



上海海洋大学学报
Journal of Shanghai Ocean University
ISSN 1674-5566, CN 31-2024/S

《上海海洋大学学报》网络首发论文

题目：发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼生长和肉质影响的比较
作者：姜维波，李小勤，冀东，冷向军
收稿日期：2019-05-29
网络首发日期：2020-03-06
引用格式：姜维波，李小勤，冀东，冷向军. 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼生长和肉质影响的比较. 上海海洋大学学报.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.2024.S.20200305.1707.018.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI:10.12024/jsou.20190502687

发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼生长和肉质影响的比较

姜维波^{1,2,3}, 李小勤^{1,2,3}, 冀东^{1,2,3}, 冷向军^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306)

摘要：为研究发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼生长性能和肌肉品质的影响，分别以普通配合饲料、发芽蚕豆和发芽豌豆投喂体质量为 (1056.1 ± 30.3) g 的草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)，养殖周期 84d。结果显示：与投喂普通配合饲料的草鱼相比，发芽蚕豆与发芽豌豆均显著降低了草鱼的增重，增大了饲料系数 ($P < 0.05$)；同时，草鱼肌肉的失水率下降，硬度与咀嚼性显著提高，肌纤维密度增大、肌肉胶原蛋白含量增加，肌肉与皮肤中 I 型胶原蛋白基因 *COL1A1* 和 *COL1A2* mRNA 的表达量也显著提高 ($P < 0.05$)；其中，发芽蚕豆组草鱼的增重、肌肉硬度与咀嚼性、肌纤维密度以及肌肉胶原蛋白含量显著高于发芽豌豆组 ($P < 0.05$)。结果表明：投喂发芽蚕豆与发芽豌豆，虽然降低了草鱼的生长性能，但能够改善草鱼的肌肉品质，并且投喂发芽蚕豆的效果优于发芽豌豆。

关键词：草鱼；蚕豆；豌豆；生长；肌肉品质；胶原蛋白

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 是我国重要的淡水养殖鱼类，2017 年产量达到 534.6 万 t^[1]。在广东地区，有以投喂蚕豆饲养脆化草鱼的生产方式。研究表明，脆化草鱼的肌肉特性与普通草鱼相比发生极大改变，其中硬度、咀嚼性和弹性等显著增加^[2-3]，肌纤维直径减小、密度增大^[4]。近年来有报道指出，以浸泡豌豆饲喂草鱼，也可以在一定程度上改善草鱼的肌肉品质^[5]。摄食蚕豆^[6-7]和豌豆^[5]均使得草鱼肌肉中的胶原蛋白含量显著提高。

发芽处理能够有效地降低蚕豆中部分抗营养因子的含量，提高蛋白质和淀粉的消化率，增加一些微量营养元素的含量，从而对蚕豆的生物学效价和保健功能有一定的增强作用^[8-10]。本实验室前期的实验也表明，投喂发芽蚕豆较浸泡蚕豆可以提升草鱼的生长性能，改善肌肉品质^[11-12]。投喂发芽豌豆对草鱼的作用效果如何？发芽豌豆与发芽蚕豆相比，其作用效果又是如何？目前均未见相关报道。

为此，本实验以草鱼为研究对象，分别以普通配合饲料、发芽蚕豆和发芽豌豆投喂，探讨发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼生长性能、肌肉品质以及 I 型胶原蛋白基因 *COL1A1* 和 *COL1A2* mRNA 表达的影响，为草鱼肌肉品质的改善提供研究

收稿日期：2019-05-29

修回日期：2020-02-23

基金项目：国家自然科学基金 (31772825)

作者简介：姜维波 (1994-)，男，硕士研究生，研究方向为水产动物营养与饲料。

E-mail: will.jiang.1994@gmail.com

通信作者：冷向军，E-mail: xjleng@shou.edu.cn

基础。

1 材料与amp;方法

1.1 实验设计与实验饲料

本实验共设对照组（普通配合饲料）、发芽蚕豆组（germinated broad bean, GBB）和发芽豌豆组（germinated pea, GP）3 个处理组。蚕豆产地为湖北省荆州市，豌豆产地为江苏省宿迁市。

发芽蚕豆组：将干蚕豆清洗除杂，放入清水中浸泡 12h，然后在室温、避光的条件下均匀地铺开，定时喷洒少量清水使其保持湿润，直至其发芽。饲喂时，将发芽蚕豆切成小块后直接投喂。

发芽豌豆处理步骤同蚕豆，豌豆发芽后直接投喂。

对于基础配合饲料，原料经粉碎、过筛（40 目）、称重后，逐级混匀。用环模颗粒饲料机（HKJ-218，无锡市华明机器厂，中国）制成粒径 2.5mm 的沉性颗粒饲料（制粒温度 70℃~75℃），冷却风干后储存于阴凉干燥处。实验饲料的成分和营养组成见表 1，氨基酸组成见表 2。

表 1 实验饲料成分及营养组成（%，风干重）

Tab.1 Ingredients and proximate composition of experimental diets (%, air-dry basis)

原料 ^a Ingredient ^a	对照组 Control	发芽蚕豆组 GBB	发芽豌豆组 GP
豆粕 Soybean meal	10.00		
棉粕 Cottonseed meal	15.00		
菜粕 Rapeseed meal	15.30		
米糠 Rice bran	17.50		
次粉 Wheat middling	35.50		
维生素预混料 Vitamin premix ^b	0.50		
氯化胆碱 Choline chloride	0.50		
矿物元素预混料 Mineral premix ^c	0.25		
磷酸二氢钙 Monocalcium phosphate	1.20		
39%微囊赖氨酸 Microcapsuled L-Lysine	0.80		
50%微囊蛋氨酸 Microcapsuled DL-methionine	0.20		
豆油 Soybean oil	1.00		
蚕豆 Broad bean		100.00	
豌豆 Pea			100.00
总计 Total	100.00	100.00	100.00
常规成分 Proximate composition			
粗蛋白 Crude protein, C _p	27.08	26.93	21.23
粗脂肪 Ether extract, E _e	2.60	1.72	1.51
灰分 Ash	4.56	3.88	2.65
水分 Moisture	10.72	10.50	10.00

注：^a 饲料原料蛋白质含量为豆粕（47.35%）、棉粕（50.7%）、菜粕（38.72%）、米糠（15.28%）、次粉（16.56%）。^b 维生素预混料（mg 或 IU/kg 饲料）：V_A 10000 IU、V_{D3} 3000 IU、V_E 150 IU、

