

脆肉鲩不同部位肌肉的质构特征分析

林婉玲, 王瑞旋, 王锦旭, 候小桢, 章斌, 刘谋泉

(韩山师范学院食品工程与生物科技学院, 广东潮州 521041)

摘要: 为了探讨影响脆肉鲩肌肉不同部位质构的因素, 以基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、矿物质为对象进行了研究。结果显示, 三个部位的硬度、弹性和咀嚼性之间的差异性显著 ($p<0.05$)。腹部的水分、粗蛋白和灰分均比背部和尾部低, 而脂肪含量却最高, 说明背部的脆性与低水分、高蛋白、低脂肪含量有关。对于氨基酸, 背部的甘氨酸和脯氨酸含量分别比腹部和尾部高 11.45%、25.49% 和 8.08%、6.67%, 且含硫氨基酸含量最高, 但含羟基氨基酸的含量却最低, 而背部和尾部的疏水性氨基酸含量分别比腹部高出 3.96% 和 2.88%, 说明了高甘氨酸、脯氨酸、含硫氨基酸和疏水性氨基酸是决定脆肉鲩不同部位特殊脆性的关键因素。三个部位的油酸、棕榈油酸和亚油酸与质构存在极强的相关性; 对于矿物质, K、Na 和 Ca 是脆肉鲩肌肉中主要的矿物质, 不同部位的 K、Na 和 Ca 具有显著性差异 ($p<0.05$), 而尾部的 Fe、Zn、Cu 含量与背部和腹部具有非常显著差异 ($p<0.01$), 进一步说明脆肉鲩不同部位的脆性与金属含量的差异有关。总而言之, 脆肉鲩不同部位肌肉质构特征的差异与肌肉中的物质密切相关。

关键词: 脆肉鲩; 不同部位; 质构; 影响因素

文章篇号: 1673-9078(2020)03-211-218

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.028

Texture Analysis of Different Parts of Muscles in Crisp Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V)

LIN Wan-ling, WANG Rui-xuan, WANG Jin-xu, HOU Xiao-zhen, ZHANG Bin, LIU Mou-quan

(School of Food Engineering and Biotechnology, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, China)

Abstract: In order to investigate the factors affecting textural characteristics in different parts muscles of crisp grass carps (CGC), the basic nutritional compositions, amino acids, fatty acids and minerals were compared. The results indicated that the differences in the hardness, springiness and chewiness among the back, abdomen and tail in CGC muscles were significant ($p<0.05$). Compared to the back and tail in CGC muscles, the contents of water, crude protein and ash in abdomen were lower, whereas the content of crude fat of the abdomen was the highest. These results illustrated that the textural characteristics of the back muscle might be related with the higher protein content and lower water, fat contents of CGC. For amino acid composition, the contents of glycine and proline in the back muscle were higher by 11.45%, 25.49% and 8.08%, 6.67%, respectively, than that of the abdomen and the tail. The content of sulfur amino acids in the back muscle was the highest, whereas the content of hydrophilic amino acids in the back was the lowest. Moreover, compared to the abdomen muscle, the contents of hydrophobic amino acids of the back and the tail muscle were higher by 3.96% and 2.88%, respectively. The results of amino acid composition further indicated that the higher contents of glycine, proline, sulfur amino acids and hydrophobic amino acids might be the key factors to determine the textural characteristics of CGC. In addition, the oleic acid, palmitic acid and linoleic acid of the back muscle, abdomen and tail muscle were highly correlated with their texture characteristics. For minerals, K, Na, and Ca were the major minerals in CGC muscle, and these three minerals in the back, the abdomen and the tail muscle had significant differences ($p<0.05$). Moreover, the differences of the contents of Fe, Zn and Cu among the tail and the back, the abdomen muscle were very significant ($p<0.01$). These results further illustrated the differences in texture of the

引文格式:

林婉玲,王瑞旋,王锦旭,等.脆肉鲩不同部位肌肉的质构特征分析[J].现代食品科技,2020,36(3):211-218

LIN Wan-ling, WANG Rui-xuan, WANG Jin-xu, et al. Texture analysis of different parts of muscles in crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 211-218

收稿日期: 2019-09-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31972108)

作者简介: 林婉玲 (1979-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品加工与质量安全

通讯作者: 王锦旭 (1985-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品加工与质量安全

three parts of CGC. Concludly, the differences of texture in CGC muscle among the three parts were closely related to the substances in the CGC muscle.

