

草鱼脆化过程中肌肉胶原蛋白、矿物质含量和脂肪酸组成变化

伍芳芳^{1,2}, 林婉玲¹, 李来好^{1,*}, 杨贤庆¹, 郝淑娴¹, 杨少玲¹, 胡晓¹, 王锦旭¹, 魏涯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: 研究草鱼脆化过程中主要营养成分的变化规律, 在草鱼脆化养殖过程中定期采样, 比较研究不同脆化周期的鱼肉胶原蛋白、矿物质含量和脂肪酸组成变化。对不同采样期的鱼肉, 采用石墨炉原子吸收光谱法测定肌肉矿物质含量, 气相色谱-质谱联用技术测定肌肉脂肪酸组成。结果显示, 普通草鱼肌肉的胶原蛋白含量为1.02 g/100 g, 显著低于脆肉鲩。与普通草鱼相比, 脆化后肌肉的钙、镁的含量分别增加了269.43%、46.05%, 但铁、铜元素的含量分别下降了85.59%和23.08%, 肌肉的锌、铬和镉含量差异不显著($P>0.05$)。不同脆化周期的肌肉中共检出17种脂肪酸, 多不饱和脂肪酸总量与饱和脂肪酸总量的比值为0.74~1.46, 其中以普通草鱼最高。随着脆化时间的延长, 肌肉的多不饱和脂肪酸总量、二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸总量均有所下降。研究表明在草鱼脆化过程中肌肉胶原蛋白和钙、镁含量显著增加, 铁、铜含量和多不饱和脂肪酸总量有所下降。

关键词: 脆肉鲩; 胶原蛋白; 矿物质含量; 脂肪酸组成; 草鱼

Changes in Muscle Collagen Content, Mineral Contents and Fatty Acid Composition of Grass Carp during Crisping Process

WU Fangfang^{1,2}, LIN Wanling¹, LI Laihao^{1,*}, YANG Xianqing¹, HAO Shuxian¹, YANG Shaoling¹, HU Xiao¹, WANG Jinxu¹, WEI Ya¹

(1. Key Laboratory 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: This research aimed to study the changes in main nutritional components during the crisping process of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*, which was cultured under specific conditions to obtain crisp grass carp). Samples were acquired periodically and the differences in muscle collagen content, mineral contents and fatty acid composition during the entire crisping process were compared. Muscles in different crisping periods were taken for determination of mineral elements by graphite furnace atomic absorption spectroscopy (GFAAS) and fatty acid composition by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the collagen content of grass carp was 1.02 g/100 g, which was significantly lower than that of crisp grass carp (*C. idellus* C. et V). Compared with those in grass carp, the contents of Ca and Mg in crisp grass carp were increased by 269.43% and 46.05%, respectively, while the contents of Fe and Cu in crisp grass carp were decreased by 85.59% and 23.08%, respectively. However, there were no significant differences in the contents of Zn, Cr and Cd among all the samples examined ($P>0.05$). A total of 17 kinds of fatty acids in the muscles collected in different crisping periods were detected. The ratios of $\sum$ PUFA to $\sum$ SFA ranged from 0.74 to 1.46 and showed the highest value in grass carp. Meanwhile, the ratios of $\sum$ PUFA and $\sum$ (EPA + DHA) were decreased. The present study indicated that the contents of muscle collagen, and Ca and Mg were significantly increased while the contents of Fe and Cu and the total amount of PUFAs were decreased during the crisping process of grass carp.

Key words: crisp grass carp; collagen; mineral content; fatty acid composition; grass carp

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 10-0086-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201510017

收稿日期: 2014-11-20

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31401625); 广州市珠江科技新星专项(2014J2200019);

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2013ZD04); 农业部水产品加工重点实验室开放基金项目(nybjg201202)

作者简介: 伍芳芳(1989—), 女, 硕士研究生, 主要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, 主要从事水产品加工与质量安全研究。E-mail: laihao1@163.com

