

doi: 10.7541/2024.2024.0100

CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0100

不同养殖模式对中华绒螯蟹品质的影响

金鑫 程润强 张娣 耿昌盛 李晔

(宁波大学海洋学院, 宁波 315832)

摘要: 为探究不同养殖模式对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)品质的影响, 实验采集了阳澄湖地区池塘养殖模式和盘锦地区稻田养殖模式的中华绒螯蟹(分别简称池塘蟹和稻田蟹), 比较其组织系数、总可食率、游离氨基酸组成、类胡萝卜素含量、抗氧化酶活性及DNA甲基化水平的差异。结果显示: 稻田蟹性腺指数(GSI)、出肉率(MY)、总可食率(TEY)均高于池塘蟹, 其中MY和TEY差异极显著(** $P<0.01$); 池塘蟹的甜味和鲜味氨基酸含量更高, 而稻田蟹的总氨基酸含量更高; 类胡萝卜素在池塘蟹肝胰腺和卵巢中的含量均显著高于稻田蟹, 并且在雌蟹各组织中的含量差异极显著(** $P<0.01$); 在两种养殖模式下, 雄蟹肝胰腺和雌蟹肌肉中的丙二醛(MDA; ** $P<0.01$)含量和超氧化物歧化酶(SOD; * $P<0.05$)活性有显著差异, 而各组织中过氧化氢酶(CAT)活性均无显著差异($P>0.05$)。此外, 在两种养殖模式下, 河蟹不同组织的DNA甲基化呈显著差异。上述结果表明, 不同的养殖模式对中华绒螯蟹的总可食率、游离氨基酸含量及类胡萝卜素含量具有显著影响, 从而形成不同的品质。而DNA甲基化水平的显著差异, 预示着不同的养殖模式可能通过DNA甲基化的变化调控基因的表达从而实现风味的变化。

关键词: 游离氨基酸; 类胡萝卜素; 抗氧化酶; DNA甲基化; 中华绒螯蟹

中图分类号: S966.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2024)11-1845-10



中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)俗称河蟹、大闸蟹。主要分布在亚洲北部、朝鲜西部和中国大部分河口区域, 其营养丰富、风味独特具有较高的经济价值^[1]。20世纪80年代以来, 中华绒螯蟹养殖业迅速发展, 2022年养殖产量已达81.53万吨^[2], 成为我国水产养殖业的支柱产业之一。现阶段我国中华绒螯蟹养殖模式主要有湖泊围网养殖、池塘生态养殖和稻蟹共作养殖等^[3], 全国各地因地制宜, 多种养殖模式并存。湖泊围网曾经是沿湖地区提高中华绒螯蟹产量的重要措施, 以苏州阳澄湖地区所产的中华绒螯蟹最为典型。而稻蟹共作养殖模式因生态环保也在逐渐增加^[4], 其中最为典型的是辽宁盘锦一带的稻田蟹^[5]。

中华绒螯蟹美味的口感和独特的风味深受消费者喜爱^[6]。常用表征的指标包括、不饱和脂肪酸、蛋白质、矿物质和游离氨基酸等。其中, 游离

氨基酸(FAAs)是重要的风味来源^[7], 可能表现为甜味、苦味、酸味或鲜味, 它们相互作用会产生一些蟹的特征风味^[8]。此外, 色泽也是反映品质的一个重要指标, 主要由类胡萝卜素的含量和种类决定, 不同色泽的河蟹在价格上有很大差异^[9]。已有的研究发现, 不同的养殖模式会影响中华绒螯蟹的品质。张家奇等^[10]研究发现不同的养殖方式对中华绒螯蟹肝胰腺和性腺的风味影响显著, 如稻田蟹肝胰腺的苦味强度要低于池塘蟹, 而性腺的鲜味高于池塘蟹, 可能是由于生物饵料的摄入差异导致的。赵柳兰等^[11]比较了稻田和池塘养殖模式下中华绒螯蟹肌肉中的氨基酸组成, 结果表明池塘养殖模式下的河蟹肌肉表现出更强烈的甜味。另外, 养殖模式中生物饵料^[12]和矿物质含量^[13]也会影响中华绒螯蟹的品质。

但不同的养殖模式是如何影响中华绒螯蟹的

收稿日期: 2024-03-11; 修订日期: 2024-05-08

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31402282)资助 [Supported by the Youth Fund of the National Natural Science Foundation of China (31402282)]

作者简介: 金鑫(1999—), 男, 硕士研究生; 主要从事中华绒螯蟹品质研究。E-mail: 1990791405@qq.com

通信作者: 李晔(1980—), 女, 副教授; 主要从事甲壳动物功能基因研究。E-mail: liye@nbu.edu.cn

品质的呢?本研究初步探究DNA甲基化修饰在河蟹风味形成过程中可能发挥的重要作用。越来越多的报道证实,环境因素可以影响表观遗传修饰,其并没有涉及遗传信息的改变,所以在一定范围内可以解释表型变化^[14]。DNA甲基化是生物体响应环境变化的重要表观遗传调控机制之一,对个体的表型变异到整个种群的生长发育都有影响。DNA甲基化主要发生在胞嘧啶第五位碳原子上,称为5-甲基胞嘧啶(5-methylcytosine, 5-mC)^[15]。那么,不同的养殖模式是否会通过影响DNA甲基化水平,进而改变中华绒螯蟹的品质呢?

本文以池塘养殖和稻田养殖的中华绒螯蟹为研究对象,比较了组织系数、游离氨基酸组成、类胡萝卜素含量和抗氧化能力的差异,探究两种养殖模式对河蟹品质的影响;进一步分析了DNA甲基化的差异情况,探讨不同的养殖模式影响河蟹品质的可能机制。

1 材料与方法

1.1 样品制备

分别在2022年和2023年11月辽宁盘锦(31°25' 51"N, 120°48'47"E, YC)和江苏阳澄湖地区(41°12' N, 121°34' E, PJ)采集实验用蟹,各10只体重在140—200 g的中华绒螯蟹(♀:♂=1:1)。游标卡尺精确测量(精确到0.01 cm)甲壳长度;解剖肝胰腺、性腺和肌肉样品,称重(精确到0.001 g)后,储存在-80℃备用。公式计算肝胰腺指数(HSI)、性腺指数(GSI)、出肉率(MY, %)、总可食率(TEY, %)和肥满度(CF, g/cm³):

$$CF(g/cm^3) = 100 \times W/L^3 \quad (1)$$

$$GSI = 100 \times W_G/W \quad (2)$$

$$HSI = 100 \times W_H/W \quad (3)$$

$$MY(\%) = 100 \times W_M/W \quad (4)$$

$$TEY(\%) = GSI + HSI + MY \quad (5)$$

式中, W_H 是肝胰腺重量(g), W_G 是性腺重量(g), W_M 是肌肉重量(g), W 是体重(g), L 是甲壳长度(cm)。

1.2 实验方法

游离氨基酸组成分析 称取两个地区中华绒螯蟹肌肉、肝胰腺和性腺湿样各0.1 g(精确到0.001 g)。利用三氯乙酸(TCA, 5%)提取样品中的游离氨基酸(FAA)^[16]。经有机滤膜过滤,柱前PITC衍生化1h后,高效液相色谱仪(HPLC)测定分析。

