

温度和盐度对墨吉明对虾(*Fenneropenaeus meiguiensis*)生长与存活的联合效应*

钱佳慧 栗志民^① 叶宁 刘建勇 胡志国 郑开江

(广东海洋大学水产学院 湛江 524088)

摘要 采用中心复合设计(CCD)和响应曲面法(RSM),研究了温度(16–35℃)和盐度(5–29)对墨吉明对虾生长与存活的联合效应。结果显示,温度的一次效应和二次效应对墨吉明对虾的特定生长率和存活率具有显著影响($P<0.05$);盐度的一次效应对墨吉明对虾的特定生长影响不显著($P>0.05$),但对墨吉明对虾存活率的影响达到显著水平($P<0.05$);盐度二次效应对特定生长率与存活率具有极显著影响($P<0.01$);温度和盐度对墨吉明对虾的生长与存活不存在显著的交互作用($P>0.05$)。采用中心复合设计建立了温度和盐度对墨吉明对虾特定生长率和存活率影响的模型方程,该方程的决定系数分别为0.9014、0.9631,校正系数分别为0.8310、0.9367,表明模型具有较好的拟合度,可用于预测墨吉明对虾特定生长率与存活率的变化。通过模型优化和验证实验,得出温度为26.6℃、盐度为15.5时,特定生长率和存活率均达到最大值,分别为1.296%、98.34%,其满意度为0.970。结果显示,墨吉明对虾在工厂化养殖过程中温度为26–27℃、盐度为15–16时,有利于墨吉明对虾的存活与生长。

关键词 墨吉明对虾; 温度; 盐度; 特定生长率; 存活率; 响应曲面法

中图分类号 S966 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)03-0062-06

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是全球范围内养殖范围较广、产出量较大的三大对虾之一。随着凡纳滨对虾工厂化养殖规模不断扩大,面临的问题日益增多,如进口亲虾价格逐年升高、病害发生频繁、养殖成活率下降等,严重影响我国对虾养殖行业的经济效益(边绍新等, 2014; 张许光等, 2014)。因此,业内人士开始寻求一种能够替代凡纳滨对虾的品种,以优化我国对虾养殖产业结构,提高对虾年产出量。因墨吉明对虾属于本地品种,资源相对比较丰富,价格也比进口虾便宜,且具有生长速度快、抗病性较强、成活率较高等特点(Patil *et al.*, 2014),已倍受人们的关注。

墨吉明对虾(*Fenneropenaeus meiguiensis*)隶属于节肢动物门(Arthropoda)、甲壳纲(Crustacea)、十足目

(Decapoda)、对虾科(Penaeidae)、明对虾属(*Fenneropenaeus*),俗称大虾、大明虾等,广泛分布于我国广东、广西沿海海区,在澳洲热带和亚热带也有分布,是一种暖水性经济对虾(麦贤杰等, 2009)。目前,国内外对墨吉明对虾的研究主要集中在繁殖(Memon *et al.*, 2011)、性成熟(Qureshi *et al.*, 2014)、年龄与生长(Mane *et al.*, 2011)以及资源调查(李振如等, 1992)、基因克隆(庆宁等, 2002)、胚胎发育(杨世平等, 2014)、外观学(胡贤德等, 2009)等方面。有关环境因子对墨吉明对虾生长及存活研究未见报道。温度和盐度是影响水生动物生存和生长的两个重要水环境因素(Kumlu *et al.*, 2010),温度主要调控水生动物生理和生化进程(Tirsgaard *et al.*, 2014),盐度则改变水生动物机体内部渗透压影响各生理机能(金彩霞等, 2008)。对墨吉明

* 广东省水产良种体系建设项目(2013004)和广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 14121006-2-6)共同资助。钱佳慧, E-mail: 52.duo@163.com

