

# 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

程小飞<sup>1</sup>, 宋锐<sup>1</sup>, 向劲<sup>1</sup>, 刘丽<sup>1</sup>, 田兴<sup>1</sup>, 王冬武<sup>1</sup>, 刘明求<sup>1</sup>, 谢仲桂<sup>1</sup>, 王金龙<sup>1,2</sup>

(1. 湖南省水产科学研究所, 水生动物营养与品质调控湖南省重点实验室, 湖南长沙 410153)

(2. 湖南文理学院生命与环境科学学院, 湖南常德 415000)

**摘要:** 通过测定池塘养殖模式 (pond)、稻田养殖模式 (paddy) 养殖的克氏原螯虾和野生 (wild) 克氏原螯虾肌肉营养成分的组成和含量, 对其营养价值进行综合评价。结果表明: 虾肉粗蛋白质含量表现为稻田组 (84.42%) > 池塘组 (83.59%) > 野生组 (82.81%) ( $p > 0.05$ ); 粗脂肪含量表现为稻田组 (2.96%) > 池塘组 (2.22%) > 野生组 (1.48%) ( $p < 0.05$ )。池塘组、稻田组和野生组虾肉中  $\sum$ TAA、 $\sum$ EAA、 $\sum$ EAA/ $\sum$ TAA、 $\sum$ EAA/ $\sum$ NEAA、 $\sum$ DAA/ $\sum$ TAA 表现为, 池塘组 > 稻田组 > 野生组 ( $p > 0.05$ )。根据 AAS, 池塘组、稻田组和野生组虾肉的第一限制性氨基酸分别为 Thr、Val、Val, 第二限制性氨基酸均为 Met+Cys; 根据 CS, 其第一限制性氨基酸均为 Met+Cys, 第二限制性氨基酸分别为 Val、Thr、Val。池塘组、稻田组和野生组虾肉中分别检测出 13 种、14 种和 15 种脂肪酸, 其中  $\sum$ SFA 分为 48.06%、44.03%、39.95% ( $p < 0.05$ );  $\sum$ MUFA 分别为 35.48%、31.03%、25.76% ( $p < 0.05$ );  $\sum$ PUFA 分别为 16.46%、24.93%、32.30% ( $p < 0.05$ ); n-3/n-6 则表现为野生组 (0.18) < 稻田组 (0.24) < 池塘组 (0.35) ( $p < 0.05$ )。综上, 养殖组 (稻田组和池塘组) 克氏原螯虾肌肉的综合营养价值比野生组更高。

**关键词:** 克氏原螯虾; 池塘养殖; 稻田养殖; 野生; 氨基酸; 脂肪酸

文章编号: 1673-9078(2021)04-87-95

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0823

## Analysis and Evaluation of Different Farming Modes and Nutrient Composition of Wild Crawfish (*Procambarus clarkia*) Muscle

CHENG Xiao-fei<sup>1</sup>, SONG Rui<sup>1</sup>, XIANG Jin<sup>1</sup>, LIU Li<sup>1</sup>, TIAN Xing<sup>1</sup>, WANG Dong-wu<sup>1</sup>, LIU Ming-qiu<sup>1</sup>,  
XIE Zhong-gui<sup>1</sup>, WANG Jin-long<sup>1,2</sup>

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Nutrition and Quality Control of Aquatic Animals, Hunan Fisheries Science Institute, Changsha 410153, China)

(2. College of Life and Environment Science Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China)

**Abstract:** To evaluate comprehensively the nutritional value of the muscle from pond-reared *Procambarus clarkia*, *Procambarus clarkia* reared in paddy field, and wild *Procambarus clarkia*, the compositions and contents of their muscles were determined. The results showed that the crude protein content of muscle decreased in this order: paddy field group (84.42%) > pond group (83.59%) > wild group (82.81%) ( $p > 0.05$ ). The crude fat content of the muscle was in this order: paddy field group (2.96%) > pond group (2.22%) > wild group (1.48%) ( $p < 0.05$ ). The values of TAA,  $\sum$ EAA,  $\sum$ EAA/ $\sum$ TAA,  $\sum$ EAA/ $\sum$ NEAA and  $\sum$ DAA/ $\sum$ TAA groups followed this order: pond group > rice field group > wild group ( $p > 0.05$ ). According to AAS, the first limiting amino acids of the pond-reared, paddy field-rear and wild *Procambarus clarkii* were Thr, Val and Val, respectively. The second limiting amino acids were all Met+Cys. According to CS, the first limiting amino acids were all Met+Cys,

引文格式:

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 Xiao-fei, SONG Rui, XIANG Jin, et al. Analysis and evaluation of different farming modes and nutrient composition of wild crawfish (*Procambarus clarkia*) muscle [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 87-95

收稿日期: 2020-09-1

基金项目: 国家特色淡水鱼产业技术体系 (CARS-46); 湖南省科技重大专项 (2017NK1030)

作者简介: 程小飞 (1986-), 男, 助理研究员, 研究方向: 水产动物营养与饲料

通讯作者: 谢仲桂 (1977-), 男, 副研究员, 研究方向: 渔业资源; 共同通讯作者: 王金龙 (1975-), 男, 研究员, 研究方向: 水产动物遗传育种

and the second limiting amino acids were Val, Thr and Val, respectively. There were 13, 14 and 15 kinds of fatty acids detected in the muscle of the pond-reared, paddy field-rear and wild *Procambarus clarkii*, of which  $\sum$ SFA was 48.06%, 44.03% and 39.95%, respectively ( $p < 0.05$ );  $\sum$ MUFA was 35.48%, 31.03% and 25.76%, respectively ( $p < 0.05$ );  $\sum$ PUFA was 16.46%, 24.93% and 32.30%, respectively ( $p < 0.05$ ). The n-3/n-6 ratios were in this descending order: wild group (0.18) < paddy field group (0.24) < pond group (0.35) ( $p < 0.05$ ). In summary, the overall nutritional value of the *Procambarus clarkii* muscle from either farming group (the paddy field group or pond group) was higher than that of the wild group.

