



池塘养殖三疣梭子蟹的生长规律

陆俊锴^{1,2}, 张伟仁^{1,2}, 简杰亮^{1,2}, 张可馨¹, 陈清伟^{1,2},
李荣华^{1,2}, 王春琳^{1,2*}, 母昌考^{1,2}

(1. 宁波大学海洋学院, 应用海洋生物技术教育部重点实验室, 浙江 宁波 315211;

2. 宁波大学, 浙江海洋高效健康养殖协同创新中心, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为探讨池塘养殖三疣梭子蟹的生长规律和雌雄差异, 本研究对 1~6 月龄池塘养殖三疣梭子蟹各生长指标进行了比较分析, 并采用 Logistic 模型分别拟合三疣梭子蟹的体重 (BW)、体长 (BL)、体高 (BH)、全甲宽 (FCW)、甲宽 (CW)、大螯长节长 (MLC)、大螯不动指长 (FFLC)、第一步足长节长 (MLFP) 等 8 个形态性状的生长特征。结果显示, 三疣梭子蟹雌性和雄性的生长存在差异, 早期雄性生长较快, 后期雌性生长较快, 而雌雄混合分析介于二者之间。三疣梭子蟹各生长性状的 Logistic 模型拟合结果显示, 除雌性 MLC 和 MLFP 以及雌雄混合分析的 MLFP 之外, 其余性状 R^2 均达到 0.990 以上; 雌性和雄性体质量的极限生长值分别为 290.27 和 195.91 g, 快速生长区间分别为 2.74~5.10 月龄和 2.33~4.14 月龄, 拐点分别为 3.92 和 3.24 月龄。研究表明, 三疣梭子蟹的生长过程均符合“慢-快-慢”的特征, 雄性比雌性更早进入快速生长期, 但是快速生长期的持续时间不及雌性。本研究对三疣梭子蟹不同生长指标的规律特征, 以及各指标在混合养殖条件下雌性和雄性的优势阶段进行了研究, 为实现三疣梭子蟹精细化高效养殖提供了参考。

关键词: 三疣梭子蟹; 生长差异; Logistic 模型; 单性养殖

中图分类号: S 968.25+2

文献标志码: A

三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 俗名枪蟹、白蟹, 属于软甲纲 (Malacostraca) 十足目 (Decapoda) 梭子蟹科 (Portunidae) 梭子蟹属 (*Portunus*), 从日本、朝鲜半岛到我国东南沿海均有分布^[1-2]。三疣梭子蟹因其口感鲜美、营养丰富^[3], 且经济价值高, 已成为我国重要的海水养殖品种之一^[4]。近年来, 我国三疣梭子蟹的产量呈逐年下降趋势, 野生捕捞产量从 2014 年的 57.80 万 t 减少到 2019 年的 45.84 万 t, 而养殖年产量则维持在约 11.83 万 t^[5-10]。随着三疣梭子蟹野生资源和养殖面积的不断减少, 如何提高三疣梭子蟹的养

殖产量, 获得更大的经济效益是三疣梭子蟹产业可持续发展迫切需要解决的问题。

在养殖过程中, 甲壳动物的雌性和雄性表现出了不同的生长模式, 根据养殖动物雌雄生长规律的差异对养殖方案进行优化, 可以大大提高养殖效率, 增加收益。例如罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*) 的雄性个体一般生长发育较快, 在收获时往往可以得到比雌性更大的体型和体重^[11-12]。全雄养殖的罗氏沼虾平均体重可达混合养殖的 1.82 倍^[13], 净收益可以增加 18%^[14]。养殖锯缘青蟹 (*Scylla serrata*) 和紫螯青蟹 (*S. tranquebarica*) 雄

收稿日期: 2021-08-10 修回日期: 2021-11-13

资助项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0900303); 国家现代农业产业技术体系专项 (CARS-48); 宁波大学王宽诚幸福基金

第一作者: 陆俊锴 (照片), 从事甲壳动物养殖学研究, E-mail: 894976352@qq.com

通信作者: 王春琳, 从事甲壳动物养殖学研究, E-mail: wangchunlin@nbu.edu.cn



性的最终体重和特定生长率显著高于雌性, 全雄养殖能获得更高的收益^[15]。对于人工养殖的三疣梭子蟹, 雌雄混合的池塘养殖是我国主要的养殖方式^[16]。然而, 关于池塘养殖三疣梭子蟹雌性和雄性的生长规律以及生长模式特征等尚未见报道。

本研究以池塘养殖条件下三疣梭子蟹各月龄的形态性状数据为基础, 分别建立雌性、雄性、雌雄混合的 Logistic 生长模型, 对池塘养殖三疣梭子蟹的生长规律和特性进行比较, 为评估三疣梭子蟹单性养殖的可行性, 优化养殖方案, 实现精细化高效养殖提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验所用养殖对象为 2020 年 5 月 27 日购自宁波奉化臭皮匠水产养殖场的三疣梭子蟹一期幼蟹。幼蟹规格整齐、活力好, 暂养于宁波鄞州养殖基地的 3 个池塘中 (每个池塘面积约 10 000 m²), 放养密度约为 9 只/m², 养殖过程中各池塘的管理模式保持一致。此后分别于三疣梭子蟹 1、2、3、4、5、6 月龄时, 于每一池塘中随机捕获雌雄个体各 15 只, 测量其形态性状指标, 测量结束日期为 11 月 27 日。实验过程中操作人员严格遵守实验动物相关伦理规范。

1.2 测量方法

用游标卡尺分别测量体长 (BL)、体高 (BH)、全甲宽 (FCW)、甲宽 (CW)、大螯长节长 (MLC)、大螯不动指长 (FFLC)、第一步足长节长 (MLFP), 精确到 0.01 mm。体重 (BW) 用电子天平称量, 精确到 0.01 g^[17]。

1.3 数据分析

用 Excel 2013 软件和 SPSS 22.0 软件对数据进行分析 ($P=0.05$)。性状绝对增长量和性状相对增长率计算公式:

性状绝对增长量=($n+1$) 月龄性状值- n 月龄性状值

性状相对增长率=100%×[($n+1$) 月龄性状值- n 月龄性状值] / n 月龄性状值

1.4 形态性状的 Logistic 模型

采用 Logistic 模型^[18]拟合三疣梭子蟹的形态性状增长规律。Logistic 模型的积分形式为:

$$N = K / (1 + e^{a-rt})$$

式中, t 为月龄; N 为 t 月龄时的生物量; K 为常数, 称为环境容纳量或极限生长值; r 为常数, 称为内禀自然增长率或瞬时增长率; e 为自然对数底; a 为积分常数。首先以四点法估计出初值 K , 计算出 a 、 r 的初值, 再根据 SPSS 22.0 软件中的非线性拟合, 使用 Levenberg-Marquardt 迭代法^[19], 以 10^{-8} 为收敛标准, 计算出各模型中 K 、 a 、 r 的最优值^[20]。各形态性状模型的拟合精度根据决定系数 R^2 的大小来判定, R^2 值越接近 1, 拟合精度越高。

1.5 形态性状的特征指标

瞬时生长速率最大的点即为拐点, 根据 Logistic 方程的固有性质, 各性状对应的拐点坐标为 (a/r , $K/2$)。在拐点之前, 各性状的增长呈加速态势, 即瞬时生长速率越来越大, 直到拐点处达到最大值。在拐点以后, 各性状的增长则呈减速态势, 即瞬时生长速率越来越小, 逐渐趋于零。瞬时生长速率增长最快的点称为始速点, 瞬时生长速率减小最快的点称为终速点。始速点和终速点之间为各性状的快速生长区间, 始速点之前和终速点之后为各性状的缓慢生长期^[20-21]。

