

文章编号 :1000 - 0615(2006)04 - 0489 - 06

低盐度养殖的凡纳滨对虾体长和体重的增长规律

查广才^{1,2}, 周昌清¹, 黄建荣¹, 何建国¹

(1. 中山大学生命科学院, 广东 广州 510275; 2. 韩山师范学院生物系, 广东 潮州 521041)

摘要:通过池塘陆基围隔实验,研究了凡纳滨对虾在最适水温、溶氧、pH 及低盐度(2~6)养殖环境的生长特性及规律。实验结果,低盐度养殖健康对虾体长和体重平均生长率分别为 $1.398 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.169 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$,对虾前期体长呈线性生长,中后期体重呈加速增长。非线性拟合结果,对虾体长生长为二次曲线,符合 Quadratic 模型,体重增长为 S 型曲线,符合 Boltzmann 模型,生长观测值与模型拟合相关系数 R^2 均达到 0.99;凡纳滨对虾低盐度养殖典型体长和体重生长模型为 $L = 7.843 + 2.297t - 0.0105t^2$ 和 $W = 16.541 + (-0.621 - 16.541)(1 + e^{(t-54.809)/15.456})^{-1}$ 。低盐度养殖,对虾体长与体重呈立方关系,符合幂指数模型 $W = aL^b$, a 值范围 $4.9 \sim 9.0 \times 10^{-6}$, b 值范围 $2.9495 \sim 3.0716$, 相关系数 R^2 在 0.99 以上,典型幂指数模型为 $W = 4.9 \times 10^{-6} L^{3.0716}$ 。

关键词:凡纳滨对虾;低盐度;生长率;生长模型

中图分类号 S 917 文献标识码 A

On the characteristics of *Litopenaeus vannamei* body length and weight growth at low salinity environment

ZHA Guang-cai^{1,2}, ZHOU Chang-qing¹, HUANG Jian-rong¹, HE Jian-guo¹

(1. School of Life Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Biology, Hanshan Teachers College, Chaozhou 521041, China)

Abstract: *Litopenaeus vannamei* low salinity stocking was playing an important role and developed rapidly in southern parts and coastal areas of China in recent years. The stocking salinity level decreased gradually following the development of theory and techniques, the general level is at 1 - 8 ppt at present, and the characteristics of *L. vannamei* growth at the low salinity level had not yet been reported. The studies of the characteristics of *L. vannamei* growth at low salinity aim to provide more theory bases for desalination stocking. Experimental enclosure (1 × b × d : 5 m × 5 m × 1.6 m) were set up in the shrimp pond, 2000 healthy shrimp larvae with body length (BL) 1 cm were reared for 85 days, the population density was 80 ind·m⁻², water salinity was 6 ppt at early time, 3 - 4 ppt in the middle term and 2 ppt in final term, with desalination naturally and no water exchange in the course of experiment. The average of water temperature was 29.2 - 31.6 °C, dissolved oxygen was 3.9 - 5.8 mg·L⁻¹, value of pH was 7.8 - 8.8 and transparency was 20 cm throughout the experimental period. Data from five enclosures were analyzed and used in this paper. The results show that the average of shrimp body length growth rate (BLGR) is 1.398 mm·d⁻¹ (range at 1.353 - 1.435 mm·d⁻¹) and that of the body weight growth rate (BWGR) is 0.169 g·d⁻¹ (the range at 0.156 - 0.176 g·d⁻¹), the mean value of final BL and BW is 118.83 mm and 14.37 g, respectively. The results also show a period of 15 days for accommodation in early time, and the first 50 days mainly for BL growth and the final 35 days mostly for BW increase. There is a linear fast growth at 20 - 35 days for BLG and an accelerated increase at 50 - 60 days for BWG. As the results express as curve regression, the optimum model of BLG is Quadratic, $L = 7.843 + 2.297t - 0.0105t^2$ ($R^2 > 0.99$), and that of the BWG is Boltzmann, $W = 16.541 + (-0.621 - 16.541)(1 + e^{(t-54.809)/15.456})^{-1}$ ($R^2 > 0.99$). The relationship between shrimp BL and BW fit to the power model $W = aL^b$, $W = 4.9 \times 10^{-6} L^{3.0716}$ ($R^2 > 0.99$) (the parameter a value is from 4.9 to 9.0×10^{-6} and b is from 2.9495 to 3.0716).

