

两种桡足类短期热冲击的高起始致死温度值

曾江宁^{1,2,*}, 江志兵^{2,3}, 陈全震², 廖一波^{2,3}, 高爱根²,
徐晓群², 寿 鹿², 刘晶晶², 赵永强², 郑 平²

(1. 浙江大学环境与资源学院, 浙江 杭州 310029; 2. 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室,
国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012; 3. 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

摘要:于 2007 年 4 月研究了亚热带海域近海种桡足类中华哲水蚤 (*Calanus sinicus* Brodsky) 和真刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta* Giesbrecht) 在不同驯化温度下热冲击 15、30、45 min 后的 24 h 高起始致死温度 (upper incipient lethal temperature, 24-h UILT₅₀)。结果表明: (1) 在相同驯化温度下, 两种桡足类短期热冲击 24-h UILT₅₀ 随暴露时间的延长而降低; (2) 在相同暴露时间下, 两种桡足类短期热冲击 24-h UILT₅₀ 随驯化温度的上升均有不同程度的上升, 但这种升高的趋势会随驯化温度的上升而变缓, 且趋于—固定值后不再上升; (3) 中华哲水蚤在暴露时间为 15、30、45 min 的 24 h 最高起始致死温度 (ultimate upper incipient lethal temperature, 24-h UUILT₅₀) 分别为 31.7、31.0、30.3℃, 真刺唇角水蚤在暴露 15、30、45 min 时的 24-h UUILT₅₀ 分别为 36.5、36.0、35.4℃; (4) 在相同驯化温度和暴露时间条件下, 真刺唇角水蚤对短期热冲击的耐受性显著强于中华哲水蚤。

关键词: 中华哲水蚤; 真刺唇角水蚤; 短期热冲击; 高起始致死温度; 升温; 滨海电厂

文章编号: 1000-0933(2009)01-0532-06 中图分类号: Q142, Q178 文献标识码: A

Upper incipient lethal temperature of short term thermal shock of two species of copepods

ZENG Jiang-Ning^{1,2,*}, JIANG Zhi-Bing^{2,3}, CHEN Quan-Zhen², LIAO Yi-Bo^{2,3}, GAO Ai-Gen², XU Xiao-Qun²,
SHOU Lu², LIU Jing-Jing², ZHAO Yong-Qiang², ZHENG Ping²

1 College of Environmental and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2 Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China

3 Key Laboratory of Marine and Estuarine and Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0532 ~ 0537.

Abstract: During April, 2007, Upper incipient lethal temperature (UILT₅₀) of two coastal copepod species (*Calanus sinicus* Brodsky and *Labidocera euchaeta* Giesbrecht) in a subtropical bay were carried out in laboratory under heat shock for 15 min, 30 min and 45 min at different acclimation temperature. The results showed that: (1) The 24-h UILT₅₀ of two copepod species decreased with increasing exposure duration at the same acclimation temperature; (2) The 24-h UILT₅₀ of two copepod species increased with rising acclimation temperature at the same exposure time, but this increase lessen and tended towards fixed temperature; (3) The Ultimate upper incipient lethal temperature (UUILT₅₀) of *C. sinicus* was 31.7℃, 31.0℃, 30.3℃, under heat exposure for 15 min, 30 min, 45 min, respectively. The UUILT₅₀ of *L. euchaeta* was 36.5℃, 36.0℃, 35.4℃, under heat exposure for 15 min, 30 min, 45 min, respectively; (4) The 24-h UILT₅₀ of *C. sinicus* was significantly lower than the 24-h UILT₅₀ of heat exposure for the same time under same acclimation temperature. Thus, according to these data from experiment suggested that entrainment-induced mortality of marine copepod

基金项目: 国家科技部社会公益研究专项资金项目(2004DIB3J087); 国家海洋局青年科学基金资助(2005106, 2008113); 浙江省自然科学基金资助项目(Y504012); 国家农业部海洋与河口渔业重点开放实验室基金资助项目

致谢: 浙江省海洋水产养殖研究所清江试验场谢起浪、柴雪良、郑金和、李晓勇、张炯明、胡利华等老师在实验过程中给予帮助, 特此感谢!

