

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00598

不同饲料营养对池塘养殖长吻鲢生长性能和鱼肉品质的影响

柳明^{1,2} 朱晓鸣¹ 雷武¹ 韩冬¹ 杨云霞¹ 解绶启^{1,3}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 上海高校 E 研究院, 上海 200090)

摘要: 研究通过 90d 的投喂实验研究不同配方饲料对池塘养殖长吻鲢(*Leiocassis longirostris* Günther) 生长性能和鱼肉品质的影响。实验使用 5 种饲料(Cont: 对照、HP: 高蛋白、HC: 高糖、HL: 高脂和 HE: 高能)。结果发现: HC 组鱼体生长最差, 而 HP 组特定生长率(SGR)和饲料效率(FE)都最高。鱼体水分和脂肪含量变化趋势相反, HL 组最低, HE 组略高, HP 组最高。鱼体脂肪主要分布于内脏, 在 HL 和 HE 组显著增高, 导致出肉率(Yield)显著降低, 氧化产物丙二醛(MDA)增多。投喂实验结束时, 鱼体背部黄度(b^*)HC 组最高, HE 组其次, HP 组最低, 腹部红度(a^*)HE 组最高, HL 组次之, HP 组最低。新鲜肉色各处理无差异, 冰冻 3d 后, 鱼肉 L^* 和白度(ΔE)HE 组最高, HL 组其次, Cont 组最低; 鱼肉 a^* Cont 组最高, HL 组其次, HP 组最低。新鲜鱼肉硬度、胶黏性均为 HP 组最高, Cont 组其次, HE 组最低, 其他肉质指标均无显著差异; 结果表明: 饲料营养中脂肪是影响肉质最明显的因素, 饲料脂肪通过控制鱼体成分影响鱼体体色、肉质, 以及冰冻储存产生的 MDA; 冰冻储存显著降低鱼肉品质, 冰冻后鱼肉硬度、胶黏性、咀嚼性和系水力都明显降低, 黏附性明显增大, 该指标的变化是肉质降低的表现。

关键词: 长吻鲢; 饲料营养; 生长; 品质

中图分类号: S963 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)03-0598-13

随着水产养殖业的发展和人们生活水平的提高, 鱼肉品质已经越来越被重视, 一方面, 消费者更加关注鱼体和鱼肉的色泽、肉质、口感、营养和安全性; 另一方面, 养殖者和水产品加工业则更关心怎样改善鱼体、鱼肉颜色, 提高出肉率, 以及鱼肉的处理和保存等环节以提高经济效益^[1, 2]。

有学者认为过高的鱼体脂肪含量会导致出肉率和鱼肉硬度降低、黏附性增加, 而 Faergemand, *et al.* 发现在虹鳟实验中鱼肉中脂肪水平可以增高到 20% 而不影响鱼肉质^[3]。Johansson, *et al.* 发现提高饲料中碳水化合物水平增加了大西洋鲑鱼肉和腹部脂肪含量^[4], 而 Kim, *et al.* 的工作没有发现饲料中的碳水化合物对鳟鱼鱼体组成有任何的影响^[5]。在相同的可消化能水平下, 不同饲料营养可能导致特定的

结果, 例如, 不同的特定生长率、出肉率、鱼肉质地和脂肪含量及分布等, 这些结果可能不仅在前期甚至在储存过程中都会对鱼肉品质造成影响^[2, 6]。不同饲料营养主要通过影响鱼体组成和组织结构影响鱼肉品质, 但饲料营养对鱼体组成的影响, 以及鱼肉储存时间、温度和鱼肉质地的关系仍需要进一步的研究。

长吻鲢(*Leiocassis longirostris* Günther) 一般被认为是肉食性鱼类, 主要以小鱼、底栖甲壳类和水体中天然昆虫为生^[7], 因其鱼肉味道鲜美又少有鱼刺, 而备受欢迎, 近年来在中国被广泛养殖。本实验是首个关于饲料营养对长吻鲢鱼肉品质影响的研究, 试图发现: (1) 饲料营养对长吻鲢不同部位体成分分布的影响; (2) 饲料营养对鱼体体色、肉色和肉质

收稿日期: 2009-04-13; 修订日期: 2010-01-12

基金项目: 国家基金“淡水养殖鱼类肉品质研究的营养学基础”(30700626); 国家科技支撑计划“池塘养殖管理与产品品质改良关键技术研究和基于食品安全的鲈类养殖技术研究”(2006BAD03B01/2007BAD37B02-0404)资助

作者简介: 柳明 (1982—), 男, 汉族, 江苏连云港人; 硕士; 主要从事鱼类营养学研究。E-mail: liuming@ihb.ac.cn

通讯作者: 解绶启, E-mail: sqxie@ihb.ac.cn

的影响; (3)屠宰前的饥饿和之后的冰冻储存对鱼肉品质的影响。

1 材料与方法

1.1 实验饲料和实验用鱼

表 1 是长吻鲢5 种实验饲料的配方和生化组成。5 种饲料分别为对照饲料(Cont)、高蛋白饲料(HP)、高糖饲料(HC)、高脂肪饲料(HL)、高能量饲料(HE)。饲料原料购自湖北省武汉市高龙饲料公司, 然后用实验室饲料机做成颗粒。所有的饲料在 70℃烘干然后室温保存。实验开始前 4 周, 从湖北长吻鲢良种场购得长吻鲢。在驯养过程中, 每天用等量混合的实验饲料两次人工饱食投喂(6 : 00 和 18 : 00)。

1.2 实验鱼养殖

实验鱼在 15 个水泥池塘(7 m×4 m×0.6 m, 容量 16.8 m³) 中饲养。每周用曝气自来水替换 30%池水。

实验中, 每天记录实验期间水温(26.3±0.8)℃, 每周测量水体氨氮并保证浓度低于 0.5 mg/L, 溶氧大于 7.8 mg/L, pH 平均为 8.1, 自然光照(2007 年 6 月 1 日至 2007 年 9 月 3 日)。驯化过程持续 2 周。驯养后实验鱼[初重(80.8±1.2) g, n=2250]被均分到 15 个池中, 每池 150 尾。每种饲料作为一个处理, 每个处理三个重复。实验期间, 每天 6:00 和 18:00 各人工投喂一次, 共 90d。摄食 1h 后虹吸池中残饵, 60℃烘干后称重。在实验开始和结束时, 饥饿 2d 后称量每池鱼体总重。

1.3 样品采集和鱼体成分分析

生长实验开始前, 从暂养池取 9 尾鱼用钝器击打头部处死后, -18℃储存作为初样分析全鱼体成分。

饲养实验结束后, 鱼体饥饿 3d, 然后每池取 6 尾鱼测体长、称重, 用钝物猛击鱼体头部致死解

表 1 实验饲料配方及化学组成
Tab. 1 Formulation and chemical composition of experimental diets

原料 Ingredient	对照 Cont	高蛋白 HP	高糖 HC	高脂 HL	高能 HE
秘鲁白鱼粉 Fish meal (Peru)	26.00	29.50	18.00	18.00	18.00
俄罗斯红鱼粉 Brown fish meal (Russia)	26.00	29.50	18.00	18.00	18.00
豆粕 Soybean meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
α-淀粉 α-starch	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
玉米淀粉 Corn starch	9.00	6.30	27.80	6.70	22.00
鱼油 Fish oil	3.00	2.10	2.30	7.00	8.00
豆油 Soybean oil	3.00	2.10	2.30	7.00	8.00
维生素预混物 Vitamin mixture ¹	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
矿物质预混物 Mineral mixture ²	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
羧甲基纤维素钠 CMC	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
纤维素 Cellulose	9.39	6.89	7.99	19.69	2.39
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
成分 Chemical composition	干物质 (% Dry matter)				
干物质 Dry matter	97.17	97.76	97.60	97.83	97.98
粗蛋白质 Crude protein	42.78	47.21	31.38	31.45	31.35
粗脂肪 Crude lipid	10.71	9.65	7.36	17.38	19.61
灰分 Ash	12.75	13.99	10.16	10.08	10.12
总能 Gross energy	17.42	17.68	16.74	16.98	20.33
可消化能 Digestible energy (kJ/g)	14.70	14.71	14.71	14.71	18.03