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 又名“鲢鱼”，是我国四大家鱼之一，它具有适应环境能力强、生长速度快、产量高、肉质营养丰富等特点。但由于其肉质较松软，影响口感及价格，为改善其肌肉品质，研究者发现以蚕豆为主要饲料饲喂普通草鱼约120 d，其肉质变脆并且有韧性，脆化养殖后的草鱼被称为“脆肉鲢 (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V)”。“脆肉鲢”肉质结实而爽脆，鱼肉久煮不烂，颇受消费者的青睐。

鱼肉的脂肪酸、矿物质元素和胶原蛋白含量是肌肉重要的营养成分。目前虽然有很多相关的研究报告，但对这些重要的肌肉营养成分在草鱼脆化前后的变化却无统一的观点。鱼肉中的各种脂肪酸含量和组成影响肌肉的风味、香气和口感，同时，也与脂溶性VA、VD、VE和VK的吸收和代谢有关^[1]；甘承露等^[2]研究指出脆肉鲢不饱和脂肪酸含量高于普通草鱼；刘邦辉等^[3]却发现脆肉鲢的多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA) 含量有所下降。关磊等^[4]发现饲喂蚕豆后脆肉鲢的Fe、Ca含量均低于普通草鱼；但也有研究者指出脆化后肌肉的Ca含量明显增加^[5-6]，但脆化过程中金属元素发生怎样的变化却未见报道。胶原蛋白是构成肌肉结缔组织的主要成分，肌肉的柔嫩与老化与肌肉结缔组织中胶原蛋白的含量密切相关^[7-9]，虽然有部分研究^[10-11]指出脆化后肌肉的胶原蛋白含量有所增加，但是在整个脆化周期内的变化情况却未见相关报道。

因此，为探讨脆化过程中肌肉脂肪酸、矿物质和胶原蛋白含量的变化规律，本实验通过对同一养殖场的草鱼在其脆化养殖过程进行定期采样，研究不同脆化周期草鱼的脂肪酸、矿物质和胶原蛋白含量的变化，探讨草鱼脆化过程中肌肉主要营养成分的变化规律。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

不同脆化周期的脆肉鲢均来自广东省中山市坦洲镇某养殖场，从2014年6月—2014年10月定期采样6次（分别记为GC、CGC1~CGC5），捕获后放在水中充氧运至实验室，冰晕之后去鱼鳞、内脏等，用流动水冲洗干净后，将鱼背部两侧肌肉切片、绞碎、分装放入保鲜袋中，然后置于冰鲜条件下供实验分析。

正己烷、三氯甲烷、硝酸、无水乙醇、冰乙酸（均为分析纯），甲醇（色谱纯） 广州化学试剂厂；三氟化硼-甲醇 上海安谱科学仪器有限公司。

1.2 仪器与设备

HH-4型数显恒温水浴锅 常州澳华仪器有限公司；QP2010 Plus气相色谱-质谱联用仪、UV2550紫外分光光度计 日本岛津公司；T50均质机 德国

IKA公司；3K30高速冷冻离心机 德国Sigma公司；N-EVAP112型氮吹仪 美国Organomation公司；SpecterAA240FS、240Z原子吸收仪 美国Varian公司。

1.3 方法

1.3.1 脂肪酸组成的测定

采用气相色谱法测定^[12]，并做部分改动。气相色谱条件：色谱柱：DB-5MS（30 mm×0.25 mm，0.25 μm）；进样口温度230℃；升温程序：110℃保持4 min，以10℃/min升温至160℃保持1 min，最后以5℃/min上升至240℃保持15 min；载气：氦气；流量1.52 mL/min；分流比1:30。

质谱条件：电子电离源温度200℃；电子能量70 eV；质量扫描范围 m/z 40~550；溶剂切除时间3 min。

通过美国国家标准与技术研究院谱库检索，对脂肪酸进行定性，并采用面积归一化法确定其质量分数，以相对含量表示。

1.3.2 胶原蛋白含量的测定

参照GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》测定鱼肉中的羟脯氨酸含量，乘以9.75即为鱼肉胶原蛋白的含量^[13]。

