

三江县稻田养殖红罗非鱼品质特性 及肌肉营养成分分析

陈 诏,李 华,袁宗伟,徐鸿飞*,赵何勇,滕 云,卢飞麟,杨宾兰

(广西壮族自治区水产引育种中心,广西南宁 530031)

摘 要:采用质构仪和国家标准生化分析方法测定了稻田养殖红罗非鱼的品质特性和营养成分,并综合评价其营养价值。结果表明:稻田养殖红罗非鱼肌肉中水分含量为 $79.01\% \pm 0.09\%$,粗灰分含量 $1.05\% \pm 0.02\%$,粗脂肪含量为 $1.58\% \pm 0.15\%$,粗蛋白含量为 $19.83\% \pm 0.64\%$ 。稻田养殖红罗非鱼的质构特性分析表明其肌肉结实有弹性。稻田养殖红罗非鱼肌肉中检测出 17 种氨基酸,其中必需氨基酸(EAA)总量占氨基酸总量(AA)的 40.17%,必需氨基酸和非必需氨基酸比值为 67.14%,均符合 FAO/WHO 的评价标准;必需氨基酸指数(EAAI)为 83.74,呈味氨基酸(DAA)总量占氨基酸总量的 39.14%。稻田养殖红罗非鱼肌肉中共检测出 15 种脂肪酸,饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)、多不饱和脂肪酸(PUFA)分别占脂肪酸总量的 34.13%、30.29%、35.58%; Σ SFA: Σ MUFA: Σ PUFA 比例为 0.96:0.85:1, Σ n-6 PUFA: Σ n-3 PUFA 为 3.42。综上所述,相对于其他常见稻田养殖品种,稻田养殖的红罗非鱼营养成分均衡且肉质较好。

关键词:三江侗族自治县,稻田养殖,红罗非鱼,肌肉,营养成分,品质特性

Quality Profile and Muscular Nutritional Components of Paddy-cultured Red Tilapia(*Oreochromis* spp.) in San Jiang Dong Autonomous County

CHEN Zhao, LI Hua, YUAN Zong-wei, XU Hong-fei*, ZHAO He-yong, TENG Yun, LU Fei-lin, YANG Bin-lan

(Guangxi Introduction and Breeding Center of Aquaculture, Nanning 530031, China)

Abstract: The muscle texture profile and nutritional components of paddy-cultured red tilapia were measured and analyzed by texture analyzer and the biochemical way of national testing standards, which were used to evaluate the nutrition value in muscle of paddy-cultured red tilapia. The results showed that the content of moisture, crude ash, crude fat, crude protein in the muscle of paddy-cultured red tilapia were $79.01\% \pm 0.09\%$, $1.05\% \pm 0.02\%$, $1.58\% \pm 0.15\%$, $19.83\% \pm 0.64\%$, respectively. According to texture properties, the muscle of paddy-cultured red tilapia was firm-fleshed and flexible. There were 17 kinds of amino acids in the muscle of paddy-cultured red tilapia, and the percentages of essential amino acid occupying total amino acids was 40.17%, and EAA/NEAA 67.14%, which was accord with the FAO/WHO evaluation standards. The essential amino acid index(EAAI) of the muscle of paddy-cultured red tilapia was 83.74, the percentages of delicious amino acid occupying total amino acids was 39.14%. 15 fatty acids were detected in the muscle of paddy-cultured red tilapia, with the saturated fatty acid(SFA), monounsaturated fatty acid(MUFA) and the polyunsaturated fatty acid(PUFA) content of 34.13%, 30.29%, 35.58%, respectively. The Σ SFA: Σ MUFA: Σ PUFA was 0.96:0.85:1 and the ratio of Σ n-6 PUFA and Σ n-3 PUFA was 3.42. Compared with some other aquatic varieties under paddy-cultured, red tilapia had a balanced nutritional composition and good taste.

Key words: Sanjiang dong autonomous county; paddy-cultured; red tilapia; muscle; nutritional composition; quality profile

中图分类号:TS201.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2019)23-0306-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2019.23.050

引文格式:陈诏,李华,袁宗伟,等.三江县稻田养殖红罗非鱼品质特性及肌肉营养成分分析[J].食品工业科技,2019,40(23):306-311.

