

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2014.04.012

草鱼脆化过程中肌肉品质变化

伍芳芳^{1,2}, 林婉玲¹, 李来好, 杨贤庆¹, 郝淑贤¹, 杨少玲¹, 胡晓¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室, 国家水产品加工技术研发中心, 广东广州 510300; 2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 为了研究草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 脆化过程中肌肉品质变化对脆肉鲩 (*C. idellus* C. et V) 脆性形成规律的影响, 在草鱼脆化过程中定期采样, 比较研究了肌肉基本化学成分、质构特性、鱼肉蛋白质组成、肌肉氨基酸组成及营养价值评价等的变化规律。结果显示, 脆肉鲩的水分、粗脂肪质量分数均显著低于普通草鱼 ($P < 0.05$), 粗蛋白、粗灰分质量分数比普通草鱼高; 与普通草鱼相比, 脆化后肌肉的肌原纤维蛋白、肌浆蛋白和基质蛋白质量分数分别增加了 10.88%、15.41% 和 80.53%; 脆肉鲩的硬度、咀嚼性、弹性和粘性显著高于普通草鱼 ($P < 0.05$); 脆肉鲩肌肉的氨基酸总量 (TAA)、必需氨基酸 (EAA) 总量、鲜味氨基酸 (UAA) 总量最高分别为 $203.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $85.6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $79.1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 均显著高于普通草鱼 ($P < 0.05$)。研究表明在草鱼脆化过程中, 肌肉品质指标均有不同程度的变化, 且这些变化是导致脆肉鲩脆性改变的重要因素。

关键词: 脆肉鲩; 肌肉品质; 草鱼; 质构剖面分析; 蛋白质组成

中图分类号: TS 254.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2014)04-0070-08

Quality change of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) muscle during crisping process

WU Fangfang^{1,2}, LIN Wanling¹, LI Laihao¹, YANG Xianqing¹, HAO Shuxian¹, YANG Shaoling¹, HU Xiao¹

(1. Key Lab. of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture; National R&D Center for Aquatic Product Processing; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To study the influence of quality change of muscle of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) on brittleness mechanism of crisp grass carp (*C. idellus* C. et V) during crisping process, we acquired samples periodically and compared differences in general chemical components, TPA value, muscle protein components, amino acid components and nutritional evaluation. The results show that moisture and fat contents of crisp grass carp were significantly lower than those of grass carp ($P < 0.05$), while the contents of protein and ash in the former were higher than those in the latter. Besides, the contents of myofibrillar protein, sarcoplasmic protein and stromal protein of crisp grass carp increased by 10.88%, 15.41% and 80.53%, respectively, compared with those of grass carp. Hardness, chewiness, springiness and adhesiveness of crisp grass carp were significantly higher than those of grass carp ($P < 0.05$). Furthermore, the maximum contents of TAA, total EAA and total UAA of crisp grass carp were $203.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, $85.6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ and $79.1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively, which were significantly higher than those of grass carp ($P < 0.05$). The study indicates that the above indices of both crisp grass carp and grass carp experienced changes at different degrees during crisping process, which was important for affecting the changes of brittleness.

收稿日期: 2013-12-19; 修回日期: 2014-02-26

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2013ZD04); 农业部水产品加工重点实验室开放基金项目(nybjg201202); 国家科技支撑计划项目(2012BAD28B00)

作者简介: 伍芳芳(1989-), 女, 硕士研究生, 从事水产品加工研究。E-mail: shouffw2013@163.com

通信作者: 李来好(1963-), 男, 研究员, 博士, 从事水产品加工与质量安全研究。E-mail: laihaoli@163.com

Key words: crisp grass carp; muscle quality; grass carp; TPA; protein composition

