



福建省水产饲料研究会 信息简报

B-2088184-5

第 22 期 (总第 324 期)

2020 年 11 月 30 日

本会动态

吸纳新会员

依据本会《章程》第三章第十条第五款“入会自愿”的精神，经个人申请，本会第七届理事会秘书处审查，同意接受以下二十九位同志加入本会——

福建农林大学：邵建春；

福建神爽水产科技集团有限公司：朱传忠、付维来、汪攀、李栋、陈伟军、王宁；

福建粤海饲料有限公司：郑真龙、曾凡归；

福建澳华农牧科技有限公司：林建好、谷志想、王怀洪；

福建傲农生物科技集团股份有限公司：汪小东、孙陆宇；

福建傲科生物科技有限公司：张瑞振；

厦门嘉康饲料有限公司：杨伟；

福建天马科技集团股份有限公司：杨明、胡兵、李惠、李昌辉、张坤、张振宇、王云才、吴益星、杜洋、黄文志、王华军、熊力力；

福建省农业科学院：林代炎。

特此公告！

福建省水产饲料研究会秘书处

行业会议

“2020 中国水产品大会”在福建厦门盛大开幕

2020 年 11 月 23 日，由中国水产流通与加工协会与厦门市海洋发展局联合主办的、主题为“创新、合作、共赢”的“2020 中国水产品大会”在福建厦门盛大开幕。本次大会由全国 42 家行业协会协办，六大技术体系、三家科技联盟、多所水产高校、科研机构等支持，13 家海外机构作为国际协办单位参与其中，来自水产行业的近千名专家、学者、企业代表以及跨领域嘉宾共聚一堂，共话水产行业发展。



我国具有强大的水产品生产能力和水产品消费潜力，水产品总产量占世界总产量近 40%，养殖产量占世界养殖产量的 60% 以上。同时，我国具有极大的水产品消费潜力，实践表明，国民人均 GDP 超过 1 万美元时，居民消费将加快升级，水产品作为最优质的动物蛋白，需求量必将大幅增加。

通过会议、论坛、展览等多种形式，聚焦多业态消费，跨界融合，整合资源，改变产品，重构渠道，在“创新、合作、共赢”大会主题下，本届水产品大会围绕国家双循环战略，寻求后疫情时期市场新机遇，深切触及产业痛点，进一步统一认识，凝聚信心，研判水产品产业发展趋势；集思广益，寻找合理应对措施，共同推进水产业持续健康发展。

大会凝聚了全行业及关联行业力量，深度解析经济变局、行业转型下，水产行业和企业发展的新变局、新机遇、新思路、新模式，推动水产行业绿色发展，为促进渔业高质量发展奠定重要基础，为水产行业参会者带来一次多频次、跨产业、跨领域的盛宴。

摘编自人民网精选资讯官方帐号

第五届国际饲料加工技术研讨会（新型蛋白资源与智能化加工专题）暨第五期水产膨化饲料加工培训班（高级配方工艺师班） 在江苏南京举行

2020年11月17日，第五届国际饲料加工技术研讨会（新型蛋白资源与智能化加工专题）暨第五期水产膨化饲料加工培训班（高级配方工艺师班）在江苏南京举行，活动将持续至19日。会议由中国农业科学院饲料研究所、国家重点研发项目“蓝色粮仓科技创新”重点专项共同主办，中国农业科学院饲料研究所饲料加工创新团队承办。知名饲料加工与营养领域理论和实践嘉宾，以及饲料企业代表共计约400人参会，超过5万人次观看线上直播。



本次论坛主题为“精准营养和精准加工”，目的是针对新型蛋白源资源开发与应用，原料加工适应特性、饲料加工生产大数据及智造技术最新进展进行交流与研讨，以提升我国饲料加工质量及效率。

中国海洋大学麦康森院士：提高饲料蛋白质效率的新途径

出于竞争的考虑，中国几乎所有的饲料产品都在追求高营养指标、高消化率，而营养过剩会造成动物免疫、品质乃至生长下降，提高环境负荷，当然也提高了成本。中国2.2亿吨饲料中，有1.5亿吨需要依靠进口饲料粮，其中的1亿吨来自美国，如果未来不卖给中国怎么办？所以，提高利用率与开发新蛋白源是饲料行业的核心问题，也具有非常重大的意义。我们思考，除饲料（适口性、蛋白含量、氨基酸平衡、消化率、活性物质、抗营养因子等外在因素）外，还有什么内在因素（鱼本身）决定饲料蛋白质的沉积潜力？最终发现，mTOR是蛋白质沉积的主要影响因子，其活性受氨基酸、抗营养因子、活性物质等的影响，氨基酸不平衡或缺乏、棉酚、凝集素会抑制mTOR，磷脂酸、活性肽等会激活mTOR；且mTOR也受投饲策略的影响。因此，通过一些策略维持mTOR信号通路的活性来消除抑制

因素，可以促进蛋白质合成与生长。目前，把一些能激活 mTOR 信号的物质打包做成 Sig-Pep，在水产、畜禽上面都取得了非常好的应用效果。

苏州大学叶元土教授：鱼粉产品质量分析与控制技术

原料是饲料产品质量的决定因素，原料不同其产品质量差异很大，因此有必要对鱼粉等饲料原料进行分类、分级。分类后的不同产品可以适用于不同的养殖对象。

目前，国内的鱼粉分为红鱼粉、白鱼粉、鱼排粉（海水鱼排粉、养殖鱼排粉），对其产品质量的评估中，首要考量的是营养质量，其次安全与卫生质量非常关键，是饲料质量事故的源头之一。

鱼粉的理化指标设置主要包括：1.粗蛋白质含量（%，≥）；2.赖氨酸含量（%，≥）；3.17种氨基酸总量/粗蛋白质（%，≥）；4.挥发性盐基氮 VBN（mg/100g，≤）；5.组胺（mg/kg，≤）；6.粗灰分（%）；7.水分（%，≤）；8.甘氨酸/17种氨基酸总量（%，≤）；9.砂分（盐酸不溶性灰分）（%，≤）；10.盐分（以 NaCl 计）（%，烧灰分法）；11.丙二醛（以油基计）（mg/kg，≤）；12.DHA 与 EPA 占鱼粉总脂肪酸比例之和（%，≥）。

鱼粉的质量核心成分是蛋白质含量、氨基酸质量和安全质量，而蛋白质的安全性以 VBN 和组胺作为标识性指标，因此 VBN 既是新鲜度限定指标，也是安全性限定指标，需要严格控制。

中国农业科学院饲料研究所程宏远研究员：配方性质对膨化饲料质量影响的量化分析

饲料配方的组成与膨化加工工艺，共同影响着膨化饲料的颗粒质量，比如沉浮性、硬度、耐磨性、水溶解性、吸油性等等。目前，已经采用的饲料原料高达 1000 种，潜在的新原料估计还有 100 多种，饲料生产过程中需要关注原料营养指标及加工后的营养变化，以及原料的基础粘性和配方粘性的变化。

基于流变学理论，通过对原料粘性数据、配方加工历史数据及加工后饲料颗粒的质量数据等参数的分析，建立了饲料颗粒性质计算模型。之后，便可以由模型来预测饲料颗粒的质量，通过输入原料配方数据、配方加工参数，就可以推算加工后颗粒的质量。

在实际应用案例中，对比评估模型拟合饲料颗粒质量的结果发现：1.硬度模型预测平均误差 8.5%；2.容重模型预测平均误差 4.8%；3.吸油率模型预测平均误差 6.5%；4.耐磨性模型预测平均误差 15.7%。优化评估模型后，可以用于指导饲料生产，比如：1.可以利用模型推算配方成分改变后对饲料产品质量的影响；2.量化比较不同成分替代后，产品质量的具体变化，无需试生产；3.改善原料使用效率；4.优化安排原料使用。

广东海洋大学谭北平教授：新型非粮蛋白源在水产饲料的应用

粗略统计，国内可利用的农牧副产物资源高达 16.45 亿吨，包括以农作物秸秆为主的农副糟渣、食品工业糟渣类、动物源性废弃物、餐厨垃圾。这些非粮蛋白源的综合利用率都还不高，主要存在的限制性因素包括：1.资源收集程度低，浪费严重；2.某些资源含有毒素或抗营养因子，有毒有害物质系统消减技术不完善，使饲料营养价值降低，影响动物生长与健康；3.非粮型饲料蛋白资源的提取分离技术运用程度低，或者部分技术成本过高导致在饲料行业难以运用推广；4.当前饲料蛋白质效价与氨基酸平衡不能很好满足动物生长需要，造成了大量蛋白质资源的浪费。通过壳仁分离技术、挤压膨化技术、酶菌协同发酵技术、超微粉碎、膜分离技术等方式，可以提升非粮蛋白源的利用水平。

目前，非粮蛋白源在水产饲料中的应用来源主要有：1.动物性蛋白质饲料资源（陆生动物产品及其副产品、鱼和其它水生动物及其副产品）；2.植物性蛋白源及其加工产品；3.微生物蛋白质饲料资源；4.糟渣类产品及其副产品；5.新型非粮蛋白源（乙醇梭菌蛋白、甲烷菌体蛋白、黄粉虫、黑水虻、藻类蛋白）

丰尚研究院副院长王飞雪：饲料加工智能化整体解决方案交流

数字化方案可以起到优化员工队伍、提效益降成本、精准管理数据、拓宽蛋白原料、保障食品安全、杜绝生物风险等作用。饲料加工智能化需要重点关注几个方面，如设备产线要做到可远程可预测、仓储物流要可自动可看清、质量安全要可管控可追溯。

丰尚智能饲料厂方案业务模块包括：主机智能化、仓库智能化、经营智能化、产线智能化、物流智能化、质量安全智能化等方面。其中，主机智能化方面：1.粉碎机，通过可靠的传感器，可以实时监测粉碎粒度，实现粉碎过程的稳定控制；2.制粒机，通过先控系统，可以最大幅度降低不稳定的波动，通过“卡边”技术提升产量；3.烘干机，云、边、端三位一体实现对烘干水平的提升，帮助企业提升产品品质，并增加利润。

国投生物科技投资有限公司龙菲平高级工程师：新型微藻饲料开发与评价
中国养殖的水产动物年消耗微藻或微藻相关的生物絮团约 7500 万吨，是全国水产饲料产量的近三倍。国外研究表明，微藻生产力每提高 1%，全球水产养殖产量能提高 10 万吨。微藻具有如下的特点：1.赋予了水生动物丰富的体色；2.含有丰富的类胡萝卜素；3.提高了海产品的营养价值；4.含有多种长链不饱和脂肪酸。同时，微藻与农作物相比具有明显的竞争优势，可以极大地缩减耕地面积。

目前，已有多种形态的微藻产品用于育苗饵料和动物饲料，市面上已实现商业化的微藻生物包括螺旋藻（蛋白质>50%）、小球藻（蛋白质>50%）、杜氏盐藻（β-胡萝卜素>10%）、雨生红球藻（虾青素>3%）、裂殖壶藻（DHA>18%）、裸藻（β-葡聚糖>30%）等，以干藻粉产量来算，上述微藻生物的年产量分别为 1.5 万吨、0.4 万吨、0.2 万吨、0.1 万吨、1 万-2 万吨、0.02 万吨。通过替代豆粕，微藻具有非常大的应用潜力。未来 5-10 年，用于饲料的微藻生物产量将增长 10 倍。

中国农业科学院饲料研究所薛敏研究员：棉籽蛋白生产工艺及膨化饲料加工

植物蛋白替代鱼粉是水产动物实用配方的趋势，但肉食性鱼类全植物蛋白饲料需从营养和加工工艺做出相应调整。大豆蛋白将在一定时间内成为贸易战的棋子，配方体系中具有较大的风险。

棉籽蛋白是目前国内唯一大宗的非粮自给蛋白源，其加工工艺发展过程分为棉籽饼-棉粕-棉籽蛋白-棉籽浓缩蛋白，发展历程中粕中含油量越来越低，蛋白质含量越来越高。60%、65%棉籽浓缩蛋白的出现，得益于彻底剥壳技术的突破。

研究发现，经过低温浸提、脱酚、适度脱糖的棉籽蛋白产品蛋氨酸水平较高，适口性好，不含耐温性抗营养因子，营养价值具有一定优势，已成为部分企业配方体系中的战略性原料。值得注意的是，棉籽浓缩蛋白含量容重显著低于发酵豆粕和鱼粉，吸水性强，利于加工浮性饲料，不利于加工沉性饲料。此外，在棉籽蛋白和棉粕之间，建议膨化料中使用前者。

SKOV 公司商业开发部部长 Dr.Lars Heckmann：工业化昆虫产业发展及在食品和饲料中的应用

全球已知有 100 万种昆虫，其中超过 2000 种昆虫有被用作食物的历史。目前，大约有十几种昆虫被大规模用于饲料和食品生产。昆虫工业化生产所面临的挑战主要包括：1.明确工业化生产条件下的昆虫生物学，及开发自动化、机械化和数字化的养殖解决方案；2.饲料和食品应用中的法律约束；3.消费者对昆虫食品的认可度。

欧盟市场的实际生产应用中，黄粉虫、黑菌虫、黑水虻是综合表现最佳的几类昆虫，主要用于食品和宠物饲料领域。长远来看，昆虫蛋白拥有广泛的应用前景，单就欧盟的宠物食品每年消耗量约为 800 万吨，之中就需要昆虫饲料 100 万吨左右；预估 2030-2040 年期间，全球每年需要 300 万吨鱼粉，昆虫饲料可以占 100 万吨以上；欧盟每年需要约 5500

万吨禽料，之中昆虫饲料可占到 500 万吨以上（预计到 2050 年家禽将翻一倍），以及每年需要猪料约 5100 万吨，昆虫饲料每年可占 500 万吨以上。

荷兰瓦赫宁根大学饲料加工工艺咨询专家 Dr.MennoThomas：制粒的影响因素-饲料加工概述

人类食品加工产生的副产品可以为饲料工业提供原料，但原材料的多样化使用导致副产品的相关营养成分降低，其结果是副产品中的纤维含量增加，这将导致饲料生产过程中难以获得足够好的颗粒质量，并可能影响动物的生长性能。要高效利用食品副产品来生产饲料，需要研究纤维成分和消化作用的影响，以及纤维特性对调质和颗粒质量的影响等。

利用物联网技术，对原料、加工生产等相关数据和信息进行采集、验证，来摸索和明确算法的控制。我们发现，校准和验证的数据为优化饲料生产线的性能提供了实用的技术数据，大大提升了生产能力。

摘自水产前沿微信公众号

第三届中国水产动保大会在江苏南京顺利召开



中国水产前沿展、水产前沿杂志、中国水产频道主办的“第三届中国水产动保大会”在江苏南京市隆重召开。水产前沿熊思先生代表大会主办方致辞，近年来，水产动保产业受到的关注度越来越高，新产品、新渠道、新模式、新理念不断涌现，整个行业充满机会充满活力，同时，因为涉及环保与食品安全，国家监管决心日益增加。显然，当下正是中国水产动保产业发展的关键时期，国家政策如何落地？企业接下来如何合规发展？这样的路径选择，将决定企业，甚至整个行业未来的发展。

为了理清思路，凝聚共视，从 2018 年开始，水产前沿在中国厦门举办了第一届中国水产动保年会，在世纪台风“山竹”直击华南之际，近 700 余位国内外水产动保主流业者齐赴

厦门，探讨行业合作与创新，展望行业未来十年。2019，在中国武汉举办的第二届中国水产动保产业年会，800余位国内外权威专家、全国顶尖水产动保企业、一线渔医，汇聚在中国水产业最炙手可热的品种小龙虾与河蟹的核心产区，共同探讨虾蟹产业给水产动保业带来的机遇。今天举办的第三届中国水产动保大会，我们相聚南京，共同探讨在新的监管压力下，产业发展的趋势与方向。

主题报告:《我国水产动保产业现状与调整方向》

报告嘉宾:全国水产技术推广总站原站长助理、研究员 王玉堂

2018年我国的水产动保产业年销售额约100亿元，2019年增加到110多亿元，市场前景广阔。随着兽医药监管力度加强，隐患排查力度加大，质量安全监管强力推行，渔业执法持续严格，以“非药品”名义打擦边球的投机行为终将无所遁形，势必作出必要调整，调整的方向也将是“药归药”、“添加剂归添加剂”。

药物治疗水生动物疾病效果有限，有效预防疾病才是上上之策，水产动保产品与企业需以水生动物“保健”为出发点，“生态安全、生物安全、质量安全”为着眼点。水产动保产业调整的方向要考虑以下几个方面：水质调节与底质改良类产品要“低毒、无害、无残留”；水生动物生理机能类产品要有效激活水生动物生理机能；增强水生动物免疫机能和抗病性类产品要有效预防水生动物疾病；中草药新剂型类产品要分清药理和药效，大力研发中草药预防水生动物疾病类的配方与剂型。

主题报告:《从替抗方案谈添加剂企业在动保行业的优势》

报告嘉宾:北京奥特奇生物制品有限公司水产市场开发经理 张羽帆博士

2019年，奥特奇全球饲料产量650万吨，拥有77家饲料生产厂。添加剂技术类企业进入动保行业具有以下优势：

1.深刻的产品理解。大部分的添加剂企业是从产品出发，有自己的技术专长，对于技术的理解能够站在“创造”的角度，而不仅仅是“应用”，一个应用型企业会在“风口”之后轻易的寻找下一个“爆品”，但专业的添加剂会坚守自己的基本盘。

2.经得起时间考验的研发能力。20年以上的添加剂企业并不鲜见，20年以上的动保企业并不多见。时间筛选的不仅是研发体系的规模和投入，更是研发思路和市场的磨合程度。企业研发不同于学术研究，考验的是长久的与市场需求互动的能力。

3.水产行业品控的标准高地浓缩料、微量元素对饲料质量的影响四两拨千斤，容不得闪失。饲料企业作为我们的下游客户，也有行业最为完善原料验收流程和质量问题识别能力。

添加剂技术类企业进入动保行业面临的问题有：1.人力资源短板；2.市场终端认识不足；3.营养类产品体现效果慢等。需要用耐心培育市场，坚持做对的事；保持清醒，水产不是畜禽，团队、时间，缺一不可；寻找“好”的渠道，寻找同路人。

主题报告:《甲壳素衍生物在水产养殖中的应用》

报告嘉宾:中国海洋大学教授 毛相朝

2019 年，全国虾蟹等甲壳类水产品产量达到 782 万吨，加工和食用过程中产生大量副产物，占原料 40%以上，大部分加工副产物被直接丢弃或作为低值饲料使用，采用生物法将副产物进一步深加工具有巨大的市场。常见的虾蟹资源加工副产物有：甲壳素和壳聚糖，进一步加工处理可得到蛋白粉、有机酸钙、氨糖等，相关产品可作为高端功能饲料添加剂使用。如虾蛋白粉在大黄鱼养殖中的应用表明，添加 20%的蛋白粉时，大黄鱼体长、体重、脏体比、肝体比要优于对照组，可见虾蛋白粉是一种优良的提高鱼品质的优良蛋白源，可用作鱼粉替代产品或高端饲料产品。氨糖衍生物氨糖钙、氨糖硒在南美白对虾养殖中的应用则表明，氨糖钙具有提高南美白对虾钙含量的作用；氨糖硒具有促进南美白对虾生长和提高风味的功效以及可促进南美白对虾消除药残恩诺沙星。现阶段，氨糖钙与氨糖硒的作用效果机制有待进一步深入研究，氨糖钙与氨糖硒在南美白对虾养殖中抗病与抗逆作用，氨糖钙与氨糖硒在其他水产品养殖中的应用。

主题报告:《论实现绿色动保、健康养殖的方向及意义》

报告嘉宾:新希望六和成都枫澜科技有限公司技术总监 唐磊

水产动保在饲料企业竞争、服务转型中具有重要作用，水产动保的绿色养殖方向可基于生物环保饲料，环境改良，区块平衡，精细化、现代化管理等几个方向去努力。其中“区块平衡”概念是指将复杂的生态系统进行层级分类和功能分类，围绕藻类、浮游动物、微生物、底质四个方面进行生态调节，保持各层级内部及层级之间的平衡，物质和能量循环通畅，饵料充足、水质适宜，水体处于最适于水产动物生长的状态。

未来水产动保企业需要依托于核心技术，解决养殖痛点，提升研发能力和养殖效益，细分品种、地域、模式等提供综合解决方案。

主题报告:《服务中国水产——打造中国专业动保产业园》

报告嘉宾:湖南渔美康生物技术集团有限公司总裁 **刘绍春**

渔美康动保产业园将引领中国动保新局面、打造产业链集群效应、为养殖户和企业用户提供最优质的服务；保障质量、保障供应、保障产品效果，为客户提供更优质的产品；整合资源，加强研发投入、控制成本，提高整体行业品牌知名度；提供产品设计+仓储物流代发+管理建议+营销方案+服务培训的 5s 标准化服务模式；以上游三家实体工厂+战略合作单位+精细化管理+区位优势+芯片计划+产业园思维打造新时代动保合作优质供应商。截止目前，岳阳渔美康共计规划 210 亩生产基地；二期 120 亩建设完成并投产，已投入 2 亿元，三期计划 90 亩正在规划中。岳阳渔美康动保产业园规划包括：研发体系和研发团队建立、打造国家级疫病实验基地、高标准实验室建设、13 条自动化生产线保障质量和产能、建立氧化剂原料优势、建立微生物制剂研发优势、全自动化包材生产车间、饲料核心配方生产车间、原料供应战略化，共同开发，共同受益、打造区位优势+管理优势+规模优势+数字化管理的四轮驱动物流仓储管理优势。

主题报告:《动保产业·新冠疫情和中草药—水产动保产业的生存和发展之路》

报告嘉宾:上海海洋大学教授 **杨先乐**

面对水产动保行业的不足，一方面，我们要依靠自己的力量进行转变和改正；另一方面，也需要主管部门采取适当的措施和办法，这才是动保行业的我们需采取的正确态度。在使用中草药时，不能仅考虑药物是否会杀灭或抑制病原体，而需主要考虑的是水产动物和病原的相持和平衡，至于病原体是否存在，是否清除不是主要问题。片面的用提取物进行药敏试验而据此去开发产品只能是两个结果：1.中草药的成本太高无法用于水产上；2.始终得不到理想的效果。建议摒弃原来的思路 and 模式，走一条快捷的研究开发之路。优秀的组方、配方才是中草药的灵魂。中草药的炮制是提药效的重要途径。

主题报告:《鱼类肝保健技术及产品研发思路》

报告嘉宾:四川农业大学 **汪开毓**教授

肝脏是机体最重要的消化、代谢、免疫和解毒器官，肝脏的健康在一定程度上反映了鱼体健康状况，“养好肝、护好肝”是现代渔业健康养殖的重要举措。鱼类肝胆病主要原因是：1.营养失衡；2.药物使用不当；3.有毒有害物质。不同营养物质失衡会对肝脏造成损伤，如鱼类脂肪肝、草鱼肝病；微量营养元素缺乏也会对鱼类肝脏有影响。药物使用不当也会损伤肝脏，如甲矾霉素使用剂量、磺胺甲恶唑等对斑马鱼的毒性损伤、硫酸铜影响鱼类的肝脏。水体毒素同样对肝脏造成一定损伤，如镉、氨氮等。肝病防治要弄清病因，治病求

本，标本兼治，既要对症治疗又要消除病因。主要治疗原则是补肝、强肝、疏理，解毒和促进肝细胞再生。肝病的药物防治可以通过以下几个方面进行：1.补充维生素；2.在饲料中添加适量的甜菜碱、氯化胆碱、肉毒碱、甲硫氨酸、肌醇、磷元素；3.肝脏粉和饲料磷脂；4.其他药物；5.中药。

主题报告:《心得分享:论虾蟹池塘如何正确肥水》

报告嘉宾:江苏好润生物科技股份有限公司药店发展部经理 **许长青**

虾蟹养殖有十大害：药害、肥害、虫害、菌害、藻害、草害、氧害、病害、料害，其中肥害包括农家肥、化肥和过剩底肥。农家肥脏、臭、难溶，化肥元素单一，正确选肥用肥，建议要注意以下几点：1.饲料尽量不含磷酸二氢钙，且（真）蛋白要高，饵料利用率高，残饵粪便少；2.碳钾肥为主，全价矿肥为主（钙、铁、镁、钾总硬度）；3.水溶性氨基酸肥(鉴别膏肥好坏以没氨水味、不结团、不臭，有酸甜香味，用到塘口没“三高”为好)；4.水溶性碳肥硫肥(总碱度)；5.淤泥多的老塘（提肥、补矿、防虫）6.新塘或老塘清塘过头（补基肥和藻种）；7.低温及漏水池塘肥水时需多量多次（每次间隔 3-5 天）；8.阴雨、发病、缺氧、用过杀虫药的不要肥水。

主题报告:《我国水产动保产品中存在的问题与发展方向》

报告嘉宾:华中农业大学 **陈昌福**教授

现阶段，我国水产动保中存在的主要问题有：1.产品未受监管，质量参差不齐；2.没有制售门槛，催生无序竞争；3.没有科学说明，渔民难以选择；4.没有质控标准，难以安全有效。解决水产动保产品问题途径有：设立监管部门，监控产品质量；认证企业资质，避免无序竞争；规范产品说明，防止鱼目混珠；建立质控标准，确保安全有效。近年来，养殖动物病害越来越严重，而病害问题无法科学防控是其根本原因。控制养殖动物疾病可采用生态防控、免疫防控和药物防控等途径，但各种防控措施都存在或大或小的问题。在水产用药方面由于长期以来没有对致病菌药物敏感性的监测数据，客观上无法做到精准用药！人们只能轮流用药，进行“试验性治疗”！由于缺乏“安全有效、质量可控”渔药监测手段，渔药市场由假冒伪劣“非兽药”充斥着！水产养殖业者因为无法确诊鱼类疾病，所以难以做到对症用药；因为无法筛选合格药物，所以难以做到合理用药；因为无法确定药物用量，所以难以做到精准用药。而解决科学用药的唯一途径是，监测致病生物耐药性变化，根据药物敏感性筛选药物，采用正确用药技术与方法。其中掌握致病菌对药物的感受性是正确选择和使用药物的根本依据！

摘自水产前沿微信公众号

全面创新管理视域下中小饲料企业创新能力提升路径

张家林

四川商务职业学院

摘 要: 由于当前中小饲料企业的创新管理观念落后, 影响其创新能力的提升与发展, 为此本文结合全面创新的管理模式, 分析当前中小饲料企业创新能力的发展现状以及影响因素, 从实践层面提出应用全面创新管理模式、完善国有企业自主创新激励机制与考核体系等具体的创新能力提升路径。将提出的创新能力提升路径应用到实际的中小饲料企业日常工作中, 可以有效提高企业的创新能力和竞争力, 实现整个饲料行业的创新发展。

关键词: 全面创新管理; 中小饲料企业; 创新能力; 提升路径;

Ways to improve the innovation ability of small and medium-sized feed enterprises from the perspective of comprehensive innovation management

ZHANG Jialin

Sichuan Business Vocational College

Abstract: Due to the lag of innovation management ideas of small and medium-sized feed enterprises, the promotion and development of innovation ability of small and medium-sized feed enterprises are affected. Therefore, combined with the comprehensive innovation management mode, this paper analyzed the current development status and influencing factors of the innovation ability of small and medium-sized feed enterprises, and put forward specific innovation ability promotion paths from the practical level, such as applying the comprehensive innovation management mode, improving the incentive mechanism and assessment system of independent innovation of state-owned enterprises. The application of the proposed innovation ability promotion path to the daily work of small and medium-sized feed enterprises could effectively improve the innovation ability of enterprises, so as to enhance the competitiveness of enterprises and even the innovation and development of the whole feed industry.

