

不同地区稻田小龙虾的营养品质比较研究

杨冰¹, 张艳凌¹, 姜绍通^{1,2}, 陆剑锋^{1,2,3}, 林琳^{1,2,3,*}

(1. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230601; 2. 安徽省农产品精深加工重点实验室, 安徽 合肥 230601; 3. 农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽 合肥 230601)

摘要: 以来自江苏、安徽、湖北地区的稻田雄性小龙虾为研究对象, 对其含肉率、基本成分、矿物质、氨基酸和脂肪酸组成进行分析, 评估并比较不同地区稻田雄性小龙虾的营养价值。结果表明, 湖北小龙虾的含肉率(11.65%)和粗蛋白(19.04%)含量最高, 江苏小龙虾的粗脂肪含量最高(1.10%)。3个地区小龙虾肉中均检出17种氨基酸, 必需氨基酸含量/总氨基酸含量比为38%~39%, 说明虾肉的蛋白质质量较好, 其中安徽小龙虾的总氨基酸含量最高。3个地区的小龙虾中, 安徽小龙虾肉中的矿物质总量最高, 为850.92 mg/100 g, 其中Na、K、Ca、P、Fe、Cu含量显著高于其余两地($P < 0.05$)。从虾肉的脂肪酸组成来看, 江苏小龙虾所含脂肪酸种类最丰富, 安徽和江苏小龙虾肉中的脂肪酸以多不饱和脂肪酸为主(相对含量分别为43.15%和41.31%), 而湖北小龙虾肉中的脂肪酸以单不饱和脂肪酸为主(45.70%), 3个地区小龙虾肉中的不饱和脂肪酸含量占比均在70%以上。

关键词: 稻田小龙虾; 产区; 营养成分; 氨基酸; 矿物质; 脂肪酸

Comparative Study on Nutritional Quality of Rice-field Male Crayfishes from Different Areas

YANG Bing¹, ZHANG Yanling¹, JIANG Shaotong^{1,2}, LU Jianfeng^{1,2,3}, LIN Lin^{1,2,3,*}

(1. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China;
2. Key Laboratory for Agricultural Products Processing of Anhui Province, Hefei 230601, China;
3. Engineering Research Center of Bio-Process, Ministry of Education, Hefei 230601, China)

Abstract: The nutritional value of rice-field male crayfishes from Jiangsu, Anhui and Hubei was evaluated comparatively in terms of their flesh yield, basic composition, mineral composition, amino acid composition and fatty acid composition. The results showed that the highest flesh yield (11.65%) and crude protein content (19.04%) were found in Hubei crayfishes, and the highest crude fat content in Jiangsu crayfishes (1.10%). Seventeen amino acids were detected in crayfish meat from each area, and the ratio of essential to total amino acids ranged from 38% to 39%, indicating good protein quality; the content of total amino acids in crayfish meat from Anhui was the highest. Among the crayfishes from the different areas, the total mineral content of crayfish meat from Anhui was the highest (850.92 mg/100 g), and the contents of Na, K, Ca, P, Fe and Cu were significantly higher than those in crayfish meat from the other two regions ($P < 0.05$). The fatty acid analysis showed that Jiangsu crayfish meat contained the largest number of fatty acids. The main fatty acids of crayfish meat from Anhui and Jiangsu were polyunsaturated fatty acids (accounting for 43.15% and 41.31% of the total fatty acids, respectively), while those in crayfish meat from Hubei were monounsaturated fatty acids (45.70%). The relative contents of unsaturated fatty acids in crayfish meat from the three areas were all more than 70%.

Keywords: crayfish; growing area; nutrients; amino acids; minerals; fatty acids

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210528-162

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 12-0007-06

引文格式:

杨冰, 张艳凌, 姜绍通, 等. 不同地区稻田小龙虾的营养品质比较研究[J]. 肉类研究, 2021, 35(12): 7-12. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210528-162. <http://www.rlyj.net.cn>

收稿日期: 2021-05-28

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-48); 安徽省水产产业技术体系项目(NYCYTX-2016-84); 中央高校基本科研业务费专项(PA2021GDSK0102)

第一作者简介: 杨冰(1997—)(ORCID: 0000-0002-6916-7357), 女, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏。

E-mail: 3496861610@qq.com

*通信作者简介: 林琳(1978—)(ORCID: 0000-0003-4191-7539), 女, 副教授, 博士, 研究方向为水产品加工与贮藏。

E-mail: linlin@hfut.edu.cn

YANG Bing, ZHANG Yanling, JIANG Shaotong, et al. Comparative study on nutritional quality of rice-field male crayfishes from different areas[J]. Meat Research, 2021, 35(12): 7-12. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210528-162.
http://www.rlyj.net.cn

