

沙海蜇(*Nemopilema nomurai*)消亡过程中海水溶解氧变化的模拟研究^{*}

宋金明¹ 马清霞^{1, 2} 李 宁¹ 李学刚¹ 袁华茂¹ 段丽琴¹ 曲宝晓^{1, 2}

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

提要 采用实验室模拟的方法,研究了不同海水温度、盐度、pH、N/P 比下,沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的变化特征,这对探讨水母灾害性暴发后消亡的环境影响有重要的科学意义。研究结果表明,沙海蜇的消亡可引起海水溶解氧浓度的显著降低,不同海水温度、盐度、pH、N/P 比条件下沙海蜇消亡引起的海水溶解氧浓度的降低无显著差异,但与没有沙海蜇消亡时,海水溶解氧的变化相比则差异显著。沙海蜇消亡一般需要 6—7 天时间,在高 N/P 比的海水中,沙海蜇的消亡时间延长。沙海蜇的消亡造成水体的严重缺氧,水体氧饱和度低于 20%,从第 2 天到第 3 天,本底海水、不同过程温度、盐度、pH 条件下,消耗水体氧的量剧增,第 6 天达到峰值,但不同 N/P 比条件下,水体溶解氧的降低在第 2 天即可达到一个耗氧的高值,一直持续到第 7 天出现峰值;海水温度、盐度、pH、N/P 比变化,可导致沙海蜇的消亡过程中水体氧消耗量的变化,就这四种影响因素而言,其平均最大耗氧量从大到小的顺序是:温度(23—30℃ 区间段) > pH(5.0—9.0 区间段) > 盐度(21—33 区间段) > N/P 比(16:1—240:1 区间段),分别为 39.9、39.7、38.0 和 35.9mg/(kg·d),相对而言,水体温度和 pH 对沙海蜇消亡过程中氧消耗量影响较大,水体 N/P 比和盐度影响较小。所以,沙海蜇消亡过程中,由于海水温度和 pH 的变化形成的低氧区更为严重,而且在当今富营养化(高 N/P 比)的近海水域中,水母的消亡高耗氧的时间加长,对海水环境造成的影响更为严重。

关键词 溶解氧, 环境影响, 消亡过程, 沙海蜇, 模拟研究

中图分类号 Q178.1; Q958.885.3

沙海蜇(*Nemopilema nomurai*)作为我国五种食用水母之一,俗称倒牛、冠海蜇等,属腔肠动物门(Coelenterata)、钵水母纲(Scyphomedusae)、根水母目(Rhizostomeae)、冠水母科(Stomolophidae)、冠水母属(*Stomolophus*) (Mills, 2001),属于暖温带低温高盐种,在中国近海主要分布于黄、渤海至东海北部外海,常在冷暖水团中出现,近年来分布区有逐年往北偏移的趋势(丁峰元等, 2005, 2007; 张芳等, 2009)。

自 20 世纪 90 年代始,东海北部及黄海海域时常暴发大型水母,渔业生产活动受到严重影响,渔业资源锐减,造成了严重的生态灾难。近年来,该海域暴

发的主要水母种类为沙海蜇和霞水母(*Cyanea* sp.) (Dong *et al.*, 2010; 徐兆礼等, 2006; 宋金明, 2004),其中生物量最高、影响范围最广的种类即为沙海蜇。这一海域 6 月份沙海蜇暴发时,适应的表层温度为 17—25℃,表层盐度为 23—33,底层温度为 10—19℃,底层盐度为 31—34.5。最高密集区的表层温度为 17—21℃,表层盐度为 28—32,底层温度为 15—18℃,底层盐度为 31—32.5。沙海蜇在 6—8 月份的快速生长期,表现为高温低盐的特性;在 9 月份以后的生长衰退期,表现为低温高盐的特性(程家骅等, 2005; 李惠玉等, 2007)。

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB403602 号, “海洋环境变化与水母暴发的相互作用”; 国家自然科学基金委员会创新群体项目资助, 41121064 号。宋金明, 研究员, 博士生导师, E-mail: jmsong@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