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*), 隶属硬骨鱼纲、鲤形总目、鲤科、雅罗鱼亚科、草鱼属, 是中国特有的淡水饲养鱼类, 以其营养丰富、肉味鲜美等优点深受国内外消费者的喜爱。但是草鱼的肉质比较松软, 加热后更易煮烂。1973年中山市通过将草鱼脆化养殖, 即用普通饲料将普通草鱼养殖到一定质量后, 再以天然植物蚕豆为主的饲料喂养至120 d左右^[1], 即成为一种新兴的淡水养殖鱼, 取名“脆肉鲩”(*C. idellus* C. et V), 具有肉质紧硬、爽脆、久煮不烂等特点, 并且明显改善了草鱼的肌肉品质。鱼肉的基本营养成分、质构特性等是评价肌肉品质的重要指标。目前虽然有很多相关的研究报告, 但对这些重要的肌肉品质指标尚存在较大的争议。甘承露^[2]指出脆肉鲩的肌肉蛋白质、粗脂肪和灰分质量分数均比普通草鱼高, 而水分质量分数低于普通草鱼; 但也有研究者指出脆肉鲩肌肉的水分和粗蛋白质量分数与普通草鱼并无显著性差异^[3], 而粗脂肪质量分数显著下降^[4]。饲喂蚕豆后的草鱼肌肉口感发生变化, 其质构指标也相应地发生了变化。LIN等^[5]认为脆肉鲩的弹性、回复力显著高于普通草鱼; 而关磊等^[6]认为脆肉鲩的肌肉弹性和回复力均与普通草鱼无显著性差异。因此, 为了避免由于饲料投喂方式、投喂周期不同对结果造成的影响, 笔者对来自同一养殖场的草鱼在其脆化养殖过程进行采样, 测定不同脆化期草鱼的一般营养成分(水分、粗灰分、粗蛋白和粗脂肪)的质量分数、鱼肉氨基酸组成、质构特性及不同蛋白组分等的变化, 研究草鱼脆化过程中肌肉品质的变化规律, 并以此来探讨肌肉成分对脆肉鲩脆性形成规律的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

不同养殖期的脆肉鲩均来自于广东省中山市坦洲镇某养殖场, 2013年6月至11月共定期采样6次, 脆化时间间隔为20 d左右。活鱼充氧包装运回实验室, 清水室温暂养, 冰晕之后去头、去鱼鳞和去内脏, 用流动水清洗干净, 将鱼背两侧的肌肉切成肉片放入保鲜袋中, 然后置于冰鲜条件下供试验分析。

1.2 主要仪器及设备

QTS-25 质构仪(英国 CNS FARNELL 公司出品); Kjeltec™2300 蛋白自动分析仪、Soxtec™脂肪自动分析仪(丹麦 FOSS 公司出品); Alpha1-4 冷冻干燥机(德国 Christ 公司出品); 3-550A 高温马弗炉(美国 Ney VULCAN 公司出品); DKN612C 干燥箱(日本 YAMATO 公司出品); T50 均质机(德国 IKA 公司出品); 3K30 高速冷冻离心机(德国 SIGMA 公司出品)。

1.3 肌肉一般营养成分的测定

将鱼背部的肌肉搅碎并混合均匀, 备用。水分质量分数测定采用常压烘箱干燥法, 参照 GB 5009.3-1985; 蛋白质质量分数测定采用微量凯氏定氮法, 参照 GB 5009.5-1985; 脂肪质量分数测定采用索氏抽提法, 参照 GB 5009.6-1985; 灰分质量分数测定采用直接灰化法, 参照 GB 5009.4-1985。

1.4 质构特性的测定

采用英国产的 QTS-25 质构仪进行测定。测定时取鱼身背部的鱼片, 切成 2.0 cm × 2.0 cm × 1.5 cm 规格进行测定。测定条件为探头是直径 6 mm 的圆柱形不锈钢探头; 测试速率 30 mm·min⁻¹; 压缩距离为 4 mm; 测试模式为 TPA; 触发值 5 g; 循环 2 次, 间隔 0 s; 压缩比 50%; 触发类型为自动。所有样品平行测定 18 次。

1.5 肌肉氨基酸质量分数的测定

鱼肉经过前处理, 用 6 mol·L⁻¹ 盐酸于 110 °C 水解 24 h, 脱酸后用蒸馏水定容至 5 mL, 上 Hitachi835-50 氨基酸自动分析仪测定。

1.6 肌肉营养评价方法

根据 FAO/WHO (1973)^[8] 提出的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式分别按以下公式计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI):

$$AAS = \frac{aa}{AA(FAO/WHO)} \quad CS = \frac{aa}{AA(egg)}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \times \dots \times \frac{100I}{IE}}$$

式中 aa 为试验样品蛋白质氨基酸质量分数 (mg·g⁻¹); AA(FAO/WHO) 为 FAO/WHO 评分标准中同种氨基酸质量分数 (mg·g⁻¹); AA(egg) 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸质量分数 (mg·g⁻¹); n

为比较的必需氨基酸个数; A、B、C、……、I 为等评蛋白质的必需氨基酸质量分数($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$); AE、BE、CE、……、IE 为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸质量分数($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)。