色谱柱为Eclipse XDB-C18 (4.6 mm×150 mm, 5 μm),流动相A为0.1 mol/L醋酸钠(HAC)和乙腈(97:3, v/v, pH 6.5),流动相B为80%乙腈的水溶液^[17],样品以0.5 mL/min的流速梯度洗脱。游离氨基酸的呈味特征判别参照刘新等^[18]的研究。

和总类胡萝卜素测定 虾青素的提取过程在避光和冰浴条件下参照Tolasa等^[19,20]的方法进行。HPLC测定,色谱柱为Agilent ZORBAX SB-C18 (4.6×250 mm),流动相乙酸乙酯:80%甲醇=1:1,流速1 mL/min,检测波长470 nm,柱温为室温,进样体积10 μL。

总类胡萝卜素的提取过程参照Johnston等^[21]的方法进行,用酶标仪在波长478 nm处检测总类胡萝卜素的含量。

抗氧化酶酶活测定 称取肌肉、肝胰腺和性腺组织各0.1 g,按照南京建成生物工程研究所试剂盒说明书进行操作分析,分别测定组织中的超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、过氧化氢酶(CAT)和组织总蛋白含量(TP)水平。

DNA甲基化检测 提取肌肉、肝胰腺和性腺组织的DNA,稀释样本量为100 ng。按照Methyl-Flash™甲基化DNA定量试剂盒说明书进行检测操作,通过酶标仪在450 nm处读取吸光度,计算样本中5-mC的含量。

统计分析 所有数据均采用平均值±标准差(SD)的形式表示。使用SPSS 29.0.1.0软件中独立样本 t 检验(Independent samples t -test)比较组间游离氨基酸差异,使用GraphPad Prism 10.1.1软件中单因素方差分析(ANOVA)比较组间抗氧化酶酶活、虾青素和类胡萝卜素含量及5-mC甲基化数据差异, $P<0.05$ 表示组间存在显著性差异。

2 结果

2.1 组织系数分析

池塘蟹(YC)和稻田蟹(PJ)组织系数如图1所示。在两种养殖模式下蟹的HSI无显著差异,但稻田蟹GSI高于池塘蟹,且雌蟹中GSI差异极显著($P<0.01$);另外,稻田蟹中MY和TEY均极显著高于池塘蟹($P<0.01$),但CF无显著差异($P>0.05$)。

2.2 游离氨基酸组成分析

两种养殖模式下的中华绒螯蟹的可食用部位共检测到18种FAAs(表1),其中多种FAAs含量差异显著。稻田蟹肝胰腺和性腺中的总游离氨基酸(TFAA)含量均高于池塘蟹,其中肝胰腺中的差异最大。池塘蟹中呈味氨基酸的含量顺序为甜味(46.90%)>苦味(35.94%)>鲜味(9.58%),稻田蟹呈味

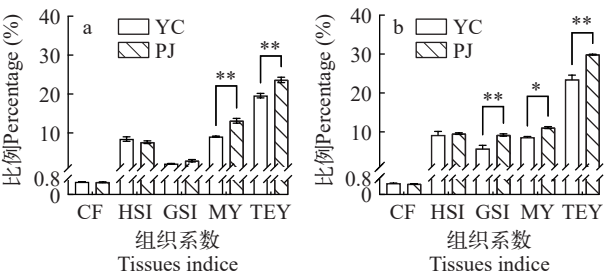


图1 江苏阳澄湖地区(YC)和辽宁盘锦地区(PJ)中华绒螯蟹可食部分组织系数和肥满度比较

Fig. 1 Comparison of tissue coefficient and condition factor of *E. sinensis* in Yangcheng Lake of Jiangsu Province and Panjin of Liaoning Province

HSI. 肝胰腺指数; GSI. 性腺指数; MY. 出肉率; TEY. 总可食率; CF. 肥满度; a. 雄; b. 雌

HSI. hepatosomatic index; GSI. gonadosomatic index; MY. meat yield; TEY. total edible yield; CF. condition factor. a. male; b. female

氨基酸含量顺序为甜味(44.25%)>苦味(39.63%)>鲜味(8.72%)。从氨基酸风味上看,两种蟹的甜味氨基酸(SFAA)和苦味氨基酸(BFAA)占比差异明显。由此可见,养殖模式的不同可能是河蟹风味产生差异的原因之一。

2.3 类胡萝卜素和虾青素含量比较

池塘蟹和稻田蟹的肝胰腺和卵巢中的类胡萝卜素含量(mg/kg)比较结果如图2所示:在两种养殖模式下,河蟹肝胰腺和卵巢中的类胡萝卜素含量差异极显著($P<0.01$),且池塘蟹显著高于稻田蟹;而雌蟹各组织中类胡萝卜素含量差异极显著($P<0.01$)。另外稻田蟹卵巢中虾青素含量高于池塘蟹,但差异不显著($P>0.05$)。

2.4 抗氧化酶活性分析

图3为不同养殖模式下中华绒螯蟹可食用部位抗氧化指标的差异情况。其中,雄蟹肝胰腺和雌蟹

表1 江苏阳澄湖地区和辽宁盘锦地区中华绒螯蟹可食用部位游离氨基酸组成

Tab. 1 The free amino acid composition of edible parts of *E. sinensis* in Yangcheng Lake of Jiangsu Province and Panjin of Liaoning Province (mg/kg)

