

三疣梭子蟹“中宁 1 号”的形态性状增长规律

王燕飞¹, 陈 晨¹, 鲍雪宁¹, 母昌考¹, 宋微微¹,
李荣华¹, 彭小明², 王春琳^{1*}

(1. 宁波大学海洋学院, 浙江 宁波 315211;

2. 奉化市渔业技术推广站, 浙江 奉化 315500)

摘要: 以 1~6 月龄三疣梭子蟹“中宁 1 号”为材料, 采用 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 3 种模型分别拟合了体质量、体长、全甲宽、甲宽、体高、大螯长节长、大螯不动指长及第一步足长节长共 8 个形态性状的生长特征, 旨在寻找各性状的最佳生长模型, 并对其增长规律进行研究。结果表明: 三疣梭子蟹体质量性状生长过程以 Logistic 生长模型 ($R^2 = 0.999$) 的拟合效果最佳; 除体质量外的其它 7 个性状则均以 von Bertalanffy 生长模型 (R^2 为 0.990~0.994) 拟合效果最好; 各性状模型经 ANOVA 检验后均具有统计学意义 ($P < 0.01$)。根据各性状的最佳生长模型得出各性状的极限值分别为体质量 231.44 g、体长 84.45 mm、全甲宽 164.44 mm、甲宽 128.47 mm、体高 43.69 mm、大螯长节长 59.96 mm、大螯不动指长 90.89 mm、第一步足长节长 37.20 mm。体质量的快速生长区间及拐点分别为 2.14~3.91 月龄及 3.02 月龄; 其它 7 个性状快速生长区间的始速点为 0 月龄, 终速点为 2.05~2.35 月龄, 拐点在 1 月龄左右。各性状间的生长速率、生长加速度、相对增长率与绝对增长率存在一定差异。总之, 体质量性状生长过程符合“慢-快-慢”的特征, 其它性状则表现为“快-慢”的特征。以上结果可为三疣梭子蟹“中宁 1 号”选择育种及养殖生产提供参考依据。

关键词: 三疣梭子蟹; 形态性状; 生长模型; 选择育种

中图分类号: Q 13; S 968.2

文献标志码: A

三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 是中国常见的一种大型海产经济蟹类, 其生长速度快、经济价值高, 已成为中国重要海洋养殖种类之一。三疣梭子蟹生长规律的研究具有重要意义, 高保全等^[1]分析了三疣梭子蟹形态性状对体质量的影响, 刘磊等^[2]分析了三疣梭子蟹 80、100、120 日龄形态性状对体质量的影响, 此外高保全等^[3-4]还对三疣梭子蟹不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代生长性状及自建家系的生长性状进行了比较分析。物种生长曲线的拟合与分析是研究其生长发育规律的主要方法之一^[5], 目前有关水产动物生长模型的研究已有大量报道, 刘志刚等^[6]采用模型拟合方

法对墨西哥湾扇贝 (*Argopecten irradians concentricus*) 的形态增长规律进行了研究, 表明各性状均符合 Logistic 曲线模型; 张建东^[7]与唐章生等^[8]分别在研究中华乌塘鳢 (*Bostrichthys sinensis*) 和吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 的生长时均用到了 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 3 种模型; 何小燕等^[9]利用 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 3 种生长模型来研究大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 早期生长发育规律; 王新安等^[10]研究了大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 大规模家系选育优良家系体质量的生长发育规律, 建立了生长模型并描述了生长特性。本实验采用

收稿日期: 2013-09-06 修回日期: 2013-12-01

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2012AA10A409); 国家自然科学基金项目 (41106123, 41376150); 浙江省水产育种专项 (2012C12907-3); 浙江省海水养殖重点科技创新团队项目 (2010R50025-08); 浙江省教育厅高校科研计划项目 (Z201121258); 宁波市海洋蟹类产业科技创新团队项目 (2011B81003)

通信作者: 王春琳, E-mail: wangchunlin@nbu.edu.cn

Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 3 种非线性模型,对三疣梭子蟹“中宁 1 号”生长进行拟合,旨在揭示其形态性状增长规律,为其选择育种及养殖生产提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

2006 年,利用溶藻弧菌(1.14×10^7 cfu/mL)对基础群体进行人工浸染处理,利用成活亲本构建育种核心群体,以溶藻弧菌感染耐受性和生长速度为选育指标(核心群体每年用相同浓度的溶藻弧菌进行感染筛选),进行群体选育。核心群体每年进行 1 代选育,至 2010 年已连续进行了 5 代选育,形成了特征明显、性状稳定的三疣梭子蟹新品系,拟将其命名为“中宁 1 号”。该新品系于 2013 年 12 月 4 日通过良种审定委员会审定,成为“中宁 1 号”新品种。

本实验所取样本为宁波鑫亿鲜活水产有限公司 2012 年 5 月 20 日孵化的三疣梭子蟹“中宁 1 号”,幼蟹养殖在 $30 \times 666.67 \text{ m}^2$ 的土池中,此后于每月第 20 日选取 120 尾(雌雄各半),对其全甲宽(FCW)、甲宽(CW)、体长(BL)、体高(BH)、大螯长节长(MLC)、大螯不动指长(FFLC)、第一步足长节长(MLFP)、体质量(BW)8 项形态指标进行测量,测量结束日期为 2012 年 11 月 20 日。

1.2 测定方法

用游标卡尺测量全甲宽、甲宽、体长、体高、大

螯长节长、大螯不动指长、第一步足长节长,精确到 0.1 mm,体质量用电子天平称量,精确到 0.01 g。实验期间月平均水温 $19.13 \sim 28.72 \text{ }^\circ\text{C}$,盐度为 $20.27 \sim 27.85$ 。