V_{K3} 12.17 mg、V_{B1} 20 mg、V_{B2} 20 mg、V_{B3} 100 mg、V_{B6} 22 mg、V_{B12} 0.15 mg、V_C 1000 mg、生物素 0.6 mg、叶酸 8 mg、肌醇 500 mg。^c 矿物质预混料 (mg/kg 饲料): 碘 1.5 mg、钴 0.6 mg、铜 3 mg、铁 63 mg、锌 89 mg、锰 11.45 mg、硒 0.24 mg、镁 180 mg

Notes: ^aThe protein contents of ingredients are as follows: soybean meal (47.35%), cottonseed meal (50.7%), rapeseed meal (38.72%), rice bran (15.28%), wheat middling (16.56%). ^bVitamin premix (mg or IU/kg diet): V_A 10000 IU, V_{D3} 3000 IU, V_E 150 IU, V_{K3} 12.17 mg, V_{B1} 20 mg, V_{B2} 20 mg, V_{B3} 100 mg, V_{B6} 22 mg, V_{B12} 0.15 mg, V_C 1000 mg, biotin 0.6 mg, folic acid 8 mg, inositol 500 mg. ^cMineral premix (mg/kg diet): I 1.5 mg, Co 0.6 mg, Cu 3 mg, Fe 63 mg, Zn 89 mg, Mn 11.45 mg, Se 0.24 mg, Mg 180 mg

表 2 实验饲料氨基酸组成 (%，干物质)

Tab.2 Amino acid composition of the experimental diets (%，dry matter)

氨基酸 Amino acid	对照组 Control	发芽蚕豆组 GBB	发芽豌豆组 GP
必需氨基酸 EAA			
苏氨酸 Thr	0.96	1.01	0.77
缬氨酸 Val	1.01	0.99	0.91
蛋氨酸 Met	0.52	0.10	0.07
异亮氨酸 Ile	1.17	1.22	0.98
亮氨酸 Leu	1.70	2.04	1.40
苯丙氨酸 Phe	1.61	1.34	1.23
组氨酸 His	1.00	1.10	0.62
赖氨酸 Lys	1.57	1.6	1.55
精氨酸 Arg	2.20	2.40	1.88
非必需氨基酸 NEAA			
天冬氨酸 Asp	2.71	2.65	2.61
丝氨酸 Ser	1.23	1.17	1.24
谷氨酸 Glu	5.00	5.20	3.63
甘氨酸 Gly	1.41	1.40	1.16
丙氨酸 Ala	1.31	1.34	1.01
半胱氨酸 Cys	0.30	0.31	0.23
酪氨酸 Tyr	0.83	0.90	0.78
脯氨酸 Pro	1.23	1.20	0.84
总氨基酸 TAA	25.76	25.97	20.90

1.2 实验用鱼与饲养管理

实验用鱼来源于上海市金山区水产良种场。草鱼运输至实验基地后，使用普通配合饲料暂养、驯化 7d。实验开始前，挑选 135 尾规格均一、体质健壮的草鱼 [体质量 (1056.1±30.3) g] 随机平均分配，安置于室内水泥养殖池 (5.0m×3.0m×1.2m) 的 9 个网箱 (3.0m×1.0m×1.2m) 中，每养殖池 3 个网箱，每网箱 15 尾鱼。

养殖实验期间每天于 08:00、12:00、16:30 各进行 1 次投喂，每日的投饲率为鱼体质量的 1.0%~1.5%，同一处理组的各网箱投饲水平基本控制一致。具体的投喂量会根据每天的天气、水温、实际摄食情况进行适当调整，保证投喂后

20min 网箱底部无残饵。养殖水体持续通气，水深保持 1.0m，每 4 天直接更换 1/2 池水，每 7 天进行 1 次吸污，并补足水位。实验期间，水温 25℃~30℃，溶氧 ≥ 5.0 mg/L，pH 7.5~8.0，氨氮 ≤ 0.2 mg/L，亚硝酸盐 ≤ 0.1 mg/L。养殖实验在上海海洋大学滨海养殖基地进行，共持续 84d。

1.3 样品采集

养殖实验结束前 24h 停止投喂，统计每网箱草鱼尾数，利用鱼用麻醉剂（MS-222，盛源水产用品有限公司，中国）使其安定，称量总重（精确到 0.1g）。每个网箱随机取 3 尾鱼，分别测量体重、体长；立即解剖并分别称量内脏重、肝脏重和肠脂重（分别精确到 0.1cm 与 0.01g）。

从鱼体左侧采集侧线下方的皮肤和腹部肌肉，并在储存于-80℃，用于测定肌肉常规成分、氨基酸以及胶原蛋白含量。取右侧侧线下方的腹肌（约 3 g/块，3 块）进行系水力的测定，并从同一侧采集肌肉样品（0.5cm $\times$ 0.5cm $\times$ 2.0cm）保存在 Bouin's 固定液中。

此外，每网箱随机另取 3 尾鱼（即每处理组共 9 尾），取其皮肤、肌肉和肝脏分装入 RNA free 离心管，立即置于液氮中冷冻。经 24h 转入-80℃冰箱长期保存，用于提取各组织总 RNA。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长指标与形体指标

$$R_S(\%) = 100 \times Q_f / Q_i \quad (1)$$

式中： R_S 为成活率； Q_f 为末期存活尾数； Q_i 为初始尾数。

$$W_G(\text{g}) = W_f - W_i \quad (2)$$

式中： W_G 为增重，g； W_f 为末期鱼体质量，g； W_i 为初始鱼体质量，g。

$$R_{FC} = W_{dm} / (W_f - W_i) \quad (3)$$

式中： R_{FC} 为饲料系数； W_{dm} 为摄食饲料干物质质量，g； W_f 为末期鱼体质量，g； W_i 为初始鱼体质量，g。

$$I_{HS}(\%) = 100 \times W_{hs} / W_f \quad (4)$$

式中： I_{HS} 为脏体指数； W_{hs} 为内脏总质量，g； W_f 为末期鱼体质量，g。

$$I_{VS}(\%) = 100 \times W_{vs} / W_f \quad (5)$$

式中： I_{VS} 为肝体指数； W_{vs} 为肝脏质量，g； W_f 为末期鱼体质量，g。

$$I_{PF}(\%) = 100 \times W_{pf} / W_f \quad (6)$$

式中： I_{PF} 为肠脂比； W_{pf} 为肠脂质量，g； W_f 为末期鱼体质量，g。

$$C_F(\text{g/cm}^3) = 100 \times W_f / L_f \quad (7)$$

式中： C_F 为肥满度； W_f 为末期鱼体质量，g； L_f 为末期鱼体体长度，cm。

1.4.2 常规成分

参考 AOAC 方法^[13]测定饲料与草鱼肌肉的水分、粗蛋白和灰分含量：水分含量通过 105℃常压烘干至恒重测定；粗蛋白含量采用凯氏定氮法，使用自动凯氏定氮仪（Kjeltec 2300，FOSS，瑞典）测定；灰分含量在 550℃马弗炉高温灼烧 6h 测得。