Keyword : total innovation management; small and medium-sized feed enterprises; innovation ability; promotion path;

近些年, 为实现饲料供给、需求和市场的平衡关系, 我国的中小饲料企业层出不穷, 企业数量逐渐增加, 企业规模以中小企业为主, 相比于大型饲料企业, 中小企业的产量更少, 但对饲料质量的要求更高。为了在众多中小饲料企业中脱颖而出, 提高企业的竞争力, 从而提升企业的经济效益, 中小饲料企业需要提升自身的创新能力。创新能力是技术和各种实践活动领域中不断提供具有经济价值、社会价值、生态价值的新思想、新理论和新方法的能力。创新能力的影响要素和基本条件包括创新意识、创新资源、环境等多个方面, 其推动着中小饲料企业的不断创新, 逐渐培养创新意识、获取创新资源, 最终促使中

小饲料企业形成提升创新能力的路径。传统中小饲料企业具有劳动密集低、资本资源有限、产品类型单一、缺乏规模经济等特点，这给企业创新能力的培养与提升带来一定的难度。现如今我国针对部分中小饲料企业已经提出了创新能力的提升路径，然而由于提升路径实施的难度较大，因此企业的创新能力未得到明显提升，饲料企业乃至饲料行业的发展停滞不前（史宝玉等，2018）。为解决当前中小饲料企业面临的创新问题，综合考虑全面创新管理的概念，在传统研究成果的基础上实现对创新能力提升路径的优化与落实。全面创新管理以构建和提高核心能力为中心，凭借有效的创新管理机制和方法做到全员创新。将全面创新管理的观念及其相关手段应用到中小饲料企业的创新能力提升工作中，以期得到更好的提升效果。

1 饲料企业创新能力现状与发展潜力研究

由于经济全球化以及信息技术的迅猛发展，客户获得市场信息的渠道大大增加，同时也提高了选购的速度，降低购入成本，这对饲料企业的创新能力必然提出了更高的要求。另外，由于饲料消费者提高了对饲料产品的质量要求，大部分饲料企业不足以保持市场的竞争优势，因此不断创新成为了饲料企业提升竞争力的关键。目前我国各个地区的中小饲料企业的生产量相对平稳，从技术角度来讲，现代饲料中添加剂结构更加趋于合理化，中小饲料企业的产值不断提高（边巍，2018）。但从中小饲料企业的发展趋势来看，饲料生产态势出现下降的情况，通过调查我国中小饲料企业得出的数据显示，大多数中小饲料企业属于民营企业，资金的限制和技术的滞后成为企业创新能力的重要影响因素。从宏观角度来看，当前中小饲料企业存在技术创新资金不足、缺乏信息交流、创新人才紧缺且流动性大的问题，从而影响企业创新能力的发展与提升。目前对于如何管理全面创新还缺乏系统、深入的研究，且过于关注技术创新中的技术因素，对于技术创新以及其他非技术要素考虑程度不足（陈套，2019）。为此应将全面创新管理理论应用到中小饲料企业创新能力的提升工作当中，在适应时代与竞争市场发展的同时，提升中小饲料企业的竞争力，从而推动整个饲料行业的创新发展。

2 影响企业创新能力的因素

影响中小饲料企业创新能力提升与发展的因素可以分为内部因素和外部因素两种类型，具体影响因素的类型划分情况如表 1 所示。

表 1 中小饲料企业创新能力影响因素

一级影响因素	二级影响因素	三级影响因素
企业创新能力	外部影响	饲料市场环境、政府支持度、金融经济环境、知识创造环境、饲料市场结构、技术市场竞争状况、劳动力市场、技术发展趋势、创新环境、……
	内部影响	创新投入能力、创新活动能力、创新管理能力、创新产出能力、制造和销售能力、创新活动能力、创新管理能力、企业技术创新战略、饲料品种研发开发能力、制造和销售能力、企业管理者的创新意识与能力、……
中小饲料企业的生命周期		

按照不同因素的影响原理，可以将其分为制约因素和促进因素，以影响因素中的创新管理能力为例，该因素贯穿于企业创新能力培养与提升的各个阶段，创新管理就是随着饲料企业的组织能力、创新氛围等形势的改变而改变，通过对纯更新资源的合理分配与协调控制，保护创新活动和创新成果，因此对于整个中小饲料企业的创新能力而言具有促进作用（黄雪利等，2019）。

3 中小型饲料企业创新能力提升路径

结合中小型饲料企业创新能力培养与提升影响因素的分析结果，分别从政策、企业等多个层面提出对应的创新能力提升路径（张岭等，2019）。饲料企业创新能力提升路径的提出与选择需要以企业的持续发展为最终目标，遵循适应性 与动态性相结合，短期效益与长期效益相结合，重点性与协同性相结合的原则，从而有效地推动中小型饲料企业创新能力的提升。

3.1 建立并应用全面创新管理模式

考虑饲料市场对中小型饲料企业的创新能力发展要求，在原有全面传统管理模型的基础上，参考国内外最新理论文献和中小企业的研究结果，提出中小型饲料企业全面创新的实施的实施框架，如图 1 所示。

根据当前企业创新能力的现状分析结果，为了保证创新能力的针对性替身，将充分考虑市场被禁的差异，将全面创新管理的模型分为技术领先、市场领先和技术-市场协调三种类型。其中技术领先就是以饲料的生产与研发技术作为主要推动力，保持企业技术领先的发展优势，引领市场需求（张永强等，2018）。市场领先模式就是实时把控饲料市场的运行动态，及时了解客户的购买需求，将市场作为创新的主要拉动力，通过创新能力的提升加大饲料市场的开拓能力。而技术-市场协调模式，在结合已有生产技术的基础上，围绕市场进行创新，实现从关注价格到关注价值的战略调整。

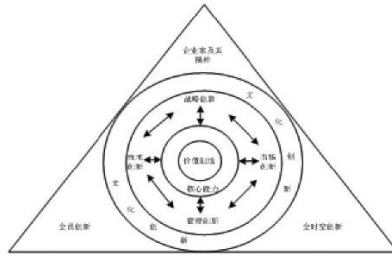


图 1 中小饲料企业实施全面创新管理总体概念框架

3.1.1 饲料企业的全要素创新

饲料企业的全要素创新可以分为技术创新和非技术创新两个部分，而技术创新包括饲料产品创新和工艺创新，其中饲料产品创新的重点在于重新配置、整合和优化创新过程中的内部机制，实现并行工程、先进工具利用率的最大化。而工艺创新可以考虑对生产装备的更新、饲料生产过程的重组等多个方面（孔祥豆，2018）。在实际的创新能力提升过程中，分别从上述两个角度实现对创新能力的提升，并协调好技术创新要素和非技术创新要素两者之间的关系。

3.1.2 饲料企业的全员创新

在饲料企业中科技人员占总职工总人数的比重较大，因此应该鼓励饲料企业员工的创新积极性，定期召开创新团队活动，针对当前工作中遇到的问题展开讨论，选取最优的解决方案。同时定期对饲料企业员工进行培训，不断提升饲料企业员工的自主创新能力。决定中小型饲料企业创新能力的根本因素是企业领导者及其创新与创业精神，因此需要培育选拔具有创新精神的饲料企业家，在创新过程中承担起决策和组织的重要职能。

3.1.3 饲料企业的全时空创新

中小型饲料企业全时空创新的实现工具包括并行工程、时差与 IT 技术以及创新团队。其中并行工程就是从时间序列的角度出发，将知识处理和作业实施调整为同时考虑和处理的状态，剔除不必要的环节，压缩饲料产品的开发时间。而时差和 IT 技术可以实现饲料企业的 24 小时生产与研发模式，保证饲料研发项目的开发不间断，也能够缩短项目的运行周期（王茂祥等，2018）。而创新团队的组建对创新能力的提升速度有着直观重要的作用。

3.1.4 创新能力的全面协同

中小型饲料企业的各个创新能力要素在全员参与和全时空领域的框架下，进行全方位的协同匹配，实现协同效应，促进创新绩效的提高。创新能力的全面协同模型如图 2 所示。

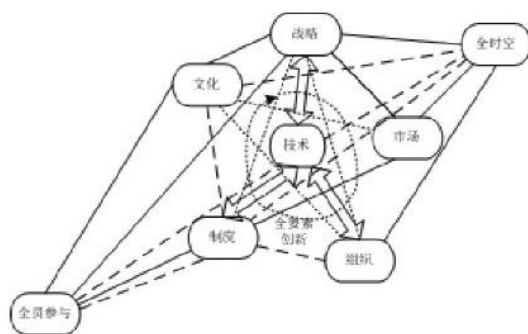


图2 全面协同的钻石模型

3.2 完善国有企业自主创新激励机制与考核体系

要提升中小型饲料企业立足长远的创新热情与能力，应该从企业的管理人员和技术人员两个方面入手，突破管理层面上升到整个产业的战略利益，从而激励管理者对未来发展方向的考虑和把握。对于技术人员而言，需要培养其对技术创新成果的产权保护意识，并将创新成果的效益与技术人员的福利联系在一起，激励技术人员的长期技术创新。另外还需要针对企业的创新能力进行考核，针对不同的考核结果等级执行不同的奖惩制度，并在接下来的一个阶段中执行不同力度的创新能力培养与提升策略。

3.3 饲料企业创新能力提升路径的管理与落实

除了上述两种中小型饲料企业的创新能力提升路径之外，提高企业创新能力的内在机制、优化企业创新能力的外在环境、强化创新资源整合与共享机制以及加大创新资金投入等，也是提升创新能力的重要手段。在提升路径的落实过程中，需要充分发挥企业的创新主体作用，并巩固企业自主创新的主体地位，依托饲料行业以及国家的重点项目来提升饲料企业的基础创新能力，在产学研结合中使饲料企业处于龙头位置（李万君等，2018）。饲料企业的创新能力提升是长期行为，贯穿企业创新的全过程，因此在提升路径的实施过程中，需要建立路径的运行跟踪机制，提高创新能力，提升路径的协同管理水平并增强对提升路径的防范意识，加大创新成果的推广应用，确保中小型饲料企业创新能力提升路径的落实与管理。

4 结论

本文从全面创新管理角度出发，分析当前中小型饲料企业创新能力的发展现状以及全面创新管理对创新能力的提升所带来的机遇，结合一系列分析结果提出相应的创新能力提升路径并落实。将提出的提升路径应用到部分饲料企业中，利用企业创新能力的评价方法，发现路径应用前后饲料企业的创新能力出现明显的上升趋势，企业绩效也有所提高。然而

饲料企业创新能力的提升是一个长期的过程，未来还需要继续观察与调整，提升整个饲料行业的创新水平。

参考文献：略

原文刊登在中国饲料 2020,(21),98-100

共享经济理念下饲料企业管理模式创新研究

石雨 陈黎琴

中国地质大学(北京)经济管理学院

摘 要：伴随信息技术和移动互联网的发展，出现了共享经济这一新型经济模式。共享经济的影响力持续提升，并向传统经济领域不断渗透。饲料企业要想在共享经济大潮中生存甚至胜出，必须对原有的管理模式进行创新。本文利用对比分析法，对比饲料企业先行管理方式与共享经济下先进企业的管理模式，探讨在共享经济背景下，饲料企业在管理方面需要进行的创新，包括销售管理向电子平台转移，生产管理向消费规模效应转移，市场管理向长尾市场转移，以及人力资源管理向去中心化转移。同时本文也分析了饲料企业在进行这些管理创新时可能面临的制约，包括组织制约、人员制约和资源制约。

关键词：饲料企业; 共享经济; 管理模式创新; 电子商务;

Study of innovation of management model of feedstuff enterprises in Sharing Economy

SHI Yu CHEN Liqin

College of Economics and Management, Chinese University of Geosciences

Abstract: The development of IT and mobile Internet generates a new business model, Sharing Economy. The influence of Sharing Economy is increasing in economy, and permeating in the traditional economic areas. Feedstuff enterprises have to innovate their management models in dealing with the tide of Sharing Economy, otherwise they will be eliminated in the competitiveness. This paper compared the management model of feedstuff enterprises with the management model in advancing enterprises in Sharing Economy, to explore the aspects of management of feedstuff enterprises that need innovating. The fundamental conclusions are that promoting management should be transferred in the direction of e-commerce, producing management should be transferred in the direction of consuming scale effect, marketing management should be transferred in the direction of long-tail market, human resource should be transferred in the direction of decentralization. These innovations face some limits, including organization, employees and resources.

Keyword: feedstuff enterprises; Sharing Economy; innovation of management model; e-commerce;

饲料行业是现代农业的重要组成部分。伴随我国居民收入的提高，动物性蛋白在饮食中的比重越来越高，饲料行业在国民经济中的地位也越来越重要。我国每年超过三分之二的大豆需要从国外进口，主要是用于生产饲料。改革开放前，我国不存在现代意义上的饲料企业。改革开放后，一批国际饲料巨头进入我国。国内具有企业家精神的人，在学习国

际先进经验的基础上创办了我国自己的饲料企业。目前我国有超过 6000 家饲料企业，中外资并存，大中小并存。2015 年，共享经济作为一种新的经济模式进入了人们的视野。共享经济模式给传统经济带来了诸多不同的影响，对饲料行业必然会产生冲击。饲料企业需要创新管理模式以迎接变化、应对变化、利用变化。

1 共享经济简介及影响

共享经济的最初“奇点”是部分人将自己闲置不用的物品暂时交给他人使用，并以此获得报酬。原始的共享经济由于其“点对点”的运营方式，不可能大范围传播形成，但适逢移动互联网的兴起，人与人之间再也不是网状分布，所有人以自己为中心形成一个球形，半径仅为无线电波传送的时间。移动互联网为共享经济添加了“催化剂”。共享经济模式下，一大批企业获得了成功，最著名的例子就是优步、爱彼迎、滴滴打车以及共享单车（董成惠，2016）。共享经济给社会带来的绝不只是几家巨型上市公司，而是深远的影响。

1.1 共享经济模糊了生产和服务的界限

在传统经济概念中，生产和服务是不同的两种产业，应用着不同理论。但在共享经济下，如果生产出的东西直接投入“共享”，很难说谁在生产、谁在服务（许颖，2018）。例如，国内共享单车一般是互联网运营者和自行车生产者密切合作，很难分得清楚哪部分价值是由生产创造的，哪部分价值是由服务创造的。

1.2 共享经济模糊了生产和消费的界限

在传统经济模式中，无论是生产商品还是提供服务，供给者和消费者的界限是明晰的。例如，某个人买了一辆出租车，那么这必然是出租车服务的供给者，而某个人买了一辆私家车，那他只可能是出租车服务的消费者，绝不可能变成供给者。共享经济下，私家车和出租车之间的界限非常模糊，某个出租车服务的消费者，在某些场合，就变成了出租车服务的提供者。

1.3 共享经济模糊了雇主和雇员的界限

共享经济下，企业和员工的关系，完全有别于传统的“雇主-雇员”。不一定是按照上级的指令进行劳动，可能本质上直接面向消费者提供服务。司机更像是一个“自雇者”，企业则像一个提供交易的平台。

1.4 共享经济模糊了标准化和差异化的界限

工业化的核心在于标准化，因此在工业生产某种产品或提供某种服务后，该种产品或服务无论在何处，几乎都是同样品质的。标准化的好处在于给消费者最低程度质量的信心，

以及减少成本。在工业化进行百年后，反标准化潮流席卷而来。差异化强调个性，但随之而来的是高成本。共享经济模糊了标准化和差异化的界限（李飞翔等，2018）。我们通过滴滴打车叫到的出租车，每次都不一样，我们通过爱彼迎订的民宿也是如此，但我们都能享受到大体一致和可以满足基本要求的服务。我们也可以预定不同层次的车子和房子，但没有增加共享平台承担的边际成本。

2 饲料企业管理模式创新的方向

我国饲料企业，特别是中小饲料企业，往往是从农村家庭作坊起家，企业主的现代化企业管理知识不足，又没有规范的职业经理人市场，因此在管理上存在诸多问题。在改革开放前二三十年里，我国市场始终处于供不应求的状态，只要生产得出来，销售的出去，饲料企业就可以有丰厚的利润，以至于形成了路径依赖，重视生产和销售，内部管理处于粗放型状态。面临共享经济的大潮，饲料企业必须创新自己的管理模式。

2.1 销售管理由传统渠道转向电子商务

目前，我国饲料企业主要依赖线下销售渠道，包括传统的经销商、电视广告、纸媒广告以及业务员等，大体保持了“一对多”的网络型营销方式。这种营销方式在移动互联网时代不占优势。一方面，互联网已经取代了电视、报纸，成为信息传播的主流方式。另一方面，移动互联网大大缩小了人与人之间的距离，传播方式从“人到人”、“点对点”，变成了高效率、指数级增长的传播方式。饲料企业的销售管理也应从传统渠道转向电子商务。电子商务的定价具有较强的灵活性，可以随时调整，利用这一点，饲料企业可以充分开动自己的空闲产能，变相“共享”自己的生产能力（梁千等，2020）。现实中成功的共享经济企业都是利用互联网作为主要的销售渠道。

2.2 生产管理由生产规模效应转向消费规模效应

规模效应是现代经济最重要的特征，但在工业化时代，人们重视的往往只是生产规模效应。当年福特发明了流水线工厂模式，T型汽车大受欢迎。在很多年里，T型汽车都是福特汽车厂唯一的车型，甚至颜色都只有黑色。生产规模效应不仅应用在汽车行业，同样也是饲料行业的法宝。在我国饲料行业中，价格战屡见不鲜，而价格战背后则是市场规模带来的生产规模效应（贾峰等，2013）。但显然，生产的规模效应在共享时代是走不通的。共享经济的特点，注定了单笔交易的规模都不会太大。这就需要消费规模效应。如果饲料企业获得了足够多的消费者，哪怕每个消费者的订单都很小，这些订单累积在一起，就可以产生规模效应（魏利青，2019）。饲料企业的生产管理，应当从以规模为中心转向以客户为中心，

找出客户需求的最大公约数，调整生产设备，使之迅速适应差异化需求。

2.3 市场管理由头部转向长尾

头部和长尾指的是某一行业中的细分市场。一般认为，行业中的细分市场是呈正态分布，少数主要产品占总产量的绝大部分，大多数产品占总产量的比例很低（赵冬梅等，2019）。以饲料行业为例，我国饲料产量中占比最大的是猪饲料，因为我国是世界上最大的猪肉消费国，其次是牛羊饲料、鸡饲料、水产饲料等，几乎占据了饲料产量的 90%。但有很多饲料种类，如宠物饲料、鹅饲料等，品种纷繁复杂，总产量占比却很低。在市场还是蓝海时，企业一定优先将注意力集中在大的细分市场上。例如，很多饲料企业把眼光投向猪饲料。但伴随市场竞争，头部市场的利润会变得很低，长尾市场反倒利润丰厚。在共享经济的大背景下，饲料企业应学习如何开发长尾市场，通过消费规模效应，赚取更为丰厚的利润。

2.4 人力资源管理由中心化转向去中心化

共享经济中的一个重要内容是人力资源共享。通俗地说，饲料企业不需要招聘全职人员来满足自己的用人需求，而是通过购买服务等方式，例如聘任律师事务所、税务专家等，甚至可以通过劳务派遣的方式满足一般性用工需求。人力资源的共享，必然涉及饲料企业人力资源管理的创新。传统上饲料企业的人力资源管理是中心化的，即由管理层对所有雇员进行绩效评价，再根据绩效评价结果分配薪酬。共享经济下，人员的报酬更为市场化（陈凤琦，2016）。例如，律师事务所和税务专家的报酬一般是有市场价格的，服务质量越高的律师事务所和税务专家，其时薪也越高。饲料企业的人力资源管理需要学会从中心化向去中心化转变，从内部管理向市场化转变。在利用这些外部人力资源时，不能再用主管的评价来判定这些专业人才的贡献，而应该用更为平等的合作姿态，用市场价值判定这些绩效。

3 制约饲料企业管理模式创新的因素

3.1 组织制约

适应共享经济的企业，需要有较为扁平的组织结构。我国饲料企业目前的组织结构，是为了应对传统经济模式而设计的，一般遵循传统工业管理的原则，自上而下多层次负责结构，每个管理者管理的对象限制在二十个人以内；层级中每个部门、每个人的分工相对明确，除了明文规定的事情外，部门和个人不对其他事情负责；负责感应市场变化的职责由专门的部门和少数高层管理人员负责，应对市场变化的各种行为都会上升到战略层面，由高层统一指挥（高洁，2020）。这些显然不适合共享经济下迅速变化的市场。饲料企业的组织需要迅速向扁平化、敏捷型转变，大幅减少汇报层级，以事业部等组织形式让组织更为

迅速、敏锐得觉察和应对市场变化。

3.2 人员制约

正如前文所述，我国饲料企业多数是由农村的家庭作坊逐渐发展起来的。创始人由于时代原因，缺乏现代的管理学、经济学知识。加之工资待遇、工作环境、成长空间等原因，饲料企业也难以吸引到高层次的员工（叶云霞，2020）。因此，饲料企业的员工往往会成为饲料企业应对共享经济挑战和利用共享经济机遇的限制。以生产规模效应向消费规模效应转变为例，这需要饲料企业在生产线上作出诸多调整，再需要对市场和技术都有深刻理解的员工。最为简单的解决方案是从外面招聘合适的人员，但这又面临着我国饲料企业惯有的缺点，即除了待遇差、地方偏远以外，家族企业传统，很难给外来人员发挥才能的空间，创始人家族很难相信外来的职业管理人阶层，不愿放权。

3.3 资源制约

应对共享经济，需要饲料企业投入大量的资源，特别是资金。近年来，由于我国农产品价格的保护政策、环境保护政策的剧烈变动，以及市场竞争的加剧，饲料企业的利润普遍不是很好。我国的金融体制在短期内也不可能解决中小企业，特别是农业中小企业融资难问题（史东梁等，2019）。饲料企业可能很难找到足够的资金来调整内部结构、加大投资，应对共享经济的挑战和利用共享经济的机遇。

4 结语

共享经济以没有预料到的速度改变了社会经济的方方面面。本文对共享经济的特点及影响做了概括，并结合我国饲料企业的现状，指出饲料企业多方面的管理需要做的创新，以应对共享经济的挑战和利用共享经济的机遇。这些管理创新设计，包括销售管理、生产管理、市场管理和人力资源管理。本文也初步探讨了这些管理创新的方向。同时也指出，在作出这些管理创新时，我国饲料企业，特别是中小饲料企业面临着组织制约、人员制约和资源制约。

参考文献：略

原文刊登在中国饲料 2020,(21),101-104

饲料企业转型战略与会计盈余管理行为选择研究

焦永梅

郑州西亚斯学院

摘 要：饲料行业面临全球疫情、贸易战和非洲猪瘟等冲击，企业积极寻求转型契机。企业转型战略与

会计盈余管理有密不可分的关系，本文立足于饲料工业现状及目前饲料企业战略转型趋势，阐述了典型企业会计盈余管理的行为目的，进而分析了企业转型与盈余管理行为的相互影响，基于研究提出饲料企业转型战略及抑制企业盈余管理行为选择的建议，以期通过企业转型战略的调整和会计管理的规范营造健康的饲料行业发展环境。

关键词： 饲料行业; 转型战略; 盈余管理; 会计;

Research on transformation strategy of feed enterprises and behavioral choice of accounting earnings
management

JIAO Yongmei

Zhengzhou Sias University

Abstract: The feed industry is faced with multiple challenges such as the impact of the global epidemic, trade frictions between China and the United States and the African swine fever epidemic, and enterprises are actively seeking opportunities for transformation. Business transformation strategy have inseparable relations with the accounting earnings management, based on feed industry present situation and the current trend of enterprise strategic transformation, this paper expounded the typical enterprise accounting earnings management behavior, and then analyzed the enterprise transformation and the mutual influence of earnings management behavior, based on the study and put forward feed enterprises transformation strategy, and inhibited earnings management behavior selection advice, in the hope of through business transformation strategy adjustment and the norms of accountant management build healthy feed industry development environment.

Keyword: feed industry; transformation strategy; earnings management; accounting;

饲料行业是我国农业生产产业链中的重要一环，关乎着我国现代化畜牧业、水产养殖业等领域的发展，更是影响国民经济发展和人民生活水平的重要引擎。我国饲料行业发展起源于 90 年代中后期，经过近 50 年的发展已经步入饲料行业的成熟期（衣晓岩，2017）。饲料企业从最初的几百家国企至今已有上万家企业或企业集团，饲料行业发展已经成为推动经济增长的重要力量（陆泳霖，2013）。随着饲料行业供给侧结构性改革和饲料行业法制化建设等不断推进，饲料企业也面临着转型升级的发展趋势。而转型战略，将影响企业经营决策、产品方向调整、企业会计管理等重大方面。

随着企业会计管理研究的不断深入，盈余管理成为了当下研究的热点，而企业转型战略与企业盈余管理行为选择之间的关系受到国内外学者的广泛关注。目前已有的研究表明（张慧敏，2019；袁仁淼，2018；孙健，2016；叶康涛，2015），企业转型战略与企业会计盈余管

理有着直接影响关系，企业战略定位不同，盈余管理行为的模式、方法、效果将产生重大差异。本文立足于饲料企业发展现状，探索饲料企业转型战略与企业盈余管理行为选择之间的关系，对现代会计、企业分析有积极的现实意义。

1 饲料工业现状及企业战略转型趋势

随着我国对饲料原料的需求呈刚性增长，饲料行业井喷式发展，企业规模、企业数量不断壮大，已位列全球最大饲料生产国。近几年是我国饲料工业发展机遇与挑战并存的几年，饲料行业、饲料企业发展环境也不断变化。受中美贸易摩擦、抗生素禁令、非洲猪瘟等影响，企业产业链调整重组不断加快，尽管面对风险和挑战，我国饲料行业仍取得较好的成绩，2018 年全国饲料行业基本情况如表 1 所示。

表 1 2018 年全国饲料工业概况

项目	工业总产值/亿元	总营业收入/亿元	饲料产品产值/亿元	饲料添加剂产品产值/亿元	饲料机械产品产值/亿元	饲料总产量/万 t	添加剂产品总量/万 t
2018 年	8872	8689	7869	944	59	22788	1094
增长率/%	5.7	6.0	5.8	4.9	1.5	2.8	5.8

注：数据来源于《中国饲料工业统计》2018 年全国饲料工业发展概况。

国内不少大型饲料企业发挥了自身优势，扩大了企业产业化经营的规模，根据调研数据，截至 2018 年底，饲料生产能力达到万吨以上企业数量高达 3742 家，比上年增加了 196 家，生产能力在 10 万吨以上的饲料产业达 656 家。还有 8 家单饲料厂的产量超过 50 万吨，最大规模饲料生产厂家达 114 万吨。形成融合生产、销售、售后现代化经营为一体的产业链、流通链。

还有部分企业在养殖风险增强、行业竞争情况不断加剧的背景下，逐渐调整经营战略，实施战略转型，发展新的业务模式。部分企业已经走上上市发展之路，饲料企业正逐步走上资本经营的道路，还有部分依托外资经济，直接投资兴建实业、收购控股企业经营、外资企业参股形式进入市场（钱勇，2008）。按照转型类别，饲料企业转型战略可以分为防御型和进取型两种，不同转型战略均影响企业未来会计管理行为，以进取型战略为例，企业将更可能采取会计手段进行盈余管理以谋取更大的经济利益。

2 企业会计盈余管理目的及特点

企业会计盈余管理是企业管理中重要的内容。根据外部环境、内部需求的变化，企业的盈余管理手段也会随之发生变化，而因此产生的管理成本及风险因素也有较大区别。通过会计操作和会计政策调整、预估等手段，可以达到在应计科目和真实科目之间调整，实现对会计科目进行干预，而对应计科目调整不会影响企业现金流情况，但会导致会计盈利

与现金流价值较大差异。随着我国市场经济发展，以盈利、报酬为动机的盈余管理手段不断显露，而企业与投资者之间的信息差，盈余管理手段也更为隐蔽，使投资者很难获取真实有效的决策信息，影响投资者在投资信息方面的地位，进而影响市场经济发展（董淑兰，2017）。

会计盈余管理行为通常是对企业的财务数据进行人工调整或者会计选择，来达到变革财务数据的目的，进而实现私人利益。真实盈余干预类型主要有：虚增企业产销量数据、调低企业的科研成本等支出、虚设产品价格等手段（王艺，2018）。以饲料企业为例，在战略转型中采取会计盈余管理，可能对投资者产生错误的信息误导，影响饲料行业健康发展。

3 饲料企业转型战略与会计盈余管理关系

3.1 饲料企业转型战略影响会计盈余管理行为选择

饲料企业在转型时选择的防御型和进取型的战略将直接影响企业的会计盈余管理行为。以饲料企业在转型中选择进取型战略为例，企业更注重新饲料产品的研发和科研成果的有效转换，或寻求上市、投融资等渠道以拓宽饲料企业的市场和发展空间，而流动资金和外部资金的需求进一步增加，需要得到更多投资者或者银行信贷机构的认可（陈筱钰，2016）。企业的战略差异化程度越高，其信息差优势越大，进行盈余管理的操作空间越大，而大部分投资者或者银行信贷机构难以识别企业的盈余管理过程，被其收益价值进行粉饰后的财务数据误导。因此企业通过会计盈余管理行为传递的利好信息，更易获得投资者或者银行信贷机构信赖。目前，部分私企和中外合资企业倾向于进行进取型战略转型，从会计盈余调整中获得更可观的经济利益，特别是避税管理较为积极。

饲料企业在转型中选择防御型战略也会影响企业对风险的防范、识别、处理等过程，防御型企业对拓展市场、开发新产品的需求较少，而是通过完善产品服务、优化产业结构和压低产品价格获得优势，在发展中主要以控制人力资源成本、市场调整成本等因素提升盈利能力，因此企业对现金流、外部资金需求较低，进而采取审慎、消极的盈余管理行为。也有部分企业管理层在业绩未达到预期时，通过控制盈余管理行为来达到粉饰数据的目的。目前，不少饲料国企以防御型战略为转型战略。

3.2 饲料企业会计盈余管理行为影响转型战略目标

企业盈余管理能力也会影响企业转型战略目标的制定。盈余管理作为企业会计战略的重要内容，是影响财务管理的重要指标，将直接影响企业发展战略的制定过程，将盈余管理规划纳入企业发展战略已成为很多企业的共识。

由于在新旧会计准则下，财务人员都需要进行职业判断，这一定程度上为盈余管理提供了机会。在旧的会计规则下，上市企业实施盈余管理最常用的手段就是采取兼并收购、资产转换和股权变更等重组资产，而新的会计规则颁布后，财务员的职业判断空间更大。如通过研发支出、公允价值计量、会计政策选择等进行盈余管理。无论会计准则怎样修改完善，盈余管理是无法根本消除的（卢方舟，2018）。

饲料企业在转型过程中，根据已有的盈余管理能力和行为，会对企业转型战略目标的实现进行评估和调整，以更好适应企业规范、高效发展的需要。因此，饲料企业转型过程中选择何种战略模式将可能影响企业会计盈余管理行为，而企业的会计盈余管理能力一定程度上也影响着企业战略目标的制定过程。

4 饲料企业转型战略及抑制会计盈余管理建议

4.1 企业转型战略定位精准

在饲料行业全球化竞争不断加剧的当下，饲料企业面临着越发不确定的内外部环境，为了在激烈的市场化环境中取得竞争优势，必然需要根据外部环境和发展目标不断调整企业转型战略。而饲料企业对转型战略选择的不同，其信息不对称程度、经济结果、经营风险差异明显。饲料企业在发展中进行战略转型，需要立足于企业已有资源优势和生产优势等，把握企业自身弱点和不足，并根据企业资金运转情况和经营情况，对未来市场化发展趋势有所把控，制定出适合企业发展的战略。饲料企业若有足够的实力，可以选择进取型战略转型方向，优化创新已经形成的产业链、工业结构，提高饲料的转化速度、畜禽的生产性能、行业的科研水平、行业的高新技术产品化水平和饲料工业的推广，完善饲料的生产结构和产品布局，使其发展平衡，提高浓缩饲料、精料补充料和饲料添加剂及其预混合饲料在饲料生产的比例。而企业实力水平较差，应立足于企业目前已有的产品优势，提升服务质量和水平，进行科学的成本控制，以防御型转型战略为主。在会计盈余管理行为上，企业则应该对投资者及企业形象负责，如实、客观披露财务信息。

4.2 完善内部控制，提升会计管理水平

内部控制是企业发展的重要治理内容，也是保证企业合法合规、资产安全和财务信息真实完整，提升经营效率和效果，实现企业发展战略目标的重要手段。作为理性经济人，企业管理者能利用潜在的信息优势和控制权获利。而国内由于经济代理人或管理不足，致使公司管理层机会主义行为不能得到有效监督和抑制，造成公司和投资者经济损失。内部控制是有效激励各监督公司内部行为的机制，高质量的内部控制有利于抑制管理层的机会

主义行为，提高实施进取型战略企业的信息透明度，减少信息不对称性，帮助企业缓解融资约束。而目前很多研究表明，进取型战略的企业更可能采用股权激励形式进行薪酬管理，也更可能发生企业管理层出于上述公司盈余，高质量的内部管理能降低私利操纵行为的可能性。

4.3 规范信息披露，治理行业乱象

高质量的独立审计还可以有效降低信息不对称性，识别企业在信息披露过程中的盈余管理行为。随着市场经济的不断发展和完善，会计师事务所的独立性和专业性能力仍需加强，部分地区会计师事务所存在审计意见的不合规行为，导致外部中介机构的监管作用没有得到充分发挥。因此，相关企业监管机构要进一步加强企业信息披露的规范性管理，对会计信息披露中出现的问题给予严格处罚，治理独立审计单位不足及漏洞，进而达到完整、真实的会计信息披露，减少盈余操纵的可能。

5 结语

饲料企业面对供给侧结构性改革、行业规范化建设和全球化竞争等多重压力，寻求积极的战略转型有利于提升企业竞争力，促进行业积极健康发展。而企业转型战略的选择，将影响企业的会计盈余管理行为，同时，盈余管理能力也一定程度上影响战略目标的制定。进取型转型战略更可能采取积极的会计盈余管理行为，而防御型战略转型更可能采取保守型或中立型盈余管理行为。抑制企业的盈余管理，才能避免投资者或银行信贷机构与企业形成较大信息差，影响投资行为的准确性。因此，饲料企业需结合自身优势，克服产业链短板，发展适合、稳健的转型战略，提升企业竞争力，也需要不断完善内部控制机制，提升会计管理水平建设，而有关监管部门需要规范信息披露标准，治理财务信息披露乱象，会计师事务所等中介机构提升独立性和专业胜任能力。

参考文献：略

原文刊登在中国饲料 2020,(21),142-145

研究进展

饲料单宁提高鱼类糖利用能力的作用机制研究进展

彭凯^{1,2,3} 王国霞^{1,2,3} 赵红霞^{1,2,3} 黄燕华^{1,2,3}

1. 广东省农业科学院动物科学研究所 2. 广东省畜禽育种与营养研究重点实验室 3. 农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室

摘要：鱼类先天对糖的利用能力差，摄食高糖饲料容易引发餐后高血糖症，危害鱼体健康，同时也限制

了糖在饲料中的应用。采用营养调控手段增加鱼类对糖的耐受能力,有利于提高糖的利用效率,节约蛋白质资源。单宁是广泛分布于自然界的一类天然多酚化合物,具有显著的降血糖功效,其主要途径包括抑制糖代谢酶活性、刺激胰岛素分泌、抑制葡萄糖转运载体 mRNA 表达以及通过介导肠道特定菌群发挥降血糖生物活性。本文综述了鱼类糖不耐受的生理机制以及单宁降血糖作用机制的研究进展,旨在为鱼类糖代谢研究及其健康养殖提供参考。

关键词: 鱼类;饲料;单宁;糖利用;

Advances in Studies on Mechanisms of Dietary Tannins Improving Sugar Utilization of Fish

PENG Kai WANG Guoxia ZHAO Hongxia HUANG Yanhua

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

Abstract: Fish have poor innate ability to use sugar,and ingesting high-sugar feed will easily cause postprandial hyperglycemia, which will harm fish health and limit the application of sugar in feed.Increasing the tolerance of fish to sugar by means of nutrition regulation is beneficial to improve the efficiency of sugar utilization and save protein resources.Tannins are a kind of natural poly phenolic compounds widely distributed in nature,which possess significant hypoglycemic effect by inhibiting the activity of glucose metabolizing enzyme, stimulating insulin secretion and inhibiting the expression of glucose transporter mRNA,and exerting hypoglycemic biological activity by mediating specific intestinal flora.Research progress on the physiological mechanisms of sugar intolerance and the hypoglycemic mechanism of tannins were reviewed in this article,aiming to provide reference for the fish glucose metabolism research and its healthy breeding.[Chinese Journal of Animal Nutrition,2021,33(3):-]

Keyword: fish; feed; tannins; sugar utilization;

