

◆海洋生物◆

不同生境拟穴青蟹螯足肌肉营养品质评价*

苏治南^{1,2}, 丁慧², 范航清^{2**}, 盘远方², 邱思婷², 钟云旭², 童立豪²

(1. 岭南师范学院, 广东湛江 524048; 2. 广西科学院, 广西海洋科学院(广西红树林研究中心), 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西南宁 530007)

摘要:为探究不同生境、不同食物源拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*, 以下简称“青蟹”)的螯足肌肉营养品质的差异, 本研究通过采集5种不同生境青蟹(生态青蟹、藤壶青蟹、天然青蟹、混饵养殖青蟹和单饵养殖青蟹), 取其螯足肌肉组织测定基本营养成分、氨基酸含量和脂肪酸含量, 并通过必需氨基酸指数(EAAI)、支链氨基酸与芳香族氨基酸含量的比值(*F*)进行分析。结果表明, 生态青蟹的蛋白质含量略高于天然青蟹和混饵养殖青蟹; 藤壶青蟹的含水率最高, 蛋白质含量最低; 5种青蟹的粗脂肪和总灰分含量差异均不显著。生态青蟹的总氨基酸含量和必需氨基酸含量均最高, 藤壶青蟹的鲜味氨基酸含量最高; 藤壶青蟹的EAAI(112.48)和*F*(2.36)最高, 生态青蟹的EAAI(95.35)和*F*(1.95)分别与天然青蟹的EAAI(96.15)和*F*(1.90)基本一致; 单饵养殖青蟹的EAAI(72.00)和*F*(1.53)均最低。生态青蟹的单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量最高, 其二十二碳五烯酸+二十二碳六烯酸(EPA+DHA)显著高于天然青蟹, 且部分不饱和脂肪酸含量显著高于天然青蟹、混饵养殖青蟹和单饵养殖青蟹。从蛋白质、总氨基酸、必需氨基酸和不饱和脂肪酸的含量来看, 生态青蟹的含量最高; 从EAAI和*F*来看, 藤壶青蟹的评价最高, 说明2种红树林生态修复产出的青蟹品质较好。

关键词:拟穴青蟹; 蛋白质; 氨基酸; 脂肪酸; 生境

中图分类号: Q14 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2023)04-0363-09

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20231226.003

尽管中国是世界上少数红树林面积净增加(近20年年均增加1.8%)的国家之一^[1], 但是全球红树林总面积仍以每年0.16%–0.39%的速度减少, 且大部分红树林生态修复工程将植被修复作为唯一目

标^[2-5], 缺乏对红树林湿地资源可持续利用的引导。红树林蓝碳生态农场是在原有老旧养殖池塘的基础上, 结合当地潮差特征规划布局, 兼顾红树林修复及生态养殖的功能, 其中青蟹是红树林修复产出的主要

收稿日期: 2023-08-22

修回日期: 2023-09-28

* 广西林业科技推广示范项目(桂林科研[2021]2号), 广西红树林保护与利用重点实验室基金项目(GKLMC-20A10)和广西红树林保护与利用重点实验室基金项目(GKLMC-20A03)资助。

【第一作者简介】

苏治南(1987-), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事典型滨海生态系统保护与利用研究。

【**通信作者简介】

范航清(1964-), 男, 研究员, 主要从事红树林保护与合理利用研究, E-mail: fanhq666@126.com。

【引用本文】

苏治南, 丁慧, 范航清, 等. 不同生境拟穴青蟹螯足肌肉营养品质评价[J]. 广西科学院学报, 2023, 39(4): 363-371.

SU Z N, DING H, FAN H Q, et al. Nutritional Quality Evaluation for Cheliped Muscle of *Scylla paramamosain* in Different Habitats [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2023, 39(4): 363-371.

经济物种之一^[6,7]。此外,可利用青蟹对红树植物枝干固着动物(以藤壶为主)开展生物防治,在促进红树林健康生长的同时也收获了青蟹成品。以上两种红树林修复模式可为红树林周边居民提供一定的经济收入,但青蟹产量远低于集约化养殖,若不赋予一定的生态溢价,则可能因价格太低而导致该修复模式无法持续推广。走访北部湾沿海的市场发现,天然青蟹的价格是池塘养殖青蟹的 1.5 倍以上,但红树林修复产出的青蟹常被认为与池塘养殖的一致。

拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*,以下简称“青蟹”),隶属于节肢动物门(Arthropoda)软甲纲(Malacostraca)十足目(Decapoda)梭子蟹科(Portunidae)青蟹属(*Scylla*)^[8]。研究表明,青蟹肌肉中粗蛋白含量为 15.33%,而粗脂肪含量为 0.82%,符合高蛋白、低脂肪的营养特点,营养价值较高^[9,10]。因受各种因素的影响^[11-13],不同生境的青蟹肌肉品质也有所差异,影响因子包括盐度^[11]、地理位置^[13]、植被状况^[10]、养殖模式^[14]、饵料种类^[12]和生长阶段^[15]等。目前,国内外对红树林生态修复产出青蟹的营养品质评价尚无报道。

本研究以红树林生态修复产出青蟹、传统池塘养殖青蟹和天然青蟹作为研究对象,分析其螯足肌肉(以下简称“肌肉”)的脂肪酸、氨基酸含量及营养成分,通过相关评价体系评估红树林生态修复产出青蟹的营养价值,为红树林生态修复产出青蟹的生态溢价

