

鲜活饵料和人工配合饲料对鳊肌肉营养成分和质构特性的影响

牛树辉 李红燕 潘厚军 谢骏 王广军 夏耘 龚望宝

EFFECTS OF LIVE PREY FISH AND ARTIFICIAL DIET ON NUTRIENT COMPOSITIONS AND TEXTURE PROPERTIES IN THE MUSCLE OF MANDARIN FISH (*SINIPERCA CHUATSI*)

NIU Shu-Hui, LI Hong-Yan, PAN Hou-Jun, XIE Jun, WANG Guang-Jun, XIA Yun, GONG Wang-Bao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2022.2021.0315>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

饲料中猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤生长性能、血液生理生化、肌肉组成及质构特性的影响

EFFECTS OF DIETARY FISHMEAL REPLACEMENT WITH MEAT AND BONE MEAL ON THE GROWTH PERFORMANCE, BLOOD PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICES, MUSCLE CHEMICAL COMPOSITION AND TEXTURE CHARACTERISTICS IN JUVENILE FURONG CRUCIAN CARP (FURONG CARP ♀ × RED CRUCIAN CARP ♂)

水生生物学报. 2020, 44(1): 85–94 <https://doi.org/10.7541/2020.011>

“太湖鲂”及其亲本肌肉营养成分的分析与评价

ANALYSIS AND EVALUATION OF NUTRITIONAL COMPOSITION IN MUSCLE OF HYBRID F1 OF FEMALE *CULTER ALBURNUS* × MALE *MEGALOBrama TERMINALIS* AND ITS PARENT FISH

水生生物学报. 2019, 43(2): 388–394 <https://doi.org/10.7541/2019.048>

γ-氨基丁酸对鳊摄食和食欲的影响

EFFECTS OF γ-AMINOBUTYRIC ACID ON FOOD INTAKE AND APPETITE IN MANDARIN FISH *SINIPERCA CHUATSI*

水生生物学报. 2017, 41(6): 1311–1317 <https://doi.org/10.7541/2017.162>

不同年龄段养殖宽体沙鳊肌肉营养成分分析与评价

NUTRITIONAL COMPOSITION OF MUSCLE IN CULTURED *SINIBOTIA REEVESAE* POPULATION AT DIFFERENT AGES

水生生物学报. 2018, 42(3): 542–549 <https://doi.org/10.7541/2018.068>

中华鳖4个品系营养成分分析与比较

ANALYSIS ON NUTRIENT COMPOSITIONS IN THE MUSCLES OF FOUR STRAINS OF *PELODISCUS SINENSIS*

水生生物学报. 2018, 42(4): 770–778 <https://doi.org/10.7541/2018.094>

光照周期和光照强度对循环水系统中墨瑞鳕的生长、肌肉营养成分及养殖收益的影响

EFFECTS OF PHOTOPERIOD AND LIGHT INTENSITY ON THE GROWTH, MUSCLE NUTRITION AND ECONOMIC PERFORMANCE OF MURRAY COD (*MACCULLOCHELLA PEELII*) IN THE RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM

水生生物学报. 2021, 45(4): 781–789 <https://doi.org/10.7541/2021.2020.105>



doi: 10.7541/2022.2021.0315

鲜活饵料和人工配合饲料对鳊肌肉营养成分和质构特性的影响

牛树辉^{1, 2#} 李红燕^{1#} 潘厚军^{1*} 谢 骏¹ 王广军¹ 夏 耘¹ 龚望宝^{1*}

(1. 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 农业农村部热带亚热带水产资源利用与养殖重点实验室, 广东省水产动物免疫与绿色养殖重点实验室, 广州 510380; 2. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘要: 研究以饲喂鲜活饵料为对照组, 比较分析人工饲料对鳊(*Siniperca chuatsi*)常规营养成分、氨基酸组成及营养价值评价、脂肪酸组成和肌肉质构特性的影响。实验结果显示, 摄食人工饲料组鳊肌肉蛋白质水平与鲜活饵料组无显著性差异($P>0.05$), 粗脂肪含量显著较高($P<0.05$)。在两种饲喂模式下鳊肌肉中氨基酸评分(AAS)、必需氨基酸指数(EAAI)、化学评分(CS)和F值均无显著差异($P>0.05$), 但第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys), 该结果可为鳊人工饲料配方优化提供指导。人工饲料组鳊肌肉中饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量均极显著高($P<0.01$), 其中C20:5(EPA)和C22:6(DHA)含量极显著高于鲜活饵料组, 表明人工饲料可通过营养素的均衡配比以提供更优质的脂肪酸营养。人工饲料组鳊肌肉硬度、咀嚼性、胶黏性及回复性均极显著高于鲜活饵料组($P<0.01$), 而黏性极显著低于鲜活饵料组($P<0.01$), 表明人工饲料饲喂提升了鳊的肌肉质构特性。综上所述, 相比于鲜活饵料组, 人工饲料饲喂鳊对蛋白质水平、氨基酸组成及营养价值评估无显著性影响, 但在脂肪酸组成如EPA、DHA含量上表现出优越性, 并且提升了鳊肌肉的质构属性。研究结果对比了两种饲喂模式下的肌肉品质属性, 展示了鳊人工饲料的推广潜力, 有利于鳊绿色健康养殖产业的发展。

关键词: 人工饲料; 鲜活饵料; 营养成分; 质构特性; 鳊

中图分类号: S965.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2023)01-0037-08



鳊(*Siniperca chuatsi*)隶属于鲈形目(Perciformes), 鲈科(Serranidae), 鳊亚科(Sinipercinae), 鳊属(*Siniperca*), 俗称鳊鱼、季花鱼等, 是我国本土淡水鱼品种^[1, 2]。因其肉嫩味鲜、无肌间刺和营养丰富等优良品质深受消费者喜爱。伴随着消费者对高品质水产品需求的增加, 鳊养殖产业快速发展, 2020年我国鳊养殖总产量为 37.7×10^7 kg, 年产值超过200亿元^[3], 具有重要经济价值。

