

3种养殖模式澳洲淡水龙虾肌肉的 氨基酸比较分析与评价

罗 钦¹, 林兴榕², 潘 葳^{1*}, 罗土炎^{1*}

(1. 福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所/福建省农产品质量安全重点实验室, 福州 350003;
2. 连城县农业农村局, 龙岩 366200)

摘要: **目的** 研究3种养殖模式下澳洲淡水龙虾肌肉中的氨基酸组成差异。**方法** 通过氨基酸自动分析仪测定土池、水泥池和稻田模式下养殖的澳洲淡水龙虾成虾肌肉中氨基酸含量, 并进行氨基酸品质比较分析。**结果** 3种养殖模式澳洲淡水龙虾成虾肌肉均含有17种氨基酸, 含量最高的均为谷氨酸, 次之为天门冬氨酸, 最低为胱氨酸, 但17种氨基酸中有11种氨基酸相互呈显著性差异($P < 0.05$); 3种成虾肌肉中的必需氨基酸与氨基酸总量比值为40.87%~41.35%和必需氨基酸与非必需氨基酸总量比值为69.11%~70.51%; 蛋氨酸+胱氨酸为第一限制性氨基酸; 澳洲淡水龙虾肌肉蛋白与鸡蛋评价模式蛋白较为贴近, 其必需氨基酸指数大小顺序是土池养殖模式(76.47)>稻田养殖模式(72.14)>水泥池养殖模式(71.93)。**结论** 澳洲淡水龙虾属于优质食物蛋白质, 其氨基酸品质以土池养殖模式为最佳, 稻田次之, 本研究结果为澳洲淡水龙虾养殖及饲料开发等提供理论参考。

关键词: 澳洲淡水龙虾; 氨基酸; 土池; 水泥池; 稻田

Analysis and evaluation of amino acids composition in muscles of *Cherax quadricarinatus* in 3 kinds of breeding modes

LUO Qin¹, LIN Xing-Rong², PAN Wei^{1*}, LUO Tu-Yan^{1*}

(1. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology Research/Fujian Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety, Fuzhou 350003, China; 2. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Liancheng County, Longyan 366200, China)

ABSTRACT: Objective To study the differences of amino acids composition in muscles of *Cherax quadricarinatus* in 3 kinds of breeding modes. **Methods** The content of amino acids in muscles of *Cherax quadricarinatus* which bred in the pond, concrete pond and paddy field were determined by automatic amino acid analyzer, and the quality of their

基金项目: 福建省农业科学院乡村振兴科技服务团队全产业链科技示范项目(2021KF20)、福建省农业科学院创新团队项目(CXTD2021011-1)、福建省“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021020)、福建省农业科学院对口帮扶项目(DKBF2021-10)

Fund: Supported by the Technology Service Team Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (2021KF20), the Innovation Team Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (CXTD2021011-1), the “5511” collaborative Innovation Project of Fujian Province (XTCXGC2021020), and the Pairing Assistance Project of Fujian Academy of Agricultural Sciences (DKBF2021-10)

*通信作者: 潘 葳, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。E-mail: 870993292@qq.com

罗土炎, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。E-mail: 910371689@qq.com

*Corresponding author: PAN Wei, Professor, Institute of Quality Standards and Testing Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China. E-mail: 870993292@qq.com

LUO Tu-Yan, Professor, Institute of Quality Standards and Testing Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China. E-mail: 910371689@qq.com

amino acids were analyzed. **Results** There were 17 kinds of amino acids in the muscle of adult *Cherax quadricarinatus* under three culture modes, the highest content was glutamic acid, the second was aspartic acid, and the lowest was cystine acid, but 11 of the 17 kinds of amino acids showed significant differences among each other ($P < 0.05$). The ratios of essential amino acids to total amino acids and essential amino acids to non-essential amino acids in the muscles of the 3 kinds of adult *Cherax quadricarinatus* were 40.87%–41.35% and 69.11%–70.51%, respectively. Methionine + cystine was the first limiting amino acid. The muscle protein of *Cherax quadricarinatus* was close to the model protein of egg, and the order of essential amino acid index was pond culture mode (76.47) > paddy field culture mode (72.14) > concrete pond culture mode (71.93). **Conclusion** *Cherax quadricarinatus* is a high quality food protein, and its amino acid quality is the best in soil pond culture mode, followed by paddy field culture. The results of this study provide theoretical reference for *Cherax quadricarinatus* culture and feed development.