**Key words:** *Procambarus clarkii*; pond farming mode; paddy field farming mode; wild; amino acids; fatty acids

克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 俗称小龙虾, 属甲壳纲、十足目、螯虾亚目、螯虾科、原螯虾属, 原产自于美国的东南部, 20 世纪 80 年代引入日本后, 在 1929 年由日本输入到我国湖北、江苏等地<sup>[1]</sup>。克氏原螯虾, 因其色泽鲜艳, 味道鲜美, 营养丰富, 深消费者喜爱, 近年来克氏原螯虾产业在我国发展迅猛, 其总产量从 2003 年的  $5.61 \times 10^7$  kg, 发展到 2018 年的  $163.87 \times 10^7$  kg, 其中湖南省 2018 年总产量达到  $23.76 \times 10^7$  kg, 位居全国第二位, 仅次于湖北省<sup>[2,3]</sup>。我国小龙虾养殖模式主要有稻虾综合种养、池塘主养、莲藕田套养、河蟹混养等, 其中小龙虾稻田养殖占比最大, 产量 118.65 万 t, 养殖面积 1261 万亩, 分别占总产量和总面积的 72.40% 和 75.10%, 稻虾综合种养模式已成为农业生态循环发展的重要模式之一<sup>[4]</sup>。研究不同模式养殖与野生克氏原螯虾肌肉营养价值, 对引导消费者合理膳食, 推动小龙虾养殖业及带动第三产业发展具有积极的作用。

目前国内外对不同地区及不同养殖模式克氏原螯虾肌肉营养成分分析方面已有不少报道。万金娟等<sup>[5]</sup>报道, 盱眙地区不同养殖模式下的克氏原螯虾肌肉品质存在一定的差异, 且蟹塘混养和莲田套养模式下克氏原螯虾的肌肉持水力相对较差。王广军等<sup>[6]</sup>报道, 澳洲淡水龙虾与广东地区稻田养殖和藕塘养殖的克氏原螯虾相比, 具有较好的肌肉营养品质和更高的出肉率, 且与澳洲淡水龙虾和稻田养殖克氏原螯虾相比, 藕田养殖克氏原螯虾肌肉中脂肪酸种类更多且多不饱和脂肪酸含量更高, 锌铁比更为合理。徐晨等<sup>[7]</sup>报道, 南京浦口、苏州太湖及宿迁泗洪地区的小龙虾肌肉营养价值和品质略有不同。刘永涛等<sup>[8]</sup>报道, 稻田养殖克氏原螯虾肌肉质构特性和营养品质受饲料种类的影响。田娟等<sup>[2]</sup>等报道, 洞庭湖克氏原螯虾和其他产地克氏原螯虾相比, 含肉率相对较高, 营养价值无显著性差异。湖南省南县 2018 年小龙虾养殖产量  $7.61 \times 10^7$  kg, 位居全国县(市、区)小龙虾养殖产量第 4 位, 仅次于湖北省的监利县、洪湖市和潜江市<sup>[3]</sup>, 然而关于南县地区不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉营养品质的研究却鲜有报道。本研究通过对稻田养殖、池塘养

殖克氏原螯及野生克氏原螯虾肌肉的一般营养成分、氨基酸组成和脂肪酸组成进行测定及分析评价, 以期克氏原螯虾营养需求研究、饲料研制、养殖模式及南县小龙虾品牌的推广提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源及预处理

随机选取湖南南县地区不同养殖模式下(池塘养殖和稻田养殖)及野生克氏原螯虾各 60 尾, 去掉虾头、虾壳后, 分别将每个处理组的虾尾肌肉用实验室小型粉碎机粉碎后, 60 °C 烘箱干燥 24 h, 再次粉碎过 60 目筛, 制成干粉样品, 于 -20 °C 冷冻保存, 用于一般营养成分、氨基酸、脂肪酸测定, 每个样品测三个重复。

### 1.2 营养成分测定

体成分测定<sup>[9]</sup>: 水分含量: 105±2 °C 常压烘干法(国标 GB/T 5009.3-2010); 蛋白质含量: 自动凯氏定氮仪法(国标 GB/T 5009.5-2010), 采用仪器为丹麦 FOSS 全自动凯氏定氮仪 Kjelttec8400; 粗脂肪含量: 索氏抽提法(国标 GB/T 5009.6-2003), 使用仪器为丹麦 FOSS 索氏抽提器; 灰分: 550 °C 马福炉灼烧法(国标 GB/T 5009.4-2010)。

氨基酸测定方法<sup>[10]</sup>, 取样品 0.5 g, 用 6 mol/L 的盐酸于 110 °C 下水解 22 h 过滤定容至 50 mL, 取 0.5 mL 真空干燥制作成样品, 使用德国 Sykam 公司 S-433D 型氨基酸分析仪测定样品氨基酸组成及比例。

脂肪酸测定方法<sup>[11]</sup>: 送样至青岛科创质量检测有限公司进行检测, 称取适量的样品, 经过前处理用 0.45 μL 滤膜过膜后上机测试(气相色谱仪 Agilent 7890A); 上机条件: 色谱柱: CD-2560 (100 m×0.25 mm×0.20 μL); 升温程序: 130 °C 保持 5 min, 以 4 °C/min 的速率升温至 240 °C, 保持 30 min。进样口温度: 250 °C; 载气流速: 0.5 mL/min; 分流进样, 分流: 10:1; 检测器: FID; 检测器温度: 250 °C。

### 1.3 营养品质评价

根据 FAO/WHO1973 年建议的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式<sup>[11]</sup>进行比较。蛋白质氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS) 和必需氨基酸指数 (EAAI) 计算公式如下<sup>[12]</sup>。

$$AAS = \frac{aa}{AA_{(FAO/WHO)}}$$

$$CS = \frac{aa}{AA_{(Egg)}}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{A_E} \times \frac{100B}{B_E} \times \frac{100C}{C_E} \times \dots \times \frac{100H}{H_E}}$$

式中,  $aa$  为实验样品氨基酸含量 (mg/g N);  $AA_{(FAO/WHO)}$  为 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量 (mg/g N),  $AA_{(Egg)}$  为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (mg/g N);  $n$  为比较的必需氨基酸数;  $A, B, C, \dots, H$  为实验样品中各必需氨基酸含量 (mg/g N, dry);  $A_E, B_E, C_E, \dots, H_E$  为全鸡蛋蛋白质中同种必需氨基酸含量 (mg/g N, dry)。

氨基酸含量 / (mg/g N) = [氨基酸含量 (干样) %] / [粗蛋白质含量 (干样) %] × 6.25 × 1000

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析。实验数据首先进行方差齐性检验; 方差齐性后, 进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 用 Duncan's 多重比较来确定各实验组间差异的显著性,  $p < 0.05$  被认为差异显著。结果以平均值 ± 标准差表示 (mean ± SD)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 克氏原螯虾肌肉一般营养成分比较

表 1 不同养殖模式克氏原螯虾肌肉一般营养成分 (干重, %)

Table 1 Chemical composition in muscle of *Procambarus clarkia* from different cultured modes