① 通讯作者: 栗志民, 副教授, E-mail: lizhimin811@163.com

收稿日期: 2014-12-17, 收修改稿日期: 2015-01-19

对虾进行温度和盐度适应性研究,有利于深层次了解墨吉明对虾养殖模式及条件。本研究以墨吉明对虾为实验材料,采用响应曲面法,研究室内控制条件下,不同温度和盐度对其生长及存活的联合效应。通过响应曲面法探索出墨吉明对虾适合生长及存活的最佳温度和盐度组合,不但可以加强环境因子对墨吉明对虾生长影响方面理论,也使响应曲面法在墨吉明对虾工厂化养殖领域得以应用,为墨吉明对虾工厂化养殖条件的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

墨吉明对虾于2014年7月取自广东省湛江市某养殖场。挑选同一批活力旺盛且健康个体作为实验用虾,平均体长(37.54±2.55) mm,平均体重(0.72±0.14) g。将其暂养于广东海洋大学无脊椎工程中心,7 d后开始实验。实验在体积为20 L的方形泡沫箱内进行,用水为经砂滤消毒海水。暂养期间每日50%换水,投喂粤海喂颗粒饲料,每日投喂3~4次,投喂量为对虾体重的30%~40%。

1.2 实验设计

实验前对墨吉明对虾进行预实验,确定其正常生长与存活适宜温度、盐度范围。实验采用中心复合设计及响应曲面法,以墨吉明对虾特定生长率和存活率为响应值,以温度(16~35℃)和盐度(5~29)为因子,每个因子实验水平编码值分别为- α 、-1、0、1、 α (表1),其中,| α |=1.41421为星号臂值。实验采用2因素5水平,中心点重复5次,共计13组,每个实验组合设置2组平行。

1.3 实验方法

每个实验组放入20尾墨吉明对虾,用充气泵供给充足的氧气,并调节箱体中海水的温度和盐度至表中相应组合(表1)。温度采用栗志民等(2011)方法进行控制,每天调节幅度为1~2℃。盐度调节则采用加入海水晶或加入曝气后的淡水调节,每天调节幅度为2。驯化至实验所设定条件后进行为期30 d的养殖实验,并于第31天对生长指标进行测量。在实验期间记录对虾死亡情况,并及时清除死亡的对虾,以免影响水质。

1.4 响应值测定

实验结束前24 h停止进行投喂饲料,次日对每个实验组中的墨吉明对虾进行体长和体质量的测定,体长采用游标卡尺进行测量,体质量采用电子天平进行

表1 不同温度和盐度对特定生长率及存活率影响
Tab.1 Effects of different temperature and salinity on SGR and SR

组别 Group	编码值 Code value		实际值 Actual value		特定生长率 SGR (%·d ⁻¹)	存活率 SR(%)
	T	S	T	S		
1	- α	0	16.0	17.0	0.20±0.25	66.00±5.00
2	-1	-1	18.8	8.5	0.11±0.27	71.32±7.64
3	-1	1	18.8	25.5	0.13±0.38	66.67±2.89
4	0	- α	25.5	5.0	0.67±0.32	88.33±2.88
5	0	0	25.5	17.0	1.37±0.27	98.34±2.98
6	0	0	25.5	17.0	1.18±0.21	98.23±2.12
7	0	0	25.5	17.0	1.24±0.19	95.56±2.44
8	0	0	25.5	17.0	1.30±0.23	98.34±2.33
9	0	0	25.5	17.0	1.31±0.31	97.42±2.15
10	0	α	25.5	29.0	0.43±0.35	76.67±2.67
11	1	-1	32.2	8.5	0.89±0.23	88.33±7.64
12	1	1	32.2	25.5	0.77±0.33	76.67±7.64
13	α	0	35.0	17.0	0.22±0.22	68.33±7.38