东海北部及黄海海域时常暴发水母后, 9 月中下旬开始快速消亡, 沉入海底后, 在较短时间内“化解”, 造成下层水域水环境发生重大变化, 底部“缺氧区”随之出现, 生物群落结构因此发生重大变化, 生态系统失衡(Song, 2010; Song *et al.*, 1996; Gao *et al.*, 2007; Billett *et al.*, 2006; Keister *et al.*, 2000), 因此, 解析明了水母暴发后环境影响, 对探讨水母灾害暴发机制、采取应对灾害措施具有重要的科学意义。至目前, 有关沙海蜇消亡的过程以及物质释放和在固碳方面有一些报道(Schneider, 1989; Titelman *et al.*, 2006; Niggli *et al.*, 2010; 宋金明等, 2008), West 等(2009)对水母消亡引起的沉积物耗氧等也做过一些研究, 但沙海蜇消亡对海水环境的影响报道很少。

本文在实验室模拟研究了沙海蜇消亡对海水溶解氧的影响, 探讨了本底海水以及不同海水温度、盐度、pH、N/P 比下, 沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的变化, 这对探讨水母暴发/消亡机制以及近海区域低氧区的形成与规模变化有重要的学术价值。

1 实验与样品分析

1.1 模拟实验

室内模拟实验自 2011 年 8—9 月间进行, 实验所用的沙海蜇从青岛市沙子口邻近海域捕捞而得, 将沙海蜇用海水洗净表面沙粒, 切割成 5kg(湿重)的块体(均包含伞部和触手部分, 两者比约为 4:1)以备使用。实验所用的海水取自青岛近海汇泉湾, 其盐度为 30.3, DIN 浓度 13.64 $\mu\text{mol/L}$, DIP 浓度 0.05 $\mu\text{mol/L}$ 。模拟实验所用的塑料箱 55cm $\times$ 37cm $\times$ 38cm, 预先向培养箱中加入 30L 经过滤后的海水和已准备好的 5kg 沙海蜇, 用纱网将培养箱口覆盖, 模拟实验除不同 N/P 比条件下实验 8 天外, 其它均为 7 天。

模拟实验分 6 组, 1) 空白实验(即不加沙海蜇); 2) 对照实验(即本底海水加沙海蜇), 进行 3 个平行实验; 3) 设置 23 $^{\circ}\text{C}$ 、26 $^{\circ}\text{C}$ 、30 $^{\circ}\text{C}$ 三组海水温度进行实验; 4) 设置 21、24、27、30.4、33 五组海水盐度进行实验; 5) 设置 pH 5.0、7.5、8.0、8.5、9.0 五组进行实验; 6) 设置 N/P 比 16:1、80:1、145:1、210:1、240:1 五组进行实验(其中五组 DIN 浓度分别为 12.8、64.0、116.0、168.0 和 192.0 $\mu\text{mol/L}$, DIP 浓度均为 0.8 $\mu\text{mol/L}$)。除 3) 组温度实验外, 1)、2)、4)、5) 组实验海水温度控制在(26.5 $\pm$ 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 6) 组实验海水温度控制在(22.5 $\pm$ 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 无机氮添加采用硝酸钾溶液, 无机磷添加采用磷酸二氢钾溶液。

1.2 分析测定

在模拟实验的 7 天中, 每天早 8 点用 Orion Star-5 多参数测定仪测定培养箱海水的溶解氧(DO)和 pH。模拟海水在加入沙海蜇后, pH 由 8.04 下降为约 6.9 左右, 即水体明显向酸性水体变化。空白实验(即不加沙海蜇)在 7 天中监测的 DO 含量分别为 4.24、4.16、5.65、6.94、6.23、7.32 和 5.76mg/L。所有以下结果均是采用空白实验每天 DO 监测值与不同控制条件下 DO 监测值之差值, 即不同控制条件下, 沙海蜇消亡过程中 DO 的降低量来表示($\Delta\text{DO} = \text{DO}_{\text{空白}} - \text{DO}_{\text{测定}}$)。

2 结果与讨论

2.1 沙海蜇的“消亡”过程

模拟实验开始后的 0—2 天, 沙海蜇块体大小无明显变化, “消亡”比较缓慢, 但在第 2 天后水体表面开始出现一层薄薄的膜, 第 3 天, 水面薄膜的颜色由浅灰色变为略带红色, 并且水体开始散发出恶臭味, 从第 4 天开始, 沙海蜇块体逐渐由大变小, “消亡”化解明显, 恶臭味也越来越浓。到第 5 天, 可见一些絮状体, 恶臭味明显减弱, 到第 7 天, 所有培养箱内的沙海蜇块体已全部“消亡”化解进入水体中。就海水温度、盐度、pH、N/P 比这些条件而言, 本底对照海水组、pH 组、盐度组和氮磷比 16 组在第 6 天, 沙海蜇块完全“消亡”。低温、高 N/P 比条件下, 沙海蜇“消亡”相对缓慢; 高温其消亡则明显加快, 30 $^{\circ}\text{C}$ 时的第 3 天, 沙海蜇即可全部“消亡”。