鳊是一种凶猛肉食性鱼类, 自开口起始终以鲜活饵料为食^[4]。这一食性特征给鳊的大规模养殖普及造成了困难, 成为阻碍产业发展的最大瓶颈。为解决这一技术难题, 有关鳊人工饲料驯化摄食的工作自20世纪90年代开始就已经开展^[5]。研究表明, 鳊人工饲料使用可以减少海洋渔业资源的过度捕捞, 减少环境污染; 降低养殖成本, 有助于其集约化

养殖的推广; 减少由鲜活杂鱼食物链带来的药物残留和重金属的蓄积^[6, 7], 为水产品质量安全提供保障。由此可见, 鳊饲料驯化的成功和人工配合饲料的推广是鳊产业持续发展的基础。

目前, 人工配合饲料在鳊养殖中的使用取得了突破性进展, 鳊可被人工配合饲料驯化摄食, 并有望大规模推广应用^[6, 8, 9]。并且, 研究学者对人工配合饲料对鳊生理代谢响应、肠道健康及食性相关的分子生物学基础进行了相关探索。例如, 孙龙芳^[1]研究了人工饲料驯食后鳊肠道微生物和肠道结构的影响, 并探究了肠道微生物对鳊驯食人工饲料的适应机制及人工饲料对鳊肠道环境的影响机理。通过转录组学和代谢组学联合分析, 结合表观遗传揭示了食性驯化与DNA甲基化和组蛋白修饰间的关系^[7]。然而, 有关人工配合饲料对鳊肌肉营养品

收稿日期: 2021-11-06; 修订日期: 2022-08-04

基金项目: 国家现代农业产业技术体系资助 [Supported by the China Agriculture Research System of MOF and MARA]

作者简介: 牛树辉(1997—), 男, 硕士研究生; 主要从事水产健康养殖研究。E-mail: niushuhuist@163.com 李红燕(1993—), 女, 助理研究员; 主要从事水产动物营养研究。E-mail: lihongyan@prfri.ac.cn [#]共同第一作者

通信作者: 潘厚军, E-mail: phj001@prfri.ac.cn 龚望宝, E-mail: gongwb@prfri.ac.cn ^{*}共同通信作者

质和质构特性的影响研究尚存在缺乏。

近年来鱼类的品质特性越来越受到消费者和研究学者共同的关注。然而, 鱼类肌肉品质是一个复杂的概念, 包括营养组成、物化性质、质构和感官特性等^[10, 11]。肌肉的营养价值通常由蛋白质、氨基酸、脂肪和多不饱和脂肪酸(PUFA)组成来作为评估指标^[12]。鱼类肌肉的质构特性则由肌肉的硬度、咀嚼性、弹性、内聚性和胶黏性等质构参数来体现^[13]。因此, 本实验对摄食鲜活饵料和人工配合饲料的鳊肌肉营养成分及质构参数进行比较分析, 旨在评价人工饲料对鳊肌肉品质的影响, 为鳊的人工配合饲料的开发和推广使用提供理论基础和实践依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料与驯养管理

本实验于中国水产科学研究院珠江水产研究所养殖基地室外网箱中进行。实验鱼购自广东省某鳊鱼养殖场, 已成功驯化可较好地摄食人工饲料, 投喂普通商品人工饲料暂养2周以适应养殖环境。在正式实验前, 对实验鱼进行24h饥饿处理, 随机挑选规格均匀、外观健康的鳊分为两组, 每组3个平行, 分别投喂鲜活饵料和人工配合饲料。其中, 鲜活饵料主要由鲮、鲤、鲫等鲜活杂鱼组成, 鲜活饵料和人工饲料的基本组分见表1。整个养殖周期180d, 每天表现饱食投喂2次(9:00和16:00)。在养殖期间定期监测各项水质指标, 具体指标如下: 水温28.0—34.0℃, 溶氧在5.7—6.8 mg/L, pH为6.7—7.2。

1.2 样品采集

在养殖实验的最后一次投喂结束后8h进行取样, 采用头部猛击方式处理鳊后取样。每组随机选取6尾鱼用于样品采集, 在冰浴条件下取相同位置背肌修成2.0 cm×2.0 cm×2.0 cm肉块用于质构特性检测, 其余部分肌肉取约300 g, 用于基本组分、氨基酸和脂肪酸水平分析。

1.3 基本组分和脂肪酸组成检测

本实验所有肌肉样品基本组成成分的测定均

参照AOAC(2003)^[14]标准方法进行检测。肌肉水分含量通过在电热恒温干燥箱中105℃烘干至恒重, 通过失重法测定; 灰分在马弗炉中550℃煅烧3h, 采用失重法测定; 粗蛋白采用凯氏定氮仪(2300, Kjeltec Analyzer Unit)测定; 粗脂肪采用索氏抽提仪(Soxttec System HT6, Tecator, Hoganas, Sweden)进行抽提测定。

脂肪酸测定参考食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定方法(GB 5009.168-2016)。取0.4 g匀浆机研磨混匀的肌肉样品, 加入5 mL甲醇:氯仿(1:25)混合液, 混合匀浆后静置2h后过滤去除沉淀, 加入4 mL蒸馏水, 3000 r/min离心5min后去除上清液, 下层氯仿用水浴锅负压抽干。加入1 mL正己烷溶解油脂后, 加入0.4 mol/L KOH-甲醇溶液静置30min, 随后加入2 mL去离子水, 分层后取上清液用于气相色谱仪进行分析脂肪酸种类和含量, 不同脂肪酸的相对含量以总脂肪酸百分比的形式展现。