注 : 1 维生素预混物 Vitamin premix (mg/kg diet): thiamin, 20; riboflavin, 20; pyridoxine, 20; cyanocobalamine, 2; folic acid, 5; calcium pantothenate, 50; inositol, 100; niacin, 100; biotin, 5; starch, 3226; Vitamin A (ROVIMIX A-1000), 110; Vitamin D₃, 20; Vitamin E, 100; Vitamin K₃, 10; 2 矿物质预混物 Mineral premix (mg/kg diet): NaCl, 500; MgSO₄·7H₂O, 7500; NaH₂PO₄·2H₂O, 12500; KH₂PO₄, 16000; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 10000; FeSO₄, 1250; C₆H₁₀CaO₆·5H₂O, 1750; ZnSO₄·7H₂O, 176.5; MnSO₄·4H₂O, 81; CuSO₄·5H₂O, 15.5; CoSO₄·6H₂O, 0.5; KI, 1.5; starch, 225

剖, 内脏称重用以计算脏体比(VSI), 将鱼体分解成头部、背部、腹部、尾部和内脏(图 1), 然后 -18°C 储存待测体成分。

饲料和鱼体 5 个部分的干物质、粗蛋白、粗脂肪、灰分和能量含量测定参照 AOAC (1984)。干物质 105°C 烘至恒重测定; 粗蛋白用 2300 凯氏定氮仪 (Foss, Tecator, Sweden) 测定; 粗脂肪采用索氏抽脂系统 (Soxtec system HT6, Tecator, Sweden) 通过乙醚抽提失重法测定; 灰分通过在马福炉中 550°C 灼烧 12h 测定; 能量通过 Phillipson 微量能量计 (Phillipson micro-bomb calorimeter, Gentry Instruments Inc., Aiken, USA) 测定。

1.4 新鲜和饥饿 10d 后鱼体颜色

饲养实验结束当日, 每池取 4 尾活鱼 10s 内测量鱼体颜色(图 1), 取样之后剩余实验鱼, 在曝气后

的自来水中饥饿饲养 10d 后, 用相同的方法取样以测定鱼体颜色。

1.5 新鲜和冰冻后肉色、肉质和系水力

第一阶段结束时, 每个处理组的三个重复:

- (1) 各取 3 尾活鱼, 测量新鲜鱼肉的颜色、质地和系水力;
 - (2) 取 3 尾鱼放入冰块中测量冷藏 6h 后肉质;
 - (3) 取 12 尾鱼放入 -18°C 冰箱中, 于 1、3、6 和 14d 后以相同的方法测量鱼肉颜色、鱼肉质地和系水力。
- 样品测试在华中农业大学食品科学学院完成。

1.6 鱼体和鱼肉颜色

长吻鲢鱼体表面颜色数据使用美能达色差计 CR-400 (Osaka, Japan) 测量(配有 CR-A43 校准白板), 测定鱼体背部、腹部和尾部颜色(图 1a)。使用上海物理光学仪器厂生产的申光 WSC-S 色度测量仪(配有一个 D65 光源和一个 10° 的视角, 并用黑板板校

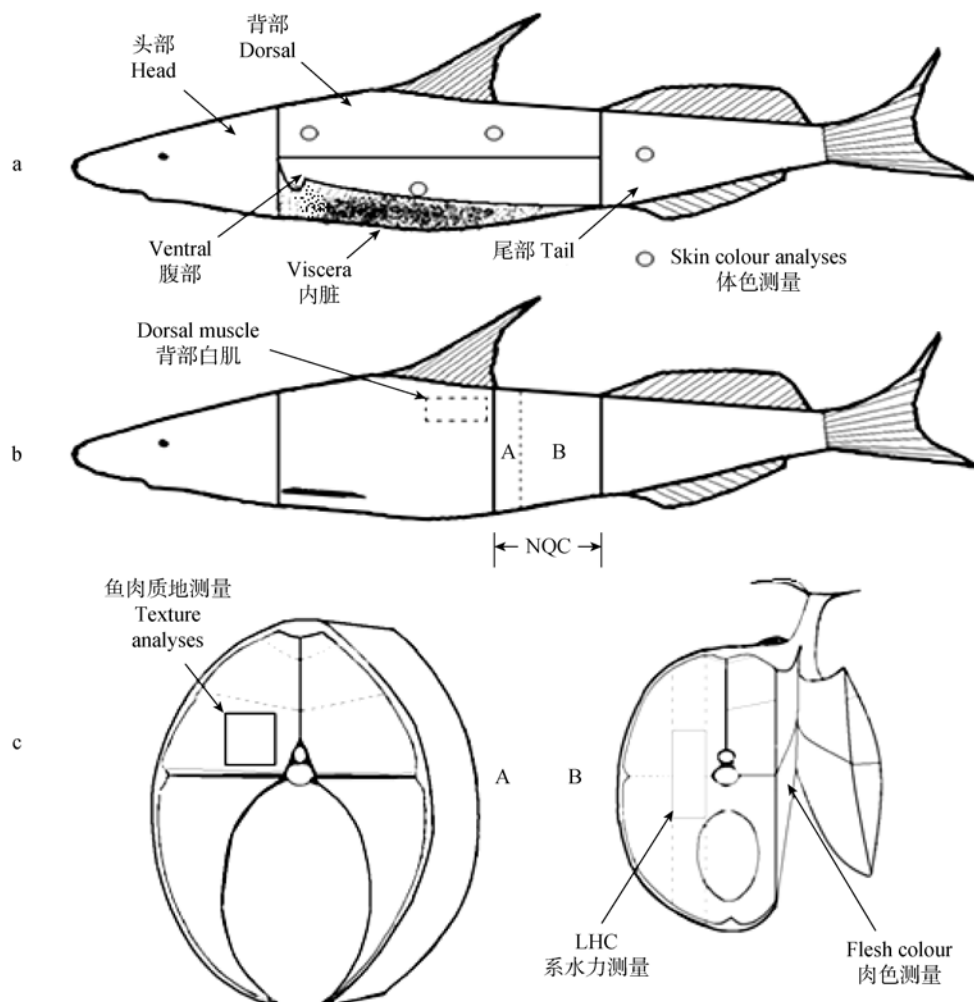


图 1 池塘养殖长吻鲢品质评价部位示意图

Fig. 1 Positions of tank reared Chinese longsnout catfish used for quality evaluation

a. 鱼体五个部位和体色测量部位; b. 背肌和 NQC; c. 肉色、肉质和系水力测量部位

a. Five parts of the fish and skin colour; b. Dorsal muscle and NQC; c. Liquid holding capacity (LHC) and flesh colour

准)测定鱼体肉色,并用每缸三尾鱼的挪威肉质切块(NQC)(图 1b)左侧 10 个点的平均值来表示(图 1c)。 L^* 值代表亮度(0 是纯黑色, 100 是纯白色); a^* 值代表红绿色度, 正值为红色, 负值为绿色;

b^* 值表示黄蓝色度, 正值为黄色, 负值为蓝色(CIE, 1976), 色差计 CR-400 和 WSC-S 每次测量前用相应的标准板校准。每组测试值最终可以得出相应的总体颜色差别值 ΔE 和颜色饱和度 Chroma (C^*_{ab}), 其计算方法分别为 $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$ 、 $C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, 更高的 C^*_{ab} 表示更为鲜艳的颜色。

1.7 鱼体肉质测量

鱼肉测量用带有测试分析图(TPA)的质地分析仪 TA1XT2i/25 (Stable Micro Systems, Surrey, UK)完成, 仪器备有直径 36 cm、5 kg 压力、圆柱形探头(P/36R)的测压元件。被测鱼肉为取自挪威鱼肉分析切块 NQC 前 1 cm 处(图 1b-A)的背部白肌, 肉块规格 1 cm³(1 cm×1 cm×1 cm)。探头沿垂直鱼体横切面以 1 mm/s 速度下压至 60% 鱼肉高度, 归位后再重复下压 1 次。每池 3 尾鱼样的两侧共 6 块肌肉被取样测量, 7 种质地指标计算方法参考 Gines, *et al.* 的研究^[8]。

1.8 鱼肉系水力 (LHC)

饥饿前的鲜鱼鱼肉系水力(Liquid holding capacity, LHC)测量: 取 NQC 右侧相同规格肉块(20 mm×20 mm×3 mm) 称重(W1, 表示肉样重), 用烘干

的滤纸(3 cm×20 cm)包裹后称重(W2, 表示肉样和滤纸总重), 压力计(木屋式硬度计, 147886, 东京株式会社木屋制作所)以 5 kg 的恒重压迫 50s 后, 滤纸再次称重(W3, 表示滤纸和吸附在滤纸上液体的总重)。鱼肉系水力=100 (肉样和滤纸总重-滤纸和吸附在滤纸上液体的总重)/肉样重, $LHC = 100 \times (W2 - W3)/W1$ 。