收稿日期: 2007-08-16; 修订日期: 2008-03-25

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

mostly due to such acute thermal shock varies with the range of temperature increase of the cooling water, the acclimatization temperature or acclimation temperature of the species, the exposure time to stress conditions experienced during passage through condenser conduits and discharge canals, and the thermal tolerances of entrained species to acute temperature shock.

Key Words: *Calanus sinicus*; *Labidocera euchaeta*; short term acute thermal shock; upper incipient lethal temperature; temperature increase; coastal power plant

滨海大型热(核)电厂需要大量海水作为直流冷却水,海水中的浮游生物将不可避免的被卷吸入冷却系统中,受到 5 ~ 45 min 升温幅度可能高达 8 ~ 12℃ 的急性热冲击^[1~4](卷吸效应 entrainment)。一座 1800 ~ 2000 MW 直流冷却电厂的冷却水用量高达 60 m³·s⁻¹^[2]。如此巨大的用水量,很可能对电厂临近海域的浮游动物产生较大影响。卷吸效应对浮游动物的影响已引起了学者们极大的关注^[2,3,5~7],但以往的研究一般都是在电厂进水口和出水口或冷却系统中收集浮游动物,统计比较其死亡率,从而确定卷吸效应对浮游动物的影响^[5~7],鲜有短期热冲击对浮游动物影响实验室研究方面的报道^[3,8,9]。Schubel 和 Marcy^[10]认为实验室研究短期热冲击对浮游动物的影响较野外研究更能有效的预测冷却系统急速升温对浮游动物造成的影响。海洋桡足类作为海洋生态系统中最主要的次级生产者,它占据着 60% ~ 80% 的净浮游动物生物量^[11],在生态系统物质循环与能量流动中起着至关重要的作用^[12,13],因此研究短期热冲击对桡足类的影响意义重大。鉴于此,本文在实验室条件下对乐清湾两种近海种桡足类中华哲水蚤(*Calanus sinicus* Brodsky)和真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta* Giesbrecht)进行短期急性热冲击,研究冷却系统升温对桡足类的影响,确定这两种桡足类在不同驯化温度下热冲击 15、30、45 min 后 24 h 的高起始致死温度值(upper incipient lethal temperature, 24h UILT₅₀),并结合实验结果及前人的研究探讨了电厂冷却系统升温对桡足类的影响,进而总结了冷却系统升温造成桡足类等浮游动物死亡的主要影响因素。

1 材料与方法

1.1 桡足类的采集及驯化

实验用桡足类采自浙江省乐清湾海域(28°19'N, 121°09'E)。采样时间为春季(2007 年 4 月,海域表层自然水温为 16℃),用 505 μm 网筛在表层采集浮游生物后带回实验室,于 2000 L 玻璃缸暂养,然后挑选出中华哲水蚤(*Calanus sinicus* Brodsky)、真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta* Giesbrecht),于 50 L 水族箱进行升温驯化。中华哲水蚤的驯化温度分别为 16、20、24、26、27℃,真刺唇角水蚤的驯化温度分别为 16、20、24、26、28、30℃。升温驯化期间采用 300 W 电热棒对水体进行加热(微充气以保持水族箱内水温均匀),同时用 WMZK-01 型自动控温仪控制水温,经精密水银温度计校正(± 0.2℃),升温速率为 1 ~ 3℃·d⁻¹,达到设定温度后恒温 7 d。期间隔 12 h 投喂适量等鞭金藻(*Isochrysis galbana*),隔 24 h 用同温水换水 2/3,并清除已经死亡的桡足类个体、粪便及其它污物。由于真刺唇角水蚤食性属肉食性为主的杂食性^[14,15],隔 12 h 还要投喂适量的小型桡足类如小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus* Claus)和针刺拟哲水蚤(*Paracalanus aculeatus* Giesbrecht)等。日光灯控制光照,光强为(500 ± 50) lx,光暗比为 16 h:8 h,实验期间自然水温为 16℃ ± 0.2℃,驯化期间水体 pH 值为 8.1 ± 0.1,盐度为 25.0 ± 1.0。

