

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20191231001

http://www.yykxjz.cn/

周剑, 赵仲孟, 黄志鹏, 赵瀚, 李强, 张露, 柯红雨, 苏旭涛, 肖宇, 杜军. 池塘和稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝脏营养成分比较. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 162-169

Zhou J, Zhao ZM, Huang ZP, Zhao H, Li Q, Zhang L, Ke HY, Su XT, Xiao Y, Du J. Comparison of nutrient components in muscles and hepatopancreas of pond- and paddy field-cultured *Procambarus clarkii*. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 162-169

池塘和稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉和 肝脏营养成分比较*

周 剑 赵仲孟 黄志鹏 赵 瀚 李 强 张 露
柯红雨 苏旭涛 肖 宇 杜 军^①

(四川省农业科学院水产研究所 成都 611730)

摘要 通过对池塘和稻田 2 种养殖模式下克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)的肌肉常规营养成分进行测定,同时,对肌肉和肝胰腺的氨基酸和脂肪酸组成进行测定,从而对其营养品质进行分析评价。结果显示,2 种养殖模式下克氏原螯虾粗蛋白和粗脂肪无显著性差异($P>0.05$),池塘养殖模式下水分显著高于稻田模式($P<0.05$),而粗灰分显著低于稻田模式($P<0.05$)。在 2 种模式下肌肉和肝胰腺中均检测出 17 种氨基酸,包括 7 种必需氨基酸和 4 种鲜味氨基酸。2 种养殖模式下肌肉的必需氨基酸总含量占氨基酸总量(W_{EAA}/W_{TAA})值无显著性差异($P>0.05$),而肝胰腺中池塘养殖模式 W_{EAA}/W_{TAA} 值显著高于稻田模式($P<0.05$)。根据氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS),克氏原螯虾肌肉和肝胰腺中第一限制氨基酸均为甲硫氨酸+胱氨酸,肌肉中第二限制氨基酸为缬氨酸,肝胰腺中第二限制氨基酸为亮氨酸。另外,在肌肉中检测出 20 种脂肪酸,而在肝胰腺中检测出 24 种脂肪酸,其中,肌肉和肝胰腺中饱和脂肪酸含量最高的是棕榈酸(C16:0);单不饱和脂肪酸含量最高的是油酸(C18:1n9c)。研究表明,池塘和稻田 2 种养殖模式下的克氏原螯虾,肌肉和肝胰腺均具有较高的食用价值和营养价值。

关键词 克氏原螯虾;池塘;稻田;营养价值;比较分析

中图分类号 S965 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)02-0162-08

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)又称淡水小龙虾,隶属于节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、螯虾科(Cambaridae)、原螯虾属(*Procambarus*)(王顺昌,2003)。克氏原螯虾因其食性杂、生长速度快、适应能力强等原因,在当地的生态环境中能够迅速成为绝对优势种(舒新亚,2014)。又因其肉质鲜美而广受消费者喜欢,进入

中国市场后,已经成为重要的甲壳经济物种(刘红等,2014)。

克氏原螯虾虽出肉率不高,但是营养丰富,其蛋白质成分高于大多数淡水和海水鱼虾。除肌肉部分可供人食用外,克氏原螯虾的肝胰腺也可食用,其具有蟹黄味,营养物质含量丰富,被称之为“虾黄”。目前,除研究克氏原螯虾饲料中营养素的需求外(Dong

* 四川省农业科学院公益性研究深化工程项目(2016GYSH-020)资助 [This work was supported by the Sichuan Academy of Agricultural Sciences Public Welfare Research Deepening Project (2016GYSH-020)]. 周 剑, E-mail: zhoujian980@126.com

^① 通讯作者: 杜 军, 研究员, E-mail: dujun9100@126.com

收稿日期: 2019-12-31, 收修改稿日期: 2020-03-15

et al, 2013; Zhu et al, 2010; 李强等, 2013; 徐维娜等, 2011), 对于克氏原螯虾的营养成分分析也有研究。其中, 丁建英等(2010)采用常规方法对江苏野生克氏原螯虾肌肉进行营养成分分析, 在克氏原螯虾肌肉中测出 17 种氨基酸和 15 种脂肪酸, 其必需氨基酸含量远高于其他淡水虾类。唐黎等(2018)分析测定了贵州稻田养殖的克氏原螯虾的肌肉含肉率及营养成分, 结果发现, 克氏原螯虾含肉率为(18.40±1.60)%, 检测出 17 种氨基酸, 并对其钙、磷和常规营养成分进行测定。此外, 易瑞恺等(2013)对鄱阳湖克氏原螯虾肌肉营养成分进行了分析与评价, 而田娟等(2017)对洞庭湖克氏原螯虾的肌肉也进行了分析。

目前, 克氏原螯虾在四川的产量逐年递增, 据统计, 2018 年克氏原螯虾产量达 1.48 万 t, 其养殖模式主要以稻田和池塘为主。本研究通过对四川省池塘和稻田 2 种养殖模式下克氏原螯虾的肌肉和肝胰腺营养成分进行分析测定, 比较分析 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝胰腺的营养成分差异, 旨在为克氏原螯虾的人工养殖及饲养条件提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料及样品处理