1.7 蛋白质成分的分离和测定

参照 HASHIMOTO 等^[9]的测定方法并作部分改动, 具体步骤为称取 30 g 搅碎鱼肉, 加入 10 倍体积的冷磷酸盐缓冲液 A($0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 7.5$)均质 2 min, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 抽提 90 min, 间断搅拌, 然后再 10 000 g、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 离心 30 min, 残渣加入 5 倍体积的磷酸盐缓冲液 A 重复上面的操作 3 次, 合并 3 次离心得到的上清液 1 和残渣 1, 在上清液 1 中加入 5 倍体积冷的 10% 三氯乙酸溶液, 静置 90 min, 10 000 g、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 离心 30 min, 得到上清液 2 即为非蛋白氮组分和沉淀 2 即为肌浆蛋白组分。在残渣 1 中加入含有高浓度的盐溶液(氯化钾或氯化钠)的缓冲溶液 B($0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{pH} = 7.5$), $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下静置 90 min, 间断搅拌, 然后均质 2 min、10 000 g、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 离心 30 min, 重复上面的操作 3 次得到上清液 3 即为肌原纤维蛋白和沉淀 3。在沉淀 3 中加入 5 倍体积冷的 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氢氧化钠, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均质 2 min, 然后在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 磁力搅拌 18 h 后, 以 10 000 g、 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 离心 40 min, 得到上清液 4 即为碱溶性蛋白组分和沉淀 4 即为肌浆蛋白组分。最后将分离提取的 4 种蛋白液体缓慢倒入透析袋中, 不应超过透析袋的 2/3, 然后经排气后用透析夹夹好, 放入超纯水中, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 透析 36 h, 并且每隔 6 h 换一次水。将透析好的蛋白液体放在冷冻干燥机中冻干得到成品。测定 4 种蛋白质质量分数均采用半微量凯氏定氮法。

1.8 数据处理

采用 SPSS 19.0 和 Excel 2010 进行数据处理, 结果采取均值 \pm 标准差($\bar{X} \pm \text{SD}$)形式。指标内部的均值比较采用最小显著差异法(least significant difference, LSD), 取 95% 置信度($P < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 草鱼脆化过程中肌肉基本营养成分变化

随着脆化时间的不同, 肌肉的 4 种基本营养成分均有所变化(表 1)。其中脆肉鲩的水分和粗脂肪质量分数均显著低于普通草鱼($P < 0.05$), 而粗蛋白质量分数随着脆化时间不同质量分数显著增加($P < 0.05$)。在脆化初期(30 d), 脆肉鲩的水分和

粗脂肪质量分数分别比普通草鱼低 2.79% ($P < 0.003$)和 37.94% ($P < 0.02$), 而粗蛋白和灰分质量分数分别比普通草鱼的高 43.34% ($P < 0.001$)和 14.89% ($P > 0.05$)。随着投喂蚕豆时间的延长, 脆化时间越长, 脆肉鲩(120 d)与普通草鱼的 4 种基本营养成分差异越显著, 其中脆化草鱼(120 d)比普通草鱼的水分和粗脂肪质量分数分别低 8.99% ($P < 0.001$)和 73.33% ($P < 0.001$), 粗蛋白质量分数高 49.93% ($P < 0.001$)。值得一提的是脆化时间不同, 脆肉鲩的这 4 种营养成分之间也存在差异显著性($P < 0.05$)。脆化 120 d 的脆肉鲩与脆化 30 d 的相比, 前者的水分和粗脂肪质量分数分别比后者低 6.38% ($P < 0.001$)和 55.41% ($P < 0.020$), 灰分和粗蛋白质量分数分别高 37.96% ($P < 0.001$)和 4.59% ($P < 0.015$)。从试验结果来看, 脆化时间不同, 脆肉鲩的灰分质量分数比普通草鱼高, 但未达到显著性差异($P > 0.05$), 说明投喂蚕豆时间不同, 普通草鱼与脆肉鲩的无机元素质量分数并无显著性差异($P > 0.05$)。

GRIGORAKIS 和 ALEXIS^[10]认为肌肉品质与水分和粗脂肪质量分数密切相关, 这在其他的研究中也有相关报道^[11-13]。肌肉的风味和嫩度随着脂肪质量分数的增加而改善, 肌肉脂肪质量分数的下降使得肌束之间的摩擦力增大, 并且降低了肌肉嫩度, 但同时也增加了肌肉的咀嚼性和硬度, 使肌肉品质上升。在笔者试验中发现脆化时间越长, 2 种鱼的水分和粗脂肪质量分数有显著的降低, 这与李宝山等^[4]、KUANG 等^[14]的研究结果一致, 而与朱志伟等^[7]、林婉玲等^[15]的结果不同, 这可能与脆化时间长短和养殖的方式不同有关^[4]。水分质量分数下降说明固形物质量分数有所上升, 而粗脂肪质量分数下降, 这可能是草鱼养殖成脆肉鲩之后肌肉变脆的原因之一。