1.4 氨基酸组成检测与氨基酸营养价值评价

氨基酸测定参考食品安全国家标准食品中氨基酸的测定(GB 5009.124-2016)采用酸水解法进行。取0.5 g匀浆机研磨混匀的肌肉样品, 用6 mol/L盐酸在110℃下水解22h, 过滤定容至50 mL。取0.5 mL真空干燥后的样品, 上机采用全自动氨基酸分析仪测定氨基酸的组成及比例。

根据联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质模式, 计算两组鳊肌肉中氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)和F值来评价其营养价值。计算公式如下:

$AAS = \frac{\text{待测蛋白质中某种氨基酸含量}(\text{mg/g prot})}{\text{FAO/WHO评分标准模式中同种氨基酸含量}(\text{mg/g prot})}$;

$CS = \frac{\text{待测蛋白质中某种氨基酸含量}(\text{mg/g prot})}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量}(\text{mg/g prot})}$;

$EAAI = [(100 \times A1/AE1) \times (100 \times A2/AE2) \cdots \times (100 \times An/AEn)]^{1/n}$;

$F \text{ 值} = (\text{缬氨酸} + \text{亮氨酸} + \text{异亮氨酸}) / (\text{苯丙氨酸} + \text{酪氨酸})$;

式中, n 为比较的必需氨基酸个数; $A1, A2 \cdots An$ 分别为鳊肌肉蛋白质中必需氨基酸含量(mg/g prot); $AE1, AE2 \cdots AEn$ 为全鸡蛋蛋白质中必需氨基酸含量(mg/g prot); F 值为支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值, 其中支链氨基酸=缬氨酸(Val)+亮氨酸(Leu)+异亮氨酸(Ile), 芳香族氨基酸=苯丙氨酸(Phe)+酪氨酸(Tyr)。

1.5 肌肉质构特性检测

使用CT3质构仪(Brookfield公司, 美国)以

表1 鲜活饵料和人工饲料基本营养组成

Tab. 1 Chemical compositions of the two experimental diets

化学组成 Chemical composition (%)	鲜活饵料组 Live prey fish	人工饲料组 Artificial diet
粗蛋白Crude protein	14.14	51.69
粗脂肪Crude lipid	1.50	9.70
水分Moisture	78.80	6.10
粗灰分Ash	4.30	18.70

TPA(Texture Profile Analysis)模式检测肌肉质构参数,包括硬度、咀嚼性、弹性、内聚性和胶黏性等指标。选用型号为P35的圆柱形探头,测试参数如下:测试前速度为2 mm/s,测试后速度为5 mm/s,测试速度为1 mm/s,2次压缩的时间间隔为2s,压缩比为25%。采用Texture Pro软件(Brookfield公司,美国)进行数据采集和实时曲线绘制的数据分析。

1.6 数据分析与处理

本实验所有数据使用统计软件SPSS 20.0进行统计分析。对数据进行独立样本 t 检验,分析实验结果采用均值 $\pm$ 标准误的形式(mean $\pm$ SE, $n=6$)。以 $P<0.05$ 表示存在显著性差异, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果

2.1 肌肉基本组分

如表2所示,人工饲料饲喂鳊肌肉粗脂肪含量显著高于(25.07%, $P<0.05$)鲜活饵料组,而水分含量极显著低于(0.005%, $P<0.01$)鲜活饵料组。两组鳊肌肉中粗蛋白和灰分含量无显著差异($P>0.05$)。

2.2 肌肉氨基酸组成与营养价值评价

如表3所示,人工饲料组酪氨酸(Tyr)含量极显著低于($P<0.01$)鲜活饵料组,而组氨酸(His)显著($P<0.05$)高于鲜活饵料组,其余各种氨基酸含量均无显著差异($P>0.05$)。人工饲料组鳊肌肉中必需氨基酸(EAA)、非必需氨基酸(NEAA)、鲜味氨基酸总量(TUAA)、呈味氨基酸(FAA)与氨基酸总量(TAA)及分别占氨基酸总量的(TAA)百分比间均无显著性差异($P>0.05$)。

如表4所示,AAS和CS评分结果显示,人工饲料和鲜活饵料组的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys),第二限制性氨基酸均为缬氨酸(Val)。EAAI和 F 值作为评估氨基酸营养价值的指标之一,实验结果显示,摄食人工配合饲料组鳊的EAAI和 F 值均略高于对照组,但不存在显著性

差异($P>0.05$)。

2.3 肌肉的脂肪酸组成

如表5所示,人工饲料组鳊肌肉饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量均极显著高于对照组($P<0.01$)。并且,摄食人工饲料组多不饱和脂肪酸如二十碳五烯酸(C20:5, EPA)和二十二碳六烯酸(C22:6, DHA)含量极显著高于鲜活饵料组($P<0.01$)。

2.4 肌肉质构特性

如表6所示,摄食人工饲料组鳊肌肉的硬度、咀嚼性、胶黏性及回复性均极显著高于对照组($P<0.01$),而黏性极显著低于对照组($P<0.01$)。另外,两组间肌肉的弹性和内聚性无显著性差异($P>0.05$)。

表3 两种饲喂模式下鳊肌肉氨基酸组成的比较(%湿重)

Tab. 3 Comparison of amino acid compositions in the muscle of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) between two feeding models (% wet weight)