1.9 鱼肉丙二醛(Maleic dialdehyde, MDA)和羟脯氨酸(Hydroxyproline HYP)含量

鱼肉中氧化物质丙二醛(MDA)含量和胶原物质羟脯氨酸(HYP)含量用南京建成生物工程研究所的试剂盒测量。第一阶段结束时, 每池取 3 尾鱼, 从鱼体背部相同部位(图 1c-B)取白肌 5 g, -18℃ 储藏, 在第一阶段实验结束后第 15 天测量鱼肉中丙二醛含量和羟脯氨酸含量。

1.10 统计分析

用 STATISTICA Version 6.0 来统计分析。5 种饲料营养的影响结果经过一元方差分析(One-way ANOVA)后, 进行多重比较(Duncan's multiple range test)各实验组间差异显著性, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结 果

2.1 生长、饲料利用和鱼体成分

生长和饲料利用 表 2 是摄食不同配方的饲料

表 2 摄食不同饲料的池塘养殖长吻鲢生长和饲料利用(平均值±标准误)
Tab. 2 Growth and feed utilization of the tank reared Chinese longsnout catfish fed different diets (mean±SE)

	对照 Cont	高蛋白 HP	高糖 HC	高脂 HL	高能 HE
¹ IBW (g)	81.1±0.6	81.1±0.4	80.9±0.2	80.2±0.2	80.9±0.2
² FBW (g)	108.6±24.4 ^b	163.8±9.0 ^c	54.0±0.5 ^a	98.2±8.3 ^b	120.7±7.3 ^b
³ SGR (%/d)	0.11±0.12 ^b	0.34±0.02 ^c	-0.19±0.00 ^a	0.09±0.04 ^b	0.19±0.03 ^{bc}
⁴ FR (%bw/d)	0.77±0.08 ^b	0.91±0.01 ^b	0.55±0.02 ^a	0.84±0.04 ^b	0.89±0.06 ^b
⁵ FE (%)	23.1±30.5 ^b	73.4±4.2 ^c	-73.3±3.9 ^a	22.4±8.5 ^b	44.1±7.1 ^{bc}
⁶ PRE (%)	4.43±13.63 ^b	21.53±0.36 ^b	-44.24±1.60 ^a	5.47±6.96 ^b	21.61±7.31 ^b
⁷ K	1.30±0.06 ^{ab}	1.40±0.06 ^b	1.14±0.08 ^a	1.54±0.11 ^b	1.44±0.06 ^b
⁸ Yield (%)	93.5±0.2 ^a	93.2±0.5 ^a	93.7±0.3 ^a	91.5±0.5 ^b	91.1±0.9 ^b

注: 表中同行数值后不同上标表示差异显著($P < 0.05$); 1 IBW (g): 初始体重; 2 FBW (g): 终末体重; 3 特定增长率(%/d)=100×((ln 末体重 - ln 初体重)/投喂天数); 4 摄食率 (%体重/d): 100×摄干物质量/[养殖天数×(初鱼重+末鱼重)/2]; 5 饲料效率 (%) = 100×鲜物质增重/干物质摄入量; 6 蛋白质储积率(%)=100×(终末鱼体蛋白质重-初始鱼体蛋白质重)/蛋白质摄入量; 7 肥满度=100×体长/体重³; 8 出肉率=100×空壳重/鱼体重

Note: Means with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$); 1 IBW (g): initial body weight; 2 FBW (g): final body weight; 3 SGR (%/d): specific growth rate = 100×((lnFBW - lnIBW)/feeding days); 4 FR (%bw/d): feeding rate = 100×dry feed intake/[feeding days × (FBW+IBW)/2]; 5 FE (%): feed efficiency = 100× wet weight gain/dry feed intake; 6 PRE (%): protein retention efficiency=100×(final body protein-initial body protein)/protein intake; 7 K: condition factor= 100×fork length/Body weight³; 8 Yield: 100×carcass weight/body weight

池塘养殖长吻鲢生长和饲料利用情况。HC 组鱼体终末体重(FBW)、特定生长率(SGR)、摄食率(FR)、饲料效率(FE)和蛋白储积率(PRE)均最低($P < 0.05$)。HP 组 FBW、SGR 和 FE 值均最高($P < 0.05$)，HL 和 HE 组的鱼体生长状况和 Cont 组相近。HE 和 HL 处理组的脏体比(VSI)更高导致其最终出肉率(Yield)显著降低($P < 0.05$)。

全鱼组织鱼体成分 图 2—5 分别给出了饲料营养对池塘养殖长吻鲢全鱼组织 5 个部分中水分、脂肪、蛋白质和灰分含量的影响。不同配方饲料对鱼体成分的影响中，处理组间唯一差异显著的是水分含量($P < 0.05$) (图 2)。HL、HE、HC 和 HP 组全鱼组织水分含量依次增加，而脂肪含量按照相同的顺序依次降低。

鱼体组织成分在头部、背部、腹部、尾部和内脏 5 个部分分布 不同饲料组鱼体内脏脂肪含量都最高(图 3)，HL 组出肉率最低($P < 0.05$)。

2.2 配方饲料对鱼体品质的影响

颜色 表 3 给出了饲料营养对池塘养殖长吻鲢投喂结束时和 10d 饥饿后活鱼体色的影响。鱼体背部 b^* 和腹部 a^* 出现显著差异($P < 0.05$)，鱼体背部 b^* HC 组最高，鱼体腹部 a^* 在 HP 组最低，然后在 HC、Cont、HL 和 HE 组依次增高。10d 饥饿明显升高了鱼体腹部的 L^* 和 b^* 。

表 4 是饲料营养对池塘养殖长吻鲢屠宰后鲜鱼肉色的影响，没有发现鱼肉颜色在处理组间的显著差异($P > 0.05$)。

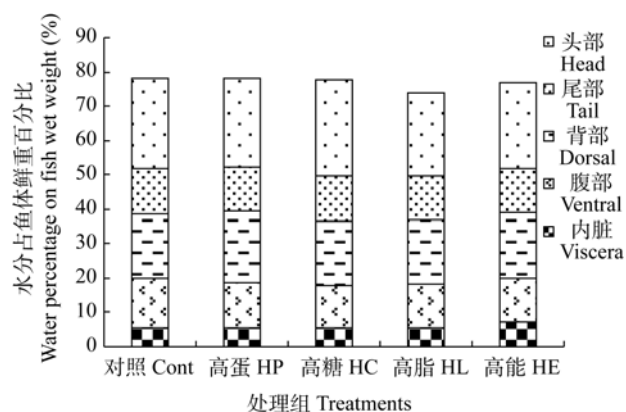


图 2 不同饲料营养对水分在全鱼组织的头、背、腹、尾部和内脏中含量分布的影响

Fig. 2 Effect of different diet formulations on the water distribution in head, dorsal, ventral, tail and viscera of whole fish tissue

图中柱形上标表示差异显著($P < 0.05$)

Bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

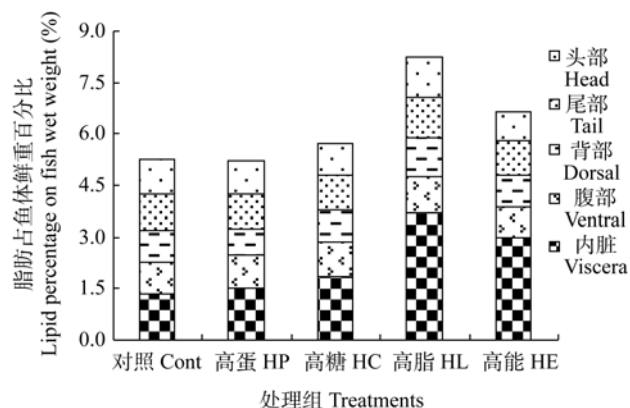


图 3 不同饲料营养对脂肪在全鱼组织的头、背、腹、尾部和内脏中含量分布的影响

Fig. 3 Effect of different diet formulations on the lipid distribution in head, dorsal, ventral, tail and viscera of whole fish tissue

