

投饲蚕豆对草鱼生长和肌肉品质的影响

李宝山^{1,2}, 冷向军¹, 李小勤¹, 李家乐¹

(1. 上海海洋大学 生命科学与技术学院, 上海 200090; 2. 山东海洋水产研究所, 山东 烟台 264006)

摘要: 分别以配合饲料、浸泡蚕豆、发芽蚕豆喂养体质量为 (530±20)g 的草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 77 d, 以考察投饲蚕豆对草鱼生长和肌肉品质的影响。结果表明, 配合饲料组、浸泡蚕豆组和发芽蚕豆组草鱼的增重率分别为 83.08%、55.01% 和 62.82%, 饵料系数分别为 2.03、2.96 和 2.70, 投饲浸泡蚕豆或发芽蚕豆显著降低了草鱼增重率 ($P<0.05$), 增加了饵料系数 ($P<0.05$); 与配合饲料组相比, 浸泡蚕豆组和发芽蚕豆组草鱼肌肉粗脂肪含量和肌肉失水率显著降低 ($P<0.05$), 胶原蛋白含量和肌纤维直径显著增加 ($P<0.05$); 肌肉游离氨基酸中呈味氨基酸的含量显著下降 ($P<0.05$), 而必需氨基酸含量显著增加 ($P<0.05$); 肌肉的硬度和黏性也有了显著提高 ($P<0.05$)。上述结果表明, 饲喂蚕豆可显著改善草鱼肌肉品质, 但同时降低了草鱼生长性能。[中国水产科学, 2008, 15(6): 1 042-1 049]

关键词: 草鱼; 蚕豆; 生长; 肌肉品质

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)06-1042-08

随着养殖鱼类产量的不断提高, 其肌肉品质却呈现普遍下降的现象, 这在草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 养殖上表现较为突出。用蚕豆饲喂的草鱼, 其肉质脆而有韧性, 称脆肉鲩 (Crisped grass carp)。作为改善养殖草鱼肉质的一种独特方式, 这项养殖技术在中国已经有 30 余年的历史, 目前已在南方一些地区得到推广。Zeng 等^[1] 和 Tang 等^[2] 通过实验规范了“脆肉鲩”养殖过程中的蚕豆投喂方式、鱼体大小、养殖时间等条件。Kuang 等^[3] 和 Xiao 等^[4] 分别比较了“脆肉鲩”和普通草鱼肌肉基本营养成分的差异; Lun^[5] 测量并比较了“脆肉鲩”与普通草鱼肌肉结构氨基酸和肌纤维粗细; Chen 等^[6] 测定了“脆肉鲩”和普通草鱼肌肉游离氨基酸含量, 并与其他鱼类进行了比较。Tan 等^[7-8] 通过实验证实了蚕豆是促使草鱼肌肉脆化的主要因子, 而水体水化学因子等环境条件只对草鱼肌肉脆化起间接辅助作用。

然而, 到目前为止, 投饲蚕豆导致草鱼肉质脆化的机理依然不清楚, 有关其肉质变脆的生化基础以及反映其肉质变脆的量化指标均未见报道。此外, 养殖“脆肉鲩”生产中饲喂蚕豆主要采用浸泡和发芽 2 种方式, 它们对草鱼的生长和肌肉品质有何影响, 也未见报道。因此, 本研究以配合饲料、发

芽蚕豆和浸泡蚕豆投喂草鱼, 考察投饲蚕豆对其生长、肌肉成分以及游离氨基酸的影响, 同时, 模拟人的咀嚼过程, 测定了草鱼的质构参数 (包括硬度、弹性、黏性等), 旨在探讨草鱼肉质脆化的机理。

1 材料与方法

1.1 实验设计与饲料组成

实验鱼购自上海海洋大学南汇养殖场。实验分为 3 个处理组, 分别为配合饲料组、浸泡蚕豆组和发芽蚕豆组, 每组 3 个重复, 每个重复 15 尾鱼, 实验鱼体质量 (530±20)g, 经检验, 各处理组鱼体质量无显著差异 ($P>0.05$), 所用草鱼体质健壮, 放养在 5 m×3 m×1.2 m 的水泥池中, 水深 0.7 m, 共 9 口水泥池。

配合饲料配方见表 1。制作饲料时各原料粉碎过 40 目, 用膨化饲料机加工成粒径 3 mm, 长度 4 mm 的浮性颗粒饲料, 粗蛋白含量 28.1%, 水分 10.0%; 所用蚕豆为当年产蚕豆, 干蚕豆中淀粉含量约为 49%, 粗蛋白含量约为 26%, 粗脂肪含量约为 1.2%; 浸泡后 (浸泡蚕豆) 粗蛋白含量 15.6%, 水分 50.5%; 发芽后 (发芽蚕豆) 粗蛋白含量为 14.5%, 水分 54.1%。折算为 90% 干物质, 2 种蚕豆的粗蛋白含量分别为 28.3% 和 28.4%。

收稿日期: 2007-12-25; 修订日期: 2008-03-26.

