

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.18066

不同饲料料型及投喂频率对斑点叉尾鲷幼鱼生长及肌肉品质的影响

李卓钦, 刘文斌, 田红艳, 徐超, 蒋广震

南京农业大学动物科技学院, 江苏省水产动物营养重点实验室, 江苏 南京 210095

摘要: 本研究旨在探究不同饲料料型及投喂频率对斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)生长及肌肉品质的影响。研究采用双因素试验设计, 以饲料料型(膨化饲料, EF; 颗粒饲料, PF)和投喂频率(2次/日, F2; 3次/日, F3)为影响因素, 共4个组, 分别命名为 EFF2、PFF2、EFF3 和 PFF3, 每组3个平行, 投喂8周, 每天定时投喂两次(7:30 和 16:30)或3次(7:30, 12:00, 16:30)。结果显示, 斑点叉尾鲷的末重和增重率受到投喂频率的影响, F2组显著高于F3组($P<0.05$); 而饲料料型则对斑点叉尾鲷的生长无显著影响($P>0.05$)。颗粒饲料组的肌肉粗脂肪含量和内聚性、回复性显著低于膨化饲料组($P<0.05$), 而硬度显著高于膨化饲料组($P<0.05$)。F3组的肌肉硬度、胶着性和咀嚼性则显著高于F2组($P<0.05$)。颗粒饲料组生肌调节因子5(myogenic factor 5, Myf5)和肌肉生长抑制素(myostatin, MSTN)基因的相对表达量显著低于膨化饲料组($P<0.05$)。F3组肌肉中MSTN基因相对表达量显著高于F2组, 而肌细胞生成素(myogenin, MyoG)基因相对表达量则呈现相反趋势。综上, 投喂同种配方的膨化饲料和颗粒饲料对斑点叉尾鲷的生长效果相似, 但是投喂颗粒饲料的斑点叉尾鲷硬度更大, 而投喂膨化饲料则肌肉脂肪含量更高; 斑点叉尾鲷的最佳投喂频率是每天2次。

关键词: 膨化饲料; 颗粒饲料; 投喂频率; 斑点叉尾鲷; 生长性能; 肌肉品质

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)06-1260-11

近年来, 膨化饲料行业在中国发展迅猛。研究表明, 与颗粒饲料相比, 膨化饲料具有抗营养因子含量低^[1-3], 蛋白质、淀粉和非淀粉多糖利用率高的特点^[4-6]。但是由于膨化饲料在加工时, 高温会破坏饲料中维生素、不饱和脂肪酸、酶制剂等热敏性物质, 因而会破坏饲料成分, 从而导致养殖鱼类抗应激能力较差^[7-9]。关于膨化饲料和颗粒饲料对鱼类生长的影响已有许多研究, 但是对不同鱼类的研究结果并不一致。王常安等^[10]研究表明膨化饲料可以提高哲罗鲑(*Hucho taimen*)的生长, Booth等^[11]则发现膨化饲料会降低银鲈(*Bidyanus bidyanu*)的生长, 而在斑点叉尾鲷^[12]上则发现饲料料型对斑点叉尾鲷的生长并未造成显

著影响。

投喂频率是影响鱼类摄食和饲料消化利用率的重要因素之一, 适宜的投喂频率可以减少饲料浪费, 降低个体生长差异, 提高饲料利用率, 从而提高养殖经济效益^[13]。然而, 确定一个适宜的投喂频率来达到最佳的生长和饲料利用率取决于很多因素, 包括饲料料型、鱼体规格、自身种属、食性等^[14-15]。因此, 确定适宜的投喂频率对研究鱼类的摄食、生长有着重要的意义。

基因效应是影响肉质的内在因素^[16]。研究表明生肌调节因子(myogenic regulatory factors, MRFS)基因家族和肌肉生长抑制素(myostatin, MSTN)基因均在调节肌肉增生和肥大的过程中起

收稿日期: 2018-02-27; 修订日期: 2018-04-04.

基金项目: 江苏省现代渔业产业技术体系项目(JFRS-05); 江苏省农业科技自主创新项目[CX(15)1013].

作者简介: 李卓钦(1993-), 男, 硕士研究生, 从事水产动物营养与饲料研究. E-mail: 2015105069@njau.edu.cn

通信作者: 蒋广震, 博士, 副教授, 从事水产动物营养与品质的研究. E-mail: jianggz@njau.edu.cn

到了关键性的作用^[17]。其中生肌决定因子 5 (myogenic factor 5, Myf5)主要调节肌细胞的再生和动态平衡,肌细胞生成素(myogenin, MyoG)则主要负责肌肉分化^[18],而 MSTN 在骨骼肌的生长发育过程中起负调控作用,会阻碍肌细胞和肌纤维的生长^[19]。

目前有关饲料料型及投喂频率对斑点叉尾鲷幼鱼肌肉品质的影响尚未见报,因此本研究旨在探究不同饲料料型及投喂频率对斑点叉尾鲷幼鱼生长、体组成、肌肉品质的影响,为斑点叉尾鲷幼鱼阶段的合理投喂提供科学依据,也为鱼类肉质品质调控提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 试验饲料与试验设计

试验以豆粕、菜粕、棉粕和鱼粉为主要蛋白源,设计粗蛋白水平为 33%,粗脂肪水平为 6%的配方,分别制作成颗粒饲料和膨化饲料。基础饲料组成和营养水平见表 1。各原料经粉碎机粉碎过 80 目筛孔,逐级混匀。颗粒饲料制粒温度为 (75±5)℃,膨化饲料制粒温度则为(115±5)℃。饲料干燥后,在 4℃冰箱中保存备用。

试验采用双因素试验设计中的“2×2 因子设计”,以饲料料型(膨化饲料,EF;颗粒饲料,PF)和投喂频率(2 次/日,F2;3 次/日,F3)为影响因素,共 4 个组,分别命名为 EFF2、PFF2、EFF3 和 PFF3,每组 3 个平行。

1.2 试验鱼与养殖管理

养殖试验在南京农业大学浦口试验基地的户外网箱内进行,试验所用斑点叉尾鲷由江苏泰兴市水产良种场提供。正式试验开始前,将斑点叉尾鲷暂养于网箱中,期间投喂商品饲料使其适应试验环境。驯化 1 周后,将 180 尾体格健壮、规格整齐、初始体重为(25.35±0.04) g 的斑点叉尾鲷随机分成 4 组,每组 3 个重复,每个重复网箱 15 尾鱼。养殖试验的 12 个网箱(规格为 1.0 m×1.0 m×1.5 m)在同一池塘中进行,养殖期为 8 周。养殖期间,每天定时投喂两次(7:30 和 16:30)或定时投喂 3 次(7:30, 12:00, 16:30)。每日观察并根据投喂周期,定期调整投饵量并保持所有网箱的投饵量

