养殖暹罗鳄不同部位肌肉的品质分析及评价

肖琨，王锡昌，李梦凡
（上海海洋大学食品学院，上海 201306）

摘要：为更好地综合利用养殖暹罗鳄资源，本文从营养质量、食用质量和技术质量三方面评价了养殖暹罗鳄不同部位的肌肉品质，以期为养殖产业的可持续发展提供理论支撑。结果表明：尾肉蛋白质含量（20.25%）高于腿肉（18.70%）和体肉（18.36%），但其总氨基酸含量为 70.47%，低于腿肉（72.17%）和体肉（72.58%）；尾肉的粗脂肪含量（0.98%）高于腿肉（0.70%）而低于体肉（1.12%），不饱和脂肪酸比例（68.22%）显著高于体肉（66.66%）和腿肉（64.91%），EPA 与 DHA 总比例高于体肉而略低于腿肉；各部位肌肉富含 Ca、Fe 元素，其中腿肉的微量元素最为丰富。通过系水力、蒸煮损失、pH、羟脯氨酸含量、肌原纤维断裂指数（MFI）几项品质指标检测，发现呈现白色的尾肉嫩度最佳，红色肉的腿肉次之，粉红色的体肉肉质较差；质构分析发现硬度、胶粘性、咀嚼性及回复性呈现腿肉>尾肉>体肉的规律。以上结果表明养殖暹罗鳄肉是一种营养价值和食用价值很高的优质新型肉类，具有广阔的开发前景。

关键词：养殖暹罗鳄；不同部位；营养评价；质构特性
文章篇号：1673-9078(2014)7-124-130

Analysis and Evaluation of Muscle Quality in Different Edible Parts of Farmed *Crocodylus siamensis*

XIAO Kun, WANG Xi-chang, LI Meng-fan
(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Nutritional quality, eating quality and technological quality of different edible parts of farmed Crocodylus siamensiswere evaluated to provide theoretical directions for its further comprehensive utilization and sustainable development of aquaculture industry. The results showed that the protein content in tail (20.25%) was higher than that of leg (18.70%) and torso (18.36%), but the total amino acid (TAA) in tail (70.47%) was lower than that of leg (72.17%) and torso (72.58%). The fat content in tail (0.98%) was higher than in leg (0.70%) but lower than in torso (1.12%). The unsaturated fatty acid (UFA) ratio in tail (68.22%) was significantly higher than that of body (66.66%) and leg (64.91%). Total proportions of EPA and DHA were richer in leg muscle than that of tail and body. Farmed *Crocodylus siamensis* muscle, especially in leg, was rich in Ca, Zn, Fe elements. According to the detection of several indicators, WHC, cooking loss, pH, hydroxyproline content and myofibril fragmentation index (MFI), the muscle quality was evaluated. It was found that the tenderness of white tail muscle was the best, followed by red leg muscle; and torso muscle had the poorest tanderness. Texture profile analysis showed that hardness, adhesiveness, chewiness and resilience presented a rule as leg muscle > tail muscle > body muscle. These results indicated that farmed *Crocodylus siamensis* muscle had high nutritional, edible value and development prospect.

Key words: farmed *Crocodylus siamensis*; different parts; nutritional evaluation; textural characteristic

鳄鱼（*Crocodylus*）属爬行纲(*Reptile*)，鳄形目(*Crocodiliformes*)，其皮革制品在全世界以奢华稀有著称，极大地促进其养殖业的发展。我国自 1993 年开始引进并养殖鳄鱼，品种有暹罗鳄（*Crocodylus siamensis*）、凯门鳄（*Caiman crocodilus*）、尼罗鳄（*Crocodylus niloticus*）湾鳄（*Crocodylus Porosus*）、美洲鼍（*Alligator mississipiensis*）等约 10 余种，约 98416 尾[1]，其中以繁殖能力强、成本低、见效快的暹罗鳄数量居多。2005 年，中国国家林业局批准暹罗鳄列入首批可商业经营利用野生动物名录[2]，这为发展暹罗鳄的养殖提供了有力的政策依据。广州香江鳄鱼养殖场、广东贞山鳄鱼养殖有限公司、安徽省宣城扬

收稿日期：2014-03-10
基金项目：上海市科委工程中心建设(11DZ2280300)；上海市教委重点学科建设项目(J50704)；上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心（ZF1206）
作者简介：肖琨（1989-），女，硕士研究生，研究方向：食品营养与品质评价
通讯作者：王锡昌(1964-)，男，教授，博导，研究方向：食品营养与品质评价