表 1 5 种拟穴青蟹生境特征及潜在食物源

Table 1 Habitat characteristics and potential food sources of 5 types of *S. paramamosain*

类型 Type	生境 Habitat	潜在食物源 Potential food source	盐度 Salinity
ECO	Conversion of shrimp ponds to mangrove ecological farm	Aquaculture bait residues, mangrove plant, fish, molluscs, shrimps	20-30
NSA	Mangrove restoration area	Barnacles, mangrove plant	10-25
NA	Natural mangrove wetland	Mangrove plant, fish, molluscs, shrimps	10-25
MIPC	Aquaculture pond	Compound feed, <i>Cerithiidae</i> sp.	10-15
MOPC	Aquaculture pond	Compound feed	10-15

1.2 样品采集

于 2021 年 11-12 月收集成熟且质量相近的雄性青蟹,其中生态青蟹、藤壶青蟹和混饵养殖青蟹的种源一致,生长周期也基本一致。将试验青蟹洗净并擦干后运回实验室称重和测量(表 2),剪开螯足,取其肌肉置于 -18 °C 冰箱保存待测,1 个青蟹的肌肉为 1 个重复。

提供科学依据,促进红树林生态修复工程生态效益和经济效益的可持续发展。同时,推出红树林生态修复产出青蟹替代天然青蟹的方案,有利于维持天然红树林海区的种群数量,提高生态系统的生物多样性。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究共采集了 5 种不同生境的青蟹。(1)红树林生态修复产出青蟹 2 种:a. 生态青蟹(ECO),来源于虾塘红树林蓝碳生态农场,该农场是指在废弃虾塘内创造涨落潮条件,少数区域仍保留集约化养殖,其他区域构建红树林湿地,红树林湿地可对部分集约化养殖尾水净化,同时在红树林湿地中投放青蟹养殖;b. 藤壶青蟹(NSA),来源于利用青蟹对红树林枝干固着动物(以藤壶为主)防治的红树林修复区。在修复的红树林中设置 4 m×4 m 样方(样方用密网密封)投放青蟹幼蟹,幼蟹主要摄食样方内的藤壶长大。(2)天然青蟹(NA)1 种:在天然红树林海区捕获。(3)池塘养殖青蟹 2 种:a. 混饵养殖青蟹(MIPC):在池塘中养殖,投喂人工配合饲料与蟹守螺(*Cerithiidae* sp.);b. 单饵养殖青蟹(MOPC):在池塘中养殖,仅投喂人工配合饲料。5 种生境概况及青蟹潜在食物源见表 1,潜在食物源参考宋建达^[16]的研究结果。

1.3 样品组成成分分析

水解氨基酸含量按照 GB 5009.124-2016 测定,脂肪酸含量按照 GB 5009.168-2016 测定,蛋白质含量按照 GB 5009.5-2016 中的凯氏定氮法测定,脂肪含量按照 GB 5009.6-2016 中的索氏抽提法测定,总灰分按照 GB 5009.4-2016 中的灼烧法测定,水分含量按照 GB 5009.3-2016 中的 105 °C 烘干法测定。

表2 不同生境拟穴青蟹甲壳长、甲壳宽及平均质量($n=3$)Table 2 Carapace length, carapace width and mean weight of *S. paramamosain* from different habitats ($n=3$)

类型 Type	甲壳长/cm Carapace length/cm	甲壳宽/cm Carapace width/cm	平均质量/g Average weight/g
ECO	11.8±0.2	9.1±0.4	394.0±25.0
NSA	11.2±0.2	7.7±0.1	306.6±7.7
NA	11.3±0.2	8.2±0.3	264.5±12.2
MIPC	12.0±0.5	8.9±0.3	332.5±12.8
MOPC	11.6±0.1	8.6±0.4	420.6±17.3

1.4 蛋白质品质评价

根据联合国粮食及农业组织(FAO)与世界卫生组织(WHO)于1973年建议的每克氮氨基酸评分标准模式^[17]和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所^[18]提出的全鸡蛋蛋白质化学评分模式对肌肉营养成分进行营养价值评定,氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)和支链氨基酸与芳香族氨基酸含量的比值(F)^[10,11]按以下公式计算:

$$AAS =$$

$$\frac{\text{待测样品氨基酸含量(mg/g pro)}}{\text{FAO/WHO 评分模式同种氨基酸含量(mg/g pro)}} \times 100,$$

$$CS =$$

$$\frac{\text{待测样品氨基酸含量(mg/g pro)}}{\text{全鸡蛋蛋白质同种氨基酸含量(mg/g pro)}} \times 100,$$

表3 不同生境拟穴青蟹肌肉主要营养成分的比较($n=3$)Table 3 Comparison of nutritional components of *S. paramamosain* from different habitats ($n=3$)

Unit: %

类型 Type	蛋白质 Protein	粗脂肪 Crude fat	总灰分 Total ash content	含水率 Moisture content
ECO	14.70±1.00ac	0.70±0.06a	1.63±0.15a	84.17±2.04bc
NSA	9.31±0.40d	0.63±0.15a	1.70±0.06a	88.49±0.38a
NA	13.23±1.24bc	0.80±0.12a	1.67±0.07a	87.26±0.50ac
MIPC	13.43±1.35bc	0.57±0.09a	1.53±0.12a	84.57±1.07bc
MOPC	17.60±0.53a	0.83±0.12a	1.57±0.07a	82.41±1.00b