收稿日期 2005-12-05

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目(G 1999012011);珠海科技项目(200310084)

作者简介 查广才(1965-),男,河南罗山人,博士,副教授,主要从事动物及养殖生态学研究。E-mail: lsp01cgc@yahoo.com.cn

通讯作者 周昌清, E-mail: ls01@zsu.edu.cn

Key words: *Litopenaeus vannamei*; low salinity stocking; growth rate; growth model

凡纳滨对虾经淡化适应可在较低盐度的水体中养殖,生长速度快,养殖周期短,在热带和亚热带地区一年可养殖2~3茬。低盐度养殖是近年发展起来的一种养殖模式,在我国南方及沿海地区对虾养殖中占有重要地位,随淡化养殖理论及技术发展,凡纳滨对虾养殖盐度在不断下降,已有部分地区开始在淡水中试养^[1],但目前普遍养殖盐度在1~8不等,这种较低盐度的对虾养殖在我国发展相当迅速,而相关基础理论研究却不足。目前,国内外在凡纳滨对虾低盐度养殖技术、疾病防治及养殖环境等方面已作了较多的研究和报道^[2-5],现有资料及养殖实践已证实凡纳滨对虾在低盐度养殖环境中生长速度比海水养殖快^[6-8]。有关凡纳滨对虾在较低盐度下的生长特性及规律的研究还未见报道,本文通过陆基池塘围隔实验,对凡纳滨对虾在低盐环境养殖的生长规律及特性作初步研究,为凡纳滨对虾低盐养殖提供相关的科学依据。

1 材料与方法

1.1 围隔设置

实验在受控陆基池塘围隔系统中进行^[9],围隔设在广东珠海市斗门区横山镇一个大小为0.3 hm²的空白虾池内,虾池经过严格清淤暴晒和消毒,共设立10个大小为5 m×5 m×1.6 m(1×b×d)的陆基围隔,围隔水深保持在1.3~1.5 m,管道式增氧,增氧机为1.5 kW空气压缩机,围隔中散气石均匀分布,平均增氧功率0.15 kW(6 W·m⁻²),内设一个0.5 m²的饵料台,用于投饵和对虾生长状况观察。

1.2 淡化养殖过程

围隔于2003年6月24日统一放苗,虾苗出场盐度为6,每个围隔放养2 000尾健康虾苗,平均养殖密度每平方米80尾,从放苗到最后一次测量生长指标共养殖85 d。养殖过程全封闭不换水,围隔初始养殖盐度为6,通过天然降雨以及与围隔外围空白虾池水体的相互渗透作用而自然淡化,早期围隔盐度下降较快,10 d下降近50%,中后期下降慢,中期盐度为3~4,后期与围隔外围空白虾池水体盐度达到平衡一致,盐度为2,盐水取自当地的地下卤水。养殖过程不使用任何化学消

毒剂和抗生素类物质,全程人工调控。养殖使用的0~3号饵料均为湛江粤海公司生产的凡纳滨对虾专用饲料,营养满足对虾各阶段生长需求。

1.3 取样及分析方法

围隔对虾抽样采用缯网捕捞,体长测定用毫米刻度尺测量自额剑前端至尾节末端身体平直长度,体重测量采用感量为1 mg的电子天平称重,每个围隔每次取样虾在30尾以上,测完后立即放回原围隔中继续饲养。对虾体长和体重增长率(LGR & WGR)=[终体长(体重)-初始体长(体重)]/养殖时间(d),体长为总长(mm),体重为湿重(g)。数据分析作图使用软件Origin 6.0和SigmaPlot 8.0,显著性水平 $P < 0.05$,分析采用独立样本t检验。

