转运率明显高于 FeSO₄^[35]。

珍珠龙胆石斑鱼幼鱼摄食 Fe-MHA 后显著提高了前、中、后肠的 PH,肠道褶皱数量增多,皱襞相对完整,排列整齐,提示饲料中添加 Fe-MHA 有利于提高石斑鱼肠道吸收营养物质的表面积。由平滑肌组成肠道的肌肉层,其节律性舒缩是肠道运动的主要动力,环肌通过波状收缩实现肠蠕动,推动食糜向后移动^[36],MT 的增加能够提高肠道运动的能力。珍珠龙胆石斑鱼摄食 Fe-Gly(II)或 Fe-MHA 可一定程度地改善肠道 MT,促进肠道蠕动,有利于营养物质的吸收。杯状细胞主要分泌黏液和消化酶,发挥着润滑、免疫和帮助消化的作用,因此,杯状细胞的数量可间接反映鱼类的消化能力^[37]。通过 HE 染色的切片中可看出,石斑鱼摄食 Fe-MHA 或 Fe-Gly(II)后,中肠皱襞杯状细胞的数量明显多于 FeSO₄ 组,表明有机螯合 Fe 可通过增加杯状细胞的数量来减少肠道黏膜损伤维护肠道屏障功能,具有改善免疫和提高消化能力的作用。

4 结语

相比于无机态的 FeSO₄,珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中添加 Fe-Gly(II)或 Fe-MHA,对鱼体形态学和微量元素的沉积产生有益的影响,增加了前肠和中肠的肌层厚度,提高了后肠的皱襞高度,有利于维护养殖期鱼类肠道健康。并且,Fe-MHA 提高了肝脏的过氧化氢酶和总超氧化物歧化酶活性,降低了丙二醛含量,使幼鱼的抗氧化能力得到提升,有利于石斑鱼健康生长。推荐珍珠龙胆石斑鱼幼鱼饲料中添加的铁源形式为 Fe-MHA。

参考文献: 略

原文刊登在《中国海洋大学学报(自然科学版)》2020,50(11),53-61 DOI:10.16441/j.cnki.hdxh.20180355

大豆浓缩蛋白对大黄鱼生长和肠道微生物菌群的影响

水晓梅 林舸 赵欣涛 黄俊 何娇娇 姜宇栋 冯建 王萍

浙江海洋大学浙江省海洋养殖装备与工程技术重点室 大连棒棰岛海参发展有限公司

摘 要: 为了探究大黄鱼(*Larimichthys crocea*)幼鱼生长、肠道结构及肠道微生物菌群受大豆浓缩蛋白(SPC)替代鱼粉的影响,选取初始体重为(10.50±0.04)g的大黄鱼幼鱼,用 SPC 以 0%(SPC0, 对照组)、25%

(SPC25)、50% (SPC50)、75% (SPC75)、100% (SPC100)的比例替代基础饲料(含 40%鱼粉) 中的鱼粉制作成 5 种等氮(粗蛋白水平为 45%)等脂(粗脂肪水平为 10%)的实验饲料, 进行为期 56 d 的饲养实验。结果表明: 与 SPC0(对照组)相比, 幼鱼的存活率(survival)、增重率(WGR)、特定生长率(SGR)以及饲料系数(FCR)受 SPC 替代鱼粉水平的影响不显著($P>0.05$)。肠道组织学显示各处理组幼鱼肠道的后肠黏膜、皱襞高度、固有宽度和杯状细胞个数差异性不显著($P>0.05$)。Illumina HiSeq 高通量测序技术分析发现 SPC0 (TC 对照组)、SPC25 (TB 最佳生长组) 和 SPC100 (TW 最差生长组) 的 Chao1、香农指数(Shannon)、辛普森指数 (Simpson) 和覆盖率 (good coverage) 差异性不显著 ($P>0.05$); TC、TB 和 TW 组幼鱼肠道细菌在门水平中优势菌群为厚壁菌门(Firmicutes), 类芽孢杆菌 (Paenibacillus)在属水平占绝对优势。属水平差异菌属发现幼鱼的生长受细菌微生物的组成一定的影响: 与 TC 组相比, TB 组微小杆菌属 (Exiguobacterium)、红杆菌属(Rhodobacter)和伦黑墨氏菌属(Rheinheimera)的物种丰度显著降低($P<0.05$); TW 组较之 TC 组, 红杆菌属(Rhodobacter)的物种丰度显著降低($P<0.05$), 乳杆菌(Lactobacillus)的物种丰度显著增加($P<0.05$)。综上所述, 大黄鱼幼鱼的生长、肠道结构及肠道优势菌群不会因为鱼粉完全被大豆浓缩蛋白替代而产生负面的影响。

关键词: 大黄鱼; 大豆浓缩蛋白; 生长; 肠道结构; 高通量测序; 肠道微生物;

Effects of soy protein concentrate on growth and intestinal microbiota of large yellow croaker *Larimichthys crocea*

SHUI Xiaomei LIN Ge ZHAO Xintao HUANG Jun HE Jiaojiao LOU Yudong FENG Jian WANG Ping

Zhejiang Province Key Laboratory of Marine Aquaculture Equipment and Engineering Technology, Zhejiang Ocean University Dalian Bangchui Island Sea Cucumber Development Co.LTD

Abstract: In order to explore the influence of soybean protein concentrate (SPC) instead of fish meal on the growth, intestinal structure and intestinal microbial community of *Larimichthys crocea*, the initial weight of which was (10.50 ± 0.04) g was selected. In the control group 0%(SPC0), 25% (SPC25), 50% (SPC50), 75% (SPC75) and 100% (SPC100) were used to replace the fish meal in the basic feed (containing 40% fish meal) to produce 5 kinds of experimental feed with equal nitrogen (crude protein level was 45%) and other fats (crude fat level was 10%), and the feeding experiment was carried out for a period of 56 days. The results showed that compared with SPC0(control group), the Survival rate, weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR) and feed coefficient (FCR) of young fish were not significantly affected by SPC substituted fish meal level ($P>0.05$). Intestinal histology showed that there were no significant differences in the posterior intestinal mucosa, plica height, natural width and goblet cell number in the intestinal tract of juvenile fish in each treatment group ($P>0.05$). Illumina HiSeq high-throughput sequencing analysis shows that Chao1, Shannon index, Simpson index

and Good coverage in SPC0 (TC control), SPC25 (TB optimal growth group) and SPC100 (TW worst growth group) have no significant differences ($P>0.05$); In the phylum level, Firmicutes were the dominant bacteria group in the TC, TB and TW groups, while *Paenibacillus* dominated in the genus level. Compared with the TC group, the species abundance of *Exiguobacterium*, *Rhodobacter* and *Rheinheimera* in the TB group was significantly decreased ($P<0.05$). Compared with the TC group, the species abundance of *Rhodobacter* and *Lactobacillus* in the TW group was significantly decreased ($P<0.05$), and that of *Lactobacillus* was significantly increased ($P<0.05$). In conclusion, the growth, intestinal structure and intestinal dominant flora of juvenile yellow croaker were not negatively affected by the complete substitution of fish meal by soy protein concentrate.

Keyword : *Larimichthys crocea*; soy protein concentrate; growth; intestinal histology; high-throughput sequencing; intestinal microbiota;

由于鱼粉的价格持续上升,使得养殖户生产成本逐渐增加不能为其带来良好的经济效益,因此寻找经济实用的鱼粉替代物就成为备受学者关注的研究课题,植物蛋白因其价格低廉成为学者们竞相研究的对象^[1,2,3,4,5]。例如 Takakuwa 等、于菲等和张鑫等分别探究了马铃薯浓缩蛋白(PPC)、大豆浓缩蛋白(SPC)和豆粕替代鱼粉的可行性^[6,7,8]。众多植物蛋白中 SPC 由于其氨基酸的含量除了组氨酸和蛋氨酸以外与鱼粉基本相同,蛋白含量也接近鱼粉^[3,9,10]等优点脱颖而出,而且唐涛等表示大豆浓缩蛋白相比豆粕具有更好的鱼粉替代价值^[1]。因此很多学者倾向于研究 SPC 对水产生物的鱼粉替代作用,本实验室冯建也做过相关研究,但是朱瑞等研究表明过量的大豆浓缩蛋白替代鱼粉会造成部分鱼类肠道组织的损伤^[11,12]。受此启发,从大黄鱼肠道的健康来确定 SPC 替代大黄鱼鱼粉的可行性。关于鱼类肠道的研究不在少数大多都是采用高通量测序技术,如朱锦裕等^[13]用 Illumina MiSeq 测定乌鳢(*Channa argus*)肠道菌群组成。殷彬^[14]利用 Illumina Miseq 开发的对端测序方法对珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *E. lanceolatus*♂) 肠道 16S rDNA 基因进行测序。但是利用高通量测序探究大黄鱼肠道受 SPC 替代鱼粉影响的报道并不多见。因此本文将采用高通量测序来探究大黄鱼幼鱼生长、肠道组织及肠道微生物菌群受大豆浓缩蛋白替代鱼粉的影响,以确定其合适的替代比例从而达到提高大黄鱼养殖的经济效益的目的。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的管理

实验对象选自浙江省象山县西沪港区殖场的同一批大黄鱼鱼种,管理方法参照何娇娇

等^[15]在实验正式开始之前先投喂以商业饲料(粗蛋白 45%, 粗脂肪 10%; 宁波天邦科技有限公司)进行为期两周暂养, 使实验用鱼适应饲料投喂, 之后选挑体型均匀且健康的幼鱼随机分放入 15 个网箱规格为(1.5 m×1.5 m×2 m)的小网箱中, 每一个网箱投放 60 尾实验用鱼, 每组设置 3 个重复。喂食频率为每天两次(6:00 和 18:00), 进行为期 56 d 的养殖实验。

1.2 饲料制作与实验设计

参照何娇娇等^[16]研究方法, 在鱼粉的基础饲料中分别添加 0% (SPC0, 对照组)、25% (SPC25)、50% (SPC50)、75% (SPC75)和 100% (SPC100)大豆浓缩蛋白, 配制成等氮等脂(蛋白水平为 45%; 脂肪水平为 10%)的配合饲料 5 种(表 1), 参照冯建等^[11]制作饲料。

1.3 样品采集与分析

1.3.1 样品采集

养殖实验结束后, 对停食 24 h 后采用丁香酚 (1 : 1000, 体积比)使其麻醉以便开始后续计数与称重。各网箱随机选取 10 尾鱼放置于无菌操作台上, 鱼体表面水分擦干后用 75%(体积分数)的酒精消毒, 解剖并截取出后肠后将后肠置放入波恩试液中固定保存, 以便于组织切片观察; 再另外取 10 尾鱼, 将这 10 尾鱼后肠内含物置于无菌 EP 管中于 - 80 °C 保存用于肠道微生物的研究。

1.3.2 肠道组织学观察及分析

参照何娇娇等^[16]方法进行样品处理。

1.4 肠道菌群总 DNA 的提取及 PCR 扩增

参照何娇娇等^[17]方法提取肠道细菌的总 DNA, 以提取的基因组 DNA 作为模板进行 16S rRNA V4-V5 区特异区域的扩增。

1.5 数据处理及统计分析

1.5.1 生长数据处理 各参数按下列公式计算:

存活率(survival) (%) = $100 \times N_t / N_0$; 增重率(weight gain rate, WGR) (%) = $100 \times (W_t - W_0) / W_0$; 特定生长率(specific growth rate, SGR) (%) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$; 饲料系数(feed conversion ratio, FCR) (%) = $(T - S) / (W_t - W_0)$;

式中 W_0 表示实验用鱼初体重, W_t 表示实验用鱼的终体重; N_0 表示在养殖实验开始时实验用鱼所有的尾数, N_t 表示在养殖试验结束时实验用鱼所剩的尾数; t 表示实验天数; T 、 S 分别表示总饲料量和剩余饲料量。

1.5.2 Illumina Hiseq 测序数据处理

参照何娇娇等^[16,17]方法对 Illumina Hiseq 测序数据处理, 文中所得数据进行单因素方差分析(ANOVA)采用的 SPSS20.0 软件, Tukey 多重比较显著的差异, 设 $P < 0.05$ 为显著性水平; 实验结果以平均值 $\pm$ 标准差来表示。

表 1 饲料配方及营养水平

Tab. 1 Composition and proximate analysis of the experimental diets %, DW

原料 ingredient	饲料组 diet group				
	对照组(FM)	SPC25	SPC50	SPC75	SPC100
鱼粉 fish meal	40.00	30.00	20.00	10.00	0.00
大豆浓缩蛋白 soybean protein concentrate	0.00	11.18	22.36	33.54	44.72
小麦蛋白粉 wheat gluten meal	10.55	10.55	10.55	10.55	10.55
豆粕 soybean meal	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
小麦淀粉 wheat-starch	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
纤维素 cellulose	10.93	7.65	5.36	3.09	0.80
鱼油 fish oil	1.96	2.42	2.88	3.33	3.79
大豆油 soybean oil	1.96	2.42	2.88	3.34	3.80
大豆卵磷脂 soybean lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
复合维生素 vitamin premix ¹	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
混合矿物质 mineral premix ²	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
赖氨酸 lysine	0.00	0.08	0.16	0.24	0.31
蛋氨酸 methionine	0.00	0.11	0.21	0.32	0.42
氯化胆碱 choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
磷酸二氢钙 monocalcium phosphate	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
牛磺酸 taurine	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
诱食剂 attractant ³	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
组成成分 composition					
粗蛋白 crude protein	45.13	45.83	45.94	46.39	46.67
粗脂肪 crude lipid	10.52	10.23	10.25	9.81	9.56
粗灰分 crude ash	10.45	9.85	9.13	8.29	7.89

注:维生素预混料及矿物质预混料配方见文献[17]. Note: Formulations of vitamins premix and minerals premix refer to reference[17].

2 结果与分析

2.1 SPC 替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长的影响

表 2 可知, 各组间大黄鱼幼鱼的生长指标均无显著性差异($P>0.05$); SPC 100 组大黄鱼末体重显著低于 SPC 25、SPC 50 组($P<0.05$)。

表 2 SPC 替代鱼粉后大黄鱼幼鱼的生长指标

Tab. 2 Effect of replacement of fish meal by SPC on the growth indexes of juvenile large yellow croaker

项目 item	饲料组 diet group				
	对照组 SPC0	SPC25	SPC50	SPC75	SPC100
初体重/g initial body weight	10.48±0.01	10.54±0.01	10.49±0.01	10.46±0.01	10.54±0.01
末体重/g final body weight	42.45±0.53 ^{ab}	45.46±0.67 ^a	44.78±0.91 ^a	44.34±0.63 ^{ab}	40.50±0.23 ^b
存活率/%survival	91.67±2.55	92.22±4.45	92.22±3.09	93.89±4.55	90.56±3.89
特定生长率/%SGR	2.30±0.03	2.42±0.06	2.40±0.04	2.42±0.08	2.18±0.08
增重率/%WGR	270.99±7.00	297.25±13.51	293.07±7.97	297.75±17.95	248.08±15.56
饲料系数 FCR	1.34±0.03	1.23±0.06	1.19±0.04	1.15±0.08	1.27±0.08

注: 同一行数据上标有相同字母或整行无字母则表示差异不显著($P>0.05$), 不相字母则表示差异显著($P<0.05$).Note: If the same letter is marked on the same row or there is no letter in the whole row, the difference is not significant ($P>0.05$); if there is no same letter in the superscript, the difference is significant ($P<0.05$).