2.2 草鱼脆化过程中肌肉蛋白质组分质量分数变化

在该试验中, 脆化时间为 120 d 的脆肉鲩的肌原纤维蛋白(56.14%)、肌浆蛋白(17.07%)和基质蛋白(4.08%)的质量分数分别比普通草鱼增加了 10.88% ($P < 0.001$)、15.41% ($P < 0.001$)和 80.53% ($P < 0.001$), 但碱溶性蛋白的质量分数却下降了 46.34% ($P < 0.001$)。随着脆化时间的不同, 120 d 的脆肉鲩相比于 30 d 脆肉鲩的这 4 种蛋白质质量分数均有极显著差异($P < 0.001$)(表 2)。

表1 不同脆化周期的鱼肉基本营养成分

Tab. 1 Nutrition composition of grass carp muscle in different crisping periods

%

项目 item	水分 moisture	粗脂肪 crude fat	粗灰分 crude ash	粗蛋白 crude protein
普通草鱼 grass carp	79.34 ± 0.94 ^a	2.53 ± 0.77 ^a	0.94 ± 0.02 ^c	14.12 ± 0.79 ^d
脆化时间/d	30	1.57 ± 0.50 ^b	1.08 ± 0.06 ^c	20.24 ± 0.28 ^c
crisping time	50	1.22 ± 0.08 ^{bc}	1.01 ± 0.07 ^c	20.46 ± 0.21 ^c
	70	75.77 ± 0.16 ^c	0.99 ± 0.02 ^{bc}	21.13 ± 0.07 ^b
	90	73.40 ± 0.34 ^d	0.77 ± 0.10 ^c	22.71 ± 0.19 ^a
	120	72.21 ± 1.22 ^d	0.70 ± 0.11 ^c	21.17 ± 0.21 ^b

注: 同一列右上角字母不同表示差异性显著($P < 0.05$), 下表同此

Note: Values with different letters at top right corner in the same column are significantly different ($P < 0.05$); the same case in the following tables.

表2 不同脆化周期的肌肉蛋白质成分占粗蛋白的质量分数

Tab. 2 Proportion of protein components to crude protein in grass carp muscle in different crisping periods

%

项目 item	肌浆蛋白 sarcoplasmic protein	肌原纤维蛋白 myofibrillar protein	基质蛋白 stromal protein	碱溶性蛋白 alkali-soluble protein
普通草鱼 grass carp	14.79 ± 0.53 ^d	50.63 ± 0.28 ^c	2.26 ± 0.41 ^b	20.61 ± 0.25 ^a
脆化时间/d	30	51.97 ± 0.93 ^c	2.46 ± 0.42 ^b	18.18 ± 0.80 ^b
crisping time	50	53.39 ± 0.95 ^b	2.88 ± 0.37 ^b	17.56 ± 0.32 ^b
	70	16.04 ± 0.23 ^b	53.49 ± 0.56 ^b	2.77 ± 0.48 ^b
	90	16.77 ± 0.47 ^a	55.77 ± 1.03 ^a	3.72 ± 0.18 ^a
	120	17.07 ± 0.10 ^a	56.14 ± 0.54 ^a	4.08 ± 0.06 ^a

普通草鱼和脆肉鲩的肌肉蛋白质组分主要包括4种: 肌原纤维蛋白、肌浆蛋白、基质蛋白和碱溶性蛋白。这几种蛋白对肌肉结构和功能起着很重要的作用, 一般鱼肉蛋白中质量分数最高的为肌原纤维蛋白。肌原纤维蛋白是支撑肌肉运动的结构蛋白质, 其质量分数越高, 鱼肉的弹性较好^[7,16]。4种蛋白中质量分数最低的是基质蛋白, 其主要成分是胶原蛋白和弹性蛋白, 而胶原蛋白是构成肌肉结缔组织的重要蛋白, 对保持肌肉韧性、完整性和肌肉品质有重要作用^[17]。基质蛋白质量分数高, 鱼肉硬度也较高^[7,15]。肌浆蛋白是由肌原纤维细胞质存在的蛋白质和代谢中的各种蛋白酶组成^[7], GODIKSEN等^[18]发现在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)中, 来源于肌浆蛋白中的组织蛋白酶质量分数与鱼肉质构存在相关性。该试验在脆化过程中, 肌原纤维蛋白、基质蛋白和肌浆蛋白的质量分数均有所上升, 因此可以推测蛋白质组分质量分数的变化可能是引起脆肉鲩鱼肉脆性改变的另一重要原因(表