1.3.3 矿物元素的测定

Cr、Cu、Cd采用石墨炉原子吸收法测定；Ca、Na、Mg、Zn、Fe均采用火焰原子吸收法测定。

1.4 数据处理

采用SPSS 19.0、Excel和Origin 7.5进行数据处理，结果采取 $\bar{x} \pm s$ 形式。指标内部的均值比较采用最小显著差异法，取95%置信度 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 草鱼脆化过程中肌肉胶原蛋白含量变化

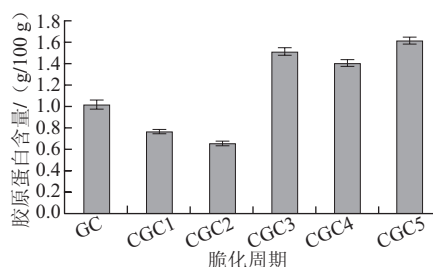


图1 不同脆化周期鱼肉的胶原蛋白含量 ($n=3$)

Fig.1 Collagen contents of grass carp muscle in different crisping periods ($n=3$)

由图1可知，普通草鱼肌肉胶原蛋白含量为1.02 g/100 g，稍高于其他淡水鱼类^[14]。随着脆化周期的不同，胶原蛋白含量先下降后上升。在脆化初期 (CGC1~CGC2)，胶原蛋白含量分别为0.77、

0.66 g/100 g，比普通草鱼（GC）分别显著下降了24.51%（ $P=0.004$ ）、35.29%（ $P=0.000$ ）。值得一提的是，随着脆化程度的增加，脆肉鲩的肌肉胶原蛋白含量显著增加，在脆化后期（CGC5）达到最大值1.61 g/100 g，显著高于普通草鱼（ $P=0.000$ ）。

投喂蚕豆后，鱼肉的口感和脆性发生显著改变。笔者在之前的研究中发现，随着脆化时间的不同，鱼肉质构特性发生改变：普通草鱼与脆化初期的脆肉鲩相比，两者的硬度、黏着性和咀嚼性并无显著性差异；当脆化到一定时间后，各项质构指标均比普通草鱼显著增加^[15]。胶原蛋白是肌肉结缔组织的主要成分，鱼肉中的胶原蛋白对保持肌肉完整性和韧性具有重要作用^[16]。肌肉的硬度与肌肉结缔组织中胶原蛋白的含量密切相关^[17-18]，肌肉结缔组织含量越多，肉质越硬，含量越少，肉质越嫩。Lin Wanling等^[9]通过比较草鱼脆化前后肌肉的微观结构变化发现，脆肉鲩肌内膜中的胶原纤维平均直径为47.06 nm，显著高于普通草鱼（31.62 nm）。与此同时，甘承露^[19]对脆肉鲩和草鱼肌肉胶原蛋白染色后发现，脆肉鲩肌束膜中胶原蛋白含量高于草鱼，这与本实验结果一致。综合来看，随着投喂蚕豆时间延长，胶原蛋白含量显著增加，增加了肌肉硬度，这可能是脆肉鲩肌肉变脆的原因之一。

2.2 草鱼脆化过程中肌肉矿物元素含量变化

表1 不同脆化周期的鱼肉矿物元素含量（ $n=3$ ）
Table 1 Mineral elements contents of grass carp muscle in different crisping periods ($n=3$)

元素	mg/kg					
	GC	CGC1	CGC2	CGC3	CGC4	CGC5
Ca	226.46±12.94 ^c	338.57±8.74 ^{bc}	327.53±110.61 ^{bc}	331.35±51.41 ^{bc}	445.65±13.82 ^b	836.62±25.46 ^a
Na	427.55±8.05 ^b	665.89±79.45 ^a	147.93±26.97 ^c	137.97±30.82 ^c	413.03±65.95 ^b	368.61±5.75 ^b
Mg	261.65±5.50 ^c	259.73±9.93 ^c	303.85±8.81 ^b	227.54±7.68 ^d	241.88±6.58 ^d	382.13±1.11 ^a
Zn	2.58±0.26 ^d	2.68±0.11 ^a	3.20±0.16 ^a	2.68±0.12 ^a	2.63±0.72 ^a	3.00±0.22 ^a
Fe	13.74±0.33 ^a	7.96±0.31 ^b	5.63±0.07 ^c	5.43±0.41 ^{cd}	4.80±0.22 ^d	1.98±0.04 ^e
Cd	0.07±0.02 ^a	0.01±0.00 ^f	0.01±0.00 ^f	0.10±0.01 ^a	0.03±0.00 ^f	0.01±0.00 ^f
Cu	0.78±0.06 ^a	0.53±0.01 ^c	0.68±0.04 ^{ab}	0.62±0.06 ^{bc}	0.57±0.07 ^{bc}	0.60±0.06 ^{bc}
Cr	0.56±0.05 ^a	0.48±0.04 ^a	0.52±0.01 ^a	0.50±0.01 ^a	0.42±0.03 ^a	0.37±0.25 ^a

