

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16129

中华绒螯蟹池塘套养与温室养殖的中华鳖雄体生物学指数和营养成分比较

龙晓文¹, 吴仁福¹, 麻楠¹, 李才平², 吴旭干^{1,3}, 成永旭^{1,3}

1. 上海海洋大学 农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;
2. 新沂市佳成生态养殖有限公司, 江苏 新沂 221400;
3. 上海海洋大学 上海市教委水产动物遗传育种协同创新中心, 上海 201306

摘要: 分别取中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)池塘套养和温室养殖中华鳖(*Trionyx sinensis*)雄体(分别简称为“套养鳖”和“温室鳖”)各5只, 解剖取四肢肌肉、裙边和肝脏, 分析和比较两种鳖的生物学指数, 可食组织常规营养成分、氨基酸含量和脂肪酸组成的差异。结果显示: (1)温室鳖裙边指数(SI)和肝体比(HSI)均显著高于套养鳖($P<0.05$)。 (2)套养鳖肌肉灰分和裙边水分含量均显著高于温室鳖, 而裙边蛋白含量则以温室鳖较高($P<0.01$), 套养鳖和温室鳖其余常规营养成分均无显著差异($P>0.05$)。 (3)温室鳖肌肉和裙边中的大部分氨基酸、总必需氨基酸(Σ EAA)和总氨基酸(TAA)含量显著高于套养鳖, 半胱氨酸含量及EAA/TAA以套养鳖较高($P<0.05$); 套养鳖和温室鳖肌肉和裙边中的必需氨基酸评分(EAAS)较为接近, 而EAAS平均值以套养鳖较高。 (4)温室鳖肌肉C_{18:1n9}、C_{18:1n7}及单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)总量显著高于套养鳖, 而C_{22:6n3}、总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)、 Σ n-3PUFA、总高度不饱和脂肪酸(Σ HUFA)含量及n-3/n-6以套养鳖较高($P<0.05$); 就裙边而言, 除温室鳖C_{17:0}和C_{20:2n6}含量显著高于套养鳖外($P<0.05$), 其余脂肪酸含量均无显著差异($P>0.05$)。 综上可见, 中华鳖在两种养殖模式下均具有较高的营养价值。

关键词: 中华鳖; 雄体; 河蟹池塘套养; 温室养殖; 生物学指数; 营养成分

中图分类号: S966

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)01-0100-09

中华鳖(*Trionyx sinensis*)俗称甲鱼、团鱼, 是中国特种水产养殖品种之一, 因其肉味鲜美、营养丰富和较高的药用价值而深受消费者的喜爱, 市场需求旺盛^[1-3], 据统计, 中国2014年的中华鳖养殖产量近34万t^[4]。由于中华鳖野生资源有限, 不能满足日益增长的市场需求, 因此促使了中华鳖养殖业的快速发展, 目前已经建立和形成的养殖方式主要有温室养殖(温室鳖)、池塘主养(池塘鳖)和池塘套养(套养鳖)^[2, 5-6]。随着人民生活水平的提高, 中华鳖的营养品质已成为消费者关心的问题^[1, 6], 已有大量研究报道了野生、温室和

池塘养殖中华鳖营养成分和风味品质的差异^[7-10]。

池塘套养中华鳖是一种新型的养殖模式, 养殖过程中通常不给中华鳖投喂专用饲料, 而令其捕食患病或活力较弱的鱼、虾、蟹等淡水活饵, 因此可防止疾病传播和提高主养品种的成活率, 从而起到生物防控的作用^[11]。中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*, 俗称河蟹)养殖池塘套养的中华鳖, 通常放养密度低, 水质相对较好, 因此中华鳖的外观和口感较好, 且市场售价较高, 从而增加了养殖综合经济效益。近年来中华绒螯蟹池塘套养中华鳖的养殖面积在不断扩大^[12]。温室养殖是目前中

收稿日期: 2016-04-18; 修订日期: 2016-05-31.

基金项目: 科技部港澳台科技合作专项项目(2014DFT30270); 江苏省科技厅苏北科技发展计划项目(BN2013007); 崇明县科技攻关和推广项目(CK2015-21, CKT2014-04).

作者简介: 龙晓文(1985-), 男, 博士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究. E-mail: longxiaowen123@sina.com

通信作者: 吴旭干, 副教授, 硕士生导师. E-mail: xgwu@shou.edu.cn

中华鳖主要的养殖方式, 投喂配合饲料, 中华鳖生长速度快、产量高, 价格相对便宜^[2, 13]。但迄今未见中华绒螯蟹池塘套养中华鳖与温室鳖在生物学指数和营养组成差异的相关报道。鉴于此, 本研究分析比较了中华绒螯蟹池塘套养与温室养殖中华鳖雄体的生物学指数、肌肉和裙边中的常规营养成分、氨基酸含量和脂肪酸组成, 以期为其养殖方法优化和品质调控提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