Key words: crisp grass carp; different parts; texture; influence factors

脆肉鲩 (*Ctenopharyngodon idellus* C.et V) 是用蚕豆喂养一定重量的普通鲩鱼至肉质变脆的一种鲩鱼^[1]。与普通鲩鱼相比,脆肉鲩肉质紧密而脆,鱼肉肌丝坚韧不易断,具有更好的硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性等^[2]。目前脆肉鲩主要是鲜活销售,随着养殖量的增长,部分脆肉鲩以不同部位切割冻结形式出售。但是,不同部位脆肉鲩肌肉存在质构差异,这些差异是由什么因素决定,还少见研究。

在鱼类的肌肉中,肌肉的品质与营养成分、口感等因素有关^[3],而肌肉营养成分决定了肌肉品质,其中脂肪和蛋白质含量与鱼肉的风味和口感密切相关。徐文杰等^[4]利用近红外光谱技术分析得出草鱼鱼肉蛋白质含量为 18.00%~26.00%,粗脂肪含量为 2.08%~4.36%,水分含量为 70.80%~81.20%;另外,脆肉鲩鱼肉中粗蛋白、脂肪和灰分含量和质构特性均比普通鲩鱼高^[5],而脆肉鲩的脆性形成与脆化过程中的化学成分、超微结构的改变密切相关^[6,7]。

目前,鱼体中不同部位营养成分及质构特性存在明显的差异。有研究指出,大目金枪鱼赤身部位肌肉的氨基酸和 DHA、EPA 等多不饱和脂肪酸相对含量均高于中腹和大腹^[8]。鳙鱼背部肌肉蛋白质的相对含量比腹部和尾部高^[9]。对于脆肉鲩来说,差异更加明显。研究指出,脆肉鲩鱼背部肌肉与和腹部肌肉的质构特性差异显著,腹肌的硬度低于背肌,但弹性、咀嚼性和回复性高于背肌^[10,11],但对于尾部肌肉质构特性的变化未见研究。在脆肉鲩的不同部位肌肉中,脆性的差异是受哪些因素影响?在背部和腹部中,脆肉鲩背部肌肉和腹部肌肉的水分、灰分、粗蛋白含量、粗脂肪含量^[11]、肌纤维直径和肌纤维密度^[10]都存在一定的差异。在前期的研究发现,水分、脂肪含量、蛋白质等成分对脆肉鲩鱼背肌质构特性的影响,高蛋白含量、高肌浆蛋白含量、高肌原纤维蛋白含量、高基质蛋白含量是决定脆肉鲩鱼脆性的因素^[12]。但是,肌肉中的化学成分对脆肉鲩不同部位脆性的影响少见报道。目前脆肉鲩的出塘重量平均在 4 kg 以上,在实际的加工以及烹饪过程中大部分对其进行分割后进行,所以,探讨脆肉鲩不同部位质构特性的分布规律,对促进脆肉鲩加工业的发展具有重要的意义。

因此,本文以脆肉鲩的背部肌肉、腹部肌肉和尾部肌肉为对象,研究三个部位质构特性的分布规律以及影响不同部位质构的因素,可为脆肉鲩合理加工和

综合利用等方面提供基础研究数据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

新鲜脆肉鲩(质量约 4.8 kg),广东中山脆肉鲩某养殖场;石油醚、盐酸、硼酸、氢氧化钠、硫酸钾、硝酸银等,均为分析纯。

Kjeltec™2300 型蛋白自动分析仪,丹麦 Foss 公司; Soxtec™2050 脂肪自动分析仪,丹麦 Foss 公司; TA-XT2 型质构仪,美国 Stable Micro Systems 公司; 高效液相色谱,美国 Waters; Agilent 7900 电感耦合等离子体质谱仪,美国安捷伦公司; CEMMARS5 高压高通量微波消解装置,美国 CEM 有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 质构测定

质构的测定根据丁莫等^[13]方法进行。测试速率为 30 mm/min; 压缩距离为 4 mm; 触发值 5 g, 循环 2 次, 间隔 5 s; 压缩比 50%; 触发类型为自动; 测试模式为 TPA。所有样品平行测定 10 次, 结果取平均值。

1.2.2 基本营养成分的测定

水分含量采用 105 °C 常压干燥法, 根据 GB 5009.3-2016 规定的方法进行; 灰分采用马弗炉灼烧法测定, 根据 GB 5009.4-2016 规定的方法进行; 粗蛋白采用凯氏定氮法测定, 根据 GB 5009.5-2016 规定的方法进行; 粗脂肪采用索氏抽提法测定, 根据 GB 5009.6-2016 规定的方法进行。

1.2.3 脂肪酸的测定

用 Folch 液提取鱼肉中的脂肪, 利用气相色谱进行分析, 具体方法根据 Folch^[14]和吴燕燕^[15]等人方法进行, 并略作修改。

1.2.4 氨基酸的测定

肌肉样品中 16 种氨基酸测定根据 GB 5009.124-2016 中规定的方法进行。色氨酸的测定根据段亚飞^[16]等人的方法进行。

1.2.5 矿物质的测定

采用微波消解 ICP-MS 测定, 根据林亚楠等^[17]方法进行。称取样品 0.500 g 置于聚四氟乙烯消解管中, 加入 10 mL HNO₃, 按照微波消解程序消解样品, 冷却至室温, 将消化液转移至 50 mL 离心管中, 用超纯水

清洗消解管 2~3 次后定容至 50 mL。Zn、Cu、Ca 等元素采用电感耦合等离子体质谱法测定。

1.3 数据分析

用 SPSS 13.0 和 Excel 对数据进行统计分析和处理, 数据结果用 $\text{mean} \pm \text{SD}$ 表示, $p > 0.05$ 表示差异不显著, $p < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 脆肉鲩不同部位肌肉质构特性

