

不同规格中华绒螯蟹成蟹的形态特征和组织系数比较

解志龙^{1,2}, 姜晓东^{1,2,3}, 范陈伟^{1,2}, 荆晶⁴, 成永旭^{1,2,3}, 吴旭干^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产动物遗传育种上海市协同创新中心, 上海 201306; 4. 上海新弘生态农业有限公司, 上海 202150)

摘要: 为探究中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)成蟹规格与其形态特征及组织系数的关系, 本研究综合运用形态特征量化分析及多元统计分析比较了不同规格中华绒螯蟹(雄体: 100~400 g; 雌体: 50~300 g)的形态特征差异。同时比较了不同规格中华绒螯蟹的性腺指数(Gonadosomatic index, GSI)、肝胰腺指数(Hepatosomatic index, HSI)、出肉率(Meat yield, MY)及总可食率(Total edible yield, TEY)等组织系数差异, 并在此基础上建立中华绒螯蟹体质量、壳长及壳宽等形态参数与其性腺发育状态之间的回归关系。结果表明: (1) 不同规格雄蟹有13个形态特征差异显著, 而雌蟹仅有11个形态特征差异显著, 主要表现为大规格中华绒螯蟹与头胸甲侧面相关形态特征的数值显著较高, 而与头胸甲宽度和步足长度相关形态特征的数值显著较低; (2) 形态特征主成分散点图显示, 不同规格中华绒螯蟹虽有部分个体相互重叠, 但大体可以形成较为集中的区域; (3) 就组织系数而言, 大规格中华绒螯蟹(雄体 ≥ 300 g, 雌体 ≥ 150 g) GSI显著较低, 但HSI、MY及TEY等指标显著较高。综合分析表明, 不同规格中华绒螯蟹的形态特征及组织系数均存在明显差异, 并且中华绒螯蟹规格及头胸甲尺寸与GSI呈显著负相关关系, 研究结果为商品蟹的选购及亲本蟹的挑选提供了理论依据。

关键词: 中华绒螯蟹; 不同规格; 形态学特征; 组织系数; 回归分析

中图分类号: S 966.1 **文献标志码:** A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)具有较高的营养价值和经济价值, 是长江、黄河和辽河等流域的重要养殖对象^[1]。由于中华绒螯蟹长期生存于自然环境和气候特征差异较大的不同流域中, 形态特征往往与各流域的地理条件和栖息环境相适应, 各流域中华绒螯蟹在头胸甲和附肢等部位的形态特征也表现出一定的差异^[2]。得益于形态学研究的简便、直观、低成本及非破坏性采样等优势, 部分研究者已通过形态特征量化分析比较了不同流域或同一流域不同群体中华绒螯蟹的形态特征差异^[3-4], 但目前尚未见不同规格中华绒螯蟹形态特征差异的相关报道。

中华绒螯蟹以肉质鲜嫩、营养丰富、风味独特而深受国内外广大消费者青睐^[5], 组织系数是评价商品蟹营养品质最直观的指标, 主要包括性腺指数、肝胰腺指数、出肉率及总可食率^[6]。通过比较

分析不同规格中华绒螯蟹的组织系数差异, 不仅可以初步解析中华绒螯蟹规格与营养品质的关系, 为消费者的选购提供参考, 而且可以为不同规格中华绒螯蟹配合饲料的开发提供基础资料和理论依据。研究表明, 中华绒螯蟹亲本的营养水平会影响其生殖性能及苗种质量^[7], 而组织中营养物质的积累情况可以通过组织系数的大小得到体现^[8], 因此不同规格中华绒螯蟹组织系数的差异情况还可以为中华绒螯蟹亲本规格的确定提供科学依据。目前有关不同规格中华绒螯蟹的研究, 主要集中于生殖性能和胚胎质量评估^[9]、繁育效果评估^[10-11]及子代生长性能评估^[12]等方面, 而中华绒螯蟹规格与营养质量的关系至今尚未见报道。

鉴于此, 本研究分别探究中华绒螯蟹成体规格与其形态特征和组织系数的关系, 并在此基础

收稿日期: 2022-11-02 修回日期: 2023-01-11

基金项目: 科技部蓝色粮仓项目(2018YFD0900103); 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-48); 上海市崇明区“可持续发展科技创新行动计划”项目(CK2022-37); 浙江省长兴县科技局2021年度“揭榜挂帅”农业科技攻关项目(2022N13)

作者简介: 解志龙(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为蟹类营养饲料和生态养殖。E-mail: bif_zlxie@163.com

通信作者: 吴旭干, E-mail: xgwu@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

上建立中华绒螯蟹体质量、壳长及壳宽等形态参数与其性腺发育状态之间的回归关系,以期为商品蟹和亲本蟹的挑选提供数据支撑,同时为大规模中华绒螯蟹的养殖生产及遗传选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

2021年11月26—29日在江苏省常州市金坛区指前镇智能化渔场的一个保种池塘(长×宽×深=80 m×40 m×1.8 m)内进行实验用蟹的采集工作,采样前一天在池塘内放置10条地笼,所有地笼起捕后放置暂养池内进行统一挑选。由于中华绒螯蟹雌雄个体在生长性状方面存在明显的性别二态性,表现为雄体的生长速度及最终规格均显著大于雌体,因此本实验以50 g作为规格间隔,雌雄个体的规格分别为50~300 g和100~400 g,具体的规格区间如表1所示。每种规格每个性别随机采集性成熟、肢体齐全、体质肥壮且活力较好的中华绒螯蟹10只。

表1 不同规格中华绒螯蟹样品采集信息
Tab. 1 Sampling information of cultured *E. sinensis* collected from different body mass

规格 Sizes	体质量 Body mass/g	
	雄体 Male	雌体 Female
50 g	-	55.96±8.91
100 g	103.53±7.56	104.05±5.25
150 g	158.55±15.33	144.14±14.18
200 g	203.31±8.34	198.42±15.34
250 g	273.24±16.74	251.12±16.40
300 g	304.80±11.35	295.44±12.76
350 g	351.80±10.95	-
400 g	395.17±18.00	-