中华绒螯蟹池塘套养的中华鳖(以下简称套养鳖)取自上海海洋大学崇明养殖基地, 每个池塘面积为 2000 m² 左右, 池塘内种植伊乐藻供中华绒螯蟹隐蔽, 伊乐藻株距为 1.5 m, 行距为 2 m, 池塘四周设置防逃网, 防止不同池塘中华绒螯蟹混杂; 6 月初每个池塘套养 30 只中华鳖, 平均规格为 200~300 g(前期在温室中进行养殖), 养殖时间从 6 月至 11 月, 养殖过程中仅给中华绒螯蟹投喂专用配合饲料。温室养殖的中华鳖(以下简称温室鳖)取自浙江桐庐专业养殖户, 养殖期间采用锅炉加热的室内恒温养殖模式, 每个水泥池面积为 30 m² 左右, 5 月中旬放养平均规格为 50 g 的幼鳖, 放养密度为 20 只/m², 养殖过程中主要投喂天邦牌中华鳖配合饲料, 日投喂量按中华鳖总体重的 2%~3% 计算, 每天投喂两次(7:00 和 17:00), 投喂量分别为日投喂量的 40% 和 60%, 养殖时间从 5 月至 11 月; 温室鳖与中华绒螯蟹饲料的主要营养成分见表 1(分别记为饲料 A 和饲料 B)。于 2014 年 11 月分别取 5 只(取自 2 个池塘, 每个池塘分别为 2 和 3 只)体重接近的 1 龄雄性套养鳖[体重(546.77±26.22) g] 和雄性温室鳖[体重(461.98±47.05) g], 活体运送到上海海洋大学营养繁殖实验室用于后续实验。解剖前用乙醚将实验鳖麻醉昏迷, 用干毛巾擦去体表水分并称重, 然后解剖取四肢肌肉、裙边和肝脏称重, 计算裙边指数(soft apron index, SI=裙边重/体重×100%) 和肝体比(hepatosomatic index, HSI=肝脏重/体重×100%), 然后将所有样品放入自封袋中于-40℃ 冰箱中保存。由于肌肉和裙边是中华鳖最主要的食用部

位^[14], 故本研究测定了肌肉和裙边的营养成分。

表 1 实验中华鳖与中华绒螯蟹饲料营养成分及脂肪酸组成(风干基础)

Tab. 1 Proximate nutrient contents and fatty acid composition in experimental diets of *Trionyx sinensis* and *Eriocheir sinensis* (air-dry basis)

项目 item	饲料 A diet A	饲料 B diet B	%
常规营养成分 proximate composition			
水分 moisture	5.34	11.36	
粗蛋白 crude protein	47.65	36.57	
总脂 total lipid	2.92	13.98	
灰分 ash	12.31	9.04	
脂肪酸 fatty acids			
C _{14:0}	3.06	2.00	
C _{15:0}	0.54	0.36	
C _{16:0}	20.95	15.66	
C _{17:0}	0.62	0.49	
C _{18:0}	6.02	6.80	
C _{23:0}	0.91	0.08	
C _{24:0}	0.50	0.23	
Σ SFA	32.39	26.50	
C _{16:1}	2.77	2.86	
C _{18:1n9}	12.32	19.31	
C _{18:1n7}	1.73	2.41	
C _{22:1n9}	2.37	0.76	
Σ MUFA	19.29	26.49	
C _{18:2n6}	11.57	23.39	
C _{18:3n3}	1.60	3.60	
C _{20:2n6}	1.69	0.24	
C _{20:4n6}	1.06	0.69	
C _{20:5n3}	6.03	4.09	
C _{22:6n3}	19.53	9.59	
Σ PUFA	41.34	43.61	
n-3PUFA	27.28	18.90	
n-6PUFA	13.81	24.50	
Σ HUFA	26.20	15.24	

注: SFA 表示饱和脂肪酸; MUFA 表示单不饱和脂肪酸; PUFA 表示多不饱和脂肪酸; HUFA 表示高度不饱和脂肪酸。

Note: SFA means saturated fatty acid; MUFA means monounsaturated fatty acid; PUFA means polyunsaturated fatty acids; HUFA means highly unsaturated fatty acids.

1.2 实验方法

1.2.1 常规营养成分分析 根据 AOAC^[15] 的方法, 测定中华鳖样品中的水分(105℃ 烘干法)、粗

蛋白(凯氏定氮法)和粗灰分(550℃灼烧法)含量;参考 Folch^[16]的方法,采用氯仿:甲醇(V/V=2:1)溶液提取样品中的总脂并测定其含量,每个样品重复测定 5 次。

1.2.2 氨基酸分析 参考 Chen 等^[17]的方法,样品经盐酸水解后,用日立 835-50 氨基酸自动分析仪进行测定。样品经氢氧化钠水解后,采用液相色谱法进行色氨酸测定。参考 Spindler 等^[18]的方法,采用过甲酸氧化水解法测定甲硫氨酸和半胱氨酸含量。按照 FAO/WHO/UNU^[19]方法进行必需氨基酸分(essential amino acid score, EAAS)计算,EAAS=100×样品中必需氨基酸含量/FAO 参考蛋白中必需氨基酸含量。

1.2.3 脂肪酸组成分析 脂肪酸分析参考吴旭干等^[20]的方法,采用 14%的三氟化硼-甲醇(V/V)溶液对总脂进行甲酯化处理,使用美国 Thermo TRACE GC ULTRA 气相色谱仪进行测定。色谱柱为 Agilent SP-2560 毛细管柱(100 m×0.25 mm; 0.2 μm), 50℃/min 由 70℃升至 140℃,保持 1 min, 4℃/min 升到 180℃,保持 1 min,最后 3℃/min 升至 225℃,保持 30 min。

1.3 数据处理

采用 SPSS13.0 软件对数据进行统计分析,数据以平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示。采用 Levene 法进行方差齐性检验,当数据不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或者平方根处理,用独立样本 *t* 检验进行显著性分析, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 套养鳖和温室鳖雄体的生物学指数和常规营养成分