2)。

2.3 草鱼脆化过程中鱼肉质构特性比较

鱼肉的质构指标, 特别是硬度、弹性等是评价肌肉品质的重要特性。投喂蚕豆时间不同, 肌肉口感和脆性发生变化, 其质构指标也发生相应的变化。普通草鱼与脆化期为30d的脆肉鲩的硬度、咀嚼性和粘着性并无显著性差异($P > 0.05$), 但是脆化时间到50d左右时, 脆肉鲩与普通草鱼相比, 硬度、咀嚼性、弹性和粘着性的绝对值分别增加了87.20% ($P < 0.004$)、368.46% ($P < 0.001$)、145.93% ($P < 0.002$)和45.34% ($P < 0.020$) (表3)。当脆化时间达到120d左右时, 其硬度、咀嚼性、弹性和粘着性的绝对值比普通草鱼的分别提高了429.17% ($P < 0.001$)、982.10% ($P < 0.001$)、302.22% ($P < 0.001$)和128.90% ($P < 0.001$)。脆化期为120d与30d、50d、70d的脆肉鲩相比, TPA指标值均存在显著差异($P < 0.05$), 这与LIN等^[5]的研究结果一致。综合表1和表2的结果可以

推测正是由于脆化过程中,水分和粗脂肪质量分数显著下降、粗蛋白质量分数显著上升、肌原纤维蛋白、肌浆蛋白和基质蛋白质量分数均显著增加,导致鱼肉在脆化过程中质构特性,特别是硬度指标表

现出显著差异,这说明脆肉鲩脆性改变与脆化过程中低水分和脂肪质量分数、高蛋白质量分数、高肌原纤维蛋白质量分数、高基质蛋白质量分数和高肌浆蛋白质量分数等肌肉品质指标有关。

表3 不同脆化周期的肌肉 TPA 指标值($n=18$)

Tab.3 TPA values of grass carp muscle in different crisping periods

项目 item	硬度/g hardness	咀嚼性/gmm chewiness	弹性/mm springiness	粘着性/gs adhesiveness
普通草鱼 grass carp	381.67 ± 40.52 ^e	128.85 ± 15.71 ^d	1.35 ± 0.47 ^d	-90.58 ± 11.14 ^d
脆化时间/d crisping time	30 592.67 ± 57.86 ^{de}	257.91 ± 34.82 ^d	2.75 ± 0.21 ^c	-110.98 ± 5.88 ^{cd}
	50 714.50 ± 77.62 ^{cd}	603.61 ± 86.99 ^c	3.32 ± 0.51 ^c	-131.65 ± 34.29 ^c
	70 831.67 ± 88.75 ^c	817.86 ± 37.64 ^b	3.63 ± 0.52 ^{bc}	-173.14 ± 41.53 ^b
	90 1 307.17 ± 282.33 ^b	873.54 ± 67.78 ^b	4.58 ± 1.42 ^{ab}	-204.97 ± 32.08 ^{ab}
	120 2 019.67 ± 308.41 ^a	1 394.28 ± 241.91 ^a	5.43 ± 1.55 ^a	-207.34 ± 25.83 ^a

2.4 草鱼脆化过程中肌肉氨基酸组成

蛋白质的营养价值主要取决于其氨基酸的质量分数和组成。普通草鱼和脆肉鲩的肌肉氨基酸组成种类相同,均包含16种常见氨基酸,并且质量分数最高的均为谷氨酸(Glu),其次为天冬氨酸(Asp)、赖氨酸(Lys)、亮氨酸(Leu)、丙氨酸(Ala)和精氨酸(Arg),这与刘邦辉等^[1]得出的结论一致(表4)。但普通草鱼与脆肉鲩在氨基酸总量(TAA)、必需氨基酸(EAA)总量、鲜味氨基酸(UAA)总量上均存在显著差异($P < 0.05$),并且可以明显看出,当脆化到50d左右时的TAA最高(203.5 g·L⁻¹),比普通草鱼的TAA高10.81% ($P < 0.001$),比120d的高4.67% ($P < 0.002$)。而EAA总量最高的是脆化期为90d的脆肉鲩,高出普通草鱼13.32% ($P < 0.001$)。

必需氨基酸占氨基酸总量的比值(EAA/TAA)和必需氨基酸占非必需氨基酸的比值(EAA/NEAA)随着脆化时间不同有所差异。普通草鱼的EAA/TAA为40.88%,EAA/NEAA为69.15%,当脆化时间约90d时,这2个比值均达到最大(42.27%和73.22%),分别比普通草鱼高出1.39%和4.07%。根据FAO/WHO的理想模式,质量较好的蛋白质其氨基酸组成为EAA/TAA在40%左右,而EAA/NEAA在60%以上^[19]。由此可见,普通草鱼和脆肉鲩的氨基酸平衡效果较好,均属于优质蛋白质,且脆肉鲩的营养价值高于普通草

