

DOI: 10.5846/stxb201606251247

黄东科, 梁华芳, 张志, 温崇庆. 温度对波纹龙虾存活、摄食、蜕壳和生长的影响. 生态学报, 2017, 37(18): 5973-5980.

Huang D K, Liang H F, Zhang Z, Wen C Q. The effect of temperature on the survival, food intake, molting, and growth of *Panulirus homarus*. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(18): 5973-5980.

温度对波纹龙虾存活、摄食、蜕壳和生长的影响

黄东科, 梁华芳*, 张 志, 温崇庆

广东海洋大学水产学院, 湛江 524088

摘要: 波纹龙虾是热带和亚热带重要经济虾类, 养殖潜力巨大。本文进行温度渐变和骤变对波纹龙虾存活、摄食影响试验, 以确定存活和摄食的水温范围; 进行了波纹龙虾在不同温度条件下 (22、25、28、31、34℃) 对其存活率、饵料用效率、蜕壳和生长情况的影响试验, 以确定最适养殖水温, 试验时间 90 d。结果表明: 波纹龙虾的生存温度范围为 13—36℃, 适宜温度为 20—30℃。在温度 22—31℃ 范围内, 波纹龙虾的存活率和特定生长率随着温度的升高表现为先升后降, 在 28℃ 达到最大值, 各组之间差异显著 ($P < 0.05$); 温度显著影响波纹龙虾对鲜活饵料的利用效率, 饵料系数最高的是 31℃ 组, 为 6.43 ± 0.28 ; 28℃ 组的波纹龙虾饵料系数最低, 为 5.75 ± 0.70 , 与其它各组有显著差异 ($P < 0.05$)。波纹龙虾的蜕壳周期随着温度的升高逐渐缩短, 31℃ 组周期最短 (16.7 d), 22℃ 蜕壳周期最长 (18.8 d), 但各组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。综合以上因素考虑, 波纹龙虾养殖水温宜控制在 28℃。

关键词: 波纹龙虾; 温度; 存活; 摄食; 蜕壳; 生长

The effect of temperature on the survival, food intake, molting, and growth of *Panulirus homarus*

HUANG Dongke, LIANG Huafang*, ZHANG Zhi, WEN Chongqing

Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract: The spiny lobster *Panulirus homarus* is an economically important lobster in the tropical and subtropical areas with a great potential for aquaculture. To identify the water temperature range for survival and feeding, the effects of gradual and acute temperature change on feeding and survival of *P. homarus* were investigated in this study. The effects of different temperatures (22, 25, 28, 31, and 34℃) on survival rate, feed utilization efficiency, molting, and growth of *P. homarus* were tested to determine the optimum culture temperature. The experiments were lasted for 90 d, and the results showed that the survival temperature range of *P. homarus* was 13—36℃, and the optimum temperature was at 20—30℃. In the temperature range 22—31℃, the survival rate and specific growth rate began to increase, peaked at 28℃, and then decreased. Significant differences were observed among different temperature groups ($P < 0.05$). Temperature has a significant effect on feed conversion ratio (FCR) for *P. homarus*. The 31℃ group had the highest FCR (6.43 ± 0.28), the lowest FCR occurred for the 28℃ group (5.75 ± 0.70), which was significantly different from that of the other groups. The molt cycle duration of *P. homarus* decreased with the increase in temperature. Spiny lobsters cultured at 31℃ had the shortest molt cycle duration (16.7 d), and the longest molt duration occurred at 22℃ being 18.8 d; however, there were no significant differences among the test groups ($P > 0.05$). In conclusion, in aquaculture of *P. homarus*, water temperature should be controlled at 28℃.

基金项目: 广东省科技厅项目 (2011B090400153); 广东省海洋与渔业科技推广专项 (A2010-08D04); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (201210566008)

收稿日期: 2016-06-25; **网络出版日期:** 2017-04-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hliang@126.com

Key Words: *Panulirus homarus*; temperature; survival; food intake; molting; growth

龙虾属(*Panulirus*)的龙虾全世界只有 19 种,而我国分布有 8 种^[1-2],龙虾是世界名贵虾类,由于其价格高,捕捞强度大,资源急剧下降,许多国家如印度、美国、澳大利亚、新西兰、加拿大等国都采取了一定的保护措施龙虾资源,对捕捞量和捕捞的季节都有立法规定^[3-4]。目前,龙虾人工育苗技术还没有取得重大突破,还没有人工培育的种苗供应市场,养殖种苗来源于自然海区捕捞,因此,世界龙虾养殖规模相对较小,主要集中在越南、印度尼西亚、印度、新西兰、日本、澳大利亚、菲律宾、新加坡和中国等^[5-7]。