子鳄繁育研究中心[3]，这三家单位的存鳄量在全国领先，鳄鱼人工繁殖和饲养技术方面的经验解决了种苗问题，为我国鳄鱼养殖的产业化以及综合利用打下基础。暹罗鳄大量养殖为皮革生产提供原料，剥皮后剩余部分仍是可利用的生物资源，但目前尚未得到有效利用，造成了生物资源的浪费，也在一定程度上阻碍鳄鱼产业的发展。已有学者提出鳄鱼产业的可持续发展的大趋势[3]，如何物尽其用是解决暹罗鳄生物资源浪费的关键。肌肉是去皮后暹罗鳄的主要可食部分，如对尚属于新型肉类的暹罗鳄肉进行加工利用，首要前提是了解其对人体营养有何益处，食用过程中起到感官刺激作用的色、香、味及外观如何，以及适合加工成何种肉类产品以促进市场接受度。目前对于鳄鱼的研究集中在其血液、肉、皮、骨及内脏的食用及药用保健价值[4]，但对其肌肉的营养评价不够全面，食用及加工品质更鲜有报道。周光宏等[5]对肌肉品质已进行系统归纳：食用、营养、技术和卫生质量。营养质量是指蛋白质含量及氨基酸组成、脂肪含量及脂肪酸组成等，用于评价肉类对人体营养的可利用价值，而食用质量（包括色泽、嫩度、多汁性）以及技术质量（系水力、pH、结缔组织含量、质构特性等）是评价肉品以及肉品加工的综合指标。因此本文以养殖暹罗鳄为对象，从营养、食用和技术质量三方面对其肌肉品质进行综合的分析比较与评价，旨在补充暹罗鳄肌肉的营养学及品质特性数据，为日后暹罗鳄的开发利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 原料

实验用 1.5 龄养殖暹罗鳄采自江苏省昆山市正鑫鳄鱼开发有限公司，平均体重为（18.65±1.06）kg，肉样采集操作过程使用冰盒保护肉质。所有样品保存于-20 ℃冰箱中待测。

1.2 实验方法

1.2.1 采肉率测定方法

养殖暹罗鳄活体宰杀后称重，分割四肢及尾部。去除头部、皮和骨，剔除内脏和脂肪块后称重。采肉率（%）=各部位肌肉质量/整尾暹罗鳄质量×100。

1.2.2 营养品质评价方法

水分、粗蛋白、粗脂肪及灰分测定分别参考 GB/T 5009.3-2010（直接干燥法）、GB/T 5009.5-2010（凯氏定氮法）、GB/T 5009.6-2003（索氏抽提法）和 GB/T5009.4-2010（高温灼烧法）；氨基酸组成参照 GB/T5009.124-2003 测定除色氨酸外的 17 种氨基酸，色氨酸采用荧光分光光度法进行测定；脂肪酸组成参照 GB/T 22223-2008 测定；无机元素 K、Na 参照 GB 5413.21-2010，Ca、Mg、Zn、Fe、Cu、Mn 参照 GB/T 14609-2008 测定。

根据 FAO/WHO/UNU 2007 年建议的氨基酸评分模式[6]和鸡蛋蛋白质氨基酸评分模式[7]进行比较，氨基酸评分（AAS）、化学评分（CS）、必需氨基酸指数（EAAI）计算如下式：

AAS=试验蛋白质氨基酸含量（g/100g protein）/FAO/WHO 评分模式氨基酸含量（g/100g protein）

CS=试验蛋白质氨基酸含量（g/100g protein）/鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量（g/100g protein）

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100a}{a_e}\times\frac{100b}{b_e}\times\cdots\times\frac{100h}{h_e}}$$

式中：n：比较的必需氨基酸个数；a，b，c，…，h：试验蛋白质的必需氨基酸含量（g/100g protein）；ae，be，ce，…，he：鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量（g/100g protein）。

1.2.3 食用与技术品质评价方法

食用质量中色泽采用自动色彩色差仪测定，L*表示明度；a*与 b*表示色调；a*/b*标示鲜红度；c 表示饱和度；嫩度通过胶原蛋白含量及肌原纤维断裂指数（MFI）进行评价，分别参考 GB/T 9695.23-2008、Culler[8]和 Hopkins[9] 的测定方法进行测定；蒸煮损失以及技术质量中的系水力、pH 参照文献[10]的方法测定；TPA 质构分析参考杨莹莹[11]的方法，将养殖暹罗鳄尾肉、腿肉和体肉分割成 5×3×1 cm^3 的小块。选取探头为 P0.5 圆柱型探头，预压力 5 g；测试速度为 1 mm/s；可恢复时间 6 s；形变量 50%。TPA 值测定平行 10 次。

1.3 数据处理

用 Microsoft Excel 2007 及 SPSS 20.0 进行数据处理与检验分析，以 x±s 表示，P<0.05 为差异显著。

2 结果与讨论

2.1 不同部位肌肉采肉率和一般营养成分

养殖暹罗鳄躯干部分肌肉比例最高，占总重 15.53%，其次是尾部肌肉（9.33%）和腿部肌肉（6.06%），三部分肌肉占整尾鳄鱼总重的 30.92%。对暹罗鳄的尾肉、腿肉及体肉的一般营养成分进行测定，结果见表 1。

暹罗鳄肌肉的水分含量为 78%左右，较畜禽肉偏高（猪肉 46.8%、羊肉 65.7%、鸡肉 74.2%）[12]。由

于各部位功能不同，一般营养成分有一定差异。尾部肌肉水分和灰分含量最少，但粗蛋白含量最高。腿肉与体肉在水分、粗蛋白和灰分含量上均无显著性差异（P<0.05）。体肉中粗脂肪含量略高于其余部位。各部位肌肉的粗蛋白含量在 18.36%~20.25%，而粗脂肪含量普遍较低为 0.70~1.12%，说明暹罗鳄肉属于高蛋白低脂肪的良好肉质，适合各人群食用，尤其是高血脂人群。

