

# 草鱼饲喂蚕豆过程中肌肉质构特性和化学成分变化及其关联性研究

安玥琦, 徐文杰, 李道友, 熊善柏

(华中农业大学食品科学技术学院, 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 湖北武汉 430070)

**摘要:** 研究草鱼饲喂蚕豆过程中草鱼质构特性和化学成分的变化及关联性, 确定草鱼脆化开始和达到商品脆性的时间。随饲喂时间的延长, 草鱼肌肉的硬度、咀嚼性显著增大, 硬度在饲喂 80 天后, 基本与普通鲢鱼相同, 鱼肉开始脆化, 继续饲喂 20 天, 硬度达到商品鱼的脆化标准。咀嚼性和弹性在饲喂 80 天时基本稳定, 且熟制的背肌肌肉弹性随饲喂时间的延长显著增加, 回复性在饲喂 40 天达到最大值。草鱼背肌粗蛋白、基质蛋白、胶原蛋白、碱溶性蛋白含量随饲喂时间的延长显著增加, 均在饲喂 100 天时达到峰值。水分含量基本呈下降趋势, 在饲喂 20 天时最大。粗脂肪、可溶性固形物、水溶性蛋白和盐溶性蛋白在饲喂 40~60 天时达到最大值。草鱼腹肌化学成分的含量变化与背肌基本一致。经相关性分析, 草鱼肌肉质构特性的变化与粗蛋白、碱溶性蛋白、胶原蛋白和基质蛋白含量的变化显著相关。

**关键词:** 草鱼; 质构特性; 化学成分; 相关性分析;

文章编号: 1673-9078(2015)5-102-108

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.5.017

## Changes in and Correlations between Textural Properties and Chemical Components of Grass Carp during Broad Bean Feeding

AN Yue-qi, XU Wen-jie, LI Dao-you, XONG Shan-bai

(College of Food Science and Technology, National R&D Branch Center For Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan), Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Changes in textural properties and chemical components of grass carp during broad bean feeding and their correlations were investigated. The start and end times of grass carp crisping were determined. Experimental results indicated that the hardness and chewiness of grass carp increased significantly with the duration of feeding. After 80 days of feeding, hardness was equivalent to that of common carp and after 100 days of feeding, it was of crisping standard. Chewiness and springiness were stable after 80 days of feeding, wherein the springiness of the dorsal muscles increased significantly during feeding. The maximum level of resilience was at 40 days of feeding and subsequently, decreased significantly. Content of crude protein, matrix protein, collagen, and alkali-soluble protein of grass carp dorsal muscle increased significantly during feeding. Moisture content showed a decreasing trend with maximum level at 20 days of feeding. Content of crude fat, soluble solid, water-soluble protein, and salt-soluble protein of grass carp dorsal muscle were maximum at 40 to 60 days of feeding. Variations in chemical components of grass carp abdominal muscle were similar to that of the dorsal muscle. Correlational analysis showed that changes in the textural properties of grass carp correlated significantly with changes in crude protein, salt-soluble protein, matrix protein, and collagen content.

**Key words:** grass carp; textural properties; chemical components; correlational analysis;

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 是我国产量最高的淡水鱼。通过调整饲料成分和饲养方式可改变养

收稿日期: 2014-09-15

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项基金 (CARS-46-23); “十二五”

国家科技支撑计划 (2013BAD19B10)

作者简介: 安玥琦 (1991-), 女, 研究方向为水产品加工及贮藏工程

通讯作者: 熊善柏 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为水产品加工及贮藏工程

殖鱼类肌肉的肉质和风味。国内已有研究报道用蚕豆饲喂草鱼一定时间后, 其肉质口感紧硬爽脆, 硬度、咀嚼性显著增强, 味道更加鲜美<sup>[1]</sup>, 因而颇受消费者的青睐。随着水产品加工业的发展, 水产品的质地评价越来越受到人们的关注。目前多采用感官指标来评价鱼肉质地的好坏, 受主观因素影响较大, 评价结果常因人而异、难以形成客观的标准。质构分析方法主要是模拟人口腔的咀嚼运动, 对样品进行两次压缩,

根据样品压缩变形所需要的力、压缩后恢复的程度及压缩峰面积等计算质构各种指标的值<sup>[1]</sup>。质构分析在食品质地评价上不仅可以给出一个具体的量化数值,而且操作简单,受人为因素影响较小。目前,战旭梅等<sup>[2]</sup>、孙彩铃等<sup>[3]</sup>、赵改名等<sup>[4]</sup>、Kawai<sup>[5]</sup>、Bach<sup>[6]</sup>分别利用质构来分析大米、面条、火腿肠、饼干和洋姜的质地特征,并且取得了较好的效果。但质构分析在脆肉鲩方面的报道还较少,林婉玲等<sup>[1]</sup>研究了脆肉鲩的质构与感官评价之间的相关性,朱志伟等<sup>[7]</sup>研究了脆肉鲩鱼肉与普通鲩鱼的质构差异,目前这些研究仅限于对脆化成功的商品鱼上,而对草鱼在饲喂蚕豆过程中的质构特性变化和具体脆化时间的研究还未见报道。并且,在草鱼催化过程中,其鱼体化学成分的变化也是评价鱼体质量好坏的重要指标之一。本文以 1000 g/尾的草鱼为鱼种,研究饲喂蚕豆 100 天过程中草鱼肌肉质构特性与化学成分的变化,并建立起两者之间的关联性,以确定草鱼脆化开始的时间及达到商品脆性的时间,为催化过程中草鱼的品质评价奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

草鱼:从水产养殖基地采集 1000g/尾左右的草鱼为鱼种,以网箱形式投喂蚕豆饲养 100 天,并在饲喂蚕豆 0 天、20 天、40 天、60 天、80 天和 100 天时取样测定鱼肉的质构、化学成分。采集时间为 2010 年 8 月-10 月。

化学试剂:三羧甲基氨基甲烷、硫酸铜、硫酸钾、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠等,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;浓盐酸、浓硫酸,分析纯,信阳市化学试剂厂。