糖类物质是水产饲料的重要组分,也是鱼类廉价的能量来源。饲料中适量添加糖类物质可以降低蛋白质作为能量的消耗,节约蛋白质资源,减轻氮排泄对养殖水体的污染。然而,与陆生动物相比,鱼类先天对糖的利用能力差^[1],尤其是肉食性鱼类在摄入高糖饲料后,容易出现持续高血糖症^[2]。虽然鱼体存在利用糖的一系列酶和代谢途径,但鱼类对葡萄糖的耐受性和利用能力存在种类差异,持续的高血糖至少需要 3 h 才能恢复至正常水平^[3],某些肉食性鱼类如大黄鱼,则需要 24 h 甚至更长时间恢复^[3]。由于机体不能快速处理体内糖负荷,从而导致氧化应激、抗病力下降、生长缓慢甚至死亡等现象,危害鱼类生命健康。由此

看来, 鱼类对糖供能需求的增加与机体对糖利用能力的不足形成鲜明矛盾, 使糖在水产饲料中的应用存在一定的局限性。

单宁是广泛分布于自然界的一类天然多酚化合物, 是一种储量丰富的绿色可再生资源。长期以来, 单宁被视为饲料“抗营养因子”, 因此有关单宁的生物活性研究及其生产应用受到一定限制。实际上, 低浓度单宁不仅不影响饲料的适口性, 还能提高动物健康和生产性能^[4,5,6]。据报道, 单宁具有抗菌、抗氧化、抗炎、抗寄生虫、抗病毒、调节营养物质代谢等多种生物活性^[7]。近来研究表明, 单宁具有显著的降血糖效果, 其作用机理可能与单宁调节糖代谢酶活性、调控胰岛 β 细胞功能、干预动物肠道菌群有关^[6,8,9,10]。本文综述了鱼类糖不耐受的生理机制以及单宁降血糖作用机制研究进展, 以期为单宁生物活性的深入研究及指导生产实践提供理论依据。

1 鱼类糖不耐受的生理机制

鱼类与陆生动物在糖代谢方面存在显著差异, 陆生动物主要利用糖为能源, 而鱼类主要利用蛋白质为能源, 因为鱼类对糖的利用率普遍较低^[11,12,13,14]。鱼类在摄入高糖饲料之后, 会出现长时间的“餐后高血糖症”, 从而对鱼类组织器官、生长性能、营养利用效率、生理功能产生不利影响^[15]。鱼类餐后高血糖症形成的主要原因包括葡萄糖感知和摄食调控体系不完善、糖代谢酶活性低、葡萄糖转运能力差、胰岛素分泌不足、胰岛素受体数量和亲和力不足。

动物通过反馈调节机制保持机体血糖稳态的关键在于体内广泛分布葡萄糖感应器和摄食调控神经元, 它们能够监测血糖变化、触发激素分泌、激活神经系统, 从而调控糖代谢。尽管在鱼类的脑中发现一些葡萄糖感应器的构成分子, 如葡萄糖转运蛋白 2(GLUT2)和葡萄糖激酶(GK), 但尚未鉴定出葡萄糖感应器如葡萄糖兴奋性神经元(GE)和葡萄糖抑制性神经元(GI)的存在, 鱼类血糖是否受其他神经元调控也不得而知^[16]。鱼类下丘脑中存在调节摄食的神经肽类, 但目前尚无证据表明鱼类也存在促进摄食和抑制摄食的神经元^[16]。未来研究应当侧重于鱼类中枢神经系统整合营养与内分泌等信号机制, 研究影响鱼类葡萄糖感知和摄食调控的关键神经元, 这有利于调控鱼类对糖的摄食和代谢等生理活动, 从根本上解决鱼类对糖不耐受的问题。

参与鱼体内糖酵解、糖异生、磷酸戊糖途径的限速酶在鱼类中已证实存在, 但其活性较低且基因表达受饲料糖水平的影响^[17]。鱼类没有唾液腺, 因此口腔对淀粉和糖几乎没有消化, 鱼类的 α -淀粉酶由胰腺合成, 然后分泌到小肠。胰腺 α -淀粉酶活性是鱼类对淀粉和

糖原消化的主要限制因子。肉食性鱼类(如大西洋鲑、虹鳟、海鲈)由于基因突变和缺失,使消化道内的 α -淀粉酶活性很低^[18]。摄入高糖可以促进草食性和杂食性鱼类胰腺分泌 α -淀粉酶,但对肉食性鱼类 α -淀粉酶的分泌没有影响^[19]。当饲料中碳水化合物含量大于20%时,肉食性鱼类对淀粉的消化能力显著下降,表明鱼类对糖的利用能力存在局限性。此外,鱼类葡萄糖转运能力差,胰岛素依赖的葡萄糖转运载体葡萄糖转运蛋白(GLUT)数量少,阻碍了葡萄糖进入细胞进行代谢。鱼类是否存在 GLUT 还有争议,据报道,罗非鱼和虹鳟体内无 GLUT^[20],而棕鳟和银鲑体内存在 GLUT4 同源体,这可能是鱼类利用葡萄糖能力较差的原因之一^[21]。对于鱼类葡萄糖转运载体的研究多集中在基因克隆和表达上,其转运机制、动力学研究和影响因素等尚处于起步阶段。

鱼类血浆胰岛素分泌量不足是导致鱼类高血糖症及影响鱼类糖代谢的主要原因之一。动物机体稳态下,鱼体胰岛素水平低于哺乳动物^[22]。谭肖英等^[23]报道,鱼类胰岛素分泌延迟于鱼类对糖的吸收速度,从而使吸收的葡萄糖不能被有效利用。目前,鱼类胰岛素基因表达机制尚不明确,但 Hrytsenko 等^[24]发现,罗非鱼胰岛素基因转录是由胰岛 β 细胞特异性行为调节,且胰岛素基因转录对高糖刺激不敏感。这可能是鱼类胰岛素分泌不足的原因。鱼类胰岛素受体数量较陆生动物少,肉食性鱼比杂食性鱼的肌肉胰岛素受体数量和亲和力低,因此胰岛素受体数量不足也可能造成鱼类高血糖症,导致鱼类对糖的利用率较低。

2 单宁提高鱼类糖利用能力的作用机制

鱼类糖代谢的研究多以调配饲料为手段,但通过调配饲料或更换不同糖源,并不能从根本上解决鱼类不善于利用糖的问题。实际上,鱼类的糖代谢调节较为复杂,已知受神经中枢、内分泌因子和营养素等多重因子影响^[16]。近年来发现,糖代谢与肠道内消化酶活性、葡萄糖转运载体基因表达量以及微生物菌群活动密切相关。单宁具有降血糖作用,但其降血糖机理较为复杂。概括起来,单宁可能通过抑制糖代谢相关酶活性^[25]、刺激胰岛 β 细胞分泌胰岛素^[26]、抑制葡萄糖转运载体 mRNA 表达^[27]、刺激肠道 L 细胞分泌胰高血糖素样肽-1(GLP-1)^[28]、调节肠道菌群^[10]等途径降低血糖水平。

2.1 单宁促进糖酵解,抑制糖异生

单宁能够提高葡萄糖激酶、己糖激酶等糖原合成酶活性,抑制葡萄糖-6-磷酸酶、磷酸烯醇式丙酮酸酶等糖异生酶活性,从而加速糖原合成,减少葡萄糖生成^[29,30]。研究表明,可豆缩合单宁能够刺激骨骼肌细胞糖原合成,促进葡萄糖的吸收^[31]。葡萄籽缩合单宁同样具有促进脂肪细胞糖原合成的能力^[32]。在2型糖尿病小鼠模型中,苹果缩合单宁显著降低

血糖水平,抑制糖异生^[33]。在链脲佐菌素诱导小鼠糖尿病模型中,莲蓬缩合单宁能够提高小鼠肝脏丙酮酸激酶和磷酸果糖激酶的基因表达水平,加速糖酵解过程^[34]。石榴花单宁能够竞争性抑制小肠 α -葡萄糖苷酶活性,抑制餐后高血糖的快速上升^[35]。细胞钙离子浓度升高是诱发糖尿病的一个重要原因,茶单宁可以增强细胞膜钙离子ATP酶活性,降低细胞内钙离子浓度并达到降血糖的功效^[36]。单宁单体儿茶素还能通过清除自由基,保护细胞膜钙离子ATP酶活性,控制糖异生基因表达下降,以此延缓血糖上升^[37]。概括起来,单宁通过下调胰腺组织中与糖酵解通路相关酶的活性或基因表达水平,促进糖酵解,抑制糖异生,从而降低血糖水平。

2.2 单宁诱导胰岛 β 细胞再生

单宁的降血糖作用可能与单宁刺激胰岛 β 细胞产生胰岛素以及增加胰岛素敏感性有关。Huang等^[38]推测缩合单宁的降血糖作用可能归因于缩合单宁诱导了胰岛 β 细胞再生,从而增强了胰岛素受体的蛋白表达水平。Khan等^[39]报道,肉桂单宁能够激活肝糖原合成酶和胰岛素受体激酶,增加葡萄糖摄取量,提高胰岛素敏感性。茶单宁可以刺激2型糖尿病模型小鼠肌肉组织中葡萄糖的吸收,促进胰岛 β 细胞产生胰岛素,改善体内葡萄糖平衡^[40]。可可豆单宁单体表儿茶素通过增加HepG2细胞胰岛素受体(IR)、胰岛素受体底物1(IRS1)和胰岛素受体底物2(IRS2)磷酸化水平,激活糖原合成重要通路,如磷酸肌醇-3-激酶(PI3K)/蛋白激酶B(Akt)和AMP依赖蛋白激酶(AMPK)信号通路,增加葡萄糖转运载体GLUT2转运水平^[9],提示单宁通过改善胰岛素信号通路,促进葡萄糖转运载体转移到细胞膜,调节葡萄糖吸收。González-Abuín等^[41]发现,葡萄籽缩合单宁能够干预肥胖型大鼠二肽基肽酶4(DPP4)基因表达下调,促进胰岛 β 细胞分泌胰岛素,降低2型糖尿病小鼠血糖水平。

2.3 单宁介导肠道微生物调控血糖

肠道微生物与宿主生理代谢的相互关系是国际生物学研究的热点之一^[42],然而肠道微生物在糖代谢中所扮演的角色尚处于探索阶段。作为鱼类营养物质代谢的主要场所,肠道及其微生态对糖代谢的影响至关重要。肠道栖息着数量庞大的微生物群落,肠道微生物是肠道发挥正常生理功能的基础,也是对动物发育不健全肠道酶系的有益补充。肠道中的拟杆菌可利用自身特有的结构域,协助肠道菌群降解糖类物质,提高宿主对糖的利用率^[43]。积极探索鱼类肠道微生态并加以调整,对维持鱼类健康和提高生产性能具有积极的理论和实践意义。纵观国内外文献,肠道微生物对糖代谢的影响主要归纳为以下3个方面:1)鱼类肠道微生物可以直接分泌与糖代谢相关的胞外酶,从而促进多糖的分解^[44];2)肠道特定菌属

如劳特氏菌属(*Blautia*)、拟杆菌属(*Bacteriodes*)和 *Butyricoccus* 代谢产生的挥发性短链脂肪酸, 如乙酸、丙酸和丁酸, 能够直接被肠道吸收并提供给机体能量^[45], 同时作用于肠道 L 细胞表面受体, 分泌胰高血糖素样肽[GLP-1、胰高血糖素样肽-2(GLP-2)]和内分泌调节肽[肽 YY(PYY)], 进而控制血糖和能量水平^[46];3)肠道微生物通过调控葡萄糖转运载体 mRNA 表达量影响葡萄糖的利用^[47,48]。

单宁具有广谱抗菌性, 其对大多数细菌、真菌和酵母菌具有一定的抑制作用^[49]。Peng 等^[6]报道, 紫色达利菊缩合单宁可以显著降低绵羊血糖水平, 可能归因于单宁降低了瘤胃中布氏普雷沃氏菌(*Prevotella bryantii*)和嗜淀粉瘤胃杆菌(*Ruminobacter amylophilus*)数量。单宁还可能通过影响肠道微生态来调控血糖水平, 即通过改变肠道微生物的种类和数量而影响细菌对肠道细胞的黏附^[10,50,51], 从而影响糖类物质的消化和吸收, 说明单宁可能通过干预动物肠道菌群调节糖代谢。刘钰锟^[52]从罗非鱼肠道中筛选出了 8 株高效利用淀粉的细菌, 发现 Su1 菌(与 *Bacillus toyonensis* BCT-7112 相似度 99%)能够显著降低高淀粉饲料组罗非鱼的血糖水平, 激活淀粉酶;额外添加 Su1 使罗非鱼肠道中疣微菌门(*Verrucomicrobia*)的比例上调, 并推测 Su1 可能通过调控肠道菌群结构而发挥降血糖作用。Larsen 等^[53]研究表明, 2 型糖尿病模型动物肠道菌群失衡, 表现为厚壁菌属丰度减少, 变形菌属增加, 且变形菌属数量与血糖水平呈正相关。王露^[54]报道, 糖尿病小鼠肠道细菌多样性和丰度明显改变, 其中乳酸杆菌属和拟杆菌属数量下降, 螺杆菌属和变形菌属等有害菌数量增加, 治愈后小鼠肠道菌群多样性和丰度恢复正常, 说明肠道菌群确实影响糖代谢。薛俊敏^[55]通过小鼠肠道菌群失调模型的研究表明, 茶单宁显著提高了厚壁菌门和拟杆菌门相对丰度, 降低了变形菌门相对丰富, 同时增加了小肠内乙酸、丁酸和异戊酸等短链脂肪酸含量。近期研究表明, 肠道拟杆菌可通过介导胆汁酸甘氨酸熊脱氧胆酸(GUDCA)-肠道法尼醇 X 受体(FXR)代谢通路发挥降血糖作用^[56]。FXR 在胆汁酸合成与代谢、葡萄糖代谢中发挥重要作用^[57]。金石^[58]报道, 饲喂大鼠缩合单宁可显著上调 FXR 基因表达水平。另有研究表明, 葡萄籽缩合单宁对胆汁酸跨膜转运具有抑制作用^[59]。由此可见, 单宁有治疗糖尿病的功效, 即通过介导肠道菌群特定菌属调控胆汁酸代谢通路, 从而降低血糖水平, 维持机体内糖稳态。

3 小结与展望

糖是鱼类廉价的能量来源, 但其在饲料中的应用却受到限制, 因为鱼类(尤其是肉食性鱼)摄食高糖饲料容易引发高血糖症, 危害鱼类新陈代谢和生命健康。鱼类餐后出现的高血糖症主要归因于葡萄糖感知和摄食调控体系不完善、糖代谢酶活性低、葡萄糖转运能力差、

胰岛素分泌不足以及胰岛素受体数量和亲和力不足。解决鱼类糖不耐受的问题有利于提高糖的利用率，减少蛋白质作为鱼类能源的消耗，缓解饲料蛋白质资源紧张。

单宁具有显著的降血糖作用，其作用机制包括抑制糖代谢相关酶活性、刺激胰岛 β 细胞分泌胰岛素、抑制葡萄糖转运载体 mRNA 表达、刺激肠道 L 细胞分泌 GLP-1 以及通过介导肠道特定菌群发挥降血糖功效，从而在解决鱼类高血糖症上展现出良好的应用前景。未来研究应侧重于鱼类中枢神经系统整合营养与内分泌调控糖代谢的信号机制，以及肠道菌群干预鱼类糖代谢的作用机理研究，为鱼类糖代谢研究及其健康养殖提供理论依据。

参考文献：略

原文刊登在（动物营养学报录用定稿）网络首发时间：2020-11-13 15:23:07

降低饲料和饲料原料中霉菌毒素技术的研究进展

冯利 王兵 赵欢 薛士科

河北工业职业技术学院

摘 要：真菌毒素是由特定真菌产生的次生代谢产物，在整个动物食物链中都能发现。农业和畜牧业中主要的真菌毒素有黄曲霉毒素 B1、呕吐毒素、玉米赤霉烯酮、伏马毒素、赭曲霉毒素和 T2 毒素。霉菌毒素造成的经济损失和健康问题引起了人们对探索新的灭活和解毒方法的研究兴趣，如从被污染的谷物中去除霉菌毒素，降低动物胃肠道中此类霉菌毒素的生物利用度，或直接降解饲料中的霉菌毒素。在此基础上，开发和优化降解微生物/酶的吸附、化学处理和生物转化等方法。本文综述了近年来报告的脱毒技术和应用，对这种新型的解毒方法和发展趋势有一个清晰的认识，将有利于饲料和畜牧业，最大限度地提高消费者的安全和畜牧业及相关产业的利润。

关键词：饲料; 饲料原料; 霉菌毒素; 脱毒;

Advances in technology for reducing mycotoxin in feed and feed ingredients

FENG Li WANG Bing ZHAO Huan XUE Shike

Hebei College of Industry and Technology

Abstract: Mycotoxins are secondary metabolites produced by specific fungi and are found throughout the food chain of animal feed. The main mycotoxins in agriculture and animal husbandry are aflatoxin B1, vomiting toxin, zearalenone, fumarin, ochratoxin and T2 toxin. The economic losses and health problems caused by mycotoxin contamination have led to interest in exploring new methods of inactivation and detoxification, such as removing mycotoxins from contaminated grains, reducing the bioavailability of such mycotoxins in the animal

gastrointestinal tract, or directly degrading mycotoxins in feed. On this basis, the methods of adsorption, chemical treatment and bioconversion of degrading microorganisms/enzymes were developed and optimized. This paper reviews the reported detoxification technologies and applications in recent years, and has a clear understanding of the new detoxification methods and development trends, which will be beneficial to feed and animal husbandry, maximizing consumer safety and profit of animal husbandry and related industries.

Keyword: feed; feed ingredient; mycotoxin; detoxification;

1 前言

真菌毒素是由各种真菌产生的次生代谢物，主要属于曲霉菌、镰刀菌或青霉菌。有证据表明，这些代谢物可能作为毒力因子，增加真菌的生存能力，增加植物致病性，抑制细菌竞争，或作为真菌物种间的化学信号。这些霉菌毒素在农业上造成了严重问题（Audenaert 等，2014）。谷物、水果和油籽作物的霉菌毒素污染在全球范围内已造成数十亿美元的损失。在美国，由 3 种主要真菌毒素（黄曲霉毒素 B₁、伏马毒素和呕吐毒素）造成的平均经济损失每年估计为 2.43 亿美元。在动物健康方面，霉菌中毒可引起的不良反应从慢性黄曲霉毒素摄入引起的肝癌到暴露于玉米赤霉烯酮引起哺乳动物的高雌激素血症（Wu 等，2014）。猪由于对呕吐毒素的高敏感性，其中毒特点是肠胃炎和免疫毒性，而赭曲霉毒素 A 是诱发肾病和慢性食道癌的危险因素（Wu 等，2014）。由于真菌对动物健康的广泛影响，我们很容易理解为什么大多数国家都制定了饲料和原料中毒素的限量标准。目前对抗霉菌毒素的方法大致可分为两类：收获前控制毒素生产和收获后对受污染商品的脱毒或解毒。虽然已经发表了一些关于饲料中霉菌毒素控制的综述，但这些综述通常基于理论，很少有商业应用的产品（He 等，2010）。由于专利技术具有很高的商业化和未被工业利用的可能性，本文综述了近年来在专利出版物中报道的降低饲料中霉菌毒素的最新技术。

2 真菌毒素的脱毒和解毒措施

2.1 物理方法

2.1.1 作物收获后加工的物理脱毒

物理方法有快速干燥，紫外线处理和浸泡等，其目的是减轻收获后的真菌毒素。Miljkovic 等（2010）报道，快速干燥（100~180°F，6~48 h）能将含水量降到 20% 以下，间接减少了全球咖啡樱桃霉菌毒素水平。Newman（2009）报道了中长波长紫外线 A 和紫外线 B 对固体食品中的解毒作用，如在 20001 B/h 杏仁的高产量下，几乎 100% 的黄曲霉毒素在 60 s 内被去除，这种方法在不影响感官特性的情况下，使食品保持在天然状态，同时提

高市场价值。另一种物理分离技术称为浸泡技术，利用受污染谷物和未受污染谷物之间的特定重量差异，通过浸泡去除部分霉菌毒素（Bethke 等，2014）。

2.1.2 物理吸附

在畜禽饲料中添加吸附剂的目的是通过阻止真菌毒素通过黏附剂和真菌毒素之间的复杂结构进入动物血液和器官，从而减轻真菌毒素的有害影响。在过去的几十年里，人们研究了各种不同来源的黏合剂对真菌毒素的吸附效果。第一代粘结剂，即所谓的矿物吸附剂或无机吸附剂，主要是粘土矿物群中的硅酸盐，其中最重要的是蒙脱石、水合铝硅酸钠，特别是膨润土或蒙脱石。矿物吸附剂的结合效能与结合剂和真菌毒素的结构有关，吸附剂的电荷分布、表面积、孔径及真菌毒素的电荷分布、极性和形状对整体结合相容性有显著影响（Kabak 等，2006）。虽然许多现有的矿物吸附剂能有效隔离黄曲霉毒素，但体内研究发现，它们似乎不能有效地结合其他非黄曲霉毒素，尤其是三聚氰胺。矿物吸附剂具有一定的局限性，包括对维生素、氨基酸和矿物质的吸附，以及络合化学物质对矿物吸附剂的潜在风险。为了克服这些缺点，第二代吸附剂已从微生物的细胞壁成分中开发出来，主要候选微生物包括酵母、乳酸菌和曲霉分生孢子。解毒的机制仍然是物理吸附，由灭活的细胞壁促进，而不是由活的微生物分解代谢真菌毒素，这些细胞壁的多糖、蛋白质和脂质成分通过氢键、离子和疏水相互作用为真菌毒素的附着提供了许多潜在的位点（Ringot 等，2007）。如从湿酒糟、干酒糟及其可溶物中获得的酵母生物物质，具有结合各种霉菌毒素的能力，其中酵母细胞壁的 β -葡聚糖能有效结合玉米赤霉烯酮毒素（Yiannikouris 等，2014）。酵母细胞壁与矿物粘土的结合显著增强与真菌毒素的结合能力，在体外研究中，其组合协同作用增强了对黄曲霉毒素、玉米赤霉烯酮和伏马毒素的解毒作用，但对呕吐毒素、赭曲霉毒素和 T2 毒素的吸附能力较低。

2.2 化学方法

化学解毒技术涉及使用碱、酸、氧化剂、醛或亚硫酸氢盐来改变真菌毒素的结构或生物利用度。公众对动物饲料和人类食品中潜在有害化学物质日益关注，引导了利用农产品中无害和固有成分脱毒新方法的发展。如甘油被美国食品及药物管理局归类为通用食品添加剂，它在消化系统中无毒，在单胃动物的日粮中是一种有用的能量来源。Venter(2004)报道了一种解毒方法，包括甘油和氢氧化钙混合产生的增强性复合物，甘油由于羟基离子的积聚而增强，具有强大的解毒作用。

2.3 生物方法

以生物为基础的解毒方法被认为是高效、特异、环保的。在不涉及有害化学物质的情况下，营养和感官特征（如颜色和味道）被轻微改变或完全不改变。筛选和分离天然存在的微生物来转化霉菌毒素已成为一种流行的策略。另一种可能的做法是直接应用具有商业价值的生物活性材料，如酶、多肽等。

2.3.1 微生物的脱毒作用

良好的真菌毒素生物控制候选微生物通常来自于一个特定的环境。这些细菌与污染的真菌毒素共存，对参与真菌毒素耐受或耐药的代谢途径保持选择压力，进一步使这些化合物有可能被用作碳源。如在最近的一项专利申请中，通过饲料接触霉菌毒素的鸡大肠内容物表现出高度的生物转化活性，将呕吐毒素转化为毒性较低的衍生物。该菌株 180507-1 被保存在加拿大国际保藏局，通过 16S r RNA 序列比对，鉴定为与杆菌序列相似度 96% 的革兰氏阳性菌（Zhou 等，2014）。除了肠道，富含作物碎屑的表层土壤也被证明是生物转化微生物的良好储藏地。IDAC 040408-1 标记下的一株微生物是通过筛选来自加拿大的 165 种农业土壤获得的，这些土壤以前种植过玉米、小麦、大麦、苜蓿、大豆、豌豆、土豆、三叶草、南瓜、烟草、人参、苹果或油菜作物。与 IDAC 180507-1 菌株不同，IDAC040408-1 可以通过外膜化反应将呕吐毒素转化为主要产物 3-呕吐毒素，也可以转化为 2 个次要产物，包括 3-酮-呕吐毒素和 1 个未知化合物（Zhou 和 He,2012）。聚合酶链反应扩增和末端限制长度多态性等分子技术有可能降低细菌培养的复杂性。

另一种分离具有理想的霉菌毒素生物转化能力的微生物的方法是检测以前确定的菌株。这些被选择的菌株也有能力减少其他真菌毒素，如玉米赤霉烯酮、黄曲霉毒素 B1、伏马毒素 B1 等。了解分离微生物的解毒生理学可以增加饲料产品的商业应用。但需要考虑的重要参数包括影响菌株生长和解毒活性的外部因素，如 pH、温度、需氧量、培养基和孵育时间、生物转化活性的稳定性和效率以及解毒代谢物的安全性。如呕吐毒素解毒细菌 IDAC 180507-1（未知的芽孢杆菌株）可以在 4~10 的 pH 范围内生长（最佳 pH 为 6~8），温度范围为 15~55℃（最佳温度为 37~42℃）（Zhou 等，2014）。在最佳温度和好氧培养环境下，72h 内，该菌株在玉米粉缓冲液培养基中显示出显著的细胞生长和呕吐毒素向 3-呕吐毒素的生物转化（Zhou 和 He,2012）。Schatzmayr 等（2012）报道了伏马毒素解毒菌株具有快速解毒和在复杂介质中保持生物转化能力的优点。菌株 DSM16254 和 DSM 16257 在有氧条件下，25℃孵育 1 h 后，伏马毒素（2 mg/L）的解毒率为 100%。在相同条件下培养 5 h 后，菌株 DSM 16254 对浓度为 2~500 mg/L 的伏马毒素具有降解能力。当使用复合培养基

时,尽管培养时间延长至 72 h,菌株在初始伏马毒素浓度为 10 和 100 mg/L 时仍表现出 100% 的解毒能力。

2.3.2 分解代谢酶的作用

正如前面几节指出的,在过去 30 年中,许多消除真菌毒素相关副作用的生物学方法被广泛使用,但最终目标是分离出能生物降解这些污染物的高效酶。酶是很有吸引力的目标,因为它们可以以一种高度专一和高效的方式加速化学反应。近年来,随着重组 DNA 技术和蛋白质工程的发展,酶已成为重要的催化载体,可广泛应用于不同的工业领域。微生物酶因其稳定性好、易于生产和修饰、产量高和经济可行而受人们的青睐。

在过去的二十年中,探索和鉴定真菌毒素降解菌的基因/蛋白质组构成已成为一种非常有吸引力的方法,可以用来鉴定参与生物转化的新型酶/基因,特别是在下一代测序技术、活性筛选和分子克隆技术取得进展的情况下,探索真菌毒素降解酶的兴趣似乎呈指数级增长。尽管在工业应用中分离支原体降解酶的公共利益日益增长,但实际识别酶/基因的数量仍然滞后。最近报道了一种黄曲霉毒素解毒酶(Yao 等, 2010),该酶是由腹腔巨噬细胞蜜环菌总 RNA 制备而成的,该酶的等电点为 5.~ -6.8,分子质量为 73~77 k Da,含有 695 个氨基酸。重组解毒酶能解毒黄曲霉毒素 B1,显著降低该毒素的诱变作用。玉米赤霉烯酮可以被漆酶降解,漆酶是一种含铜氧化酶,在工业上广泛应用,因此,在这方面具有很大的潜力。在植物应用方面,Karlovsky 等(2004)报道了一种新的用于玉米淀粉解毒的多肽,它可以与一种外源启动子融合,产生一种稳定转化的转基因植物。如前所述,已鉴定的酶的数量仍然有限。解毒酶的分离成功率低的原因似乎与这一过程的复杂性有关。

3 研究展望

人们对绿色技术的接受程度越来越高,在这种背景下进行技术投资在经济上是可行的,在科学上也有回报。酶工程技术可以增强活性,或改变特异性或稳定性。酶的定向进化具有无可比拟的潜力,以改进最初的设计和产生具有最高加工特性的生物催化剂(耐极端温度、pH 等),这些工具的效率只会不断提高。最后,加强政府机构之间的合作,大学和私营生物技术公司之间的合作,加快新的生物脱毒剂(微生物和酶)的鉴定和批准过程。

参考文献: 略

科学研究

饲料中蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长、卵巢发育和生化组成的影响

何先林 柳梅梅 朱筛成 董志国 万夕和 吴旭干

上海海洋大学农业农村部鱼类营养和环境生态研究中心 江苏海洋大学海洋学院 江苏省海洋水产研究所 上海海洋大学上海水产养殖工程技术研究中心 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心

摘 要: 本实验配制蛋白水平分别为 32.16%、36.13%、39.59%和 41.24%的等脂等能配合饲料(分别记为饲料 1#~4#)进行池塘养殖三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*), 初始平均体重为(10.98±0.28) g 雌体 120 d, 以探究饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长、卵巢发育和生化组成的影响。结果显示, 饲料蛋白水平对池塘养殖条件下雌体的生长无显著影响; 饲料 3#组雌体的卵巢指数和总可食率均最高($P<0.05$); 饲料 4#组卵巢中粗蛋白含量最高($P<0.05$), 饲料 3#组和饲料 4#组的肝胰腺粗蛋白含量显著高于饲料 1#组和饲料 2#组($P<0.05$), 而肌肉中的粗蛋白含量则在饲料 1#组和饲料 3#组中较高($P<0.05$); 卵巢中的总脂含量随着饲料蛋白水平的增加呈上升趋势($P<0.05$), 肝胰腺和肌肉中总脂含量均在饲料 1#组中最高而饲料 2#组中最低($P<0.05$)。饲料 1#组和饲料 3#组肌肉中的总必需氨基酸(Σ EAA)和总非必需氨基酸(Σ NEAA)均显著高于另外 2 组($P<0.05$)。综上所述, 在本实验条件下, 三疣梭子蟹雌体育肥饲料中适宜的蛋白水平约为 40.16%。研究表明, 适宜的饲料蛋白水平可以提高三疣梭子蟹的卵巢发育和肌肉的营养品质; 为池塘养殖三疣梭子蟹配合饲料提供参考。

关键词: 三疣梭子蟹; 蛋白水平; 卵巢发育; 生化组成;

Effects of dietary protein levels on the growth, ovarian development and biochemical composition of the swimming crab(*Portunus trituberculatus*)

HE Xianlin LIU Meimei ZHU Shaicheng DONG Zhiguo WAN Xihe WU Xugan

Center for Fish Nutrition and Environmental Ecology, Ministry of Agriculture and Villages, Shanghai Ocean University Key Laboratory of Marine Biotechnology of Jiangsu Province, Jiangsu Ocean University Jiangsu Marine Fisheries Research Institute Shanghai Aquaculture Engineering Research Center, Shanghai Ocean University National Experimental Teaching Demonstration Center of Aquatic Science, Shanghai Ocean University

Abstract: The study was designed to investigate the effects of dietary protein levels on the growth, ovarian development, and biochemical composition of the swimming crab *Portunus trituberculatus* (initial body weight of 10.98±0.28 g). Four experimental diets, which were isoenergetic and islipidic, were formulated to contain

different protein levels (30%, 34%, 38%, and 42%, defined as diets 1~4, respectively). These diets were fed to pond-reared *P. trituberculatus* females for a 120-day culture experiment. The results showed that: The dietary protein levels had no significant influence on the growth of pond-reared *P. trituberculatus* females. Diet 3 had the highest gonadosomatic index (GSI) and total edible yield (TEY). The crude protein contents in the ovary and hepatopancreas increased significantly with the increasing dietary protein ($P<0.05$). Among the four treatments, diets 1 and 3 had the highest crude protein contents in the muscles ($P<0.05$). Similarly, an increasing trend was found for the total lipid contents in the ovary with the increasing levels of dietary protein ($P<0.05$). Diet 1 had the highest total lipid contents in the hepatopancreas and muscles, while the lowest total lipid content was found for diet 2 ($P<0.05$). The contents of total essential amino acids ($\sum\text{EAA}$) and non-essential amino acids ($\sum\text{NEAA}$) in the muscles of diets 1 and 3 were significantly higher than those of the other two treatments ($P<0.05$). These results indicate that the appropriate protein level in the diet of adult *P. trituberculatus* females is approximately 40.16%. The results show that an appropriate dietary protein level could improve ovarian development and muscle nutrition, which provides a reference for the formulation of a diet for *P. trituberculatus* inhabiting a pond.

