

## 锦绣龙虾幼虾耗氧率和窒息点研究

罗嘉俊, 梁华芳\*, 卓宏标, 温崇庆 (广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524088)

**摘要** [目的]研究锦绣龙虾(*Panulirus ornatus*)幼虾不同环境条件下的耗氧率和最适温度、盐度、pH范围内的窒息点。[方法]采用封闭静水式试验方法,设置温度20、23、26、29、32℃,盐度15‰、20‰、25‰、30‰、35‰,pH 6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0,研究体质量(2.5~5.5)g的锦绣龙虾幼虾在不同温度、盐度、pH条件下的耗氧率和在最适温度、盐度、pH范围内的窒息点。[结果]锦绣龙虾幼虾耗氧率与温度呈正相关,温度越高,耗氧率越大,20℃时耗氧率为0.57 mg/(g·h),而32℃时耗氧率升至1.12 mg/(g·h)。锦绣龙虾幼虾耗氧率与盐度的关系呈“U”字型,在盐度25‰和30‰时,耗氧率较低,分别是0.40和0.37 mg/(g·h)。pH由6.0升至8.0时,耗氧率从2.82 mg/(g·h)降至0.76 mg/(g·h);在pH 8.0~8.5,耗氧率较低。在温度28℃、盐度30‰、pH 8.15的条件下,锦绣龙虾幼虾的窒息点为0.45 mg/L。[结论]根据研究结果推测,锦绣龙虾幼虾的最适温度在26~29℃,最适盐度在25‰~30‰,最适pH在8.0~8.5。

**关键词** 锦绣龙虾幼虾;温度;盐度;pH;耗氧率;窒息点

中图分类号 S917.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)17-0112-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.028

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Study on the Oxygen Consumption Rate and Suffocation Threshold of Juvenile *Panulirus ornatus*

LUO Jia-jun, LIANG Hua-fang, ZHUO Hong-biao et al (Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhangjiang, Guangdong 524088)

**Abstract** [Objective] In order to study the oxygen consumption rate and suffocation threshold (optimal temperature, salinity and pH) of *Panulirus ornatus* under different environmental conditions. [Method] The closed hydrostatic experiment method was used to study the oxygen consumption rate of juvenile *P. ornatus* with body mass of (2.5-5.5) g under different temperature, salinity and pH conditions, with temperature of 20, 23, 26, 29 and 32 °C, salinity of 15‰, 20‰, 25‰, 30‰ and 35‰, and pH of 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 and 9.0, and the suffocation threshold in the range of optimum temperature, salinity, and pH. [Result] There was a positive correlation between the oxygen consumption rate of juvenile *P. ornatus* and temperatures. The oxygen consumption rate increased as the temperature increased. At 20 °C, the oxygen consumption rate was 0.57 mg/(g·h), while at 32 °C, the oxygen consumption rate increased to 1.12 mg/(g·h). The relationship between the oxygen consumption rate of juvenile *P. ornatus* and salinity presented a u-shaped model. The oxygen consumption rate was lower at salinity 25‰ and 30‰ than other salinity, which was 0.40 and 0.37 mg/(g·h), respectively. When pH increased from 6.0 to 8.0, the oxygen consumption rate decreased from 2.82 mg/(g·h) to 0.76 mg/(g·h). The oxygen consumption rate was lower and more stable than other pH value when the pH in the range of 8.0-8.5. The suffocation threshold of juvenile *P. ornatus* was 0.45 mg/L under the condition of 28.0 °C, the salinity 30‰, the pH 8.15. [Conclusion] Based on the results of the study, the optimal temperature range, the optimal salinity range and the optimal pH were 26-29 °C, 25‰-30‰ and 8.0-8.5, respectively.