氨基酸 Amino acid (%)	鲜活饵料组 Live prey fish	人工饲料组 Artificial diet
天冬氨酸 Asp	1.99 $\pm$ 0.03	1.99 $\pm$ 0.01
苏氨酸 Thr	0.86 $\pm$ 0.01	0.87 $\pm$ 0.01
丝氨酸 Ser	0.79 $\pm$ 0.01	0.81 $\pm$ 0.01
谷氨酸 Glu	3.37 $\pm$ 0.06	3.36 $\pm$ 0.02
甘氨酸 Gly	0.94 $\pm$ 0.03	0.99 $\pm$ 0.03
丙氨酸 Ala	1.22 $\pm$ 0.03	1.25 $\pm$ 0.02
缬氨酸 Val	0.89 $\pm$ 0.02	0.89 $\pm$ 0.01
蛋氨酸 Met	0.60 $\pm$ 0.01	0.60 $\pm$ 0.01
异亮氨酸 Ile	0.84 $\pm$ 0.01	0.84 $\pm$ 0.01
亮氨酸 Leu	1.55 $\pm$ 0.02	1.53 $\pm$ 0.01
酪氨酸 Tyr	0.66 $\pm$ 0.01	0.64 $\pm$ 0.01**
苯丙氨酸 Phe	0.79 $\pm$ 0.01	0.79 $\pm$ 0.01
组氨酸 His	0.39 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.00*
赖氨酸 Lys	1.89 $\pm$ 0.03	1.90 $\pm$ 0.01
精氨酸 Arg	1.16 $\pm$ 0.02	1.16 $\pm$ 0.01
脯氨酸 Pro	0.63 $\pm$ 0.03	0.65 $\pm$ 0.01
总氨基酸 TAA	18.57 $\pm$ 0.32	18.67 $\pm$ 0.15
必需氨基酸 EAA	7.41 $\pm$ 0.11	7.43 $\pm$ 0.032
非必需氨基酸 NEAA	9.61 $\pm$ 0.18	9.68 $\pm$ 0.08
鲜味氨基酸总量 UAA	7.52 $\pm$ 0.13	7.58 $\pm$ 0.07
呈味氨基酸总量 FAA	8.97 $\pm$ 0.14	9.01 $\pm$ 0.08
必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比 TEAA/TAA	0.40 $\pm$ 0.00	0.40 $\pm$ 0.00
必需氨基酸总量占非必需氨基酸总量的百分比 TEAA/TNEAA	0.77 $\pm$ 0.00	0.77 $\pm$ 0.01
非必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比 TNEAA/TAA	0.52 $\pm$ 0.00	0.52 $\pm$ 0.00
Percent of TNEAA to TAA		
鲜味氨基酸总量占氨基酸总量的百分比 TUAA/TAA	0.41 $\pm$ 0.00	0.41 $\pm$ 0.00
Percent of TFAA to TAA		

表2 两种饲喂模式下鳊肌肉基本组分的比较

Tab. 2 Comparison of chemical compositions in the muscle of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) between two the feeding models

化学组成 Chemical composition	鲜活饵料组 Live prey fish (%)	人工饲料组 Artificial diet (%)
粗蛋白 Crude protein	19.73 $\pm$ 0.12	19.57 $\pm$ 0.15
粗脂肪 Crude lipid	0.67 $\pm$ 0.06	0.83 $\pm$ 0.06*
水分 Moisture	79.17 $\pm$ 0.06	78.73 $\pm$ 0.06**
粗灰分 Ash	1.40 $\pm$ 0.00	1.40 $\pm$ 0.00

注:“*”表示差异性显著($P<0.05$),“**”表示差异性极显著($P<0.01$);下同

Note: “*” indicates significant differences between groups ($P<0.05$), “**” indicates extremely significant differences between groups ($P<0.01$). The same applies below

表 4 两种饲喂模式下鳊肌肉的氨基酸营养价值评价

Tab. 4 Comparison on evaluation of amino acids traits in the muscle of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) between two feeding models

指标 Index	氨基酸 Amino acid	鲜活饵料组 Live prey fish (%)	人工饲料组 Artificial diet
氨基酸评分 AAS	异亮氨酸 Ile	1.06	1.07
	亮氨酸 Leu	1.12	1.11
	赖氨酸 Lys	1.73	1.76
	苏氨酸 Thr	1.09	1.11
	缬氨酸 Val	0.91	0.92
	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.87	0.88
	苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	1.22	1.22
	异亮氨酸 Ile	0.85	0.86
	亮氨酸 Leu	0.91	0.91
	赖氨酸 Lys	1.37	1.38
化学评分 CS	苏氨酸 Thr	0.93	0.94
	缬氨酸 Val	0.69	0.70
	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.54	0.54
	苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	0.79	0.79
	必需氨基酸指数 EAAI	83.57	84.24
F值 F-value		2.26	2.28

3 讨论

鱼类肉质品质包括营养组成、物化特性、质构参数和感官评价等受到饲料成分和环境因素等多方面的共同影响^[15]。不合理的养殖模式或饲料营养成分不均衡会降低其营养组成和质构特性而影响鱼类品质^[11, 16]。传统消费者认为投喂鲜活饵料的鱼营养组成与价值品质更优于人工配合饲料,因而在消费上表现出趋向性。本研究旨在探究人工饲料和鲜活饵料两种饲喂模式下鳊营养组成及肌肉品质的优劣,为促进鳊人工配合饲料的发展和优化提供指导。

3.1 摄食人工饲料和鲜活饵料对鳊肌肉营养成分的影响

鱼类肌肉中基本营养成分如蛋白质和脂肪可作为肉质品质评价的重要指标^[11]。肌肉基本营养成分受到遗传、生长环境和饵料资源等多种因素的影响。在本研究中,人工配合饲料的脂肪水平显著高于鲜活饵料,造成人工饲料摄食组鳊肌肉脂肪水平升高,这一结果与多种鱼类饲料高脂肪水平造成鱼体脂肪积累中的结果一致^[17, 18]。另外,摄食人工饲料组鳊肌肉中脂肪含量显著高于鲜活饵料组,原因之一可能与鳊摄食行为造成的能量和储能物