2.2 海水本底条件海水溶解氧变化

在本底海水情况下, 第 1—2 天溶解氧即有较多的消耗, 第 2—3 天, 溶解氧的消耗剧增, 至第 7 天, 溶解氧的消耗都很大(图 1)。与沙海蜇的“消亡”过程所发生的现象相对应, 即从沙海蜇块体由大变小, 水体发出恶臭味开始, 沙海蜇“消亡”引起水体溶

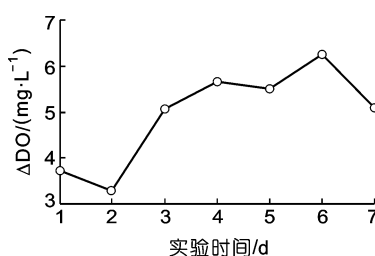


图 1 本底海水沙海蜇消亡对照实验溶解氧的变化(mg/L)

Fig.1 DO variations (mg/L) in seawater during the decomposing of *N. nomurai* under controlled condition

解氧的急剧消耗, 水体氧饱和度仅为 8.8%, 水体严重缺氧。计算可知, 从第 1 到第 7 天, 沙海蜇“消亡”所消耗的氧量分别为 22.4、19.6、30.4、34.0、32.9、40.6、30.5mg/(kg·d), 平均耗氧 25.2 mg/(kg·d),

第 2 天到第 3 天是沙海蜇消亡耗氧的急剧增加期。从第 1 至第 7 天, 水体氧的饱和度仅分别为 9.1、13.3、8.8、19.1、11.0、8.3 和 10.1%, 说明沙海蜇消亡会造成水体的严重缺氧。

2.3 不同温度和盐度下海水溶解氧变化

一般而言, 海水温度的升高, 会加快沙海蜇的“消亡”速度, 引起水体氧含量的降低(Song, 2010)。图 2A 的结果显示, 实验开始第 1 天, 水体氧的消耗明显印证了上述的结果, 水体氧的消耗 30℃组>26℃组>23℃组; 第 6 天, 水体溶解氧消耗最大, 下降达 6.66mg/L, 水体溶解氧含量仅为对照组的 9.1%。23℃、26℃、30℃三组海水温度下, 沙海蜇“消亡”所消耗氧的量分别为 39.9、40.0 和 39.9mg/(kg·d), 平均最大耗氧 39.9mg/(kg·d)。

图 2B 是不同盐度下沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的变化。从图 2B 中可以看出, 不同盐度组均在第 6 天水体溶解氧消耗最大, 下降达 6.33 mg/L, 水体溶解氧含量仅为对照组的 13.7%, 可见在沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的消耗, 温度的影响高于盐度。21、24、27、30.4、33 五组海水盐度条件下, 沙海蜇消亡消耗的氧的量分别为 36.1、37.9、38.2、38.7、39.1mg/(kg·d), 平均最大耗氧 38.0 mg/(kg·d)。

结果还表明, 沙海蜇消亡在较高盐度的海水中所消耗的氧高于低盐度的海水中所消耗的氧, 以第 6 天为例, 盐度每增加 1, 消耗的氧量增加 1.0mg/(kg·d)。所以, 在外海 9 月份以后沙海蜇消亡时, 在低温高盐的海水中, 引起水体氧的消耗量更多, 导致其所处的水环境严重缺氧。

2.4 不同 pH 下海水溶解氧变化

海水的 pH 变化会引起海水中溶解气体较大的变化, 特别是海水中的二氧化碳, 由于海水中浮游植物的光合作用涉及吸收海水中二氧化碳和放出氧, 因此当海水

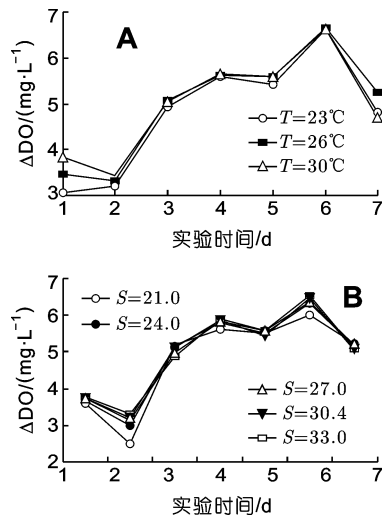


图 2 不同温度(A)、盐度(B)下沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的变化 (mg/L)