1.4 养殖过程水体理化因子

对虾养殖期内,围隔养殖水温,7:00平均值为29.2~29.6℃,18:00平均值为31.5~31.6℃,早晨最低水温为26.1℃,最高水温为32.1℃,下午最低水温为26.5℃,最高水温为35.2℃,各围隔水温动态变化一致。围隔7:00平均溶氧为3.9~4.6 mg·L⁻¹,18:00平均溶氧为5.2~5.8 mg·L⁻¹,围隔溶氧变化也基本一致。不同围隔7:00 pH平均值在7.8~8.1,18:00 pH平均值在8.3~8.8,实验期内围隔pH没有明显差异,平均养殖盐度为4。

2 结果

2.1 低盐度养殖对虾体长和体重生长

凡纳滨对虾低盐度养殖在人工调控下的实验围隔中完成,围隔水温、溶氧、pH等主要环境理化因子及养殖密度和饵料营养基本满足对虾生长最适需求^[10,11],各围隔对虾平均初始体长和体重分别为10 mm和0.006 g,10个实验围隔因养殖环境不同,对虾养殖结果存在一定差别,其中5个围隔的对虾生长健康正常,表1和图1是低盐度对虾健康养殖的结果,其余5个围隔对虾在8月6日-26日即养殖第40~60天不同程度发病,主要表现为停食和死虾现象,不在本研究范围之内。

围隔低盐度养殖结果表明,健康生长的对虾,养殖期内体长平均生长率为1.398 mm·d⁻¹,范围在1.353~1.435 mm·d⁻¹,体重增长率为0.169 g·

d^{-1} 范围在 $0.156 \sim 0.176 g \cdot d^{-1}$ 。表 1 结果表明, 各围隔对虾体长生长率之间存在一定差别, 而体重增长率间的差别更加明显, 其中 2 # 围隔对虾体重增长相对较慢, 其次是 3 # 围隔, 其他围隔基本一致。对虾经 85 d 的养殖, 体长和体重平均达到 118.83 mm 和 14.37 g。

表 1 低盐度养殖健康对虾体长与体重生长率

Tab.1 Growth rates at the low salinity in healthy *L. vannamei*

围隔 enclosure	体长生长率($mm \cdot d^{-1}$) body length growth rates	体重增长率($g \cdot d^{-1}$) body weight growth rates
1 #	1.412 ± 0.165^{ab}	0.176 ± 0.029^c
2 #	1.353 ± 0.129^a	0.156 ± 0.020^a
3 #	1.377 ± 0.129^{ab}	0.166 ± 0.026^b
4 #	1.412 ± 0.082^{ab}	0.170 ± 0.013^{bc}
5 #	1.435 ± 0.094^b	0.176 ± 0.017^c
均值 Mean \pm Std.	1.398 ± 0.120	0.169 ± 0.021

注: 同一行具有不同上标字母平均值组间差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: Means in the same row sharing a different superscript letter were different significantly ($P < 0.05$)

图 1 健康对虾的生长过程表明, 早期各围隔对虾体长和体重增长存在较大差别, 部分围隔间差别显著, 养殖后期, 体长与体重间的差别缩小, 体长分化在养殖第 15 天最明显, 其次是第 35 d, 养殖到 60 d 以后各围隔对虾体长均达到一致, 体重的分化在养殖第 35 天最明显, 其次是养殖第 60 天, 养殖到 85 d 各围隔对虾体重基本达到一致。图 1 和图 2 的结果也说明对虾在低盐度养殖的最初 15d 存在一个明显的适应期, 在此期间对虾体长和体重的增长率相对较慢, 适应期过后, 对虾生长速度明显加快。

低盐度养殖, 对虾生长除不同围隔之间存在差异, 同一围隔中对虾个体间也存在较大差别, 个体最大的对虾体长和体重达 146 mm 和 15 g, 最小个体不足 60 mm 和 5 g, 个体分化比较明显, 但生长健康的对虾个体间分化小, 生长相对整齐, 发病对虾个体间分化较大。

凡纳滨对虾低盐度养殖过程中, 体长生长有一个快速期, 一般在体长为 35 ~ 85 mm, 时间为养殖第 20 ~ 35 天, 快速生长期间, 对虾体长生长率一般可达到 $2.75 mm \cdot d^{-1}$, 是平均生长率的一倍; 体重增长有一个加速期, 一般在体重为 8.5 g, 时间为养殖第 50 ~ 60 天, 加速生长期, 健康对虾体