表 1 养殖暹罗鳄各部位一般营养成分(%，n=5)

Table 1 General nutritional composition of farmed *Crocodylus siamensis* muscle

部位	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
体肉	78.82±0.15 ^{a}	18.36±0.74 ^{b}	1.12±0.16 ^{a}	1.04±0.04 ^{a}
尾肉	77.96±0.56 ^{b}	20.25±0.79 ^{a}	0.98±0.12 ^{ab}	0.96±0.03 ^{b}
腿肉	78.85±0.34 ^{a}	18.70±0.57 ^{b}	0.70±0.15 ^{bc}	1.03±0.04 ^{a}

注：ND 表示未检出；同一列不同字母表示部位间统计学显著性差异（P<0.05），以下同。

2.2 氨基酸

养殖暹罗鳄尾肉、腿肉和体肉中的氨基酸组成见表 3。三个部位均检测到 8 种必需氨基酸（EAA）、10 种非必需氨基酸（NEAA），其中呈味氨基酸（UAA）6 种。氨基酸总量(TAA)体肉（72.58%）>腿肉（72.17%）>尾肉（70.47%）。根据 FAO/WHO 理想模式，质量较好的蛋白质 EAA/TAA 为 40%左右，EAA/NEAA 在 60%以上[13]。本实验中暹罗鳄尾肉、腿肉、体肉中 EAA/TAA 比值分别为 40.86%、39.87%、42.38%，EAA/NEAA 比为 69.09%、66.31%、73.55%，均符合 FAO/WHO 理想模式。养殖暹罗鳄尾肉、腿肉和体肉的各氨基酸含量较为接近，尾肉中含量最高的氨基酸为 Glu，其次是 Asp、Lys 和 Leu。腿肉中含量最高的氨基酸同样为 Glu，其次是 Lys、Asp 和 Leu。体肉中氨基酸含量由高到低排序与腿肉相同。Glu 有助于调节神经衰落，对治疗胃病、保护肝脏功能有很好功效[14]。Lys 是人乳中第一限制性氨基酸；Asp 有利于保护心脏和降低血压；Leu 属于支链氨基酸，能调节血糖平衡，促进训练后肌肉恢复[15]。不同部位含量较低的氨基酸为 Trp、Cys 和 Pro。

养殖暹罗鳄尾肉、腿肉和体肉中必需氨基酸评分和化学评分以及 FAO/WHO/UNU 推荐氨基酸理想模式和鸡蛋蛋白中必需氨基酸含量比较如表 4。尾肉、腿肉和体肉中必需氨基酸总量（g/100 g protein）分别为 36.16、37.71 和 40.74，均高于 FAO/WHO 所推荐含量（36.0），但低于鸡蛋蛋白中必需氨基酸总量（49.0）。根据 AAS 和 CS 评分，尾肉、腿肉和体肉的第一限制性氨基酸均为 Val，第二限制性氨基酸为 Leu。其次尾肉与腿肉的 Thr 的 AAS 小于 1，但体肉中 Thr 的 AAS 高于 1。EAAI 是说明必需氨基酸与标准蛋白质相接近的程度[16]，暹罗鳄体肉的 EAAI 为 79.62，更为接近标准蛋白质，其次是腿肉（74.37）和尾肉(71.63)。从氨基酸角度评价，养殖暹罗鳄尾部、腿部和躯干肌肉蛋白均属于优质蛋白质，有较高的营养价值。

表 2 养殖暹罗鳄各部位氨基酸组成（%，dry，n=5）

Table 2 Amino acids composition of farmed *Crocodylus siamensis* muscle

氨基酸	体肉	尾肉	腿肉
Thr	3.52±0.04	3.29±0.04	3.41±0.07
Lys	7.37±0.06^{a}	6.73±0.11^{b}	6.75±0.10^{ab}
Val	3.22±0.08	3.10±0.08	2.88±0.10
Met	2.32±0.07	2.34±0.05	2.31±0.08
Ile	4.46±0.12	4.39±0.14	4.19±0.16
Leu	5.47±0.06^{a}	4.84±0.12^{b}	4.94±0.08^{a}
Phe	3.35±0.05	3.12±0.16	3.34±0.08
Trp	0.96±0.02	0.98±0.03	0.95±0.04
Asp	5.99±0.22^{b}	6.97±0.13^{a}	6.36±0.28^{ab}
Glu	10.72±0.23	10.41±0.14	10.63±0.19
Gly	3.35±0.11^{b}	3.77±0.23^{b}	4.24±0.07^{a}
Ala	4.54±0.11^{b}	4.14±0.06^{b}	4.78±0.11^{a}
Ser	2.97±0.02^{a}	2.76±0.04^{b}	2.86±0.04^{a}
Pro	1.66±0.08^{b}	1.60±0.09^{b}	2.27±0.10^{a}
Tyr	3.18±0.07	3.13±0.15	2.99±0.12
Cys	1.37±0.21^{b}	1.29±0.06^{b}	1.57±0.04^{a}
His	2.77±0.04^{a}	2.58±0.06^{ab}	2.42±0.04^{b}
Arg	5.27±0.06^{ab}	5.00±0.14^{b}	5.29±0.04^{a}
TAA	72.58±0.99^{a}	70.47±1.32^{b}	72.17±1.25^{a}
TEAA	30.76±0.50^{a}	28.79±0.50^{b}	28.78±0.53^{b}
TNEAA	41.82±0.60^{b}	41.68±0.90^{b}	43.39±0.88^{a}
TEAA/TAA%	42.38	40.86	39.87
TNEAA/TAA%	57.62	59.14	60.13
TEAA/TNEAA%	73.55	69.09	66.31