基金项目: 上海市重点学科建设项目资助 (Y1101); 上海市科委基础重大专项 (06DJ14003); 上海海洋大学校长基金 (0321).

作者简介: 李宝山 (1979-) 男, 硕士, 从事水产动物营养与饲料学研究. Tel: 15898961821; E-mail: bsleeyt@hotmail.com

通讯作者: 冷向军 (1972-) 男, 教授, 从事动物营养与饲料学研究. Tel: 13371935255; E-mail: xjleng@shfu.edu.cn

表 1 配合饲料配方
Tab.1 Formulation of the experimental feed for grass carp

成分 Ingredients	百分比 Percentage	成分 Ingredients	百分比 Percentage
豆粕 Soybean meal	22.2	豆油 Soybean oil	0.5
棉籽粕 Cottonseed meal	8.0	胆碱 Choline	0.5
菜籽粕 Rapeseed meal	20.0	维生素预混料 Vitamin mix	0.25
小麦麸 Wheat bran	22.0	矿物质预混料 Mineral mix	0.25
次粉 Wheat middling	24.0	磷酸二氢钙 CaH_2PO_4	1.8
鱼油 Fish oil	0.5	总计 Total	100

注: 维生素和微量元素在每 kg 饲料添加量为 (mg/kg 饲料): V_A 6 000 IU/kg, V_D 2 000 IU/kg, V_E 50, V_K 5, V_{B1} 15, V_{B2} 15, V_{B3} 25, V_{B5} 30, V_{B6} 10, V_{B7} 0.2, V_{B11} 3, V_{B12} 0.03, inositol 100, V_C 100; Zn 80, Fe 150, Cu 4, Mn 20, I 0.4, Co 0.1, Se 0.1, Mg 100.

Note: Vitamins and minerals supplied by premix in diet were (mg/kg diet): V_A 6 000 IU/kg, V_D 2 000 IU/kg, V_E 50, V_K 5, V_{B1} 15, V_{B2} 15, V_{B3} 25, V_{B5} 30, V_{B6} 10, V_{B7} 0.2, V_{B11} 3, V_{B12} 0.03, inositol 100, V_C 100; Zn 80, Fe 150, Cu 4, Mn 20, I 0.4, Co 0.1, Se 0.1, Mg 100.

1.2 饲养管理

把蚕豆放入塘水中浸泡 24 h, 得浸泡蚕豆, 进一步置于浅水中发芽, 至芽长 1 cm 左右 (发芽蚕豆)。每日于 9:00, 16:30 投喂 2 次, 投喂量以鱼体总质量的 2% 计 (配合饲料和发芽蚕豆、浸泡蚕豆均折算为 90% 干物质基础), 并根据摄食情况调整, 使每次投饲的配合饲料在 15 min 内食完, 发芽蚕豆和浸泡蚕豆在 1 h 内食完为宜。投喂时剪碎蚕豆 (带皮) 至黄豆大小投喂。每隔 10 d 吸污, 换水 20 cm。养殖 77 d。期间水温 22~28 °C, pH 6.9~7.6, 昼夜充气, DO>5 mg/L。

1.3 测定指标

1.3.1 生长指标的测定 养殖实验结束后, 饥饿 24 h, 称每个平行组的鱼体总质量, 计算增重率、特定生长率、存活率、饲料系数和蛋白质效率。

增重率 (GR, %) = (鱼体末质量 - 鱼体初质量) / 鱼体初质量 × 100;

特定生长率 (SGR, %·d⁻¹) = (ln 鱼体均末质量 - ln 鱼体均初质量) × 100 / 养殖天数;

饲料系数 (FCR) = 投饲量 / 增重量 (发芽蚕豆或浸泡蚕豆的投饲量均折算为 90% 干物质, 与配合饲料保持一致);

蛋白质效率 (PER, %) = 体增重 / 蛋白质摄取量;

成活率 (SR, %) = 成活尾数 / 总尾数 × 100;

1.3.2 采样 每个平行组随机采 3 尾鱼。采集鱼体一侧第 1 至第 3 背鳍之间背肌约 5 g, 第 3 至第 6 肋骨之间的腹肌约 2 g, 测肌肉失水率、肌原纤维耐折力和肌纤维直径。采取同侧第 3 背鳍至第 8 背鳍之间、侧线以上的肌肉测基本成分。采取另一侧

