

郑丹, 彭西甜, 张仙, 等. 湖北省不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉品质评价 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 91–97. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070202

ZHENG Dan, PENG Xitian, ZHANG Xian, et al. Comparative Analysis on Muscle Quality of *Procambarus clarkii* Under Different Aquaculture Models in Hubei Province[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 91–97. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070202

· 研究与探讨 ·

湖北省不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉品质评价

郑丹^{1,2}, 彭西甜^{1,2}, 张仙^{1,2}, 张隽嫻^{1,2}, 周有祥^{1,2}, 彭立军^{1,2}, 夏珍珍^{1,2,*}

(1.湖北省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 湖北武汉 430064;

2.农产品营养品质与安全湖北省重点实验室, 湖北武汉 430064)

摘要:本研究选取稻虾共作、池塘养殖、莲虾共作和河流野捕四种模式的克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 为研究对象, 探究不同养殖模式下鲜虾色度、虾肉质构特性、常规营养成分、氨基酸组成与含量的差异。结果表明: 湖北地区四种模式出产的克氏原螯虾肌肉均为优质蛋白质, 其中, 稻虾共作模式生产的鲜虾表面亮度、虾肉硬度、弹性、回复性和虾肉剪切力均显著高于其他模式 ($P<0.05$), 虾肉中组氨酸、总氨基酸和总鲜味氨基酸含量均显著高于其他模式 ($P<0.05$), 虾肉蒸煮损失率显著低于池塘养殖和莲虾共作 ($P<0.05$)。因此, 稻虾共作模式出产的克氏原螯虾具有较高的亮度、虾肉的咀嚼性较好、蒸煮损失率较小、总氨基酸和鲜味氨基酸含量较高, 具有较高的食用价值。

关键词: 克氏原螯虾, 养殖模式, 氨基酸, 营养评价

中图分类号: S968.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)10-0091-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070202



本文网刊:

Comparative Analysis on Muscle Quality of *Procambarus clarkii* Under Different Aquaculture Models in Hubei Province

ZHENG Dan^{1,2}, PENG Xitian^{1,2}, ZHANG Xian^{1,2}, ZHANG Juanxian^{1,2}, ZHOU Youxiang^{1,2}, PENG Lijun^{1,2},
XIA Zhenzhen^{1,2,*}

(1. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology Research, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;

2. Hubei Key Laboratory of Nutritional Quality and Safety of Agro-products, Wuhan 430064, China)

Abstract: In order to evaluate the quality characteristics of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) cultured under different aquaculture modes, the crayfish selected under integrated rice-crayfish culture, pond culture, lotus-crayfish culture and wild mode in Hubei province were analysed. The color, muscle texture properties, general nutritional composition, amino acid composition and content were compared. The results showed that the muscle of crayfish produced under four aquaculture modes in Hubei province was high quality protein. Brightness of shrimps, hardness, springiness, resilience and tenderness of the muscle under integrated rice-crayfish culture mode were significantly higher than those cultured under other three modes ($P<0.05$). The content of Histidine (His), total amino acid and total flavor amino acid of muscle under integrated rice-crayfish culture mode were significantly higher than other three modes ($P<0.05$). The cooking loss rate of the muscle under integrated rice-crayfish culture mode was significantly lower than pond culture mode and integrated lotus-crayfish culture mode ($P<0.05$). In conclusion, the crayfish selected under integrated rice-crayfish culture had high edible value, with good chewiness, low cooking loss rate, high content of total amino acid and total flavor amino acid.

收稿日期: 2022-07-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (22004030); 湖北省自然科学基金资助项目 (2020CFB461); 湖北省农业科学院青年基金 (2019NKYJJ11)。

作者简介: 郑丹 (1981-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 农产品质量与安全, E-mail: zhengdan_2004@163.com。

* 通信作者: 夏珍珍 (1987-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品质量与安全, E-mail: xzz20051313@126.com。

Key words: *Procambarus clarkii*; aquaculture mode; amino acids; nutritional evaluation

克氏原螯虾, 俗称小龙虾, 是淡水螯虾家族中的一个类群, 原产于北美洲, 二十世纪三十年代末传入我国, 目前在长江中下游和水体丰富的地区均有大量养殖。近年来, 克氏原螯虾因其味道鲜美、蛋白质和氨基酸含量较高, 且适合多种口味烹调, 逐渐成为我国最重要的经济淡水虾类之一^[1]。据农业农村部渔业渔政管理局公布数据, 2020 年我国克氏原螯虾养殖总面积突破 2184.63 万亩, 养殖总产量达到 239.37 万 t, 位列我国淡水养殖品种第六位, 社会经济总产值约 3448 亿元。目前我国克氏原螯虾养殖主要分为稻虾综合种养、池塘主养和莲藕田套养等, 其中稻虾综合种养模式面积最大, 约占全年总养殖面积的 86.6%^[2]。湖北省是我国克氏原螯虾的主要产区, 产量与产值连续 15 年位居全国第一, 2020 年总产量更是达到 98.2 万 t, 约占全国小龙虾总产量的 44.9%^[3]。