1.2 组织系数和形态特征测定

采集的中华绒螯蟹室内暂养1 d后,用干毛巾擦干体表水分,使用电子天平(精确至0.01 g)准确称量。随后使用镊子和解剖刀对各规格中华绒螯蟹进行解剖,仔细取出每只蟹的性腺、肝胰腺和躯体的所有肌肉,称量完毕后立即置于-40 °C冰箱内,性腺指数(Gonadosomatic index, GSI)、肝胰腺指数(Hepatosomatic index, HSI)、出肉率(Meat yield, MY)及总可食率(Total edible yield, TEY)的计算公式:

$$G_{SI}=m_1/m\times 100\% \quad (1)$$

$$H_{SI}=m_2/m\times 100\% \quad (2)$$

$$M_Y=m_3/m\times 100\% \quad (3)$$

$$T_{EY}=(m_1+m_2+m_3)/m\times 100\% \quad (4)$$

式中: G_{SI} 为性腺指数,%; H_{SI} 为肝胰腺指数,%; M_Y 为出肉率,%; T_{EY} 为总可食率,%; m 为体质量,g; m_1 为性腺质量,g; m_2 为肝胰腺质量,g; m_3 为躯体所有肌肉质量,g。

对解剖后的不同规格实验蟹进行形态学特征测量,为减少因测量习惯不同而造成形态学数据产生的误差,由专人统一使用数显游标卡尺(精确至0.01 mm)进行准确测量,且单一性别的各品系个体轮流测量。测量位点参考姜晓东等^[13],总计测定头胸甲背面和侧面、腹甲和右侧步足的22个可量形态特征,见图1。

1.3 单因素方差分析

形态特征测量完毕后,将每个个体所测量的19个形态特征除以自身体长(L)进行标准化处理,处理完毕后使用SPSS 24.0对雌雄不同规格形态特征数据进行单因素方差分析。进行方差分析前采用Levene检验进行方差齐性检验,当不满足齐性方差时对百分比数据采用反正弦或平方根处理,采用Tukey检验进行多重比较,取 $P<0.05$ 为差异显著,且所有数据均用平均值±标准差(Mean±SD)表示,使用GraphPad Prism 8软件对雌雄主要形态学变化差异趋势进行绘图。

1.4 主成分分析

将不同规格成蟹的形态特征数据录入SPSS 24.0软件中进行主成分分析,获得各主成分的特征值、贡献率和累积贡献率,并按照累积贡献率大于60%为原则,确定主成分的提取数量。为比较不同规格雌雄中华绒螯蟹的形态特征差异程度,将贡献率最大的第1主成分和第2主成分使用SPSS 24.0软件绘制散点图。

2 结果

2.1 形态学特征比较

不同规格雄蟹的形态特征差异如表2所示。实验所测量的19个形态特征,统计分析结果表明雄体共有13个形态特征差异显著($P<0.05$)。在所有测量的形态特征中,与中华绒螯蟹头胸甲宽度相关形态特征(A2、A3和A7)和与步足长度相关的形态特征(D1、D2、D3和D4)的数值均随着

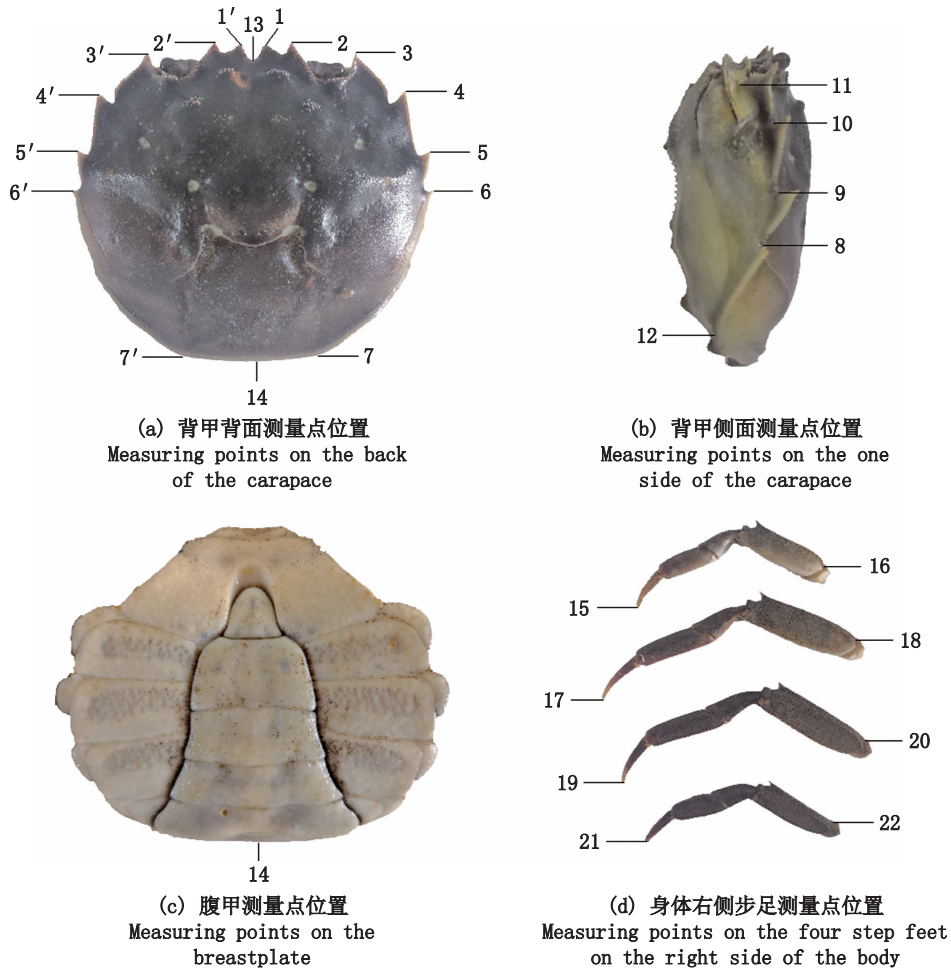
中华绒螯蟹规格的增加显著降低。与之相反,位于头胸甲侧面的部分形态特征(B1、B2、B4、C2、C3和C4)数值则随着中华绒螯蟹规格的增加而显著增加。不同规格雌蟹的形态特征差异规律与雄体基本一致,但统计分析结果表明,实验测量的19个形态特征中仅有11个形态特征差异显著($P < 0.05$)。部分形态特征在不同规格中华绒螯蟹之间的变化情况如图2所示。

2.2 主成分分析

不同规格中华绒螯蟹形态特征的主成分特征值、贡献率和累计贡献率如表3所示。以有效贡献率大于60%为原则分别从雌体和雄体中提

取6个主成分,其中雄体和雌体的第1和第2主成分的累计贡献率分别为33.79%和37.14%。

由图3可知:在雄体中,100 g、150 g及200 g中的部分个体相互重叠,与其他规格雄蟹形成相对独立的区域,而其他规格之间虽互相交叉但大体可以形成较为集中的区域,说明通过主成分散点图可以将 ≤ 200 g的小规格雄蟹与 ≥ 250 g的大规格雄蟹有效区分开。在雌体中,50 g和300 g个体可以与其他规格个体形成独立的区域,其余规格个体之间虽存在互相重叠的现象,但同样大体可以形成较为集中的区域。



