

低氧对中华哲水蚤存活和繁殖影响的实验研究

王巧宁^{1,2}, 颜 天¹, 周名江¹

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 为研究低氧对海洋浮游生物关键种存活、繁殖等的影响, 作者采用了实验室模拟低氧环境的方法, 研究了低溶解氧(dissolved oxygen, DO)浓度对中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)致死率、产卵和孵化的影响。研究发现, 中华哲水蚤对低氧环境比较敏感, 当 DO 质量浓度为 2 mg/L 左右时, 中华哲水蚤会在 1 h 内全部死亡; 当 DO 质量浓度为 3 mg/L 左右时, 中华哲水蚤会在 96 h 内全部死亡; 当 DO 质量浓度为 4~6 mg/L 时, 基本无死亡, 但对中华哲水蚤的产卵有明显抑制作用, 首次产卵时间推迟, 产卵周期缩短。当 DO 质量浓度为 4 mg/L 时, 基本不产卵, 当 DO 质量浓度为 6 mg/L 时, 产卵量也仅为常氧组的 15%左右。当 DO 质量浓度为 4~6 mg/L 时, 中华哲水蚤所产卵的孵化率为常氧组的 60%左右, 但差异不显著。可见, 低氧对中华哲水蚤的存活和繁殖均有抑制作用, 长时间低氧很可能会降低中华哲水蚤的种群数量, 甚至改变海洋生态系统结构。

关键词: 低氧; 中华哲水蚤(*Calanus sinicus*); 死亡率; 产卵率; 孵化率

中图分类号: Q178.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2013)02-0012-05

水体低氧(Hypoxia), 又称为缺氧, 一般是指水体中的溶解氧(dissolved oxygen, DO)质量浓度低于 2 mg/L^[1], 当水体 DO 降至 0 时, 被称为无氧(anoxia)^[2]。在过去的几十年中, 由于人类活动排放到近岸和河口海域的氮和其他营养物质成倍增长, 水体富营养化, 赤潮频发, 水体底层低氧现象已呈现逐年加剧的趋势。在中国珠江口、长江口和东海也报道过大规模的季节性低氧现象^[3-7]。已有研究表明, 低氧环境已经对长江口低氧区大型底栖动物的生物量、丰度、群落结构、生物多样性等产生了影响^[8]。

目前关于低氧对生物影响的研究大多是针对活动力较强的鱼类、虾蟹类等大型经济生物。例如: 水体中 DO 质量浓度低至 4 mg/L 时将会对养殖鱼类带来不利影响^[9]; DO 质量浓度<3 mg/L 就会使底栖生物量严重降低^[10]。DO 质量浓度<2 mg/L 时, 此时多毛类等底栖生物就会表现出异常行为, 例如放弃挖洞^[11], 从沉积层底层转移到表层, 当水体中的 DO 质量浓度低于 0.5 mg/L 时大部分海底大型生物死亡^[12]。对于那些运动能力不强的浮游、小型生物, 低氧对其影响的研究还不多。

中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)属节肢动物门(Arthropoda)、甲壳动物亚门(Crustacea)、桡足纲(Copepoda), 是中国沿海, 特别是东黄海的浮游动物

关键种, 在海洋生态系统初级生产力向高级营养层转化过程中具有重要意义。中华哲水蚤行浮游生活, 但由于取食特点、繁殖力、外界环境条件等因素的影响, 中华哲水蚤还具有在水体中的垂直运动的特性^[13]。在东海大规模赤潮发生后期, 水体底层至表层 DO 质量浓度也能降至 4~6 mg/L, 故低氧可能对中华哲水蚤等浮游动物产生一定影响。本实验选择中华哲水蚤为实验对象, 以便更好地了解低氧对海洋浮游动物关键种的影响, 为探讨低氧对海洋生态系统的影响提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

中华哲水蚤于 2011 年 11 月采自青岛近海海域(36°04'N; 120°29'E), 通过垂直拖网(浅水型浮游生物网, 孔径为 500 μm)获得, 样品盛于保温桶中, 在 1 h 内运回实验室, 用大口塑料滴管挑出健康的中华