随着克氏原螯虾养殖产业的迅速发展以及居民消费水平的不断提升, 对其品质进行综合评价逐渐成为行业关注的热点。克氏原螯虾养殖在我国分布范围较广, 受气候条件、地理环境、营养来源以及组成等影响, 虾肉品质存在较大差异^[4-5]。已有研究表明, 不同的养殖模式能够显著影响水产品的生长状况、肌肉品质和营养成分^[6-7]。目前关于克氏原螯虾的研究报道较少, 主要集中在养殖技术、生长性能、成分测定、产品加工、副产物的利用和食用安全性上^[6-10], 然而对我国重要产区——湖北地区不同养殖模式生产的克氏原螯虾的品质因子对比却未见报道。因此, 本研究拟选择湖北地区稻虾共作、莲虾共作、池塘养殖和河流野捕四种模式生产的克氏原螯虾为研究对象, 通过对其鲜虾色度、虾肉质构特性、营养成分和氨基酸组成及含量进行系统比较, 以期为克氏原螯虾的养殖、销售和食品加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

克氏原螯虾 养殖模式(池塘养殖、稻虾共作养殖和莲虾共作养殖), 分别于 2021 年 5 月取自湖北省荆州市。三种养殖模式均以投喂饲料为主, 投苗时间、投苗密度、投喂饵料和捕捞时间均按统一标准进行。河流野捕的克氏原螯虾为对照, 以天然饵料为主。各处理随机选取 50 只体质健壮、无伤且质量相近的成虾(25.0 ± 2.8 g)作为分析样本; 乙腈、甲醇 HPLC 级, 德国默克公司; 磷酸二氢钠、磷酸二氢钾、氯化亚锡(SnCl_2)、氢氧化钠、盐酸 均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 邻苯二甲醛(OPA)、氯甲酸-9-苄基甲酯(FMOC) 美国 Sigma 公司。

TA-XTPlus 气相色谱质谱联用仪、Agilent 1260 高效液相色谱仪(配 G1315D 二极管阵列检测器) 美国 Agilent 公司; CR-400 色差仪 柯尼卡美能株式会社; HH-6 数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;

C-LM 型肌肉嫩度计 北京朋利驰科技有限公司; LDZM-80KCS 立式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂; PL2002 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; LXJ-IIB 低速大容量离心机 上海安亭(飞鸽)。

1.2 指标测定方法

1.2.1 色度测定 参照 CIE- $L^*a^*b^*$ 法^[11]。测定活虾虾头 3 个固定部位的表面的亮度值 L^* 、红度 a^* 、黄度 b^* 。色度计在使用前用白板校准, 每份样品测定 5 次取平均值。样品的色泽参数 L^* (黑白: 0=黑, 100=白); a^* (红绿偏向: 正值表示红色偏向, 负值表示绿色偏向); b^* (黄蓝偏向: 正值表示黄色偏向, 负值表示蓝色偏向)。

1.2.2 质构特性的测定 取现剥虾仁的中间部分, 切割成 $8\text{ mm} \times 8\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 的均匀方块, 用 TA-XT Plus 型质构仪进行测定。探头: P36R, 模式: TPA, 测定前速度: 2.0 mm/s , 测试速度: 1.0 mm/s , 测试后速度: 1.0 mm/s , 强度 75%。

1.2.3 虾长、虾质量以及出肉率测定 用吸水滤纸擦干克氏原螯虾体表水分, 称取全虾质量。用直尺测定其整虾长、虾尾长。将虾去头, 称取其虾尾质量。用镊子剥离甲壳上的肌肉, 放置在滤纸上吸干表面水分, 用电子天平称量并记录。

$$\text{出肉率}(\%) = (\text{腹部肌肉质量} / \text{全虾质量}) \times 100$$

1.2.4 蒸煮损失率与剪切力值测定 将虾仁样品切成厚约 2.5 cm 左右装袋, 置于 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温水浴中加热 10 min 后取出, 将肉块中心温度冷却至室温, 用吸水纸吸干样品表面水分后称重。采用 Brauer 等^[12]的方法进行剪切力值的测定, 测定 3 次取其平均值即为该样品的剪切力值。

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = (\text{煮前肉质量} - \text{煮后肉质量}) / \text{煮前肉质量} \times 100$$

1.2.5 肌肉营养成分分析 水分参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法测定^[13], 粗蛋白质参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法测定^[14], 粗脂肪参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中索氏抽提法测定^[15], 粗灰分参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中高温灰化法测定^[16]。

参照 Chen 等^[5]的方法测定虾肉中水解氨基酸含量。取样品 0.2 g , 用 6 mol/L 的盐酸于 $110\text{ }^\circ\text{C}$ 下水解 24 h , 取 1 mL 水解产物, 在 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 下旋转蒸发干燥, 用 $5\text{ mL } 0.02\text{ mol/L}$ 的盐酸溶液复溶, $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后用 OPA-FMOC 柱前衍生化 HPLC 法测定。色氨酸前处理方法不同于其他氨基酸, 取样

品 0.2 g,用 5 mol/L 的 NaOH(含 5% SnCl₂)于 110 ℃ 下水解 20 h,水解完毕后用 6 mol/L 的盐酸中和,离心后取上清,采用前述 OPA-FMOC 柱前衍生化 HPLC 法测定。

1.2.6 营养价值评定 根据 1973 年联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)建议的每 1 g 氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式,分别计算得出氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)^[17]。

AAS = (试验蛋白质氨基酸含量(mg/g))/(评分模式氨基酸含量(mg/g))×100%

式 (1)

CS = (试验蛋白质氨基酸含量(mg/g))/(全鸡蛋蛋白氨基酸含量(mg/g))×100%

式 (2)