### 1.2 试验设备

高速冷冻离心机,Avanti J-26 型,美国贝克曼库尔特商贸有限公司;物性测试仪,TA-XT2i/25 型,英国 Stable Micro System 公司;分光光度计,722 型,上海第三分析仪器厂;分析天平,AC210S 型,德国赛多利斯公司;消化炉,KDN-08C,上海昕瑞仪器仪表有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 实验设计与饲料组成

本实验分为两个实验组,一组投喂配合饲料即配合饲料组作为对照,另一组饲喂蚕豆即蚕豆组。每组

60 条草鱼,分别置于两个网箱(5 m×4 m×2 m)中。对照组饲喂海大牌全价配合饲料;蚕豆投喂前用 1% 的食盐水浸泡一夜,然后用粉碎机搅碎。每天上午 8 点、下午 5 点定时定点喂食,投喂量为体重 3% 左右,并根据摄食情况作适当调整并对水质情况、死亡情况做详细记录。饲喂周期为 100 天,每隔 20 天取样一次,进行相关指标的测定与分析。

饲喂用蚕豆基本营养组成:水分 13.56%,碳水化合物 51.15%,脂肪 1.85%,粗蛋白 28.75%,灰分 4.69%;配合饲料基本营养组成:水分 9.63%,碳水化合物 41.12%,脂肪 5.24%,粗蛋白 32.65%,灰分 11.36%。

#### 1.3.2 质构的测定

将鱼宰杀后,取两片、采背部和腹部肌肉分别切成 1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm 的鱼肉块,然后蒸制 5 min。先用滤纸吸干鱼肉表面水分,再用物性测试仪测定生、熟草鱼肌肉的质构参数,结果为 6 次平行测定的平均值。测试条件:P/36R 探头;测试模式:TPA;测前速度:5 mm/s;测试速度:1 mm/s;测后速度:5 mm/s;压缩比:30%;探头两次测定间隔时间:5 s;数据采集速率:200 pps;触发类型:自动。

#### 1.3.3 水分的测定

草鱼鱼肉样品 2~5 g,按《GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法测定。取三次平行结果的平均值。

#### 1.3.4 粗蛋白的测定

草鱼鱼肉样品 2~5 g,按《GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定(F=6.25)。取三次平行结果的平均值。

#### 1.3.5 粗脂肪的测定

草鱼鱼肉样品 10 g 左右,按《GB 5009.6-2010 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法测定。取三次平行结果的平均值。

#### 1.3.6 可溶性固形物的测定

参考《食品分析》<sup>[8]</sup>上的方法。取三次平行结果的平均值。

#### 1.3.7 肌浆蛋白、肌原纤维蛋白、碱溶性蛋白、非蛋白氮、基质蛋白的测定

参考 Hashimoto<sup>[9]</sup>的方法,并略作调整。取 10 g 搅碎的鱼肉,加入 100 mL 离子浓度为 0.05 的磷酸盐缓冲液 A (15.6 mM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 3.5 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, pH 7.5), 6000 r/min 分散 3 min, 每分散 20 s, 停 10 s, 以防过热。然后 8000 r/min 离心 10 min, 分离上清液和残渣, 重复上述操作, 合并两次上清液。上清液中加入三氯乙酸至最终浓度为 5%, 离心收集沉淀为肌浆蛋白, 上清液为非蛋白氮。再用缓冲液 A 提取两次

后残渣中加入 100 mL 离子浓度为 0.5 的磷酸盐缓冲液 B(0.45 M KCl, 15.6 mM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 3.5 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 分散并离心 10 min, 分离上清液和残渣, 重复操作一次, 合并上清液即为肌原纤维蛋白溶液, 剩余残渣加入 0.1 M NaOH 搅拌过夜, 离心分离, 上清液为碱溶性蛋白, 残渣为基质蛋白。以上操作均在 4 °C 条件下进行, 所提蛋白均用凯氏定氮法测定蛋白质含量。

### 1.3.8 胶原蛋白的测定

参考曾勇庆等<sup>[10]</sup>方法并作适当调整。在 0.5 mL 稀释好的羟脯氨酸标准液中加入 1 mL 异丙醇, 搅拌; 加入上述 A 溶液 0.5 mL 搅拌 2 min; 在室温放置 4 min 后添加 B 溶液 6.5 mL 充分搅拌; 60 °C 条件下放置 25 min 后用流水冷却至室温, 在 558 nm 处测定吸光度(以蒸馏水为空白对照)。以羟脯氨酸质量浓度(C)为横坐标、吸光度(A)为纵坐标绘制标准曲线。称取 1 g 鱼肉干样于 50 mL 比色管中, 加入 10 mL 6 mol/L 的盐酸并密封, 置于 105 °C 烘箱中保温水解 24 h, 然后用 30% NaOH 调节 pH 至 7.0, 定容至 25 mL, 加入一定量活性炭吸附色素, 过滤, 取 1 mL 滤液于 558 nm 比色。按标准曲线的绘制中羟脯氨酸标准液处理并测定其吸光度, 从标准曲线上求出待测样品羟脯氨酸浓度, 以羟脯氨酸浓度表征胶原蛋白含量。按下式计算胶原蛋

白浓度, 取三次平行结果的平均值。

$$\text{胶原蛋白浓度 (\%)} = \frac{C \times V \times F}{m_0 \times 1000} \times 100$$

式中: C 为羟脯氨酸质量浓度, (μg/mL); m<sub>0</sub> 为样品质量 /mg; V 为 30 mL; F 为 11.1 换算系数。

### 1.3.9 水溶性蛋白、盐溶性蛋白的测定

各取 2 克鱼糜分别用高盐磷酸缓冲液(0.5 M KCl-0.01 M NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-0.03 M Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)抽提 3 小时和 1 小时, 用双缩脲法测定蛋白质含量, 低盐溶液抽提液为水溶性蛋白质, 高盐溶液蛋白质含量减去低盐溶液部分即为盐溶液蛋白质含量。