表 1 饲料配方与营养成分
Tab. 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets %; 干物质 dry matter

原料 ingredient	饲料 diet	
	膨化饲料 extruded feed	颗粒饲料 pellet feed
鱼粉 fish meal	6.00	6.00
混合植物蛋白 mixed plant protein ¹	52.00	52.00
鱼油 fish oil	2.00	2.00
玉米油 corn oil	2.00	2.00
面粉 wheat flour	15.00	15.00
麸皮 wheat bran	19.09	19.09
晶体赖氨酸 Lys-HCl	0.21	0.21
磷酸二氢钙 calcium biphosphate	1.80	1.80
食盐 salt	0.40	0.40
乙氧基喹啉 ethoxyquinoline	0.50	0.50
预混料 premix ²	1.00	1.00
概略组成/% proximate composition		
粗蛋白 crude protein	33.08	33.14
粗脂肪 ether extract	5.98	6.05
水分 moisture	11.42	11.70
灰分 ash	7.86	7.38

注: ¹ 混合植物蛋白, 豆粕: 菜粕: 棉粕=8:2:3。
² 每千克预混料中含矿物和维生素: 硫酸铜 2.0 g, 硫酸亚铁 25 g, 硫酸锌 22 g, 硫酸锰 7 g, 亚硒酸钠 0.04 g, 碘化钾 0.026 g, 氯化钴 0.1 g, 维生素 A 900000 IU, 维生素 D 200000 IU, 维生素 E 4500 mg, 维生素 K₃ 220 mg, 维生素 B₁ 320 mg, 维生素 B₂ 1090 mg, 维生素 B₅ 2000 mg, 维生素 B₆ 500 mg, 维生素 B₁₂ 1.6 mg, 维生素 C 5000 mg, 泛酸 1000 mg, 叶酸 165 mg, 胆碱 60000 mg。
Note: ¹ Mixed plant protein, soybean meal : rapeseed meal : cottonseed meal =8 : 2 : 3.
² Premix supplied the following minerals (g/kg of diet) and vitamins (IU or mg/kg of diet): CuSO₄·5H₂O, 2.0 g; FeSO₄·7H₂O, 25 g; ZnSO₄·7H₂O, 22 g; MnSO₄·4H₂O, 7 g; Na₂SeO₃, 0.04 g; KI, 0.026 g; CoCl₂·6H₂O, 0.1 g; Vitamin A, 900000 IU; Vitamin D, 200000 IU; Vitamin E, 4500 mg; Vitamin K₃, 220 mg; Vitamin B₁, 320 mg; Vitamin B₂, 1090 mg; Vitamin B₅, 2000 mg; Vitamin B₆, 500 mg; Vitamin B₁₂, 1.6 mg; Vitamin C, 5000 mg; pantothenate, 1000 mg; folic acid, 165 mg; choline, 60000 mg.

一致,并定期检测水质。试验期间水温 25~35℃,pH 为 7.0~7.5,溶解氧含量大于 5.0 mg/L,氨氮含量小于 0.01 mg/L。

1.3 样品采集与分析测定

1.3.1 样品采集 养殖试验结束后将所有试验网箱中的斑点叉尾鲷禁食 24 h,然后统计每个网箱中斑点叉尾鲷的数量和总重,计算其末重、特定生长率、增重率、饵料系数等。随机抽取 4 尾鱼,用浓度 100 mg/L 的间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐

(MS-222, 美国 Sigma 公司)进行麻醉处理, 并称取其体重。然后用手术刀剥开背部皮肤, 切取两块肌肉放入两个密封袋中, 分别置于 -40°C 冰箱和 4°C 冰箱中保存, 用于肌肉体组成和质构的测定。另取一部分存入冻存管中, 快速置于 -80°C 超低温冰箱中冷冻保存以便后续分子指标测定。此外, 每组保留两尾全鱼, 置于 -40°C 冰箱中冷冻保存, 用于体组成的测定。

1.3.2 饲料、肌肉体组成和全鱼体组成含量测定

饲料常规营养成分、肌肉体组成和全鱼体组成的测定方法参照 AOAC(1995)标准。具体测定方法如下: 水分含量采用 105°C 烘干法测定; 粗蛋白(N $\times 6.25$)含量采用全自动凯氏定氮仪(FOSS KT260, 瑞士 FOSS 公司)测定; 粗脂肪含量采用索氏抽提法测定; 粗灰分采用 550°C 灼烧法测定。

1.3.3 肌肉质构分析 采样 24 h 内的鲜样于国家肉品质量安全控制工程技术研究中心(南京农业大学, 中国)进行质构分析, 将斑点叉尾鲷背肌切成 1 cm^3 的立方体小块, 使用质构仪(TA.XT Plus, Stable Micro Systems, 英国)以及直径 50 mm 的铝制压缩板进行测定。测定数据由 exponent 软件(Stable Micro Systems Version 6.0, 英国)记录。测定参数设置为测试时速率为 1 mm/s , 压缩速率 2 mm/s , 压缩后速率 2 mm/s 。形变量为肌肉厚度的 50%。每个样品压制两次, 每次为 60 s。考察的参数主要包括黏附性、咀嚼性、硬度、弹性等, 参照 Hixson 等^[20]的描述。

1.3.4 总 RNA 提取, 反转录以及 RT-PCR 总 RNA 的提取: 取组织样 100 μg 左右置于预先加入 1 mL Trizol (4°C 预冷)的 EP 管中, 冰浴条件下充分匀浆, 上下颠倒 10 下, 放置 5 min, 加入 200 μL 氯仿, 剧烈震荡 15 s, 然后 4°C 条件下, 12000 r/min 离心 15 min。取上清液 400 μL , 加入等体积的异

丙醇, 充分摇匀后, 室温静置 10 min, 接着 4°C 条件下, 12000 r/min 离心 10 min, 弃上清。然后, 加入 500 μL 75% 的乙醇, 充分摇匀后, 于 4°C 条件下, 12000 r/min 离心 5 min, 重复此操作两次。小心弃去乙醇后, 在超净台使用风机进行干燥, 直至离心管中的白色物质呈现半透明状。加入适量 DEPC 水溶解 RNA, 并用紫外微量分光光度计测定其浓度和质量。保证 $\text{OD}_{260}/\text{OD}_{280}$ 在 1.8~2.0 之间。最后将各样品稀释到同一浓度下, 进行下一步反转录。