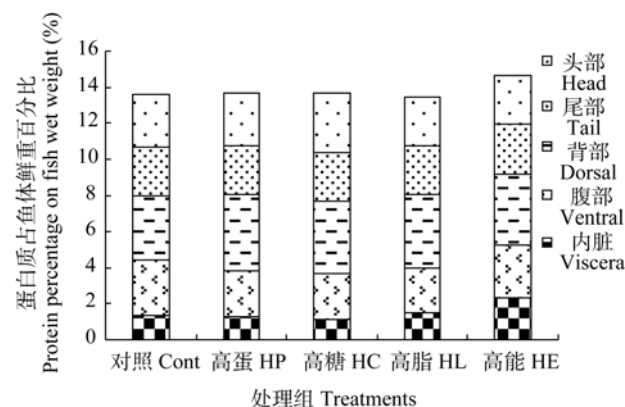


图 4 不同饲料营养对蛋白质在全鱼组织的头、背、腹、尾部和内脏中含量分布的影响

Fig. 4 Effect of different diet formulations on the protein distribution in head, dorsal, ventral, tail and viscera of whole fish tissue

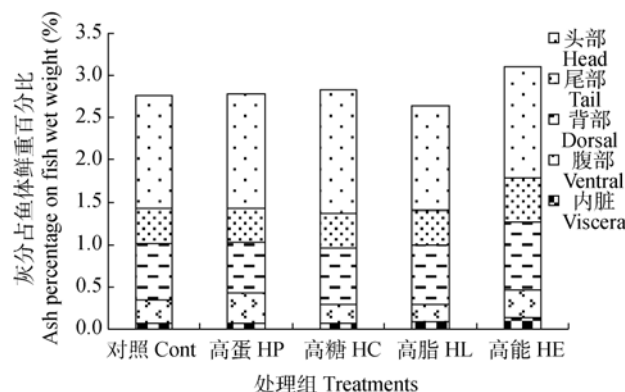


图 5 不同饲料营养对灰分在全鱼组织的头、背、腹、尾部和内脏中含量分布的影响

Fig. 5 Effect of different diet formulations on the ash distribution in head, dorsal, ventral, tail and viscera of whole fish tissue

肉质 表 5 显示了饲料营养对池塘养殖长吻鲢新鲜鱼肉质地的影响。肉质指标中，硬度(Hardness)

表 3 摄食不同饲料的池塘养殖长吻鲢投喂结束时和 10d 饥饿后活鱼体色的变化(平均值±标准误)

Tab. 3 Variation of skin colour of Chinese longsnout catfish fed different diets at the end of first feeding period and after 10 days food deprivation (mean±SE)

部位	饲料	亮度	红度	黄度	白度	饱和度	
Parts	Diet	$^1L^*$	$^2a^*$	$^3b^*$	$^4\Delta E$	$^5C^*$	
背部 Dorsal	对照 Cont	26.4±0.8	1.10±0.09	-1.97±0.21 ^{ab}	26.4±0.8	2.33±0.15	
	投喂结束 At the end of feeding period	高蛋白 HP	25.3±0.4	1.10±0.08	-2.37±0.19 ^a	25.2±0.4	2.66±0.14
		高糖 HC	27.2±1.2	1.27±0.08	-1.09±0.33 ^c	27.1±1.2	1.98±0.13
		高脂 HL	25.3±0.4	1.12±0.07	-1.89±0.19 ^{ab}	25.3±0.4	2.25±0.14
		高能 HE	26.6±1.0	1.22±0.13	-1.55±0.35 ^{bc}	26.5±1.0	2.29±0.13
	对照 Cont	25.3±0.6	0.974±0.077	-1.82±0.21	25.3±0.6	2.09±0.19	
	饥饿 10 天后 Food deprivation after 10 days	高蛋白 HP	28.5±1.1	0.913±0.123	-1.50±0.21	28.5±1.1	1.90±0.11
		高脂 HL	26.9±0.9	1.058±0.124	-1.51±0.18	26.9±0.9	1.92±0.13
		高能 HE	27.0±0.7	1.144±0.123	-1.32±0.18	27.0±0.7	1.87±0.09
		对照 Cont	46.5±2.6	2.10±0.21 ^{bc}	0.526±0.245	46.5±2.6	2.30±0.22 ^a
腹部 Belly	投喂结束 At the end of feeding period	高蛋白 HP	42.3±2.7	1.57±0.17 ^a	0.519±0.453	42.3±2.7	2.15±0.22 ^a
		高糖 HC	47.0±3.9	1.78±0.14 ^{ab}	0.238±0.453	46.9±3.9	2.33±0.16 ^{ab}
		高脂 HL	43.4±2.1	2.21±0.11 ^{bc}	0.311±0.327	43.4±2.1	2.47±0.14 ^{ab}
		高能 HE	46.4±2.4	2.41±0.16 ^c	1.207±0.389	46.3±2.4	2.92±0.25 ^b
	对照 Cont	50.9±3.8	1.96±0.14	1.44±0.36	50.8±3.8	2.55±0.26	
	饥饿 10 天后 Food deprivation after 10 days	高蛋白 HP	53.4±2.7	1.79±0.25	1.53±0.38	53.4±2.7	2.63±0.28
		高脂 HL	52.1±3.5	2.17±0.17	1.52±0.54	52.0±3.5	3.01±0.37
		高能 HE	51.0±2.6	2.54±0.37	2.01±0.38	50.9±2.6	3.52±0.33
		对照 Cont	35.2±1.6	1.62±0.12	-0.235±0.282	35.1±1.6	1.86±0.13
	尾部 Tail	投喂结束 At the end of feeding period	高蛋白 HP	35.6±2.0	1.80±0.09	-0.105±0.186	35.6±2.0
高糖 HC			33.6±1.3	1.88±0.14	-0.239±0.229	33.5±1.3	2.04±0.13
高脂 HL			34.5±1.4	2.16±0.29	-0.052±0.262	34.5±1.4	2.35±0.27
高能 HE			34.7±0.9	1.80±0.14	0.098±0.228	34.7±0.9	1.94±0.15
对照 Cont		36.2±2.1	1.59±0.16	-0.464±0.229	36.2±2.1	1.78±0.13	
饥饿 10 天后 Food deprivation after 10 days		高蛋白 HP	39.8±2.2	1.61±0.18	0.355±0.377	39.8±2.2	2.06±0.19
		高脂 HL	39.2±2.6	1.85±0.19	-0.034±0.192	39.2±2.6	1.95±0.18
		高能 HE	37.1±1.6	1.85±0.14	-0.298±0.233	37.0±1.6	2.03±0.13

注：表中平均数后不同上标表示差异显著($P < 0.05$) Means with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$); 1 L^* = 亮度 Lightness; 2 a^* = 红度 Redness; 3 b^* =黄度 Yellowness; 4 ΔE =白度 $[(L^*)^2+(a^*)^2+(b^*)^2]^{1/2}$; 5 C^* =饱和度 $[(a^*)^2+(b^*)^2]^{1/2}$; 下同 The same below

和胶黏性(Gumminess)有相同的变化趋势,并且处理组间差异显著($P < 0.05$),都按 HP、Cont、HL 和 HE 的顺序降低。高脂肪饲料组和对照组的硬度相近,但咀嚼性(Chewiness)却明显更低。本研究发现高能组鱼肉黏附性(Adhesiveness)最高,而其他肉质指标都为最低值,硬度、胶黏性和咀嚼性尤为显著($P < 0.05$)。

内聚性(Cohesiveness)、弹性(Springiness)和回弹

性(Resilience)在各处理组间无显著差异。本实验中,在对照组鲜鱼肉指标中发现硬度、咀嚼性和胶黏性有相似的变化趋势(图 6)。

系水力(LHC) 图 7 是饲料营养对池塘养殖长吻鲢鱼肉系水力的影响。各处理组系水力没有显著差异($P > 0.05$),而 HP 组鲜肉的系水力最低。

2.3 冰冻处理对肉质的影响

冰冻后肉色 表 4 是饲料营养对池塘养殖长

表 4 摄食不同饲料的池塘养殖长吻鲢鱼以及冰冻后 NQC 肉色(平均值±标准误)
Tab. 4 NQC-B flesh colour of fresh fish, fish frozen for tank reared Chinese longsnout catfish fed different diets (mean±SE)