鱼。

鱼类的鲜美程度主要取决于肌肉中Asp、甘氨酸(Gly)、Glu和Ala的含量和组成^[20]。其中质量分数最高的为Glu,其次为Asp,这2种氨基酸为呈鲜味的特征氨基酸,分别占草鱼总氨基酸质量分数的15.81%和10.74%,有研究指出,Glu不仅是呈鲜味氨基酸,还在人体代谢中具有重要意义,能够参与多种生理活性物质的合成^[21]。脆肉鲩与草鱼在UAA上有显著性差异($P < 0.05$),普通草鱼的UAA分别比脆化期为30d和120d脆肉鲩的低4.93% ($P < 0.002$)、6.06% ($P < 0.001$) (表4)。这说明脆化后的鱼肉鲜味明显提高。

2.5 肌肉氨基酸营养价值评价

将表4中必需氨基酸的质量分数都换算成每克蛋白质中所含的氨基酸毫克数(表5)后,按照氨基酸质量分数和FAO/WHO评分模式分别计算出氨基酸评分(表6)、化学评分和必需氨基酸指数(表7)。根据AAS可知,虽然脆化时间不同,但普通草鱼和脆肉鲩的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸(Met),第二限制性氨基酸均为苏氨酸(Thr)(脆化期为30d的脆肉鲩除外);根据CS可知,普通草鱼和不同脆化期的脆肉鲩的第一限制性氨基酸均为Met,但第二限制性氨基酸出现了2种,即缬氨酸(Val)和Thr,这与其他研究者的结果^[1,7]稍有不同,但第一、第二限制氨基酸基本上在Met、Met+胱氨酸(Cys)、Thr、Val和亮氨酸(Leu)之间。

表4 不同脆化周期的肌肉氨基酸质量分数(湿质量)

Tab. 4 Amino acid contents in grass carp muscle in different crisping periods (wet weight)

g·L⁻¹

氨基酸 amino acid	草鱼 grass carp	脆化时间/d crisping time				
		30	50	70	90	120
天冬氨酸** Asp	19.5 ± 0.10	21.3 ± 0.40	21.9 ± 0.11	17.3 ± 0.11	22.2 ± 0.10	21.5 ± 0.20
苏氨酸* Thr	8.3 ± 0.11	9.0 ± 0.30	8.9 ± 0.11	7.3 ± 0.10	8.7 ± 0.12	8.5 ± 0.12
丝氨酸 Ser	7.3 ± 0.10	7.8 ± 0.10	6.4 ± 0.12	5.4 ± 0.10	6.3 ± 0.14	6.7 ± 0.13
谷氨酸** Glu	28.7 ± 0.11	31.5 ± 0.60	31.4 ± 0.10	26.0 ± 0.22	32.4 ± 0.15	31.1 ± 0.21
脯氨酸 Pro	5.9 ± 0.12	5.2 ± 0.21	7.5 ± 0.41	5.5 ± 0.40	6.0 ± 0.12	6.3 ± 0.13
甘氨酸** Gly	10.8 ± 0.11	9.4 ± 0.13	12.4 ± 0.11	8.4 ± 0.10	10.4 ± 0.10	10.4 ± 0.11
丙氨酸** Ala	12.1 ± 0.20	12.4 ± 0.34	13.5 ± 0.14	10.3 ± 0.21	12.9 ± 0.20	12.5 ± 0.21
缬氨酸** Val	9.9 ± 0.11	10.8 ± 0.25	11.8 ± 0.13	9.3 ± 0.11	12.2 ± 0.30	11.3 ± 0.20
蛋氨酸* Met	5.7 ± 0.31	6.2 ± 0.11	6.3 ± 0.20	5.1 ± 0.12	6.4 ± 0.13	6.1 ± 0.11
异亮氨酸* Lle	8.7 ± 0.21	9.6 ± 0.40	10.3 ± 0.22	8.2 ± 0.14	10.7 ± 0.32	10.0 ± 0.12
亮氨酸* Leu	15.1 ± 0.22	16.4 ± 0.34	16.8 ± 0.22	13.7 ± 0.45	17.4 ± 0.21	16.2 ± 0.32
酪氨酸 Tyr	6.3 ± 0.15	6.8 ± 0.10	6.9 ± 0.10	5.7 ± 0.10	7.2 ± 0.00	6.9 ± 0.01
苯丙氨酸* Phe	8.3 ± 0.20	8.5 ± 0.31	9.2 ± 0.11	7.2 ± 0.00	9.4 ± 0.10	8.9 ± 0.14
赖氨酸* Lys	18.4 ± 0.13	20.7 ± 0.42	20.7 ± 0.14	16.7 ± 0.02	21.0 ± 0.01	20.2 ± 0.01
组氨酸 His	5.3 ± 0.11	6.3 ± 0.10	6.7 ± 0.50	4.9 ± 0.21	7.0 ± 0.50	6.1 ± 0.10
精氨酸 Arg	11.8 ± 0.22	12.3 ± 0.13	13.2 ± 0.10	10.2 ± 0.13	12.8 ± 0.14	11.7 ± 0.15
TAA	181.5 ± 1.10 ^c	194.0 ± 2.28 ^b	203.5 ± 0.70 ^a	161.0 ± 1.14 ^d	202.5 ± 0.70 ^a	194.0 ± 1.40 ^b
EAA 总量 total EAA	74.2 ± 0.41 ^d	81.0 ± 1.40 ^c	83.8 ± 0.40 ^b	67.3 ± 0.55 ^c	85.6 ± 0.50 ^a	81.0 ± 0.71 ^c
NEAA 总量 total NEAA	107.3 ± 0.60	113.0 ± 1.44	119.7 ± 0.15	93.7 ± 0.96	116.9 ± 0.22	113.0 ± 0.77
UAA 总量 total UAA	71.0 ± 0.48 ^c	74.5 ± 1.12 ^b	79.1 ± 0.15 ^a	61.7 ± 0.46 ^d	77.9 ± 0.70 ^a	75.3 ± 0.45 ^b
EAA/TAA/%	40.88	41.75	41.18	41.80	42.27	41.75
EAA/NEAA/%	69.15	71.68	70.01	71.82	73.22	71.68
UAA/TAA/%	39.12	38.40	38.87	38.32	38.47	38.81