Keyword: *Portunus trituberculatus*; Dietary protein levels; Ovarian development; Biochemical composition;

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)广泛分布于东亚沿海, 是我国沿海重要的养殖经济蟹类, 目前, 在江苏、浙江和福建等地广泛养殖(Dong et al, 2010; 环朋朋等, 2019), 2018 年池塘养殖产量达到 116251 t (农业农村部渔业渔政管理局, 2019)。目前, 我国三疣梭子蟹池塘养殖主要依靠大量投喂冰鲜杂鱼和低值贝类等, 这种投喂模式容易引起池塘水质恶化、病害爆发, 从而导致养殖效果和商品蟹品质不稳定, 影响产业健康发展(Wu et al, 2010); 另一方面, 大量投喂冰鲜杂鱼给海洋资源保护带来了巨大压力, 导致渔业资源的过度捕捞和利用(Cao et al, 2015)。因此, 研发高效实用的专用配合饲料势在必行。

确定和优化主要营养参数是研发配合饲料的重要前提, 其中, 蛋白质是最重要的营养参数之一, 是影响水产动物生长的关键营养成分, 其对于维持水生动物生长发育和维持机体正常生命活动具有重要意义(麦康森, 2011)。饲料蛋白水平和质量不仅直接影响养殖效果, 且影响饲料配方成本和养殖成本, 当饲料中的蛋白质不足时会导致生长减缓或停止, 而摄入过高的蛋白饲料是有害的, 如果消耗了太多的蛋白质, 只有一部分可以用来产生新的蛋白质, 其余的蛋白质将转化为能量, 这将增加饲料成本和氮的排泄(Bai et al, 2016; 公绪鹏等, 2018)。有关三疣梭子蟹的蛋白营养研究近年来日益受到重视, Huo 等(2014)以初始体重为 (3.75 ± 0.20) g 的三疣梭子蟹幼蟹为研究对象养殖 8 周, 结果表明, 饲料蛋白质和脂类水平对

躯体粗蛋白、粗脂肪、水分含量和肌肉氨基酸分布有显著影响, 51%蛋白水平和 5%脂质水平的饲料最适三疣梭子蟹幼蟹生长; Jin 等(2013)以初始体重为 (2.50 ± 0.08) g 的三疣梭子蟹幼蟹为研究对象养殖 8 周, 结果表明, 饲料蛋白对增重率、饲料系数和蛋白质效率均有显著影响, 在 50.2%饲料蛋白水平下获得最大增重率和特定生长率。这些研究主要集中于幼蟹阶段, 且主要在室内循环水养殖系统中进行研究。实际上, 我国三疣梭子蟹养殖主要在池塘养殖条件下进行, 且养殖中后期的饲料用量远远大于养殖前期。迄今为止, 有关三疣梭子蟹在室外池塘条件下, 适宜的饲料蛋白含量研究较少, 这不利于其配合饲料的开发。

因此, 本研究在室外池塘条件下, 采用不同蛋白水平的等能等脂配合饲料投喂三疣梭子蟹 120 d, 比较了饲料蛋白水平对三疣梭子蟹生长、卵巢发育和生化组成的影响, 以期在三疣梭子蟹的配合饲料配制提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验饲料配制

根据先前对三疣梭子蟹的研究(段青源等, 2011), 设计 4 种不同蛋白水平的实验饲料, 以鱼粉、豆粕和菜粕等为主要蛋白源, 以鱼油、猪油和豆油为主要脂肪源, 采用面粉和纤维素调节饲料总能水平, 使得 4 组饲料中的粗蛋白水平不同, 但总脂和总能水平基本一致, 分别记为饲料 1#~饲料 4#。饲料配制前, 所有饲料原料均粉碎后过 60 目筛, 按照表 1 的饲料配方利用混合机混合均匀, 然后用双螺旋小型膨化机挤压成沉性膨化饲料(DSD30 试验机, 济南鼎润机械设备有限公司)粒径分为 1.6 mm(养殖实验 0~60 d 采用)和 3.5 mm(养殖实验 61~120 d 采用)。所有实验饲料制粒后在室温中冷却风干后 -20°C 冰箱中保存备用。饲料中生化成分测定方法见 1.4, 表 2 为饲料中常规营养成分、能量和氨基酸含量。

1.2 实验用蟹的养殖管理

实验幼蟹购买于南通协通水产养殖有限公司池塘养殖的, 挑选四肢健全, 活力较好的三疣梭子蟹幼蟹用于实验, 雌体平均体重为 (10.98 ± 0.28) g, 雄体平均体重为 (10.66 ± 0.42) g。养殖实验在四周为水泥, 池底为泥土的室外土池(长 $\times$ 宽 $\times$ 深=14 m $\times$ 11 m $\times$ 1.5 m)中进行, 每个池塘放雌蟹 120 只, 雄蟹 60 只。因为雌蟹经济效益较高, 所以主要养殖雌体, 雄蟹主要用于交配后促进雌体卵巢发育, 以提供卵巢发育良好的膏蟹。本实验分为 4 个饲料组, 每个饲料组设置 3 个重复池塘。

养殖期间, 每日上午 08:00 和下午 16:00 投喂饲料, 上午的投喂比例(投喂量占一天总投喂量的比例)约为 30%, 下午的投喂比例约为 70%, 日投喂约占蟹总体重的 3%~5%。具

体投喂量根据水温、天气和残饵情况适当调整。养殖期间每 3 d 测定一次水质指标，根据水质情况每次更换总水体 1/3 的水，养殖过程中水质指标维持在：pH 7.0~9.0；平均溶氧>4 mg/L；氨氮浓度<0.5 mg/L；亚硝酸盐浓度<0.15 mg/L。此外，养殖期间每 15 d 进行一次全池泼洒碘消毒制剂和微生态制剂(北京水世纪生物技术有限公司)，以保持良好的水质。每天根据溶解氧情况适时开启增氧机增氧。实验于 7 月下旬开始，到 11 月下旬结束实验，整个养殖周期共 4 个月。

表 1 实验 4 种饲料配方(%)

Tab.1 Formulations of four experimental diets (%)

原料 Ingredients	饲料 1#Diet 1#	饲料 2#Diet 2#	饲料 3#Diet 3#	饲料 4#Diet 4#
豆粕-46% Soybean meal	12.00	13.00	14.00	15.00
菜粕-36%Rapeseed meal	8.00	10.00	12.00	14.00
酪蛋白 Casein	2.60	3.60	4.60	5.60
鱼粉 Fish meal	14.00	18.00	22.00	26.00
乌贼膏 Squid paste	5.00	5.00	5.00	5.00
虾膏 Shrimp paste	4.00	4.00	4.00	4.00
啤酒酵母粉 Yeast meal	2.00	2.00	2.00	2.00
南极磷虾粉 Antarctic krill meal	4.00	4.00	4.00	4.00
高筋面粉 Wheat flour	28.00	22.00	16.00	10.00
微晶纤维素 Cellulose	6.50	4.30	2.10	0.00
膨润土 Betonite	0.50	1.00	1.50	1.90
多维预混料 ¹ Vitamin premix ¹	0.80	0.80	0.80	0.80
多矿预混料 ² Mineral premix ²	2.50	2.50	2.50	2.50
氯化胆碱(60%)Choline chloride (60%)	0.50	0.50	0.50	0.50
甜菜碱 Betaine	0.15	0.15	0.15	0.15
牛磺酸 Taurine	0.30	0.30	0.30	0.30
精炼鱼油 Fish oil	2.60	2.30	2.00	1.70
猪油 Lard	2.00	2.00	2.00	2.00
豆油 Soybean oil	1.80	1.80	1.80	1.80
磷脂油 Lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00

注：1. 维生素预混料(mg/kg 饲料)：维生素 A，125；维生素 D₃，30；维生素 E，1300；维生素 K₃，35.4；维生素 B₁，100；维生素 B₂，150；维生素 B₆，150；维生素 B₁₂，0.2；维生素 C，1225；生物素，4；D - 泛酸钙，250；叶酸，25；烟酰胺，3002. 矿物质预混料(mg/kg 饲料)：一水硫酸亚铁，200；五水硫酸铜，96；一水硫酸锌，360；一水硫酸锰，120；一水硫酸镁，240；磷酸二氢钾，4200；磷酸二氢钠，500；碘化钾，5.4；六水氯化钴，2.1；亚硒酸钠，3；磷酸二氢钙，15000；六水氯化钴，2.1；亚硒酸钠，3Note: 1. Vitamin mixture(mg/kg diet): retinol acetate, 125; cholecalciferol, 30; alpha-tocopherol, 1300; menadione, 35.4; thiamine, 100; riboflavin, 150; Vitamin B₆, 150; vitamin B₁₂, 0.2; Vitamin C, 1225; biotin, 4; D - calcium pantothenate, 250; folic acid, 25; nicotinamide, 3002. Mineral mixture(mg/kg diet): FeSO₄·H₂O, 200; CuSO₄·5H₂O, 96; ZnSO₄·H₂O, 360; MnSO₄·H₂O, 120; MgSO₄·H₂O, 240; KH₂PO₄, 4200; NaH₂PO₄, 500; KI, 5.4; CoCl₂·6H₂O, 2.1; Na₂SeO₃, 3; Ca(H₂PO₄)₂, 15000; CoCl₂·6H₂O, 2.1; Na₂SeO₃, 3

表 2 实验饲料常规营养成分、能量及氨基酸组成(%，干重)
Tab.2 Proximate composition, energy and amino acid composition of four experimental diets (%，Dry weight)

项目 Items	饲料 1# Diet 1#	饲料 2# Diet 2#	饲料 3# Diet 3#	饲料 4# Diet 4#
常规营养成分 Proximate nutritional composition (%)				
水分 Moisture	11.87	12.98	11.92	10.25
粗蛋白 Crude protein	32.16	36.13	39.59	41.24
总脂 Total lipid	15.17	15.24	16.32	16.58
灰分 Ash	9.69	11.10	12.05	13.29
能量 Energy (kJ/g) ¹	18.51	18.33	18.77	19.00
氨基酸含量(mg/g) Amino acid composition (mg/g)				
异亮氨酸 Ile	13.96	16.63	17.94	19.11
亮氨酸 Leu	23.89	28.97	31.16	32.31
赖氨酸 Lys	19.18	24.84	27.48	29.19
蛋氨酸 Met	6.69	8.48	9.14	9.30
苯丙氨酸 Phe	13.90	16.63	17.77	18.27
苏氨酸 Thr	12.25	15.16	16.63	17.38
色氨酸 Trp	4.21	4.92	5.41	5.83
缬氨酸 Val	15.38	18.70	20.15	22.01
精氨酸 Arg	18.21	22.12	24.18	25.35
组氨酸 His	9.08	11.85	12.60	13.70
ΣEAA ²	136.74	168.29	182.46	192.46
天门冬氨酸 Asp	28.08	34.51	37.86	39.78
丝氨酸 Ser	12.54	14.67	16.63	16.49
谷氨酸 Glu	59.12	67.93	70.56	70.31
甘氨酸 Gly	16.00	19.08	21.68	22.95
丙氨酸 Ala	16.85	20.16	22.59	23.90
半胱氨酸 Cys	3.52	4.35	6.30	6.69
酪氨酸 Tyr	10.04	12.55	13.45	14.43
脯氨酸 Pro	16.23	17.83	18.00	18.50
ΣNEAA ³	162.37	191.09	207.08	213.04
TAA ⁴	299.11	359.38	389.55	405.50
EAA/TAA	0.46	0.47	0.47	0.47

注：¹ 根据蛋白质、脂肪、碳水化合物的能量(23.01、 38.07 和 17.15 kJ/g)计算饲料的能量(Anderson et al, 2003); ² ΣEAA 表示总必需氨基酸; ³ ΣNEAA 表示总非必需氨基酸; ⁴ TAA 表示总氨基酸。Note: ¹ Dietary energy was calculated based on the energy of protein, lipid and carbohydrate (23.01, 38.07 and 17.15

kJ/g);² $\sum$ EAA means total essential amino acids;³ $\sum$ NEAA means total non-essential amino acids;⁴ TAA means total amino acids

1.3 样品采集和解剖

实验过程中每 40 d 打样称重一次, 每个池塘随机采集 10 只左右雌体, 精确称重后, 用于计算平均体重、增重率(Weight gain rate, WGR)和特定增长率(Specific growth rate, SGR)。各指标计算公式如下:

$$WGR(\%)=100\times(W_t-W_{t-1})/W_{t-1}$$

$$SGR(\%/d)=100\times(\ln W_t-\ln W_{t-1})/d$$

式中, W_t 、 W_{t-1} 分别为实验第 t 次打样的平均体重(g)和第 $t-1$ 打样的平均体重(g), d 为养殖天数, 即每次打样时间差。

本实验采集养殖第 120 天的样品用于组织系数和生化组成测定。采样前停食一天, 随机从每口池塘采集 4 只生殖蜕壳后的雌蟹, 用毛巾擦干体表水分后用电子天平(精确度 = 0.01 g)称重, 用游标卡尺(精确度 = 0.02 mm)测量甲壳长和甲壳宽, 然后进行活体解剖, 取出每只雌蟹的肝胰腺和卵巢, 精确称重后分别计算卵巢指数(Gonadosomatic index, GSI)和肝胰腺指数(Hepatosomatic index, HSI)。最后刮出腹部和步足中的所有肌肉, 计算出肉率(Meat yield, MY)。采用公式计算总可食率(Total edible yield, TEY)和肥满度(Condition factor, CF)。所有的肝胰腺、卵巢和肌肉分别装入自封袋后, 保存于-40℃冰箱中用于后续测定。各指标计算公式如下:

$$GSI(\%)= 100\%\times W_g/W$$

$$HSI(\%)= 100\%\times W_h/W$$

$$MY(\%)= 100\%\times W_m/W$$

$$TEY(\%)= GSI + HIS + MY$$

$$CF= W/L^3$$

式中, W_g 为终末性腺质量(g), W_h 为终末肝胰腺质量(g), W_m 为终末肌肉质量(g), W 为三疣梭子蟹体质量(g), L 为甲壳长(cm)。

1.4 生化成分分析

将每个池塘采集的 2 个雌体卵巢、肝胰腺和肌肉分别合并, 采用冷冻干燥法冻干 48 h 测定三疣梭子蟹组织中的水分含量后用于后续生化分析; 采用凯氏定氮法测定样品的粗蛋

白含量(AOAC, 1995); 参考 Folch 等(1957)的方法, 使用氯仿: 甲醇(V/V=2:1)法测定和测定样品中的总脂含量(采用 550℃灼烧法测定样品中的灰分含量(AOAC, 1995); 采用苯酚-硫酸法测定样品的总碳水化合物含量(AOAC, 1995)。采用盐酸水解法测定样品的总氨基酸组成(Blackburn et al, 1984), 色氨酸测定采用碱性水解法(Chen et al, 2007), 含硫氨基酸测定采用过氧甲酸水解法(Spindler et al, 1985), 水解后的样品均在氨基酸自动分析仪(S-433D, 德国 Sykam 公司)上进行定性和定量分析。饲料中水分含量测定参照 AOAC 的标准方法, 而其他生化成分的分析均与组织中生化成分测定的方法相同。

1.5 数据分析

所有实验数据均采用平均值±标准差(Mean±SD)表示, 采用 SPSS 22.0 软件对实验数据进行统计分析。采用 Levene 法对所有数据进行方差齐性检验, 当不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或平方根处理。采用 ANOVA 对实验结果进行方差分析, 采用 Duncan 氏法进行多重比较, 取 P<0.05 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长、卵巢发育和可食率的影响

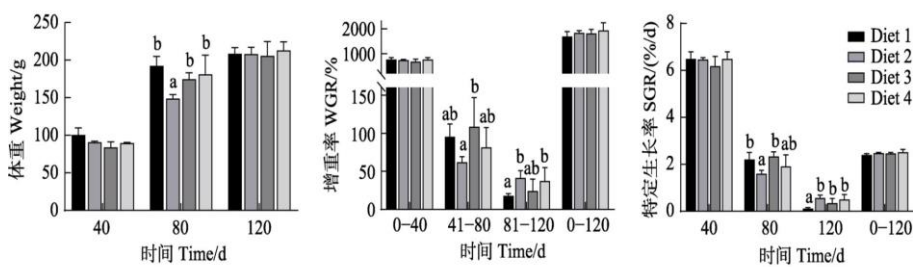


图 1 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长影响

Fig.1 Effects of dietary protein levels on growth of female P. trituberculatus

表 3 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体卵巢发育和可食率的影响(n=3)

Tab.3 Effects of dietary protein levels on ovarian development and edible yield of female adult P. trituberculatus(n=3)

项目 Items	饲料 1# Diet 1#	饲料 2# Diet 2#	饲料 3# Diet 3#	饲料 4# Diet 4#
卵巢指数 GSI (%)	2.70±0.67 ^a	2.38±0.37 ^a	4.49±1.22 ^b	3.57±1.01 ^b
肝胰腺指数 HSI (%)	8.54±0.80	6.39±0.63	8.90±0.84	7.52±0.32
出肉率 MY (%)	29.40±0.24	27.47±1.89	28.57±1.65	28.53±1.97
总可食率 TEY (%)	40.40±1.47 ^{ab}	35.23±2.00 ^a	42.84±3.21 ^b	39.52±2.40 ^{ab}
肥满度 CF	0.53±0.02	0.56±0.01	0.53±0.01	0.55±0.04

注: 实验数据为 X±SD; 同行数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05)Notes: The date were presented as

X±SD; values within the same row with different letters mean significant difference (P<0.05)

2.2 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体组织中常规生化组成的影响

饲料蛋白水平对三疣梭子蟹组织的常规生化组成的影响如表 4 所示。就水分而言，饲料 1#组的卵巢中含量最高(P<0.05)，饲料 2#组的肝胰腺中含量最高(P<0.05)，而肌肉中无显著变化(P>0.05)；就粗蛋白而言，饲料 4#组的卵巢中含量最高(P<0.05)，肝胰腺中饲料 3#组和饲料 4#组显著高于饲料 1#组和饲料 2#组(P<0.05)，肌肉中的粗蛋白的含量则是饲料 1#组和饲料 3#组显著高于另外两组(P<0.05)；就总脂而言，卵巢中的含量随着蛋白水平的增加呈上升趋势(P<0.05)，而肝胰腺和肌肉中的含量均在饲料 1#组中最高，饲料 2#组中最低(P<0.05)；就总碳水化合物而言，卵巢和肝胰腺中的含量均在饲料 3#组中最高 (P>0.05)，肌肉中的含量在饲料 1#组最高(P<0.05)。

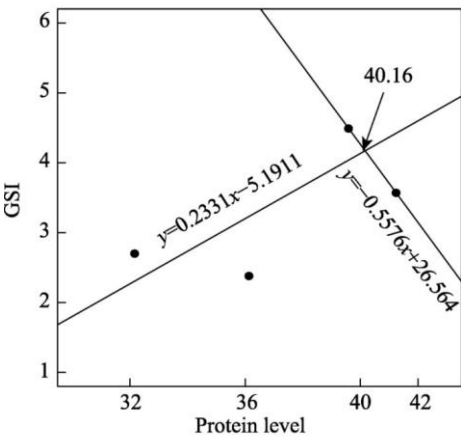


图 2 饲料中不同蛋白对三疣梭子蟹雌体肝胰腺指数的折线模型分析

Fig.2 Broken-line model analysis of the relationship of gonadosomatic index with dietary protein levels of female adult *P. trituberculatus*

表 4 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体组织中常规生化组成的影响 (%，湿重) (n=3)

Tab.4 Effects of dietary protein levels on proximate composition of female adult *P. trituberculatus* (%，Wet weight) (n=3)

项目 Items	饲料 1# Diet 1#	饲料 2# Diet 2#	饲料 3# Diet 3#	饲料 4# Diet 4#
卵巢 Ovary				
水分 Moisture	67.94±1.67 ^b	54.87±5.83 ^a	54.08±1.03 ^a	54.53±0.75 ^a
粗蛋白 Crude protein	20.49±0.53 ^a	20.24±1.18 ^a	25.54±0.69 ^b	29.05±0.23 ^c
总脂 Total lipid	7.88±0.65 ^a	7.78±0.33 ^a	10.99±1.41 ^b	12.89±0.37 ^c
总碳水化合物 Total carbohydrate	0.72±0.03 ^a	0.78±0.14 ^{ab}	0.98±0.19 ^b	0.92±0.02 ^{ab}
肝胰腺 Hepatopancreas				
水分 Moisture	65.59±5.98 ^a	74.05±4.76 ^b	63.58±1.05 ^a	67.33±0.05 ^a
粗蛋白 Crude protein	10.25±0.33 ^a	10.56±1.11 ^a	14.07±1.54 ^b	13.24±0.17 ^b
总脂 Total lipid	18.00±2.92 ^c	10.46±0.42 ^a	16.17±1.46 ^b	14.07±0.09 ^b
总碳水化合物 Total carbohydrate	1.72±0.22 ^b	1.19±0.12 ^a	1.73±0.23 ^b	0.91±0.09 ^a
肌肉 Muscle				
水分 Moisture	82.91±2.08	86.18±1.03	82.46±5.79	85.06±2.81
粗蛋白 Crude protein	14.32±0.38 ^c	10.61±0.33 ^a	13.74±1.38 ^c	12.32±1.46 ^{ab}
总脂 Total lipid	0.94±0.09 ^b	0.64±0.05 ^a	0.83±0.15 ^{ab}	0.89±0.13 ^b
总碳水化合物 Total carbohydrate	0.74±0.15 ^c	0.36±0.02 ^a	0.55±0.04 ^b	0.47±0.05 ^{ab}

注：实验数据为 Mean±SD；同行数据不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)

Notes: The data were presented as Mean±SD; values within the same row with different letters mean significant difference (P<0.05)

2.3 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体肌肉中氨基酸组成的影响

饲料蛋白水平对三疣梭子蟹肌肉的氨基酸组成的影响如表 5 所示。肌肉中检测出 18 种氨基酸，其中人体必需氨基酸(EAA)10 种；赖氨酸和亮氨酸含量相对较高(>9 mg/g)，苏氨酸和缬氨酸含量相对较低(<2 mg/g)，其中，饲料 1#组和饲料 3#组中的异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、半胱氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸和络氨酸含量显著高于饲料 2#和饲料 4#组($P<0.05$)；非必需氨基酸(NEAA)中除了丝氨酸和组氨酸含量相对较低(<5 mg/g)，其余含量均大于 8 mg/g。整体上，饲料 1#组和饲料 3#组三疣梭子蟹肌肉中的总必需氨基酸(Σ EAA)和总的非必需氨基酸(Σ NEAA)含量显著高于饲料 2#和饲料 4#组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生长和卵巢发育的影响

蛋白质是动物体的主要组成物质之一，对其生长发育至关重要(Resources, 2011)。本研究结果表明，室外池塘养殖条件下，饲料中蛋白水平对雌体生长无显著影响，可能原因有：(1)池塘低密度养殖条件下(最终 0.1~0.3 只/m²)，饲料中 32%的蛋白水平可以满足其正常生长需求；(2)饲料 1#和 2#组梭子蟹雌体可能通过摄食更多的饵料来满足其生长发育对蛋白质和氨基酸的需求。卵巢是三疣梭子蟹雌体重要的可食部位之一，卵巢发育好坏直接影响三疣梭子蟹膏蟹的营养品质、经济价值和生殖性能(Wu et al, 2010; 吴旭干等, 2014)。甲壳动物的卵巢发育过程主要是在卵母细胞中大量积累卵黄磷蛋白和脂滴(Yang et al, 2005)，而卵黄磷蛋白主要由卵黄蛋白原、磷脂和类胡萝卜素等组成(Coccia et al, 2010)。本研究中，饲料 3#组(蛋白含量为 39.59%)雌体的卵巢指数显著高于饲料 1#和 2#组，这暗示饲料中较高的蛋白含量可以促进其卵黄磷蛋白的合成，进而促进其卵巢发育和提高卵巢指数。这与红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)的研究结果类似(Rodríguez-González et al, 2009)。

先前有研究在自然海区单个体笼养条件下，基于雌体生长、蛋白质效率、肥满度、卵巢中色素沉积和肌肉及卵巢中的常规生化组成等指标评价三疣梭子蟹雌体饲料中的适宜蛋白质和脂肪含量及其交互作用，结果表明，三疣梭子蟹雌体生长后期和育肥饲料中适宜蛋白水平为 41.52%(段青源等, 2011)，这略高于本研究结论(39.59%)。这可能是因为本研究实验饲料的粗脂肪水平(15%)显著高于该研究(7%~11%)，适当提高饲料中的粗脂肪水平可以节约甲壳动物饲料中蛋白质，从而降低其蛋白需求(Catacutan, 2002)。

先前在室内养殖条件下的研究表明，三疣梭子蟹幼蟹(体重为 2.50~42.9 g)饲料中的蛋白需求为 45%左右(丁雪燕等, 2003)，这显著高于三疣梭子蟹雌体育肥饲料的适宜蛋白水平

(40%左右)。由此可见，三疣梭子蟹在生长和卵巢发育期间的营养需求存在较大差异。通常认为，三疣梭子蟹幼蟹阶段需要高蛋白和低脂肪的饲料(Jin et al, 2015)，而卵巢发育阶段需要高脂肪和中等蛋白的饲料来满足其正常卵巢发育(Ding et al, 2017)。

表 5 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体肌肉中氨基酸组成的影响(%, 湿重) (n=3)
Tab.5 Effects of dietary protein level on amino acid composition in muscle of female adult P. trituberculatus (%, Wet weight) (n=3)

项目 Items	饲料 1# Diet 1#	饲料 2# Diet 2#	饲料 3# Diet 3#	饲料 4# Diet 4#
氨基酸含量(mg/g, 湿重) Amino acid composition (mg/g, Wet weight)				
异亮氨酸 Ile	5.42±0.23 ^c	4.23±0.01 ^a	5.53±0.15 ^c	4.95±0.03 ^b
亮氨酸 Leu	9.30±0.00 ^c	7.15±0.00 ^a	9.56±0.01 ^d	8.30±0.00 ^b
赖氨酸 Lys	9.60±0.71 ^b	6.98±0.02 ^a	9.73±0.55 ^b	8.25±0.14 ^a
蛋氨酸 Met	3.50±0.15 ^c	2.70±0.04 ^a	3.65±0.19 ^c	3.08±0.02 ^b
苯丙氨酸 Phe	5.27±0.01 ^c	3.99±0.01 ^a	5.33±0.03 ^d	4.61±0.02 ^b
半胱氨酸 Cys	2.07±0.28 ^b	1.50±0.24 ^a	1.70±0.12 ^{ab}	1.75±0.06 ^{ab}
苏氨酸 Thr	5.34±0.16 ^c	4.05±0.01 ^a	5.45±0.06 ^c	4.70±0.05 ^b
色氨酸 Trp	1.45±0.02 ^c	1.07±0.02 ^a	1.45±0.03 ^c	1.27±0.05 ^b
缬氨酸 Val	5.64±0.05 ^c	4.45±0.10 ^a	5.82±0.31 ^c	5.17±0.05 ^b
酪氨酸 Tyr	5.02±0.04 ^c	3.75±0.11 ^a	4.93±0.05 ^c	4.32±0.11 ^b
ΣEAA ¹	52.60±0.80 ^c	39.87±0.12 ^a	53.15±0.56 ^c	46.39±0.04 ^b
天门冬氨酸 Asp	12.24±0.24 ^c	9.32±0.02 ^a	12.39±0.04 ^c	10.88±0.08 ^b
丝氨酸 Ser	4.97±0.24 ^c	3.78±0.00 ^a	5.00±0.26 ^c	4.37±0.03 ^b
谷氨酸 Glu	20.21±0.61 ^c	15.05±0.01 ^a	20.54±0.15 ^c	17.33±0.00 ^b
甘氨酸 Gly	9.47±0.32 ^c	7.59±0.02 ^a	8.87±0.03 ^b	8.73±0.07 ^b
丙氨酸 Ala	8.67±0.49 ^c	6.33±0.00 ^a	7.78±0.05 ^b	6.98±0.01 ^a
脯氨酸 Pro	8.26±0.36 ^b	6.15±0.10 ^a	6.71±0.59 ^a	5.99±0.02 ^a
精氨酸 Arg	12.47±0.20 ^d	9.53±0.02 ^a	11.96±0.01 ^c	10.56±0.10 ^b
组氨酸 His	3.15±0.12 ^b	2.39±0.01 ^a	3.33±0.01 ^c	2.84±0.10 ^b
ΣNEAA ²	79.46±1.62 ^c	60.15±0.10 ^a	76.57±0.14 ^c	67.70±0.17 ^b
TAA ³	132.06±2.41 ^c	100.02±0.22 ^a	129.72±0.41 ^c	114.10±0.21 ^b
EAA/TAA	0.40±0.00	0.40±0.00	0.41±0.00	0.41±0.00

注：¹∑EAA 表示总必需氨基酸；²∑NEAA 表示总非必需氨基酸；³ TAA 表示总氨基酸；实验数据为 Mean±SD；同行数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05)Notes:¹∑EAA means total essential amino acids;²∑NEAA means total non-essential amino acids;³ TAA means total amino acids.the data were presented as Mean±SD; values within the same row with different letters mean significant difference(P<0.05)

3.2 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体生化组成的影响

可食组织的生化组成可用于评价三疣梭子蟹的营养和食用价值(吴旭干等, 2014)。在本研究中, 随着饲料蛋白水平的提高, 三疣梭子蟹雌体卵巢和肝胰腺中的粗蛋白含量呈显著上升趋势, 出现这种情况的原因可能是随着饲料蛋白水平的提高, 三疣梭子蟹摄入的蛋白质相对更多, 从而导致其卵巢和肝胰腺中蛋白积累的增加(Unnikrishnan et al, 2010)。随着饲料蛋白水平的提高, 饲料 3#和饲料 4#组雌蟹卵巢中的总脂含量显著增加, 这可能与这 2 组雌体卵巢指数较高有关, 通常卵巢指数较高的蟹类, 其卵巢中的水分含量较低, 但蛋白和脂肪含量较高(于智勇等, 2007; Rosa et al, 2002)。

3.3 饲料蛋白水平对三疣梭子蟹雌体肌肉中氨基酸组成的影响

必需氨基酸对动物生长发育非常重要, 且水产品中的必需氨基酸含量和组成是评价蟹类营养品质的重要依据(Wu et al, 2010)。根据 FAO/WHO 的理想氨基酸模式, 食品中必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)理想比值为 0.4 左右(FAO, 1985), 本研究中, 4 种蛋白水平饲料养殖的三疣梭子蟹肌肉中的必需氨基酸的含量均达到了该理想标准。先前研究表明, 三疣梭子蟹的主要限制性氨基酸分为含硫氨基酸(蛋氨酸和半胱氨酸)和异亮氨酸(徐善良等, 2009), 本研究结果表明, 这三种必需氨基酸含量均在饲料 1#组和饲料 3#组雌体肌肉中较高。谷氨酸和天冬氨酸是 2 种呈鲜味的氨基酸, 其含量均在饲料 3#组中达到最高, 推测饲料 3#组三疣梭子蟹肌肉具有较高的营养品质。

综上所述, 基于池塘养殖条件下三疣梭子蟹雌体的卵巢指数和生化组成变化, 建议池塘养殖条件下三疣梭子蟹雌体育肥饲料中适宜的蛋白水平约为 40.16%。

参考文献: 略

原文刊登在 (渔业科学进展录用定稿) 网络首发时间: 2020-07-31 09:51:39

配合饲料和冰鱼对单体养殖中华绒螯蟹生长、性腺发育及其肌肉品质的影响

冯伟 李辉 唐永凯 苏胜彦 王美垚 李建林 俞菊华

南京农业大学无锡渔业学院 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心农业农村部淡水渔业与种质资源利用重点实验室

摘 要: 为研究配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹的养殖性能和营养状况的影响, 本实验通过连续采样分析了单体养殖中华绒螯蟹的生长性能、性腺发育和肌肉的营养成分, 并进一步比较了终末体质量、增重率、特定增长率、成活率和蜕壳间隔。结果显示: ①配合饲料组的成活率极显著高于冰鱼组, 而终末体质量、增重率、特定增长率和蜕壳间隔二组无显著差异; 在不同蜕壳阶段, 体质量配合饲料组小于冰鱼组, 其中第 3 次蜕壳后二组间差异显著; 增重率在雌、雄蟹体间存在差异, 其中雌蟹在第 2 次蜕后壳配合饲料组极显著小于冰鱼组, 而雄蟹在第 1 次和第 4 次蜕壳后 2 个阶段配合饲料组极显著大于冰鱼组。②肝胰腺指数在配合饲料和冰鱼 2 组投喂下分别为 3.59%和 4.45%, 性腺指数二者分别为 3.20%和 2.25%, 肝胰腺指数和性腺指数在二组投喂下无显著差别。③在肌肉氨基酸含量方面, 氨基酸总量(Σ TAA)、必需氨基酸总量(Σ TEAA)和呈味氨基酸总量(Σ FAA)配合饲料组显著小于冰鱼组; 从单个氨基酸看, 赖氨酸(Lys)和精氨酸(Arg)含量配合饲料组显著小于冰鱼组, 而脯氨酸(Pro)含量则是配合饲料组显著大于冰鱼组。④在肌肉脂肪酸含量方面, 高度不饱和脂肪酸(Σ HUFA)和 DHA+EPA 含量配合饲料组显著高于冰鱼组; 从单个脂肪酸看, 单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)中 C16:1 和 C18:1n-91 含量配合饲料组显著小于冰鱼组, 而多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)中的 ARA 和 DHA 配合饲料组却显著高于冰鱼组。研究表明, 在该单体养殖条件下, 配合饲料组在中华绒螯蟹生长性能和肌肉品质上接近冰鱼组, 而在性腺发育和成活率上则优于冰鱼组, 配合饲料对中华绒螯蟹养殖业更具有发展优势。

关键词: 中华绒螯蟹; 生长性能; 性腺发育; 营养品质; 单体养殖;

Effects of the growth, gonadal development and muscle quality on *Eriocheir sinensis* under the monomer culture with formula feed and frozen fish

Feng Wei Li Hui Tang Yongkai Su Shengyan Wang Meiyao Li Jianlin Yu Juhua

Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences

Abstract: In order to study the effect of formula feed and frozen fish on the breeding performance and nutritional

status of *Eriocheir sinensis*, this experiment analyzed the growth performance, gonadal development and nutrient composition of monocultured Chinese mitten crab by continuous sampling, and further compared the FBI, WGR, SGR, SR and MI. The results showed that: ①In terms of survival rate, the formula feed group was significantly higher than the frozen fish group, while there was no significant difference in the FBI, WGR, SGR and MI between the two groups. At different stages of molting, the formula feed group of the body weight was smaller than the frozen fish group, and the differences between the two groups after the third molting was significant; the weight gain rate was different between the female and male crabs, and the weight gain rate of formula feed group in the female crab was significantly smaller than that of the frozen fish group after the second molting, while the male crabs in the two stages after the first and fourth molting were significantly larger than the frozen fish group. ②The hepatopancreas index was 3.59% and 4.45% under the formula feed and frozen fish groups, respectively, the gonadal index was 3.20% and 2.25%, and the hepatopancreas index and gonadal index were not significant differences under the two groups. ③In terms of muscle amino acid content, the total amino acids, total essential amino acids and total flavor amino acids in the formula feed group was significantly smaller than that of the frozen fish group; from a single amino acid, the lysine and arginine content of the formula feed group was significantly smaller than that of the frozen fish group, and the content of proline is significantly greater in formula feed than the frozen fish group. ④In terms of muscle fatty acid content, the highly unsaturated fatty acid and DHA+EPA content of the formula feed group was significantly higher than the frozen fish group; from the perspective of a single fatty acid, in the monounsaturated fatty acid C16:1 and C18:1n-9 content of the formula feed group was significantly smaller than the frozen fish group, but in the polyunsaturated fatty acid ARA and DHA of formula feed group was significantly higher than the frozen fish group. Studies have shown that the formula feed group is close to the frozen fish group in the growth performance and muscle quality of the Chinese mitten crab, but the gonad development and survival rate fed with formula feed are better than the frozen fish group under the monomer culture conditions, which has more development advantages on Aquaculture.