套养鳖和温室鳖雄体的生物学指数和营养成分见表 2。温室鳖裙边指数(SI)和肝体比(HSI)均显著高于套养鳖($P < 0.05$)。套养鳖肌肉灰分含量显著高于温室鳖($P < 0.01$),套养鳖和温室鳖肌肉水分、粗蛋白和粗脂肪含量均无显著差异($P > 0.05$);套养鳖裙边中的水分含量显著高于温室鳖($P < 0.05$),蛋白质含量以温室鳖最高($P < 0.01$),两种鳖裙边粗脂肪和粗灰分含量均无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 套养鳖和温室鳖雄体的生物学指数和常规营养成分(湿重基础)

Tab. 2 Comparison of biological indexes and proximate composition of male *Trionyx sinensis* reared in greenhouse and eco-pond for *Eriocheir sinensis* (wet weight basis)

项目 item	n=5; $\bar{x} \pm SD$; %	
	套养鳖 eco-pond reared	温室鳖 greenhouse reared
数量 number	5	5
裙边指数/% soft apron index	2.61±0.33	3.27±0.08*
肝体比/% hepatosomatic index	2.66±0.53	4.33±0.46*
肌肉 muscle		
水分 moisture	80.20±0.98	79.63±1.14
粗蛋白 crude protein	15.79±0.57	16.68±0.78
粗脂肪 crude lipid	0.69±0.05	0.68±0.04
粗灰分 crude ash	1.36±0.07**	0.93±0.05
裙边 soft apron		
水分 moisture	81.47±1.92*	76.16±1.00
粗蛋白 crude protein	15.84±1.73	21.15±0.63**
粗脂肪 crude lipid	0.28±0.04	0.38±0.07
粗灰分 crude ash	0.48±0.07	0.40±0.01

注: *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异极显著($P < 0.01$)。

Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$); ** indicates extremely significant difference ($P < 0.01$).

2.2 套养鳖和温室鳖雄体肌肉和裙边中的氨基酸含量

由表 3 所示,肌肉的必需氨基酸中,除了套养鳖半胱氨酸(Cys)含量显著高于温室鳖外,其余必需氨基酸和总必需氨基酸(Σ EAA)含量均以温室鳖最高($P < 0.05$);就肌肉非必需氨基酸而言,除组氨酸(His)和脯氨酸(Phe)含量无显著差异外,其余非必需氨基酸和总非必需氨基酸(Σ NEAA)含量均以温室鳖最高($P < 0.05$);此外,温室鳖肌肉中的总氨基酸(TAA)含量显著高于套养鳖,而 EAA/TAA 以后者最高($P < 0.05$)。对裙边氨基酸含量而言,除了套养鳖半胱氨酸含量和 EAA/TAA 显著高于温室鳖外,其余必需氨基酸、 Σ EAA、非必需氨基酸、 Σ NEAA 和 TAA 均以温室鳖最高($P < 0.05$)。

由表 4 所示,肌肉必需氨基酸评分(EAAS)中,除色氨酸(Trp)评分小于 100 外,其余必需氨基酸评分均大于 100;套养鳖肌肉蛋氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)和色氨酸(Trp)评分略高于温室鳖,其

余必需氨基酸评分及 EAAS 平均值均以温室鳖最高。就裙边 EAAS 而言, 除 Met+Cys 评分大于 100 外, 其余 EAAS 均小于 100, 且大部分 EAAS 及 EAAS 平均值以套养鳖最高。

表 3 套养鳖和温室鳖雄体的肌肉和裙边中氨基酸含量比较(湿重基础)

Tab. 3 Comparison of amino acids composition in muscle and soft apron of male *Trionyx sinensis* reared in greenhouse and eco-pond for *Eriocheir sinensis* (wet weight basis)

$n=5; \bar{x} \pm SD; \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

氨基酸 amino acid	肌肉 muscle		裙边 soft apron	
	套养鳖 eco-pond reared	温室鳖 greenhouse reared	套养鳖 eco-pond reared	温室鳖 greenhouse reared
异亮氨酸 Ile	7.39±0.31	8.11±0.30*	3.67±0.00	4.77±0.16**
亮氨酸 Leu	12.65±0.47	13.76±0.55*	6.95±0.03	9.12±0.37**
赖氨酸 Lys	14.58±0.51	16.29±0.70**	6.36±0.01	8.57±0.28**
蛋氨酸 Met	4.25±0.05	4.61±0.26*	2.01±0.01	2.68±0.20*
半胱氨酸 Cys	6.98±0.03**	5.01±0.00	6.28±0.04**	5.16±0.04
苯丙氨酸 Phe	6.47±0.24	6.98±0.25*	4.25±0.05	5.64±0.17**
酪氨酸 Tyr	5.53±0.17	6.05±0.28*	3.86±0.08	4.72±0.30*
苏氨酸 Thr	7.25±0.27	7.78±0.27*	4.55±0.01	5.98±0.20**
缬氨酸 Val	7.49±0.32	8.18±0.29*	5.07±0.03	6.40±0.24**
色氨酸 Trp	1.51±0.00	1.54±0.00**	0.67±0.00	0.72±0.00**
ΣEAA	74.09±1.67	78.30±2.05	43.67±0.18	53.76±1.89**
天冬氨酸 Asp	14.70±0.52	15.88±0.61*	9.68±0.01	13.24±0.44**
丝氨酸 Ser	6.22±0.17	6.74±0.29*	6.46±0.06	9.02±0.39**
谷氨酸 Glu	24.65±1.03	27.08±1.02*	15.33±0.02	21.80±0.71**
甘氨酸 Gly	6.41±0.18	6.88±0.26*	18.74±0.01	30.70±1.12**
丙氨酸 Ala	8.34±0.28	9.17±0.35*	8.59±0.07	13.50±0.44**
组氨酸 His	4.96±0.22	5.11±0.24	1.75±0.01	2.20±0.03**
精氨酸 Arg	9.63±0.31	10.49±0.38*	9.02±0.02	13.76±0.46**
脯氨酸 Pro	5.41±0.28	5.53±0.10	10.69±0.05	16.75±0.30**
ΣNEAA	80.33±2.12	86.87±2.31*	80.27±0.03	120.99±3.88**
TAA	154.42±3.81	165.17±4.35*	123.94±0.21	174.75±5.76**
EAA/TAA	0.48±0.00**	0.47±0.00	0.35±0.00**	0.31±0.00