粗脂肪含量采用氯仿-甲醇浸提法测定。称取约样品 5g 于具塞三角瓶中，加 60mL 氯仿-甲醇混合液[$V(\text{氯仿}): V(\text{甲醇})=2: 1$]，60℃水浴 1h，用布氏漏

斗过滤，取滤液于另一具塞三角瓶，70℃水浴，至三角瓶内物料显浓稠态，加入 25mL 乙醚，15g 无水硫酸钠，加塞振荡 10min。移入具塞离心管中，以 3000 r/min 离心 5min。取澄清的醚层 10mL，蒸发去除乙醚后，于 105℃烘箱中 1h。粗脂肪含量计算如下：

$$E_e(\%) = 100 \times (W_{m2} - W_{m1}) \times 2.5 / W_m \quad (8)$$

式中： E_e 为粗脂肪质量分数； W_m 为样品质量，g； W_{m2} 为称量瓶与粗脂肪总质量，g； W_{m1} 为称量瓶质量，g；2.5 为系数(25mL 乙醚中取 10mL 进行干燥)。

1.4.3 氨基酸组成

饲料的氨基酸(水解)组成使用氨基酸自动分析仪(S-433D, Sykam, 德国)测定。样品处理方法为：将饲料样品冷冻干燥至恒重，称取 70mg 干物质，加入 10ml 6 mol/L 盐酸，在安瓿瓶中真空 110℃水解 24h。冷却后，取 0.5mL 水解液烘干，加 5mL 样品稀释液稀释，经 0.22μm 滤膜过滤注入进样瓶，上机检测。而对于蛋氨酸(甲硫氨酸, Met)的测定，需用过甲酸在 55℃水解 15min，水解产物注入钠交换柱分析。

1.4.4 总胶原蛋白含量

参照 AOAC 方法^[13]，先测定样品总羟脯氨酸(Hyp)含量，总胶原蛋白含量可用羟脯氨酸含量乘以换算系数 8 得到。组织中总羟脯氨酸含量的测定，采用碱水解法，按试剂盒(A030-2, 南京建成生物工程有限公司, 中国)说明操作。

1.4.5 肌肉系水力

蒸失水率测定方法：取约 3g 肌肉鲜样，纱布包裹防止松散，置于沸水锅上蒸 5min，准确计时。取出冷却，用吸水纸轻轻吸干表面水分，称重；

离心失水率测定方法：取约 3g 肌肉鲜样，放入 5mL 离心管，离心管底部预先垫入吸水纸，经 3000 r/min 离心 10min。取出后轻轻吸干表面水分，称重；

冷冻失水率测定方法：取约 3g 肌肉鲜样，分别装入密封袋，-20℃冻存 24h。取出肌肉，室温解冻 15min，轻轻吸干表面水分，称重。

据此分别计算肌肉的蒸、离心和冷冻失水率：

$$L_s(\%) = 100 \times (W_{s1} - W_{s2}) / W_{s1} \quad (9)$$

式中： L_s 为肌肉蒸失水率； W_{s1} 为肌肉蒸前质量，g； W_{s2} 为肌肉蒸后质量，g。

$$L_c(\%) = 100 \times (W_{c1} - W_{c2}) / W_{c1} \quad (10)$$

式中： L_c 为肌肉离心失水率； W_{c1} 为肌肉离心前质量，g； W_{c2} 为肌肉离心后质量，g。

$$L_f(\%) = 100 \times (W_{f1} - W_{f2}) / W_{f1} \quad (11)$$

式中： L_f 为肌肉冷冻失水率； W_{f1} 为肌肉冷冻前质量，g； W_{f2} 为肌肉冷冻后质量，g。

1.4.6 肌肉组织学

制作肌肉组织石蜡切片，将固定完成的样品用不同浓度的乙醇、乙醇-二甲苯混合液、二甲苯进行逐级脱水、透明，接着进行浸蜡、包埋、切片(横切)(7μm; RM2245, Leica, 德国)，并在染色后装片，染色剂选用苏木精-伊红。用装有成像系统的光学显微镜(Eclipse 80i, Nikon, 日本)观察并拍照，切片上每个样品在不同区域拍照 6 张(每处理组样本数目 $n \geq 36$)，结合相片视野面积计算出肌

纤维的密度和直径。

1.4.7 肌肉质构（TPA）

使用质构分析仪（Universal TA，上海腾跋仪器科技有限公司，中国）进行全质构分析。主要数据包括硬度、咀嚼性、黏聚性、弹性和回复性等。取草鱼侧线下方同一位置肌肉 3 块（长、宽、高均为 1.5cm 左右），立即进行检测（每处理组 9 尾鱼）。选用 25mm×25mm 柱形探头，接触感应力 5gf，测试速度 1 mm/s，目标模式为形变，型变量 30%，时间 2s。

1.4.8 胶原蛋白基因表达

使用 RNAiso Plus 试剂（TaKaRa，日本），分别提取肌肉、皮肤和肝脏的总 RNA。经 DNase 处理，用 PrimeScript RT 试剂（TaKaRa，日本）反转录合成 cDNA 单链。参考相关文献^[14,15]合成引物，以草鱼 18S rRNA 为内参基因（表 3）进行荧光定量。试剂盒选用 SYBR Green Premix Ex Taq（TaKaRa，日本），荧光定量仪使用 CFX96 Touch real-time PCR（Bio-rad，美国）。qRT-PCR 反应体系及扩增程序见表 4。最后需经过 95℃ 15s，后 60~95℃ 每 5s 升温 0.5℃，进行溶解曲线检测，每个样本重复 3 次。以对照组草鱼组织的表达量为校准，用 CT 法（ $2^{-\Delta\Delta Ct}$ ）计算组织中 I 型胶原蛋白基因 COL1A1 和 COL1A2 mRNA 的相对表达量。

表 3 荧光定量引物
Tab.3 Primers for qRT-PCR

引物 Primer	序列 Sequence (5'-3')
18S-F	GGAATGAGCGTATCCTAAACCC
18S-R	CTCCCGAGATCCAACTACAAGC
COL1A1-F	ACGCACACAAACAATCTCAAGT
COL1A1-R	GCATGGGGCAAGACAGTCA
COL1A2-F	ACTCCGATAGAGCCCAGCTT
COL1A2-R	ACATTGGTGGCGCAGATCA