EAAI=[(100a/A)×(100b/B)×(100c/C)×…×(100h/H)]^{1/n}

式 (3)

式中: n 为比较的氨基酸数; a, b, c, ..., h 为克氏原螯虾肌肉蛋白质氨基酸含量(% , dry); A, B, C,..., H 为鸡蛋蛋白质氨基酸含量(% , dry)。

1.3 数据处理

试验中质构指标检测采用 10 次重复,其余指标均采用 3 次重复。实验数据采用 IBM SPSS Statistics 20.0 软件对其进行双因素方差分析,采用单因素 ANOVA 进行差异性比较, $P<0.05$ 为有显著性差异,结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 不同养殖模式对鲜虾色度的影响

色泽是食品的重要感官指标,直接影响到消费者的购买欲望^[18]。通常甲壳类动物体表越鲜艳越易受到消费者的青睐,色泽较淡则会直接影响到市场价值^[19-20]。克氏原螯虾外壳下面的皮层里有许多色素细胞,可根据环境情况显现出不同颜色^[11,21-22]。不同养殖模式下克氏原螯虾色度值见表 1。由表 1 可知,不同养殖环境对鲜虾虾体颜色影响较大,稻虾共作的鲜虾表面色度 L^* 值均显著高于其他模式($P<0.05$),池塘养殖和莲虾共作模式出产的鲜虾的 L^* 值、 a^* 值

和 b^* 值均无显著性差异($P>0.05$),表明稻虾共作模式生产的克氏原螯虾跟其他养殖模式相比,具有较好的亮度,池塘养殖和莲虾共作模式生产的克氏原螯虾色度无差异。这可能是因为稻虾共作模式下的水深较浅,环境中光强较大、背景色较浅,而池塘养殖与莲虾共作模式下水体较大、光强较小、背景色较深有关。

2.2 不同养殖模式对鲜虾肌肉质构特性的影响

硬度是食品保持形状的内部结合力。弹性是变形样品在去除变形力后恢复到变形前的高度或体积比率。咀嚼性是指咀嚼固体样品时所需要的能量,综合反映样品对咀嚼的持续抵抗能力,是由硬度、凝聚力、弹性综合作用的结果。回复性反映的是食品在受压时快速恢复形变的能力^[23-24]。总之,新鲜虾肉硬度、弹性、咀嚼性较高,则虾肉及其制品口感会较好^[23]。不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉质构数据见表 2。由表 2 可知,稻虾共作模式下的克氏原螯虾跟其他养殖模式相比,虾肉的硬度、弹性和回复性均显著高于其他养殖模式($P<0.05$)。莲虾共作出产的虾肉与池塘养殖和河流野捕相比,除具有较好的弹性($P<0.05$)外,硬度、咀嚼性和回复性无显著差异($P>0.05$)。池塘养殖和河流野捕两种模式下出产的克氏原螯虾在硬度、弹性、咀嚼性和回复性上均无显著差异($P>0.05$)。可见稻虾共作模式生产的克氏原螯虾虾肉较其他模式具有较好的硬度、弹性和回复性,莲虾共作模式次之。这可能与稻田水深较浅,克氏原螯虾生存空间不及池塘养殖与莲虾共作模式大,因而同类之间争斗频次较高有关。

表 2 不同养殖模式对克氏原螯虾肌肉质构指标的影响
Table 2 Effects of different aquaculture models on muscle texture indices of crayfish meat

养殖模式	硬度(g)	弹性(%)	咀嚼性(mJ)	回复性(%)
稻虾共作	3091.35±68.12 ^a	64.41±5.32 ^a	489.51±30.52 ^a	26.53±1.55 ^a
池塘养殖	2685.14±75.80 ^b	51.84±3.61 ^b	460.65±29.74 ^a	20.58±2.82 ^b
莲虾共作	2775.43±65.81 ^b	59.87±4.84 ^a	441.45±27.51 ^a	21.44±1.96 ^b
河流野捕	2551.84±55.32 ^b	52.55±6.72 ^b	477.97±31.85 ^a	19.45±0.83 ^b

2.3 不同养殖模式对鲜虾加工特性的影响

虾肉剪切力是肉类嫩度高低的指标^[23],蒸煮损失率即虾肉加热汁液流失率,表示虾肉持水性及产品得率,值越低代表虾肉持水性与产品得率越高^[25]。不同养殖模式对克氏原螯虾的加工特性影响见表 3。由表 3 可知,各养殖模式下的克氏原螯虾除虾肉剪切力和虾肉蒸煮损失率外,虾体总重、虾尾重、虾仁重、整虾长、虾尾长和得肉率均无显著性差异($P>0.05$)。克氏原螯虾的虾肉剪切力由大到小依次为: 稻虾共作>池塘养殖和莲虾共作>河流野捕($P<0.05$)。莲虾共作和池塘养殖的虾肉蒸煮损失率显著高于稻虾共作和河流野捕($P<0.05$)。表明稻虾共作模式出产的克氏原螯虾肌肉具有较好的咀嚼性和较低的蒸煮损失率,这可能是由于稻虾共作模式

表 1 不同养殖模式对克氏原螯虾色度值的影响
Table 1 Effects of different aquaculture models on colour of crayfish