A1. 1'-1; A2. 2'-2; A3. 3'-3; A4. 4'-4; A5. 5'-5; A6. 6'-6; A7. 7'-7; B1. 7-8; B2. 7-9; B3. 7-10; B4. 7-11; C1. 12-8; C2. 12-9; C3. 12-10; C4. 12-11; D1. 15-16; D2. 17-18; D3. 19-20; D4. 21-22; L. 13-14。

图1 中华绒螯蟹测量点位置图

Fig. 1 Locations for morphological measurement points of *E. sinensis*

2.3 组织系数差异

不同规格雄体组织系数的差异情况如图4a所示。雄体GSI随着规格的增加呈明显降低趋势,其中100~200 g个体GSI显著高于300~400 g个体。与之

相反,雄体HSI、MY及TEY均随着规格增大显著升高,其中100~150 g个体HSI显著低于250~400 g个体,100 g个体MY及TEY均为显著较低,并且400 g个体MY及TEY均为显著较高($P < 0.05$);不同规格

雌体组织系数的差异情况与雄体基本一致(图4b)。g和100 g个体MY及TEY均为显著较低,300 g个体就GSI而言,50~200 g个体GSI差异较小,但雌体规格由200 g增加至300 g时,GSI显著下降。此外,50 MY及TEY均显著较高($P < 0.05$)。

表2 不同规格中华绒螯蟹形态特征差异情况
Tab. 2 Morphological indices of the male adult *E. sinensis* with different body mass

指标 Index	50 g	100 g	150 g	200 g	250 g	300 g	350 g	400 g
雄体 Male								
A1/L	-	0.08±0.01	0.08±0.01	0.09±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01
A2/L	-	0.25±0.01 ^a	0.24±0.01 ^a	0.24±0.01 ^a	0.24±0.01 ^{ab}	0.23±0.01 ^c	0.23±0.01 ^{bc}	0.23±0.01 ^{bc}
A3/L	-	0.65±0.01 ^a	0.62±0.02 ^b	0.63±0.02 ^b	0.61±0.01 ^{bc}	0.60±0.02 ^c	0.60±0.02 ^c	0.60±0.03 ^c
A4/L	-	0.91±0.01	0.91±0.01	0.91±0.01	0.91±0.01	0.90±0.02	0.91±0.01	0.91±0.03
A5/L	-	1.06±0.02	1.06±0.02	1.07±0.02	1.07±0.01	1.06±0.02	1.06±0.01	1.06±0.03
A6/L	-	1.13±0.02	1.13±0.02	1.14±0.02	1.14±0.02	1.14±0.02	1.14±0.01	1.15±0.01
A7/L	-	0.47±0.01 ^{ab}	0.48±0.03 ^a	0.48±0.06 ^{ab}	0.45±0.02 ^{ab}	0.46±0.02 ^{ab}	0.45±0.02 ^{ab}	0.45±0.02 ^b
B1/L	-	0.62±0.01 ^c	0.63±0.01 ^{abc}	0.63±0.04 ^{bc}	0.64±0.02 ^{ab}	0.64±0.02 ^{abc}	0.64±0.02 ^{abc}	0.65±0.01 ^a
B2/L	-	0.72±0.01 ^c	0.72±0.01 ^{bc}	0.74±0.03 ^{ab}	0.75±0.01 ^a	0.74±0.01 ^{ab}	0.75±0.01 ^a	0.75±0.02 ^a
B3/L	-	0.85±0.01	0.86±0.01	0.86±0.01	0.87±0.01	0.87±0.01	0.87±0.01	0.87±0.02
B4/L	-	0.89±0.01 ^b	0.90±0.01 ^b	0.89±0.04 ^b	0.91±0.01 ^a	0.92±0.01 ^a	0.92±0.01 ^a	0.92±0.01 ^a
C1/L	-	0.28±0.04	0.31±0.02	0.30±0.02	0.30±0.01	0.31±0.02	0.31±0.01	0.31±0.01
C2/L	-	0.41±0.02 ^b	0.43±0.02 ^a	0.44±0.02 ^a	0.43±0.01 ^a	0.44±0.01 ^a	0.44±0.01 ^a	0.44±0.01 ^a
C3/L	-	0.56±0.01 ^b	0.58±0.03 ^a	0.59±0.01 ^a	0.58±0.02 ^a	0.59±0.01 ^a	0.59±0.01 ^a	0.59±0.02 ^a
C4/L	-	0.63±0.01 ^c	0.65±0.02 ^b	0.65±0.02 ^b	0.66±0.01 ^b	0.67±0.01 ^a	0.67±0.01 ^a	0.67±0.01 ^a
D1/L	-	1.61±0.04 ^{ab}	1.62±0.05 ^{ab}	1.64±0.07 ^a	1.59±0.05 ^{ab}	1.60±0.05 ^{ab}	1.59±0.04 ^{ab}	1.56±0.08 ^b
D2/L	-	2.00±0.05 ^a	2.01±0.03 ^a	2.00±0.04 ^a	1.94±0.04 ^b	1.95±0.04 ^b	1.95±0.03 ^b	1.93±0.04 ^b
D3/L	-	2.06±0.10 ^a	2.08±0.05 ^a	2.08±0.09 ^a	1.97±0.07 ^b	1.97±0.07 ^b	1.97±0.08 ^b	1.92±0.15 ^b
D4/L	-	1.63±0.03 ^{cd}	1.63±0.02 ^{cd}	1.64±0.02 ^d	1.57±0.03 ^a	1.59±0.03 ^{ab}	1.60±0.03 ^{bc}	1.59±0.04 ^{ab}
雌体 Female								
A1/L	0.08±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01	0.07±0.01	0.08±0.01	-	-
A2/L	0.25±0.01 ^a	0.25±0.02 ^{ab}	0.25±0.01 ^{ab}	0.19±0.06 ^c	0.22±0.01 ^b	0.23±0.01 ^{ab}	-	-
A3/L	0.65±0.01 ^a	0.64±0.01 ^a	0.61±0.05 ^b	0.60±0.01 ^{ab}	0.58±0.02 ^c	0.58±0.01 ^{ab}	-	-
A4/L	0.91±0.01	0.91±0.01	0.92±0.01	0.90±0.02	0.93±0.05	0.91±0.02	-	-
A5/L	1.05±0.01	1.05±0.02	1.06±0.02	1.05±0.02	1.07±0.04	1.06±0.02	-	-
A6/L	1.12±0.02 ^b	1.12±0.02 ^b	1.12±0.02 ^b	1.12±0.02 ^b	1.14±0.03 ^{ab}	1.15±0.04 ^a	-	-
A7/L	0.52±0.03	0.52±0.02	0.49±0.02	0.51±0.02	0.49±0.02	0.50±0.01	-	-
B1/L	0.61±0.01 ^b	0.62±0.01 ^b	0.62±0.01 ^b	0.62±0.01 ^b	0.64±0.01 ^a	0.64±0.01 ^a	-	-
B2/L	0.72±0.01 ^a	0.72±0.01 ^{ab}	0.72±0.01 ^a	0.73±0.01 ^{ab}	0.74±0.02 ^a	0.73±0.01 ^a	-	-
B3/L	0.82±0.07 ^b	0.85±0.01 ^{ab}	0.85±0.01 ^{ab}	0.86±0.01 ^a	0.87±0.03 ^a	0.86±0.01 ^a	-	-
B4/L	0.89±0.01	0.89±0.01	0.89±0.02	0.90±0.01	0.90±0.03	0.91±0.01	-	-
C1/L	0.27±0.01	0.28±0.01	0.28±0.01	0.28±0.02	0.29±0.01	0.29±0.01	-	-
C2/L	0.40±0.01	0.41±0.01	0.41±0.01	0.41±0.01	0.42±0.01	0.41±0.01	-	-
C3/L	0.55±0.01 ^c	0.56±0.01 ^{bc}	0.56±0.01 ^{ab}	0.56±0.01 ^{ab}	0.57±0.02 ^a	0.57±0.01 ^{ab}	-	-
C4/L	0.62±0.01 ^b	0.60±0.01 ^c	0.61±0.02 ^{ab}	0.63±0.01 ^a	0.64±0.02 ^a	0.64±0.01 ^a	-	-
D1/L	1.45±0.04 ^{ab}	1.48±0.05 ^a	1.41±0.04 ^b	1.40±0.06 ^b	1.42±0.06 ^b	1.41±0.04 ^b	-	-
D2/L	1.86±0.03 ^a	1.86±0.03 ^a	1.82±0.03 ^b	1.83±0.03 ^{ab}	1.83±0.03 ^{ab}	1.83±0.02 ^{ab}	-	-
D3/L	1.93±0.04 ^{ab}	1.96±0.08 ^a	1.86±0.05 ^c	1.86±0.06 ^c	1.88±0.07 ^{bc}	1.87±0.07 ^{bc}	-	-
D4/L	1.52±0.03	1.53±0.05	1.49±0.04	1.48±0.01	1.49±0.03	1.50±0.03	-	-