Note: different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

2.2 氨基酸含量及营养品质评价

5种不同生境拟穴青蟹肌肉氨基酸的测定结果见表4。生态青蟹的脯氨酸含量显著高于天然青蟹,两种青蟹的其他非必需氨基酸和必需氨基酸差异不显著。生态青蟹的缬氨酸含量显著高于单饵养殖青蟹,且其蛋氨酸含量显著高于混饵养殖青蟹。5种青

$$EAAI =$$

$$\sqrt[n]{\frac{\text{Lys}(t)}{\text{Lys}(s)} \times 100 \times \frac{\text{Met}(t)}{\text{Met}(s)} \times 100 \cdots \times \frac{\text{Val}(t)}{\text{Val}(s)} \times 100},$$

$$F = \frac{(\text{Val} + \text{Leu} + \text{Ile})}{(\text{Phe} + \text{Tyr})},$$

式中, n 为比较的氨基酸数; t 为待测样品蛋白质必需氨基酸含量(g/100g); s 为全鸡蛋蛋白质必需氨基酸含量(g/100g);Val为缬氨酸含量;Leu为亮氨酸含量;Ile为异亮氨酸含量;Phe为苯丙氨酸含量;Tyr为酪氨酸含量。

1.5 数据统计分析

利用SPSS 21.0软件,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较不同生境青蟹肌肉营养品质的差异, $P<0.05$ 为差异显著性水平。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分组成

5种不同生境拟穴青蟹肌肉的水分、灰分、蛋白质及粗脂肪含量测定结果见表3。藤壶青蟹肌肉的蛋白质显著低于其他4种。单饵养殖青蟹肌肉的蛋白质含量最高,且显著高于天然青蟹、藤壶青蟹和混饵养殖青蟹。藤壶青蟹肌肉的含水率显著高于生态青蟹和2种池塘养殖青蟹,单饵养殖青蟹肌肉的含水率显著低于天然青蟹。5种不同生境的拟穴青蟹肌肉粗脂肪和总灰分含量差异不显著。

蟹比较可知,生态青蟹的总氨基酸和必需氨基酸含量最高,而藤壶青蟹最低。

根据AAS模式,5种不同生境拟穴青蟹的第一限制氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸(表5)。AAS评价显示,生态青蟹和藤壶青蟹的氨基酸评分低于100的只有1种,而单饵养殖青蟹则有3种,其余两种青

表 4 不同生境拟穴青蟹肌肉氨基酸含量比较 ($n = 3$)

氨基酸 Amino acid		ECO	NSA	NA	MIPC	MOPC
Non-essential amino acid	Asp * Δ	4.63 \pm 0.72a	6.39 \pm 0.68a	4.53 \pm 1.01a	4.75 \pm 0.56a	4.29 \pm 0.63a
	Glu * Δ	14.78 \pm 0.97a	15.82 \pm 0.47a	15.07 \pm 1.36a	15.16 \pm 0.92a	12.50 \pm 1.46a
	Ser	5.02 \pm 0.94a	3.77 \pm 0.25a	4.49 \pm 1.13a	5.37 \pm 0.99a	6.21 \pm 0.17a
	Gly *	18.16 \pm 0.45bc	13.46 \pm 0.67a	17.86 \pm 0.85bc	16.21 \pm 1.65ac	17.18 \pm 1.41bc
	Ala *	10.85 \pm 0.30ac	11.19 \pm 1.62ac	13.49 \pm 0.63a	10.82 \pm 0.52ac	9.34 \pm 0.74bc
	Pro	12.60 \pm 1.23a	5.00 \pm 0.77bc	5.40 \pm 1.5bc	9.90 \pm 1.00ac	15.34 \pm 3.33a
	Cys	0.24 \pm 0.10ac	0.10 \pm 0.01bc	0.15 \pm 0.07ac	0.66 \pm 0.31a	0.32 \pm 0.20ac
Essential amino acid	His	2.53 \pm 0.26bc	1.23 \pm 0.10a	1.82 \pm 0.66ac	2.76 \pm 0.36bc	2.77 \pm 0.20bc
	Arg	13.41 \pm 3.31ac	5.96 \pm 0.74bd	7.31 \pm 2.15bcd	16.21 \pm 2.26a	11.92 \pm 1.14ad
	Thr	7.37 \pm 0.99ac	4.65 \pm 0.61bcd	6.94 \pm 1.56ad	8.55 \pm 0.80a	9.02 \pm 0.82a
	Tyr *	6.79 \pm 1.40ac	3.41 \pm 0.19bc	5.23 \pm 1.76ac	6.21 \pm 1.62ac	8.64 \pm 0.85a
	Val	7.60 \pm 0.33a	6.05 \pm 0.60bc	6.26 \pm 0.69ac	7.23 \pm 0.16ac	6.05 \pm 0.18bc
	Met	4.36 \pm 0.73a	1.46 \pm 0.56bc	2.63 \pm 0.92ac	2.06 \pm 0.84bc	2.79 \pm 0.32ac
	Ile	7.56 \pm 0.32a	5.86 \pm 0.71bc	6.17 \pm 0.69ac	7.23 \pm 0.03ac	6.43 \pm 0.12ac
	Leu	15.37 \pm 0.50a	11.12 \pm 1.25bc	12.71 \pm 1.59ac	14.80 \pm 0.94a	14.92 \pm 0.12a
	Phe *	8.83 \pm 0.53a	6.37 \pm 0.49bc	7.98 \pm 1.27ac	8.72 \pm 0.68ac	9.24 \pm 0.64a
	Trp	2.01 \pm 0.80a	3.42 \pm 1.42a	3.69 \pm 1.68a	1.29 \pm 0.36a	1.89 \pm 0.70a
	Lys	14.42 \pm 0.94a	13.72 \pm 1.07a	13.51 \pm 1.03a	13.62 \pm 0.60a	10.97 \pm 2.03a
Total amino acids (TAA)	156.53 \pm 4.69a	118.99 \pm 8.09bc	135.23 \pm 9.01ac	151.53 \pm 7.24a	149.82 \pm 3.63a	
Essential amino acids (EAA)	90.25 \pm 3.64a	63.26 \pm 7.28bc	74.25 \pm 8.56ac	88.68 \pm 5.13a	84.65 \pm 1.92a	
Flavor amino acids (FAA)	64.04 \pm 0.50a	56.64 \pm 2.89bc	64.14 \pm 1.30a	61.86 \pm 2.15ac	61.19 \pm 0.20ac	
EAA/TAA	0.58 \pm 0.01a	0.53 \pm 0.03a	0.55 \pm 0.03a	0.58 \pm 0.01a	0.57 \pm 0.01a	
Umami amino acid	19.41 \pm 1.68ac	22.21 \pm 0.92a	19.60 \pm 2.15ac	19.90 \pm 1.45ac	16.79 \pm 1.83bc	
FAA/TAA	0.41 \pm 0.01b	0.48 \pm 0.03a	0.48 \pm 0.03a	0.41 \pm 0.01b	0.41 \pm 0.01b	