KEY WORDS: *Cherax quadricarinatus*; amino acids; pond; concrete pond; paddy field

0 引言

澳洲淡水龙虾(*Cherax quadricarinatus*), 学名为四脊光壳南螯虾, 又名红螯螯虾^[1], 原产于澳大利亚北部热带和亚热带的水域中, 是目前世界上名贵的淡水经济虾种之一, 其个体大、出肉率高、肉嫩味甜^[2], 并且富含蛋白质和氨基酸, 尤其含有丰富的人体必需氨基酸, 在市场上广受消费者喜爱。其在 20 世纪 90 年代被引入我国进行试养并成功养殖, 养殖模式主要采用土池^[3]、水泥池^[4]和稻田^[5]等养殖模式。不同的养殖模式可以显著影响水产动物肌肉的营养成分和品质^[6-7], 其中氨基酸是衡量动物肌肉营养品质重要的指标之一。改革开放 40 年后, 我国人民生活水平日益提高和生活品质也不断得到改善, 消费者对优质高值的虾产品也更加关注。为此, 对不同养殖模式的澳洲淡水龙虾肌肉中氨基酸组成进行比较分析及评价, 不仅有利于科学引导养殖者和消费者, 而且对澳洲淡水龙虾的进一步产业化发展也有重要的指导意义。

近年来, 澳洲淡水龙虾肌肉中氨基酸组成方面有一些研究报道, 前人研究内容主要集中在三方面, 一是澳洲淡水龙虾与其他不同品种虾肌肉中氨基酸品质的比较分析, 如王广军等^[1]研究了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, 结果显示土池养殖的澳洲淡水龙虾均比稻田和藕田养殖的克氏原螯的肌肉组织具有更高的氨基酸营养品质; 王友慧等^[8]研究了澳洲淡水龙虾营养研究现状及展望, 对澳洲淡水龙虾与中国对虾、克氏原螯虾肌肉氨基酸组成进行比较, 结果显示澳洲淡水龙虾的氨基酸总量和必需氨基酸总量均高于中国对虾和克氏原螯虾。二是不同饲料对澳洲淡水龙虾肌肉中氨基酸品质的影响, 如 THOMPSON 等^[9]研究了饲喂不同蛋白质水平的饲料对土池中生长的雌、雄澳洲淡水小龙虾肌肉营养组成的影响, 结果显示投喂 4 种饲料的雌雄澳洲淡水龙虾肌肉中必需氨基酸无显著差异, 饲养无鱼粉的植物蛋白为 28% 的饲料可以满足澳洲淡水龙虾的营养需求; THOMPSON 等^[10]和

MUZINIC 等^[11]研究了饲喂不同蛋白质水平的饲料对澳洲红爪小龙虾肌肉营养组成的影响, 结果显示同一蛋白质水平的饲料, 去除鱼粉和相应的增加替代品豆粕的含量只会导致必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)的轻微变化, 说明饲料不添加鱼粉也可能使澳洲红爪小龙虾获得足够水平的必需氨基酸。三是不同生长阶段澳洲淡水龙虾肌肉中氨基酸品质的分析, 如罗文等^[12]研究了澳洲淡水龙虾胚胎发育过程中蛋白质含量和氨基酸组成的变化, 结果显示在胚胎发育过程中, 必需氨基酸(除蛋氨酸外)的变化与总氨基酸含量呈显著性相关, 非必需氨基酸中谷氨酸、天冬氨酸的含量较高, 半胱氨酸的含量较低。但目前未见不同养殖模式对同一种澳洲淡水龙虾肌肉氨基酸组成及含量影响的研究。因此, 本研究采用色谱法对土池、水泥池和稻田养殖的澳洲淡水龙虾肌肉中氨基酸进行测定, 同时应用统计学软件计算出氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)、氨基酸比值系数(amino acid ratio coefficient, RC)、EAAI 等指标值, 并对氨基酸品质进行分析比较。通过比较分析确定对氨基酸品质影响最大的养殖模式, 为澳洲淡水龙虾进一步的产业化研发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

澳洲淡水龙虾成虾样品均由福建省莆田市某养殖场提供, 该养殖场分别采用土池(为 2 亩/口的方形土池塘, 塘深 1.0 m, 水深 0.6 m)、水泥池(为 40 m²/口的长方形水泥池, 池深 0.8 m, 水深 0.5 m)和稻田(为 1 亩/块的长方形稻田, 田埂高 0.3 m, 稻田长边一侧挖沟, 沟深 0.6 m, 沟宽 1.0 m, 沟面积不超过单块稻田面积的 10%, 稻田水深 0.1 m, 沟内水深 0.7 m)养殖的澳洲淡水龙虾, 其养殖用水的水源、投苗时间、投苗密度、投喂饵料等都按统一标准进行。养殖期间投喂相应阶段的粗蛋白质含量为 38%~43%和粗脂肪