注:同行数据不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Notes: Values within the same row with different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$).

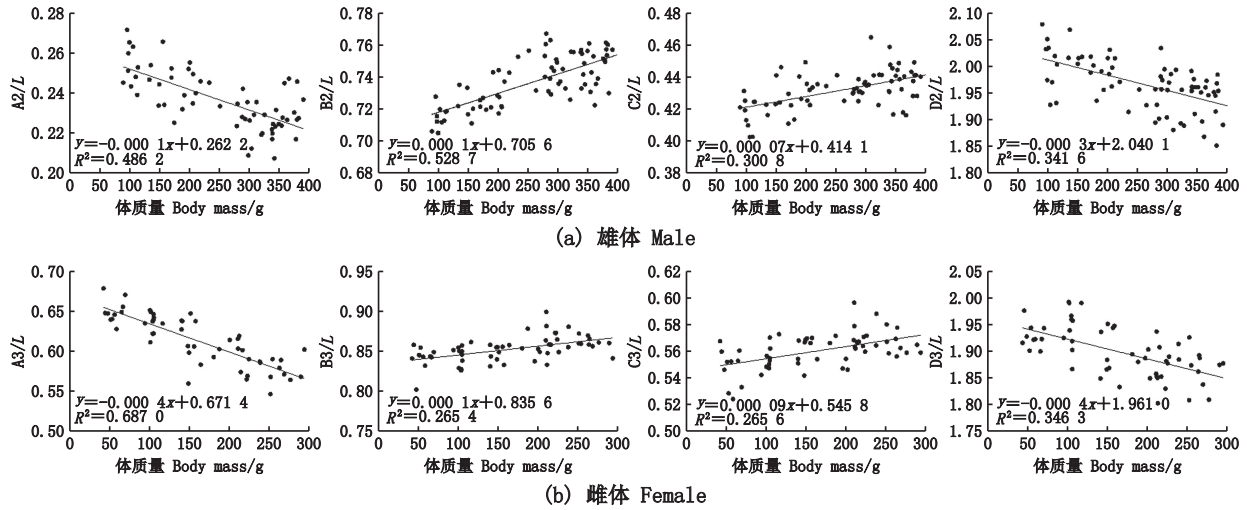


图2 不同规格中华绒螯蟹形态特征差异情况

Fig. 2 Difference of morphological characteristics of crabs with different sizes

表3 不同规格中华绒螯蟹成蟹个体主成分分析的特征值和累计贡献率
Tab. 3 Eigen value and cumulative variance of principle component analysis of adult *E. sinensis* with different sizes

主成分 Principal component	雄体 Male			雌体 Female		
	特征值 Eigenvalue	贡献率 Variance/%	累计贡献率 Cumulative variance/%	特征值 Eigenvalue	贡献率 Variance/%	累计贡献率 Cumulative variance/%
1	6.89	21.53	21.53	7.63	23.83	23.83
2	3.92	12.26	33.79	4.26	13.31	37.14
3	3.16	9.87	43.66	2.13	6.70	43.84
4	2.75	8.59	52.25	1.94	6.07	49.92
5	1.82	5.68	57.93	1.76	5.50	55.41
6	1.56	4.87	62.80	1.52	4.74	60.15