称量。其中:

$$\text{特定生长率}(SGR)=[(\ln W_2-\ln W_1)/(t_2-t_1)] \times 100\%$$

$$\text{存活率}(SR)=N_{sr}/N_0 \times 100\%$$

式中, W_1 、 W_2 分别为起始时间 t_1 、终末时间 t_2 时的体质量(g)。 N_{sr} 为存活的个体数目, N_0 为起始放入的总个体数。

1.5 数据处理

数据测定结果采用平均值±标准差(Mean±SE)表示,通过最小二乘法拟合得出因子与响应值之间的二次多项回归方程为:

$$Y=b_0+b_1T+b_2S+b_3TS+b_4T^2+b_5S^2$$

式中, Y 为响应值测定,包括特定生长率和存活率; b_0 为回归常数; b_1 、 b_2 分别为温度和盐度的一次效应; b_3 为温度和盐度互作效应; b_4 为温度和盐度的二次效应。

采用Design expert 8.0软件进行实验设计与数据处理,对温度、盐度与响应值进行二次方程回归拟合,显著水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 模型的建立及显著性检验

2.1.1 特定生长率 利用Design expert 8.0统计软件对表1实验数据进行多元回归拟合,得到特定生长率(SGR)对温度(T)和盐度(S)的二次多项回归方程(即非编码)为:

$$SGR(\% \cdot d^{-1}) = -8.29494 + 0.61535T + 0.16936S - 0.00057T^2 - 0.01134T^2 - 0.00475S^2$$

对该模型进行方差分析见表 2。由表 2 可以看出, 特定生长率所建立的回归模型极显著($P < 0.01$)。失拟检验结果极显著($P < 0.01$), 表明拟合方程可能无效, 但由于实验中纯误差均方较小($MS = 0.005$), 且方程决定系数 R^2 为 0.9014, 校正系数 R^2 为 0.8310, 所以拟合的二次方程有效。

表 3 为回归模型系数显著性检验结果。由表 3 可以看出, 温度的一次效应对墨吉明对虾特定生长率影响达显著水平($P < 0.05$), 但盐度的一次效应对墨吉明对虾特定生长率影响不显著($P > 0.05$); 温度和盐度的二次效应对墨吉明对虾特定生长率影响达极显著水平($P < 0.01$); 但温度和盐度的交互作用对特定生长率的影响不显著($P > 0.05$)。

表 2 温度和盐度对墨吉明对虾特定生长率的回归模型方差分析

Tab.2 Analysis of variance for effects of temperature and salinity on *SGR* of *F. meiguensis*

来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
模型 Model	2.65	5	0.53	12.80	0.0021
残差 Residual	0.29	7	0.04		
失拟 Lack of fit	0.27	3	0.09	17.10	0.0096
纯误差 Pure error	0.02	4	0.005		
总和 Total	2.94	12			

注: 决定系数 $R^2 = 0.9014$, 校正系数 $R^2 = 0.8310$
Note: $R^2 = 0.9014$, Adj. $R^2 = 0.8310$

表 3 温度和盐度回归方程系数显著性检验

Tab.3 The significance test for coefficients of established regression equation for temperature and salinity on *SGR*

来源 Source	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	置信下限 95% CI low	置信上限 95% CI high	P 值 P value
截距 Intercept	1.28	0.091	1.06	1.50	
<i>T</i>	0.18	0.072	0.01	0.35	0.0391
<i>S</i>	-0.06	0.072	-0.23	0.11	0.4608
<i>T</i> × <i>S</i>	-0.03	0.100	-0.27	0.21	0.7589
T^2	-0.51	0.077	-0.69	-0.33	0.0003
S^2	-0.34	0.077	-0.52	-0.16	0.0031

2.1.2 存活率 对表 1 实验数据进行多元回归拟合, 得到存活率(*SR*)对温度(*T*)和盐度(*S*)的二次多项回归模型(即非编码)为:

$$SR(\%) = -167.08752 + 18.01436T + 3.75289S - 0.030746T \times S - 0.33192T^2 - 0.10153S^2$$