小龙虾学名克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*)，属于甲壳类动物，是淡水虾中个体较大的虾类。近年来，我国的小龙虾养殖发展迅猛，消费市场持续扩大，产业链不断延伸，目前小龙虾已成为我国重要的淡水虾类资源。农业农村部发布的《小龙虾产业发展报告(2020)》显示：2019年，中国小龙虾产量为209万t，同比增长27.52%，总产值超过了4 110亿元，同比增长19.28%，其中，第3产业产值占总产值的72.02%，小龙虾产业是由消费主导的渔业融合型产业^[1]。

稻虾综合种养是我国目前应用最大、总产量最高的稻渔综合种养模式。2019年稻田小龙虾种养面积、水产品产量分别为11 054.33 km²、177.25万t。稻虾生态种养可以改善土壤和水体环境，减少稻田温室气体的排放，控制稻田病虫害^[2]。现代稻虾综合种养逐步形成特种化、产业化、规模化和品牌化的发展趋势^[3]。2019年，经国务院批准，10部门联合印发了《关于推进水产养殖业绿色发展的若干意见》，各地积极贯彻落实农业农村部办公厅发布的关于稻渔综合种养产业发展的通知，鼓励稻渔综合种养产业的发展。稻虾综合种养在推动农业绿色高质量发展、助力脱贫攻坚工作方面发挥了重要作用^[4-5]。

小龙虾的蛋白质含量高，脂肪以及胆固醇含量低，富含多种不饱和脂肪酸，是一种健康美味的淡水产品^[6]，深受消费者青睐。如今，小龙虾已经成为中国乃至世界广受欢迎的消暑美食之一^[7]。江苏、安徽、湖北等地区处长江中下游区域，河网密度大，适合小龙虾的生长繁殖，是我国小龙虾的主产省份^[8]。目前，已有对不同种类虾^[9]、不同养殖模式虾肉营养成分^[10-12]的对比研究，但针对不同地区稻田小龙虾营养品质评价的相关研究较少。因此，本研究对来自于3个地区（江苏宿迁、安徽巢湖、湖北潜江）的稻田雄虾虾肉营养品质进行分析、评价和比较，以期为消费者选购以及小龙虾相关的养殖和加工提供依据和参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

所用的稻田雄性小龙虾均为鲜活样品，于2020年9月下旬分别取样自江苏宿迁、安徽巢湖和湖北潜江。用泡沫箱加冰运输至实验室，剔除运输过程中死亡的个体，选择虾壳完整、大小均一、质量25~30 g的稻田雄性小龙虾用于各指标测定。

乙酸镁、氢氧化钠、浓硫酸、无水乙醚、盐酸、甲醇、氧化镁、冰醋酸、氯化钠等均为分析纯，正己烷为色谱纯 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

DHG-9123J精密恒温鼓风干燥箱 上海三发科学仪器有限公司；DRZ-4马弗炉 上海实验电炉厂；FA104N电子分析天平 上海民桥精密科学仪器有限公司；CT15RT台式高速冷冻离心机 上海天美生化仪器设备工程有限公司；L-8900氨基酸全自动分析仪 日本Hitachi公司；5975C-7890A气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司；IRIS Intrepid II电感耦合等离子体发射光谱仪 美国Thermo Elctron公司。

1.3 方法

1.3.1 样品预处理

将小龙虾表面污垢刷洗干净并擦去水分，称取质量并记录。取小龙虾腹部肌肉，用滤纸吸干表面水分后，取鲜样测定水分含量；将虾尾肉真空冷冻干燥（-80℃，24 h）至恒质量，然后磨碎混合均匀后测定肌肉中蛋白质、脂肪和总灰分含量以及矿物质、氨基酸和脂肪酸的组成与含量。

1.3.2 含肉率的测定

将小龙虾去头、去螯后，转动虾尾抽取虾线，用经消毒处理的剪刀沿腹部剪开，除去虾壳，小心将腹部肌肉剥离，吸干表面水分后，称取质量，记录数据，按照式(1)计算含肉率。

$$\text{含肉率}/\% = \frac{\text{腹部肌肉质量}/\text{g}}{\text{全虾质量}/\text{g}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.3 基本成分的测定

水分含量测定参考GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[13]；粗脂肪含量测定参考GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[14]；粗蛋白含量测定参考GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[15]；灰分含量测定参考GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[16]。

1.3.4 氨基酸组成和含量的测定与评价

精确称量样品0.10 g移至10 mL安瓿瓶中，加入5 mL 6 mol/L HCl溶液，将安瓿瓶用N₂充满，在酒精灯下，快速将安瓿瓶密封，放到130℃烘箱水解3~4 h，水解结束后将水解液冷却，并转移到100 mL容量瓶中使用蒸馏水定容。取1 mL定容后的水解液冷冻干燥，加1 mL 0.02 mol/L HCl溶液溶解，用孔径0.22 μm微孔滤膜过滤，收集滤液备用，采用氨基酸全自动分析仪测定^[17]。