Fig.2 DO variations (mg/L) during the decomposing of *N. nomurai* under different temperature (A) and salinity (B) conditions

pH 变化时, 海水溶解二氧化碳变化必然引起氧的变化(Song *et al.*, 1996; 宋金明等, 2008)。一般来说, 海水 pH 增加, 其溶解的二氧化碳也会增加, 浮游植物光合作用导致的氧释放量也有所增加, 因此, 当海水中 pH 增加时, 其溶解的二氧化碳会增加, 短时间会引起水体氧含量的增加, 由于浮游植物光合作用稍被抑制, 再加上水母在此时消亡又可大量消耗水体氧(Song, 2010), 其结果是海水溶解氧依然会明显降低。

图 3A 显示了不同 pH 下, 沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的变化, 可见, 从消亡的第 3 天开始, 水体消耗的氧量增加迅速, 对比消亡的现象可知, 当沙海蜇消亡开始腐败变臭时, 其水体氧的消耗增加, 水体中氧下降的最大值出现在第 6 天, 平均最大耗氧达 39.7mg/(kg·d), 稍低于温度变化 7℃的平均最大耗氧 39.9mg/(kg·d), 但高于盐度变化 12 的平均最大耗氧 38.0 mg/(kg·d)。

2.5 不同 N/P 下海水溶解氧变化

近年来, 近海富营养化现象日趋严重, 导致的环境问题日趋增多, 大多数情况下, 富营养化导致水体营养盐结构的失调, 重要表现是水体 N/P 比值升高, 其结果可致浮游生物群落结构改变, 生态灾害频发, 渔业资源受到影响(宋金明, 2004; Song, 2010)。

图 3B 是水体不同 N/P 比情况下, 沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的变化情况, 从图 3B 中可以看出, 与水体不同温度、盐度和 pH 下沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的变化不同, 在实验开始的第 2 天, 水体消耗的氧量迅速增加, 而达到一个高值, 在沙海蜇消亡过程中, 一直持续到第 7 天仍然维持在一个水体氧消耗的高值, 第 2 天, 平均最大耗氧为 34.8 mg/(kg·d), 第 7 天, 平均最大耗氧为 35.9mg/(kg·d)。就不同 N/P 比情况下最大耗氧量而言, 低于盐度变化 12 的平均最大耗氧

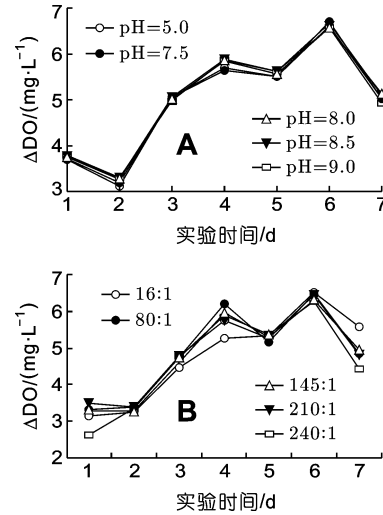


图 3 不同 pH(A)、N/P 比值(B)下沙海蜇消亡过程中海水溶解氧的变化 (mg/L)

Fig.3 DO variations (mg/L) during the decomposing of *N. nomurai* under different pH (A) and N/P ratios (B) conditions

38.0mg/(kg·d), 也低于温度变化 7℃的平均最大耗氧 39.9mg/(kg·d)、pH 变化 4 的平均最大耗氧达 39.7mg/(kg·d)。

就水体不同 N/P 比情况下, 沙海蜃消亡过程中海水溶解氧消耗峰值出现的时间而言, 比不同温度、盐度和 pH 情况下晚出现 1 天, 说明水体 N/P 比升高, 水体沙海蜃消亡的速度会变慢, 也就是说, 在水体 N/P 比升高的情况下, 水体耗氧的时间加长, 水体缺氧的时间也随之延长。N/P 比高将导致由于沙海蜃消亡引起的水体缺氧状况加重。N/P 比高, 水母降解慢, 其机制可能很复杂, 涉及水母体内成分与氮-磷的相互作用、水体浮游生物利用氮-磷后的效应、还原条件下水母胶质成分与氮-磷的耦合, 等等, 需要大量的研究方能揭示其原因。