反转录: 按照大连宝生物公司提供的试剂盒进行反转录, 反应程序: 第一步 37°C , 15 min; 第二步 85°C , 5 s; 最后 4°C 保存。

RT-PCR 的过程: 用 primer5 软件设计引物, 由上海英捷公司合成(表 2), 然后用 DEPC 水稀释, 根据宝生物公司提供的说明书进行操作, 反应程序: 94°C 预热 5 min $\rightarrow$ PCR 循环 30 次(每个循环中 94°C 变性 30 s, 55.9°C 退火 30 s, 72°C 延伸 30 s) $\rightarrow$ 72°C 延伸 7 min。选用 TUBA 作为内参基因, 用 $2^{-\Delta\Delta\text{Ct}}$ 方法计算 Myf5、MyoG 和 MSTN 基因的相对表达量。

1.4 生长性能指标及其计算方法

鱼体生长性能相关指标及其计算公式如下:

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

特定生长率(SGR, specific growth rate): $\text{SGR}/\% = (\ln W_t - \ln W_0) / T \times 100\%$

饵料系数(FCR, feed conversion ratio): $\text{FCR} = F / (W_t - W_0)$

式中, W_0 为鱼的初始体重(g); W_t 为试验结束时鱼的体重(g); T 为养殖时间(d); F 为摄食量(g)。

1.5 数据统计与分析

所有的数据先用 Excel 做简单的处理, 然后用 SPSS 进行数据分析, two-way ANOVA 分析

表 2 试验所需引物核苷酸序列

Tab. 2 Nucleotide sequences of primers used in the experiment

目的基因 target gene	正义链(5'-3') forward (5'-3')	反义链(5'-3') reverse (5'-3')	序列号 accession number
Myf5	TTATTCTGGAAGCATTTA	TCAGAACGATAGAACTTTT	XM_017493744.1
MyoG	TTAGATTTCCTTGGCACC	AGTTCTCACCGCTTTCGT	XM_017450867.1
MSTN	CTTGCAGATATCGCGACTCA	CCTGATTCTCTCTGGTTTCG	AF396747
TUBA	CACTGGTATGTAGGAGAG	CCTCAATGGAATCAACAC	GH642228

饲料料型和投喂频率之间是否存在交互作用, 如果二者之间存在显著交互作用($P<0.05$), 用 one-way ANOVA 中的 Tukey 做方差分析得出不同组之间的差异情况, 结果用平均数 $\pm$ 标准误表示。

2 结果与分析

2.1 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷生长的影响

由表 3 可知: 斑点叉尾鲷的末重、增重率和饵料系数不受饲料料型的影响($P>0.05$)。斑点叉尾鲷的末重和增重率受到投喂频率的影响, F2 组显著高于 F3 组($P<0.05$), 而饵料系数则呈现相反趋势。饲料料型和投喂频率的交互作用对斑点叉尾鲷的末重、增重率影响显著($P<0.05$), 但是对饵料系数没有影响($P>0.05$)。EFF2 组的末重和增重率显著高于 EFF3 组($P<0.05$), 但是和 PFF2 组和 PFF3 组无明显差异($P>0.05$)。

2.2 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷全鱼体组成及肌肉组成成分的影响

由表 4 可知: 全鱼的水分、粗蛋白和粗灰分含量受到饲料料型的影响, PF 组的全鱼水分和粗

灰分含量显著高于 EF 组($P<0.05$), 而其粗蛋白含量显著低于 EF 组($P<0.05$), 但粗脂肪含量无显著差异($P>0.05$), 略低于 EF 组。全鱼粗灰分的含量受到投喂频率的影响, F3 组显著高于 F2 组($P<0.05$), 但是其水分、粗蛋白和粗脂肪含量无差异($P>0.05$)。全鱼的灰分含量受到饲料料型和投喂频率的交互作用影响显著($P<0.05$), 并且 PFF3 组显著高于其他组($P<0.05$), 但是在水分、粗蛋白和粗脂肪含量中并没有发现显著差异($P<0.05$)。

由表 5 可知: 肌肉粗蛋白和粗灰分的含量在各组之间并无显著差异($P>0.05$), 但是其水分和粗脂肪含量受到饲料料型因素的影响, PF 组的肌肉水分含量显著高于 EF 组($P<0.05$), 而其粗脂肪含量则低于 EF 组($P<0.05$)。肌肉水分、粗脂肪、粗蛋白和粗灰分含量均不受投喂频率变化的影响($P>0.05$), 并且在饲料料型以及投喂频率的交互作用上也没有影响($P>0.05$)。

2.3 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷肌肉肉质构的影响

由表 6 可知: 背肌黏附性、弹性、胶着性和咀嚼性不受饲料料型的影响($P>0.05$), 但是其硬

表 3 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷生长的影响
Tab. 3 Growth performance in channel catfish *Ictalust punctatus* fed different types of feed under different feeding frequencies
 $n=3; \bar{x} \pm SE$

组别 group	初重/g initial body weight	末重/g final body weight	增重率/% weight gain	饵料系数 feed conversion ratio
PFF2	25.29 $\pm$ 0.15	109.89 $\pm$ 0.98 ^{ab}	334.52 $\pm$ 1.56 ^{ab}	1.27 $\pm$ 0.04
EFF2	25.51 $\pm$ 0.08	115.63 $\pm$ 1.75 ^a	353.22 $\pm$ 5.61 ^a	1.25 $\pm$ 0.05
PFF3	25.36 $\pm$ 0.09	110.09 $\pm$ 1.92 ^{ab}	334.19 $\pm$ 7.71 ^{ab}	1.29 $\pm$ 0.03
EFF3	25.20 $\pm$ 0.04	102.02 $\pm$ 2.42 ^b	304.86 $\pm$ 9.78 ^b	1.43 $\pm$ 0.04
饲料料型 feed type				
EF		108.83 $\pm$ 1.30	329.04 $\pm$ 4.86	1.34 $\pm$ 0.03
PF		109.99 $\pm$ 1.30	334.36 $\pm$ 4.86	1.28 $\pm$ 0.03
投喂频率 feeding frequency				
F2		112.76 $\pm$ 1.30 ^A	343.87 $\pm$ 4.86 ^A	1.26 $\pm$ 0.03 ^B
F3		106.06 $\pm$ 1.30 ^B	319.52 $\pm$ 4.86 ^B	1.36 $\pm$ 0.03 ^A
双因素方差分析 two-way ANOVA				
饲料料型 feed type		ns	ns	ns
投喂频率 feeding frequency		**	**	*
交互 interaction		**	**	ns

注: 同列数据上标不同表示组间存在显著差异($P<0.05$)。*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$; ns 表示无显著差异。
Note: Values in each column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$). *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$; ns means not significant.