注：同行肩标不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

本研究中共测定不同脆化周期的鱼肉中的8种矿物元素（表1）。其中肌肉的Ca、Mg含量随着脆化时间的延长而显著增加（ $P<0.05$ ）；但草鱼肌肉的Fe、Cu含量却显著低于脆肉鲩（ $P<0.05$ ）；不同脆化周期鱼肉的Cd、Cr含量差异不显著。随着投喂饲料的改变，可以明显看出，在脆化初期（CGC1），脆肉鲩肌肉的Ca、Na、Zn含量分别比普通草鱼增加了49.51%（ $P>0.05$ ）、55.75%（ $P<0.003$ ）和3.88%（ $P>0.05$ ），但Fe、Cu含量却分别下降了42.07%（ $P<0.001$ ）和32.05%（ $P<0.005$ ）。随着投喂蚕豆时间的延长，脆化时间越长，脆肉鲩（CGC5）与普通草鱼的各种矿物元素

含量差异越显著，脆肉鲩（CGC5）的Ca、Mg含量分别比普通草鱼增加了269.43%（ $P<0.001$ ）和46.05%（ $P<0.001$ ），但Fe和Cu含量却显著下降，分别下降了85.59%和23.08%（ $P<0.001$ ）。值得一提的是，脆化时间不同，鱼肉的不同矿物元素含量（Zn、Cd、Cr除外）也出现显著性差异（ $P<0.001$ ）。综上所述，不同脆化周期的鱼肉均含有丰富的矿物元素，但含量各有差异。

2.3 草鱼脆化过程中肌肉脂肪酸组成分析

肌肉的风味随着脂肪含量的增加而有所上升，同时脂肪含量增加降低了肌束间的摩擦力，使得肌肉嫩度增加^[15]。有报道^[20]指出，这与其中脂肪酸的组成成分密切相关：不饱和脂肪酸极易氧化，影响肉品的货架期，但对于烹调后的风味形成却具有重要的作用；脂肪酸因其组成成分不同而具有不同的熔点，这与肌肉的硬度和黏结性具有显著相关性。

表2 不同脆化周期肌肉的脂肪酸组成及含量
Table 2 Fatty acid composition and contents of grass carp muscle in different crisping periods

脂肪酸种类	GC	CGC1	CGC2	CGC3	CGC4	CGC5
C _{12:0}	0.58	0.51	0.24	0.41	0.47	0.24
C _{14:0}	0.98	5.52	4.57	1.29	5.19	0.67
C _{15:0}	0.11	0.01	0.26	1.73	0.19	2.29
C _{16:0}	19.87	19.45	22.31	19.74	21.99	19.70
C _{17:0}	0.13	0.01	0.30	0.16	0.15	0.14
C _{18:0}	8.37	5.02	6.33	6.99	10.23	9.01
C _{16:1}	3.08	4.67	5.50	5.52	5.68	3.95
C _{17:1}	0.05	0.01	1.69	1.41	3.46	1.36
C _{18:1}	22.35	33.23	30.58	28.88	23.42	24.74
C _{20:1}	0.68	0.82	0.64	0.80	0.96	0.92
C _{18:2}	11.56	11.06	8.06	12.56	9.19	10.13
C _{20:2}	1.20	0.01	0.30	0.61	0.66	0.77
C _{20:3}	2.55	0.61	2.13	2.12	2.78	4.70
C _{20:4}	11.89	4.31	3.19	7.18	6.30	10.42
C _{21:4}	0.74	0.80	0.90	3.11	3.01	5.27
C _{20:5}	8.30	5.02	4.93	1.90	0.37	0.68
C _{22:6}	7.56	8.96	8.05	5.59	5.96	5.02
ΣSFA	30.04	30.51	34.02	30.32	38.23	32.04
ΣUFA	69.96	69.49	65.98	69.68	61.77	67.96
ΣMUFA	26.16	38.73	38.41	36.61	33.51	30.97
ΣPUFA	43.80	30.76	27.57	33.07	28.26	36.99
Σ(DHA+EPA)	15.86	13.98	12.98	7.49	6.33	5.70
ΣPUFA/ΣSFA	1.46	1.01	0.81	1.09	0.74	1.15