收稿日期: 2012-05-25; 修回日期: 2012-11-22

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(2010CB428705); 中国科学院知识创新工程重要方向项目群(KZCX2-YW-Q07-02); 国家自然科学基金委资助项目(41121064, 41176100)

作者简介: 王巧宁(1987-), 女, 山东烟台人, 硕士, 主要从事赤潮和低氧环境对海洋生物的影响, 电话: 13963836815, E-mail: wangqiaoning@yahoo.cn; 颜天, 通信作者, 电话: 0532-282898589, E-mail: tianyan@qdio.ac.cn

哲水蚤个体,置于装有过滤海水的 2 L 的烧杯内,于 10 °C 恒温箱中暂养。

1.2 方法

1.2.1 低溶解氧海水的制备

将 15 L 小口塑料桶装满海水,向其中充高纯氮气,每 10 min 用美国 JENCO9010 便携式溶氧仪测定水体 DO,当水体 DO 达到指定要求,停止充氮气,并用圆塞塞住桶口,使氮气充分混合后,用注射器抽取 5 mL 低氧水,再以碘量法确定 DO 质量浓度。

1.2.2 溶解氧的测定

碘量法测定 DO 参照 GB 17378.4-2007《海洋监测规范》^[14]。

1.2.3 致死实验

将制备好的 2、3、4 和 6 mg/L 低氧水(10 ± 1 °C),以虹吸法吸入 1L 实验瓶中,待实验瓶中的低氧水溢出量超过实验瓶体积后,停止加低氧水,并加入 10 只健康的中华哲水蚤,塞紧瓶塞。以常氧(8.5 mg/L)作对照,每组设置 3 个重复,记录中华哲水蚤的死亡时间。实验前后均用碘量法测定实验瓶内的 DO,确保 DO 质量浓度波动不超过 1 mg/L,若波动很大则重新进行实验。

1.2.4 低氧对繁殖的影响

以虹吸法向 1 L 培养瓶中加入适当比例的 1 mg/L 低氧水和 8.5 mg/L 的常氧水,使培养瓶中注满 DO 质量浓度为 4、6 mg/L 的低氧海水(10 ± 1 °C),以保鲜膜封口,减少低氧水与空气接触,置于 10 ± 1 °C 的恒温箱中。挑选健康的雌性中华哲水蚤,实验前饥饿 3 d,以便排净中华哲水蚤在自然水体中已产生的卵。每只培养瓶中放入 10 只经饥饿处理的雌性中华哲水蚤,加入中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*),使培养瓶中的中肋骨条藻细胞密度为 30 000 个/mL,每 2 d 更换一次低氧水及中肋骨条藻,并记录产卵量,所产卵放入孔板中,观察孵化情况。设常氧环境(8.5 mg/L)为对照组,每组设置 3 个重复。每次换水前后以注射器抽取 5 mL 低氧水,均以碘量法测定 DO,图 1 所示为中华哲水蚤繁殖实验过程中 DO 的控制情况,从图 1 中可以看出 DO 质量浓度的变化幅度都在 1 mg/L 以内。

1.2.5 数据处理方法

实验数据用 SPSS 软件分析,所有数据用 ANOVA 进行统计差异分析,以 $P < 0.05$ 表示具有显著性差异。

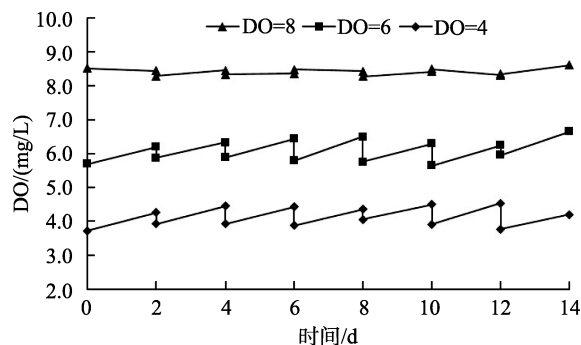


图 1 中华哲水蚤繁殖过程中 DO 质量浓度的控制情况
Fig.1 DO concentration during the spawning process of *Calanus sinicus*