营养成分	克氏原螯虾		
	池塘	稻田	野生
水分	6.30±0.18	6.31±0.01	6.39±0.12
粗蛋白质	83.59±9.12	84.42±0.46	82.81±9.81
粗脂肪	2.22±0.25 <sup>b</sup>	2.96±0.34 <sup>a</sup>	1.48±0.14 <sup>c</sup>
灰分	6.17±0.33	6.34±0.05	6.52±0.59

注: 表中数据表示为平均值 ± 标准差, 同行数值不同上标英文字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ); 下同。

三种模式下克氏原螯虾肌肉中粗蛋白质的含量表现为, 稻田组 (84.42%) > 池塘组 (83.59%) > 野生组 (82.81%), 但各组间差异不显著 ( $p > 0.05$ ); 三种模

式下克氏原螯虾肌肉中粗脂肪含量表现为稻田组 (2.96%) > 池塘组 (2.22%) > 野生组 (1.48%), 且各组间差异显著 ( $p < 0.05$ ); 不同养殖模式及其与野生克氏原螯虾肌肉的水分和灰分含量均无显著性影响 ( $p > 0.05$ ) (表 1)。

克氏原螯虾主要食用部分为其尾部肌肉, 而蛋白质和脂肪含量高低作为评价其营养价值高低的重要指标<sup>[13]</sup>。本研究中, 3 种模式下克氏原螯虾肌肉的粗蛋白质含量表现为稻田组最高, 其次是池塘组, 野生组最低, 但 3 组间无显著性差异, 这与王金娟等<sup>[5]</sup>对盱眙地区不同养殖模式克氏原螯虾肌肉粗蛋白质含量 (19.65%~20.54%) 无显著差异, 且野生组粗蛋白质含量 (19.80%) 较低报道基本一致。王广军等<sup>[6]</sup>的研究也表明, 广东地区稻田养殖 (17.22%) 和藕塘养殖 (17.80%) 对克氏原螯虾肌肉粗蛋白质含量无显著影响。除了养殖模式, 田娟等<sup>[2]</sup>报道, 洞庭湖野生克氏原螯虾 (16.70%) 与鄱阳湖 (18.70%)、盱眙 (17.70)、常熟 (17.03%) 不同产地的克氏原螯虾肌肉粗蛋白质含量无显著影响, 而徐晨等<sup>[7]</sup>报道, 南京浦口 (14.23%)、苏州太湖 (13.35%) 及宿迁泗洪 (15.86%) 地区养殖的克氏原螯虾肌肉粗蛋白质含量存在明显差异。通过分析, 我们初步认为野生克氏原螯虾肌肉粗蛋白质含量低于各养殖模式的克氏原螯虾, 同时野生克氏原螯虾肌肉粗蛋白质含量受产地影响较小或不受其影响, 而养殖克氏原螯虾肌肉粗蛋白质含量受产地影响明显, 分析原因可能是野生条件下克氏原螯虾饵料种类丰富, 如可摄食水草、藻类、水生昆虫、动物尸体等, 且不同地区克氏原螯虾可食用的饵料种类也大同小异, 而养殖克氏原螯虾肌肉粗蛋白质含量受产地影响明显可能与各地区的饲料和原料存在一定差异相关。

脂肪含量越高, 小龙虾尾肉的多汁性和滑腻性就会越好, 脂肪含量越低, 小龙虾尾肉就会有粗糙、质地硬、口感不佳的情况出现<sup>[7]</sup>。本研究中, 不同养殖模式对克氏原螯虾肌肉的粗脂肪含量影响显著, 其中稻田组克氏原螯虾肌肉的粗脂肪含量最高, 其次是池塘组, 野生组最低。与本研究结果不同的是, 王广军等<sup>[6]</sup>报道, 广东地区稻田养殖 (0.68%) 和藕塘养殖 (0.65%) 对克氏原螯虾肌肉粗脂肪含量无显著影响。王金娟等<sup>[5]</sup>也报道, 盱眙地区不同养殖模式之间克氏原螯虾肌肉粗脂肪含量 (1.36%~1.50%) 无显著差异, 但池塘主养模式 (1.50%) 和蟹塘混养模式 (1.50%) 显著高于野生模式 (1.36%), 后者与本研究结果一致, 即养殖组克氏原螯虾肌肉的粗脂肪含量要高于野生组, 而克氏原螯虾肌肉粗脂肪含量的高低因养殖模式的不同而存

在一定差异。野生克氏原螯虾肌肉的粗脂肪含量较低,可能与其生活环境、饵料丰度、活动空间、活动量等相关。野生动物粗脂肪含量除与种类和产地有关外,可能还受到采样时间及年龄等多方面影响<sup>[2]</sup>。

三种不同模式克氏原螯虾肌肉的水分和灰分含量无显著差异,这与王广军等<sup>[6]</sup>对克氏原螯虾、马冬梅等<sup>[14]</sup>对华南鲤 (*Cyprinus carpio rubrofasciatus*)、韩现芹等<sup>[15]</sup>对牙鲮 (*Paralichthys olivaceus*)、叶鸽等<sup>[16]</sup>对罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) 的研究结果一致;而叶香生等<sup>[12]</sup>报道,池塘和稻田不同养殖模式会对金边鲤 (*Cyprinus carpio* var. *Jianbian*),肌肉的水分和灰分差生显著影响,同时阮成旭等<sup>[17]</sup>报道,工厂化养殖和网箱养殖对大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*) 水分和灰分含量无显著差异,但两种养殖大黄鱼的水分含量均低于野生大黄鱼,而灰分无显著差异。分析认为,不同养殖模式是否会对水产动物肌肉水分和灰分含量产生影响可能与养殖模式及养殖品种等不同相关。

## 2.2 克氏原螯虾肌肉氨基酸组成比较

三种模式下克氏原螯虾肌肉中均检测出了 17 种氨基酸(表 2),而不同模式下克氏原螯虾肌肉氨基酸含量存在一定差异:其中稻田与野生组表现为,稻田组除蛋氨酸(Met)含量显著高于野生组外( $p < 0.05$ ),其他氨基酸均与野生组无显著性差异( $p > 0.05$ );稻田与池塘组表现为,稻田组苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)和蛋氨酸(Met)含量显著高于池塘组( $p < 0.05$ ),而甘氨酸(Gly)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)和组氨酸(His)含量显著低于池塘组( $p < 0.05$ ),其他氨基酸均与池塘组无显著性差异( $p > 0.05$ );野生与池塘组表现为,野生组苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)和谷氨酸(Glu)含量显著高于池塘组( $p < 0.05$ ),而甘氨酸(Gly)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)和组氨酸(His)含量显著低于池塘组( $p < 0.05$ ),其他氨基酸均与池塘组无显著性差异( $p > 0.05$ )。三种模式下克氏原螯虾肌肉中 $\Sigma$ TAA、 $\Sigma$ EAA、 $\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ TAA、 $\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ NEAA、 $\Sigma$ DAA/ $\Sigma$ TAA 表现为,池塘组>稻田组>野生组,但组间均无显著性差异( $p > 0.05$ )。