2 结果

2.1 不同月龄各形态性状的描述

三疣梭子蟹不同月龄各形态性状的统计结果表明, 三疣梭子蟹各性状的表型值均随着月龄增长而增加, 且雌、雄以及雌雄混合的生长规律呈现不同的特点。

1 月龄雄性三疣梭子蟹各形态性状均显著大于雌性。BW、BL 和 FCW 的生长特征在进行雌雄比较时呈现类似的增长趋势, 在第 1 月龄时雄性显著大于雌性, 第 3 月龄时, 雌性开始大于雄性, 第 5 月龄和第 6 月龄时, 雌性均显著大于雄性 (图 1, 图 2 和图 4)。BH 在第 1 月龄时雄性显著大于雌性, 第 2 月龄时雌性开始大于雄性, 从第 4 月龄起, 雌性均显著大于雄性 (图 3)。CW 在第 1 月龄时雄性显著大于雌性, 第 2—4 月龄时, 雄性一直大于雌性, 但是差异不显著, 第 5 月龄和第 6 月龄时, 雌性显著大于雄性 (图 5)。

MLC 和 FFLC 在第 1—6 月龄时雄性均大于雌性, 其中 MLC 在第 1、4、5 和 6 月龄时, 雌雄

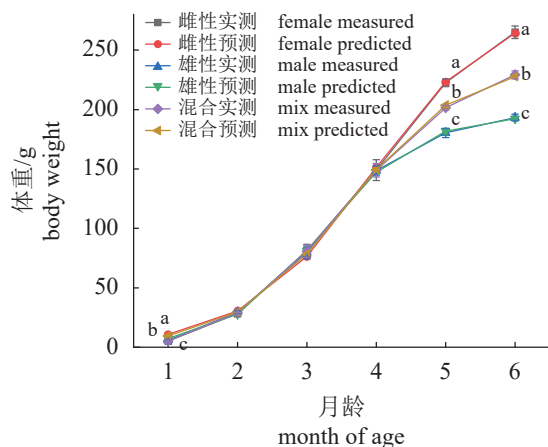


图1 三疣梭子蟹体重与月龄的关系

不同字母表示同一月龄差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Fig. 1 Relationship between body weight and age in months

Different letters at the same age indicate significant differences ($P < 0.05$), the same below.

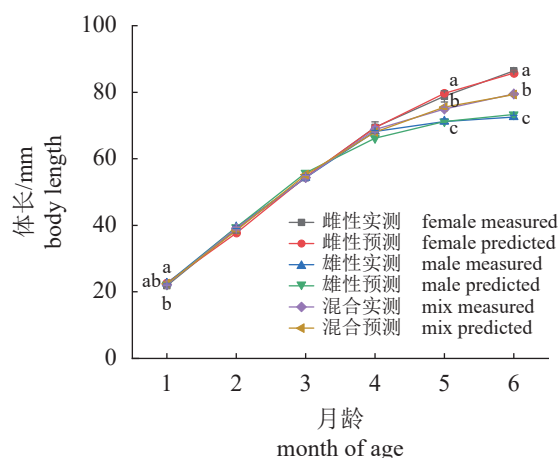


图2 三疣梭子蟹体长与月龄的关系

Fig. 2 Relationship between body length and age in months

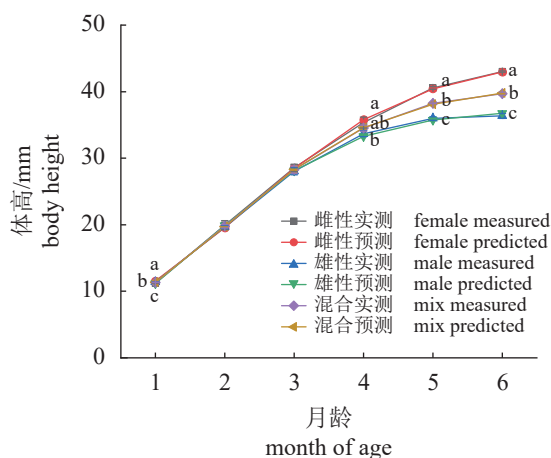


图3 三疣梭子蟹体高与月龄的关系

Fig. 3 Relationship between body height and age in months

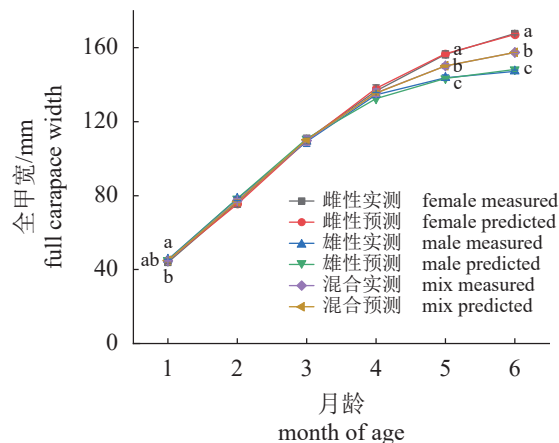


图4 三疣梭子蟹全甲宽与月龄的关系

Fig. 4 Relationship between full carapace width and age in months

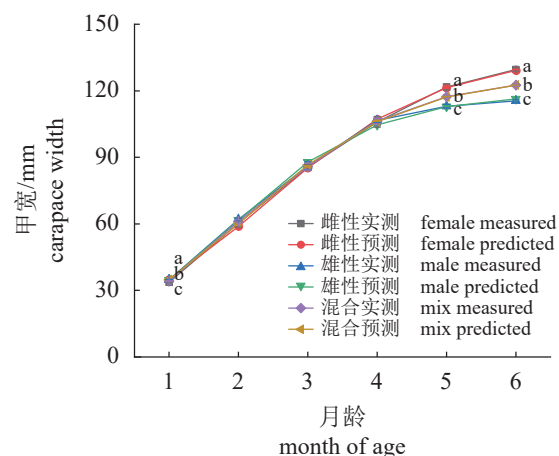


图5 三疣梭子蟹甲宽与月龄的关系

Fig. 5 Relationship between carapace width and age in months

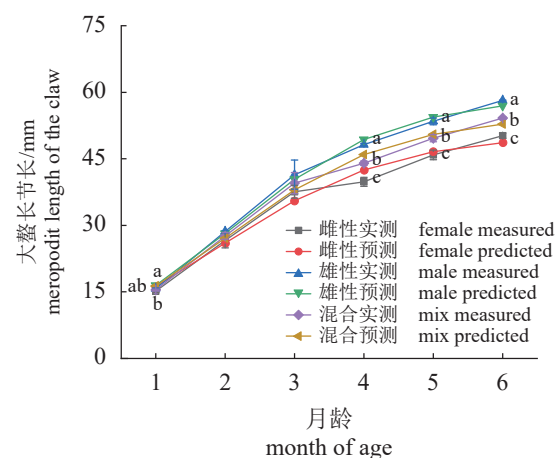


图6 三疣梭子蟹大螯长节长与月龄的关系

Fig. 6 Relationship between meropodit length of the claw and age in months

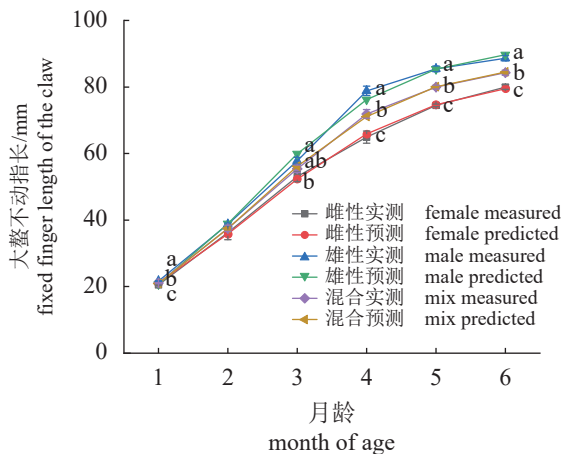


图 7 三疣梭子蟹大螯不动指长与月龄的关系
Fig. 7 Relationship between fixed finger length of the claw and age in months