表 4 为温度和盐度对墨吉明对虾存活率的回归模型方差分析表。结果表明, 存活率所建立的回归模型极显著($P < 0.01$)。虽然失拟误差极显著($P < 0.01$), 但纯误差均方($MS = 1.42$)较小, 且存活率对温度和盐度的回归方程决定系数 R^2 为 0.9631, 校正系数 R^2 为 0.9367, 表明所建立的方程与实际数据拟合较好, 因此可用该回归方程对实验进行预测及分析。

表 4 温度和盐度对墨吉明对虾存活率影响的方差分析
Tab.4 Analysis of variance for effects of temperature and salinity on the *SR* of *F. meiguensis*

来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F Value	P 值 P Value
模型 Model	2025.20	5	405.04	36.51	<0.0001
残差 Residual	77.66	7	11.09		
失拟 Lack of fit	71.98	3	23.09	16.89	0.0098
纯误差 Pure error	5.68	4	1.42		
总和 Total	2102.86	12			

注: 决定系数 $R^2 = 0.9631$, 校正系数 $R^2 = 0.9367$
Note: $R^2 = 0.9631$, Adj. $R^2 = 0.9367$

从表 5 可知, 一次项 *T*、*S* 对存活率具有显著的线性效应($P < 0.05$), 二次项 T^2 、 S^2 对存活率的效应达极显著水平($P < 0.01$), 但交互项 $T \times S$ 交互效应对墨吉明对虾存活率的影响不显著($P > 0.05$)。

表 5 温度和盐度回归方程系数显著性检验

Tab.5 The significance test for coefficients of established regression equation for temperature and salinity on *SR*

来源 Source	回归系数 Regression coefficient	标准误 Standard error	置信下限 95% CI low	置信上限 95% CI high	P 值 P Value
截距 Intercept	97.58	1.49	94.06	101.10	
<i>T</i>	3.79	1.18	1	6.57	0.0147
<i>S</i>	-4.10	1.18	-6.88	-1.32	0.0102
<i>T</i> × <i>S</i>	-1.75	1.67	-5.69	2.19	0.3276
T^2	-14.98	1.26	-17.96	-11.99	<0.0001
S^2	-7.31	1.26	-10.30	-4.32	0.0007

2.2 响应曲面

2.2.1 特定生长率 为了更直观的考察温度和盐度两个因素及其交互作用对特定生长率的影响, 实验采用中心复合设计, 获得两个因素及其交互作用对特定生长率的二次方程, 并得到一组响应曲面及等高线图(图 1), 从而确定最佳实验条件范围。该组图形直观地反映了温度和盐度对特定生长率的影响。由图 1-a 可以清晰的看出, 温度对特定生长率影响的曲线较陡,

因此温度对特定生长率影响显著($P < 0.05$)。盐度曲线相对较平缓, 因此影响不显著($P > 0.05$)。由图 1-b 可以看出, 等高线图接近圆形, 表明温、盐交互作用对特定生长率的影响不显著($P > 0.05$)。随着温度和盐度的增加, 墨吉明对虾的特定生长率呈现先升高后下降的变化, 在温度趋近 25℃, 盐度趋近 17 时, 特定增长率最大。

2.2.2 存活率 图 2 为温度、盐度及交互作用对墨

吉明对虾存活率影响的响应曲面和等高线图。从图 2-a 中可知, 随着温度和盐度的升高, 存活率呈现出先升高后降低的变化趋势, 且在温度趋近 25℃, 盐度趋近 17 时, 存活率相对较大。由图 2-b 可知, 等高线接近圆形, 因此, 温度和盐度的交互作用对墨吉明对虾存活率影响不显著($P > 0.05$), 且温度在 22–30℃、盐度低于 23 时, 墨吉明对虾存活率较大。