**Key words** Juvenile of *Panulirus ornatus*; Temperature; Salinity; pH; Oxygen consumption rate; Suffocation threshold

锦绣龙虾(*Panulirus ornatus*)隶属于十足目(Decapoda)、腹胚亚目(Pleocyemata)、龙虾科(Palinuroidea)、龙虾属(*Panulirus*),是龙虾属中较为珍贵的一种,其个体颜色绚烂,观赏价值高,又俗称“花龙”,有很高的商业价值和市场需求。锦绣龙虾环境耐受性较强<sup>[1-3]</sup>。个体生长速度比黄斑龙虾(*P. polyphagus*)、中国龙虾(*P. stimpsoni*)、杂色龙虾(*P. versicolor*)和波纹龙虾(*P. homarus*)快,最大个体可达6 kg<sup>[4]</sup>,已成为我国南海龙虾主养物种之一<sup>[5-6]</sup>。

据报道,越南是世界上锦绣龙虾的最大养殖国,其养殖来源基于野生的种苗<sup>[7-8]</sup>。我国锦绣龙虾养殖规模较小,主要在浙江以南的沿海地区,以海南岛最多。但近年来养殖成活率逐年降低,除病害外,温度、盐度和pH的变化也是导致养殖成活率下降的原因之一。

目前,有关锦绣龙虾的养殖生物学和生理研究较少<sup>[9]</sup>。最基本的幼龙虾的耗氧率和窒息点鲜见报道,了解虾类的耗氧率能直接或间接地反映其代谢规律、特点以及生理、生存状况。窒息点的高低反映虾类耐氧能力的强弱,对养殖生产

有指导意义<sup>[10]</sup>。该研究探讨了温度、盐度和pH等环境因子对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响,及最适温度、盐度、pH范围内的窒息点,为其人工养殖和运输条件优化提供参考。

#### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 试验用的锦绣龙虾幼虾捕自我国海南省琼海市南海海区,于广东省湛江市麻章区东海岛广东海洋大学海洋生物研究基地暂养,暂养一段时间后从该批龙虾中选取健康、活力好的幼虾进行试验,其体质量为(2.5~5.5)g。

#### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验设计。**试验用水取自自然海区,水体盐度30‰、pH 8.15,经过砂滤、沉淀和300目过滤袋过滤后使用。试验温度设置5个梯度(20、23、26、29、32℃),用控温棒增温和冰块降温方法调节,温度变化±0.5℃。盐度设置5个梯度(15‰、20‰、25‰、30‰、35‰),用海水晶和经曝气的淡水调节。pH设置7个梯度(6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5、9.0),用HCl和NaOH进行调节。

**1.2.2 耗氧率测定。**采用封闭静水式试验方法测定锦绣龙虾幼虾的耗氧率,以龙虾运输用的尼龙布袋作为呼吸室,可防止龙虾抓破。试验开始前,幼虾禁食1d后,使其排尽体内粪便。擦干体表水分,用电子天平称量体质量(精确到0.01g),转移至注有20L试验所需条件(温度、盐度、pH)海

**基金项目** 广东省科技厅项目(2013B020308009)。

**作者简介** 罗嘉俊(1995—),男,广东佛山人,硕士研究生,研究方向:水产经济动物种子工程与增养殖。\*通信作者,教授,博士,硕士生导师,从事甲壳动物生物学及养殖技术研究。

**收稿日期** 2020-02-18

水的尼龙布袋中。每个尼龙布袋放置 3 尾锦绣龙虾幼虾,密封袋口,待龙虾呼吸稳定后用 YSI ProODO 型溶解氧测量仪(深圳市德优平科技有限公司)测量水中溶氧。1 h 后再测量并记录终末溶氧量。每个梯度设 3 个重复试验和 1 个空白对照组(无锦绣龙虾幼虾,用于校正水呼吸)。

**1.2.3 窒息点测定。**试验开始前,幼虾禁食 1 d 后,使其排尽体内粪便。将盐度 30‰、pH 8.15 自然海区海水注满 600 mL 无色透明广口瓶,放置于 28 °C 恒温水浴锅,放入 3 尾锦绣龙虾幼虾。将 YSI ProODO 型溶解氧测量仪探头放入水中,用液体石蜡封口。待幼虾眼睛开始发白,用溶氧仪探头多次触碰幼虾而其未作出屈腹弹跳、引体向后等具有生命迹象的行为时,即可判定为死亡。当半数幼虾死亡时,溶氧仪所显示的数值为窒息点。