## 1.4 数据处理

应用 SAS 8.0 软件和 Excel 软件进行数据分析, 其中组内显著性分析采用 Duncan 检验, 相关性分析采用 Corr 过程, p<0.05 为有显著差异, p<0.01 为有极显著差异。相关性分析采用 Corr 过程, p>0.05 为差异不显著, p<0.05 为有显著差异。

## 2 结果与讨论

### 2.1 饲喂过程中草鱼质构特性的变化

表 1 饲喂蚕豆过程中草鱼生肌肉的质构特性 (n=6,  $\bar{X} \pm SD$ )

Table 1 Textural properties of raw grass carp during broad bean feeding

饲喂时间 /d	硬度/g		弹性		咀嚼性/g		回复性	
	背部	腹部	背部	腹部	背部	腹部	背部	腹部
0	263.67±18.71 <sup>E</sup>	137.95±6.19 <sup>D</sup>	0.70±0.04 <sup>AB</sup>	0.72±0.04 <sup>C</sup>	112.55±16.36 <sup>E</sup>	55.78±10.64 <sup>D</sup>	0.25±0.02 <sup>D</sup>	0.22±0.04 <sup>C</sup>
20	706.31±49.84 <sup>C</sup>	192.08±23.92 <sup>CD</sup>	0.64±0.03 <sup>B</sup>	0.73±0.09 <sup>C</sup>	200.79±41.15 <sup>D</sup>	82.85±22.63 <sup>CD</sup>	0.27±0.03 <sup>C</sup>	0.28±0.02 <sup>C</sup>
40	423.85±81.11 <sup>D</sup>	249.28±48.49 <sup>CD</sup>	0.67±0.05 <sup>B</sup>	0.89±0.04 <sup>A</sup>	270.14±27.70 <sup>CD</sup>	156.05±33.46 <sup>C</sup>	0.27±0.06 <sup>A</sup>	0.70±0.06 <sup>A</sup>
60	774.34±86.05 <sup>BC</sup>	296.59±3.58 <sup>C</sup>	0.68±0.01 <sup>AB</sup>	0.78±0.05 <sup>BC</sup>	329.37±29.82 <sup>BC</sup>	134.42±24.24 <sup>C</sup>	0.31±0.04 <sup>BC</sup>	0.30±0.07 <sup>C</sup>
80	833.66±42.76 <sup>B</sup>	816.82±36.35 <sup>B</sup>	0.73±0.02 <sup>A</sup>	0.87±0.01 <sup>AB</sup>	360.94±22.64 <sup>AB</sup>	539.07±43.07 <sup>A</sup>	0.33±0.03 <sup>BC</sup>	0.40±0.02 <sup>B</sup>
100	1508.40±109.11 <sup>A</sup>	1068.78±44.62 <sup>A</sup>	0.74±0.03 <sup>A</sup>	0.87±0.02 <sup>AB</sup>	422.41±78.22 <sup>A</sup>	417.18±72.7 <sup>B</sup>	0.38±0.04 <sup>B</sup>	0.45±0.03 <sup>B</sup>

注: 上标不同字母表示列组间有显著差异(p<0.05)。

表 2 饲喂蚕豆过程中草鱼熟肌肉的质构特性 (n=6,  $\bar{X} \pm SD$ )

Table 2 Textural properties of cooked grass carp during broad bean feeding

饲喂时间 /d	硬度/g		弹性		咀嚼性/g		回复性	
	背部	腹部	背部	腹部	背部	腹部	背部	腹部
0	120.36±10.90 <sup>E</sup>	222.49±16.80 <sup>D</sup>	0.64±0.09 <sup>C</sup>	0.70±0.07 <sup>B</sup>	36.07±3.22 <sup>E</sup>	65.29±5.58 <sup>C</sup>	0.19±0.05 <sup>D</sup>	0.24±0.02 <sup>C</sup>
20	434.80±37.24 <sup>CD</sup>	256.46±23.62 <sup>CD</sup>	0.70±0.02 <sup>BC</sup>	0.66±0.03 <sup>B</sup>	217.77±30.18 <sup>CD</sup>	114.16±19.01 <sup>C</sup>	0.32±0.04 <sup>C</sup>	0.28±0.02 <sup>C</sup>
40	396.68±52.13 <sup>D</sup>	510.84±51.86 <sup>B</sup>	0.71±0.08 <sup>BC</sup>	0.87±0.03 <sup>A</sup>	147.23±39.64 <sup>D</sup>	197.83±11.25 <sup>BC</sup>	0.46±0.11 <sup>A</sup>	0.71±0.08 <sup>A</sup>
60	542.49±20.81 <sup>C</sup>	426.99±28.31 <sup>BC</sup>	0.76±0.04 <sup>B</sup>	0.87±0.03 <sup>B</sup>	264.36±37.66 <sup>C</sup>	320.16±118.19 <sup>AB</sup>	0.38±0.02 <sup>C</sup>	0.30±0.02 <sup>C</sup>
80	740.71±50.63 <sup>B</sup>	598.34±82.71 <sup>B</sup>	0.87±0.02 <sup>A</sup>	0.88±0.03 <sup>A</sup>	432.28±61.54 <sup>B</sup>	396.70±78.47 <sup>A</sup>	0.43±0.02 <sup>B</sup>	0.42±0.05 <sup>B</sup>
100	1105.46±55.53 <sup>A</sup>	1021.53±149.56 <sup>A</sup>	0.89±0.05 <sup>A</sup>	0.89±0.04 <sup>A</sup>	509.16±43.24 <sup>A</sup>	426.82±108.07 <sup>A</sup>	0.44±0.004 <sup>B</sup>	0.47±0.05 <sup>B</sup>