	测量时间	对照	高蛋白	高脂	高能
	Test time	Cont	HP	HL	HE
亮度 ¹ L*	新鲜 Fresh	47.5±1.0	44.2±1.0	45.7±1.7	45.8±1.1
	冻 Frozen 1d	51.2±0.7	50.6±0.6	50.9±0.6	51.6±0.6
	冻 Frozen 3d	46.5±1.1 ^a	48.5±0.7 ^{ab}	48.7±1.0 ^{ab}	51.1±0.6 ^b
	冻 Frozen 6d	49.9±0.6	49.8±1.4	51.1±1.2	51.3±0.6
	冻 Frozen 14d	49.8±0.5	49.7±0.7	50.3±0.8	50.4±1.1
红度 ² a*	新鲜 Fresh	-3.32±0.12	-2.96±0.07	-2.91±0.18	-2.95±0.22
	冻 Frozen 1d	-2.49±0.21	-2.85±0.14	-2.71±0.16	-2.98±0.06
	冻 Frozen 3d	-2.56±0.18 ^a	-3.18±0.09 ^b	-2.92±0.13 ^{ab}	-3.15±0.22 ^b
	冻 Frozen 6d	-3.04±0.31	-2.81±0.34	-3.12±0.47	-3.17±0.18
	冻 Frozen 14d	-3.12±0.12	-3.23±0.15	-3.12±0.21	-3.34±0.21
黄度 ³ b*	新鲜 Fresh	-1.85±0.27	-2.63±0.37	-1.71±0.34	-2.87±0.44
	冻 Frozen 1d	0.30±0.45	0.12±0.42	-0.05±0.54	0.33±0.46
	冻 Frozen 3d	-0.16±0.52	-0.44±0.48	0.75±0.46	0.63±0.52
	冻 Frozen 6d	1.73±0.47	1.85±0.45	1.55±0.61	2.24±0.34
	冻 Frozen 14d	1.13±0.34 ^{ab}	0.17±0.42 ^a	1.68±0.44 ^b	1.05±0.18 ^{ab}
白度 ⁴ ΔE	新鲜 Fresh	47.3±1.0	44.1±1.0	45.6±1.7	45.7±1.1
	冻 Frozen 1d	51.1±0.7	50.5±0.6	50.8±0.6	51.5±0.6
	冻 Frozen 3d	46.4±1.1 ^a	48.4±0.7 ^{ab}	48.6±1.0 ^{ab}	51.0±0.6 ^b
	冻 Frozen 6d	49.7±0.6	49.6±1.4	50.9±1.2	51.1±0.6
	冻 Frozen 14d	49.6±0.5	49.6±0.7	50.1±0.7	50.3±1.1
饱和度 ⁵ C*	新鲜 Fresh	3.83±0.20	4.01±0.27	3.47±0.26	4.13±0.44
	冻 Frozen 1d	2.85±0.12	3.08±0.16	3.00±0.20	3.17±0.08
	冻 Frozen 3d	2.89±0.22	3.47±0.11	3.25±0.11	3.36±0.29
	冻 Frozen 6d	3.74±0.11	3.60±0.26	3.95±0.15	3.95±0.27
	冻 Frozen 14d	3.43±0.15	3.42±0.13	3.71±0.24	3.53±0.22

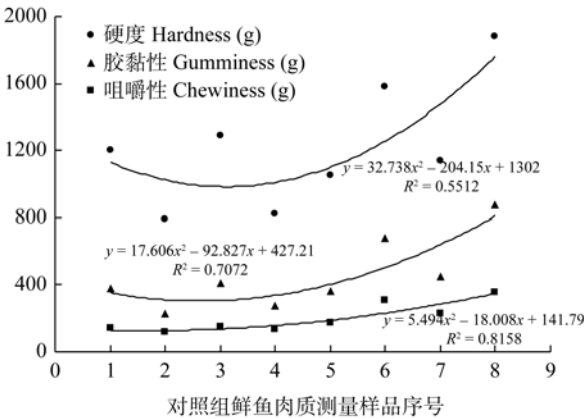


图 6 对照组鲜鱼肉硬度、咀嚼性和胶黏性间关系

Fig. 6 Relationship between hardness, chewiness and adhesive-ness of fresh flesh in control

吻鲢冰冻 1、3、6 和 14d 后 NQC 肉色的影响。各处理组鱼肉冰冻 1d 后, L^* 值迅速增加, 之后一直到第 14 天都没有显著变化。鱼肉 b^* 值各处理组均呈

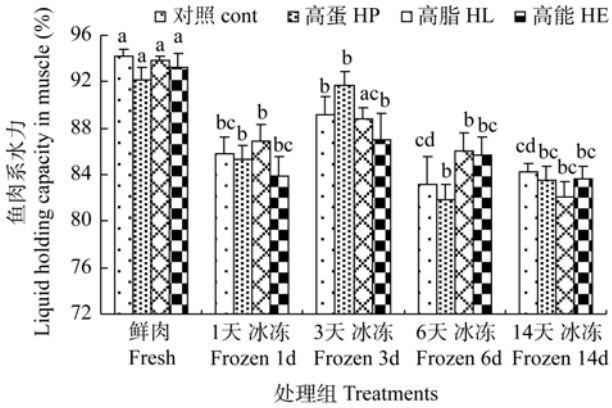


图 7 不同饲料营养对池塘养殖长吻鲢鱼和冰冻后背肌系水力的影响

Fig. 7 Effect of different diets on content of liquid holding capacity (LHC) in dorsal muscle of fresh flesh and frozen of tank reared Chinese longsnout catfish

图中柱形上标表示差异显著($P < 0.05$)
Bars with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

表 5 摄食不同饲料的池塘养殖长吻鲢新鲜鱼肉和冰冻后挪威肉质切块前部质地(平均值±标准误)
Tab. 5 NQC-A texture of fresh flesh frozen flesh for tank reared Chinese longsnout catfish fed different diets (mean±SE)

测量时间	处理	内聚性	硬度	弹性	回弹性	黏附性	胶黏性	咀嚼性
Test time	Treatments	Cohesiveness	Hardness	Springiness	Resilience	Adhesiveness	Gumminess	Chewiness
新鲜 Fresh	对照 Cont	0.363±0.022	1218±130 ^{ab}	0.445±0.021	0.275±0.016	1.97±0.25	458±77 ^b	200.8±31.9
	高蛋白 HP	0.333±0.020	1535±211 ^b	0.418±0.026	0.313±0.042	3.08±0.69	506±78 ^b	197.6±26.7
	高脂 HL	0.294±0.015	1170±149 ^{ab}	0.427±0.022	0.264±0.009	3.15±0.56	329±34 ^{ab}	142.0±16.4
	高能 HE	0.316±0.025	788±57 ^a	0.410±0.026	0.262±0.010	3.56±0.72	246±21 ^a	100.1±9.4
冰冻 Frozen 6h	对照 Cont	0.305±0.016	767±72 ^a	0.347±0.018	0.251±0.029	2.35±0.36 ^{ab}	229.7±21.0 ^a	77.9±6.9 ^a
	高蛋白 HP	0.283±0.015	1244±151 ^b	0.348±0.017	0.219±0.011	2.85±0.32 ^b	351.9±46.0 ^{ab}	119.0±14.1 ^b
	高脂 HL	0.311±0.022	841±106 ^a	0.338±0.015	0.224±0.013	2.34±0.39 ^{ab}	247.5±30.0 ^a	83.5±11.3 ^a
	高能 HE	0.278±0.022	740±116 ^a	0.328±0.019	0.220±0.017	0.82±0.86 ^a	194.0±26.4 ^a	64.5±9.6 ^a
冰冻 Frozen 1d	对照 Cont	0.464±0.010	131.0±11.4	0.440±0.013	0.126±0.004	23.6±2.7	60.8±5.7	27.1±2.9
	高蛋白 HP	0.464±0.013	138.7±18.3	0.441±0.015	0.124±0.004	21.0±2.3	61.9±6.9	28.1±3.7
	高脂 HL	0.481±0.022	125.2±16.3	0.443±0.020	0.133±0.002	20.3±2.8	57.1±5.7	25.7±3.1
	高能 HE	0.446±0.018	142.8±21.5	0.448±0.028	0.134±0.003	20.2±2.8	62.9±9.3	29.6±6.3
冰冻 Frozen 3d	对照 Cont	0.420±0.014	162.8±24.9	0.419±0.017	0.117±0.003 ^{ab}	17.1±2.9 ^b	66.9±10.1 ^b	28.0±4.4 ^b
	高蛋白 HP	0.450±0.010	114.0±11.5	0.407±0.023	0.123±0.005 ^{ab}	16.8±1.5 ^b	50.0±4.3 ^a	20.4±2.1 ^{ab}
	高脂 HL	0.445±0.013	91.2±9.4	0.397±0.011	0.127±0.005 ^b	10.3±0.6 ^a	39.5±3.5 ^a	15.9±1.6 ^a
	高能 HE	0.426±0.013	110.3±11.9	0.452±0.015	0.109±0.005 ^a	12.4±1.0 ^{ab}	46.0±4.3 ^a	20.8±2.1 ^{ab}
冰冻 Frozen 6d	对照 Cont	0.471±0.013 ^{ab}	64.4±6.2	0.329±0.015	0.134±0.006	9.70±1.42 ^{ab}	29.65±2.40	9.90±0.98
	高蛋白 HP	0.498±0.020 ^{ab}	66.2±10.7	0.452±0.125	0.135±0.013	10.24±1.97 ^{ab}	32.19±4.53	12.19±1.88
	高脂 HL	0.510±0.014 ^b	69.6±5.4	0.353±0.012	0.143±0.006	14.26±2.44 ^b	34.95±2.22	12.56±1.11
	高能 HE	0.463±0.008 ^{ab}	67.3±5.1	0.377±0.013	0.131±0.003	7.10±0.63 ^a	31.00±2.31	11.83±1.12
冰冻 Frozen 14d	对照 Cont	0.434±0.029	93.2±7.2 ^b	0.383±0.016	0.118±0.007	16.42±2.14 ^b	39.0±2.2 ^b	14.85±0.90 ^b
	高蛋白 HP	0.443±0.014	61.9±4.6 ^a	0.356±0.013	0.130±0.005	10.66±1.90 ^a	27.1±1.6 ^a	9.71±0.78 ^a
	高脂 HL	0.437±0.009	65.9±5.0 ^a	0.352±0.013	0.136±0.006	9.53±1.8 ^{0a}	28.8±2.2 ^a	10.24±0.97 ^a
	高能 HE	0.456±0.025	56.3±6.2 ^a	0.353±0.021	0.130±0.009	9.60±0.90 ^a	25.0±2.4 ^a	9.04±1.21 ^a