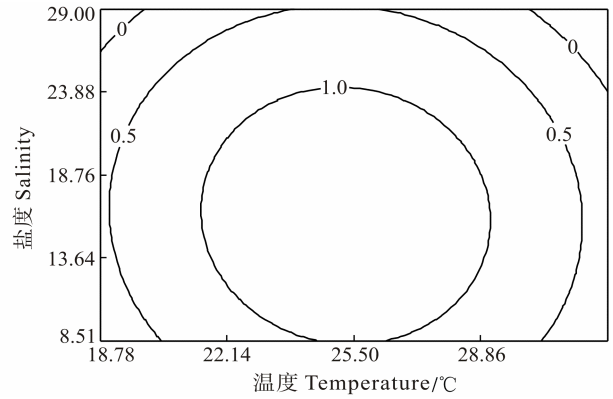
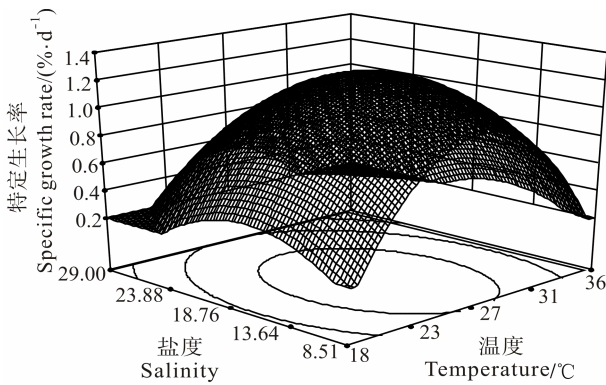


图 1 温度、盐度及交互作用对墨吉明对虾特定生长率影响的响应曲面(a)和等高线(b)

Fig.1 Response surface plot (a) and its contour plot (b) of the effects of temperature, salinity and their mutual interactions on SGR of *F. meiguensis*

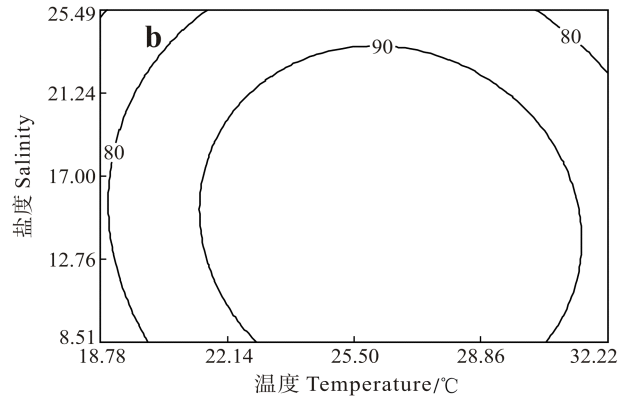
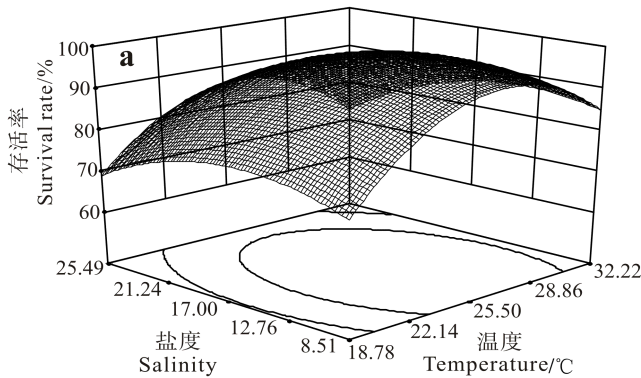


图 2 温度、盐度及交互作用对墨吉明对虾存活率影响的响应曲面(a)和等高线(b)

Fig.2 Response surface plot (a) and its contour plot (b) of the effects of temperature, salinity and their mutual interactions on SR of *F. meiguensis*

2.3 优化

本研究中得到的模型方程有很高的拟合度和预测性, 对墨吉明对虾特定生长率和存活率模型方程进行优化。结果显示, 当温度为 26.6℃, 盐度为 15.5 时, 特定生长率和存活率均达到最大值, 分别为 1.296%、98.34%, 满意度为 0.970。为了进一步验证响应曲面优化条件的可靠性, 按所得最优条件进行实验验证。结果显示, 当温度为 26.6℃, 盐度为 15.5 时, 特定生长率和存活率分别为 1.31%、98.71%, 与理论值基本相符, 说明模型优化条件合理有效。