注: 上标不同字母表示列组间有显著差异(p<0.05)。

以 1000 g/尾左右的草鱼为鱼种经投喂蚕豆饲养,

分别在饲喂时间为 0 d、20 d、40 d、60 d、80 d 和 100



d 时取样, 进行草鱼肌肉质构参数的测定。草鱼在饲喂蚕豆过程中, 生肌肉和熟肌肉的质构特性分别见表 1 和表 2。

饲喂蚕豆过程中, 草鱼生肌肉-熟肌肉的硬度、弹性、咀嚼性和回复性的 $\Delta$ 值见图 1。由图 1 可知, 随着饲喂蚕豆时间延长, 生背肌的硬度显著高于熟背肌的, 饲喂蚕豆前期草鱼生腹肌的硬度低于熟腹肌的而后后期则相反; 饲喂蚕豆、熟化的草鱼背肌的弹性明显高于生背肌的, 腹肌则在饲喂蚕豆 60 天后, 熟腹肌的弹性明显高于生腹肌的; 在草鱼饲喂蚕豆 60 天以前, 熟腹肌的咀嚼性高于生腹肌的; 饲喂蚕豆、熟化的草鱼背肌的回复性始终低于生背肌的, 且在饲喂蚕豆 40 天时回复性的 $\Delta$ 值最大, 而熟腹肌的回复性始终高于生腹肌的。加热可使饲喂蚕豆的草鱼肌肉的弹性和咀嚼性增高。

由表 1 和表 2 可知, 饲喂时间对草鱼肌肉硬度、咀嚼性、弹性和回复性均有显著性影响 ( $p < 0.05$ )。随着饲喂时间的延长, 草鱼背部和腹部肌肉的硬度、弹性、咀嚼性均呈显著增大趋势。草鱼背肌硬度在饲喂蚕豆 100 d 时达到最大, 咀嚼性和弹性在饲喂时间 60 d~100 d 保持稳定, 而回复性在饲喂时间为 40 d 时达到最大值, 继续饲喂蚕豆则草鱼肌肉的回复性会明显减小。由此可见, 草鱼肉质在蚕豆饲喂 40~60 d 后开始出现明显脆化, 饲喂蚕豆 100 d 后其背部肌肉硬度超过 1000 g, 即达到商品脆化程度<sup>[7]</sup>。

## 2.2 饲喂过程中草鱼肌肉化学成分含量的变化

草鱼的质构差异是由其组成成分及其含量、组织结构不同所致。本实验详细测定了草鱼在饲喂蚕豆过程中其背肌和腹肌的化学成分含量, 结果见表 3 和表 4。由表 3 和表 4 可知, 随饲喂蚕豆的时间延长, 背肌肌肉的含水量降低, 而粗蛋白、基质蛋白、胶原蛋白、碱溶性蛋白含量呈显著性增大趋势 ( $p < 0.05$ ), 在饲喂时间为 100 d 时达到最大值; 粗脂肪、可溶性固形物、水溶性蛋白和盐溶性蛋白等含量在饲喂 40~60 d 时达到最大。草鱼腹肌化学成分的含量变化与背肌基本一致。与饲喂蚕豆 80 d 的草鱼相比, 饲喂蚕豆 100 d 的草鱼肌肉的粗蛋白、碱溶性蛋白、胶原蛋白和基质蛋白含量显著增加, 而粗脂肪、可溶性固形物、肌浆蛋白、非蛋白氮含量显著降低, 水分、水溶性蛋白和盐溶性蛋白含量基本稳定。

## 2.3 饲喂过程中草鱼质构特性变化与各化学

### 成分的相关性分析

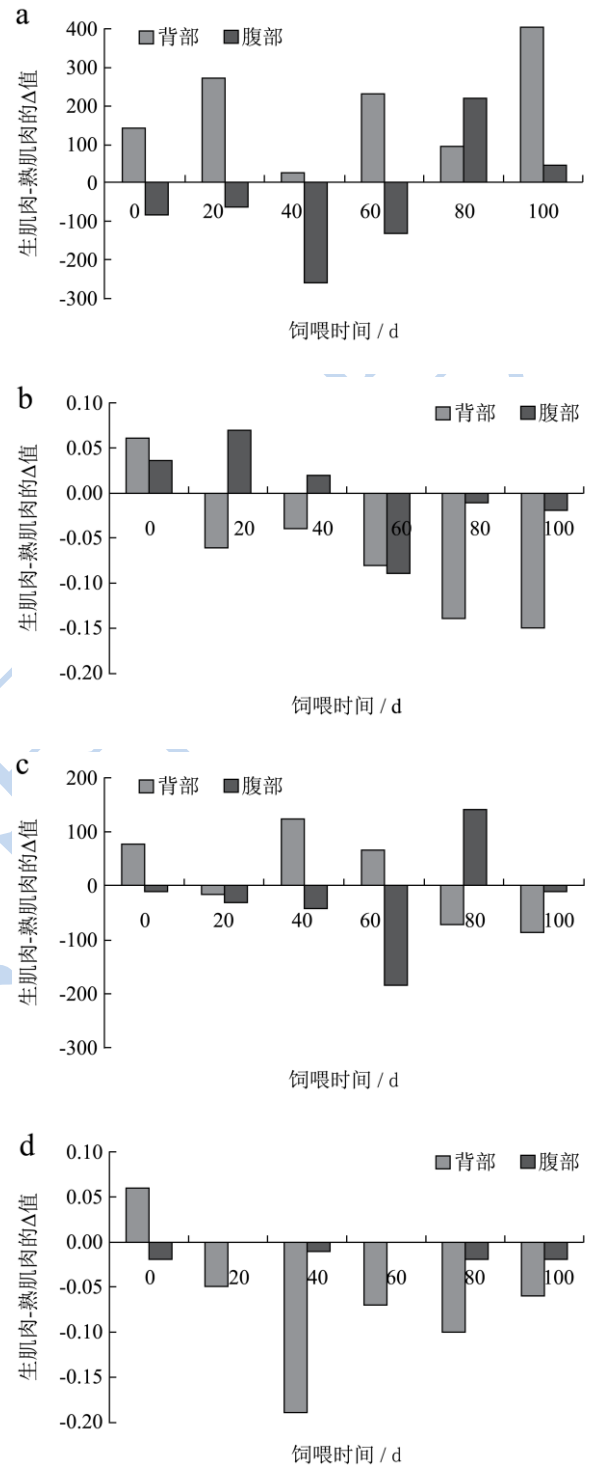


图 1 饲喂蚕豆过程中草鱼生肌肉-熟肌肉的质构特性的 $\Delta$ 值  
**Fig.1 Relative changes in textural properties of grass carp during broad bean feeding**