重增长可达到 $0.265 g \cdot d^{-1}$ 。低盐度养殖普遍规律是养殖前 50d 主要为体长生长, 后 40 d 主要为体重增长。

2.2 低盐度养殖对虾生长曲线与模型

图 2 ~ 4 为凡纳滨对虾低盐度养殖体长与体重生长拟合曲线, 非线性拟合结果, 凡纳滨对虾体长生长理想模型为 Quadratic: $L = L_0 + at + bt^2$, 即二次曲线, 而对虾体重增长的理想模型为 Boltzmann: $W = A_2 + (A_1 - A_2)(1 + e^{-(t-t_0)^{\gamma}})^{-1}$, 为 S 型生长曲线。

凡纳滨对虾低盐度养殖体长和体重生长模型拟合参数见表 2。对虾体长生长观测值与模型间拟合相关系数 R^2 在 $0.978 \sim 0.996$, 显著性检验 P 值在 $0.0041 \sim 0.0221$ ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$); 体重增长观测值与模型间拟合相关 R^2 均达到 0.99 , χ^2 检验值在 $0.040 \sim 1.035$, 检验结果, 对虾体长和体重生长与模型的拟合效果均达到显著或极显著水平, 说明 Quadratic 和 Boltzmann 模型能很好估计凡纳滨对虾在低盐度养殖条件下体长和体重生长过程, 其中 3 # ~ 5 # 围隔拟合效果最好, 其次是 1 # 围隔, 2 # 围隔的拟合效果相对较差。

图中拟合曲线及表中拟合参数表明, 在 5 个养殖健康的实验围隔中, 3 # 和 4 # 围隔对虾的生长曲线最具代表性, 其典型体长和体重生长模型为 $L = 7.843 + 2.297t - 0.0105t^2$ 和 $W = 16.541 + (-0.621 - 16.541)(1 + e^{-(t-54.809)^{15.456}})^{-1}$ 。图中拟合曲线还表明, 凡纳滨对虾低盐度养殖前期体长呈线性生长, 而体重的增长缓慢, 但中后期体重呈加速增长, 加速的拐点一般在养殖第 50 ~ 60 天, 正常对虾的体长生长在养殖第 80 天基本结束, 而体重增长一般在养殖第 90 ~ 100 天结束。

2.3 低盐度养殖对虾体长与体重关系

低盐度养殖围隔实验结果表明, 对虾体长与体重的关系符合幂指数模型 $W = aL^b$, W 为体重, L 为体长, 数据估计结果, 参数 a 值范围在 $(4.9 \sim 9.0) \times 10^{-6}$, b 值范围在 $2.9495 \sim 3.0716$, 各围隔对虾体长与体重关系的拟合相关系数 R^2 均达到 0.99 以上, 拟合显著性检验值 $P < 0.001$, 对虾体重与体长的幂指数相关性均达到极显著水平, 拟合最好是 1 # 围隔 $W = 4.9 \times 10^{-6} L^{3.0716}$, 相关系数 R^2 值为 1.00 , 其次是 3 # 围隔 $W = 6.5 \times 10^{-6} L^{3.0128}$, 相关系数 R^2 值为 0.999 , 因此, 凡纳滨对虾低盐度养殖, 体长与体重呈典型的立方关系。