质消耗有关^[18]。研究表明,金色鳊由于其体色艳丽不利于捕食导致游动范围增加,造成其脂肪水平显著低于普通鳊^[19];流水养殖模式下大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)游动多,体脂肪含量显著低于静水养殖组^[20]。同样在本实验中,鲜活饵料存在游动性强、相比于人工配合饲料不易捕食的特性,使得鳊在摄食过程中游动范围增加,导致能量消耗多,而脂肪是鱼类肌肉中用来供能的重要成分^[21],因此摄食鲜活饵料组鳊可能通过分解脂肪来为机体提

表 5 两种饲喂模式下鳊脂肪酸组成的比较

Tab. 5 Comparison of fatty acid profiles in the muscle of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) between two feeding models

脂肪酸 Fatty acid (%)	鲜活饵料组 Live prey fish	人工饲料组 Artificial diet
豆蔻酸 C14:0	0.46±0.01	1.10±0.01**
棕榈酸 C16:0	12.67±0.21	15.50±0.17**
棕榈一烯酸 C16:1	1.30±0.03	1.84±0.02**
十七烷酸 C17:0	0.58±0.01	0.36±0.00**
硬脂酸 C18:0	4.74±0.08	5.04±0.06**
油酸 C18:1	11.20±0.17	15.70±0.17**
亚油酸 C18:2	4.33±0.09	14.10±0.35**
亚麻酸 C18:3	0.77±0.01	1.35±0.01**
二十碳一烯酸 C20:1	0.48±0.01	0.47±0.01
二十碳二烯酸 C20:2	—	0.40±0.01
二十碳三烯酸 C20:3	0.77±0.01	0.60±0.01**
二十碳四烯酸 C20:4	6.95±0.12	3.36±0.04**
芥酸 C22:1	—	0.48±0.00
二十碳五烯酸 C20:5	1.40±0.03	2.86±0.04**
二十二碳六烯酸 C22:6	8.19±0.15	11.27±0.23**
二十二碳四烯酸 C22:4	0.98±0.01	0.58±0.01**
二十二碳五烯酸 C22:5	4.54±0.08	2.13±0.05**
饱和脂肪酸 SFA	18.45±0.30	21.99±0.24**
单不饱和脂肪酸 MUFA	12.97±0.21	18.49±0.19**
多不饱和脂肪酸 PUFA	27.93±0.50	36.67±0.75**

注:“—”表示样品中未检测到该物质

Note: “—” represents that samples are not detected

表 6 两种饲喂模式下鳊肌肉质构特性的比较

Tab. 6 Comparison of texture properties in the muscle of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) between two feeding models

指标 Index	鲜活饵料组 Live prey fish	人工饲料组 Artificial diet
硬度 Hardness (N)	187.18±21.20	310.10±26.64**
黏性 Stickiness	9.27±2.62	7.86±2.24**
弹性 Springiness (mm)	0.64±0.02	0.66±0.03
咀嚼性 Chewiness (mJ)	82.88±12.40	147.17±20.41**
胶黏性 Gumminess (N)	123.06±15.15	221.80±22.31**
内聚性 Cohesiveness (%)	0.70±0.04	0.72±0.03
回复性 Resilience (g.sec)	0.51±0.03	0.65±0.03**

供捕食过程中所需的能量。另外, 蛋白质是水产品最重要的营养成分, 人工饲料饲喂和鲜活饵料饲喂组鳊肌肉蛋白水平无显著性差异, 从营养组成评估角度来看, 人工饲料饲喂出的鳊可为消费者提供充足的蛋白质营养物质。而人工饲料蛋白显著高于鲜活饵料组而未造成蛋白质的显著沉积, 可能与鳊对饲料蛋白的利用能力有关, 需进行进一步的探索分析。

3.2 摄食人工饲料和鲜活饵料对鳊肌肉氨基酸组成和营养价值的影响

人类对水产品蛋白质的需求实际上是对氨基酸的需求^[22]。在本研究中, 两种饲喂模式下肌肉蛋白质水平无显著性差异, 因此进一步评价蛋白质氨基酸种类、组成和其营养价值是比较蛋白质品质的重要方式。组氨酸是人体的必需氨基酸, 实验结果表明, 摄食人工饲料组鳊肌肉组氨酸含量显著高于鲜活饵料组, 但饲喂人工饲料和鲜活饵料组鳊肌肉必需氨基酸总量(TEAA)、非必需氨基酸总量(TNEAA)及占氨基酸总量(TAA)的百分比间无显著性差异, 表明人工饲料和鲜活饵料饲喂鳊对人体所需的氨基酸供给上无显著区别。鱼肉中的游离氨基酸含量对鱼类的风味(包括滋味和气味)起着至关重要的作用, 甜味氨基酸和鲜味氨基酸(UAA)的组成均影响鱼肉的风味^[23]。在本研究中两种饲喂模式下谷氨酸(Glu)和天冬氨酸(Asp)等鲜味氨基酸及甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)和丝氨酸(Ser)等甜味氨基酸含量上无显著性差异, 并且鲜味氨基酸总量(TUAA)与呈味氨基酸(FAA)占氨基酸总量的(TAA)百分比间也无显著性差异, 因此, 饲喂人工饲料的鳊肌肉风味可能与鲜活饵料饲喂的鳊存在相似性。