2.2 SPC 替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肠道结构的影响

大黄鱼幼鱼投喂 56 d 不同水平的 SPC 后其后肠组织结构的结果如表 3。表 3、图 1 中各组幼鱼肠道组织结构的差异性不显著($P>0.05$), 图 SPC0、SPC25、SPC50 和 SPC75 中皱襞排列紧密、分支多, 图 SPC100 组则皱襞密度下降, 皱襞个数降低。

表 3 饲料中 SPC 对大黄鱼幼鱼肠道显微结构指标的影响

Tab. 3 The effects of dietary SPC on the intestinal microscopic structure of juvenile large yellow croaker

组别 group	黏膜厚度/ μm mucosa thickness	皱襞高度/ μm mucosafold height	固有宽度/ μm laminapropria width	杯状细胞数量/ (个/根) gobletcell quantity
SPC0	173.45±14.11	3.41±0.13	5.78±0.29	5.25±4.33
SPC25	136.58±25.00	3.86±0.57	4.79±0.72	3.49±1.40
SPC50	137.07±40.90	4.79±0.72	3.21±0.50	3.14±2.11
SPC75	122.45±17.25	3.75±0.39	5.17±0.61	3.66±1.11
SPC100	148.38±27.05	4.81±0.32	4.85±1.37	5.21±1.54

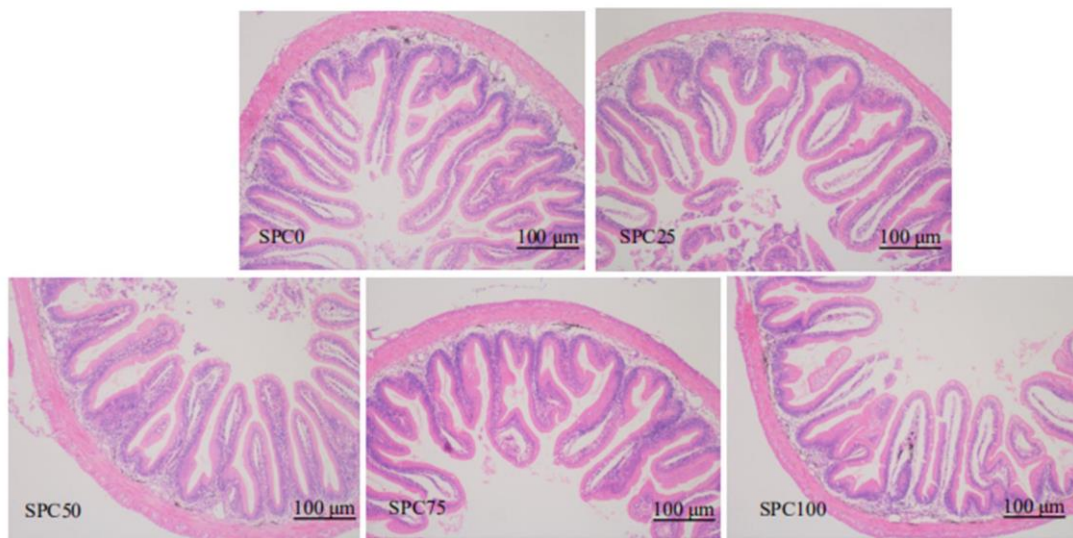


图 1 SPC 对大黄鱼幼鱼肠道形态的影响 (后肠)

Fig. 1 The effects of SPC on the intestinal morphology of of juvenile large yellow croaker (posterior intestine)

2.3 SPC 替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肠道微生物的影响

2.3.1 基因测序结果分析

SPC0(TC)、SPC25(TB) 和 SPC100(TW)9 个样品共产生 94 个 OTU。由表 4 可见所有样品的覆盖率均为 0.999 左右, 表明几乎各样品中的全部微生物种类都被检测到了。

表 4 样品的多样性指数

Tab. 4 Alpha-diversity of samples

样品 simple	Alpha 多样性指数			
	Chao1	香农指数 Shannon	辛普森指数 Simpson	覆盖率 Good coverage
Cd16	70.09091	2.741216	0.789658	0.999459
Cd17	71.66667	2.715039	0.778196	0.999459
Cd18	73	2.814059	0.78986	0.9995
Cd19	59.5	2.725246	0.785404	0.999625
Cd20	69.5	2.659581	0.778784	0.999375
Cd21	76.90909	2.680854	0.773701	0.99925
Cd31	71.09091	2.768021	0.784034	0.999459
Cd32	60.6	2.690196	0.782733	0.9995
Cd33	64.25	2.721649	0.783706	0.9995

注: 样品 Cd16、Cd17、Cd18 为对照组 SPC0(TC); 样品 Cd19、Cd20、Cd21 为 SPC25 组(TB), 其为生长

最佳组；样品 Cd31、Cd32、Cd33 为 SPC100 组(TW)，其为生长最差组.Note: The sample Cd16, Cd17 and Cd18 were SPC0(TC) of the control group. Sample Cd19 , Cd20, Cd21 was SPC25 group (TB), which was the best growth group. The Cd31, Cd32 and Cd33 of the sample were SPC100 group (TW), which is the worst group in growth.

2.3.2 各样品中细菌多样性分析

9 个样品共产生 94 个 OTU, 基于 OTU 数在各样品中的分布,各样品中菌群菌种的多样性用 MOTHUR 软件中的 venn 命令分析得到了 TC、TB、TW 的 Venn 图(图 2)直观的展示了样品间 OTU 的重叠情况。从图 2 看在不考虑不同组别的共有 OTU 数的情况下,TB 组有 76 个 OTU; TC 组有 83 个 OTU; TW 组有 80 个 OTU。TC、TB、TW 组分别两两甚至三组拥有共同 OTU, 图 2 基于共有 OTU 的情况下 TB、TC 组两组 OTU 总数为 91 个, 其共有的 OTU 数为 68 个占两者总数的 74.72%; TB、TW 两组 OTU 总数为 87 个, 其共有的 OTU 数为 69 个占两者总数的 79.31%; TC、TW 两组 OTU 总数为 91 个, 其共有的 OTU 数为 72 个占两者总数的 79.12%。TB、TC、TW 三组 OTU 总数为 94, 三组共有的 OTU 数为 64 个占三者总数的 68.08%。基于以上分析在养殖环境相同的条件下, 大黄鱼幼鱼后肠肠道细菌群落具有一个核心的微生物菌群, 大豆浓缩蛋白替代鱼粉比例对其的影响不大。

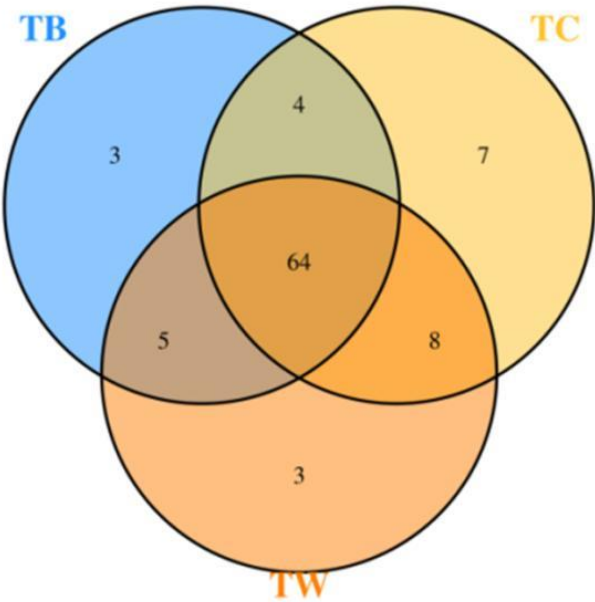


图 2 不同处理组的共同 OTU 分布

Fig. 2 Shared OTU analysis of different groups

从属的水平来看(表 5), 3 个实验组共有的优势属如类芽孢杆菌(*Paenibacillus*)(36.10%~43.58%)和嗜碱菌属(*Alkaliphilus*)(7.61%~9.35%)。

表 5 大黄鱼幼鱼肠道中细菌的分布(属水平)($>0.01\%$ 整个序列)

Tab. 5 Frequency distribution (%) of bacterial genus in intestine of juvenile large yellow croaker (in the level of genus)

属 genus	Cd16	Cd17	Cd18	Cd19	Cd20	Cd21	Cd31	Cd32	Cd33
Paenibacillus	40.30	36.10	36.52	38.41	43.58	36.55	38.02	41.24	37.68
Alkaliphilus	7.97	8.40	7.82	9.27	9.35	8.35	7.61	8.97	8.31
Bacillus	5.14	5.02	5.27	5.71	4.39	5.14	5.67	5.19	4.67
Enterococcus	2.88	3.09	3.15	2.94	3.12	3.37	2.87	2.94	2.71
Lactococcus	1.67	2.05	2.12	1.75	1.41	1.93	1.69	1.60	1.71
Brevibacillus	0.79	0.69	0.75	0.78	0.63	0.79	0.64	0.68	0.68
Halomonas	0.45	0.42	0.96	0.55	0.50	0.33	0.10	0.60	0.78
Clostridium	0.56	0.60	0.66	0.58	0.64	0.59	0.63	0.58	0.60
Streptococcus	0.20	0.22	0.28	0.18	0.23	0.19	0.23	0.15	0.24
Pseudomonas	0.21	0.21	0.34	0.19	0.14	0.25	0.22	0.14	0.18
Leuconostoc	0.06	0.11	0.08	0.07	0.10	0.03	0.05	0.08	0.10

2.3.3 各处理在属水平的差异性比较

如图 3 所示, 与 TC 组相比, TB 组微小杆菌属(*Exiguobacterium*)、红杆菌属(*Rhodobacter*)和伦黑墨氏菌属(*Rheinheimera*)的物种丰度显著降低($P < 0.05$); TW 组较之 TC 组, 红杆菌属(*Rhodobacter*)的物种丰度显著降低($P < 0.05$), 乳杆菌属(*Lactobacillus*)的物种丰度显著增加($P < 0.05$)。

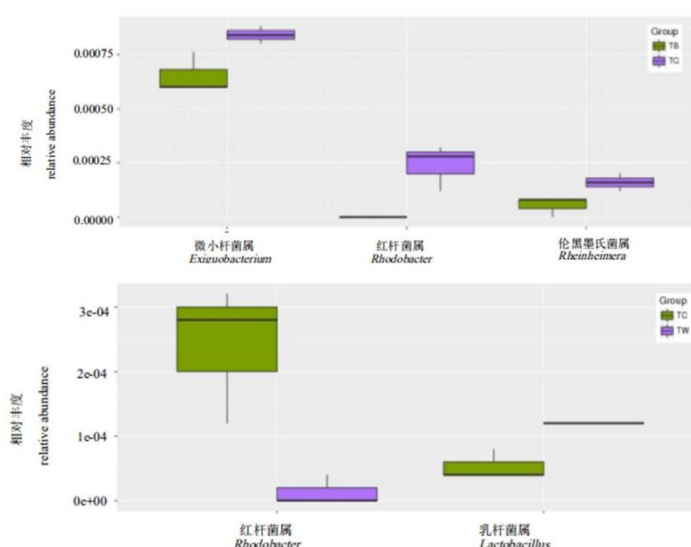


图 3 各处理在属水平的差异比较

Fig 3. Compared with the different treatments in the Genus

2.3.4 肠道微生物与大黄鱼生长和免疫的相关性

由图 4 可以看出, 大黄鱼幼鱼肠道微生物与 SGR 相关的属有乳杆菌属(*Lactobacillus*)和纤维弧菌属(*Cellvibrio*); 与 LYZ 相关的属有乳球菌属(*Lactococcus*)和假单胞菌(*Pseudomonas*); 与 AKP 和 C3 相关的属有红杆菌属(*Rhodobacter*)和甲烷杆菌属(*Methanobacterium*)。

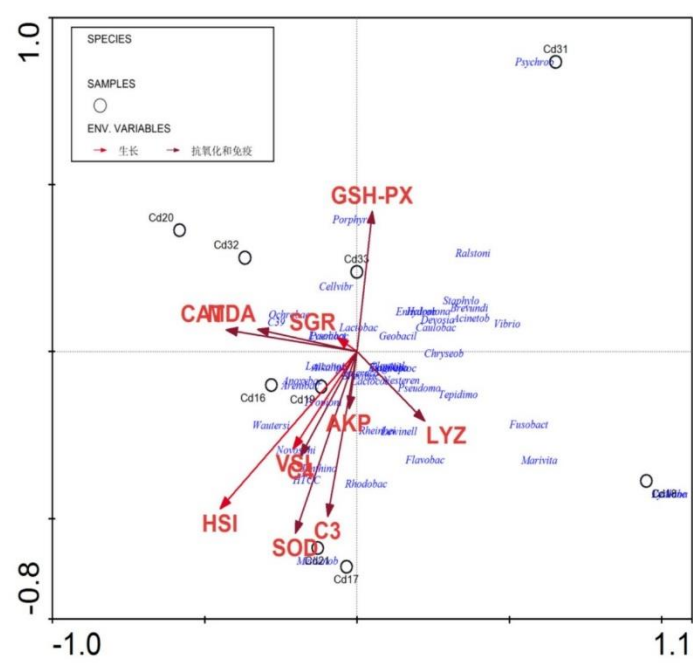


图 4 肠道微生物与大黄鱼生长和免疫指标的相关性

Fig. 4 Correlation between intestinal microflora and growth, immunity of large yellow croaker

3 讨论

3.1 SPC 替代鱼粉对大黄鱼幼鱼生长的影响

目前, 水产饲料中应用 SPC 研究报道较多。SPC 替代大黄鱼饲料中 5% 的鱼粉对其生长性能无显著影响^[2]。大豆浓缩蛋白替代 28.5% 和 57.0% 的鱼粉对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)成鱼生长影响不显著^[7]。SPC 替代鱼粉水平不超过 20% 时对黄颡鱼生长性能影响不显著^[18]。日粮中 SPC 含量高达 82.5% 对黑棘鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)幼鱼没有任何副作用^[4]。SPC 替代鱼粉不超过 40% 对花鲈(*Lateolabrax japonicus*)的生长没有影响^[19]。SPC 替代凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)鱼粉的适合比例为 25%^[20]。本实验室对大黄鱼生长性能、体成分、血液指标以及肝脏组织学深入分析的结果显示: 大黄鱼的饲料鱼粉在用 SPC 替代 75% 的情况下, 不会对其生长产生不利影响^[11]。水产动物饲料鱼粉用 SPC 替代的研究证实, SPC 可成为水产动物饲料蛋白的潜在替代源。

3.2 SPC 替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肠道组织的影响

研究表明, 过量的大豆浓缩蛋白替代鱼粉会降低鱼类蛋白质代谢能力, 损伤部分鱼类的肠道组织结构^[12]。本试验条件下, 除 SPC100 组中皱襞密度及个数减少外, 各替代组的幼鱼肠道组织结构与对照组均无显著性差异。这与用豆粕替代乌鳢鱼粉的结果略有不同^[8]。研究表明, 鱼类消化吸收养分的主要场所是肠道皱襞, 皱襞的形态与营养吸收面积呈正相关, 其皱襞越密越高, 对营养物质的吸收力越好^[21], 这表明高水平大豆浓缩蛋白替代组不能改善大黄鱼的肠道结构, 在一定程度会影响对营养物质的吸收。其原因可能是大豆浓缩蛋白中的某些抗营养因子并未完全消除从而对肠道结构产生负面影响, 如大豆抗原蛋白等, 在比例较低时, 由于抗营养因子较少, 因而只对鱼体肠道结构产生相对较小的影响, 而比例较高时, 则损伤作用变得明显; 或是由于饲料适口性随饲料中大豆浓缩蛋白水平的升高而降低, 鱼体因此摄食量减少从而营养物质供应不足, 致使肠道绒毛萎缩。