表 4 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷全鱼体组成成分的影响
Tab. 4 The whole fish body proximate composition in channel catfish *Ictalust punctatus* fed different types of feed under different feeding frequencies

$n=3; \bar{x} \pm SE$

组别 group	水分/% moisture	粗脂肪/% ether extract	粗蛋白/% crude protein	粗灰分/% ash
PFF2	73.14±0.38	7.27±0.27	16.06±0.11	3.41±0.03 ^b
EFF2	70.45±0.74	7.53±0.29	16.72±0.14	3.31±0.03 ^b
PFF3	73.61±0.87	7.20±0.21	16.21±0.12	3.64±0.01 ^a
EFF3	72.85±0.43	7.36±0.27	16.53±0.35	3.32±0.01 ^b
饲料料型 feed type				
EF	71.65±0.45 ^Y	7.44±0.19	16.63±0.14 ^X	3.32±0.02 ^Y
PF	73.38±0.45 ^X	7.24±0.19	16.13±0.14 ^Y	3.53±0.02 ^X
投喂频率 feeding frequency				
F2	71.80±0.45	7.40±0.19	16.39±0.14	3.36±0.02 ^B
F3	73.23±0.45	7.28±0.19	16.37±0.14	3.48±0.02 ^A
双因素方差分析 two-way ANOVA				
饲料料型 feed type	*	ns	*	***
投喂频率 feeding frequency	ns	ns	ns	***
交互 interaction	ns	ns	ns	***

注：同列数据上标不同表示组间存在显著差异($P<0.05$)。*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$; ns 表示无显著差异。
Note: Values in each column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$); *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$; ns means not significant.

表 5 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷肌肉组成成分的影响
Tab. 5 The muscle proximate composition in channel catfish *Ictalust punctatus* fed different types of feed under different feeding frequencies

$n=3; \bar{x} \pm SE$

组别 group	水分/% moisture	粗脂肪/% ether extract	粗蛋白/% crude protein	粗灰分/% ash
PFF2	78.51±0.35	1.75±0.13	17.70±0.44	1.35±0.02
EFF2	77.52±0.30	2.32±0.25	18.32±0.29	1.33±0.02
PFF3	79.04±0.26	1.84±0.23	17.59±0.10	1.41±0.04
EFF3	77.89±0.40	2.48±0.27	17.79±0.26	1.31±0.07
饲料料型 feed type				
EF	77.71±0.23 ^B	2.40±0.16 ^A	18.06±0.21	1.32±0.03
PF	78.77±0.23 ^A	1.80±0.16 ^B	17.64±0.21	1.38±0.03
投喂频率 feeding frequency				
F2	78.02±0.23	2.04±0.16	18.01±0.21	1.34±0.03
F3	78.47±0.23	2.16±0.16	17.69±0.21	1.36±0.03
双因素方差分析 two-way ANOVA				
饲料料型 feed type	*	*	ns	ns
投喂频率 feeding frequency	ns	ns	ns	ns
交互 interaction	ns	ns	ns	ns

注：同列数据上标不同表示组间存在显著差异($P<0.05$)。*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$; ns 表示无显著差异。
Note: Values in each column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$). *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$; ns means not significant.

度、内聚性和回复性受到饲料料型的影响, PF 组的硬度显著高于 EF 组($P<0.05$), 而其内聚性和回复性则显著低于 EF 组($P<0.05$)。背肌黏附性、弹性、内聚性和回复性不受投喂频率的影响($P>0.05$),

但是其硬度、胶着性和咀嚼性则受到投喂频率的影响, F3 组的硬度、胶着性和咀嚼性显著高于 F2 组($P<0.05$)。斑点叉尾鲷背肌硬度、黏附性、弹性、内聚性和咀嚼性不受饲料料型和投喂频率的交互

表 6 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷肌肉质构的影响

Tab. 6 Fillet texture profiles in channel catfish *Ictalust punctatus* fed different types of feed under different feeding frequencies

$n=3; \bar{x} \pm SE$

组别 group	硬度 hardness	黏附性 adhesiveness	弹性 springiness	内聚性 cohesiveness	胶着性 gumminess	咀嚼性 chewiness	回复性 resilience
PFF2	964.51±21.24	-55.04±9.40	0.53±0.09	0.31±0.02	308.70±15.03 ^b	162.36±39.28	0.19±0.00 ^b
EFF2	752.49±20.34	-36.87±6.33	0.57±0.07	0.43±0.01	324.77±7.18 ^b	184.42±18.23	0.19±0.01 ^a
PFF3	1129.50±128.10	-37.43±4.49	0.55±0.05	0.38±0.04	468.14±6.619 ^a	232.75±27.88	0.17±0.01 ^b
EFF3	999.52±51.66	-42.94±5.10	0.75±0.07	0.41±0.02	405.07±21.69 ^a	302.18±27.43	0.20±0.00 ^a
饲料料型 feed type							
EF	876.01±49.93 ^Y	-39.91±4.67	0.66±0.05	0.42±0.02 ^X	364.92±9.95	243.30±20.63	0.20±0.003 ^X
PF	1047.00±49.93 ^X	-46.24±4.67	0.54±0.05	0.34±0.02 ^Y	388.42±9.95	197.56±20.63	0.18±0.003 ^Y
投喂频率 feeding frequency							
F2	858.50±49.93 ^B	-45.95±4.67	0.55±0.05	0.37±0.02	316.73±9.95 ^B	173.39±20.63 ^B	0.19±0.003
F3	1064.51±49.93 ^A	-40.19±4.67	0.65±0.05	0.39±0.02	436.61±9.95 ^A	267.47±20.63 ^A	0.19±0.003
双因素方差分析 two-way ANOVA							
饲料料型 feed type	*	ns	ns	*	ns	ns	**
投喂频率 feeding frequency	*	ns	ns	ns	***	*	ns
交互 interaction	ns	ns	ns	ns	*	ns	*

注: 同列数据上标不同表示组间存在显著差异($P<0.05$)。*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$; ns 表示无显著差异。
Note: Values in each column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$). *: $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$; ns means not significant.