波纹龙虾(*P. homarus*)以其种苗来源丰富、生长速度快、抗病力强而深受养殖者的喜爱,许多国家都在开展养殖研究,其养殖方式有 2 种,一是海上网箱养殖,二是陆上养殖(land-based systems),主要是循环水养殖;养殖的种苗主要来源于海区捕捞的野生幼苗,饵料为鲜活饵料,如蛤仔、牡蛎、杂鱼、杂虾和杂蟹等,还没有人工配合饲料投入使用,因此,养殖成本也较高^[8-13]。在中国养殖的龙虾品种中,波纹龙虾养殖产量最大,主要养殖方式是网箱养殖,也有工厂化养殖的报道^[9,14]。然而,波纹龙虾对生态条件的要求,目前还较少研究。尤其是水温,它影响波纹龙虾分布、代谢、营养物质和能量的有效利用,还通过影响蜕壳率,而影响其生长。本文就温度对波纹龙虾生存、摄食、生长等方面影响进行研究,以期为波纹龙虾的养殖和资源保护提供参考资料。

1 材料

1.1 波纹龙虾苗

波纹龙虾苗购于海南省琼海青葛海湾,为自然海区捕获的不同规格的幼苗。波纹龙虾幼苗干运回广东海洋大学东海岛生物研究基地,暂养于 20 m³ 的水泥池中,用遮阳网在遮光,24 h 连续充气,每天换水 1/4—1/3,投喂褶牡蛎和虾等优质饵料。

1.2 试验海水

试验海水为经沉淀、砂滤的自然海区海水,盐度为 28—30,pH 8.0—8.2。

1.3 饵料

试验饵料为新鲜的凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)、枪乌贼(*Ommastrephes bartrami*)以及褶牡蛎(*Crassostrea plicatula*),混合投喂。

2 方法

2.1 温度骤变对波纹龙虾存活和摄食的影响

试验共设置 5 个温度梯度:15、20、25、30、35℃,每个湿度梯度设 3 个平行组,常温为 30℃。每个平行组 6 尾波纹龙虾,平均体长(11.21±0.22)cm,平均体重(56.13±6.13)g。试验挑选在常温下暂养、摄食行为正常的龙虾进行。波纹龙虾被直接放入不同试验水温(事先调节好温度)的各试验桶中。试验桶为 100 L 的保温玻璃钢桶,低于 30℃ 温度的试验组用冰袋调节水温(温差±0.5℃),并在桶面上盖上保温的塑料薄膜,35℃ 组用 500W 自动控温加热棒控制水温(温差±0.5℃)。试验盐度为 30,pH 为 8.0。

试验每天换水 80%,早晚投饵一次,记录摄食率。每隔 2 h 试验者观察记录波比试龙虾死亡情况 1 次。试验共进行 7 d,结束时计算存活率和摄食率。

2.2 温度渐变对波纹龙虾存活和摄食的影响

试验用 100L 的玻璃桶桶进行。波纹龙虾暂养在水温度为 28℃、盐度为 30,pH 为 8.0 的自然海水中 3 d。试验分为升温组和降温组,各设置 3 个平行,每组 6 尾。波纹龙虾平均体长(11.21±0.22)cm,平均体重(56.13±6.13)g。温度用 500 W 自动控温加热棒和冰袋调节。温度的升降幅度为每天降低或升高 1℃,直至龙虾出现死亡,才停止本次试验。其他方法与温度骤变的相同。