实验虾取自四川省崇州市王场镇, 其中, 池塘面积为 3200 m², 平均水深为 1.7 m, 稻田面积为 4100 m², 平均水深为 1.5 m。在池塘和稻田 2 种养殖模式下, 养殖水源和放养规格均一致(虾苗放养规格为(2.5±0.5) g, 其中池塘放养密度为 10000 尾/亩, 稻田放养密度为 4000 尾/亩。养殖期间, 每天分 2 个时间点(09:00 和 18:00)进行饲料喂食, 实验期间采用蛋白含量为 30%的商业小龙虾配合饲料进行投喂, 每天投喂量占虾苗总体重的 3%的饲料(下午投喂量为总投喂量的 70%)。每次投喂前, 用投料台观察吃食情况, 按需要对投喂量进行调整。实验期间, 定期对养殖塘水质进行检测, 并且每个养殖塘每周定期更换 1/5 的养殖用水。

经过为期 21 d 的养殖实验后, 在不同养殖模式塘中, 随机选取体格健壮、附肢完好、规格均一的克氏原螯虾各 15 尾, 其中, 池塘养殖模式的克氏原螯虾体长为(8.41±0.29) cm, 体重为(14.37±0.89) g; 稻田养殖模式的克氏原螯虾体长为(8.18±0.43) cm, 体重为(15.89±1.56) g。每个组各预留 5 只克氏原螯虾置于-21℃保存, 用于后续的体成分分析。剩余的 10 只虾用常规组织取样法取肌肉和肝胰腺, 并且每只虾所取组织单独保存, 用于后续的氨基酸和脂肪酸成分分析。

1.2 检测方法

分别对各组预留的 5 只克氏原螯虾每个个体单独进行常规营养成分测定: 根据 GB 5009.3-2016, 测定肌肉中水分; 根据 GB 5009.4-2016 测定肌肉粗灰分含量; 根据 GB 5009.5-2016 测定肌肉粗蛋白含量; 根据 GB 5009.6-2016 测定肌肉粗脂肪含量。

分别对各组 10 只克氏原螯虾的肌肉和肝胰腺单独进行氨基酸和脂肪酸含量的测定: 本研究中, 氨基酸采用 GB 5009.124-2016 微波辅助酸水解法进行测定, 脂肪酸采用 GB 5009.168-2016 法进行测定。

1.3 营养品质的评定方法

根据联合国粮食及农业组织(FAO)和世界卫生组织(WHO) 1973 年建议的氨基酸评分标准模式和中国预防医学科学院营养与食品卫生所提出的全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式进行比较, 按下述公式计算氨基酸评分(Amino acid score, AAS)、化学评分(Chemical score, CS)和必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI):

$$AAS = \frac{\text{待测蛋白氨基酸含量(mg/gN)}}{\text{FAO/WHO评分模式氨基酸含量(mg/gN)}}$$

$$CS = \frac{\text{待测蛋白氨基酸含量(mg/gN)}}{\text{全鸡蛋蛋白质同种氨基酸含量(mg/gN)}}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \cdots \times \frac{100J}{JE}}$$

氨基酸含量(mg/g)=鲜样氨基酸含量百分比/鲜样粗蛋白含量百分比×6.25×1000

式中, n 为氨基酸中需要比较的必需氨基酸个数; AE、BE、……、JE 为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量(mg/gN); A、B、……、J 为克氏原螯虾肌肉或肝胰腺蛋白质的必需氨基酸含量(mg/gN)。

1.4 数据处理

用 SPSS 16.0 统计分析软件进行统计分析, 稻田和池塘养殖模式下样本间的差异使用独立样本 t 检验, 使用 Levene's test 进行方差齐性检验, 描述性统计值使用平均值±标准差(Mean±SD)。

2 结果

2.1 常规营养成分

池塘养殖模式下克氏原螯虾肌肉粗蛋白和粗脂肪含量低于稻田养殖模式, 但差异并不显著($P>0.05$), 而粗灰分含量显著低于稻田养殖模式($P<0.05$)。另外, 池塘养殖模式下的克氏原螯虾肌肉的水分含量显著高于稻田模式($P<0.05$)(表 1)。

表 1 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉中
主要营养物质(平均值±标准差) (%湿重)

Tab.1 Nutrient components in muscles of the
P. clarkii in two culture models
(Mean±SD) (% wet weight)

一般营养成分 General nutrient components	池塘 Pond	稻田 Paddy field
水分 Moisture (%)	72.67±1.05 ^a	68.03±0.61 ^b
粗脂肪 Crude fat	1.00±0.22 ^a	1.03±0.69 ^a
粗灰分 Ash	9.60±1.20 ^a	12.43±0.78 ^b
粗蛋白 Crude protein	10.69±0.94 ^a	11.70±0.78 ^a

注：同一行数据具有不同右上标字母表示差异显著 ($P<0.05$)，下同

Note: Different right superscript letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below