3 讨论

温度是调控新陈代谢较突出的环境因子, 对生物体代谢反应速度具有调控作用, 影响水生动物生长及存活(Walker *et al*, 2011)。研究发现, 盐度一定时, 温度在 18–25℃时, 墨吉明对虾的特定生长率随温度升高逐渐增大, 但温度高于 25℃时, 墨吉明对虾特定生长率逐渐下降。实验结果与王兴强等(2010)、Vemberg 等(1988)对脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)和长臂虾(*Palaemonetes pugio*)研究结果相同, 即生长率随

温度升高先上升后下降。原因是由于墨吉明对虾体内环境与外界环境达到相对平衡时,其摄食能力增强,用于维持生命活动以及调节机体适应环境的能量相对较少,大部分能量流向利于对虾生长等方向,因此,生长速度明显加快,特定生长率显著升高(Hepher *et al.*, 1983),但温度高于墨吉明对虾生长适宜范围,对虾活动强度会增大,基础代谢能力增强,摄食能力虽然增强,但大部分能量用于机体活动需要,因而用于对虾生长所需的能量较少,生长速度减慢(强俊等, 2012)。Miao等(1995)研究发现,温度对中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)的生长具有显著影响($P < 0.05$),且在16–31℃之间生长率与温度呈线性关系,这与本研究结果有所不同。本研究发现,墨吉明对虾特定生长率与温度之间不仅存在简单的一次效应,还存在二次效应,且二次效应达极显著($P < 0.01$)。表明26.6℃,墨吉明对虾特定生长率会达到最大值,墨吉明对虾属暖水性对虾,适宜高温水环境中生存,本实验条件下,温度为22–30℃时,对虾的存活率在85%以上,升高或降低温度,存活率都将下降。与凡纳滨对虾、斑节对虾以及中国对虾等相比,其适宜生存温度范围基本接近(Vernberg *et al.*, 1988; Miao *et al.*, 1995; 杨章武等, 2011)。

与温度相比,盐度对墨吉明对虾特定生长率的影响一次效应不显著($P > 0.05$)。表明在5–29盐度范围内,特定生长率与盐度之间不存在线性关系。但由于二次效应显著($P < 0.05$),因此,特定生长率随着盐度的变化呈现先上升后下降峰值变化。产生的原因是由于在适宜盐度范围时,对虾用于调节渗透压和离子浓度的能量较少,大部分能量用于生长,因此,特定生长率不断增大;但盐度变化超过墨吉明对虾的耐受范围后,代谢所产生的能量大部分用于渗透压和体内离子浓度的调节,用于生长的能量相对较少,特定生长率则会降低(Boeuf *et al.*, 2001)。Silva等(2010)研究发现,桃红美对虾(*Farfantepenaeus subtilis*)的增长率在盐度为25时明显高于其他盐度组;Nguyen等(2012)对斑节对虾(*Penaeus monodon*)研究表明,当盐度在20–23时,对虾的生长速度显著高于高盐度组。与之相比,本研究发现,在最优温度范围内,墨吉明对虾在盐度为15–18条件下,生长速度最快,存活率达85%以上,表明墨吉明对虾比桃红美对虾、斑节对虾更能适应低盐度,具有较高耐低渗透能力。

Vernberg等(1998)、Nguyen等(2012)、Silva等(2010)、Miao等(1995)只研究了温度和盐度单因素对对虾生长及存活的影响,并未考察两因子间的协同作用。响应曲面法与单因素实验法相比,具有实验次数