Keyword: *Eriocheir sinensis*; growth performance; gonadal development; nutritional quality; monomer culture;

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称河蟹,是我国重要的水产养殖蟹类之一^[1]。其养殖主要分布在江苏、湖北、安徽等长江中下游地区,养殖面积约 70 万公顷,2018 年我国中华绒螯蟹养殖总产量高达 75.7 万吨^[2]。饲料质量和饲料营养直接影响水产动物的存活和生长,是决定养殖产品成败和效益的重要因素之一^[3]。目前中华绒螯蟹养殖主要为池塘养殖,以投喂野杂鱼、螺蛳和豆粕、菜粕、玉米以及配合饲料为主,但是随着中华绒螯蟹养殖产量的

不断提升, 野杂鱼的大量投喂导致了养殖水质恶化, 活饵料螺蛳的投喂对于幼蟹来说因其觅食竞争而影响其生长^[4], 而粗饲料的营养单一和不均衡性则无法满足中华绒螯蟹的生长需求, 这些因素也导致其病害爆发和成蟹品质不稳定等一系列问题, 严重制约了我国中华绒螯蟹养殖业的可持续发展^[5,6]。因此, 一种新型的蟹类单体养殖设施——“蟹龙宫”进入了人们的视野^[7]。该设施具有独立的进水、排水和增氧系统, 让中华绒螯蟹在每一养殖盒中生长, 既避免了打斗争食、恶劣天气和天敌生物以及投喂不均对其造成的伤残、病死和育成品质等影响, 还节约了水资源、改善了水质、缩减了养殖用地以及提升了精准的饵料投喂和管理, 大大降低了传统养殖所付出的成本和人力^[8]。

冰鱼即为通过低温冷冻方式进行保存的鲜活小鱼, 来源通常为海水捕捞。近年来随着养殖面积的扩大, 资源丰富且来源稳定的冰鱼进入了养殖户的视野, 但是其大量的使用仍造成了不少的问题。因此, 诸多学者开展了配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹养殖的研究。唐永凯等^[9]研究了冰鱼和配合饲料对中华绒螯蟹养殖效益的影响, 发现冰鱼组有更高的亩产、成蟹规格以及较高的成活率。刘伟杰等^[10]研究了配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹生长性能的影响, 发现冰鱼组成活率显著低于配合饲料组, 且经济效益低。目前中华绒螯蟹养殖已从提高产量为主, 发展为增加产量与提升品质并重, 这也是未来中华绒螯蟹养殖发展的方向。配合饲料和冰鱼作为当前最主要的饲料来源, 它们对单体养殖中华绒螯蟹生长、性腺发育及其品质的影响研究尚未见报道。本研究使用中华绒螯蟹单体养殖系统, 研究了全程投喂配合饲料和冰鱼两种方式对中华绒螯蟹成蟹阶段生长等指标及其肌肉品质的影响, 以期为中华绒螯蟹饲料选择、精准投喂、以及工业化养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验蟹为处于 1 龄的幼蟹, 取自中国水产科学院淡水渔业研究中心苏州阳澄湖虾蟹绿色养殖基地。2019 年 3 月 19 日挑选体质健壮、活力强, 规格接近的个体, 共计 96 只(雌、雄各半)。冰鱼为小型鱼类鳊鱼, 取自养殖基地冷库, 投喂配合饲料购于江苏海普瑞饲料有限公司, 主要原料为优质鱼粉、精炼鱼油、豆粕、花生粕、高精面粉、磷酸二氢钙、碳酸钙、食盐、复合维生素、微量元素和诱食剂等, 具体营养成分如表 1 所示。

1.2 实验设计及管理

实验在 6 行×16 列的全封闭循环水“蟹龙宫”系统中进行, 系统内每个养殖盒随机放养 1 只蟹, 设置配合饲料和冰鱼 2 个组(每组 4 个重复, 每个重复 12 只, 雌、雄各半)。养殖

水源为曝气自来水，水温为（25±3）℃，保持盒中溶解氧 5 mg/L 以上，氨氮小于 0.2 mg/L，pH 为 7.0~8.5。中华绒螯蟹用配合饲料投喂 7 d 以适应该养殖环境，实验前禁食 24 h。养殖期间，每天在 7:00—8:00、17:00—18:00 两个时间段进行饱食投喂（约为体质量 2%~5%），并根据摄食和生长情况适当调整，定时清理残污和补充水槽新水，养殖周期从 3 月 26 日到 11 月 20 日，共计 240 d。

表 1 配合饲料和冰鱼营养成分比较（干重）

Tab.1 Comparison of the nutrient ingredients with formula feed and frozen fish（dry weight） %

成分分析	配合饲料	冰鱼
component analysis	formula feed	frozen fish
水分 moisture	11.33±0.27 ^b	79.15±0.58 ^a
粗蛋白 crude protein	42.60±0.83 ^b	62.67±1.32 ^a
总脂肪 total lipid	8.04±0.22 ^b	18.36±1.27 ^a
灰分 ash	16.21±0.04 ^a	13.92±0.93 ^b

注：同行不同小写字母代表差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01），下同 Notes: different lowercase letters in the same line indicated significant differences (P<0.05) and different uppercase letters indicated extremely significant differences(P<0.01), the same below

1.3 样品采集

在实验期间中华绒螯蟹每蜕 1 次壳，记录一次蜕壳间隔时间（molting intervals, d），该间隔为每次中华绒螯蟹蜕壳开始到下一次蜕壳结束所需要的时间，3 d 后等壳钙化后称量其体质量（擦去体表水分）并计算增重率、特定增长率和统计死亡率。待养殖周期结束后，从两组中取体质量相当的中华绒螯蟹雌、雄各 6 只，称其体质量并取出所有肌肉、肝胰腺和性腺，放于-80 ℃保存，用于后续实验。

1.4 样品分析

生长指标 增重率(weight gain rate, WGR, %)= (W_n-W_{n-1})/ W₁×100%

特定生长率(specific growth rate, SGR, %)= (lnW_n-lnW_{n-1})/t×100%

存活率(survival rate, SR, %)= N_t/ N₀× 100%

肝胰腺指数(hepatosomatic index, HSI, %)=W_h/W×100%

性腺指数(gonadosomatic index, GSI, %)=W_g/W×100%

肥满度(condition factor, CF , g/cm³)=W/L³×100

式中，W_n为蟹第 n 次蜕壳后的平均体质量(g)，W_{n-1} 为蟹第 n-1 次蜕壳后的平均体质量(g)，t 为蜕壳间隔(d)，N_t为蟹终末个数；N₀为蟹初始个数，W_h为蟹肝胰腺重量(g)，W_g为

蟹性腺重量(g)，W 为蟹体质量(g)，L 为头胸甲长(cm)。

游离氨基酸组成 采用外标法^[11]确定中华绒螯蟹肌肉氨基酸组成和含量，准确称取 600.0 mg 左右蛋白水解的样品，于特制的水解管底部，缓慢加入 8 mL HCL 并轻轻转动水解管，保证样品得到全部润湿，抽真空，维持 5 min 后，在酒精喷灯上封口。(110±1) °C 水解 22~24 h，切开水解管用去离子水全部转移到 25 mL 容量瓶中、定容，双层滤纸过滤，取滤液 1 mL 置于 25 mL 小烧杯中，在加 NaOH 的真空干燥器中蒸干(水浴加热不超过 50 °C)，加入 1 mL pH2.2 的盐酸溶解后，溶液转移 1.5 mL 的离心管中。10 000 r/min 离心 10 min，取上清液 0.5 mL 于样品瓶中测定，所用仪器为安捷伦液相色谱仪。

脂肪酸组成 采用面积归一化法^[12]确定蟹体肌肉脂肪酸组成及相对含量，取部分已制备好的中华绒螯蟹肌肉样品用于脂肪酸分析，总脂肪酸的测定采用氯仿：甲醇：H₂O=2：2：1 抽提总脂肪，分别用 1 mol/L KOH-甲醇和 0.5 mol/L 硫酸甲醇溶液使脂肪酸甲酯化，再用正庚烷萃取脂肪酸甲酯。样品皂化甲酯化后，直接上气相色谱—质谱仪进行分析。所用仪器为 Agilent 7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)。

1.5 数据处理

应用 SPSS 24.0 软件对实验数据进行方差齐性检验，采用 One-Way ANOVA 和独立 t 检验检查各项指标间的差异性，数据以平均值±标准差（mean±SD）的形式表示，P<0.05 为差异显著，P<0.01 为差异极显著。

2 结果

2.1 生长性状

表2 配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹生长性能的影响 n=50						
Tab.2 The effect of the growth performance of <i>E. sinensis</i> reared in the "Crab Palace" system with formula feed and frozen fish						
项目 items	雌 female		雄 male		雌+雄 the sum of female and male	
	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish	配合饲料 formula feed	冰鱼 frozen fish
成活率/% SR	75.00 ^A	50.00 ^B	41.67 ^A	37.50 ^A	58.33 ^A	43.75 ^B
初体质量/g IBW	7.63±3.49 ^a	8.72±3.75 ^a	8.99±3.39 ^a	8.09±3.05 ^a	8.31±3.86 ^a	8.40±3.63 ^a
终体质量/g FBW	37.96±9.41 ^a	39.05±7.82 ^a	34.38±6.85 ^a	37.87±9.60 ^a	35.41±8.69 ^a	38.42±8.69 ^a
增重率/% WGR	406.50±95.59 ^a	433.64±161.80 ^a	360.32±170.78 ^a	428.00±164.07 ^a	385.38±135.37 ^a	430.64±160.39 ^a
特定增长率/%SGR	0.90±0.11 ^a	0.91±0.18 ^a	0.83±0.20 ^a	0.90±0.16 ^a	0.87±0.16 ^a	0.91±0.16 ^a
蜕壳间隔/d MI	52.73±24.40 ^a	49.57±23.38 ^a	51.84±20.45 ^a	47.79±17.84 ^a	52.23±22.48 ^a	48.68±20.61 ^a

在成活率方面，配合饲料和冰鱼组成活率分别为 58.33%和 43.75%，二组之间存在极显著差异(P<0.01)，终末体质量、增重率、特定生长率等 3 个指标冰鱼组高于配合饲料组（P>0.05），蜕壳间隔则是冰鱼组快于配合饲料组（P>0.05）(表 2)。

在该养殖模式下中华绒螯蟹蜕了 3~4 次壳，冰鱼组每次蜕壳后中华绒螯蟹体质量都高于配合饲料组，且冰鱼组中华绒螯蟹第 3 次蜕壳后体质量显著高于配合饲料组（P<0.05），

但第 4 次蜕壳后 2 组间体质量几乎接近，无显著差异 ($P>0.05$) (图 1)。

从整体上看，随着养殖时间的延长，雌、雄个体的增重率和特定增长率呈下降趋势，第 3 次蜕壳之前中华绒螯蟹生长普遍较快，而之后则呈现一种缓慢生长的趋势 (图 2)。其中第 2 次蜕壳后，雌蟹增重率冰鱼组投喂最高为 66.00%，比配合饲料组投喂高了 12.87%，二者存在极显著差异 ($P<0.01$)。相反，雄蟹增重率配合饲料组在第 1 壳后和第 4 壳后 2 个阶段显著高于冰鱼组 ($P<0.01$)，而中华绒螯蟹特定增长率配合饲料组则在第 1 次蜕壳后显著高于冰鱼组 ($P<0.05$) (图 3)。

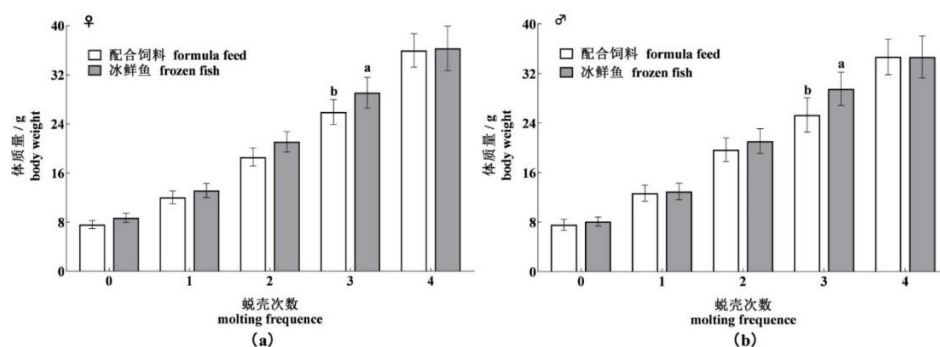


图 1 配合饲料和冰鱼对雌 (a)、雄 (b)中华绒螯蟹体质量的影响

Fig. 1 The effect of the body weight of female (a) and male (b) crabs reared in the “Crab Palace” system with formula feed and frozen fish

图中不同小写字母代表组间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示组间差异极显著 ($P<0.01$), 下同 different lowercase letters indicated significant differences ($P<0.05$) and different uppercase letters indicated extremely significant differences in formula feed and frozen fish ($P<0.01$), the same below

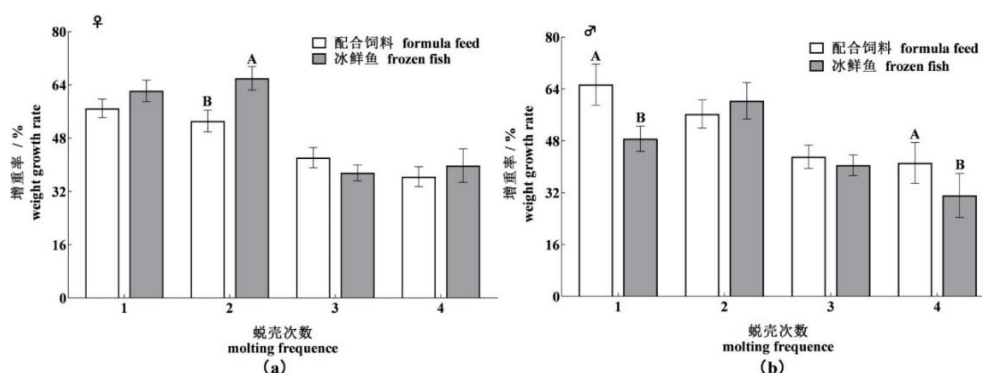


图 2 配合饲料和冰鱼对雌(a)、雄(b)中华绒螯蟹增重率的影响

Fig. 2 The effect of the weight growth rate of female (a) and male (b) crabs reared in the “Crab Palace” system with formula feed and frozen fish

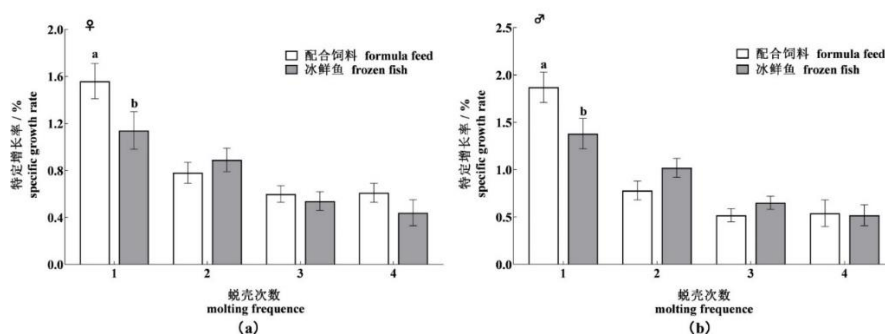


图 3 配合饲料和冰鱼对雌 (a)、雄 (b) 中华绒螯蟹特定增长率的影响

Fig. 3 The effect of the specific growth rate of female (a) and male (b) crabs reared in the “Crab Palace” system with formula feed and frozen fish

2.2 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肥满度及性腺发育的影响

中华绒螯蟹肥满度、肝胰腺指数和性腺指数在配合饲料和冰鱼组投喂下无显著差异 ($P>0.05$)，但是肝胰腺指数冰鱼组略高于配合饲料组，而性腺指数配合饲料组则略高于冰鱼组 ($P>0.05$)。从雌、雄中华绒螯蟹看，肝胰腺指数雌蟹冰鱼组为 4.75%，雌蟹配合饲料组为 3.46%，二者差异显著 ($P<0.05$)；性腺指数则是雌蟹配合饲料组最高为 3.87%，雌蟹冰鱼组为 2.76%，二组差异显著 ($P<0.05$) (表 3)。

表3 单体条件下配合饲料和冰鱼对中华绒螯蟹肝胰腺指数、性腺指数和肥满度的比较

Tab.3 The comparison of the hepatosomatic index (HSI), gonadosomatic index (GSI) and condition factor (CF) of *E. sinensis* reared in the “Crab Palace” system with formula feed and frozen fish $n=12$

项目 items	雌 female		雄 male		雌+雄 the sum of female and male	
	配合饲料组	冰鱼组	配合饲料组	冰鱼组	配合饲料组	冰鱼组
	formula feed	frozen fish	formula feed	frozen fish	formula feed	frozen fish
肥满度/ g/cm^3 CF	53.87 $\pm$ 9.36 ^a	54.88 $\pm$ 7.52 ^a	54.54 $\pm$ 9.53 ^a	53.23 $\pm$ 10.41 ^a	54.05 $\pm$ 9.49 ^a	54.15 $\pm$ 9.20 ^a
肝胰腺指数/% HSI	3.46 $\pm$ 0.65 ^b	4.75 $\pm$ 0.58 ^a	3.72 $\pm$ 1.12 ^a	3.54 $\pm$ 1.87 ^a	3.59 $\pm$ 1.08 ^a	4.45 $\pm$ 1.02 ^a
性腺指数/% GSI	3.87 $\pm$ 1.63 ^a	2.76 $\pm$ 2.11 ^b	2.53 $\pm$ 0.87 ^a	1.72 $\pm$ 0.43 ^a	3.20 $\pm$ 1.53 ^a	2.25 $\pm$ 0.78 ^a

2.3 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肌肉氨基酸组成及含量的比较

由于色氨酸在酸性水解过程中被破坏没有被检测出来，从中华绒螯蟹肌肉中共测出 17 种游离氨基酸 (表 4)。冰鱼组肌肉氨基酸总量 ($\sum\text{TAA}$)、呈味氨基酸总量 ($\sum\text{FAA}$) 显著高于配合饲料组 ($P<0.05$)。从单个氨基酸来看，除脯氨酸之外，其他氨基酸冰鱼组都略高于配合饲料组，其中赖氨酸和精氨酸显著高于配合饲料组 ($P<0.05$)；从雌、雄个体看，中华绒螯蟹在蛋氨酸、赖氨酸、谷氨酸、甘氨酸、精氨酸、脯氨酸，这 6 个氨基酸组间存在显著差异 ($P<0.05$)。

表4 配合饲料组和冰鱼组中华绒螯蟹肌肉氨基酸组成与含量(湿重)
Tab.4 The composition and content of amino acids in the muscles of *E. sinensis* reared in the "Crab Palace" system with formula feed and frozen fish (wet weight) (g/100g, n=12)

氨基酸 amino acids	雌 female		雄 male		雌+雄 the sum of male and female	
	配合饲料组	冰鱼组	配合饲料组	冰鱼组	配合饲料组	冰鱼组
	formula feed	frozen fish	formula feed	frozen fish	formula feed	frozen fish
苏氨酸 Thr	3.02±0.08 ^a	3.24±0.12 ^a	3.19±0.31 ^a	3.10±0.21 ^a	3.11±0.22 ^a	3.17±0.22 ^a
缬氨酸 Val	3.15±0.09 ^a	3.26±0.04 ^a	3.26±0.19 ^a	3.39±0.38 ^a	3.21±0.15 ^a	3.33±0.25 ^a
蛋氨酸 Met	0.92±0.73 ^b	1.69±0.06 ^a	1.45±0.16 ^a	1.75±0.43 ^a	1.19±0.55 ^a	1.72±0.28 ^a
苯丙氨酸 Phe	2.45±0.14 ^a	2.65±0.08 ^a	2.73±0.24 ^a	2.58±0.20 ^a	2.59±0.23 ^a	2.62±0.14 ^a
异亮氨酸 Ile	2.56±0.17 ^a	2.96±0.12 ^a	2.85±0.27 ^a	2.89±0.26 ^a	2.70±0.26 ^a	2.92±0.18 ^a
亮氨酸 Leu	4.35±0.31 ^a	5.00±0.18 ^a	4.90±0.56 ^a	4.86±0.42 ^a	4.63±0.51 ^a	4.93±0.30 ^a
赖氨酸 Lys	4.41±0.58 ^b	5.38±0.26 ^a	5.15±0.66 ^a	4.99±0.30 ^a	4.78±0.68 ^b	5.18±0.33 ^a
总必需氨基酸 ΣTEAA	20.86±1.20 ^b	24.18±1.30 ^a	23.53±1.29 ^a	23.56±1.18 ^a	22.21±1.24 ^a	23.87±1.24 ^a
天冬氨酸 Asp	7.00±0.70 ^a	7.03±0.23 ^a	7.24±0.66 ^a	6.72±0.30 ^a	7.12±0.62 ^a	6.88±0.29 ^a
谷氨酸 Glu	10.41±0.57 ^b	11.60±0.50 ^a	11.32±1.18 ^a	10.96±0.38 ^a	10.87±0.97 ^a	11.28±0.53 ^a
甘氨酸 Gly	4.69±0.82 ^b	6.05±0.28 ^a	4.73±0.58 ^a	5.38±0.79 ^a	4.71±0.63 ^a	5.72±0.64 ^a
丙氨酸 Ala	4.12±0.30 ^a	4.48±0.29 ^a	4.42±0.53 ^a	4.43±0.19 ^a	4.27±0.42 ^a	4.46±0.22 ^a
酪氨酸 Tyr	1.98±0.12 ^a	2.04±0.10 ^a	2.23±0.26 ^a	2.09±0.17 ^a	2.11±0.23 ^a	2.06±0.13 ^a
苯丙氨酸 Phe	2.45±0.14 ^a	2.65±0.08 ^a	2.73±0.24 ^a	2.58±0.20 ^a	2.59±0.23 ^a	2.62±0.14 ^a
总呈味氨基酸 ΣFAA	30.65±3.15 ^b	33.85±3.49 ^a	32.67±3.38 ^a	32.16±3.24 ^a	31.67±3.26 ^b	33.02±3.36 ^a
半胱氨酸 Cys-s	0.19±0.12 ^a	0.26±0.03 ^a	0.20±0.11 ^a	0.21±0.08 ^a	0.19±0.10 ^a	0.23±0.06 ^a
组氨酸 His	1.30±0.09 ^a	1.29±0.07 ^a	1.49±0.05 ^a	1.40±0.13 ^a	1.40±0.12 ^a	1.30±0.09 ^a
精氨酸 Arg	5.71±0.82 ^b	7.43±0.47 ^a	5.86±0.87 ^b	6.88±0.34 ^a	5.79±0.76 ^b	7.15±0.47 ^a
丝氨酸 Ser	2.74±0.11 ^a	2.92±0.08 ^a	2.88±0.32 ^a	2.83±0.15 ^a	2.81±0.23 ^a	2.88±0.12 ^a
脯氨酸 Pro	3.68±0.98 ^{AB}	2.47±0.39 ^b	4.63±0.55 ^a	3.13±0.24 ^b	4.10±0.88 ^a	2.80±0.46 ^b
氨基酸总量 ΣTAA	62.68±2.44 ^b	69.75±2.78 ^a	68.53±2.58 ^a	67.59±2.55 ^a	65.58±2.51 ^b	68.63±2.67 ^a
TEAA/TAA	0.33±0.00 ^a	0.35±0.00 ^a	0.34±0.00 ^a	0.35±0.00 ^a	0.34±0.01 ^a	0.35±0.01 ^a

2.4 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肌肉脂肪酸组成及含量分析

从中华绒螯蟹肌肉中共检测出 19 种脂肪酸(表 5),其中 2 组间肌肉饱和脂肪酸(ΣSFA)、单不饱和脂肪酸(ΣMUFA)和多不饱和脂肪酸(ΣPUFA)总量均无显著差异(P>0.05),而高度不饱和脂肪酸(ΣHUFA)和 DHA+EPA 含量则是配合饲料组显著高于冰鱼组(P<0.05)。从单个脂肪酸看,在单不饱和脂肪酸(ΣMUFA)中棕榈油酸(C16:1)和油酸(C18:1n-9)含量组间差异显著(P<0.05);在多不饱和脂肪酸(ΣPUFA)中 ARA 和 DHA 等脂肪酸含量组间差异显著(P<0.05)。

3 讨论

3.1 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹生长性能的影响

饲料是养殖甲壳类营养物质和能量的重要来源,饲料的质量和营养直接影响着中华绒螯蟹的生长和存活^[13]。本研究发现,配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹 FBW、WGR 和 SGR、MI 无显著影响,而投喂配合饲料组的中华绒螯蟹成活率显著高于冰鱼组,表明配合饲料投喂对中华绒螯蟹有着较高的成活率、相对较短的蜕壳间隔和较快的生长速度,这与杨丽丽等^[5]在中华绒螯蟹、贲玲芝等^[14]在三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)的研究结果一致,这可能是配合饲料中添加了复合维生素和少量微量元素,提升了中华绒螯蟹免疫抗应激的能

力,而海捕冰鱼腐败后通常含有生物胺或携带病菌和有毒重金属^[15,16,17], 这些可能造成了冰鱼组成活率低。这表明配合饲料组比冰鱼组对中华绒螯蟹有着更好的养殖性能, 可以进一步扩大推广。

表5 配合饲料组和冰鱼组中华绒螯蟹肌肉脂肪酸组成与含量(总脂肪酸)
Tab.5 The composition and content of fatty acids in the muscles of *E.sinensis* reared in the "Crab Palace" system with formula feed and frozen fish (total fatty acid) (% , n=12)

fatty acids 脂肪酸	雌 female		雄 male		雌+雄 the sum of female and male	
	配合饲料	冰鱼	配合饲料	冰鱼	配合饲料	冰鱼
	formula feed	frozen fish	formula feed	frozen fish	formula feed	frozen fish
C14:0	1.12±0.01 ^a	1.18±0.23 ^a	1.12±0.07 ^a	1.29±0.16 ^a	1.12±0.05 ^a	1.24±0.19 ^a
C15:0	0.52±0.01 ^a	0.51±0.01 ^a	0.53±0.01 ^a	0.49±0.02 ^a	0.53±0.01 ^a	0.40±0.02 ^a
C16:0	18.49±0.27 ^a	17.60±0.54 ^b	17.02±0.36 ^b	18.06±0.41 ^a	17.75±0.85 ^a	17.83±0.50 ^a
C17:0	0.53±0.01 ^a	0.52±0.01 ^a	0.52±0.01 ^a	0.52±0.02 ^a	0.53±0.01 ^a	0.52±0.01 ^a
C18:0	4.08±0.07 ^a	4.01±0.30 ^a	3.65±0.10 ^a	3.98±0.19 ^a	3.87±0.25 ^a	4.00±0.22 ^a
ΣSFA	25.00±6.35 ^a	24.09±6.04 ^a	23.11±5.83 ^b	24.62±6.19 ^a	24.07±6.09 ^a	24.26±6.12 ^a
C16:1	2.90±0.72 ^b	3.22±0.40 ^a	2.93±0.10 ^b	3.48±0.27 ^a	2.92±0.08 ^b	3.35±0.34 ^a
C18:1n-9	37.63±0.64 ^b	40.26±2.63 ^a	40.32±0.98 ^a	40.87±1.39 ^a	38.97±1.65 ^b	40.56±1.91 ^a
C20:1	1.95±0.17 ^a	2.05±0.14 ^a	2.24±0.21 ^a	2.04±0.05 ^a	2.09±0.23 ^a	2.04±0.09 ^a
C22:1n-9	0.40±0.06 ^a	0.47±0.03 ^a	0.47±0.06 ^a	0.42±0.01 ^a	0.43±0.07 ^a	0.44±0.03 ^a
ΣMUFA	42.88±17.97 ^b	46.00±19.21 ^a	45.96±19.25 ^a	46.81±19.49 ^a	44.41±18.61 ^a	46.39±19.34 ^a
C18:2n-6(LA)	15.64±0.19 ^b	16.94±0.81 ^a	17.24±0.52 ^a	16.59±0.51 ^a	16.44±0.94 ^a	16.77±0.63 ^a
C18:3n-3(LNA)	2.85±0.22 ^a	2.97±0.14 ^a	3.25±0.07 ^a	2.90±0.14 ^b	3.05±0.27 ^a	2.94±0.13 ^a
C18:3n-6	0.57±0.04 ^a	0.61±0.03 ^a	0.57±0.02 ^a	0.57±0.12 ^a	0.57±0.03 ^a	0.59±0.08 ^a
C20:3n-6	0.98±0.01 ^a	0.87±0.10 ^a	0.90±0.03 ^a	0.85±0.05 ^a	0.94±0.05 ^a	0.87±0.08 ^a
C22:3	0.53±0.03 ^a	0.44±0.16 ^a	0.43±0.07 ^a	0.43±0.05 ^a	0.48±0.07 ^a	0.44±0.11 ^a
C20:4n-6(ARA)	3.23±0.18 ^a	2.21±0.95 ^b	2.29±0.45 ^a	1.92±0.40 ^a	2.76±0.60 ^a	2.07±0.67 ^b
C22:4	1.18±0.59 ^a	1.03±0.43 ^a	1.04±0.24 ^a	0.91±0.18 ^a	1.11±0.41 ^a	0.97±0.30 ^a
C20:5n-3(EPA)	0.65±0.05 ^a	0.43±0.14 ^b	0.43±0.07 ^a	0.43±0.05 ^a	0.54±0.13 ^a	0.43±0.09 ^a
C22:5n-3	0.58±0.01 ^a	0.47±0.16 ^a	0.46±0.04 ^a	0.43±0.03 ^a	0.52±0.07 ^a	0.45±0.10 ^a
C22:6n-3(DHA)	5.35±0.64 ^a	3.35±1.57 ^b	3.75±0.83 ^a	2.92±0.68 ^b	4.55±1.09 ^a	3.13±1.11 ^b
ΣPUFA	32.12±4.50 ^a	29.89±4.84 ^b	30.91±4.74 ^b	28.51±4.59 ^c	31.52±4.70 ^a	29.22±4.79 ^a
ΣHUFA	12.50±1.83 ^A	8.80±1.12 ^{BC}	9.30±1.25 ^B	7.89±0.95 ^C	10.90±1.54 ^a	8.36±1.03 ^b
Σn-3PUFA	9.43±2.26 ^a	7.22±1.57 ^{bc}	7.89±1.78 ^b	6.68±1.43 ^c	8.66±1.98 ^a	6.95±1.50 ^b
Σn-6PUFA	20.42±7.12 ^a	20.63±7.89 ^a	21.00±8.03 ^a	19.93±7.76 ^a	20.71±7.57 ^a	20.30±7.82 ^a
n-3/n-6	0.46±0.02 ^a	0.35±0.01 ^a	0.38±0.01 ^a	0.34±0.01 ^a	0.42±0.02 ^a	0.34±0.01 ^a
DHA+EPA	6.01±0.65 ^A	3.78±0.98 ^B	4.18±0.86 ^A	3.35±0.72 ^B	5.10±1.21 ^a	3.56±1.18 ^b