注: ΣEAA 表示总必需氨基酸; ΣNEAA 表示总非必需氨基酸; TAA 表示总氨基酸. *表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$).

Note: ΣEAA means total essential amino acids; ΣNEAA means total non-essential amino acids; TAA means total amino acids. * indicates significant difference ($P<0.05$); ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

表 4 套养鳖和温室鳖雄体肌肉和裙边中的必需氨基酸评分

Tab. 4 The essential amino acids score (EAAS) of muscle and soft apron of male *Trionyx sinensis* reared in greenhouse and eco-pond for *Eriocheir sinensis*

必需氨基酸 essential amino acids	肌肉 muscle		裙边 soft apron	
	套养鳖 eco-pond reared	温室鳖 greenhouse reared	套养鳖 eco-pond reared	温室鳖 greenhouse reared
异亮氨酸 Ile	167	174	83	80
亮氨酸 Leu	121	125	66	65
赖氨酸 Lys	159	168	69	70
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+ Cys	284	231	209	148
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe + Tyr	121	124	81	78
苏氨酸 Thr	135	137	85	83
缬氨酸 Val	135	140	91	86
色氨酸 Trp	87	84	38	31
平均值 mean	151	148	90	80

注: EAAS=100×样品中某必需氨基酸含量/FAO 参考蛋白中必需氨基酸含量(FAO/WHO/UNU, 1985).

Note: EAAS=100×one essential amino acid content in sample/one essential amino acid content in FAO reference protein (FAO/WHO/UNU, 1985).

2.3 套养蟹和温室蟹雄体肌肉和裙边中的脂肪酸组成

套养蟹和温室蟹雄体脂肪酸组成见表 5。两种蟹肌肉中的各种饱和脂肪酸和总饱和脂肪酸 (Σ SFA) 含量均无显著差异 ($P>0.05$); 肌肉单不饱和脂肪酸中, 温室蟹肌肉 $C_{18:1n9}$ 、 $C_{18:1n7}$ 及单不饱和脂肪酸总量 (Σ MUFA) 显著高于套养蟹 ($P<0.05$), 而其余单不饱和脂肪酸含量均无显著差异 ($P>0.05$); 肌肉多不饱和脂肪酸中, 套养蟹 $C_{22:6n3}$ 、总多不饱和脂肪酸 (Σ PUFA)、 Σ n-3PUFA、总高度不饱和脂肪酸 (Σ HUFA) 含量及 n-3/n-6 显著高于

温室蟹 ($P<0.05$), 而两者其余多不饱和脂肪酸含量及 DHA/EPA 均无显著差异。除温室蟹 $C_{17:0}$ 和 $C_{20:2n6}$ 含量显著高于套养蟹外 ($P<0.05$), 其余脂肪酸含量均无显著差异 ($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 套养蟹和温室蟹雄体生物学指数和常规营养成分的比较

裙边属于中华蟹的主要可食部位之一, 裙边比例的大小与其食用价值密切相关^[21]。本研究中, 温室蟹裙边指数显著高于套养蟹, 这与冒树泉等^[21]

表 5 套养蟹和温室蟹雄体肌肉和裙边中的脂肪酸组成(占总脂肪酸百分比)

Tab. 5 Comparison of fatty acid composition in muscle and soft apron of male *Trionyx sinensis* reared in greenhouse and eco-pond for *Eriocheir sinensis* (by weight of total fatty acids)