2.3 温度对波纹龙虾生长的影响

2.3.1 实验设计

试验设置 22、25、28、31、34℃ 共 5 个温度组,每个温度组试验波纹龙虾 15 尾,分成 3 个平行组。试验龙虾平均体长(4.29±0.55) cm,平均体重(3.31±1.28) g,养殖在 1 m³ 的玻璃钢桶中。水温控制方法:在试验桶中放置用 1.5 m 铝合金管(Φ2.5 cm)弯成螺旋形的导热管,连接到相同温度配水池(容积 20 m³)中,用 750 W 的水泵抽水循环,保证水温的基本稳定。当配水池中水温低于自然水温的利用 500 W 自动控温加热棒调节水温;高于自然水温的,用冰块降温,控制试验组温差±0.5℃。试验从 2013 年 3 月 10 日开始,实验期间采用自然光照周期,黑布遮光,每天 9:00 和 16:00 各饱食投喂 1 次,每次投喂之前收集残饵并称量,用电子天平(精度 0.1 mg)称量;每天记录龙虾的摄食率、死亡数和脱壳数量,每 15 d 测量体长和体重,实验周期为 90 d。

2.3.2 生长指标计算公式

$$\text{存活率 (Survival rate) SR}(\%) = N_2/N_1 \times 100$$

$$\text{体长增长率 (Length gain rate) LGR}(\%) = (L_2 - L_1) / L_1 \times 100$$

$$\text{体重增长率 (Weight gain rate) WGR}(\%) = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100$$

$$\text{脱壳周期 (Intermolt period) IMP}(\text{d}) = \sum t / \sum Nm$$

$$\text{日摄食率 (Feeding rate) FR}(\%) = [(\text{日投饵量} - \text{日残饵量}) / \text{龙虾体重}] \times 100$$

$$\text{饵料系数 (Feed conversion ratio) FCR}(\%) = \text{投饵量} / \text{净增重量} \times 100$$

$$\text{特定生长率 (Specific growth rate) SGR}(\%) = [(\ln W_2 - \ln W_1) / T] \times 100$$

式中, T 为试验虾存活时间; Nm 为蜕壳数量; N_1 为实验开始时龙虾的个体数; N_2 为实验结束时龙虾的个体数; t 为实验天数; L 龙虾体长; L_1 为实验开始时龙虾的体长; L_2 为实验结束时龙虾的体长; W 为龙虾湿重; W_1 为实验开始时龙虾的湿重; W_2 为实验结束时龙虾的湿重。

采用电子天平(0.1g)称其体质量、饵料重量;用游标卡尺测量其体长,取两触角凹陷处至尾扇后缘的直线长度作为龙虾的体长。

2.4 数据处理及统计

数据整理使用 Excel 2007 软件进行;实验结果用统计软件 SPSS 17.0 进行单因素方差分析,各处理平均数之间用 Duncan 方法进行多重比较,设 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

3 结果与分析

3.1 温度骤变对波纹龙虾存活和摄食的影响

3.1.1 温度骤变对波纹龙虾存活的影响

如表 1 所示,当水温从 30℃ 骤降至 15℃ 和骤升至 35℃ 时,波纹龙虾第一天就出现死亡,并且都在 3 天之内死亡 100%;从 30℃ 骤降至 20℃、30℃ 组的波纹龙虾,在 7 d 的试验阶段都 100% 存活。

表 1 温度骤变对波纹龙虾存活的影响

Table 1 The effect of acute temperature change on survival rate of *P. homarus*

温度 Temperature group/℃	存活率 Survival rate/%							最终存活率 Final survival rate/%
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	
15	83.33±28.87	50.00±28.87	16.67±5.56	0	0	0	0	0 ^b
20	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00 ^a
25	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00 ^a
30	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00	100±0.00 ^a
35	83.33±28.87	66.67±28.87	16.67±5.56	0	0	0	0	0 ^b

每列数字后字母不同,表示差异显著($P < 0.05$);字母相同表示差异不显著

3.1.2 温度骤变对波纹龙虾摄食的影响

温度骤变对波纹龙虾摄食的影响结果如表 2 所示,从 30℃ 骤降至 15℃ 和骤升至 35℃ 时,波纹龙虾不摄食;对照组(30℃)和从 30℃ 骤降至 20℃、25℃ 组的波纹龙虾,试验的第一天都不摄食,25℃ 和 30℃ 第 2 天开始摄食,20℃ 组的第 3 天开始摄食,第 4 天之后 3 组的日摄食率稳定。波纹龙虾在各温度组之间平均每尾每天的摄食率有显著差异($P<0.05$);在 25℃ 时达到最大值,20℃ 为最小值,并且与其它温度骤变试验组的波纹龙虾的摄食率相比是明显变少,低于其正常摄食水平。