注：表中平均数后不同上标表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Means with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

升高的趋势,并在冰冻 6d 时达到最高值,而冰冻后鱼肉 a^* 值变化不大。

冰冻后肉质 表 5 显示了饲料营养对池塘养殖长吻鲢鱼肉冰冻 6h、1d、3d、6d 和 14d 后挪威肉质切块前部(图 1, NQC-A)质地的影响。鱼肉经过冰冻之后,除了黏附性显著增加之外,鱼肉的硬度、回弹性、胶黏性、咀嚼性都随着冰冻时间的延长明显降低,鱼肉内聚性略微升高而弹性略微降低。

冰冻 6h 后鱼肉硬度 HP 组的最大,HE 组最小($P < 0.05$),之后硬度值随着冰冻时间降低最终达到一个极低值,处理组间差异随之消失。鱼肉黏附性在冰冻 1d 后迅速增加,处理组间在冰冻 6h、3d 和 6d 时都存在显著差异($P < 0.05$),而没有得到一致的

变化趋势,但是 HP 组黏附性始终大于 HL 组。

冰冻后鱼肉系水力 图 7 是饲料营养对池塘养殖长吻鲢背肌系水力的影响。经过 1d 冰冻储藏之后,所有处理组的系水力都显著降低($P < 0.05$),而处理组之间没有显著变化趋势($P > 0.05$)。随后的冰冻储藏处理并没有使鱼肉系水力进一步降低,甚至冰冻 14d 之后仍然保持冰冻 1d 的水平($P > 0.05$)。

冰冻后鱼肉羟脯氨酸(HYP)和丙二醛(MDA)含量 图 8 是不同饲料营养对池塘养殖长吻鲢背肌中胶原物质羟脯氨酸和氧化物质丙二醛含量的影响。结果显示 Cont 组、HP 组和 HC 组的胶原物质含量相当,而 HE 组略高,HL 组最高($P < 0.05$)。丙二醛含量在 HE 组最高,在 HC、HL、Cont 组依次降低,

HP 组最低($P < 0.05$)。

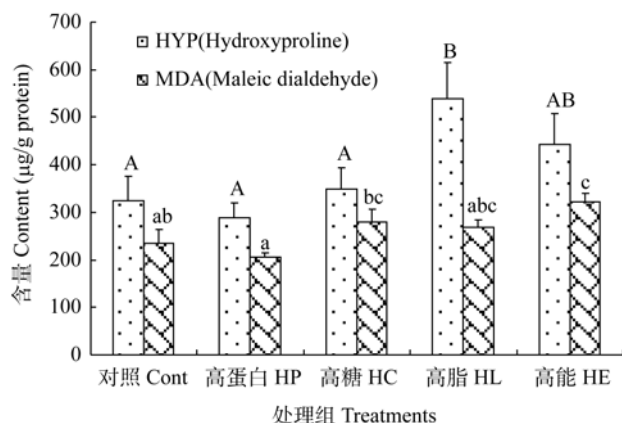


图 8 不同饲料营养对池塘养殖长吻鲢背肌中羟脯氨酸(HYP)和丙二醛(MDA)含量的影响

Fig. 8 Effect of different diets on content of hydroxyproline (HYP) and maleic dialdehyde (MDA) in dorsal muscle of tank reared Chinese longsnout catfish

图中上标表示差异显著($P < 0.05$)

Figure with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 生长、饲料利用和鱼体成分

生长和饲料利用 HC 组显著限制了实验鱼的生长,可能是因为饲料中过高的玉米淀粉含量。Tan, *et al.*发现用过高的碳水化合物(碳水化合物/脂肪=5.07, 45% 蛋白质, 干物质)饲养长吻鲢幼鱼出现骨骼变形现象,而本实验 HC 组的碳水化合物含量更高^[9]。和其他一些肉食性鱼类不同^[10, 11],长吻鲢不能较好地利用过高的碳水化合物,特别当饲料中的蛋白质和脂肪含量都较低时。因此,从经济上考虑,高糖水平的低鱼油饲料不建议使用,除非在生长和鱼肉品质都不受影响的前提下。本实验中因为 HC 组鱼体生长受到显著抑制($P < 0.05$),所以没有继续研究饥饿和冰冻处理等处理对 HC 组鱼体品质的影响。

HP 组长吻鲢生长状况最好, Lee, *et al.*在不同蛋白质/能量水平对虹鳟^[12]和 Yang, *et al.*在蛋白质水平对银锯眶鲷幼鱼的研究中均已得出^[13],即蛋白利用率随着饲料中的蛋白质水平变化呈相反的变化趋势,而脂肪作为非蛋白质能源通过有效地降低器官和氮的丢失起到了节约脂肪的作用。但是 Regost, *et al.*用高脂肪含量饲料饲养 660 g 的鳟鱼并没有发现任何的蛋白质节约效应^[14],不同的结论可能是因为鱼

体的规格不同,相对来说,大鱼更容易适应脂肪含量的变化。

全鱼组织鱼体成分 Shearer 在其综述中对多种鲑鱼体成分变化的研究也发现鱼体脂肪和水分含量呈相反变化趋势^[15]和本文结果一致。HL 和 HE 组脂肪含量(8.4% 和 6.6%)虽然差异不显著,但和其他三个处理组(低于 5.7%)相比脂肪含量要高得多(图 2)。之前多位学者^[9, 16]都发现鱼体脂肪含量和饲料中脂肪含量呈正相关,而本实验 HE 组比 HL 组的饲料脂肪含量更高但是鱼体脂肪并不更多,这可能是由于饲料中的碳水化合物来源不同引起的:HE 组的糖源主要为玉米淀粉、HL 组基本上是纤维素,而 Tan, *et al.*发现纤维素能够提高长吻鲢的消化能力,粗纤维能促进机体的胃肠蠕动,加快食物通过胃肠道时间,降低表观消化率^[17]。

在本实验中,HL 和 HE 组与 Cont 相比,鱼体末重更低,与 HP 组相比 SGR 更低,但是 HL 和 HE 组的脂肪含量却更高。这和之前一些学者所认为的更大、生长更快的鱼体,其脂肪含量也更高的观点不尽相同,可能是因为本实验的长吻鲢体重差别还不够大;另一方面,配方饲料确实影响鱼体成分,尤其是脂肪含量。Shearer 认为鱼体脂肪含量不仅受到鱼体大小等内因影响,同样受到生长速度、饲料配方等外因影响^[15],这一观点和本实验结果相一致。