注: a: 饲喂过程中肌肉硬度的 $\Delta$ 值, b: 饲喂过程中肌肉弹性的 $\Delta$ 值, c: 饲喂过程中肌肉咀嚼性的 $\Delta$ 值, d: 饲喂过程中肌肉回复性的 $\Delta$ 值。

现有文献表明肌肉的质构特性与肌肉中化学成分

含量有关<sup>[11-12]</sup>。草鱼背肌和腹肌肌肉的质构参数与肌肉各化学成分含量的相关性分析结果见表5和表6。

表3 饲喂过程中草鱼背肌肌肉化学成分含量(n=3,  $\bar{X} \pm SD$ )

Table 3 Chemical components of grass carp back muscle during cultivation

饲喂时间/d	水分/(wb,%)	粗蛋白/(wb,%)	粗脂肪/(db,%)	可溶性固形物/(wb,%)	肌浆蛋白/(wb,%)	肌原纤维蛋白/(wb,%)
0	80.72±0.06 <sup>BC</sup>	15.06±0.13 <sup>F</sup>	4.61±0.58 <sup>C</sup>	5.38±0.05 <sup>B</sup>	3.32±0.06 <sup>C</sup>	10.53±0.11 <sup>A</sup>
20	82.51±0.30 <sup>A</sup>	16.27±0.19 <sup>E</sup>	3.20±0.05 <sup>D</sup>	4.42±0.75 <sup>C</sup>	2.46±0.02 <sup>D</sup>	10.79±0.13 <sup>A</sup>
40	81.30±0.35 <sup>AB</sup>	17.59±0.13 <sup>C</sup>	3.68±0.40 <sup>D</sup>	4.63±0.035 <sup>C</sup>	3.17±0.00 <sup>C</sup>	9.82±0.03 <sup>C</sup>
60	81.40±0.16 <sup>AB</sup>	17.30±0.12 <sup>D</sup>	11.02±0.48 <sup>A</sup>	6.29±0.15 <sup>A</sup>	3.35±0.01 <sup>B</sup>	9.95±0.11 <sup>C</sup>
80	79.66±0.18 <sup>C</sup>	19.07±0.17 <sup>B</sup>	7.27±0.32 <sup>B</sup>	5.83±0.01 <sup>AB</sup>	3.93±0.03 <sup>A</sup>	10.26±0.10 <sup>B</sup>
100	79.74±0.17 <sup>C</sup>	19.98±0.28 <sup>A</sup>	3.51±0.19 <sup>D</sup>	5.91±0.03 <sup>AB</sup>	3.38±0.06 <sup>B</sup>	10.55±0.13 <sup>A</sup>
饲喂时间/d	碱溶性蛋白/(wb,%)	非蛋白氮/(wb,%)	胶原蛋白/(db,%)	基质蛋白/(wb,%)	水溶性蛋白/(wb,%)	盐溶性蛋白/(wb,%)
0	0.84±0.02 <sup>D</sup>	2.01±0.02 <sup>A</sup>	3.15±0.05 <sup>D</sup>	2.23±0.12 <sup>F</sup>	4.73±0.07 <sup>B</sup>	10.14±0.11 <sup>C</sup>
20	1.13±0.03 <sup>C</sup>	1.89±0.03 <sup>B</sup>	3.13±0.07 <sup>D</sup>	2.42±0.07 <sup>E</sup>	4.88±0.06 <sup>B</sup>	10.87±0.32 <sup>B</sup>
40	1.18±0.07 <sup>B</sup>	1.63±0.02 <sup>C</sup>	3.31±0.04 <sup>C</sup>	2.58±0.11 <sup>D</sup>	5.07±0.18 <sup>A</sup>	11.72±0.57 <sup>A</sup>
60	1.19±0.01 <sup>B</sup>	1.85±0.02 <sup>B</sup>	3.63±0.02 <sup>B</sup>	2.70±0.00 <sup>C</sup>	3.89±0.04 <sup>D</sup>	11.74±0.68 <sup>A</sup>
80	1.21±0.01 <sup>B</sup>	2.06±0.03 <sup>A</sup>	3.89±0.01 <sup>B</sup>	2.89±0.09 <sup>B</sup>	4.50±0.03 <sup>C</sup>	10.06±0.14 <sup>C</sup>
100	1.37±0.00 <sup>A</sup>	1.91±0.08 <sup>B</sup>	4.51±0.02 <sup>A</sup>	3.07±0.01 <sup>A</sup>	4.39±0.06 <sup>C</sup>	10.94±0.27 <sup>B</sup>

注: 上标不同字母表示列组间有显著差异(p<0.05)。

表4 饲喂过程中草鱼腹肌肌肉化学成分含量(n=3,  $\bar{X} \pm SD$ )