第 1 背鳍至第 8 背鳍之间的肌肉测定质构参数。

1.3.3 肌肉基本成分的测定 粗蛋白: 凯氏定氮法 (GB/T 5009.5—1985); 粗脂肪: 乙醚萃取法 (GB/T 5009.6—1985); 粗灰份: 高温灰化法 (GB/T 5009.4—1985); 水分: 105 °C 烘干法 (GB/T 5009.3—1985);

1.3.4 肌肉胶原蛋白的测定 采用组织中羟脯氨酸的测定方法^[9], 样品的前处理: 用丙酮, 乙醚各洗脱 2 次, 每次 0.5 h^[10]。

1.3.5 肌肉游离氨基酸的测定 样品前处理: 每组取相同部位的肌肉 0.5 g, 加 5 mL 10% 磺基水杨酸溶液, 匀浆 3 min, 20 000 r/min 离心 20 min, 取上清液 2 mL, 加入 2 mL 1 mol/L 盐酸溶液。采用日立 L-8800 高速氨基酸分析仪 (GB/T 14965-94)。

1.3.6 肌肉质构的测定 采用 QTS-25 物性测试仪 (CNS Farnell 公司, 英国) 进行测定, 二次穿刺法测定肌肉的硬度、弹性、咀嚼性、黏性、黏连性和恢复力。

测定条件: 在 TPA 模式下, 测量肌肉对压缩力的反应, 所用探头为 40 mm × 40 mm 的平底梯形探头。起点感应力 50 g, 测试速度 60 mm/min, 2 次压缩间隔时间 1 s, 目标值 4 mm。每个实验组做 2 个平行, 取其平均值, 用 TexturePro v2.0 进行分析。

1.3.7 肌肉失水率、肌原纤维耐折力、肌纤维直径测定^[11] 肌肉失水率: 将剪取的背肌及腹肌称初质量, 沸水中煮 5 min, 冷却拭干表面水分, 称末质量。

肌肉失水率 = (初质量 - 末质量) / 初质量 × 100%;

肌原纤维耐折力: 在一定的外力作用下, 肌原

纤维被折断,其长短能反映其耐折力。剪取 0.5 g 背肌,0.2 g 腹肌,加 10 倍 A 液 (2 L 蒸馏水中溶解 KCl 14.90 g, EDTA-Na₂ 3.44 g, 硼酸 4.78 g, pH 7.0), 3 000 r/min 匀浆 3 min,置于 10×40 倍显微镜下测定肌原纤维长度,扩印倍数 2.5,随机记录 100 个数据。

肌原纤维耐折力 = $\sum x_i / (100 \cdot A \cdot B)$, 式中 x_i 为记录数据, A 为放大倍数, B 为扩印倍数。

肌纤维直径: 沿肌纤维走向, 剪取 1.0 cm × 0.3 cm × 0.3 cm 大小的肌纤维束, 用线捆绑于载玻片上, 置于 20% 的 HNO₃ 溶液中 24 h, 然后用针挑取部分于载玻片上, 滴加一滴甘油, 置于 10×40 倍显微镜下测定肌纤维宽度, 随机记录 100 个数据。

肌纤维直径 = $\sum Y_i / (100 \cdot A \cdot B)$, 式中 Y_i 为记录数据, A 为放大倍数, B 为扩印倍数。

1.4 数据处理

采用 SPSS11.0 进行单因素方差分析和多重比

较。结果以平均值 ± 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示。差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 投饲蚕豆对草鱼生长性能的影响

投饲蚕豆对草鱼生长性能的影响见表 2。由表 2 可见, 配合饲料组、浸泡蚕豆组和发芽蚕豆组草鱼的增重率分别为 83.08%、55.01% 和 62.82%, 饲料系数分别为 2.03、2.96 和 2.70, 与配合饲料组相比, 投饲浸泡蚕豆或发芽蚕豆均显著降低了草鱼增重率 ($P < 0.05$), 增大了饲料系数 ($P < 0.05$), 其中摄食浸泡蚕豆的草鱼较摄食发芽蚕豆的草鱼具有更低的增重率 ($P < 0.05$)。摄食蚕豆草鱼的特定生长率和蛋白质效率均比配合饲料组有了显著的降低 ($P < 0.05$), 其中浸泡蚕豆组又较发芽蚕豆组显著降低 ($P < 0.05$)。投饲蚕豆对草鱼的成活率没有影响。

表 2 投饲蚕豆对草鱼生长性能的影响
Tab.2 Effects of feeding broad bean on growth performance of grass carp n=27; $\bar{x} \pm SD$