表 1 是不同环境条件下沙海蜃消亡第 6 天海水溶解氧消耗平均最大值的变化情况。总体而言, 不同海水温度、盐度、pH、N/P 比下, 沙海蜃消亡第 6 天海

水溶解氧平均最大值的变化差异不大, 从 DO 降低的百分比看, 降低最大的温度因素比降低最小的盐度因素仅差 4.6%, 其平均最大耗氧量相差 1.9mg/(kg·d), 但对于外海如果暴发的沙海蜃量很大, 如按 2003—2005 年 9 月东海平均沙海蜃生物量每小时 3148kg 计算(丁峰元等, 2007), 每个站点氧消耗的差值可达 379mg/d, 可见这个数值很大, 对水环境中氧的影响很大, 一方面, 造成水域的缺氧, 另一方面, 通过海水-大气界面, 大气中的氧气大量溶入海水中, 而且由于海气界面溶解氧梯度的加大, 溶入海水的速度也剧增。所以, 沙海蜃消亡过程会造成水体溶解氧体系的剧烈变化, 将会导致与水体溶解氧相关的生物群落发生变化, 生态系统变得将不稳定(Song, 2010)。统计分析结果表明, 不同海水温度、盐度、pH、N/P 比条件下沙海蜃消亡引起的海水溶解氧浓度的降低无显著差异, 但与没有沙海蜃消亡时, 海水溶解氧的变化相比则差异显著。

表 1 不同环境条件下沙海蜃消亡第 6 天海水溶解氧消耗平均最大值的变化情况

Tab.1 Maximum oxygen drawdown on the 6th day under different conditions

变化情况	温度	盐度	pH	N/P 比
	23—30℃	21—33	5.0—9.0	16:1—240:1
DO 平均降低最大值(mg/L)	6.66	6.33	6.62	5.99
DO 平均降低百分比(%)	90.9	86.3	90.5	85.3
平均最大耗氧量[mg/(kg·d)]	39.9	38.0	39.7	35.9

3 结论

本文在实验室模拟研究了不同海水温度、盐度、pH、N/P 比下, 沙海蜃消亡过程中海水溶解氧的变化, 获得了如下的主要结论:

1) 沙海蜃的消亡可引起海水溶解氧浓度的显著降低, 不同海水温度、盐度、pH、N/P 比条件下沙海蜃消亡引起的海水溶解氧浓度的降低无显著差异, 但与没有沙海蜃消亡时, 海水溶解氧的变化有显著。沙海蜃的消亡过程一般需要 6—7 天时间, 在高 N/P 比的海水中, 沙海蜃的消亡时间延长, 表明在当今富营养化的近海水域中, 如果沙海蜃大量暴发, 其消亡速度减慢, 高耗氧的时间延长, 对海水环境造成的影响更为严重。

2) 沙海蜃的消亡从第 2 天开始, 本底海水、不同过程温度、盐度、pH 条件下, 消耗水体氧的量剧增, 到第 3 天已达到一个相当高的值, 第 6 天达到峰值。但不同 N/P 比条件下, 水体溶解氧的降低在第 2 天即出现高值, 一直持续到第 7 天达到峰值。

3) 海水温度、盐度、pH、N/P 比变化, 可导致沙海蜃的消亡过程中水体氧消耗量的变化。就这四种影响因素而言, 其平均最大耗氧量从大到小的顺序是: 温度(23—30℃区间段) > pH(5.0—9.0 区间段) > 盐度(21—33 区间段) > N/P 比(16:1—240:1 区间段), 分别为 39.9、39.7、38.0 和 35.9mg/(kg·d), 相对而言, 水体温度和 pH 对沙海蜃消亡过程中氧消耗量影响较大, 水体 N/P 比和盐度影响较小。也就是说, 沙海蜃消亡过程中, 由于海水温度和 pH 的变化形成的低氧区更为严重。

参 考 文 献

- 丁峰元, 程家骅, 2005. 东海区夏、秋季大型水母分布区渔业资源特征分析. 海洋渔业, 27(2): 120—128
- 丁峰元, 程家骅, 2007. 东海区沙海蜃的动态分布. 中国水产科学, 14(1): 83—88
- 李惠玉, 李建生, 丁峰元等, 2007. 东海区沙海蜃和浮游动物的分布特征. 生态学杂志, 26(12): 1974—1980
- 宋金明, 2004. 中国近海生物地球化学. 济南: 山东科技出版