Note: * indicates flavor amino acid; Δ indicates umami amino acids; different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

表 5 不同生境拟穴青蟹肌肉氨基酸 AAS 和 F

Table 5 Amino acid AAS and F of *S. paramamosain* muscle from different habitats

类型 Type	AAS								F
	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Lys	蛋氨酸 + 半胱氨酸 Met + Cys	苯丙氨酸 + 酪氨酸 Phe + Tyr	苏氨酸 Thr	色氨酸 Trp	缬氨酸 Val	
ECO	128.60	149.35	178.35	89.29	177.10	125.34	136.73	103.40	1.95
NSA	157.40	170.67	267.94	47.90	175.08	124.87	367.35	129.97	2.36
NA	116.61	137.22	185.62	60.03	166.37	131.11	278.84	94.61	1.90
MIPC	134.49	157.41	184.34	57.69	185.24	159.12	96.03	107.64	1.96
MOPC	91.34	121.13	113.33	50.53	169.32	128.13	107.39	68.75	1.53

蟹有 2 种。F 的大小排序为藤壶青蟹 > 混饵养殖青蟹 > 生态青蟹 > 天然青蟹 > 单饵养殖青蟹。

根据 CS 模式, 5 种不同生境拟穴青蟹的第一限

制氨基酸均为蛋氨酸 + 半胱氨酸(表 6)。CS 评价显示, 藤壶青蟹的化学评分低于 100 的有 2 种, 天然青蟹有 3 种, 单饵养殖青蟹则有 6 种, 其余两种青蟹均

表 6 不同生境拟穴青蟹肌肉氨基酸 CS 和 EAAI

Table 6 Amino acid CS and EAAI of *S. paramamosain* muscle from different habitats

类型 Type	CS								EAAI
	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	赖氨酸 Lys	蛋氨酸+ 半胱氨酸 Met + Cys	苯丙氨酸+ 酪氨酸 Phe + Tyr	苏氨酸 Thr	色氨酸 Trp	缬氨酸 Val	
ECO	95.26	121.56	140.14	54.83	114.26	106.67	80.43	78.33	95.35
NSA	116.60	138.92	210.53	29.41	112.96	106.27	216.09	98.46	112.48
NA	86.38	111.69	145.84	36.86	107.34	111.58	164.02	71.67	96.15
MIPC	99.62	128.12	144.84	35.42	119.51	135.42	56.49	81.55	91.43
MOPC	67.66	98.60	89.04	31.03	109.24	109.04	63.17	52.08	72.00

有 4 种。EAAI 大小排序为藤壶青蟹 > 天然青蟹 > 生态青蟹 > 混饵养殖青蟹 > 单饵养殖青蟹。

2.3 脂肪酸含量

由表 7 可知, 5 种不同生境拟穴青蟹肌肉中有 25 种脂肪酸, 包括 10 种饱和脂肪酸、5 种单不饱和脂肪酸和 10 种多不饱和脂肪酸。生态青蟹和藤壶青蟹的 EPA 显著高于天然青蟹, 且生态青蟹的 C18:1n9c、

C20:1、C18:2n6c 显著高于天然青蟹。生态青蟹的 C18:1n9c、C20:1、C18:3n3 显著高于混饵养殖青蟹, 且其 C20:3n6 显著高于单饵养殖青蟹; 藤壶青蟹的 C16:0 显著低于单饵养殖青蟹。生态青蟹的 MUFA 显著高于藤壶青蟹、混饵养殖青蟹; 生态青蟹和单饵养殖青蟹的 EPA + DHA 显著高于天然青蟹; 其余各类脂肪酸统计指标差异不显著。

表 7 不同生境拟穴青蟹肌肉脂肪酸组成分析 (n = 3)

Table 7 Analysis of fatty acid composition of *S. paramamosain* muscle from different habitats (n = 3)