表 4 qRT-PCR 反应体系及程序设定
Tab.4 qRT-PCR reaction solution and program setting

qRT-PCR 反应体系 qRT-PCR reaction solution	加样量 Sample addition / μ L	qRT-PCR 反应程序 qRT-PCR reaction program	
		步骤 Step	循环 Cycle
SYBR Premix Ex Taq	10	95℃， 1min	1
ddH ₂ O	8	95℃， 10s	
cDNA	1	60℃， 5s	40
Forward primer	0.5	72℃， 15s	
Reverse primer	0.5	72℃， 5min	1

1.5 数据分析

实验数据采用 SPSS 22.0 统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 结果以平均值 (mean) ± 标准差 (SD) 的形式表示。显著水平 P 设为 0.05, 若差异显著 ($P<0.05$), 则用 Duncan's 法进行多重比较检验。

2 结果

2.1 生长性能

养殖期间, 各组草鱼无死亡发生。与对照组相比, 发芽蚕豆、发芽豌豆组草鱼的增重和肝体指数显著降低, 饲料系数显著升高 ($P<0.05$)。此外, 发芽蚕豆组草鱼的增重高于发芽豌豆组, 而饲料系数和肠脂比显著低于发芽豌豆组 ($P<0.05$)。各处理组草鱼脏体指数和肥满度没有显著差异 ($P>0.05$)。见表 5。

表 5 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼生长性能的影响

Tab.5 Effects of germinated broad bean and germinated pea on growth performance of grass carp			
指标 Indicator	对照组 Control	发芽蚕豆组 GBB	发芽豌豆组 GP
初始均质量 Initial body weight/g	1056.7±11.6	1046.7±15.3	1046.67±5.8
末期均质量 Final body weight /g	1221.9±7.3 ^a	1173.1±6.8 ^b	1153.2±9.2 ^c
增重 Weight gain/g	165.2±9.3 ^a	126.5±8.8 ^b	106.5±11.2 ^c
饲料系数 Feed conversion ratio	4.98±0.22 ^c	6.81±0.36 ^b	7.82±0.65 ^a
成活率 Survival rate/%	100.00	100.00	100.00
肝体指数 Hepatosomatic index/%	1.29±0.04 ^a	1.12±0.11 ^b	1.10±0.01 ^b
脏体指数 Viseerosomatic index/%	4.76±0.49	4.91±0.51	4.85±0.17
肠脂比 Intraperitoneal fat ratio/%	1.37±0.11 ^a	0.65±0.07 ^b	1.37±0.14 ^a
肥满度 Condition Facto/(g/cm ³)r	1.66±0.05	1.52±0.10	1.55±0.14

注: 同行数据具不同小写字母, 表示有显著差异 ($P<0.05$)

Notes: In the same row, values with different letters mean significant difference ($P<0.05$)

2.2 肌肉组成

由表 6 可知, 投喂不同饲料 84d 对各组草鱼肌肉常规成分 (包括水分、粗蛋白、灰分和粗脂肪) 含量没有造成显著影响 ($P>0.05$)。

表 6 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼肌肉组成的影响 (% , 湿重)

Tab.6 Effects of germinated broad bean and germinated pea on flesh proximate composition of grass carp (% , wet weight)			
指标 Indicator	对照组 Control	发芽蚕豆组 GBB	发芽豌豆组 GP
水分 Moisture	78.91±1.09	79.03±0.71	77.71±0.59
粗蛋白 Crude protein	18.71±0.96	18.58±0.58	19.90±0.62
灰分 Ash	1.40±0.14	1.45±0.13	1.40±0.09
粗脂肪 Ether extract	1.00±0.09	0.97±0.12	0.94±0.06

注: 同行数据具不同小写字母, 表示有显著差异 ($P<0.05$)

Notes: In the same row, values with different letters mean significant difference ($P<0.05$)

2.3 肌肉系水力

与对照组相比,投喂发芽蚕豆和发芽豌豆均使得草鱼肌肉的蒸、离心和冷冻失水率显著降低 ($P<0.05$);发芽蚕豆和发芽豌豆组在失水率上无显著差异 ($P>0.05$),见表 7。

表 7 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼肌肉系水力的影响
Tab.7 Effects of germinated broad bean and germinated pea on flesh water holding capacity of grass carp %

指标 Indicator	对照组 Control	发芽蚕豆组 GBB	发芽豌豆组 GP
蒸失水率 Steaming loss	19.05±0.74 ^a	14.22±0.11 ^b	14.27±0.59 ^b
离心失水率 Centrifuge loss,	24.73±0.87 ^a	21.82±0.74 ^b	22.61±0.77 ^b
冷冻失水率 Thawing loss,	7.05±0.24 ^a	6.26±0.58 ^b	6.42±0.38 ^b

注:同行数据具不同小写字母,表示有显著差异 ($P<0.05$)
Notes: In the same row, values with different letters mean significant difference ($P<0.05$)

2.4 肌肉质构 (TPA)

由表 8 可知,发芽蚕豆和发芽豌豆组草鱼肌肉的硬度与咀嚼性均较对照组显著提高 ($P<0.05$),而发芽蚕豆组这两项指标显著高于发芽豌豆组 ($P<0.05$)。各处理组草鱼肌肉的黏聚性、弹性和回复性没有显著差异 ($P>0.05$)。

表 8 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼肌肉 TPA 的影响
Tab.8 Effects of germinated broad bean and germinated pea on flesh TPA of grass carp

指标 Indicator	对照组 Control	发芽蚕豆组 GBB	发芽豌豆组 GP
硬度 Hardness/gf	836.75±74.51 ^c	1350.75±112.63 ^a	1184.25±91.39 ^b
咀嚼性 Chewiness/gf	256.24±20.87 ^c	399.92±24.59 ^a	362.21±33.42 ^b
黏聚性 Cohesiveness	0.61±0.04	0.56±0.03	0.58±0.03
弹性 Elasticity	0.53±0.06	0.53±0.04	0.54±0.04
回复性 Resilience	0.61±0.04	0.57±0.04	0.63±0.04

注:同行数据具不同小写字母,表示有显著差异 ($P<0.05$)
Notes: In the same row, values with different letters mean significant difference ($P<0.05$)

2.5 肌纤维密度与直径

如图 1 和表 9 所示,投喂发芽蚕豆和发芽豌豆,使得草鱼肌纤维的密度较对照组显著提高,直径显著减小 ($P<0.05$)。其中,发芽蚕豆组草鱼肌纤维密度高于发芽豌豆组 ($P<0.05$)。