含量为 6%~10%的南美白对虾配合饲料, 养殖 6 个月后, 随机各抽取 3 kg 的成虾, 虾体质健壮、体表完好无伤。土池、水泥池和稻田养殖澳洲淡水龙虾成虾的体重分别为 (82.00±9.22) g/尾、(79.83±6.01) g/尾和(84.17±11.57) g/尾。

1.2 试剂与仪器

混合氨基酸标准品(色谱纯, 美国 Sigma-Aldrich 公司); 盐酸、氢氧化锂、冰乙酸(优级纯)、乙醚(分析纯)(福州福杰化学试剂有限公司); 硫酸、氢氧化钠、氢氧化钾(分析纯, 西陇化工股份有限公司)。

日立 L-8800 氨基酸自动分析仪[日立(中国)有限公司] BCD-521WDPW 冰箱(青岛海尔集团); AL-204 分析天平[精度 0.0001 g, 梅特勒—托利多国际贸易(上海)有限公司]; DS-1 组织粉碎机(杭州三永德仪器仪表有限公司); HH-W420 恒温水浴箱(上海助蓝仪器科技有限公司); DHG-9203A 恒温干燥箱(上海甘易仪器设备有限公司); Kjeltac 自动凯氏定氮仪(瑞典福斯公司)。

1.3 试验方法

将 3 种养殖模式的成虾样品分别经过剥除头、肠、壳、脚和尾后得到 3 份肌肉样品, 再将肌肉样品分别粉碎制成 3 个混合试验样品。按照 GB/T 5009.3—2010《食品安全国家标准食品中水分的测定》、GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》、GB/T 5009.6—2003《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》和 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》分别对样品进行水分、灰分、脂肪、蛋白质和氨基酸含量的测定。每份混合试验样品重复测 3 次, 剩余的混合试验样品置于-18℃冰箱中保存。

1.4 指标测定

AAS、CS、EAAI、氨基酸比值(ratio value of amino acids, RAA), RC、氨基酸比值系数分(amino acid ratio coefficient score, SRCAA)、RC 的变异系数(variable coefficient, CV)指标测定如公式(1)~(7)。

$$AAS = \frac{\text{待测某} - \text{必需氨基酸含量}}{\text{Egg 蛋白模式中相应必需氨基酸的相对含量}} \quad (1)$$

$$CS = \frac{\text{待测某} - \text{必需氨基酸的相对含量}}{\text{Egg 蛋白模式中相应必需氨基酸的相对含量}} \quad (2)$$

$$EAAI = \frac{\text{Lys/Lys(Egg)} + \dots + \text{Trp/Trp(Egg)}}{1/n} \quad (3)$$

$$RAA = \frac{\text{待测某} - \text{必需氨基酸含量}}{(\text{FAO/WHO}) \text{ 蛋白模式中相应必需氨基酸含量}} \quad (4)$$

$$RC = \frac{\text{氨基酸比值}}{\text{氨基酸比值之均值}} \quad (5)$$

$$SRCAA = 100 - CV \times 100 \quad (6)$$

$$CV = \frac{\text{标准差}}{\text{均数}} \quad (7)$$

其中 FAO/WHO 为联合国粮食及农业组织/世界卫生组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization)。

1.5 数据处理

样品各含量平均值是采用 Excel 2007 计算, 每个样品重复检测 3 次, 结果表示为平均值±标准偏差。氨基酸数据的显著性差异分析采用 SPSS 17.0 进行处理。

2 结果与分析

2.1 3 种养殖模式澳洲淡水龙虾成虾肌肉中常规营养成分组成分析

从表 1 可知, 3 种养殖模式澳洲淡水龙虾成虾肌肉中的粗脂肪含量没有显著性差异, 但是 3 种成虾的水分、粗灰分和粗蛋白含量均各自呈显著性差异($P < 0.05$)。3 种澳洲淡水龙虾成虾中的粗蛋白质和粗脂肪含量从大到小的排列顺序均为土池养殖模式>稻田养殖模式>水泥池养殖模式, 并且 3 种成虾具有明显的高蛋白(19.30~21.29 g/100 g)、低脂肪(0.65~0.69 g/100 g)的营养特征。

