沙海蜇(*Nemopilema nomurai*)模拟消亡过程中 氮与磷的释放^{*}

李学刚¹ 李 宁¹ 马清霞^{1,2} 袁华茂¹ 段丽琴¹ 宋金明¹

(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 在实验室内模拟研究了沙海蜇消亡过程中氮与磷的释放特征。模拟结果表明:沙海蜇消亡 过程中向水体释放氮、磷可分为两个阶段,且氮的释放速率比磷高一个数量级。在沙海蜇消亡的初 期阶段,水体中溶解态氮、磷和总氮、总磷的浓度迅速增高,氮可以达到其消亡过程中的最高浓度; 在后期阶段,水体中溶解态氮和总氮的浓度不断下降,但水体中的磷在这一阶段达到消亡过程中的 最高浓度碱性条件有利于氮的释放,酸性条件有利于磷的释放;盐度越高氮与磷的释放速率越小; 温度对氮、磷的释放影响不大;水体中氮与磷含量越高,沙海蜇消亡的速度越慢,而且氮的浓度越高, 氮与磷释放到水体中的速率就越慢。

关键词 沙海蜇, 氮与磷, 释放速率, 模拟实验 中图分类号 Q178.1; Q958.885.3

近年来,不同种类的水母在全球许多海域中的 数量增加, 甚至出现了暴发的事件, 而水母暴发将使 海洋生态系统结构和功能遭到严重破坏,造成渔业大 幅减产,甚至全面衰退(张芳等,2009;江红等,2010)。 因此探讨水母暴发可能对生态系统造成的影响已成 为当前国际热点课题之一。虽然水母中总有机质的含 量较低, 一般小于水母湿重的 3%, 但因水母暴发所产 生的生物量巨大, 它们可以在短时间内通过捕食浮 游植物迅速聚集大量的碳和营养盐而成为巨大的碳 和营养盐库(Mills, 2001; Pitt et al, 2009), 其死亡后迅 速破碎、分解,并可在 5 天内分解完毕(Titelman et al, 2006)。已有的研究结果显示,在水母旺发期结束后, 水母尸体可直接向水体中释放 DOC, 向水体中释放 的总有机碳速率高于水母旺发期一个数量级,并伴随 细菌的矿化作用而产生大量的 NH_4^+ 和 PO_4^{3-} 。很显然, 大量水母的消亡对生态系统的营养盐体系产生显著的 影响(Hay, 2006; West et al, 2009), 但有关水母消亡过 程中营养盐的释放过程和影响因素的研究报道却很少。

自 20 世纪 90 年代中后期起,东海北部及黄海海 域连年发生大型水母的暴发现象,在该海域可形成 暴发的大型水母种类主要有沙海蛰、白色霞水母、多 管水母和马来沙水母,其中主要优势种为沙海蜇 (*Nemopilema nomurai*)(程家骅等,2005;丁峰元等, 2007)。本文以沙海蜇为研究对象,在实验室内模拟研 究了沙海蜇消亡过程中氮与磷的释放特征。

1 模拟实验与样品分析

在实验室内模拟研究沙海蜇消亡过程中氮与磷 的释放特征及其影响因素,设计了自然海水条件和 不同 pH、盐度、温度、DN/DP比条件下沙海蜇的消 亡实验,其中 pH 设计了 3 个梯度(pH 5, pH 8, pH 9), 盐度设计了 4 个梯度(21、24、27、30.4),温度设计 了 3 个梯度(23℃、27℃、30℃),氮与磷的浓度设计 了 3 个梯度(1: DN-64.0µmol/L, DP-0.8µmol/L; 2: DN-116.0µmol/L, DP-0.8µmol/L; 3: DN-192.0µmol/L, DP-0.8µmol/L)。培养试验所用培养箱为白色透明塑

委员会创新群体项目, 41121064 号。李学刚, 副研究员, E-mail: lixuegang@qdio.ac.cn 通讯作者: 宋金明, 博士, 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

^{*} 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

料箱,海水为青岛汇泉湾海水(经 63μm 筛绢过滤), 水母为青岛仰口海域捕获的沙海蜇。在模拟实验过程 中每一箱中加水 30L,沙海蜇 5kg(伞部 : 口腕部比 约为 4:1)。将当天捕获的沙海蜇用海水清洗后分割、 称重并放入培养箱中,从第二天起,每天观察培养箱 中沙海蜇的存在状况并采集表层海水 100ml,当培养 箱中观察不到沙海蜇碎块时试验结束。