氨基酸 Amino acid	特征 滋味 Taste attribute ^[22]	雄蟹蟹肉 Male crab meat		雌蟹蟹肉 Female crab meat		雄蟹肝胰腺 Male crab hepatopancreas		雌蟹肝胰腺 Female crab hepatopancreas		雄蟹精巢 Testis		雌蟹卵巢 Ovary	
		阳澄湖地区 Yang-cheng Lake		盘锦地区 Panjin		阳澄湖地区 Yang-cheng Lake		盘锦地区 Panjin		阳澄湖地区 Yang-cheng Lake		盘锦地区 Panjin	
		阳澄湖地区 Yang-cheng Lake	盘锦地区 Panjin	阳澄湖地区 Yang-cheng Lake	盘锦地区 Panjin	阳澄湖地区 Yang-cheng Lake	盘锦地区 Panjin	阳澄湖地区 Yang-cheng Lake	盘锦地区 Panjin	阳澄湖地区 Yang-cheng Lake	盘锦地区 Panjin	阳澄湖地区 Yang-cheng Lake	盘锦地区 Panjin
天冬氨酸 Asp	鲜/酸 Umami/ Sourness (+)	70.49±0.82	82.78±0.64	63.76±0.59	64.34±0.65	67.28±0.62	74.27±0.77	80.36±0.91	73.66±0.76	82.47±1.05 ^{ab}	62.87±0.71 ^b	110.79±0.63 ^a	107.42±0.72 ^{ab}
谷氨酸 Glu	鲜/酸 Umami/ Sourness (+)	142.52±1.23	122.79±1.47	154.48±1.47	141.45±1.47	108.78±0.99	138.49±1.41	151.01±1.61	147.35±1.41	128.17±1.87 ^a	127.82±1.30 ^a	180.74±1.38 ^b	118.93±1.58 ^a
丝氨酸 Ser	甜 Sweet (+)	194.90±1.21	119.61±0.94	96.41±1.36	138.69±0.96	94.19±0.96	98.62±1.09	105.91±1.04	98.06±0.98	98.87±1.10	94.46±0.94	103.68±0.96	98.14±0.98
丙氨酸 Ala	甜 Sweet (+)	194.28±1.86	168.64±1.73	167.76±1.45	144.38±1.67	211.68±2.11	155.01±1.54	148.13±1.49	155.05±1.60	132.85±1.53 ^{ab}	113.58±1.12 ^a	165.01±1.59 ^b	159.17±1.43 ^{ab}
甘氨酸 Gly	甜 Sweet (+)	282.83±2.08 ^{ab}	218.41±2.81 ^a	298.91±1.91 ^b	190.43±2.72 ^a	135.01±1.35	189.51±1.91	138.09±1.39	186.45±1.89	133.34±1.41	147.48±1.47	140.49±2.89	141.14±1.84
苏氨酸 Thr	甜 Sweet (+)	177.78±1.16 ^a	115.77±1.78 ^{ab}	238.35±1.63 ^{ab}	164.68±2.40 ^b	134.98±1.34	184.11±1.89	142.84±1.42	169.81±1.98	136.95±1.69 ^{ab}	126.42±1.25 ^b	178.59±2.32 ^a	123.29±1.94 ^b
苯丙氨酸 Phe	苦 Bitter (-)	131.03±1.33	135.91±1.33	134.93±1.36	135.74±0.36	135.06±1.42	134.82±1.35	144.65±1.44	133.33±1.12	127.39±1.51	137.82±1.27	132.06±1.34	157.67±1.33
异亮氨酸 Ile	苦 Bitter (-)	106.01±1.08	107.63±1.71	105.21±1.33	104.59±1.56	104.95±1.44	107.06±1.87	105.55±1.86	104.83±1.51	104.17±1.31	125.47±1.06	108.15±1.05	128.84±1.05
亮氨酸 Leu	苦 Bitter (-)	123.54±1.29	123.41±2.21	124.03±2.23	122.84±1.25	124.32±0.24	125.69±1.69	124.33±1.34	124.03±1.42	122.56±1.23	133.69±1.24	123.39±1.24	135.91±1.24
组氨酸 His	苦 Bitter (-)	122.68±2.09 ^a	210.15±1.18 ^{ab}	151.59±1.56 ^b	116.27±1.49 ^{ab}	112.77±1.14 ^a	206.39±2.05 ^b	115.87±1.18 ^a	197.97±2.03 ^b	110.79±2.32 ^a	131.29±1.23 ^{ab}	132.05±1.45 ^b	171.45±2.06 ^{ab}
酪氨酸 Tyr	苦 Bitter (-)	101.05±1.04	104.77±1.32	103.56±0.99	99.47±1.02	103.09±1.01	126.09±1.22	112.95±1.02	129.28±1.26	102.02±0.96 ^a	129.25±1.02 ^a	105.19±1.18 ^a	161.17±1.26 ^b
色氨酸 Trp	苦 Bitter (-)	139.27±1.32	133.65±1.40	139.46±1.35	136.01±1.39	128.35±1.27	147.00±1.38	140.25±1.91	140.91±1.36	127.17±1.39	135.83±1.01	137.68±1.43	137.67±1.43
精氨酸 Arg	苦/甜 Bitter/ Sweet (+)	151.97±1.44	158.64±1.42	167.79±0.80	88.29±1.84	96.26±0.85 ^a	152.99±1.42 ^{ab}	223.96±1.89 ^b	149.49±1.35 ^a	120.87±2.15 ^a	133.03±1.19 ^a	223.61±1.65 ^b	261.65±1.58 ^b
缬氨酸 Val	甜/苦 Sweet/ Bitter (+)	114.23±1.26	116.20±1.45	113.26±1.03	112.23±1.19	113.29±1.12	118.04±1.58	114.61±1.33	114.46±1.04	112.11±1.10	112.55±0.12	112.36±1.43	113.12±1.66

续表 1

氨基酸 Amino acid	特征 滋味 attribute ^[22]	雄蟹蟹肉 Male crab meat		雌蟹蟹肉 Female crab meat		雄蟹肝胰腺 Male crab hepatopancreas		雌蟹肝胰腺 Female crab hepatopancreas		雄蟹精巢 Testis		雌蟹卵巢 Ovary	
		阳澄湖 地区 Yang- cheng Lake	盘锦 地区 Panjin	阳澄湖 地区 Yang- cheng Lake	盘锦 地区 Panjin	阳澄湖 地区 Yang- cheng Lake	盘锦 地区 Panjin	阳澄湖 地区 Yang- cheng Lake	盘锦 地区 Panjin	阳澄湖 地区 Yang- cheng Lake	盘锦 地区 Panjin	阳澄湖 地区 Yang- cheng Lake	盘锦 地区 Panjin
甲硫氨酸 Met	苦/甜/硫 Bitter/ Sweet/ Sulfurous (-)	109.90± 1.15	145.14± 1.12	105.87± 1.10	109.24± 1.06	107.88± 2.06	151.31± 1.12	111.39± 1.22	210.20± 1.09	106.84± 1.04	119.98± 1.89	109.08± 0.23	113.15± 1.09
脯氨酸 Pro	甜/苦 Sweet/ Bitter (+)	206.92± 2.90 ^a	295.96± 2.03 ^{ab}	242.75± 1.99 ^b	198.55± 1.17 ^{ab}	199.51± 2.02	171.33± 1.81	188.61± 1.13	219.99± 1.50	118.59± 1.32 ^a	118.01± 2.90 ^a	149.47± 2.61 ^a	301.44± 2.52 ^b
谷氨酰胺 Gln	/	52.17± 0.58	57.83± 0.52	53.26± 0.52	55.62± 0.56	57.21± 0.94	65.49± 1.65	65.88± 0.97	66.72± 0.55	65.90± 1.40 ^{ab}	54.49± 0.35 ^a	105.97± 0.55 ^b	76.14± 0.63 ^{ab}
天冬酰胺 Asn	/	112.05± 1.36	134.71± 1.12	124.09± 1.21	110.92± 1.10	105.59± 1.11	112.28± 1.12	104.84± 1.05	110.22± 1.04	103.39± 1.13	106.67± 1.33	110.82± 1.88	121.91± 1.12
	鲜味氨 基酸 (Umami FAA)	213.01± 0.57	205.58± 0.51	218.24± 2.02	205.79± 1.07	176.07± 1.15	212.76± 1.12	231.37± 1.13	221.01± 1.13	210.64± 1.15 ^a	190.69± 1.10 ^a	291.53± 1.57 ^b	226.35± 1.57 ^a
	甜味氨 基酸 (Sweet FAA)	1322.92± 3.03 ^b	1193.24± 1.13 ^a	1325.23± 0.54 ^b	1037.26± 2.61 ^c	984.93± 1.98 ^a	1069.61± 1.59 ^b	1062.14± 1.93 ^{ab}	1093.29± 0.72 ^b	853.59± 1.59 ^a	845.54± 1.19 ^a	1073.21± 1.41 ^b	1197.96± 1.41 ^c
	苦味氨 基酸 (Bitter FAA)	833.46± 1.35 ^a	960.66± 2.13 ^b	864.67± 1.25 ^b	824.16± 0.55 ^{ab}	816.42± 0.63 ^a	998.38± 0.68 ^b	854.99± 0.65 ^a	1040.54± 1.14 ^b	800.93± 1.18 ^a	913.33± 0.55 ^a	847.60± 1.24 ^b	1005.86± 1.24 ^b
总氨基酸 (TAA)		2533.61± 2.95 ^a	2552.02± 2.71 ^b	2585.49± 2.08 ^c	2233.75± 2.11 ^a	2140.22± 2.06 ^a	2458.53± 2.14 ^b	2319.23± 2.05 ^c	2531.78± 3.58 ^b	2034.44± 2.70 ^a	2110.72± 2.61 ^a	2429.12± 3.34 ^b	2628.23± 2.35 ^c