红罗非鱼(*Oreochromis* spp.)是罗非鱼属间杂交 选育而成的优良品种,其具有肉质鲜嫩、食性多样、

收稿日期:2019-03-04

作者简介:陈诏(1985-),女,硕士,工程师,研究方向:水产养殖,E-mail:61742457@qq.com。

* 通讯作者:徐鸿飞(1980-),男,本科,工程师,研究方向:水产养殖,E-mail:243332257@qq.com。

基金项目:广西重点研发计划项目(桂科 AB16380029);广西壮族自治区农业农村厅 2019 年水产引育种中心部门预算项目《红罗非鱼选育与示范推广》。

生长速度快等优点^[1],近年来在广西地区多地开展了红罗非鱼的养殖推广,深受养殖户和消费者喜爱。红罗非鱼在广西地区主要以池塘养殖和网箱养殖为主,但由于传统养殖模式的环境污染问题,大规模网箱面临清拆,多地池塘也急需进行污水处理改造。因此,推广生态养殖模式是红罗非鱼可持续发展的重要途径之一。

稻田综合种养是“十三五”规划现代生态养殖中的重点项目,是目前水产研究的热点之一^[2]。三江侗族自治县因地形气候优势,当地一直保持着稻鱼共生的农业生产方式。在2014年,三江县政府提出并实施了“稻田养鱼-3721”项目,在三年时间内全面推广标准化种稻养鱼,推广面积达2000 hm²^[3]。三江县稻田养鱼的主要品种为高坡鲤等本地土著鲤鱼,但由于养殖品种单一,产量偏低,并不能形成高产高效的商品化模式。而红罗非鱼经济价值较鲤鱼高,食性较杂,最适生长温度为18~30℃,适合三江县5~10月即中稻插秧到收获时期进行稻田养殖。目前,关于红罗非鱼体色基因、遗传多样性、耐盐、耐寒等方面的研究较多^[4-7],而不同养殖模式下肌肉营养价值的研究较少,仅见赵何勇等^[8]报道的海水和淡水养殖模式下关岛红罗非鱼的肌肉营养分析和质构检测,对稻田养殖红罗非鱼的肌肉营养和品质特性分析未见报道。因此,本试验以三江县稻田养殖红罗非鱼为研究对象,对其肌肉的质构特性和营养成分组成进行分析,评价其营养价值,为进一步改良红罗非鱼肉质和推动红罗非鱼在稻田养殖中的健康发展提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

红罗非鱼 采集于三江县八江镇马胖村稻田养鱼示范基地,共取21尾,平均体重(254.27 ± 18.57) g,平均体长(18.67 ± 1.25) cm,该鱼为广西壮族自治区水产引育中心当年繁殖的红罗非鱼鱼苗,总计养殖120 d。投苗后前30 d饲喂30%粗蛋白的浮水性配合饲料,后连续60 d投喂米糠150 g、麦麸100 g,之后到起捕都不再投喂;碳酸钠、乙醇、甲基红、溴甲酚绿、硼酸、氢氧化钠、盐酸、硫酸铜、硫酸钾、石油醚 均为分析纯,成都科隆化学有限公司。

CT34500 质构仪 美国 Brookfield 公司;马弗炉 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;电热恒温鼓风干燥箱 上海跃进医疗器械有限公司;定氮仪 上海纤检仪器有限公司;数显式电热恒温水浴锅 常州诺基仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 质构检测 选取鱼体背部肌肉块,剪切成10 mm × 10 mm × 8 mm 的小方块,采用探头 TA-41 (直径6 mm) 进行弹性、咀嚼性、硬度、胶黏性、内聚性、可恢复功、压缩功、粘性等质构参数的测定。其中,恢复性 = 可恢复功/压缩功。具体步骤参照赵何勇的方法进行^[8],检测所得数据均为质构仪自动校正后的结果。

1.2.2 营养成分检测 取鱼体背部肌肉斩拌混匀后

进行各项营养成分检测。水分测定采用 GB 5009.3-2010 中的常压恒温干燥法,粗蛋白的测定方法采用 GB 5009.5-2010 中的凯氏定氮法,参照 GB 5009.6-2003 中的索氏抽提法测定粗脂肪的方法,测定粗灰分的方法按照 GB 5009.4-2010 进行。氨基酸和脂肪酸的测定按 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》和 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》中的方法进行。

1.2.3 肌肉氨基酸营养评价 按以下公式分别进行氨基酸评分(Amino acid score, AAS)、化学评分(Chemical score, CS)及必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI)计算^[9-10]。

AAS = [待检测样品中氨基酸含量(%)]/[FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量(%)]

CS = [待检测样品中氨基酸含量(%)]/[全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(%)]

氨基酸含量(mg/g N) = [样品中某种氨基酸含量(mg/g, 湿重)]/[样品中粗蛋白含量(% , 湿重)] × 6.25 × 1000

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100AT}{AE} \times \frac{100BT}{BE} \times \frac{100CT}{CE} \times \dots \frac{100GT}{GE}}$$

式中:n 为比较的氨基酸个数;AT, BT, CT..., HT 为稻田养殖红罗非鱼肌肉蛋白质的必需氨基酸含量(%);AE, BE, CE, ..., GE 为全鸡蛋蛋白质的同种氨基酸含量(%)。