将所测小龙虾的必需氨基酸 (essential amino acid content, EAA) 含量按式 (2) 换算成每克蛋白质中所含氨基酸的毫克数, 再与联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization, FAO) /世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 建议的氨基酸标准模式和全鸡蛋蛋白质的EAA模式进行比较^[18], 按式 (3) ~ (5) 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)。

$$\text{标准模式氨基酸} / (\text{mg/g}) = \frac{\text{氨基酸含量}}{\text{粗蛋白含量}} \times 6.25 \times 1000 \quad (2)$$

$$\text{AAS}/\% = \frac{\text{实验样品中某种氨基酸含量}}{\text{FAO/WHO评分标准模式中同种氨基酸含量}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{CS}/\% = \frac{\text{实验样品氨基酸含量}}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{EAAI}/\% = \left[(100 \times \frac{t_1}{s_1}) \times (100 \times \frac{t_2}{s_2}) \times (100 \times \frac{t_3}{s_3}) \times \dots \times (100 \times \frac{t_n}{s_n}) \right]^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

式中: n 为氨基酸种类数; $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 分别为虾体腹部肌肉蛋白质中某种氨基酸含量/ (mg/g); $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ 分别为全鸡蛋蛋白质中该氨基酸含量/ (mg/g)。

1.3.5 矿物质含量的测定

称取0.50 g样品, 置于玻璃皿中, 加入12 mL浓硝酸和6 mL高氯酸溶液, 盖上表面皿, 在可控温电热板上进行加热消解, 至溶液大约剩2~3 mL, 观察溶液, 若为澄清则停止加热, 反之取下烧杯待冷却后加入3 mL高氯酸溶液继续加热, 直至完全澄清, 冷却后定容至50 mL容量瓶中, 摇匀后备用。采用电感耦合等离子体发射光谱仪测定样品中各矿物质含量^[19]。

1.3.6 脂肪酸含量和组成测定

采用GB 5009.186—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》^[20]。其中, 脂肪酸的预处理操作采用氯仿-甲醇法, 测定结果以峰面积归一法计算各脂肪酸的相对含量。

1.4 数据处理

采用Excel 2010软件对实验数据进行整理; 采用SPSS 24.0统计分析软件对实验数据进行单因素方差分析, 并用最小显著性差异法进行显著性比较; 结果以平均值±标准差表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同地区小龙虾虾肉含肉率比较

含肉率是衡量水产动物品质、生产性能和经济性的重要指标之一, 因水产动物的品种、规格、生活

环境、投喂饲料等因素的不同而不同。腹部肌肉是小龙虾的主要可食用部分, 含肉率是肌肉质量占总体质量的百分比, 含肉率越高, 意味着不能被食用的部分就越少^[21]。由表1可知, 湖北小龙虾的含肉率最高, 为11.65%, 且与江苏和安徽小龙虾之间差异显著 ($P < 0.05$)。江苏与安徽小龙虾的含肉率分别为10.05%、10.43%, 两者之间差异不显著。

表1 不同地区小龙虾虾肉的含肉率比较

Table 1 Comparison of meat yield in crayfish meat from different areas

产区	江苏	安徽	湖北
含肉率/%	10.05±1.37 ^b	10.43±0.80 ^b	11.65±1.02 ^a

注: 同行小写字母不同, 表示差异显著 ($P < 0.05$); 表2、3、5、6同。

2.2 不同地区小龙虾虾肉的基本成分组成

评价营养品质的关键指标主要有水分、粗脂肪、粗蛋白和灰分含量。如表2所示, 江苏和湖北地区小龙虾虾肉中的水分含量存在显著差异 ($P < 0.05$)。江苏小龙虾虾肉中粗脂肪含量最高, 为1.10%, 安徽小龙虾最低, 为0.13%, 湖北小龙虾居中, 为0.49%, 不同地区小龙虾虾肉脂肪含量具有显著差异 ($P < 0.05$)。不同地区小龙虾虾肉中的蛋白质含量差异显著 ($P < 0.05$), 其中湖北小龙虾虾肉中的粗蛋白含量最高 (19.04%)。3个地区小龙虾虾肉中的灰分含量无显著差异。

本研究中的稻田小龙虾虾肉的基本成分中水分含量最高, 其水分含量比凡纳滨对虾^[18]、罗氏沼虾^[22]更高。粗蛋白含量较大多数淡水 and 海水鱼虾高, 粗脂肪含量较畜禽肉、青虾、对虾低^[9,20], 可见稻田小龙虾虾肉是一种高蛋白、低脂肪的水产品。

表2 不同地区小龙虾虾肉的基本成分比较 (鲜基)