生长指标 Growth index	配合饲料组 Formula feed group	浸泡蚕豆组 Immersed broad bean group	发芽蚕豆组 Sprouted broad bean group
初重 /g Initial body weight	522.47 ± 16.45 ^a	535.66 ± 10.61 ^a	534.50 ± 6.06 ^a
末重 /g Final body weight	956.17 ± 31.75 ^a	830.33 ± 21.97 ^b	870.17 ± 5.62 ^b
摄食量 /g Feed intake	877.18 ± 14.32 ^a	873.14 ± 24.72 ^{a*}	907.57 ± 13.96 ^{a*}
增重率 /% GR	83.08 ± 6.40 ^a	55.01 ± 4.37 ^c	62.82 ± 2.74 ^b
特定生长率 / (% · d ⁻¹) SGR	0.78 ± 0.05 ^a	0.57 ± 0.04 ^c	0.63 ± 0.02 ^b
饲料系数 FCR	2.03 ± 0.14 ^a	2.96 ± 0.13 ^b	2.70 ± 0.08 ^b
蛋白质效率 /% PER	1.75 ± 0.13 ^a	1.39 ± 0.07 ^b	1.44 ± 0.09 ^b
成活率 /% SR	100	100	100

注: 同行上标小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$). * 均折算成 90% 干物质。

Note: Figures in the same column with different letters indicate significant difference at $P < 0.05$. * The feed intake of broad bean group was converted to 90% dry material.

2.2 投饲蚕豆对草鱼肌肉成分的影响

投饲蚕豆对草鱼肌肉成分的影响如表 3 所示。与配合饲料组比较, 摄食浸泡或发芽蚕豆的草鱼肌肉粗脂肪含量均有了显著降低 ($P < 0.05$), 胶原蛋白含量则有了显著提高 ($P < 0.05$); 其中浸泡蚕豆组草鱼肌肉粗脂肪和胶原蛋白含量均较发芽蚕豆组进一步降低 ($P < 0.05$); 各组在水分、粗蛋白含量方面没有显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 投饲蚕豆对草鱼肌肉物理性能的影响

投饲蚕豆对草鱼肌肉物理性能的影响见表 4。

浸泡蚕豆组和发芽蚕豆组草鱼背部肌肉失水率分别为配合饲料组的 90.83% 和 85.35%, 与配合饲料组相比均显著降低 ($P < 0.05$); 肌纤维直径分别较配合饲料组提高了 24.03% 和 18.65% ($P < 0.05$)。各个饲喂组草鱼的腹部肌肉失水率没有显著差异 ($P > 0.05$), 但摄食浸泡蚕豆、发芽蚕豆组草鱼的腹肌纤维直径较配合饲料组显著提高 ($P < 0.05$); 在肌肉耐折力方面, 摄食发芽蚕豆的草鱼背肌、腹肌均较配合饲料组显著提高 ($P < 0.05$), 而摄食浸泡蚕豆的草鱼, 仅在腹肌有显著提高 ($P < 0.05$)。

表 3 投饲蚕豆对草鱼肌肉成分的影响
Tab.3 Effects of feeding broad bean on muscle composition of grass carp $n=27; \bar{x} \pm SD$

肌肉成分 Muscle composition	配合饲料组 Formula feed group	浸泡蚕豆组 Immersed broad bean group	发芽蚕豆组 Sprouted broad bean group
水分 /% Moisture	77.87±0.28 ^a	77.70±0.88 ^a	78.44±0.76 ^a
粗蛋白 /% Crude protein	17.97±0.68 ^a	18.33±1.19 ^a	17.89±1.13 ^a
粗脂肪 /% Crude fat	2.40±0.16 ^a	1.25±0.19 ^c	1.86±0.10 ^b
粗灰分 /% Crude ash	1.75±0.01 ^a	2.73±0.01 ^c	1.59±0.02 ^b
胶原蛋白 / (mg·kg ⁻¹) Collagen	7.91±0.74 ^a	9.06±0.13 ^b	9.64±0.18 ^c

注: 同行上标小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$).

Note: Figures in the same column with different letters indicate significant difference at ($P<0.05$).