Unit: mg/g

脂肪酸 Fatty acid	ECO	NSA	NA	MIPC	MOPC
Myristic acid (C14:0)	0.017 ± 0.003a	0.014 ± 0.002a	0.019 ± 0.003a	0.014 ± 0.001a	0.021 ± 0.004a
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.012 ± 0.003b	0.010 ± 0.002b	0.020 ± 0.003a	0.008 ± 0.000b	0.010 ± 0.001b
Palmitic acid (C16:0)	0.469 ± 0.070a	0.238 ± 0.060bc	0.368 ± 0.036ac	0.288 ± 0.058bc	0.481 ± 0.017a
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.040 ± 0.007ac	0.042 ± 0.013ac	0.054 ± 0.006a	0.028 ± 0.003bc	0.032 ± 0.003ac
Stearic acid (C18:0)	0.373 ± 0.066a	0.476 ± 0.154a	0.353 ± 0.037a	0.295 ± 0.062a	0.378 ± 0.016a
Arachidic acid (C20:0)	0.028 ± 0.005a	0.067 ± 0.032a	0.032 ± 0.004a	0.031 ± 0.003a	0.036 ± 0.001a
Heneicosanoic acid (C21:0)	0.011 ± 0.001a	0.017 ± 0.010a	0.009 ± 0.002a	0.009 ± 0.001a	0.009 ± 0.001a
Behenic acid (C22:0)	0.022 ± 0.005a	0.074 ± 0.042a	0.028 ± 0.003a	0.028 ± 0.003a	0.033 ± 0.002a
Tricosanoic acid (C23:0)	0.007 ± 0.001a	0.019 ± 0.011a	0.011 ± 0.002a	0.009 ± 0.001a	0.009 ± 0.000a
Tetracosanoic acid (C24:0)	0.008 ± 0.001a	0.010 ± 0.004a	0.010 ± 0.002a	0.008 ± 0.001a	0.009 ± 0.002a
Palmitoleic acid (C16:1n7)	0.054 ± 0.013ac	0.059 ± 0.005ac	0.056 ± 0.012ac	0.029 ± 0.002bc	0.074 ± 0.013a
Oleic acid (C18:1n9c)	0.440 ± 0.083a	0.198 ± 0.045b	0.252 ± 0.027b	0.259 ± 0.053bc	0.413 ± 0.013ac
Eicosanic acid (C20:1)	0.023 ± 0.003a	0.013 ± 0.003bc	0.013 ± 0.003bc	0.013 ± 0.002bc	0.021 ± 0.003ac
Erucic acid (C22:1n9)	0.022 ± 0.002b	0.025 ± 0.003b	0.037 ± 0.001a	0.024 ± 0.000b	0.024 ± 0.001b
Tetracosenoic acid (C24:1n9)	0.005 ± 0.001ac	0.003 ± 0.001bc	0.004 ± 0.001bc	0.004 ± 0.000ac	0.007 ± 0.002a
Linoleic acid (C18:2n6c)	0.337 ± 0.032a	0.081 ± 0.024bc	0.096 ± 0.010bc	0.214 ± 0.045ac	0.287 ± 0.092a
γ-linolenic acid (C18:3n6)	0.004 ± 0.001ac	0.004 ± 0.001ac	0.006 ± 0.001a	0.003 ± 0.000bc	0.003 ± 0.000bc
α-linolenic acid (C18:3n3)	0.026 ± 0.002a	0.012 ± 0.002bc	0.027 ± 0.007a	0.011 ± 0.002bc	0.021 ± 0.002ac
cis-11,14-eicosadienoic acid (C20:2)	0.035 ± 0.011a	0.042 ± 0.014a	0.023 ± 0.005a	0.032 ± 0.005a	0.041 ± 0.007a
cis-11,14,17-eicosatrienoic acid (C20:3n6)	0.010 ± 0.003ac	0.006 ± 0.001bc	0.012 ± 0.002a	0.005 ± 0.000bc	0.004 ± 0.000b

续表

Continued table

脂肪酸 Fatty acid	ECO	NSA	NA	MIPC	MOPC
cis-8,11,14-eicosatrienoic acid (C20:3n3)	0.007 ± 0.002ac	0.005 ± 0.001bc	0.011 ± 0.002a	0.005 ± 0.001bc	0.008 ± 0.001ac
Arachidonic acid (C20:4n6)	0.182 ± 0.050a	0.293 ± 0.091a	0.246 ± 0.043a	0.133 ± 0.010a	0.145 ± 0.013a
cis-13,16-docosadienoic acid (C22:2n6)	0.005 ± 0.000ac	0.004 ± 0.001bc	0.004 ± 0.001bc	0.005 ± 0.000ac	0.006 ± 0.001a
cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoic acid EPA (C20:5n3)	0.488 ± 0.057bc	0.450 ± 0.091bc	0.256 ± 0.029a	0.372 ± 0.069ac	0.526 ± 0.011bc
Docosahexaenoic acid methyl ester DHA (C22:6n3)	0.372 ± 0.046ac	0.240 ± 0.053bc	0.268 ± 0.036ac	0.247 ± 0.050bc	0.416 ± 0.057a
TFA	2.996 ± 0.448a	2.402 ± 0.655a	2.217 ± 0.184a	2.074 ± 0.362a	3.016 ± 0.086a
SFA	0.987 ± 0.160a	0.968 ± 0.330a	0.905 ± 0.086a	0.718 ± 0.128a	1.019 ± 0.015a
MUFA	0.543 ± 0.100a	0.300 ± 0.055bc	0.363 ± 0.042ac	0.330 ± 0.057bc	0.539 ± 0.007a
PUFA	1.466 ± 0.190a	1.135 ± 0.272a	0.948 ± 0.085a	1.026 ± 0.178a	1.458 ± 0.092a
EPA + DHA	0.860 ± 0.100ac	0.689 ± 0.143ad	0.524 ± 0.053bd	0.620 ± 0.118bcd	0.943 ± 0.048a