Table 2 Comparison of proximate composition of crayfish meat from different areas (on a wet basis)

	g/100 g		
基本成分	江苏	安徽	湖北
水分	81.34±1.12 ^a	79.64±1.03 ^{ab}	78.64±0.09 ^b
粗脂肪	1.10±0.05 ^a	0.13±0.03 ^c	0.49±0.01 ^b
粗蛋白	15.50±0.28 ^c	18.00±0.17 ^b	19.04±0.20 ^a
灰分	1.46±0.01 ^a	1.53±0.09 ^a	1.53±0.07 ^a

2.3 不同地区小龙虾虾肉氨基酸组成及评价

2.3.1 水解氨基酸组成及含量

蛋白质是多种生命活动重要的物质基础, 参与体液调节、免疫调节等生命活动。由于水产品蛋白质含量高, 所以其一直是水产品研究中的热点话题^[23]。氨基酸的组成及含量决定蛋白质的品质。由表3可知, 在不同地区虾肉中均检测到17种氨基酸, 包括7种必需氨基酸。3个地区虾肉的氨基酸总量12.74~14.92 g/100 g, 氨基酸总量为安徽小龙虾 (14.92 g/100 g) > 湖北小龙虾

(14.55 g/100 g) > 江苏小龙虾 (12.74 g/100 g)。各氨基酸中含量最高的是谷氨酸, 为2.18~2.54 g/100 g, 谷氨酸具有解毒的作用, 具有保肝护肝的功能, 在体内参与多种生理活性物质的合成^[24]。精氨酸、天冬氨酸和亮氨酸的含量也较高, 均在1 g/100 g以上。含量最低的氨基酸是半胱氨酸, 为0.09~0.10 g/100 g。不同地区虾肉的蛋氨酸、半胱氨酸、酪氨酸含量差异不显著。

蛋白质的质量对虾类的生长发育以及品质评价具有重要影响, 是决定其营养价值的主要因素。优质食品蛋白质不仅要求所含EAA种类要齐全, 而且EAA之间的比例也要适宜。3个地区虾肉的EAA/非必需氨基酸 (non-essential amino acid, NEAA) 含量比值为79%~83%, 不存在显著差异。根据FAO/WHO推荐的理想蛋白质模式, 质量较好的蛋白质EAA/NEAA应在60%以上^[25], 本研究中的稻田小龙虾虾肉EAA/NEAA均符合这一评价标准, 表明小龙虾虾肉属于优质蛋白质。

表3 不同地区小龙虾虾肉的氨基酸组成和含量比较 (鲜基)

g/100 g				
氨基酸种类	江苏	安徽	湖北	
EAA	苏氨酸	0.57±0.02 ^b	0.69±0.02 ^a	0.65±0.01 ^a
	缬氨酸	0.56±0.01 ^b	0.66±0.02 ^a	0.66±0.01 ^a
	蛋氨酸	0.32±0.01 ^a	0.35±0.02 ^a	0.34±0.00 ^a
	异亮氨酸	0.67±0.00 ^b	0.77±0.03 ^a	0.78±0.02 ^a
	亮氨酸	1.12±0.03 ^b	1.20±0.05 ^b	1.34±0.02 ^a
	苯丙氨酸	0.53±0.01 ^a	0.62±0.03 ^b	0.60±0.02 ^b
	赖氨酸	1.12±0.05 ^b	1.35±0.04 ^a	1.36±0.03 ^a
	小计	4.88±0.10 ^b	5.64±0.22 ^a	5.73±0.05 ^a
半必需氨基酸	组氨酸	0.23±0.01 ^b	0.35±0.02 ^a	0.36±0.03 ^a
	精氨酸	1.42±0.02 ^c	1.74±0.03 ^a	1.54±0.01 ^b
	小计	1.66±0.01 ^c	2.09±0.01 ^a	1.89±0.04 ^b
NEAA	天冬氨酸	1.27±0.01 ^b	1.49±0.05 ^a	1.46±0.02 ^a
	丝氨酸	0.44±0.00 ^b	0.53±0.02 ^a	0.48±0.03 ^{ab}
	谷氨酸	2.18±0.04 ^b	2.53±0.11 ^a	2.54±0.02 ^a
	甘氨酸	0.63±0.01 ^b	0.74±0.02 ^a	0.65±0.03 ^b
	丙氨酸	0.75±0.01 ^b	0.85±0.01 ^a	0.81±0.03 ^a
	半胱氨酸	0.09±0.00 ^a	0.10±0.01 ^a	0.10±0.01 ^a
	酪氨酸	0.48±0.02 ^a	0.50±0.03 ^a	0.48±0.01 ^a
	脯氨酸	0.37±0.01 ^b	0.44±0.01 ^a	0.42±0.02 ^a
	小计	6.20±0.07 ^b	7.18±0.26 ^a	6.93±0.11 ^a
	TAA	12.74±0.04 ^b	14.92±0.47 ^a	14.55±0.20 ^a
	EAA/NEAA/%	79.00±0.03 ^a	79.00±0.00 ^a	83.00±0.01 ^a
	EAA/TAA/%	38.00±0.01 ^a	38.00±0.00 ^a	39.00±0.00 ^a