2 结果

2.1 致死实验

表 1 所示是中华哲水蚤在 DO 质量浓度为 2、3、4、6 和 8.5 mg/L 时的死亡率。从表中可以看出: DO 质量浓度为 2 mg/L 时,中华哲水蚤会在 1 h 内迅速全部死亡,DO 质量浓度为 3 mg/L 时,中华哲水蚤存活时间增长,但会在 96 h 内全部死亡,DO 质量浓度为 4 mg/L 时,168 h 的死亡率仅为 3%,DO 质量浓度为 6 mg/L 和常氧环境下无死亡。

表 1 不同 DO 浓度对中华哲水蚤的死亡率的影响

Tab. 1 Mortality rates of *Calanus sinicus* at different DO concentrations

DO 浓度 (mg/L)	死亡率(%)			
	时间(h)			
	1	48	96	168
2	100	100	100	100
3	5.8 ± 5.8	46.7 ± 5.8	100	100
4	0	0	0	3.3 ± 5.8
6	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0

2.2 低氧对繁殖的影响

图 2 所示为不同 DO 浓度对中华哲水蚤产卵过程的影响。从图 2 中可以看出低氧对中华哲水蚤的繁殖有明显的抑制作用,低氧环境下,首次产卵时间推迟,产卵周期明显缩短。图 3 所示为不同 DO 浓度对中华哲水蚤产卵总量的影响。从图 3 中可以看出 DO=4 mg/L 时基本上不产卵,DO=6 mg/L 时产卵量仅为常氧条件下的 15%左右。数据统计结果显示不同 DO 产卵总量有显著性差异。图 4 所示为中华哲水蚤在不同 DO 浓

度下所产卵的孵化率。中华哲水蚤在 4~6 mg/L DO 浓度下所产卵的孵化率仅占常氧组的 60%左右,低氧组与常氧组的孵化率未发现显著性差异。这说明低氧不仅会减少中华哲水蚤的产卵量,在低氧环境下所产卵的质量可能也受到了影响。

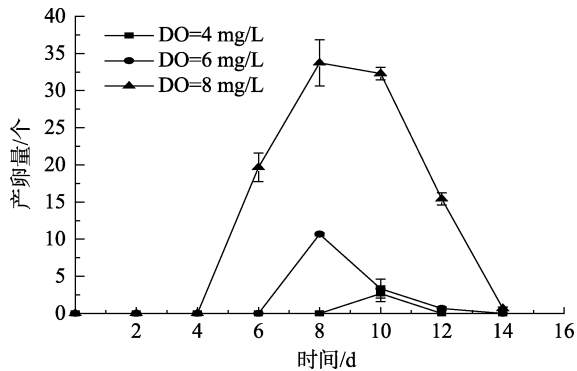


图 2 不同 DO 质量浓度对中华哲水蚤产卵过程的影响
Fig. 2 The effects of different DO concentration on the spawning process of *Calanus sinicus*

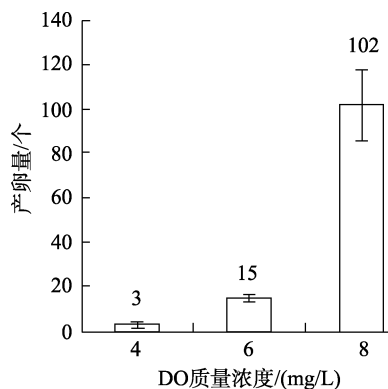


图 3 不同 DO 浓度对中华哲水蚤产卵总量的影响
Fig. 3 The effects of different DO concentration on the total spawning amount of *Calanus sinicus*

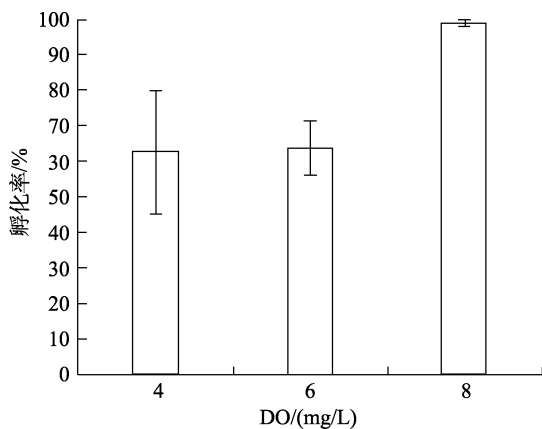


图 4 中华哲水蚤在不同 DO 质量浓度下所产卵的孵化率
Fig. 4 The hatching rates of *Calanus sinicus* at different DO concentrations