取部分所采集的水样过 63µm 筛绢,测定海水中 的总氮(TN)和总磷(TP),取部分所采集的水样过 GF/F 膜,测海水中溶解态氮(DN)和溶解态磷(DP)。氮 和磷按《海洋调查规范-海水化学要素调查》(GB/T 12763.4-2007)中总氮、总磷的方法的测定。其中,总 氮是将海水样品在碱性和 110—120℃条件下用过硫 酸钾氧化,将有机氮化合物、亚硝酸氮和铵态氮同时 转化为硝酸氮,然后用锌镉还原法将硝酸氮还原为 亚硝酸盐,再用重氮-偶氮法测定;总磷是将海水样 品在酸性和 110—120℃条件下用过硫酸钾氧化,将 有机磷转化为无机磷,然后用磷钼蓝分光光度法测 定。沙海蜇消亡过程中氮、磷的释放速率根据采样当 天海水中氮、磷浓度与其前一天浓度的差值来计算,即:

氮(磷)释放速率 =
$$\frac{(C_1 - C_0)V \times M}{G \times d}$$

式中, *C*₁为采样当天水体中氮(磷)浓度(µmol/L), *C*₀为 采样前一天水体中氮(磷)浓度(µmol/L), *V*为采样当天 水体体积(L), *M*为氮(磷)分子量; *G*为水母的重量(本 实验取 5kg), *d*为采样时间间隔(本实验为 1d)。

2 结果与讨论

2.1 沙海蜇消亡过程中氮与磷的释放

沙海蜇消亡过程中向水体释放氮与磷的过程可 以根据水体中溶解态氮、磷或水体中总氮、总磷含量 随沙海蜇消亡时间的变化来反映。图 1A、B、C、D 是沙海蜇残体在自然海水(未经过任何改变的天然海 水,pH约8.0,盐度30.4)和自然条件(培养过程中不加 任何人为控制因素,温度在 26—28℃之间,平均 27 ℃)下消亡所导致的海水中溶解态氮、磷和总氮、总 磷的浓度随时间的变化。从中可以看出海水中溶解态 氮和总氮浓度的变化趋势一致,都是从第1天开始浓 度迅速增高,到第3天浓度达到最高,其后浓度逐渐 降低并趋于稳定。表明沙海蜇在消亡过程中其所含的 氮不断释放到水体中。沙海蜇消亡过程中其所含的 以划分为两个阶段,其中第一个阶段是从沙海蜇开始 分解的第1天到第3天,可看作是沙海蜇消亡的初期。



图 1 沙海蜇消亡过程中海水中 氮、磷以及溶解态氮磷比的变化 Fig.1 The variation of nitrogen, phosphorus and the ratios of dissolved nitrogen and phosphorus during the process of *N. nomurai* decomposition in sea water A. 溶解氮, B. 总氮, C. 溶解磷,

```
A. 溶解氮, B. 忌氮, C. 溶解磷,
D. 总磷, E. 溶解态氮磷比
```

氮浓度在第3天达到最大,其中溶解态氮浓度升高到 1042 μmol/L,总氮浓度升高到1650μmol/L,第3天 溶解态氮的释放速率为39.2mg/(kg·d),总氮的释放速 率为45.6mg/(kg·d);其后,水体中溶解态氮和总氮浓 度都不同程度的下降,从第4天到沙海蜇完全消亡这 一时段可称为沙海蜇消亡的后期阶段。在后期阶段, 随着沙海蜇的消亡,沙海蜇逐渐分解成较细的颗粒,