1.3 分析方法

采用 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 3 种模型拟合三疣梭子蟹的形态性状增长规律。3 种模型的形式分别为

$$W_t = A/[1 + Be^{(-kt)}] \text{ 和 } W_t = Ae[-Be^{(-kt)}];$$

$$W_t = A[1 - Be^{(-kt)}]^3。$$

t : 月龄; W_t : t 月龄时的体质量; A : 极限生长值; k : 瞬时生长速度; B : 参数。首先以四点法^[11]估计出初值 A , 计算出 k 、 B 的初值,再根据 SPSS 19.0 软件中的非线性拟合,使用 Levenberg-Marquardt 迭代法^[12-13],以 10^{-6} 为收敛标准,计算出各模型中 A 、 B 、 k 的最优值。根据拟合度 R^2 的大小确定各性状形态的最优模型。

2 结果

2.1 三疣梭子蟹各性状的表型参数

对各性状而言,同一月龄中均以体质量的变异系数最大。各月龄体质量变异系数的大小顺序为 5 月龄 < 4 月龄 < 6 月龄 < 1 月龄 < 3 月龄 < 2 月龄(表 1)。体长、全甲宽与体高均在 2 月龄时变异系数最大,甲宽在 1 月龄时变异系数最大。大螯长节长、大螯不动指长与第一步足长节长的变异系数均在 3 月龄时有最大值。

表 1 各性状表型统计量
Tab.1 The apparent statistics of various traits

月龄 month	参数 parameter	BW	BL	FCW	CW	BH	MLC	FFLC	MLFP
1	均值 \bar{x}	12.88	31.45	60.45	47.00	15.90	18.58	27.74	12.83
	标准差 SD	3.57	3.24	6.17	6.24	1.66	1.94	2.88	1.54
	变异系数 CV%	27.72	10.30	10.21	13.28	10.44	10.44	10.38	12.00
2	均值 \bar{x}	45.26	48.56	94.00	73.68	24.64	31.17	46.22	20.89
	标准差 SD	14.03	5.70	10.28	8.83	3.05	5.07	6.32	2.81
	变异系数 CV%	31.00	11.74	10.94	11.98	12.38	16.27	13.67	13.45
3	均值 \bar{x}	108.62	63.15	123.45	96.37	31.87	42.87	63.96	28.12
	标准差 SD	31.45	5.91	13.18	9.63	2.95	7.49	10.58	4.08
	变异系数 CV%	28.95	9.36	10.68	9.99	9.26	17.47	16.54	14.51
4	均值 \bar{x}	192.07	78.20	149.90	117.91	39.25	53.58	80.07	33.62
	标准差 SD	42.21	6.52	12.26	8.93	4.20	6.07	8.20	2.90
	变异系数 CV%	21.98	8.34	8.17	7.57	10.70	11.33	10.24	8.63
5	均值 \bar{x}	221.42	81.53	159.26	123.46	40.54	56.10	86.33	35.51
	标准差 SD	47.73	6.49	10.65	8.74	3.35	7.18	8.66	3.50
	变异系数 CV%	21.56	7.96	6.69	7.08	8.26	12.80	10.03	9.86
6	均值 \bar{x}	225.75	79.12	159.12	123.04	42.62	56.47	84.18	35.68
	标准差 SD	60.12	6.90	11.46	8.96	3.89	9.61	13.87	3.69
	变异系数 CV%	26.63	8.72	7.20	7.28	9.13	17.02	16.48	10.34

2.2 三疣梭子蟹各形态性状最优生长方程的确定

体质量以 Logistic 方程的拟合效果最好, R^2 达到 0.999, von Bertalanffy 方程的拟合效果最差, R^2 为 0.987。体长、全甲宽、甲宽、体高、大螯长节长、大螯不动指长、第一步足长节长均以 von Bertalanffy 方程拟合最优, R^2 在 0.990 ~ 0.994 之间(表 2)。经 ANOVA 检验 F 值后均具有统计学

意义($P < 0.01$)。将各性状的参数代入到相对应的最优方程中得到其生长模型(图 1 ~ 图 4)。根据最优生长方程可以得到体质量的极限生长值为 231.44 g, 体长、全甲宽、甲宽、体高、大螯长节长、大螯不动指长与第一步足长节长的极限生长值分别为 84.45、164.44、128.47、43.69、59.96、90.89 与 37.20 mm。