2.3 脂肪酸

由表 2 可知养殖暹罗鳄尾部肌肉脂肪酸种类最为丰富，共检测出 30 种脂肪酸，腿肉中 23 种、体肉中有 28 种。其中饱和脂肪酸（SFA）10~14 种，单不饱和脂肪酸（MUPA）6~7 种，多不饱和脂肪酸（PUFA）8~9 种。尾肉与体肉脂肪酸组成规律一致，均为∑MUFA>∑SFA>∑PUFA，腿肉为∑SFA>∑MUFA>∑PUFA，可见尾肉与体肉相似，以 MUFA 为主，而腿

肉以 SFA 为主。SFA 中为棕榈酸（C16:0）和十八碳酸占主导。与大多数鱼类 SFA 含量最高的脂肪酸一致，暹罗鳄各部位脂肪酸比例最高均为棕榈酸，其中体肉中棕榈酸最为丰富。就 MUFA 而言，体肉中油酸（C18:1n9）最为丰富，其次为棕榈油酸（C16:1），尾肉和腿肉中也相对较高。腿肉的 PUFA 比例（31.54%）显著高于尾肉（24.18%）和体肉（22.68%）。PUFA 主要由亚油酸（C18:2n6）和花生四烯酸（C20:4n6）、EPA（C20:5n3）以及 DHA（C22:6n3）组成，亚油酸和 α-亚麻酸（C18:3n3）作为必需脂肪酸，与水产品的营养价值有着密切关系。EPA 和 DHA 对人的正常繁殖生长有着重要作用，具有降血压、抗血栓、抗肿瘤等功能[17]。腿肉的脂肪酸除了 EPA（0.76%）低于尾肉（1.14%）外，其余三种主要脂肪酸比例均为最高。暹罗鳄尾肉、腿肉和体肉中 n-3 PUFAs 与 n-6 PUFAs 的比值分别为 12.42%、10.78%和 11.60%，符合 FAO 和 WHO 所推荐的日常膳食比值 10~20%[18]。综上从脂肪酸角度评价，养殖暹罗鳄肌肉是理想的肉质。

表 3 养殖暹罗鳄各部位氨基酸组成（%，dry，n=5）

Table 3 Amino acids composition of farmed Crocodylus siamensis muscle

氨基酸	FAO/WHO	Egg	体肉	尾肉	腿肉	AAS			CS		
						体肉	尾肉	腿肉	体肉	尾肉	腿肉
Lys	5.4	7.0	8.50	7.33	7.64	1.57	1.36	1.41	1.21	1.05	1.09
Leu	7.0	8.6	6.31	5.27	5.59	0.90	0.75	0.80	0.73	0.61	0.65
Ile	4.0	5.4	5.15	4.78	4.74	1.29	1.19	1.18	0.95	0.88	0.88
Val	5.0	6.6	3.72	3.37	3.25	0.74	0.67	0.65	0.56	0.51	0.49
Thr	4.0	4.7	4.06	3.58	3.86	1.01	0.89	0.97	0.86	0.76	0.82
Phe+Tyr	6.1	9.3	7.64	6.82	7.16	1.25	1.12	1.17	0.82	0.73	0.77
Trp	1.0	1.7	1.11	1.07	1.08	1.11	1.07	1.08	0.65	0.63	0.63
Met+Cys	3.5	5.7	4.26	3.94	4.40	1.22	1.13	1.26	0.75	0.69	0.77
EAAs	36.0	49.0	40.74	36.16	37.71	9.10	8.19	8.52	6.55	5.87	6.11
EAAI	-	-	-	-	-	-	-	-	79.62	71.63	74.37

2.4 矿物质

人体矿物质的总量不超过体重的 4~5%，但却是构成机体组织和维持正常生理功能必不可少的成分，由于矿物质元素不能由人体合成，只能依赖食物摄取，因此食物中矿物质的含量显得尤为重要。对养殖暹罗鳄尾肉、腿肉和体肉中的 8 种矿物质元素进行了测定。由表 5 可知，暹罗鳄肉中 K、Na 元素含量最高，Ca、Mg 元素次之。微量元素中 Zn、Fe 元素含量较高，Cu、Mn 元素较低。K 有助于维持神经健康、心跳规律正常，可以预防中风，并协助肌肉正常收缩。Na 参于水的代谢，保证体内水的平衡及酸碱的平衡。生物体内有恒定的 K/Na 比例[15]，暹罗鳄的尾肉、腿肉和体肉中的 K/Na 值均大于 1，因此暹罗鳄肉属于高 K 低 Na 食品，有利于高血压患者食用。暹罗鳄腿肉和体肉中的 Ca 元素略高于尾肉，而不同部位的 Ca 含量都要远高于牛肉（84.56 mg/100g）、鸡肉（11.19 mg/100g）和青鱼（31 mg/100g）[12]。腿肉中的微量元素显著高于其余两个部位，尤其是 Zn。Zn 是许多金属酶的活性中心，参与生物体成分的合成与分解，被誉为“生命火花”[19]。Fe 元素的含量和状态是决定肌红蛋白颜色的重要因素，腿肉中的 Fe 含量显著高于其余两个部位，这在一定程度上决定了三个部位肉色的差异。Mn 元素含量最少，仅在尾肉和腿肉中检测出。