$n=5$; $\bar{x} \pm SD$; %

脂肪酸 fatty acid	肌肉 muscle		裙边 soft apron	
	套养蟹 eco-pond reared	温室蟹 greenhouse reared	套养蟹 eco-pond reared	温室蟹 greenhouse reared
$C_{14:0}$	1.50±0.31	1.67±0.20	1.53±0.52	1.39±0.20
$C_{15:0}$	0.42±0.05	0.40±0.04	0.28±0.09	0.35±0.08
$C_{16:0}$	19.13±1.43	20.40±0.99	20.06±1.49	20.61±0.55
$C_{17:0}$	0.55±0.10	0.50±0.09	0.20±0.03	0.29±0.04*
$C_{18:0}$	10.57±0.29	9.45±1.89	9.72±1.12	9.34±0.86
Σ SFA	32.44±0.87	32.77±2.42	32.36±0.79	32.71±0.70
$C_{16:1}$	3.93±0.58	4.90±1.77	3.39±0.50	3.20±0.42
$C_{18:1n9}$	17.62±1.66	26.90±5.16*	21.74±2.02	19.32±2.64
$C_{18:1n7}$	2.67±0.33	4.94±0.52**	4.19±0.83	3.70±0.61
$C_{22:1n9}$	0.27±0.09	0.45±0.09	0.81±0.44	0.83±0.19
$C_{24:1}$	0.59±0.08	0.76±0.20	1.65±0.64	1.85±0.20
Σ MUFA	25.90±2.03	38.19±7.27*	33.34±1.03	29.28±2.70
$C_{18:2n6}$	3.39±0.81	3.70±1.02	5.46±1.78	7.32±1.10
$C_{18:3n3}$	0.80±0.13	0.53±0.14	0.31±0.05	0.23±0.06
$C_{20:2n6}$	0.21±0.06	0.17±0.08	0.25±0.04	0.44±0.10*
$C_{20:4n6}$	7.69±2.04	7.08±1.45	4.84±1.79	3.83±0.92
$C_{20:5n3}$	7.64±2.20	3.90±1.03	5.41±1.34	6.13±1.81
$C_{22:6n3}$	13.33±1.54**	6.80±1.10	6.21±1.66	6.34±1.85
Σ PUFA	31.82±0.83**	22.97±1.80	22.74±3.46	24.63±4.93
Σ n-3PUFA	21.87±2.60**	11.29±1.83	11.93±3.04	12.70±3.44
Σ n-6PUFA	13.06±1.17	11.51±0.57	10.56±1.78	11.50±1.83
n-3/n-6	1.74±0.24*	0.98±0.18	1.16±0.39	1.10±0.24
Σ HUFA	28.98±2.99**	18.10±1.33	16.64±1.51	16.46±3.61
DHA/EPA	1.84±0.53	1.80±0.43	1.14±0.03	1.05±0.20

注: 含量低于 0.5% 的脂肪酸在表中未列出; SFA 表示饱和脂肪酸; MUFA 表示单不饱和脂肪酸; PUFA 表示多不饱和脂肪酸; HUFA 表示高度不饱和脂肪酸。*表示差异显著 ($P<0.05$), **表示差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: The fatty acids less than 0.5% are not listed in the table. SFA means saturated fatty acid; MUFA means monounsaturated fatty acid; PUFA means polyunsaturated fatty acids; HUFA means highly unsaturated fatty acids. * indicates significant difference ($P<0.05$); ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

报道的温室鳖裙边比例较低的结果不同, 分析认为中华鳖在温室养殖条件下, 由于活动空间和活动量较小, 能耗较低。此外温室鳖摄食了富含蛋白质、脂类、糖类等多种营养物质的配合饲料, 促进了其体内营养物质的大量积累, 因此温室鳖肝体比升高^[21-26]。可食组织中的常规营养成分是评价中华鳖可食组织营养价值的重要指标^[27], 套养鳖肌肉粗灰分含量显著高于温室鳖, 裙边蛋白以温室鳖最高, 这与朱秋华等^[28]报道的结果相类似。由于温室鳖养殖过程中, 环境温度适宜, 活动空间小, 活动耗能低, 且摄食高蛋白配合饲料, 因此组织中有较多蛋白的积累^[28]; 与温室鳖相比, 套养鳖主要摄食活力较弱的鱼、虾、蟹等活饵, 营养物质摄入量相对较少, 同时中华鳖在池塘中的活动空间大、池水温差大, 用于活动和抵御不良环境应激的能量消耗相对较高; 此外, 进入 10 月以后池塘水温降低, 中华鳖活动量减少, 停止进食, 逐步进入冬眠, 因此体内的营养物质含量相对低于温室鳖, 与朱秋华等^[28]、钱国英等^[1, 29]的研究结果一致。

3.2 套养鳖和温室鳖雄体氨基酸含量的比较

中华鳖可食组织中的氨基酸组成和含量对其营养价值具有重要的影响^[30]。本研究中, 温室鳖肌肉和裙边中的大部分氨基酸、总必需氨基酸和总氨基酸含量均高于套养鳖, 而 EAA/TAA 以套养鳖最高, 说明不同养殖模式对中华鳖组织中的氨基酸组成造成了影响。温室养殖条件下, 中华鳖摄食高蛋白含量的配合饲料, 且活动能耗较小, 因此其体内有较多蛋白及氨基酸的积累^[1, 11]; 而河蟹池塘套养鳖在养殖过程中通常不给予投喂专用饲料, 以摄食活力较弱的鱼、虾、蟹等淡水活饵为主, 因此摄入的蛋白及氨基酸总量相对较小, 同时套养鳖活动耗能高, 从而其体内营养物质的积累也相应降低。此外, 必需氨基酸评分(EAAS)作为评价蛋白质营养的重要指标, 其值大小直接反映了蛋白质营养价值的高低^[2]。本研究根据 FAO/WHO/UNU^[19]方法对中华鳖组织中的必需氨基酸进行评分, 结果显示, 两种鳖肌肉中的大部分必需氨基酸分均高于 100, 且以温室鳖最高, 说明两种鳖肌肉蛋白营养价值较高; 而裙边中,