### 1.3 数据收集及处理 锦绣龙虾幼虾的耗氧率:

$$\text{耗氧率}[\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{h})]=[(O_{T1}-O_{T2})-(O_{C1}-O_{C2})]\times V/(W\times T)$$

式中, $O_{T1}$  和  $O_{T2}$  是试验组试验前和试验后的溶解氧含量(mg/L), $O_{C1}$  和  $O_{C2}$  是空白对照组试验前和试验后的溶解氧含量(mg/L), $V$  为呼吸袋中海水的体积(L), $W$  为锦绣龙虾幼虾的体质量(g), $T$  为试验持续时间(h)。

将试验所测的温度、盐度、pH、体质量、溶解氧等数据输入 Excel 软件,经过软件操作和数据处理后,即可得到相应关系趋势图,并且用 SPSS 18.0 统计软件进行方差分析(ANOVA), $P<0.05$  作为差异显著水平。

## 2 结果与分析

**2.1 温度对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响** 锦绣龙虾幼虾在盐度 30‰、pH 8.15、不同温度条件下耗氧率如图 1 所示。幼虾的耗氧率与温度呈正相关的关系。耗氧率随温度的升高而升高。从最低温度 20 °C 至最高温度 32 °C,耗氧率从 0.57 mg/(g·h) 升至 1.12 mg/(g·h);温度 29~32 °C,耗氧率增加了 0.23 mg/(g·h),是 4 个温度范围中增幅最大的。温度 26~29 °C,耗氧率增加了 0.06 mg/(g·h),是 4 个温度范围中增幅最小的。方差分析结果表明,温度对锦绣龙虾幼虾的耗氧率有显著影响( $P<0.05$ )。

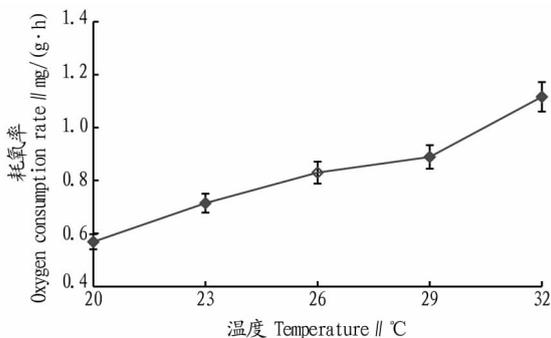


图 1 温度对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响

Fig. 1 The effect of temperature on oxygen consumption rate of juvenile *P. ornatus*

**2.2 盐度对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响** 在 pH 8.15、温度 27 °C、不同盐度条件下锦绣龙虾幼虾耗氧率如图 2 所示。盐度 15‰~30‰,随盐度升高,幼虾耗氧率持续下降;盐度

30‰~35‰,随盐度升高,幼虾耗氧率不断上升,整体趋势呈“U”字型。盐度 30‰时,耗氧率达最低值 0.37 mg/(g·h),与盐度 25‰差值较小,为 0.03 mg/(g·h)。盐度 15‰~20‰、30‰~35‰耗氧率变化较大,分别从 0.82 mg/(g·h) 降至 0.47 mg/(g·h)、从 0.37 mg/(g·h) 升至 0.55 mg/(g·h)。耗氧率在盐度 20‰~30‰的变化较小。方差分析结果表明,盐度对锦绣龙虾幼虾耗氧率有显著影响( $P<0.05$ )。

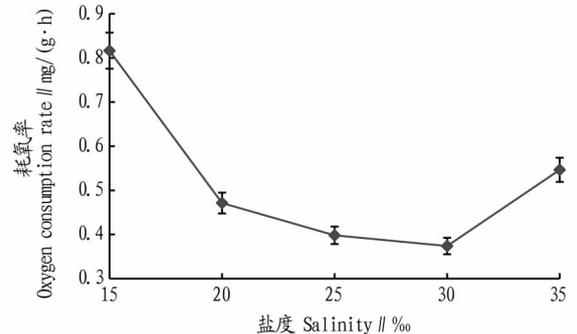


图 2 盐度对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响

Fig. 2 The effect of salinity on oxygen consumption rate of juvenile *P. ornatus*