表 4 养殖暹罗鳄各部位脂肪酸组成（%，n=5）

Table 4 Fatty acids composition of farmed Crocodylus siamensis muscle

脂肪酸	体肉	尾肉	腿肉
C11:0	ND	0.01±0.00	ND
C12:0	0.04±0.01^{b}	0.06±0.00^{a}	0.03±0.00^{c}
C13:0	0.02±0.00	0.02±0.00	ND
C14:0	0.72±0.11^{b}	0.89±0.00^{a}	0.49±0.00^{c}
C15:0	0.27±0.04^{b}	0.37±0.00^{a}	0.12±0.00^{c}
C16:0	22.59±0.09^{a}	20.58±0.21^{c}	21.23±0.16^{b}
C17:0	0.53±0.05^{b}	0.60±0.00^{a}	0.34±0.00^{c}
C18:0	8.87±0.05^{b}	8.88±0.05^{b}	12.62±0.11^{a}
C19:0	0.07±0.02^{ab}	0.08±0.00^{a}	0.05±0.01^{b}
C20:0	0.13±0.02^{b}	0.17±0.00^{a}	0.12±0.00^{b}
C21:0	ND	0.02±0.00	ND
C22:0	0.04±0.00^{c}	0.05±0.00^{b}	0.06±0.00^{a}
C23:0	0.02±0.00	0.02±0.00	ND
C24:0	0.03±0.00	0.04±0.00	ND
∑SFA	33.34±0.39^{b}	31.78±0.16^{c}	35.09±0.03^{a}

转下页

接上页

C14:1 n3	0.06±0.01^{b}	0.15±0.00^{a}	0.03±0.00^{c}
C16:1 n7	4.98±0.36^{b}	5.80±0.00^{a}	2.52±0.02^{c}
C18:1 n9	38.11±1.41^{a}	37.00±0.08^{a}	27.82±0.13^{b}
C19:1 n9	0.05±0.01^{b}	0.07±0.00^{a}	ND
C20:1 n9	0.68±0.01^{b}	0.92±0.01^{a}	0.36±0.01^{c}
C22:1 n9	0.04±0.01^{b}	0.05±0.01^{b}	0.19±0.01^{a}
C24:1 n9	0.06±0.00^{b}	0.06±0.00^{b}	0.41±0.00^{a}
∑MUFA	43.98±1.01^{a}	44.04±0.08^{a}	33.38±1.92^{b}
C18:3 n6	0.15±0.02^{b}	0.23±0.01^{a}	0.11±0.00^{c}
C18:3 n3	0.14±0.03^{b}	0.21±0.01^{a}	0.06±0.00^{c}
C18:2 n6	17.29±0.08^{b}	17.65±0.11^{b}	20.33±0.01^{a}
C20:2 n6	0.23±0.00^{c}	0.32±0.00^{a}	0.28±0.02^{b}
C20:3 n3	0.15±0.01^{c}	0.25±0.00^{b}	0.33±0.01^{a}
C20:3 n6	0.30±0.01^{b}	0.40±0.01^{a}	ND
C20:4 n6	3.00±0.33^{b}	3.00±0.05^{b}	9.61±0.12^{a}
C20:5 n3	0.61±0.10^{c}	1.08±0.03^{a}	0.76±0.01^{b}
C22:6 n3	0.81±0.05^{c}	1.14±0.04^{b}	2.12±0.04^{a}
∑PUFA	22.68±0.62^{c}	24.18±0.24^{b}	31.54±1.89^{a}

表 5 养殖暹罗鳄各部位矿物质元素比较（10^{-2}mg/g，dry，n=5）

Table 5 Comparison of mineral elements in farmed *Crocodylus siamensis* muscle

矿物质	体肉	尾肉	腿肉
K	1582.1±17.62^{b}	1624.33±26.22^{a}	1570.29±17.18^{b}
Na	453.54±19.16^{b}	353.34±13.82^{c}	485.38±5.69^{a}
Ca	294.85±11.92	267.99±27.33	298.29±27.03
Mg	85.91±2.55	90.93±6.79	82.99±3.94
Cu	0.46±0.01	0.87±0.11	0.97±0.16
Fe	2.18±0.33^{b}	1.86±0.32^{b}	3.51±0.29^{a}
Zn	8.75±0.83^{b}	5.61±0.90^{c}	11.2±0.35^{a}
Mn	ND	0.05±0.00	0.07±0.01
K/Na	3.50±0.11^{b}	4.60±0.20^{a}	3.24±0.04^{b}