由表2可知，不同脆化周期的肌肉中共检出17种脂肪酸，其中，饱和脂肪酸（saturated fatty acid, SFA）6种，共占脂肪酸总量的30.04%~38.23%；单不饱和脂肪酸（monounsaturated fatty acid, MUFA）4种，占脂肪酸总量的26.16%~38.73%，研究^[21]表明，MUFA能降低血浆胆固醇、降低血糖和调节血脂预防心血管疾病等重要功效作用；PUFA 7种，占脂肪酸总量的

27.57%~43.80%，PUFA能降低血中胆固醇和甘油三酯、并能保持细胞膜的相对流动性，并可转化成具有重要生理功能的代谢产物，从而发挥生理调节作用^[22]。通过比较发现，不同脆化周期鱼肉的脂肪酸主要由油酸（C_{18:1}）、棕榈酸（C_{16:0}）、亚麻酸（C_{18:2}）、花生四烯酸（C_{20:4}）、硬脂酸（C_{18:0}）构成，这与刘冬敏等^[21]的研究结果一致。

通过比较发现，肌肉的硬脂酸（C_{18:0}）和亚麻酸（C_{18:2}）含量随着脆化时间的不同而显著变化，其中肌肉的硬脂酸含量随着脆化时间的延长（CGC1~CGC5）而有所上升，含量最高为10.23%（CGC4）比普通草鱼高22.22%；与此同时，肌肉的亚麻酸含量却随着脆化时间的延长而有所下降（CGC3除外）。有Wood等^[20]曾指出肌肉的硬度和黏结性与硬脂酸的含量呈正相关性，而与亚麻酸含量呈负相关性。综合考虑，随着脆化时间的延长，脆肉鲩的肌肉硬度和黏结性均显著高于普通草鱼，这可能与脆化养殖后肌肉硬脂酸含量的增加、亚麻酸含量的下降有关。

二十碳五烯酸（eicosapentaenoic acid，EPA）（C_{20:5}）与二十二碳六烯酸（docosahexaenoic acid，DHA）（C_{22:6}）是人体必需脂肪酸，DHA能促进大脑和视网膜发育，增强记忆力和提高智力等重要作用。EPA能够减低血栓的形成，增进血液循环，预防心脑血管疾病^[23]。由表2可知，DHA占脂肪酸总量最高的为CGC1（8.96%），比普通草鱼（GC）的DHA含量（7.56%）高18.52%，但脆化时间越长，脆肉鲩的DHA含量逐渐下降，在脆化后期时（CGC5），肌肉的DHA含量最低，仅为5.02%，比普通草鱼低33.60%。与此同时，EPA含量也随着脆化时间延长而显著下降：普通草鱼EPA含量占脂肪酸总量的8.30%，比脆肉鲩肌肉（CGC5）高91.81%。不同脆化周期鱼肉的 Σ PUFA/ Σ SFA为0.74~1.46，其中以普通草鱼最高。这与刘邦辉等^[3]的研究结果一致。从DHA和EPA总量来看，脆肉鲩的PUFA含量有所下降。综合考虑，投喂蚕豆能改变草鱼的肉质，但由于蚕豆中营养成分相对于普通饲料较单一，并且由于蚕豆中存在大量的抗营养因子，继而降低了肠道对营养物质的吸收及机体的利用率^[11]。