表 2 温度骤变对波纹龙虾摄食的影响

Table 2 The effect of acute temperature change on food intake of *P. homarus*

温度/℃ Temperature group	每尾日摄食率 Feeding rate of every lobster/%							平均日摄食率/% Average daily feeding rate
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	
15	0	0	0	0	0	0	0	0.0 c
20	0	0	1.07±0.28	0.80±0.16	0.98±0.23	0.74±0.21	0.96±0.31	0.65±0.38 b
25	0	2.36±0.33	2.21±0.82	2.60±0.23	2.32±0.68	2.17±0.22	2.48±0.22	2.02±0.68 a
30	0	2.45±0.82	2.32±0.65	2.58±0.31	2.39±0.25	2.52±0.27	2.46±0.23	2.10±0.56 a
35	0	0	0	0	0	0	0	0 c

每列数字后字母不同,表示差异显著($P<0.05$);字母相同表示差异不显著

3.2 温度渐变对波纹龙虾存活和摄食的影响

温度渐变对波纹龙虾摄食的影响如图 1 所示,在温度 26—30℃ 时,波纹龙虾的日摄食率维持稳定,没有显著差异($P>0.05$)。从 26℃ 开始,波纹龙虾的摄食率随着温度降低而降低的。在 21℃ 时,摄食明显减少;当温度降低到 15℃ 时,开始出现不摄食的情况,但未出现死亡,直至温度下降到 13℃ 时,波纹龙虾开始出现死亡。从 31℃ 开始,波纹龙虾的摄食率随着温度升高而降低,在 32℃ 时,摄食明显减少;34℃ 时,摄食极少;当温度升高到 35℃ 时,波纹龙虾停止摄食,并出现死亡。

3.3 温度对波纹龙虾生长的影响

3.3.1 温度对波纹龙虾体重增长的影响

不同养殖水温条件下,波纹龙虾体长和体重增长情况如表 3、图 2 和图 3 所示,均随着时间的增加而增加。不同水温下,波纹龙虾的体长增加趋势基本一致;体重增长情况略有差别,28℃ 组的体重增长明显比其它各组的要快;其次是 25℃ 和 31℃ 组;增长趋势最低的为 22℃ 组。

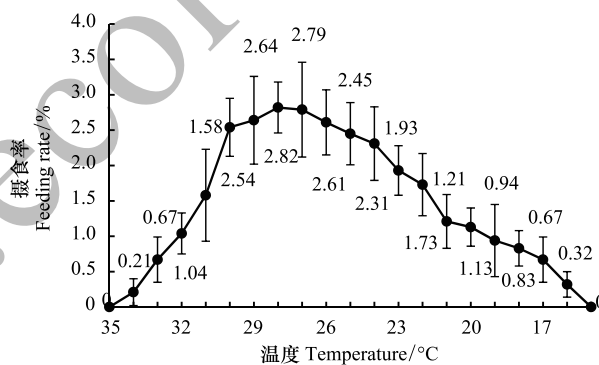


图 1 温度渐变对波纹龙虾摄食的影响

Fig.1 The effect of gradual temperature change on food intake of *P. homarus*

表 3 温度对波纹龙虾生长的影响

Table 3 The effect of temperature on growth of *P. homarus*

温度/℃ Temperature	初始体长/cm Initial length	初始体重/g Initial weight	终末体长/cm Final length	终末体重/g Final weight
22	4.45±0.52 a	4.20±1.05 a	9.89±0.85 b	30.18±5.14 c
25	4.69±0.59 a	4.43±1.36 a	10.31±0.83 a	38.51±6.86 b
28	4.77±0.53 a	4.40±1.21 a	10.60±0.86 a	42.06±7.41 a
31	4.70±0.51 a	4.24±1.25 a	10.24±0.93 a	37.37±9.68 b
32	4.9±0.61 a	4.77±1.39 a	/	/