脆肉鲩的肉质特性体现为肉质紧脆、久煮不烂, 其特殊脆性主要是熟脆肉鲩鱼肉在人体口腔中的综合感觉, 而这种感觉与鱼肉的硬度、咀嚼性、弹性等紧密相关。从表 1 可知, 脆肉鲩背部肌肉的硬度最高, 其次是尾部, 最低是腹部, 背部分别比腹部和尾部高出 35.60% 和 1.27%, 由 t-检验分析发现, 背部硬度与尾部的无显著性差异 ($p > 0.05$), 腹部与背部和尾部均有显著性差异 ($p < 0.05$)。对于弹性来说, 背部肌肉和腹部肌肉的弹性均比尾部的高, 各部位硬度从高到低分别是: 背部 > 腹部 > 尾部, 三者之间无显著性差异 ($p > 0.05$)。对于咀嚼性来说, 腹部最高, 分别比背部和尾部高出 12.97% 和 37.06%, 其次是背部, 最低的是尾部, 并且三者之间具有非常显著差异 ($p < 0.01$)。在前期的研究发现, 决定脆肉鲩特殊脆性的主要因素是脆肉鲩区别于鲩鱼的肌肉成分含量所决定, 如高蛋白、低水分含量等等因素^[12], 那么脆肉鲩肌肉不同部位间质构特性的差异是由哪些因素所决定的。

表 1 脆肉鲩不同部位肌肉质构特性

Table 1 Texture characteristics of crisp grass carp in different muscle parts

部位	硬度/g	弹性	咀嚼性/g
背部	222.50±85.74 ^a	0.71±0.08	2.39±0.94 ^a
腹部	164.08±38.63 ^b	0.67±0.06	2.70±0.85 ^b
尾部	219.69±29.44 ^a	0.63±0.02	1.97±0.32 ^c

注: 表中每列以不同字母上标表明差异显著 ($p < 0.05$)。

表 2、3 同。

2.2 基本化学组成对脆肉鲩不同部位质构特性的影响

蛋白质和水分含量是鱼肉中两个主要的成分。从表 2 可以看出, 腹部的水分含量、粗蛋白含量、灰分和粗脂肪含量分别与背部和尾部具有显著性差异 ($p < 0.05$)。背部的水分含量和脂肪含量与尾部的具有

显著性差异 ($p < 0.05$), 粗蛋白和灰分无显著性差异 ($p > 0.05$)。腹部的水分含量、粗蛋白含量和灰分最低, 分别比背部和尾部低 5.33%、2.15%、11.45% 和 7.84%、1.29%、10.53%, 而腹部的脂肪含量最高, 分别比背部和尾部高 25.68% 和 33.31%, 三者之间差异性显著 ($p < 0.02$)。在本研究中, 腹部肌肉的基本化学成分与背部和尾部的差异性最大, 并且质构特性也与背部和尾部差异性最大, 说明不同部位的不同质构特征与不同的基本成分含量有一定的关系。对于水分来说, 鱼肉中水分大部分是自由水, 具有溶剂的作用, 小部分为结合水, 而结合水通过与蛋白质及碳水化合物羧基、羟基、氨基、亚基等形成氢键而结合, 形成肌肉的主体结构, 而鱼肉组织的结构决定肌肉的质构。有研究指出, 高水分含量和高脂肪含量会使鱼肉的机械强度降低^[18], 并且硬度与脂肪含量成反比^[19]。在脆肉鲩肌肉的不同部位中, 腹部的低水分含量使水的溶剂作用减弱从而使该部位肌肉的咀嚼性增加, 高脂肪含量使其硬度降低。蛋白质是鱼肉最主要的成分, 肌肉的主要骨架是由各种蛋白质通过各种共价键或非共价键的作用与其它物质(如脂肪、水分、矿物质)形成的。有研究指出, 鱼肉的硬度与水分含量和蛋白含量密切相关, 高蛋白含量和低水分含量使硬度增大^[20]。在本研究中, 背部的低水分含量、高蛋白含量和低脂肪含量从而使其的硬度及弹性较高。由此可见, 脆肉鲩不同部位中基本营养成分的差异对其的质构特征起一定的影响作用。

表 2 脆肉鲩不同部位肌肉中水分、蛋白质、粗脂肪和灰分

Table 2 The contents of moisture, crude protein, ash and crude fat of crisp grass carp in different muscle parts

部位	水分	粗蛋白	灰分	粗脂肪
背部	69.37±0.69 ^a	17.21±0.54 ^a	0.96±0.01 ^a	13.28±1.76 ^a
腹部	65.86±0.14 ^b	16.84±0.39 ^b	0.85±0.18 ^b	16.69±1.13 ^b
尾部	71.46±0.46 ^c	17.06±0.18 ^a	0.95±0.17 ^a	12.52±1.19 ^c