大部分必需氨基酸分均小于 100, 这与王广军等^[31]报道的中华鳖群边中较低的 EAAS 结果相一致, 尽管裙边中的蛋白含量相对高于肌肉, 但其蛋白营养价值略低于肌肉。本研究中, 套养鳖肌肉和裙边中的粗蛋白含量低于温室鳖, 但其必需氨基酸评分较高, 分析其原因: 在中华绒螯蟹池塘套养条件下, 中华鳖除了摄食活饵外, 还可能摄食了中华绒螯蟹饲料, 因此食物蛋白和氨基酸来源具有多样性, 从而提高了组织中必需氨基酸的相对含量^[1, 11, 13-14]。

3.3 套养鳖和温室鳖雄体脂肪酸含量的比较

水生动物可食组织中的脂肪酸组成和含量是评价其营养价值和风味的重要指标之一^[32-35]。本研究发现, 温室鳖肌肉中的 $C_{18:1n9}$ 、 $C_{18:1n7}$ 、 $C_{20:1}$ 和单不饱和脂肪酸总量(MUFA)均显著高于套养鳖, 而 $C_{22:6n3}$ (DHA)、 \sum PUFA、 $n-3$ PUFA、 \sum HUFA 均以后者最高, 这与先前报道的温室鳖肌肉中相对较高的 MUFA 含量相一致^[2, 13]。这可能由于在温室养殖条件下, 中华鳖活动空间和活动量较小, 因此活动能耗较低, 从而容易造成中华鳖腹部和四肢肌肉中脂肪的大量积累^[6]; 而在中华绒螯蟹池塘套养条件下, 水环境有温差, 中华鳖活动量较大, 体内脂肪代谢能力强, 脂肪以小滴的形式散布于肌肉中用于提供能量, 因此活动能耗高。在水生动物利用脂肪酸供能的过程中, 单不饱和脂肪酸的利用顺序优先于多不饱和脂肪酸, 因此套养鳖肌肉中的单不饱和脂肪酸含量较低, 而多不饱和脂肪酸含量相对较高^[36-37]。就裙边而言, 除温室鳖 $C_{17:0}$ 和 $C_{20:2n6}$ 含量显著高于套养鳖外, 其余大部分脂肪酸均无显著差异, 说明中华鳖裙边脂肪酸组成较为保守, 不易受到养殖模式的影响, 这可能与中华鳖组织储存脂肪能力的差异性有关^[38], 其具体原因有待进一步研究。

4 结论

分析比较套养鳖和温室鳖雄体的生物学指数和营养成分的结果发现, 温室鳖裙边比例, 肌肉和裙边中的粗蛋白、总氨基酸, 肌肉 $C_{18:1n9}$ 、 $C_{18:1n7}$ 、MUFA 含量高于套养鳖; 而肌肉中 DHA、 \sum PUFA、 $n-3$ PUFA、 \sum HUFA 含量以温室鳖较高, 说明中华鳖在两种养殖模式下均具有较高的营养价值。

参考文献:

- [1] Qian G Y, Zhu Q H. Effects of different growth conditions on nutritional components of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*)[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2001, 23(2): 181-183. [钱国英, 朱秋华. 不同生长条件对中华鳖营养成分的影响[J]. *营养学报*, 2001, 23(2): 181-183.]
- [2] He R, Xie J, Huang S L, et al. Comparison of nutritional composition of Chinese soft-shelled turtles (*Pelodiscus sinensis*) grown in greenhouse and imitative ecological farming conditions[J]. *Food Science*, 2013, 34(13): 234-238. [何蓉, 谢晶, 黄硕琳, 等. 中华鳖在温室养殖、仿生态养殖条件下的营养成分比较研究[J]. *食品科学*, 2013, 34(13): 234-238.]
- [3] Jiangsu New Medical College. A Dictionary of Traditional Chinese Medicine[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishers, 1986: 2722-2727. [江苏新医学院. 中药大辞典(下册)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986: 2722-2727.]
- [4] Fisheries Fishery Administration, Ministry of Agriculture. China Fishery Statistical Yearbook 2015[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015. [农业部渔业渔政管理局. 2015年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.]
- [5] Li Y S, Wang W, Weng Z H. Research and development of light ecological breeding system of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*)[J]. *Fishery Modernization*, 1996(3): 4-7. [李应森, 王武, 翁忠惠. 光明型生态养鳖系统的研究与开发[J]. *渔业机械仪器*, 1996(3): 4-7.]
- [6] Wang L M, Ma X, Wang X Q, et al. Effects of different culture modes on nutrients of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*)[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013, 44(9): 1571-1575. [王璐明, 马晓, 王晓清, 等. 不同养殖模式对中华鳖营养品质的影响[J]. *南方农业学报*, 2013, 44(9): 1571-1575.]
- [7] Zhou F, Li C P, He X, et al. Analysis of volatile compounds in leg muscle from greenhouse and outdoor pond reared of *P. sinensis*, Japanese strain[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 39(1): 293-298. [周凡, 李春萍, 何欣, 等. 温室与外塘养殖下中华鳖日本品系肌肉中挥发性成分的测定[J]. *食品科技*, 2014, 39(1): 293-298.]
- [8] Zhou F, Wang Y, Du J M, et al. Analysis of nutritional composition of greenhouse and outdoor pond reared *Pelodiscus sinensis*, Japanese strain[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2014, 36(2): 201-203. [周凡, 王月, 杜建明, 等. 温室与外塘养殖中华鳖日本品系营养品质成分分析与评价[J]. *营养学报*, 2014, 36(2): 201-203.]
- [9] Fang Y, Guo S D, Wang L P. Research on volatile flavor compounds of Chinese *Trionyx Sinensis* meat and calipash[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2007, 33(6): 111-115. [方燕, 过世东, 王利平. 中华鳖肌肉和裙边挥发性风味成分分析[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(6): 111-115.]
- [10] Weng L P, Chen F D, Wang H H, et al. Investigation on the volatile flavor compounds of *Pelodiscus sinensis* grown in greenhouse by SPME-GC-MS[J]. *The Food Industry*, 2014, 35(12): 266-269. [翁丽萍, 陈飞东, 王宏海, 等. SPME-GC-MS 法分析温室甲鱼中的挥发性风味物质[J]. *食品工业*, 2014, 35(12): 266-269.]
- [11] Hua J Q, Zheng Z M, Chen H H, et al. Technique of 4 polyculture models in *Litopenaeus vannamei* ponds[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2014, 33(5): 455-457. [华建权, 郑忠明, 陈辉煌, 等. 凡纳滨对虾池塘不同混养模式技术的研究[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2014, 33(5): 455-457.]
- [12] Huang H J. A polyculture technology in net-enclosures of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) and Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*)[J]. *Fishery Modernization*, 2004(2): 29. [黄鹤军. 网围河蟹、甲鱼混养技术[J]. *渔业现代化*, 2004(2): 29.]
- [13] Qian G Y, Zhu Q H. The comparison of ecocultural soft-shelled turtle and greenhouse cultural soft-shelled turtle of features[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2002, 37(2): 52-54. [钱国英, 朱秋华. 仿生养殖鳖与温室养殖鳖形态特征的比较[J]. *动物学杂志*, 2002, 37(2): 52-54.]
- [14] Song L P, Mao S Q, Hu B, et al. Study on nutritional composition of bionics and hothouse Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*)[J]. *Feed Industry*, 2013, 34(4): 18-21. [宋理平, 冒树泉, 胡斌, 等. 仿生与温室养殖中华鳖营养成分研究[J]. *饲料工业*, 2013, 34(4): 18-21.]
- [15] AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists[M]. 16th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [16] Folch J, Lee M, Sloane-Stanley G. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. *J Biol Chem*, 1957, 226(1): 497-509.
- [17] Chen D W, Zhang M, Shrestha S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Food Chem*, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [18] Spindler M, Stadler R, Tanner H. Amino acid analysis of feedstuffs: Determination of methionine and cysteine after oxidation with performic acid and hydrolysis[J]. *J Agricult Food Chem*, 1984, 32(6): 1366-1371.
- [19] FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: report of a Joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World health organization technical report series724[R]. Geneva: WHO, 1985.