1.2 桡足类短期热冲击的高起始致死温度实验

桡足类短期热冲击的高起始致死温度实验采用 Lahdes^[16]描述的方法进行。将实验桡足类分别从驯化水族箱中转移至 1 L 烧杯中暂养(用驯化水温水浴控温),然后从暂养烧杯中随机选取 20 个体质健壮,无明显损伤的桡足类成体放入盛 400 ml 二次砂滤水水温已升至设定温度的 500 ml 烧杯中进行热冲击试验,每个温度梯度设 3 个平行组(热冲击实验温度见表 1,以 0.5℃ 为升温梯度)。桡足类在恒温 15、30、45 min 后,将其转移至原驯化水温水体中,并在 30 min、1 h、6 h、12 h、24 h 后观察其死亡情况,记录死亡个数,用吸管及时清

除污物,但不清除死亡个体^[6]。以滴管口轻微吹打受试桡足类,15 s 内若无任何反应视为死亡。

表 1 中华哲水蚤和真刺唇角水蚤热冲击实验温度(℃)与暴露时间

Table 1 Temperature and exposure time of *Calanus sinicus* and *Labidocera euchaeta* in thermal shock experiment

种类 Species	驯化温度 Acclimation temperature(℃)	暴露时间 Exposure duration(min)		
		15	30	45
中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i>	16	29.0~31.5	28.5~31.0	28.0~30.5
	20	30.0~32.0	29.5~31.5	28.5~31.0
	24	30.0~32.5	30.0~32.0	29.5~31.5
	26	31.0~33.0	30.0~32.0	29.5~31.5
	27	31.5~33.5	30.0~32.0	29.5~31.5
真刺唇角水蚤 <i>L. euchaeta</i>	16	33.0~35.5	33.0~35.5	32.5~35.0
	20	34.0~36.5	33.5~36.0	33.5~36.0
	24	35.5~37.5	34.0~37.0	34.0~37.0
	26	34.5~37.5	34.0~37.0	34.0~37.0
	28	35.0~37.5	34.5~37.0	34.5~37.0
	30	35.0~37.5	34.5~37.0	34.5~37.0

1.3 数据分析

计算短期热冲击后中华哲水蚤和真刺唇角水蚤的 24 h 死亡率。当对照组出现死亡时,各温度组的死亡百分数按以下公式进行校正:

$$P = (P' - C) / (1 - C)$$

式中, P' 为观察死亡百分数; C 为对照组死亡百分数; P 为校正后的死亡百分数。用 SPSS13.0 软件按概率单位法计算桡足类在不同驯化温度下热冲击 15、30、45 min 后的 24 h UILT₅₀ (24h UILT₅₀) 及其 95% 置信限。若两个 24h UILT₅₀ 的 95% 置信限不重合,则视两者之间有显著差异,反之,若两个 24h UILT₅₀ 的 95% 置信限重合,则视两者之间无显著差异。

2 结果

2.1 暴露时间对短期热冲击 24h UILT₅₀ 的影响

在相同驯化温度下中华哲水蚤和真刺唇角水蚤的 24h UILT₅₀ 随暴露时间延长而降低(图 1、图 2)。中华哲水蚤在各驯化温度下热冲击 15、30、45 min 的 24h UILT₅₀ 之间存在显著差异(图 1)。真刺唇角水蚤在各驯