2.3.2 EAA组成评价

蛋白质和氨基酸的含量, 特别是EAA的比例, 是衡量水产品营养价值的重要指标之一, 而AAS、CS和EAAI则是评定EAA营养价值的3个重要指标。AAS和CS分别从不同方面反映了蛋白质的构成和利用率之间的关

系, EAAI反映了EAA与标准蛋白质接近的程度^[26]。将表3中的氨基酸含量数值换算成氨基酸标准含量后, 与FAO/WHO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进行比较。如表4所示, 根据AAS可知, 安徽和湖北小龙虾虾肉中的第1限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸, 江苏小龙虾虾肉的第1限制氨基酸为缬氨酸。湖北和安徽小龙虾虾肉中第2限制性氨基酸为缬氨酸, 江苏小龙虾虾肉为蛋氨酸+半胱氨酸; 根据CS可知, 3个地区虾肉的第1限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸, 第2限制性氨基酸均为缬氨酸。3个地区虾肉的AAS, 除缬氨酸以及蛋氨酸+半胱氨酸外, 其他氨基酸均接近或者大于1, 表明稻田雄性小龙虾的EAA组成合理, 含量丰富, 适合作为人体获取EAA的来源。EAAI越接近100, 表明样品蛋白中EAA组成与标准蛋白的越接近, 其营养价值也越高。江苏、安徽、湖北地区小龙虾虾肉的EAAI分别为71.11%、70.49%、66.53%, 其中江苏和安徽地区的EAAI大于70%, 为优质蛋白源^[27]。

表4 不同地区小龙虾虾肉的EAA组成评价

mg/g											
Table 4 Evaluation of essential amino acid composition of crayfish meat from different areas											
EAA	FAO模式	鸡蛋蛋白模式	江苏			安徽			湖北		
			含量/(mg/g)	AAS/%	CS/%	含量/(mg/g)	AAS/%	CS/%	含量/(mg/g)	AAS/%	CS/%
异亮氨酸	250	331	268	1.07	0.81	269	1.07	0.81	255	1.02	0.77
亮氨酸	440	534	453	1.03	0.85	417	0.95	0.78	441	1.00	0.83
苏氨酸	250	292	229	0.92	0.79	239	0.96	0.82	215	0.86	0.74
赖氨酸	340	441	451	1.33	1.02	468	1.38	1.06	445	1.31	1.01
缬氨酸	310	410	224	0.72	0.55	231	0.74	0.56	218	0.70	0.53
苯丙氨酸+酪氨酸	380	565	407	1.07	0.72	389	1.02	0.69	353	0.93	0.62
蛋氨酸+半胱氨酸	220	387	164	0.74	0.42	156	0.71	0.40	143	0.65	0.37
EAAI/%			71.11			70.49			66.53		

2.4 不同地区小龙虾虾肉矿物质组成及含量

矿物元素与生物体的各项生理机能有密切联系, 尤其是微量元素, 对生命的维持有着极其重要的作用。由表5可知, 虾肉中的常量元素有Na、K、Ca、P、Mg, 含量最丰富的是K, 为389.70~424.73 mg/100 g。微量元素有Fe、Zn、Mn、Cu、Se。Se的含量最少, 为0.01~0.02 mg/100 g。安徽小龙虾虾肉的K含量 (424.73 mg/100 g) 和矿物质总量最高 (889.94 mg/100 g), Na、K、Ca、P、Fe、Cu含量均显著高于江苏和湖北小龙虾。湖北小龙虾虾肉中的Mn (0.15 mg/100 g) 和Fe含量 (0.43 mg/100 g) 显著低于其余两地小龙虾 ($P<0.05$)。重金属元素在3个地区小龙虾虾肉中均未检出。

表5 不同地区小龙虾虾肉的矿物质含量比较(鲜基)

Table 5 Comparison of mineral contents of crayfish meat from different areas (on a wet basis)

元素种类	江苏	安徽	湖北
Na	75.72±0.50 ^b	91.79±0.93 ^a	80.74±4.52 ^b
K	389.70±5.80 ^b	424.73±7.28 ^a	405.67±12.37 ^b
Ca	12.76±0.61 ^b	15.62±0.37 ^a	12.55±0.64 ^b
P	283.79±1.85 ^b	320.50±4.32 ^a	314.08±10.60 ^a
Mg	28.25±0.25 ^c	32.61±0.45 ^b	35.47±1.33 ^a
Fe	1.29±0.01 ^b	1.77±0.12 ^a	0.43±0.03 ^c
Zn	1.12±0.02 ^b	1.25±0.02 ^a	1.28±0.05 ^a
Mn	1.16±0.01 ^a	1.01±0.02 ^b	0.15±0.01 ^c
Cu	0.39±0.00 ^c	0.65±0.01 ^a	0.54±0.02 ^b
Se	0.02±0.01 ^a	—	0.01±0.00 ^a
总量	794.20±6.85 ^c	889.94±13.21 ^a	850.92±29.47 ^b