表 1 3 种养殖模式澳洲淡水龙虾成虾肌肉中常规营养成分($n=3$)
Table 1 Conventional nutritional contents of muscle of 3 kinds of adult *Cherax quadricarinatus* ($n=3$)

含量/(g/100 g)	土池养殖模式	水泥池养殖模式	稻田养殖模式
水分	77.49±0.20 ^c	81.52±0.09 ^a	78.95±0.41 ^b
粗灰分	1.39±0.01 ^c	1.42±0.01 ^b	1.48±0.01 ^a
粗脂肪	0.69±0.01 ^a	0.65±0.02 ^a	0.67±0.02 ^a
粗蛋白质	21.29±0.05 ^a	19.30±0.03 ^c	19.70±0.02 ^b

注: 同一行数据标注的小写字母不同, 差异显著($P < 0.05$), 下同。

2.2 3 种养殖模式澳洲淡水龙虾成虾肌肉中氨基酸组成分析

从表 2 可知, 3 种养殖模式澳洲淡水龙虾成虾肌肉均含有 17 种氨基酸, 但在氨基酸含量上有所差异, 含量最高的都为谷氨酸, 次之都为天门冬氨酸, 含量最低的都为胱氨酸。17 种氨基酸中蛋氨酸、脯氨酸和胱氨酸的含量在 3 种成虾养殖模式中均不呈显著性差异($P > 0.05$), 谷氨酸、赖氨酸和组氨酸均是土池养殖模式与水泥池和稻田养殖模式呈显著性差异($P < 0.05$), 其他 11 种氨基酸的含量在 3 种成虾养殖模式中均呈显著性差异($P < 0.05$), 同时这 11 种氨基酸除精氨酸、甘氨酸外其含量从大到小的排列顺序都是土池养殖模式>稻田养殖模式>水泥池养殖模式。

表 2 3 种澳洲淡水龙虾成虾肌肉中氨基酸种类及含量(% , n=3)
Table 2 Amino acid compositions and content in muscle of 3 kinds of adult *Cherax quadricarinatus* (% , n=3)

名称	土池养殖 模式	水泥池 养殖模式	稻田 养殖模式
天门冬氨酸 Asp※	2.10±0.01 ^a	1.77±0.01 ^c	1.85±0.00 ^b
苏氨酸 Thr # △	0.80±0.00 ^a	0.70±0.00 ^c	0.71±0.00 ^b
丝氨酸 Ser△	0.85±0.00 ^a	0.72±0.00 ^c	0.75±0.00 ^b
谷氨酸 Glu△ ※	3.53±0.01 ^a	3.05±0.01 ^b	3.06±0.00 ^b
甘氨酸 Gly△ ※	0.91±0.00 ^b	0.84±0.00 ^c	0.94±0.00 ^a
丙氨酸 Ala△ ※	1.13±0.00 ^a	1.04±0.00 ^c	1.05±0.00 ^b
缬氨酸 Val # ◎	0.93±0.00 ^a	0.79±0.00 ^c	0.82±0.00 ^b
蛋氨酸 Met # *	0.39±0.00 ^a	0.30±0.00 ^a	0.30±0.00 ^a
异亮氨酸 Ile # ◎	0.92±0.00 ^a	0.79±0.00 ^c	0.82±0.00 ^b
亮氨酸 Leu # ◎	1.63±0.00 ^a	1.42±0.00 ^c	1.46±0.00 ^b
酪氨酸 Tyr§	0.75±0.00 ^a	0.65±0.00 ^c	0.67±0.00 ^b
苯丙氨酸 Phe # §	0.87±0.00 ^a	0.74±0.00 ^c	0.78±0.00 ^b
赖氨酸 Lys # △	1.72±0.00 ^a	1.51±0.01 ^b	1.52±0.00 ^b
组氨酸 His	0.46±0.00 ^a	0.44±0.00 ^b	0.43±0.00 ^b
精氨酸 Arg※	2.01±0.01 ^a	1.77±0.00 ^b	1.73±0.00 ^c
脯氨酸 Pro△	0.58±0.00 ^a	0.53±0.00 ^a	0.55±0.00 ^a
胱氨酸 Cys *	0.15±0.00 ^a	0.12±0.00 ^a	0.12±0.00 ^a
氨基酸总量 TAA	19.70±0.07 ^a	17.17±0.06 ^c	17.54±0.05 ^b
必需氨基酸总量∑EAA	7.25±0.02 ^a	6.25±0.03 ^c	6.40±0.02 ^b
甜味氨基酸总量 ∑SWAA	9.51±0.03 ^a	8.38±0.02 ^c	8.57±0.02 ^b
鲜味氨基酸总量 ∑TDAA	9.67±0.03 ^a	8.46±0.02 ^c	8.62±0.02 ^b
∑EAA/∑TAA	36.80±0.04 ^a	36.39±0.05 ^c	36.50±0.00 ^b
含硫氨基酸∑SAA	0.54±0.00 ^a	0.42±0.00 ^a	0.42±0.00 ^a
支链氨基酸∑BCAA	3.48±0.01 ^a	3.00±0.01 ^c	3.09±0.01 ^b
芳香族氨基酸∑AAAA	1.61±0.01 ^a	1.39±0.00 ^c	1.45±0.00 ^b
∑BCAA/∑AAAA	2.15±0.01 ^a	2.15±0.01 ^a	2.14±0.00 ^b