**2.3 pH 对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响** 在温度 27 °C、盐度 30‰、不同 pH 条件下锦绣龙虾幼虾耗氧率见图 3。幼虾耗氧率受水体 pH 变化影响较大;pH 6.0~8.0,呈明显下降趋势;pH 8.0~9.0 有小幅上升。耗氧率在 pH 8.0 和 8.5 达最低值,均为 0.76 mg/(g·h)。通过方差分析及 Duncan 法多重比较表明,pH 6.0~7.5 锦绣龙虾幼虾耗氧率有显著影响( $P<0.05$ ),而 pH 8.0~9.0 的耗氧率差异不明显( $P>0.05$ )。

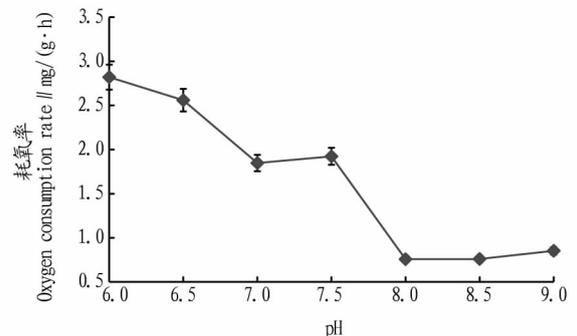


图 3 pH 对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响

Fig. 3 The effect of pH on oxygen consumption rate of juvenile *P. ornatus*

**2.4 锦绣龙虾幼虾窒息点** 经测定,在温度 28 °C、盐度 30‰、pH 8.15 的环境条件下,锦绣龙虾幼虾的窒息点为 0.45 mg/L。

## 3 讨论与结论

**3.1 温度对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响** 研究发现,温度是影响龙虾呼吸代谢重要的生态因子<sup>[11]</sup>。在一定温度范围内,随着温度的逐渐升高,龙虾机体内各种各样的组织酶的活性也会逐渐增强,加快了龙虾机体新陈代谢的速率,从而使龙虾的代谢率有所升高,耗氧率也随之升高<sup>[12]</sup>。当温度低于龙虾生长所能承受的最适范围,就会抑制龙虾机体内有

关组织的酶活性,使其生理生活指数有所降低,从而表现出能量代谢率的不断降低,即耗氧率和排氨率的不断降低<sup>[13]</sup>。锦绣龙虾幼虾的耗氧率受温度的影响与此规律相同,与脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)<sup>[14]</sup>、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)<sup>[15]</sup>、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)<sup>[16]</sup>和克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)<sup>[17]</sup>等研究结果相一致。

该试验中,在 pH 8.15、盐度 30‰ 时,锦绣龙虾幼虾的耗氧率在温度 26~29℃ 升幅仅有 0.06 mg/(g·h),与其他温度范围相比升幅最小。波纹龙虾适宜生长温度为 25~31℃,其中在 27~29℃ 的升幅最小,为 0.165 mg/(g·h)<sup>[18]</sup>,与该试验结果一致。中国龙虾适宜生长温度为 27~29℃<sup>[19]</sup>,与该试验结果一致,说明锦绣龙虾幼虾在温度 26~29℃ 的新陈代谢较为稳定,耗能最低,对于生长发育较为适宜<sup>[20]</sup>,初步推测锦绣龙虾幼虾的适宜生长温度为 26~29℃。温度 29~32℃,耗氧率的升幅最大,升高了 0.23 mg/(g·h)。在 20~23、23~26℃ 时,分别升高了 0.14、0.12 mg/(g·h),说明锦绣龙虾幼虾的高温耐受能力比低温耐受能力弱。