养殖模式	亮度值(L^*)	红色值(a^*)	黄色值(b^*)
稻虾共作	32.41±0.62 ^a	7.15±0.22 ^a	9.55±0.32 ^a
池塘养殖	28.42±0.50 ^b	6.08±0.31 ^a	10.01±0.42 ^a
莲虾共作	27.75±0.61 ^b	5.05±0.32 ^a	10.52±0.23 ^a
河流野捕	21.11±0.42 ^c	3.72±0.13 ^b	11.17±0.71 ^a

注: 同列数值不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$); 表2~表4同。

表 3 不同养殖模式对克氏原螯虾加工特性的影响

Table 3 Effects of different aquaculture models on processing characteristics of crayfish

养殖模式	虾体总重(g)	虾尾重(g)	虾仁重(g)	整虾长(cm)	虾尾长(cm)	得肉率(%)	虾肉剪切力(g)	虾肉蒸煮损失率(%)
稻虾共作	24.52±2.50 ^a	5.90±0.41 ^a	2.86±0.23 ^a	9.68±0.35 ^a	4.93±0.47 ^a	11.71±0.82 ^a	121.33±2.84 ^a	7.95±0.41 ^b
池塘养殖	24.44±2.11 ^a	5.84±0.39 ^a	2.84±0.22 ^a	9.64±0.32 ^a	4.90±0.54 ^a	11.65±0.75 ^a	107.65±2.72 ^b	9.87±0.32 ^a
莲虾共作	24.38±2.03 ^a	5.72±0.53 ^a	2.92±0.10 ^a	9.66±0.38 ^a	4.87±0.45 ^a	11.93±0.54 ^a	105.45±3.44 ^b	9.92±0.34 ^a
河流野捕	23.86±2.87 ^a	5.77±0.49 ^a	2.84±0.15 ^a	9.62±0.36 ^a	4.88±0.30 ^a	11.97±0.72 ^a	88.17±2.92 ^c	7.85±0.21 ^b

下,水稻种植环境提供了更为多样的天然食物,克氏原螯虾的食性更均匀^[26-27]。本试验测得的克氏原螯虾的得肉率为 11.9%±0.7%,与罗雅婷等^[7]和王广军等^[28]的研究基本一致,低于田娟等^[6]研究的洞庭湖克氏原螯虾的得肉率 20.21%,这可能与克氏原螯虾的品种、产地和生长阶段等多种因素有关。

2.4 不同养殖模式对鲜虾虾肉营养成分的影响

水分、粗灰分、粗脂肪和粗蛋白是肌肉组成的基本营养成分,是评价克氏原螯虾虾肉品质的重要指标。其中,粗蛋白为人类生存提供蛋白质,粗脂肪是虾体能量的来源,粗蛋白质和粗脂肪含量越高,克氏原螯虾尾肉的营养价值、多汁性和滑腻性就越好^[29]。四种模式下克氏原螯虾肌肉的营养成分见表 4。由表 4 可知,稻虾共作、池塘养殖和莲虾共作三种模式出产虾肉中的水分含量、粗脂肪、粗蛋白和粗灰分均无显著差异($P>0.05$),且三种模式下的虾肉粗脂肪含量均显著高于河流野捕模式($P<0.05$)。因此,三种养殖模式出产的克氏原螯虾肌肉的营养成分基本一致,同时粗脂肪含量均优于河流野捕模式,这与程小飞等^[30]的研究结果基本一致。河流野捕模式下的粗脂肪含量较低,可能与其生活环境空间较大、摄食范围广、在捕食过程中活动量大以及饵料丰度较低等因素有关。

表 4 不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉的营养成分

Table 4 General nutritional components of muscle of crayfish under different aquaculture models

养殖模式	水分含量(%)	粗脂肪含量(%)	粗蛋白质含量(%)	粗灰分(%)
稻虾共作	78.55±0.21 ^a	3.10±0.11 ^a	83.86±3.95 ^a	6.51±0.26 ^a
池塘养殖	77.95±0.27 ^a	2.84±0.19 ^a	83.84±2.88 ^a	6.46±0.30 ^a
莲虾共作	78.28±0.25 ^a	2.72±0.12 ^a	82.92±3.10 ^a	6.62±0.25 ^a
河流野捕	78.14±0.27 ^a	1.77±0.10 ^b	82.84±3.15 ^a	6.99±0.20 ^a

2.5 不同养殖模式对虾肉氨基酸组成的影响

氨基酸是蛋白质的重要组成部分,同时也是风味物质的典型来源。各模式下克氏原螯虾肌肉中氨基酸组成与含量见表 5。由表 5 可知,四种模式下出产的克氏原螯虾肌肉中氨基酸含量虽不尽相同,但种类基本一致,虾肉中均检出 18 种氨基酸,其中人体必需氨基酸 8 种,半必需氨基酸 2 种,非必需氨基酸 8 种。克氏原螯虾肌肉中总氨基酸含量为 77.89%~82.30%,总必需氨基酸与总氨基酸的比值(TEAA/TAA)为 32.71%~34.18%,必需氨基酸与非必需氨基酸比值(EAA/NEAA)为 60.62%~65.02%。根据 FAO/

WHO 的理想模型,优质蛋白的 TEAA/TAA 值在 40%左右,EAA/NEAA 为 60%以上,可见各生产模式出产的克氏原螯虾肌肉均为优质蛋白质。

表 5 不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉中氨基酸组成与含量(%)

Table 5 Composition and contents of amino acids in muscle of crayfish under different aquaculture models (%)