Note: TFA indicates total fatty acids, SFA indicates saturated fatty acids, MUFA indicates monounsaturated fatty acids, PUFA indicates polyunsaturated fatty acids, different lowercase letters in the same line indicate significant differences ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 青蟹基本营养成分的差异

饵料是造成青蟹营养品质差异的主要因子,包括饵料种类、投喂量等^[10,12]。5种生境的拟穴青蟹食物源差异较大,其中单饵养殖青蟹和混饵养殖青蟹的养殖条件虽然均为池塘,但是投喂饵料不一致,其肌肉的蛋白质含量存在显著差异,表明饵料种类会对青蟹的营养品质造成影响。生态青蟹、天然青蟹和藤壶青蟹均未直接投喂配合饵料,其饵料种类相比池塘养殖更丰富。黄爱霞等^[14]研究发现,野生青蟹的肌肉蛋白质含量(15.98%)较养殖青蟹(18.40%)低,说明在人工筛选的作用下,配合饵料更能促使青蟹蛋白质含量增加。本研究结果表明,单饵养殖青蟹的蛋白质含量最高(17.60%),天然青蟹、藤壶青蟹、生态青蟹和混饵养殖青蟹的蛋白质含量均小于15%,除了饵料种类会造成蛋白质含量增加外,池塘养殖投喂量充足也会促进青蟹肌肉蛋白质含量的增加,该结果与黄爱霞等^[14]研究结果相似。此外,藤壶青蟹的肌肉含水率高,可能是样方空间限制导致食物缺少。5种青蟹的粗脂肪和灰分含量差异均不显著,与徐梦谦等^[12]的研究结果相似,表明饵料种类未对其粗脂肪和灰分含量造成显著影响。

青蟹生存环境的理化因子也会造成其肌肉营养成分的差异。林沛然^[10]研究表明,对红树林林下和

光滩2种生境的青蟹投喂相同的饵料,其蛋白质和粗脂肪含量存在显著差异。Azra等^[19]研究表明,升温易引起青蟹代谢异常,体内蛋白质被消耗,导致肌肉蛋白质含量下降,进一步说明青蟹生存环境会对其营养成分造成影响。

3.2 青蟹肌肉氨基酸的差异

氨基酸的含量和组成是评价食物营养价值的重要指标,也是影响风味的主要因素^[20]。甲壳类动物的氨基酸差异可能受食物源^[21]、种源^[22]、季节^[23]、发育阶段^[24]和环境条件^[25]等因素的影响。

本研究选取质量相近的成熟青蟹开展试验,比较5种青蟹肌肉的氨基酸含量,其中藤壶青蟹的总氨基酸和必需氨基酸含量均最低,明显低于生态青蟹、单饵养殖青蟹和混饵养殖青蟹,最可能的原因是食物源不同,而生境状况决定了生物的食物源组成^[16]。混饵养殖青蟹所投喂的蟹守螺来源于虾塘红树林蓝碳生态农场,生态青蟹的部分食物来源于虾塘红树林蓝碳生态农场其他种类养殖物残留的配合饵料,因此生态青蟹和混饵养殖青蟹的食物源较为接近。藤壶青蟹的生存环境无配合饵料,蟹守螺极少,与生态青蟹、单饵养殖青蟹及混饵养殖青蟹的食物源不同。虽然藤壶青蟹、生态青蟹和混饵养殖青蟹幼蟹的来源一致,但成蟹的氨基酸含量存在差异,可能是生存环境和饵料不同引起的。研究表明,盐度是影响青蟹营养品质最主要的环境因子,盐度过高不利于营养物质的

积累^[22], 本研究的生态青蟹和混饵养殖青蟹生存水体盐度分别为 20-30 和 10-15, 但生态青蟹和混饵养殖青蟹的总氨基酸和必需氨基酸含量差异不显著, 说明盐度可能不是引起青蟹营养品质差异的因子。Meng 等^[26] 研究指出当地低价值的野生鱼类、虾类和天然蜗牛等可作为青蟹池塘养殖的优质饵料。本研究的藤壶青蟹和生态青蟹的氨基酸评价高于混饵养殖青蟹和单饵养殖青蟹, 可能是藤壶青蟹和生态青蟹食物源多样, 其饵料为优质饵料。混饵养殖青蟹的氨基酸评价指数和鲜味氨基酸均高于单饵养殖青蟹, 也说明多种饵料混养可提高青蟹的营养品质。尽管藤壶青蟹的氨基酸 AAS 和 CS 评价最好, 但受饵料量的影响, 其蛋白质含量较低, 若增加其生存空间, 则可能更利于其品质的提升。