作用($P>0.05$), 但是背肌胶着性和回复性受到饲料料型和投喂频率的交互作用($P<0.05$), PFF3 和 EFF3 组的胶着性显著高于其他两组($P<0.05$), 而 PFF3 组的回复性显著低于其他组($P<0.05$)。

2.4 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷 *Myf5*、*MyoG* 和 *MSTN* 基因表达的影响

由图 1 可知: 肌肉中 *Myf5*、*MSTN* 基因的相对表达量受到饲料料型的影响, PF 组的 *Myf5* 和 *MSTN* 基因的相对表达量显著低于 EF 组($P<0.05$), 而 *MyoG* 基因的相对表达量则没有差异($P>0.05$)。肌肉中 *MSTN* 和 *MyoG* 基因的相对表达量受到投喂频率的影响($P<0.05$), F3 组的 *MSTN* 基因的相对表达量显著高于 F2 组, *MyoG* 基因的相对表达量则呈现相反的趋势, 同时 *Myf5* 基因的相对表达量差异不显著($P>0.05$)。肌肉中 *MyoG* 基因的相对表达量受到饲料料型和投喂频率的交互作用影响显著($P<0.05$), 并且在 EFF3 组发现最低值, 但是 *MSTN* 和 *Myf5* 基因的相对表达量则没有受到饲料料型和投喂频率交互作用的影响($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷生长的影响

本研究结果得出投喂膨化饲料相比颗粒饲料对斑点叉尾鲷的末重、增重率和饵料系数无显著差异, 这结果与林仕梅等^[21]和 Xu 等^[12]的结果相似。此外, F2 组的末重和增重率显著高于 F3 组, 表明该条件下的斑点叉尾鲷的最适投喂频率为 2 次/日, 这与 Andrews 等^[22]的研究结果相似。但董桂芳等^[23]研究建议斑点叉尾鲷幼鱼的最适投喂频率为 3 次/日, 这可能归因于所用鱼的规格。因为鱼类的适宜投喂频率随着鱼类自身种属、鱼体规格、食性、饲料蛋白和能量比例以及前期饲喂条件等的变化而变化^[24-25], 斑点叉尾鲷规格越小对能量的需求越高, 所以其在研究中得出 3 次/日投喂更好。另外, 本研究还发现饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷的末重和增重率之间存在交互作用, 且 EFF2 组的生长效果最差。究其原因, 一方

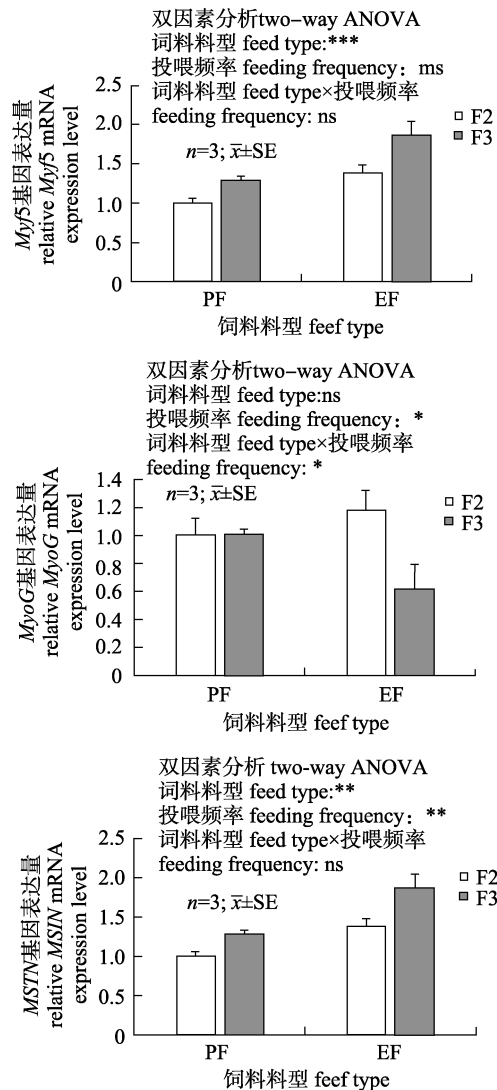


图 1 不同饲料料型和投喂频率下斑点叉尾鲷肌肉中 Myf5、MyoG 和 MSTN 基因表达情况

图中不同小写英文字母表示两者之间差异显著 ($P < 0.05$)。

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$; ns 表示无显著差异。

Fig. 1 Relative expressions of Myf5, MyoG and MSTN in muscle of channel catfish with different feeds and feeding frequencies

Means with different lowercase letters are significantly different at $P < 0.05$. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$; ns means not significant.

面是由于膨化饲料相对颗粒饲料更容易产生饱腹感。随着投喂频率的增加,致使食欲恢复时间变短,从而导致胃内饲料未经充分消化进入肠道,进而造成营养成分流失^[26],所以使得摄食膨化饲料后的胃排空时间较颗粒饲料延长^[27]。覃志彪等^[28]在研究瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)幼鱼的最佳投喂频率时给出了相似的解释。另一

方面可能归因于鱼类过多的索食行为消耗掉了部分能量,导致了鱼类生长速度缓慢^[29]。

3.2 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷全鱼体组成及肌肉组成成分的影响

本研究的结果显示: EF 组的全鱼水分和粗灰分的含量显著低于 PF 组,而其粗蛋白和脂肪含量则显著高于 PF 组。这与王常安等^[10]在哲罗鲑的研究结果类似。然而, Ballestrazzi 等^[30]研究结果表明投喂膨化饲料的海鲈(*Lateolabrax japonicus*)全鱼粗蛋白、水分和灰分的含量均显著低于非膨化饲料组,脂肪含量则显著高于非膨化饲料组。此外, Hilton 等^[27]则发现,膨化饲料对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的全鱼体组成没有影响。这些结果的不同可能跟鱼类自身种属、规格、环境和所处的生长阶段有关^[31]。在本研究中,各组中投喂频率对斑点叉尾鲷全鱼水分、粗蛋白和粗脂肪无显著影响,但其灰分在 F2 组显著低于 F3 组,这结果与鲢状黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)^[24]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[32]上的结果相一致。在本研究中,其肌肉组成在饲料料型和投喂频率的影响下,其趋势与全鱼体组成基本一致。根据研究显示,脂肪尤其是多不饱和脂肪酸的含量对鱼类肌肉的香味和多汁性方面有着重要影响^[33],而本研究中投喂膨化饲料组斑点叉尾鲷肌肉脂肪含量显著高于颗粒饲料组。由此可以得出,投喂膨化饲料的斑点叉尾鲷其肉质的风味相较投喂颗粒饲料可能会更好,这与张升利等^[34]的研究投喂不同饵料对吉富罗非鱼(*Oreochromis spp.*)肌肉营养成分的影响中所得出的结论一致。

3.3 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷肌肉肉质构的影响

无论是对于机械的再次加工还是消费者满意度来讲,肌肉质构都是不可忽视的考察指标^[35]。鱼体营养成分中的蛋白、脂肪以及质构指标中的硬度、剪切力是影响鱼肉品质的重要参数,但是质构指标优先性更强,归其原因是它们对肉质感官性能的影响更为突出,而对于消费者而言口感比营养价值更加重要^[36]。胡芬等^[37]对 5 种淡水鱼的质构特性与营养成分的相关性分析后得出硬度和弹性是影响鱼肉质构特性的主要因素。在本研