表 2 3 种生长模型参数估计
Tab.2 Three growth models' estimation parameters

性状 trait	模型 model	参数 parameter	估计 estimate	标准误差 standard error	R^2	性状 trait	模型 model	参数 parameter	估计 estimate	标准误差 standard error	R^2
BW	Logistic	A	231.440	4.242	0.999	BH	Logistic	A	41.701	2.473	0.971
		B	91.014	24.861				B	7.564	3.484	
		k	1.493	0.098				k	1.175	0.280	
	Gompertz	A	244.130	13.681	0.993		Gompertz	A	42.894	2.262	0.985
		B	10.638	3.891				B	2.624	0.512	
		k	0.900	0.150				k	0.795	0.150	
	Bertalanffy	A	273.360	26.254	0.987		Bertalanffy	A	43.691	2.114	0.990
		B	1.275	0.201				B	0.630	0.078	
		k	0.556	0.090				k	0.668	0.108	
BL	Logistic	A	80.964	3.897	0.979	MLC	Logistic	A	56.843	2.762	0.982
		B	6.968	2.571				B	9.339	3.758	
		k	1.178	0.232				k	1.200	0.230	
	Gompertz	A	83.019	3.716	0.988		Gompertz	A	58.691	2.629	0.990
		B	2.493	0.412				B	2.911	0.496	
		k	0.804	0.132				k	0.790	0.122	
	Bertalanffy	A	84.451	3.811	0.990		Bertalanffy	A	59.96	2.647	0.993
		B	0.602	0.069				B	0.678	0.078	
		k	0.676	0.104				k	0.654	0.094	
FCW	Logistic	A	159.820	7.863	0.980	FFLC	Logistic	A	86.035	4.377	0.981
		B	7.182	2.657				B	9.392	3.852	
		k	1.156	0.227				k	1.180	0.232	
	Gompertz	A	164.440	7.038	0.990		Gompertz	A	88.908	4.406	0.989
		B	2.534	0.383				B	2.916	0.531	
		k	0.782	0.118				k	0.775	0.130	
	Bertalanffy	A	167.590	6.687	0.993		Bertalanffy	A	90.891	4.621	0.991
		B	0.611	0.059				B	0.679	0.087	
		k	0.654	0.086				k	0.640	0.103	
CW	Logistic	A	123.310	6.714	0.974	MLFP	Logistic	A	35.568	1.742	0.979
		B	7.960	3.637				B	8.573	3.641	
		k	1.230	0.281				k	1.247	0.256	
	Gompertz	A	126.380	6.057	0.986		Gompertz	A	36.541	1.507	0.990
		B	2.707	0.532				B	2.803	0.480	
		k	0.837	0.151				k	0.837	0.128	
	Bertalanffy	A	128.470	5.718	0.990		Bertalanffy	A	37.198	1.377	0.994
		B	0.646	0.083				B	0.662	0.072	
		k	0.705	0.111				k	0.700	0.091	

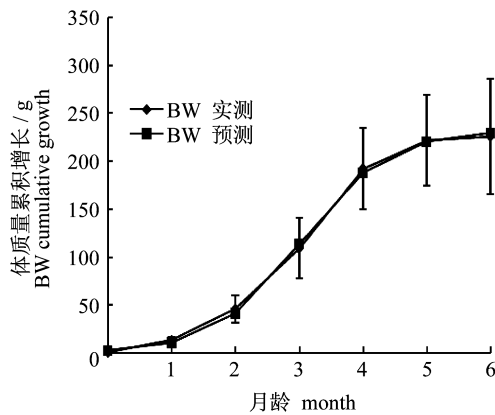


图1 体质量累积增长与月龄关系

Fig. 1 Relationship between cumulative growth of BW and month

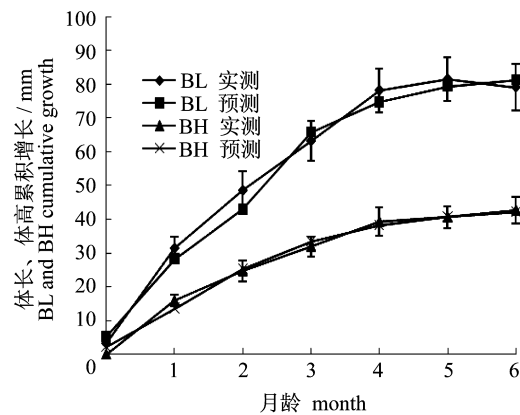


图2 体长、体高累积增长与月龄关系

Fig. 2 Relationship among cumulative growth of BL, BH and month

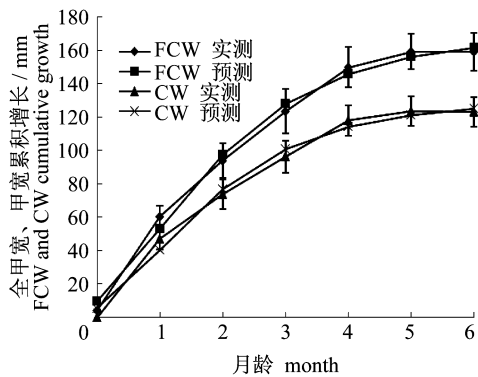


图3 全甲宽、甲宽累积增长与月龄关系

Fig. 3 Relationship among cumulative growth of FCW, CW and month

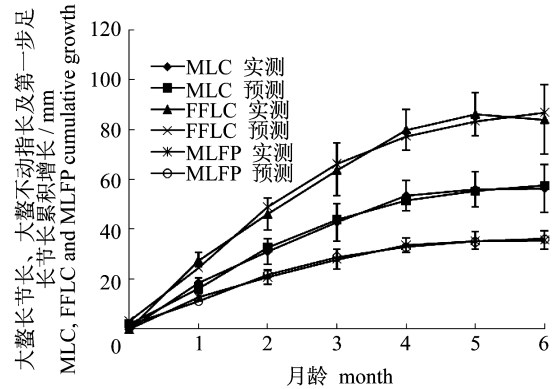


图4 大鳌长节长、大鳌不动指长、第一步足长节长累积增长与月龄关系

Fig. 4 Relationship among cumulative growth of MLC, FFLC, MLFP and month

2.3 三疣梭子蟹各性状的快速生长区间及生长拐点

生长速率最大的点即为拐点, Logistic 和 von Bertalanffy 模型对应的拐点坐标分别为 $(\ln B/k, A/2)$ 与 $(\ln 3B/k, 8A/27)$ (图 5, 图 6)。在拐点左右两侧分别有一个极值点, 这 2 个点为快速生长区间的边界点 (图 7)。由表 3 知: 体质量性状快速生长区间始速点为 2.14 月龄, 拐点为 3.02 月龄, 终速点为 3.91 月龄。体长、全甲宽等 7 个性状从放苗开始就进入快速生长期, 拐点在 1 月龄左右, 终速点在 2.05 ~ 2.35 月龄之间。Logistic 和 von Bertalanffy 模型对应的最大月增重或增加量为 $kA/4$ 和 $4kA/9$ 。BW 的最大月增重为 86.38 g, BL、FCW、CW、BH、MLC、MLFP 和 FFLC 对应的最大月增加量分别为 25.37、48.71、40.25、12.97、17.43、25.85 和 11.57 mm。