1.3 统计分析

试验数据采用 Excel 2007 和 SPSS 18.0 统计软件进行数据统计和处理。

2 结果与分析

2.1 质构特性分析

TPA(Texture Profile Analysis)是目前应用最广泛的一种肉质检测模式,其通过质构仪模拟口腔咀嚼运动,对样品进行两次压缩,形成一系列测试数据来客观评价样品的品质特性^[11],结果如表1所示。稻田养殖红罗非鱼肌肉硬度为(1116.84 ± 154.76) g,胶黏性为(271.68 ± 152.47) g,内聚性为0.24 ± 0.06,弹性为(3.21 ± 0.36) mm,咀嚼性为(8.76 ± 3.65) mJ,回复性为(0.19 ± 0.05)。与海水养殖和淡水养殖红罗非鱼的肌肉质构指标相比,稻田养殖红罗非鱼肌肉硬度显著高于淡水养殖红罗非鱼($P < 0.05$),回复性显著高于海水养殖红罗非鱼($P < 0.05$)。这些差异可能与红罗非鱼养殖环境不同有关。稻田养殖环境接近于自然野生环境,红罗非鱼运动量大,肌纤维密度增大,水分和脂肪含量减少,造成肌肉硬度高、回复性好,反映在肉质上为鱼肉结实有弹性。另与稻田养殖中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)^[12]的肌肉质构指标相比,红罗非鱼除弹性、粘性高于中华鳖外,其余指标均低于中华鳖。而与稻田养殖小龙虾(*Procambarus clarkii*)^[13]相比,稻田养殖红罗非鱼胶黏性和硬度远远高于小龙虾,但内聚性、弹性、粘性却低于小龙虾(表2)。这可能是由于硬度、胶黏性等指标与物种个体质量和肌肉水分、脂肪及蛋白含量有关^[14-16]。相较于红罗非鱼,虾类个体较小,鳖类胶原蛋白含量丰富,两者的水分含量

表1 3种养殖模式红罗非鱼肌肉质构特性比较

Table 1 Comparison of structure index in muscle of red tilapia under three kinds of culture modes

质构参数	稻田养殖	海水养殖 ^[8]	淡水养殖 ^[8]
硬度(g)	1116.84 ± 154.76 ^a	935.00 ± 108.67 ^{ab}	908.19 ± 102.13 ^b
胶黏性(g)	271.68 ± 152.47 ^a	285.80 ± 152.47 ^a	231.93 ± 55.21 ^a
内聚性	0.24 ± 0.06 ^a	0.30 ± 0.12 ^a	0.26 ± 0.06 ^a
弹性(mm)	3.21 ± 0.36 ^{ab}	3.93 ± 1.44 ^a	3.39 ± 0.40 ^b
咀嚼性(mJ)	8.76 ± 3.65 ^{ab}	12.63 ± 11.99 ^a	7.74 ± 2.20 ^b
回复性	0.19 ± 0.05 ^a	0.10 ± 0.06 ^b	0.22 ± 0.05 ^a

注:同行字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

表2 稻田养殖红罗非鱼与其他常见稻田养殖品种肌肉质构特性比较

Table 2 Comparison of structure index in the muscles of red tilapia and some other aquatic varieties under rice paddy

质构参数	红罗非鱼	中华鳖 ^[12]	小龙虾 ^[13]
硬度(g)	1116.84 ± 154.76	2641.88 ± 357.04	29.0 ± 2.4
胶黏性(g)	271.68 ± 152.47	1444.39 ± 298.12	9.5 ± 4.0
内聚性	0.24 ± 0.06	0.54 ± 0.04	0.39 ± 0.15
弹性(mm)	3.21 ± 0.36	0.64 ± 0.10	5.3 ± 4.4
咀嚼性(mJ)	8.76 ± 3.65	949.25 ± 233.17	未检测
粘性(g·s)	0.09 ± 0.06	-1.39 ± 0.38	1.0 ± 0.5
回复性	0.19 ± 0.05	0.20 ± 0.03	未检测

表3 稻田养殖红罗非鱼与其他常见稻田养殖品种一般营养成分比较(% 鲜重)

Table 3 Comparison of nutritional components in muscle of red tilapia and some other aquatic varieties under rice paddy(% wet)