3.3 SPC 替代鱼粉对大黄鱼幼鱼肠道微生物的影响

肠道微生物不但影响鱼体的消化与吸收, 而且在氨基酸、酶、短链脂肪酸、微生物和矿物质等的形成上具有重要的营养作用^[22]。因此, 在养殖过程中, 探讨鱼类肠道菌群定值问题, 有助于给养殖户提高鱼类的养殖产量及鱼类疾病的防御能力方面提供参考。本实验研究发现不同处理的大黄鱼幼鱼肠道菌群在门和属的分类水平上, 其优势菌群种类相同, 其中厚壁菌门(Firmicutes)在门水平上占绝对优势, 类芽孢杆菌属(Paenibacillus)在属水平中占绝对优势, 这与用大豆粉替代虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)鱼粉的试验结果^[23]类似, 不同大豆粉替代组的虹鳟鱼肠道优势菌群为厚壁菌门。但与随着饲料中豆粕使用量的增加, 乌鳢厚壁菌门比例显著降低^[13]的结果不同, 这可能与实验对象、养殖环境等有关。通过 venn 图发现 TB、TC、TW 三组共有的 OTU 数为 64 个占三者总数的 68.08%, 分析在相同养殖环境下, 大黄鱼幼鱼后肠肠道细菌群落的相似性受大豆浓缩蛋白替代水平的不同的影响不大, 原因可能是鱼类经过长期共进化后肠道内的土著微生物群落已经趋于相对稳定处于动态平衡中, 形成一个核心的微生物菌群^[24], 这与对虹鳟肠道微生物在不同饲料组分下具有一个核心的微生物菌群结果类似^[25]。

微小杆菌属(*Exiguobacterium*)属于厚壁菌门(Firmicutes)、芽孢杆菌科(*Bacillus*)是一类革兰氏阳性的兼性厌氧菌^[26]; 在本研究中, 较之对照组 TC, TB 组伦黑墨氏菌属(*Rheinheimera*)与微小杆菌属(*Exiguobacterium*)均显著降低。研究表明, 微小杆菌属(*Exiguobacterium*)和伦黑墨氏菌属(*Rheinheimera*)中部分菌株具有较稳定的抗菌性且微小杆菌属(*Exiguobacterium*)还具有产蛋白酶的功能, 另有研究表明红杆菌属对致病菌有抑制作用^[27,28,29]。本实验中较之

TC 组, TB 与 TW 红杆菌属(*Rhodobacter*)的物种丰度显著降低($P < 0.05$), 推测大豆浓缩蛋白替代鱼粉后在某种程度上可能会降低对肠道中某些致病菌的抑制效果。乳杆菌属(*Lactobacillus*)能在宿主肠道上皮上定植, 在水生动物体肠道中与某些致病菌竞争肠道上皮的附着点, 与宿主建立一种共生关系, 维持肠道菌群结构的平衡的同时还能有效地减少宿主感染肠道致病菌增强肠道粘膜免疫调节的能力^[30]。本研究, 在对照组 TC 中乳杆菌属(*Lactobacillus*)的物种丰度显著低于 TW 组, 这与摄食豆粕的虹鳟肠道中乳杆菌属(*Lactobacillus*)物种丰度增加类似^[31]。这种肠道微生物菌群产生差异的原因可能是某些鱼类摄食植物蛋白源的饵料后转化效率低, 诱发肠道肠炎, 致使机体中某些有益菌繁殖以抑制病原菌的侵害。

3.4 SPC 替代鱼粉后肠道微生物变化与健康代谢的关系

鱼类肠道微生物菌群一直是处于动态平衡中的, 鱼类的免疫能力与营养受其数量和结构的变化影响^[28]。乳杆菌(*Lactobacillus*)能够促进饲料的消化, 使投喂对象生长速率得到提高在水产养殖中经常作为益生菌添加入水生动物饲料中, 如大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)、幼建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)、黄河鲤(*Cyprinus carpio* var. *huanghe*) 在投喂含有适量乳杆菌的饲料后存活率和生长性能分别都有所提高^[32,33,34,35]。本实验中也发现生长指标 SGR 与乳杆菌属(*Lactobacillus*)和纤维弧菌属(*Cellvibrio*)相关性较高。LYZ 是一种在鱼类免疫反应中发挥重要作用的水解酶, 能够溶解细菌清除外来有害物质, 具有防御功能, 能够抵御病原菌的感染^[35,36,37,38,39]。在本实验中发现抗氧化和免疫指标 LYZ 与乳球菌属(*Lactococcus*)和假单胞菌(*Pseudomonas*)相关性较高。乳球菌是一种革兰氏阳性菌, 能够激活先天免疫在对驼背鲈(*Cromileptes altivelis*)的实验中发现其能够诱导 LYZ 的活性, 刺激巨噬细胞的活化进而提高免疫能力^[40]。同样的在对斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[41]的研究中其血清 LYZ 的活性在添加乳酸乳球菌 MM1 后得到提高。而假单胞菌(*Pseudomonas*)是鱼类致病菌之一, 推测是由于假单胞菌(*Pseudomonas*)的侵入引起机体产生一系列免疫反应从而导致 LYZ 活性升高。AKP 是一种膜结合蛋白是评定机体免疫和健康情况的重要参考指标, 如果机体中出现 AKP 活性升高的情况说明可能有病变存在^[35,37]。本实验中分析得出 AKP 和 C3 与红杆菌属(*Rhodobacter*)和甲烷杆菌属相关性较高(*Methanobacterium*), 红杆菌属(*Rhodobacter*)又被发现对致病菌有抑制作用所以推测红杆菌属(*Rhodobacter*)和 AKP 之间存在某种反应最终能够抑制病原菌生长。而在对军曹鱼幼鱼(*Rachycentron canadum*)研究中其 AKP 活性则受枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)影响而

降低^[37]。由此可见实验对象、投喂材料以及生长环境的不同所得到的结果也不尽相同，因此本实验所得出的肠道菌群与健康代谢之间的关系是否可以解释 SGR 和 LYZ 的变化还有待进一步验证。

4 结论

大豆浓缩蛋白替代 100%鱼粉也未对大黄鱼幼鱼的生长指标产生显著的不利影响，从大黄鱼幼鱼肠道微生物变化来看，厚壁菌门(Firmicutes)在各组幼鱼肠道菌群中均占绝对优势，而且各组的幼鱼菌群具有相同的优势菌属。因此，本实验条件下，可以使用大豆浓缩蛋白来完全替代大黄鱼幼鱼饲料鱼粉，而且对大黄鱼幼鱼的生长和存活及其肠道组织结构及优势菌群的变化均不产生影响。

参考文献：略

原文刊登在《中国水产科学录用定稿》网络首发时间: 2020-09-01 09:51:18

饲料研发

饲料脂肪水平与黄颡鱼幼鱼生长、体营养成分及肌肉脂肪酸组成的关系

冯鹏霏 何金钊 马华威 潘传燕 滕云 孔丽芳 陈涛

广西壮族自治区水产科学研究院 广西壮族自治区水产引育种中心 南宁学院

摘 要：为研究饲料脂肪水平对黄颡鱼幼鱼生长性能及肌肉脂肪酸组成的影响,配制不同脂肪水平的颗粒饲料饲喂幼鱼,在基础饲料中分别添加 0%、2%、3.5%、5%、6.5%的豆油,配制成 5 组颗粒饲料分别饲喂 5 组黄颡鱼幼鱼 60 d。结果表明：①3、4、5 组黄颡鱼幼鱼增重率显著高于 1、2 组($P<0.05$)；②各试验组鱼肌肉脂肪酸组成和饲料有较大的相关性及其差异性,随着饲料脂肪水平的提高,各组鱼体肌肉与各组饲料中的 SFA 和 MUFA 相对含量迅速降低,C18:2n6、C20:5n3、PUFA 和 HUFA 则均迅速提升；各组鱼体肌肉组织中的 SFA、MUFA 相对含量高于相应饲料中同类脂肪酸,而 PUFA 及 n-6 PUFA 则低于相应饲料；③C18:2n6 相对含量以 5 组最高(14.36%)；1 组鱼体肌肉 C20:5n3(0.77%)相对含量显著低于其他各组($P<0.05$)；综合各项生长指标,4、5 组黄颡鱼幼鱼生长性能较好；鱼体中还可能存在 C18:1n9 向 C16:1n7 和 C18:1n7 的转化。

关键词：脂肪水平；黄颡鱼幼鱼；生长；体营养成分；脂肪酸组成；

The relationship between feed fat level and growth, body nutrients composition and muscle fatty acid composition of juvenile yellow catfish

Feng Pengfei He Jinzhao Ma Huawei Pan Chuanyan Teng Yun Kong Lifang Chen Tao

Abstract: The aim of this study was to investigate the effect of different fat levels on the growth, body nutrition and fatty acids composition of juvenile yellow catfish of 60 day-culture period through conducting a experimental design of addition of 0%, 2%, 3.5%, 5%, and 6.5% of soybean oil in the basal diet, respectively, and corresponding five groups were set. The results showed that the weight gain in 3th, 4th, and 5th groups was significantly higher

than those of 1 th and 2 th groups($P<0.05$).There was a great relation and difference in the fatty acid composition between feed and fish muscle.As addition of fat level increased,the relative contents of SFA and MUFA in both fish muscle and the feed decreased rapidly,and the relative contents of C18:2 n6,C20:5n3,PUFA and HUFA increased rapidly.The relative content of SFA and MUFA in fish muscle was higher than those of feed.However,the relative contents of PUFA and n-6 PUFA in fish muscle were lower than those of the feed.Additionally,the highest relative content of C18:2 n6 was situated in 5 th group and the value was 14.36%,and the lower relative content of C20:5n3(0.77%) was detected in 1 th group.This current study showed that the growth performance of fish in 4 th and 5 th groups was better than other groups.There may be a conversion of C18:1 n9 to C16:1 n7 and C18:1 n7 in the fish body.

Keyword: fat level; juvenile yellow catfish; growth; body nutrients; fatty acids composition;

脂肪是鱼类饲料中的重要成分,为鱼体提供能量和必需脂肪酸,鱼类的正常生长发育离不开脂肪营养。脂肪可以节约蛋白质及减少氮排泄^[1,2],鱼体生长离不开脂肪,但如果饲料中脂肪含量过高,则也会影响鱼体正常的生长繁殖,导致鱼体脂肪沉积增加而发生疾病^[3],所以不同品种的鱼类,其饲料应提供适宜含量的脂肪。

饲料中脂肪或脂肪酸对黄颡鱼生长^[4,5]、体色^[6]、酶基因^[7]、肝脏脂肪积累^[8]、血糖水平和酶活力^[9]、卵巢脂类代谢^[10]、生理因子^[11]、生理代谢^[12]等方面的影响研究已经有很多报道,亦有黄颡鱼脂肪需求量^[13,14]研究,但对饲料中不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼生长、体营养成分及肌肉脂肪酸组成影响的研究鲜有报道,本报道以黄颡鱼幼鱼为研究对象,在饲料中添加不同水平的豆油,分析饲料中不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼生长、体营养成分及肌肉脂肪酸组成的影响,以确定黄颡鱼幼鱼饲料中适宜的脂肪添加水平,为黄颡鱼人工饲料配方的进一步优化提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用黄颡鱼幼鱼由南宁市朗多畜禽水产养殖专业合作社提供,幼鱼平均体质量(1.43 ± 0.09)g。

试验鱼暂养 6 d,饥饿 24 h,选择的健康幼鱼(体质量大致相同)900 尾,分为 5 组,每组设 3 个平行,每个平行 60 尾,在室内水泥池(1 m×1 m×0.8 m,每个水泥池为一个平行)中饲养 60 d。试验鱼每天 8:00 和 18:00 分别饲喂试验饲料 1 次,试验 1~30 d 每天投喂饲料量为鱼体重的 5%,31~60 d 投喂饲料量以试验鱼 15 min 内吃完为准。试验期间平均水温 29~32℃,DO(7.23 ± 0.44)mg/l,pH 值(7.1 ± 0.6),NH₃-N(0.04 ± 0.01)mg/l。

试验饲料以鱼粉、玉米粉等为基础料,以豆油调节脂肪水平,配制成 5 组饲料,各组的豆油添加量分别为 0%(1 组)、2%(2 组)、3.5%(3 组)、5%(4 组)和 6.5%(5 组)。饲料组

成及营养水平见表 1，各组饲料的脂肪酸组成见表 2。

饲料制作：先把基础料、添加剂和油脂混合好，然后加水搅拌均匀，揉成团状后逐个投入饲料制粒机，制成条状饲料（直径约 1.5 mm），放入 60℃鼓风干燥箱中持续烘干 6 h，然后制成长 2 mm 左右的颗粒饲料，密封冷藏保存。

1.2 样品采集与分析方法

1.2.1 生长指标和鱼体常规营养成分的分析测定

试验结束后，鱼体肌肉取样，分别采用烘干法、索氏抽提法、凯氏定氮仪及马弗炉高温灼烧法测定幼鱼肌肉中的水分、粗脂肪、粗蛋白及粗灰分含量。计算幼鱼成活率、饲料系数及增重率。

$SR(\%)=100\times\text{终末尾数}/\text{初始尾数}$

$\text{增重率}(\text{Weight gain rate,WGR})=(\text{终体质量}-\text{初始体质量})/\text{初始体质量}\times100\%;$

$\text{饲料系数}=(\text{摄食饲料总量}=\text{总投喂量}-\text{总残饵量})/(\text{终鱼体总体质量}-\text{初始鱼体总体质量})$

式中：W₀——初均重(g);W_t——末均重(g);WGR——增重率(%); FCR——饲料系数； F——摄食饲料总量(g);SR——成活率(%)。

表 1 试验饲料组成及营养水平(%)

项目	1组	2组	3组	4组	5组
原料组成					
鱼粉	32	32	32	32	32
豆粕	38	38	38	38	38
玉米粉	17	17	17	17	17
面粉	8.32	6.32	4.82	3.32	1.82
氯化胆碱	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
复合矿物质	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
复合维生素	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
诱食剂	1	1	1	1	1
磷酸二氢钙	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
抗氧化剂	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
防霉剂	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
豆油	0.00	2.00	3.50	5.00	6.50
黏合剂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
合计	100	100	100	100	100
营养水平					
粗蛋白	40.12	39.56	41.03	40.8	40.49
粗脂肪	3.68	4.96	6.11	7.06	9.20
粗灰分	9.46	9.98	9.06	10.13	9.77

注：1.每克复合维生素可提供：VE 10 mg、VK₃ 0.8 mg、VB₁ 1 mg、VB₂ 3 mg、VB₆ 1 mg、泛酸钙 12 mg、烟酸 12 mg、生物素 0.2 mg、肌醇 30 mg、叶酸 0.2 mg、VC 30 mg、VB₁₂ 0.002 mg、氯化胆碱 100 mg、载体脱脂米糠 800 mg;2.每克复合矿物质可提供：镁 8 mg、钙 60 mg、铁 5.4 mg、铜 0.1 mg、锌 1.4 mg、锰 0.6 mg、碘 0.02 mg、沸石粉 924 mg。