氨基酸组成与比例能直接反映鱼类肌肉蛋白质品质^[24], 通常用氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)和F值来衡量。当食物中的必需氨基酸总量(TEAA)/氨基酸总量(TAA)的百分比约40%, 必需氨基酸总量(TEAA)/非必需氨基酸总量(TNEAA)百分比达60%时, 表明其蛋白质品质优异^[25]。实验结果显示两种饲喂模式下TEAA/TNEAA分别达76.85%和77.16%, 表明人工饲料和鲜活饵料饲喂下蛋白质品质均达FAO/WHO优质蛋白质标准。并且各组AAS、CS、EAAI和F值间均无显著差异, 表明人工饲料投喂对鳊肌肉蛋白质品质无显著性影响。另外, 以FAO/WHO模式及全鸡蛋蛋白质标准模式来评价鳊肌肉营养价值, 研究结果显示两种评价模式下蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)均为第一限制性氨基酸。与此一致, 大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)在投喂冰鲜饵料

和人工配合饲料后的第一限制性氨基酸同样为Met+Cys^[26], 表明在肉食性鱼类如鳊和大口黑鲈饲料配方中可以适当补充Met+Cys以满足其氨基酸需求, 这一结果可为鳊饲料配方的优化提供理论基础。另外, 两种模式投喂下在蛋白质水平和氨基酸组成及评价上无显著性差异, 表明人工饲料的使用可以通过均衡的氨基酸组成达到与鲜活饵料饲喂鳊蛋白质营养价值的一致性。

3.3 摄食人工饲料和鲜活饵料对鳊肌肉脂肪酸组成的影响

水产品是人类n-3系列多不饱和脂肪酸(HUFA)的主要来源^[27]。并且, 鱼肉脂肪酸对其风味起着至关重要的作用, 鱼代表性的芳香气味大部分与n-3多不饱和脂肪酸分解产生的挥发性物质有关^[28]。因此, 肌肉中的脂肪酸无论从营养水平和气味物质水平上对鱼肉品质影响都十分重要。在本研究中, 人工饲料组鳊肌肉C18:2含量在人工配合饲料组是鲜活饵料组的18.3倍(14.10%/0.77%), 此结果与李志斐等^[24]在大口黑鲈投喂人工配合饲料和冰鲜杂鱼后肌肉脂肪酸C18:2水平一致。C18:2是淡水鱼的必需脂肪酸, 不能自身合成而只能从食物中获取^[27]。鲜活饵料鱼中C18:2的含量可能自身无法合成而存在缺乏, 并且饲料脂肪酸组成会影响鱼类脂肪酸的组成^[28], 因此摄食人工饲料组C18:2含量显著高于鲜活饵料组。在n-3系列HUFA中, C20:5(EPA)和C22:6(DHA)具有促进大脑发育、抗炎、抗癌和减少人类心血管疾病的发生等生理功能^[29]。研究结果显示, 人工饲料组鳊肌肉中饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量均极显著高于鲜活饵料组($P<0.01$), 尤其在EPA和DHA含量上极显著高于鲜活饵料组($P<0.01$), 表明人工配合饲料可能可以通过均衡的脂肪酸配比而鲜活饵料饲喂有着更优质的肌肉脂肪酸营养。

3.4 摄食人工饲料和鲜活饵料对鳊肌肉质构特性的影响

质构特性作为评价鱼类肌肉品质最常用的方法之一, 受到饲料成分、生长环境和养殖模式等多种因素的影响^[30, 31], 其中饵料成分对鱼肉质构特性的影响较为显著^[32]。研究报道, 肌肉硬度越大, 其抵抗牙齿咬力的能力越大, 弹性也越大, 通常在消费者接受度上鱼肉的硬度大是优良品质的重要体现^[33]。胶黏性用来描述评价力作用下物体流动性参数^[34]。咀嚼性由硬度、内聚性和弹性相乘所得^[34], 相关性分析结果显示不同养殖模式下长吻鮠(*Leiocassis longirostris* Günther)肌肉咀嚼性和硬度密切度最高^[32]。本研究中质构参数结果显示, 摄食人工

饲料组鳊肌肉硬度、咀嚼性、胶黏性和回复性均极显著高于鲜活饵料组,表明人工饲料组肉质口感优于鲜活饵料组。然而,在通常情况下肌肉脂肪水平和硬度水平呈负相关关系,高脂肪水平会导致鱼肉硬度降低,这一结果在不同养殖模式下长吻鮠的肉质结果评价中得到验证^[30]。因本研究中摄食人工饲料组鳊肌肉脂肪含量高,但肌肉硬度也较大,可能与肌肉中其他物质如胶原含量有关,这一因素的影响有待后期进一步的验证分析。

综上所述,人工饲料饲喂鳊肌肉蛋白质含量、氨基酸组成与营养价值评价水平与鲜活饵料组无显著性差异,但鳊体脂肪含量显著高于鲜活饵料组,这一结果的产生可能与饲料脂肪水平的差异和鳊在2种饲喂模式下摄食运动储能物质的消耗有关。相较于鲜活饵料饲喂组,人工饲料组鳊肌肉中n-3系列HUFA中C20:5(EPA)和C22:6(DHA)的含量显著升高,表明人工饲料可以通过均衡的营养素配比达到比鲜活饵料投喂更优质的脂肪酸供给。人工饲料饲喂造成鳊肌肉硬度、咀嚼性、胶黏性及回复性增强,表明存在一定程度的口感品质上的提升,高脂肪水平并未造成肌肉硬度的降低,可能与肌肉中其他物质成分如胶原含量水平有关。另外,本文旨在评估2种饲喂模式对鳊肌肉品质的影响,对于其造成影响的饲料营养成分与机体物质沉积及代谢过程的探讨上存在一定局限性;另外,人工配合饲料饲喂鳊后对其他生理代谢响应如免疫功能、肠道微生物区系组成等影响在今后需进一步进行探索。