2.2 氨基酸组成

在池塘和稻田 2 种模式下的克氏原螯虾肌肉中共检测出 17 种氨基酸(表 2)，氨基酸总含量分别为 17.0%和 11.2%。池塘养殖模式下克氏原螯虾肌肉中氨基酸总量、必需氨基酸和鲜味氨基酸高于稻田养殖模式，但均未达到显著差异($P>0.05$)，而鲜味氨基酸总含量占氨基酸总量(W_{DAA}/W_{TAA})的比值显著高于稻田养殖模式($P<0.05$)。除此之外，池塘养殖模式下克氏原螯虾的肌肉中必需氨基酸总含量占氨基酸总量(W_{EAA}/W_{TAA})的比值低于稻田养殖模式，未达到显著差异($P>0.05$)，而必需氨基酸总含量占非必需氨基酸总量(W_{EAA}/W_{NEAA})的比值显著低于稻田养殖模式($P<0.05$)。

表 2 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝胰腺中氨基酸组成及含量(平均值±标准差) (%湿重)

Tab.2 Amino acids composition in muscles and hepatopancreas of the *P. clarkii*
in two culture models (Mean±SD) (% wet weight) (mg/g)

氨基酸 Amino acids	肌肉 Muscle		肝胰腺 Hepatopancreas	
	池塘 Pond	稻田 Paddy field	池塘 Pond	稻田 Paddy field
天门冬氨酸 [#] Asp	17.87±0.10	11.85±0.12	6.70±0.04	6.40±0.07
苏氨酸* Thr	6.53±0.05	4.80±0.03	3.53±0.02 ^a	3.27±0.02 ^b
丝氨酸 Ser	6.77±0.04 ^A	4.80±0.03 ^B	3.23±0.02 ^a	2.80±0.03 ^b
谷氨酸 [#] Glu	29.17±0.20	18.75±0.08	9.37±0.05	9.77±0.14
甘氨酸 [#] Gly	8.37±0.08 ^A	5.15±0.07 ^B	4.30±0.05 ^a	3.50±0.03 ^b
丙氨酸 [#] Ala	10.93±0.05 ^A	6.70±0.05 ^B	3.63±0.02	3.63±0.01
胱氨酸 Cys	1.03±0.00 ^A	1.25±0.01 ^B	1.60±0.00 ^a	1.07±0.02 ^b
缬氨酸* Val	7.17±0.03	5.20±0.03	3.63±0.02	3.50±0.01
蛋氨酸* Met	4.27±0.02	2.70±0.02	1.43±0.01 ^a	1.33±0.00 ^b
异亮氨酸* Ile	7.67±0.03	4.95±0.05	2.97±0.02 ^a	2.80±0.01 ^b
亮氨酸* Leu	13.57±0.07	8.85±0.09	5.13±0.03 ^a	4.87±0.02 ^b
酪氨酸 Tyr	6.37±0.03 ^A	4.55±0.03 ^B	3.33±0.02 ^a	3.03±0.04 ^b
苯丙氨酸* Phe	7.07±0.04	4.80±0.05	3.20±0.02	3.03±0.02
赖氨酸* Lys	14.37±0.08	8.95±0.09	4.27±0.04 ^a	3.83±0.02 ^b
组氨酸 His	3.77±0.02	2.70±0.01	2.07±0.01 ^a	1.93±0.01 ^b
精氨酸 Arg	19.40±0.04 ^A	12.45±0.10 ^B	5.40±0.05 ^a	4.80±0.03 ^b
脯氨酸 Pro	5.37±0.04	3.65±0.04	2.60±0.01	2.50±0.02
氨基酸总量 W_{TAA}	169.80±0.70	111.90±0.82	66.47±0.40 ^a	62.20±0.27 ^b
必需氨基酸总量 W_{EAA}	63.78±0.32	43.35±0.33	27.66±0.16 ^a	25.40±0.09 ^b
鲜味氨基酸总量 W_{DAA}	66.34±0.23	42.45±0.32	24.00±0.14	23.30±0.14
非必需氨基酸总量 W_{NEAA}	109.03±0.39 ^A	71.85±0.48 ^B	42.23±0.24 ^a	39.44±0.22 ^b
W_{EAA}/W_{TAA} (%)	37.56	38.74	41.61 ^a	40.84 ^b
W_{EAA}/W_{NEAA} (%)	58.50 ^A	60.33 ^B	65.50 ^a	64.40 ^b
W_{DAA}/W_{TAA} (%)	39.07 ^A	37.94 ^B	36.11 ^a	37.46 ^b

注：*代表必需氨基酸；#代表鲜味氨基酸。不同养殖模式下肌肉中氨基酸含量差异用大写字母 A 和 B 表示，不同养殖模式下肝胰腺中氨基酸含量差异用小写字母 a 和 b 表示

Note: *: Essential amino acids; #: Flavor amino acid. The difference of amino acid content in muscle under different culture modes is indicated by capital letters A and B. The difference of amino acid content in hepatopancreas under different culture modes is indicated by lowercase letters a and b

同样地, 池塘养殖模式下克氏原螯虾肝胰腺中氨基酸总量和必需氨基酸总量显著高于稻田养殖模式 ($P<0.05$), 而鲜味氨基酸总量高于稻田养殖模式, 但差异并不显著 ($P>0.05$)。另外, 池塘养殖模式下克氏原螯虾肝胰腺中 W_{EAA}/W_{TAA} 和 W_{EAA}/W_{NEAA} 均显著高于稻田养殖模式 ($P<0.05$), 而 W_{DAA}/W_{TAA} 显著低于稻田养殖模式 ($P<0.05$)。