减少、实验周期较短、获得回归方程精准度高等特点。此外,响应曲面法能够考察各因子间交互作用,利于最大限度发挥各因子对响应指标影响,并找到整个区域上各个因素最佳组合和最优值,是解决实际生产的一种有效方法。本研究采用中心复合设计,考察了温度与盐度协同效应,得出温度和盐度对墨吉明对虾的生长与存活不具有明显的交互作用,说明温度和盐度是两个独立的因子,当温度改变时,对盐度的需求并不发生变化。结合图1与图2的响应曲面图,对温度和盐度联合效应进行考察可发现,随着温度变化,生长率及存活率达最大值时具有相同的盐度。本研究中,温度与盐度的二次效应显著,说明温度与盐度对墨吉明对虾的生长及存活的影响存在最优值,即当温度为26.6℃,盐度为15.5时,特定生长率和存活率均达到最大值,分别为1.296%、98.34%,其满意度为0.970。因此,可以根据最优组合,合理控制养殖水体的温度与盐度将有利于提高墨吉明对虾生产性能并提高养殖业的经济效应。

参 考 文 献

- 王兴强,曹梅.低盐和低温对脊尾白虾生长和能量收支的影响.水生生态学杂志,2010,3(2):66–71
- 边绍新,马云聪,张玲.丰南区南美白对虾养殖产业存在的问题及对策.河北渔业,2014,20(11):63–64
- 庆宁,林岳光.墨吉明对虾线粒体16S rRNA基因序列分析.华南师范大学学报(自然科学版),2002(3):63–67
- 张许光,赵培,王国成,等.不同放苗密度凡纳滨对虾生物絮团养殖的环境和产出效应.渔业科学进展,2013,34(3):111–119
- 麦贤杰,黄伟健,叶富良,等.对虾健康养殖学.北京:海洋出版社,2009,360–364
- 杨世平,王成桂,黄海立,等.环境温度和盐度对墨吉明对虾胚胎发育的影响.海洋与湖沼,2014,45(4):817–822
- 杨章武,卢小宁,郑雅友,等.温度对凡纳滨对虾幼体生长、变态和存活率的影响.台湾海峡,2011,30(1):81–85
- 金彩霞,潘鲁青.盐度变化对克氏原螯虾渗透调节影响机制的初步研究.水生生物学报,2008,32(6):894–899
- 胡贤德,孙成波,李镇泉,等.北部湾墨吉明对虾和斑节对虾形态性状对体质量的影响分析.海南大学学报(自然科学版),2009,01:48–53
- 钟振如,李辉权,闽信爱,等.南海北部涠洲岛周围水域中的墨吉明对虾资源.水产学报,1992,14(4):277–285
- 栗志民,刘志刚,徐法军.体重、温度和盐度对皱肋文蛤耗氧率和排氨率的影响.海洋科学进展,2012,29(4):512–520
- 强俊,任洪涛,徐跑,等.温度与盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼生长和肝脏抗氧化酶活力的协同影响.应用生态学报,2012,23(1):255–263
- Boeuf G, Payan P. How should salinity influence fish growth? Comp Biochem Physiol Part C: Toxicol Pharmacol, 2001, 130(4): 411–423
- Hepher B, Liao IC, Cheng SH, *et al.* Food utilization by red tilapia-Effects of diet composition feeding level and temperature on utilization efficiencies for maintenance and