各性状的生长速率均呈先上升后下降的倒钟形, 体质量生长速率在 3 月龄左右达到最大值, 其它性状在 1 月龄附近达到最大值, 所有性状生长速率在 6 月龄时趋于 0, 生长趋于停止 (图 5, 图 6)。除体质量外的各性状的生长速率大小顺序为 $MLFP < BH < MLC < BL < FFLC < CW < FCW$, 但在 1 月龄之前 FFLC 的生长速率小于 BL。体质量的生长加速度呈先上升后下降再上升的横 S 形, 其最大值与最小值分别对应快速生长区间的边界点, 由此可见快速生长区间由加速生长期和减速生长期的各一部分组成 (图 7, 图

8)。按照苏建平^[14]的划分方法,可以得知 0 ~ 2.14 月龄为体质量的缓慢生长期,3.91 月龄以后为其渐进生长期。体长、全甲宽、甲宽等 7 个性状

的生长加速率由正值逐渐减小,经过零点后继续减小在 2 月龄左右达到最小值,然后缓慢增加趋于 0。

表 3 各性状的拐点与快速生长区间

Tab.3 Growth inflection point and fast growth interval of morphometric traits

性状 trait	快速生长区间(时间,month/相对值,g/mm) fast growth interval (time,month/corresponding trait value)			性状 trait	快速生长区间(时间,month/相对值,g/mm) fasten growth interval (time,month/corresponding trait value)		
	始速点 staring point	生长拐点 inflection point	终速点 ending point		始速点 staring point	生长拐点 inflection point	终速点 ending point
	BW	2.14/48.90	3.02/115.72		3.91/182.54	BH	0/2.21
BL	0/5.33	0.87/25.02	2.05/51.71	MLC	0/2.01	1.09/17.77	2.3/36.74
FCW	0/9.86	0.93/49.66	2.14/102.59	FFLC	0/3.01	1.11/26.94	2.35/55.63
CW	0/5.70	0.94/38.07	2.07/78.87	MLFP	0/1.44	0.98/11.02	2.12/22.84

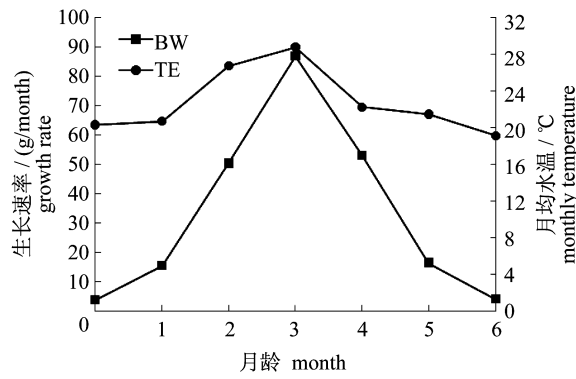


图 5 体质量生长速率、月均水温与月龄关系

Fig.5 Relationship among growth rate of BW, TE and month

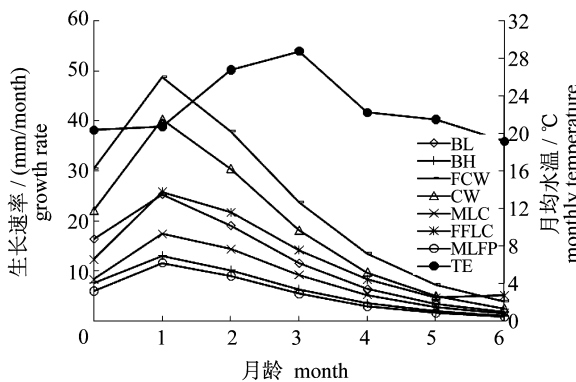


图 6 除体质量外各性状生长速率、月均水温与月龄关系

Fig.6 Relationship among growth rate of BL, BH, FCW, CW, MLC, FFLC, MLFP, TE and month

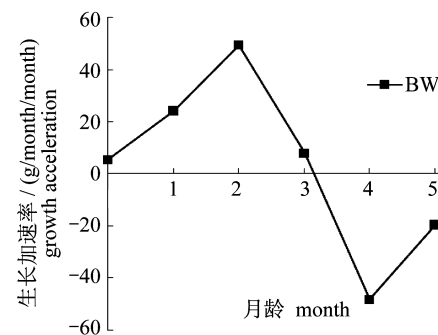


图 7 体质量生长加速率与月龄关系

Fig.7 Relationship between growth acceleration of BW and month

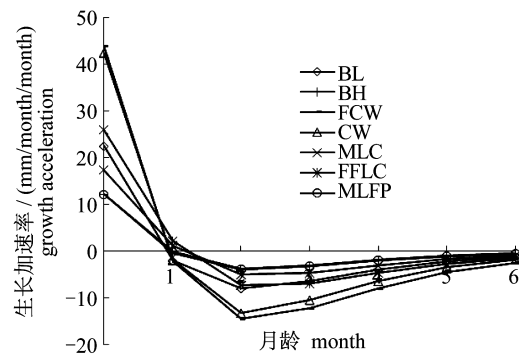


图 8 除体质量外各性状生长加速率与月龄关系

Fig.8 Relationship among growth acceleration of BL, BH, FCW, CW, MLC, FFLC, MLFP and month

2.4 三疣梭子蟹各性状的相对增长率与绝对增长率

各性状的相对生长率均为一条下降的曲线,

并且在1月龄时有最大值(图9~图12)。体质量的相对生长率在前4个月下降幅度较大,4月龄以后下降幅度减缓,6月龄时趋于0。除体质量外的7个性状的相对生长率在2月龄之前的大小顺序为 $BL < FCW < BH < CW < MLFP < FFLC < MLC$; 2月龄至3月龄 MLC 与 $FFLC$ 大于其它性状的相对生长率,3月龄以后各性状大致保持同步下降。由于各性状的生长极限 A 值不同,其绝对增长率也不同。体质量的绝对增长率呈先上升后下降的倒钟形,前期较低,4月龄左右达到峰值,此后下降趋于0。体长、全甲宽等7个性状的