表 4 投饲蚕豆对草鱼肌肉失水率、肌原纤维耐折力和肌纤维直径的影响
Tab.4 Effects of feeding broad bean on water-loss-rate, length of myofibril and muscular fiber diameter of grass carp muscle $n=27; \bar{x} \pm SD$

样品 Sample	物理指标 Physical index	配合饲料组 Formula feed group	浸泡蚕豆组 Immersed broad bean group	发芽蚕豆组 Sprouted broad bean group
背部肌肉 Dorsal muscle	失水率 /% Water-loss-rate	21.16±0.72 ^a	19.22±0.68 ^b	18.06±0.39 ^c
	肌原纤维耐折力 / μm myofibril length	268.05±1.76 ^a	269.93±2.89 ^a	283.64±2.19 ^b
	肌纤维直径 / μm fiber diameter	221.43±6.47 ^a	274.60±6.93 ^b	262.77±7.91 ^b
腹部肌肉 Belly muscle	失水率 /% Water-loss-rate	13.04±1.73 ^a	14.01±1.51 ^a	14.58±1.23 ^a
	肌原纤维耐折力 / μm Myofibril length	259.12±5.99 ^a	314.28±2.93 ^c	297.19±3.97 ^b
	肌纤维直径 / μm Muscular fiber diameter	213.21±11.58 ^a	246.65±7.59 ^b	249.47±4.99 ^b

注: 同行上标小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$).

Note: Figures in the same column with different letters indicate significant difference at ($P<0.05$).

2.4 投饲蚕豆对草鱼肌肉游离氨基酸含量的影响

投饲蚕豆对草鱼肌肉游离氨基酸含量的影响见表 5。与配合饲料组相比, 浸泡蚕豆组和发芽蚕豆组草鱼肌肉大部分氨基酸的含量均显著提高 ($P<0.05$), 其中以 Val、Met、Lys、His 的含量增加最为显著, 仅 Gly 的含量显著降低 ($P<0.05$)。摄食配合饲料的草鱼肌肉游离呈味氨基酸 (Gly、Glu、Ser、Asp), 游离必需氨基酸和总游离氨基酸的含量分别为 325.84 $\mu\text{g/g}$ 、276.33 $\mu\text{g/g}$ 和 706.67 $\mu\text{g/g}$; 摄食浸泡蚕豆的草鱼肌肉游离呈味氨基酸则降为 299.39 $\mu\text{g/g}$ ($P<0.05$), 游离必需氨基酸和总游离氨基酸增加到 706.67 $\mu\text{g/g}$ 和 2 856.29 $\mu\text{g/g}$ ($P<0.05$);

摄食发芽蚕豆组的草鱼肌肉总游离氨基酸和必需氨基酸与浸泡蚕豆组草鱼相比有了进一步提高 ($P<0.05$)。

2.5 投饲蚕豆对草鱼肌肉质构的影响

投饲蚕豆对草鱼肌肉质构的影响见表 6。由表 6 可见, 浸泡蚕豆组和发芽蚕豆组草鱼肌肉的 6 项质构指标 (硬度, 弹性, 咀嚼性, 黏性, 黏连性, 恢复力) 均比配合饲料组有了不同程度的提高。其中以硬度和黏性的改变最为明显, 分别比配合饲料组提高了 27.43%、77.76% 和 22.74%、63.38% ($P<0.05$), 发芽蚕豆组草鱼较浸泡蚕豆组草鱼具有更高的肌肉硬度和黏性 ($P<0.05$)。

表 5 投饲蚕豆对草鱼肌肉游离氨基酸的影响
Tab.5 Effects of feeding broad bean on free amino acids in flesh of grass carp

$n=27; \bar{x} \pm SD; \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$

氨基酸 Amino acids	配合饲料组 Formula feed group	浸泡蚕豆组 Immersed broad bean group	发芽蚕豆组 Sprouted broad bean group
Gly	199.06±16.11 ^a	57.74±5.84 ^b	46.16±3.86 ^b
Glu	87.15±17.23 ^a	146.31±8.12 ^b	150.28±3.73 ^b
Ser	48.28±3.17 ^a	78.27±2.22 ^b	84.37±9.44 ^b
Asp [*]	2.38±0.41 ^a	4.84±0.91 ^b	4.32±1.24 ^b
Val [*]	22.15±3.77 ^a	124.36±1.36 ^b	124.53±2.97 ^b
Phe [*]	8.99±1.08 ^a	17.34±1.27 ^b	22.36±2.16 ^b
Thr [*]	59.63±7.17 ^a	90.51±3.59 ^b	90.51±24.92 ^b
Ile [*]	17.99±3.28 ^b	40.93±2.23 ^b	64.50±4.14 ^c
Leu [*]	101.01±1.83 ^a	132.42±1.36 ^b	139.38±1.37 ^b
Tyr	33.89±3.07 ^a	46.86±0.46 ^b	57.56±2.02 ^c
Met [*]	21.89±1.53 ^a	82.20±1.01 ^b	102.91±2.52 ^c
Lys [*]	44.66±5.12 ^a	218.91±10.22 ^b	252.98±19.00 ^b
Arg	50.77±2.21 ^a	65.39±1.34 ^a	138.71±3.45 ^b
Ala	186.06±8.50 ^a	230.39±9.63 ^b	284.51±12.11 ^c
Pro	91.91±4.70 ^a	212.82±3.19 ^b	309.45±3.38 ^c
His	101.63±8.99 ^a	892.89±10.24 ^b	909.43±8.91 ^b
Cys	4.91±0.43 ^a	11.79±2.01 ^b	18.06±0.43 ^c
NH ₃	199.67±31.57 ^c	102.29±46.15 ^a	131.91±5.79 ^b
FDAA	328.424±13.95 ^a	299.39±9.33 ^b	291.26±13.77 ^b
FEAA	276.33±9.99 ^a	706.67±9.11 ^b	797.17±4.35 ^c
FNEAA	825.73±3.63 ^a	2149.61±14.85 ^b	2434.75±19.58 ^c
Total FAA	1102.06±7.61 ^a	2856.29±7.76 ^b	3231.93±18.73 ^c