注：雌蟹或雄蟹的同行数据中含有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)
Note: Values in the same row with different letter mean significant difference in the female or male crabs ($P<0.05$)

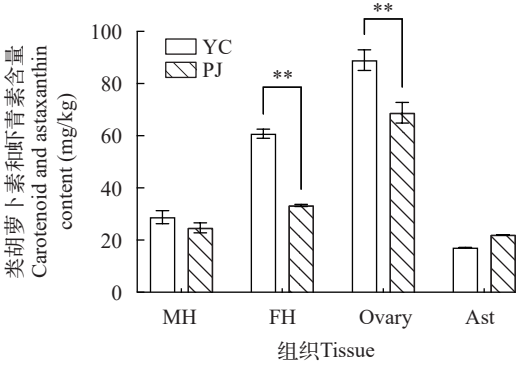


图2 江苏阳澄湖(YC)和辽宁盘锦(PJ)中华绒螯蟹部分组织类胡萝卜素和虾青素含量比较

Fig. 2 Comparison of carotenoid and astaxanthin content in tissues of *E. sinensis* in Yangcheng Lake of Jiangsu Province and Panjin of Liaoning Province

MH. 雄蟹肝胰腺; FH. 雌蟹肝胰腺; Ovary. 卵巢; Ast. 虾青素
MH. Male crab hepatopancreas; FH. Female crab hepatopancreas; Ovary; Ast. Astaxanthin

肌肉中的MDA ($P<0.01$) 含量和SOD ($P<0.05$) 活性差异显著(图 3a和3b), 但其他组织中无显著性差异($P>0.05$)。而各组织中CAT活性, 没有因养殖模

式的不同, 而呈现显著性差异($P>0.05$; 图 3c)。

2.5 DNA甲基化水平

图 4为不同养殖模式下中华绒螯蟹可食用部位DNA甲基化水平(5-mC) 的差异情况。结果显示, 在两种养殖模式下, 稻田蟹雄蟹肝胰腺、雌蟹肝胰腺和卵巢中5-mC含量显著高于池塘蟹($P<0.01$), 而池塘雌蟹肌肉中5-mC含量显著高于稻田蟹($P<0.01$)。

3 讨论

3.1 组织系数和可食率

肝胰腺、性腺和肌肉是中华绒螯蟹重要的可食用部位, 三者所占比例是评价河蟹质量的重要指标^[6, 23]。其中, 性腺发育的质量直接影响中华绒螯蟹的营养价值和经济价值^[24]。在本研究中, 无论雌雄, 稻田蟹GSI均高于池塘蟹, 且卵巢的组织系数差异显著($P<0.01$), 有可能表明稻田里更适合河蟹的生长。水稻可为中华绒螯蟹提供天然饵料、净化水质、增加溶氧, 并营造良好的生态环境^[25], 同时也可起到夏季降温遮光的作用, 从而缓减河蟹因高温导致的性早熟问题, 是提高中华绒螯蟹品质和产量的重要环境因素^[26]。

此外,气候对中华绒螯蟹的成熟有着不可忽视的影响^[27]。阳澄湖位于长江流域,气候温暖,而盘锦位于北回归线以北,四季分明,冬日凛冽。两地全年温差在2—13℃,由于北方入冬早,降温快,螃蟹会尽早储存能量,北方蟹相对于南方蟹更早成熟上市,可能是导致两地雌蟹卵巢指数差异的重要原因之一^[26]。

肝胰腺指数(HSI)和性腺指数(GSI)的关系十分密切^[28],有研究表明,雌蟹HSI和GSI呈负相关^[29]。肝胰腺是甲壳动物重要的营养物质储存器官,类似于昆虫的脂肪体和脊椎动物的脂肪组织和肝脏。

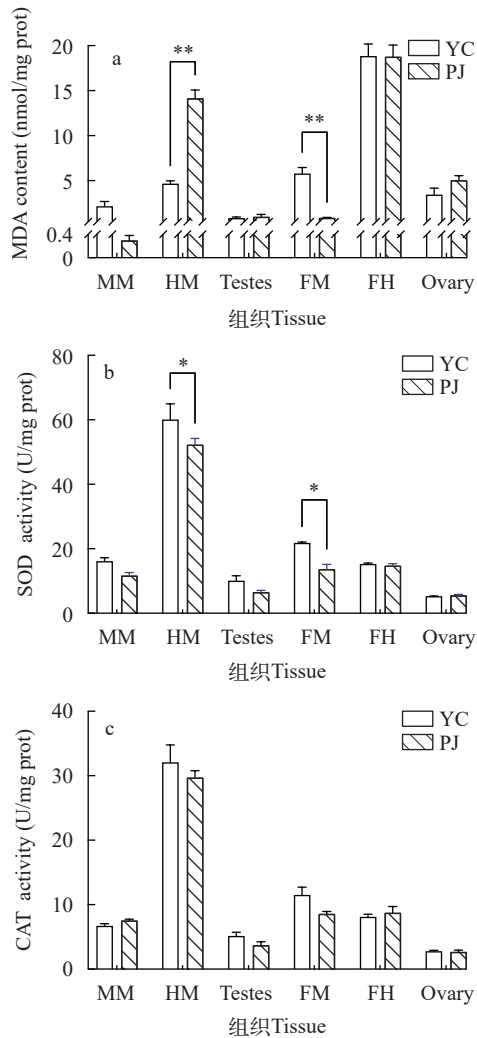


图3 江苏阳澄湖(YC)和辽宁盘锦(PJ)中华绒螯蟹可食用部位抗氧化酶活性比较

Fig. 3 Comparison of activity of antioxidant enzymes in edible parts of *E. sinensis* in Yangcheng Lake of Jiangsu Province and Panjin of Liaoning Province