1.2.2 脂肪酸组成的测定

取鱼体背部肌肉 1 g 左右，粉碎后置于研钵中研磨，研钵中加 5 ml Folch 液并研磨肌肉，将研磨至糜状的肌肉倒入 500 ml 的圆底烧瓶，加 15 ml Folch 液于烧瓶中，置于 55℃ 水浴锅中回流 2.5 h，滤去残渣后，将烧瓶中的澄清液体用 25 ml 容量瓶定容，取其中 10 ml 液体放入 80 ml 小圆瓶中，99.9% 氮气吹干小圆瓶中的液体，然后加入 2 ml 0.5 mol/l 的氢氧化钾甲醇溶液，充氮气 99.9%，置于 50℃ 水浴锅中振摇 3 min 左右，待小圆瓶内的油珠消失后，用自来水冲淋冷却瓶身；继续往小圆瓶内加 2 ml 10% 的三氟化硼乙醚溶液，轻轻摇匀并充氮气，置于 50℃ 水浴锅中静置约 3 min，以自来水冷却，加 2 ml 正庚烷，充分振摇摇匀，在常温下静置约 5 min，用饱和食盐水溶液淋洗上清液，静置待液体分层，取少量上清液置于 1 ml EP 管中，加少量无水硫酸钠防潮。取微量上清液进气相色谱仪，测定肌肉样品中脂肪酸种类及相对含量。

表 2 各组饲料的脂肪酸组成(%)

项目	1组	2组	3组	4组	5组
C14 : 0	0.97	1.08	1.19	1.36	1.51
C16 : 0	28.44	26.63	23.77	21.69	18.78
C16 : 1n7	1.33	1.65	1.70	1.74	1.92
C18 : 0	10.24	7.81	6.55	5.29	4.11
C18 : 1n9	35.22	32.47	31.13	29.11	28.74
C18 : 2n6	15.65	20.35	23.79	27.10	28.44
C18 : 3n3	0.89	0.96	1.06	1.52	1.54
C20 : 0	1.01	1.06	1.12	1.38	1.49
C20 : 1n9	0.72	0.81	0.99	0.95	1.01
C20 : 2n6	0.12	0.15	0.11	0.10	0.21
C20 : 4n6	—	0.61	0.58	0.50	0.57
C22 : 0	1.21	1.35	1.30	1.42	1.67
C20 : 5n3	—	0.65	1.75	2.84	3.80
C22 : 6n3	—	0.75	0.64	—	0.55
Σ SFA	41.87	37.93	33.93	31.14	27.56
Σ MUFA	37.27	34.93	33.82	31.8	31.67
Σ PUFA	16.66	23.47	27.93	32.06	35.11
Σ HUFA	0.89	2.97	4.03	4.86	6.46
n-3 PUFA	0.89	2.36	3.45	4.36	5.89
n-6 PUFA	15.77	21.11	24.48	27.7	29.22
n-3/n-6	0.056	0.11	0.14	0.16	0.20

注：n-3PUFA 包括 C18.3n3、C20.3n3、C20.5n3、C22.5n3、C22.6n3；n-6PUFA 包括 C18.2n6、C20.2n6、C20.4n6；HUFA（高度不饱和脂肪酸）为含有 3 个及 3 个以上不饱和键的脂肪酸。

采用气相色谱法测定鱼体脂肪酸组成。使用美国 Sigma 公司生产的脂肪酸甲酯标准品。澳大利亚 SGE 公司的规格为 60 m×0.25 mm 的 BPX70 石英毛细管柱，220~240℃程序升温；汽化室和 FID 温度为 290℃；流速 60 ml/min 的氮气作为载气，60 ml/min H₂，600 ml/min 空气，50 ml/min 尾吹气；氢离子火焰检测器；进样量 1μl，分流比 100.1。按照峰面积归一

法计算各脂肪相对含量。

1.3 数据处理

试验结果整理后统一录入 Excel 表格，统计软件 SPSS 19.0 对数据进行单因子方差分析，试验结果以“平均数±标准差”表示，采用 Duncan's 多重比较法分析平均数的差异显著性 (P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼生长指标的影响(见表 3)

表 3 中各组间试验鱼初均重、存活率均差异不显著 (P>0.05)。黄颡鱼幼鱼末均重及增重率以 4 组最高，5 组次之，1 组最低，4、5 组末均重显著高于其他各组 (P<0.05),3 组显著高于 1、2 组 (P<0.05)；增重率 3、4、5 组显著高于 1、2 组 (P<0.05)；饲料系数 1 组最高 (1.38),5 组次之，4 组最低，1、5 组显著高于 2、3、4 组 (P<0.05),2、3、4 组之间无显著性差异 (P>0.05)。

表 3 不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼生长指标的影响

项目	1组	2组	3组	4组	5组
W ₀ (g/尾)	1.43±0.08	1.41±0.13	1.39±0.10	1.42±0.09	1.43±0.05
W _t (g/尾)	9.13±0.95 ^b	11.25±1.00 ^a	14.56±1.28 ^c	17.30±1.36 ^d	16.18±0.99 ^d
SR(%)	0.89±0.01	0.91±0.11	0.92±0.07	0.89±0.06	0.90±0.01
WGR(%)	538.46±56 ^b	697.87±77 ^a	947.48±54 ^c	1 118.30±105 ^d	1 031.45±98 ^d
FCR	1.38±0.12 ^a	1.21±0.02 ^b	1.25±0.01 ^b	1.19±0.10 ^b	1.36±0.09 ^a

注：同行数据肩标不同小写字母表示有显著差异(P<0.05)，无字母或有相同小写字母表示差异不显著 (P>0.05)；下表同。

2.2 不同脂肪水平对黄颡鱼鱼体营养成分的影响(见表 4)

表 4 中各组鱼体肌肉水分、蛋白、灰分含量均无显著性差异 (P>0.05)。其中 2 组水分含量最高，3 组最低；肌肉蛋白含量以 5 组最高，4 组最低；肌肉灰分含量 3 组最高，5 组最低；肌肉脂肪含量以 5 组最高 (12.11%),1 组最低 (10.19%),3、5 组显著高于 2、4 组 (P<0.05),2、4 组显著高于 1 组 (P<0.05),2、4 组之间，3、5 组之间无显著性差异 (P>0.05)。

2.3 不同脂肪水平对黄颡鱼肌肉脂肪酸组成的影响 (见表 5)

2.3.1 黄颡鱼幼鱼肌肉、饲料中各脂肪酸种类及相对含量的相关性

由表 5 可知，黄颡鱼幼鱼肌肉组织中共检测出 15 种脂肪酸。大类脂肪酸的相对含量高低顺序均为ΣSFA>ΣMUFA>ΣPUFA>ΣHUFA。主要的 SFA 是 C16.0、C18.0，主要的 MUFA 则是 C18.1n7、C18.1n9 及 C16.1n7，主要的 PUFA 为 C18.2n6、C18.3n3 及 C22.6n3，主要的 HUFA 是 C18.3n3 及 C22.6n3。

饲料脂肪酸组成各组与试验鱼肌肉脂肪酸组成有很大相关性。随着脂肪添加量的增加，各组饲料中的 C16.0、C18.0、C18.1n9、SFA 以及 MUFA 相对含量迅速降低，C18.2n6、C20.5n3 以及 PUFA、HUFA 相对含量则迅速提升；各组试验鱼肌肉 C18.2n6、MUFA、PUFA 和 HUFA 亦呈现出相同的变化趋势。各组饲料及试验鱼肌肉组织中的 n-3/n-6 均低于 0.33。

2.3.2 黄颡鱼幼鱼肌肉组织和饲料中脂肪酸组成的差异性

4、5 组饲料中大类脂肪酸相对含量大小顺序为 Σ PUFA> Σ MUFA> Σ SFA,4、5 组试验鱼肌肉中的大类脂肪酸相对含量大小顺序则为 Σ SFA> Σ MUFA> Σ PUFA，肌肉组织大类脂肪酸组成跟饲料有所不同；随着脂肪添加量的增加，各组饲料中的 C16.0、C18.0、C18.1n9、SFA 和 MUFA 相对含量迅速降低，C18.2n6、C20.5n3、PUFA 和 HUFA 相对含量迅速提升，而试验鱼肌肉 C16.0、C18.0、C18.1n9、C20.5n3、SFA 相对含量变化不大，表明鱼体组织脂肪酸相对含量不一定随着饲料变化而变化。

表 4 不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼鱼体营养成分的影响(%)

项目	1组	2组	3组	4组	5组
肌肉水分	71.23±6.77	72.46±1.26	70.57±4.38	71.96±5.97	72.43±2.16
肌肉脂肪	10.19±1.03 ^a	11.09±1.15 ^b	11.85±0.96 ^c	11.01±0.81 ^b	12.11±0.21 ^c
肌肉蛋白	15.41±1.21	15.24±1.52	15.68±1.08	15.03±0.06	15.77±0.94
肌肉灰分	3.59±0.09	3.34±0.36	3.67±0.18	3.58±0.22	3.09±0.07

表 5 不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼肌肉脂肪酸组成的影响(%)

项目	1组	2组	3组	4组	5组
C14 : 0	0.81±0.05 ^a	0.96±0.07 ^a	1.08±0.13 ^{ab}	1.26±0.17 ^b	1.34±0.01 ^b
C16 : 0	20.48±1.44	20.01±2.15	19.79±1.57	19.55±1.02	18.71±0.88
C16 : 1n7	9.33±0.31	9.41±0.37	9.60±0.16	9.77±0.09	9.81±0.19
C18 : 0	19.66±0.94	18.79±0.78	18.06±0.65	18.17±0.64	19.05±0.42
C18 : 1n7	8.49±0.87 ^a	7.98±0.74 ^a	6.26±0.45 ^a	6.88±0.16 ^b	6.17±0.09 ^b
C18 : 1n9	21.52±2.36 ^a	19.44±2.05 ^b	19.14±1.73 ^b	17.39±1.65 ^c	17.82±1.01 ^c
C18 : 2n6	10.63±1.74 ^a	11.53±1.03 ^b	12.79±0.88 ^c	13.12±0.92 ^{cd}	14.36±1.57 ^d
C18 : 3n3	1.23±0.03	1.26±0.12	1.83±0.17	1.97±0.19	1.75±0.07
C20 : 0	0.35±0.03	0.54±0.10	0.66±0.01	0.52±0.02	0.47±0.01
C20 : 1n9	1.49±0.05	1.26±0.11	1.70±0.18	1.55±0.15	1.71±0.75
C20 : 2n6	—	—	0.18±0.01	0.12±0.02	0.29±0.01
C20 : 4n6	—	0.44±0.02	0.56±0.05	0.46±0.22	0.52±0.01
C20 : 5n3	0.77±0.01 ^a	1.62±0.01 ^b	1.72±0.01 ^b	1.90±0.04 ^b	1.85±0.03 ^b
C22 : 0	1.03±0.1	1.01±0.11	1.15±0.01	1.43±0.03	1.22±0.01
C22 : 6n3	—	0.35±0.04	—	0.46±0.03	0.29±0.01
Σ SFA	42.33	41.31	40.74	40.93	40.99
Σ MUFA	40.83 ^a	38.09 ^b	36.70 ^{bc}	35.59 ^c	35.51 ^c
Σ PUFA	12.63 ^a	15.2 ^b	17.08 ^c	18.03 ^{cd}	19.06 ^d
Σ HUFA	2 ^a	3.67 ^b	4.11 ^{bc}	4.79 ^c	4.41 ^{bc}
n-3 PUFA	2 ^a	3.23 ^b	3.55 ^{bc}	4.33 ^c	3.89 ^{bc}
n-6 PUFA	10.63 ^a	11.97 ^b	13.53 ^c	13.70 ^c	15.17 ^d
n-3/n-6	0.19	0.27	0.26	0.32	0.26

黄颡鱼幼鱼肌肉中大类脂肪酸与饲料中相比，肌肉组织中的 SFA 及 MUFA 相对含量均高于相应饲料。黄颡鱼幼鱼肌肉中 C18.1n9 相对含量远低于饲料，C16.1n7 相对含量则远高于饲料，肌肉中 C18.1n7 相对含量达 8%以上，饲料中没有检出 C18.1n7。1~5 组黄颡鱼幼鱼肌肉中的 PUFA 及 n-6 PUFA 相对含量均低于相应饲料；1~3 组黄颡鱼幼鱼肌肉中的 n-3

PUFA 相对含量高于相应饲料, 4~5 组则低于相应饲料。鱼体肌肉 C18.2n6 相对含量均比相应饲料中低的多, C18.3n3 相对含量则是鱼体肌肉稍高一些。3、4、5 组饲料中 C20.5n3(EPA) 的相对含量均比相应鱼体高, C22.6n3 相对含量肌肉和饲料中相差不大。各组肌肉 n-3/n-6 高于相应饲料。

2.3.3 黄颡鱼幼鱼肌肉组织中各类脂肪酸的相对含量

比较各组黄颡鱼肌肉的脂肪酸相对含量, 发现 5 组的 C14.0 含量最高 (1.34%), 4、5 组显著高于 1、2 组 ($P<0.05$), 1、2、3 组之间差异不显著 ($P>0.05$); 各组试验鱼之间肌肉 C16.0、C16.1n7、C18.0、C18.3n3 相对含量差异不显著 ($P>0.05$), 4 组试验鱼肌肉 C18.3n3 相对含量最高 (1.97%), 1 组最低 (1.23%); 3、4、5 组试验鱼肌肉 C18.1n7 相对含量显著高于 1、2 组, 1、2 组之间, 3、4、5 组之间无显著性差异 ($P>0.05$); 4、5 组试验鱼肌肉 C18.1n9 相对含量显著高于 2、3 组 ($P<0.05$), 2、3 组显著高于 1 组 ($P<0.05$); C18.2n6 以 5 组最高 (14.36%), 5 组显著高于 3 组, 3、4、5 组显著高于 1、2 组 ($P<0.05$), 2 组显著高于 1 组 ($P<0.05$); 除 1 组外, 各组试验鱼肌肉 C20.4n6 相对含量比较接近; 1 组 C20.5n3 (0.77%) 相对含量显著低于其他各组 ($P<0.05$), 其他各组间差异不显著 ($P>0.05$), 4 组最高 (1.90%); C22.6n3 相对含量以 4 组最高 (0.46%), 其他各组含量较低或未检出。

比较各组鱼肌肉中大类脂肪酸, $\sum$ SFA、 $\sum$ MUFA 均以 1 组最高, 1 组 $\sum$ MUFA 显著高于其他各组 ($P<0.05$); $\sum$ PUFA 以 5 组最高 (19.06%), 3、4、5 组显著高于 1、2 组; $\sum$ HUFA、 $\sum$ n-3 PUFA 及 $\sum$ n-6 PUFA 在各组间存在不同差异, 除 $\sum$ n-6 PUFA 外, 均为 4 组最高, 1 组最低; n-3/n-6 以 1 组最低 (0.19%), 各组之间差异不显著 ($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼生长指标的影响

饲料中脂肪含量过低, 供给鱼体的能量就会减少, 只能消耗鱼体本身的蛋白质以维持能量供应, 导致鱼体生长性能下降; 若脂肪过量, 则鱼类肝胰脏等组织会蓄积多余的脂肪在其中, 诱导鱼体发生脂肪肝病变, 最终影响鱼类正常生长^[15]。