2.3 氨基酸对脆肉鲩不同部位肌肉质构特性的影响

氨基酸是组成蛋白质的基本单位, 氨基酸的种类、数目以及氨基酸连接顺序决定了蛋白质的结构和功能。a-氨基酸是蛋白质基本构成单位。2.2 的研究显示, 脆肉鲩腹部肌肉的蛋白质含量与背部和尾部存在明显的差别, 氨基酸作为蛋白质的基础组成物质, 不同部位肌肉的氨基酸含量也存在明显的差别。由图 1 可见, 不同部位氨基酸组成没有差别, 三者的氨基酸组成一致, 但三者的氨基酸含量差异很明显。在所有氨基酸

中, 谷氨酸是背部、腹部和尾部肌肉中含量最高的氨基酸, 分别为 2.36 g/100 g、2.18 g/100 g 和 2.21 g/100 g, 其中腹部的比背部和尾部的分别低 7.62% 和 1.36%。其次是天冬氨酸、赖氨酸和亮氨酸。甘氨酸和丙氨酸也是脆肉鲩肌肉中含量比较高的氨基酸, 其中背部肌肉的甘氨酸含量分别比腹部肌肉和尾部肌肉高 11.46% 和 8.08%。对于脯氨酸来说, 背部肌肉的脯氨酸含量分别比腹部和尾部的高出 25.49% 和 6.67%。在蛋白质的二级结构中, α -螺旋和 β -折叠结构是主要的两种二级结构, 这两种结构的稳定性与氨基酸的组成有关。脯氨酸和甘氨酸是最主要的两种氨基酸。 α -螺旋是靠链内氢键来维持, 脯氨酸是亚氨基酸, 它参与的肽键中的二面角 φ 受到限制, 并且酰胺 N 上没有 H 可提供形成氢键, 不利于 α -螺旋的形成。另外, 甘氨酸没有侧链的取代基团, 它参与的肽链容易旋转使 α -螺旋不稳定。前期研究发现, 脆肉鲩特殊的脆性与其高 β -折叠和低 α -螺旋结构有关^[12]。在本研究中, 背部肌肉的甘氨酸和脯氨酸均比腹部和尾部的高, 这种高甘氨酸和脯氨酸使蛋白质的 α -螺旋结构不稳定, 向 β -折叠结构转化, 从而使背部肌肉的硬度更高。

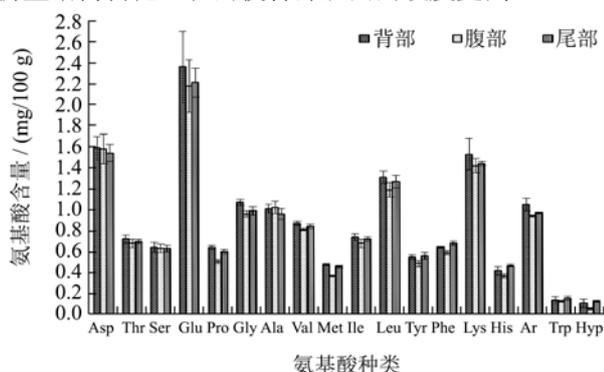


图1 脆肉鲩不同部位肌肉氨基酸组成

Fig.1 The components of amino acids in different muscle parts of crisp grass carp

表3 脆肉鲩不同部位肌肉不同R-基氨基酸占总氨基酸的含量 (%)

Table 3 Different type R-bases of amino acids in different muscle parts of crisp grass carp (%)

部位	含硫氨基酸	含羟基氨基酸	含羧基氨基酸	亲水性氨基酸	疏水性氨基酸
背部	3.02 ^a	8.57 ^a	28.54 ^a	15.88 ^a	41.20 ^a
腹部	2.53 ^b	8.97 ^b	28.88 ^b	15.90 ^a	39.63 ^b
尾部	3.00 ^a	8.70 ^c	28.70 ^b	15.85 ^a	40.77 ^c

由于蛋白质是由 18 种不同的 α -氨基酸通过酰胺键的连接, 并由这些氨基酸不同性质的侧链基团通过不同的化学键形成的高分子物质。更重要的是, 蛋白质的空间结构、稳定性及功能性很大部分取决于组成

蛋白的氨基酸种类, 因为不同氨基酸的侧链基团不一样, 形成的蛋白质的结构也不一样。从表 3 可以看出, 构成脆肉鲩不同部位肌肉蛋白的不同性质侧链基团的氨基酸的含量有明显差别。脆肉鲩背部肌肉的含硫氨基酸含量最高, 背部和尾部分别比腹部高出 19.37% 和 18.58%, 但含羟基氨基酸的含量却分别比腹部的低 4.5% 和 3.0%。氨基酸侧链基团的相互作用使蛋白质形成稳定的高级结构。含硫氨基酸在蛋白质分子中形成二硫键(S-S)、碳硫键(C-S)和巯基(-SH), 特别是二硫键对蛋白质结构的稳定更加重要。在前期的研究中, 脆肉鲩的特殊脆性与蛋白质的热稳定性密切相关, 稳定性越好, 硬度越大^[12]。含硫氨基酸在蛋白质分子中形成二硫键(S-S)、碳硫键(C-S)和巯基(-SH), 特别是二硫键更有利于蛋白质结构的稳定性。在脆肉鲩的不同部位肌肉中, 背部和尾部肌肉的含硫氨基酸与腹部的含量具有显著性差异 ($p < 0.008$), 进一步证明了不同部位质构特性与构成肌肉蛋白质的氨基酸侧链有关。