注：同行上标小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。FDAA：游离呈味氨基酸，FEAA：游离必需氨基酸，FNEAA：游离非必需氨基酸，FAA：游离氨基酸。

Note: Figures in the same column with different letters indicate significant difference at ($P<0.05$). FDAA is the abbreviation of free delicious amino acid, FEAA: free essential amino acid, FNEAA: free nonessential amino acid, FAA: free amino acid.

表 6 投饲蚕豆对草鱼肌肉质构参数的影响
Tab.6 Effects of feeding broad bean on muscular texture parameters of grass carp flesh

$n=27; \bar{x} \pm SD$

肌肉质构参数 Muscle texture parameter	配合饲料组 Formula feed group	浸泡蚕豆组 Immersed broad bean group	发芽蚕豆组 Sprouted broad bean group
硬度 Hardness	318.03±6.99 ^a	405.25±32.51 ^b	565.41±56.18 ^c
弹性 Springiness	0.87±0.05 ^a	0.92±0.03 ^a	0.89±0.04 ^a
咀嚼性 Chewiness	241.09±9.84 ^a	253.56±32.89 ^a	386.88±25.42 ^b
黏性 Gumminess	262.56±19.91 ^a	322.26±40.10 ^b	428.97±25.99 ^c
黏连性 Cohesiveness	0.70±0.02 ^a	0.74±0.03 ^a	0.72±0.02 ^a
恢复力 Resilience	0.54±0.07 ^a	0.58±0.05 ^{ab}	0.66±0.08 ^b

注：同行上标小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Figures in the same column with different letters indicate significant difference at ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 投饲蚕豆对草鱼生长的影响

本实验中, 尽管各组草鱼摄食的干物质量基本相等, 但摄食浸泡蚕豆、发芽蚕豆的草鱼增重率仅相当配合饲料组草鱼的 66.2% 和 75.6%, 饲料系数显著提高, 而蛋白质效率显著下降。可见投饲蚕豆显著降低了草鱼生长性能, 这与本实验室在鲫^[12]、罗非鱼^[13]的研究一致, 其原因一方面可能在于蚕豆中氨基酸的不平衡性^[14], 淀粉含量过高而脂肪含量相对较低, 导致草鱼生长速度的降低; 另一方面可能是由于蚕豆中含有大量的抗营养因子, 如蛋白酶抑制剂 (PI)、葡糖甙脲 (Vincine) 和伴葡糖甙脲 (Covincine) 等, 这些抗营养因子降低了肠道对营养物质的吸收以及机体的利用, 使得草鱼生长性能下降。

投饲发芽蚕豆或浸泡蚕豆, 是生产中脆肉鲩养殖的 2 种方式。本次实验结果表明, 摄食发芽蚕豆的草鱼, 与摄食浸泡蚕豆的草鱼比较具有更高增重率和蛋白质效率。这可能是因为蚕豆在发芽过程中, 一部分抗营养因子被降解, 酶和游离氨基酸的含量增加^[15], 在鱼体摄食后增强了其消化功能。

3.2 投饲蚕豆对草鱼肌肉品质的影响

本实验中, 蚕豆饲喂组草鱼的肌肉粗脂肪含量有了显著的降低, 这与 Kuang 等^[3]实验结果类似, 而与 Xiao 等^[4]和 Lun^[5]的结果不一致。肌肉中脂肪含量的变化可能与脆化养殖时间的长短及养殖方式有关。如广东中山某些地区, 在脆肉鲩上市前饥饿一段时间, 进一步使肌肉口感脆滑, 但同时也降低了肌肉脂肪含量。