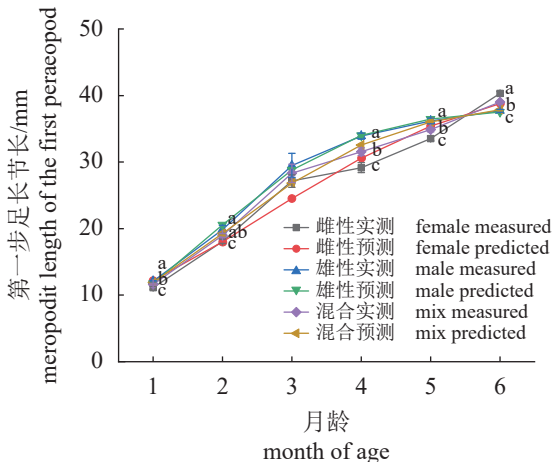


图 8 三疣梭子蟹第一步足长节长与月龄的关系
Fig. 8 Relationship between meropodit length of the first peraeopod and age in months

表 1 不同月龄三疣梭子蟹各性状的表型值

Tab. 1 Statistics of morphometric traits of *P. trituberculatus* at different months of age

性状 trait	性别 sex	月龄 months of age					
		1	2	3	4	5	6
BW/g	雌性 female	5.14 ± 0.14 ^c	28.20 ± 2.50	81.50 ± 5.05	149.12 ± 8.74	222.56 ± 3.28 ^a	265.09 ± 5.27 ^a
	雄性 male	5.82 ± 0.06 ^a	29.30 ± 0.89	79.91 ± 5.45	148.72 ± 3.96	180.35 ± 3.96 ^c	193.26 ± 2.92 ^c
	混合 mix	5.48 ± 0.05 ^b	28.75 ± 0.84	80.70 ± 5.23	148.92 ± 5.60	201.46 ± 1.86 ^b	229.17 ± 3.38 ^b
BL/mm	雌性 female	21.85 ± 0.35 ^b	38.78 ± 1.10	54.37 ± 0.69	69.43 ± 1.71	78.77 ± 1.70 ^a	86.40 ± 0.30 ^a
	雄性 male	22.54 ± 0.05 ^a	39.38 ± 0.39	54.13 ± 0.81	68.23 ± 0.28	71.21 ± 0.71 ^c	72.50 ± 0.48 ^c
	混合 mix	22.20 ± 0.20 ^{ab}	39.08 ± 0.41	54.34 ± 0.66	68.83 ± 0.83	74.99 ± 0.53 ^b	79.45 ± 0.30 ^b
BH/mm	雌性 female	11.25 ± 0.04 ^c	19.92 ± 0.67	28.54 ± 0.53	35.36 ± 0.84 ^a	40.56 ± 0.19 ^a	43.00 ± 0.10 ^a
	雄性 male	11.41 ± 0.01 ^a	19.65 ± 0.23	28.03 ± 0.54	33.68 ± 0.45 ^b	35.96 ± 0.26 ^c	36.36 ± 0.36 ^c
	混合 mix	11.33 ± 0.02 ^b	19.79 ± 0.27	28.29 ± 0.53	34.52 ± 0.46 ^{ab}	38.26 ± 0.05 ^b	39.68 ± 0.23 ^b
FCW/mm	雌性 female	43.92 ± 0.52 ^b	76.35 ± 2.70	110.32 ± 2.40	136.73 ± 3.17	156.43 ± 2.00 ^a	167.76 ± 0.85 ^a
	雄性 male	45.49 ± 0.14 ^a	78.40 ± 1.00	109.24 ± 2.56	134.52 ± 1.33	143.79 ± 1.48 ^c	147.21 ± 0.36 ^c
	混合 mix	44.71 ± 0.19 ^{ab}	77.37 ± 1.01	109.78 ± 2.48	135.62 ± 1.99	150.11 ± 1.31 ^b	157.49 ± 0.68 ^b
CW/mm	雌性 female	33.65 ± 0.30 ^c	60.29 ± 1.83	85.48 ± 1.31	105.98 ± 2.37	121.71 ± 1.39 ^a	129.65 ± 0.69 ^a
	雄性 male	34.87 ± 0.06 ^a	62.00 ± 0.56	86.13 ± 1.85	106.61 ± 0.95	113.02 ± 0.80 ^c	115.39 ± 0.56 ^c
	混合 mix	34.26 ± 0.12 ^b	61.14 ± 0.70	85.80 ± 1.54	106.29 ± 1.19	117.36 ± 0.68 ^b	122.52 ± 0.58 ^b
MLC/mm	雌性 female	15.16 ± 0.26 ^b	26.62 ± 1.72	37.59 ± 1.45	39.83 ± 0.99 ^c	45.87 ± 1.08 ^c	50.21 ± 0.60 ^c
	雄性 male	15.76 ± 0.12 ^a	28.63 ± 0.23	41.43 ± 3.31	48.20 ± 0.30 ^a	53.44 ± 0.77 ^a	58.13 ± 0.11 ^a
	混合 mix	15.46 ± 0.15 ^{ab}	27.63 ± 0.75	39.51 ± 2.38	44.02 ± 0.49 ^b	49.66 ± 0.79 ^b	54.17 ± 0.28 ^b
FFLC/mm	雌性 female	20.48 ± 0.19 ^c	36.26 ± 2.12	53.04 ± 1.49 ^b	64.94 ± 1.86 ^c	74.48 ± 0.36 ^c	80.01 ± 0.71 ^c
	雄性 male	21.66 ± 0.09 ^a	38.77 ± 0.36	57.80 ± 1.02 ^a	78.85 ± 1.36 ^a	85.44 ± 0.89 ^a	88.61 ± 0.78 ^a
	混合 mix	21.07 ± 0.14 ^b	37.52 ± 0.92	55.42 ± 1.09 ^{ab}	71.89 ± 1.29 ^b	79.96 ± 0.61 ^b	84.31 ± 0.74 ^b
MLFP/mm	雌性 female	11.12 ± 0.22 ^c	18.09 ± 0.29 ^b	27.15 ± 0.96	29.16 ± 0.74 ^c	33.54 ± 0.36 ^c	40.31 ± 0.29 ^a
	雄性 male	12.10 ± 0.10 ^a	19.87 ± 0.60 ^a	29.49 ± 1.80	33.91 ± 0.46 ^a	36.18 ± 0.42 ^a	37.70 ± 0.21 ^c
	混合 mix	11.61 ± 0.08 ^b	18.98 ± 0.27 ^{ab}	28.32 ± 1.38	31.54 ± 0.58 ^b	34.86 ± 0.31 ^b	39.00 ± 0.14 ^b

注: 表中同一月龄同一性状的肩标不同字母表示差异显著($P < 0.05$), BW. 体重, BL. 体长, BH. 体高, FCW. 全甲宽, CW. 甲宽, MLC. 大螯长节长, FFLC. 大螯不动指长, MLFP. 第一步足长节长, 下同。
Notes: values with different letters at the same character and the same age indicate significant differences ($P < 0.05$), BW. body weight, BL. body length, BH. body height, FCW. full carapace width, CW. carapace width, MLC. meropodit length of the claw, FFLC. fixed finger length of the claw, MLFP. meropodit length of the first peraeopod. The same below.