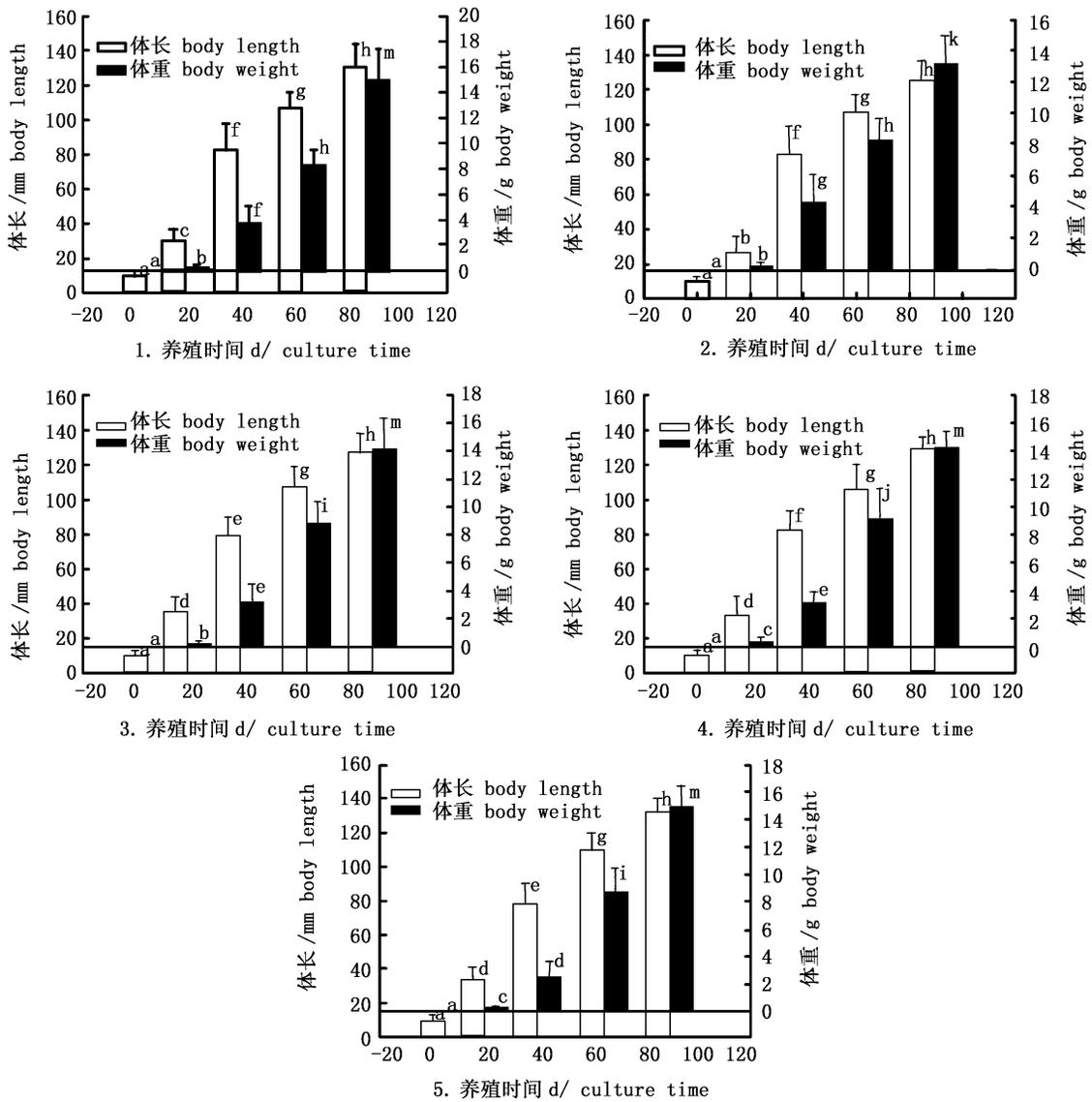


图1 凡纳滨对虾低盐度养殖生长过程

Fig.1 Growth of *L. vannamei* at the low salinity level

注:1. 1#围隔对虾生长 2. 2#围隔对虾生长 3. 3#围隔对虾生长 4. 4#围隔对虾生长 5. 5#围隔对虾生长。其中,不同字母表示不同围隔在相同养殖时间平均体长或体重差异显著, $P < 0.05$

Notes: 1. Growth of *L. vannamei* in enclosure 1 2. Growth of *L. vannamei* in enclosure 2 3. Growth of *L. vannamei* in enclosure 3 4. Growth of *L. vannamei* in enclosure 4; 5. Growth of *L. vannamei* in enclosure 5. Different letters indicate mean values of shrimp body length or weight were different significantly in different enclosures at the same rearing time ($P < 0.05$)

3 讨论

在低盐度环境下,影响对虾健康生长因素较多,但如满足其最适生长条件,对虾生长速度则较快,从1 cm 虾苗至养成,养殖周期为90~100 d,若达不到最适要求,对虾生长速度降低,养殖周期延长,而对虾一旦发病,生长速度显著降低。与自然生长不同,凡纳滨对虾低盐度养殖生长周期较短,对虾个体生长正常不能达到渐近体长和体重,用一般对虾生长模型 von Bertalanffy: $L(W) = L$