3 讨论

实验发现,低氧(4~6 mg/L)会严重抑制中华哲水蚤的繁殖,使其首次产卵时间推迟,产卵周期缩短,产卵量降低,即使在轻微低氧的环境下(DO=6 mg/L),产卵量也会受到严重影响。已有研究表明,低氧严重降低水生生物的繁殖能力,Landry^[15]对海湾将科鱼(*Fundulus grandis*)进行 30 d 的低氧环境培养后,雌性的产卵率明显降低,同样的结论在斑马鱼(*Danio rerio*)的慢性低氧实验(120 d)中也得到了相似的结论^[16]。Rudolf 等^[17]发现长时间暴露在实验室低氧环境中(1 mg/L)会严重降低鲤鱼(*Cyprinus carpio*)的性甾体激素水平、生殖腺成长指数、配子产量和孵化成功率。生物可以抑制繁殖来保存能量,使其能够在长期低氧环境中继续生存下去,是生物为适应低氧环境产生的自我调节机制^[18]。实验可以看出在 DO 为 4~6 mg/L 时中华哲水蚤抑制繁殖,使自身能够长时间存活。

已有研究指出,水生生物耐低氧能力从弱到强为:鱼类<甲壳类<棘皮类<环节类<软体类^[19]。鱼类大多分布在 DO 质量浓度>2.5 mg/L 的水域^[20],而一些软体动物则可在 DO 质量浓度低于 1 mg/L 的环境中长时间存活^[21]。中华哲水蚤属甲壳动物亚门,其对低氧的耐受能力较差。在较低 DO 环境下(2 mg/L),中华哲水蚤会迅速死亡。生物进入低氧环境时,会采取不同策略来应对低氧环境。部分生物会加强运动,回避低氧环境;而部分生物则会减少运动,通过减少运动和新陈代谢来减少能量消耗,以适应低氧环境^[22]。实验中,中华哲水蚤在低氧环境下,会出现一段时间的运动加剧现象,这说明在自然水体中,中华哲水蚤可能会采取回避低氧环境的行为。但中华哲水蚤的运动能力有限,已有研究表明,桡足类运动能力较弱,不能有效回避水体低氧层^[23]。但本能的低氧回避行为会使中华哲水蚤消耗更多的能量用于运动,导致其在低氧环境下迅速死亡。

低氧会对中华哲水蚤的存活和繁殖产生不利影响,进而降低中华哲水蚤的种群数量。作为一种海洋浮游动物关键种,中华哲水蚤在食物链的传递中起关键作用,低氧对其种群数量的影响,可能进一步影响其他营养级生物的生长发育,甚至改变整个生态系统结构。

参考文献:

[1] Diaz R, Rosenberg R. Marine benthic hypoxia: A re-

- view of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna[J]. *Oceanography and Marine Biology*, 1995, 33: 245-303.
- [2] Cooper S R, Brush G S. A 2500-year history of anoxia and eutrophication in Chesapeake Bay[J]. *Estuaries*, 1993, 16(3b): 617-626.
- [3] Dai M, Guo X, Zhai W, et al. Oxygen depletion in the upper reach of the Pearl River estuary during a winter drought[J]. *Marine Chemistry*, 2006, 102(1): 159-169.
- [4] Hua Er, Zhang Z, Zhang Y. Meiofauna distributions at the oxygen minimum zone in Changjiang (Yangtze) River Estuary waters[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 25(5): 120-134.
- [5] Chen C, Gong G, Shiah F. Hypoxia in the East China Sea: One of the largest coastal low-oxygen areas in the world[J]. *Marine Environmental Research*, 2007, 64(4): 399-408.
- [6] 李道季, 张经, 吴莹, 等. 长江口外氧的亏损[J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2002, 32(08): 686-694.
- [7] 张莹莹, 张经, 吴莹, 等. 长江口溶解氧的分布特征及影响因素研究[J]. *环境科学*, 2007, 28(8): 1649-1654.
- [8] 袁伟, 金显仕, 戴芳群. 低氧环境对大型底栖动物的影响[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(3): 293-296.
- [9] Inoue M, Fujishiro N, Imanaga I. Hypoxia and cyanide induce depolarization and catecholamine release in dispersed guinea-pig chromaffin cells[J]. *The Journal of Physiology*, 1998, 507(3): 807-818.
- [10] Suzuki K, Sawa Y, Kaneda Y, et al. Attenuates hypoxic injury in coronary endothelial cells[J]. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 1998, 30(6): 1129-1136.
- [11] Nilsson H C, Rosenberg R. Hypoxic response of two marine benthic communities[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, 115(1): 209-217.
- [12] Montagna P A, Ritter C. Direct and indirect effects of hypoxia on benthos in Corpus Christi Bay, Texas, U.S.A.[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 330(1): 119-131.
- [13] 韩希福, 王荣, 王军萍. 渤海中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)和小拟哲水蚤(*Paracalanus Parvus*)种群垂直移动生态适应性模型研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(5): 820-826.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.GB 17378.4-2007 海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [15] Landry C A. Long term hypoxia suppresses reproductive capacity in the estuarine fish, *Fundulus grandis*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A*, 2007, 148(2): 317-323.
- [16] Shang E, Yu R, Wu R. Hypoxia affects sex differentiation and development, leading to a male-dominated population in Zebrafish (*Danio rerio*)[J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(9): 3118-3122.
- [17] Rudolf S S W. Hypoxia: from molecular responses to ecosystem responses[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 45: 35-45.
- [18] Thomas P, Rahman S M, Kunner J A, et al. Reproductive endocrine dysfunction in Atlantic croaker exposed to hypoxia[J]. *Marine Environmental Research*, 2006, 62(1): S249-S452.
- [19] Gray J S, Wu R S S, Or Y Y. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 238(1): 249-279.
- [20] Taylor J C, Rand P S, Jenkins J. Swimming behavior of juvenile anchovies (*Anchoa* spp.) in an episodically hypoxic estuary: implications for individual energetics and trophic dynamics[J]. *Marine Biology*, 2007, 152(4): 939-957.
- [21] 王春琳, 吴丹华, 董天野, 等. 曼氏无针乌贼耗氧率及溶氧胁迫对其体内酶活力的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2420-2427.
- [22] Clegg J S. Cryptobiosis - a peculiar state of biological organization[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 2001, 128(4): 613-624.
- [23] Stalder L, Marcus N. Zooplankton responses to hypoxia: behavioral patterns and survival of three species of calanoid copepods[J]. *Marine Biology*, 1997, 127(4): 599-607.

The effects of hypoxia on survival and reproduction of *Calanus sinicus*

WANG Qiao-ning^{1,2}, YAN Tian¹, ZHOU Ming-jiang¹

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, Chinese Academy Sciences, Beijing 100049, China)

Received: May,25,2012

Key words: Hypoxia; *Calanus sinicus*; mortality rate; spawning rate; hatching rate

Abstract: The mortality rates and reproduction of *Calanus sinicus* at different concentration of dissolved oxygen (DO) were investigated. The results showed that when DO declined to 2 mg/L, *C. sinicus* all died in 1 h. When DO declined to 3 mg/L, *C. sinicus* all died in 96 h. When DO was 4-6 mg/L, basically there was no death. But the spawning rate of *C. sinicus* could be significantly inhibited under this hypoxia condition. When DO was 4 mg/L, almost no spawn. When DO was 6 mg/L, the total spawning amount was only 15% of normoxic group. When DO was 4-6 mg/L, the hatching rate was 60% of normoxic group. Therefore, hypoxia inhibits both survival and reproduction of *C. sinicus*. Long time hypoxia would reduce the population quantities of *C. sinicus* and even change the structure of ecosystem.

(本文编辑: 谭雪静)