差异显著 (图 6); FFLC 除第 2 月龄外, 雌雄均有显著差异 (图 7)。MLFP 在第 1—5 月龄, 雄性均大于雌性, 其中第 1、2、4 和 5 月龄雄性显著大于雌性, 而第 6 月龄时, 雌性显著大于雄性 (图 8)。

各性状雌雄混合的统计值均介于雌性和雄性之间 (表 1)。2~4 月龄时, BW、BL、BH、FCW 和 CW 五个形态性状雌雄混合分析与单性分析没有显著差异, 但在 5~6 月龄时差异显著, 雌性在以上 5 个指标中均保持显著生长优势, 而雄性各项指标均显著低于雌性及雌雄混合 (图 1~图 5)。MLC、FFLC 和 MLFP 在 4~6 月龄时, 雌雄混合分析与单性分析差异显著, 其中雄性在 MLC、FFLC 指标中均保持显著生长优势, 而雌性均显著低于雄性及雌雄混合; MLFP 指标的变化在生长后期呈现单独规律, 表现为雄性在 4~5 月龄显著高于雌性及雌雄混合, 但雌性在 6 月龄显著高于雄性及雌

雄混合 (图 6~图 8)。

2.2 各形态性状的绝对增长量和相对增长率

各生长性状的绝对增长量呈现不同的变化规律 (表 2)。随着月龄的增加, BW 的绝对增长量雌性和雄性均先增大后减小, 其中雌性的月绝对增长量最大值为 73.44 g (第 5 月龄), 最小值为 23.06 g (第 2 月龄), 而雄性的月绝对增长量最大值为 68.81 g (第 4 月龄), 最小值为 12.90 g (第 6 月龄)。在第 5 月龄后, 雌性 BW 的绝对增长量显著大于雄性。BL 和 CW 绝对增长量均随着月龄增加逐渐减小, 第 5 月龄开始, 雌雄差异显著。BH、FCW、MLC 和 FFLC 的绝对增长量则是总体呈减小趋势。其中雄性的 BH 和雌性的 FCW 在第 3 月龄时, 绝对增长量较第 2 月龄有所增大, 而后逐渐减小, 第 5 月龄起, BH 和 FCW 雌雄差异显著。雌性的

表 2 不同月龄三疣梭子蟹各性状绝对增长量

Tab. 2 Absolute increment of morphometric traits of *P. trituberculatus* at different months of age

性状 trait	性别 sex	月龄 months of age				
		2	3	4	5	6
BW/g	雌性 female	23.06 ± 2.39	53.31 ± 2.56	67.62 ± 8.80	73.44 ± 10.27 ^a	42.53 ± 6.37 ^a
	雄性 male	23.48 ± 0.84	50.61 ± 6.33	68.81 ± 2.39	31.64 ± 3.39 ^c	12.90 ± 2.88 ^c
	混合 mix	23.27 ± 0.82	51.96 ± 4.42	68.21 ± 5.53	52.54 ± 4.89 ^b	27.72 ± 2.58 ^b
BL/mm	雌性 female	16.93 ± 0.79	15.59 ± 0.97	15.06 ± 1.03	9.34 ± 2.62 ^a	7.63 ± 1.69 ^a
	雄性 male	16.84 ± 0.43	14.93 ± 1.15	13.92 ± 0.63	2.98 ± 0.56 ^b	1.29 ± 0.23 ^c
	混合 mix	16.89 ± 0.27	15.26 ± 0.27	14.49 ± 0.42	6.16 ± 1.03 ^{ab}	4.46 ± 0.74 ^b
BH/mm	雌性 female	8.68 ± 0.66	8.62 ± 0.19	6.81 ± 0.89	5.21 ± 0.98 ^a	2.44 ± 0.29 ^a
	雄性 male	8.24 ± 0.22	8.38 ± 0.76	5.65 ± 0.10	2.28 ± 0.43 ^b	0.39 ± 0.10 ^c
	混合 mix	8.46 ± 0.27	8.50 ± 0.37	6.23 ± 0.48	3.74 ± 0.42 ^{ab}	1.42 ± 0.20 ^b
FCW/mm	雌性 female	32.43 ± 2.26	33.97 ± 0.76	26.41 ± 4.01	19.70 ± 3.66 ^a	11.33 ± 1.92 ^a
	雄性 male	32.90 ± 0.88	30.84 ± 3.50	25.28 ± 1.56	9.27 ± 1.53 ^b	3.42 ± 1.15 ^c
	混合 mix	32.67 ± 0.91	32.41 ± 1.73	25.84 ± 2.72	14.49 ± 1.98 ^{ab}	7.38 ± 1.20 ^b
CW/mm	雌性 female	26.65 ± 1.57	25.19 ± 0.74	20.50 ± 1.94	15.73 ± 2.96 ^a	7.95 ± 1.47 ^a
	雄性 male	27.13 ± 0.50	24.13 ± 2.35	20.48 ± 1.03	6.41 ± 1.26 ^b	2.37 ± 0.32 ^c
	混合 mix	26.89 ± 0.62	24.66 ± 0.85	20.49 ± 1.12	11.07 ± 1.36 ^{ab}	5.16 ± 0.71 ^b
MLC/mm	雌性 female	11.46 ± 1.98	10.97 ± 0.30	2.23 ± 0.50	6.04 ± 0.11	4.34 ± 1.04
	雄性 male	12.87 ± 0.21	12.80 ± 3.53	6.77 ± 3.33	5.24 ± 1.06	4.69 ± 0.83
	混合 mix	12.16 ± 0.88	11.89 ± 1.63	4.50 ± 1.89	5.64 ± 0.52	4.51 ± 0.58
FFLC/mm	雌性 female	15.79 ± 2.00	16.77 ± 0.63 ^b	11.90 ± 2.25 ^c	9.54 ± 1.74	5.53 ± 0.46 ^a
	雄性 male	17.11 ± 0.45	19.03 ± 1.04 ^a	21.04 ± 1.07 ^a	6.59 ± 0.71	3.17 ± 0.11 ^c
	混合 mix	16.45 ± 0.85	17.90 ± 0.33 ^{ab}	16.47 ± 0.63 ^b	8.07 ± 0.75	4.35 ± 0.19 ^b
MLFP/mm	雌性 female	6.96 ± 0.08	9.06 ± 0.85	2.45 ± 0.78	3.94 ± 0.55	6.77 ± 0.57 ^a
	雄性 male	7.77 ± 0.50	9.62 ± 2.40	4.42 ± 1.48	2.27 ± 0.86	1.52 ± 0.39 ^c
	混合 mix	7.37 ± 0.24	9.34 ± 1.62	3.22 ± 0.89	3.33 ± 0.89	4.14 ± 0.22 ^b

MLC 绝对增长量在第 5 月龄有短暂的增大。雌雄的 FFLC 绝对增长量均在第 2 月龄增大, 雌性从第 4 月龄起逐渐减小, 而雄性则从第 5 月龄时开始减小, 第 6 月龄时, 雌雄差异显著。雌雄的 MLFP 均在第 2 月龄增大而后减小, 但雌性从第 5 月龄起再次增大, 第 6 月龄时, 雌雄差异显著。2~5 月龄时, 除第 4 月龄的 FFLC 和第 5 月龄的 BW 外, 雌雄混合分析与雌雄单性分析均无显著差异, 而第 6 月龄时, 除 MLC 外, 雌雄混合分析与雌雄单性分析均差异显著, 雌性具有显著优势。

雌性和雄性大多数性状的相对增长率均随着月龄增加而减小, 只有 5 月龄时雌性的 MLC 和 MLFP 以及 6 月龄时雌性的 MLFP 相对增长率大于前一个月龄(表 3)。BW 的相对增长率除 4 月龄时雄性大于雌性外, 其余月龄时雌性均大于雄性, 其中 5 月龄和 6 月龄时, 雌雄差异显著。BL、BH、FCW 和 CW 的相对增长率雌性始终大于雄性, 5

和 6 月龄时, 雌雄差异显著。除 2 月龄的 MLFP 之外, MLC、FFLC 和 MLFP 的相对增长率在 4 月龄之前雄性均大于雌性, 其中 FFLC 在 4 月龄时雌雄差异显著。而从 5 月龄起, 这三个性状的相对增长率均表现为雌性大于雄性, 除 6 月龄时的 MLC 外, 三个性状的相对增长率雌雄之间的差异均显著。2~5 月龄时, 各指标的增长率在雌雄混合分析与雌雄单性分析相比没有显著差异, 而 6 月龄时, 除 MLC 外, 雌雄混合分析与雌雄单性分析均有显著差异, 雌性具有显著优势。