字母不同,表示差异显著($P<0.05$);字母相同表示差异不显著

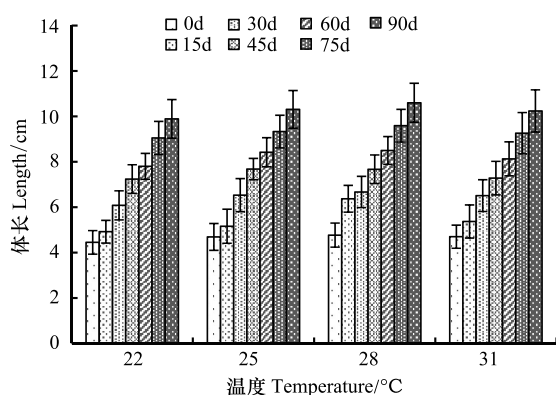


图2 不同温度条件下波纹龙虾体长增长

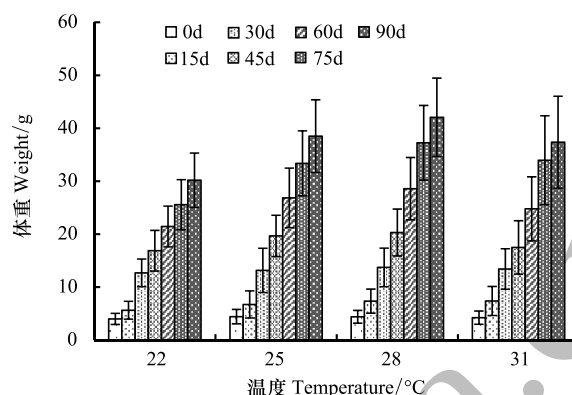
Fig.2 Growth rates of *P. homarus* in body length at different temperatures

图3 不同温度条件下波纹龙虾体重增长

Fig.3 Growth rates of *P. homarus* in body weight at different temperatures

3.3.2 温度对波纹龙虾存活和饵料系数的影响

从饵料系数上看(表4), 22、25、31℃ 3个试验组波纹龙虾之间的饵料系数没有显著差异($P>0.05$),最高的是31℃组,值为 $(6.43\pm 0.28)\%$;28℃组的波纹龙虾饵料系数最低,为 $(5.75\pm 0.70)\%$,并与其它各组有显著性差异($P<0.05$)。

养殖90天的波纹龙虾存活率,各个温度组之间的差异性显著($P<0.05$),28℃组的最高为 $(93.33\pm 4.71)\%$,其次是25℃组,为 $(86.67\pm 1.92)\%$;最低的为34℃组,15 d左右全部死亡。

表4 温度对波纹龙虾存活率和饵料系数的影响

Table 4 The effect of temperature on survival rate and feed conversion ratio of *P. homarus*

温度 Temperature	22℃	25℃	28℃	31℃	34℃
存活率 Survival rate/%	80.0 ± 4.71 c	86.67 ± 1.92 b	93.33 ± 4.71 a	77.50 ± 1.77 c	0 d
饵料系数 Feed conversion ratio/%	6.28 ± 0.62 a	6.11 ± 0.78 ab	5.75 ± 0.70 b	6.43 ± 0.28 a	/

字母不同,表示差异显著($P<0.05$);字母相同表示差异不显著

3.3.3 温度对波纹龙虾蜕壳周期的影响

波纹龙虾随着生长,蜕壳周期逐渐变长,如在28℃水温条件下,第1个月的蜕壳周期是15.11 d,第3个月18.61 d(表5),其他试验组的情况类似。在22—31℃内,在第1个月时,随着温度的升高,波纹龙虾的蜕壳周期逐渐缩短,22℃最长, (15.97 ± 0.73) d;31℃的蜕壳周期短, (11.73 ± 1.97) d;两者相差4 d。31℃组波纹龙虾的蜕壳周期与其它组的均有显著差异($P<0.05$),22—28℃各组波纹龙虾的蜕壳周期没有显著性差异($P>0.05$)。第2、3个月各组龙虾的蜕壳趋势与第1个月基本一致,但各组之间没有显著性差异($P>0.05$);90 d的试验周期内,不同温度下,波纹龙虾平均蜕壳周期的变化趋势是随着温度的升高而下降,但各组之间差异不显著($P>0.05$)。

表5 不同温度下每月波纹龙虾的蜕壳周期/d

Table 5 Intermolt period monthly of *P. homarus* at different temperatures

温度/℃ Temperature group	第1个月 First month	第2个月 Second month	第3个月 Third month	平均蜕壳周期 AVE IMP
22	15.97 ± 0.73 a	20.12 ± 2.19 a	21.93 ± 3.44 a	18.8 ± 1.2 a
25	15.30 ± 1.09 a	17.68 ± 1.05 a	18.54 ± 1.29 a	17.1 ± 1.1 a
28	15.11 ± 0.42 a	17.09 ± 2.10 a	18.61 ± 1.25 a	17.0 ± 1.3 a
31	11.73 ± 1.97 b	18.33 ± 2.36 a	20.38 ± 0.54 a	16.7 ± 1.3 a