氨基酸的疏水性是影响蛋白质和肽的物理化学性质, 如结构、溶解度和结合脂肪的能力^[19]。氨基酸的组成影响着蛋白质的热稳定性, 含有较高比例疏水性氨基酸残基 (尤其是 Val、Ile、Leu 和 Phe) 的蛋白质比亲水性较强的蛋白质更为稳定^[19]。在蛋白质中, 极性基团之间和非极性基团之间的相互作用是蛋白质形成高级结构的基础, 氨基酸基团之间的相互作用结果决定蛋白的性质, 并最终影响肌肉的性质。从表 3 可以看到, 背部肌肉和尾部肌肉所含有的亲水性氨基酸比腹部的少, 不过三者之间无显著性差异 ($p > 0.05$)。但是, 三者的疏水性氨基酸含量具有显著性差异 ($p < 0.03$), 背部的和尾部的疏水性氨基酸含量分别比腹部的高出 3.96% 和 2.88%。结果进一步证明了低亲水性氨基酸含量和高疏水性氨基酸的含量决定了背部、腹部、尾部肌肉中蛋白质三级结构的不同, 从而使不同部位的肌肉在质构上产生差别。

2.4 脂肪酸对脆肉鲩不同部位肌肉质构的影响

肌内脂肪是存在于肌外膜、肌束膜及肌内膜上的一类脂肪^[21], 肌束膜和肌内膜的厚度是决定肌肉质构的因素之一。在前期的研究中, 脆肉鲩的特殊质构特性与肌肉高的肌束膜厚度密切相关^[22,23]。脂肪作为肌束膜和肌内膜的结构物质之一, 其组成对肌束膜的结构密切相关, 而脂肪酸是构成脂肪的重要物质, 在肌束膜和肌内膜的结构中同样起着重要的作用。由表 4 可知, 脆肉鲩不同部位肌肉的脂肪酸种类一样, 含有 7 种饱和脂肪酸 (SFA), 6 种单不饱和脂肪酸

(MUFA)和9种多不饱和脂肪酸(PUFA)。对于SFA来说,棕榈酸是最主要的脂肪酸,其次是硬脂酸。背部、腹部和尾部的棕榈酸和硬脂酸含量分别占总脂肪酸含量的19.71%、18.59%、16.30% ($p < 0.05$)和3.77%、5.30%和6.97%。对MUFA来说,占总脂肪酸的比例最高,背部、腹部和尾部分别占总脂肪酸的51.40%、47.07%和51.88%。在这三个部位中,均是油酸(C18:1n9c)含量最高,其次是棕榈油酸(C16:1n7),这两种单不饱和脂肪酸的含量排序均是背部>尾部>腹部。对PUFA来说,亚油酸(C18:2n6c)是三个部位中最主要的饱和脂肪酸,其次是 α -亚麻酸(C18:3n3),这两种多不饱和脂肪酸均是腹部含量最高,分别占总脂肪酸的20.89%和1.99%,其中三个部位的亚油酸含量从大到小的排序为腹部>背部>尾部。

从表1可知,三个部位的硬度从大到小的排序为背部>尾部>腹部,咀嚼性从大到小的排序为腹部>背部>尾部。结合三个部位的质构变化规律,可以看出

三个部位的油酸和棕榈油酸的分布规律与硬度一致,而三个部位的亚油酸分布规律与咀嚼性一致。通过相关性分析发现(见表5),除了背部硬度、咀嚼性和弹性与棕榈油酸的相关性低于0.9,其他各个部位的质构指标与棕榈油酸、油酸和亚油酸的含量的相关系数均在0.9以上,说明各部位的质构指标与这三种脂肪酸均存在极强的相关性,表明脆肉鲩肌肉不同部位质构的差异与脂肪酸含量的差异有关。在脆肉鲩肌肉中,油酸、棕榈油酸和亚油酸是最主要的三种脂肪酸,是构成肌肉脂质的主要物质,肌肉中的蛋白质通过各种共价键或非共价键的作用与脂肪酸、磷脂等形成肌肉稳定的组织结构,从而使脆肉鲩肌肉具有特殊的脆性。肌肉内长链脂肪酸与肌肉某些蛋白质进行非共价的高度结合,通过转运进入到肌细胞内到达线粒体^[24]。但是,脂肪酸如何与蛋白质的作用使脆肉鲩肌肉形成其特殊的脆性有待于进一步的研究。

表4 脆肉鲩不同部位肌肉脂肪酸组成及含量 (g/100 g)

Table 4 Fatty acid composition in different muscle parts of crisp grass carp (g/100 g)