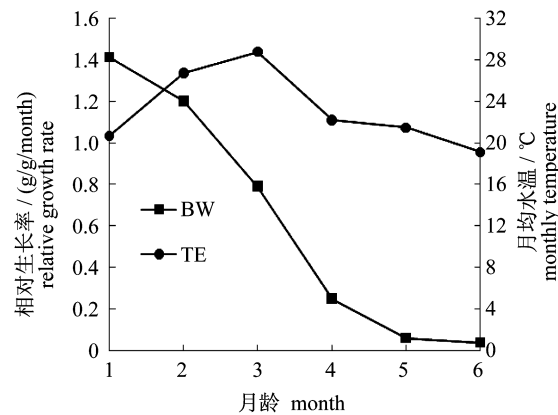


图9 体质量相对生长率、月均水温与月龄关系

Fig. 9 Relationship among relative growth rate of BW, TE and month

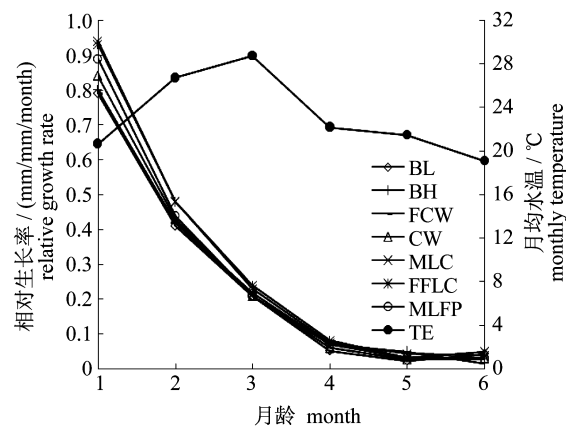


图10 除体质量外各性状相对生长率、月均水温与月龄关系

Fig. 10 Relationship among relative growth rate of BL, BH, FCW, CW, MLC, FFLC, MLFP, TE and month

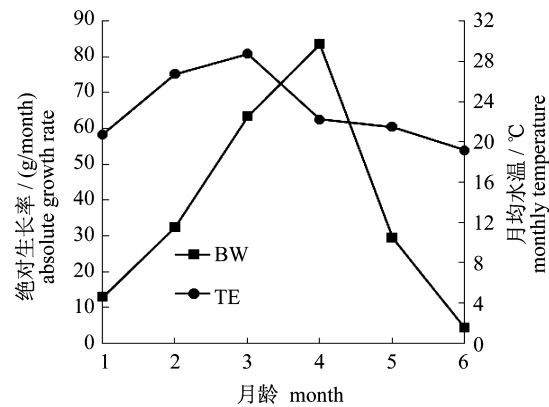


图11 体质量绝对生长率、月均水温与月龄关系

Fig. 11 Relationship among absolute growth rate of BW, TE and month

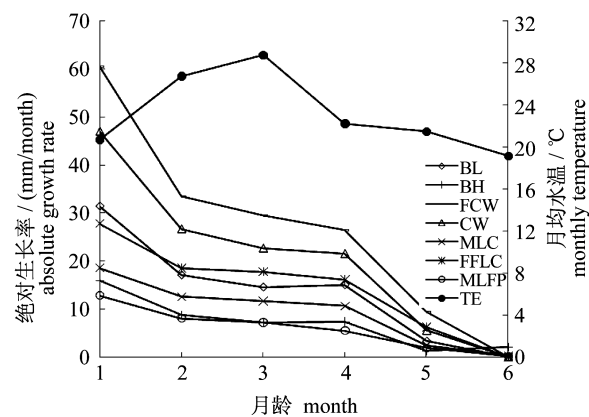


图12 除体质量外各性状绝对生长率、月均水温与月龄关系

Fig. 12 Relationship among absolute growth rate of BL, BH, FCW, CW, MLC, FFLC, MLFP, TE and month

绝对增长率在1月龄时最大,然后逐步下降并趋于0。FCW和CW在2月龄之前有较大的下降幅度,2~4月龄缓慢下降,4月龄以后又急剧下降。MLFP、MLC、BH、BL、FFLC的绝对增长率为一条缓慢下降的曲线。2月龄之前各性状的绝对增长率大小顺序为 $MLFP < BH < MLC < FFLC < BL < CW < FCW$,其中BL和FFLC有一个交叉点,交叉点之前为 $FFLC < BL$,交叉点之后则反之。2月龄之后各性状的绝对增长率大小顺序为 $MLFP < BH < MLC < BL < FFLC < CW < FCW$ 。

3 讨论

3.1 三疣梭子蟹各形态性状的最佳模型及分析

生物体的生长发育虽然受遗传基因、营养水平和环境等多种因素的影响,但某一物种生长发育的基本特征具有相对稳定性^[15]。一般认为,蟹类是在断续的蜕皮中生长的,个体的生长是不连续的,但是由于繁殖群体内的个体蜕皮时间不同,所以认为同一蟹类繁殖群体的平均生长曲线是连续的,可以用合适的生长方程进行描述。三疣梭子蟹的生长随着时间增长而变化,同时受到水温、盐度、饵料等条件以及养殖方式、养殖密度的影响。在特定地区,一般具有固定的养殖方式,并且来自遗传和环境的影响是相对稳定的,生长规律也会相对稳定。