一般认为,蛋白质作为人体所需的六大营养要素之首,价格成本最高,其含量高低直接影响食品的营养价值,而其氨基酸含量及组成则决定了蛋白质的优劣。作为优质的食品蛋白质,除了需要必需氨基酸种类齐全,其必需氨基酸含量的比例也很关键,根据 FAO/WHO 的理想模式,质量较好的蛋白质其 $\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ TAA 为 40%左右, $\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ NEAA 在 60%以

上<sup>[13]</sup>。鲜味氨基酸(DAA: Glu、Gly、Asp、Ala)的组成与含量决定了鱼类肌肉的风味,DAA 所占比例与肌肉的鲜美程度呈正相关<sup>[18]</sup>。

表 2 不同养殖模式克氏原螯虾肌肉氨基酸组成(干重,%)

Table 2 Amino acid profile in muscle of *Procambarus clarkia* from different cultured modes

氨基酸种类	克氏原螯虾		
	池塘	稻田	野生
天冬氨酸	9.73±0.27	9.60±0.18	9.44±0.26
苏氨酸	2.65±0.02 <sup>b</sup>	3.19±0.20 <sup>a</sup>	3.26±0.11 <sup>a</sup>
丝氨酸	2.58±0.10 <sup>b</sup>	3.32±0.04 <sup>a</sup>	3.45±0.11 <sup>a</sup>
谷氨酸	15.89±0.08 <sup>b</sup>	16.20±0.22 <sup>ab</sup>	16.36±0.19 <sup>a</sup>
甘氨酸	3.58±0.14 <sup>a</sup>	3.30±0.11 <sup>b</sup>	3.00±0.05 <sup>b</sup>
丙氨酸	4.39±0.68	4.19±0.12	4.02±0.10
胱氨酸	0.08±0.10	0.07±0.06	0.06±0.09
缬氨酸	3.74±0.26	3.72±0.11	3.57±0.29
蛋氨酸	2.27±0.14 <sup>b</sup>	2.60±0.12 <sup>a</sup>	2.35±0.17 <sup>b</sup>
异亮氨酸	4.12±0.18 <sup>a</sup>	3.41±0.22 <sup>b</sup>	3.64±0.06 <sup>b</sup>
亮氨酸	7.37±0.41 <sup>a</sup>	6.71±0.21 <sup>b</sup>	6.44±0.21 <sup>b</sup>
酪氨酸	3.00±0.14	2.98±0.14	3.00±0.21
苯丙氨酸	3.05±0.10 <sup>b</sup>	3.11±0.03 <sup>ab</sup>	3.24±0.12 <sup>a</sup>
组氨酸	2.56±0.05 <sup>a</sup>	2.09±0.06 <sup>b</sup>	2.21±0.08 <sup>b</sup>
赖氨酸	6.29±0.08	6.21±0.09	6.37±0.10
精氨酸	8.01±0.04	8.11±0.12	8.31±0.24
脯氨酸	2.47±0.14	2.51±0.14	2.47±0.08
$\Sigma$ TAA	81.79±0.52	81.33±0.63	81.20±0.49
$\Sigma$ EAA	29.50±0.48	28.97±0.60	28.86±0.57
$\Sigma$ DAA	33.59±0.62	33.29±0.42	32.83±0.06
$\Sigma$ NEAA	52.29±0.52	52.37±0.49	52.34±0.24
$\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ NEAA	56.42±1.28	55.32±1.43	55.14±1.23
$\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ TAA	36.07±0.52	35.61±0.59	35.54±0.51
$\Sigma$ DAA/ $\Sigma$ TAA	41.06±0.60	40.93±0.58	40.44±0.30

注: a:  $\Sigma$ EAA 必需氨基酸总和; b:  $\Sigma$ NEAA 非必需氨基酸总和; c:  $\Sigma$ DAA 鲜味氨基酸总和,其包括谷氨酸、甘氨酸、天门冬氨酸和丙氨酸; d:  $\Sigma$ TAA 氨基酸总和。

本研究中,三种模式下克氏原螯虾肌肉中氨基酸种类相同,而某些氨基酸(Thr、Ser、Met、Gly、Ile、Leu、His、Glu)含量不尽相同,但其氨基酸总和( $\Sigma$ TAA)、必需氨基酸总和( $\Sigma$ EAA)和鲜味氨基酸总和( $\Sigma$ DAA)无显著性差异,这与王广军等<sup>[6]</sup>、万金娟等<sup>[5]</sup>研究结果基本一致。本研究中,池塘组、稻田组和野生组克氏原螯虾肌肉氨基酸中 $\Sigma$ EAA/ $\Sigma$ TAA 分别为 36.07%、35.61%、35.54%,结果与南京浦口(35.77%)、苏州太湖(35.07%)和宿迁泗洪(35.85%)地区的养殖克氏原螯虾接近<sup>[7]</sup>,稍

低于东洞庭湖野生克氏原螯虾 (36.00%)<sup>[2]</sup>、盱眙地区野生克氏原螯虾 (40.87%)<sup>[5]</sup>和珠海地区养殖克氏原螯虾 (37.70%~39.00%)<sup>[6]</sup>, 高于凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) (29.36%~34.70%)<sup>[19]</sup>的  $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{TAA}$  比值, 三种模式下克氏原螯虾肌肉氨基

酸组成基本符合 FAO/WHO 的理想模式, 氨基酸比较平衡, 因此, 三种模式下克氏原螯虾均属优质蛋白质资源。

### 2.3 克氏原螯虾肌肉氨基酸营养价值评价

表3 不同养殖模式克氏原螯虾肌肉中必需氨基酸含量 (mg/g N)

Table 3 EAA in muscle of *Procambarus clarkia* from different cultured modes

必需氨基酸	FAO/WHO 标准模式	全鸡蛋蛋白质	氨基酸含量		
			池塘	稻田	野生
异亮氨酸	250	331	308.05	252.46	274.73
亮氨酸	440	534	551.05	496.77	486.05
赖氨酸	340	441	470.30	459.75	480.77
苏氨酸	250	292	198.14	236.17	246.05
缬氨酸	310	411	279.64	275.41	269.44
蛋氨酸+胱氨酸	220	386	175.71	197.67	181.89
苯丙氨酸+酪氨酸	380	565	452.36	450.87	470.96
必需氨基酸总量	2190	2960	2435.25	2369.11	2409.88