鱼体头部、背部、腹部、尾部和内脏组织成分长吻鲢背部储存了约 1/3 的蛋白质,是营养最为丰富的部位。HL 和 HE 组鱼体腹部和内脏脂肪含量虽然高于其他组,在鲜鱼组织中差异并不显著,但干物质中却显著高于其他组,这是因为 HL 和 HE 组水分含量显著更低,所以水分含量的测量很有意义。鱼体脂肪主要储积在内脏中,尤其在 HL 组,这使其出肉率显著降低($P < 0.05$)。Rasmussen 也发现,对大西洋鲑鱼来说,大于 50% 的鱼体体重减少归因于内脏被丢弃,所以影响鱼体脂肪含量的因素最终都会影响到出肉率^[2]。但很多学者用不同脂肪含量饲料饲养鲑鱼成鱼得到了相同空壳率^[14],这可以解释为动物具有有限的控制体成分的能力。

3.2 饲料营养对鱼体品质的影响

颜色 本实验发现 HL 和 HE 组鱼体 a^* 值更高,这和 Bjerkeng, *et al.*在大西洋鲑中实验^[16]结果一致; Torrisen, *et al.*在虹鳟中发现随着饲料脂肪的增高,

色素物质斑螫黄的表现消化率也相应更高,并且认为更高的饲料脂肪促进了肠道对脂溶性色素物质的吸收^[18]。本实验中 HC 组鱼体背部较为苍白,即 L^* 值更高,其原因可能是因为饲料中过低的脂肪含量影响了色素的吸收。另外,不论色素和脂肪的来源如何,很多学者也都发现饲料中更高的脂肪水平能够促进虹鳟对色素的吸收^[18—20]。

表 3 显示了饲料营养对池塘养殖长吻鲢饥饿 10d 后活鱼体色的影响。饥饿使得鱼体腹部的 L^* 和 b^* 值明显提高,可能因为 HE 组脂肪含量最高,鱼体将多余的能量以脂肪的形式储存在体内,尤其在腹部和内脏。饥饿对鱼体体色的影响结果可以推测:饲料营养也是通过影响鱼体脂肪含量控制鱼体颜色。

本实验没有发现饲料营养对鱼肉颜色有显著影响。Nickell, *et al.* 通过提高饲料脂肪水平提高了虹鳟鱼肉中虾青素的含量,但是因为处理间过高的误差也并没有发现显著差异^[19],可能因为配方饲料对鱼肉颜色的影响不大,尤其在额外添加色素时。

肉质 本实验发现长吻鲢鲜肉硬度和胶黏性受鱼体脂肪含量影响,硬度和胶黏性按照 HP、Cont、HL 和 HE 组的顺序降低,该顺序也是鱼体脂肪含量增加的顺序。Haard 认为人工养殖鱼类之所以没有野生品种鱼肉质结实,是与人工养殖鱼体内更高的脂肪含量有关^[21],但 Faergemand, *et al.* 发现:鱼肉脂肪含量可以增加 20% 而不致影响鲫的肉质硬度^[3],所以饲料脂肪含量对不同鱼类的影响程度可能是不同的。

Gines, *et al.* 在红点鲑生鱼肉中发现脂肪含量和黏附性呈明显正相关($r=0.629$, $P<0.01$)的趋势^[8],这和本文结果一致,即鱼肉黏附性随着脂肪含量的增加而增大。长吻鲢高蛋白组鲜鱼肉硬度和胶黏性最高($P<0.05$)的原因还不是很清楚,可能是因为高蛋白组鱼体肌肉纤维具有更高的肌纤维密度。

本实验中,在对照组鲜鱼肉质指标中发现硬度、咀嚼性和胶黏性有相似的变化趋势(图 6)。

系水力(LHC) 高蛋白组鲜肉的系水力最低可能与其较低的脂肪含量有关,另外脂肪含量和水分含量呈相反的变化趋势^[22],所以高蛋白组不仅脂肪含量更少,还含有更多的水分,水分相对于脂肪更容易被挤出。Jonsson, *et al.* 认为低的液体渗出率可能和一些内在组织结构有关:肌纤维的密度、纤维

内外的脂肪含量和主要由肌浆蛋白构成的细胞内空间的无组织成分。本实验结果中渗出水为 6%—8%,这一结果明显高于之前学者报道的结果^[23]:Jonsson, *et al.* 的实验中,鱼肉渗出含量在 2% 左右,如此大的不同可能是由于本实验的结果中包含水分和脂肪两个部分,而之前实验只是检测了渗出水。

3.3 冰冻处理对肉质的影响与鱼肉哪些因素有关

冰冻后肉色 本实验中,冰冻处理使鱼肉亮度增加,即鱼肉看起来更苍白,这可能与冰冻储存过程中鱼肉表面的渗出水有关,而且在冰冻 1d 后出现明显的渗出水,之后基本保持不变。冰冻后的鱼肉亮度在处理组内没有明显的趋势,总体来说高脂和高能组的亮度要略为高于对照和高蛋白组。

肉色饱和度在饥饿和冰冻后均增加,是 b^* 值增加、 a^* 值降低(负值)的共同作用结果。其他学者也有相似的结论:Choubert, *et al.* 发现储存时间的增加虹鳟鱼肉的亮度和饱和度都增加^[20],Schubring 发现尽管饲料原料不同,冷冻后的大马哈鱼生鱼肉和熏肉的黄度都增加了^[24]。

冰冻后肉质 本实验发现鱼肉质指标中,硬度和咀嚼性是联系最为密切,且随冰冻时间变化明显,更容易表达测量样本的微弱差异,是比较重要的肉质指标,Johnston, *et al.* 也有类似发现^[25]。其他肉质指标诸如内聚性、弹性和回弹性变化幅度都较小。所有处理组鱼肉冰冻后都有相同的变化趋势:硬度、胶黏性、咀嚼性显著降低,黏附性显著增加。之前一些学者的研究多集中在鱼肉硬度,比如:Ando, *et al.* 发现两种鲑鱼经过 5°C 冷藏 1d 后鱼肉变软^[26],Espe, *et al.* 发现冰冻储藏增加了大西洋鲑的软度^[27],Stien, *et al.* 发现起捕应急和储藏温度是两个最重要的影响养殖鳕鱼鱼肉质量的因素^[6];Jain, *et al.* 还发现经过 5d 冰冻储藏南亚野鲮鱼肉硬度显著降低^[28],本实验对硬度以外肉质指标变化趋势的研究更为全面地记述了冰冻处理对鱼肉质地的影响。

冰冻后鱼肉系水力 本实验发现:鱼肉系水力冰冻后 1d 即显著降低,之后基本稳定。Schubring 在熏制鲑鱼中发现,冰冻处理使得真空包装的鲑鱼鱼肉渗出水随处理时间增加^[24]。这和本研究结果相一致,因为鱼肉系水力反映的是鱼肉渗出水速率,但不论大小如何渗出水都会随储藏时间增加,只是在冰冻 1d 内更容易渗出水。长吻鲢鲜肉和不同冰冻时间系水力变化没有一致的趋势,系水力究竟受哪

些因素影响仍有待进一步研究。

冰冻后鱼肉羟脯氨酸(HYP)和丙二醛(MDA)含量 本实验中胶原物质的含量和饲料中脂肪含量的变化趋势是一致的,可能饲料脂肪含量的增加促进了鱼体胶原物质的合成。Hatae, *et al.*曾研究不同种类鱼体肌肉中胶原物质对鱼体肉质的影响,并且指出鱼肉硬度和胶原物质含量正相关($r = 0.70$)^[29],而本实验结果中,虽然 HL 组的 HYP 含量最高,但其硬度和咀嚼性却是最低的。这可能是因为鱼肉中更多的脂肪削弱了胶原物质的作用。尽管高脂和对照处理的硬度相似,但其咀嚼性却显著高于对照组,这也可能和其更高的胶原物质含量有关^[29]。

本实验发现鱼肉脂肪含量的提高增加其脂肪氧化几率,MDA 含量可能与机体内脂肪代谢有关,高含量 MDA 说明鱼体内脂质过氧化程度已经很高,机体发生了损伤^[30]。本实验中不同处理 MDA 含量变化趋势和很多学者的研究结果是一致的:摄食高脂肪的赛内加尔鲷体内 MDA 含量也更高^[31],Choubert, *et al.*发现不论添加的类胡萝卜素来源如何,随着检测时间延长,投喂高脂肪含量鱼肉的氧化值较投喂低脂肪饲料显著增高^[20]。鱼体在储藏过程中脂肪氧化现象是普遍的,而氧化程度取决于鱼肉脂肪含量,所以冰冻后鱼肉 MDA 含量和饲料中脂肪含量影响有一定联系。