Table 4 Chemical components of grass carp abdominal muscle during cultivation

饲喂时间/d	水分/(wb,%)	粗蛋白/(wb,%)	粗脂肪/(db,%)	可溶性固形物/(wb,%)	肌浆蛋白/(wb,%)	肌原纤维蛋白/(wb,%)
0	80.29±0.12 <sup>CD</sup>	16.56±0.17 <sup>E</sup>	6.01±0.66 <sup>C</sup>	5.47±0.05 <sup>B</sup>	3.25±0.00 <sup>D</sup>	10.48±0.12 <sup>A</sup>
20	81.76±0.40 <sup>A</sup>	15.87±0.11 <sup>F</sup>	2.80±0.40 <sup>D</sup>	3.92±0.11 <sup>C</sup>	2.59±0.05 <sup>F</sup>	10.51±0.14 <sup>A</sup>
40	80.92±0.17 <sup>B</sup>	17.16±0.23 <sup>E</sup>	5.58±0.56 <sup>C</sup>	4.94±0.058 <sup>C</sup>	3.11±0.00 <sup>E</sup>	10.68±0.34 <sup>C</sup>
60	80.56±0.32 <sup>BC</sup>	18.44±0.07 <sup>B</sup>	13.30±0.44 <sup>A</sup>	6.07±0.05 <sup>A</sup>	3.31±0.00 <sup>C</sup>	9.65±0.03 <sup>D</sup>
80	79.99±0.30 <sup>D</sup>	18.14±0.09 <sup>C</sup>	7.88±0.22 <sup>B</sup>	5.95±0.06 <sup>A</sup>	3.79±0.04 <sup>A</sup>	10.43±0.04 <sup>A</sup>
100	80.12±0.23 <sup>CD</sup>	19.50±0.22 <sup>A</sup>	3.47±0.48 <sup>D</sup>	5.34±0.14 <sup>B</sup>	3.39±0.05 <sup>B</sup>	9.99±0.07 <sup>B</sup>
饲喂时间/d	碱溶性蛋白/(wb,%)	非蛋白氮/(wb,%)	胶原蛋白/(db,%)	基质蛋白/(wb,%)	水溶性蛋白/(wb,%)	盐溶性蛋白/(wb,%)
0	1.15±0.00 <sup>C</sup>	2.01±0.02 <sup>A</sup>	3.15±0.05 <sup>D</sup>	2.23±0.12 <sup>F</sup>	4.73±0.07 <sup>B</sup>	10.14±0.11 <sup>C</sup>
20	1.20±0.05 <sup>B</sup>	1.89±0.03 <sup>B</sup>	3.13±0.07 <sup>D</sup>	2.42±0.07 <sup>E</sup>	4.88±0.06 <sup>B</sup>	10.87±0.32 <sup>B</sup>
40	1.27±0.11 <sup>B</sup>	1.63±0.02 <sup>C</sup>	3.31±0.04 <sup>C</sup>	2.58±0.11 <sup>D</sup>	5.07±0.18 <sup>A</sup>	11.72±0.57 <sup>A</sup>
60	0.90±0.00 <sup>D</sup>	1.85±0.02 <sup>B</sup>	3.63±0.02 <sup>B</sup>	2.70±0.00 <sup>C</sup>	3.89±0.04 <sup>D</sup>	11.74±0.68 <sup>A</sup>
80	0.79±0.00 <sup>E</sup>	2.06±0.03 <sup>A</sup>	3.89±0.01 <sup>B</sup>	2.89±0.09 <sup>B</sup>	4.50±0.03 <sup>C</sup>	10.06±0.14 <sup>C</sup>
100	1.39±0.01 <sup>A</sup>	1.91±0.08 <sup>B</sup>	4.51±0.02 <sup>A</sup>	3.07±0.01 <sup>A</sup>	4.39±0.06 <sup>C</sup>	10.94±0.27 <sup>B</sup>

注: 上标不同字母表示列组间有显著差异(p<0.05)。

由表5可知,草鱼背肌熟制前的硬度与粗蛋白、胶原蛋白、基质蛋白和水溶性蛋白含量呈显著性相关(p<0.05)。咀嚼性与粗蛋白、胶原蛋白和基质蛋白含量呈显著性正相关(p<0.05)。弹性与水分、肌浆蛋白和胶原蛋白含量呈显著性相关(p<0.05)。回复性与粗

蛋白、胶原蛋白和基质蛋白含量均呈极显著正相关(p<0.01),与碱溶性蛋白含量呈显著正相关(p<0.05)。熟制后的背肌肌肉质构特性与化学成分的相关性与熟制前基本吻合,且相关性更高。

表 5 草鱼背肌肌肉质构特性与化学成分相关性分析 (r/p)

Table 5 Correlation analysis between textural properties and chemical components of grass carp back muscle

指标	水分	粗蛋白	粗脂肪	可溶性固形物	肌浆蛋白	肌原纤维蛋白	碱溶性蛋白	非蛋白氮	胶原蛋白	基质蛋白	水溶性蛋白	盐溶性蛋白	
硬度	-0.463/ 0.355	0.832/ 0.040	-0.015/ 0.977	0.465/ 0.353	0.181/ 0.732	0.248/ 0.636	0.625/ 0.185	0.17/ 0.748	0.914/ 0.011	0.873/ 0.023	-0.843/ 0.035	0.053/ 0.920	
熟制前	咀嚼性	-0.421/ 0.406	0.872/ 0.024	0.259/ 0.620	0.535/ 0.275	0.302/ 0.561	0.045/ 0.933	0.494/ 0.319	0.178/ 0.736	0.856/ 0.030	0.924/ 0.009	-0.754/ 0.083	0.101/ 0.849
	弹性	-0.986/ 0.0003	0.658/ 0.155	0.0996/ 0.851	0.693/ 0.127	0.828/ 0.042	0.0206/ 0.989	0.312/ 0.547	0.513/ 0.298	0.81/ 0.051	0.67/ 0.145	-0.368/ 0.473	-0.455/ 0.364
	回复性	-0.67/ 0.145	0.92/ 0.009	0.158/ 0.766	0.642/ 0.169	0.473/ 0.343	0.037/ 0.945	0.833/ 0.040	0.223/ 0.672	0.986/ 0.0003	0.962/ 0.002	-0.552/ 0.256	0.003/ 0.995
硬度	-0.576/ 0.232	0.945/ 0.005	0.022/ 0.967	0.476/ 0.340	0.343/ 0.505	0.081/ 0.878	0.552/ 0.257	0.127/ 0.811	0.951/ 0.004	0.962/ 0.002	-0.773/ 0.071	0.049/ 0.928	
熟制后	咀嚼性	-0.596/ 0.212	0.929/ 0.007	0.123/ 0.817	0.511/ 0.300	0.42/ 0.407	0.105/ 0.843	0.382/ 0.455	0.275/ 0.598	0.913/ 0.002	0.952/ 0.003	-0.714/ 0.111	-0.082/ 0.878
	弹性	-0.702/ 0.117	0.959/ 0.002	0.178/ 0.736	0.574/ 0.234	0.572/ 0.237	-0.0271/ 0.959	0.834/ 0.039	0.266/ 0.610	0.931/ 0.007	0.975/ 0.001	-0.453/ 0.368	-0.097/ 0.855
	回复性	-0.294/ 0.571	0.849/ 0.032	0.086/ 0.872	0.142/ 0.789	0.293/ 0.573	-0.51/ 0.301	0.894/ 0.016	-0.443/ 0.379	0.59/ 0.218	0.803/ 0.055	-0.108/ 0.839	0.466/ 0.351