注: #: 必需氨基酸; △: 甜味氨基酸; ※: 鲜味氨基酸; *: 含硫氨基酸; ◎: 支链氨基酸; §: 芳香族氨基酸。TAA: 氨基酸总量(total amino acid, TAA), EAA: 必需氨基酸总量(total essential amino acid, ∑EAA), SWAA: 甜味氨基酸总量(total sweet amino acid, ∑SWAA), TDAA: 鲜味氨基酸总量(total umami amino acids, ∑TDAA), SAA: 含硫氨基酸总量(sulfur-containing amino acid, ∑SAA), BCAA: 支链氨基酸总量(branched amino acid, ∑BCAA), AAAA: 芳香族氨基酸总量(aromatic amino acids, ∑AAAA)。

本研究是在同一个养殖场对澳洲淡水龙虾进行饲养,其水源、投苗时间、投苗密度、投喂饵料都是相同的,只是养殖模式不一样,但是 3 种模式养殖出来的成虾,其蛋白质和 11 种氨基酸都存在显著性差异,说明养殖模式对澳洲淡水龙虾氨基酸品质有重要的影响,这与 PERIAGO 等^[6]和 IKONOMU 等^[7]的研究结果一致。由于水泥池养殖的透明度较高、换水量较大,土池养殖水体较大、较深,稻田养殖饵料更丰富(稻秆、根、茎、叶等植物蛋白质)、更阴凉等等,这些养殖环境不同可能是造成澳洲淡水龙虾吸收、转化、存储氨基酸显著性差异的原因。

食物的味道鲜美程度主要由其蛋白质中鲜味氨基酸的组成和含量所决定,鲜味氨基酸含量越高越鲜美^[13-15]。3 种成虾的总鲜味氨基酸占总氨基酸的比例均超过 49.00%,鲜味氨基酸总量大小顺序为土池养殖模式>稻田养殖模式>水泥池养殖模式,说明澳洲淡水龙虾味道非常鲜美,而且以土池养殖的成虾最鲜美。

2.3 3 种成虾肌肉中氨基酸品质评价

从表 3 可知,3 种养殖模式澳洲淡水龙虾成虾肌肉中的必需氨基酸与氨基酸总量比值(ratio of essential amino acids to total amino acids, E/T)、必需氨基酸与非必需氨基酸总量比值(ratio of total essential amino acids to non-essential amino acids, E/NT)大小顺序均为土池养殖模式>稻田养殖模式>水泥池养殖模式,其都低于鸡蛋蛋白的比值^[16],但都高于 FAO/WHO^[17]的比值。3 种成虾肌肉中 Ile、Leu、Met+Cys、Val 和 Thr 的氨基酸比值系数 RC 均小于 1,因此,3 种成虾的限制性氨基酸均为 Ile、Leu、Met+Cys、Val 和 Thr。在氨基酸评分 AAS 和化学评分 CS 中均是 Met+Cys 最低,其次均为 Val,说明第一限制性氨基酸是 Met+Cys,第二限制性氨基酸是 Val。

根据现有蛋白质营养价值评价方法^[18],食物中必需氨基酸的比例越接近人体所需必需氨基酸的比例就越好^[19-22]。王磊等^[23]指出食物的蛋白质要优质,其必需氨基酸种类要齐全、其必需氨基酸之间的比例要适宜。优质食物蛋白质的 E/T 应达到 40%左右,且 E/NT 按照 FAO/WHO 标准应大于 60%^[22-23]。本研究中,3 种成虾肌肉中 E/T 值(40.87%~41.35%)达 40%以上,且 E/NT 值(69.11%~70.51%)均大于 60%,而且大小顺序均为土池养殖模式>稻田养殖模式>水泥池养殖模式,说明澳洲淡水龙虾属于优质蛋白质,而且以土池养殖的成虾的蛋白质最优。