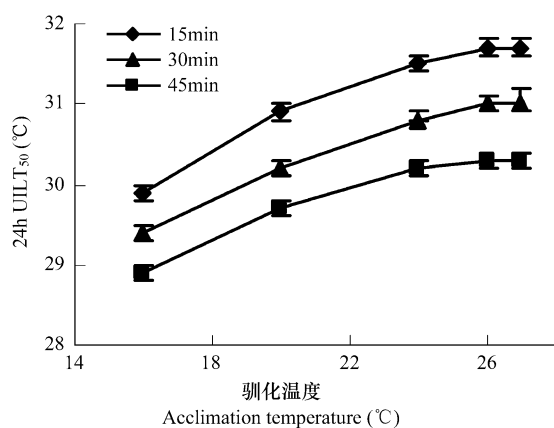


图 1 中华哲水蚤在不同暴露时间和驯化温度下的 24h UILT₅₀

Fig.1 24h UILT₅₀ of *Calanus sinicus* at different exposure duration and acclimation temperature

误差线表示 95 % 置信限 The bars indicate the 95 % confidence limits;

下同 the same below

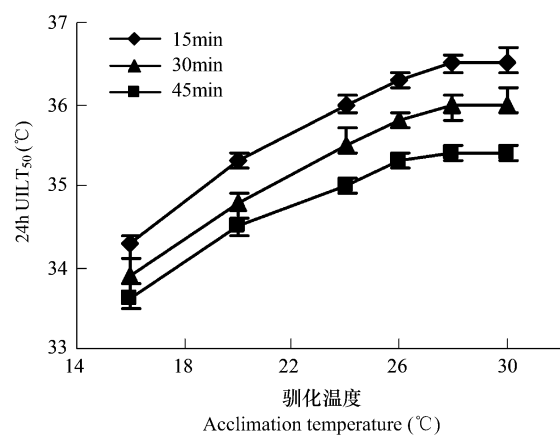


图 2 真刺唇角水蚤在不同暴露时间和驯化温度下的 24h UILT₅₀

Fig.2 24h UILT₅₀ of *Labidocera euchaeta* at different exposure duration and acclimation temperature

化温度下热冲击 15、30、45 min 的 24h UILT₅₀ 也存在显著差异(图 2)。可见,暴露时间对中华哲水蚤和真刺唇角水蚤有非常显著的影响。

2.2 驯化温度对短期热冲击 24h UILT₅₀ 的影响

在相同暴露时间下中华哲水蚤和真刺唇角水蚤的 24h UILT₅₀ 随驯化温度的上升而升高(图 1、图 2)。但这种趋势随驯化温度上升而变缓,且趋于达某固定温度后不再上升,此温度即为最高起始致死温度(ultimate upper incipient lethal temperature, UUILT₅₀)。Fry 等^[17]将一种生物的 UUILT₅₀ 定义为该生物在最高驯化温度条件下得出的 UILT₅₀。本实验中中华哲水蚤和真刺唇角水蚤的最高驯化温度分别为 27℃ 和 30℃,因此,可认为在 27℃ 和 30℃ 驯化温度下得出的 24h UILT₅₀ 即为中华哲水蚤和真刺唇角水蚤短期热冲击的 24h UUILT₅₀。即适应于春季自然水温为 16℃ 的中华哲水蚤热冲击 15、30、45 min 后的 24h UUILT₅₀ 值分别为 31.7、31.0、30.3℃,春季适应于自然水温为 16℃ 的真刺唇角水蚤在热冲击 15、30、45 min 后的 24h UUILT₅₀ 值分别为 36.5、36.0、35.4℃。

2.3 两种桡足类耐热性的差异

在相同驯化温度(16℃、20℃、24℃)和暴露时间下,真刺唇角水蚤的 24h UILT₅₀ 均显著高于中华哲水蚤(图 1、图 2)。真刺唇角水蚤热冲击 15、30、45 min 后的 24h UUILT₅₀ 分别比中华哲水蚤热冲击 15、30、45 min 后的 24h UUILT₅₀ 高 4.8、5.0、5.1℃。显然,真刺唇角水蚤对短期热冲击的忍受能力显著强于中华哲水蚤。