$(W)_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$ 来估计低盐度养殖对虾的生长效果并不理想^[12],围隔实验结果,Quadratic 和 Boltzmann 模型能很好估计凡纳滨对虾低盐度养殖健康对虾的体长和体重生长过程,也说明低盐度养殖,对虾体长和体重生长适用不同的模型来估计。凡纳滨对虾体长生长的 Quadratic 模型,因参数 a 值大而 b 值小,表明对虾早期体长有一个线性生长阶段,该模型适用于人工养殖的对虾,已被用来估计凡纳滨对虾海水养殖产量^[13]及其他对虾和生物的生长^[14,15]。

表 2 不同围隔对虾生长模型拟合参数

Tab.2 Regression parameters of *L. vannamei* growth models in different enclosures

围隔 enclosure	体长生长模型参数 body length growth model parameters					体重增长模型参数 body weight growth model parameters					
	R^2	P	L_0	a	b	R^2	Chi^2	$A1$	$A2$	t_0	dx
1 #	0.985	0.0153	6.201	2.351	-0.0106	0.996	0.577	-1.851	25.784	73.549	26.122
2 #	0.978	0.0221	4.740	2.434	-0.0119	0.992	1.035	-2.387	18.674	57.955	25.935
3 #	0.996	0.0045	7.844	2.297	-0.0105	0.999	0.214	-0.846	16.992	56.745	17.232
4 #	0.989	0.0108	7.223	2.354	-0.0108	0.999	0.090	-0.621	16.541	54.809	15.456
5 #	0.996	0.0041	7.450	2.259	-0.0093	0.999	0.040	-0.556	18.173	59.901	16.032

注： R^2 为拟合相关系数， P 为 t 检验值， $P < 0.05$ 显著相关， Chi^2 为卡方检验值； L_0 、 a 、 b 为体长生长模型参数； $A1$ 、 $A2$ 、 t_0 、 dx 为体重增长模型参数

Notes： R^2 is correlation coefficients of regression， P is t test values， $P < 0.05$ correlation significantly， Chi^2 test values； L_0 、 a 、 b are parameters of body length growth model； $A1$ 、 $A2$ 、 t_0 、 dx are parameters of body weight growth model