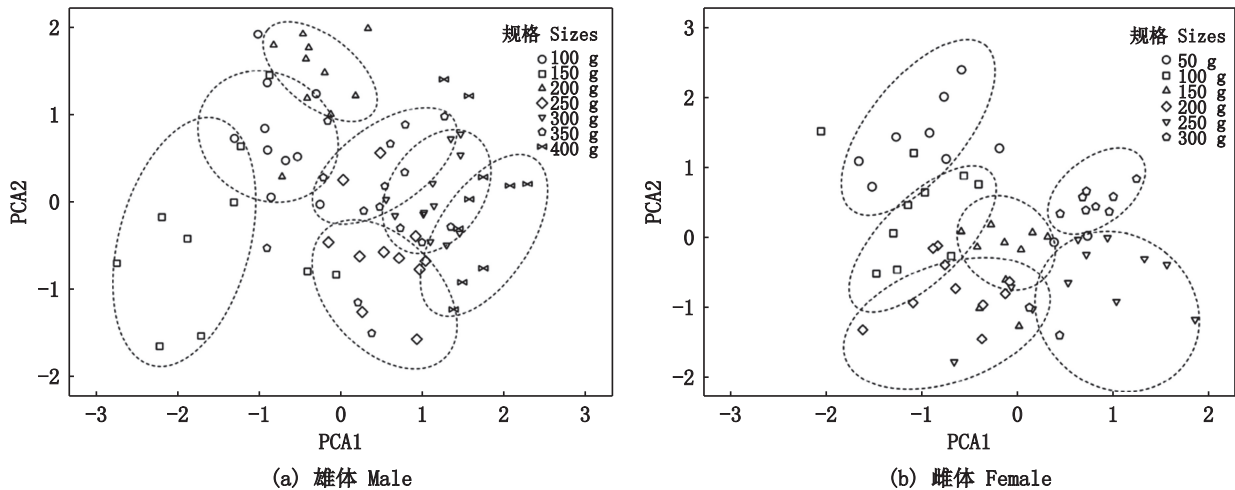
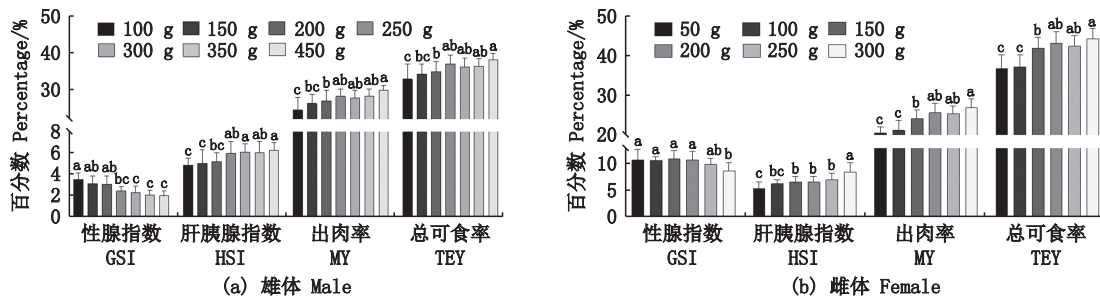


图3 不同规格中华绒螯蟹成蟹形态特征的第1和第2主成分散点图

Fig. 3 Scatter diagram of first and second principal components for the morphological parameters of adult *E. sinensis* with different sizes

不同规格中华绒螯蟹 GSI 与体质量、壳长和壳宽的回归分析结果如图 5 所示。无论雄体还是雌体,中华绒螯蟹 GSI 均随着规格的增加而呈下降趋势,并且雄体 GSI 的下降趋势比雌体更为明显。就甲壳长度和宽度与 GSI 的关系而言,随着甲壳长

度和宽度的增加 GSI 也呈逐渐下降趋势。从回归分析的结果来看,雄体的 GSI 与体质量、甲壳长度和甲壳宽度的相关系数分别为 0.47、0.49 和 0.45,雌体的 GSI 与体质量、甲壳长度和甲壳宽度的相关系数分别为 0.52、0.48 和 0.49。



方柱上方不同小写字母表示不同规格中华绒螯蟹各组织系数差异显著 ($P < 0.05$)。

The different lowercase letters above the columns indicated significant difference among tissue indices of *E. sinensis* with different body mass ($P < 0.05$).

图 4 不同规格中华绒螯蟹成蟹的组织系数

Fig. 4 Tissue indices of adult *E. sinensis* with different body mass

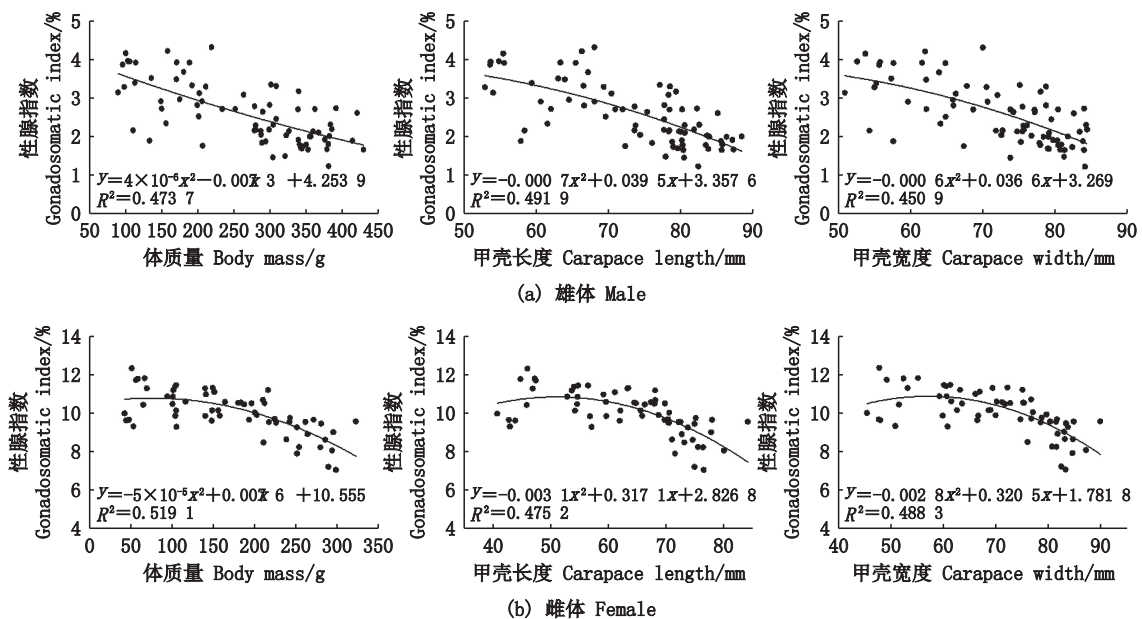


图 5 中华绒螯蟹成蟹体质量、壳长和壳宽与性腺指数之间的关系

Fig. 5 Relationship between broodstock size (body mass, carapace length and carapace width) and gonadosomatic index of adult *E. sinensis*