- 社, 1—591
- 宋金明, 李学刚, 袁华茂等, 2008. 中国近海生物固碳强度与潜力. 生态学报, 28(2): 551—558
- 张 芳, 孙 松, 李超伦, 2009. 海洋水母类生态学研究进展. 自然科学进展, 19(2): 121—130
- 徐兆礼, 林 茂, 2006. 东海水母类多样性分布特征. 生物多样性, 14(6): 508—516
- 程家骅, 丁峰元, 李圣法等, 2005. 东海区大型水母数量分布特征及其与温盐度的关系. 生态学报, 25(3): 440—445
- Billett D S M, Bett B J, Jacobs C L *et al*, 2006. Mass deposition of jellyfish in the deep Arabian Sea. *Limnol Oceanogr*, 51: 2077—2083
- Dong Z, Liu Da, Keesing J K, 2010. Jellyfish blooms in China: Dominant species, causes and consequences, *Mar Poll Bull*, 60: 954—963
- Gao Xuelu, Song Jinming, Li Xuegang *et al*, 2007. Spatial distribution and temporal variation of chemical oxygen demand at the beginning of rainy season in the Changjiang Estuary. *Chin J Oceanol Limnol*, 25(3): 254—260
- Keister J E, Houde E D, Breitburg D L, 2000. Effects of bottom-layer hypoxia on abundances and depth distributions of organisms in Patuxent River, Chesapeake Bay. *Mar Ecol Prog Ser*, 205: 43—59
- Mills C E, 2001. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? *Hydrobiologia*, 451: 55—68
- Niggli W, Naumann M S, Struck U *et al*, 2010. Organic matter release by the benthic upside-down jellyfish *Cassiopea* sp. Fuels pelagic food webs in coral reefs. *J Exp Mar Bio Eco*, 384: 99—106
- Schneider G, 1989. The common jellyfish, *Aurelia aurita*: standing stock, excretion and nutrient regeneration in the Kiel Bight, Western Baltic. *Mar Biol*, 100: 507—514
- Song Jinming, 2010. Biogeochemical Processes of Biogenic Elements in China Marginal Seas. Springer-Verlag GmbH & Zhejiang University Press, 1—662
- Song Jinming, Zhan Binqu, Li Pengcheng, 1996. Dissolved oxygen distribution and O₂ fluxes across the sea-air interface in East China Sea waters. *Chin J Oceanol Limnol*, 14(4): 297—302
- Titelman J, Riemann L, Sørnes T A *et al*, 2006. Turnover of dead jellyfish: stimulation and retardation of microbial activity. *Mar Ecol Prog Ser*, 325: 43—58
- West E J, Welsh D T, Pitt K A, 2009. Influence of decomposing jellyfish on the sediment oxygen demand and nutrient dynamics. *Hydrobiologia*, 616: 151—160

SIMULATION OF DISSOLVED OXYGEN (DO) VARIATIONS DURING THE DECOMPOSITION PROCESS OF *NEMOPILEMA NOMURAI*

SONG Jin-Ming¹, MA Qing-Xia^{1,2}, LI Ning¹, LI Xue-Gang¹, YUAN Hua-Mao¹,
DUAN Li-Qin¹, QU Bao-Xiao^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049)

Abstract To understand the influence of the decaying process after a large jellyfish bloom on marine environment, laboratory simulation experiments were performed to study the variations of dissolved oxygen (DO) during the decomposition process of *Nemopilema nomurai* at different temperature, pH, salinity, and N/P ratios. The results suggested that the decomposition of *N. nomurai* needed a great deal of oxygen, and the extents of DO decrease were not significantly different under different temperature, pH, salinity, and N/P ratio conditions. Complete decomposition of *N. nomurai* generally took about 6—7 days and more time was needed under high N/P conditions. The decomposition of *N. nomurai* caused severe hypoxia of the seawater and the oxygen concentration was below 20% of saturation. Oxygen consumption in the simulation experiments dramatically increased from the second day to the third day and it peaked on the sixth or the seventh day. However, the high DO consumption rates under different N/P conditions appeared in the second day and continued to the seventh day. Different temperature, salinity, pH and N/P ratios in the seawaters caused variations in the extents of DO consumption during the decomposition process. The extents of DO consumption were in the order of temperature (23—30°C) > pH (5.0—9.0) > salinity (21—33) > N/P ratio (16:1—240:1), and the values of 39.9, 39.7, 38.0, and 35.9 mg/(kg·d), respectively. Consequently, the influence of temperature and pH on the DO consumption was more significant and the influence of N/P ratio and salinity was relatively small.

Key words Dissolved oxygen (DO), Marine environment factors, Decomposition *Nemopilema nomurai*, Simulation test