表 6 草鱼腹肌肌肉质构特性与化学成分相关性分析 (r/p)

Table 6 Correlation analysis between textural properties and chemical components of grass carp abdominal muscle

指标	水分	粗蛋白	粗脂肪	可溶性固形物	肌浆蛋白	肌原纤维蛋白	碱溶性蛋白	非蛋白氮	胶原蛋白	基质蛋白	水溶性蛋白	盐溶性蛋白	
硬度	-0.618/ 0.191	0.818/ 0.046	-0.153/ 0.772	0.344/ 0.504	0.627/ 0.183	-0.307/ 0.554	0.045/ 0.932	0.329/ 0.524	0.957/ 0.002	0.92/ 0.009	-0.327/ 0.527	-0.236/ 0.652	
熟制前	咀嚼性	-0.638/ 0.173	0.688/ 0.131	-0.025/ 0.963	0.43/ 0.395	0.757/ 0.081	-0.119/ 0.822	-0.258/ 0.621	-0.392/ 0.443	0.805/ 0.053	0.854/ 0.030	-0.243/ 0.642	-0.354/ 0.492
	弹性	-0.415/ 0.414	0.627/ 0.183	-0.025/ 0.962	0.283/ 0.587	0.54/ 0.269	-0.041/ 0.938	-0.068/ 0.898	-0.332/ 0.520	0.621/ 0.188	0.759/ 0.080	0.039/ 0.942	0.227/ 0.665
	回复性	-0.013/ 0.981	0.239/ 0.649	-0.175/ 0.740	-0.072/ 0.892	0.111/ 0.834	0.314/ 0.544	0.332/ 0.520	-0.729/ 0.100	0.202/ 0.701	0.371/ 0.469	0.398/ 0.435	0.484/ 0.330
硬度	-0.525/ 0.285	0.87/ 0.024	-0.165/ 0.754	0.275/ 0.597	0.493/ 0.320	-0.35/ 0.496	0.297/ 0.568	-0.028/ 0.958	0.951/ 0.004	0.921/ 0.009	-0.273/ 0.600	0.098/ 0.854	
熟制后	咀嚼性	-0.598/ 0.210	0.923/ 0.008	0.275/ 0.598	0.563/ 0.245	0.697/ 0.124	-0.557/ 0.251	-0.235/ 0.654	0.151/ 0.775	0.918/ 0.009	0.978/ 0.001	-0.598/ 0.210	0.081/ 0.879
	弹性	-0.601/ 0.203	0.856/ 0.029	0.417/ 0.411	0.648/ 0.164	0.709/ 0.115	-0.415/ 0.413	-0.178/ 0.735	-0.229/ 0.663	0.719/ 0.107	0.822/ 0.044	-0.438/ 0.385	0.351/ 0.495
	回复性	-0.057/ 0.915	0.256/ 0.624	-0.19/ 0.719	-0.05/ 0.925	0.148/ 0.779	0.325/ 0.529	0.335/ 0.516	-0.697/ 0.124	0.226/ 0.666	0.383/ 0.453	0.402/ 0.429	0.443/ 0.379

由表 6 可知,草鱼腹肌熟制前肌肉硬度与粗蛋白、胶原蛋白、基质蛋白含量呈显著性相关 (p<0.05)。咀嚼性与胶原蛋白和基质蛋白含量呈显著性正相关 (p<0.05)。弹性与基质蛋白含量呈显著性正相关 (p<0.05)。熟制后的背肌肌肉质构特性与化学成分的

相关性熟制前基本吻合,且咀嚼性、弹性均与粗蛋白含量显著性正相关。熟制后肌肉的质构特性与化学成分的相关性较熟制前相关性明显提高。由相关性分析可知,肌原纤维蛋白、基质蛋白和盐溶性蛋白含量的线性组合能较好的预测机械测定熟制肌肉的咀嚼

性。水分、肌浆蛋白、基质蛋白和盐溶性蛋白含量的多元线性组合能较好的预测肌肉弹性。肌原纤维蛋白、碱溶性蛋白、非蛋白氮和水溶性蛋白的线性组合能较好的预测肌肉回复性。

由此可以看出,草鱼肌肉的质构特性的变化与其肌肉中粗蛋白、胶原蛋白、基质蛋白和碱溶性蛋白含量的变化有很大关系。这几种蛋白质在肌肉结构中起着很大作用,粗蛋白构成了肌肉的骨架结构。肌基质蛋白是肌肉不溶性蛋白的主要成分,是由胶原蛋白、弹性蛋白和连接蛋白构成的结缔组织组成蛋白。基质蛋白含量高,则鱼肉的硬度高,这与 Lin 等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。并且,随饲喂时间的延长,基质蛋白含量呈增大趋势,这可能是造成草鱼肌肉质构变化的原因之一。胶原蛋白是一种重要的组织蛋白,在维持肌肉结构、柔韧性、强度、质地方面起着重要作用<sup>[14]</sup>,主要分布于形成肌原纤维被膜的结缔组织中,胶原蛋白含量越高,肌原纤维被膜韧性越强,胶原蛋白可在肌纤维间和肌束周围形成致密的膜鞘,使肌肉具有较高的硬度和咀嚼性。随着饲喂时间的延长,草鱼肌肉中胶原蛋白的含量显著增加,这也是导致草鱼肌肉硬度和咀嚼性显著增加的原因之一。