2.3 各形态性状的 Logistic 模型

通过计算得到三疣梭子蟹各形态性状的模型参数(表 4), 将参数代入到 Logistic 方程得到相应的生长模型, 根据模型计算得到各性状的预测值(图 1~图 8)。根据生长模型可知, 除雌性 MLC 和 MLFP 以及雌雄混合的 MLFP 之外, 各性状以

表 3 不同月龄三疣梭子蟹各性状相对增长率

Tab. 3 Relative increment of morphometric traits of *P. trituberculatus* at different months of age

%

性状 trait	性别 sex	月龄 months of age				
		2	3	4	5	6
BW	雌性 female	447.89 ± 37.02	189.71 ± 7.46	83.48 ± 13.62	49.83 ± 10.13 ^a	19.14 ± 3.03 ^a
	雄性 male	403.68 ± 10.60	173.56 ± 27.09	86.66 ± 8.34	21.31 ± 2.58 ^b	7.19 ± 2.33 ^c
	混合 mix	424.76 ± 13.62	180.47 ± 10.21	85.07 ± 10.73	35.45 ± 4.63 ^{ab}	13.76 ± 1.28 ^b
BL	雌性 female	77.46 ± 2.60	40.28 ± 3.46	27.68 ± 1.56	13.53 ± 4.06 ^a	9.74 ± 2.39 ^a
	雄性 male	74.70 ± 2.06	37.95 ± 3.28	25.65 ± 1.51	4.36 ± 0.81 ^b	1.81 ± 0.34 ^c
	混合 mix	76.07 ± 1.04	39.05 ± 0.41	26.67 ± 0.80	8.96 ± 1.59 ^{ab}	5.95 ± 1.03 ^b
BH	雌性 female	77.13 ± 5.76	43.34 ± 2.24	23.90 ± 3.35	14.80 ± 3.16 ^a	6.02 ± 0.75 ^a
	雄性 male	72.17 ± 1.87	42.70 ± 4.34	20.18 ± 0.74	6.77 ± 1.35 ^b	1.09 ± 0.27 ^c
	混合 mix	74.63 ± 2.42	42.96 ± 1.72	22.06 ± 1.98	10.86 ± 1.35 ^{ab}	3.70 ± 0.51 ^b
FCW	雌性 female	73.80 ± 4.45	44.57 ± 2.20	24.00 ± 4.03	14.47 ± 3.01 ^a	7.26 ± 1.32 ^a
	雄性 male	72.32 ± 1.74	39.40 ± 4.94	23.18 ± 1.94	6.90 ± 1.17 ^b	2.39 ± 0.82 ^b
	混合 mix	73.07 ± 1.92	41.87 ± 1.96	23.59 ± 2.91	10.70 ± 1.59 ^{ab}	4.92 ± 0.83 ^a
CW	雌性 female	79.16 ± 4.07	41.84 ± 2.35	23.99 ± 2.31	14.90 ± 3.13 ^a	6.54 ± 1.28 ^a
	雄性 male	77.80 ± 1.32	38.96 ± 4.12	23.82 ± 1.66	6.02 ± 1.23 ^b	2.10 ± 0.30 ^c
	混合 mix	78.48 ± 1.65	40.32 ± 0.94	23.91 ± 1.62	10.43 ± 1.38 ^{ab}	4.40 ± 0.63 ^b
MLC	雌性 female	75.82 ± 14.37	41.45 ± 3.64	6.00 ± 1.56	15.17 ± 0.24 ^a	9.52 ± 2.49
	雄性 male	81.65 ± 1.53	44.81 ± 12.67	17.08 ± 9.21	10.88 ± 2.25 ^b	8.79 ± 1.69
	混合 mix	78.72 ± 6.41	42.90 ± 4.76	11.73 ± 5.43	12.81 ± 1.15 ^{ab}	9.11 ± 1.30
FFLC	雌性 female	77.05 ± 9.34	46.51 ± 4.35	22.53 ± 4.72 ^b	14.78 ± 3.15 ^a	7.42 ± 0.60 ^a
	雄性 male	79.00 ± 2.44	49.10 ± 2.84	36.42 ± 2.07 ^a	8.38 ± 1.03 ^b	3.72 ± 0.16 ^c
	混合 mix	78.06 ± 3.83	47.74 ± 1.17	29.73 ± 1.26 ^{ab}	11.24 ± 1.25 ^{ab}	5.44 ± 0.21 ^b
MLFP	雌性 female	62.64 ± 0.55	50.09 ± 4.57	7.54 ± 4.06	15.10 ± 3.60 ^a	20.19 ± 1.90 ^a
	雄性 male	64.17 ± 3.61	48.82 ± 13.51	15.34 ± 5.94	6.74 ± 2.65 ^b	4.20 ± 1.13 ^c
	混合 mix	63.45 ± 2.06	49.33 ± 9.10	11.54 ± 3.63	10.60 ± 3.06 ^{ab}	11.88 ± 0.72 ^b

表 4 三疣梭子蟹各性状的生长模型参数估计
Tab. 4 Estimation parameters of morphometric traits of *P. trituberculatus*

性状 trait	性别 sex	模型参数 model parameter			R^2
		K	a	r	
BW	雌性 female	290.273	4.381	1.117	0.999
	雄性 male	195.905	4.715	1.456	1.000
	混合 mix	239.293	4.415	1.231	0.999
BL	雌性 female	92.042	1.856	0.744	0.999
	雄性 male	74.705	1.834	0.971	0.997
	混合 mix	82.364	1.825	0.845	0.999
BH	雌性 female	45.255	1.869	0.799	0.999
	雄性 male	37.368	1.838	0.985	0.999
	混合 mix	41.033	1.840	0.881	1.000
FCW	雌性 female	176.982	1.858	0.781	1.000
	雄性 male	151.665	1.793	0.931	0.999
	混合 mix	163.421	1.816	0.848	1.000
CW	雌性 female	136.582	1.857	0.788	0.999
	雄性 male	118.568	1.852	0.967	0.999
	混合 mix	126.750	1.843	0.870	1.000
MLC	雌性 female	50.450	1.558	0.809	0.981
	雄性 male	58.867	1.811	0.864	0.996
	混合 mix	54.677	1.690	0.837	0.991
FFLC	雌性 female	83.904	1.886	0.796	0.999
	雄性 male	92.701	2.174	0.926	0.996
	混合 mix	88.103	2.038	0.845	1.000
MLFP	雌性 female	43.986	1.552	0.594	0.971
	雄性 male	38.206	1.779	0.967	0.998
	混合 mix	39.509	1.637	0.795	0.988

Logistic 方程拟合的 R^2 均达到 0.99 以上, 各性状各月龄的预测值与实测值基本一致。BW、BL、BH、FCW、CW、MLC、FFLC、MLFP 八个性状的极限生长值雌性分别为 290.27 g、92.042 mm、45.255 mm、176.982 mm、136.582 mm、50.450 mm、83.904 mm、43.986 mm, 雄性分别为 195.905 g、74.705 mm、37.368 mm、151.665 mm、118.568 mm、58.867 mm、92.701 mm、38.206 mm。除 MLC 和 FFLC 的极限生长值雄性大于雌性外, 其余性状的极限生长值均为雌性大于雄性。各性状雌雄混合分析的极限生长值介于雌性和雄性之间。