脂肪酸	背部	腹部	尾部
肉豆蔻酸(C14:0)	1.24±0.05	1.14±0.06	1.12±0.05
十五碳酸(C15:0)	0.16±0.02	0.16±0.01	0.12±0.02
棕榈酸(C16:0)	19.70±0.23	18.60±1.17	15.39±2.37
十七酸(C17:0)	0.12±0.02	0.14±0.02	0.11±0.01
硬脂酸(C18:0)	3.77±0.13	5.30±1.07	6.58±0.84
花生酸(C20:0)	0.16±0.03	0.17±0.02	0.23±0.01
二十二碳酸(C22:0)	0.03±0.01	0.03±0.01	0.05±0.01
∑SFA	25.18	25.54	23.60
肉豆蔻油酸(C14:1n5)	0.08±0.01	0.05±0.01	0.06±0.01
棕榈油酸(C16:1n7)	8.12±0.17	5.93±1.21	7.13±0.23
油酸(C18:1n9)	41.70±1.26	39.70±2.33	40.50±3.07
二十碳一烯酸(C20:1)	1.39±0.08	1.34±0.03	1.25±0.05
芥酸(C22:1n9)	0.05±0.01	0.04±0.01	0.03±0.01
二十四碳一烯酸(C24:1n9)	0.03±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
∑MUFA	51.37	47.09	48.99
亚油酸(C18:2n6)	17.20±1.09	20.90±1.48	15.99±1.03
γ -亚麻酸(C18:3n6)	0.20±0.03	0.27±0.03	0.13±0.08
α -亚麻酸(C18:3n3)	1.50±0.12	1.99±0.07	1.86±0.17
二十碳二烯酸(C20:2)	0.82±0.04	0.69±0.02	0.75±0.09
二十碳三烯酸(C20:3n6)	0.86±0.03	0.88±0.06	0.75±0.04
花生四烯酸ARA(C20:4n6)	1.64±0.09	1.67±0.13	1.70±0.09
二十碳三烯酸(C20:3n3)	0.10±0.02	0.11±0.02	0.08±0.01
二十碳五烯酸(C20:5n3)	0.17±0.01	0.17±0.01	0.08±0.02
二十二碳六烯酸(C22:6n3)	0.91±0.03	0.72±0.04	0.50±0.03
∑PUFA	23.40	27.40	21.84

表 5 脆肉鲩不同部位肌肉脂肪酸与不同部位质构的相关性

Table 5 The correlation coefficient among the Fatty acid and

TPA of different muscle parts of crisp grass				
项目	硬度	咀嚼性	弹性	
背部	棕榈油酸	0.421	0.825	0.590
	油酸	0.942	0.982	0.989
	亚油酸	0.892	0.998	0.963
腹部	棕榈油酸	0.960	0.993	0.937
	油酸	0.977	0.928	0.990
	亚油酸	0.976	0.999	0.957
尾部	棕榈油酸	1.000*	0.996	0.978
	油酸	1.000*	0.996	0.979
	亚油酸	0.974	0.994	0.918

2.5 矿物质元素对脆肉鲩不同部位肌肉质构

的影响

表 6 脆肉鲩不同部位肌肉矿物元素含量 (mg/kg)

Table 6 Mineral elements composition in different muscle parts

of crisp grass carp (mg/kg)				
元素	背部	腹部	尾部	
K	2500±4.23 ^a	2340±3.27 ^b	2210±5.13 ^c	
Na	123±1.42 ^a	75.8±1.03 ^b	112±2.24 ^c	
Ca	31.20±1.72 ^a	29.80±1.17 ^a	25.30±1.23 ^c	
Mg	166±3.17 ^a	167±2.35 ^a	164±2.23 ^a	
Fe*	2.75±0.31 ^a	2.52±0.14 ^a	9.82±0.23 ^c	
Zn*	1.75±0.03 ^a	1.53±0.12 ^a	4.52±0.73 ^c	
Cu*	3.53±0.83 ^a	0.15±0.03 ^b	8.87±0.73 ^c	
Mn*	0.27±0.02 ^a	0.25±0.01 ^a	0.25±0.03 ^a	
Sr*	0.45±0.01 ^a	0.45±0.02 ^a	0.44±0.01 ^a	
Cr*	0.15±0.01 ^a	0.15±0.02 ^a	0.13±0.01 ^a	

注：*为微量元素；表中每列以不同字母上标差异显著 ($p<0.05$)。

矿物质是肌肉中重要的物质之一，对维持机体正常生长发育及正常生理功能起着重要的作用，同时也对肌肉的肉质特性起着影响作用。从表 6 可知，K、Na、Mg 和 Ca 是脆肉鲩肌肉中主要的矿物质，其中不同部位的 K、Na 和 Ca 具有显著性差异 ($p<0.02$)，而三个部位的 Mg 含量无显著性差异 ($p>0.05$)。背部肌肉的 K 和 Ca 含量最高，分别比腹部和尾部的高出 6.84%、13.12% 和 4.70%、23.32%，而 Na 腹部最低，分别比背部和尾部低 38.37% 和 32.32%。K、Na 是维持肌肉细胞中的通透性，提高肌肉的保水性。Ca 主要是对肌肉嫩度的影响，通过钙依赖蛋白酶对肌肉的嫩度起作用，这一类蛋白是巯基内切酶，通过改变细胞