张丽燕等^[13]以不同脂肪水平的饲料饲养平均体质量 10.32 g 的黄颡鱼 100 d, 发现饲料脂肪水平对黄颡鱼增重、特定生长率均无显著影响, 但显著改变了其饲料系数; 本试验中黄颡鱼幼鱼(平均体质量约 1.43 g)末均重、增重率及饲料系数均随饲料脂肪水平的变化而变化显著。

于丹等^[4]以不同脂肪水平的饲料饲喂黄颡鱼幼鱼, 发现随着饲料脂肪水平的提高, 黄颡

鱼幼鱼增重率先升后降,对黄颡鱼幼鱼的生长起促进作用的饲料脂肪添加量范围为7.59%~7.65%;韩庆等^[14]以鱼油/豆油(1.1)为脂肪源,以脂肪添加量分别为5.21%、7.23%、9.27%、11.31%、13.33%、15.37%的6组半纯化饲料饲喂的黄颡鱼幼鱼(体重约8 g)40 d,发现当饲料脂肪含量低于11.31%时,随着饲料脂肪水平的提高,鱼体相对增重率及饲料转化率逐渐增加,当脂肪水平高于11.31%时,随着饲料脂肪水平的提高,鱼体相对增重率及饲料转化率又逐渐降低,确定黄颡鱼饲料最适脂肪添加量为11.31%。本试验中,随着饲料脂肪水平的升高,各组试验鱼的末均重和增重率均呈现先增后降的趋势,其中4组(脂肪添加量5%)末均重及增重率均达最高(17.30 g和118.3%),1组最低,增重率和末均重都是3、4、5组显著高于1、2组($P<0.05$),造成这种试验鱼生长速度先增后降现象的原因可能是过高的脂肪含量降低了鱼体的生长性能,这跟韩庆等的研究结果一致,但不同之处在于韩庆等得出的最适脂肪水平为11.31%,本试验得出最适脂肪添加量为5%,这可能跟黄颡鱼幼鱼不同的生长阶段有关。袁立强等^[5]研究发现,随着饲料脂肪水平的提高,瓦氏黄颡鱼的特定生长率先增后降,与本试验结果一致。本试验饲料系数则是4组(1.19)最低,1组最高(1.38),变化趋势不明显。综上分析,4组鱼体生长性能最好,3、5组次之,1、2组较差。

3.2 不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼肌肉常规营养成分的影响

高脂饲料促进了脂肪在鱼体肌肉中的积累。张世亮等^[9]研究表明,随着糖/脂肪比例的增加,全鱼粗脂肪含量会显著减少。郑珂珂等^[7]研究表明,黄颡鱼肌肉营养成分随着饲料脂肪水平的改变而发生显著变化,其中肌肉脂肪含量随脂肪水平的提高而显著增加,肌肉粗蛋白含量则先升后降,饲料脂肪水平为7.9%和10.9%时能显著提高鱼体蛋白含量。本试验表明,除肌肉脂肪含量外,不同脂肪水平对黄颡鱼肌肉蛋白质、水分、灰分等常规营养成分均无显著影响。黄颡鱼幼鱼肌肉粗脂肪含量以5组最高(12.11%),3组次之(11.85%),1组最低(10.19%),3、5组显著高于其他各组($P<0.05$),1组显著低于其他各组($P<0.05$);与郑珂珂等^[7]的研究结果不一样,本试验中黄颡鱼幼鱼肌肉蛋白及灰分含量呈现不规律的变化,肌肉蛋白质含量5组最高,水分含量2组最高,灰分含量3组最高。

3.3 不同脂肪水平对黄颡鱼幼鱼肌肉脂肪酸组成的影响

3.3.1 各组饲料脂肪酸组成和黄颡鱼幼鱼肌肉脂肪酸组成之间的相关性和差异性

鱼体摄取必需脂肪酸的一个重要途径是从饲料脂肪中获取,饲料脂肪酸组成一定会影响鱼体脂肪酸组成,鱼体脂肪酸的组成基本上反映了饲料脂肪酸组成特点^[16,17,18]。本试验中,各组饲料中的C16.0、C18.0、C18.1n9、SFA和MUFA相对含量迅速降低,各组试验鱼肌肉

的 MUFA 相对含量也快速降低；各组饲料中 C18.2n6、C20.5n3、PUFA 和 HUFA 相对含量则迅速提升，各组试验鱼肌肉 C18.2n6、PUFA 和 HUFA 亦迅速提升。各组饲料及试验鱼肌肉组织中的 n-3/n-6 均低于 0.33。

鱼体脂肪酸组成反映了饲料脂肪酸组成，但本试验中亦有很多种类脂肪酸的相对含量不一定随着饲料脂肪酸组成变化而变化，如各组试验鱼肌肉中 C16.0、C18.0、C18.1n9、C20.5n3、SFA 相对含量变化不大，未如饲料中相应的脂肪酸那样随着饲料脂肪含量的变化而迅速变化。再如 4、5 组试验鱼肌肉中的大类脂肪酸相对含量大小顺序则为 $\Sigma\text{SFA} > \Sigma\text{MUFA} > \Sigma\text{PUFA}$ ，不同于 4、5 组饲料中的顺序 $\Sigma\text{PUFA} > \Sigma\text{MUFA} > \Sigma\text{SFA}$ 。黄颡鱼幼鱼肌肉中 C18.1n9 相对含量远低于饲料，肌肉中 C16.1n7 相对含量则远高于饲料，肌肉中 C18.1n7 相对含量达 8% 以上，饲料中没有检出 C18.1n7。肌肉 C18.2n6 相对含量均比相应饲料中低的多。各组肌肉 n-3/n-6 高于相应饲料。

本试验中黄颡鱼幼鱼肌肉中大类脂肪酸与饲料中相比，肌肉组织中的 SFA 及 MUFA 相对含量均高于相应饲料。这与刘飞^[19]的结果不完全一致，刘飞研究不同脂肪源饲料对黄颡鱼脂肪酸组成的影响，结果表明，黄颡鱼肌肉 SFA 相对含量低于饲料，而 MUFA 相对含量高于饲料，认为黄颡鱼能将 SFA 去饱和后转化为 MUFA，可能本试验中并不存在这样的转化。

C18.2n6 和 C18.3n3 分别是 n-6 和 n-3 系列脂肪酸的前体，经碳链延长及去饱和作用后，C18.2n6 在机体内转化为 HUFA^[20]。本试验中，各组黄颡鱼幼鱼肌肉 PUFA 特别是 n-6 PUFA 的相对含量低于相应饲料，而 C18.2n6 则远低于相应饲料，1、2、3 组黄颡鱼幼鱼肌肉 HUFA 的相对含量又比相应饲料高，4、5 组黄颡鱼幼鱼肌肉 HUFA 则比相应饲料低，可能在 1、2、3 组试验鱼体内也发生了类似转化，4、5 组未发生类似变化，至于 C18.2n6 是在向 DHA 还是 EPA 转化，有待进一步研究。

陆游等^[21]研究不同脂肪源饲料对黄颡鱼幼鱼生长性能、肌肉组织脂肪酸组成、血清生化指标及抗氧化能力的影响，发现各试验组黄颡鱼肌肉的 C14.0 相对含量均低于相应饲料，而 C16.0、C18.1n-9 相对含量则高于相应饲料，认为黄颡鱼可能将多余的 SFA 通过去饱和或者延长碳链的方式生成 C16.0 及 C18.1n-9，用于提供机体能量。而本试验中未出现这样的转化，黄颡鱼幼鱼肌肉中 C14.0 低于相应饲料，而 C16.0 和 C18.1n9 相对含量亦低于饲料，C16.1n7 相对含量则远高于饲料，饲料中没有检出 C18.1n7，但肌肉中 C18.1n7 相对含量达到 8% 以上，可能 C18.1n9 在黄颡鱼体内向 C16.1n7 和 C18.1n7 转化。

3.3.2 各组黄颡鱼幼鱼肌肉中脂肪酸组成的比较

鱼体正常生长所必需的脂肪酸可能是 n-6 PU-FA, 富含 HUFA 的饲料亦能促进鱼体生长^[22]。综合鱼体生长指标, 4、5 组黄颡鱼幼鱼生长性能较好, 其增重率在 1 031%~1 118% 之间, 饲料系数在 1.19~1.36 之间, 4 组增重率显著高于其他各组 ($P<0.05$)。这可能跟 4、5 组鱼体肌肉中含有较高的 C18.2n6、C18.3n3 及 EPA 有关。

从营养学角度评价, 亚油酸可能是有害的脂肪酸, Turchini 等^[23]研究发现, 用植物油替代鱼油可能会导致亚油酸在鱼肌肉中大量沉积而难以移除。赵帅兵等^[24]研究表明, 使用棕榈油替代鱼油能降低亚油酸在黄颡鱼肌肉中的相对含量, 并且随棕榈油含量的增加, 鱼体肌肉的 n-3/n-6 比值显著提升, 说明棕榈油替代鱼油可以改善及优化黄颡鱼的肌肉脂肪酸组成。本试验使用不同水平的豆油饲喂黄颡鱼幼鱼, 其鱼体 n-3/n-6 比值先逐渐增加, 由 0.19 增加到 0.32, 随后降低至 0.26, 而肌肉亚油酸相对含量增幅不大, 从 10.63% 到 14.36%, 说明饲料中添加一定水平的脂肪 (豆油) 能改善黄颡鱼幼鱼的肌肉脂肪酸组成, 但过高水平的脂肪含量改善脂肪酸组成的作用有所下降。

参考文献: 略

原文刊登在《饲料工业》2020,41(12),50-55 DOI:10.13302/j.cnki.fi.2020.12.009

饲料中脂肪水平及脂肪源对大菱鲆幼鱼生长和代谢的影响

满铭叁 隋仲敏 周慧慧 王旋 徐玮 麦康森 何艮

中国海洋大学农业部水产动物营养与饲料重点实验室

摘 要: 本实验研究了饲料脂肪水平及脂肪来源对大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)的生长、体组成及脂质代谢的影响。实验包括 6 组等氮实验饲料, 分别以鱼油和豆油为主要脂肪源, 设计 3 个脂肪水平(8%、12%和 16%)的实验饲料(分别为 F8 组、F12 组、F16 组和 S8 组、S12 组和 S16 组)。选取初始体质量为 (13.01 ± 0.01) g 的大菱鲆幼鱼, 随机分到 18 个养殖桶中, 每桶 30 尾, 采用定量投喂方式进行投喂, 养殖周期 56 d。研究显示: 随着饲料中脂肪含量上升, 饲喂鱼油饲料的鱼体终末体质量、增重率、特定生长率有增高趋势, F16 组鱼体生长性能显著优于 F8 组; 而饲料中添加过高剂量豆油(S16 组)对鱼体生长有明显抑制现象。饲料中脂肪水平显著影响大菱鲆肝体比和脏体比指数, 而鱼体肥满度则受脂肪源影响显著。实验饲料组成对大菱鲆鱼体水分含量和粗蛋白含量无影响, 但显著影响鱼体粗脂肪含量, 鱼体粗脂肪含量随着饲料脂肪水平升高而上升。饲料脂肪来源显著影响大菱鲆肝脏脂肪含量, 豆油组肝脏脂肪含量显著高于鱼油组, 且豆油组大菱鲆肝脏脂肪含量随着脂肪水平的升高而显著提高。进一步检测大菱鲆脂代谢相关基因发现, 饲料脂肪水平及来源显著影响大菱鲆肝脏脂肪合成、氧化等基因表达。综上所述, 大菱鲆幼鱼饲料

中脂肪水平在 12%~16%时鱼体呈现最佳生长性能,饲料中添加过多豆油显著影响鱼体生长及肝脏脂肪代谢。

关键词: 饲料; 大菱鲆; 脂肪水平; 鱼油; 豆油; 生长; 脂代谢;

Effects of Dietary Lipid Level and Lipid Source on the Growth and Metabolism of Juvenile Turbot
(*Scophthalmus maximus* L.)

MAN Ming-San SUI Zhong-Min ZHOU Hui-Hui WANG Xuan XU Wei MAI Kang-Sen HE Gen

The Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feed of Ministry of Agriculture, Ocean University of China

Abstract: The present study was carried out to explore the effects of dietary lipid levels and lipid source on the growth and metabolism of turbot. A 56 days feeding trial was carried out in juvenile turbot((13.01±0.01) g). Six isonitrogenous experimental diets were designed using two lipid sources, fish oil(FO) and soybean oil(SO), and three lipid levels, 8%, 12% and 16%. The fish growth performance increased with the increase of lipid level in FO groups and a significant difference was observed between F16 and F8. However, in the SO groups, dietary S16 significant inhibited the fish growth. The hepatosomatic and viscerosomatic indices of turbot were highly affected by dietary lipid level while the condition factor was highly affected by lipid source. There was no effect of the diets on moisture and crude protein levels of turbot. The crude lipid level of whole body and liver were highly affected by the diet. The liver lipid content in SO groups was significant higher than that of FO groups. Furthermore, the expressions of genes relating to lipid metabolism were also highly affected by the dietary lipid level and lipid source. The optimal fish growth performance was obtained when the dietary lipid levels varied between 12% and 16%. Over substitution soybean oil in the diet disturbed the lipid metabolism of turbot and inhibited the fish growth performance.