2.4 各形态性状的快速生长区间及拐点

根据 Logistic 方程的固有性质计算得到三疣梭子蟹各形态性状的快速生长区间及生长拐点

(表 5)。BW 的快速生长区间雌性为 2.74~5.10 月龄, 雄性为 2.33~4.14 月龄, 雌性的快速生长期比雄性持续时间长, 分别为 2.36 和 1.81 个月。BW 的生长拐点雌性比雄性稍晚, 分别为 3.92 和 3.24 月龄。其余七个性状均在养殖初期 (0.30~0.93 月龄) 即进入快速生长期, 拐点在 2 月龄左右 (1.84~2.61 月龄), 终速点在 4 月龄左右 (3.20~4.83 月龄)。在这七个性状中, 雌性的快速生长区间均比雄性持续时间长, 除 MLC 外, 雌性的拐点也比雄性出现得更晚。其中, 雌性 BW、BL、BH、FCW、CW 的始速点和终速点均晚于雄性。雌性 MLC 的始速点和终速点均早于雄性。而雌性 FFLC 和 MLFP 的始速点均早于雄性, 但终速点却晚于雄性。各性状雌雄混合分析的始速点、拐点及终速点均介于雌性和雄性之间。

表 5 三疣梭子蟹各性状的快速生长区间及拐点
Tab. 5 Fast growth interval of morphometric traits and growth inflection points of *P. trituberculatus*

性状 trait	性别 sex	快速生长区间(月龄/对应值)/(g/mm) fast growth interval (months of age/ corresponding trait value)		
		始速点 starting point	生长拐点 inflection point	终速点 ending point
BW	雌性 female	2.74/61.34	3.92/145.14	5.10/228.93
	雄性 male	2.33/41.40	3.24/97.95	4.14/154.51
	混合 mix	2.52/50.57	3.59/119.65	4.66/188.72
BL	雌性 female	0.72/19.45	2.49/46.02	4.26/72.59
	雄性 male	0.53/15.79	1.89/37.35	3.25/58.92
	混合 mix	0.60/17.41	2.16/41.18	3.72/64.96
BH	雌性 female	0.69/9.56	2.34/22.63	3.99/35.69
	雄性 male	0.53/7.90	1.87/18.68	3.20/29.47
	混合 mix	0.59/8.67	2.09/20.52	3.58/32.36
FCW	雌性 female	0.69/37.40	2.38/88.49	4.07/139.58
	雄性 male	0.51/32.05	1.93/75.83	3.34/119.61
	混合 mix	0.59/34.53	2.14/81.71	3.69/128.89
CW	雌性 female	0.69/28.86	2.36/68.29	4.03/107.72
	雄性 male	0.55/25.06	1.92/59.28	3.28/93.51
	混合 mix	0.60/26.79	2.12/3.63	3.63/99.96
MLC	雌性 female	0.30/10.66	1.93/25.23	3.55/39.79
	雄性 male	0.57/12.44	2.10/29.43	3.62/46.43
	混合 mix	0.45/11.55	2.02/27.34	3.59/43.12
FFLC	雌性 female	0.71/17.73	2.37/41.95	4.02/66.17
	雄性 male	0.93/19.59	2.35/46.35	3.77/73.11
	混合 mix	0.83/18.62	2.35/44.05	3.87/69.48
MLFP	雌性 female	0.40/9.30	2.61/21.99	4.83/34.69
	雄性 male	0.48/8.07	1.84/19.10	3.20/30.13
	混合 mix	0.40/8.35	2.06/19.75	3.72/31.16

3 讨论

3.1 三疣梭子蟹雌性和雄性的生长规律比较

很多动物在具有重要经济价值的生长性状上表现出显著的性别差异^[22]。这种雌性和雄性之间生长性能的差异对于实现精细化高效养殖具有指导意义。Gopal 等^[23]探究了斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 在实验养殖条件和商业养殖条件下雌性和雄性的生长规律。结果发现, 实验养殖条件下培育 70 d 后, 雌性比雄性长得更快, 并始终保持 6~10 g 的平均差异。而在商业养殖条件下, 这种生长差异在培育 90 d 后也开始出现。杨明等^[24]在池塘精养罗氏沼虾 5.5 个月后发现, 收获时雄虾平均体长是雌虾的 1.11 倍, 平均体重是雌虾的 1.48 倍。Görelşahin 等^[25]发现孔雀花鲈 (*Poecilia reticulata*) 雌性的生长性能是雄性的 2 倍, 进行雌性单性养殖模式可以显著提高养殖成活率和缩短上市时间。郭新堂等^[26]通过对三疣梭子蟹雌雄分养发现, 全雌养殖模式的产量显著高于混养模式。由此可见, 充分利用养殖动物的生长规律和特性进行单性养殖可以大幅提高养殖动物的品质和产量, 获得更高的经济效益。

本研究对池塘养殖条件下三疣梭子蟹雌性、雄性以及雌雄混合的生长性状分别进行了统计分析, 结果发现, 在第 1 月龄时, 雄性的各性状均显著大于雌性。第 2 月龄时, 除 BH 外, 其余各性状雄性仍然大于雌性。从第 3 月龄起, 雌性的 BW、BL 和 FCW 开始超过雄性, 这可能与雌性的性腺发育有关。第 3 月龄时 (8 月底 9 月初), 雌性的卵巢发育处于 II 期或者 III 期, 卵巢发育开始加快, 带状体变粗变大^[27], 因此雌性的 BW、BL 和 FCW 增长较快。第 5 月龄起雌性的 BW、BL、FCW 和 CW 均显著大于雄性, 第 6 月龄时, 雌性 BW 可达雄性的 1.37 倍。第 5 和第 6 月龄 (10 月底—12 月初) 时, 雌性的卵巢发育处于 IV 期或者 V 期, 卵黄合成旺盛, 卵巢体积持续增大^[27], 而此时期雄性的性腺发育基本成熟, 性腺指数增长缓慢^[16], 因此雌性的 BW、BL、FCW 和 CW 增长较快, 绝对增长量和相对增长率均显著大于雄性。有的研究表明, 三疣梭子蟹雌蟹未经交配, 其卵巢不能发育至 III 期晚期, 影响卵母细胞内卵黄合成^[27], 因此, 雌性后期的生长优势可能与交配有关, 在采用全雌养殖模式时, 应考虑交配对后期雌蟹生长优势的影响。

雄性的 MLFP 在第 1—5 月龄时大于雌性, 然而到了第 6 月龄, 雌性超过雄性, 并且差异显著, 其原因有待进一步研究。本研究表明, 池塘养殖三疣梭子蟹不同生长指标具有各自的规律性, 且各指标在雌雄混合养殖条件下雌性和雄性具有不同的优势阶段, 可根据养殖目标和周期的不同, 制定精细化的养殖方法。

3.2 三疣梭子蟹各生长性状的 Logistic 模型及应用

建立生长模型是了解动物生长规律的重要方法^[24]。生长模型可以预测和分析动物在生长过程中的生长潜能和差异, 从而在生产上对养殖方案进行合理优化, 提高产量, 获得最佳收益^[28-29]。在水产动物中, 关于生长模型的研究已有大量报道, 以 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 三种典型的生长模型最为常用^[30]。唐建清等^[31]用 von Bertalanffy 和 Logistic 方程建立了克氏原螯虾 (*Procambarus clarkii*) 的生长模型, 并以此推算出其性成熟年龄、生长拐点等生态参数。梁华芳等^[32]用 von Bertalanffy 方程建立了 1 龄锦绣龙虾 (*Panulirus ornatus*) 的生长模型, 揭示了其体重前期生长较慢, 后期较快, 体重增长速率曲线呈不对称的 S 曲线等生长特性。这些模型的建立为水产动物的合理开发利用和规模化养殖提供了参考依据。