- [20] Wu X G, Wang Q, Lou B, et al. Effects of fattening period on ovarian development and nutritional quality of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(2): 170–182. [吴旭干, 汪倩, 楼宝, 等. 育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(2): 170–182.]
- [21] Mao S Q, Song L P, Wang A Y, et al. Comparison of physical characteristics and nutritive components of wild, bionics and hothouse *Trionyx sinensis*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(2): 84–88. [冒树泉, 宋理平, 王爱英, 等. 野生、仿生、温室中华鳖形态特征与营养成分的比较研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(2): 84–88.]
- [22] Qin C J, Chen L Q, Li E C, et al. A review: effects of dietary lipid levels on growth and lipid metabolism in fish[J]. Fisheries Science, 2013, 32(8): 485–491. [覃川杰, 陈立侨, 李二超, 等. 饲料脂肪水平对鱼类生长及脂肪代谢的影响[J]. 水产科学, 2013, 32(8): 485–491.]
- [23] Li X F, Tian L X, Niu J, et al. Effects of dietary lipid level on growth performance, body composition and liver histological structure of red drum (*Sciaenops ocellatus*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(11): 3448–3456. [李雪菲, 田丽霞, 牛津, 等. 饲料脂肪水平对美国红鱼生长性能、体组成和肝脏组织结构的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(11): 3448–3456.]
- [24] Jiang L H, Wu H Y, Huang K, et al. Effects of dietary carbohydrate levels on growth performance and liver metabolism functions of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(2): 245–255. [蒋利和, 吴宏玉, 黄凯, 等. 饲料糖水平对吉富罗非鱼幼鱼生长和肝代谢功能的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(2): 245–255.]
- [25] Lin H, Romsos D R, Tack P L, et al. Effects of fasting and feeding various diets hepatic lipogenic enzyme activities in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch* (Walbaum))[J]. J Nutr, 1977, 107(8): 1477–1483.
- [26] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish[J]. Rev Fish Sci, 2003, 11 (4): 337–369.
- [27] Fang Y, Guo S D. Study on the quality of muscle and skirt of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(7): 194–197. [方燕, 过世东. 中华鳖肌肉和裙边基本品质的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(7): 194–197.]
- [28] Zhu Q H, Qian G Y. Nutrients in two different Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*) under different growth conditions[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2001, 23(3): 39–42. [朱秋华, 钱国英. 仿生鳖与温室鳖的营养成分比较[J]. 特产研究, 2001, 23(3): 39–42.]
- [29] Qian G Y, Zhu Q H. Effect of feed on nutrient components of *Trionyx sinensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2002, 26(2): 133–138. [钱国英, 朱秋华. 饲料种类对中华鳖营养成分的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(2): 133–138.]
- [30] Liu Y, Liu C C. A review on nutritional values and health-giving effects of Chinese soft-shell turtle[J]. Acta Agricultural Shanghai, 2010, 26(2): 93–96. [刘彦, 刘承初. 甲鱼的营养价值与保健功效的研究[J]. 上海农业学报, 2010, 26(2): 93–96.]
- [31] Wang G J, Chen P F, Yu D G, et al. Comparison and analysis of nutritional composition in different tissues of Florida soft-shelled turtle (*Apalone ferox*) and Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(11): 350–355. [王广军, 陈鹏飞, 余德光, 等. 佛罗里达鳖与中华鳖不同部位营养成分的比较分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(11): 350–355.]
- [32] Zhan A X. Comparative study on weight proportion of various body parts and chemical compositions of turtles raised in ponds and in green houses[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2001, 16(4): 269–273. [占安秀. 池塘鳖与温室鳖体组成和生化组成的比较研究[J]. 大连水产学院学报, 2001, 16(4): 269–273.]
- [33] Qian G Y, Zhu Q H. Effects of living space on nutrient components of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2003, 27(2): 217–220. [钱国英, 朱秋华. 养殖水体大小对鳖营养成分的影响[J]. 水生生物学报, 2003, 27(2): 217–220.]
- [34] Bing X W, Cai B Y, Wang L P. Evaluation of nutritive quality and nutritional components in *Spinibarbus sinensis* muscle[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(2): 211–215. [炳旭文, 蔡宝玉, 王利平. 中华倒刺鲃肌肉营养成分与品质的评价[J]. 中国水产科学, 2005, 12(2): 211–215.]
- [35] Wang J Y, Miao S Y, Zhang L M, et al. A comparative study on fatty acid composition in different tissues of the wild and cultured *Paralichthys olivaceus* broodstocks[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(5): 748–755. [王际英, 苗淑彦, 张利民, 等. 野生与人工养殖牙鲆亲鱼不同组织脂肪酸的比较[J]. 水产学报, 2012, 36(5): 748–755.]
- [36] Xie X J, Deng L, Zhang B. Advances and studies on eco-physiological effects of starvation on fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 22(2): 181–188. [谢小军, 邓利, 张波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展[J]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181–188.]
- [37] Jezierska B, Hazel J R, Gerking S D. Lipid mobilization during starvation in the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson), with attention to fatty acids[J]. J Fish Boil, 1977, 11(2): 117–124. [Jezierska B, Hazel J R, Gerking S D. 虹鳟鱼在饥饿期间的脂肪动员, 特别关注脂肪酸[J]. 水生生物学报, 1977, 11(2): 117–124.]