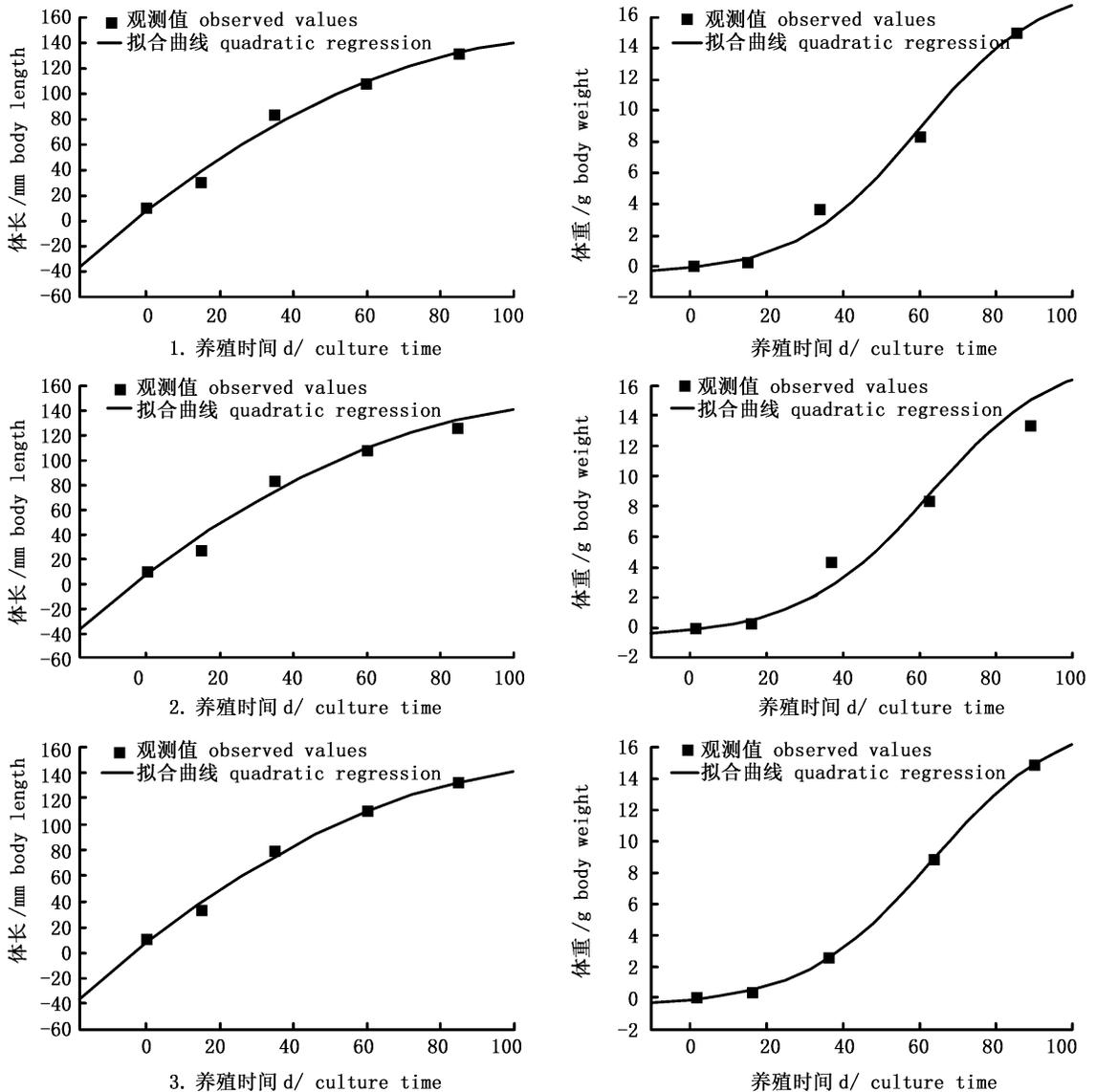


图 2 围隔对虾生长拟合曲线

Fig.2 Regression curves of *L. vannamei* growth at low salinity enclosure

1. 1 # 围隔对虾生长拟合曲线 2. 2 # 围隔对虾生长拟合曲线 3. 3 #、4 # 和 5 # 围隔对虾生长拟合曲线

1. Regression curves of *L. vannamei* growth at low salinity enclosure 1；2. Regression curves of *L. vannamei* growth at low salinity enclosure 2；

3. Regression curves of *L. vannamei* growth at low salinity enclosure 3 A and 5

凡纳滨对虾体重增长呈典型 S 型曲线,符合 Boltzmann 模型,其前期体重增长较慢,而中国对虾体重增长呈不对称的 S 型曲线^[16],这是种类差异或养殖条件的不同。研究认为,对虾生长状况直接影响模型参数和拟合效果,健康生长的对虾模型拟合效果理想,发病对虾的模型拟合效果相对较差,因此,Quadratic 和 Boltzmann 模型适宜用来估计健康生长的对虾,对非健康生长对虾估计效果较差。实验结果还表明,用 DoseResp 模型 $L(W) = A1 + (A2 - A1)(1 + 10^{\log t_0 - t})^p$ 也可很好估计凡纳滨对虾低盐度养殖体长和体重生长^[17]。

盐度对对虾生长具有一定的影响,多数研究认为凡纳滨对虾最适生长盐度为 15 ~ 20^[2,4,6,18,19],黄凯等^[18]及王兴强等^[4]认为对虾在最适盐度的特定生长率最高,随盐度升高或降低,对虾生长减慢,宋盛宪等^[19]认为在适宜盐度下,随盐度降低对虾生长速度加快,而在淡水中对虾生长速度相对较慢。自然生长或海水粗养的对虾,因盐度高、饵料营养及环境的不稳定性,对虾生长速度降低,养殖生长周期较长^[13],而低盐度精养的对虾,因人工调控作用,养殖环境稳定,饵料营养平衡充足,对虾生长速度较快,养殖周期短^[16,19],不同养殖环境对虾生长规律有所不同,应用不同的生长模型来估计对虾生长和养殖结果。凡纳滨对虾低盐度养殖体长与体重的关系与一般对虾体长与体重关系一致,符合幂指数模型,呈典型的立方关系,与养殖的中国对虾比较接近^[20],而与吴世海的研究结果有所不同^[21],可能是养殖盐度的差异。