### 3 结论

3.1 草鱼在饲喂蚕豆过程中,肌肉的质构特性会发生明显变化。随饲喂时间的延长,草鱼肌肉的硬度、咀嚼性均呈显著增大趋势,饲喂后期硬度、咀嚼性显著高于饲喂前,硬度在饲喂 80 d 后,基本与普通鲢鱼相同,鱼肉开始发生脆化,继续饲喂 20 d,硬度超过 1000 g,达到了商品鱼的脆化标准。而咀嚼性在饲喂 80 d 时基本稳定,且熟制的背肌肌肉弹性显著性增加,回复性在饲喂时间为 40 d 时达到最大值,继续饲喂蚕豆,草鱼肌肉的回复性显著性减少。饲喂蚕豆 60 d 后,可发现其肉质开始变脆,质地紧实。生背肌的肌肉硬度、咀嚼性基本上比生腹肌的大,而熟化后的肌肉测定结果恰好相反。

3.2 草鱼背肌肌肉粗蛋白、基质蛋白、胶原蛋白、碱溶性蛋白含量随着饲喂时间的延长呈显著性增加,在饲喂时间为 100 d 时达到最大值。水分含量基本呈下降趋势,在饲喂 20 d 时达到最大值。粗脂肪、可溶性固形物、水溶性蛋白和盐溶性蛋白基本在饲喂 40~60 d 时达到最大值。草鱼腹肌化学成分的含量变化与背肌基本一致。脆化完成的草鱼(100 d)与脆化之前(80 d)的草鱼相比,粗蛋白、碱溶性蛋白、胶原蛋白和基质蛋白含量明显增加,而粗脂肪、可溶性固形物、肌浆蛋白、非蛋白氮含量明显降低,水分、水溶性蛋白

和盐溶性蛋白含量基本稳定。将草鱼肌肉的质构测定结果与化学成分做相关性分析,可知草鱼肌肉质构特性的变化与粗蛋白、碱溶性蛋白、胶原蛋白和基质蛋白含量的变化呈显著性相关。

### 参考文献

- [1] 林婉玲,杨贤庆,李来好,等.脆肉鲩质构与感官评价的相关性研究[J].现代食品科技,2013,29(1):1-8  
LIN Wan-ling, YANG Xian-qing, LI Lai-hao, et al. Research of relationship between texture and sensory evaluation of crisp grass carp [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(1): 1-8
- [2] 战旭梅,郑铁松,陶锦鸿.质构仪在大米品质评价中的应用研究[J].食品科学,2007,28(9):62-65  
ZHAN Xu-mei, ZHENG Tie-song, TAO Jin-hong. Study on application of texture analyzer in quality evaluation of rice [J]. Food Science, 2007, 28(9): 62-65
- [3] 孙彩铃,田纪春,张永祥.质构仪分析法在面条品质评价中的应用[J].实验技术与管理,2007,24(12):40-43  
SUN Cai-ling, TIAN Ji-chun, ZHANG Yong-xiang. Application of texture analyser in the evaluation of noodle quality [J]. Experimental Technology and Management, 2007, 24(12): 40-43
- [4] 赵改名,郝红涛,田玮,等.利用质构值对火腿肠进行分级的研究[J].食品科学,2013,34(7):28-33  
ZHAO Gai-ming, HAO Hong-tao, TIAN Wei, et al. Grade identification of sausages based on instrumental texture parameters [J]. Food Science, 2013, 34(7): 28-33
- [5] Kawai K, Matsusaki K, Hando K, et al. Temperature-dependent quality characteristics of pre-dehydrated cookies: Structure, browning, texture, in vitro starch digestibility, and the effect on blood glucose levels in mice [J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 223-228
- [6] Bach V, Jensen S, Kidmose U, et al. The effect of culinary preparation on carbohydrate composition, texture and sensory quality of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 54(1): 165-170
- [7] 朱志伟,李汴生,阮征,等.脆化脆肉鲩与普通鲩鱼肉理化特性比较研究[J].现代食品科技,2007,24(2):109-113  
ZHU Zhi-wei, LI Bian-sheng, RUAN Zheng, et al. Differences in the physicochemical characteristics between the muscles of *Ctenopharyngodon idellus* C. et V and *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 24(2): 109-113

- [8] 大连轻工业学院,华南理工大学等.食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,1995
- [9] Hashimoto K, Watabe S, Kono M, et al. Muscle protein composition of sardine and mackerel. *Bulletin of the Japanese society of scientific fisheries*, 1979, 45(11): 1435-1441
- [10] 曾勇庆,王慧.猪肉中羟脯氨酸的分光光度法测定[J].山东农业大学学报(自然科学版),2000,31(1):79-81  
ZENG Yong-qing, WANG Hui. The spectrophotometric determination of hydroxyproline in pig muscle [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2000, 31(1): 79-81
- [11] Ruiz-Carrascal J, Ventanas J, Cava R, et al. Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition [J]. *Food Research International*, 2000, 33(2): 91-95
- [12] Nielsen D, Hyldig G, Nielsen J, et al. Liquid holding capacity and instrumental and sensory texture properties of herring (*Clupea harengus* L.) related to biological and chemical parameters [J]. *Journal of Texture Studies*, 2005, 36(2): 119-138
- [13] 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
- [14] 李晓波.苏尼特羊骨骼肌总胶原蛋白含量的测定[J].肉类研究,2009,(10):55-57.  
LI Xiao-bo. Determination of total collagen in skeletal muscle of sunit mutton [J]. *MEAT RESEARCH*, 2009, (10): 55-57