注: —未检出; 表6同。

2.5 不同地区小龙虾虾肉脂肪酸含量及组成分析

由表6可知, 江苏小龙虾虾肉中共检出22种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA) 8种、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA) 5种、多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA) 9种; 安徽小龙虾虾肉中共检出20种脂肪酸, SFA 7种、MUFA 5种、PUFA 8种; 湖北小龙虾虾肉中共检出17种脂肪酸, SFA 7种、MUFA 5种、PUFA 5种。从脂肪酸组成看, 江苏和安徽小龙虾虾肉的脂肪酸含量为 $\sum\text{PUFA} > \sum\text{MUFA} > \sum\text{SFA}$, 且两者3种类型脂肪酸含量差异均不显著; 湖北小龙虾虾肉的脂肪酸为 $\sum\text{MUFA} > \sum\text{PUFA} > \sum\text{SFA}$, 湖北虾肉的MUFA和PUFA含量与江苏和安徽间存在显著差异($P < 0.05$)。

3个地区虾肉中相对含量最高的SFA为棕榈酸($\text{C}_{16:0}$), 其中湖北小龙虾(17.53%) > 安徽小龙虾(15.78%) > 江苏小龙虾(15.74%)。 $\sum\text{SFA}$ 为江苏小龙虾(27.72%) > 安徽小龙虾(26.29%) > 湖北小龙虾(26.24%)。 虾肉中相对含量最高的MUFA为油酸($\text{C}_{18:1\ n-7}$); $\text{C}_{18:1\ n-9}$ 的相对含量为湖北小龙虾(36.74%) > 安徽小龙虾(23.94%) > 江苏小龙虾(20.26%)。 $\text{C}_{18:1\ n-9}$ 可以降低胆固醇和低密度脂蛋白, 被认为是一种良性脂肪酸。 MUFA可降低血浆中总胆固醇和低密度脂蛋白的含量, 减少动脉粥样硬化的发生^[28]。 在不同地区的小龙虾虾肉中相对含量较高的PUFA有二十碳五烯酸($\text{C}_{20:5\ n-3}$, eicosapentaenoic acid, EPA)、二十碳四烯酸($\text{C}_{20:4\ n-6}$, arachidonic acid, ARA)和二十二碳六烯酸($\text{C}_{22:6\ n-3}$, docosahexaenoic acid, DHA), 相对含量依次为江苏小龙虾 > 安徽小龙虾 > 湖北小龙虾(EPA含量: 15.17% > 13.49% > 7.59%; ARA含量: 10.38% > 10.01% > 5.04%; DHA含量: 4.94% > 3.90% > 1.16%)。 江苏小龙虾虾肉的ARA、EPA、DHA含量分别为10.38%、15.17%、4.94%, 高于其余两个产区。 湖北小龙虾虾肉

中这3种脂肪酸含量均为最低, 未达到江苏稻虾的1/2。 DHA和EPA具有较强的生理活性, 是人类生长发育所必需的物质, 对降低血脂、抗动脉粥样硬化、预防老年痴呆症、改善大脑学习机能等发挥关键作用^[29-30]。 3个地区小龙虾虾肉中不饱和脂肪酸含量占比均在70%以上。 按《中国居民膳食营养素参考摄入量(2000版)》的推荐, $\sum n-3\ \text{PUFA} / \sum n-6\ \text{PUFA}$ 为1:4~1:6。 3个地区中, 江苏小龙虾虾肉的 $\sum n-3\ \text{PUFA} / \sum n-6\ \text{PUFA}$ 最高, 湖北小龙虾最低, 但是均超过推荐比值范围。 研究^[31]指出高比例的 $n-3\ \text{PUFA} / n-6\ \text{PUFA}$ 可以通过激活雄性小鼠棕色脂肪组织改善2型糖尿病。