骨架的形成来改变肌肉的嫩度^[25]。从表 6 还可以看出，Fe、Zn、Cu 是脆肉鲩肌肉中主要的微量元素，其中尾部肌肉的 Fe、Zn、Cu 含量与背部和腹部的含量具有非常显著差异 ($p<0.008$)，尾部的 Fe、Zn、Cu 含量分别是背部和腹部含量的 3.6 倍和 3.9 倍、2.6 倍和 3.0 倍、2.5 倍和 59.1 倍，可以推测脆肉鲩不同部位的脆性差异与不同部位金属含量的差异有关。微量元素是鱼类生长代谢过程中不可缺少的物质，通过与蛋白质的结合或者作用达到对肌肉肉质的调控。但是这些金属是如何对脆肉鲩肌肉肉质的影响有待于进一步的研究。

3 结论

本文通过研究脆肉鲩不同部位肌肉质构特征的差异，发现背部硬度分别比腹部和尾部高出 35.60% 和 1.28%，背部和腹部的弹性均比尾部的高，腹部的咀嚼性最高，分别比背部和尾部高出 12.97% 和 37.06%。对于基本营养成分来说，腹部的水分含量、粗蛋白含量和灰分分别比背部和尾部低 5.33%、2.15%、11.45% 和 7.84%、1.29%、10.53%，而腹部的脂肪含量分别比背部和尾部高 25.68% 和 33.31%。另外，背部较高的硬度与肌肉中高甘氨酸和脯氨酸含量、高的含硫氨基酸和疏水性氨基酸含量有关。对于脂肪酸来说，背部、腹部和尾部肌肉的油酸、棕榈油酸和亚油酸与三个部位的质构存在极强的相关性，说明不同部位质构的差异与这三种脂肪酸有关；对于矿物质来说，K、Na 和 Ca 是脆肉鲩肌肉中主要的矿物质，其中不同部位的 K、Na 和 Ca 具有显著性差异 ($p<0.02$)，而且尾部肌肉的 Fe、Zn、Cu 含量与背部和腹部的含量具有非常显著差异 ($p<0.008$)，分别是背部和腹部含量的 3.6 倍和 3.9 倍、2.6 倍和 3.0 倍、2.5 倍和 59.1 倍。综合以上结果，脆肉鲩背部肌肉较高的硬度与咀嚼性与其高蛋白质含量、低水分含量和脂肪含量、高甘氨酸和脯氨酸含量、高含硫氨基酸和疏水性氨基酸含量密切相关，同时脆肉鲩不同部位肌肉的脆性与油酸、棕榈油酸和亚油酸含量及 K、Na 和 Ca、Fe、Zn、Cu 的含量密切相关，该结果可以脆肉鲩的分割及加工提供理论依据。

参考文献

- [1] 林婉玲,丁莫,王锦旭,等.包装方式和材料对调理脆肉鲩鱼片冷藏过程品质的影响[J].农业工程学报,2018,34(2):284-291
- LIN Wan-lin, DING Mo, WANG Jin-xu, et al. Effects of packaging methods and materials on quality of prepared crisp

- grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) fillets during cold storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(2): 284-291
- [2] 冯静,林婉玲,李来好,等.脆性形成过程中脆肉鲩肌肉肌浆蛋白结构变化[J].食品科学,2018,39(4):1-6
FENG Jing, LIN Wan-lin, LI Lai-hao, et al. Structural changes of muscle sarcoplasmic protein from crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) during crispness formation [J]. Food Science, 2018, 39(4): 1-6
- [3] 陈洁,李大鹏,张志敏,等.草鱼不同部位肌肉营养成分、肌纤维特性以及脂肪代谢相关基因的表达[J].淡水渔业,2017, 47(2):107-112
CHEN Jin, LI Da-peng, ZHANG Zhi-min, et al. Nutritional compositions, muscular fiber properties, and the expression of lipid metabolic related genes in different parts of muscle in *Ctenopharyngodon idella* [J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(2): 107-112
- [4] 徐文杰,李俊杰,贾丹,等.近红外光谱技术分析草鱼营养成分[J].食品科学,2013,34(20):161-164
XU Wen-jie, LI Jun-jie, JIA Dan, et al. Nutrient analysis of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) by near infrared spectroscopy [J]. Food Science, 2013, 34(20): 161-164
- [5] 朱志伟,李沛生,阮征,等.脆肉鲩鱼肉与普通鲩鱼鱼肉理化特性比较研究[J].现代食品科技,2008,24(2):109-112
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, 2008, 24(2): 109-112
- [6] 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
WU Fang-fang, LIN Wan-ling, LI Lai-hao, et al. Quality change of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) muscle during crisping process [J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(4): 70-77
- [7] Wu F F, Lin W L, Li L H, et al. Research on structural and ultra-structural changes of grass carp during different crisp periods [J]. Advanced Materials Research, 2015, 1089: 167-171
- [8] 刘书臣,李仁伟,廖明涛,等.大目金枪鱼不同部位肌肉的营养成分分析与评价[J].食品工业科技,2013,34(23):340-343
LIU Shu-chen, LI Ren-wei, LIAO Ming-tao, et al. Nutritional components analysis and quality evaluation of different muscle parts of bigeye tuna [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(23): 340-343
- [9] 姜启兴,吴佳芮,许艳顺,等.鲮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
JIANG Qi-xing, WU Jia-rui, XU Yan-shun, et al. Composition analysis and nutritional evaluation of different parts of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) [J]. Food Science, 2014 35(5): 183-187
- [10] 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):1-6
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): 1-6
- [11] 安玥琦,徐文杰,李道友,等.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[J].现代食品科技, 2015,31(5):102-108
AN Yue-qi, XU Wen-jie, LI Dao-you, et al. Changes in and correlations between textural properties and chemical components of grass carp during broad bean feeding [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(5): 102-108
- [12] 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: 1-11
- [13] 丁莫,林婉玲,李来好,等.紫苏叶水提物对调理脆肉鲩鱼片冷藏过程中品质的影响[J].食品工业科技,2017,23:250-255
DING Mo, LIN Wan-ling, LI Lai-hao, et al. Effect of water extract from perilla leaf on the quality changes of prepared crisp grass carp fillets during chilling storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 23: 250-255
- [14] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509
- [15] 吴燕燕,赵志霞,李来好,等.添加外源酶类对腌制罗非鱼品质的影响[J].南方水产科学,2018,14(4):102-111
WU Yan-yan, ZHAO Zhi-xia, LI Lai-hao, et al. Effect of adding exogenous enzymes on quality of pickled tilapia [J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(4): 102-111
- [16] 段亚飞,黄忠,林黑着,等.深水网箱和池塘养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分的比较分析[J].南方水产科学,2017,13(2):93-100
DUAN Ya-fei, HUANG Zhong, LIN Hei-zhe, et al. Comparative analysis of muscle nutrient composition between floating-cage cultured and pond-cultured Pacific white shrimps (*Litopenaeus vannamei*) [J]. South China