MM. 雄蟹肌肉; MH. 雄蟹肝胰腺; Testes. 精巢; FM. 雌蟹肌肉; FH. 雌蟹肝胰腺; Ovary. 卵巢

a. 丙二醛Malondialdehyde (MDA); b. 超氧化物歧化酶Super Oxide Dismutase (SOD); c. 过氧化氢酶Catalase (CAT)

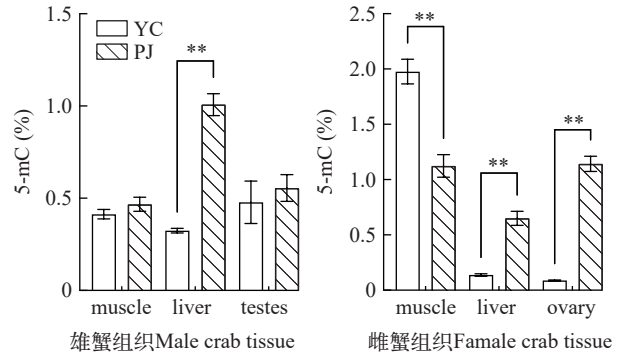


图4 江苏阳澄湖(YC)和辽宁盘锦(PJ)中华绒螯蟹可食用部位5-mC含量比较

Fig. 4 Comparison of 5-mC content in edible parts of *E. sinensis* in Yangcheng Lake of Jiangsu Province and Panjin of Liaoning Province

Muscle. 肌肉; Liver. 肝胰腺; Testes. 精巢; Ovary. 卵巢

a. 雄蟹male crab; b. 雌蟹female crab

当卵巢快速发育时,营养物质会从肝胰腺转移到卵巢,促进生长发育^[30]。在两种养殖模式下,河蟹HSI指数无显著差异,且均高于GSI,可能是由于两种养殖模式均能提供充足的营养物质,保证河蟹正常生长发育。另外,螃蟹的肥满度(CF)和总可食率(TEY)是衡量其经济价值和繁殖性能的基本生物学指标^[31]。朱顺清等^[32]对中华绒螯蟹质量标准评价体系进行了完善。一般来说,规格大于150 g, CF大于0.5的中华绒螯蟹属于优质河蟹,另外,雄蟹规格大于250 g, CF大于0.65,雌蟹规格在165 g以上, CF大于0.58,则为特级河蟹。本研究中的稻田蟹和池塘蟹规格均在150 g以上, CF指标均高于0.5,其中雄蟹规格均大于200 g, CF指标高于0.6。这表明稻田养殖模式和池塘养殖模式均能生产出高质量的商品蟹。

出肉率(MY)是影响总可食率(TEY)的一个重要因素。在本研究中,稻田蟹MY和TEY都高于池塘蟹,均有显著差异($P < 0.05$)。有研究表明,养殖环境中的活动空间起着至关重要的作用^[33]。中华绒螯蟹活动频繁且好斗,较大的活动空间可以帮助其适应环境,也能增加存活率。而狭小的栖息地会给河蟹带来压力,从而降低其摄食率。相对于池塘蟹,稻田蟹在垂直尺度上的活动范围更广,可以通过攀爬水稻秸秆抢夺栖息地躲避同类相残,使得四肢和螯较为发达^[34]。这可能是稻田蟹出肉率较高的原因。另外,日照对中华绒螯蟹的活动也有促进作用^[35]。据国家气象局统计数据,盘锦地区2022年全年晴天近163d,约占全年44.6%,日照充足。虽然盘锦地区纬度较高,太阳辐射较弱,但充足的日照时长保证了水稻的生长和蟹所需的水温,北方低温的影响也被降到最低。日照好,有利于提升水温;

水温高,有利于中华绒螯蟹摄食,增强体质,使中华绒螯蟹的蜕壳和成熟更加顺利^[36]。

3.2 游离氨基酸的组成

氨基酸是维持机体正常生长和发育的基本结构,也是合成生物体内蛋白质的原料,其含量与组成是衡量食物营养价值和风味的重要指标^[37]。在本研究中,池塘蟹肌肉和卵巢中鲜味氨基酸(UFAA)和甜味氨基酸(SFAA)含量均显著高于稻田蟹,这可能是池塘蟹的滋味更多地表现为鲜甜的原因之一^[38]。而稻田蟹各组织中苦味氨基酸(BFAA)含量均高于池塘蟹,肝胰腺尤为显著(雄蟹40.61%、雌蟹41.10%,池塘蟹约为37.51%)。从总氨基酸(TAA)含量上看,两种养殖模式下的蟹肌肉TAA无显著差异,但稻田蟹肝胰腺和性腺中TAA含量显著高于池塘蟹。

一些含量较高的游离氨基酸是影响中华绒螯蟹风味的主要因素^[39]。实验结果可以看出谷氨酸(Glu)、天冬氨酸(Asp)是主要的UFAA。丝氨酸(Ser)、丙氨酸(Ala)、甘氨酸(Gly)、苏氨酸(Thr)、脯氨酸(Pro)、精氨酸(Arg)则是主要的SFAA。Glu是所有呈味氨基酸中鲜味最强的氨基酸,具备较高的营养价值^[40]。两种养殖模式中华绒螯蟹的UFAA含量差异显著,其中池塘蟹性腺中UFAA含量(11.17%)远高于稻田蟹(8.82%)。在SFAA中,Gly和Ala对水产品的鲜味和甜味有重要贡献,且Gly可减少苦味及其他不好的滋味^[41]。它们约占河蟹SFAA总量的50%以上,其甜味可使蟹肌肉更接近于大众口味^[42]。另外,虽然Arg具有苦味,但是大量的Arg在风味体系中有提升鲜味和口感的作用^[43],大量研究证实其在水产品整体滋味中的贡献巨大,而且表现为积极的正相关。这些游离氨基酸间复杂的相互作用共同构成了河蟹的独特风味^[44]。总体来看,两种养殖模式河蟹中部分游离氨基酸的含量差异较大,说明池塘蟹和稻田蟹在氨基酸代谢方面是不同的。

3.3 类胡萝卜素和虾青素

色泽是中华绒螯蟹感官评价和色泽品质评价重要指标之一,其组织色泽很大程度上取决于壳、肝胰腺和卵巢中类胡萝卜素的含量和种类^[45]。实验结果表明,池塘蟹肝胰腺和卵巢中的类胡萝卜素含量均高于稻田蟹,其中雌蟹肝胰腺和卵巢差异极显著($P<0.01$),但虾青素(Ast)含量无显著差异。这说明池塘蟹能表现出更好的色泽品质。甲壳动物不能从头合成类胡萝卜素,但是可以从食物中吸收类胡萝卜素为自身所用,因此类胡萝卜素的含量受环境和饵料影响较大^[46]。有研究表明,养殖环境中微藻类和大型水生植物的生物多样性会直接或间

接影响养殖河蟹中类胡萝卜素的含量^[7]。由于稻田中水生植物的种类固定,缺乏类胡萝卜素的“生产者”,虽然水稻等谷物也能合成类胡萝卜素,但产量有限^[47]。池塘中含有丰富的微藻,在适宜的环境中能够快速生长并合成大量类胡萝卜素,还能增强中华绒螯蟹的色素沉着并满足其营养需求^[48]。因而推测水体中的微藻可能会对池塘蟹的类胡萝卜素含量产生影响。