2.3 肌肉营养品质评价

通过计算得出池塘和稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝胰腺的 AAS 和 CS 值, 池塘养殖模式下克氏原螯虾肌肉中必需氨基酸的 AAS 在 0.27~2.47,

肝胰腺中必需氨基酸的 AAS 在 0.43~1.01; 稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉中必需氨基酸的 AAS 在 0.30~1.41, 肝胰腺中必需氨基酸的 AAS 在 0.26~0.85 (表 3 和表 4)。根据 AAS 评分, 池塘和稻田 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝胰腺中的第一限制氨基酸均为甲硫氨酸 + 胱氨酸; 池塘和稻田 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉的第二限制氨基酸为缬氨酸; 池塘和稻田 2 种养殖模式下克氏原螯虾肝胰腺的第二限制氨基酸为亮氨酸。根据 CS 评分, 池塘和稻田 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝胰腺中的第一限制氨基酸也均为甲硫氨酸 + 胱氨酸; 而第二限制氨基酸均为缬氨酸。

表 3 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉中氨基酸评分和化学评分
Tab.3 Comparative analysis of AAS and CS in muscles of the *P. clarkii* between two culture models

必需氨基酸种类 EAA	氨基酸含量 Amino acid contents		FAO 评分模 式标准含量 FAO score model	全鸡蛋蛋白 质标准含量 Egg score model	稻田 Paddy field		池塘 Pond	
	稻田 Paddy field	池塘 Pond			氨基酸评分 值 AAS	化学评分 值 CS	氨基酸评分 值 AAS	化学评分 值 CS
亮氨酸 Leu	473	793	440	534	1.08	0.89	1.80	1.49
异亮氨酸 Ile	264	448	250	331	1.06	0.80	1.79	1.35
赖氨酸 Lys	478	840	340	441	1.41	1.08	2.47	1.90
苏氨酸 Thr	256	382	250	292	1.02	0.88	1.53	1.31
缬氨酸 Val	278	419	310	411	0.90	0.68	1.35	1.02
苯丙+酪氨酸 Phe+Tyr	499	785	380	565	1.31	0.88	2.07	1.39
甲硫+胱氨酸 Met+Cys	67	60	220	386	0.30	0.17	0.27	0.16
总计 Total	2315	3727	2190	2960				

表 4 2 种养殖模式下克氏原螯虾肝胰腺中氨基酸评分和化学评分
Tab.4 Comparative analysis of AAS and CS in hepatopancreas of the *P. clarki* between two culture models

必需氨基酸 EAA	氨基酸含量 Amino acid contents		FAO 评分模 式标准含量 FAO score model	全鸡蛋蛋白 质标准含量 Egg score model	稻田 Paddy field		池塘 Pond	
	稻田 Paddy field	池塘 Pond			氨基酸评分 值 AAS	化学评分 值 CS	氨基酸评分 值 AAS	化学评分 值 CS
亮氨酸 Leu	260	300	440	534	0.59	0.49	0.68	0.56
异亮氨酸 Ile	150	174	250	331	0.60	0.45	0.70	0.53
赖氨酸 Lys	205	250	340	441	0.60	0.46	0.74	0.57
苏氨酸 Thr	175	206	250	292	0.70	0.60	0.82	0.71
缬氨酸 Val	187	212	310	411	0.60	0.45	0.68	0.52
苯丙+酪氨酸 Phe+Tyr	324	382	380	565	0.85	0.57	1.01	0.68
甲硫+胱氨酸 Met+Cys	57	94	220	386	0.26	0.15	0.43	0.24
总计 Total	1358	1618	2190	2960				

2.4 脂肪酸组成

在克氏原螯虾的肌肉中共检测出 20 种脂肪酸, 包括饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)9 种, 单不

饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acid, MUFA)3 种, 多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA) 8 种(表 5)。其中, 池塘养殖模式下肌肉 SFA 占肌肉干重的 34.71%, 显著高于稻田养殖模式下的 31.37%;

池塘养殖模式下肌肉 MUFA 占肌肉干重的 23.29%，同样显著高于稻田养殖模式下的 21.93%；而池塘养殖模式下肌肉 PUFA 占肌肉干重的 41.54%，显著低于稻田养殖模式下的 46.23%。此外，在肝胰腺中，除肌肉中检测出的 20 种脂肪酸外，在 SFA 中还检测出葵酸(C10:0)和月桂酸(C12:0)，MUFA 中还检测出十七烷酸(C17:0)，在 PUFA 中还检测出 γ -亚油酸(C18:3n6)。其中，池塘养殖模式下肝胰腺中 SFA 占肝脏干重的 35.11%，显著高于稻田养殖模式下的

31.11%；池塘养殖模式下肝胰腺中 MUFA 占肝脏干重的 36.44%，显著高于稻田养殖模式下的 30.02%；而池塘养殖模式下肝胰腺中 PUFA 占肝脏干重的 26.85%，显著低于稻田养殖模式下的 37.72%。