2.5 食用与技术品质评价

本文通过系水力、蒸煮损失、pH、羟脯氨酸含量、肌原纤维断裂指数（MFI）、色泽及质构多项指标评价养殖暹罗鳄各部位的肌肉品质，如表 6。尾肉的系水力（84.64%）显著高于腿肉（80.05%）和体肉（83.10%），而尾肉蛋白含量也为最高，与系水力与蛋白质含量呈正相关[20]的研究结果一致。三个部位肌肉的 pH 没有显著性差异，但腿肉 pH 相对较高，pH 在一定程度上反映肉质的软硬程度。暹罗鳄各部位肌肉的蒸煮损失偏高，腿肉和体肉蒸煮损较显著高于尾肉，这与水分含量密切相关。蒸煮损失是生肉在加工成熟肉后的质量减少，很大程度上制约肉类的加工成本。羟脯氨酸含量与 MFI 值规律均为尾肉>腿肉>体肉。羟脯氨酸是胶原蛋白的特征性氨基酸，与胶原蛋白有一定换算关系，常通过测定样品中羟脯氨酸含量来检测胶原蛋白含量。而胶原蛋白构成肌肉结缔组织的主要成分，肌肉结缔组织含量越少，肌肉剪切力越小，嫩度越大[21]。肌纤维是肌肉的基本构造单位，施加外力会形成肌原纤维，这种变化的难易程度与肌肉的嫩度有着密切关系[22]，MFI 值越高嫩度越大，并与羟脯氨酸含量呈正相关。三个部位的肌肉色泽差异显著，腿肉呈现红色饱和度较高，尾肉色泽偏白饱和度最差，体肉的色泽介于前两者之间。肌肉呈现红色与肌红蛋白中的 Fe^{2+} 有关，腿肉中富含铁元素解释了腿肉呈现红色原因。

表 6 养殖暹罗鳄不同部位肌肉食用与技术品质相关指标（n=5）

Table 6 Comparison of eating and technological quality indexes in farmed *Crocodylus siamensis* muscle

测定项目	体肉	尾肉	腿肉
系水力/%	81.95±0.50^{b}	84.01±0.66^{a}	80.79±1.00^{b}
蒸煮损失/%	43.88±0.99^{a}	39.97±1.45^{b}	45.72±1.82^{a}
pH	5.70±0.01	5.72±0.03	5.82±0.06
羟脯氨酸含量	0.32±0.00^{a}	0.24±0.01^{b}	0.31±0.01^{a}
MFI	49.47±0.81^{c}	70.67±2.72^{a}	66.73±1.55^{b}
L*	69.75±1.45^{b}	82.21±1.01^{a}	61.37±0.72^{c}
a*	6.96±0.12^{b}	0.83±0.21^{c}	11.37±1.65^{a}
b*	15.88±0.46^{b}	10.36±0.41^{c}	17.32±1.16^{a}
a*/b*	0.44±0.01^{b}	0.08±0.02^{c}	0.66±0.07^{a}
c	17.33±0.39^{b}	10.39±0.41^{c}	20.74±1.76^{a}

质构能反映肉质的软硬程度和弹性，质构剖面分析法 TPA（Texture Profile Analysis）通过模拟人口腔咀嚼运动对肉品施加压力，通过感应器反馈数值反映肉的质构特性。养殖暹罗鳄尾肉、腿肉及体肉的各项质构特性比较见图 1。从图中可看出，三个部位在硬度、胶黏性、咀嚼性和回复性四项指标上呈现相同规律：腿肉>尾肉>体肉，且差异显著（P<0.05）。尾肉与腿肉的弹性无显著性差异（P>0.05），但较体肉好。不同部位肌肉的内聚性无显著性差异（P>0.05）。

鲑鱼的脂肪含量越高而硬度越小，且咀嚼性会随着脂肪含量的升高而增大[23]。体肉的脂肪含量较其余部位高硬度却最小。本实验中腿肉的脂肪含量比尾肉和体肉低，但咀嚼性反而最高，可见脂肪含量对暹罗鳄肌肉咀嚼性影响不明显。腿肉硬度明显高于其余部位，这可能由于暹罗鳄是依靠四肢行动的生物，腿部肌肉较发达，大量分布在肌纤维间的肌内膜组织增加了肉质的硬度、胶粘性和咀嚼性。采样过程中发现尾部肌纤维间分布颗粒状脂肪，根据 Realini 等[24]的研究：消费者偏好富含 n-3 和 CLA 脂肪酸的肉，推测消