字母不同,表示差异显著($P<0.05$);字母相同表示差异不显著

3.3.4 蜕壳龙虾的体重增长率

如图 4, 在 22—31℃ 时, 在 90 d 的试验时间内, 随着温度的升高, 波纹龙虾每蜕壳一次体重的增重率大体呈先上升后下降的趋势, 在 28℃ 时出现拐点。第 1 个月, 各组的波纹龙虾的蜕壳增重率均比较高, 达 80% 以上。最低的是 22℃ 组的, 为 $(81.54 \pm 6.78)\%$, 与 25、28℃ 组的蜕壳增重率有显著性差异 ($P < 0.05$), 与 31℃ 组的差异不显著 ($P > 0.05$); 蜕壳增重率最高是 28℃ 组, 达 $(101.76 \pm 6.28)\%$, 与 22℃、31℃ 组的蜕壳增重率有显著差异 ($P < 0.05$)。第 2 个月, 蜕壳增重率稍低, 但各温度组仍达到 50% 以上, 且差异不显著 ($P > 0.05$)。第 3 个月时, 各温度组的波纹龙虾蜕壳增重率随着温度的升高而升高, 值为 30% 左右, 各组的差异性不显著 ($P > 0.05$)。

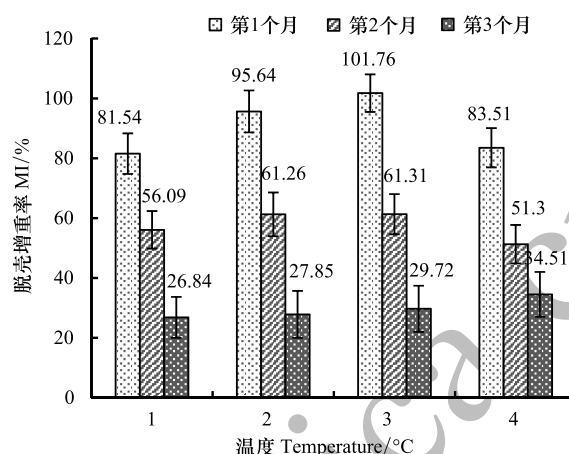


图 4 不同温度下每月波纹龙虾的蜕壳增重率

Fig. 4 Weight gain rate of molting of *P. homarus* monthly at different temperature

4 讨论

4.1 温度骤变和渐变对波纹龙虾存活和摄食的影响

温度骤变的试验结果表明, 温度高于 30℃ 或者低于 20℃, 波纹龙虾的存活率和摄食率都明显下降; 在 20—30℃ 范围内, 对波纹龙虾的存活没有影响; 温度渐变的试验结果表明, 波纹龙虾致死低温和高温分别为 13℃ 和 35℃, 属典型热带和亚热带种类。与真龙虾、螯龙虾、岩龙虾属等冷水性虾类的差别十分明显, 如美洲螯龙虾可在 0—24℃ 水温下存活, 水温超过 25℃ 可引起死亡; 路易斯安娜州螯龙虾 (*Jasus lalandii*) 的最适合水温为 18℃^[11]。

这两个试验结果表明, 波纹龙虾的最低和最高存活温度分别为 13℃ 和 35℃, 适宜温度为 20—30℃。与红星梭子蟹^[15]、中华虎头蟹^[16] 生长的适宜温度一致; 比凡纳滨对虾^[17] 的适宜温度 18—35℃ 稍窄; 与中国龙虾^[18] 活动较活跃, 摄食正常的温度范围 (18—32℃) 相类似。