种类	养殖地区	水分	粗灰分	粗蛋白	粗脂肪
红罗非鱼	广西三江	79.01 ± 0.09	1.05 ± 0.02	19.83 ± 0.64	1.58 ± 0.15
中华鳖 ^[12]	安徽安庆	80.70 ± 0.61	1.06 ± 0.02	16.47 ± 0.09	0.35 ± 0.08
湖南小龙虾 ^[13]	湖南南县	81.50 ± 0.20	1.1 ± 0.00	16.69 ± 0.02	0.57 ± 0.02
贵州克氏鳌虾 ^[20]	贵州湄潭	82.07 ± 0.01	1.25 ± 0.01	17.80 ± 0.43	2.06 ± 0.05
瓯江彩鲤 ^[22]	贵州湄潭	74.66 ± 1.09	1.65 ± 0.46	18.06 ± 0.58	4.26 ± 0.31
禾花鲤 ^[23]	广西全州	74.69 ± 0.95	1.20 ± 0.37	18.06 ± 0.26	3.25 ± 0.53
野生月鳢 ^[24]	贵州天柱	75.28	2.67	18.48	2.51
吉富罗非鱼 ^[21]	云南普洱	81.3 ± 1.04	1.1 ± 0.06	17.2 ± 0.68	5.5 ± 2.63

较高,脂肪含量更低^[17-18]。

2.2 肌肉常规营养成分分析

水分、粗灰分、粗脂肪、粗蛋白是肌肉组成的基本成分,是评价肌肉品质的重要指标^[19]。稻田养殖红罗非鱼肌肉中水分含量为 79.01% ± 0.09%,粗灰分含量为 1.05% ± 0.02%,粗脂肪含量为 1.58% ± 0.15%,粗蛋白含量为 19.83% ± 0.64%。与常见稻田养殖品种相比,稻田养殖红罗非鱼粗蛋白含量最高,粗灰分含量最低,水分低于中华鳖^[12]、湖南小龙虾^[13]、贵州克氏鳌虾(*Procambarus clarkii*)^[20]和吉富罗非鱼(*GIFT, Oreochromis niloticus*)^[21],但高于瓯江彩鲤(*Cyprinus carpio* var. *color*)^[22]、禾花鲤(*Procypris merus*)^[23]和野生月鳢(*Channa asiatica*)^[24]。相对于其他稻田养殖的鱼类,瓯江彩鲤、禾花鲤、野生月鳢、吉富罗非鱼的粗脂肪含量分别是红罗非鱼的 2.7、2、1.6、3.5 倍。从常规营养成分上看,相较于常见稻田养殖品种,稻田养殖红罗非鱼的营养成分更优,是一种高蛋白、低脂肪的优质食用鱼类。常规营养成分的不同可能与养殖当地气候环境相关。李川等^[22]发现贵州稻田养殖瓯江彩鲤与原产地瓯江彩鲤的一般

营养成分并不相同,这可能是由于贵州与浙江两地温度不同引起。而稻田土壤中微生物种类、水质、水稻品种等对红罗非鱼肌肉营养成分是否有影响还有待下一步研究。

2.3 肌肉氨基酸组成分析

稻田养殖红罗非鱼肌肉中共检测出 17 种氨基酸(色氨酸被酸水解)(表 4),包括 7 种人体必需氨基酸(EAA)和 10 种非必需氨基酸(NEAA);其中 EAA 总量占氨基酸总量(AA)的 40.17%,EAA/NEAA 为 67.14%,均高于 FAO/WTO 理想模式中优质蛋白质的标准(EAA/AA 约 40.00%、EAA/NEAA > 60.00%),是人体所需的优质蛋白。必需氨基酸是人体自身不能合成或合成量不足的,需从外界(如食物中)摄取的氨基酸,可维持机体稳态、促进机体生长繁育^[25]。与其他稻田养殖品种相比,稻田养殖红罗非鱼 EAA 含量最高,氨基酸种类齐全,可作为人体所需的优质全蛋白食品。

呈味氨基酸是决定食物蛋白鲜美程度的特征性氨基酸,包括谷氨酸、天门冬氨酸、甘氨酸和丙氨酸^[19]。经与稻田常见养殖品种比较,稻田红罗非鱼

表4 稻田养殖红罗非鱼与其他常见稻田养殖品种肌肉氨基酸组成比较(干重,g/100 g)

Table 4 Muscle amino acids composition of red tilapia and some other aquatic varieties under rice paddy (dry, g/100 g)