非线性生长模型是根据生物体生物量增加的生理特征发展而来,能描述生物量随时间规律性的变化过程。霍堂斌等^[16]认为,方程拟合精度的高低取决于方程表达形式和物种生长数据的差异,即相同数据使用不同数学模型对生长过程的描述和解释会存在差异,反之,数据的差异也会影响模型的参数甚至是类型,因此应通过不同生长方程的比较,选择出一种拟合效果最好的生长方程。Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 模型是 3 种用来研究动物生长曲线的典型数学模型^[17-20]。本实验用此 3 种模型对各形态性状进行拟合,结果表明 3 种模型对体质量均有较好的拟合性能, R^2 均在 0.987 以上,但以 Logistic 模型的效果最佳, R^2 为 0.999。用 Logistic 模型来描述三疣梭子蟹“中宁 1 号”体质量规律时,其为典型 S 曲线,有缓慢生长期、快速生长期与渐进生长期,符合“慢-快-慢”的特征。另外 7 个形态性状则以 von Bertalanffy 模型的拟合效果最佳,均为一条不对称的 S 型曲线, R^2 均在 0.990 以上,体现为“快-慢”的特征。生长曲线的特征被看成是重要的指标,有研究表明快速生长区间由 B 和 k 决定,而其长度大小仅取决于 k 值; k 值较小的变动对生物整个生长就有较大的影响,而 A 和 B 对生长的影响相对于 k 则较小^[10,21]。当环境条件及养殖方法相同时,可对多态性群体子代的生长参数进行分析比较,可以获得大个体品系,从而辅助选择

育种。有关不同物种或同一物种的最佳生长模型的结果多不一致,可能与研究对象在不同的生长环境及不同生长阶段中都有其特定的生长规律有关^[22-23]。例如,黄建华等^[24]采用 von Bertalanffy 生长方程,拟合出池塘养殖斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 体长、体质量的生长方程;查广才等^[25]在研究低盐度养殖凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 的增长规律时发现对虾体长符合 Quadratic 模型,体质量增长虽为 S 型曲线,但却符合 Boltzmann 模型。这种结论在鱼类的研究中也得到广泛证明^[9,10,26-29]。Gamito^[30]指出,目前普遍使用的任何一种生长模型都不能准确地描述生物的终生生长过程,最好的选择即是在生物生长发育的不同阶段使用不同的生长模型来描述其生长。因此,特定生长环境下所得到的最佳生长模型,只能为相同环境下的饲养管理和品种选育提供参考,当外部因素发生改变时要重新考虑其最佳生长模型。

3.2 三疣梭子蟹“中宁 1 号”的生长特性

三疣梭子蟹各性状的生长速率有所不同,体质量的最大生长速率在 3.02 月龄达到,其它 7 个性状的生长速率在 0.87 ~ 1.11 月龄之间有最大值。生长速率最大的点即为拐点,各性状达到拐点的早晚顺序为 $BL < FCW < CW < MLFP < BH < MLC < FFLC < BW$,值越小者表明到达拐点所需生长时间越短,就快速生长区间而言,各性状也存在一定差异,例如,体质量的快速生长区间为 2.14 ~ 3.91 月龄,而其它 7 个性状的快速生长区间始速点为 0 月龄,终速点在 2.05 ~ 2.35 月龄之间。这表明前期体质量的生长趋势相对于其它性状而言较缓慢。鱼类中有关研究表明^[31],生长和性成熟时间与体质量的生长拐点有关,有的具有性成熟拐点的生物学意义,有的具有衰老拐点的生物学意义。本实验期间三疣梭子蟹性成熟时间在 3.20 月龄左右,与体质量生长拐点相一致,具有性成熟拐点的生物学意义。

甲壳动物属于蜕皮生长的种类,其蜕皮行为会受到温度变化的影响。三疣梭子蟹亦是在断续的蜕皮中实现生长的,每经历一次蜕皮,其体质量和其它形态性状会出现明显增加。本实验中体质

量的生长速率与实验期间水温的走势大致相同,并且3月龄水温最高时,其生长速率也达到最大值。由此看来,体质量性状的生长速率与环境水温有一定的对应关系,可以通过温度能影响三疣梭子蟹蜕皮周期来解释^[32]。但也可能与三疣梭子蟹正处于生理快速生长阶段的固有生长特性有关。6月龄时所有性状生长速率均趋于0,这可能与6月龄末水温较低(11℃左右),使其体内酶活性降低,从而导致一系列新陈代谢反应缓慢有关。这与实际中观察到的当时三疣梭子蟹已基本停止摄食,活动力弱相一致。体质量的快速生长区间为(2.14~3.91月龄),此时水温在23~28℃,也处于三疣梭子蟹的最适生长水温之间^[33]。生产上,在此期间要加强管理,包括水质、饵料、病害等,以获得最佳经济效益。墨西哥湾扇贝的研究表明^[6],水温可能会改变其模型的生长参数,对特定生长阶段提供最适生长温度,则会提高绝对生长速度,使生长拐点与快速生长区间终止点提前,缩短达到生长极限的时间;同时还表明其生长速度不仅受温度的影响,而且受其所处生活阶段的影响。对于三疣梭子蟹,若提早或推迟放苗时间,则体质量的生长速率及快速生长区间是否变动以及变动规律还需要进一步研究。BL、FCW等7个性状的生长速率与快速生长区间相对于体质量而言,与水温的关联性较小。与其它物种^[6]不同,三疣梭子蟹的BL、FCW等7个性状的快速生长区间的始速点为0月龄,这可能与三疣梭子蟹在1月龄之前,蜕皮间期较短、蜕皮次数频繁、生长相对较快有关。

参考文献:

- [1] Gao B Q, Liu P, Li J, et al. The relationship between morphometric characters and body weight of *Portunus trituberculatus* [J]. Marine Fisheries Research, 2008, 29(1): 44 - 50. [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹形态性状对体重影响的分析. 海洋水产研究, 2008, 29(1): 44 - 50.]
- [2] Liu L, L J, Gao B Q, et al. Correlation of growth traits of *Portunus trituberculatus* at the different ages and its impact on body weight [J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(6): 964 - 971. [刘磊, 李健, 高保全, 等. 三疣梭子蟹不同日龄生长性状相关性及其对体重的影响. 水产学报, 2009, 33(6): 964 - 971.]
- [3] Gao B Q, Liu P, Li J, et al. Heterosis of F1 *Portunus trituberculatus* from matings and crosses among different geographical populations [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2008, 39(3): 291 - 296. [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*) 不同地理种群内自繁和种群间杂交子一代生长性状的比较. 海洋与湖沼, 2008, 39(3): 291 - 296.]
- [4] Gao B Q, Liu P, Li J, et al. Growth comparison between families of *Portunus trituberculatus* [J]. Periodical of Ocean University of China: Natural Science, 2010, 40(2): 47 - 51. [高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹家系的建立及生长性状比较. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(2): 47 - 51.]
- [5] Sheng Z L, Wu C X. Quantitative genetics [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 114 - 115. [盛志廉, 吴常信. 数量遗传学. 北京: 农业出版社, 1995: 114 - 115.]
- [6] Liu Z G, Wang H, Fu S W. Morphological growth of cultured *Argopecten irradians concentricus* Say in Beibu bay in Zhanjiang [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(5): 675 - 681. [刘志刚, 王辉, 符世伟. 湛江北部湾养殖墨西哥湾扇贝的形态增长规律. 水产学报, 2007, 31(5): 675 - 681.]
- [7] Zhang J D. The growth, growth models and life-history pattern of black Chinese sleeper, *Bostrichthys sinensis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(6): 841 - 846. [张健东. 中华乌塘鳢的生长、生长模型和生活史类型. 生态学报, 2002, 22(6): 841 - 846.]
- [8] Tang Z S, Lin Y, Yang H Z, et al. Growth model of GIFT strain tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011(18): 104 - 107. [唐章生, 林勇, 杨慧赞, 等. 吉富罗非鱼生长模型研究. 广东农业科学, 2011(18): 104 - 107.]
- [9] He X Y, Bai J J, Fan J J, et al. Analysis of fitting growth model in early stages of largemouth bass *Micropterus salmoides* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2011, 26(1): 23 - 29. [何小燕, 白俊杰, 樊佳佳, 等. 大口黑鲈早期发育规律的研究. 大连海洋大学学报, 2011, 26(1): 23 - 29.]
- [10] 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. [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. 海洋与湖沼, 2011, 42(2): 266 - 273.]

- [11] Yin Z Y. Study on the fitting methods of logistic curve[J]. Application of statistics and management, 2002,21(2):41-46. [殷祚云. Logistic 曲线拟合方法研究. 数理统计与管理, 2002, 21(2):41-46.]
- [12] Hair J F, Anderson R E, Tatham R L, et al. Multivariate data analysis [M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1998:232-238.
- [13] Wang M M, Li D M. Fitting logistic curve by marquardt's algorithm [J]. Acta Ecologica Sinica, 1986,6(2):142-147. [王莽莽,李典谟. 用麦夸方法最优拟合逻辑斯谛曲线. 生态学报, 1986,6(2):142-147.]
- [14] 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. [苏建平,刘季科. 甘肃鼠兔幼子生长的初步研究. 兽类学报, 2001, 21(2):94-100.]
- [15] Chamba Y Z, Zhai M X, Xie Z, et al. Gompertz growth curves of body weight and phalanx length, and regression analysis in Zang chicken [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2008, 31(2):86-90. [强巴央宗,翟明霞,谢庄,等. 藏鸡体重和胫长 Gompertz 生长曲线及相关性分析. 南京农业大学学报, 2008, 31(2):86-90.]
- [16] Huo T B, Mo B, Tang F J, et al. The growth models of three kind of leuciscus from Xinjiang [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2008, 21(2):8-14. [霍堂斌,马波,唐富江,等. 新疆 3 种雅罗鱼生长模型的比较研究. 水产学杂志, 2008, 21(2):8-14.]
- [17] Mercer L P, Flodin N W, Morgan P H. New methods for comparing the biological efficiency of alternate nutrient sources [J]. The Journal of Nutrition, 1978, 108(8):1244-1249.
- [18] Pauly D. The relationships between gill surface area and growth performance in fish: A generalization of von Bertalanffy's theory of growth [J]. Meeresforschung, 1981, 28(4):251-282.
- [19] Carlander K D. A history of scale age and growth studies of North American freshwater fish [M] // Summerfelt R C, Hall G E eds. Age and growth of fish. Ames: Iowa State University Press, 1987:3-14.
- [20] Kuhl H D, Kebreab E, Lopez S, et al. An evaluation of different growth functions for describing the profile of live weight with time (age) in meat and egg strains of chicken [J]. Poultry Science, 2003, 82(10):1536-1543
- [21] Jiang X P, Liu G Q, Yang L G, et al. Growth pattern of Haimen goat and its genetic parameters [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2001, 24(1):69-72. [姜勋平,刘桂琼,杨利国,等. 海门山羊生长规律及其遗传分析. 南京农业大学学报, 2001, 24(1):69-72.]
- [22] Wang H, Liu Z G, Fu S W, et al. Studies on growth of weight traits of cultured *Argopecten irradians concentricus* in Zhanjiang sea area [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(5):53-59. [王辉,刘志刚,符世伟,等. 湛江北部湾海域养殖墨西哥湾扇贝重量性状增长规律的研究. 热带海洋学报, 2007, 26(5):53-59.]
- [23] Xie X Y, Zhong J X, Li S F, et al. Comparison of growth performance of F6, F7 and F8 of GIFT strain *Oreochromis niloticus* [J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(1):48-53. [颀晓勇,钟金香,李思发,等. 吉富品系尼罗罗非鱼选育系 F₆, F₇ 和 F₈ 当年鱼对比研究. 南方水产, 2009, 5(1):48-53.]
- [24] Huang J H, Ma Z M, Zhou F L, et al. The growth characteristics of *Penaeus monodon* in pond-culture [J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(1):14-20. [黄建华,马之明,周发林,等. 池塘养殖斑节对虾的生长特性. 海洋水产研究, 2006, 27(1):14-20.]
- [25] Zha G C, Zhou C Q, Huang J R, et al. On the characteristics of *Litopenaeus vannamei* body length and weight growth at low salinity environment [J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(4):489-494. [查广才,周昌清,黄建荣,等. 低盐度养殖的凡纳滨对虾体长和体重的增长规律. 水产学报, 2006, 30(4):489-494.]
- [26] Wang B, Lei J L, Zhang X L, et al. Growth characteristics of intensively cultured *Scophthalmus maximus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(4):358-363. [王波,雷霖霖,张榭令,等. 工厂化养殖的大菱鲆生长特性. 水产学报, 2003, 27(4):358-363.]
- [27] Xiao J, Ling Z B, Tang Z Y, et al. Study on correlation analysis and growth model in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2012, 43(6):1272-1278. [肖俊,凌正宝,唐瞻杨,等. 尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 生长相关分析及生长模型构建. 海洋与湖沼, 2012, 43(6):1272-1278.]
- [28] Beamish C A, Booth A J, Deacon N. Age, growth and reproduction of largemouth bass, *Micropterus*