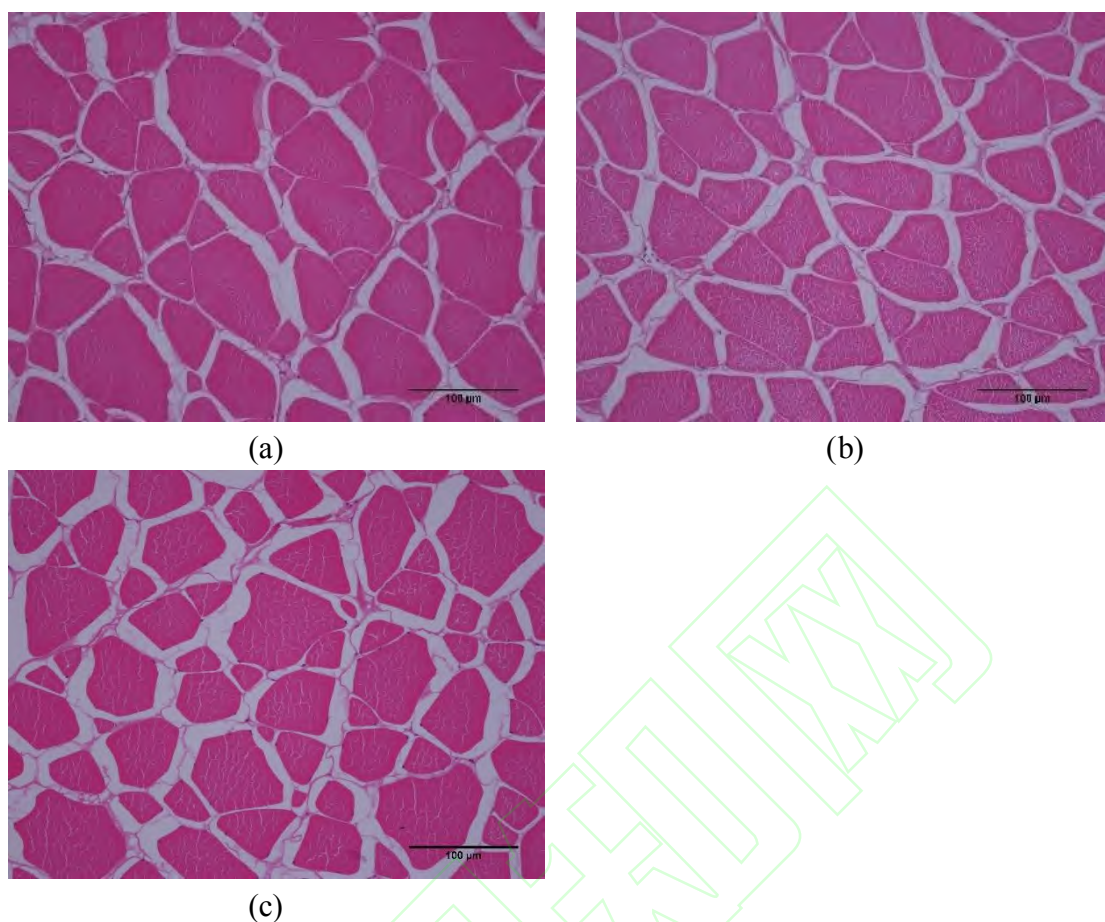


图 1 投喂普通配合饲料 (a), 发芽蚕豆 (b) 及发芽豌豆 (c) 84 天草鱼肌纤维组织结构
Fig.1 Muscular microstructure of grass carp fed Control(a), GBB(b) or GP(c) diet after 84 days

表 9 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼肌纤维密度和直径的影响

Tab.9 Effects of germinated broad bean and germinated pea on muscle fiber density & diameter of grass carp

组别 Group	肌纤维密度 Muscle fiber density/(根/mm ²)	肌纤维直径 Muscle fiber diameter/μm
对照组 Control	249.59±8.34 ^c	71.45±1.19 ^a
发芽蚕豆组 GBB	282.33±8.26 ^a	67.17±0.99 ^c
发芽豌豆组 GP	267.51±4.93 ^b	69.00±0.64 ^b

注：同列数据具不同小写字母，表示有显著差异($P<0.05$)

Notes: In the same column, values with different letters mean significant difference ($P<0.05$)

2.6 总胶原蛋白含量

与对照组相比,发芽蚕豆和发芽豌豆饲料组草鱼肌肉中的胶原蛋白含量显著增加 ($P<0.05$),二者之间没有显著差异;各组草鱼在皮肤和肝脏的胶原蛋白含量上没有表现出显著差异 ($P>0.05$),见表 10。

表 10 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼组织胶原蛋白含量的影响 (g/kg, 湿重)

Tab.10 Effects of germinated broad bean and germinated pea on collagen content in tissues of grass carp (g/kg, wet weight)

组别 Group	肌肉 Muscle	皮肤 Skin	肝脏 Liver
对照组 Control	2.65±0.10 ^b	33.90±1.26	0.76±0.07
发芽蚕豆组 GBB	3.40±0.14 ^a	34.92±1.42	0.74±0.05
发芽豌豆组 GP	3.26±0.09 ^a	33.26±1.57	0.76±0.06

注：同列数据具不同小写字母，表示有显著差异($P<0.05$)

Notes: In the same column, values with different letters mean significant difference ($P<0.05$)

2.7 COL1A1 和 COL1A2 mRNA 相对表达量

由表 11 可知，投喂发芽蚕豆和发芽豌豆显著提高了草鱼肌肉和皮肤中 I 型胶原蛋白基因 *COL1A1* 和 *COL1A2* mRNA 的相对表达量 ($P<0.05$)，且发芽蚕豆组两基因的相对表达量显著高于发芽豌豆组 ($P<0.05$)。各组草鱼肝脏中两种基因的表达量没有显著差异 ($P>0.05$)。

表 11 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼组织 *COL1A1* 和 *COL1A2* 基因表达的影响

Tab.11 Effects of germinated broad bean and germinated pea on *COL1A1* and *COL1A2* gene expression in tissues of grass carp