在 2 种养殖模式下，克氏原螯虾的肌肉和肝胰腺中 SFA 含量最高的是棕榈酸(C16:0)；MUFA 含量最高的是油酸(C18:1n9c)；而 PUFA 在肌肉中含量最高的是顺式-5,8,11,14,17-二十碳烯酸(C20:5n3)，在肝胰腺中含量最高的是亚油酸(C18:2n6c)。

表 5 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝胰腺中脂肪酸组成及含量(平均值 \pm 标准差)(%湿重)
Tab.5 Fatty acids composition in muscles and hepatopancreas of the *P. clarkii* in two culture models (Mean \pm SD) (% wet weight)

肌肉 Muscles			肝胰腺 Hepatopancreas		
脂肪酸 Fatty acid	池塘 Pond	稻田 Paddy field	脂肪酸 Fatty acid	池塘 Pond	稻田 Paddy field
C14:0	0.73 \pm 0.08 ^A	0.61 \pm 0.01 ^B	C10:0	0.05 \pm 0.02 ^a	0.04 \pm 0.01 ^b
C15:0	1.13 \pm 0.09 ^A	0.91 \pm 0.01 ^B	C12:0	0.04 \pm 0.01	0.03 \pm 0.00
C16:0	19.33 \pm 0.68 ^A	16.80 \pm 0.10 ^B	C14:0	1.13 \pm 0.23	1.11 \pm 0.04
C17:0	1.29 \pm 0.04	1.29 \pm 0.05	C15:0	1.15 \pm 0.11	1.21 \pm 0.03
C18:0	9.51 \pm 0.35	9.37 \pm 0.03	C16:0	25.43 \pm 0.71 ^a	21.13 \pm 0.47 ^b
C20:0	1.13 \pm 0.08 ^A	1.04 \pm 0.01 ^B	C17:0	0.73 \pm 0.02 ^a	0.98 \pm 0.13 ^b
C21:0	0.24 \pm 0.01 ^A	0.27 \pm 0.03 ^B	C18:0	4.75 \pm 0.11 ^a	4.19 \pm 0.26 ^b
C22:0	1.03 \pm 0.06 ^A	0.80 \pm 0.06 ^B	C20:0	0.54 \pm 0.05 ^a	0.61 \pm 0.04 ^b
C23:0	0.32 \pm 0.02	0.30 \pm 0.04	C21:0	0.25 \pm 0.03 ^a	0.38 \pm 0.04 ^b
Σ SFA	34.71 \pm 0.90 ^A	31.37 \pm 0.26 ^B	C22:0	0.53 \pm 0.04 ^a	0.73 \pm 0.02 ^b
C16:1	2.31 \pm 0.61	2.01 \pm 0.16	C23:0	0.51 \pm 0.05 ^a	0.70 \pm 0.03 ^b
C18:1n9c	20.40 \pm 0.71 ^A	19.20 \pm 0.50 ^B	Σ SFA	35.11 \pm 0.03 ^a	31.11 \pm 0.89 ^b
C20:1	0.58 \pm 0.03 ^A	0.72 \pm 0.10 ^B	C16:1	6.60 \pm 0.32 ^a	4.91 \pm 0.10 ^b
Σ MUFA	23.29 \pm 0.67 ^A	21.93 \pm 0.44 ^B	C17:1	0.64 \pm 0.07 ^a	0.75 \pm 0.02 ^b
C18:2n6c	12.13 \pm 0.81	12.60 \pm 0.10	C18:1n9c	28.87 \pm 0.10 ^a	23.83 \pm 0.17 ^b
C18:3n3	2.80 \pm 0.30 ^A	4.08 \pm 0.60 ^B	C20:1	0.34 \pm 0.04 ^a	0.53 \pm 0.04 ^b
C20:2	1.28 \pm 0.25	1.22 \pm 0.08	Σ MUFA	36.44 \pm 0.78 ^a	30.02 \pm 0.28 ^b
C20:3n6	0.73 \pm 0.15	0.66 \pm 0.01	C18:2n6c	19.83 \pm 0.22 ^a	25.23 \pm 0.10 ^b
C20:3n3	0.53 \pm 0.03 ^A	0.55 \pm 0.01 ^B	C18:3n6	0.24 \pm 0.06 ^a	0.49 \pm 0.02 ^b
C20:4n6	7.46 \pm 0.49	7.18 \pm 0.16	C18:3n3	3.22 \pm 0.41 ^a	7.44 \pm 0.68 ^b
C20:5n3(EPA)	12.37 \pm 0.47 ^A	13.70 \pm 0.1 ^B	C20:2	0.39 \pm 0.03 ^a	0.50 \pm 0.08 ^b
C22:6n3(DHA)	4.25 \pm 0.19 ^A	6.25 \pm 0.12 ^B	C20:3n6	0.17 \pm 0.02 ^a	0.24 \pm 0.04 ^b
Σ PUFA	41.54 \pm 1.25 ^A	46.23 \pm 0.26 ^B	C20:3n3	0.17 \pm 0.02 ^a	0.24 \pm 0.04 ^b
			C20:4n6	1.28 \pm 0.23 ^a	1.63 \pm 0.29 ^b
			C20:5n3(EPA)	1.16 \pm 0.26	1.28 \pm 0.55
			C22:6n3(DHA)	0.38 \pm 0.09 ^a	0.67 \pm 0.04 ^b
			Σ PUFA	26.85 \pm 1.45 ^a	37.72 \pm 1.69 ^b