指标	滋味	稻虾共作	莲虾共作	池塘养殖	河流野捕
必需氨基酸(EAA)					
苏氨酸(Thr)	甜味	3.02±0.15 ^b	3.06±0.11 ^b	3.02±0.08 ^b	3.99±0.07 ^a
缬氨酸(Val)	苦味	3.82±0.11 ^a	3.86±0.13 ^a	3.97±0.15 ^a	3.91±0.09 ^a
甲硫氨酸(Met)	苦味	1.38±0.08 ^a	1.30±0.09 ^a	1.34±0.07 ^a	1.25±0.08 ^a
异亮氨酸(Ile)	苦味	3.86±0.11 ^a	3.72±0.07 ^a	3.68±0.12 ^a	3.69±0.07 ^a
亮氨酸(Leu)	苦味	6.10±0.35 ^a	6.25±0.23 ^a	6.21±0.39 ^a	5.02±0.45 ^a
苯丙氨酸(Phe)	苦味	2.54±0.05 ^a	2.68±0.06 ^a	2.50±0.02 ^a	2.52±0.03 ^a
赖氨酸(Lys)	苦味	5.80±0.04 ^a	5.45±0.17 ^a	5.34±0.10 ^a	5.58±0.15 ^a
色氨酸(Trp)	甜味	0.40±0.01 ^a	0.35±0.02 ^a	0.34±0.01 ^a	0.38±0.01 ^a
半必需氨基酸(SEAA)					
组氨酸(His)	苦味	1.85±0.06 ^a	1.29±0.01 ^b	1.31±0.02 ^b	1.02±0.03 ^b
精氨酸(Arg)	鲜味	9.12±0.15 ^a	9.04±0.14 ^a	8.98±0.12 ^a	8.83±0.14 ^a
非必需氨基酸(NEAA)					
天冬氨酸(Asp)	鲜味	9.15±0.21 ^a	8.03±0.22 ^b	7.95±0.18 ^b	8.02±0.15 ^b
丝氨酸(Ser)	甜味	3.02±0.12 ^c	4.00±0.20 ^b	4.08±0.15 ^b	4.68±0.16 ^a
谷氨酸(Glu)	鲜味	15.58±0.32 ^a	14.42±0.28 ^b	14.50±0.35 ^b	14.67±0.36 ^b
甘氨酸(Gly)	鲜味	4.25±0.08 ^a	3.54±0.09 ^b	3.62±0.08 ^b	3.60±0.05 ^b
丙氨酸(Ala)	鲜味	6.58±0.12 ^a	5.35±0.05 ^b	5.42±0.11 ^b	5.12±0.07 ^b
酪氨酸(Tyr)	苦味	2.80±0.01 ^a	2.81±0.02 ^a	2.92±0.01 ^a	2.80±0.01 ^a
脯氨酸(Pro)	甜味	2.88±0.08 ^a	2.73±0.06 ^a	2.66±0.05 ^a	2.67±0.04 ^a
胱氨酸(Cys)		0.15±0.03 ^a	0.14±0.02 ^a	0.15±0.03 ^a	0.14±0.02 ^a
总氨基酸(TAA)		82.30±0.81 ^a	78.02±0.77 ^b	77.99±0.65 ^b	77.89±0.58 ^b
总必需氨基酸(TEAA)		26.92±0.42 ^a	26.67±0.38 ^a	26.40±0.34 ^a	26.34±0.25 ^a
总鲜味氨基酸(TDAA)		33.56±0.12 ^a	31.34±0.15 ^b	31.49±0.13 ^b	31.41±0.14 ^b
EAA/NEAA(%)		60.62 ^c	65.02 ^a	63.92 ^b	63.17 ^b
TEAA/TAA(%)		32.71 ^b	34.18 ^a	33.85 ^a	33.82 ^a
TDAA/TAA(%)		43.21 ^a	40.17 ^b	40.38 ^b	40.33 ^b

注:同行数值不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表 5 可知,各模式出产的克氏原螯虾肌肉中各种氨基酸含量存在一定差异。总氨基酸含量由大

到小为: 稻虾共作>池塘养殖>莲虾共作>河流野捕, 总鲜味氨基酸含量由大到小为: 稻虾共作>莲虾共作>河流野捕>池塘养殖, 总必需氨基酸与总氨基酸的比值由大到小为: 池塘养殖>莲虾共作>河流野捕>稻虾共作。稻虾共作模式下的组氨酸和四种鲜味氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸)含量均显著高于其他三种模式($P<0.05$), 也因此该模式下的总氨基酸和总鲜味氨基酸显著高于其他模式($P<0.05$), 而必需氨基酸占比低于池塘养殖、莲虾共作模式和河流野捕模式($P<0.05$)。池塘养殖和莲虾共作模式的必需氨基酸与非必需氨基酸占比则更优。河流野捕模式下的苏氨酸和丝氨酸两种甜味氨基酸显著高于其他三种模式($P<0.05$)。可见, 稻虾共作模式下的克氏原螯虾肌肉偏鲜美, 而河流野捕模式下的肌肉偏鲜甜, 池塘养殖和莲虾共作模式下的肌肉营养更均衡。

同种动物组织氨基酸含量主要受采食饵料中粗蛋白和氨基酸含量的影响, 栖息地的不同可能会影响游离氨基酸的含量, 从而影响动物肌肉氨基酸含量^[7]。因此, 生存环境和饵料组成也是造成不同养殖模式克氏原螯虾肌肉氨基酸含量差异的主要原因。稻田生长环境能提供较多的天然饵料, 如稻秆、根、