组别 Group	肌肉 Muscle		皮肤 Skin		肝脏 Liver	
	<i>COL1A1</i>	<i>COL1A2</i>	<i>COL1A1</i>	<i>COL1A2</i>	<i>COL1A1</i>	<i>COL1A2</i>
对照组 Control	0.99±0.05 ^c	0.98±0.05 ^c	1.01±0.05 ^b	0.99±0.08 ^b	1.01±0.07	1.03±0.07
发芽蚕豆组 GBB	1.92±0.16 ^a	1.67±0.10 ^a	1.17±0.09 ^a	1.86±0.16 ^a	1.05±0.10	0.99±0.09
发芽豌豆组 GP	1.66±0.12 ^b	1.48±0.08 ^b	1.13±0.05 ^a	1.65±0.08 ^a	0.98±0.09	1.00±0.08

注：同列数据具不同小写字母，表示有显著差异($P<0.05$)

Notes: In the same column, values with different letters mean significant difference ($P<0.05$)

3 讨论

3.1 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼生长性能的影响

本实验中，尽管发芽蚕豆和普通配合饲料的常规成分相差不大，但饲喂发芽蚕豆草鱼的生长性能较对照组显著降低，这与前人的报道^[6,11-12]一致。其原因主要是蚕豆的氨基酸平衡较差^[7,16]，蛋氨酸的含量很低，碳水化合物含量高，而脂肪含量比较低^[17]，无法满足草鱼的营养需求；另一方面，蚕豆中含有单宁、植酸、血细胞凝集素和胰蛋白酶抑制剂等抗营养因子^[18]，它们降低了鱼体内消化酶的活性^[6,11-12]，对营养物质的消化和吸收产生负面影响。此外，蚕豆还诱导了草鱼肠道炎症的发生^[19]。

与蚕豆一样，豌豆中也存在着这些抗营养因子，从而降低了豌豆的生物利用率^[20]；此外，发芽豌豆的粗蛋白含量为 21.23%，脂肪含量为 1.51%（表 1），蛋氨酸含量低于发芽蚕豆（表 2），从这点来看，发芽豌豆的营养价值不及发芽蚕豆。所以，发芽豌豆组草鱼的生长性能比发芽蚕豆组低。秦志清^[5]比较了浸泡蚕豆和浸泡豌豆对草鱼的作用效果，也发现浸泡豌豆组草鱼的增重和饲料利用低于浸泡蚕豆组。

本试验所用的草鱼初始体质量为（1056.1±30.3）g，各组草鱼的增重较慢，

其原因可能是因为室内水泥池和网箱的空间有限,而大规格草鱼对声音与光线敏感,日常管理中的吸污、换水等工作对其产生了一定的应激。今后应在大水体中开展大规格草鱼的养殖试验,以获得更好的生长效果。

3.2 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼肌肉品质的影响

通常来说,肌肉中较低的粗脂肪含量,会使得肌束间存在较大的摩擦力,肌肉的剪切力就会较高,意味着较高的咀嚼性^[21]。相比于普通草鱼,投喂浸泡蚕豆与发芽蚕豆都显著降低了草鱼肌肉中的粗脂肪含量^[11-12];而肖调义等^[22]和伦峰等^[23]却发现,脆化草鱼肌肉的粗脂肪含量高于普通草鱼。有研究表明,以蚕豆投喂草鱼,草鱼肌肉中的脂肪含量会先有所降低,之后则随饲喂时间的延长而不断上升,最终高于摄食配合饲料的草鱼^[24]。可见,草鱼肌肉中的脂肪含量与投喂的不同阶段相关。本次实验中,各组草鱼之间肌肉常规成分含量没有显著的差异。脂肪含量可能并不是构成脆化草鱼肌肉独特性质的关键因子。

系水力是衡量肌肉品质的主要指标^[25],影响着肌肉和肉产品的定量与定性^[26],较低的失水率意味着在贮存过程中营养与风味能更好地得到保留。肉制品的组织结构特征主要包括硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性和回复性^[27],其中对于鱼类肌肉来说最重要的评价指标是硬度^[3]。本次试验中,投喂发芽蚕豆和发芽豌豆均显著增加了肌肉的硬度和咀嚼性,这在感官品尝中也得到了证实。

研究表明,商品规格脆化草鱼较普通草鱼的肌纤维直径减小、密度增加,排列更加紧密^[2,28-29]。本试验也发现,发芽蚕豆和发芽豌豆的投喂能够使草鱼的肌纤维变细,密度增大;而肌肉的硬度与咀嚼性与肌纤维密度正相关^[30],在一定范围内,肌纤维密度越高,肌肉硬度就越大^[31]。此外,随着肌纤维直径减小和密度增大,肌纤维排列更为紧密,肌肉的系水能力会相应增强^[32]。

肌肉品质与肌肉胶原蛋白含量存在一定的关联^[33],而胶原蛋白与肌肉组织结构、柔韧性和质地紧密联系^[34],在很大程度上能够影响肌肉的持水能力和咀嚼性。研究发现,胶原蛋白含量的增加会使肌肉具有更高的机械强度^[35]。同时,胶原蛋白可以在肌纤维之间和肌束的周围形成致密的膜鞘结构,在一定程度上减少了肌肉水分的蒸发和汁液的外渗损失,从而降低肌肉的失水率^[23]。

本次实验中,与投喂配合饲料的草鱼相比,投喂发芽蚕豆和发芽豌豆的草鱼表现出具有更高的胶原蛋白含量,肌纤维直径变细、密度增加,肌肉失水率降低,硬度和咀嚼性显著增加,这也表明了各肉质指标之间是密切联系的。

3.3 发芽蚕豆与发芽豌豆对草鱼 I 型胶原蛋白基因表达的影响

胶原蛋白家族至少含有 19 种被正式定义为胶原蛋白的蛋白质^[36],存在于鲤(*Cyprinus carpio*)、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)、西伯利亚鲟(*Acipenser baeri Brandt*)和斑点猫鲨(*Scyliorhinus canicula*)肌肉结缔组织中的主要形式是 I 型(Collagen I)^[37-38]。I 型胶原蛋白是脊椎动物机体中含量最为丰富的胶原蛋白和细胞外基质的主要组分,具有调节组织分化和肌原纤维形成的作用^[38-39]。它的肽链包含两条 $\alpha 1$ 和一条 $\alpha 2$ 链,分别由 *COL1A1* 和 *COL1A2* 基因编码^[40]。草鱼的 *COL1A1* 和 *COL1A2* 蛋白含有一个或多个具有三重螺旋构象的结构域^[14-15],这种重三螺旋可以聚集形成细胞外基质的结构,从而增强胶原蛋白的机械强度^[41-42]。此外,草鱼的 *COL1A1* 和 *COL1A2* 蛋白具有高度的亲水性^[14-15],这意味着可以促进与其他物质结合的能力,从而增强组织的功能、弹性以及系水力。LAPIÈRE^[43]对 I 型胶原蛋白的研究也得到了类似结果。