此外,本研究结果发现,中华绒螯蟹卵巢中类胡萝卜素的含量显著高于肝胰腺。这是由于在中华绒螯蟹卵巢成熟的过程中,积累在肝胰腺中的类胡萝卜素会通过血淋巴转移到卵巢中优先保证卵巢中类胡萝卜素的需要^[49]。此外,中华绒螯蟹在类胡萝卜素需求和代谢方面可能存在性别差异,雌蟹在肝胰腺中的类胡萝卜素含量明显高于雄蟹。这可能是雌蟹卵巢发育对类胡萝卜素的需求量大导致的。有研究表明,雌蟹的膳食Ast需求量明显高于雄蟹^[50]。

3.4 抗氧化酶活性

维持生物体复杂的免疫系统需要多种类型的抗氧化酶,CAT、SOD、MDA被认为是检测生物体抗氧化能力的重要指标^[51],它们构成了针对过氧自由基的酶防御机制的第一道防线,以保护机体免受环境压力造成的氧化损害^[52]。实验结果表明,在不同养殖模式下,所测定的中华绒螯蟹仅雄蟹肝胰腺和雌蟹肌肉SOD活性、MDA含量有显著差异($P<0.05$),其他组织均无抗氧化酶差异($P>0.05$)。这说明中华绒螯蟹处于稳定的养殖环境中,抗氧化酶的活性维持在一定范围内。

3.5 DNA甲基化水平

DNA甲基化修饰的动态调控机制被认为是甲壳动物适应环境变化的关键^[53-55]。Baldanzi等^[56]研究发现智利海带蟹(*Talipes dentatus*)卵中的DNA甲基化水平随着纬度的增加而提高;Vogt等^[57]比较了德国南部穆斯韦赫湖野生的和实验室暂养的大理石纹小龙虾(*Procambarus virginalis*),发现两种环境下的小龙虾种群在表型性状和DNA甲基化方面表现出巨大差异。Wang等^[58]发现日本囊对虾(*Macrobrachium japonicum*)在空气暴露12h后,鳃的总DNA甲基化水平显著提高,同时也显著影响与新陈代谢相关的组织和器官的甲基化率。

本实验结果表明,除雄蟹肌肉和精巢外,两种养殖模式下中华绒螯蟹5-mC含量差异极显著($P<0.01$),且稻田蟹DNA甲基化水平均高于池塘蟹,说明DNA甲基化水平的差异可能与养殖模式有关。DNA甲基化在抑制基因表达方面起着至关重要的

作用, 本研究发现5-mC的水平和类胡萝卜素的含量呈反比关系, 推测DNA甲基化可能会通过调控蟹生长发育相关基因的表达来介导类胡萝卜素在组织中的沉积和转移, 进而影响蟹的色泽品质。当然, 环境因素也可以介导DNA甲基化参与风味物质的合成, 比如番茄和桃在受到冷应激会导致DNA甲基化波动, 影响风味合成相关基因的表达, 从而降低其风味品质^[59, 60]。但DNA甲基化是如何影响中华绒螯蟹的营养与风味的形成, 具体影响机制还需要进一步的研究。

4 结论

综上所述, 两种养殖模式下的中华绒螯蟹CF、Ast含量和抗氧化能力接近, 表明这两种养殖模式均能够为河蟹生长提供优良的环境; 但可食用部位的组织系数、游离氨基酸、类胡萝卜素含量呈显著差异, 则表明在两种养殖模式下, 河蟹的风味有所不同; 此外, 各组织中DNA甲基化水平呈显著差异, 由此推测, 不同的养殖模式可能通过影响DNA甲基化水平, 调控相关基因的表达, 进而导致风味与品质产生差异。但具体哪些基因发生DNA甲基化的改变, 又影响哪些基因的表达以及如何影响表达, 还需要进一步地研究。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Pan J, Wu R, Wu X, *et al.* Impacts of different feeding modes on the gonadal development, total edible yield, and nutritional composition of male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2020(6): 300-307.
- [2] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China Fishery Statistical Yearbook-2022 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022. [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会编制. 中国渔业统计年鉴-2022 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.]
- [3] Xin W, Phillip M T, Qi Y. Comparison of the growth performance and nutritional qualities of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) with different stocking densities in rice-crab culture systems [J]. *Aquaculture Reports*, 2021(20): 100761.
- [4] Bao J, Jiang H, Li X. Thirty years of rice-crab coculture in China-research progress and prospects [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2022, 14(3): 1597-1612.
- [5] Wang X K, Qu B, Ai A, *et al.* The advantages, existing problems and development suggestions of crab culture in Panjin rice field [J]. *Journal of Aquaculture*, 2022, 43(3): 78-80. [王炫凯, 曲宝成, 艾孜买提·阿合麦提, 等. 盘锦稻田养蟹的优点、存在问题及发展建议 [J]. *水产养殖*, 2022, 43(3): 78-80.]
- [6] Wu X, Cheng Y, Sui L, *et al.* Biochemical composition of pond-reared and lake-stocked Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock [J]. *Aquaculture Research*, 2007, 38(14): 1459-1467.
- [7] Kong L, Cai C, Ye Y, *et al.* Comparison of non-volatile compounds and sensory characteristics of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) reared in lakes and ponds: potential environmental factors [J]. *Journal of Aquaculture*, 2012(364/365): 96-102.
- [8] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Food Chemistry*, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [9] Long X W, Wu X G, Zhao L, *et al.* Effects of dietary supplementation with *Haematococcus pluvialis* cell powder on coloration, ovarian development and antioxidant capacity of adult female Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Aquaculture*, 2017(473): 545-553.
- [10] Zhang J Q, Zhang L, Wang X. Effects of rice culture and pond culture on the quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(13): 229-236. [张家奇, 张龙, 王锡昌. 稻田养殖和池塘养殖对中华绒螯蟹滋味品质的影响 [J]. *食品工业科技*, 2017, 38(13): 229-236.]
- [11] Zhao L L, Long Y N, Zhang L J, *et al.* Effects of paddy field and pond culture on intestinal microbiota, immune capacity and muscle free amino acids of *Eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(6): 1404-1412. [赵柳兰, 龙亚男, 张乐纪, 等. 稻田和池塘养殖模式对中华绒螯蟹肠道菌群、免疫酶活及肌肉游离氨基酸的影响 [J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(6): 1404-1412.]
- [12] Yang S S, Zhu S C, Zhang D D, *et al.* Effects of two feeding modes on the culture performance and physiological metabolism of juvenile Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) reared in rice fields [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2023, 44(4): 188-200. [杨帅帅, 朱筛成, 张冬冬, 等. 2种饵料模式对稻田养殖中华绒螯蟹幼蟹养殖性能和生理代谢的影响 [J]. *渔业科学进展*, 2023, 44(4): 188-200.]
- [13] Mei J, Liang X, Yu Y, *et al.* The comparison and analysis of nutritional qualities of Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) in rice field and pond culture modes [J]. *Journal of Food Chemistry*, 2023(20): 100937.
- [14] Cao J X, Zhang H P, Du L X. Influence of environmental factors on DNA methylation [J]. *Hereditas*, 2013, 35(7): 839-846. [曹家雪, 张红平, 杜立新. 环境因素对DNA甲基化的影响 [J]. *遗传*, 2013, 35(7): 839-846.]
- [15] Fusco A, Raia T, Oiticello M, *et al.* The complex interplay