究中, 投喂膨化饲料和颗粒饲料对斑点叉尾鲷肌肉弹性无显著性差异, 但是 PF 组的斑点叉尾鲷肌肉硬度显著高于 EF 组, 其内聚性和回复性显著低于 EF 组。目前已有研究表明, 高脂肪含量会使鱼肉的机械强度降低, 使得硬度与脂肪含量呈负相关^[38]。马玲巧等^[39]在水库网箱和池塘养殖斑点叉尾鲷中也发现肌肉中脂肪含量高会使得其硬度变低。这或许可以解释在本研究中 EF 组的斑点叉尾鲷肌肉硬度低于 PF 组。张婷等^[40]在研究咸鱼品质质构和感官相关性时, 得出硬度、咀嚼性与感官评价总分呈显著正相关, 而内聚性、弹性等则呈负相关。这在一定程度上说明 PF 组的斑点叉尾鲷的肉质要强于 EF 组。在本研究中, F3 组的斑点叉尾鲷肌肉硬度、胶着性和咀嚼性显著高于 F2 组。这可能是因为 F3 组相对 F2 组斑点叉尾鲷的索食行为更多, 进而导致其鱼体肌纤维直径变小且排列更为紧密, 因此则可能表现为硬度较高^[41]。有学者认为硬度与咀嚼性呈显著正相关^[42-43], 且较高的硬度和咀嚼性将会增加肌肉的品质^[40]。这结果在一定程度上说明 F3 组的斑点叉尾鲷肌肉品质强于 F2 组。在本研究中, 饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷背肌胶着性和回复性存在交互作用, 并在 PFF3 组发现有着最大的胶着性和最小的回复性, 且肌肉硬度也显著高于其他各组, 这也在一定程度上说明了其肌肉品质高于其他组。

3.4 不同饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷 *Myf5*、*MyoG* 和 *MSTN* 基因表达的影响

在本研究中 EF 组的 *Myf5* 和 *MSTN* 基因的相对表达量显著高于 PF 组。有研究指出 *Myf5* 和 *MSTN* 基因的表达量跟肌肉中脂肪含量呈正相关^[44-47], 这刚好印证了本研究中 EF 组肌肉脂肪含量显著高于 PF 组。同样地, 本研究结果表明 F3 组的 *MSTN* 基因的相对表达量高于 F2 组, 而 *MyoG* 基因则呈现相反的趋势。有研究表明 *MyoG* 基因 N 等位基因具有使肌纤维生长更充分、直径变粗的作用, 在提高胴体瘦肉率和肌肉品质方面具有较强的遗传效益^[48]。陈敦学^[49]在黄鳝(*Monopterus albus*)生肌调节因子(MRFs)家族的肌肉的克隆与营养调控及进化分析中也指出高水平的大

豆浓缩蛋白替代鱼粉会降低黄鳝的特定生长率, 同时 *MyoG* 基因的表达量也显著降低了。这些结果表明 *MyoG* 基因的表达量的增加可能会导致动物体重的增加和肌肉中脂肪含量的减少, 而这结论刚好印证了本实验结果。而 *MSTN* 基因的相对表达量增加会导致体重的降低, 肌肉中脂肪含量的上升^[46], 而在此这两者之间所得出的结论是一致的。在本研究中, 饲料料型和投喂频率对斑点叉尾鲷肌肉中 *MyoG* 基因存在交互作用, 并且在 EFF3 组发现最低值, 这结果与本研究中斑点叉尾鲷的生长是一致的, 原因可能是肌肉中 *MyoG* 基因的升高会促使肌纤维肥大, 因而导致体重增加^[50]。由本研究的结果可以看出 MRFS 和 *MSTN* 影响着斑点叉尾鲷的生长和肌肉脂肪的含量, 但是关于投喂频率和饲料料型对鱼类肌肉中 MRFS 和 *MSTN* 表达影响的确切机制尚不清楚, 需要未来更多的研究来解释。

总而言之, 投喂同种配方的膨化饲料和颗粒饲料对斑点叉尾鲷的生长效果相似, 但是投喂颗粒饲料的斑点叉尾鲷肌肉硬度更大, 而投喂膨化饲料则脂肪含量更高; 斑点叉尾鲷的最佳投喂频率是每天 2 次。

参考文献:

- [1] Barrows F T, Daj S, Hardy R W. The effects of extrusion conditions on the nutritional value of soybean meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture, 2007, 265(1-4): 244-252.
- [2] Drew M D, Borgeson T L, Thiessen D L. A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish[J]. Animal Feed Science & Technology, 2007, 138(2): 118-136.
- [3] Adamidou S, Nengas I, Henry M, et al. Growth, feed utilization, health and organoleptic characteristics of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed extruded diets including low and high levels of three different legumes[J]. Aquaculture, 2009, 293(3): 263-271.
- [4] Gaylord T G, Barrows F T, Rawles S D. Apparent digestibility of gross nutrients from feedstuffs in extruded feeds for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39(6): 827-834.
- [5] Glencross B, Blyth D, Tabrett S, et al. An assessment of cereal grains and other starch sources in diets for barramundi