3 讨论

温度是影响海洋生物最重要的环境因子之一^[18,19],是决定海洋生物生活范围的重要环境因素^[12,20,21],同时它还影响海洋生物的生长^[22,23]、繁殖^[24,25]、新陈代谢^[26] 和行为^[27~29] 等。生物对温度的变化有一定适应能力,但适应存在一定限度,若超出其适应能力限度,就会引起机体机能损伤,甚至造成死亡。Melton 和 Serviss^[6] 在电厂进水口、冷却系统中出水口收集浮游动物,统计比较其死亡率,结果发现被卷吸进去的浮游动物各类群死亡率通常随电厂冷却系统升温幅度增大而升高。Thiyagarajan 等^[3] 发现随短期热冲击温度的升高, *Balanus reticulatus* (一种蔓足类) 幼虫逐渐停止游动,死亡率上升。本实验中中华哲水蚤和真刺唇角水蚤暴露于高温时大都沉于烧杯底部,死亡率随暴露温度上升而升高,直至全部死亡。可见,电厂冷却系统等极端环境的温度剧变(升温 8~12℃) 有可能超过了桡足类等浮游动物忍受温度变化的耐受极限,从而造成机体损伤(如丧失游泳能力而下沉等),甚至死亡。

不同暴露时间对桡足类热忍受能力有较大的影响,随暴露时间延长,中华哲水蚤和真刺唇角水蚤的 24h UILT₅₀ 显著降低(图 1、图 2)。Thiyagarajan 等^[3] 将适应水温为 28℃ 的 *Balanus reticulatus* 幼虫(N-2 期)暴露于 40℃ 高温下 15、30 min 和 45 min 后放回 28℃ 水温的新鲜海水中恢复。结果发现暴露时间为 15 min 时 *Balanus reticulatus* 幼虫并没有出现死亡,当暴露时间延长至 30 min 时才出现死亡现象,死亡率为 20%,当暴露时间继续延长至 45 min 时死亡率上升至 40%,死亡率显著升高。Vanurk^[8] 将适应水温为 20℃ 的透明蚤(*Daphnia hyalina*)、象鼻蚤(*Bosmina* sp.) 以及小剑水蚤(*Cyclops* sp.) 无节幼体于 34℃ 高温下暴露 15 min 和 30 min,之后将其放回到原适应水温,经 24 h 后发现:透明蚤高温暴露 15 min 和 30 min 的死亡率分别为 74% 和 92%;象鼻蚤暴露 15 min 和 30 min 的死亡率分别为 40% 和 84%;小剑水蚤无节幼体暴露 15 min 和 30 min 的死亡率分别为 0 和 45%。可见,暴露时间对进入冷却系统的桡足类等浮游动物有较大的影响,暴露时间越长,桡足类受到热冲击的影响就越大。

驯化温度也是影响桡足类热忍受能力的重要因素。Bradley^[30] 在实验室对近亲真宽水蚤(*Eurytemora affinis*) 进行升温驯化,发现其对短期热冲击的忍受能力随驯化温度的升高而增强。本实验中华哲水蚤和真刺唇角水蚤在相同暴露时间下,其 24h UILT₅₀ 也都随驯化温度的上升而升高,但这种升高的趋势会随驯化温度的上升而变缓,且趋于一固定值后不再上升(图 1、图 2)。由此可见桡足类对热冲击的耐受能力可以通过驯化来改变,其对热冲击的忍受能力会随驯化温度升高而增强,但当驯化温度升高到某温度后,桡足类的热忍受能力不再上升。该现象与鱼类最高起始致死温度现象类似^[31]。另外,此现象表明桡足类适应的自然水温越

高,与其相应的 $UILT_{50}$ 差值就越小。即自然水温越高,与桡足类的热忍受限就越接近,电厂冷却系统升温对其造成的死亡率就可能越大。因此,在盛夏(自然水温最高),冷却系统升温对桡足类造成的死亡率可能最高;反之,在冬季(自然水温最低),冷却水中桡足类的死亡率可能最低。Hoffmeyer 等^[7]的报道也证实了这一点,他们的研究发现电厂冷却系统对汤氏纺锤水蚤(*Acartia tonsa*)造成的死亡率盛夏时最高,冬季则最低。