- between DNA methylation and miRNAs in gene expression regulation [J]. *Biochimie*, 2020(173): 12-16.
- [16] Konosu S, Watanabe K, Shimizu T. Distribution of nitrogenous constituents in the muscle extracts of eight species of fish [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1974, **40**(9): 909-915.
- [17] Bai J, Fan Y, Zhu L, *et al.* Characteristic flavor of Antarctic krill (*Euphausia superba*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) induced by thermal treatment [J]. *Journal of Food Chemistry*, 2022(378): 132074.
- [18] Liu X, Liu Z F, Zhang Y, *et al.* Taste characteristics analysis of compound umami products based on free amino acids and sensory evaluation of umami taste [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, **44**(7): 287-293. [刘新, 刘政芳, 张彦, 等. 基于游离氨基酸和感官鲜度评价的复合鲜味产品的呈味特征分析 [J]. 食品工业科技, 2023, **44**(7): 287-293.]
- [19] Tolasa S, Cakli S, Ostermeyer U. Determination of astaxanthin and canthaxanthin in salmonid [J]. *European Food Research and Technology*, 2005, **221**(6): 787-791.
- [20] Chien Y H, Shiau W C. The effects of dietary supplementation of algae and synthetic astaxanthin on body astaxanthin, survival, growth, and low dissolved oxygen stress resistance of kuruma prawn, *Marsupenaeus japonicus* Bate [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2005, **318**(2): 201-211.
- [21] Johnston I A, Alderson R, Sandham C, *et al.* Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. *Journal of Aquaculture*, 2000, **189**(3/4): 335-349.
- [22] Bachmanov A A, Bosak N P, Glendinning J I, *et al.* Genetics of amino acid taste and appetite [J]. *Advances in Nutrition*, 2016, **7**(4): 806S-822S.
- [23] Kause A, Ritola O, Paananen T, *et al.* Coupling body weight and its composition: a quantitative genetic analysis in rainbow trout [J]. *Journal of Aquaculture*, 2002, **211**(1/2/3/4): 65-79.
- [24] Wu X, Zhou B, Cheng Y, *et al.* Comparison of gender differences in biochemical composition and nutritional value of various edible parts of the blue swimmer crab [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, **23**(2): 154-159.
- [25] Li X H. Utilization of aquatic plants in shrimp and crab culture [J]. *Journal of Aquaculture*, 2010, **31**(3): 20-22. [李兴辉. 水草在虾蟹养殖中的利用 [J]. 水产养殖, 2010, **31**(3): 20-22.]
- [26] Shi D T, Xu X, Chen X M. Relationship between adult growth of *Eriocheir sinensis* and main meteorological factors [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, **41**(4): 226-228. [时冬头, 许祥, 陈贤明. 中华绒螯蟹成蟹生长与主要气象因素的关系 [J]. 江苏农业科学, 2013, **41**(4): 226-228.]
- [27] Li J N, He Z W, Yin Z W. Study on meteorological service indicators of Qilihai river crab cultured in paddy field [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2023, **29**(10): 29-36. [李静楠, 何忠伟, 尹紫薇. 七里海河蟹稻田养殖气象服务指标研究 [J]. 天津农业科学, 2023, **29**(10): 29-36.]
- [28] Wen X, Chen L, Ai C, *et al.* Variation in lipid composition of Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis* during ovarian maturation [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B, Biochemistry & Molecular Biology*, 2001, **130**(1): 95-104.
- [29] Wu C, Shan J F, Zhou H L, *et al.* Changes in growth and nutritional quality of male *Eriocheir sinensis* in different hoarding time in northern Jiangsu [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, **35**(3): 1870-1882. [吴春, 单金峰, 周翰林, 等. 苏北地区不同暂养阶段雄性中华绒螯蟹生长性能和营养品质的变化分析 [J]. 动物营养学报, 2023, **35**(3): 1870-1882.]
- [30] Aaqillah-Amr M A, Hidir A, Noordiyana M N, *et al.* Morphological, biochemical and histological analysis of mud crab ovary and hepatopancreas at different stages of development [J]. *Animal reproduction science*, 2018(195): 274-283.
- [31] Chavez-Crooker P, Pozo P, Castro H, *et al.* Cellular localization of calcium, heavy metals, and metallothionein in lobster (*Homarus americanus*) hepatopancreas [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2003, **136**(3): 213-224.
- [32] Zhu Q S, Bai R F. Intrinsic quality comparison of cultured crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, **24**(3): 463-438. [朱清顺, 柏如发. 养殖中华绒螯蟹风味品质比较研究 [J]. 中国农学通报, 2008, **24**(3): 463-438.]
- [33] Shiyu Y, Shuang M, Qing X, *et al.* Effects of different habitat space on growth performance and nutritional composition of swimming crabs (*Portunus trituberculatus*) [J]. *Aquaculture Research*, 2023, 1307590.
- [34] Zhao X, Xiong L H. Plant-climbing behavior of a mudflat crab, *Chiromantes neglectum* in 24 hour duration at phragmites-dominated tidal marsh in Changjiang River Estuary [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, **51**(3): 423-433. [赵鑫, 熊李虎. 隐秘螳臂相手蟹攀爬芦苇行为的昼夜变化 [J]. 动物学杂志, 2016, **51**(3): 423-433.]
- [35] Wang Z G. The study on genetic diversity of red shell *Eriocheir sinensis* [D]. Dalian: Dalian Ocean University. 2018. [王正光. 红壳色中华绒螯蟹遗传多样性的研究 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2018, 41-43.]
- [36] Zhang D L, Li J, Xue Z P, *et al.* Characteristics of daily water temperature change in protected fish pond in winter and spring and its statistical models with environmental air temperature [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2010, **26**(1): 60-64. [张德林, 李军, 薛正平, 等. 设施鱼塘冬春季水温日变化特点及其与外界气温的统计模式 [J]. 上海农业学报, 2010, **26**(1): 60-64.]
- [37] Zhao H Y, Chen Z, Xu H F, *et al.* Muscular nutritional