根据凡纳滨对虾低盐度养殖生长规律,前期以体长生长为主,生长速度快,而对虾发病一般就在体长快速生长期,即养殖第 40 ~ 60 天,此期对虾蜕壳和体长生长加快,体质相对较弱,如果养殖环境胁迫或营养不良,均可造成病原微生物入侵或对虾生理性疾病,因此,对虾体长快速生长期是低盐度养殖的关键期。

参考文献:

- [1] 孙 闯,李长江,赵叶明,等. 北方淡水养殖南美白对虾 (*Penaeus vannamei* Boone) 试验[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(6): 18-21.
- [2] Imad P S, Allen D D, David B R. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture[J]. Aquac, 2003, 217: 373-383.
- [3] 肖国强,潘鲁青,冉宪宝,等. 低盐度地下卤水养殖南美白对虾的研究[J]. 海洋科学, 2002, 26(12): 36-40.
- [4] 王兴强,马 牲,董双林. 盐度和蛋白质水平对凡纳滨对虾存活、生长和能量转换的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(1): 33-37.
- [5] 查广才,周昌清,黄建荣,等. 凡纳对虾淡化养殖虾池微型浮游生物群落及多样性[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1748-1755.
- [6] Bray W A, Lawrence A L, Leung-Trujillo J R. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei* with observations on the interaction of IHNV virus and salinity[J]. Aquaculture, 1994, 122: 133-146.
- [7] Laramore S, Laramore C R, Scarpa J. Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of The World Aquaculture Society, 2001, 32(4): 385-392.
- [8] Samocha T M, Lawrence A L, Poose D. Growth and survival of juvenile *Penaeus vannamei* in low salinity water in a semi-closed recirculating system[J]. Isr J Aquac-Bamidgeh, 1998, 50(2): 55-59.
- [9] 李德尚,杨红生,王吉桥,等. 一种池塘陆基实验围隔[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(2): 199-203.
- [10] Wyban J, Walsh W A, Godin D M, et al. Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp *Penaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 1995, 138: 267-279.
- [11] 崔 莹,臧维玲,马海娟. 凡纳滨对虾瞬时耗氧速率与溶氧水平和海水盐度的相关关系[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(1): 76-79.
- [12] 张乃禹. 中国对虾生长的数理分析[J]. 海洋科学, 1985, 9(4): 1-7.
- [13] David G W, Dennis H T, Gilbert W F. An empirical Bayes procedure for adaptive forecasting of shrimp yield [J]. Aquaculture, 2000, 182: 215-228.
- [14] Sha M, Tu S C. Modeling effect of thermic amplitude on growing Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* (Osbeck) [J]. Ecological Modelling, 1996, 88: 93-100.
- [15] Wishart J. Growth rate determination in nutrition studies with bacon pig and their analysis [J]. Journal of the American Statistical Association, 1938, 74: 215-221.
- [16] 邓景耀. 渤海对虾 (*Penaeus orientalis* Kishinouye) 的生长[J]. 海洋水产研究, 1981, 2: 85-93.
- [17] Grizzle J E, Allen D M. Analysis of growth and dose response curves[J]. Biometrics, 1969, 25: 357-381.
- [18] 黄 凯,王 武,卢 洁,等. 盐度对南美白对虾的生长及生化成分的影响[J]. 海洋科学, 2004, 28(9): 20-25.
- [19] 宋盛宪,郑石轩. 南美白对虾健康养殖[M]. 北京: 海洋出版社, 2001. 20-88.
- [20] 王克行. 温度对对虾生长的影响[J]. 海洋湖沼通报, 1984, 4: 42-45.
- [21] 吴世海,王志成,周浩郎,等. 凡纳对虾 (*Penaeus vannamei* Boone) 高产养殖试验[J]. 海洋通报, 2003, 22(2): 45-52.