研究表明, 肌肉的品质与脂肪含量、肌纤维直径和胶原蛋白含量有一定的相关性^[16-17]。通常, 肌肉粗脂肪含量降低, 使得肌束之间摩擦力增大, 降低了肌肉嫩度^[18], 但同时也增加了肌肉的咀嚼性; 肌纤维直径的增加使得肌纤维束变粗, 肌肉硬度增大, 弹性增大^[19]; 肌肉中胶原蛋白含量的增加则使肌肉具有较高的机械强度^[20]。本实验中, 摄食浸泡蚕豆或发芽蚕豆饲喂组草鱼的肌肉粗脂肪含量显著降低, 肌纤维直径与胶原蛋白含量则显著提高。在质构指标上表现为肌肉硬度变大, 弹性升高和咀嚼力增强; 在肌肉物理性能上表现为肌原纤维耐折力增强; 肌肉的组织切片则显示, 饲喂蚕豆的草鱼肌间脂肪显著减少, 肌纤维排列更加紧密、规

则^[21] (另文发表)。经品尝, 饲喂蚕豆的草鱼肌肉较饲喂配合饲料者脆而有韧性。

从肌肉游离氨基酸含量的变化可以看出, 摄食蚕豆的草鱼肌肉游离氨基酸含量显著提高。这与 Chen 等^[6]、Tang 等^[22] 和 Zhao 等^[23] 测得的脆肉鲩肌肉、血清、肝脏游离氨基酸的变化趋势一致。肌肉中游离氨基酸含量的增加可能是由于蚕豆中的氨基酸不平衡性, 使得更多的氨基酸得不到合理的利用而游离在组织间; 也可能由于氨基酸的代谢途径发生了改变, 使得肌肉中游离氨基酸含量发生了变化。尽管总游离氨基酸增加了, 但呈味氨基酸的含量却显著降低, 这在一定程度上降低了脆肉鲩肌肉的风味。

蚕豆是改善草鱼的肌肉成分和品质的关键因子^[7], 生产实践和本实验室的研究均证实了这一点。本实验室已在脆化草鱼方面开展了 3 年的研究工作, 初步揭示了肉质改变的生化基础和组织学基础 (另文发表), 但是, 究竟是蚕豆中的何种成分使之发生了改变, 目前仍不得而知。此外, 有研究^[8]表明, 过量投饲蚕豆会对草鱼的机体产生毒害作用, 生产中过度脆化的草鱼往往会出现死亡, 即是一个证明。这些都有待于今后的进一步研究。

4 结论

本次实验表明, 投饲蚕豆可以改善草鱼肌肉品质, 但同时也降低了草鱼生长性能; 发芽蚕豆对草鱼生长和肌肉品质的影响优于浸泡蚕豆。

参考文献:

- [1] Zeng H W, Tan Zh Y. Preliminary report of aquaculture of crisped grass carp [J]. Landlocked Aquatic Products, 2000, 6: 21-21.
- [2] Tang W H, Long J J, Peng J Q, et al. The study of caged aquatic skills of crisped grass carp [J]. Landlocked Aquatic Products, 2001, 9: 31-32.
- [3] Kuang X M, Zhang H, Chen B. Comparison on the content of the nutrient composition in grass carp's muscle and the glucose-6-phosphoclehyolrogenase in its erythrocytes from the beginning to the end of making grass carp's meat crisp to the taste [J]. Journal of Hainan University: Natural Sciences, 2004, 22(3): 258-261.
- [4] Xiao D Y, Liu J B, Chen Q H. The analysis of nutritional value