近年来,越来越多的研究表明甲壳类不同生长阶段的营养有所不同,通常成体阶段的蛋白需求低于幼体和稚体阶段,而脂肪需求却高于这2个阶段,且成体阶段雌雄个体也表现出极大的差异^[18,19,20]。本研究发现,配合饲料和冰鱼投喂对雌、雄中华绒螯蟹不同蜕壳阶段的体质量(BW)、WGR和SGR的增长有所差异。黄姝等^[21]对实验条件下中华绒螯蟹上的研究结果也表明,中华绒螯蟹BW呈缓慢上升趋势,而WGR和SGR则是先升后降,这与本文研究结果一致。本研究表明雌蟹第3次蜕壳后冰鱼组对中华绒螯蟹BW的增加极显著高于配合饲料组,这可能由于中华绒螯蟹在经历2~3次蜕壳后,进入生殖蜕壳阶段^[22],该

阶段中华绒螯蟹性腺开始发育,大量物质开始积累,中华绒螯蟹更偏向于摄食脂肪源更高的冰鱼来增加体质量。对于雌蟹,尤其是第2次蜕壳后的增重率WGR增长最快,这主要由于雌蟹肩负着生殖的任务,冰鱼更高的能量源能提升雌蟹对营养员的吸收与转化,加之第2壳正值5—6月份,水温稳定,昼夜温差不大,加快了雌蟹的生长速度,这与周刚等^[23]研究结果相一致。相反,雄蟹WGR则表现出配合饲料组优于冰鱼的结果,这可能由于雌体蜕壳早于雄体,配合饲料中更加均衡的营养,利于蜕壳前的营养积累,导致了第1次蜕壳和第4次蜕壳后配合饲料和冰鱼投喂其增重率的差异性。SGR则是配合饲料组要好于冰鱼组,且第1次蜕壳差异显著,可能由于配合饲料更好的适口性和诱食效果能够提升中华绒螯蟹前期的SGR。本实验表明2种饲料投喂对中华绒螯蟹不同蜕壳期和性别有着明显的差异,这也为中华绒螯蟹养殖精准投喂和饲料选择有着重要的帮助。

3.2 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肥满度及性腺发育的影响

生殖蜕壳是甲壳类动物由未成熟向性成熟发展的重要过程,是性腺发育的最初阶段^[24]。成蟹的品质不仅影响其市场需求,而且还影响其可食性产量和营养价值,而成蟹品质的好坏则由成蟹的发育度和肥满度决定,而其肝胰腺和性腺的发育度则决定着整体的肥满度^[25,26]。相关研究发现,冰鱼不仅具有高蛋白和高脂肪的特点,而且还具有一定的外源性消化酶,因此中华绒螯蟹对冰鱼等动物蛋白源的消化和能量积累要高于植物性蛋白源以及配合饲料^[27,28]。本研究与之前研究恰好相反,在该养殖条件下配合饲料投喂对中华绒螯蟹HSI向GSI转化要好于冰鱼,但是配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹CF、HSI和GSI无显著影响。魏建军等^[29]对中华绒螯蟹的研究表明,养殖环境中,中华绒螯蟹摄食维生素丰富的水草,可以保证机体营养物质的正常代谢,可有效提高营养物质的转化率,这可能是配合饲料中添加的复合维生素对成蟹性腺的积累起到了促进作用。

3.3 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肌肉游离氨基酸的影响

中华绒螯蟹的营养价值和商业价值主要取决于其可食部位的营养成分和品质含量,而其风味主要与游离氨基酸和脂肪酸的含量有关,而影响其风味和营养最直接的则是饵料类型和质量^[30,31]。相关研究表明,饵料中的蛋白质在水产动物体内消化,转变成各种氨基酸,输送至各个组织细胞中,合成自身特殊的蛋白质和活性物质^[32]。氨基酸的变化主要与能量利用和蛋白质合成相关,冰鱼有着更高的蛋白质含量,且具有一定的外源消化酶促进了中华绒螯蟹对冰鱼蛋白质中氨基酸的利用率与吸收^[27],分析可能是本研究冰鱼组中华绒螯蟹肌肉中的总必须氨基酸($\sum\text{TEAA}$)、总呈味氨基酸($\sum\text{FAA}$)、氨基酸总量($\sum\text{TAA}$)以及绝

大多数氨基酸含量均是冰鱼组优于配合饲料组的主要原因。周凡等^[33]对水产动物研究表明,精氨酸的含量越高,水产动物的生长速度越快,这与本研究结果一致,分析可能是冰鱼中精氨酸含量丰富,促进了冰鱼组中华绒螯蟹的生长性能。熊益民等^[34]研究了低鱼粉饲料中添加不同脯氨酸对凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 生长的影响,发现脯氨酸对生长无明显影响,只是随着添加量的增加而增加,这与本研究中冰鱼组中华绒螯蟹肌肉脯氨酸含量显著小于配合饲料组一致,这可能是配合饲料中所存在的脯氨酸含量可能高于冰鱼组。

3.4 配合饲料和冰鱼投喂对中华绒螯蟹肌肉脂肪酸的影响

蟹类机体脂肪酸组成含量与饵料脂肪酸含量具有直接的相关性^[35,36]。阙有清等^[37]对配合饲料替代杂鱼研究发现,配合饲料和杂鱼对中华绒螯蟹肝胰腺和性腺影响较大,而对肌肉脂肪酸影响较少,这与本研究配合饲料和冰鱼投喂对总饱和脂肪酸 (Σ SFA)、总单不饱和脂肪酸 (Σ MUFA)、总多不饱和脂肪酸 (Σ PUFA) 和总高度不饱和脂肪酸 (Σ HUFA) 无显著差异所一致,这可能由于中华绒螯蟹性腺和肝胰腺脂肪酸周转代谢较快,而肌肉脂肪酸组成相对稳定^[38]。Kimata 等^[39]研究发现棕榈酸油 (C16:1) 含量与口味之间存在着较高的正相关性,棕榈油酸含量越高肌肉品质也越好,本研究表明冰鱼组中棕榈油酸 (C16:1) 和油酸 (C18:1n-9) 含量要显著高于配合饲料,这可能是冰鱼有着更丰富的脂肪源,促进了两种脂肪酸的积累。相反,配合饲料组投喂却在 ARA (C20:4n-6) 和 DHA (C22:6n-3) 两类脂肪酸含量上显著高于冰鱼组,这可能是配合饲料具有更加均衡的配方,利于这两种脂肪酸的吸收与积累。

总之,该养殖条件下,中华绒螯蟹在配合饲料和冰鱼投喂下能完成生长蜕壳,但是性腺发育配合饲料却有着更明显的促进作用,中华绒螯蟹肌肉的营养品质虽然冰鱼要好于配合饲料投喂,但二者差异并不是很明显。综合比较配合饲料和冰鱼投喂 2 种方式,配合饲料投喂对中华绒螯蟹产业发展有着巨大的潜力和优势。

参考文献: 略

原文刊登在 (水产学报录用定稿) 网络首发时间: 2020-09-16 17:18:47

饲料研发

饲喂不同浓度黄曲霉毒素 B₁ 饲料对花鳊鲴幼鱼生长、抗氧化能力和毒素积累的影响

黄莹 韩金高 朱晓鸣 赵一新 王寿昆 胡职豪 陈新华

福建农林大学海洋研究院福建省海洋生物技术重点实验室 福建农林大学动物科学学院 中国科学院水生

摘要: 以含不同浓度黄曲霉毒素 B₁(AFB₁) (0、10、100、1000 µg/kg 饲料)的 4 种饲料饲喂平均初始体重为 6.41g±0.10g 的花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)幼鱼 56d, 探讨 AFB₁ 对花鳗鲡幼鱼生长性能、抗氧化能力、肝脏组织结构以及鱼体肌肉中的毒素积累的影响。结果表明, 在实验过程中各实验组幼鱼均未表现出行为及体色的异常。1000 µg/kg 毒素组幼鱼的存活率、终末体重、摄食率、特定生长率和饲料效率显著低于对照组, 10µg/kg 毒素组和 100µg/kg 毒素组与对照组无显著差异。10µg/kg 毒素组幼鱼肝脏超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、肝脏胱甘肽转移酶(GST)活性和丙二醛(MDA)含量与对照组无显著差异。饲料 AFB₁ 含量≥100 µg/kg 显著影响花鳗鲡幼鱼肝脏的超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和谷胱甘肽转移酶(GST)活性。对照组和 10µg/kg 毒素组幼鱼肝脏组织学观察未发现明显病理变化。1000 µg/kg 毒素组幼鱼的肝脏细胞表现出严重的空泡化。随着饲料 AFB₁ 水平的升高, 幼鱼肝脏和肌肉中 AFB₁ 积累量均显著升高。1000µg/kg 毒素组幼鱼肝脏和肌肉中 AFB₁ 积累量分别为 17.75 和 5.98µg/kg, 均超过 FDA 食品安全限定标准(5 µg/kg)。由此可见, 饲料中 AFB₁≤10 µg/kg 对花鳗鲡幼鱼是相对安全的浓度。

关键词: 黄曲霉毒素 B₁; 花鳗鲡幼鱼; 生长; 肝脏; 毒素积累;

Effects of dietary aflatoxin B₁ on growth, antioxidant capacity and tissue accumulation of juvenile marbled eel(*Anguilla marmorata*)

HUANG Ying HAN Jin-Gao ZHU Xiao-Ming ZHAO Yi-Xin WANG Shou-Kun HU Zhi-Hao CHEN Xin-Hua

Key Laboratory of Marine Biotechnology of Fujian Province, Institute of Oceanology, Fujian Agriculture and Forestry University China College of Animal Science, Fujian Agriculture and Forestry University State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences

Abstract: A 56-day feeding trial was conducted to evaluate the effects of dietary aflatoxin B₁ (AFB₁) on growth performance, antioxidant capacity, histological changes and accumulation in juvenile marbled eel (*Anguilla marmorata*). Triplicate groups of marbled eel (6.41 g±0.10 g) were fed with four diets containing 0, 10, 100 and 1000 µg/kg AFB₁. No unusual behavior or external changes were observed in fish fed diets containing AFB₁. Significant lower survival rate, final body weight (FBW), feeding rate (FR), specific growth rate (SGR) and feed efficiency (FE) were observed in fish fed with 1000 µg/kg AFB₁, while no significant differences were found among other groups. There were no significant differences in activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px), glutathione S-transferase (GST), and malondialdehyde (MDA) in liver

between the control and 10 $\mu\text{g/kg}$ AFB₁ diet group. AFB₁ above 100 $\mu\text{g/kg}$ significantly impact activities of SOD, GSH-Px and GST in liver. No significant histological lesions in liver were identified under the microscope between the control and 10 $\mu\text{g/kg}$ AFB₁ diet group. Severe vacuolar degeneration of hepatocytes was found when fish fed with diet containing 1000 $\mu\text{g/kg}$ AFB₁. AFB₁ accumulation in fish liver and muscle significantly increased with increased dietary AFB₁ levels, which was 17.75 and 5.98 $\mu\text{g/kg}$ in fish fed with 1000 $\mu\text{g/kg}$ AFB₁ (above the safety limitation of 5 $\mu\text{g/kg}$ as proposed by FDA). It could be confirmed that 10 $\mu\text{g/kg}$ AFB₁ was the safe level in juvenile marbled eel diet.

Keyword: Aflatoxin B₁; Juvenile marbled eel; Growth; Liver; Accumulation;

黄曲霉毒素(Aflatoxins, AFT)污染是一个全球性的问题,在热带或亚热带地区尤为严重,而这些地区的水产品养殖量占到全球年产量的 80%左右^[1]。在高温、高湿的天气下,饲料原料如花生、玉米、豆粕、鱼粉和鱼类副产品等在贮存期间,或饲料在加工和青贮过程中,处理不当容易滋生霉菌,并进一步产生 AFT 污染^[2]。Chen 和 Rawlings^[3] 抽查 334 个亚洲的商品饲料和原料有 96.1%的样品含有 AFT。王国强等^[4]对中国各省采集的 321 份饲料和原料样品进行了检测,平均 AFB₁ 检出率为 67.3%;其中饲料中 AFB₁ 检出率高达 84.2%,阳性样品 AFB₁ 平均值及最高值分别为 14.3 $\mu\text{g/kg}$ 和 43.2 $\mu\text{g/kg}$ 。

AFT 是由黄曲霉(*Aspergillus flavus*)和寄生曲霉(*Aspergillus parasiticus*)产生的以二氢呋喃环和香豆素为基本结构的次级代谢产物^[5]。在天然谷物和食品中以 AFB₁ 最为常见^[1]。AFB₁ 被动物摄入后,转化为 AFB₁-8,9-环氧化物(AFBO),AFBO 以共价键结合于 DNA、RNA 和蛋白质,形成加合物,导致肝细胞损伤和肝脏坏死,而呈现其致癌性^[2,6]。根据中华人民共和国农业行业标准(NY5072-2002),我国渔用配合饲料中 AFB₁ 的安全限量标准为 10 $\mu\text{g/kg}$ ^[7]。目前的研究表明,AFB₁ 会引起水生动物行为异常、生长减缓,免疫抑制、抗氧化损伤、组织病变等^[8,9,10,11,12,13]。草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)终末体重、摄食率和特定生长率随日粮 AFB₁ 水平的升高呈线性下降,抗氧化系统和肾脏、脾脏组织结构均受到显著影响^[14]。AFB₁ 会抑制虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)免疫球蛋白的生成以及免疫细胞的增殖^[15]。另外,动物摄入 AFB₁ 后,由于 AFB₁ 的高脂溶性,很快被胃肠道吸收,并进入循环系统,而在各个组织中沉积^[2]。异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)摄食 1000 μg AFB₁/kg 饲料 84d 后肝胰脏和肌肉 AFB₁ 积累量分别达 11.8 $\mu\text{g/kg}$ 和 2.35 $\mu\text{g/kg}$ ^[16]。黄河鲤鱼(*Cyprinus carpio* var)摄食 50 μg AFB₁/kg 饲料 60d 后性腺 AFB₁ 含量为 2.71 $\mu\text{g/kg}$ ^[17]。由于 AFT 具有热稳定性,在温度高达 268℃左右时才能分解^[5],食物烹调过程一般难以去除,因此, AFT 可能通过

食物链而对人类食品安全造成危害。

花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)广泛分布在热带和亚热带水域内，是分布领域最广的鳗鲡品种^[18]。花鳗鲡在苗种资源里具有较大的资源量，且在生长后期体型较大，具有较好的开发前景^[19]。规模化鳗鲡健康养殖的重要物质基础是优质配合饲料^[20]。然而近年来随着鱼粉资源日趋紧张，鱼粉价格高涨，为缓解对鱼粉的需求压力，一些蛋白原料替代了部分鱼粉，可能对鳗鲡饲料品质造成了一定程度的影响^[21]。迄今为止，有关 AFB₁ 在水生动物中的毒理学研究尚不完整，不同品种对 AFB₁ 的敏感性差别较大^[1,5,8,12]。以往的研究表明温水性鱼类比冷水性鱼类更能耐受 AFB₁^[2,22,23,24,25]。本实验以饲喂含 AFB₁ 饲料的方式，开展花鳗鲡幼鱼的亚慢性致毒实验，旨在研究长期摄食 AFB₁ 对花鳗鲡幼鱼生长、摄食、抗氧化能力、组织学方面的影响，以及 AFB₁ 在肌肉中的积累情况，进而评估 AFB₁ 污染对花鳗鲡健康养殖造成的潜在威胁。

1 材料与方法

1.1 养殖系统

本实验在微流水养殖系统中进行，实验系统由 12 个圆形的 pp 材质养殖桶组成，每个桶的底面直径为 80 cm, 桶高为 70 cm, 实验水体体积为 180 L/缸。每缸的水流速度为 0.5L/min。每天监测 2 次气温和水温。每 2 周测定水体的溶氧和氨氮含量。实验期间，水温范围维持在 24~28℃。饲养用水为经充分曝气的自来水以保正水体的溶氧含量大于 5 mg/L，氨氮范围为 0.2~0.4 mg/L。实验期间水体的 pH 为 6.8~7.0，光照周期为 12L:12D(6:30 至 18:30)。

1.2 实验饲料及实验设计

表 1 实验基础饲料的常规化学成分（%干物质）
Tab. 1 Proximate analyses of the basal diet (% in dry matter)

饲料化学成分 Chemical composition	含量 Content (%)
粗蛋白 Crude protein	47.0
粗脂肪 Crude lipid	7.5
水分 Moisture	4.7
灰分 Ash	15.4

实验选用的基础饲料为天马公司生产的幼鳗配合饲料。实验基础饲料的常规化学成分如表 1 所示。实验基础饲料添加 AFB₁ 配制成不同毒素浓度(0、10、100、1000 μg/kg)的 4 种实验饲料，通过酶联免疫法(ELISA)测得饲料中 AFB₁ 含量分别为 1.3、11.6、103.5 和 989.5

$\mu\text{g/kg}$ 饲料, AFB₁ 浓度的设计参考已有的关于 AFB₁ 在水产动物的研究报道^[1,2,24,25,33]。制备实验饲料前, 首先将 AFB₁(购自美国 Sigma 公司)溶于橄榄油, 以配制成浓度为 500 $\mu\text{g/mL}$ 的母液。然后按照设计值添加相应量到大豆油中, 最后将含有不同浓度 AFB₁ 的大豆油按照 3% 的添加量加到各组实验饲料中混合均匀, 储存于 -20℃ 冰箱。

1.3 实验鱼与饲养实验

实验鱼为花鳊黑仔鳊, 来源于福建省福州市贵安鳊场, 将其在室内养殖系统中暂养 2 周, 然后转入实验系统驯养 1 周。暂养和驯化阶段均饲喂实验基础饲料。实验开始前将实验鱼饥饿 24h, 然后选取外表无损伤, 活力较好且规格较为一致的花鳊幼鱼 240 尾(平均体重为 6.41 g), 随机放入 12 个实验鱼缸中。将这 12 个缸随机分成 4 个实验组, 每组 3 个平行, 每缸 20 尾, 进行为期 56d 的养殖实验。暂养和实验期间每日的饲喂时间均为 7: 00 与 16: 30。将饲料加入一定比例的水制作成团状饲料, 投喂量为鱼体重的 3%~5%, 每天记录各个缸的实际投喂量。投喂 1 小时后捞取残饵, 烘干后称重。在实验结束时, 实验鱼饥饿 24h 后称量和记录每缸鱼的终末体重。

1.4 实验取样

在实验结束时, 每缸随机取 15 尾鱼用 MS-222 麻醉, 麻醉后随机取 3 尾在冰盘上解剖出肝脏, 后放入冻存管中经液氮急冻, 稍后转移到 -80℃ 冰箱中保存, 用作抗氧化酶的测定。另外随机取 3 尾鱼进行解剖, 取肝脏用中性甲醛固定后采用 HE 染色法进行组织切片制作。剩余所有肝脏冷冻干燥后用于肝脏中 AFB₁ 含量分析。每缸 12 尾鱼均在冰盘上解剖, 取背部白肌进行冷冻干燥, 用于测定肌肉中 AFB₁ 含量。

1.5 样品的测定

本实验基础饲料中干物质、粗蛋白、粗脂肪和灰分的含量测定参照文献[26]的方法进行。饲料干物质在 105℃ 下烘干至恒重, 通过失重法测定。饲料粗蛋白含量使用凯氏定氮仪 (Kjeltec8400, FOSS) 测定。饲料粗脂肪含量使用索氏抽提仪 (ST243, FOSS) 进行测定。饲料样品在马福炉中 550℃ 燃烧 3h, 以失重法测定灰分。

采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定肝脏中超氧化物歧化酶 (SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、过氧化氢酶 (CAT) 活性、谷胱甘肽 S 转移酶 (GST) 活性和丙二醛 (MDA) 含量。鱼体肝脏和肌肉 AFB₁ 积累量采用 ELISA 法^[11,23]进行测定(试剂盒购自北京百灵康源生物公司)。

1.6 数据处理

利用以下公式计算存活率、摄食率、饲料效率和特定生长率：

存活率(SR) (%)=100 × (剩余尾数/初始尾数)

摄食率(FR) (%BW/d) =100×I/[(W₁+W₂)/2]/t

饲料效率(FE) (%)=100×(W₂-W₁)/I

特定生长率(SGR) (%/d)=100×(LnW₂-LnW₁)/t

其中，W₁ 为平均初始体重(g)，W₂ 为平均终末体重(g)，t 为实验天数(d)，I 为摄食量(g)。实验数据使用 SPSS Statistics 17.0 进行统计分析。实验结果经一元方差分析 (One-way ANOVA) 后，用 Duncan's 进行多重比较，当 P<0.05 时，为差异显著。

2 结果

2.1 饲料中 AFB₁ 水平对花鳗鲡幼鱼存活和生长的影响

在整个实验过程中，各实验组花鳗鲡幼鱼均未表现出行为异常和体色变化。如表 2 所示，10 µg/kg 与 100 µg/kg 毒素组花鳗鲡幼鱼的终末体重(FBW)、存活率(SR)、摄食率(FR)、特定生长率(SGR)、饲料效率(FE)均与对照组无显著性差异(P>0.05)。1000 µg/kg 毒素组的 FBW、SR、FR、SGR 和 FE 均显著低于对照组(P<0.05)。

表 2 饲料 AFB₁ 水平对花鳗鲡幼鱼初始体重 (IBW)、终末体重 (FBW)、存活率 (SR)、摄食率 (FR)、特定生长率 (SGR) 和饲料效率 (FE) 的影响 (平均值±标准误) *

Tab. 2 Effects of dietary AFB₁ on initial body weight (IBW), final body weight (FBW), survival (SR), feeding rate (FR), specific growth rate (SGR), feed efficiency (FE) of juvenile marbled eel (mean ± S.E) *

AFB ₁ 添加量 Supplemented AFB ₁ (µg/kg diet)	0	10	100	1000
初始体重 IBW(g)	6.43±0.06	6.39±0.08	6.42±0.10	6.40±0.05
终末体重 FBW (g)	11.5±0.2 ^a	11.8±0.4 ^a	10.7±0.4 ^a	8.0±0.5 ^b
存活率 SR (%)	93.3±4.4 ^a	91.7±3.3 ^{ab}	90.0±2.9 ^{ab}	80.0±2.9 ^b
摄食率 FR (%BW/d)	1.54±0.01 ^a	1.59±0.04 ^a	1.40±0.00 ^a	0.75±0.15 ^b
特定生长率 SGR (%/d)	1.04±0.03 ^a	1.09±0.06 ^a	0.91±0.10 ^a	0.38±0.12 ^b
饲料效率 FE (%)	65.7±1.8 ^a	66.4±1.7 ^a	63.2±6.5 ^{ab}	48.8±6.4 ^b

注：*同列数据后面英文字母不同者表示各组之间差异显著 (P<0.05)Note: * Different superscript letters within each column represent significant differences (P < 0.05)

2.2 饲料 AFB₁ 水平对花鳗鲡幼鱼抗氧化指标的影响

如表 3 所示，10 µg/kg 毒素组花鳗鲡幼鱼肝脏的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、肝脏谷胱甘肽转移酶(GST)活性和丙二醛(MDA)

含量均与对照组无显著性差异($P>0.05$)。100 $\mu\text{g/kg}$ 毒素组花鳗鲡幼鱼肝脏的SOD、GSH-Px、GST活性均显著低于对照组($P<0.05$),CAT活性和MDA含量均与对照组无显著差异($P>0.05$)。与对照组相比,1000 $\mu\text{g/kg}$ 毒素组花鳗鲡肝脏幼鱼的SOD、CAT、GSH-Px、GST活性均显著降低($P<0.05$),MDA含量显著升高($P<0.05$)。

表 3 饲料 AFB₁ 水平对花鳗鲡幼鱼肝脏超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、肝脏胱甘肽转移酶 (GST) 活性和丙二醛 (MDA) 含量的影响 (平均值±标准误差)*

Tab. 3 Effects of dietary AFB₁ on liver activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px), glutathione S-transferase (GST), and malondialdehyde (MDA) of juvenile marbled eel (mean ± S.E)*

AFB ₁ 添加量 Supplemented AFB ₁ ($\mu\text{g/kg}$ diet)	0	10	100	1000
SOD (U/mg prot)	281.0±7.3 ^a	295.9±5.9 ^a	256.9±5.8 ^b	245.0±1.7 ^b
CAT (U/mg prot)	123.5±12.2 ^a	119.6±10.5 ^{ab}	118.8±9.3 ^{ab}	89.3±4.1 ^b
GSH-Px (U/mg prot)	372.7±15.6 ^a	389.5±13.6 ^a	283.7±7.3 ^b	262.1±14.9 ^b
GST (U/mg prot)	255.0±10.2 ^a	256.0±12.8 ^a	206.1±6.2 ^b	175.6±17.9 ^b
MDA (nmol /mg prot)	3.55±0.12 ^a	3.79±0.08 ^{ab}	3.69±0.25 ^{ab}	4.32±0.24 ^b

注: *同列数据后面英文字母不同者表示各组之间差异显著 ($P<0.05$)Note: * Different superscript letters within each column represent significant differences ($P < 0.05$)

2.3 饲料中 AFB₁ 水平对花鳗鲡幼鱼肝脏组织学的影响

肝脏组织学观察结果如图 1 所示,对照组花鳗鲡幼鱼的肝细胞排列整齐,细胞界限清晰,核大而圆,液泡较为丰富。10 $\mu\text{g/kg}$ 毒素组花鳗鲡幼鱼的肝细胞呈现出正常的均匀分布,与对照组肝脏细胞的大小、形状、排列方式均无明显差别。100 $\mu\text{g/kg}$ 毒素组花鳗鲡幼鱼的部分肝细胞形状不规则,细胞之间界限不清晰,部分区域出现了空泡化。1000 $\mu\text{g/kg}$ 毒素组花鳗鲡幼鱼的肝脏则观察到较严重的病理变化,肝细胞界限基本消失,细胞膜和细胞质溶解,细胞核呈多形;细胞空泡化明显增多,细胞核被挤到细胞一侧。

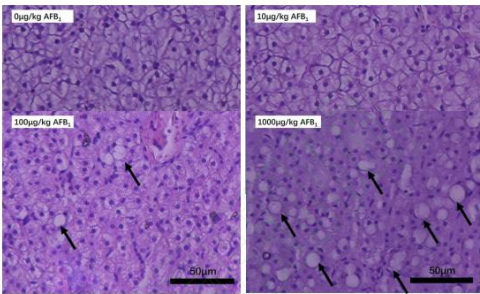


图 1 饲料中 AFB₁ 对花鳗鲡幼鱼肝脏组织学的影响 (H&E, 标尺为 50 μm) ↓箭头指示的为肝脏细胞的空泡化
Fig. 1 Liver of juvenile marbled eel fed with diets containing AFB₁ (H&E, Bar = 50 μm) ↓Arrow indicated vacuolar degeneration of hepatocytes

2.4 饲料 AFB₁ 水平对花鳊鲴幼鱼肝脏和肌肉的 AFB₁ 积累水平的影响

随着饲料中 AFB₁ 水平的增加，花鳊鲴幼鱼肝脏和肌肉中 AFB₁ 的含量均显著升高 (P<0.05)，各组间均存在显著差异(P<0.05)。

表 4 饲料中 AFB₁ 水平对花鳊鲴幼鱼肝脏和肌肉 AFB₁ 积累 (μg/kg 湿重)的影响 (平均值±标准误)*
Tab. 4 Effects of dietary AFB₁ on AFB₁ accumulation (μg/kg wet weight) in liver and muscle of juvenile marbled eel (mean ± S.E) *

AFB ₁ 添加量 Supplemented AFB ₁ (μg/kg diet)	0	10	100	1000
肝脏 AFB ₁ 积累量 AFB ₁ accumulation in hepatopancreas	0.25±0.07 ^a	3.21±0.56 ^b	9.21±0.58 ^c	17.75±1.48 ^d
肌肉 AFB ₁ 积累量 AFB ₁ accumulation in muscle	0.13±0.07 ^a	1.20±0.16 ^b	3.49±0.27 ^c	5.98±0.18 ^d

注: *同列数据后面英文字母不同者表示各组之间差异显著 (P<0.05)Note: * Different superscript letters within each column represent significant differences (P < 0.05)

3 讨论

3.1 饲料中 AFB₁ 水平对花鳊鲴幼鱼的存活和生长的影响

AFB₁ 会导致部分水生动物的行为异常，体表黄化，食欲下降及体重减轻，甚至死亡率增高^[2]。喂食含 AFB₁ 的饲料可引起银鲶(Rhamdia quelen)脑突触乙酰胆碱酯酶活性变化，造成血脑屏障的紊乱和脑损伤，这些可能是导致鱼类行为变化的部分原因^[27]。当日粮中 AFB₁ 水平达到或超过 59 μg/kg 时，草鱼出现体表变黄、尾鳍畸形、骨骼发育异常等现象^[14]。在本实验中，摄食不同浓度 AFB₁ 饲料的花鳊鲴均未出现明显的行为异常和体色的变化。尼罗罗非鱼(Oreochromis niloticus)摄食 10 mg/kg AFB₁ 的饲料 8 周后,对其死亡率无显著影响^[24]。在饲料中添加 25、50、100、500 和 1000 μg/kg AFB₁，均不会对凡纳滨对虾 (Litopenaeus vannamei)的存活率造成负面影响，但是显著影响增重率和特定生长率^[13]。奥尼罗非鱼(Oreochromis niloticus ♀ × O. aureus ♂)的摄食率和饲料中 AFB₁ 浓度存在剂量效应，摄食率随 AFB₁ 浓度的升高而降低^[11]。尼罗罗非鱼摄入 2 mg/kg AFB₁，终末体重、增重率和饲料转化率分别比对照组降低 19.85%、24.18%和 34.21%^[28]。但斑点叉尾鲷 (Ictalurus punctatus)摄入 AFT12 周，对其摄食、生长和饲料效率均无显著影响^[29]。这些研究结果表明，不同鱼类对 AFB₁ 的耐受性存在较大的差别，虹鳟等被证明是对 AFB₁ 最敏感的鱼类之一^[1,2,15,22]。在本实验中，当饲料中 AFB₁≤100 μg/kg 时花鳊鲴幼鱼的终末体重、存活率、摄食率、特定生长率和饲料效率均与对照组无显著性差异;但当 AFB₁ 达 1000 μg/kg 时，