注: *. 必需氨基酸; **. 鲜味氨基酸; TAA. 氨基酸总量; EAA. 必需氨基酸; NEAA. 非必需氨基酸; UAA. 鲜味氨基酸

Note: *. essential amino acids; **. umami amino acids; TAA. total amino acids; EAA. essential amino acids; NEAA. non-essential amino acids; UAA. umami amino acids

表5 不同脆化周期的肌肉蛋白必需氨基酸组成

Tab. 5 Composition of essential amino acids of muscle protein in different crisping periods

mg·g⁻¹

项目 item	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Lle	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Lys	苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr
普通草鱼 grass carp	58.78	70.11	40.37	61.61	106.94	130.31	103.40
脆化时间/d	30	44.47	53.36	30.63	47.43	81.03	102.27
crisping time	50	43.50	57.67	30.79	50.34	82.11	101.17
	70	34.55	44.01	24.14	38.81	64.84	79.03
	90	38.31	53.72	28.18	47.12	76.62	92.47
	120	40.15	53.38	28.81	47.24	76.52	95.42
鸡蛋蛋白模式 egg protein pattern	52	68	50	50	92	56	91
FAO/WHO 模式 FAO/WHO pattern	40	50	35	40	70	55	60

对于以谷类食品为主食的中国人而言,可以通过在这些鱼类加工生产过程中添加相应的限制氨基酸,从而弥补谷物食品的不足,改善其必需氨基酸的平衡效果,提高蛋白利用率^[1]。

脆肉鲩的 AAS 多数大于 1 或接近 1,这说明脆肉鲩肌肉氨基酸组成与人体需求模式基本平衡,是理想的蛋白质来源^[7],虽然脆化时间不同,但普

通草鱼和脆肉鲩中 AAS 和 CS 最高的均为 Lys(最高的分别为 2.369 和 2.327),远高于其他鱼类^[22-23](表 6 和表 7)。EAAI 是评价蛋白质营养价值最常用的指标之一,它以鸡蛋蛋白质必需氨基酸为参评标准,通过计算,脆肉鲩的 EAAI 最高达 93.28,远高于其他鱼类^[22,24],这说明脆肉鲩的营养价值较高。

表 6 不同脆化周期的肌肉蛋白必需氨基酸评分

Tab. 6 AAS for muscle protein in different crisping periods

项目 item	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Lle	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Lys	苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr
普通草鱼 grass carp	1.470	1.402**	1.153*	1.540	1.528	2.369	1.723
脆化时间/d	30	1.112	1.067**	0.875*	1.186	1.158	1.859
crisping time	50	1.088**	1.153	0.880*	1.259	1.173	1.839
	70	0.864**	0.880	0.690*	0.970	0.926	1.437
	90	0.958**	1.074	0.805*	1.178	1.095	1.681
	120	1.004**	1.068	0.823*	1.181	1.093	1.735

注:*. 第一限制性氨基酸; **. 第二限制性氨基酸,下表同此

Note: *. the first limiting amino acids; **. the second limiting amino acids; the same case in the following table.