费者可能偏好 n-3 脂肪酸比例高达 12.42%的尾肉（腿肉 10.78%、体肉 11.60%），尾肉应能提供优于腿肉和体肉质地的口感。

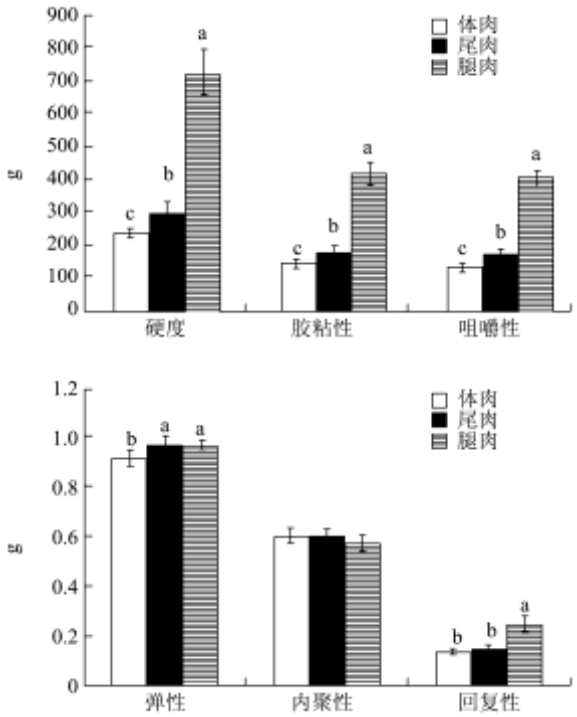


图 1 养殖暹罗鳄不同部位质构特性测定结果

Fig.1 Comparison of texture characteristics in farmed Crocodylus siamensis muscle (n=10)

3 结论

3.1 营养品质是肌肉品质的重要指标。养殖暹罗鳄尾肉、腿肉和体肉均属于高蛋白低脂肪的良好肉质，其中尾肉粗蛋白含量最高，体肉的粗脂肪含量最高。养殖暹罗鳄肌肉中共检测出 30 种脂肪酸，其中尾肉脂肪酸种类最为丰富，其次是体肉，腿肉中最少。腿肉中的多不饱和脂肪酸比例丰富，DHA 比例最高，但 EPA 比例低于尾肉。不饱和脂肪酸中油酸、亚油酸和花生四烯酸比例很高，这些是对食品风味贡献最大的几种不饱和脂肪酸[25]，因此今后可以对暹罗鳄肌肉的挥发性风味成分进行探索。氨基酸总量以及必须氨基酸比例规律均为：体肉>尾肉>腿肉，腿肉中呈味氨基酸比例较高。AAS 与 CS 属体肉分值最高，其次是腿肉，尾肉较差。暹罗鳄的第一限制性氨基酸为 Val，第二限制性氨基酸为 Leu。养殖暹罗鳄肉可作为 Ca、Zn 和 Fe 元素的良好摄入来源。尾肉的 Mg 含量、K/Na 值较腿肉和体肉高，但对于 Fe、Zn 元素则不及腿肉含量高。因此高血压患者建议多食用尾肉，为补充 Ca 和微量元素可多食用腿肉。

3.2 综合系水力、蒸煮损失、pH、羟脯氨酸含量、MFI 这几项品质相关指标，可见尾部肌肉的嫩度最高，属于白色肉，腿肉次之属于红色肉，而采肉率最高的体肉嫩度最差，肉色呈现粉红色。但尾肉的硬度并非最高，咀嚼性也较腿肉差，可见单一的 TPA 质构分析或理化分析不能得出肌肉嫩度和质地好坏的定论。质构分析是一种机械模拟，对原料的均一性要求很高。因此综合理化指标与质构特性的分析可以更好的评价肌肉品质，另外感官品质也是肉类食用品质的重要方法，可进一步研究来补充暹罗鳄肌肉的品质评价。

3.3 营养角度来讲尾肉、腿肉和体肉的营养品质各有优缺。腿肉采肉率偏低，并且其嫩度不及尾肉，但其红色的肉质及良好的咀嚼性会更易被消费者接受；采肉率最高的体肉食用品质表现一般，而采肉率仅次于体肉的尾肉拥有良好的食用品质以及高质量的蛋白质可作为暹罗鳄肉产品的原料肉。市场上鳄鱼肉产品数量有限，已有鳄鱼精滋补液、鳄鱼膏、鳄鱼止咳膏、鲜鳄鱼肉、鳄鱼肉干等产品[4]，以及暹罗鳄肉肠工艺的研究报道[26]。硬度、胶粘性和咀嚼性较好的肉适合制作鱼糜制品[27]，但暹罗鳄各部位采肉率不高，生产鱼糜制品需要考虑成本。目前尚无暹罗鳄肌肉蛋白特性的研究报道，仍需要进一步了解暹罗鳄肌肉蛋白与加工相关的特性品质，为暹罗鳄肉产品开发奠定理论基础。

参考文献

[1] 陈海艳,张鼎华.浅谈鳄鱼养殖技术及前景分析[J].水产养殖,2011,12:10-14
CHEN Hai-Yan, ZHANG Ding-Hua. The crocodile breeding technology introduction and prospect analysis [J]. Journal of Aquaculture, 2011, 12: 10-14

[2] 唐樑,秦明珠.鳄鱼的药用研究和开发前景[J].中外健康文摘:医药月刊,2007,4(10):66-68
TANG Lliang, QIN Ming-Zhu. The medicinal research and development prospects of crocodile [J]. Guide of China Medicine, November 2007, 4(10): 66-68

[3] 陈献君,许金旺,刘加根.中国鳄鱼产业可持续发展研究[J].中国水产,2007,8:83-85
CHEN Xian-jun, XU Jin-wang, LIU Jia-Gen. Sustainable development of Chinese alligator industry [J]. China Fisheries, 2007, 8: 83-85

[4] 肖琨,王锡昌.养殖鳄鱼的营养价值和药用功能研究进展[J].食品工业科技,2014,11(已录用)
XIAO Kun, WANG Xi-chang. The edible, medicinal value and the research in development and utilization of the farmed crocodile [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014,