注：不同养殖模式下肌肉中脂肪酸含量差异用大写字母 A 和 B 表示，不同养殖模式下肝胰腺中脂肪酸含量差异用小写字母 a 和 b 表示

Note: The difference of fatty acid content in muscle under different culture modes is indicated by capital letters A and B. The difference of fatty acid content in hepatopancreas under different culture modes is indicated by lowercase letters a and b

3 讨论

3.1 克氏原螯虾常规营养成分分析

常规营养成分测定主要包括粗蛋白、水分、粗脂肪和粗灰分的测定。其中,蛋白质是组成动物一切细胞、组织的重要成分,机体所有重要的组成部分都需要蛋白质的参加。食品中蛋白质含量的多少,虽然不能决定一种食品营养价值的高低,但评定一种食品蛋白质营养价值时,应以蛋白质含量为基础(王放等,1996)。本研究中,池塘和稻田 2 种养殖模式下克氏原螯虾的粗蛋白含量无显著性差异,与其他已报导的克氏原螯虾营养成分相比,本研究的克氏原螯虾粗蛋白含量低于易瑞恺等(2013)研究的鄱阳湖克氏原螯虾,同时低于洞庭湖、常熟市和盱眙地区(丁建英等,2010;田娟等,2017;刘平等,2011),这可能是由于各地区温度、水体环境的变化及饲喂方式的不同导致。本研究 2 种模式下的克氏原螯虾的水分含量在 70% 左右,低于洞庭湖、鄱阳湖和常熟等地区,同时低于红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)、日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)、罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)和日本对虾(*Penaeus japonicus*)(吴志新等,1995;庄平等,2008;陈晓汉等,2001;姚根媒等,1981;许星鸿等,2011)。脂肪是虾体能量的来源,本研究克氏原螯虾粗脂肪含量低于常熟市,高于洞庭湖,与鄱阳湖的克氏原螯虾接近(丁建英等,2010;田娟等,2017;易瑞恺等,2013)。另外,粗脂肪含量高于红螯螯虾和南美白对虾等其他虾类,这可能是由于克氏原螯虾耐低氧且生存能力强的原因(吴志新等,1995;陈晓汉等,2001)。

3.2 克氏原螯虾营养品质的评价

根据 FAO/WHO 的理想模式,必需氨基酸占氨基酸总量的比值(W_{EAA}/W_{TAA})为 40% 左右,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值(W_{EAA}/W_{NEAA})在 60% 以上的为质量较好的蛋白质(Pellet *et al.*, 1980)。本研究中,池塘养殖模式下克氏原螯虾肌肉的 W_{EAA}/W_{TAA} 值低于稻田养殖模式,但差异并不显著($P>0.05$),而 W_{EAA}/W_{NEAA} 值显著低于稻田养殖模式($P<0.05$),说明稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉的蛋白质质量较池塘养殖模式蛋白质质量高,但均符合 FAO/WHO 标准模式对质量较好的蛋白质氨基酸组成的要求。而 2 种养殖模式下克氏原螯虾肝胰腺的 W_{EAA}/W_{TAA} 值和 W_{EAA}/W_{NEAA} 值均分别高于 40% 和 60%,说明 2 种模式下克

氏原螯虾的肝胰腺氨基酸组成符合上述指标要求,属于优质蛋白质。在肌肉中,2 种养殖模式下必需氨基酸含量最高的均为赖氨酸,均超过 FAO/WHO 模式和鸡蛋蛋白质,而赖氨酸是乳液中第一限制性氨基酸,并有“生长氨基酸”之称,食用克氏原螯虾可以弥补以谷物为主的膳食者食物中赖氨酸的不足,从而提高蛋白质的利用率(周均等,2006)。除此之外,赖氨酸含量还高于凡纳滨对虾和南极拟扇虾(*Parribaculus antarcticus*),低于安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*)和日本沼虾(陈晓汉等,2001;初庆柱等,2012;庄平等,2008)。蛋白质的鲜美程度主要取决于呈鲜味的谷氨酸和天门冬氨酸及呈甘味的甘氨酸和丙氨酸的组成与含量,其中,含量最高的为谷氨酸,谷氨酸是鲜味最强的氨基酸,也是脑组织生化代谢中合成生理活性物质的重要参与物质(张昌颖等,1988;刘峰等,2018)。与凡纳滨对虾、南极拟扇虾、安氏白虾和日本沼虾相比,本研究 2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉中谷氨酸的含量均较高,说明克氏原螯虾味道更加鲜美。