- growth. *Aquaculture*, 1983, 32(3–4): 255–275
- Kumlu M, Kumlu M, Turkmen S. Combined effects of temperature and salinity on critical thermal minima of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Penaeidae). *J Therm Biol*, 2010, 35(6): 302–304
- Mane S, Deshmukh VD. Age and growth studies of banana prawn, *Penaeus merguensis* de Man from Maharashtra waters. *J Mar Biol Assoc India*, 2011, 53(2): 184–188
- Memon AJ, Ikhwanuddin M, Talpur AD, *et al.* Assessment of sperm viability, determination fertilization capacity and hatching rate by artificial insemination of banana shrimp, *Penaeus merguensis* (De Man, 1888). *Res J Appl Sci*, 2011, 6(3): 174–178
- Miao S, Tu S. Modeling thermal effect on growth of Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* (Osbeck). *Ecol Model*, 1995, 80(2–3): 187–196
- Nguyen Duy H, Coman GJ, Wille M, *et al.* Effect of water exchange, salinity regime, stocking density and diets on growth and survival of domesticated black tiger shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) reared in sand-based recirculating systems. *Aquaculture*, 2012, 338–341: 253–259
- Patil PK, Gopal C, Panigrahi A, *et al.* Oral administration of formalin killed *Vibrio anguillarum* cells improves growth and protection against challenge with *Vibrio harveyi* in banana shrimp. *Lett Appl Microbiol*, 2014, 58(3): 213–218
- Qureshi NA, Amanat Z. Reproductive biology and size at sexual maturity of *Penaeus merguensis* from the sonmiani bay lagoon, balochistan, Pakistan. *J Animal Plant Sci*, 2014, 24(2): 503–511
- Spanopoulos-Hernández M, Martínez-Palacios CA, Vanegas-Pérez RC, *et al.* The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris*. *Aquaculture*, 2005, 244(1–4): 341–348
- Silva E, Calazans N, Soares M, *et al.* Effect of salinity on survival, growth, food consumption and haemolymph osmolality of the pink shrimp *Farfantepenaeus subtilis* (Pérez-Farfante, 1967). *Aquaculture*, 2010, 306(1–4): 352–356
- Tirsgaard B, Behrens JW, Steffensen JF. The effect of temperature and body size on metabolic scope of activity in juvenile Atlantic cod *Gadus morhua*. *Comp Biochem Physiol Part A: Mol Integr Physiol*, 2014, 179(33): 89–94
- Vernberg FJ, Piyatiratitivorakul S. Effects of salinity and temperature on the bioenergetics of adult stages of the grass shrimp (*Palaemonetes pugio*) from the North Inlet estuary, South Carolina. *Estuaries*, 1998, 21(1): 176–193
- Walker SJ, Neill WH, Lawrence AL, *et al.* Effects of temperature and starvation on ecophysiological performance of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 2011, 319(3): 439–445

(编辑 陈严)

Combined Effects of Temperature and Salinity on the Growth and Survival of *Fenneropenaeus meiguensis*

QIAN Jiahui, LI Zhimin^①, YE Ning, LIU Jianyong, HU Zhiguo, ZHENG Kaijiang

(Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088)

Abstract To investigate the optimal temperature and salinity for the *Fenneropenaeus meiguensis*, Central Composite Design (CCD) and Response Surface Method (RSM) were used to study the combined effects of temperature (16–35°C) and salinity (5–29) on the growth and survival of the *F. meiguensis*, which will provide theoretical basis for the industrial culture of *F. meiguensis*. The results showed that the linear and quadratic effects of temperature on the specific growth rate (SGR) and the survival rate (SR) of *F. meiguensis* were significant ($P < 0.05$). The linear effect of salinity on the SGR was not significant ($P > 0.05$), but the effect on SR was significant ($P < 0.05$). The quadratic effect of salinity on the SGR and SR were significant ($P < 0.01$). The interactive effect of temperature and salinity on the SGR and SR of *F. meiguensis* were not significant ($P < 0.05$). Based on the response surface methodology analysis, a model equation about the relationship of the specific growth rate and survival rate to the two factors were established, which the R^2 were 0.9014 and 0.9631, respectively, and the Adj. R^2 were 0.8310 and 0.9367, respectively, suggesting that the model was satisfactory, and it could be practicably applied for predicting the variety of SGR and SR. Based on the established model, the SGR and SR reached the maximum (1.296%, 98.34%) at the 2-factor combination of 26.6°C/15.5, which had desirability value of 0.970. These results suggest that the optimization of temperature and salinity of *F. meiguensis* were 26.6°C/15.5, which could offer theoretical reference for the production of the *F. meiguensis*.

Key words *Fenneropenaeus meiguensis*; Temperature; Salinity; SGR; SR; Response surface method

① Corresponding author: LI Zhimin, E-mail: lizhimin811@163.com