参考文献:

- [1] Sun L F. Effect of feeding habits domestication on intestinal microflora, gut structure and function of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016: 14-15. [孙龙芳. 人工饲料驯食对鳊鱼肠道微生物和肠道结构功能的影响研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 14-15.]
- [2] He S, Liang X F, Sun J, *et al.* Insights into food preference in hybrid F1 of *Siniperca chuatsi* (♀) × *Siniperca scherzeri* (♂) mandarin fish through transcriptome analysis [J]. *BMC Genomics*, 2013(14): 601.
- [3] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Chinese Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2021: 25. [中华人民共和国农业农村部. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 25.]
- [4] Liang X F, Lin X, Li S, *et al.* Impact of environmental and innate factors on the food habit of Chinese perch *Siniperca chuatsi* (Basilewsky) (Percichthyidae) [J]. *Aquaculture Research*, 2008, **39**(2): 150-157.
- [5] Liang X F. Principles and techniques for domestication by artificial diet in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. *Freshwater Fisheries*, 1994, **24**(6): 36-37. [梁旭方. 鳊鱼驯食人工饲料原理与技术 [J]. 淡水渔业, 1994, **24**(6): 36-37.]
- [6] Shen Y, Li H, Zhao J, *et al.* The digestive system of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) can adapt to domestication by feeding with artificial diet [J]. *Aquaculture*, 2021(538): 736546.
- [7] He S, You J J, Liang X F, *et al.* Transcriptome sequencing and metabolome analysis of food habits domestication from live prey fish to artificial diets in mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. *BMC Genomics*, 2021, **22**(1): 129.
- [8] Li Y, Li J, Lu J, *et al.* Effects of live and artificial feeds on the growth, digestion, immunity and intestinal microflora of mandarin fish hybrid (*Siniperca chuatsi*♀ × *Siniperca scherzeri*♂) [J]. *Aquaculture Research*, 2017, **48**(8): 4479-4485.
- [9] Liang X F. Research on artificial diet for mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2002, **29**(2): 64-67. [梁旭方. 鳊鱼人工饲料的研究 [J]. 水产科技情报, 2002, **29**(2): 64-67.]
- [10] Fuentes A, Fernández-Segovia I, Serra J A, *et al.* Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality [J]. *Food Chemistry*, 2010, **119**(4): 1514-1518.
- [11] Hu H, Han D, Zhu X, *et al.* Effect of different protein source diets on growth, sensory parameters and flesh texture of on-growing grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 2018(70): 20936.
- [12] Jiang W D, Wu P, Tang R J, *et al.* Nutritive values, flavor amino acids, healthcare fatty acids and flesh quality improved by Manganese referring to up-regulating the antioxidant capacity and signaling molecules TOR and Nrf2 in the muscle of fish [J]. *Food Research International*, 2016(89): 670-678.
- [13] Dunajski E. Texture of fish muscle [J]. *Journal of Texture Studies*, 1980, **10**(4): 301-318.
- [14] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists [M]. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 2003: 1298.
- [15] Lv H B, Ma Y Y, Hu C T, *et al.* The individual and combined effects of hypoxia and high-fat diet feeding on nutrient composition and flesh quality in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Food Chemistry*, 2021(343): 128479.
- [16] Menoyo D, Izquierdo M S, Robaina L, *et al.* Adaptation of lipid metabolism, tissue composition and flesh quality in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) to the replacement of dietary fish oil by linseed and soyabean oils [J]. *The British Journal of Nutrition*, 2004, **92**(1): 41-52.
- [17] He A Y, Ning L J, Chen L Q, *et al.* Systemic adaptation