3.3 青蟹肌肉脂肪酸的差异

脂肪酸组成在一定条件下可以反映机体的营养水平, 也可以反映机体摄食状况、健康水平及环境改变时机体的生理生化调节效应^[27]。5 种青蟹肌肉的总脂肪酸、饱和脂肪酸总量和多不饱和脂肪酸总量差异不显著, 该结果与 Meng 等^[26] 的研究结果相似。人工配合饲料常根据养殖动物脂类的需求不同而强化添加某类脂肪酸, 以达到提升蟹品质的目的。王健懿^[28] 研究发现, 肌肉中脂肪酸的组成与饲料脂肪酸的组成呈正相关关系; 瞿俐俐等^[22]、杨印蹊^[29] 研究发现, 投喂不同脂肪源饲料并不会引起肌肉营养成分出现明显差异, 主要是因为饲料中的脂肪被肝胰腺吸收后选择性地转运到肌肉等其他组织中^[28]。但也有研究表明, 青蟹性腺中的总饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量差异显著^[26]。因此, 为更好地确定青蟹的品质, 在今后的研究中应增加对青蟹不同部位营养成分的测定。

蟹肉是 DHA 和 EPA 的良好来源^[21], 这两种脂肪酸的比例在 2:1 至 1:2 的范围内均被认为是优质肉^[30]。本研究中 5 种青蟹肌肉的 DHA/EPA 均在优质范围内, 生态青蟹的 EPA 和 DHA 高于天然青蟹, 但略低于单饵养殖青蟹, 可能是因为单饵养殖青蟹的主要饵料为人工配合饵料, 而人工配合饵料添加了 EPA、DHA 或 EPA、DHA 的促成物质。根据 FAO/WHO 公布的标准, $n-3\text{PUFA}/n-6\text{PUFA}$ 的比例为 0.2 被认为是营养均衡的, 比例越高则代表营养价值越高, 对人体的健康越有利^[31]。本研究中 5 种青蟹肌肉的 $n-3\text{PUFA}/n-6\text{PUFA}$ 皆大于 0.2。此外, 生态青蟹的部分不饱和脂肪酸含量显著高于天然

青蟹和池塘养殖青蟹, 也说明生态青蟹的品质较好。

3.4 生态修复产出青蟹的推广前景

以 EAAI 为评价标准, 数值愈大, 表明营养价值愈高^[11]。生态修复产出的 2 种青蟹的 EAAI (112.48 和 95.35) 均大于池塘养殖的 2 种青蟹 (91.43 和 72.00), 天然青蟹的 EAAI 居中 (96.15)。支链氨基酸与芳香族氨基酸含量的比值以鸡蛋蛋白 (2.03) 为标准参考值, 本研究中藤壶青蟹的品质最佳 (F 值为 2.36), 生态青蟹 (F 值为 1.95)、天然青蟹 (F 值为 1.90) 和混饵养殖青蟹的品质 (F 值为 1.96) 相似, 单饵养殖青蟹的品质最低 (F 值为 1.53)。EAAI 和 F 的对比结果表明红树林生态修复产出的青蟹营养价值均高于池塘养殖, 高于或接近天然青蟹。基于 5 种青蟹氨基酸和脂肪酸的比较结果, 红树林生态修复产出青蟹的市场推广前景较好。

4 结论

5 种不同生境拟穴青蟹的肌肉蛋白质含量高, 氨基酸种类齐全, 营养均衡, 其营养品质的差异主要来源于不同生境引起的食物源差异。生态青蟹和藤壶青蟹的营养品质评价接近天然青蟹, 为红树林生态修复产出青蟹的生态溢价提供了支撑。在青蟹养殖过程中, 可通过丰富投喂的饵料来提高养殖青蟹的营养品质。

参考文献

- [1] 王文卿, 石建斌, 陈鹭真, 等. 中国红树林湿地保护与恢复战略研究[M]. 北京: 中国环境出版集团有限公司, 2021.
- [2] LEWIS R R. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests [J]. Ecological Engineering, 2005, 24(4): 403-418.
- [3] 王丽荣, 于红兵, 李翠田, 等. 海洋生态系统修复研究进展[J]. 应用海洋学学报, 2018, 37(3): 435-446.
- [4] 彭逸生, 周炎武, 陈桂珠. 红树林湿地恢复研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 786-797.
- [5] 范航清, 王文卿. 中国红树林保育的若干重要问题[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2017, 56(3): 323-330.
- [6] 范航清, 阎冰, 吴斌, 等. 虾塘还林及其海洋农牧化构想[J]. 广西科学, 2017, 24(2): 127-134.
- [7] FAN H Q. Mangroves at the intersection of ecological protection and targeted poverty alleviation [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2021, 35(3): 138-143.
- [8] AHYONG S T, LAI J C Y, SHARKEY D, et al. Phylo-