YU 等^[15]发现,脆化草鱼的 I 型胶原蛋白基因 *COL1A1* 和 *COL1A2* mRNA 相对表达量和蛋白表达量均显著高于普通草鱼。本研究中,投喂发芽蚕豆和发芽豌豆均对草鱼肌肉和皮肤中 *COL1A1* 和 *COL1A2* mRNA 的相对表达量都有显著的促进作用,而这两种基因在肝脏中的表达则没有显著的变化(表 11),有可能蚕豆和豌豆中的活性因子并不作用于肝脏,也有可能养殖的时间不够长,对肝脏的影响效应还没有得到体现。机体中胶原蛋白分子间存在紧密的交联结构,随着生物体不断地生长,这一结构会愈发稳定。组织中胶原蛋白的含量却并不一定表现出显著的增加^[44]。此外,胶原蛋白的类型繁多,其生成受到多种因素的调控,这两个基因 mRNA 表达量的上调只能表现分子转录水平的变化情况,不一定能和总胶原蛋白含量的变化联系起来。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.
- [2] LIN W L, ZENG Q X, ZHU Z W. Different changes in mastication between crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) after heating: the relationship between texture and ultrastructure in muscle tissue[J]. Food Research International, 2009, 42(2): 271-278.
- [3] LIN W L, ZENG Q X, ZHU Z W, et al. Relation between protein characteristics and TPA texture characteristics of crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Journal of Texture Studies, 2012, 43(1): 1-11.
- [4] 林婉玲, 关熔, 曾庆孝, 等. 影响脆肉鲩鱼背肌质构特性的因素[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2009, 37(4): 134-137.
LIN W L, GUAN R, ZENG Q X, et al. Factors affecting textural characteristics of dorsal muscle of crisp grass carp[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 37(4): 134-137.
- [5] 秦志清. 不同饲料原料对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 福建水产, 2010, (1): 81-85.
QIN Z Q. Effects of feeding different raw materials on growth and flesh quality of grass carp *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2010, (1): 81-85.
- [6] 郑小淼, 李小勤, 魏静, 等. 蚕豆、大巢菜籽及苦瓜籽饲料对草鱼生长、肌肉成分、组织生化指标和消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2016, 23(2): 370-381.
ZHENG X M, LI X Q, WEI J, et al. Effects of broad bean, common vetch seed and bitter melon seed diets on the growth, flesh composition, tissue indices and digestive enzymes of grass carp[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(2): 370-381.

- [7] 刘邦辉, 王广军, 郁二蒙, 等. 投喂蚕豆和普通配合饲料草鱼肌肉营养成分比较分析及营养评价[J]. 南方水产科学, 2011, 7(6): 58-65.
- LIU B H, WANG G J, YU E M, et al. Comparison and evaluation of nutrition composition in muscle of grass carp *Ctenopharyngodon idellus* fed with broad bean and common compound feed[J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(6): 58-65.
- [8] VIDAL-VALVERDE C, FRIAS J, SOTOMAYOR C, et al. Nutrients and antinutritional factors in faba beans as affected by processing[J]. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A, 1998, 207(2): 140-145.
- [9] 吴海虹, 宋江峰, 李大婧, 等. 发芽处理对蚕豆主要营养成分与抗营养因子的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 110-113.
- WU H H, SONG J F, LI D J, et al. Effect of germination on major nutrients and anti-nutrients in faba bean (*Vicia faba* L.)[J]. Food Science, 2012, 33(9): 110-113.
- [10] 王婷婷, 刘嘉坤, 李岩. 发芽处理对蚕豆主要成分和 γ -氨基丁酸的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 6-9.
- WANG T T, LIU J K, LI Y. Effects of germination on major components and GABA in broad bean[J]. Food Research and Development, 2017, 38(1): 6-9.
- [11] 李宝山, 冷向军, 李小勤, 等. 投饲蚕豆对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(6): 1042-1049.
- LI B S, LENG X J, LI X Q, et al. Effects of feeding broad bean on growth and flesh quality of grass carp *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(6): 1042-1049.
- [12] 李宝山, 冷向军, 李小勤, 等. 投饲蚕豆对不同规格草鱼生长、肌肉成分和肠道蛋白酶活性的影响[J]. 上海水产大学学报, 2008, 17(3): 310-315.
- LI B S, LENG X J, LI X Q, et al. Effects of feeding broad bean on growth, muscle composition and intestine protease activity of different sizes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(3): 310-315.
- [13] Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of official analytical chemists international[M]. 17th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- [14] 刘邦辉, 郁二蒙, 王广军, 等. 草鱼 I 型胶原蛋白 $\alpha 1$ 基因 cDNA 全序列克隆、组织分布及其生物信息学分析[J]. 水产学报, 2012, 36(6): 849-858.
- LIU B H, YU E M, WANG G J, et al. Cloning, mRNA expression and bioinformatic analysis of full length type I collagen alpha 1 cDNA from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(6): 849-858.

- [15] YU E M, LIU B H, WANG G J, et al. Molecular cloning of type I collagen cDNA and nutritional regulation of type I collagen mRNA expression in grass carp[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2014, 98(4): 755-765.
- [16] 甘承露, 郭姗姗, 荣建华, 等. 脆肉鲩肌肉主要营养成分的分析[J]. 营养学报, 2010, 32(5): 513-515.
- GAN C L, GUO S S, RONG J H, et al. Analysis of the main nutritional components of crisp grass carp[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2010, 32(5): 513-515.
- [17] WU C F, LIN J J, BIAN X C, et al. Nutritional value and application of broad bean nutrition flour as a combination of staple food[J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(6): 1280-1285.
- [18] FRANCIS G, MAKAR H P S, BECKER K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish[J]. Aquaculture, 2001, 199(3/4): 197-227.
- [19] LI Z F, YU E M, WANG G J, et al. Broad bean (*Vicia faba* L.) induces intestinal inflammation in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) by increasing relative abundances of intestinal gram-negative and flagellated bacteria[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 1913.
- [20] 亓美玉, 孙芳, 姚玉昌, 等. 豌豆在畜禽饲料中的应用[J]. 中国饲料, 2014(1): 41-44.
- QI M Y, SUN F, YAO Y C, et al. The application of pea in livestock feed[J]. China Feed, 2014(1): 41-44.
- [21] 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(5): 341-344.
- [22] 肖调义, 刘建波, 陈清华, 等. 脆肉鲩肌肉营养特性分析[J]. 淡水渔业, 2004, 34(3): 28-30.
- XIAO T Y, LIU J B, CHEN Q H, et al. Analysis of nutritive composition in muscle of crisped grass carp[J]. Freshwater Fisheries, 2004, 34(3): 28-30.
- [23] 伦峰, 冷向军, 李小勤, 等. 投饲蚕豆对草鱼生长和肉质影响的初步研究[J]. 淡水渔业, 2008, 38(3): 73-76.
- LUN F, LENG X J, LI X Q, et al. Effect of feeding broad bean on growth and flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Freshwater Fisheries, 2008, 38(3): 73-76.
- [24] 李道友. 草鱼脆化养殖过程中的肌肉特性及脆性表征[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- LI D Y. Muscle properties of grass carp during crisping cultivation and characterization of crispness[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.