脂肪酸是机体主要能源之一,对虾类的生长和生存起着重要作用。在池塘和稻田 2 种养殖模式下,克氏原螯虾肌肉中均检测出 20 种脂肪酸。克氏原螯虾肌肉中脂肪酸以 PUFA 最高, SFA 次之, MUFA 最低。与易瑞恺等(2013)研究鄱阳湖克氏原螯虾得出 SFA 最高, MUFA 次之的结果不一致,这可能是由于养殖模式及饲养方法的差异引起的。脂肪酸检测结果显示,棕榈酸(C16:0)和油酸(C18:1n9c)在 2 种养殖模式下,克氏原螯虾肌肉和肝胰腺中含量最高,这一结果与安氏白虾和日本沼虾结果一致(庄平等,2008)。在克氏原螯虾肝胰腺中检测出 24 种脂肪酸,其中,饱和脂肪酸 11 种;单不饱和脂肪酸 4 种;多不饱和脂肪酸 9 种。对于虾类肝胰腺脂肪酸的研究相对较少,肝胰腺作为“虾黄”,亦可供人食用,需后续进行更多的研究。

4 结论

2 种养殖模式下除水分和粗灰分外,其他一般营养物质无显著性差异。同时在 2 种养殖模式下肌肉和肝胰腺中均检测出 17 种氨基酸,其中,必需氨基酸 7 种,鲜味氨基酸 4 种。根据 CS 评分,2 种养殖模式下克氏原螯虾肌肉和肝胰腺中的第一限制氨基酸均为甲硫氨酸+胱氨酸,而第二限制氨基酸均为缬氨酸,必需氨基酸的满足率较高。此外,20 种脂肪酸在 2 种养殖模式下的克氏原螯虾肌肉中均被检出。而

在肝胰腺中还检测出癸酸(C10:0)、月桂酸(C12:0)、十七烷酸(C17:0)和 γ -亚油酸(C18:3n6)。2种养殖模式下的克氏原螯虾的肌肉和肝胰腺均具有较高的营养价值,适宜食用。

参 考 文 献

- Chen XH, Chen Q, Xie DX. Assessment of meat containing rates and muscle nutrition values in whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*). Fisheries Science and Technology Information, 2001, 28(4): 165–168 [陈晓汉, 陈琴, 谢达祥. 南美白对虾含肉率及肌肉营养价值的评定. 水产科技情报, 2001, 28(4): 165–168]
- Chu QZ, Liu SC, Fan DW, et al. Analysis on nutritional components of *Parribacus antarcticus*. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(1): 168–172 [初庆柱, 刘书成, 范德炜, 等. 南极拟扇虾肌肉营养成分分析. 水生生物学报, 2012, 36(1): 168–172]
- Ding JY, Kang J, Xu JR. Nutritional composition of analysis and evaluation of *Procambarus clarkii*. Fisheries Science and Technology Information, 2010, 37(6): 298–301 [丁建英, 康璉, 徐建荣. 克氏原螯虾肌肉营养成分分析与评价. 水产科技情报, 2010, 37(6): 298–301]
- Dong CH, Wang J. Immunostimulatory effects of dietary fructooligosaccharides on red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard). Aquaculture Research, 2013, 44(9): 1416–1424
- Li Q, Xie LL, Lin YC, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. Journal of Huazhong Agriculture University, 2013, 32(2): 109–115 [李强, 谢玲玲, 林郁葱, 等. 克氏原螯虾对饲料中磷的需求量. 华中农业大学学报, 2013, 32(2): 109–115]
- Liu F, Lü XK, Liu YY, et al. Effect of starvation on amino acids and fatty acids of juvenile *Larimichthys crocea*. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(5): 58–65 [刘峰, 吕小康, 刘阳阳, 等. 饥饿对大黄花鱼幼鱼肌肉中氨基酸和脂肪酸组成的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(5): 58–65]
- Liu H, Cui J, Yan J, et al. Cloning and relative quantification analysis of expression of the partial vitellogenin receptor cDNA/mRNA of the crayfish *Procambarus clarkii*. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(6): 83–89 [刘红, 崔俊, 颜婕, 等. 克氏原螯虾卵黄蛋白原受体 cDNA 部分序列的克隆及 mRNA 表达量的相对定量. 渔业科学进展, 2014, 35(6): 83–89]
- Liu P, Zhou YQ, Zang LJ. Investigation of heavy metal contamination in four kinds of fishes from the different farmer markets in Beijing. Environmental Science, 2011, 32(7): 2062–2068 [刘平, 周益奇, 臧利杰. 北京农贸市场 4 种鱼类体内重金属污染调查. 环境科学, 2011, 32(7): 2062–2068]
- Pellet PL, Yong VR. Nutritional evaluation of protein food. Tokyo: United National University Publishing Company, 1980, 26–29
- Shu XY. The industry development and key technology of *Procambarus clarkii* in Hubei Province. Fisheries Advance Magazine, 2014, 5: 93–96 [舒新亚. 湖北省小龙虾产业发展及关键技术. 水产前沿杂志, 2014, 5: 93–96]
- Tang L, Yang JJ, Lin YH, et al. Analysis on flesh nutrient component of freshwater crayfish *Procambarus clarkii* farmed in ricefield in Guizhou province. Hebei Fisheries, 2018, 297(9): 19–23, 49 [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. 河北渔业, 2018, 297(9): 19–23, 49]
- Tian J, Xu QQ, Tian L, et al. The muscle composition analysis and flesh quality of *Procambarus clarkii* in the Dongting Lake. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(4): 870–877 [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. 水生生物学报, 2017, 41(4): 870–877]
- Wang F, Wang XL. Principles and techniques of food nutrition and health care. Beijing: China Light Industry Press, 1996, 23–24 [王放, 王显伦. 食品营养保健原理与技术. 北京: 中国轻工业出版社, 1996, 23–24]
- Wang SC. The biological and ecological cultivation mode of *Procambarus clarkia*. Freshwater Fisheries, 2003, 33(4): 59–61 [王顺昌. 克氏螯虾的生物学和生态养殖模式. 淡水渔业, 2003, 33(4): 59–61]
- Wu ZX, Chen XX, Xiong CX, et al. Analysis of nutrient compositions for *Cherax quadricarinatus*. Hubei Agricultural Sciences, 1995, 29(4): 59–62 [吴志新, 陈孝煊, 熊传喜, 等. 澳大利亚红螯螯虾营养成分分析. 湖北农业科学, 1995, 29(4): 59–62]
- Xu WN, Liu WB, Shen MF, et al. Effect of different dietary protein and lipid level on growth performance, body composition and digestive enzymes activities of red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 521–529 [徐维娜, 刘文斌, 沈美芳, 等. 饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 生长性能、体组成和消化酶活性的影响. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 521–529]
- Xu XH, Liu X, Yan BL, et al. Nutritional component analysis and quality evaluation of *Penaeus japonicus*. Food Science, 2011, 32(13): 297–301 [许星鸿, 刘翔, 阎斌伦, 等. 日本对虾肌肉营养成分分析与品质评价. 食品科学, 2011, 32(13): 297–301]
- Yao GM, Li XZ. Determination of nutritional composition of *Macrobrachium rosenbergii*. Fisheries Science and Technology Information, 1981(4): 23 [姚根媒, 李秀珍. 罗氏沼虾营养成分的测定. 水产科技情报, 1981(4): 23]
- Yi RK, Hu HG, Wang SH, et al. Analysis and estimate on nutritional components in muscle of *Procambarus clarkii* in Poyang Lake. Journal of Nanchang University (Science Edition), 2013, 37(3): 255–258 [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. 南昌大学学报(理科版), 2013, 37(3): 255–258]
- Zhang CY, Li L, Li CF, et al. Biochemistry. Beijing: People's