生物耐热性是物种对生态环境的长期选择和进化结果,不同生物体对环境温度的耐受范围各不相同^[32,33],表现为种间差异性。如本实验中真刺唇角水蚤对短期热冲击的忍受能力显著强于中华哲水蚤,可解释为中华哲水蚤属暖温性近岸类群,适应温度偏低^[34,35],耐热性则相对较差;而真刺唇角水蚤则属暖水性近岸类群,适应高温海区^[35],耐热性则相对较强。据 Marumo 等^[9]报道,一种日本近岸桡足类 *Acartia omorii* 在适应自然水温为 14℃ 时,其热冲击 15 min 和 30 min 的 24h $UILT_{50}$ 分别为 29.1℃ 和 28.5℃;在适应自然水温为 18℃ 时,其热冲击 15 min 和 30 min 的 24h $UILT_{50}$ 分别为 29.9℃ 和 29.8℃。这与中华哲水蚤在驯化水温为 20℃ 时热冲击 15 min 和 30 min 的 24h $UILT_{50}$ (分别为 30.2℃ 和 29.7℃) 接近,但远低于真刺唇角水蚤在驯化水温为 20℃ 时热冲击 15 min 和 30 min 的 24h $UILT_{50}$ (分别为 35.3℃ 和 34.8℃)。可见不同种类的桡足类对短期热冲击的忍受能力不尽相同。

由于不同种类的桡足类对电厂冷却系统短期热冲击的忍受能力存在差异,就有可能导致电厂临近海域桡足类有些种类的丰度出现变化,有些对热冲击耐受性较差的桡足类数量可能会减少,甚至消失,进而可能对电厂邻近海域生态系统的稳定性产生影响。此外,桡足类与其它类群浮游动物的热忍受能力也存在差异。如 Melton 和 Serviss^[6]对被卷吸进冷却系统的浮游动物死亡率进行统计比较,结果发现桡足类、端足类、毛颚类、虾类幼体及蟹类幼体等各个类群的死亡率存在较大差异。同样,Hoffmeyer 等^[7]也发现桡足类(*E. americana* 和 *A. tonsa*)、张口蟹(*Chasmagnathus granulata* Dana)幼体和蔓足类藤壶(*Balanus glandula* Darwin)幼虫在冷却系统电厂升温幅度达 6.2 ~ 10.2℃ 时,其死亡率存在种类差异。

4 结论

(1) 当热冲击时间为 15 min 时,中华哲水蚤在 16 ~ 27℃ 驯化温度下的 24h $UILT_{50}$ 为 29.9 ~ 31.7℃,真刺唇角水蚤在 16 ~ 30℃ 驯化温度下的 24h $UILT_{50}$ 为 34.3 ~ 36.5℃;当热冲击时间为 30 min 时,中华哲水蚤在 16 ~ 27℃ 驯化温度下的 24h $UILT_{50}$ 为 29.4 ~ 31.0℃,真刺唇角水蚤在 16 ~ 30℃ 驯化温度下的 24h $UILT_{50}$ 为 33.9 ~ 36.0℃;当热冲击时间为 45 min 时,中华哲水蚤在 16 ~ 27℃ 驯化温度下的 24h $UILT_{50}$ 为 28.9 ~ 30.3℃,真刺唇角水蚤在 16 ~ 30℃ 驯化温度下的 24h $UILT_{50}$ 为 33.6 ~ 35.4℃。

(2) 电厂冷却系统升温造成桡足类等浮游动物死亡的主要影响因素有:电厂冷却水的升温幅度;其适应的环境水温(自然水温)或驯化水温;其通过电厂冷却系统和排水渠时遭受热冲击时间的长短;其对急性热冲击耐受能力的强弱。

References:

- [1] Bamber R N. The influence of rising background temperature on the effects of marine thermal effluents. *J. Therm. Biol.*, 1995, 20(1-2): 105 - 110.
- [2] Bamber R N, Seaby R M H. The effects of power station entrainment passage on three species of marine planktonic crustacean, *Acartia tonsa* (Copepoda), *Crangon crangon* (Decapoda) and *Homarus gammarus* (Decapoda). *Mar. Environ. Res.*, 2004, 57(4): 281 - 294.
- [3] Thiagarajan V, Nanchaiah Y N, Venugopalan V P, et al. Relative tolerance of cirripede larval stages to acute thermal shock: a laboratory study. *J. Therm. Biol.*, 2000, 25(6): 451 - 457.
- [4] Choi D H, Park J S, Hwang C Y, et al. Effects of thermal effluents from a power station on bacteria and heterotrophic nanoflagellates in coastal waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2002, 229: 1 - 10.
- [5] Mahyew D A, Jensen L D, Hanson D F, et al. A comparative review of entrainment survival studies at power plants in estuarine environments. *Environ. Sci. Policy*, 2000, 3(Supplement 1): 295 - 301.
- [6] Melton B R, Serviss G M. Florida power corporation-anclote power plant entrainment survival of zooplankton. *Environ. Sci. and Policy*, 2000, 3(supplement 1): 233 - 248.
- [7] Hoffmeyer M S, Biancalana F, Berasategui A. Impact of a power plant cooling system on copepod and mesoplankton survival (Bahía Blanca estuary, Argentina), *Iheringia, Sér. Zool.*, 2005, 95(3): 311 - 318.