3 讨论

单因素方差分析和主成分分析是形态特征分析的主要方法^[4, 14-15],本研究采用上述方法对不同规格中华绒螯蟹的形态特征进行比较,初步揭示了不同规格中华绒螯蟹形态特征的差异情况。本研究单因素方差分析结果表明不同规格中华绒螯蟹之间的多个形态特征存在显著差异,且主要集中在与步足长度和头胸甲宽度相关的形态特征。

结合主成分散点图可知,虽有部分个体相互重叠,但大体可以区分不同规格中华绒螯蟹,这些结果均表明不同规格中华绒螯蟹之间存在一定的形态特征差异。之前的研究^[16-18]表明,甲壳动物大螯和步足的生长与其身体功能(如生长、繁殖、装饰和躲避捕食者)之间存在着能量权衡,这可能是导致不同规格中华绒螯蟹形态特征差异的原因之一。此外,甲壳动物的摄食积极性和活动积极性与规格大小存在明显的正相关性,大规格个体更

易获得饵料资源^[19-20],步足和额刺作为中华绒螯蟹行为感知和摄食运动的主要部位,能充分反映饵料获得性差异所导致的形态特征差异^[21]。例如,在之前的研究中将美洲蓝蟹(*Callinectes sapidus*)和部分枝角类长期暴露在有害生物的环境中,其有关防御的形态特征会在多次蜕壳/蜕皮后产生显著变化^[22-23]。本研究中大规格成蟹在池塘养殖条件下存在摄食优势,这可能会导致不同规格中华绒螯蟹产生形态特征差异^[24]。在先前通过形态特征区分不同地理种群或不同水系中华绒螯蟹的研究中,往往通过除以固定的特征值去除不同规格个体之间的形态特征差异^[25],但本实验结果表明不同规格中华绒螯蟹之间的形态特征差异无法通过常规校正方法完全消除,因此建议今后进行相关形态学研究时应尽量使用规格一致的中华绒螯蟹进行校正后的形态特征比较。

生长和繁殖是甲壳动物生命周期中能量输出最大的两个过程^[26],它们在中华绒螯蟹生活史中存在着能量的权衡^[27]。中华绒螯蟹生殖蜕壳后,肝胰腺和肌肉中的营养物质会迅速转移至性腺内^[28],更多的能量从生长投资转移至繁殖投资,这是一种典型的能量再分配。本研究中中华绒螯蟹规格与 GSI 呈明显的负相关关系,这可能是由于小规格中华绒螯蟹生殖蜕壳后用于生长投资的能量低^[30-31],更多的能量和营养物质用于性腺发育,因此表现出小规格中华绒螯蟹 GSI 显著高于大规格中华绒螯蟹^[29]。此外,大规格中华绒螯蟹蜕壳间期长,完成生殖蜕壳时间及启动性腺发育均较晚^[9],这或许进一步加剧了不同规格中华绒螯蟹的 GSI 差异。中华绒螯蟹的主要能量物质为脂类和蛋白质,高能量密度的脂类主要储存器官为肝胰腺,而低能量密度的蛋白质主要储存在肌肉中^[32]。本研究中 HSI 和 MY 均随着中华绒螯蟹规格的增大而显著升高,这说明虽然大规格中华绒螯蟹在肝胰腺和肌肉中储存了更多的营养物质,但从肝胰腺转化至性腺的效率较低。大规格中华绒螯蟹营养物质转化效率低可能是由于其对蛋白质、脂肪以及营养配比的要求更高,刘东等^[33]研究表明不同脂脂比会影响肝胰腺转化为性腺的效率,江洪波^[34]研究表明适当提高饲料中蛋白质和脂肪含量能够提高卵黄物质的积累,因此有必要根据中华绒螯蟹规格调整饵料营养并进行相应的营养强化。

近年来,越来越多学者和养殖户认识到中华绒螯蟹遗传育种的重要性和迫切性,且大量研究表明大规格中华绒螯蟹亲本所产子代具有更好的生长性能和养殖效果^[35-37]。为适应市场趋势,中华绒螯蟹繁育企业盲目追求大规格,纷纷挑选较大规格中华绒螯蟹(雌 ≥ 300 g,雄 ≥ 350 g)作为亲本。有研究^[7]表明中华绒螯蟹亲本的营养状况直接影响繁殖性能和子代的质量,因此本实验中大规格中华绒螯蟹 GSI 较低可能会导致其生殖力低和生殖指数低等现象,进而影响大眼幼体繁育收益。亲本体内合成代谢、性腺成熟和胚胎发育必须获得充足的能量和营养物质,这与亲本养殖期间投喂饲料的营养组成和配比密不可分^[38]。温小波^[39]利用氧氮比发现中华绒螯蟹亲本主要依赖于脂肪和碳水化合物供能,吴旭干等^[7]发现饲料中添加高度不饱和脂肪酸、磷脂、维生素 C 和维生素 E 能显著提高抱卵蟹的生殖能力,这些研究均突出了中华绒螯蟹亲本对能量和营养需求的重要性,但目前尚未见大规格亲本在育肥期间营养需求的相关报道。近年来,科研工作者尝试通过移塘单独饲喂、降低养殖密度、强化营养供给及延迟大规格种蟹抓捕时间等方法提高大规格中华绒螯蟹营养状况,但大规格中华绒螯蟹移塘密度及育肥饲料营养组成等关键参数仍需进一步研究。

4 结论

形态特征分析是中华绒螯蟹种群鉴定的有效手段,本实验中不同规格中华绒螯蟹在形态特征上存在一定差异,因此建议形态特征分析时尽量选用规格差异较小的个体。本实验中大规格中华绒螯蟹性腺指数显著较低,说明同一养殖条件下大规格中华绒螯蟹性腺发育普遍较慢,因此在养殖生产中需要注意不同规格中华绒螯蟹的错峰捕捞上市,并且需要注意对大规格中华绒螯蟹进行营养强化,提高养殖效益。

参考文献:

- [1] 刘青,刘皓,吴旭干,等. 长江、黄河和辽河水系中华绒螯蟹野生和养殖群体遗传变异的微卫星分析[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(4): 958-968.
- LIU Q, LIU H, WU X G, et al. Genetic variation of wild and cultured populations of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* from the Yangtze, Huanghe, and Liaohe river basins using microsatellite marker [J]. Oceanologia et

- Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 958-968.
- [2] WU X G, ZHAO H L, JIANG X D, et al. Comparison of culture performance and gonadal development of wild-caught Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* juveniles from three major river populations [J]. Fisheries Science, 2018, 84(6): 929-937.
- [3] 王茜, 李晓东, 戴伟, 等. 不同水系绒螯蟹群体外部形态的判别分析[J]. 水产科学, 2006, 25(3): 124-128.
WANG Q, LI X D, DAI W, et al. The morphological discrimination of populations of mitten crab in different river systems [J]. Fisheries Science, 2006, 25(3): 125-128.
- [4] 曹侦, 冯广朋, 庄平, 等. 长江中华绒螯蟹洄游群体与养殖群体形态差异分析[J]. 淡水渔业, 2013, 43(6): 3-7.
CAO Z, FENG G P, ZHUANG P, et al. Morphological difference analysis between migratory population and cultured population of *Eriocheir sinensis* in the Yangtze river [J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(6): 3-7.
- [5] 何杰, 吴旭干, 龙晓文, 等. 中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 野生和养殖蟹种对池塘养殖成蟹可食率和营养品质的影响研究[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 140-150.
HE J, WU X G, LONG X W, et al. Comparison in edible yield and nutritional quality of pond-cultured adult *Eriocheir sinensis* from wild-caught and pond-reared crabseeds [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(1): 140-150.
- [6] WU X G, CHENG Y X, SUI L Y, 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] 吴旭干, 成永旭, 常国亮, 等. 亲本强化培育对中华绒螯蟹雌体生殖性能和 Z_1 幼体质量的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(6): 757-764.
WU X G, CHENG Y X, CHANG G L, et al. Effect of enriching broodstock on reproductive performance and Z_1 quality of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(6): 757-764.
- [8] PAN J, WU R F, WU X G, 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, 5(6): 300-307.
- [9] 石今朝, 姜晓东, 刘乃更, 等. 亲本规格对中华绒螯蟹生殖性能和胚胎质量的影响[J]. 淡水渔业, 2020, 50(6): 70-76.
SHI J Z, JIANG X D, LIU N G, et al. Effects of broodstock size on reproductive performance and embryo quality of *Eriocheir sinensis* [J]. Freshwater Fisheries, 2020, 50(6): 70-76.
- [10] 茅海成, 王高龙, 杨永超, 等. 中华绒螯蟹不同规格亲蟹池塘生态育苗效果的生产性评估[J]. 水产科技情报, 2014, 41(5): 233-236.
MAO H C, WANG G L, YANG Y C, et al. Productive evaluation of ecological breeding effects of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from different sizes [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2014, 41(5): 233-236.
- [11] 王少兵, 刘乃更, 姜晓东, 等. 三种亲本规格中华绒螯蟹土池育苗的试验总结[J]. 科学养鱼, 2019(6): 12-13.
WANG S B, LIU N G, JIANG X D, et al. Experimental summary of ecological breeding effects of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from three parent specifications [J]. Scientific Fish Farming, 2019(6): 12-13.
- [12] 陈军伟, 马旭洲, 王武, 等. 不同规格中华绒螯蟹母子代的生长特性比较[J]. 动物学杂志, 2016, 51(5): 895-906.
CHEN J W, MA X Z, WANG W, et al. The comparative study on growth characteristics of offspring produced by female parents with different weight of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Chinese Journal of Zoology, 2016, 51(5): 895-906.
- [13] 姜晓东, 吴旭干, 何杰, 等. 遗传选育对野生和养殖中华绒螯蟹种形态学特征的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(8): 1285-1298.
JIANG X D, WU X G, HE J, et al. Effects of selective breeding on the morphological characteristics of wild and cultured juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(8): 1285-1298.
- [14] JIANG X D, WU X G, WANG H N, et al. Can morphological characters be used to identify the pond-reared offspring of wild Chinese mitten crabs, *Eriocheir sinensis*, from different basins? [J]. Crustaceana, 2019, 92(8): 957-978.
- [15] 王武, 徐灿, 张文博, 等. 四个地方种群绒螯蟹形态差异的比较研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 648-653.
WANG W, XU C, ZHANG W B, et al. Comparative studies on morphological differences among four local populations of mitten crab [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(6): 648-653.
- [16] BERKE S K, WOODIN S A. Energetic costs, ontogenetic shifts and sexual dimorphism in spider crab decoration [J]. Functional Ecology, 2008, 22(6): 1125-1133.
- [17] HULTGREN K M, STACHOWICZ J J. Alternative camouflage strategies mediate predation risk among closely related co-occurring kelp crabs [J]. Oecologia, 2008, 155(3): 519-528.