1982, 21 (6): 681–692.

[38] Yang G M, Xu H D, Duan X C, et al. Study on the nutritional components of soft-shelled turtle[J]. *Acta Nutrimenta*

Sinica, 2003, 25(4): 443–445. [杨公明, 徐怀德, 段旭昌, 等. 甲鱼营养成分分析研究[J]. *营养学报*, 2003, 25(4): 443–445.]

Comparison of biological indices and nutritional composition of male Chinese soft-shelled turtle, *Trionyx sinensis*, reared in a greenhouse and eco-pond for Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*

LONG Xiaowen¹, WU Renfu¹, MA Nan¹, LI Caiping², WU Xugan^{1,3}, CHENG Yongxu^{1,3}

1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Xinyi Jiacheng Ecological Breeding Co. Ltd., Jiangsu Province, Xinyi 221400, China;
3. Collaborative Innovation Center of Aquatic Animal Breeding Center Certificated by Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Five male greenhouse reared Chinese soft-shelled turtles (*Trionyx sinensis*) (defined as GR) and five male *T. sinensis* from the eco-pond for Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) (defined as ER) were dissected to collect muscle, soft apron and liver. The proximate composition and amino acid and fatty acid contents in edible tissues were determined to investigate differences in biological indices and nutrient composition of edible tissues. The results showed that the soft apron index and hepatosomatic index of GR were significantly higher than those of ER ($P < 0.05$). Muscle crude ash and soft apron moisture contents were significant higher in ER than those in GR ($P < 0.01$), while the higher soft apron protein content was detected for GR, but no differences in any other proximate composition factors were detected between *T. sinensis* in the two environments. The contents of most amino acids, total essential amino acids (\sum EAA), and total amino acids (TAA) in muscle and the soft apron of GR were significantly higher than those of ER ($P < 0.05$), but higher cysteine content and \sum EAA/TAA ratio were found for ER. The muscle and soft apron essential amino acid scores (EAAS) were similar in ER and GR, but higher mean EAAS was observed in ER than that in GR. $C_{18:1n9}$ and $C_{18:1n7}$ fatty acid and total monounsaturated fatty acid contents in muscle were significantly higher in GR than those in ER, but $C_{22:6n3}$, total polyunsaturated fatty acid (\sum PUFA), \sum n-3PUFA, total highly unsaturated fatty acid, and the n-3/n-6 ratio were significant higher in ER than those in GR ($P < 0.05$). Soft apron $C_{17:0}$ and $C_{20:2n6}$ contents were significantly higher in GR than those in ER ($P < 0.05$), but no differences were detected in any of the other fatty acids. These results indicate the high nutritional value of male *T. sinensis* reared in the two environments.

Key words: *Trionyx sinensis*; male; reared in eco-pond for *Eriocheir sinensis*; greenhouse reared; biological indexes; nutritional composition

Corresponding author: WU Xugan. E-mail: xgwu@shou.edu.cn