- [8] Vanurk G. The effects of a temperature shock on zooplankton. *Aquat. Ecol.*, 1979, 13(2-3): 101—105.
- [9] Marumo K, Sato F, Ishikawa Y. Experimental study on acute effects of the combined exposure to temperature increase and chlorination upon the marine copepod *Acartia omorii*. *Mar. Biolo.*, 1992, 114: 235—240.
- [10] Schubel J R, Marcy B C. Power Plant Entrainment: A Biological Assessment. New York: Academic Press, 1978. 19—189.
- [11] Longhurst A R. The structure and evolution of plankton communities. *Prog. Oceanogr.*, 1985, 15(1): 1—35.
- [12] Beaugrand G, Reid P C, Ibanez F, *et al.* Reorganization of north atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science*, 2002, 296: 1692—1694.
- [13] De-Young B, Heath M, Werner F, *et al.* Challenges of modeling ocean basin ecosystems. *Science*, 2004, 304: 1463—1466.
- [14] Gao Y H, Li S. On feeding switching of *Labidocera euchaeta*. *Journal of Xiamen University (Natural science)*, 1989, 28(6): 637—641.
- [15] Yang J M, Li H L. A preliminary study on the feeding of bohai sea *Labidocera euchaeta*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1997, 8(3): 299—303.
- [16] Lahdes E. Acute thermal tolerance of two Antarctic copepods, *Calanoides acutus* and *Calanus propinquus*. *J. Therm. Biol.*, 1995, 20(1-2): 75—78.
- [17] Fry F E L, Hart J S, Walker N F. Lethal temperature relations for a sample of young speckled trout, *Salvelinus fontinalis*. *Univ. Toronto Studies, Biol. Ser.* 54, Ontario Fish. Res. Lab. Publ., 1946, 66: 9—35.
- [18] Southward A J, Hawkins S J, Burrows M T. Seventy year's observations of changes in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English Channel in relation to rising sea temperature. *J. Therm. Biol.*, 1995, 20(1-2): 127—155.
- [19] Mora C, Ospina A F. Tolerance to high temperatures and potential impact of sea warming on reef fishes of *Gorgona Island* (tropical eastern Pacific). *Mari. Biol.*, 2001, 139: 765—769.
- [20] Roy K, Jablonski D, Valentine J W, *et al.* Marine latitudinal diversity gradients: tests of causal hypotheses. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1998, 95(7): 3699—3702.
- [21] Hiscock K, Southward A, Tittley I, *et al.* Effect of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland. *Aqua. Conservat. Mar. Freshwat. Ecosyst.*, 2004, 14(4): 333—362.
- [22] Lonsdale D J, Levinton J S. Latitudinal differentiation in copepod growth: an adaptation to temperature. *Ecology*, 1985, 66(5): 1397—1407.
- [23] Devreker D, Souissi S, Seuront L. Development and mortality of the first naupliar stages of *Eurytemora affinis* (Copepoda: Calanoida) under different conditions of salinity and temperature. *J. Exp. Mar. Biol. Eco.*, 2004, 303(1): 31—46.
- [24] Halsband-Lenk C, Hirche H-J, Carlotti F. Temperature impact on reproduction and development of congener copepod populations. *J. Exp. Mar. Biol. Eco.*, 2002, 271(2): 121—153.
- [25] Holste L, Peck M A. The effects of temperature and salinity on egg production and hatching success of Black *Acartia tonsa* (Copepoda: Calanoida): a laboratory investigation. *Mar. Biol.*, 2006, 148(5): 1061—1070.
- [26] Gaudy R, Cervetto G, Pagano M. Comparison of the metabolism of *Acartia clausi* and *A. tonsa*: influence of temperature and salinity. *J. Exp. Mar. Biol. Eco.*, 2000, 247(1): 51—65.
- [27] Conley D C, Curtis M A. Effects of temperature and photoperiod on the duration of hatching, swimming, and copepodid survival of the parasitic copepod *Salmincola edwardsii*. *Can. J. Zool.*, 1993, 71(5): 972—976.
- [28] Zeis B, Maurer J, Pinkhaus O, *et al.* A swimming activity assay shows that the thermal tolerance of *Daphnia magna* is influenced by temperature acclimation. *Can. J. Zool.*, 2004, 82(10): 1605—1613.
- [29] Lagerspetz K Y H, Vainio L A. Thermal behaviour of crustaceans. *Biol. Rev.*, 2006, 81(2): 237—258.
- [30] Bradley B P. Increase in range of temperature tolerance by acclimation the copepod *Eurytemora affinis*. *Biol. Bull.*, 1978, 154(2): 177—187.
- [31] Chen Q Z, Zeng J N, Gao A G, *et al.* Advances in study of temperature of thermal tolerance of fishes. *J. Fish. China*, 2004, 28(5): 562—567.
- [32] Pörtner H O. Climate change and temperature-dependent biogeography: oxygen limitation of thermal tolerance in animals. *Naturwissenschaften*, 2001, 88(4): 137—146.
- [33] Pörtner H O. Climate change and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals. *Comp. Biochem. Physiol.*, 2002, 132A: 739—761.
- [34] Huang J Q, Zheng Z. The effects of temperature and salinity on the survival of some copepods from Xiamen harbour. *Ocean. Limn. Sin.*, 1986, 17(2): 161—167.
- [35] Cai B J, Lian G S, Lin M, *et al.* Ecological study of zooplankton in Xiamen harbour and its adjacent waters. *Acta. Ocea. Sin.*, 1994, 16(4): 137—142.

参考文献:

- [14] 高亚辉, 李松. 真刺唇角水蚤食性转变的研究. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1989, 28(6): 637~641.
- [15] 杨纪明, 李红玲. 渤海真刺唇角水蚤摄食的初步研究. *应用生态学报*, 1997, 8(3): 299~303.
- [31] 陈全震, 曾江宁, 高爱根. 鱼类热忍耐温度研究进展. *水产学报*, 2004, 28(5): 562~567.
- [34] 黄加祺, 郑重. 温度和盐度对厦门港几种桡足类存活率的影响. *海洋与湖沼*, 1986, 17(2): 161~167.
- [35] 蔡秉及, 连光山, 林贤, 等. 厦门港及邻近海域浮游动物的生态研究. *海洋学报*, 1994, 16(4): 137~142.