- in crisped grass carp's muscle [J]. Fresh Water Aquaculture, 2004, 34(3): 28-30.
- [5] Lun F. Experiments on crisping grass carp and tilapia by broad bean [D]. Shanghai: Shanghai Fisheries University, 2006.
- [6] Chen Q H, Xiao T Y, Wu S S, et al. Preliminary analysis on free amino acids of crisped grass carp [J]. Reservoir Fisheries, 2004, 24(6): 8-10.
- [7] Tan Q K, Li H S. Effects of diets does and water quality on the transformation of common grass carp to crisped grass carp [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2 409-2 415.
- [8] Tan Q K, Li H S. Preliminary study on the ecology, physiology and pathology of crisped grass carp [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2 749-2 756.
- [9] ISO3496: 1994(E). Meat and meat products—Determination of hydroxylproline content[S]. 3-6.
- [10] Qin Y Q, Liu Ch C. Recovery of the collagen from squid skin [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2002, 11(2): 138-144.
- [11] Ren Z L, Li A J. Influence of dietary composition on the collagen content, the myofibrillae and the water loss in muscle tissue of prawn [J]. 中国水产科学, 1990, 5(2): 40-45.
- [12] Li B S, Leng X J, Li X Q, et al. Effect of feeding broad bean on the growth, flesh quality and protease activity of allogynogenetic crucian carp [J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 2007, 19(5): 631-635.
- [13] Lun F, Leng X J, Meng X L, et al. Effect of feeding broad bean on muscle quality of tilapia [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007, 16(1): 83-86.
- [14] Arola K. Chemistry and Biochemistry of beans [M]. Beijing: Science Press, 1987: 33-34.
- [15] Qiu R, Yang W Zh, Zhang Ch L, et al. Changes in endopeptidase activity, content of hordein and free amino acids in barley seeds during germination [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2007, 26(5): 48-53.
- [16] Johnston LA, Alderson R, Sandham C, et al. Muscle fiber density in relation to the color and textural of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. Aquaculture, 2000, 189: 335-349.
- [17] Johnston LA, Alderson R, Sandham C, et al. Patterns of muscle growth in early and late maturing populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. Aquaculture, 2000b, 189: 307-327.
- [18] Grigorakis K, Alexis M N. Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilthead sea bream *Sparus aurata*, L. fed different dietary regimes [J]. Aquaculture Nutrition 2005, 11: 341-344.
- [19] Periago M J, Ayala M D. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L [J]. Aquaculture, 2005, 249: 175-188.
- [20] Xu X Y. Extraction, denaturalization, cross-link and application of collagen [J]. Chinese Journal of Dialysis and Artificial Organs, 2004, 15(3): 38-46.
- [21] Li B S. Study on crisping grass carp and crucian's meat [D]. Shanghai: Shanghai Fisheries University, 2007.
- [22] Tang X B, Xiao D Y, et al. Analyze the blood routine and the Serum of amino acid dissociate [J]. Landlocked Aquatic Products, 2004, 29(5): 36-37.
- [23] Zhao Y R, Jin H, Wang H Q, et al. Analysis of the Distinction of free amino acids in hepatopancreas between common grass carp and crisped grass carp [J]. Journal of Hunan Agricultural University :Natural Sciences, 2004, 30(3): 195-298.

Effects of feeding broad bean on growth and flesh quality of grass carp *Ctenopharyngodon idellus*

LI Bao-shan^{1,2}, LENG Xiang-jun¹, LI Xiao-qin¹, LI Jia-le¹

(1. College of Aqua-life of Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China; 2. Shandong Marine Fisheries Research Institute, Yantai 264006, China)

Abstract: The flesh of grass carp could become crispy after the fish were fed with broad bean for about 3 months, and it is called crisped grass carp. This kind of grass carp culture has been conducted in south China for more than 30 years. But until now, why and how the flesh changed to be crispy is still unknown. Broad bean could be fed to grass carp with sprouted or immersed broad bean in practice, which means different effects on crisping flesh of grass carp. In the present study, grass carp with body weight of (530 ± 20) g was fed with formulate feed, immersed and sprouted broad bean for 77 days to investigate the effects of feeding broad bean on growth performance and flesh quality. Growth rates of the three groups were 83.08%, 55.01%, 62.08%, and FCR were 2.03, 2.96, 2.70, respectively. The growth rate decreased ($P < 0.05$) while FCR increased ($P < 0.05$) by feeding broad bean. But fish of sprouted broad bean group had better growth than that of immersed broad bean group. The lower growing performance of fish fed with broad bean was related to anti-nutrition factors and unbalanced amino acids in broad bean. Compared with grass carp fed with formulate feed, fishes fed with immersed or sprouted broad bean had lower fat content, water-loss rate ($P < 0.05$), but higher collagen content, fiber diameter of flesh ($P < 0.05$). The free essential amino acids (FEAA) and total free amino acids (TFAA) in muscle were significantly increased ($P < 0.05$), but free flavor amino acids decreased ($P < 0.01$) by feeding immersed or sprouted broad bean. The flesh hardness and gumminess were also increased ($P < 0.05$) by feeding immersed or sprouted broad bean, compared with that of fish fed with formulate feed. Fish of sprouted broad bean group had higher FEAA, TFAA, hardness and gumminess than those of immersed broad bean group. Results above showed that feeding broad bean could improve the flesh quality of grass carp, but the growth performance was reduced. By contrast, feeding sprouted broad bean had better effects on growth and crispy flesh than feeding immersed broad bean. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (6): 1 042–1 049]

Key words: grass carp; broad bean; growth performance; flesh quality

Corresponding author: LENG Xiang-jun. E-mail: xjleng@shfu.edu.cn