**3.2 盐度对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响** 研究表明,在不同的盐度环境条件下,虾蟹类动物可以通过调节自身代谢以适应该环境,如印度明对虾(*Fenneropenaeus indicus*)<sup>[21]</sup>和小长臂虾(*Palaemonetes antennarius*)<sup>[22]</sup>。而保持生物体内渗透压平衡的主要离子是 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup>。甲壳动物鳃内薄层隔膜细胞内陷膜上的 Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase (钠钾泵) 可将细胞中的 Na<sup>+</sup> 运转到血淋巴当中,使细胞内的 Na<sup>+</sup> 局部降低,促使生物机体外的 Na<sup>+</sup> 进入体内。这一过程的运转需要 ATP 所释放的能量提供支持,以增加生物体内的代谢水平。因此,当甲壳动物的体液达到等渗点时,无需进行渗透压调节,代谢所需能量最少,耗氧率最低,呈现良好的生长和较高的能量转换效率<sup>[23]</sup>。该试验中,锦绣龙虾幼虾耗氧率在盐度 25‰~30‰ 时处于较低值,并且变化幅度较小,而处于其他盐度范围时耗氧率变化幅度较大,根据盐度对甲壳类动物的影响规律,可以初步推测锦绣龙虾幼虾的最适盐度为 25‰~30‰。

**3.3 pH 对锦绣龙虾幼虾耗氧率的影响** pH 是水生生物养殖环境中非常重要的水化学指标,水生动物对水环境中的 pH 均有一定的适应范围<sup>[24]</sup>。当水体中的 pH 高于或低于某一范围时,都会改变虾蟹的呼吸活动,影响鳃从外界吸取氧的能力,进而影响耗氧率<sup>[25]</sup>。姜宏波等<sup>[26]</sup>研究发现,水环境中 pH 的变化引起了中华小长臂虾(*Palaemonetes sinensis*) 的耗氧率发生了相应的变化。该试验中,pH 8.0~8.5 锦绣龙虾幼虾耗氧率低,变化稳定,可以初步推测锦绣龙虾幼虾在 pH 8.0~8.5 较为适应。pH 6.0 时,耗氧率达最大值,为 2.82 mg/(g·h),pH 8.0 和 8.5 时耗氧率达最小值,均为 0.76 mg/(g·h)。当 pH 小于 8.0 时,pH 越低锦绣龙虾幼虾越需要大量的能量调节新陈代谢,导致耗氧率增大。

**3.4 锦绣龙虾幼虾的窒息点** 在盐度 30‰、温度 28℃、pH 8.15 的条件下,体质量 5.35 g 的锦绣龙虾幼虾的窒息点为 0.45 mg/L,比波纹龙虾(0.234 1 mg/L)<sup>[18]</sup>和中国龙虾(0.156 1 mg/L)<sup>[19]</sup>的窒息点都要高,与克氏原螯虾(0.061~

0.738 mg/L)<sup>[17]</sup>和红螯螯虾(0.152~0.663 mg/L)<sup>[27]</sup>的窒息点相近。表明锦绣龙虾的耐低氧能力较中国龙虾和波纹龙虾的差,在养殖和运输过程中注意保持充足的溶解氧。