表 7 不同脆化周期的肌肉蛋白必需氨基酸指数和化学评分

Tab. 7 EAAI and CS for muscle protein in different crisping periods

项目 item	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Lle	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Lys	苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr	必需氨基 酸指数 EAAI
普通草鱼 grass carp	1.130	1.031**	0.807*	1.232	1.162	2.327	1.136	119.88
脆化时间/d	30	0.855	0.785**	0.613*	0.949	0.881	1.826	91.13
crisping time	50	0.837**	0.848	0.616*	1.007	0.893	1.807	93.28
	70	0.664	0.647**	0.483*	0.776	0.705	1.411	72.71
	90	0.737**	0.790	0.564*	0.942	0.833	1.643	85.72
	120	0.772**	0.785	0.576*	0.945	0.832	1.704	87.20

3 结论

1) 比较普通草鱼和脆化时间不同的脆肉鲩的肌肉营养成分发现,经过一定的脆化时间,脆肉鲩的水分和粗脂肪质量分数显著下降($P < 0.05$),而粗蛋白质量分数显著增加($P < 0.05$),但是灰分质量分数差异并不显著($P > 0.05$);脆肉鲩和普通草鱼的蛋白组分相似,但是随着脆化时间的增加,脆肉鲩的肌原纤维蛋白、肌浆蛋白和基质蛋白质量分

数要显著高于普通草鱼($P < 0.05$)。经过脆化养殖后,脆肉鲩肌肉的硬度、弹性、咀嚼性和粘性均显著增加($P < 0.05$)。

2) 脆化时间不同,普通草鱼和脆肉鲩肌肉 TAA、EAA 总量和 UAA 总量上均存在差异显著性($P < 0.05$)。普通草鱼的 EAAI 为 119.88,比脆肉鲩(93.28)高 22.19%;脆肉鲩肌肉中 TAA 最高为 $203.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,比普通草鱼($181.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)高 $22 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($P < 0.05$),脆肉鲩的 EAA 组成模式要优于

FAO/WHO 推荐的模式,是一种具有较高营养价值的蛋白来源。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 甘承露. 脆肉鲩肌肉特性及其贮藏稳定性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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 Res Int, 2009, 42(2): 271-278.
- [6] 关磊,朱瑞俊,李小勤,等. 普通草鱼与脆化草鱼的肌肉特性比较[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 748-753.
- [7] 朱志伟,李沛生,阮征,等. 脆肉鲩鱼肉与普通鲩鱼肉理化特性比较研究[J]. 现代食品科技, 2007, 24(2): 109-112.
- [8] 蔡完其. 养鱼饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1980: 114-115.
- [9] HASHIMOTO K, WATABE S, KONO M, et al. Muscle protein composition of sardine and mackerel [J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1979, 45(11): 1435-1441.
- [10] 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]. Aquac Nutr, 2005, 11(5): 341-344.
- [11] 李来好,叶鸽,郝淑贤,等. 2种养殖模式罗非鱼肉品质的比较[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 1-6.
- [12] 胡芬,李小定,熊善柏,等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-73.
- [13] 李文倩,李小勤,冷向军,等. 鳊鱼肌肉品质评价的初步研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(9): 113-117.
- [14] KUANG X M, ZHANG H, CHEN B. Comparison on the content of the nutrient composition in grass carp's muscle and the glucose-6-phosphoclehydrogenase in its erythrocytes from the beginning to the end of making grass carp's meat crisp to the taste[J]. J Hainan Univ, 2004, 22(3): 258-261.
- [15] 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): 134-138.
- [16] 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]. J Texture Stud, 2012, 43(1): 1-11.
- [17] PERIAGO M J, AYALA M D, LOPÉZ-ALBORS O, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. [J]. Aquaculture, 2005, 249(1): 175-188.
- [18] GODIKSEN H, MORZEL M, HYLDIG G, et al. Contribution of cathepsins B, L and D to muscle protein profiles correlated with texture in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Food Chem, 2009, 113(4): 889-896.
- [19] 江伟,刘毅. 营养与食品卫生学[M]. 北京: 中国医科大学, 中国协和医科大学联合出版社, 1992: 36.
- [20] 赖春华,李军生,廖永聪,等. 黄沙鳖与中华鳖肌肉氨基酸的分析及评价[J]. 食品工业科技, 2011, 32, (5): 373-378.
- [21] 何建瑜,赵荣涛,刘慧慧. 舟山海域厚壳贻贝软体部分营养成分分析与评价[J]. 南方水产科学, 2012, 8(4): 37-42.
- [22] 戴梓茹,钟秋平,林美芳,等. 金鲳鱼营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2013, 34(1): 347-350.
- [23] 黎祖福,付倩倩,张以顺. 鞍带石斑鱼肌肉营养成分及氨基酸质量分数分析[J]. 南方水产, 2008, 4(5): 61-64.
- [24] 舒璇,周莹,肖丹,等. 野生三斑石斑鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 12902-12905.