CS 和 AAS 是评价必需氨基酸与鸡蛋和 FAO/WHO 模式蛋白贴度的两种常用方法,CS 和 AAS 值越接近 1,则越接近评分模式氨基酸的组成,大于或小于 1 则说明该氨基酸相对过剩或不足^[24],值最小的氨基酸为第一限制氨基酸^[25],本研究中,3 种成虾除了 Lys 的 CS 和 AAS 值均大于 1 外,其余 7 种必需氨基酸几乎均小于 1, Met+Cys 的值最低,说明 3 种成虾的必需氨基酸中,除了 Lys 过剩外,其余 7 种基本上都不足, Met+Cys 为第一限制性氨基酸,这与王广军等^[1]的研究结果一致。同时,就 CS 与 AAS 值大小而言,3 种成虾的 CS 值均比 AAS 高,说明 3 种成虾肌肉蛋白与鸡蛋评价模式蛋白较为贴近,选用鸡蛋评价模式更适合评价澳洲淡水龙虾肌肉中氨基酸的价值。

进一步地,以鸡蛋蛋白质必需氨基酸组成为参评标准评价食物氨基酸营养价值的方法是必需氨基酸指数 EAAI^[26],EAAI 值越接近 100% 则营养价值越高^[25],本研究中,3 种成虾肌肉中 EAAI 值(71.93%~76.47%)均超过 70%,

且大小顺序为土池养殖模式>稻田养殖模式>水泥池养殖模式, 说明澳洲淡水龙虾成虾肌肉中氨基酸组成和含量较为符合人体需要, 属于优质蛋白质, 而且 3 种养殖模式中土池养殖的澳洲淡水龙虾的氨基酸营养价值最高。

3 结 论

3 种养殖模式的澳洲淡水龙虾成虾肌肉中均含有不少于 17 种氨基酸, 氨基酸种类丰富, 其中包括 5 种鲜味氨基酸和 7 种必需氨基酸, 以谷氨酸含量最高、天门冬氨酸含量次之, 其中谷氨酸具有健脑益智、保肝护肝作用^[27], 天门冬氨酸具有增强肝脏功能、消除疲劳和保护心脏作用^[28]。

食物的鲜味氨基酸含量越高越鲜美, 3 种成虾的总鲜味氨基酸占总氨基酸的比例均超过 49.00%, 但以土池养殖的成虾的总鲜味氨基酸最高。优质食物蛋白质的必需氨基酸种类不仅要齐全而且要符合 FAO/WHO 标准, 不同养殖模式的澳洲淡水龙虾必需氨基酸均符合 FAO/WHO 标准, 属于优质蛋白质, 但以土池养殖的成虾的蛋白质最优。而且根据必需氨基酸指数评价法可知^[29-30], 土池养殖的成虾的得分值最高, 其营养价值最高。

不同养殖模式对澳洲淡水龙虾氨基酸品质有显著性的影响, 就氨基酸品质而言, 土池养殖模式为澳洲淡水龙虾最佳养殖模式, 稻田养殖模式次之。针对澳洲淡水龙虾肌肉中氨基酸品质采用土池养殖具有较高推广应用潜力, 稻田养殖次之。