以上指标均显著低于对照组。AFB₁对生长的负面影响可能是由于高剂量的 AFB₁ 造成机体消化机能受损, 消化酶活性下降, 对糖类及脂肪等营养物质的吸收和利用率降低, 影响了机体的生长发育^[5,30]。

3.2 饲料中 AFB₁ 水平对花鳊幼鱼抗氧化能力的影响

需氧生物体内抗氧化的防御系统主要由一系列抗氧化酶构成, 其酶活性的高低在一定程度上反映了生物体的健康状况。肝脏中的抗氧化酶主要由超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶等构成, 抗氧化酶可清除或中和自由基和活性氧(ROS)^[31]。AFB₁ 经过细胞色素 P450 活化转化成的 AFBO 具有亲电性, 导致体内产生的大量自由基和 ROS, 肝细胞自由基清除系统受损, 机体的抗氧化能力大大降低^[32]。ROS 还可破坏细胞膜上的不饱和脂肪酸, 并引发脂质过氧化反应, 产生 MDA、羟基、羰基以及新的氧自由基^[1]。MDA 的含量不仅可以反映出生物体体内脂质过氧化的程度, 而且间接地体现出机体细胞受损伤的程度^[5]。AFB₁ 可上调草鱼细胞内信号通路中的调节蛋白 keap1a, 下调核转录因子 Nrf2, 从而抑制 SOD、CAT、GSH-Px、GST 等抗氧化酶的基因表达和酶活力^[14]。AFB₁ 显著降低了罗非鱼体内 GSH、SOD、GSH-Px 和 CAT 的活性^[28]。饲喂含 AFB₁ 的饲料后黄河鲤鱼血清和肝脏 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性均显著降低, MDA 含量显著升高^[5]。GST 在 AFB₁ 的代谢过程中起着非常重要的作用, 可催化 AFBO 与 GSH 共轭生成水溶性化合物, 使 AFB₁ 及其代谢物得以排出体外, 缓解 AFB₁ 造成的毒性^[33]。凡纳滨对虾摄入 5 mg/kg AFB₁ 后, 肝脏 GST 活性受到显著影响^[34]。在本实验中, 花鳊幼鱼摄入 1000 µg/kg AFB₁ 后, 肝脏 SOD、CAT、GSH-Px、GST 活性均显著降低, MDA 含量显著升高, 表明 AFB₁ 可显著影响花鳊幼鱼抗氧化能力。该结果与王静^[35]的报道相似, AFB₁ 通过削弱机体的抗氧化能力, 使对虾的抗病能力减弱, 从而降低其对外界细菌的抵御性。

3.3 饲料中 AFB₁ 水平对花鳊幼鱼的肝脏组织学影响

AFB₁ 的主要靶器官是肝脏, 会引起肝脏功能紊乱和损伤, 表现为肝脏水肿, 肝脏细胞受损, 空泡化严重, 炎症细胞增多^[2]。用 15 mg/kg 的 AFB₁ 饲喂凡纳滨对虾 12d 会导致肝胰腺严重损伤, 肌上皮层和肝胰腺上皮细胞分离; 空泡细胞内脂肪过多, 核固缩, 细胞溶解, 细胞坏死; 基膜部分区域溶解, 管腔星形结构消失, 储存细胞萎缩或消失^[34]。尼罗罗非鱼摄入 2.5 mg/kg AFB₁ 84d 后肝胰腺内腺泡坏死, 核固缩; 肝脏出现较大规模坏死, 淤血, 充血, 淋巴细胞浸润^[36]。大盖巨脂鲤(*Colossoma macropomum*)摄入 1000 µg AFB₁/kg 饲料后肝细胞空泡、坏死, 细胞核萎缩^[37]。凡纳滨对虾摄入含 38.1 µg/kg 和 54.9 µg/kg AFB₁

的饲料 56d 后, 其肝脏无明显病变; 当饲料中 AFB₁ 水平超过 107.6 μg/kg 时, 对虾肝胰腺出现明显的萎缩和不规则的管状结构, 储存细胞和分泌细胞减少^[13]。与以上研究结果不同, 异育银鲫摄食 500 μg AFB₁/kg 饲料 56d 后肝脏未见明显的组织学病理变化^[23]。在本实验中, 饲料 AFB₁ 含量为 100 μg/kg 时会引起花鳊幼鱼细胞界限不清晰和小部分细胞空泡化。随着 AFB₁ 浓度的升高, 肝脏损伤更为明显, 出现严重的空泡样变性。上述结果表明, AFB₁ 对肝脏组织的损伤程度与毒素的剂量以及受试动物的种类有关。

3.4 饲料 AFB₁ 水平对花鳊幼鱼肝脏和肌肉 AFB₁ 积累水平的影响

AFB₁ 进入动物体内后, 部分会被转化成 AFBO, 或者通过其它代谢物形式积累在不同组织中^[1]。FDA 规定食品中 AFB₁ 的安全限量为 5 μg/kg^[38]。尼罗罗非鱼摄入 2000 μg/kg AFB₁ 后, 全鱼鱼体 AFB₁ 积累达到 21.18 μg/kg^[28]。饲喂黄河鲤鱼 55 μg AFB₁/kg 饲料 30d 后, 肝胰脏中 AFB₁ 积累量为 5.52 μg/kg^[5]。大盖巨脂鲤摄入 1000 μg AFB₁/kg 饲料 39d 后, 肌肉 AFB₁ 含量为 3.28 μg/kg^[37]。杂交鲟(*Acipenser ruthenus* ♀×*A. baerii* ♂)肝脏和肌肉中的 AFB₁ 积累均随着饲料中 AFB₁ 水平的升高而增加, 且呈线性相关^[25]。草鱼摄食 10、20、100、1000 μg/kg AFB₁ 84d 后, 其肌肉中均未检测出 AFB₁, 仅在饲喂 5000 μg/kg AFB₁ 的草鱼肌肉中检测出 1.21 μg/kg AFB₁^[39]。凡纳滨对虾摄入 0、25、50、100、1000 μg/kg AFB₁ 56d, 肌肉中均未发现 AFB₁ 残留^[13]。在本实验中, 花鳊幼鱼肝脏和肌肉 AFB₁ 积累随着饲料中 AFB₁ 水平的增加而显著增加, 同一 AFB₁ 水平下, 肝脏中 AFB₁ 的积累要高于肌肉中; 当饲料中 AFB₁ 达 100 μg/kg 时, 肝脏 AFB₁ 积累量高于 FDA 食品安全限定标准; 当饲料中 AFB₁ 达 1000 μg/kg 时, 花鳊幼鱼肝脏和肌肉中 AFB₁ 积累量均超过 FDA 食品安全限定标准。以上研究结果说明, 不同水产动物对 AFB₁ 的代谢率可能存在较大差别。总体上说, 大多数的动物肌肉中 AFB₁ 的积累量要比肝脏中低, 肝胆系统是 AFB₁ 及其代谢物积累和排泄的主要场所^[1,2,16]。

4 结论

花鳊幼鱼摄入 AFB₁ 含量为 10 μg/kg 的饲料 56d 后, 其存活率、摄食、生长、抗氧化指标、肝脏组织学均未受到显著影响。饲料中 AFB₁ 含量≥100μg/kg 时会损伤花鳊幼鱼的抗氧化能力和肝脏组织。1000 μg/kg 毒素组花鳊幼鱼肝脏和肌肉中 AFB₁ 积累量均超过 FDA 食品安全限定标准。

参考文献: 略

饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼生长性能及肉品质的影响

类延菊 晏锦 唐忠天 邹超霞 杨品红 张运生 黄海洪 黄春红 谢中国

湖南文理学院水产高效健康生产湖南省协同创新中心动物学湖南省高校重点实验室

摘要: 本试验旨在研究饲料脂肪水平对洞庭青鲫(*Carassius auratus* var. *Dongtingking*)幼鱼生长性能及肉品质的影响。将健康且体重均匀的 240 尾洞庭青鲫幼鱼随机分为 4 组, 每组 3 个重复, 每个重复 20 尾。以鱼粉、豆粕、棉籽粕、菜籽粕等为蛋白质源, 菜籽油和豆油(1:1)为脂肪源, 配制 4 种等氮不等脂的试验饲料, 各组分别饲喂脂肪水平为 0、4%、8%、12%的试验饲料。试验期 60 d。结果表明:1) 12%脂肪水平组的终末体重、增重率及特定增长率(SGR)显著高于 0 和 4%脂肪水平组($P<0.05$)。2) 12%脂肪水平组肌肉粗脂肪含量显著高于 0 和 4%脂肪水平组($P<0.05$), 12%脂肪水平组肌肉水分含量显著低于 0 脂肪水平组($P<0.05$)。3) 0 和 4%脂肪水平组肌肉铁含量显著高于 8%和 12%脂肪水平组($P<0.05$), 0 脂肪水平组肌肉镁含量显著高于 8%脂肪水平组($P<0.05$)。4) 12%脂肪水平组的肌肉多不饱和脂肪酸(PUFA)含量显著高于 0 脂肪水平组($P<0.05$), 12%脂肪水平组的肌肉中 C18:2n6、n-6 PUFA 含量及 n-6/n-3 PUFA 显著高于 0 和 4%脂肪水平组($P<0.05$), 0 脂肪水平组的肌肉中 C16:0 和饱和脂肪酸(SFA)含量显著高于 8%和 12%脂肪水平组($P<0.05$)。5) 0 脂肪水平组肌肉中非必需氨基酸和风味氨基酸含量显著高于其他各组($P<0.05$)。由此可见, 饲喂高脂肪水平(12%)饲料的洞庭青鲫幼鱼虽获得较好的生长效果, 但其肉品质有所下降。

关键词: 洞庭青鲫; 脂肪水平; 生长性能; 肉品质;

Effects of Dietary Lipid Level on Growth Performance and Flesh Quality of Juvenile *Carassius auratus* var. *Dongtingking*

LEI Yanju YAN Jin TANG Zhongtian ZOU Chaoxia YANG Pinhong ZHANG Yunsheng HUANG

Haihong HUANG Chunhong XIE Zhongguo

Key Laboratory of Zoology in Hunan Higher Education, Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Hunan University of Arts and Science

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary lipid level on growth performance and flesh quality of juvenile *Carassius auratus* var. *Dongtingking*. A total of 240 healthy juvenile *Carassius auratus* var. *Dongtingking* with similar body weight were randomly divided into 4 groups with 3 replicates per group and 20 fish per replicate. Four isonitrogenous and unequal lipid experimental diets were formulated using fish meal, soybean meal, rapeseed meal and cottonseed meal as protein source and rapeseed oil and soybean oil(1:1) as lipid source, and fish in each groups were fed experimental diets which the lipid levels were 0, 4%, 8% and 12%, respectively. The experiment lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) the final body

weight, weight gain rate and specific growth rate of 12% lipid level group were significantly higher than those of 0 and 4% lipid level groups ($P < 0.05$). 2) The muscle crude lipid content of 12% lipid level group was significantly higher than that of 0 and 4% lipid level groups ($P < 0.05$), while the muscle moisture content of 12% lipid level group was significantly lower than that of 0 lipid level group ($P < 0.05$). 3) The muscle iron content of 0 and 4% lipid level groups was significantly higher than that of 8% and 12% lipid level groups ($P < 0.05$), and the muscle magnesium content of 0 lipid level group was significantly higher than that of 8% lipid level group ($P < 0.05$). 4) The muscle monounsaturated fatty acids (PUFA) content of 12% lipid level group was significantly higher than that of 0 lipid level group ($P < 0.05$), the contents of C18:2 n6 and n-6 PUFA and n-6/n-3 PUFA in muscle of 12% lipid level group were significantly higher than those of 0 lipid level group ($P < 0.05$), and the contents of C16:0 and saturated fatty acids (SFA) in muscle of 0 lipid level group were significantly higher than those of 8% and 12% lipid level groups ($P < 0.05$). 5) The contents of nonessential amino acids and flavor amino acids in muscle of 0 lipid level group were significantly higher than those other groups ($P < 0.05$). In conclusion, the juvenile *Carassius auratus* var. *Dongtingking* fed with high lipid level (12%) diet can get better growth effect, but the flesh quality is reduced. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(12): 5839-5849]

Keyword: *Carassius auratus* var. *Dongtingking*; lipid level; growth performance; flesh quality;

随着人民消费水平的提高, 消费者越发关注养殖动物的肉品质, 而水产动物的肉品质与水产动物的营养与饲料有着紧密的联系^[1,2]。饲料中添加脂肪具有节约蛋白质的效应, 高脂饲料在水产养殖中的使用越来越广泛, 但高脂饲料在提高水产动物生长速度的同时但也影响了其肉品质^[3]。研究表明, 高脂饲料使养殖鱼体的脂肪沉积增加^[4], 鱼肉出现异腥味^[5,6]; 但也有研究表明脂肪可以使鱼肉的风味变得更加浓郁^[4], 显著影响鱼体的着色情况等^[7,8]。因此, 通过改变饲料中脂肪水平改善鱼体的肉品质是一种有效的营养调节途径。

洞庭青鲫 (*Carassius auratus* var. *Dongtingking*) 属于鲤形目 (Cypriniformes)、鲤科 (Cyprinidae)、鲤亚科 (Cyprininae)、鲫属 (*Carassius*), 是 2005 年在湖南省常德市澧水北民湖水域发现的新品系^[9]。洞庭青鲫具有生长速度快、营养价值高等优势, 但是在其营养学方面开展的研究比较少^[10], 至今还未见在其脂肪方面的相关研究。因此, 本试验以洞庭青鲫为研究对象, 研究不同的饲料脂肪水平对洞庭青鲫生长性能及肉品质的影响, 为洞庭青鲫配合饲料的开发及合理的评价脂肪对水产动物肉品质的影响提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验饲料以鱼粉、豆粕、菜籽粕、棉籽粕、小麦粉、微晶纤维素等为基础原料，添加一定量的预混料和磷酸二氢钙等添加剂，最后加入 4 种不同水平的植物油混合油脂(菜籽油：豆油=1：1)，配制成 4 组等氮不等脂试验饲料，各组试验饲料的脂肪水平分别为 0、4%、8%、12%。试验饲料组成及营养水平见表 1，试验饲料的脂肪酸组成见表 2，试验饲料的氨基酸组成见表 3。

表 1 试验饲料组成及营养水平(饲喂基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (as-fed basis) %

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
原料 Ingredients				
鱼粉 Fish meal	20.00	20.00	20.00	20.00
菜籽粕 Rapeseed meal	8.00	8.00	8.00	8.00
豆粕 Soybean meal	34.00	34.00	34.00	34.00
棉籽粕 Cottonseed meal	8.00	8.00	8.00	8.00
小麦粉 Wheat flour	12.00	12.00	12.00	12.00
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	14.36	10.36	6.36	2.36
菜籽油和豆油 Rapeseed oil and soybean oil (1:1)		4.00	8.00	12.00
预混料 Premix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2.00	2.00	2.00	2.00
防霉剂 Antifungal agent	0.03	0.03	0.03	0.03
抗氧化剂 Antioxidant agent	0.01	0.01	0.01	0.01
氯化胆碱 Choline chloride ²⁾	0.60	0.60	0.60	0.60
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels				
粗脂肪 Crude lipid	2.91	7.02	10.24	12.67
粗蛋白质 Crude protein	32.42	32.82	32.74	32.67
粗灰分 Ash	10.77	10.05	9.34	8.70

1)每千克预混料含 Per kg of permix contained the follow ing:VA 3 000 000 IU,VD₃600 000 IU,VE 3 500 mg,VK₃3 000 mg,VB₁1 100 mg,VB₂2 000 mg,VB₆8 000 mg,VB₁₂100 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 500 mg，烟酸 nicotinic acid6 00 mg，叶酸 folic acid 50 mg，生物素 biotin 1.2 mg，维生素 C 磷酸酯 vitamin C phosphate 6 000 mg，肌醇 inositol 3 200 mg,Fe (as ferrous sulfate) 5 000 mg,M g (as magnesium sulphate) 4 200 mg,Zn (as zinc sulfate) 2 000 mg,M n (as manganese sulfate) 500 mg,Cu (as copper sulfate) 150 mg,Co (as cobalt dichloride) 12 mg,Se (as sodium selenite) 3 mg,I (as potassium iodide) 30 mg。2)氯化胆碱的有效含量为 50%。Effective content of choline chloride w as 50%.

表 2 试验饲料的脂肪酸组成

Table 2 Fatty acids composition of experimental diets %

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
C14:0	1.20	0.97	0.63	0.63
C16:1n-7	2.42	1.24	0.83	0.86
C16:0	17.90	11.57	10.45	10.43
C18:2n-6	22.35	27.35	29.83	31.89
C18:1n-9	34.87	43.42	43.58	40.56

下载原表

续表 2

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
C18:3n-3	ND	ND	0.47	0.56
C18:0	5.82	4.31	4.79	5.48
C20:4n-6	ND	ND	ND	ND
C20:5n-3 (EPA)	2.61	1.43	0.81	0.99
C20:1n-11	2.49	2.50	2.52	2.35
C20:0	ND	ND	0.50	0.49
C22:6n-3 (DHA)	6.34	3.23	1.72	2.17
C22:1n-11	3.21	3.98	3.88	3.58
SFA	25.72	16.86	16.37	17.04
MUFA	42.99	51.13	50.80	47.35
PUFA	31.30	32.01	32.83	35.61
n-3 PUFA	8.95	4.66	3.00	3.72
n-6 PUFA	28.69	30.58	31.55	34.06
n-6/n-3PUFA	3.21	6.57	10.52	9.17

ND:未检测出 not detected;EPA:二十碳五烯酸 eicosapentaenoic acid;DHA:二十二碳六烯酸 docose hexaenoic acid;SFA, 饱和脂肪酸 saturated fatty acids;M UFA:单不饱和脂肪酸 monounsaturated fatty acids;PUFA:多不饱和脂肪酸 polyunsaturated fatty acids。表 7 同 the same as Table 7.

表 3 试验饲料的氨基酸组成

Table 3 Amino acids composition of experimental diets %

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
丝氨酸 Ser	39.64	39.53	39.64	40.32
酪氨酸 Tyr	17.05	17.64	17.42	17.36
半胱氨酸 Cys	3.88	4.15	4.58	4.26
脯氨酸 Pro	39.63	37.61	35.77	36.34
天冬氨酸 Asp*	90.89	90.19	90.73	91.89
谷氨酸 Glu*	2.97	2.98	2.95	2.91
甘氨酸 Gly*	60.81	60.19	60.07	61.25
丙氨酸 Ala*	49.16	48.77	49.01	49.85
组氨酸 His	60.05	60.47	59.18	59.75
精氨酸 Arg	29.52	29.52	30.48	30.21
蛋氨酸 Met	5.47	6.24	5.46	4.61
苯丙氨酸 Phe	34.87	34.85	34.99	35.70
异亮氨酸 Ile	29.07	28.87	28.76	29.69
亮氨酸 Leu	45.00	44.72	45.18	45.63
赖氨酸 Lys	426.22	427.16	425.89	426.38
苏氨酸 Thr	28.63	28.51	28.73	29.12
缬氨酸 Val	37.13	38.58	39.07	38.58
必需氨基酸 Essential amino acids	606.40	608.94	608.08	610.67
半必需氨基酸 Half-essential amino acids	89.57	89.99	89.66	89.96
非必需氨基酸 Nonessential amino acids	304.03	301.07	300.18	304.19
风味氨基酸 Flavor amino acids	203.83	202.14	202.78	205.90

*:风味氨基酸 flavor amino acids。表 8 同 the same as Table 8.

1.2 试验设计及饲养管理

用于试验的洞庭青鲫来自于湖南文理学院洞庭青鲫育种基地,平均体重为(1.12±0.02) g。

试验鱼暂养 7 d 后饥饿 24 h, 将健康且体重均匀的 240 尾幼鱼随机分为 4 组, 每组 3 个重复, 每个重复 20 尾。各组分别饲喂脂肪水平为 0、4%、8%、12% 的试验饲料。在室内养殖缸中进行 60 d 的摄食生长试验。养殖过程中的平均水温为 22~25℃, 溶氧浓度>5 mg/L, pH 为 7.1~7.3。洞庭青鲫每天的投喂量为鱼体重的 5%, 分 2 次进行投喂, 投喂时间分别为 09:00 和 17:00。

1.3 生长性能及基本营养成分的测定

摄食生长试验结束后, 测量并记录鱼体的体重, 通过终末体重、增重率、特定生长率 (specific growth rate, SGR) 来评价鱼体的生长性能, 计算公式为:

$$\begin{aligned}\text{增重率}(\%) &= 100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{初始体重}; \\ \text{SGR}(\%) &= 100 \times (\ln \text{终末体重} - \ln \text{初始体重}) / 60.\end{aligned}$$

肌肉样品暂放在-20℃冰箱保存。基本营养成分的测定: 饲料和肌肉水分含量的测定参照 GB 5009.3—2010 中的方法进行, 粗蛋白质含量的测定参照 GB 5009.5—2010 中的方法进行, 粗脂肪含量的测定参照 GB 5009.6—2010 中的方法进行, 粗灰分含量的测定参照 GB 5009.4—2010 中的方法进行。

1.4 肉品质指标的测定

饲料和肌肉脂肪酸含量的测定: 称取 0.1 g 样品(肌肉为冻干粉), 经脂肪酸甲酯化处理后在气相-质谱仪上检测^[11]。根据目标脂肪酸与所有总的脂肪酸峰面积之比, 分别求得各脂肪酸的相对含量。

肌肉矿物质含量的测定: 称取 0.1 g 左右的肌肉冻干粉, 用硝酸进行初步消解至澄清后加入过氧化氢(H₂O₂), 在消解炉中完全消解后定容, 用原子发射光谱仪进行检测, 肌肉中矿物元素含量的单位为 μg/g 鲜重。

饲料和肌肉氨基酸含量的测定: 试验样品采用 6 mol/L 盐酸水解法进行消解(色氨酸被破坏), 具体参照王煦松等^[12]所用方法, 用高效液相色谱仪对肌肉中氨基酸的含量进行分析。通过外标法得到标准曲线后计算样品中的氨基酸的相对含量, 试验所用的分析柱为 Elite-AKK 氨基酸专用的 ODS 分析柱。样品中氨基酸的含量的表示方法采用某种氨基酸的残基数在 1 000 个总氨基酸残基中所占比例来表示。

1.5 数据统计分析

所有的试验数据均采用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 当差异显著时用 Tukey 检验进行多重比较, P<0.05 表示差异显著。

2 结果

2.1 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼生长性能及存活率的影响

从表 4 可以看出, 12%脂肪水平组的终末体重、增重率及 SGR 显著高于 0 和 4%脂肪水平组($P<0.05$),8%脂肪水平组的终末体重、增重率及 SGR 与其他各组无显著差异($P>0.05$)。各组之间存活率无显著差异($P>0.05$), 各组的存活率均在 96%以上。

表 4 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼生长及存活的影响

Table 4 Effects of dietary lipid level on grow th performance and survival rate of juvenile *Carassius auratus* var.Dongtingking

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
初始体重 Initial body weight/g	1.12±0.00	1.14±0.00	1.12±0.01	1.11±0.01
终末体重 Final body weight/g	3.73±0.14 ^b	3.55±0.14 ^b	4.23±0.17 ^{ab}	4.93±0.27 ^a
增重率 Weight gain rate/%	233.37±13.30 ^b	211.84±12.35 ^b	277.01±15.67 ^{ab}	343.83±27.78 ^a
特定生长率 SGR/(%/d)	2.00±0.07 ^b	1.89±0.07 ^b	2.21±0.07 ^{ab}	2.48±0.11 ^a
存活率 Survival rate/%	100.00±0.00	100.00±0.00	96.67±3.33	96.67±3.33

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

2.2 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉基本营养成分的影响

从表 5 可以看出, 肌肉粗蛋白质含量随着饲料脂肪水平的升高而增加, 但各组之间无显著差异($P>0.05$)。肌肉粗脂肪含量随着饲料脂肪水平的升高而增加, 且 12%脂肪水平组肌肉粗脂肪含量显著高于 0 和 4%脂肪水平组($P<0.05$)。然而, 随着饲料脂肪水平的升高, 肌肉水分含量逐渐降低, 且 12%脂肪水平组肌肉水分含量显著低于 0 脂肪水平组($P<0.05$)。

表 5 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉基本营养成分的影响(鲜重基础)

Table 5 Effects of dietary lipid level on muscle basic nutritional composition of juvenile *Carassius auratus* var.Dongtingking (fresh w eight basis) %

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
粗蛋白质 Crude protein	17.11±0.99	17.73±1.04	18.10±0.52	18.59±0.88
粗脂肪 Crude lipid	5.41±0.30 ^c	6.11±0.67 ^{bc}	6.84±0.43 ^{ab}	7.41±0.34 ^a
水分 Moisture	74.67±0.52 ^a	73.81±1.02 ^{ab}	72.77±0.39 ^{ab}	71.42±0.68 ^b

2.3 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉矿物质含量的影响

从表 6 可以看出, 各组之间肌肉钙、铜、锰和锌含量无显著差异($P>0.05$)。0 和 4%脂肪水平组肌肉铁含量显著高于 8%和 12%脂肪水平组($P<0.05$),0 脂肪水平组肌肉镁含量显著高于 8%脂肪水平组($P<0.05$)。

表 6 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉矿物质含量的影响(鲜重基础)

Table 6 Effects of dietary lipid level on muscle mineral contents of juvenile *Carassius auratus*

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
钙 Ca	6 992.85±156.66	7 357.27±274.30	5 805.73±623.53	7 303.58±325.92
铜 Cu	50.41±1.09	50.20±0.64	51.01±0.30	49.68±0.01
铁 Fe	43.89±0.68 ^a	48.72±0.95 ^a	15.29±4.99 ^b	12.43±1.23 ^b
镁 Mg	447.38±23.78 ^a	421.21±18.32 ^{ab}	369.89±11.73 ^b	380.85±9.91 ^{ab}
锰 Mn	55.13±0.73	54.44±0.55	54.04±0.32	54.23±0.52
锌 Zn	57.32±1.94	57.36±2.65	56.57±1.64	52.49±0.80

2.4 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸组成及含量的影响

2.4.1 饲料脂肪酸组成和洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸之间的相关性

从表 2 和表 7 可以看出,洞庭青鲫肌肉共含 15 种脂肪酸,其中单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids,MUFA)在各大类脂肪酸中的含量最高。饱和脂肪酸(saturated fatty acids,SFA)中含量最高的为 C16:0,MUFA 中含量最高的为 C18:1n-5,多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids,PUFA)中含量较高的主要为 C18:2n-6 和二十二碳六烯酸(docose hexaenoic acid,DHA)。各组肌肉脂肪酸组成和饲料脂肪酸组成有较大的相关性。随着饲料脂肪水平的升高,各饲料中的 C18:2n-6、PUFA、n-6 PUFA 含量及 n-6/n-3 PUFA 呈升高趋势,而 C16:0、二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid,EPA)和 SFA 含量呈降低趋势。相对应,随着饲料脂肪水平的升高,各组肌肉中 C18:2n-6、EPA、PUFA、C16:0、SFA、n-6 PUFA 含量及 n-6/n-3 PUFA 亦呈现出相同的变化趋势。

2.4.2 饲料脂肪酸组成和洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸组成的差异性

从表 2 和表 7 可以看出,洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸组成与饲料中的脂肪酸组成相比,0、8%、12%脂肪水平组肌肉中 SFA 含量低于相对应的各组饲料中 SFA 含量,而 4%脂肪水平组肌肉中 SFA 含量则高于饲料中 SFA 含量。各组肌肉中 MUFA 含量均比饲料中 MUFA 含量高,其中肌肉中 C18:1n-5 含量均高于饲料中 C18:1n-5 含量。各组肌肉中 PUFA 和 n-6 PUFA 含量均低于相应的饲料中 PUFA 和 n-6 PUFA 含量。各组饲料中未检测到 C20:4n-6,但是各组肌肉中均含有 C20:4n-6。各组肌肉中 n-3 PUFA 含量均比饲料中 n-3PUFA 含量高,但各组肌肉中 n-6/n-3 PUFA 低于相应的饲料中 n-6/n-3 PUFA。除 0 脂肪水平组之外,各组饲料中 DHA 含量均比肌肉中 DHA 含量低。

2.4.3 洞庭青鲫幼鱼肌肉中脂肪酸含量

从表 7 可以看出,肌肉中 C18:2n-6、PUFA、n-6PUFA 含量及 n-6/n-3 PUFA 随着饲料

脂肪水平的升高而升高，且 12%脂肪水平组的肌肉 PUFA 含量显著高于 0 脂肪水平组 (P<0.05),12%脂肪水平组的肌肉中 C18：2n-6、n-6 PUFA 含量及 n-6/n-3PUFA 显著高于 0 和 4%脂肪水平组(P<0.05)。肌肉中 n-3 PUFA 含量随着饲料脂肪水平的升高而降低，但各组之间无显著差异(P>0.05)。0 脂肪水平组的肌肉中 C16：0 和 SFA 含量显著高于 8%和 12%脂肪水平组(P<0.05)。各组之间肌肉中 EPA、DHA 含量无显著差异(P>0.05)。

表 7 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸组成及含量的影响

Table 7 Effects of dietary lipid level on muscle fatty acids composition and contents of juvenile Carassius auratus var.Dongtingking %

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
C16:1n-7	6.54±0.20 ^a	5.15±0.44 ^b	4.36±0.16 ^{bc}	3.61±0.13 ^c
C16:0	14.88±0.21 ^a	13.15±0.81 ^{ab}	11.05±0.14 ^b	11.51±0.69 ^b
C17:1n-9	0.74±0.01 ^a	0.62±0.04 ^b	0.53±0.03 ^{bc}	0.47±0.01 ^c
C18:3n-3	0.68±0.05	0.52±0.06	0.52±0.04	ND
C18:2n-6	9.19±0.10 ^c	14.62±0.74 ^b	18.45±0.14 ^{ab}	20.61±1.59 ^a
C18:1n-9	45.67±1.46	46.25±1.89	47.77±0.52	46.79±2.03
C18:0	6.64±0.26	5.92±0.40	5.09±0.11	5.13±0.63
C20:4n-6	0.98±0.06	1.03±0.13	0.64±0.08	0.86±0.15
C20:5n-3(EPA)	3.04±0.22	2.80±0.25	2.20±0.13	2.20±0.42
C20:4n-3	0.79±0.04	ND	ND	ND
C20:1n-11	5.20±0.48 ^a	4.68±0.23 ^{ab}	3.78±0.05 ^b	3.61±0.23 ^b
C22:6n-3(DHA)	3.58±0.28	3.61±0.71	2.69±0.20	3.19±0.93
C22:5n-3	1.00±0.07 ^a	0.76±0.04 ^{ab}	0.54±0.04 ^b	0.51±0.07 ^b
C22:1n-11	0.75±0.11	0.88±0.04	0.87±0.02	0.89±0.04
C20:2n-7	ND	ND	0.55±0.01	0.60±0.05
SFA	21.52±0.42 ^a	19.07±1.18 ^{ab}	16.14±0.16 ^b	16.64±1.28 ^b
MUFA	58.89±1.86	57.58±2.43	57.30±0.64	55.37±2.21
PUFA	19.27±0.77 ^b	23.35±1.53 ^{ab}	25.59±0.34 ^{ab}	27.99±2.26 ^a
n-3 PUFA	9.10±0.62	7.70±0.67	5.95±0.32	5.91±1.32
n-6 PUFA	10.17±0.16 ^c	15.65±0.86 ^b	19.09±0.07 ^{ab}	21.47±1.52 ^a
n-6/n-3 PUFA	1.13±0.06 ^c	2.04±0.06 ^{bc}	3.23±0.18 ^{ab}	3.97±0.76 ^a