对于养殖三疣梭子蟹, 王燕飞等^[20]采用 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 三种模型分别拟合了单体筐养三疣梭子蟹形态性状的生长特征, 结果显示, 三种模型对其各形态性状均有较好的拟合性能 (R^2 均大于 0.990), 其中 BW 以 Logistic 模型的拟合效果最佳, R^2 可达 0.999。由模型可知, BW 的极限生长值为 231.440 g, 快速生长区间和拐点分别为 2.14~3.91 月龄和 3.02 月龄。本研究采用 Logistic 模型拟合了池塘养殖三疣梭子蟹各形态性状的生长特征, 各模型的 R^2 除 MLFP 为 0.988 之外, 其余均大于 0.990。从本研究的生长模型可知, 雌雄混合养殖时, BW 的极限生长值为 239.293 g, 快速生长区间和拐点分别为 2.52~4.66 月龄和 3.59 月龄, 生长过程符合“慢-快-慢”的特征, 这与王燕飞等^[20]在单体筐养模式下得出的结果基本一致。甲壳动物属于蜕壳生长的物种, 每经历一次蜕壳, 其体重等形态性状会显著增长^[33], 而其蜕壳行为受到温度的影响^[34]。从本研究的结果来看, 三疣梭子蟹的快速生长区

间约为8月上旬—10月中旬, 此时的水温约为23~28℃, 为三疣梭子蟹的最适生长水温^[20], 因此生长较快。

本研究以 Logistic 模型分别拟合了雌雄混合池塘养殖模式下雌性和雄性的生长特征。从本研究建立的三疣梭子蟹 Logistic 生长模型可以看出, 在相同的饲养条件下, 雌雄三疣梭子蟹的生长规律差异显著。以 Logistic 模型来描述三疣梭子蟹雌性和雄性的生长规律时, 其均为典型的 S 曲线, 符合“慢-快-慢”的特征。极限生长值 K 除 MLC 和 FFLC 外雌性均大于雄性。雌性 BW、BL、BH、FCW 和 CW 的始速点、拐点和终速点均晚于雄性。在本研究中, 以 BW 为例, 养殖前期雄性的生长快于雌性, 雄性在 2.33 月龄即 (8 月上旬) 进入快速生长期。而当雌性在 2.74 月龄 (8 月下旬) 进入快速生长期后, 情况发生了改变, 雌性的生长逐渐快于雄性。当雄性在 4.14 月龄 (10 月上旬) 结束快速生长期后, 雌性仍处于快速生长期, 雌雄之间 BW 的差异进一步扩大。到了养殖后期, 雌性的 BW 已显著大于雄性。Duan 等^[35] 通过比较分析三疣梭子蟹单性养殖模式和混合养殖模式下的甲宽和体重指标, 也发现全雄养殖组前期生长较快, 而全雌养殖组后期生长较快, 与本研究得出的结论相一致。

此外, 本研究建立的各生长指标在单性别和雌雄混合养殖统计下的详细模型, 可为精细化养殖策略的制定实施提供参考依据。例如, 根据雌性和雄性的生长差异, 在三疣梭子蟹中开展单性养殖时, 可以根据雌性和雄性快速生长期的不同, 调整饵料的投喂量。雄性在结束快速生长期 (4.14 月龄) 时, 其性腺发育已接近成熟^[16], 此时的 BW 约为 154.371 g, 已非常接近其极限生长值 195.905 g, 之后 BW 的增长十分有限, 因此在 4.14 月龄之后 (10 月之后), 可以作为雄蟹阶段性养殖的最佳收获时间, 在获得最佳增重的同时降低养殖成本, 提高养殖效益。另外, 从构建的模型可以看出, 雌性比雄性有更高的极限生长值 (290.273 g) 和更长的快速生长区间 (2.74~5.10 月龄, 即 8 月下旬—11 月上旬), 雌性结束快速生长期时的 BW 为 228.870 g。因此在进行单性养殖时, 可适当延长雌性的养殖周期, 以获得更高的养殖效益。

4 结论

本研究通过比较分析, 揭示了池塘养殖三疣

梭子蟹不同生长指标各自的规律性, 以及各指标在混合养殖条件下雌性和雄性的不同优势阶段, 研究结果可为制定三疣梭子蟹精细化养殖方案, 实现科学高效养殖提供参考。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 戴爱云, 冯钟琪, 宋玉枝, 等. 三疣梭子蟹渔业生物学的初步调查[J]. 动物学杂志, 1977, 12(2): 30-33.
Dai A Y, Feng Z Q, Song Y Z, et al. The preliminary investigation of *Portunus trituberculatus* in fisheries biology[J]. Chinese Journal of Zoology, 1977, 12(2): 30-33 (in Chinese).
- [2] 王小刚, 王迎宾, 叶婷, 等. 三疣梭子蟹生长特性的初步分析[J]. 海洋湖沼通报, 2018, 2: 131-136.
Wang X G, Wang Y B, Ye T, et al. A preliminary analysis of the growth characteristics of *Portunus trituberculatus*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018, 2: 131-136 (in Chinese).
- [3] 刘磊, 王春琳, 母昌考, 等. 野生、养殖和“科甬1号”群体三疣梭子蟹营养和风味品质比较分析[J]. 食品科学, 2017, 38(20): 55-62.
Liu L, Wang C L, Mu C K, et al. Comparative analysis of flavor and nutritional qualities of wild, "Keyong No. 1" and aquacultural populations of *Portunus trituberculatus*[J]. Food Science, 2017, 38(20): 55-62 (in Chinese).
- [4] 史会来, 金翀略, 林桂装, 等. 浙江三疣梭子蟹养殖现状[J]. 河北渔业, 2010(7): 39-41.
Shi H L, Jin C L, Lin G Z, et al. Current situation of swimming crab farming in Zhejiang Province[J]. Hebei Fisheries, 2010(7): 39-41 (in Chinese).
- [5] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2015[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015 (in Chinese).
- [6] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2016[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016 (in Chinese).
- [7] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴-2017[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.

- Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017 (in Chinese).
- [8] 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. 中国渔业统计年鉴-2018[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018 (in Chinese).
- [9] 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. 中国渔业统计年鉴-2019[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019 (in Chinese).
- [10] 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. 中国渔业统计年鉴-2020[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese).
- [11] Aflalo E D, Hoang T T T, Nguyen V H, *et al.* A novel two-step procedure for mass production of all-male populations of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*[J]. *Aquaculture*, 2006, 256(1-4): 468-478.
- [12] Nair C M, Salin K R, Raju M S, *et al.* Economic analysis of monosex culture of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii* De Man): a case study[J]. *Aquaculture Research*, 2006, 37(9): 949-954.
- [13] Sagi A, Ra'anan Z, Cohen D, *et al.* Production of *Macrobrachium rosenbergii* in monosex populations: yield characteristics under intensive monoculture conditions in cages[J]. *Aquaculture*, 1986, 51(3-4): 265-275.
- [14] Hulata G. The production of *Macrobrachium rosenbergii* in monosex populations. : II. Yield characteristics in polyculture ponds[J]. *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*, 1988, 40(1): 9-16.
- [15] Triño A T, Millamena O M, Keenan C. Commercial evaluation of monosex pond culture of the mud crab *Scylla* species at three stocking densities in the Philippines[J]. *Aquaculture*, 1999, 174(1-2): 109-118.
- [16] 车杰, 柳梅梅, 侯文杰, 等. 池塘养殖三疣梭子蟹雄体生长和性腺发育规律[J]. *动物学杂志*, 2019, 54(3): 347-361.
- Che J, Liu M M, Hou W J, *et al.* Growth and gonadal development of pond-reared male swimming crab, *Portunus trituberculatus*[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2019, 54(3): 347-361 (in Chinese).
- [17] 高天龙, 王燕飞, 鲍雪宁, 等. 单体筐养三疣梭子蟹的蜕壳与生长规律研究[J]. *生物学杂志*, 2016, 33(3): 41-46.
- Gao T L, Wang Y F, Bao X N, *et al.* Study on the characteristics of molting and growth of *Portunus trituberculatus* cultured in single individual basket[J]. *Journal of Biology*, 2016, 33(3): 41-46 (in Chinese).
- [18] 殷祚云. Logistic曲线拟合方法研究[J]. *数理统计与管理*, 2002, 21(1): 41-46.
- Yin Z Y. Study on the fitting methods of logistic curve[J]. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2002, 21(1): 41-46 (in Chinese).
- [19] 王莽莽, 李典谟. 用麦夸方法最优拟合逻辑斯谛曲线[J]. *生态学报*, 1986, 6(2): 142-147.
- Wang M M, Li D M. Fitting logistic curve by Marquardt's algorithm[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1986, 6(2): 142-147 (in Chinese).
- [20] 王燕飞, 陈晨, 鲍雪宁, 等. 三疣梭子蟹“中宁1号”的形态性状增长规律[J]. *水产学报*, 2014, 38(2): 183-192.
- Wang Y F, Chen C, Bao X N, *et al.* Morphometric growth of *Portunus trituberculatus* "Zhongning No. 1"[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(2): 183-192 (in Chinese).
- [21] 苏建平, 刘季科. 甘肃鼠兔幼子生长的初步研究[J]. *兽类学报*, 2001, 21(2): 94-100.
- Su J P, Liu J K. A primary study on the postnatal growth of Gansu pika (*Ochotona cansus*)[J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2001, 21(2): 94-100 (in Chinese).
- [22] Yang X L, Ikhwanuddin M, Li X C, *et al.* Comparative transcriptome analysis provides insights into differentially expressed genes and long non-coding RNAs between ovary and testis of the mud crab (*Scylla paramamosain*)[J]. *Marine Biotechnology*, 2018, 20(1): 20-34.