参考文献

- [1] 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.
WAN GJ, SUN Y, YU ERM, et al. Analysis and quality evaluation of nutrient components in muscle of *Cherax quadricarinatus* and *Procambarus clarkia* [J]. Chin J Anim Nutr, 2019, 31(9): 4339-4348.
- [2] 罗钦. 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾肌肉脂肪酸品质比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(9): 22-29.
LUO Q. Comparison of fatty acid quality in muscle of *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes [J]. J Northwest Agric Forest Univ (Nat Sci Ed), 2021, 49(9): 22-29.
- [3] 吴祖学, 祝华龙, 陈科光, 等. 澳洲淡水龙虾池塘标准化养殖技术[J]. 热带农业工程, 2019, 2: 176-181.
WU ZX, ZHU HL, CHEN KG, et al. Standardized pond culture technology of australian freshwater lobster [J]. Trop Agric Eng, 2019, 2: 176-181.
- [4] 康辰香, 苏红红. 澳洲淡水龙虾养殖技术[J]. 河北渔业, 2004, 4: 28, 36.
KANG CX, SU HH. Farming technique of red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) [J]. Hebei Fish, 2004, 4: 28, 36.
- [5] 金玉松. 稻田养殖澳洲淡水龙虾技术[J]. 渔业致富指南, 2001, 7: 42.
JIN YS. Techniques for breeding *Cherax quadricarinatus* in paddy fields [J]. Fish Guide Rich, 2001, 7: 42.
- [6] PERIAGO MJ, AYALA MD, LOPEZ-ALBORSO, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. [J]. Aquaculture, 2005, 249(1/2/3/4): 175-188.
- [7] IKONOMU MG, HIGGS DA, GIBBS M, et al. Flesh quality of market-size farmed and wild British Columbia salmon [J]. Environ Sci Technol, 2007, 41(2): 437-443.
- [8] 王友慧, 叶金云. 红螯螯虾营养研究现状及展望[J]. 饲料研究, 2004, 7: 38-41.
WANG YH, YE JY. Status and prospect of nutrition research of *Cherax quadricarinatus* [J]. Feed Res, 2004, 7: 38-41.
- [9] THOMPSON KR, METTS LS, MUZINIC LA, et al. Effects of feeding practical diets containing different protein levels, with or without fish meal, on growth, survival, body composition and processing traits of male and female Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) grown in ponds [J]. Aquacult Nutr, 2006, 12(3): 227-238.
- [10] THOMPSON KR, MUZINIC LA, ENGLER LS, et al. Evaluation of practical diets containing different protein levels, with or without fish meal, for juvenile Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) [J]. Aquaculture, 2005, 230: 359-376.
- [11] MUZINIC LA, THOMPSON KR, MORRIS A, et al. Partial and total replacement of fish meal with soybean meal and brewer's grains with yeast in practical diets for Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* [J]. Aquaculture, 2004, 230: 359-376.
- [12] 罗文, 周忠良, 赵云龙, 等. 红螯螯虾胚胎发育过程中蛋白质含量及氨基酸组成的分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2004, 1: 88-92.
LUO W, ZHOU ZL, ZHAO YL, et al. Analysis on the contents of protein and amino acids in *Cherax quadricarinatus* during different embryonic development stages [J]. J East China Norm Univ (Nat Sci Ed), 2004, 1: 88-92.
- [13] 苏天凤, 黄建华, 陈丕茂, 等. 台湾东风螺和方斑东风螺蛋白质氨基酸组成和营养价值比较研究[J]. 南方水产, 2003, 2(3): 57-61.
SU TF, HUANG JH, CHEN PM, et al. Compositional and nutritional studies on *Babylonia areolata* and *B. formosae* [J]. South Aquac, 2003, 2(3): 57-61.
- [14] 刘世禄, 王波, 张锡烈, 等. 美国红鱼的营养成分分析与评价[J]. 海洋水产研究, 2002, 23(2): 25-32.
LIU SL, WANG B, ZHANG XL, et al. Analysis and evaluation of nutrition composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. Mar Fish Res, 2002, 23(2): 25-32.
- [15] 颜静, 刘继, 熊亚波, 等. 川明参不同部位主要营养成分及氨基酸组成分析[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 240-244.
YAN J, LIU J, XIONG YB, et al. Analysis of nutritional components and amino acid composition of different parts of Chuanmingshen *Violaceum Sheh et Shan* [J]. Food Sci, 2015, 36(1): 240-244.
- [16] 杨玲, 马国红, 董学斌, 等. 东平湖鲤与俄罗斯鲤、建鲤肌肉营养成分的比较[J]. 广东海洋大学学报, 2015, (6): 15-20.
YANG L, MA GH, DONG XS, et al. Comparative analysis on nutrient components in the muscle of Dongping Lake carp (*Cyprinus carpio*), Russia carp and Jian carp [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2015, (6): 15-20.
- [17] Food and Agriculture Organization of the gaited Natimm/World Heal Organization. Energy and protein requirement [Z].
- [18] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价—氨基酸比值系数法[J]. 营养学