2.5 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉氨基酸组成及含量的影响

表 8 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉氨基酸组成及含量的影响

Table 8 Effects of dietary lipid level on muscle amino acids composition and content of juvenile Carassius auratus var.Dongtingking %

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%			
	0	4	8	12
丝氨酸 Ser	30.55±0.35	29.96±1.35	29.69±0.08	29.72±0.15
酪氨酸 Tyr	11.61±0.14 ^b	12.15±0.07 ^{ab}	11.56±0.31 ^b	12.57±0.14 ^a
半胱氨酸 Cys	1.73±0.07	1.77±0.05	1.73±0.08	1.84±0.07
脯氨酸 Pro	21.91±2.51	24.11±3.31	20.68±0.53	18.90±0.30
天冬氨酸 Asp ⁺	24.29±1.43 ^a	20.95±0.98 ^b	20.68±0.53 ^b	18.90±0.30 ^b
谷氨酸 Glu ⁺	65.30±0.14	64.85±1.02	64.65±0.10	65.96±0.43
甘氨酸 Gly ⁺	69.51±2.52 ^a	56.10±2.92 ^b	56.79±1.62 ^b	50.03±0.94 ^b
丙氨酸 Ala ⁺	51.24±1.54	51.44±1.91	49.98±0.03	48.15±0.22
组氨酸 His	28.94±1.38	28.62±0.72	27.17±0.43	25.85±1.31
精氨酸 Arg	21.81±0.58	22.44±0.80	21.59±0.24	21.34±0.27
蛋氨酸 Met	5.73±1.25	6.87±1.35	4.86±0.34	6.21±0.26
苯丙氨酸 Phe	17.23±0.56	16.42±0.40	16.48±0.13	16.31±0.09
异亮氨酸 Ile	23.42±0.37	23.41±0.69	24.29±0.05	24.51±0.04
亮氨酸 Leu	37.83±0.57	37.44±1.07	38.40±1.11	38.73±0.05
赖氨酸 Lys	528.18±4.15	522.23±6.36	523.83±1.64	531.66±1.32
苏氨酸 Thr	24.91±0.03	25.07±0.28	25.30±0.09	25.29±0.07
缬氨酸 Val	29.61±0.24 ^{ab}	29.59±0.41 ^b	30.67±0.03 ^a	30.63±0.07 ^{ab}
必需氨基酸 Essential amino acids	666.90±6.28	661.06±6.18	663.83±1.53	673.33±1.22
半必需氨基酸 Half-essential amino acids	50.73±1.33	51.06±1.43	48.76±0.19	47.19±0.68
非必需氨基酸 Nonessential amino acids	276.05±3.20 ^a	258.17±3.75 ^b	257.71±1.64 ^b	249.75±1.52 ^b
风味氨基酸 Flavor amino acids	238.41±2.37 ^a	223.29±2.86 ^b	223.73±1.34 ^b	216.44±1.38 ^b

从表 3 和表 8 可以看出,洞庭青鲫幼鱼的肌肉和饲料中共检测到了 17 种氨基酸,其中包括非必需氨基酸 8 种、必需氨基酸 7 种和半必需氨基酸 2 种,色氨酸(Try)在酸解时被破坏而没有被检测出。0 脂肪水平组肌肉中非必需氨基酸和风味氨基酸含量显著高于其他各组($P<0.05$),且 0 脂肪水平组肌肉中风味氨基酸中的天冬氨酸(Asp)和甘氨酸(Gly)含量显著高于其他各组($P<0.05$)。12%脂肪水平组肌肉中酪氨酸(Tyr)含量显著高于 0 脂肪水平组($P<0.05$),8%脂肪水平组肌肉中缬氨酸(Val)含量显著高于 4%脂肪水平组($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料脂肪水平对洞庭青鲫生长性能及肌肉基本营养成分的影响

脂肪作为水产动物所必需的营养物质,为其生长发育提供能量和必需的脂肪酸。本研究结果显示,12%脂肪水平组洞庭青鲫幼鱼的增重率和 SGR 显著高于 0 和 4%脂肪水平组。这与之前何志刚等^[13]、Jin 等^[14]、Watanabe^[15]的研究结果一致。在达到适宜饲料脂肪水平之前,由于饲料中能量和必需脂肪酸水平的提高,可以促进鱼体的生长^[16]。在本研究中,12%脂肪水平组的洞庭青鲫幼鱼获得了最大增重率和 SGR,这与 Pei 等^[17]研究得出异育银鲫(初始体重 4.5 g)的适宜脂肪需要量为 14.05%相类似。但是,王爱民等^[18]研究得出的异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)(初始体重 17 g)的适宜脂肪需要量为 4.08%~6.92%。鱼类对营养素的适合的需求量受到不同生长阶段、不同脂肪源等因素的影响^[19],特别是对于快速生长发育的仔幼鱼来说,脂肪对其生长和发育的影响更为重要^[20,21]。郑珂珂等^[22]探究了饲料不同脂肪水平对瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)从仔鱼到幼鱼生长特性的影响,结果表明适宜的脂肪需要量随着瓦氏黄颡鱼生长而降低。仔幼鱼的快速生长发育使其对饲料脂肪水平变化的敏感性较高^[23],可能是本研究洞庭青鲫脂肪需要量偏高的原因。

高脂饲料在提高水产动物生长性能的同时,也造成水产动物的脂肪沉积,从而影响鱼类的肉品质^[18]。本研究得出,洞庭青鲫幼鱼肌肉中粗脂肪含量随着饲料脂肪水平的升高呈现上升的趋势,肌肉中水分含量却呈现下降的趋势。王爱民等^[18]研究发现,在一定的饲料脂肪水平(6.04%~9.88%)内,异育银鲫肌肉和肝胰脏中粗脂肪含量呈现上升的趋势。在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)和匙吻鲟(*Polyodon spathula*)上也得出了鱼体脂肪的沉积与饲料脂肪水平呈正相关的关系^[6,24]。M aynard 等^[25]在瓦氏黄颡鱼上的研究认为,高脂饲料导致的鱼体水分含量减少及干物质含量增加,均属于动物发胖的特征。肌肉中粗脂肪含量低及粗蛋白质含量高的水产动物被认为具有较好的肉品质和营养价值^[26]。养殖鱼类在获得满足基本生理所需的脂肪和脂肪酸后,过量的脂肪便沉积在组织之中。所以要根据鱼类脂肪的需

要将饲料脂肪水平控制在合理的范围之内，既要满足鱼体的生长，又要避免对其肌肉品质产生影响。

3.2 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉矿物质含量的影响

鱼类肌肉中的矿物质种类和数量不仅影响鱼肉的营养价值，而且影响鱼肉的风味品质^[27,28]。矿物质离子中镁离子(Mg^{2+})、铜离子(Cu^{2+})、三价铁离子(Fe^{3+})、锰离子(Mn^{2+})等与脂质过氧化有关，在保持肉质风味中发挥了重要的作用。锌离子(Zn^{2+})在鱼肉的风味中呈甜味， Cu^{2+} 和 Mn^{2+} 则呈苦味， Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 等呈咸味。在本研究中，随着饲料脂肪水平的升高，洞庭青鲫幼鱼肌肉中铁和镁含量降低，由此可以得出洞庭青鲫幼鱼的肌肉咸味风味有所降低。在三倍体鳙(*Salmo trutta*)鱼上也发现了类似的研究结果，其肌肉的咸味随着饲料脂肪水平的升高而降低^[29]，其原因可能与肌肉脂肪含量升高导致的矿物质亲和力下降有关^[30]，但是咸味与肉品质的关系还需进一步的研究。

3.3 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸组成的影响

3.3.1 饲料脂肪酸组成和洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸之间的相关性

很多研究表明，水产动物组织脂肪酸的组成在一定程度上反映了饲料脂肪酸的组成^[31]。本研究的结果也证实了这一点。随着饲料中 C18:2n-6、PUFA、n-6 PUFA 含量及 n-6/n-3 PUFA 的升高，洞庭青鲫幼鱼肌肉中相对应种类的脂肪酸含量也升高了。随着饲料中 SFA、EPA 含量的降低，肌肉中同类脂肪酸含量也相应的降低。

3.3.2 饲料脂肪酸组成和洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸之间的差异性

在本研究中，各组肌肉组织中的 MUFA 含量高于相对应的饲料，0、8%、12%脂肪水平组肌肉中 SFA 含量低于相应的饲料，这与刘飞^[32]的研究结果一致，其研究认为黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)可将 SFA 去饱和并转化为 MUFA，所以通过本研究可以推测洞庭青鲫可能也具有这种 SFA 转化为 MUFA 的能力。

研究表明，C18:2n-6 和 C18:3n-3 分别是 n-6 和 n-3 PUFA 的前体，它们在生物体内可以通过碳链的延长及去饱和，从而转变为高度不饱和脂肪酸(highly unsaturated fatty acid, HUFA)^[33]。本研究中，各组洞庭青鲫肌肉中 PUFA 及 n-6 PUFA 含量，尤其是 C18:2n-6 含量远低于相对应的饲料，而肌肉中 DHA 和 C22:4n-6 含量高于相对应的饲料，这与陈涛等^[34]在红罗非鱼上的研究结果一致，可能在洞庭青鲫体内也发生了 C18:2n-6 向 C20:4n-6 或 DHA 的转化。

3.3.3 洞庭青鲫幼鱼肌肉脂肪酸组成的比较

脂肪酸的组成及含量在很大程度上决定了肌肉的风味品质。本研究结果得出,洞庭青鲫肌肉中 PUFA 含量随着饲料脂肪水平的升高而增加,同 Tian 等^[35]在尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)上的研究结果一致。然而摄入过量 PUFA 容易导致肥胖,从而引发心血管等方面的疾病,低 PUFA 的水产品更符合现代人对食物低脂和低热的需求。

本研究得出,随着饲料脂肪水平的升高,肌肉 n-6 PUFA 含量逐渐升高,且 12%脂肪水平组 n-6PUFA 含量显著高于 0 和 4%脂肪水平组,但 n-3PUFA 含量并无显著变化,这与 B9hm 等^[36]的研究结果一致。Turchini 等^[37]研究发现,植物油的替代使褐鳟(*Salmo trutta*)肌肉中 n-3 PUFA 含量下降,因而由 n-3 PUFA 衍生出的芳香气味物质的含量也随之降低了。Sérot 等^[38]研究得出鱼肉的芳香气味主要由 n-3 PUFA 衍生而来,然而鱼肉的不愉快气味则主要是由 n-6 PUFA 衍生而来^[39]。此外, n-6/n-3 PUFA 在评价鱼肉风味中也发挥了重要的作用,食物中的 n-6/n-3 PUFA 的推荐比例约为 1:1^[40],建议不可长期摄食 n-6/n-3 PUFA 过高的肉制品,否则可能对人体健康造成一定的危害。本研究表明,随着饲料脂肪水平的增加, n-6/n-3 PUFA 逐渐增加,且 12%脂肪水平组肌肉中 n-6/n-3 PUFA 显著高于 0 和 4%脂肪水平组。这与周锴^[41]在洛氏鳅(*Rhychoypris lagowskii*)上的研究结果类似。因此,从肌肉脂肪酸的风味品质来看,饲料脂肪水平的提高使洞庭青鲫幼鱼肌肉的风味品质有所降低。

3.4 饲料脂肪水平对洞庭青鲫幼鱼肌肉氨基酸组成的影响

肉质风味除了与脂肪酸、矿物质组成和含量相关外,氨基酸的组成和含量在一定程度上也决定了肉质是否鲜美。风味氨基酸中的 Asp 和 Glu 是呈鲜味的氨基酸,而 Gly 和 Ala 是呈甘味的氨基酸。本研究结果表明,肌肉中的风味氨基酸含量随着饲料脂肪水平的升高而降低,且 0 脂肪水平组风味氨基酸含量显著高于其他各组。Buchtov 等^[42]研究发现,肌肉中高含量的风味氨基酸和必需氨基酸可以提高鱼肉的风味。因此从氨基酸组成和含量来看,随着脂肪水平的升高,洞庭青鲫肌肉风味有所下降。但是周良星等^[43]研究发现,不同的饲料脂肪水平(7%和 12%)对异育银鲫(平均体重 177 g)肌肉风味氨基酸未产生显著影响,这可能与鱼的不同的生长阶段有关,还需要后续的试验进行研究。

4 结论

饲喂高脂肪水平(12%)饲料的洞庭青鲫幼鱼虽获得较好的生长效果,但其肉品质有所下降。

参考文献: 略

原料检测

2018 年天然植物饲料原料及产品重金属污染情况调查分析

于治芹 商方方 李俊 李军国 高云峰 张博 谷旭

中国农业科学院饲料研究所农业部动物产品质量安全饲料源性因子风险评估实验室 黑龙江省农产品和兽药饲料技术鉴定站

摘要: 目的 了解 2018 天然植物原料及产品重金属的污染状况。方法 对北京、天津、黑龙江、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖南、广东等 10 个省市采集的天然植物原料及产品样本,参照国标方法中的干法消解和压力罐消解方法对样品进行消解,后使用火焰原子吸收光谱仪和原子荧光光谱仪检测样品中砷、铅、铬、汞、镉的含量。结果 分析了 100 份植物饲料原料及产品,其中砷的最高值为 8.54 mg/kg,大于 2 mg/kg 的样品所占比为 4%;铅的最高值为 20.33mg/kg,大于 10mg/kg 的样品只有 2 批次;铬的最高值为 927.63 mg/kg,大于 5 mg/kg 的样品所占比为 24%;汞的检出率为 4%;全部样品中镉未检出。结论 本次调查分析发现部分样品有砷、铅、铬、汞检出,少数样品中的重金属含量相对较高,因而需加强对天然植物饲料原料及产品安全风险的监测,以保证动物和动物性产品安全。

关键词: 天然植物饲料原料及产品; 砷; 铅; 铬; 汞;

Investigation and analysis of heavy metal pollution in natural plant feed raw materials and products in 2018

YU Zhi-Qin SHANG Fang-Fang LI Jun LI Jun-Guo GAO Yun-Feng ZHANG Bo GU Xu
Agriculture and Rural Ministry Quality and Safety Risk Evaluation Laboratory of Feed and Feed Additives for Animal Husbandry, Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Science Heilongjiang Agricultural Products and Veterinary Medicine Feed Technology Appraisal Station

Abstract: Objective To understand the pollution of heavy metals in natural plant raw materials and products in 2018. Methods Samples of natural plant raw materials and products collected from 10 provinces and cities including Beijing, Tianjin, Heilongjiang, Jiangsu, Anhui, Jiangxi, Shandong, Henan, Hunan and Guangdong were analyzed. The samples were digested according to the dry digestion and pressure tank digestion methods in the national standard method, and then the contents of arsenic, lead, chromium, mercury and cadmium in the samples were detected by flame atomic absorption spectrometer and atomic fluorescence spectrometer. Results A total of 100 samples of plant feed materials and products were analyzed. The highest content of arsenic was 8.54 mg/kg, and the proportion of samples greater than 2 mg/kg was 4%. The highest value of lead was 20.33 mg/kg, and only 2 batches of samples greater than 10 mg/kg. The highest value of chromium was 927.63 mg/kg, and the proportion of samples greater than 5 mg/kg was 24%. The detection rate of mercury was 4%. No cadmium was detected in all samples. Conclusion This investigation and analysis found that arsenic, lead, chromium and mercury were detected in some samples, and the heavy metal content in a few samples was relatively high. Therefore, it is necessary to strengthen the monitoring of the safety risks of natural plant feed raw materials and

products to ensure the safety of animals and animal products.

Keyword: natural plant feedstuffs and feed products; As; Pb; Cr; Hg;

1 引言

天然植物饲料原料包括天然植物本身及其粗提物,作为一种新型高效的饲料原料越来越多的应用于畜禽养殖中,大量报道证实其在畜禽养殖中替代抗生素促生长、提高畜禽生长性能和肉品质方面有巨大潜力。植物精油与丁酸钠对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化指标、粪便菌群及氨逸失有积极的影响,且二者的复合制剂效果更好^[1]。在仔猪日粮中添加一定比例的牛至油提取物、苦木甘草提取物、植物精油或抗菌肽,均可以改善生长性能,效果接近或优于抗生素^[2]。新型猪用植物提取物饲料添加剂替代抗生素能够促进仔猪的生长发育,显著降低料肉比,并且可显著降低仔猪腹泻率^[3]。母猪日粮添加止痢草精油可显著提高仔猪的平均日增重和日采食量,且可显著提高肉猪胴体品质^[4]。在肉仔鸡饲料中添加适宜水平葫芦巴粉,能够提高肌肉系水力,促进免疫器官发育,提高抗氧化能力和增强机体蛋白代谢的作用^[5]。饲料中添加 150 mg/kg 迷迭香精油可在一定程度上改善京海黄鸡的肉品质并提高抗氧化能力^[6]。饲料中添加苜蓿多糖对公鸡和母鸡的生长性能无显著影响,当添加量为 1000 mg/kg 时,能够改善公鸡和母鸡的屠宰性能、肉品质和血清抗氧化性能^[7]。

在植物生长、加工的过程中,不可避免地会受到重金属的污染,尤其是原料生长的环境,包括土壤、工业“三废”污染、农药和化肥污染等^[8,9]。胡国辉等^[10]对不同产地制草乌药材中 6 种重金属的含量进行测定,发现部分产地的制草乌药材中有镉、砷和汞等元素超标现象,不同产地的制草乌药材中 6 种金属元素含量差异较大。他们分析超标的原因可能是由于当地长期施用工业磷肥中的镉和砷造成的,以及与当地的植物生长的土壤环境有关。孔丹丹等^[11]针对目前市场上常见的黄芪、党参和昆布 3 味中药材共随机抽取了 51 批次,以食品中污染物限量为参考标准时,有 33 批次铬超标,总超标率为 64.71%,并且镉最大含量值超出国家允许限量标准的 5 倍,其余元素的污染水平较低。中药材中重金属的类型和含量存在着明显差异,这与药材生长的土壤、水质、气候等环境因素的差异性、炮制加工工艺等有关。过量的重金属离子进入生物体后与生物体内的蛋白质、核酸、酶等大分子物质的活性位点或一些非活性位点发生作用,进而影响了生物大分子的正常生理机能^[12]。当有害重金属进入畜禽体内,并在机体各组织器官蓄积,主要蓄积于肾脏、脾脏和肝脏^[13],造成脂质过氧化,引起机体慢性中毒^[14],蓄积到一定含量将影响动物神经系统、新陈代谢和免疫机能等^[15],进而威胁畜产品安全。有害重金属易经过食物链浓缩最终进入人体,进而危害人体健康和公共安全。为了解饲料用植物提取物原料及产品重金属的风险情况,本文对植物饲料原料及饲料添

加剂制品进行了摸底调查,检测其中重金属砷、铅、铬、汞、镉的含量,以期加强对天然植物饲料原料及产品安全风险的监测以保证动物和动物性产品安全提供一定的支撑。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

AA6880 原子吸收光谱仪(日本岛津公司);AFS-9130 原子荧光光谱仪(北京吉天仪器公司);压力消解罐-30 mL(西安常仪仪器设备公司);CWF100 马弗炉(日本岛津公司);鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器公司)。

砷、铅、铬、镉、汞 5 种元素的单元素标准溶液(1000 mg/L)全部采购的国家标准物质,标准物质证书号分别为 GBW(E)1002031803、GBW(E)0815771803、GBW(E)0815841803、GBW(E)0815811803、GBW(E)0815931804。

浓硝酸(分析纯,德国 EMSURE 公司);浓盐酸(优级纯,国药集团化学试剂有限公司);硫脲、抗坏血酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);实验室用水为 Milli-Q 制备的超纯水。

本实验所用玻璃仪器及坩埚均需以 20%硝酸溶液浸泡 24 h 以上,去离子水冲净晾干备用。

2.2 实验方法

2.2.1 溶液配制

硝酸溶液(1%):取 10.0 mL 硝酸加入 100 mL 水中,稀释至 1000 mL。

盐酸溶液(6 mol/L):取 250 mL 盐酸慢慢加入 250 mL 水中。

硼氢化钾(KBH_4)溶液(1%):称取硼氢化钾 1.0 g,溶于 100 mL 氢氧化钾(0.5%)溶液中,混合(现用现配)。

硫脲溶液(50 g/L):称取硫脲 5 g,溶于 100 mL 水中,混匀(现用现配)。

重金属元素标准储备液(10 mg/L):准确吸取 1 mL 单元素标准溶液于 100 mL 容量瓶中,用 1%硝酸溶液定容。依照此方法逐级稀释,得到标准曲线工作液。

2.2.2 样品和试样制备

在北京、天津、黑龙江、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖南、广东等 10 个省市采集 100 批次样本,其中天然植物原料和植物提取物有 74 批次、含有植物提取物的混合饲料添加剂 26 批次。四分法缩分至约 250 g,粉碎后过 0.425 mm 孔径的分析筛,混匀,装入自封袋中,备用。

2.2.3 样品前处理

根据元素特点,镉、铬、铅元素选用干灰化法消解,砷和汞元素选用压力消解罐消解法:

(1)压力消解罐消解法:称取试样 0.5 g(精确至 0.0001 g)于聚四氟乙烯内罐,加硝酸 5 mL 浸泡过夜。盖好内盖,旋紧不锈钢外套,放入恒温干燥箱,140℃保持 4 h,在箱内自然冷却至室温,打开后低温加热赶酸至 0.5~1 mL,冲洗合并到 25 mL 容量瓶中,然后加入 0.75 mL 盐酸及 2.5 mL 硫脲溶液,定容,同时做试剂空白试验。

(2)干灰化法:称取 2 g 试样(0.0001 g)于瓷坩埚中,先小火在可调式电炉上炭化至无烟,移入马弗炉 550℃灰化 4 h,直至无碳粒。冷却,加入 10 mL 盐酸溶液(6 mol/L),直到无气泡溢出,电炉加热直到消化液至 1~2 mL(注意防止溅出),用 1%硝酸溶液定容至 50 mL 容量瓶中,摇匀,用无灰滤纸过滤,上机待用,同时制备试剂空白溶液。

2.2.4 光谱条件

(1)原子荧光光谱条件

吉天原子荧光光谱仪光电倍增管电压:270 V;砷空心阴极灯电流:60 mA;汞空心阴极灯电流:30 mA;原子化器高度:8 mm;载气流量:400 mL/min;屏蔽气流量:800 mL/min;读数时间 7.0 s;延迟时间:1.5 s。

(2)原子吸收光谱条件

光源:Cr 空心阴极灯;波长:357.9 nm;灯电流:10 mA;狭缝宽度:0.7 nm;燃烧头高度:9 mm,火焰:空气-乙炔;助燃气流量:15 L/min;燃气流量:2.5 L/min;氘灯背景校正。

光源:Cd 空心阴极灯;波长:228.8 nm;灯电流:8 mA;狭缝宽度:0.7 nm;燃烧头高度:7 mm,火焰:空气-乙炔;助燃气流量:15 L/min;燃气流量:1.8 L/min;氘灯背景校正。

光源:Pb 空心阴极灯;波长:283.3 nm;灯电流:10 mA;狭缝宽度:0.7 nm;燃烧头高度:7 mm,火焰:空气-乙炔;助燃气流量:15 L/min;燃气流量:2.0 L/min;氘灯背景校正。

3 结果与分析

3.1 样品检测总体情况

表 1 植物提取物中重金属检测结果				
Table 1 The results of heavy metals in plant extracts				
项目	含量范围	平均值/(mg/kg)	限量值/(mg/kg)	超限量值批次
总砷	ND~8.538 mg/kg	0.53 mg/kg	2	4
铅	ND~20.33 mg/kg	1.55 mg/kg	10	2
汞	ND~3.36 μg/kg	0.068 μg/kg	0.1	0
镉	ND	—	1	—
铬	ND~927.63 mg/kg	2.41 mg/kg	5	24

对 100 批次样品进行总砷、铅、铬、汞和镉 5 种重金属检测(检测结果见表 1),依据《饲料卫生标准》判定,累计共有 30 批次样品超标(超标样品情况见表 2)。

表 2 重金属含量超限量值样品表
Table 2 The sample table of heavy metal content exceeding the limit value

检测项目	样品名	含量/(mg/kg)
铬	混合型饲料添加剂淫羊藿提取物	6.06
	混合型饲料添加剂杜仲叶提取物	5.03
	糖萜素淫羊藿提取物	
	混合型饲料添加剂杜仲叶提取物	6.12
	糖萜素淫羊藿提取物	
	植物提取物混合型添加剂	35.17
	蒲公英、红三叶草	8.91
	蒲公英、甘草	7.88
	蒲公英、黄芪	6.18
	蒲公英、女贞子	7.09
	蒲公英、知母	7.52
	蒲公英、女贞子	7.88
	红三叶草、苦木、蒲公英	8.61
	红三叶草、黄芪、蒲公英	10.31
	蒲公英、甘草、杜仲叶	7.64
	苦木、杜仲叶、女贞子	7.40
	诃子、甘草	7.88
	葛根、黄芪、山楂	10.07
	杜仲叶、山楂	8.97
	杜仲叶、山楂、葛根	9.16
	蒲公英、杜仲叶、苦木	8.85
	植物提取物混合型添加剂	927.63
	混合型饲料添加剂食品用香料 (姜黄油树脂)	20.31
	新金金(植物精油)	8.12
	蛋白质改良剂	14.31
	益长素	7.4
总砷	杜仲叶提取物蒲公英提取物产品	2.47
	混合型饲料添加剂淫羊藿提取物	2.53
	混合型饲料添加剂食品用香料 (姜黄油树脂)	8.54
	新金金(植物精油)	2.33
铅	植物提取物混合型添加剂	20.33
	混合型饲料添加剂食品用香料 (姜黄油树脂)	20.11

总砷检测结果在 0~8.538 mg/kg 之间,平均含量为 0.53 mg/kg。其中总砷含量大于 2

mg/kg 的样品共有 4 批次,占总样本比例为 4%,4 批次样品均为含植物提取物的混合型饲料添加剂;总砷含量最高的样品为一种含有姜黄油树脂的混合型饲料添加剂,总砷含量为 8.54 mg/kg,是总砷限量值的 4.27 倍。

铅的检测结果在 0~20.33 mg/kg 之间,平均含量为 1.55 mg/kg。其中含量大于 10 mg/kg 的样品共有 2 批次,数值为 20.33 mg/kg 和 20.11 mg/kg,占总样本比例为 2%,分别是一种含植物提取物的多种维生素和含姜黄树脂的混合型饲料添加剂。

铬的检测结果在 0~927.63 mg/kg 之间,平均含量为 2.41 mg/kg。其中含量大于 5 mg/kg 的样品有 24 批次,占总样本比例为 24%,其中一个中草药动物抗应激添加剂样品中铬的含量高达 927.63 mg/kg,是铬限量值的 464 倍,其次是一个含植物提取物的多种维生素和一个含姜黄油树脂的混合型饲料添加剂的样品,铬含量值分别为 35.17 mg/kg 和 20.31 mg/kg,24 批次高铬样品中有 15 批次是天然植物原料,有 9 批次是含植物提取物的混合型饲料添加剂。

汞的检测结果在 0~3.36 μ g/kg 之间,依据《饲料卫生标准》判定均未超标。有 4 批次样品检出含量较低的汞,4 批次样品都是含植物提取物的混合型饲料添加剂。

镉含量较低,火焰原子吸收法未检出。

3.2 主要生产企业样品的检测情况

本次天然植物饲料原料及粗提物样本的采集主要集中在 3 个生产单位,企业 A 中采集了 19 批次,企业 B 中采集了 18 批次,企业 C 中采集了 28 批次,3 个企业采集的样数量占样品总数的 65%。

企业 A 样品中总砷的平均值为 0.84 mg/kg,是企业 B 样品中总砷的平均值的 3.36 倍,是企业 C 样品中总砷的平均值的 3.11 倍。企业 A 样品中铅的平均值为 1.25 mg/kg,是企业 B 样品中铅的平均值的 4.17 倍,企业 C 样品中铅未检出。企业 A 样品中铬的平均值为 6.54 mg/kg,是企业 B 样品中铬的平均值的 17.21 倍,是企业 C 样品中铬的平均值的 24.22 倍,企业 A 样品中铬的最高含量为 10.31 mg/kg,19 个样品中有 15 个样品铅含量大于 5 mg/kg,而另外 2 个生产单位中的样品铬含量均小于 5 mg/kg(见表 3)。

通过对比 3 个生产单位中天然植物饲料原料及粗提物样本中重金属的检测结果可以看出,企业 A 样品中重金属含量普遍高于企业 B 和企业 C,尤其是重金属铬,含量大于 5 mg/kg 的样品占 79%。企业 A 中天然植物饲料原料重金属含量高的原因可能是由于原料生长环境受到了重金属污染,也可能是植物原料的采集、运输、仓储过程中重金属污染,对于粗提物重金属含量高还有可能是加工粉碎等过程中机器磨损带入及提取工艺流程中溶剂带入。因此

建议企业 A 严格把控植物原料的质量,认真对待原材料的运输和仓储,同时也要提高植物提取物加工过程中重金属的脱除技术。

表 3 天然植物饲料原料及粗提物重金属检测结果对比
Table 3 The comparison of heavy metal results of natural plant feedstuffs and crude extract

生产单位	总样本	检测项目	平均值/(mg/kg)	含量范围/(mg/kg)
企业 A	19	总砷	0.84	0.02-1.95
		铅	1.25	0-5.79
		铬	6.54	0-10.31
企业 B	18	总砷	0.25	0.02-1.54
		铅	0.30	0-5.42
		铬	0.38	0-4.12
企业 C	28	总砷	0.27	0.02-0.61
		铅	—	ND
		铬	0.27	0-4.37

3.3 样品超标原因分析

本次测定结果可看出,植物提取物中的重金属大部分未检出,个别样品检出但含量较低,天然植物原料和含植物提取物的混合型饲料添加剂中重金属砷、铅、镉、汞的含量较植物提取物中的含量高很多,个别样品污染较严重,重金属铬的污染最严重,含量大于 5 mg/kg 的有 24 批次,其中有 15 批次是天然植物原料,铬平均含量为 7.17 mg/kg,有 9 批次是含植物提取物的混合型饲料添加剂产品,铬平均含量为 114.46 mg/kg,需要引起重视并做进一步风险评估。值得注意的是,其中一个含姜黄油树脂的混合型饲料添加剂样品中的砷、铅、铬含量都较高,另一个含植物提取物的多种维生素样品中铅、铬含量也很高,尤其一个中草药动物抗应激添加剂的铬含量高达 927.63 mg/kg,这 3 个样品都属于含植物提取物的混合型饲料添加剂。天然植物原料铬超标的原因可能是植物原料的生长环境或加工过程受到了污染,含植物提取物的混合型饲料添加剂重金属含量较高的原因有可能是植物原料的生长环境受到了污染,也有可能是产品中的辅料(载体稀释剂)中重金属含量较高,还有可能是生产加工过程中不锈钢机器设备受腐蚀磨损造成,这个中草药动物抗应激添加剂样品的高铬污染原因更有可能是设备磨损造成的。

4 结论

目前市场上的植物提取物产品种类繁多、来源广泛,调查监测是一个系统的工作,建议监测市场销量相对较高的产品,同种类型样本抽取足够多,以发现规律,对天然植物提取物样本

应追溯其生长地及加工方式。建议出台相关的卫生标准,规定重金属的最大限量值,以便于监督生产管理。

饲料中过多的重金属元素会被畜禽机体吸收并蓄积在组织中,过多无法代谢的重金属元素便随粪便排入环境^[16]。畜禽组织中积累的重金属会直接影响畜产品安全并通过食物链直接危害人类健康^[17];随粪便排入环境的重金属元素也会在土壤中蓄积,会对水质、农作物及其农产品造成污染,经过食物链浓缩最终进入人体,从而危害人类健康^[18,19]。鉴于食物链的危害,需从源头做起,积极推行天然植物饲料原料的无公害化种植,减少农药、化肥的使用,积极改进加工工艺等,最大限度地减少污染。植物提取物已被广泛应用于食品添加剂、饲料添加剂、农药杀虫剂、医药等领域,确保植物提取物的卫生安全,就能从源头上控制并保障食品安全。

参考文献: 略

原文刊登在食品安全质量检测学报 2020,11(15),5001-5006