- (*Lates calcarifer*)—implications for nutritional and functional qualities of extruded feeds[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2012, 18(4): 388-399.
- [6] Øverland M, Sørensen M, Storebakken T, et al. Pea protein concentrate substituting fish meal or soybean meal in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) – effect on growth performance, nutrient digestibility, carcass composition, gut health, and physical feed quality[J]. *Aquaculture*, 2009, 288(3-4): 305-311.
- [7] Hu X F. Influence of extruding on the nutritional value of aquatic feed[J]. *China Fisheries*, 2007(3): 67-69. [胡学峰. 挤压膨化对水产饲料营养价值的影响[J]. *中国水产*, 2007(3): 67-69.]
- [8] Anderson J S, Sunderland R. Effect of extruder moisture and dryer processing temperature on vitamin C and E and astaxanthin stability[J]. *Aquaculture*, 2002, 207(1-2): 137-149.
- [9] Athar N, Hardacre A, Taylor G, et al. Vitamin retention in extruded food products[J]. *Journal of Food Composition & Analysis*, 2006, 19(4): 379-383.
- [10] Wang C A, Xu Q Y, Xu H, et al. Effects of feeding extruded and pelleted diet on the growth, body composition, digestive enzyme activities and plasma biochemical indexes of *Hucho taimen*[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2008, 21(2): 47-54. [王常安, 徐奇友, 许红, 等. 膨化饲料和颗粒饲料对哲罗鲑生长、体成分、消化酶活性和血液生化指标影响的比较[J]. *水产学杂志*, 2008, 21(2): 47-54.]
- [11] Booth M A, Allan G L, Evans A J, et al. Effects of steam pelleting or extrusion on digestibility and performance of silver perch *Bidyanus bidyanus*[J]. *Aquaculture Research*, 2015, 33(14): 1163-1173.
- [12] Xu H, Li X, Sun W, et al. Effects of different feeding rates of extruded and pelleted feeds on growth and nutrient retention in channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. *Aquaculture International*, 2017, 25(3): 1361-1372.
- [13] Wang Y, Kong L J, Li K, et al. Effects of feeding frequency and ration level on growth, feed utilization and nitrogen waste output of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens[J]. *Aquaculture*, 2007, 271(1-4): 350-356.
- [14] Folkvord A, Otterå H. Effects of initial size distribution, day length, and feeding frequency growth, survival, and cannibalism in juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* [J]. *Aquaculture*, 1993, 114(3-4): 243-260.
- [15] Chua T E, Teng S K. Effects of food ration on growth, condition factor, food conversion efficiency, and net yield of estuary grouper, *Epinephelus salmoides* Maxwell, cultured in floating net-cages[J]. *Aquaculture*, 1982, 27(3): 273-283.
- [16] Zhang J, Guo Y Y, Ren T, et al. MRFs and the effect of MRFs on meat quality[J]. *Food & Fermentation Industries*, 2014, 40(5): 183-187. [张静, 郭月英, 任霆, 等. 生肌调节因子及其对肉质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(5): 183-187.]
- [17] Zhu K, Wang H, Wang H, et al. Characterization of muscle morphology and satellite cells, and expression of muscle-related genes in skeletal muscle of juvenile and adult *Megalobrama amblycephala*[J]. *Micron*, 2014, 64: 66-75.
- [18] Liu N, Deng X J, Wang J P, et al. Research progress on regulation factors of myogenic regulatory factors and myogenesis[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2015, 42(10): 2644-2649. [刘宁, 邓雪娟, 王建平, 等. 生肌调节因子及肌生成调控因素研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2015, 42(10): 2644-2649.]
- [19] Cao T, Zhou H L, Xun W J, et al. The effect of MSTN gene on the regulation of skeletal muscle development of pig and its research progress[J]. *Genomics & Applied Biology*, 2017(4): 1511-1517. [曹婷, 周汉林, 荀文娟, 等. MSTN 基因对猪骨骼肌发育调控的作用及其研究进展[J]. *基因组学与应用生物学*, 2017(4): 1511-1517.]
- [20] Hixson S M, Parrish C C, Anderson D M. Full substitution of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effect on tissue lipids and sensory quality[J]. *Food Chemistry*, 2014, 157(8): 51-61.
- [21] Lin S M, Luo L, Long Y, et al. Effects of extruded and non extruded feed on the growth of triploid crucian carp [J]. *Feed Industry*, 2002, 23(10): 27-29. [林仕梅, 罗莉, 龙勇, 等. 膨化与非膨化饲料对湘云鲫生长的影响[J]. *饲料工业*, 2002, 23(10): 27-29.]
- [22] Andrews J, Page J. The Effects of frequency of feeding on culture of catfish[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1975, 104(2): 317-321.
- [23] Dong G F, Hu Z X, Huang F, et al. Effects of feeding frequency on growth, feed utilization and whole body composition of juvenile channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. *Fishery Modernization*, 2012, 39(2): 48-53. [董桂芳, 胡振雄, 黄峰, 等. 投喂频率对斑点叉尾鲷幼鱼生长、饲料利用和鱼体组成的影响[J]. *渔业现代化*, 2012, 39(2): 48-53.]
- [24] Wang N, Hayward R S, Noltie D B. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish[J]. *Aquaculture*, 1998, 165(3): 261-267.
- [25] Company R, Caldachginer J A, Kaushik S, et al. Growth performance and adiposity in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): risks and benefits of high energy diets[J]. *Aquaculture*, 1999, 171(3): 279-292.
- [26] Tsevis N, Klaoudatos S, Conides A. Food conversion budget in sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns[J]. *Aquaculture*, 1992, 101(3-4): 293-304.
- [27] Hilton J W, Cho C Y, Slinger S J. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, pellet