- 报, 1988, 10(2): 187-190.
- ZHU ST, WU K. Nutritional evaluation of protein-ratio coefficient of amino acid [J]. *Acta Nutr Sin*, 1988, 10(2): 187-190.
- [19] 黄元河, 黄玉钊, 潘乔丹, 等. 柱前衍生化 HPLC 法测定柊叶游离氨基酸成分及风味评价[J]. *食品工业科技*, 2021, (1): 292-296.
- HUANG YH, HUANG YZ, PAN QD, *et al.* Determination of free amino acid composition in *Phrynium rheedei* by pre-column derivatization HPLC and flavor quality evaluation [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2021, (1): 292-296.
- [20] ZHANG H, WANG ZY, YANG X, *et al.* Determination of free amino acids and 18 elements in freeze-dried strawberry and blueberry fruit using an amino acid analyzer and ICP-MS with micro-wave digestion [J]. *Food Chem*, 2014, 147(4): 189-194.
- [21] 姚清华, 苏德森, 颜孙安, 等. 不同种菲律宾鳗肌肉脂肪酸及氨基酸组成特征比较[J]. *中国食品学报*, 2016, 16: 244-250.
- YAO QH, SU DS, YAN SAN, *et al.* Comparison of composition mode of fatty acid and amino acid in *Anguilla bicolor Pacifica* and *Anguilla marmorata* muscle [J]. *J Chin Instit Food Sci Technol*, 2016, 16: 244-250.
- [22] GENTILE C, DI GE, DI SV, *et al.* Food quality and nutraceutical value of nine cultivars of mango (*Mangifera indica* L.) fruits grown in mediterranean subtropical environment [J]. *Food Chem*, 2019, 277: 471-479.
- [23] 王磊, 陈再忠, 冷向军, 等. 野生及人工养殖七彩神仙鱼肌肉成分的比较[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(5): 719-725.
- WANG L, CHEN ZZ, LENG XJ, *et al.* Comparison of muscle composition of wild and cultured discus fishes *Symphysodon* spp. [J]. *J Shanghai Fish Univ*, 2016, 25(5): 719-725.
- [24] WHO. Protein and amino acid requirements in human nutrition [M]. Geneva: World Health Organization, 2007.
- [25] 颜孙安, 林香信, 姚清华, 等. 杂色鲍及其杂交后代的氨基酸含量和组成分析[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(6): 249-256.
- YAN SAN, LIN XX, YAO QH, *et al.* Analysis on the amino acid content and the composition of RITAI *Haliotis diversicolor* and their reciprocal hybrids [J]. *J Chin Instit Food Sci Technol*, 2013, 13(6): 249-256.
- [26] 郭刚军, 邹建云, 徐荣, 等. 澳洲坚果粕营养成分测定与氨基酸组成评价[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(9): 421-423.
- GUO GJ, ZOU JY, XU R, *et al.* Determination of nutritional components and evaluation of amino acid composition in macadamia nut residue [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(9): 421-423.
- [27] 吴莹莹, 鲍大鹏, 王瑞娟, 等. 6 种市售工厂化栽培金针菇的氨基酸组成及蛋白质营养评价[J]. *食品科学*, 2018, 39(10): 263-268.
- WU YY, BAO DP, WANG RJ, *et al.* Amino acid composition and nutritional evaluation of proteins in six samples of cultivated *Flammulina velutipes* [J]. *Food Sci*, 2018, 39(10): 263-268.
- [28] 宋理平, 冒树泉, 胡斌, 等. 虫纹鳃鲈肌肉营养成分分析与品质评价[J]. *饲料工业*, 2013, 36(16): 42-45.
- SONG LP, MAO SQ, HU B, *et al.* Nutrient composition analysis and quality evaluation of muscle in *Maccullochella peelii* [J]. *Feed Ind*, 2013, 36(16): 42-45.
- [29] 杨林, 池福敏, 冯建英, 等. 西藏林芝地区五种野生食用菌氨基酸主成分分析与综合评价[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(16): 260-265.
- YANG L, CHI FM, FENG JY, *et al.* Principal component analysis and comprehensive evaluation of amino acids of five wild edible mushrooms collected from Nyingchi region of Tibet [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2019, 40(16): 260-265.
- [30] 刘振艳, 关宏, 朱金峰, 等. 不同品种鲜食梨的氨基酸组成特征及其营养评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(11): 3541-3548.
- LIU ZY, GUAN H, ZHU JF, *et al.* Amino acid composition characteristics and nutritional evaluation of different table *Pyrus* spp. varieties [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(11): 3541-3548.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介

罗 钦, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与风险评估。
E-mail: 33044390@qq.com

潘 葳, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。
E-mail: 870993292@qq.com

罗士炎, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估。
E-mail: 910371689@qq.com