Keyword: dietary; turbot; lipid level; fish oil; soybean oil; growth; lipid metabolism;

众所周知,鱼粉和鱼油是水产饲料最主要的组成部分,因为两者的营养价值对于鱼类的生长来说是十分理想的^[1],但随着水产养殖业的迅速发展,鱼粉、鱼油资源变得日益短缺,致使养殖成本上升,严重抑制了水产养殖业的发展,因此如何合理有效地利用资源以及寻找其替代品就成为亟须解决的问题。

饲料中的脂质是鱼类所需要的重要营养物质,既是鱼体能量的主要来源又是机体的重要组成部分,能为机体提供必需脂肪酸、磷脂、固醇类和脂溶性维生素等重要营养物质以维持体内的各种生物学过程^[2,3],在鱼类的生长发育、新陈代谢等生命活动中起到了至关重要的作用。此外,脂肪还具有节约蛋白的作用,在一定范围内,饲料脂肪水平的升高可以提高饲料

效率,并通过节约蛋白的作用促进生长。只有当饲料的脂肪水平和脂肪酸组成适宜时,鱼类的生长、发育和繁殖等各项生命活动才能正常进行。由于脂肪的节约蛋白作用,促进了高脂饲料的应用,但是研究发现高脂饲料导致了鱼体肝脏和腹腔脂肪的沉积,造成了可食用面积减少、肉质下降等一系列问题。用植物油高度替代鱼油导致了同样的问题^[4,5,6]。因此,了解饲料中的脂肪水平和脂肪源替代如何影响生长和代谢以及两者之间有什么相互的影响将有利于促进饲料中鱼油的高效节约利用。

大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)属鲽形目(Pleuronectiformes)菱鲆科(Scophthalmidae)菱鲆属(*Scophthalmus*),俗称“多宝鱼”,是一种低温经济鱼类,具有经济价值高、生长迅速、宜于集约化养殖等优点,其养殖产业已发展成为中国北方海水养殖支柱产业^[7]。然而,鱼油资源的短缺限制了其养殖业的发展,因此,寻找合理利用鱼油的方法以及寻找鱼油替代品就显得十分必要。本实验探讨了不同脂肪水平及脂肪源的饲料在生长、脂代谢相关基因表达等方面对大菱鲆幼鱼的影响,以期为大菱鲆饲料中鱼油的利用提供更多理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉、谷朊粉、大豆浓缩蛋白作为蛋白源,以鱼油、大豆卵磷脂为脂肪源,豆油作为 100% 替代脂肪源,设计 6 种实验饲料,饲料干物质的粗蛋白含量为 50%,脂肪含量设为 8%、12%和 16% 3 个梯度。所有实验饲料中添加晶体氨基酸以满足大菱鲆对必需氨基酸的需求。添加丙酸钙作为防霉剂;添加乙氧基喹啉作为抗氧化剂;添加海藻酸钠作为黏合剂;添加三氧化二钼作为测定表观消化率的指示剂。饲料配方见表 1。各实验组用到的饲料 F8、S8、F12、S12、F16、S16,字母 F 表示鱼油为脂肪源,字母 S 表示豆油为替代脂肪源,数字 8、12、16 表示饲料的脂肪含量为 8%、12%、16%。

所有原料经粉碎机粉碎并过 80 目的网筛,然后将粉碎好的原料按照饲料配方从小量到大量逐步混合均匀,此后将大豆卵磷脂混入鱼油和豆油中,根据实验配方将预混料分别与相应量的鱼油或豆油混合均匀,然后将胆碱加入到 30%饲料重量的水中混匀,再将水与饲料充分混匀。饲料颗粒(3 mm×4 mm)由制粒机制成,然后在 55 °C 的通风风箱中烘干 12 h。待饲料颗粒干燥冷却后用双层塑料袋装好并封口,保存在-20 °C 冰箱中待使用。

1.2 饲养管理

实验在青岛亿海丰水产品有限公司(山东青岛)进行。大菱鲆幼鱼从养殖厂购买,在实验开始前用商业饲料喂养 2 周,使鱼适应养殖环境。将初始体质量(13.01±0.01) g 的幼鱼挑选出

来随机分到 18 个养殖箱中,每个养殖箱 30 尾鱼。实验所用海水经过砂滤器过滤后以 1.5 L/min 的速度注入养殖箱。每个处理组都被分成 3 个平行进行实验。每天 7:00 和 19:00 进行定量投喂(投喂量为鱼体质量的 1%),每 2 周称一次体质量并根据体质量调整投喂量。投喂后将粪便清理干净。养殖实验进行 56 d。

表 1 实验饲料的组成及成分分析(干物质)
Table 1 Formulas and proximate composition of the experimental diets (dry matter) /%

原料 Ingridients	F8	S8	F12	S12	F16	S16
鱼粉 Fish meal ^a	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00
大豆浓缩蛋白 Soybean protein concentrate ^a	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94	17.94
小麦粉 Wheat flour ^a	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
谷朊粉 Wheat gluten meal ^a	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40
纤维素 Cellulose	9.05	9.05	5.05	5.05	0.95	0.95
赖氨酸 Lysine	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
蛋氨酸 Methionine	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
鱼油 Fish oil	3.20	0.00	7.20	0.00	11.30	0.00
豆油 Soybean oil	0.00	3.20	0.00	7.20	0.00	11.30
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
牛磺酸 Taurine	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 Vitamin premix ^b	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
矿物质预混料 Mineral premix ^c	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
丙酸钙 Calcium propanoate	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
乙氧基喹 Ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
复合诱食剂 Attractant ^d	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
海藻酸钠 Sodium alginate	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
三氧化二钇 Y ₂ O ₃	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
饲料组分分析 Nutrient contents						
总能量 Gross energy	17.70	17.70	19.20	19.20	20.74	20.74
粗蛋白 Crude protein	50.04	50.04	50.04	50.04	50.04	50.04
粗脂肪 Crude lipid	8.03	8.03	11.99	11.99	16.05	16.05

注: ^a鱼粉:(七好生物科技有限公司, 山东, 中国), 粗蛋白 66.8%, 粗脂肪 5.8%; 大豆浓缩蛋白:(七好生物科技有限公司, 山东, 中国), 粗蛋白 67.1%, 粗脂肪 1.4%; 小麦粉:(七好生物科技有限公司, 山东, 中国), 粗蛋白 14.6%, 粗脂肪 1.3%; 谷朊粉:(七好生物科技有限公司, 山东, 中国), 粗蛋白 80.3%, 粗脂肪 1.0%; ^b维生素预混料(mg/kg 饲料): 维生素 A, 32 mg; 维生素 D, 5 mg; 维生素 E, 240 mg; 维生素 K, 10 mg; 维生素 B1, 25 mg; 维生素 B2, 45 mg; 维生素 B6, 20 mg; 维生素 B12, 10 mg; 泛酸钙, 60 mg; 烟酸, 200 mg; 叶酸, 20 mg; 生物素, 60 mg; 肌醇, 800 mg; Vc 磷酸酯, 2 000 mg; ^c矿物质预混料(mg/kg 饲料): MgSO₄·7H₂O, 1 200 mg; CuSO₄·5H₂O, 10 mg; FeSO₄·H₂O, 80 mg; ZnSO₄·H₂O, 50 mg; MnSO₄·H₂O, 45 mg; CoCl₂·6H₂O, 50 mg; 亚硒酸钠, 20 mg; 碘酸钙, 60 mg; ^d复合诱食剂:(甜菜碱: 二甲基-丙酸噻亨: 甘氨酸: 丙氨酸: 5-磷酸肌醇=4: 2: 2: 1: 1)。

Note: ^aFish meal: (Great Seven Bio-tech, Shandong, China), with crude protein: 66.8%, crude lipid: 5.8%; Soybean protein concentrate: (Great Seven Bio-tech, Shandong, China), with crude protein: 67.1%, crude lipid: 1.4%; Wheat meal: (Great Seven Bio-tech, Shandong, China), with crude protein: 14.6%, crude lipid: 1.3%; Wheat gluten: (Great Seven Bio-tech, Shandong, China), with crude protein: 80.3%, crude lipid: 1.0%; ^bVitamin premix (mg/kg diet): retinol acetate, 32 mg; cholecalciferol, 5 mg; tocopherol, 240 mg; vitamin K, 10 mg; thiamin, 25 mg; riboflavin, 45 mg; pyridoxine-HCl, 20 mg; vitamin B12, 10 mg; pantothenic acid, 60 mg; niacin acid, 200 mg; folic acid, 20 mg; biotin, 60 mg; inositol, 800 mg; ascorbic acid, 2 000 mg; ^cMineral premix (mg/kg diet): MgSO₄·7H₂O, 1 200 mg; CuSO₄·5H₂O, 10 mg; FeSO₄·H₂O, 80 mg; ZnSO₄·H₂O, 50 mg; MnSO₄·H₂O, 45 mg; CoCl₂·6H₂O, 50 mg; sodium selenite, 20 mg; calcium iodine, 60 mg; ^dAttractant: (Betaine: Dimethyl-propiothetin: glycine: alanine: 5-phosphate inosine= 4: 2: 2: 1: 1).

1.3 样品收集

养殖实验结束后饥饿处理 24h,记录每个养殖箱内鱼的数量,并称量每个养殖箱内鱼总体质量。每箱随机选出 4 尾鱼保存在-20℃冰箱中用以进行体成分分析。从每个养殖箱中取 4

尾鱼,取鱼体的肝、肠、肌肉并用液氮保存。每养殖箱中随机挑选 2 尾鱼测量体质量、体长、内脏团重量、肝脏重量。取肝脏样品保存在液氮中,再保存在-80 °C冰箱中用于基因定量分析。

1.4 化学分析

将样品置于 105 °C烘箱中烘至恒重以测定水分。粗蛋白的测定通过凯氏定氮法(Kjeltec TM 8400, FOSS, Sweden)。采用索氏提取法(Buchi 36680, Switzerland)用乙醚提取后测定粗脂肪。

1.5 肝脏脂肪含量及脂肪酸组成

表 2 饲料中脂肪酸的组成(总脂肪酸)						
Table 2 Fatty acid composition (total fatty acids)						
of the experimental diets						/%
脂肪酸 Fatty acid	处理组 Treatments					
	F8	S8	F12	S12	F16	S16
14:0	4.38	0.78	5.42	0.64	6.23	0.45
16:0	18.21	14.73	18.97	13.58	19.47	13.03
18:0	4.70	4.51	4.55	4.72	4.68	4.79
20:0	0.45	0.43	0.50	0.41	0.50	0.42
ΣSFA	27.74	20.45	29.43	19.35	30.87	18.70
16:1	5.68	1.42	7.55	1.02	8.43	0.83
18:1	12.67	18.24	12.41	20.49	12.27	20.75
ΣMUFA	18.35	19.66	19.96	21.51	20.70	21.58
18:2n-6	14.66	34.35	10.81	38.71	8.37	41.22
20:4n-6	0.89	0.46	1.03	0.35	1.06	0.26
Σn-6 PUFA	15.55	34.81	11.84	39.06	9.42	41.48
18:3n-3	1.57	4.03	1.36	4.77	1.17	5.23
20:5n-3	5.56	1.61	7.47	1.21	8.28	0.91
22:6n-3	5.43	3.19	6.20	2.17	6.32	1.68
Σn-3 PUFA	12.56	8.83	15.04	8.15	15.78	7.81
ΣSFA/ΣPUFA	0.99	0.47	1.10	0.41	1.22	0.30
n-3/n-6 PUFA	0.81	0.25	1.27	0.21	1.67	0.19

检测肝脏中脂肪含量方法如下:将肝脏样品冷冻干燥,称取 100 mg 的样品于 10 mL 玻璃离心管中,记录下样品的质量 w_0 和对应的试管编号;每个离心管中加入氯仿-甲醇溶液(氯仿:甲醇 =2:1,存放在棕色玻璃瓶中 4 mL,摇匀后盖好盖子,浸泡 24 h。75 °C下烘干另外一批玻璃离心管至恒重,两次误差不得超过 0.001 g,记录下离心管质量 w_1 和对应的编号。将氯仿-甲醇溶液加至 6 mL,离心(3 000 g,10 min),再将上清液转入第二批离心管;在沉淀中加入 2 mL 氯仿-甲醇溶液,静置 2 h 后离心(3 000 g,10 min);上清液仍转入第二批离心管。在上清液中加入

1.2 mL 1.6%的 CaCl₂,摇匀,盖上盖子静置过夜。过夜后用移液枪小心弃去上层液,再将离心管置于 75 °C烘箱中烘干至恒重,两次误差不得超过 0.001 g,记录下质量 w₂。每个样品两个重复。得到肝脏脂肪含量=(w₂-w₁) /w₀×100%。

检测肝脏中脂肪酸含量方法如下:将肝脏样品冷冻干燥,在研钵中充分磨细,称取 100 mg 左右的样品于带盖的 10 mL 刻度试管,加入 1 mol/L 的 KOH-甲醇 3 mL,于 80 °C的水浴中加热 20 min,放置冷却;再加入 2 mol/L HCl-甲醇溶液 3 mL,混匀,于 80 °C的水浴中加热 20 min,放置冷却;加正己烷 1 mL,振荡萃取,静置过夜;过夜后取上清得到样品,使用气相色谱仪 (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, California,USA)分析样品脂肪酸组成,饲料脂肪酸组成见表 2。

1.6 RNA 提取和实时定量 PCR

肝脏总 RNA 参照 Trizol 试剂盒(Invitrogen, USA)提取,提取肝脏样品中的总 RNA。然后利用 PrimeScript™ 反转录试剂盒将提取的 RNA 反转录为 cDNA。反转录后检测 cDNA 的浓度并用 DEPC 水稀释至 80 μg/μL,分装后置于-20 °C保存备用。利用已有目的基因过氧化物酶体增殖物激活受体 α(Peroxisome proliferator-activated receptor alpha,PPARα)、肉毒碱棕榈酰转移酶 I(Carnitine palmitoyltransferase I, CPTI)、磷脂酸磷酸化酶 1(Lipin 1)、过氧化物酶体增殖物激活受体 γ(Peroxisome proliferator-activated receptor gamma,PPARγ)、脂蛋白脂酶 (Lipoprotein Lipase,LPL)、肝 X 受体(Liver X receptors,LXR)、延伸因子 1α(Elongation Factor - 1α, EF1α)的引物序列合成引物,引物序列如表 3 所示。定量 PCR 的体系为 25 μL,其中 12.5 μL SYBR. Premix Ex Taq™、0.5 μL 上下游引物(10 μmol/L)、3μL cDNA 和 9.5 μL 的 DEPC 水。定量仪器为实时定量 PCR 仪(Mastercycler ep realplex,Eppendorf,Germany)。实时定量 PCR 的程序为 95 °C持续 2 min;95 °C持续 15 s,退火温度持续 15 s,72 °C持续 20 s,共计 40 个循环。得到各基因的 CT 值,并根据 2^{-ΔΔCt} 方法测定目的基因的表达量^[8]。

表 3 大菱鲆脂肪代谢相关基因的实时定量 PCR 引物
Table 3 Real-time quantitative PCR primers for fatty metabolismrelated genes of turbot (*Scophthalmus maximus* L.)