茎、叶、养殖藻类和害虫等^[20]; 而池塘养殖水深较深, 养殖密度较大, 可供克氏原螯虾采食的天然饵料较少^[31]; 在莲虾共作模式中, 水域里虽种植有莲藕, 但由于克氏原螯虾有打洞习性, 生产上特意将莲藕栽植与克氏原螯虾放养时间错峰进行, 以免莲藕幼嫩茎叶被克氏原螯虾采食^[32], 因此, 莲虾共作模式可供克氏原螯虾采食的天然饵料也不及稻虾共作模式丰富; 在河流野捕模式中, 虽然天然饵料种类丰富, 但克氏原螯虾的食物数量较为稀少^[31]。

2.6 不同养殖模式克氏原螯虾肌肉的氨基酸营养品质评价

EAAI 是评估食物营养价值最常见的指标之一, 高 EAAI 值表示高营养价值^[33]。通过与全鸡蛋氨基酸模式和 FAO/WHO 的氨基酸模式进行比较, 计算出了各模式下克氏原螯虾肌肉的 AAS、CS 和 EAAI, 结果见表 6。由表 6 可知, 四种模式下出产的克氏原螯虾的肌肉中甲硫氨酸-胱氨酸的 AAS 和 CS 评分结果均相对较低, 为湖北地区克氏原螯虾肌肉中的第一限制性氨基酸。除第一限制性氨基酸外, 其它必需氨基酸均接近 FAO/WHO 制定的全鸡蛋蛋白质理想模型。

表 6 不同养殖模式下克氏原螯虾 EAAI、AAS 及 CS 比较

Table 6 Comparison of EAAI, AAS and CS of *Procambarus clarkii* under different aquaculture models

氨基酸	氨基酸评分AAS				化学评分CS			
	稻虾共作	池塘养殖	莲虾共作	河流野捕	稻虾共作	池塘养殖	莲虾共作	河流野捕
异亮氨酸(Ile)	0.97	1.18	1.17	0.92	0.73	0.89	0.88	0.70
亮氨酸(Leu)	0.87	1.03	1.02	0.86	0.71	0.85	0.84	0.70
赖氨酸(Lys)	1.25	1.19	1.17	1.21	0.96	0.91	0.90	0.93
苏氨酸(Thr)	0.76	0.77	0.76	1.00	0.65	0.65	0.65	0.85
缬氨酸(Val)	0.77	0.78	0.80	0.79	0.58	0.59	0.60	0.59
甲硫氨酸(Met)+胱氨酸(Cys)	0.43	0.41	0.42	0.39	0.25	0.23	0.24	0.23
苯丙氨酸(Phe)+酪氨酸(Tyr)	0.88	0.90	0.89	0.88	0.59	0.61	0.60	0.59
EAAI	81.16	84.86	84.92	82.46				

四种模式出产的克氏原螯虾肌肉中赖氨酸的 AAS 值均大于 1.17, CS 值大于 0.90, 其中稻虾共作模式中的赖氨酸 AAS 和 CS 评分结果最高, 分别为 1.25 和 0.96, 表明不同生产模式出产的克氏原螯虾均为优质的赖氨酸来源。从 EAAI 指数上看, 四种模式出产的克氏原螯虾的 EAAI 指数为 81.16~84.92, 且莲虾共作>池塘养殖>河流野捕>稻虾共作。远高于日本沼虾(52.67)、安氏白虾(52.77)、南美白对虾(47.79)、中国对虾(40.46)^[34], 因此从必需氨基酸组成上看, 克氏原螯虾比其他淡水虾类有更高的营养价值。同时, 本次试验中稻虾共作模式下 EAAI 指数, 高于鄱阳湖(56.36)^[35]、盱眙(66.42)^[36]、冀东稻区(77.84)^[37]和成都地区(78.07~78.32)^[38], 与洞庭湖(80.02)^[6]和常熟(82.54)^[39]基本接近, 可见产地不同克氏原螯虾肌肉的营养价值存在一定差异。同一物种的 EAAI 指数受品种、栖息地环境和饵料等多种因素的共同影响, 各个因素对克氏原螯虾肌肉 EAAI

指数的贡献率有待进一步研究。

3 结论

湖北地区四种模式出产的克氏原螯虾肌肉均为优质蛋白质。其中, 稻虾共作模式生产的鲜虾具有较高的表面亮度, 虾肉紧实有弹性的同时具有较低的虾肉蒸煮损失率, 更能满足消费者偏爱; 虾肉中总氨基酸、总鲜味氨基酸、组氨酸和鲜味氨基酸含量均优于其他三种模式。池塘养殖和莲虾共作两种模式生产的虾肉中必需氨基酸与非必需氨基酸占比优于稻虾共作模式。河流野捕模式下的苏氨酸和丝氨酸两种甜味氨基酸优于其他三种模式。因此, 湖北地区稻虾共作模式生产的克氏原螯虾具有较高的亮度, 虾肉的咀嚼性较好, 蒸煮损失率较小, 总氨基酸和鲜味氨基酸含量较高, 具有较高的食用价值。河流野捕模式生产的虾肉偏甜, 池塘养殖和莲虾共作模式下的虾肉营养更均衡。