表4 不同养殖模式克氏原螯虾肌肉氨基酸评分、化学评分和必需氨基酸指数

Table 4 AAS, CS and EAAI in muscle of *Procambarus clarkia* from different cultured modes

必需氨基酸	氨基酸评分			化学评分		
	池塘	稻田	野生	池塘	稻田	野生
异亮氨酸	1.23	1.01	1.1	0.93	0.76	0.83
亮氨酸	1.25	1.13	1.1	1.03	0.93	0.91
赖氨酸	1.38	1.35	1.41	1.07	1.04	1.09
苏氨酸	0.79 <sup>a</sup>	0.94	0.98	0.68 <sup>b</sup>	0.81	0.84
缬氨酸	0.90	0.89 <sup>a</sup>	0.87 <sup>a</sup>	0.68	0.67 <sup>b</sup>	0.66 <sup>b</sup>
蛋氨酸+胱氨酸	0.80 <sup>b</sup>	0.90 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	0.46 <sup>a</sup>	0.51 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>
苯丙氨酸+酪氨酸	1.19	1.19	1.24	0.80	0.80	0.83
必需氨基酸指数	77.79	77.23	78.19			

注: a 表示第一限制性氨基酸; b 表示第二限制性氨基酸。

三种模式下克氏原螯虾肌肉中必需氨基酸含量, 如表 3 所示; 氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS) 和必需氨基酸指数 (EAAI) 结果, 如表 4 所示。3 组克氏原螯虾肌肉中 Thr、Met+Cys 和 Val 含量均接近或稍低于 FAO/WHO 标准, 而 Ile、Leu、Lys 和 Phe+Tyr 含量均高于 FAO/WHO 标准。3 组虾肉的必需氨基酸 (EAA) 中均以 Lys 含量最高, 且明显高于 FAO/WHO 标准和全鸡蛋蛋白质标准, 表明不同养殖模式及野生克氏原螯虾均可作为优质的 Lys 来源, 以补充人体膳食中 Lys 的不足。以 AAS 作为评价标准, 池塘组克氏原螯虾肌肉的第一限制性氨基酸为 Thr, 稻田组和野生组克氏原螯虾肌肉的第一限制性氨基酸均为 Val, 3 组克氏原螯虾肌肉的第二限制性氨基酸均为 Met+Cys; 以 CS 作为评价标准, 3 组克氏原螯虾肌肉的第一限制性氨基酸均为 Met+Cys, 池塘组克氏原螯

虾肌肉的第二限制性氨基酸为 Thr, 稻田组和野生组克氏原螯虾肌肉的第二限制性氨基酸均为 Val。

池塘组、稻田组和野生组的必需氨基酸指数 (EAAI) 分别为 77.79、77.23、78.19, 均稍低于东洞庭湖野生克氏原螯虾 (80.02)<sup>[2]</sup>和常熟克氏原螯虾 (82.54)<sup>[20]</sup>, 而高于盱眙地区 (66.42)<sup>[21]</sup>、珠海地区 (67.69~69.87)<sup>[6]</sup>和鄱阳湖 (56.36)<sup>[22]</sup>克氏原螯虾及凡纳滨对虾 (29.65~60.25)<sup>[19]</sup>。根据 AAS 和 CS, 三种模式下克氏原螯虾肌肉的 Lys 评分均最高, 这与王广军等<sup>[6]</sup>、田娟等<sup>[2]</sup>、易瑞恺等<sup>[22]</sup>、陈晓明等<sup>[21]</sup>和丁建英等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。根据 CS, 3 种模式克氏原螯虾肌肉的第一限制性氨基酸均为 Met+Cys, 池塘组克氏原螯虾肌肉的第二限制性氨基酸为 Thr, 稻田组和野生组克氏原螯虾肌肉的第二限制性氨基酸均为 Val, 这与田娟<sup>[2]</sup>和王广军<sup>[6]</sup>等的研究结果基本一致。

根据 AAS, 池塘组克氏原螯虾肌肉的第一限制性氨基酸为 Thr, 稻田组及野生组克氏原螯虾肌肉的第一限制性氨基酸均为 Val, 3 组克氏原螯虾肌肉的第二限制性氨基酸均为 Met+Cys, 这与田娟等<sup>[2]</sup>的研究结果基本相似, 而与王广军<sup>[6]</sup>等的研究表明, 根据 AAS 珠海地区不同养殖模式克氏原螯虾肌肉的第一限制性氨基酸均为 Met+Cys, 第二限制性氨基酸均为 Val。因此, 根据 AAS 和 CS 我们认为克氏原螯虾肌肉氨基酸中 Lys 评分最高, 且不受养殖与野生、养殖模式和产地等因素的影响; 另一方面, 克氏原螯虾肌肉的限制性氨基酸主要是 Met+Cys 和 Val, 第一和第二限制性氨基酸因养殖模式和评价方式而不尽相同。

## 2.4 克氏原螯虾肌肉脂肪酸组成比较

表 5 不同养殖模式克氏原螯虾肌肉脂肪酸组成 (干重, %)

Table 5 Fatty acid profile in muscle of *Procambarus clarkii* from different cultured modes