4.2 温度对波纹龙虾蜕壳和生长的影响

通常认为, 龙虾呈现阶梯状的生长形式是通过蜕壳来实现, 每蜕壳一次, 体质量会随着其甲壳的长度和宽度增加而增加^[19-23]。如当温度在 20—36℃ 时, 岩龙虾、长足龙虾的蜕壳周期和蜕壳增重率都随着温度的升高而缩短^[24], 本试验中的波纹龙虾也得出了相同的结论。Smale 等^[25] 研究表明, 当水温超过 30℃ 时, 虽然龙虾的蜕壳频率增大, 但蜕壳增重率却减少, 与本试验中 31℃ 高温组波纹龙虾的结果相似, 与断沟龙虾 (*Panulirus interruptus*) 的结果一致^[26]。这可能是因为 31℃ 已超过波纹龙虾最适生长温度, 龙虾的饵料同化效率无法跟上因温度升高所致的基础代谢率的增大速度, 导致用于生长的能量减少; 另一方面, 过高的水温也可能影响了调节波纹龙虾的正常生理机能的内在系统, 导致其正常生长受到抑制, 生长速度降低, 死亡率升高。从波纹龙虾蜕壳增重率可看出, 龙虾的体质量越小, 其每次蜕壳增重率会越大, 有时甚至超过 100%。

Kemp 等^[27] 对分布在西南印度洋波纹龙虾的一个亚种 (*Panulirus homarus rubellus*) 研究表明: 波纹龙虾 (*P. h. rubellus*) 的特定生长率在 24—28℃ 达到最大值 0.26%, 与本试验结果 2.51% 相比相差约 10 倍。除了是不同亚种之外, 这可能是因为试验龙虾规格不一致导致的, 本试验的规格为 (3.31 ± 1.28) g, 比其 (65.34 ± 4.00) g 要小得多。

波纹龙虾的饵料系数随着温度的增加呈先下降后上升的趋势, 在 28℃ 左右达到最小值。这趋势与中国龙虾^[28]、断沟龙虾^[29] 相类似; 而 Lellis^[30] 等人研究的波纹龙虾在 24℃ 达到最大特定生长率; 岩龙虾^[11,31] 在 18℃ 为最适生长温度; 长足龙虾^[32] 是 26℃, 这些都与本实验结果有所不同。这可能是因为不同水域的水温不

同而导致的物种间的差异。

综合存活率、体重增加量、特定生长率、饵料系数这些生长指标,说明的了波纹龙虾的最适生长和摄食温度为 28℃,与锦绣龙虾^[33](27℃)、中国龙虾^[28](27℃)、断沟龙虾^[39](28℃)、眼斑龙虾^[30](29—30℃)等接近。

参考文献 (References):