- [23] Gopal C, Gopikrishna G, Krishna G, *et al.* Weight and time of onset of female-superior sexual dimorphism in pond reared *Penaeus monodon*[J]. *Aquaculture*, 2010, 300(1-4): 237-239.
- [24] 杨明, 丁福江, 戴习林. 池塘精养罗氏沼虾生长特性研究[J]. 水产科技情报, 2017, 44(5): 229-235.
Yang M, Ding F J, Dai X L. Growth traits of *Macrobrachium rosenbergii* intensively cultured in pond[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2017, 44(5): 229-235 (in Chinese).
- [25] Görelşahin S, Yanar M, Kumlu M. The effects of stocking density, Tubifex feeding and monosex culture on growth performance of guppy (*Poecilia reticulata*) in a closed indoor recirculation system[J]. *Aquaculture*, 2018, 493: 153-157.
- [26] 郭新堂, 张修峰, 李延信. 三疣梭子蟹雌雄隔离养殖技术研究[J]. 海洋湖沼通报, 1997(3): 71-75.
Guo X T, Zhang X F, Li Y X. Technique of isolating female from male culture of *Portunus trituberculatus*[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1997(3): 71-75 (in Chinese).
- [27] 吴旭干, 姚桂桂, 杨筱珍, 等. 东海三疣梭子蟹第一次卵巢发育规律的研究[J]. 海洋学报, 2007, 29(4): 120-127.
Wu X G, Yao G G, Yang X Z, *et al.* A study on the ovarian development of *Portunus trituberculatus* in East China Sea during the first reproductive cycle[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(4): 120-127 (in Chinese).
- [28] 丁君, 王永华, 银学祥, 等. 人工繁殖虾夷马粪海胆生长模型[J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2175-2180.
Ding J, Wang Y H, Yin X X, *et al.* Growth model of artificially bred *Strongylocentrotus intermedius*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(11): 2175-2180 (in Chinese).
- [29] 雒林通, 马芳, 聂万虹. 太平鸡生长规律与生长曲线拟合研究[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2020, 40(7): 58-62.
Luo L T, Ma F, Nie W H. Study on the growth rule and growth curve fitting of Taiping chicken[J]. *Animal Science Abroad (Pigs and Poultry)*, 2020, 40(7): 58-62 (in Chinese).
- [30] 王新安, 马爱军, 黄智慧, 等. 大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)大规模家系选育优良家系的生长发育规律[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(2): 266-273.
Wang X A, Ma A J, Huang Z H, *et al.* Growth patterns of selectively bred turbot *scophthalmus maximus*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(2): 266-273 (in Chinese).
- [31] 唐建清, 宋胜磊, 吕佳, 等. 克氏原螯虾种群生长模型及生态参数的研究[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2003, 26(1): 96-100.
Tang J Q, Song S L, Lü J, *et al.* A Study on growth model and ecological parameters of *Cambarus clarkii*[J]. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition)*, 2003, 26(1): 96-100 (in Chinese).
- [32] 梁华芳, 何建国. 实验条件下1龄锦绣龙虾的生长特性[J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 364-370.
Liang H F, He J G. Growth model for one-year old *Panulirus ornatus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(2): 364-370 (in Chinese).
- [33] 邵蓬. 温度和盐度波动对甲壳动物行为和生长的影响[J]. 天津水产, 2010(3): 5-8.
Shao P. Effects of temperature and salinity fluctuations on the behavior and growth of crustaceans[J]. *Tianjin Fisheries*, 2010(3): 5-8 (in Chinese).
- [34] Azra M N, Chen J C, Hsu T H, *et al.* Growth, molting duration and carapace hardness of blue swimming crab, *Portunus pelagicus*, instars at different water temperatures[J]. *Aquaculture Reports*, 2019, 15: 100226.
- [35] Duan H B, Mao S, Xia Q, *et al.* Comparisons of growth performance, gonadal development and nutritional composition among monosex and mixed-sex culture modes in the swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[J]. *Aquaculture Research*, 2021, 52(7): 3403-3414.

Growth characteristics of *Portunus trituberculatus* cultured in ponds

LU Junkai^{1,2}, ZHANG Weiren^{1,2}, JIAN Jieliang^{1,2}, ZHANG Kexin¹, CHEN Qingwei^{1,2},
LI Ronghua^{1,2}, WANG Chunlin^{1,2*}, MU Changkao^{1,2}

(1. Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education,

School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Collaborative Innovation Center for Zhejiang Marine High-efficiency and Healthy Aquaculture,
Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to explore the growth characteristics and sexual differences of *Portunus trituberculatus* cultured in ponds, this study investigated the growth parameters of pond cultured *P. trituberculatus* at 1 to 6 months of age, and Logistic model was used to fit eight morphometric traits of *P. trituberculatus*, including body weight (BW), body length (BL), body height (BH), full carapace width (FCW), carapace width (CW), meropodit length of the claw (MLC), fixed finger length of claw (FFLC) and meropodit length of the first peraeopod (MLFP). The results showed that the growth was different between male and female of *P. trituberculatus*. The male grew faster at the early stage, while the female grew faster at the late stage of culture, and the mixed sex analysis lied in between. The R^2 values of all models of the morphometric traits were above 0.990 except MLC and MLFP in female and MLFP in mixed sex. The carrying capacity of BW of female and male were 290.27 g and 195.91 g, respectively, the fast growth interval of female and male were 2.74-5.10 months of age and 2.33-4.14 months of age, respectively, and the inflection points of female and male were 3.92 months of age and 3.24 months of age, respectively. In summary, the growth process of *P. trituberculatus* conformed to the "slow-fast-slow" pattern. Males entered the fast growth interval earlier than females, but had less duration of fast growth interval. This study provides the characteristics of different growth parameters of *P. trituberculatus* and the dominant stages for male and female of each parameter under the conditions of mixed sex culture, so as to provide reference data for the fine and efficient culture of this species.

Key words: *Portunus trituberculatus*; growth difference; logistic model; monosex culture

Corresponding author: WANG Chunlin. E-mail: wangchunlin@nbu.edu.cn

Funding projects: National Key R & D Program of China (2018YFD0900303); China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-48); K.C. Wong Magana Fund in Ningbo University