目的基因 Target gene	正向引物 Forward(5'—3')	反向引物 Reverse(5'—3')	长度 Size/bp
PPARα	CGATCAGGTGACCCTGTAA	TGGAACTTGGGCTCCATC	171
CPT1	GCCTTTCAGTTCACCATCACA	ATGCGGCTGACTCGTTTCTT	113
Lipin1	AGGACGCTGGTGGTTCTCG	CTGTCCGCTGAGGTCATAGTG	113
PPARγ	AAGTGACGGAGTTCGCCAAGA	GTTCATCAGAGGTGCCATCA	121
LPL	CTCCACGAACGCTCTAT	GCGGACCTTGTTGATGTT	166
LXR	GCGTCATCAAGAGTGCCC	ATCTGATTGCTCCTCCGAG	153
EF1α	TCATTGGCCATGTCGACTCC	ACGTAGTACTTGCGGCTCTC	226

1.7 计算与统计分析

大菱鲆摄食率、特定生长率、肥满度等参照以下公式计算:

存活率(Survival rate,SR)=(最终鱼数量/初始鱼数量) $\times$ 100%;

增重率(Weight gain rate,WGR)=(终体质量-初始体质量)/初始体质量 $\times$ 100%;

特定生长率(Specific growth rate,SGR)=(ln 终体质量-ln 始体质量)/实验天数 $\times$ 100%;

肥满度(Condition factor,CF)=终体质量(g)/体长³(cm) $\times$ 100%;

肝体比(Hepatosomatic index,HSI)=肝脏重(g)/体质量(g) $\times$ 100%;

脏体比(Viscerosomatic index,VSI)=内脏重(g)/体质量(g) $\times$ 100%。

数据统计分析使用 SPSS 19.0。数据采用双因素方差分析(ANOVA)再进行 Tukey 检验。

当 $P < 0.05$ 时视作有显著性差异。数据以平均值 $\pm$ 标准误差表示。

2 结果

2.1 饲料中不同脂肪水平和脂肪源对大菱鲆生长参数影响

实验各组的生长数据如表 4 所示。随着饲料脂肪水平的升高以及脂肪源的替代,大菱鲆幼鱼的存活率(SR)没有显著差异($P > 0.05$),但是终末体质量(FBW)、增重率(WGR)和特定生长率(SGR)出现了显著差异($P < 0.05$)。FBW、WGR 和 SGR 均随饲料脂肪水平的上升而上升,只有 S16 组下降,而用豆油替代了饲料中的鱼油后 FBW、WGR 和 SGR 全部下降($P < 0.05$),在所有的处理组中,F16 组的 FBW、WGR 和 SGR 高于其他各组,S16 组最低,但与 F8、S8 组相比没有显著差异($P < 0.05$),F8、S8、F12 和 S12 组之间没有显著差异($P > 0.05$),但 F8、S8 组与 F16 组有显著差异($P < 0.05$),F12 和 S12 组则没有显著差异($P > 0.05$)。

实验各组肥满度(CF)、脏体比指数(VSI)和肝体比指数(HSI)结果如表 5 所示,随着饲料脂肪水平的增加大菱鲆脏体比指数(VSI)和肝体比指数(HSI)均有所上升并且产生了显著差异($P < 0.05$),但肥满度(CF)没有受到显著影响($P > 0.05$);而在用豆油替代饲料中的鱼油后,脏体比指数(VSI)和肝体比指数(HSI)没有受到影响($P > 0.05$),但肥满度(CF)出现了显著差异($P < 0.05$)。

2.2 饲料中不同脂肪水平和脂肪源对大菱鲆体组成变化的影响

对各处理组的大菱鲆的体组成进行了分析,包括鱼体的水分、粗蛋白和粗脂肪,结果如图 1 所示。随着饲料脂肪水平的上升,鱼体水分含量下降但没有显著差异($P > 0.05$),脂肪含量上升($P < 0.05$),蛋白含量没有明显的差异($P > 0.05$);当用豆油替代鱼油后,鱼体的水分、粗蛋白和粗脂肪含量均有所下降,但没有显著的差异($P > 0.05$)。在所有处理组中,F8 组的水分含量最高,F16 组的水分含量最低,但各组间没有显著差异($P > 0.05$);F16 组的脂肪含量最高,与 S16 组

相比没有显著差异($P>0.05$),但显著高于其他处理组($P<0.05$),F8 组的脂肪含量最低,显著低于其他处理组($P<0.05$),S8 组的脂肪含量仅高于 F8 组,显著低于其他组($P<0.05$),F12、S12 和 S16 组的脂肪含量差异不大($P>0.05$);F12 组的蛋白含量最高,S12 组的蛋白含量最低,但各组间没有显著差异($P>0.05$)。

表 4 饲料脂肪水平和豆油替代对大菱鲆生长的影响					
Table 4 Effect of dietary lipid level and fish oil replaced by soybean oil on growth parameters of juvenile turbot					
处理组 Treatments	初始体质量 Initial body weight/g	终末体质量 Final body weight/g	增重率 Weight gain rate/%	特定增长率 Specific growth rate/% · d ⁻¹	存活率 Survival rate/%
F8	13.01±0.01	60.80±0.33 ^b	367.72±2.50 ^b	2.76±0.01 ^b	93.33±3.33
S8	13.01±0.01	58.82±0.63 ^{ab}	352.09±5.01 ^{ab}	2.70±0.02 ^{ab}	98.89±1.11
F12	13.01±0.01	61.84±0.86 ^{bc}	375.67±6.57 ^{bc}	2.79±0.03 ^{bc}	100.00±0.00
S12	13.01±0.01	61.82±0.98 ^{bc}	375.57±7.53 ^{bc}	2.78±0.03 ^{bc}	98.89±1.11
F16	13.01±0.01	64.84±0.35 ^c	398.77±4.65 ^c	2.87±0.01 ^c	96.67±3.33
S16	13.01±0.01	56.87±0.72 ^a	337.62±5.62 ^a	2.64±0.02 ^a	100.00±0.00

注:表的同一列中不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。
Note:Significant differences are indicated by different superscript alphabets in each column ($P<0.05$).

表 5 饲料脂肪水平和豆油替代对大菱鲆肝体比、脏体比及肥满度的影响				
Table 5 Effect of dietary lipid level and fish oil replaced by soybean oil on hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic index (VSI) and condition factor (CF) of juvenile turbot /%				
处理组 Treatments	肝体比 Hepatosomatic index	脏体比 Viscerosomatic index	肥满度 Condition factor	
F8	0.90±0.06 ^a	4.07±0.09 ^a	4.60±0.07 ^a	
S8	1.02±0.08 ^a	3.85±0.22 ^a	5.19±0.16 ^b	
F12	1.08±0.08 ^a	4.14±0.11 ^a	4.77±0.15 ^a	
S12	0.97±0.12 ^a	4.54±0.15 ^b	4.92±0.15 ^{ab}	
F16	1.27±0.07 ^b	4.80±0.09 ^b	4.84±0.12 ^a	
S16	1.28±0.09 ^b	4.59±0.18 ^b	4.97±0.17 ^b	

注:表的同一列中不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。
Note:Significant differences are indicated by different superscript alphabets in each column ($P<0.05$).

2.3 饲料中不同脂肪水平和脂肪源对大菱鲆肝脏脂肪含量和脂肪酸组成的影响

实验各组肝脏脂肪含量如图 2 所示。大菱鲆肝脏脂肪含量随着饲料脂肪水平的升高而显著上升($P<0.05$),同时豆油的替代也引起了肝脏脂肪含量显著的上升($P<0.05$),S16 组的肝

脏脂肪含量最高,显著高于其他处理组($P<0.05$);其次是 S12 组,显著高于剩余 4 组($P<0.05$),S8 和 F16 组差异不显著($P>0.05$),但显著高于 F8 和 F12 组($P<0.05$)。

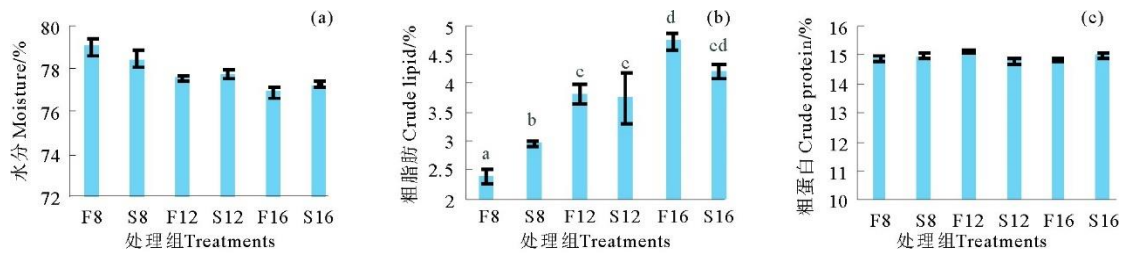


图 1 饲料脂肪水平和豆油替代对大菱鲆体组成的影响

Fig.1 Effect of dietary lipid level and fish oil replaced by soybean oil on whole body composition of juvenile turbot

同一图中不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

Significant differences are indicated by different superscript alphabets in each chart($P<0.05$).

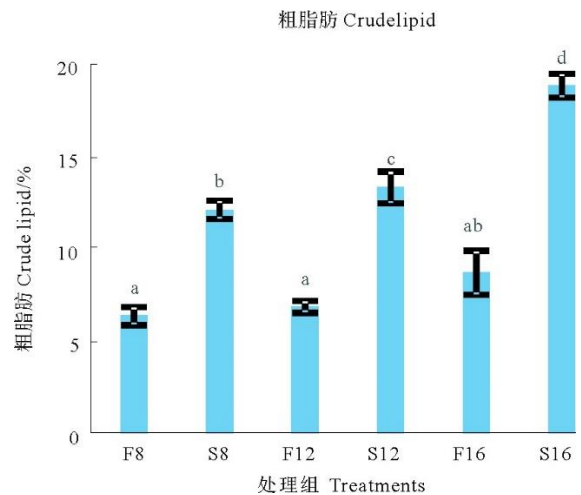


图 2 饲料脂肪水平和豆油替代对大菱鲆肝脏脂肪含量的影响

Fig.2 Effect of dietary lipid level and fish oil replaced by soybean oil on the lipid content of the liver in juvenile turbot

同一图中不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。

Significant differences are indicated by different superscript alphabets in each chart($P<0.05$).

大菱鲆肝脏的脂肪酸组成如表 6 所示。肝脏中饱和脂肪酸(Saturated fatty acid,SFA)的含量随着饲料脂肪水平的上升和豆油的替代而出现了下降($P<0.05$),n-6 系列的多不饱和脂肪酸(n-6 Polyunsaturated fatty acids,n-6 PUFA)的含量受到了饲料脂肪水平和豆油替代的共同影响,在没有豆油替代的 3 组中, $\sum$ n-6 PUFA 的含量随脂肪水平的升高而下降($P<0.05$),而用豆油替代后, $\sum$ n-6 PUFA 的含量变化趋势则相反($P<0.05$)。二十碳五烯酸(Eicosapentaenoic acid,EPA)和二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic acid,DHA)没有受到饲料脂肪水平的显著影响($P>0.05$),但在用豆油替代后 EPA 和 DHA 含量显著下降($P<0.05$)。

2.4 饲料中不同脂肪水平和脂肪源对大菱鲆肝脏脂肪代谢相关基因表达的影响

各处理组间肝脏脂肪代谢相关基因的相对表达量如图 3 所示。Lipin1 和 LPL 的表达量没有随着饲料脂肪水平和豆油替代的变化而发生显著的差异($P>0.05$),但是当有豆油替代时两者的表达量均有下降的趋势。Lipin1 表达量最高出现在 F16 组,最低出现在 F12 组;F12 组 LPL 表达量最高,S12 组表达量最低,但各组间没有显著性差异($P>0.05$)。PPAR α 的表达量受饲料脂肪水平和豆油替代的共同影响,豆油替代上调了 PPAR α 的表达量($P<0.05$),而没有豆油替代时,PPAR α 的表达量随饲料脂肪水平的升高而降低,豆油替代鱼油后其表达量升高,S16 组 PPAR α 的表达量最高,显著高于 F16 组($P<0.05$),但与其他组相比没有显著差异($P>0.05$)。豆油替代降低了 CPT I 的表达量,在豆油替代的情况下,CPT I 的表达量随着脂肪水平的升高而有所上升,非替代组的变化趋势与此相反。F12 组 LXR 的表达量最高,与 F16 和 S16 组没有显著差异($P>0.05$),S12 组表达量最低,但只与 F12 组有显著差异($P<0.05$)。F16 组 PPAR γ 的表达量最高,显著高于其他各组($P<0.05$),其余各组没有显著性差异($P>0.05$)。

表 6 饲料脂肪水平和豆油替代对大菱鲆肝脏脂肪酸组成(总脂肪酸)的影响
Table 6 Effect of dietary lipid level and fish oil replaced by soybean oil on the fatty acid composition (total fatty acids) in the liver of the juvenile turbot

脂肪酸 Fatty acid	F8	S8	F12	S12	F16	S16
14:00	4.69±0.11 ^c	2.42±0.34 ^b	5.82±0.14 ^d	1.44±0.24 ^{ab}	4.87±0.32 ^{cd}	0.80±0.05 ^a
16:00	17.32±0.21 ^{cd}	15.24±0.50 ^{abc}	19.68±0.41 ^d	14.01±0.30 ^{ab}	16.05±1.04 ^{bc}	12.53±0.13 ^a
18:00	4.07±0.02	3.33±0.12	4.36±0.05	3.52±0.19	3.57±0.43	3.36±0.11
20:00	0.24±0.00	0.17±0.01	—	0.16±0.03	0.32±0.00	0.19±0.02
ΣSFA	26.09±0.04	21.16±0.74	29.72±0.41	19.07±0.64	24.59±1.88	16.89±0.16
16:01	5.88±0.20 ^c	2.47±0.25 ^b	7.23±0.20 ^d	1.72±0.12 ^{ab}	7.71±0.19 ^d	1.23±0.03 ^a
18:01	16.07±0.08	20.80±0.46	13.49±0.07	19.56±0.96	16.46±0.21	21.29±0.59
ΣMUFA	21.79±0.27	23.27±0.30	20.72±0.13	21.18±1.08	23.96±0.14	22.52±0.60
18:2n-6	14.58±0.91 ^b	34.80±1.78 ^c	10.94±0.67 ^{ab}	36.72±1.35 ^{cd}	6.34±0.86 ^a	41.04±0.74 ^d
20:4n-6	1.58±0.09	0.36±0.06	1.54±0.07	0.29±0.01	1.22±0.11	0.18±0.01
Σn-6 PUFA	16.34±1.63 ^b	35.18±1.68 ^c	11.95±0.43 ^{ab}	38.34±0.39 ^{cd}	7.57±0.60 ^a	41.21±0.73 ^d
18:3n-3	0.95±0.02 ^b	3.05±0.11 ^c	0.71±0.05 ^{ab}	2.96±0.04 ^c	0.67±0.00 ^a	3.65±0.07 ^d
20:5n-3	3.36±0.18	0.70±0.14	4.23±0.05	0.52±0.05	3.60±0.40	0.40±0.01
22:6n-3	6.06±0.48	2.73±0.35	7.29±0.08	1.70±0.13	5.54±0.80	1.08±0.05
Σn-3 PUFA	10.37±0.66	5.99±0.31	12.26±0.19	5.20±0.23	9.52±1.39	5.13±0.06
ΣSFA/ΣPUFA	1.04±0.02 ^c	0.61±0.07 ^b	1.24±0.07 ^{cd}	0.43±0.02 ^{ab}	1.46±0.06 ^d	0.37±0.01 ^a
n-3/n-6 PUFA	0.68±0.06 ^b	0.20±0.01 ^a	1.04±0.05 ^c	0.13±0.01 ^a	1.25±0.09 ^c	0.12±0.00 ^a

注:表的同一行中不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)。
Note: Significant differences are indicated by different superscript alphabets in each horizontal row($P<0.05$).