- [25] BRINKER A, REITER R. Fish meal replacement by plant protein substitution and guar gum addition in trout feed, Part I: effects on feed utilization and fish quality[J]. Aquaculture, 2011, 310(3/4): 350-360.
- [26] KAUFFMAN R G, EIKELENBOOM G, VAN DER WAL P G, et al. The use of filter paper to estimate drip loss of porcine musculature[J]. Meat Science, 1986, 18(3): 191-200.
- [27] BOURNE M C. Basic principles of food texture measurement[M]/FARIDI H, FAUBION J M. Dough Rheology and Baked Product Texture. Boston: Springer, 1990: 331-341.
- [28] 刘建波, 陈开健, 余曙明, 等. 脆肉鲩肌肉超微结构分析[J]. 水利渔业, 2005, 25(3): 65-67.
- LIU J B, CHEN K J, SHE S M, et al. Ultrastructural analysis on muscle of crisp grass carp[J]. Reservoir Fisheries, 2005, 25(3): 65-67.
- [29] 李忠铭, 冷向军, 李小勤, 等. 脆化草鱼生长性能、肌肉品质、血清生化指标和消化酶活性分析[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 186-189.
- LI Z M, LENG X J, LI X Q, et al. Analysis on growth performance, flesh quality, serum biochemical indices, and digestive enzyme activities of crisp grass carp[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(3): 186-189.
- [30] JOHNSTON I A, ALDERSON R, SANDHAM C, et al. Patterns of muscle growth in early and late maturing populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. Aquaculture, 2000, 189(3/4): 307-333.
- [31] HURLING R, RODELL J B, HUNT H D. Fiber diameter and fish texture[J]. Journal of Texture Studies, 1996, 27(6): 679-685.
- [32] 李玉娥. 影响肉品含水量的因素[J]. 肉类工业, 2004, (7): 6-8.
- LI Y E. Factors affecting the moisture content of meat[J]. Meat Industry, 2004, (7): 6-8.
- [33] SATO K, YOSHINAKA R, SATO M, et al. Collagen content in the muscle of fishes in association with their swimming movement and meat texture[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1986, 52(9): 1595-1600.
- [34] GORDON M K, HAHN R A. Collagens[J]. Cell and Tissue Research, 2010, 339(1): 247-257.
- [35] 常海军, 王强, 徐幸莲, 等. 肌内胶原蛋白与肉品质关系研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 286-290.
- CHANG H J, WANG Q, XU X L, et al. Research progress of relationship between intramuscular collagen and meat quality[J]. Food Science, 2011, 32(1): 286-290.
- [36] PROCKOP D J, KIVIRIKKO K I. Collagens: molecular biology, diseases, and potentials for therapy[J]. Annual Review of Biochemistry, 1995, 64: 403-434.
- [37] YATA M, YOSHIDA C, FUJISAWA S, et al. Identification and characterization of molecular

- species of collagen in fish skin[J]. *Journal of Food Science*, 2001, 66(2): 247-251.
- [38] SATO K, YOSHINAKA R, ITOH Y, et al. Molecular species of collagen in the intramuscular connective tissue of fish[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 1989, 92(1): 87-91.
- [39] KIMURA S, ZHU X P, MATSUI R, et al. Characterization of fish muscle type I collagen[J]. *Journal of Food Science*, 1988, 53(5): 1315-1318.
- [40] GELSE K, PÖSCHL E, AIGNER T. Collagens—structure, function, and biosynthesis[J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2003, 55(12): 1531-1546.
- [41] VAN DER REST M, GARRONE R, HERBAGE D. Collagen: a family of proteins with many facets[J]. *Advances in Molecular and Cell Biology*, 1993, 6: 1-67.
- [42] GROUNDS M D. Complexity of extracellular matrix and skeletal muscle regeneration[M]// SCHIAFFINO S, PARTRIDGE T. *Skeletal Muscle Repair and Regeneration*. Dordrecht: Springer, 2008: 269-302.
- [43] LAPIÈRE C M. The ageing dermis: the main cause for the appearance of ‘old’ skin[J]. *British Journal of Dermatology*, 1990, 122(s35): 5-11.
- [44] CARMICHAEL D J, LAWRIE R A. Bovine collagen. I. Changes in collagen solubility with animal age[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 1967, 2(4): 299-311.

Comparative study on effects of germinated broad bean and germinated pea on growth and flesh quality of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*

JIANG Weibo^{1,2,3}, LI Xiaoqin^{1,2,3}, JI Dong^{1,2,3}, LENG Xiangjun^{1,2,3}

(1. *National Demonstration Centre for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Centre for Research on Environmental Ecology and Fish Nutrition, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 3. *Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*)

Abstract: To investigate the effects of germinated broad bean and germinated pea on growth performance and flesh quality of grass carp, *Ctenopharyngodon idellus*, formula diet (Control), germinated broad bean (GBB), and germinated pea (GP) were fed to grass carp with an initial body weight of (1056.1±30.3) g for 84 days. The results showed that feeding grass carp with GBB or GP significantly reduced weight gain and increased feed conversion ratio ($P<0.05$). Besides, the flesh of fish fed GBB

or GP had lower water loss, higher hardness, chewiness, muscle fiber density and collagen content, and the relative expression of Collagen I genes (*COL1A1*, *COL1A2*) mRNA in muscle and skin was also up-regulated by dietary GBB or GP ($P<0.05$), when compared with the formula diet group. Between the two germinated seeds, the weight gain, muscle hardness, chewiness, muscle fiber density, and collagen content of the GBB group were significantly higher than those of the GP group ($P<0.05$). In conclusion, feeding grass carp with germinated broad bean or germinated pea improved the flesh quality, but decreased the growth, and feeding germinated broad bean showed better growth and flesh quality than feeding germinated pea.

Key words: grass carp; broad bean; pea; growth; flesh quality; collagen