氨基酸	红罗非鱼	中华鳖 ^[12]	贵州克氏 鳌虾 ^[20]	瓯江彩鲤 ^[22]	禾花鲤 ^[23]	野生月鳢 ^[24]	吉富罗非鱼 ^[21]
天门冬氨酸 Asp *	9.40 ± 0.13	8.24 ± 0.67	1.79	7.57 ± 0.83	6.12	5.79	6.95 ± 0.96
谷氨酸 Glu *	13.94 ± 0.27	13.83 ± 1.09	2.14	11.32 ± 1.30	13.46	10.66	10.27 ± 1.39
甘氨酸 Gly *	5.11 ± 0.23	3.68 ± 0.52	0.13	4.09 ± 0.07	3.52	2.33	3.37 ± 0.80
丙氨酸 Ala *	5.71 ± 0.09	4.66 ± 0.41	11.96	4.85 ± 0.39	4.59	5.56	4.22 ± 0.64
呈味氨基酸 Σ DAA	34.16 ± 0.70	30.41 ± 2.64	16.02	27.83 ± 2.59	27.69	24.34	24.81
苏氨酸 Thr **	4.11 ± 0.07	3.99 ± 0.26	2.88	3.19 ± 0.29	2.75	2.66	3.64 ± 0.59
脯氨酸 Pro *	2.86 ± 0.09	2.49 ± 0.26	10.57	未检出	2.56	1.69	未检出
丝氨酸 Ser *	3.64 ± 0.10	3.42 ± 0.21	1.81	2.89 ± 0.19	3.08	2.54	3.16 ± 0.43
组氨酸 His *	2.33 ± 0.01	2.64 ± 0.26	25.03	2.78 ± 0.18	1.70	1.74	7.33 ± 1.01
精氨酸 Arg *	5.45 ± 0.05	5.18 ± 0.57	1.33	4.74 ± 0.43	5.10	4.31	4.01 ± 0.59
酪氨酸 Tyr *	3.19 ± 0.01	2.85 ± 0.36	2.77	2.72 ± 0.28	2.58	2.39	2.46 ± 0.43
蛋氨酸 Met **	2.70 ± 0.03	2.23 ± 0.41	1.82	1.61 ± 0.23	3.10	1.96	1.76 ± 0.21
苯丙氨酸 Phe **	3.83 ± 0.06	4.25 ± 0.10	1.03	3.42 ± 0.28	3.38	2.42	2.73 ± 0.43
异亮氨酸 Ile **	4.18 ± 0.07	3.99 ± 0.57	2.70	3.46 ± 0.38	3.61	2.74	3.42 ± 0.53
亮氨酸 Leu **	7.48 ± 0.10	6.94 ± 0.47	4.47	6.31 ± 0.61	6.58	4.90	6.04 ± 0.86
赖氨酸 Lys **	8.58 ± 0.10	8.13 ± 0.73	0.78	7.64 ± 0.78	6.35	5.04	1.71 ± 0.32
胱氨酸 Cys *	0.59 ± 0.03	未检出	21.15	未检出	1.10	0.53	0.53 ± 0.16
缬氨酸 Val **	4.18 ± 0.07	3.89 ± 0.62	0.20	3.98 ± 0.40	4.08	2.48	3.10 ± 0.48
氨基酸总量 Σ AA	87.28 ± 1.31	81.14 ± 6.42	92.56	70.57 ± 6.46	73.66	59.74	64.81 ± 9.79
必需氨基酸总量 Σ EAA	35.06 ± 0.46	34.25 ± 2.90	13.88	29.61 ± 2.93	29.85	22.20	22.41
非必需氨基酸总量 Σ NEAA	52.22 ± 0.84	46.94 ± 3.52	78.68	40.96 ± 3.53	43.81	37.54	42.30
DAA/AA(%)	39.14	37.44	17.31	39.44	37.59	40.74	38.00
EAA/AA(%)	40.17	42.16	15.00	41.96	40.52	37.16	35.00
EAA/NEAA(%)	67.14	72.88	17.64	72.29	68.14	70.50	53.00

注: **:必需氨基酸, *:非必需氨基酸。

表5 稻田养殖红罗非鱼与其他稻田养殖品种肌肉中必需氨基酸组成评价

Table 5 Essential amino acids compositions in muscle of red tilapia and some other aquatic varieties under rice paddy

必需氨基酸 EAA	FAO/WHO 评分标准 模式氨基酸含量 (mg/g N)	鸡蛋蛋白 氨基酸含量 (mg/g N)	红罗非鱼		禾花鲤 ^[16]		野生月鳢 ^[17]		吉富罗非鱼 ^[14]	
			氨基酸含量 (mg/g N)		AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
苏氨酸 Thr	250	292	272	1.09 0.93	0.69	0.59	0.82	0.71	0.90	0.72
缬氨酸 Val	310	411	276	0.89 0.67	0.82	0.62	0.62	0.47	0.61	0.41
异亮氨酸 Ile	250	331	276	1.11 0.83	0.90	0.68	0.85	0.64	0.85	0.51
亮氨酸 Leu	440	534	495	1.12 0.93	0.94	0.68	0.86	0.71	0.85	0.68
赖氨酸 Lys	340	441	567	1.67 1.29	1.17	0.89	1.14	0.88	0.31	0.26
苯丙氨酸 Phe + 酪氨酸 Tyr	380	565	464	1.22 0.82	0.98	0.66	0.98	0.67	0.86	0.51
蛋氨酸 Met + 胱氨酸 Cys	220	386	217	0.99 0.56	1.20	0.68	0.87	0.50	0.66	0.42
合计	2190	2960	2567							
EAAI 必需氨基酸指数				83.74		68.05		63.65		47.80