- [1] 梁华芳,廖永岩,朱春华. 虾蟹类生物学. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [2] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布. 北京: 海洋出版社, 2008.
- [3] Chubb C F. Reproductive biology: issues for management // Phillips B F, Kittaka J, eds. Spiny Lobsters: Fisheries and Culture. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science, 2000: 276-301.
- [4] Melville-Smith R, Phillips B F, Penn J. Recreational spiny lobster fisheries—research and management // Phillips B F, Kittaka J, Eds. Spiny Lobsters: Fisheries and Culture. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science, 2000: 447-461.
- [5] Jeffs A, Davis M. An assessment of the aquaculture potential of the Caribbean spiny lobster, *Panulirus argus*. Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 2003, 54: 413-426.
- [6] Phillips B F, Palmer M J, Cruz R, Trendall J T. Estimating growth of the spiny lobsters *Panulirus Cygnus*, *P. argus* and *P. ornatus*. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 1992, 43(5): 1177-1188.
- [7] Phillips B F, Campbell N A, Rea W A. Laboratory growth of early juveniles of the western rock lobster *Panulirus longipes cygnus*. Marine Biology, 1976, 39(1): 31-39.
- [8] Rao G S, George R M, Anil M K, Saleela K N, Jasmine S, Kingsly H J, Rao H. Cage culture of the spiny lobster *Panulirus homarus* (Linnaeus) at Vizhinjam, Trivandrum along the south-west coast of India. Indian Journal of Fisheries, 2010, 57(1): 23-29.
- [9] 沈铭辉, 范薇. 波纹龙虾工厂化养殖技术. 中国水产, 2008, (5): 52-52, 59-59.
- [10] Jones C M. Tropical rock lobster aquaculture development in Vietnam, Indonesia and Australia. Journal of the Marine Biological Association of India, 2010, 52(2): 304-315.
- [11] Dubber G G, Branch G M, Atkinson L J. The effects of temperature and diet on the survival, growth and food uptake of aquarium-held postpueruli of the rock lobster *Jasus lalandii*. Aquaculture, 2004, 240(1/4): 249-266.
- [12] Vijayakumaran M, Venkatesan R, Murugan T S, Kumar T S, Jha D K, Remany M C, Thilakam J M L, Jahan S S, Dharani G, Kathirolu S, Selvan K. Farming of spiny lobsters in sea cages in India. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 2009, 43(2): 623-634.
- [13] Johnston D, Melville-Smith R, Hendriks B, Maguire G B, Phillips B. Stocking density and shelter type for the optimal growth and survival of western rock lobster *Panulirus cygnus* (George). Aquaculture, 2006, 260(1/4): 114-127.
- [14] 游克仁. 海水龙虾人工养成技术. 特种经济植物, 2004, (2): 16-17.
- [15] 廖永岩, 许振煜, 吴邦臣. 盐度和温度对红星梭子蟹存活和摄饵的影响. 生态学报, 2010, 30(13): 3396-3405.
- [16] 廖永岩, 吴蕾, 蔡凯, 潘传豪. 盐度和温度对中华虎头蟹 (*Orithyia sinica*) 存活和摄饵的影响. 生态学报, 2007, 27(2): 627-639.
- [17] 陈昌生, 黄标, 叶兆弘, 纪德华, 王淑红, 郭英, 陈政强, 贾锡伟. 南美白对虾摄食、生长及存活与温度的关系. 集美大学学报: 自然科学版, 2001, 6(4): 296-300.
- [18] 陈政强, 陈昌生, 单剑宇. 中国龙虾的生物学特性. 中国水产, 2001, 302(1): 57-59.
- [19] Berry P F. The Biology of the Spiny Lobster *Panulirus homarus* (Linnaeus) off the East Coast of Southern Africa. Durban, South Africa: Oceanographic Research Institute, 1971.
- [20] 洪世雄. 龙虾人工养殖简介. 中国水产, 1993, (7): 33-33.
- [21] 赵新生. 龙虾生物学特性及其养殖技术. 中国水产, 2006, (5): 26-28.
- [22] Mashai N, Rajabipour F, Shakouri A. Feeding habits of the scalloped spiny lobster, *Panulirus homarus* (Linnaeus, 1758) (Decapoda: Palinuridae) from the south east coast of Iran. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2011, 11(1): 45-54.
- [23] 林汝榕. 名优海产品——龙虾的养殖. 海洋与海岸带开发, 1989, (2): 68-69, 65-65.
- [24] Jayakumar V L, Ramanathan N, Jeyaseelan M J P, Athithan S. Growth performance of spiny lobster *Panulirus homarus* (Linnaeus) administered with formulated pellet feeds. Indian Journal of Fisheries, 2011, 58(3): 95-101
- [25] Smale M J. Migration, Growth and Feeding in the Natal Rock Lobster *Panulirus homarus* (Linnaeus). Durban, South Africa: Oceanographic Research Institute, 1978.
- [26] Serfling S, Ford R. Ecological studies of pureulus larval stage of california spiny, *Panulirus interruptus*. Fishery Bulletin, 1975, 73: 360-377.

- [27] Kemp J O G, Britz P J. The effect of temperature on the growth, survival and food consumption of the east coast rock lobster *Panulirus homarus rubellus*. *Aquaculture*, 2008, 280(1/4): 227-231.
- [28] 陈政强, 陈昌生, 黄永春, 黄志灵. 中国龙虾生长特点及促生长途径的探讨. *海洋科学*, 2006, 30(12): 25-31.
- [29] Serfling S A, Ford R F. Laboratory culture of juvenile stages of the California spiny lobster *Panulirus interruptus* (Randall) at elevated temperatures. *Aquaculture*, 1975, 6(4): 377-387.
- [30] Lellis W A, Russell J A. Effect of temperature on survival, growth and feed intake of postlarval spiny lobsters, *Panulirus argus*. *Aquaculture*, 1990, 90(1): 1-9.
- [31] Crear B J, Thomas C W, Hart P R, Carter C G. Growth of juvenile southern rock lobsters, *Jasus edwardsii*, is influenced by diet and temperature, whilst survival is influenced by diet and tank environment. *Aquaculture*, 2000, 190(1/2): 169-182.
- [32] Chittleborough R G. Environmental factors affecting growth and survival of juvenile western rock lobsters *Panulirus longipes* (Milne-Edwards). *Marine and Freshwater Research*, 1975, 26(2): 177-196.
- [33] Jones C M. Temperature and salinity tolerances of the tropical spiny lobster, *Panulirus ornatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2009, 40(6): 744-752.