## 参考文献

- [1] JONES C, SHANKS S. Requirements for the aquaculture of *Panulirus ornatus* in Australia[M]. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2009: 98.
- [2] JONES C M. Temperature and salinity tolerances of the tropical spiny lobster, *Panulirus ornatus*[J]. Journal of the world aquaculture society, 2009, 40(6): 744-752.
- [3] PHILLIPS B, MATSUDA H. A global review of spiny lobster aquaculture [M]//FOTEDAR R K, PHILLIPS B F. Recent advances and new species in aquaculture. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011: 22-84.
- [4] CHENG T R, YOU X P. Identification of the lobsters of Taiwan in live colour[M]. Taiwan: SMC Publishing Inc., 1993: 148-150.
- [5] RADHAKRISHNAN E V, VIJAYAKUMARAN M. An assessment of potential of spiny lobster culture in India[J]. Bulletin of central marine fisheries research institute, 1990, 44(part 2): 416-427.
- [6] MANAMBRAKAT V, RADHAKRISHNAN E V V. Spiny lobster fattening and live transport [C]//SAKTHIVEL M, VIVEKANANDAN E, RAJAGOPALAN M, et al. Proceedings of the workshop, national aquaculture week, chapter. Chennai, India: Aquaculture Foundation of India, 1997: 97-103.
- [7] PETERSEN E H, PHUONG T H. Tropical spiny lobster (*Panulirus ornatus*) farming in Vietnam-bioeconomics and perceived constraints to development[J]. Aquaculture research, 2010, 41(10): 634-642.
- [8] PETERSEN E H, PHUONG T H. Bioeconomic analysis of improved diets for lobster, *Panulirus ornatus*, culture in Vietnam[J]. Journal of the world aquaculture society, 2011, 42(1): 1-11.
- [9] 梁华芳, 何建国. 锦绣龙虾人工繁殖和胚胎发育的研究[J]. 水生生物学报, 2012, 36(2): 236-245.
- [10] 陈志. 温度、盐度和 pH 对双线紫蛤幼贝生长率的联合效应[J]. 渔业研究, 2017, 39(4): 264-271.
- [11] 沈勤, 徐善良, 严小军, 等. 温度对花鲈饥饿代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 500-505.
- [12] 黄东科, 梁华芳, 温崇庆, 等. 温度对波纹龙虾消化酶活性的影响[J]. 渔业现代化, 2017, 44(6): 32-36.
- [13] 王跃斌, 孙忠, 余方平, 等. 温度对黑棘鲷耗氧率与排氨率的影响[J]. 海洋渔业, 2007, 29(4): 375-379.
- [14] 李祥云, 包坚敏, 吴春娥. 脊尾白虾窒息点与耗氧率的试验观察[J]. 海洋渔业, 1992(6): 251-253.
- [15] 陈琴, 陈晓汉, 罗永巨, 等. 南美白对虾耗氧率和窒息点的初步测定[J]. 水利渔业, 2001, 21(2): 14-15.
- [16] 梅文骥, 王春琳, 徐善良, 等. 口虾蛄耗氧量, 耗氧率及窒息点初步研究[J]. 海洋渔业, 1993, 15(6): 250-255.
- [17] 温小波, 庠天梅, 罗静波. 克氏原螯虾耗氧率及窒息点的研究[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(3): 170-174.
- [18] 梁华芳, 赵运添, 黄东科. 波纹龙虾耗氧率和窒息点的研究[J]. 水产养殖, 2012(4): 1-4.
- [19] 梁华芳, 杜国平, 刘顺羽. 中国龙虾耗氧率及窒息点的研究[J]. 水产科学, 2011, 30(10): 635-637.
- [20] 黄东科, 梁华芳, 张志, 等. 温度对波纹龙虾存活、摄食、蜕壳和生长的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(18): 5973-5980.
- [21] KUTTY M N, MURUGAPOOPATHY G, KRISHNAN T S. Influence of salinity and temperature on the oxygen consumption in young juveniles of the Indian prawn *Penaeus indicus*[J]. Marine biology, 1971, 11(2): 125-131.
- [22] DALLA VIA G J. Effects of salinity and temperature on oxygen consumption in a freshwater population of *Palaemonetes antennarius* (Crustacea, decapoda)[J]. Comparative biochemistry and physiology part A: Physiology, 1987, 88(2): 299-305.
- [23] 李庭古. 盐度对克氏原螯虾幼虾耗氧率和排氨率的影响[J]. 水产科学, 2009, 28(11): 698-700.
- [24] 曹善茂, 李校建, 亢玉静, 等. pH、盐度对东方小藤壶耗氧率和排氨率的影响[J]. 河北渔业, 2013(5): 13-17.
- [25] 林小涛, 张秋明, 许忠能, 等. 虾蟹类呼吸代谢研究进展[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 575-580.
- [26] 姜宏波, 包杰, 姜春玖, 等. pH 对中华小长臂虾存活及呼吸代谢的影响[J]. 动物学杂志, 2017, 52(2): 322-330.
- [27] 陈孝煊, 吴志新, 吴青, 等. 澳大利亚红螯螯虾耗氧率和窒息点的研究[J]. 华中农业大学学报, 1996, 15(3): 270-274.