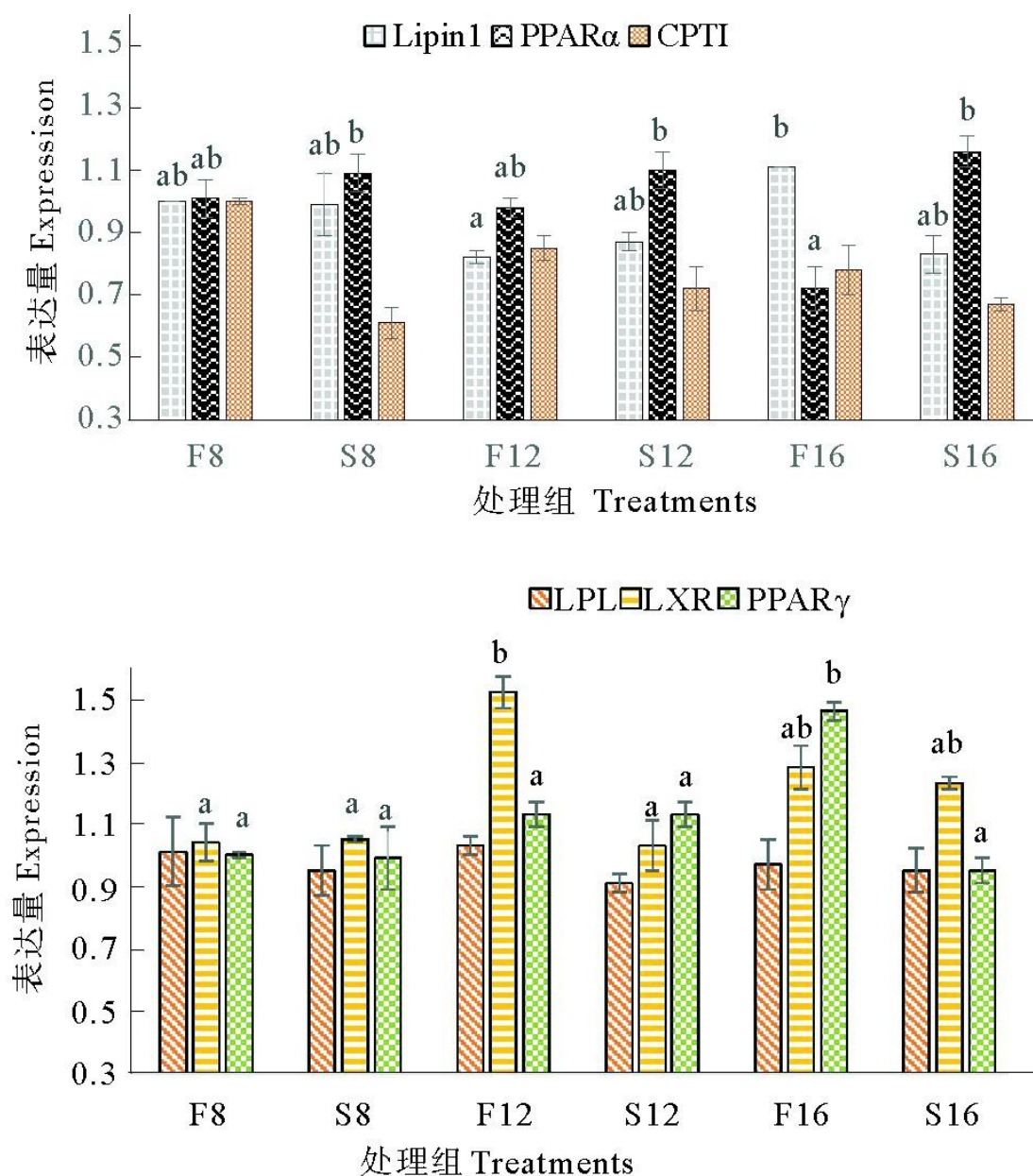


图 3 饲料脂肪水平和豆油替代对大菱鲆肝脏脂肪代谢相关基因表达的影响

Fig.3 Effect of dietary lipid level and fish oil replaced by soybean oil on the lipid metabolism related gene expression in the liver of the juvenile turbot

同一图中不同小写字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

Significant differences are indicated by different superscript alphabets in each gene($P < 0.05$).

3 讨论

在本次实验中,用 6 种不同的饲料喂养大菱鲆幼鱼,实验进行 56 d。大菱鲆幼鱼的存活率(SR)没有随着饲料脂肪水平的提高以及脂肪源的替代而出现显著的差异($P > 0.05$),但是终末体质量(FBW)、增重率(WGR)和特定生长率(SGR)出现了显著的差异($P < 0.05$)。从结果可以

看出,F16 组的 FBW、WGR 和 SGR 最高,生长最好;而 S16 组的生长最差,其余 4 组的生长没有显著差异($P>0.05$)。虽然没有出现显著差异,但是除 S16 组外的 5 组 FBW、WGR 和 SGR 均随饲料脂肪水平的上升而出现了上升趋势,这是由于当鱼体摄食的饲料脂肪不充足时,鱼体摄入的能量就会不足,就会引起生长的下降,此外,饲料中的脂肪有节约蛋白的作用,当摄入的脂肪充足时,鱼体就可以减少用于产生能量的蛋白质分解,进而提高生长。生长结果表明,当用豆油替代饲料中鱼油时,鱼体的 FBW、WGR 和 SGR 均出现了下降,说明用豆油 100%替代鱼油会对大菱鲆的生长产生抑制,这与之前的研究相一致^[9]。而且从生长结果可以发现,当饲料脂肪水平为 8%和 12%时,豆油替代虽然抑制了大菱鲆的生长,但是没有出现显著差异($P>0.05$),这可能说明当饲料脂肪水平为 8%~12%时,在相同的摄食量下,100%的豆油替代不会对大菱鲆的生长造成太大的影响;而当饲料脂肪水平达到 16%时,生长出现了显著的下降($P<0.05$),这与之前的研究报道相一致^[10],这说明当饲料中豆油含量上升时,其抑制鱼体生长的作用就会越明显,进而表现为生长上的差异。之前的研究表明^[9],12%脂肪水平下 100%的豆油替代会显著抑制大菱鲆的生长,同时也会抑制大菱鲆的摄食率,而在本实验中,在定量投喂的情况下,12%脂肪水平的鱼油组和豆油组生长差异不大,这可能说明豆油替代饲料的适口性是影响大菱鲆生长的原因之一,因此可以考虑提高豆油替代饲料的适口性来增加豆油的利用性。

随着饲料脂肪水平的增加,大菱鲆脏体比指数(VSI)和肝体比指数(HSI)均有所上升并出现了显著差异($P<0.05$),这说明了肝脏是大菱鲆体内沉积脂肪的主要器官;而在用豆油替代鱼油后,VSI 和 HSI 均没有出现显著差异($P>0.05$),这与在大菱鲆^[10]、篮子鱼(*Siganus canaliculatus*)^[11]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[12]、欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*)和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[13]上的研究结果相一致。另外,肥满度(CF)没有受到饲料脂肪水平影响($P>0.05$),但当用豆油替代鱼油后,鱼体的 CF 出现了显著差异($P<0.05$)。

实验分析了包括鱼体水分、粗蛋白和粗脂肪在内的各项体组分,结果显示鱼体水分受饲料脂肪水平的影响($P<0.05$),随着饲料脂肪水平的上升,鱼体水分含量下降;而豆油替代则没有影响鱼体的水分含量($P>0.05$)。大菱鲆鱼体的粗脂肪含量随饲料脂肪含量升高而显著升高($P<0.05$),这与大菱鲆^[14]、欧洲鲈鱼^[15]、金头鲷(*Sparus aurata*)^[16]、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)、长吻鮠(*Leiocassis longirostris* Günther)^[17]。等研究结果相一致;而豆油替代对鱼体粗脂肪的含量没有造成显著的差异($P>0.05$),这与先前的研究结果相一致^[10,19,20,21]。鱼体粗蛋白含量没有受到饲料脂肪水平和豆油替代的显著影响($P>0.05$),这与先前的研究结果相

一致^[10,19,20,21],这说明饲料脂肪水平和豆油替代不会显著影响蛋白质在大菱鲆体内的沉积。

饲料的脂肪水平和豆油替代情况显著影响了大菱鲆肝脏脂肪含量($P<0.05$):随着饲料脂肪水平的升高,大菱鲆肝脏脂肪含量发生了显著的上升($P<0.05$),其结果与 Gélinau 等^[22]的研究结果相一致;同时豆油的替代也影响了其肝脏脂肪含量,引起了脂肪含量的显著上升($P<0.05$),这也与 Bell 等^[23]在大菱鲆上的研究结果相一致,这可能是与豆油替代后饲料中的 n3/n6 比值变化有关。n3-PUFA 与 n6-PUFA 之间的不平衡会造成肝脏脂肪含量的增加^[24],而在本实验中,当饲料中的鱼油被豆油替代后,n3/n6 的比值均出现了下降。本实验中的大菱鲆肝脏脂肪酸组成验证了之前的一些研究结果^[11,12,21,25,26,27],反映了饲料中的脂肪酸组成。LC-PUFA 的合成是通过 $\Delta 6$ 去饱和酶、延长酶和 $\Delta 5$ 去饱和酶催化 C18 底物,如 C18:2n-6 和 C18:3n-3 等来完成的,但大菱鲆将 C18:3n-3 转化为 EPA 和 DHA 的能力有限,所以肝脏中 EPA 和 DHA 的含量变化并没有与饲料中 C18:3n-3 含量的变化相一致,甚至表现出完全相反的变化趋势,但与饲料中 EPA 和 DHA 的含量变化趋势相近。其结果与 Regost 等^[10]在大菱鲆上的研究一致。这也说明大菱鲆获得 EPA 和 DHA 主要靠外界摄食而不是自身合成。

肝脏脂肪的沉积受脂肪的合成与分解两方面的影响。肝脏脂肪沉积的增加不仅与脂肪合成相关基因的表达上调有关,同时与脂肪分解相关基因的表达下调有关。饲料脂肪水平和豆油替代影响了脂肪代谢相关基因的表达,最终会影响肝脏的脂肪沉积。饲料在鱼体肠细胞中形成乳糜微粒后进入血液循环,进而被 LPL 水解成乳糜残粒 (Chylomicron remnants,CMR),LPL 可以结合乳糜残粒并将其转运到肝细胞,这是饲料中的脂肪酸进入肝脏的方式^[28]。脂肪酸进入细胞后,在 CPT I 的作用下进入线粒体进行 β 氧化供能,在氧化供能过程中会生成乙酰辅酶 A。此外,饲料中 n-3 多不饱和脂肪酸会刺激 CPT I 的活性,进而增加线粒体内的脂肪酸氧化和提高 β 氧化能力^[29]。PPAR α 可以通过与多不饱和脂肪酸和类视黄醇 X 受体(Retinoid X receptor,RXR)结合来诱导脂肪酸氧化和线粒体氧化。此外,脂肪酸可以调节 PPAR α 的表达并进一步调节其靶基因的表达,包括 LPL 和 CPT^[30]。Lipin 1 可以通过诱导 PPAR α 的表达来激活脂肪酸氧化和线粒体氧化,同时可以抑制脂肪合成并降低循环脂质水平^[31]。LXR 是一种转录因子,可以与配体结合形成二聚体,形成的二聚体与 DNA 结合,可促进脂肪的生成,而被激活的 PPAR α 则会促进脂肪酸的氧化^[32]。PPAR γ 是脂肪酸摄取和脂肪生成的关键调控因子^[33]。

当大菱鲆摄入的能量不足时,体内 AMP/ATP 的比值就会上升,进而激活 AMPK 磷酸化,诱导 Lipin1 的基因表达,进而诱导 PPAR α 的基因表达,从而上调 CPT I 和 LPL 的基因表达^[34],

这样提高了肝脏的脂肪分解能力;同时抑制 LXR 结合到应答元件上,从而抑制 LXR 靶基因的转录水平^[35,36],抑制脂肪的合成。而随着饲料脂肪水平的上升,鱼体摄入能量逐渐升高,Lipin1、PPAR α 、CPT I 和 LPL 基因表达量均发生了下降;LXR 和 PPAR γ 的基因表达量上升。而豆油中富含亚油酸(18:2n-6),豆油替代对肝脏脂肪代谢相关基因的影响主要原因是饲料中脂肪酸组成的不同。有研究发现饲料中高水平的 n-3 LC-PUFA 可能会促进脂肪酸氧化相关基因的表达^[37,38],饲料中的 n-3 PUFA 可以通过刺激 CPT I 的酶活力促进线粒体膜的流动性,进而增加线粒体脂肪酸氧化^[29]。因此饲料中较高含量的 n-3 PUFA 会诱导脂肪分解相关基因的表达,进而导致 β -氧化能力增加,降低肝脏的脂肪沉积。当用豆油替代饲料中的鱼油时,饲料中 n-3 PUFA 的含量明显下降,而 n-6 PUFA 的含量上升,这就可能引起豆油替代组内脂肪氧化的降低,进而导致肝脏脂肪水平的上升。

各组 Lipin1 的基因表达量的变化趋势如图 3 所示,当饲料中没有豆油替代时,Lipin1 的表达量随着饲料脂肪水平的上升先下降然后上升,在 16%脂肪水平处上升的原因很可能是鱼体摄入的能量和 n-3 PUFA 已经超过鱼体需求,这会激活脂肪分解相关基因(如 Lipin1)的表达,提高肝脏脂肪分解的能力,避免脂肪过多沉积;而豆油替代组中 Lipin1 表达量虽然没有出现显著的差异($P>0.05$),但有降低的趋势,这可能说明饲料中的 n-6 PUFA 会抑制 Lipin1 的基因表达。PPAR α 的表达也受到了脂肪水平和豆油替代的影响,在鱼油组中 PPAR α 的表达量随着饲料脂肪水平的上升而下降;当有豆油替代时,各脂肪水平下 PPAR α 的表达量均出现了上升,这与之前的研究结果相一致^[9],也有研究显示亚油酸可以增加大鼠 β 细胞的胰岛素分泌^[39],而胰岛素会调节大鼠体内 PPAR α 的转录活性^[40],可上调 PPAR α 基因表达。由此可见,饲料脂肪水平和豆油中的亚油酸都可上调 PPAR α 的基因表达量。CPT I 和 LPL 的表达量在非替代组中,均随饲料脂肪水平的上升而下降;在各脂肪水平下,豆油的替代抑制了 CPT I 和 LPL 的基因表达,而在豆油替代的情况下,随着脂肪水平的上升,两者的表达量没有出现显著的变化,这可能说明饲料中 n-3 PUFA 的含量会影响 CPT I 和 LPL 的基因表达。LXR 的表达量随着饲料脂肪水平的上升而上升,随着豆油的替代而下降,该结果与之前的研究结果一致,其研究结果被解释为饲料中 n3 LC-PUFA 含量的下降会导致 LXR 表达的下调^[41,42],本次的实验结果印证了这一现象,说明 n3 LC-PUFA 可能会促进 LXR 的表达,而饲料脂肪水平的上升会促进 LXR 的表达,进而增加脂肪的合成。PPAR γ 被认为是脂肪合成和肝脏脂质变性的重要调控因子^[43,44,45,46]。饲料脂肪水平的上升促进了 PPAR γ 的表达,豆油替代则抑制了其表达,与之前的研究相一致^[47],说明亚油酸会抑制 PPAR γ 的表达,而在豆油替代的情况下,随着脂肪水平的上

升,PPAR γ 的表达量没有出现显著的变化,这也可能说明饲料中 n-3 PUFA 的含量会影响 PPAR γ 的表达量,即 PPAR γ 的表达受饲料脂肪水平、n-3 PUFA 的含量和亚油酸含量的共同影响。

总体来说,当鱼体摄入能量不足时,鱼体摄入的脂肪主要用于脂肪分解,此时脂肪分解相关基因表达上升,同时,脂肪合成相关基因表达下降,脂肪合成能力下降。当鱼体摄入能量充足时,脂肪分解相关基因表达就会下降,脂肪合成相关基因表达上升,达到稳定的状态。而在用豆油替代后,各脂肪代谢相关的基因表达就会受到饲料脂肪酸组成变化的影响而表现出不同的变化趋势。

4 结语

当饲料主要脂肪源为鱼油时,鱼体生长性能随饲料脂肪水平升高而具有升高趋势。当饲料中脂肪水平为 12%~16%时,获得最优的鱼体生长性能。当饲料主要脂肪源为豆油时,大于 16%的豆油会抑制鱼体生长。大菱鲆脂肪代谢显著受饲料脂肪水平和脂肪来源的影响。本研究为大菱鲆饲料中脂肪水平及脂肪源的合理选择提供了一定的理论依据。

参考文献: 略

原文刊登在《中国海洋大学学报(自然科学版)》 2020,50(10),26-36 DOI:10.16441/j.cnki.hdxh.20190281