通过不同饲料营养对池塘养殖长吻鲈品质的研究发现,当脂肪和蛋白水平都较低时,HC 组饲料抑制了鱼体正常生长。HP 组长吻鲈生长最好,鱼肉硬度和咀嚼性较高,鱼肉氧化物质含量也较低。HL 和 HE 组饲料因其成分相似,对鱼体影响相近,都降低了出肉率、硬度和咀嚼性等肉质指标,同时也使得鱼体体色和肉色的黄度值增加。饥饿显著提高了鱼体体色的黄度值。冰冻储藏使鱼肉质包括硬度、咀嚼性和胶黏性显著降低,黏附性增加,随冰冻时间增加处理组间显著差异随之消失。鱼肉指标中硬度、咀嚼性、胶黏性和黏附性更能够体现实验处理产生的肉质差异,且前三者变化趋势一致并和黏附性的变化趋势相反。另外,后续的实验设计将增加人工品尝实验,以进一步了解饲料营养尤其是脂肪对鱼肉风味的影响,并完善鱼肉品质评价指标体系。致谢:

本实验在完成过程中得到中国科学院水生生物研究所聂光汉和华中农业大学食品科学学院刘敬科

和张瑞霞的大力帮助,在此表示诚挚的感谢。

参考文献:

- [1] Lie O. Flesh quality - the role of nutrition [J]. *Aquaculture Research*, 2001, **32**: 341—348
- [2] Rasmussen R S. Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics [J]. *Aquaculture Research*, 2001, **32**: 767—786
- [3] Faergemand J, Ronsholdt B, Alsted N, *et al.* Fillet texture of rainbow-trout as affected by feeding strategy, slaughtering procedure and storage post-mortem [J]. *Water science and technology*, 1995, **31**: 225—231
- [4] Johansson L, Kiessling A, Asgard T, *et al.* Effects of ration level in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) on sensory characteristics, lipid content and fatty acid composition [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1995, **1**: 59—66
- [5] Kim J D, Kaushik S J. Contribution of digestible energy from carbohydrates and estimation of protein/energy requirements for growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1992, **106**: 161—169
- [6] Stien L H, Hirmas E, Bjornevik M, *et al.* The effects of stress and storage temperature on the colour and texture of pre-rigor filleted farmed cod (*Gadus morhua* L.) [J]. *Aquaculture Research*, 2005, **36**: 1197—1206
- [7] Xie S, He X, Yang Y. Effects of replacement of dietary fishmeal by soybean cake on growth and feed utilization of Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1998, **4**: 187—192
- [8] Gines R, Afonso J M, Arguello A, *et al.* The effects of long-day photoperiod on growth, body composition and skin colour in immature gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Aquaculture Research*, 2004a, **35**: 1207—1212
- [9] Tan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and feed utilization in Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2007, **5**: 605—610
- [10] Dias J, Rueda-Jasso R, Panserat S, *et al.* Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, lipid deposition and metabolic hepatic enzymes in juvenile Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup) [J]. *Aquaculture Research*, 2004, **35**: 1122—1130
- [11] Nematipour G R, Brown M L, Gatlin D M. Effects of dietary carbohydrate: lipid ratio on growth and body composition of hybrid striped bass [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1992, **23**: 128—132
- [12] Lee D J, Putnam G B. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet [J]. *Journal of Nutrition*, 1973, **103**: 916—922
- [13] Yang S, Liou C, Liu F. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*) [J].

- Aquaculture*, 2002, **213**: 363—372
- [14] Regost C, Arzel J, Cardinal M, *et al.* Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*) [J]. *Aquaculture*, 2001b, **193**: 291—309
- [15] Shearer K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids [J]. *Aquaculture*, 1994, **119**: 63—88
- [16] Bjerkeng B, Refstie S, Fjalestad K T, *et al.* Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet [J]. *Aquaculture*, 1997, **157**: 297—309
- [17] Tan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate sources on growth performance and utilization for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, **12**: 61—70
- [18] Torrissen O J, Hardy R W, Shearer K D, *et al.* Effects of dietary canthaxanthin level and lipid level on apparent digestibility coefficients for canthaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1990, **88**: 351—362
- [19] Nickell D C, Bromage N R. The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1998a, **161**: 237—251.
- [20] Choubert G, Baccaudaud M. Colour changes of fillets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fed astaxanthin or canthaxanthin during storage under controlled or modified atmosphere LWT [J]. *Food Science and Technology*, 2006, **39**: 1203—1213
- [21] Haard N F. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish [J]. *Food Research International*, 1992, **25**: 289—307
- [22] Fauconneau B, Andre S, Chmaitilly J, *et al.* Control of skeletal muscle fibres and adipose cells size in the flesh of rainbow trout [J]. *Journal of Fish Biology*, 1997, **50**: 296—314
- [23] Jonsson A, Sigurgisladottir S, Hafsteinsson H, *et al.* Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets measured by different methods in comparison to expressible moisture [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2001, **7**: 81—89
- [24] Schubring R. Thermal stability, texture, liquid holding capacity and colour of smoked salmon on retail level [J]. *Thermochimica Acta*, 2006, **445**: 168—178
- [25] Johnston I A. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. *Aquaculture*, 2000, **189**: 335—349
- [26] Ando M, Oishi K, Mochizuki S, *et al.* Effect of inhabited sea area on meat firmness and its post-mortem change in chub mackerel during chilled storage [J]. *Fisheries Science*, 2002, **68**: 1337—1343
- [27] Espe M, Ruohonen K, Bjornevik M, *et al.* Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in farmed salmon muscle harvested at different times of the year [J]. *Aquaculture*, 2004, **240**: 489—504
- [28] Jain D, Pathare P B, Manikantan M R. Evaluation of texture parameters of Rohu fish (*Labeo rohita*) during iced storage [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, **81**: 336—340
- [29] Hatae K, Tobimatsu A, Takeyama M, *et al.* Contribution of the connective tissues on the texture difference of various fish species [J]. *Bulletin of Japanese Society of Fishery Science*, 1986, **52**: 2001—2007
- [30] Liu H Y, Lei W, Zhu X M, *et al.* Effects of different dietary vitamin C levels on Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, **33**(4): 682—689 [刘海燕, 雷武, 朱晓鸣, 等. 饲料中不同维生素 C 含量对长吻鲈的影响. 水生生物学报, 2009, **33**(4): 682—689]
- [31] Lopez-Bote C J, Diez A, Corraze G, *et al.* Dietary protein source affects the susceptibility to lipid peroxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle [J]. *Animal Science*, 2001, **73**: 443—449

EFFECT OF DIET FORMULATION ON THE GROWTH PERFORMANCE AND QUALITY OF TANK REARED CHINESE LONGSNOUT CATFISH (*LEIOCASSIS LONGIROSTRIS* GÜNTHER)

LIU Ming^{1,2}, ZHU Xiao-Ming¹, LEI Wu¹, HAN Dong¹, YANG Yun-Xia¹ and XIE Shou-Qi^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Aquaculture Divisions, E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai, 200090 China)

Abstract: A 90 day growth trial was conducted to investigate the effect of different diet formulations on the growth performance and flesh quality of tank reared Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther). Five diets were formulated: Cont: the control or the normal diet used for the fish; HP: high protein diet; HC: high carbohydrate diet; HL: high lipid diet; HE: high energy diet. The results showed that HC diet effected in negative growth while HP diet showed the highest specific growth rate (SGR) and feed efficiency (FE). Body water content changed in opposite direction of body lipid, and was the highest in fish of HL diet, than HE diet, and the lowest in HP diet. Most of the fish lipid was accumulated in viscera and was higher in HL and HE fed groups, which lead to significant lower yield and caused more amount of muscle maleic dialdehyde (MDA). At the end of feeding experiment, Yellowness (b^*) of fish dorsal skin was highest in fish of HC diet, lower in HE diet and lowest in HP diet. Ventral Redness (a^*) was highest in HE diet, than HL diet, and the lowest in HP diet. Color showed no significant difference for fresh fillet until after 3d freezing when fillet Yellowness and Whiteness (ΔE) was decreased in the order: HE > HL > HP > Cont, and fillet Redness was decreased in order: Cont > HL > HE > HP. Texture of fresh fillet showed no significant difference except both Hardness and Gumminess was decreased in order: HP > Cont > HL > HE. The experiment showed that lipid was the emphasis among all diet formulations which influenced fish quality of skin color, texture and MDA content during storage by controlling fish body composition. After frozen storage, fillet Hardness, Gumminess, Chewiness and Liquid holding capacity (LHC) decreased but Adhesiveness increased perceptibly, though changes manifested decreased fish quality.

Key words: Chinese longsnout catfish; Diet formulation; Growth; Quality