脂肪酸	克氏原螯虾			
	池塘	稻田	野生	
SFA	C15:0	0.64±0.01 <sup>c</sup>	0.91±0.06 <sup>b</sup>	1.13±0.01 <sup>a</sup>
	C16:0	18.31±0.05 <sup>a</sup>	17.77±0.07 <sup>b</sup>	16.79±0.05 <sup>c</sup>
	C17:0	1.05±0.02 <sup>b</sup>	0.93±0.00 <sup>c</sup>	1.69±0.01 <sup>a</sup>
	C18:0	9.08±0.01 <sup>b</sup>	8.72±0.02 <sup>c</sup>	9.48±0.01 <sup>a</sup>
	C20:0	0.92±0.03 <sup>a</sup>	-	0.68±0.01 <sup>b</sup>
	C24:0	18.05±0.24 <sup>a</sup>	15.69±0.02 <sup>b</sup>	10.17±0.06 <sup>c</sup>
MUFA	C16:1	5.71±0.03 <sup>a</sup>	4.94±0.00 <sup>b</sup>	0.94±0.01 <sup>c</sup>
	C18:1n9c	23.48±0.04 <sup>a</sup>	21.89±0.03 <sup>b</sup>	19.28±0.02 <sup>c</sup>
	C20:1	6.29±0.13 <sup>a</sup>	3.73±0.02 <sup>c</sup>	4.93±0.02 <sup>b</sup>
	C22:1n9	-	0.47±0.03 <sup>b</sup>	0.61±0.04 <sup>a</sup>
PUMA	C18:2n6c	10.99±0.05 <sup>c</sup>	12.76±0.02 <sup>b</sup>	21.12±0.04 <sup>a</sup>
	C18:3n3	1.17±0.08 <sup>a</sup>	0.84±0.01 <sup>b</sup>	0.61±0.02 <sup>c</sup>
	C20:2n6	1.20±0.02 <sup>b</sup>	1.02±0.09 <sup>c</sup>	1.61±0.04 <sup>a</sup>
	C20:4n6	-	6.34±0.02	6.30±0.08
	C22:6n3	3.10±0.01 <sup>c</sup>	3.97±0.03 <sup>b</sup>	4.65±0.02 <sup>a</sup>
	<sup>1</sup> ΣSFA	48.06±0.22 <sup>a</sup>	44.03±0.06 <sup>b</sup>	39.95±0.03 <sup>c</sup>
<sup>2</sup> ΣMUFA	35.48±0.12 <sup>a</sup>	31.03±0.02 <sup>b</sup>	25.76±0.02 <sup>c</sup>	
<sup>3</sup> ΣPUFA	16.46±0.11 <sup>c</sup>	24.93±0.05 <sup>b</sup>	32.30±0.06 <sup>a</sup>	
<sup>4</sup> ΣHUFA	3.10±0.01 <sup>c</sup>	10.31±0.05 <sup>b</sup>	10.96±0.09 <sup>a</sup>	
<sup>5</sup> n-3	4.27±0.06 <sup>c</sup>	4.81±0.04 <sup>b</sup>	5.27±0.03 <sup>a</sup>	
<sup>6</sup> n-6	12.19±0.06 <sup>c</sup>	20.11±0.06 <sup>b</sup>	29.03±0.02 <sup>a</sup>	
n-3/n-6	0.35±0.01 <sup>a</sup>	0.24±0.00 <sup>b</sup>	0.18±0.00 <sup>c</sup>	

注: <sup>1</sup>ΣSFA 是饱和脂肪酸总和; <sup>2</sup>ΣMUFA 是单不饱和脂肪酸总和; <sup>3</sup>ΣPUFA 是多不饱和脂肪酸总和; <sup>4</sup>ΣHUFA 是高不饱和脂肪酸总和, 包括 C20:4n6 和 C22:6n3; <sup>5</sup>n-3 代表 n-3 系多不饱和脂肪酸, 包括 18:3n-3 和 22:6n-3; <sup>6</sup>n-6 代表 n-6 系多不

饱和脂肪酸, 包括 18:2n-6 和 20:2n-6; -表示未检出。

三种模式下克氏原螯虾肌肉脂肪酸种类及含量见表 5。池塘组、稻田组和野生组克氏原螯虾肌肉中脂肪酸种类各不相同, 其分别检测出 13 种、14 种和 15 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸 (SFA) 均主要以 C16:0、C24:0、C18:0 为主, 饱和脂肪酸总和 (ΣSFA) 分为 48.06%、44.03%、39.95%, 且 3 组间各饱和脂肪酸及其总含量均差异显著 ( $p<0.05$ ); 单不饱和脂肪酸 (MUFA) 均主要以 C18:1n9c、C20:1、C16:1 为主, 单不饱和脂肪酸总和 (ΣMUFA) 分别为 35.48%、31.03%、25.76%, 且 3 组间各单不饱和脂肪酸及其总含量均差异显著 ( $p<0.05$ ); 池塘组的多不饱和脂肪酸 (PUFA) 按其含量由高到低分别为 C18:2n6c (10.99%)、C22:6n3 (3.10%)、C20:2n6 (1.20%)、C18:3n3 (1.17%), 稻田组和野生组的 PUFA 按其含量由高到低均为 C18:2n6c (12.76%和 21.12%)、C20:4n6 (6.34%和 6.30%)、C22:6n3 (3.97%和 4.65%)、C20:2n6 (1.02%和 1.61%)、C18:3n3 (0.84%和 0.61%), 3 组间各多不饱和脂肪酸 (稻田和野生组间 C20:4n6 除外) 及其总和 (ΣPUFA 分别为 16.46%、24.93%、32.30%) 均存在显著性差异 ( $p<0.05$ ); 3 组克氏原螯虾肌肉中高不饱和脂肪酸 (ΣHUFA)、n-3 系多不饱和脂肪酸 (n-3)、n-6 系多不饱和脂肪酸 (n-6) 含量高低均表现为野生组>稻田组>池塘组 ( $p<0.05$ ), 而其 n-3/n-6 则表现为野生组<稻田组<池塘组 ( $p<0.05$ )。

克氏原螯虾肌肉脂肪含量影响虾肉的多汁性和滑腻性等就口感指标, 而脂肪酸组成是影响肌肉品质和风味的又一重要因素<sup>[23,24]</sup>。饱和脂肪酸 (SFA) 作为重要的能量来源, 可为机体提供能量, 而不饱和脂肪酸 (UFA) 具有降低血脂、预防心血管疾病、促进生长发育的作用, 多不饱和脂肪酸 (PUFA) 中的 EPA 和 DHA 对促进婴幼儿脑部发育, 预防老年人心脑血管疾病等方面更具明显的作用<sup>[19,25,26]</sup>。花生四烯酸 (ARA) 对于脂质代谢的调节、生物进程及免疫反应等生理过程中具有重要的作用<sup>[27]</sup>。本研究中 SFA 相对含量稻田组显著高于野生组, 但两者均低于池塘组, 野生组和稻田组 SFA 相对含量较低可能与克氏原螯虾的饵料相对不足, 且活动范围较大, 导致更多的 SFA 用于机体供能<sup>[23]</sup>。三种模式下克氏原螯虾肌肉 PUFA 主要以 C18:2n6c (亚油酸)、C20:4n6 (ARA) 和 C22:6n3 (DHA) 为主, 且野生组这三种脂肪酸的相对含量及 ΣPUFA 含量均显著高于其他组, 稻田组次之, 池塘组最低, 说明不同养殖模式会造成克氏原螯虾肌肉中脂肪酸种类和含量的不同, 分析原因可能与饵料或饲

料中脂肪酸组成相关<sup>[28]</sup>,这对于满足特定营养需要有一定的效果。王广军等<sup>[6]</sup>对克氏原螯虾、叶香尘等<sup>[12]</sup>对金边鲤、管崇武等<sup>[29]</sup>对俄罗斯鲟 (*Acipenser gueldenstaedtii*) 的研究结果与本研究一致,而马冬梅等<sup>[14]</sup>研究表明不同养殖模式对华南鲤脂肪酸组成无显著影响(除豆蔻酸除外),造成这种差异的原因可能与不同养殖模式、养殖品种及饵料类型等有一定关系。三种模式下克氏原螯虾肌肉脂肪酸 n-3/n-6 均达到国际粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)推荐的(0.1~0.2),且表现为池塘组(0.35)最高,稻田组(0.24)次之,野生组最低(0.19),较高的 n-3/n-6 能有效降低血脂,抑制血小板凝集,降低心血管疾病的发病率<sup>[12,30]</sup>,表明三种模式下克氏原螯虾肌肉脂肪酸组成均较合理,且池塘养殖模式和稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉脂肪酸组成比野生条件下更好,对人体更加有益。