- genetics of the brachyuran crabs (Crustacea:Decapoda): the status of Podotremata based on small subunit nuclear ribosomal RNA [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2007, 45(2): 576-586.
- [9] 檀东飞, 吴国欣, 林跃鑫, 等. 锯缘青蟹营养成分分析[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2000(4): 79-84.
- [10] 林沛然. 红树林下人工养殖拟穴青蟹养殖性状及营养成分研究[D]. 厦门: 集美大学, 2018.
- [11] 王雪峰, 顾鸿鑫, 郭倩琳, 等. 海水和淡水养殖锯缘青蟹的营养成分分析[J]. *食品科学*, 2010, 31(23): 386-390.
- [12] 徐梦谦, 邹伊田, 张丽, 等. 饵料种类对青蟹生长和营养品质的影响[J]. *饲料工业*, 2021, 42(6): 41-45.
- [13] 王福田, 向俊飞, 朱亚军, 等. 三种不同来源的养殖青蟹肌肉感官品质比较[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(8): 98-105, 112.
- [14] 黄爱霞, 林锋, 孙丽慧, 等. 野生和养殖拟穴青蟹营养品质比较分析[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(6): 139-142.
- [15] 刘晓, 陆智斌, 刘磊, 等. 拟穴青蟹软壳蟹与硬壳蟹营养品质和风味差异综合比较分析[J]. *核农学报*, 2021, 35(7): 1627-1638.
- [16] 宋建达. 北部湾拟穴青蟹食源分析及摄食不同饵料对其生长的影响[D]. 济南: 山东大学, 2022.
- [17] PETER L P, YOUNG V R. Nutritional evaluation of protein foods [M]. Tokyo: The United National University Press, 1980.
- [18] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表(全国代表值)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991.
- [19] AZRA M N, DOS SANTOS TAVARES C P, ABOLMUNAFI A B, et al. Growth rate and fatty acid composition of orange mud crab instars, *Scylla olivacea*, reared at different temperatures [J]. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2020, 46(1): 97-102.
- [20] 刘焕亮. 我国主要水产品营养成分的研究[J]. *科学养鱼*, 2000(7): 11-12.
- [21] JIANG K J, ZHANG F Y, PI Y, et al. Amino acid, fatty acid, and metal compositions in edible parts of three cultured economic crabs: *Scylla paramamosain*, *Portunus trituberculatus*, and *Eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2014, 23(1): 73-86.
- [22] 瞿俐俐, 王锡昌, 吴旭干, 等. 影响蟹类营养品质主要因素的研究进展[J]. *食品工业*, 2017, 38(3): 217-221.
- [23] BARRENTO S, MARQUES A, TEIXEIRA B, et al. Effect of season on the chemical composition and nutritional quality of the edible crab *Cancer pagurus* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(22): 10814-10824.
- [24] ANDRÉS M, ESTÉVEZ A, HONTORIA F, et al. Differential utilization of biochemical components during larval development of the spider crab *Maja brachydactyla* (Decapoda: Majidae) [J]. *Marine Biology*, 2010, 157(10): 2329-2340.
- [25] ZHOU J M, LI N, WANG H, et al. Effects of salinity on growth, nutrient composition, fatty acid composition and energy metabolism of *Scylla paramamosain* during indoor overwintering [J]. *Aquaculture Research*, 2020, 51(5): 1834-1843.
- [26] MENG F T, GAO H N, TANG X M, et al. Biochemical composition of pond-cultured vs. wild gravid female mud crab *Scylla paramamosain* in Hainan, China: evaluating the nutritional value of cultured mud crab [J]. *Journal of Shellfish Research*, 2017, 36(2): 445-452.
- [27] 孔祥会, 王桂忠, 李少菁. 低温适应下锯缘青蟹肌肉及其细胞膜脂肪酸组成的变化[J]. *水产学报*, 2006(5): 603-610.
- [28] 王健懿. 不同脂肪源和脂肪酸对中华绒螯蟹幼蟹生长、消化酶活力和脂肪酸组成的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- [29] 杨印蹊. 饲料中添加花生四烯酸对三疣梭子蟹卵巢发育及成蟹品质的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- [30] HARRIS W S. Fish oil supplementation: evidence for health benefits [J]. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 2004, 71(3): 208-210, 212, 215-218.
- [31] 林旭辉, 刘平, 李楠, 等. 食品香精香料及加香技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.

Nutritional Quality Evaluation for Cheliped Muscle of *Scylla paramamosain* in Different Habitats

SU Zhinan^{1,2}, DING Hui², FAN Hangqing^{2* * *}, PAN Yuanfang², QIU Siting², ZHONG Yunxu², TONG Lihao²

(1. Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong, 524048, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Academy of Marine Sciences (Guangxi Mangrove Research Center), Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

Abstract: To explore the differences in the nutritional quality of the claw foot muscles of *Scylla paramamosain* (hereinafter referred to as 'green crab') from different habitats and food sources, five kinds of green crabs from different habitats (ecological green crab, barnacle green crab, natural green crab, mixed bait cultured green crab and single bait cultured green crab) were collected in this study. The basic nutrients, amino acid content and fatty acid content of the claw foot muscle tissue were measured, and the Essential Amino Acid Index (EAAI) and the ratio of branched chain amino acid to aromatic amino acid content (F) were analyzed. The results showed that the protein content of ecological green crab was slightly higher than that of natural green crab and mixed bait cultured green crab. The moisture content of the barnacle green crab was the highest and the protein content was the lowest. There was no significant difference in crude fat and total ash content among the five crabs. The total amino acid content and essential amino acid content of the ecological green crab were the highest, and the umami amino acid content of the barnacle green crab was the highest. The EAAI (112.48) and F (2.36) of barnacle green crab were the highest, and the EAAI (95.35) and F (1.95) of ecological green crab and EAAI (96.15) and F (1.90) of natural green crab were basically the same. The EAAI (72.00) and F (1.53) of single bait cultured green crab were the lowest. The content of monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids in the ecological green crab was the highest, and its Eicosapentamenoic Acid + Docosahexaenoic acid (EPA + DHA) was significantly higher than that of natural green crab, and the content of partial unsaturated fatty acids was significantly higher than that of natural green crab, mixed bait cultured green crab and single bait cultured green crab. According to the contents of protein, total amino acids, essential amino acids and unsaturated fatty acids, the content of ecological green crab is the highest. From the perspective of EAAI and F , the evaluation of barnacle green crab is the highest, indicating that the quality of the green crabs produced by the two mangrove ecological restorations is better.

Key words: *Scylla paramamosain*; protein; amino acid; fatty acid; habitat

责任编辑:唐淑芬



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkxyxb/ch>