肌肉中天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸含量均为最高,呈味氨基酸(DAA)总量占AA总量的39.14%,虽稍低于瓯江彩鲤(39.44%)和野生月鳢(40.74%),但较中华鳖、贵州克氏鳌虾、禾花鲤和吉富罗非鱼高4.54%、126.11%、4.12%和3.00%,这可能与养殖过程中的摄食情况有关。总体上表明,稻田养殖红罗非鱼肉质较鲜美。

2.4 肌肉营养品质评价

食物蛋白质营养价值的评价是由必需氨基酸的种类和比例决定,评价方法一般参考FAO/WHO(1973)标准模式和全鸡蛋蛋白模式,主要指标有AAS、CS和EAAI^[26]。AAS和CS评分结果表明(表5),稻田养殖红罗非鱼肌肉中必需氨基酸AAS在

0.89~1.67之间,符合FAO/WHO标准;而必需氨基酸CS介于0.56~1.29,接近全鸡蛋蛋白质模式;其中,赖氨酸AAS和CS评分最高,分别为1.67和1.29,含量均高于FAO推荐值和全鸡蛋水平;稻田养殖红罗非鱼肌肉的限制性氨基酸为缬氨酸和蛋氨酸+胱氨酸。在EAAI指数上,稻田养殖红罗非鱼比稻田养殖禾花鲤、野生月鳢、吉富罗非鱼更高,EAAI数值为83.74。以上必需氨基酸评价指标均表明稻田养殖红罗非鱼含有丰富的必需氨基酸,营养价值较高。

2.5 脂肪酸分析

稻田养殖红罗非鱼肌肉中共检测出15种具有统计意义的脂肪酸(表6),其中饱和脂肪酸(SFA)4种,占脂肪酸总量的34.13%;单不饱和脂肪酸

表6 稻田养殖红罗非鱼与其他稻田养殖品种肌肉中的脂肪酸含量比较(g/g)
Table 6 Compositions of fatty acids in muscle of red tilapia and some other aquatic varieties under rice paddy(g/g)

脂肪酸名称	红罗非鱼含量	占总脂肪酸的比例(%)			
		红罗非鱼	瓯江彩鲤 ^[15]	野生月鳢 ^[17]	吉富罗非鱼 ^[14]
羊脂酸 C8:0	未检出	未检出	0.15	未检出	未检出
月桂酸 C12:0	未检出	未检出	0.06	未检出	未检出
肉豆蔻酸 C14:0	1.99 ± 0.26	2.94	0.81	2.89	未检出
十五碳酸 C15:0	0.50 ± 0.15	0.74	0.32	0.46	未检出
棕榈酸 C16:0	16.17 ± 3.93	23.89	17.24	26.75	20.65
十七烷酸 C17:0	未检出	未检出	0.39	1.24	未检出
硬脂酸 C18:0	4.44 ± 1.33	6.56	5.67	4.32	5.10
花生酸 C20:0	未检出	未检出	未检出	0.19	未检出
二十一烷酸 C21:0	未检出	未检出	0.26	未检出	未检出
二十三碳酸 C23:0	未检出	未检出	0.16	未检出	未检出
十五碳烯酸 C15:1	未检出	未检出	未检出	0.71	未检出
棕榈油酸 C16:1	2.87 ± 0.65	4.24	3.35	8.89	5.12
十七碳烯酸 C17:1	未检出	未检出	0.37	1.12	未检出
油酸 C18:1n6	未检出	未检出	未检出	2.29	未检出
顺反油酸 C18:1n9c	16.97 ± 5.50	25.07	36.36	31.23	40.03
二十碳烯酸 C20:1	0.67 ± 0.20	0.98	1.58	未检出	未检出
芥酸 C22:1	未检出	未检出	未检出	0.43	未检出
二十四碳烯酸 C24:1	未检出	未检出	0.23	0.43	未检出
十六碳二烯酸 C16:2n6	未检出	未检出	未检出	0.42	未检出
十六碳二烯酸 C16:2n4	未检出	未检出	未检出	0.37	未检出
十六碳三烯酸 C16:3n3	未检出	未检出	未检出	0.24	未检出
顺反亚油酸 C18:2n6c	15.37 ± 4.49	22.71	25.57	0.31	25.02
γ-亚麻酸 C18:3n6	未检出	未检出	0.65	未检出	未检出
α-亚麻酸 C18:3n3	2.54 ± 0.62	3.75	2.53	0.41	3.56
十八碳四烯酸 C18:4n3	未检出	未检出	未检出	0.26	未检出
二十碳二烯酸 C20:2	0.70 ± 0.16	1.04	0.55	0.23	未检出
二十一烷酸 C20:3n6	0.69 ± 0.13	1.02	2.05	未检出	未检出
二十碳三烯酸 C20:3n3	0.30 ± 0.26	0.44	未检出	未检出	未检出
花生四烯酸 C20:4n6	2.03 ± 0.10	3.00	未检出	0.88	未检出
二十碳五烯酸 C20:5n3	未检出	未检出	0.61	5.83	未检出
二十二碳三烯酸 C22:3n6	未检出	未检出	未检出	0.26	未检出
二十二碳五烯酸 C22:5n3	未检出	未检出	未检出	1.54	未检出
二十二碳六烯酸 C22:6n3	2.45 ± 0.33	3.62	1.07	7.66	未检出
ΣSFA 饱和脂肪酸	23.10 ± 5.41	34.13	25.08	35.85	25.75
ΣMUFA 单不饱和脂肪酸	20.51 ± 6.34	30.29	41.89	45.74	45.15
ΣPUFA 多不饱和脂肪酸	24.08 ± 5.63	35.58	33.03	18.41	28.58
Σn-3 PUFA	5.29	7.82	4.21	15.94	3.56
Σn-6 PUFA	18.09	26.72	28.27	4.16	25.02
Σn-6 PUFA/Σn-3 PUFA		3.42	6.71	0.26	7.03
ΣSFA: ΣMUFA: ΣPUFA		0.96:0.85:1	0.60:1:0.74	0.78:1:0.40	0.57:1:0.63
TOTAL 总脂肪酸	67.69 ± 17.18				