表6 不同地区小龙虾虾肉脂肪酸相对含量比较

Table 6 Comparison of fatty acid contents of crayfish meat from different areas

脂肪酸种类	江苏	安徽	湖北
$\text{C}_{12:0}$	0.13±0.00 ^a	0.13±0.02 ^a	0.19±0.01 ^a
$\text{C}_{14:0}$	0.47±0.09 ^a	0.48±0.09 ^a	0.64±0.07 ^a
$\text{C}_{15:0}$	1.25±0.19 ^a	1.31±0.04 ^a	0.89±0.03 ^a
$\text{C}_{16:0}$	15.74±0.70 ^a	15.78±0.54 ^a	17.53±0.48 ^a
$\text{C}_{17:0}$	2.24±0.12 ^a	1.74±0.06 ^b	0.89±0.11 ^c
$\text{C}_{18:0}$	7.23±0.18 ^a	6.53±0.21 ^{ab}	5.75±0.33 ^b
$\text{C}_{19:0}$	0.39±0.02 ^a	0.32±0.01 ^a	0.34±0.02 ^a
$\text{C}_{20:0}$	0.25±0.00	—	—
$\text{C}_{16:1\ n-7}$	3.46±0.61 ^a	3.13±0.13 ^a	3.88±0.04 ^a
$\text{C}_{17:1\ n-7}$	1.35±0.07 ^a	0.89±0.04 ^b	0.53±0.03 ^c
$\text{C}_{18:1\ n-7}$	2.53±0.24 ^a	3.21±0.22 ^a	3.14±0.40 ^a
$\text{C}_{18:1\ n-9}$	20.26±0.53 ^c	23.94±1.12 ^b	36.74±0.83 ^a
$\text{C}_{20:1\ n-9}$	1.54±0.19 ^a	1.23±0.12 ^a	1.42±0.08 ^a
$\text{C}_{18:2\ n-6}$	7.52±0.20 ^c	11.46±0.60 ^b	13.52±0.24 ^a
$\text{C}_{20:2\ n-6}$	1.14±0.02 ^a	0.92±0.15 ^a	0.75±0.07 ^a
$\text{C}_{20:3\ n-6}$	0.73±0.08	—	—
$\text{C}_{20:4\ n-3}$	1.49±0.07 ^a	0.30±0.00 ^b	—
$\text{C}_{20:4\ n-6}$	10.38±0.03 ^a	10.01±0.30 ^a	5.04±0.26 ^b
$\text{C}_{20:5\ n-3}$	15.17±0.63 ^a	13.49±0.45 ^b	7.59±0.25 ^c
$\text{C}_{22:5\ n-3}$	1.42±0.07 ^a	0.40±0.04 ^b	—
$\text{C}_{22:5\ n-6}$	0.36±0.06 ^b	0.82±0.10 ^a	—
$\text{C}_{22:6\ n-3}$	4.94±0.67 ^a	3.90±0.20 ^a	1.16±0.16 ^b
$\sum\text{SFA}$	27.72±1.09 ^a	26.29±0.45 ^a	26.24±0.83 ^a
$\sum\text{MUFA}$	29.13±0.42 ^b	32.40±1.40 ^b	45.70±1.31 ^a
$\sum\text{PUFA}$	43.15±1.51 ^a	41.31±1.85 ^a	28.07±0.48 ^b
$\sum\text{MUFA} + \sum\text{PUFA}$	72.28±1.93 ^a	73.71±2.82 ^a	71.55±1.52 ^a
$\sum n-3\ \text{PUFA}$	23.01±1.44 ^a	18.09±0.70 ^b	8.75±0.08 ^c
$\sum n-6\ \text{PUFA}$	20.14±0.07 ^b	23.22±1.15 ^a	19.32±0.57 ^b
$\sum n-3\ \text{PUFA} / \sum n-6\ \text{PUFA}$	1.14±0.07 ^a	0.78±0.01 ^b	0.45±0.02 ^c

3 结论

通过对来自江苏、安徽、湖北3个地区的稻田雄性小龙虾肌肉的含肉率、基本成分、氨基酸组成、矿物质、脂肪酸组成进行测定, 比较不同地区稻田小龙虾营养品质的差异。 结果表明: 湖北小龙虾的含肉率最高(11.65%); 不同地区小龙虾的粗脂肪和粗蛋白含量

差异显著 ($P < 0.05$)，灰分含量差异不显著；3个地区小龙虾虾肉中的氨基酸种类丰富，其中安徽小龙虾肉中的氨基酸总量最高，不同地区虾肉中的EAA/TAA和EAA/NEAA差异不显著；安徽小龙虾虾肉中的矿物质总量最高，且Na、K、Ca、P、Fe、Cu含量均显著高于江苏和湖北小龙虾 ($P < 0.05$)；江苏小龙虾虾肉中所含脂肪酸种类最多，ARA、EPA和DHA含量也最高，3个地区虾肉中的不饱和脂肪酸含量均能达到70%以上。

总体来说，3个地区小龙虾虾肉均具有高蛋白、低脂肪、氨基酸种类丰富且比例平衡、不饱和脂肪酸含量高的特点，是优质的食物来源。不同地区小龙虾的虾肉在出肉率、蛋白质、脂肪含量以及矿物质、脂肪酸的组成和含量方面存在一定差异，这可能是由稻田小龙虾的生长地区以及生长条件的差异造成的，但这些差异不会对小龙虾的加工和食用有显著影响。