3 结 论

比较普通草鱼和不同脆化周期脆肉鲩的肌肉胶原蛋白含量、矿物元素含量和脂肪酸组成后发现，肌肉胶原蛋白含量显著性增加，并在脆化后期（CGC5）达到最大值1.61 g/100 g，比普通草鱼高57.84%（ $P=0.000$ ）；普通草鱼与脆肉鲩肌肉均含有丰富的矿物元素，但肌肉的Ca、Mg含量随着脆化时间的延长而显著增加；普通

草鱼的Fe、Cu含量却显著低于脆肉鲩；不同脆化周期鱼肉的Zn、Cd和Cr含量差异不显著；不同脆化周期肌肉中共检出17种脂肪酸，其中6种SFA，4种MUFA，7种PUFA，随着脆化时间的延长，肌肉的DHA和EPA含量均有所下降。综合考虑，投喂饲料改变肉质的同时，肌肉胶原蛋白和Ca、Mg含量显著增加，Fe、Cu含量和PUFA总量有所下降。

参考文献：

- [1] 艾鹭, 文勇立, 傅昌秀, 等. 金川多胸椎牦牛宰杀后肌肉矿物质、脂肪酸及肉色分析[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 251-256. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201316051.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 邝雪梅, 张环, 陈斌, 等. 草鱼脆化前后肌肉营养成分及其红细胞中葡萄糖-6-磷酸脱氢酶含量的比较[J]. 海南大学学报, 2004, 22(3): 258-261.
- [6] 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.
- [7] CHRISTENSEN M, ERTBJERG P, FAILLA S, et al. Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds[J]. Meat Science, 2011, 87(1): 61-65.
- [8] NISHIMURA T. The role of intramuscular connective tissue in meat texture[J]. Animal Science Journal, 2010, 81(1): 21-27.
- [9] LIN Wanling, ZENG Qingxiao, ZHU Zhiwei, et al. 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.
- [10] 刘邦辉, 郁二蒙, 谢骏, 等. 脆肉鲩鱼皮和肌肉胶原蛋白的理化特性及其影响因素研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(2): 200-204.
- [11] 伦峰, 冷向军, 李小勤, 等. 投喂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.
- [12] 武华, 阴晓菲, 罗永康, 等. 腌制鳊鱼片在冷藏过程中品质变化规律的研究[J]. 南方水产科学, 2013, 9(4): 70-75.
- [13] 曾名勇, 黄海. 几种鱼类胶原蛋白含量在冻藏过程中的变化[J]. 食品科学, 2004, 25(2): 183-186.
- [14] 姜启兴, 吴佳芮, 许艳顺, 等. 鳊鱼不同部位的成分分析及营养评价[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 183-187. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201405036.
- [15] 伍芳芳, 林婉玲, 李来好, 等. 草鱼脆化过程中肌肉品质变化[J]. 南方水产科学, 2014, 10(4): 70-77.
- [16] BREMNER H A, HALLETT I C. Degradation in muscle fibre-connective tissue junctions in the spotted trevalla (*Geriolella punctata*) examined by scanning electron microscopy[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1986, 37(10): 1011-1018.
- [17] BOSSELMANN A, MÖLLER C, STEINHART H, et al. Pyridinoline cross-links in bovine muscle collagen[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(5): 953-958.
- [18] CHRISTENSEN L, ERTBJERG P, LØJE H, et al. Relationship between meat toughness and properties of connective tissue from cows and young bulls heat treated at low temperatures for prolonged times[J]. Meat Science, 2013, 93(4): 787-795.
- [19] 甘承露. 脆肉鲩肌肉特性及其贮藏稳定性的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010: 16.
- [20] WOOD J D, RICHARDSON R I, NUTE G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review[J]. Meat Science, 2003, 66(1): 21-32.
- [21] 刘冬敏, 王建辉, 刘永乐, 等. 草鱼肌肉脂肪酸组成及其在冷藏中的含量变化[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 194-198.
- [22] HWANG K T, KIM J E, KANG S G, et al. Fatty acid composition and oxidation of lipids in Korean catfish[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2004, 81(2): 123-127.
- [23] 张高静, 韩丽萍, 孙剑锋, 等. 南美白对虾营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 254-260.