(MUFA)4种,占脂肪酸总量的30.29%;多不饱和脂肪酸(PUFA)7种,占脂肪酸总量的35.58%。
食物中脂肪酸的品种、数量和组成比例与人体健康密切相关,合理的脂肪酸配比能有效预防心血管疾病、糖尿病等的发展^[27]。ΣSFA:ΣMUFA:ΣPUFA比例1:1:1和Σn-6 PUFA:Σn-3 PUFA日常膳食比值4:1~6:1是FAO/WHO和中国营养学会对

居民膳食营养素参考摄入量的推荐比例^[28-29]。稻田养殖的红罗非鱼、瓯江彩鲤、野生月鳢、吉富罗非鱼的ΣSFA:ΣMUFA:ΣPUFA比值分别为0.96:0.85:1、0.60:1:0.74、0.78:1:0.40、0.57:1:0.63;红罗非鱼Σn-6 PUFA:Σn-3 PUFA比值为3.42,高于野生月鳢(0.26),低于瓯江彩鲤(6.71)和吉富罗非鱼(7.03)。红罗非鱼的ΣSFA:ΣMUFA:ΣPUFA比值

最接近1:1:1, $\Sigma n-6$ PUFA: $\Sigma n-3$ PUFA 比值最接近4:1~6:1, 这表明稻田养殖红罗非鱼脂肪酸比例均衡, 常食用对人体健康有益。

人体所需的必需脂肪酸是人体不能合成, 只能从食物中获得的脂肪酸, 包括以 α -亚麻酸为母体的 $n-3$ 系列多不饱和脂肪酸和以亚油酸为母体的 $n-6$ 系列多不饱和脂肪酸, 它们不仅是前列腺素前体, 还参与了人体脂肪代谢、视力和大脑等发育过程^[30]。虽然亚油酸、 α -亚麻酸都为必需脂肪酸, 但在食物中的含量却差异很大。在常见食用油中含有大量亚油酸, 而 α -亚麻酸在食物中的含量却很低, 造成人体 α -亚麻酸的摄入量不足^[31]。稻田养殖红罗非鱼 α -亚麻酸含量占脂肪酸总量的 3.75%, 高于稻田养殖瓯江彩鲤(2.53%)、野生月鳢(0.41%)、吉富罗非鱼(3.56%), 是稻田养殖水产品中 α -亚麻酸含量较高的鱼类。

3 结论

稻田养殖红罗非鱼在肉质上表现为结实有弹性。与常见稻田养殖品种相比, 稻田养殖红罗非鱼粗蛋白含量最高, 粗灰分含量最低, 粗脂肪含量较低, 水分含量居中, 是一种高蛋白、低脂肪的优质食用鱼类; 肌肉中必需氨基酸和 4 种呈味氨基酸含量最高, 且其氨基酸种类齐全, 肉质鲜美, 必需氨基酸评价指标均符合 FAO/WHO 标准, 营养价值高, 可作为人体所需的优质全蛋白食品; 肌肉中所含脂肪酸比例较均衡, 饱和脂肪酸: 单不饱和脂肪酸: 多不饱和脂肪酸比值和 $n-6$ PUFA: $\Sigma n-3$ PUFA 比例最接近 FAO/WHO 和中国营养学会对居民膳食营养素参考摄入量的推荐比例, 且人体所需的 α -亚麻酸含量较其他常见稻田养殖品种更多。综上所述, 稻田养殖的红罗非鱼营养价值均衡且肉质较好, 可将稻田养殖模式作为红罗非鱼主要养殖模式进行推广。

参考文献

[1] 李学军, 李思发, 冯金海, 等. 以色列红罗非鱼耐盐性的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(3): 205-208.