- components and texture profile of marine cultured and fresh water cultured Guam red tilapia (*Oreochromis* spp.) [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, **49**(7): 1396-1402. [赵何勇, 陈诏, 徐鸿飞, 等. 海水和淡水养殖关岛红罗非鱼肌肉营养成分及品质特性分析 [J]. *南方农业学报*, 2018, **49**(7): 1396-1402.]
- [38] Song L L, Gao J C, Shao N L, *et al.* Effects of overwintering cultivation on nutritional quality and flavor of female *Eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2021, **30**(5): 800-811. [宋黎黎, 高建操, 邵乃麟, 等. 越冬暂养对雌性中华绒螯蟹的营养品质及风味的影响 [J]. *上海海洋大学学报*, 2021, **30**(5): 800-811.]
- [39] Zhang R, Jiang Y, Zhou L, *et al.* Effects of dietary yeast extract supplementation on growth, body composition, non-specific immunity, and antioxidant status of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019(86): 1019-1025.
- [40] Wang S H, Cheng Y X, Shi L Y, *et al.* A comparative study of edible yield and quality in adult Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in different periods of autumn [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, **27**(10): 1196-1209. [王世会, 成永旭, 石连玉, 等. 秋季不同时期上市中华绒螯蟹可食率和品质比较 [J]. *中国水产科学*, 2020, **27**(10): 1196-1209.]
- [41] Wu H C, Shiau C. Proximate composition, Free amino acids and peptides contents in commercial chicken and other meat essences [J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2020(10): 8.
- [42] Wu N, Fu X, Zhuang K, *et al.* Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on proximate composition and odor profile of hepatopancreas and gonad of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, **43**(10): e12646.
- [43] Dermiki M, Phanphensophon N, Mottram D S, *et al.* Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavour of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat [J]. *Journal of Food Chemistry*, 2013, **141**(1): 77-83.
- [44] Sarower M G, Farah A M, Biswas B, *et al.* Taste producing components in fish and fisheries products: a review [J]. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 2012, **2**: 113-121.
- [45] Zhang D D, Fan C W, Jiang X D, *et al.* Comparison of edible yield, carotenoid content and nutritional composition between the white carapace strain and green carapace strain of adult *Eriocheir sinensis* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, **47**(9): 122-134. [张冬冬, 范陈伟, 姜晓东, 等. 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系成蟹可食率、类胡萝卜素含量和营养组成的比较 [J]. *水产学报*, 2023, **47**(9): 122-134.]
- [46] Wade N, Gabaudan J, Glencross B. A review of carotenoid utilisation and function in crustacean aquaculture [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2017, **9**(2): 141-156.
- [47] Ren Y, Sun H, Deng J, *et al.* F Carotenoid production from microalgae: biosynthesis, salinity responses and novel biotechnologies [J]. *Marine Drugs*, 2021, **19**(12): 713.
- [48] Zhai S, Xia X, He Z. Carotenoids in staple cereals: metabolism, regulation, and genetic manipulation [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016(7): 1197.
- [49] Harlioğlu M M, Farhadi A. Factors affecting the reproductive efficiency in crayfish: implications for aquaculture [J]. *Aquaculture Research*, 2017, **48**(5): 1983-1997.
- [50] Li Q, Zu L, Cheng Y, *et al.* Carapace color affects carotenoid composition and nutritional quality of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *LWT*, 2020(126): 109286.
- [51] Li Z Q. Effects of temperature variation on physiological function of *Eriocheir sinensis* [D]. Heilongjiang: Northeast Agricultural University. 2023. [李志强. 温度变化对中华绒螯蟹生理功能的影响 [D]. 黑龙江: 东北农业大学, 2023, 57-58.]
- [52] Ye G X, Wang Y, Li X, *et al.* The antioxidant levels and antioxidant enzyme activity in the tissues of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) stocked in the different culture environments [J]. *Fishery in Hebei*, 2015(10): 1-4. [叶桂焯, 王禹, 李翔, 等. 不同养殖环境中的中华绒螯蟹组织抗氧化剂水平和抗氧化酶活力 [J]. *河北渔业*, 2015(10): 1-4.]
- [53] Metzger D C H, Schulte P M. Persistent and plastic effects of temperature on DNA methylation across the genome of threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) [J]. *Proceedings Biological Sciences*, 2017, **284**(1864): 20171667.
- [54] Wang W, Zhao X, Pan Y, *et al.* DNA methylation changes detected by methylation-sensitive amplified polymorphism in two contrasting rice genotypes under salt stress [J]. *Journal of Genetics and Genomics*, 2011, **38**(9): 419-424.
- [55] Putnam H M, Davidson J M, Gates R D. Ocean acidification influences host DNA methylation and phenotypic plasticity in environmentally susceptible corals [J]. *Evolutionary Applications*, 2016, **9**(9): 1165-1178.
- [56] Baldanzi S, Saldías G S, Vargas C A, *et al.* Long term environmental variability modulates the epigenetics of maternal traits of kelp crabs in the coast of Chile [J]. *Scientific Reports*, 2022, **12**(1): 18806.
- [57] Vogt G. Studying phenotypic variation and DNA methylation across development, ecology and evolution in the clonal marbled crayfish: a paradigm for investigating epigenotype-phenotype relationships in macro-invertebrates [J]. *The Science of Nature*, 2022, **109**(1): 16.
- [58] Wang P, Wang J, Su Y, *et al.* Air exposure affects physiological responses, innate immunity, apoptosis and DNA methylation of kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus*

- [J]. *Frontiers in Physiology*, 2020(11): 223.
- [59] Lang Z, Wang Y, Tang K, *et al.* Critical roles of DNA demethylation in the activation of ripening-induced genes and inhibition of ripening-repressed genes in tomato fruit [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, **114**(22): E4511-E4519.
- [60] Zhang B, Tieman D M, Jiao C, *et al.* Chilling-induced tomato flavor loss is associated with altered volatile synthesis and transient changes in DNA methylation [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, **113**(44): 12580-12585.

DIFFERENT CULTURE MODES ON QUALITY OF *ERIOCHEIR SINENSIS*

JIN Xin, CHENG Run Qiang, ZHANG Di, GENG Chang Sheng and LI Ye

(School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China)

Abstract: In order to explore the effects of different culture modes on the quality of *Eriocheir sinensis*, commonly known as Chinese mitten crabs, specimens (referred to as pond crab and paddy crab) were collected from the Yangcheng Lake area and the Panjin area, respectively. Their tissue coefficient, total availability, free amino acid composition, carotenoid content, antioxidant enzyme activity, and DNA methylation level were compared. The results showed that the gonadal index (GSI), meat yield (MY), and total availability (TEY) of paddy crab exceeded those of pond crab. MY and TEY exhibited significant differences between the two crab samples ($P < 0.01$). The pond crab displayed higher levels of sweet and umami amino acids, while the paddy crab exhibited a higher total amino acid content. Carotenoids levels in the hepatopancreas and ovaries of pond crabs were notably higher than those in paddy crab, with significant variations observed in female crab tissues ($P < 0.01$). Levels of malondialdehyde (MDA) in the hepatopancreas of male crab and muscle tissues of female crabs under both culture methods differed significantly ($P < 0.01$), as did superoxide dismutase (SOD) activity ($P < 0.05$). Catalase activity exhibited significant differences in various tissues ($P > 0.05$), while catalase (CAT) activity did not. In addition, DNA methylation levels in different *E. sinensis* tissues varied significantly under the two culture modes. The results indicated that different farming patterns combined with climatic factors had significant effects on the total availability, free amino acid content, and DNA methylation level of *E. sinensis*. The significant differences in DNA methylation levels resulted in differential expression of gene expression, indicating that different farming patterns contribute to variations in crab quality.

Key words: Free amino acids; Antioxidant enzymes; Carotenoids; DNA methylation; *Eriocheir sinensis*