### 3 结论

3.1 稻田养殖模式下克氏原螯虾肌肉的粗蛋白和粗脂肪含量均最高,池塘养殖模式次之,野生条件下最低。

3.2 根据 AAS,池塘养殖、稻田养殖和野生三种模式下的克氏原螯虾肌肉的第一限制性氨基酸分别是 Thr、Val、Val,第二限制性氨基酸均是 Met+Cys;根据 CS,第一限制性氨基酸均为 Met+Cys,第二限制性氨基酸分别为 Val、Thr、Val;其必需氨基酸指数(EAAI)分别为 77.79、77.23、78.19;必需氨基酸中均是 Lys 含量最高。

3.3 池塘养殖模式和稻田养殖模式比野生条件下克氏原螯虾肌肉的综合营养价值更高。

### 参考文献

- [1] 程小飞,宋锐,洪波,等.虾壳粉氨基酸和脂肪酸营养成分分析[J].中国饲料,2020,22:66-70  
CHENG Xiao-fei, SONG Rui, HONG Bo, et al. Analysis of Nutritional Components of Amino Acids and Fatty Acids in *Procrustus clarkii* crawfish shell meal [J]. China Feed, 2020, 22: 66-70
- [2] 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 Juan, XU Qiao-qing, TIAN Luo, et al. The muscle composition analysis and flesh quality of *Procambarus Clarkia* in the Dongting Lake [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(4): 870-877
- [3] 2019 中国小龙虾产业发展报告[J].中国水产,2019,9:12-19

- 2019 China crayfish industry development report [J]. China Fisheries, 2019, 9: 12-19
- [4] 夏珍珍,张隽娴,周有祥,等.我国小龙虾质量安全标准的现状分析[J].现代食品科技,2020,36(3):310-318  
XIA Zhen-zhen, ZHANG Jun-xian, ZHOU You-xiang, et al. Status of the quality and safety standards for crayfish in China: a review [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 310-318
- [5] 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 Jin-juan, CHEN You-ming, SHAO Jun-jie, 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
- [6] 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.动物营养学报[J].2019,31(9):4339-4348  
WANG Guang-jun, SUN Yue, YU Er-meng, et al. Analysis and quality evaluation of nutrient components in muscle of *Cherax quadricarinatus* and *Procambarus clarkii* [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(9): 4339-4348
- [7] 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 Chen, GE Qing-feng, ZHU Yong-zhi, et al. Comparative analysis of nutritional value and quality of crayfish from different areas of China [J]. Meat Research, 2019, 33(8): 7-11
- [8] 刘永涛,董靖,夏京津,等.不同饲料对稻田养殖克氏原螯虾肌肉质构特性和营养品质的影响[J].浙江农业学报,2019,31(12):1996-2004  
LIU Yong-tao, DONG Jing, XIA Jing-jin, et al. Effect and evaluation of different feed on texture properties and nutritional quality of *Procambarus clarkia* cultured in rice fields [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2019, 31(12): 1996-2004
- [9] 程小飞,蒋国民,向劲,等.饲料中猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤生长性能、血液生理生化、肌肉组成及质构特性的影响[J].水生生物学报,2020,44(1):85-94  
CHENG Xiao-fei, JIANG Guo-min, XIANG Jin, et al. Effects of dietary fish meal replacement with meat and bone meal on the growth performance, blood physiological and biochemical indices, muscle chemical composition and texture characteristics in juvenile Furong crucian carp (*Furong carp* ♀×red crucian carp ♂) [J]. Acta Hydrobiologica

- Sinica, 2020, 44(1): 85-94
- [10] 程小飞,李传武,邹利,等.饲料蛋白水平对湘华鲮幼鱼生长性能、体成分及血清生化指标的影响[J].水生生物学报, 2020,44(2):346-356  
CHENG Xiao-fei, LI Chuan-wu, ZOU Li, et al. Effects of dietary protein levels on growth performance, body composition and serum biochemical indices of juvenile *Sinilabeo decorus* Tungting (Nichols) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2020, 44(2): 346-356
- [11] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and Protein Requirements [M]. Rome: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973, 52
- [12] 叶香尘,邹辉,刘康,等.池塘和稻田养殖模式对金边鲤和建鲤肌肉品质的影响[J].水产学报,2020,44(8):1296-1305  
YE Xiang-chen, ZOU Hui, LIU Kang, et al. Effects of pond and paddy culture models on muscle quality of Jinbian carp and Jian carp [J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(8): 1296-1305
- [13] 李成,程小飞,洪波,等.刺鲃鱼卵营养成分分析及评价[J].动物营养学报,2016,28(7):2204-2212  
LI Cheng, CHENG Xiao-fei, HONG Bo, et al. Nutritional analysis and evaluation on eggs of *Spinibarbus caldwelli* [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(7): 2204-2212
- [14] 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  
MA Dong-mei, ZHU Hua-ping, HUANG Zhang-han, et al. Comparison of nutrient components in muscle of *Cyprinus carpio rubrofasciatus* cultured in paddy field and pool [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(12): 2518-2524
- [15] 韩现芹,贾磊,王群山,等.野生与养殖牙鲆肌肉营养成分的比较[J].广东海洋大学学报,2015,35(6):94-99  
HAN Xian-qin, JIA Lei, WANG Qun-shan, et al. Composition of muscle nutrients between wild and cultured *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2015, 35(6): 94-99
- [16] 叶鹤,郝淑贤,李来好,等.不同养殖模式罗非鱼品质的比较[J].食品科学,2014,35(2):196-200  
YE Ge, HAO Shu-xian, LI Lai-hao, et al. Comparison of meat quality of *Tilapia* under different culture modes [J]. Food Science, 2014, 35(2): 196-200
- [17] 阮成旭,袁重桂,陶翠丽,等.不同养殖模式对大黄鱼肉质的影响[J].水产科学,2017,36(5):623-627  
RUAN Cheng-xu, YUAN Chong-gui, TAO Cui-li, et al. Influence of culture patterns on flesh quality of large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* [J]. Fisheries Science, 2017, 36(5): 623-627
- [18] 胡园,周朝生,胡利华,等.海、淡水养殖日本鳗鲡肌肉和鱼皮营养分析比较[J].水生生物学报,2015,39(4):730-739  
HU Yuan, ZHOU Chao-sheng, HU Li-hua, et al. Comparative analysis of the nutritional composition in the muscles and skins of *Anguilla japonica* cultured in the seawater and freshwater [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(4): 730-739
- [19] 吴丹,江敏,吴昊,等.大棚养殖和露天养殖模式下不同生长阶段凡纳滨对虾肌肉营养成分比较[J].上海海洋大学学报, 2019,28(4):491-500  
WU Dan, JIANG Min, WU Hao, et al. Comparison of nutritional component of greenhouse cultured and outdoor cultured *Litopenaeus vannamei* in different growth stages [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(4): 491-500
- [20] 丁建英,康琏,徐建荣.克氏原螯虾肌肉营养成分分析与评价[J].水产科技情报,2010,37(6):298-301  
DING Jian-ying, KANG Jin, XU Jian-rong. Analysis and evaluation of muscle nutritional components of *Procambarus clarkii* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2010, 37(6): 298-301
- [21] 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,2010,31(7):345-349  
CHEN Xiao-ming, CHENG Zhao-you, ZHAO Jian-min. Analysis and evaluation of the nutritional composition in muscle of crayfish from Xuyi [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(7): 345-349
- [22] 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):255-258,276  
YI Rui-kai, HU Huo-geng, WANG Shang-hong, et al. Analysis and estimate on nutritional components in muscle of *Procambarus clarkii* in Poyang Lake [J]. Journal of Nanchang University (Natural Science), 2013, 37(3): 255-258, 276
- [23] 原居林,刘梅,倪蒙,等.不同养殖模式对大口黑鲈生长性能、形体指标和肌肉营养成分影响研究[J].江西农业大学学报, 2018,40(6):1276-1285  
YUAN Jun-lin, LIU Mei, NI Meng, et al. Effects of different culture models on growth performances, morphological traits and nutritional quality in muscles of *Micropterus salmoides* [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(6): 1276-1285
- [24] 薛山.动物源肌内磷脂及其脂肪酸含量、组成与生理功效研究进展[J].肉类研究,2016,30(9):40-44