- salmoides, in lake Manyame, Zimbabwe [J]. African Zoology, 2005, 40(1): 63 - 69.
- [29] Helser T E, Lai H L. A Bayesian hierarchical meta-analysis of fish growth: With an example for North American largemouth bass, *Micropterus salmoides* [J]. Ecological Modelling, 2004, 178 (3 - 4): 399 - 416.
- [30] Gamito S. Growth models and their use in ecological modelling: An application to a fish population [J]. Ecological Modelling, 1998, 113(1 - 3): 83 - 94.
- [31] Ou Y J, Liao R, Li J E, et al. Age and growth characteristics of *Cromileptes altivelis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(5): 624 - 632. [区又君, 廖锐, 李加儿, 等. 驼背鲈的年龄与生长特征. 水产学报, 2007, 31(5): 624 - 632.]
- [32] Shao P. Effects of temperature and salinity fluctuations on the carapace animal behavior and growth [J]. Tianjin Fisheries, 2010(3): 5 - 8. [邵蓬. 温度和盐度波动对甲壳动物行为和生长的影响. 天津水产, 2010(3): 5 - 8.]
- [33] Li M Y. Aquatic economic animal aquaculture science [M]. Beijing: China Ocean Press, 2011: 299 - 300. [李明云. 水产经济动物增养殖学. 北京: 海洋出版社, 2011: 299 - 300.]

Morphometric growth of *Portunus trituberculatus* “Zhongning No. 1”

WANG Yanfei¹, CHEN Chen¹, BAO Xuening¹, MU Changkao¹, SONG Weiwei¹,
LI Ronghua¹, PENG Xiaoming², WANG Chunlin^{1*}

(1. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Fenghua Fisheries Technology Extension Service, Fenghua 315500, China)

Abstract: Three growth models, Logistic, Gompertz and von Bertalanffy, were used as the candidates for fitting the growth model of eight morphometric traits of *Portunus trituberculatus* “Zhongning No. 1” at six months, including body weight, body length, full carapace width, carapace width, body height, meropodit length of the claw, fixed finger length of claw and meropodit length of the first peraeopod. The paper aimed to establish the optimum growth equation of morphometric traits and study the growth regulation of it. Growth parameters embraced in foregoing models were estimated by Levenberg-Marquardt iteration method. Results showed that Logistic model is the best model to describe the growth of body weight of *P. trituberculatus*, with squared multiple correlation coefficient R^2 reaching 0.999. However, the other morphometric traits were best confirmed by von Bertalanffy model, and the squared multiple correlation coefficient R^2 ranged from 0.990 to 0.994. All optimum growth models of varying morphometric traits was significant (ANOVA, $P < 0.01$). The growth limits computed by optimum growth models were, body weight 231.44 g, body length 84.45 mm, full carapace width 164.44 mm, carapace width 128.47 mm, body height 43.69 mm, and meropodit length of the claw 59.96 mm, fixed finger length of claw 90.89 mm, meropodit length of the first peraeopod 37.20 mm. What's more, the fast growth intervals and growth inflection points of varying morphometric traits were: body weight 2.14 – 3.91 months and 3.02 months, body length 0 – 2.05 months and 0.87 months, full carapace width 0 – 2.14 months and 0.93 months, carapace width 0 – 2.07 months and 0.94 months, body height 0 – 2.14 months and 1.04 months, meropodit length of the claw 0 – 2.3 months and 1.09 months, fixed finger length of claw 0 – 2.35 months and 1.11 months, and meropodit length of the first peraeopod 0 – 2.12 months and 0.98 months. The growth rate, the growth acceleration, the relative growth rate and the absolute growth rate were different among varying morphometric traits. In short, the process of body weight trait growth conformed to the characteristic of “slow-fast-slow”, the other morphometric traits are “fast-slow”. The above results can provide some references for the selective breeding and production of *P. trituberculatus* “Zhongning No. 1”.

Key words: *Portunus trituberculatus*; morphometric trait; growth model; selective breeding

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