11 (accepted)

[5] 周光宏,李春保,徐幸莲.肉类食用品质评价方法研究进展[J].中国科技论文在线,2007,2(2):75-82
ZHOU Guang-hong, LI Chun-bao, XU Xing-lian. Advances in methods for evaluating meat eating palatability [J]. Sciencepaper Online, 2007, 2(2): 75-82

[6] JOINT F, ORGANIZATION W H. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation [J], 2007

[7] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所.食物成分表[M].北京:人民卫生出版社,1991
Chinese Academy of Preventive Medicine and Institute of Nutrition and Food Hygiene. food composition table [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1991

[8] CULLER R, SMITH G, CROSS H. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle [J]. Journal of Food Science, 1978, 43(4): 1177-1780

[9] HOPKINS D, LITTLEFIELD P, THOMPSON J. A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation [J]. Meat science, 2000, 56(1): 19-22

[10] 帕提姑·阿布都克热.新疆羊肉食用品质特性及相关影响因素的研究[D].新疆农业大学,2012
ABUDOUKERE P. Study on eating quality characteristics of Xinjiang lamb and relatied influential factors [D]. Xinjiang Agricultural University, 2012

[11] 杨莹莹,贺红军,郭萌萌,等.响应面法分析TPA测试参数对酸奶质构的影响[J].现代食品科技,2013,29(6):1281-1284
YANG Ying-ying, HE Hong-jun, GUO Meng-meng, et al. Effects of experimental conditions on the texture properties of set-style yoghurt in TPA test: an RSM approach [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(6): 1281-1284

[12] 胡爱军,郑捷.食品原料手册[M]:北京:化学工业出版社,2012
HU Ai-jun, ZHENG Jie. Food ingredients manual [M]. Beijing. Chemical Industry Press, 2012

[13] FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Energy and Protein Requirements [M]. Geneva: WHO Technical Report Series, 1985

[14] WONG A W, MAGNUSON B A, NAKAGAWA K, et al. Oral subchronic and genotoxicity studies conducted with the amino acid, l-glutamine [J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(9): 2096-2102

[15] 王丽雅,陶宁萍.养殖的雄性暗纹东方鲀精巢营养分析及评价[J].营养学报,2012,34(4):406-408
WANG Li-ya, TAO Ning-ping. Analysis and evaluation of the nutritional composition of the testes of farmed male pufferfish (Takifugu obscurus) [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2012, 34(4): 406-408

[16] ADEYEYE E I. Evaluation of the amino acid profile of the yolk and albumen of guinea fowl (Numida meleagris) egg [J]. Elixir Appl Biology, 2012, 47: 8799-8803

[17] LOPEZ-HUERTAS E. Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies [J]. Pharmacological Research, 2010, 61(3): 200-207

[18] FAO/WHO. Fats and oils in human nutrition: report of a joint FAO/WHO expert consultation[R]. Geneva: WHO, 1993: 19

[19] 黄作明,黄殉.微量元素与人体健康[J].微量元素与健康研究,2010, 27(6):58-62
HUANG Zuo-ming, HUANG Xun. Trace elements and human health [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2010, 27(6): 58-62.

[20] 巴吐尔·阿不力克木,帕提姑·阿布都克热,肉孜阿吉.巴什拜羊肉不同部位的品质特性分析[J].新疆农业科学, 2012, 49(9): 1734-1741
ABULIKEMU B, ABUDOUKERE P, ROUZIAJI, et al. Analysis of quality characteristics of lamb from different anatomical locations of bashbay sheep [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(9): 1734-1741

[21] DUBOST A, MICOL D, PICARD B, et al. Structural and biochemical characteristics of bovine intramuscular connective tissue and beef quality [J]. Meat science, 2013, 95(3): 555-561

[22] LI K, ZHANG Y, MAO Y, et al. Effect of very fast chilling and aging time on ultra-structure and meat quality characteristics of Chinese Yellow cattle M. Longissimus lumborum [J]. Meat science, 2012, 92(4): 795-804

[23] ROBB D, KESTIN S, WARRISS P, et al. Muscle lipid content determines the eating quality of smoked and cooked Atlantic salmon (Salmo salar) [J]. Aquaculture, 2002, 205(3): 345-358

[24] REALINI C, KALLAS Z, P REZ-JUAN M, et al. Relative importance of cues underlying Spanish consumers' beef choice and segmentation, and consumer liking of beef enriched with n-3 and CLA fatty acids [J]. Food Quality and Preference, 2014, 33: 74-85

[25] FRANKEL E N. Lipid oxidation [M]. The Oily Press, 2005

[26] 谢妍.暹罗鳄肌肉营养评价及其肌原纤维蛋白凝胶特性的研究[D].浙江大学,2013
XIE Yan. Research on evaluation of muscle nutrition and gelling properties of myofibril in crocodylus siamensis [D]. Zhejiang University, 2013

[27] 周爱梅,林丽英,梁燕,等.超高压诱导鱼糜凝胶性能的研究[J]. 现代食品科技,2013,29(9):2058-2062
ZHOU Ai-Mei, LIN Li-Ying, LIANG Yan, et al. Gelling properties of the surimi induced by ultra-high pressure [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(9):2058-2062

现代食品科技