- [18] ANDERSON J R, SPADARO A J, BAEZA J A, et al. Ontogenetic shifts in resource allocation: colour change and allometric growth of defensive and reproductive structures in the Caribbean spiny lobster *Panulirus argus* [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2013, 108(1): 87-98.
- [19] DINGEMANSE N J, WOLF M. Recent models for adaptive personality differences: a review [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 365(1560): 3947-3958.
- [20] LUTTBEG B, SIH A. Risk, resources and state-dependent adaptive behavioural syndromes [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 365(1560): 3977-3990.
- [21] 姜晓东, 成永旭, 潘建林, 等. 中国长江与荷兰野生中华绒螯蟹的头胸甲形态特征比较[J]. *淡水渔业*, 2020, 50(1): 38-43.
- JIANG X D, CHENG Y X, PAN J L, et al. Landmark-based morphometric comparison analysis on carapace of wild *Eriocheir sinensis* collected from the Yangtze River and the Netherlands [J]. *Freshwater Fisheries*, 2020, 50(1): 38-43.
- [22] DAVIS J L D, ECKERT-MILLS M G, YOUNG-WILLIAMS A C, et al. Morphological conditioning of a hatchery-raised invertebrate, *Callinectes sapidus*, to improve field survivorship after release [J]. *Aquaculture*, 2005, 243(1-4): 147-158.
- [23] GRANT J W G, BAYLY I A E. Predator induction of crests in morphs of the *Daphnia carinata* King complex [J]. *Limnology and Oceanography*, 1981, 26(2): 201-218.
- [24] GÜL M R, GRIFFEN B D. A reliable bioindicator of anthropogenic impact on the coast of South Carolina [J]. *Southeastern Naturalist*, 2018, 17(2): 357-364.
- [25] 姜晓东, 成永旭, 潘建林, 等. 基于地标点几何形态测量法区分不同水系野生中华绒螯蟹[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(6): 1116-1125.
- JIANG X D, CHENG Y X, PAN J L, et al. Landmark-based morphometric identification of wild *Eriocheir sinensis* with geographically different origins [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(6): 1116-1125.
- [26] COMPANY J B, SARDÀ F. Growth parameters of deep-water decapod crustaceans in the Northwestern Mediterranean Sea: a comparative approach [J]. *Marine Biology*, 2000, 136(1): 79-90.
- [27] ABRAMS P A, ROWE L. The effects of predation on the age and size of maturity of prey [J]. *Evolution*, 1996, 50(3): 1052-1061.
- [28] 刘丽, 姜晓东, 吴旭干, 等. 育肥饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹生殖性能的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 26(4): 501-510.
- LIU L, JIANG X D, WU X G, et al. Effects of dietary fish oil replacement by vegetable oils on reproductive performance of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2017, 26(4): 501-510.
- [29] GRIFFEN B D, SIPOS T. A meta-analysis of the ecological and evolutionary drivers of metabolic rates in brachyuran crabs [J]. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 2018, 51(2): 109-123.
- [30] 王海宁, 姜晓东, 崔莹, 等. 不同规格长江野生中华绒螯蟹扣蟹生化组成的比较研究[J]. *水产科技情报*, 2020, 47(4): 186-192.
- WANG H N, JIANG X D, CUI Y, et al. Comparative study on biochemical composition of wild-caught juvenile *Eriocheir sinensis* with different sizes [J]. *Fisheries Science and Technology Information*, 2020, 47(4): 186-192.
- [31] 张庆阳, 马旭洲, 王昂, 等. 稻田网箱养殖辽河水系中华绒螯蟹幼蟹的个体生长[J]. *动物学杂志*, 2015, 50(1): 112-121.
- ZHANG Q Y, MA X Z, WANG A, et al. The research of individual growth of *Eriocheir sinensis* for Liaohe population juvenile crab in paddy field net cage [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2015, 50(1): 112-121.
- [32] 王福辰, 王春, 马明君, 等. 3种不同饵料对越冬后再摄食至第一次蜕壳前中华绒螯蟹幼蟹能量密度和营养积累研究[J]. *生物学杂志*, 2016, 33(2): 76-80.
- WANG F C, WANG C, MA M J, et al. Studies on energy density and nutrient accumulation in the young *Eriocheir sinensis* living after the last winter before the first molting in the second year [J]. *Journal of Biology*, 2016, 33(2): 76-80.
- [33] 刘东, 郭腾飞, 负彪, 等. 饲料蛋白比对中华绒螯蟹生长、体组成和性腺发育的影响[J]. *饲料工业*, 2022, 43(18): 50-56.
- LIU D, GUO T F, YUN B, et al. The effects of compound feed protein-to-fat ratio on the growth, body composition and gonadal development of Chinese mitten crab [J]. *Feed Industry*, 2022, 43(18): 50-56.
- [34] 江洪波. 中华绒螯蟹蛋白质营养生理研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2003.
- JIANG H B. Protein nutrition of Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis* [D]. Shanghai: East China Normal University, 2003.
- [35] 范陈伟, 姜晓东, 成永旭, 等. 中华绒螯蟹2龄早熟和晚熟品系选育第4代(G4)在成蟹阶段养殖性能的比较[J]. *水产科技情报*, 2021, 48(5): 241-249.
- FAN C W, JIANG X D, CHENG Y X, et al. Culture performance of the second-year early-maturing and late-maturing strains of the fourth selective generation of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during the adult culture stage [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2021, 48(5): 241-249.

- [36] 庄振俊, 张冬冬, 姜晓东, 等. 中华绒螯蟹“长荡湖 1 号”子一代成蟹阶段养殖性能初步评估[J]. 南方水产科学, 2021, 17(3): 27-35.
ZHUANG Z J, ZHANG D D, JIANG X D, et al. A preliminary evaluation on culture performance of first selective generation of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) “Changdang Lake 1” during adult culture stage [J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(3): 27-35.
- [37] 杨帅帅, 吴仁福, 张保彦, 等. 大规格中华绒螯蟹亲本子代大眼幼体在微山湖地区的池塘扣蟹培育试验[J]. 水产科技情报, 2021, 48(2): 87-93.
YANG S S, WU R F, ZHANG B Y, et al. Investigation on culture performance of megalopae hatched byarge-sized Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* broodstock in the Weishan Lake region [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2021, 48(2): 87-93.
- [38] 刘立鹤. 中华绒螯蟹雌体脂质营养及生殖调控研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
LIU L H. Lipid nutrition and regulation of reproduction of Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis*, female [D]. Shanghai: East China Normal University, 2005.
- [39] 温小波. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)能量代谢及脂类营养研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2000.
WEN X B. Energy metabolism and lipid nutrition in Chinese Mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [D]. Shanghai: East China Normal University, 2000.

Morphological characters and tissue indices of adult Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) with different body mass

XIE Zhilong^{1,2}, JIANG Xiaodong^{1,2,3}, FAN Chenwei^{1,2}, JING Jing⁴, CHENG Yongxu^{1,2,3}, WU Xugan^{1,2,3}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. National Demonstration Centre for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai Xinhong Ecological Agriculture Co., LTD, Shanghai 202150, China)

Abstract: To investigate the relationship between morphological characters and body mass of adult Chinese mitten crabs *Eriocheir sinensis*, 19 morphological characters were measured and compared among *E. sinensis* with different body weights by quantitative and multivariate analysis, and the hepatopancreas index (HSI), gonadosomatic index (GSI), meat yield (MY) and total edible yield (TEY) of these crabs were compared either. The results showed that: (1) There were 13 and 11 significantly different characteristics detected in male and female *E. sinensis* respectively, and the values of morphological characteristics related to the length of carapace significantly increased with *E. sinensis* body weights increasing, but the values related to carapace width and feet length significantly decreased with *E. sinensis* size body weights increasing. (2) The results of principal component analysis (PCA) revealed that the polts represents different-sized individuals were relatively separated with only a slight overlap between group, indicating a quite different morphology of the individuals with different sizes. (3) Significant difference were detecte in tissue indices among different-sized crabs, and the larger crabs (Male ≥ 300 g; Female ≥ 150 g) had significantly lower values of GSI but significantly higher values of HSI, MY and TEY than the smaller ones. All in all, different-sized *E. sinensis* had significant differences in morphological characteristics and tissue indices, and they showed a significant negative correlation with GSI, which would provide a valuable reference for commercial and broodstock crabs selection.

Key words: Chinese mitten crab; different body mass; morphological characteristics; tissue indices; regression analysis