参考文献

- [1] 殷悦. 克氏原螯虾不同养殖模式的特点和养殖方法[D]. 南京: 南京农业大学, 2010. [YIN Y. Characteristics and methods of diverse culture models of *Procambarus clarkii*[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.]
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水学会. 2020年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 24. [Ministry of agriculture and rural affairs of the People's Republic of China, National fisheries technology extension center, China society of fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2020: 24.]
- [3] 吴亚玲, 蔡志文, 方艳珍, 等. 湖北省小龙虾产业发展现状与对策分析[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(7): 155-158. [WU Y L, CAI Z W, FANG Y Z, et al. Analysis on current situation and countermeasures of crayfish industry in Hubei province[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(7): 155-158.]
- [4] 潘志海, 郭长凯, 栾东磊. 即食小龙虾的微波杀菌工艺研究及品质评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 221-230. [PAN Z H, GUO C K, LUAN D L. Study on microwave sterilization process and quality evaluation of instant crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21): 221-230.]
- [5] CHEN D W, ZHANG M, SHRESTHA S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [6] 田娟, 许巧情, 田罗, 等. 洞庭湖克氏原螯虾肌肉成分分析及品质特性分析[J]. 水生生物学报, 2017, 41(4): 870-877. [TIAN J, XU Q Q, TIAN L, et al. The muscle composition analysis and flesh quality of *Procambarus clarkii* in the Dongting lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(4): 870-877.]
- [7] 罗雅婷, 刘益, 刘金梦, 等. 湖南省稻田养殖的不同规格克氏原螯虾的肌肉营养成分分析[J]. 动物营养学报, 2021, 33(8): 4592-4603. [LUO Y T, LIU Y, LIU J M, et al. Analysis of muscle nutritional components of different of different sizes of *Procambarus clarkii* in rice field in Hunan province[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(8): 4592-4603.]
- [8] CAI Y J, MA S Y, CHENG J Q, et al. Research progress on high value-added utilization of *Procambarus clarkii* shells[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 10: 334-338.
- [9] CHEN Y D, CHEN H, GONG F S, et al. A comparison of eating safety and quality of live and dead freshwater crayfish (*Procambarus clarkii*) at different stages[J]. Food Research International, 2022, 159: 111630.
- [10] AN N, YU L F, YAN L B, et al. Assessment of some trace elements accumulation in Karst lake sediment and *Procambarus clarkii*, in Guizhou province, China[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2022, 237: 113536.
- [11] LONG X W, WU X G, ZHAO L, et al. Effects of dietary supplementation with *Haematococcus pluvialis* cell powder on coloration, ovarian development and antioxidation capacity of adult female Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture, 2017, 473: 545-553.
- [12] BRAUER J M E, LEYYA J A S, ALVARADO L B, et al. Effect of dietary protein on muscle collagen, collagenase and shear force of farmed white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. European Food Research and Technology, 2003, 217(4): 277-280.
- [13] GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [GB 5009.3-2016 National food safety Standard-Determination of moisture in foods[S]. Beijing: China Standards Press of China, 2016.]
- [14] GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [GB 5009.5-2016 National food safety Standard-Determination of protein in foods[S]. Beijing: China Standards Press of China, 2016.]
- [15] GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [GB 5009.6-2016 National food safety Standard-Determination of fat in foods[S]. Beijing: China Standards Press of China, 2016.]
- [16] GB 5009.4-2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [GB 5009.4-2016 National food safety Standard-Determination of ash content in foods[S]. Beijing: China Standards Press of China, 2016.]
- [17] World Health Organization/Food and Agriculture Organization. Energy and protein requirements report of a joint FAO/WHO ad hoc expert committee[M]. WHO Technical Report Series, No.522 Geneva: WHO, 1973, 52: 40-73.
- [18] 殷悦, 郑友, 李佳佳, 等. 9个地区克氏原螯虾的色差及性状间相关分析[J]. 水产养殖, 2013, 34(7): 5-9. [YIN Y, ZHENG Y, LI J J, et al. Chromatic aberration and morphological correlation analysis of *Procambarus clarkii* groups from nine regions[J]. Journal of Aquaculture, 2013, 34(7): 5-9.]
- [19] KONG L, CAI C F, YE Y T, et al. Comparison of non-volatile compounds and sensory characteristics of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) reared in lakes and ponds: Potential environmental factors[J]. Aquaculture, 2012, 364-365: 96-102.
- [20] TUME R K, SIKES A L, TABRETT S, et al. Effect of background colour on the distribution of astaxanthin in black tiger prawn (*Penaeus monodon*): Effective method for improvement of cooked colour[J]. Aquaculture, 2009, 296(1-2): 129-135.
- [21] DIAZ-JIMENEZ L, HERNANDEZ-VERGARA M P, PEREZ-ROSTRO C I. The effect of background colour and lighting of the aquarium on the body pigmentation of the peppered shrimp *Lyssmata wurdemanni*[J]. Aquaculture Research, 2018, 49(11): 3508-3516.
- [22] WADE N M, BUDD A, IRVIN S, et al. The combined effects of diet, environment and genetics on pigmentation in the Giant Tiger Prawn, *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture, 2015, 449: 78-86.
- [23] 陈东清, 汪兰, 熊光权, 等. 不同规格小龙虾原料加工特性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2156-2161. [CHEN D Q, WANG L, XIONG G Q, et al. Study on processing characteristics of the crayfish with different specifications[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(8): 2156-2161.]
- [24] HULTMANN L, RUSTAD T. Iced storage of atlantic salmon (*Salmo salar*)-effects on endogenous enzymes and their impact on muscle proteins and texture[J]. Food Chemistry, 2004, 87(1): 31-41.
- [25] 石钢鹏, 周俊鹏, 章蔚, 等. 超高压与热烫预处理对克氏原螯虾肉冻藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 288-296, 322. [SHI G P, ZHOU J P, ZHANG W, et al. Effect of ultra-high pressure and blanching pretreatment on the quality of frozen *Procambarus clarkii* meat[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(15): 288-296, 322.]
- [26] ALCORLO P, GEIGER W, OTERO M. Feeding preferences and food selection of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in habitats differing in food item diversity[J]. Crustaceana, 2004, 77(4): 435-453.
- [27] 周正, 米武娟, 许元钊, 等. 克氏原螯虾两种养殖模式的食物