[2] Hu L L, Ren W Z, Tang J J, et al. The productivity of traditional rice - fish co - culture can be increased without increasing nitrogen loss to the environment [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2013, 177(2): 28-34

[3] 梁克川. 一稻多养殖: 扶贫的“三江模式”[J]. 农家之友, 2017(11): 29.

[4] 陈诏, 徐鸿飞, 赵何勇, 等. 佛罗里达红罗非鱼黑色素浓集激素 1 基因的克隆与表达分析[J]. 南方水产科学, 2018, 14(3): 73-82.

[5] 何金钊, 陈诏, 陈子桂, 等. 五个红罗非鱼群体的遗传多样性分析[J]. 水生生物学报, 2017, 41(2): 326-333.

[6] 张天时, 姜涛, 孔杰, 等. 以色列红罗非鱼与其他罗非鱼群体杂交子一代在海水中生长性能分析[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 56-61.

[7] 何金钊, 陈子桂, 陈诏, 等. 三种品系不同规格红罗非鱼的耐寒性能评价[J]. 淡水渔业, 2017, 47(3): 79-83.

[8] 赵何勇, 陈诏, 徐鸿飞, 等. 海水和淡水养殖关岛红罗非鱼肌肉营养成分及品质特性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49

(7): 1396-1402.

[9] Pellett P L, Young V R. Nutritional evaluation of protein foods [M]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980: 26-29.

[10] 王亚光, 沈治平, 范文洵, 等. 中国预防医学科学院. 食物成分表(全国代表值) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991: 38-40, 78-80.

[11] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术, 2007(2): 1-4.

[12] 何吉祥, 陈静, 宋光同, 等. 稻田与池塘养殖中华鳖日本品系的体组成及营养品质比较[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(6): 1005-1009.

[13] 梁洁, 鹿敏, 李林静, 等. 稻田与清水养殖模式下小龙虾肉理化特性比较[J]. 湖南农业科学, 2018(5): 79-81.

[14] Acosta R. Effect of the fungal extracellular protease EPg222 on texture of whole pieces of pork loin. [J]. Meat Science, 2003, 65(2): 877-884.

[15] Jr J B F, Ackerman S A, Jenkins R K. Effect of anionic gums on the texture of pickled frankfurters [J]. Journal of Food Science, 1983, 48(4): 1031-1035.

[16] Rahman M S, Al-Farsi S A. Instrumental texture profile analysis (TPA) of date flesh as a function of moisture content [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(4): 505-511.

[17] 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.

[18] 张君, 陈露, 余鹏, 等. 中华鳖 4 个品系营养成分分析与比较[J]. 水生生物学报, 2018, 42(4): 770-778.

[19] 问思恩, 刘涛, 王丰, 等. 岷县高原鳅肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 288-293, 299.

[20] 唐黎, 杨家军, 林艳红, 等. 贵州稻田养殖克氏原螯虾肌肉营养成分分析[J]. 河北渔业, 2018(9): 15-19, 45.

[21] 崔丽莉, 缪祥军, 许存泽, 等. 高原地区不同养殖模式下罗非鱼肌肉营养成分的比较[J]. 现代农业科技, 2018(22): 234-237.

[22] 李川, 姚俊杰, 安苗, 等. 贵州稻田养殖瓯江彩鲤肌肉生化成分分析[J]. 动物营养学报, 2010, 22(2): 505-510.

[23] 杨四秀, 蒋艾青. 禾花鲤含肉率与肌肉营养成分分析[J]. 水生生态学杂志, 2009, 30(2): 154-157.

[24] 孟立霞, 张文华, 潘娟. 黔东南稻田野生月鳢营养成分分析[J]. 饲料工业, 2012, 33(10): 15-17.

[25] 盛勤芳. 人体内八种必需氨基酸的初步探究及其意义[J]. 科技视界, 2014(28): 239.

[26] 马冬梅, 朱华平, 黄樟翰, 等. 稻田和池塘养殖华南鲤肌肉营养成分比较分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2518-2524.

[27] 宋长虹, 唐生, 郝克非, 等. 中国居民日常食物中脂肪酸含量的分析[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 61-63.

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

[29] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量速查手册(2013 版) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2013: 15.

[30] 孙翔宇, 高贵田, 段爱莉, 等. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 418-423.

[31] 刘锦涛. 人体必需的脂肪酸——亚麻酸亚油酸 [N]. 中国食品报, 2016-10-25(004).