- of lipid metabolism in response to low- and high-fat diet in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Physiological Reports*, 2015, **3**(8): e12485.
- [18] Li A, Yuan X, Liang X F, *et al.* Adaptations of lipid metabolism and food intake in response to low and high fat diets in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Aquaculture*, 2016(457): 43-49.
- [19] Zhang W, Wei L D, Zhang Y M, *et al.* Comparative analysis of the fillet quality and composition between cultured rainbow trout and Atlantic salmon [J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2021, **42**(1): 74-78. [张雯, 韦玲冬, 张玉明, 等. 养殖虹鳟与大西洋鲑肉质和营养成分比较研究 [J]. *家畜生态学报*, 2021, **42**(1): 74-78.]
- [20] Hu Y T, Jiang H, Ling J, *et al.* Comparative analysis of muscle nutrient composition of *Siniperca chuatsi* populations with golden color and common ones cultured in ponds [J]. *Journal of Aquaculture*, 2018, **39**(1): 36-41. [胡玉婷, 江河, 凌俊, 等. 金色鳊鱼与普通鳊鱼肌肉营养成分的比较分析 [J]. *水产养殖*, 2018, **39**(1): 36-41.]
- [21] Geng Z W, Zhang X Y, Zheng H Y, *et al.* Comparative on muscle quality characteristics of *Micropterus salmoides* between in-pond raceway system and traditional pond system [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, **39**(23): 95-98. [耿子蔚, 张鑫宇, 郑汉字, 等. 池塘工业化养殖与传统池塘养殖模式对大口黑鲈肌肉品质特性的比较研究 [J]. *食品工业科技*, 2018, **39**(23): 95-98.]
- [22] Li H, Xu W, Jin J, *et al.* Effects of starvation on glucose and lipid metabolism in gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III) [J]. *Aquaculture*, 2018(496): 166-175.
- [23] WHO. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition [M]. Switzerland: Geneva (Switzerland) WHO/FAO/UNU, 2007.
- [24] Zhang W B, Ma R, Sun R J, *et al.* Research advance in evaluation indexes for fish quality [J]. *Feed Industry*, 2017, **38**(24): 1-10. [张文兵, 马睿, 孙瑞健, 等. 养殖鱼类品质评价指标体系的研究进展 [J]. *饲料工业*, 2017, **38**(24): 1-10.]
- [25] Fauconneau B, Alami-Durante H, Laroche M, *et al.* Growth and meat quality relations in carp [J]. *Aquaculture*, 1995, **129**(1/2/3/4): 265-297.
- [26] Li Z F, Gong W B, Wang J L, *et al.* Evaluation of effects of frozen fresh fish and artificial compound feed on muscle quality and health status of *Micropterus salmoides* [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, **29**(11): 4180-4188. [李志斐, 龚望宝, 王金陵, 等. 冰鲜杂鱼和人工配合饲料对大口黑鲈肌肉品质及健康状况影响的评价 [J]. *动物营养学报*, 2017, **29**(11): 4180-4188.]
- [27] Tocher D R, Zheng X, Schlechtriem C, *et al.* Highly unsaturated fatty acid synthesis in marine fish: Cloning, functional characterization, and nutritional regulation of fatty acyl $\Delta 6$ desaturase of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) [J]. *Lipids*, 2006, **41**(11): 1003-1016.
- [28] Cahu C, Salen P, de Lorgeril M. Farmed and wild fish in the prevention of cardiovascular diseases: assessing possible differences in lipid nutritional values [J]. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2004, **14**(1): 34-41.
- [29] Zhang T T, Xu J, Wang Y M, *et al.* Health benefits of dietary marine DHA/EPA-enriched glycerophospholipids [J]. *Progress in Lipid Research*, 2019(75): 100997.
- [30] Lie U. Flesh quality - The role of nutrition [J]. *Aquaculture Research*, 2001, **32**(Suppl.1): 341-348.
- [31] Mao D D, Zhang K, Ou H X, *et al.* Comparative analysis on flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fed with two kinds of feeds [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, **30**(6): 2226-2234. [毛东东, 张凯, 欧红霞, 等. 2种饲料投喂下草鱼肌肉品质的比较分析 [J]. *动物营养学报*, 2018, **30**(6): 2226-2234.]
- [32] Liu M, Zhu X M, Lei W, *et al.* Effect of diet formulation on the growth performance and quality of tank reared Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(3): 598-610. [柳明, 朱晓鸣, 雷武, 等. 不同饲料营养对池塘养殖长吻鲮生长性能和鱼肉品质的影响 [J]. *水生生物学报*, 2010, **34**(3): 598-610.]
- [33] Johnston I A, Li X, Vieira V L A, *et al.* Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon [J]. *Aquaculture*, 2006, **256**(1/2/3/4): 323-336.
- [34] Hu Y J, Hu Y, Shi Y, *et al.* Effects of dietary methionine on growth, serum biochemical indexes, serum free amino acid and muscle texture of rice field eel (*Monopterus albus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(6): 1155-1163. [胡亚军, 胡毅, 石勇, 等. 不同形式蛋氨酸对黄鳝生长、血清生化、血清游离氨基酸含量及肌肉品质的影响 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(6): 1155-1163.]

EFFECTS OF LIVE PREY FISH AND ARTIFICIAL DIET ON NUTRIENT COMPOSITIONS AND TEXTURE PROPERTIES IN THE MUSCLE OF MANDARIN FISH (*SINIPERCA CHUATSI*)

NIU Shu-Hui^{1,2}, LI Hong-Yan¹, PAN Hou-Jun¹, XIE Jun¹, WANG Guang-Jun¹, XIA Yun¹ and GONG Wang-Bao¹

(1. Key Laboratory of Tropical & Subtropical Fishery Resource & Cultivation, Ministry of Agriculture and Rural, Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Animal Immunology and Sustainable Aquaculture, Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) is a kind of carnivorous fish that feeds on live prey fish. Recent research has shown that it could be domesticated by artificial diet. However, the effects of artificial diet feeding after domestication on the nutritional value and flesh quality were lacking. The present study compared nutritional composition, amino acid component and its nutritional evaluation, fatty acid profiles, and texture properties between mandarin fish fed with live prey fish and artificial diet. The results showed that no significant differences were observed in the protein levels of the two groups, while the lipid levels were significantly higher in fish fed the artificial diet ($P < 0.05$). The amino acid score (AAS), chemical score (CS), essential amino acid index (EAAI) and F value did not vary between groups. However, Met+Cys were both the first-limiting amino acids in mandarin fish under the two feeding modes, which could provide information to improve diet formulation. The levels of unsaturated fatty acids (SFA), monounsaturated fatty acids (MUFA), and polyunsaturated fatty acids (PUFA) were extremely significantly higher in mandarin fish fed an artificial diet ($P < 0.01$), especially for the levels of C20:5 (EPA) and C22:6 (DHA), which indicated that artificial diet feeding could provide better fatty acid profiles than live prey fish by balanced diet formulation. The firmness, chewiness, gumminess, and resilience in the muscle of mandarin fish fed with artificial diet were extremely higher than the live prey fish group ($P < 0.01$), whereas the stickiness showed the opposite levels ($P < 0.01$), suggesting the improvement on texture of flesh quality. Overall, we found no variations in protein levels and amino acid evaluations in mandarin fish fed the artificial diet, but the fatty acid profiles showed superior results as indicated by higher levels of EPA and DHA. Therefore, our findings evaluated the flesh quality properties of mandarin fish by feeding an artificial diet, showing the potential of the use of an artificial diet in mandarin fish and the sustainable development of its industry.

Key words: Artificial diet; Live prey fish; Nutritional component; Texture property; *Siniperca chuatsi*