- 网结构及其食性比较[J]. *水生生物学报*, 2020, 44(1): 133-142. [ZHOU Z, MI W J, XU Y Z, et al. Feeding habits of *Procambarus clarkia* and food web structure in two different aquaculture systems[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, 44(1): 133-142.]
- [28] 王广军, 孙悦, 郁二蒙, 等. 澳洲淡水龙虾与克氏原螯虾肌肉营养成分分析与品质评价[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(9): 4339-4348. [WANG G J, SUN Y, YU E M, et al. Analysis and quality evaluation of nutrient components in muscle of *Cherax quadricarinatus* and *Procambarus clarkia*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(9): 4339-4348.]
- [29] 徐晨, 葛庆丰, 诸永志, 等. 不同地区小龙虾营养价值和品质的比较研究[J]. *肉类研究*, 2019, 33(8): 7-11. [XU C, GE Q F, ZHU Y Z, et al. Comparative analysis of nutritional value and quality of crayfish from different areas of China[J]. *Meat Research*, 2019, 33(8): 7-11.]
- [30] 程小飞, 宋锐, 向劲, 等. 不同养殖模式和野生克氏原螯虾肌肉营养成分分析与评价[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(4): 87-95. [CHENG X F, SONG R, XIANG J, et al. Analysis and evaluation of different farming modes and nutrient composition of wild crayfish (*Procambarus clarkia*) muscle[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(4): 87-95.]
- [31] 万金娟, 陈友明, 邵俊杰, 等. 盱眙地区不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉品质的比较分析[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(2): 965-972. [WAN J J, CHEN Y M, SHAO J J, et al. Comparative analysis on muscle quality of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*) cultured under different aquaculture modes in Xuyi region[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(2): 965-972.]
- [32] 覃丽蓉, 李为, 黄丰, 等. 莲虾共作池塘夏季浮游植物群落及其与环境因子关系[J]. *生物资源*, 2019, 41(6): 499-508. [QIN L R, LI W, HUANG F, et al. Phytoplankton community and its relationship with environmental factors in lotus-crayfish culture pond in summer[J]. *Biotic Resources*, 2019, 41(6): 499-508.]
- [33] SHI L F, HAO G X, CHEN J, et al. Nutritional evaluation of Japanese abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) muscle: Mineral content, amino acid profile and protein digestibility[J]. *Food Research International*, 2020, 129 (C).]
- [34] 庄平, 宋超, 章龙珍. 长江口安氏白虾与日本沼虾营养成分比较[J]. *动物学报*, 2008, 54(5): 822-829. [ZHUANG P, SONG C, ZHANG L Z. Comparison of nutritive components of *Exopalaemon annandalei* and *Macrobrachium nipponensis* collected from the Yangtze Estuary[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(5): 822-829.]
- [35] 易瑞恺, 胡火庚, 王尚洪, 等. 鄱阳湖克氏原螯虾肌肉营养成分分析与评价[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2013, 37(3): 255-258. [YI R K, HU H G, WANG S H, et al. Analysis and estimate of nutritional components in the muscle of crayfish *Procambarus* in Poyang lake[J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 2013, 37(3): 255-258.]
- [36] 陈晓明, 成兆友, 赵建民. 盱眙龙虾肌肉营养成分分析与评价[J]. *食品工业科技*, 2010(7): 345-349. [CHEN X M, CHEN Z Y, ZHAO J M. Analysis and evaluation nutritional composition in the muscle of crayfish from Xuyi[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010(7): 345-349.]
- [37] 李赵嘉, 郑振宇, 左永梅, 等. 冀东稻区克氏原螯虾肌肉营养成分分析及评价[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(20): 206-209. [LI Z J, ZHENG Z Y, ZUO Y M, et al. Analysis and evaluation on nutritional components in muscle of *Procambarus clarkii* in rice area of eastern Hebei[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(20): 206-209.]
- [38] 陈健, 李良玉, 杨壮志, 等. 池塘及稻田养殖克氏原螯虾肌肉成分与营养品质比较分析[J]. *中国饲料*, 2020(13): 79-84. [CHEN J, LI L Y, YANG Z Z, et al. Comparison of muscle compositions and nutritional quality in muscle of *Procambarus clarkii* cultured in paddy field and pool[J]. *China Feed*, 2020(13): 79-84.]
- [39] 丁建英, 康璵, 徐建荣. 东北螯虾和克氏原螯虾肌肉营养成分比较[J]. *食品科学*, 2010, 31(24): 427-431. [DING J Y, KANG J, XU J R. Comparison of nutritional compositions in muscle of *Cambaroides dauricus* and *Procambarus clarkii*[J]. *Food Science*, 2010, 31(24): 427-431.]