参考文献：

- [1] 2020中国小龙虾产业发展报告[J]. 中国水产, 2020(7): 8-17.
- [2] 赵考诚, 马军, 叶迎, 等. 稻虾生态种养综合效应研究进展[J]. 作物杂志, 2021(2): 22-27. DOI:10.16035/j.issn.1001-7283.2021.02.003.
- [3] 中国稻渔综合种养产业发展报告(2020)[J]. 中国水产, 2020(10): 12-19.
- [4] 唐建军, 李巍, 吕修涛, 等. 中国稻渔综合种养产业的发展现状与若干思考[J]. 中国稻米, 2020, 26(5): 1-10. DOI:10.3969/j.issn.1006-8082.2020.05.001.
- [5] 余开, 赵永锋, 宋迁红. 乡村振兴背景下稻虾产业发展探析: 以湖北省监利县为例[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(4): 27-30. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2021.04.006.
- [6] 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. DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20201317.
- [7] 周明珠, 熊光权, 乔宇, 等. 克氏原螯虾不同可食部位风味成分分析[J]. 肉类研究, 2020, 34(9): 52-58. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200612-150.
- [8] 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. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190428-094.
- [9] 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. DOI:10.3969/j.issn.1006-267x.2019.09.049.
- [10] 周剑, 赵仲孟, 黄志鹏, 等. 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[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 162-169. DOI:10.19663/j.issn2095-9869.20191231001.
- [11] 梁洁, 庞敏, 李林静, 等. 稻田与清水养殖模式下小龙虾肉的理化特性比较[J]. 湖南农业科学, 2018(5): 79-81. DOI:10.16498/j.cnki.hnnykx.2018.005.022.
- [12] 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. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0823.
- [13] 国家卫生和计划生育委员会. 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.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会. 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.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会. 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.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会. 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.
- [17] WANG F T, ZHU Y J, JIANG S T, et al. Nutritional qualities and sensory characteristics in the hepatopancreas and muscle of female mud crab (*Scylla paramamosain*) in three growth forms: a comparative study[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 146: 111477. DOI:10.1016/j.lwt.2021.111477.
- [18] 李晓, 王颖, 李红艳, 等. 凡纳滨对虾虾头与肌肉营养成分分析与评价[J]. 水产科学, 2018, 37(1): 66-72. DOI:10.16378/j.cnki.1003-1111.2018.01.010.
- [19] 王福田, 赖年悦, 程华峰, 等. 比较分析三种不同环境下的中华鳖肌肉营养品质及其挥发性风味物质[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 253-261. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021276.
- [20] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.186—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [21] 惠文杰, 蔡明浪, 王爱民, 等. 不同投饲频率对克氏原螯虾含肉率及生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2020(23): 77-80; 106. DOI:10.15906/j.cnki.cn11-2975/s.20202317.
- [22] 崔光艳, 姜增华, 王假真, 等. 2种养殖模式下罗氏沼虾肌肉营养成分的比较[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(9): 212-214. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.09.051.
- [23] TAN Q, SONG D, CHEN X, et al. Replacing fish meal with vegetable protein sources in feed for juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*: effects of amino acids supplementation on growth and feed utilization[J]. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(2): 858-864. DOI:10.1111/anu.12621.
- [24] CHENG C K, WANG C G, SHANG W B, et al. A high methionine and low folate diet alters glucose homeostasis and gut microbiome[J]. Biochemistry and Biophysics Reports, 2021, 25: 100921. DOI:10.1016/j.bbrep.2021.100921.
- [25] WHO. Protein and amino acid requirements in human nutrition[M]. Geneva: World Health Organization, 2007.
- [26] LI J, HUANG J, LI C, et al. Evaluation of the nutritional quality of edible tissues (muscle and hepatopancreas) of cultivated *Procambarus clarkii* using biofloc technology[J]. Aquaculture Reports, 2021, 19: 100586. DOI:10.1016/j.aqrep.2021.100586.
- [27] 谢仲桂, 邓时铭, 程小飞, 等. 冬眠中华鳖的氨基酸营养评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 231-239. DOI:10.13331/j.cnki.jhau.2021.02.017.
- [28] STRANDBERG U, PALVIAINEN M, ERONEN A, et al. Spatial variability of mercury and polyunsaturated fatty acids in the European perch (*Perca fluviatilis*): implications for risk-benefit analyses of fish consumption[J]. Environmental Pollution, 2016, 219: 305-314. DOI:10.1016/j.envpol.2016.10.050.
- [29] 郭萌萌, 何晨, 张诗苑, 等. 金鲳鱼不同组织脂肪酸组成比较[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 45-50. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.09.009.
- [30] 尹云厚, 陈宁宁, 常雷, 等. 多不饱和脂肪酸的研究与应用现状[J]. 经济动物学报, 2017, 21(1): 58-62. DOI:10.13326/j.jea.2017.1164.
- [31] YUE H, LIU W, ZHANG W, et al. Dietary low ratio of *n-6/n-3* polyunsaturated fatty acids improve type 2 diabetes mellitus via activating brown adipose tissue in male mice[J]. Journal of Food Science, 2021, 86(3): 1058-1065. DOI:10.1111/1750-3841.15645.