- Medical Publishing House, 1988, 305–561 [张昌颖, 李亮, 李昌甫, 等. 生物化学. 北京: 人民卫生出版社, 1988, 305–561]
- Zhou J, Song DJ. Advance in lysine nutrition. *Feed Research*, 2006, 27(8): 48–50 [周均, 宋代军. 赖氨酸营养研究进展. 饲料研究, 2006, 27(8): 48–50]
- Zhu F, Quan HZ, Du HH, *et al.* Effect of dietary chitosan and chitin supplementation on the survival and immune reactivity of crayfish, *Procambarus clarkii*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2010, 41(s2): 284–290
- Zhuang P, Song C, Zhang LZ. Comparison of nutritive components of *Exopalaemon annandalei* and *Macrobrachium nipponensis* collected from the Yangtze Estuary. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(5): 822–829 [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. 动物学报, 2008, 54(5): 822–829]

(编辑 陈 辉)

Comparison of Nutrient Components in Muscles and Hepatopancreas of Pond- and Paddy Field-Cultured *Procambarus clarkii*

ZHOU Jian, ZHAO Zhongmeng, HUANG Zhipeng, ZHAO Han, LI Qiang, ZHANG Lu, KE Hongyu, SU Xutao, XIAO Yu, DU Jun^①

(Fisheries Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 611730)

Abstract To evaluate the quality characteristics of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, crayfish from pond and paddy field cultures were used to compare the muscle, amino acid, and fatty acid compositions between the two culture models. The results showed that there was no significant difference in crude protein and crude fat between the two culture models ($P>0.05$). The muscle moisture content of crayfish in the pond culture was significantly higher than that in the paddy field culture ($P>0.05$), while the total ash content was significantly lower than that in the paddy field culture ($P<0.05$). Seventeen amino acids, including seven essential amino acids and four flavor amino acids, were detected in the muscle and hepatopancreas of the crayfish in the two culture models. There was no significant difference in the muscle W_{EAA}/W_{TAA} values between the two culture models ($P>0.05$), while the hepatopancreatic W_{EAA}/W_{TAA} values in the pond culture model were significantly higher than those in the paddy field model ($P<0.05$). According to the amino acid and chemistry score, the first limiting amino acids in the muscle and hepatopancreas were sulfur-containing amino acid (methionine and cysteine), while the second limiting amino acid in the muscle was valine and that in the hepatopancreas was leucine. In addition, 20 and 24 fatty acids were detected in the muscle and hepatopancreas of crayfish, respectively. Palmitic acid (C16:0) was the highest saturated fatty acid in the muscle and hepatopancreas, and oleic acid (C18:1n9c) was the highest monounsaturated fatty acid. The muscle and hepatopancreas of crayfish in the pond and paddy field models have higher edible and nutritional values.

Key words *Procambarus clarkii*; Pond; Paddy-field; Nutritive value; Comparative analysis

① Corresponding author: DU Jun, E-mail: dujun9100@126.com