- water absorption, and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.)[J]. Aquaculture, 1981, 25(2): 185-194.
- [28] Tan Z B, Zhao H X, Zhao H L, et al. Effects of feeding frequency on gastric emptying, growth performance and body composition of juvenile darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli* Richardson)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 506-511. [覃志彪, 赵海祥, 赵华林, 等. 投喂频率对瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)幼鱼胃排空、生长效益及体组成影响[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 506-511.]
- [29] Wang H. The effect of feeding regime on *Cynoglossus semi-laevis* Gunther and the building of feeding mathematical model[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2009. [王华. 投喂策略对工厂化养殖半滑舌鲷的效应特征与投喂模型构建[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2009.]
- [30] Ballestrazzi R, Lanari D, D'Agaro E. Performance, nutrient retention efficiency, total ammonia and reactive phosphorus excretion of growing European sea-bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) as affected by diet processing and feeding level[J]. Aquaculture, 1998, 161(1-4): 55-65.
- [31] Shearer K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids[J]. Aquaculture, 1994, 119(1): 63-88.
- [32] Sveier H, Lied E. The effect of feeding regime on growth, feed utilisation and weight dispersion in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in seawater[J]. Aquaculture, 1998, 165(3-4): 333-345.
- [33] Bing X W, Zhang X Z. Evaluation of nutritional components and nutritive quality of the muscle of *Oxyeleotris marmoratus* Bleeker[J]. Periodical of Ocean University of China, 2006, 36(1): 107-111. [邴旭文, 张宪中. 斑驳尖塘鳢肌肉营养成分与品质的评价[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 36(1): 107-111.]
- [34] Zhang S L, Zhang X, Sun X J, et al. Effects of different diets on nutritive components in the muscle of genetic improvement of farmed tilapia[J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2013, 21(10): 1210-1220. [张升利, 张欣, 孙向军, 等. 投喂不同饵料对吉富罗非鱼肌肉营养成分的影响[J]. 农业生物技术学报, 2013, 21(10): 1210-1220.]
- [35] Veisethkent E, Hildrum K I, Ofstad R, et al. The effect of postmortem processing treatments on quality attributes of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) measured by sensory and instrumental methods[J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 275-281.
- [36] Lv F. Research on meat quality of the new developed FFRC strain common carp[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015. [吕帆. 新品种福瑞鲤的肉质特性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.]
- [37] Hu F, Li X D, Xiong S B, et al. Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components[J]. Food Science, 2011, 32(11): 69-73. [胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-73.]
- [38] Guan L, Zhu R J, Li X Q, et al. Muscle characteristics comparison between grass carp and crisped grass carp[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(5): 748-753. [关磊, 朱瑞俊, 李小勤, 等. 普通草鱼与脆化草鱼的肌肉特性比较[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 748-753.]
- [39] Ma L Q, Qi C L, Cao J J, et al. Comparative study on muscle texture profile and nutritional value of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) reared in ponds and reservoir cages[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(4): 532-537. [马玲巧, 亓成龙, 曹静静, 等. 水库网箱和池塘养殖斑点叉尾鲷肌肉营养成分和品质的比较分析[J]. 水产学报, 2014, 38(4): 532-537.]
- [40] Zhang T, Wu Y Y, Li L H, et al. Correlation analysis of sensory with instrumental texture measurement of salted fish[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(2): 303-310. [张婷, 吴燕燕, 李来好, 等. 咸鱼品质的质构与感官相关性分析[J]. 水产学报, 2013, 37(2): 303-310.]
- [41] Xiong M, Wu Z L, Lin X D. Meat quality characteristics of spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*) cultured under different aquaculture modes[J]. Food Science, 2016, 37(3): 17-21. [熊铭, 吴祖亮, 林向东. 不同养殖模式斑石鲷的鱼肉品质特性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 17-21.]
- [42] He X R, Saimaiti R Z W G L, Wu Z Y, et al. Application and beef texture properties analysis of zaosheng cattle[J]. Journal of Northwest University for Nationalities (Natural Science), 2016, 37(3): 52-57. [赫欣睿, 热孜万古力·赛买提, 武中庸, 等. 早胜牛肉质特性分析及其应用[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 52-57.]
- [43] Xu H P, Gu Z Y, Han J Z, et al. Research on texture characteristic changes of zongzi during the shelf-life[J]. Food Industry, 2009(6): 26-28. [徐惠萍, 顾振宇, 韩剑众, 等. 粽子货架期质构特性变化的研究[J]. 食品工业, 2009(6): 26-28.]
- [44] Wang W. Genetic characteristics of major related genes in the quality traits of mountain pork and their effects on meat quality[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2012. [王薇. 山猪肉肉质性状主要相关基因的遗传特性及其对肉质的作用和影响[D]. 南京: 南京师范大学, 2012.]
- [45] Robakowska-Hyzorek D, Oprzadek J, Zelazowska B, et al. Effect of the g. 723G→T polymorphism in the bovine myogenic factor 5 (Myf5) gene promoter region on gene transcript level in the longissimus dorsi muscle and on meat traits of Polish Holstein-Friesian cattle[J]. Biochemical Genetics, 2010, 48(5-6): 450-464.
- [46] Li Y T, Tian M L, Xie H H, et al. Effects of myostatin in-

- hibitory peptides supplementation on growth performance, body composition, serum biochemical indices, serum and liver immune indices of sea bass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(2): 519-528. [李雅婷, 田梦丽, 谢换换, 等. 饲料中添加肌肉生长抑制素抑制肽对海鲈生长性能、体组成、血清生化指标及肝脏与血清免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(2): 519-528.]
- [47] Yue Z G, Yang F H, Xing X M, et al. Recent research advances in myostatin[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2010(11): 31-33. [岳志刚, 杨福合, 邢秀梅, 等. 肌肉生长抑制素的研究新进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2010(11): 31-33.]
- [48] Zhu L, Li X W. The genetic effects of MyoG gene[J]. Heredity, 2005, 27(5): 710-714. [朱砺, 李学伟. MyoG 基因的遗传效应分析[J]. 遗传, 2005, 27(5): 710-714.]
- [49] Chen D X. Cloning and expression of the MRFs in the monopterus albus and analysis the evolutionary relationship based on complete mitochondrial DNA[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015. [陈敦学. 黄鳝生肌调节因子(MRFs)家族的肌肉的克隆与营养调控及进化分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.]
- [50] Liu N, Deng X J, Wang J P, et al. Research progress on regulation factors of myogenic regulatory factors and myogenesis[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2015, 42(10): 2644-2649. [刘宁, 邓雪娟, 王建平, 等. 生肌调节因子及肌生成调控因素研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2015, 42(10): 2644-2649.]

Effects of different feed types and feeding frequencies on growth and muscle quality of juvenile channel catfish (*Ictalurus punctatus*)

LI Zhuoqin, LIU Wenbin, TIAN Hongyan, XU Chao, JIANG Guangzhen

Key Laboratory of Aquatic Nutrition of Jiangsu Province, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: This study aimed to investigate different feed type and feeding frequency on growth and muscle quality of juvenile channel catfish (*Ictalurus punctatus*). A 2×2 design with three replicates was performed in this trial, which included feed type (extruded feed, EF; pellet feed, PF) and feeding frequency (twice daily, F2; three times daily, F3). In an 8-week trial, regular feeding twice (7:30 and 16:30) or three times (7:30, 12:00, 16:30) daily occurred, and the amount of feed was adjusted to keep all cages consistent. The results showed that the final weight and weight gain rate of channel catfish were influenced by the feeding frequency, the results from the F2 group were significantly higher than that of the F3 group ($P<0.05$); meanwhile, feed type did not affect the growth of channel catfish ($P>0.05$). The crude fat content, cohesiveness, and resilience of the pelleted feed group were significantly lower than that of the extruded feed group ($P<0.05$), whereas the hardness was significantly higher than the extruded feed group ($P<0.05$). The hardness, adhesiveness, and chewiness of the F3 group were significantly higher than that of the F2 group ($P<0.05$). The relative expression of myogenic factor 5 (Myf5) and myostatin (MSTN) genes in the pelleted feed group was significantly lower than that in the extruded feed group ($P<0.05$). The relative expression of the MSTN gene in muscle of the F3 group was significantly higher than that of the F2 group, but the relative expression of the myogenin (MyoG) gene showed the opposite trend. The present study indicated that the growth of channel catfish fed extruded feed was similar to those fed pelleted feed with the same formula. Fish fed pellet feed had higher hardness, whereas fish fed extruded feed had higher muscle fat content. The optimum feeding frequency of channel catfish was twice daily in this study.

Key words: extruded feed; pelleted feed; feeding frequency; channel catfish; growth performance; muscle quality

Corresponding author: JIANG Guangzhen. E-mail: jianggz@njau.edu.cn