- XUE Shan. A review of the current knowledge of fatty acid contents, composition and physiological functions of animal-derived intramuscular phospholipids [J]. Meat Research, 2016, 30(9): 40-44
- [25] Ryckeboosch E, Bruneel C, Termote-Verhalle R, et al. Nutritional evaluation of microalgae oils rich in omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids as an alternative for fish oil [J]. Food Chemistry, 2014, 60(1): 393-400
- [26] 王文倩,王琦,叶路漫,等.小龙虾各部位磷脂分布、种类及其脂肪酸组成特性分析[J].食品科技,2018,43(5):145-150
- WANG Wen-qian, WANG Qi, YE Lu-man, et al. Characteristics analysis of distribution, class and fatty acid composition of phospholipids in different parts of crayfish [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(5): 145-150
- [27] 王湘,魏芳,董绪燕,等.酶法合成富含花生四烯酸结构磷脂[J].中国油料作物学报,2015,37(6):889-896
- WANG Xiang, WEI Fang, DONG Xu-yan, et al. Lipase catalyzed synthesis of structured phospholipids rich in ara [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015, 37(6): 889-896
- [28] 程小飞,田晶晶,吉红,等.蚕蛹基础日粮中添加不同脂肪源对框鳞镜鲤生长、体成分及健康状况的影响[J].水生生物学报,2013,37(4):656-668
- CHNEG Xiao-fei, TIAN Jing-jing, JI Hong, et al. Effects of different lipid sources in the silkworm pupa-based diet for mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *Specularis*) on growth performance, body composition and health status [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(4): 656-668
- [29] 管崇武,杨菁,单建军,等.不同养殖模式下俄罗斯鲟肌肉营养成分的比较与分析[J].中国农学通报,2020,36(8):145-150
- GUAN Chong-wu, YANG Jing, SHAN Jian-jun, et al. Muscle Nutrient composition of russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) under different culture modes: comparison and analysis [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(8): 145-150
- [30] Kalscheur K F, Teter B B, Piperova L S, et al. Effect of dietary forage concentration and buffer addition on duodenal flow of trans C18:1 fatty acids and milk fat production in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 1997, 80(9): 2104-2114

## (上接第 115 页)

- [28] 童华荣,金孝芳,龚雪莲.茶多酚感官性质及其对茶叶涩味的影响[J].茶叶科学,2006,26(2):79-86
- TONG Hua-rong, JIN Xiao-fang, GONG Xue-lian. Sensory characteristics of tea polyphenols and its effects on astringency of tea [J]. Journal of Tea Science, 2006, 26(2): 79-86
- [29] 夏兴莉,廖界仁,任太钰,等.低温处理对茶树叶片中  $\gamma$ -氨基丁酸和其他活性成分含量的影响[J].植物资源与环境学报, 2020,29(5):75-77
- XIA Xing-li, LIAO Jie-ren, REN Tai-yu, et al. Effect of low temperature treatment on contents of  $\gamma$ -aminobutyric acid and other active components in leaf of *Camellia sinensis* [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2020, 29(5): 75-77
- [30] 胡思,李华,陆启玉.茶多酚在食品工业中的应用研究进展[J].粮食与油脂,2015,28(7):1-4
- HU Si, LI Hua, LU Qi-yu. Application progress of tea polyphenols in the field of food industry [J]. Cereals & Oils, 2015, 28(7): 1-4
- [31] Cheng H, Mou Z, Wang W, et al. Chitosan-catechin coating as an antifungal and preservable agent for postharvest satsuma oranges [J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(4): e12779
- [32] De Araújo F, De Paulo Farias D, Neri-Numa I, et al. Polyphenols and their applications: an approach in food chemistry and innovation potential [J]. Food Chemistry, 2020, 338: 127535
- [33] 赵天宏,孙加伟,付宇.逆境胁迫下植物活性氧代谢及外源调控机理的研究进展[J].作物杂志,2008,24(3):10-13
- ZHAO Tian-hong, SUN Jia-wei, FU Yu. Advances of research on metabolism of plant reactive oxygen species and exogenous regulation under abiotic stresses [J]. Crops, 2008, 24(3): 10-13
- [34] Wang W, Xin H, Wang M, et al. Transcriptomic analysis reveals the molecular mechanisms of drought-stress-induced decreases in *Camellia sinensis* leaf quality [J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 385
- [35] Ding C, Lei L, Yao L, et al. The involvements of calcium-dependent protein kinases and catechins in tea plant [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] cold responses [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2019, 143: 190-202