- Fisheries Science, 2017, 13(2):93-100
- [17] 林亚楠,涂丹,沈清,等.美国生长的鲫营养品质及关键风味物质研究[J].南方水产科学,2018,14(3):99-106
LIN Ya-nan, TU Dan, SHEN Qin, et al. Study on nutritional quality and key flavor substances of American *Carassius auratus* [J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(3): 99-106
- [18] Bourne M C. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement (2nd ed.) [M]. San Diego: Academic Press, 2002: 184
- [19] Fennema O R. 食品化学 [M].北京:中国轻工业出版社, 2003: 211,273
Fennema O R. Food Chemistry [M]. Beijing: China light industry press, 2003: 211, 273
- [20] Hatae K, Yoshimatsu F, Matsumoto J J. Role of muscle fibers in contributing firmness of cooked fish [J]. Journal of Food Science, 1990, 55(3): 693-696
- [21] 甘麦邻,堵晶晶,杨琼,等.动物肌内脂肪对肉质的影响及其分子机制研究进展[J].现代畜牧兽医,2017, 10: 51-57
GAN Mai-lin, DU Jing-jing, YANG Qiong, et al. Research progress of intramuscular fat affecting meat quality and its molecular mechanism [J]. Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2017, 10: 51-57
- [22] 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
- [23] 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 Wan-ling, GUAN Rong, ZENG Qin-xiao, 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
- [24] Glatz, J F C, Breda, E V, Vusse, G J V. Intracellular transport of fatty acids in muscle: Role of cytoplasmic fatty acid-binding protein [J]. Advances in Experimental Medicine & Biology, 1998, 441: 207-218
- [25] 于福清,文杰,陈继兰.矿物质元素对肉品质量的影响[J].国外畜牧科技,2001,28(4):42-44
YU Fu-qing, WEN Jie, CHEN Ji-lan. Influence of mineral element on meat quality [J]. Animal Science Abroad, 2001, 28(4): 42-44

(上接第 301 页)

- [11] Felipe A M, Mariana L, Igor L, et al. Konjac glucomannan and konjac glucomannan/xanthan gum mixtures as excipients for controlled drug delivery systems. Diffusion of small drugs [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2008, 349(12): 11-18
- [12] Ramírez J A, Barrera M, Morales O G. Effect of xanthan and locust bean gums on the gelling properties of myofibrillar protein [J]. 2002, 1(16): 11-16
- [13] 刘爽,刘桐,苑帅,等.以无纺布为载体的菌落总数测试片的研究[J].现代食品科技,2018,34(5):209-214,266
LIU Shuang, LIU Tong, YUAN Shuai, et al. Study on the petrifilm aerobic count plates with non-woven fabric as carrier [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(5): 209-214, 266
- [14] Silva B O, Caraviello D Z, Rodrigues A C, et al. Evaluation of petrifilm for the isolation of *Staphylococcus aureus* from milk samples [J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(8): 3000-3008
- [15] 陈文莹,杨旭芹,刘臻,等.烹调三种蔬菜对红酸汤中全反式番茄红素含量的影响[J].中国调味品,2019,44(7):1-4
CHEN Wen-ying, YANG Xu-qin, LIU Zhen, et al. Effect of cooking three kinds of vegetables on the content of all-trans lycopene in red sour soup [J]. China Condiment, 2019, 44(7): 1-4
- [16] Creton R, Jaffe L F. Chemiluminescence microscopy as a tool in biomedical research [J]. Biotechniques, 2001, 31(5): 1095-1102