在此期间沙海蜇仍 然以较大的块体存 在,但其体内的氮 快速释放进入水体 中,在第1天培养 水体中的溶解态氮 就由 25.6µmol/L 上 升到 350µmol/L, 总氮浓度也增加了 667µmol/L, 同时 由于沙海蜇分解形 成的颗粒仍然较大, 对水体中氮的吸附 量较小, 也在一定 程度上促进了水体 中氮浓度的迅速升 高,第1天溶解态 氮的释放速率为 27.2mg/(kg·d), 总 氮的释放速率为56 mg/(kg·d), 这也是 沙海蜇消亡过程中 总氮的最大释放速 率(表 1); 第 2 天溶 解态氮的浓度增加 533umol/L. 总氮 的浓度增加 348 µmol/L, 第 2 天溶 解态氮的释放速率 为42.4mg/(kg·d), 这 也是沙海蜇消亡过 程中溶解态氮的最 大释放速率(表 1). 总氮的释放速率为 27.7mg/(kg·d); 水 体中溶解态氮和总

表 1	不同培养条件	下沙海蜇消1	亡过程中氮	与磷的释;	放速率
-----	--------	--------	-------	-------	-----

Tab.1 The rates of nitrogen and phosphorus release during the process of *N. nomurai* decomposition under different incubation conditions

培养条件 -		第一	第一天氮与磷的释放速率[mg/(kg·d)]			氮与磷的最大释放速率[mg/(kg·d)]			
		DN	TN	DP	TP	DN	TN	DP	TP
自然水体		27.2	56.0	1.33	2.52	42.4	56.0	2.64	3.72
pH	5	10.6	39.5	1.08	2.17	53.7	39.5	3.25	4.46
	8	27.2	56.0	1.33	2.52	42.4	56.0	2.64	3.72
	9	46.4	56.2	1.33	2.14	46.4	56.2	1.33	2.51
盐度	21	3.61	6.4	1.32	1.52	62.7	56.3	4.80	5.00
	24	9.70	16.3	0.50	2.75	73.9	68.9	3.19	3.00
	27	11.4	27.3	0.60	4.17	61.4	64.0	2.45	4.17
	30.4	27.2	56.0	1.33	2.52	42.4	56.0	2.64	3.72
温度	23°C	62.5	81.4	1.13	2.61	62.5	81.4	3.33	2.61
	27°C	27.2	56.0	1.33	2.52	42.4	56.0	2.14	3.72
	30℃	97.0	127	2.00	4.95	97.0	127	2.55	4.95
不同氮磷浓度	1	19.1	82.5	1.51	1.58	45.8	82.5	1.51	1.80
	2	34.2	54.1	1.03	2.98	34.2	54.1	1.03	2.98
	3	56.7	47.3	1.72	1.31	58.0	47.3	4.25	1.36

注: 1) 不同氮磷浓度, 数字分别表示: 1: DN-64.0µmol/L, DP-0.8µmol/L; 2: DN-116.0µmol/L, DP-0.8µmol/L; 3: DN-192.0µmol/L, DP-0.8µmol/L

其对海水中氮的吸附能力逐渐增强,导致海水中溶 解态的氮并不随沙海蜇的消亡而升高。同时在这一阶 段可以明显观察到许多较细的颗粒物沉降到培养装 置的底部,这直接导致了水体中颗粒态的氮移出水 体,使水体中总氮浓度也不断降低。

与氮的释放过程类似,沙海蜇消亡过程中磷的 释放也表现为两个阶段,但因氮与磷的性质不同,其 具体表现特征明显不同。在沙海蜇消亡过程中海水中 溶解态磷和总磷的浓度变化特征一致,都有两次跃 升, 第一次是沙海蜇消亡1天后, 海水中溶解磷和总 磷的浓度都有一个明显升高(图 1C、D)。第1天沙海 蜇消亡过程中溶解态磷和总磷的释放速率分别为 1.33mg/(kg·d)、2.52mg/(kg·d); 其后的第 2 和第 3 天 水体中磷的浓度基本稳定,第4天,海水中的溶解态 磷和总磷浓度又有一个跃升, 第4天溶解态磷和总磷 的释放速率分别为 2.64mg/(kg·d)、 3.72mg/(kg·d), 也 达到最大; 其后水体中溶解态磷和总磷的浓度虽不 断增加,但增加速度变慢。海水中溶解磷和总磷的这 种变化表明沙海蜇消亡过程中磷的释放也分两个阶 段,在沙海蜇消亡的初期阶段,因沙海蜇仍以较大的 块体存在,释放的磷较少,在沙海蜇消亡的后期阶段, 沙海蜇逐渐分解成较细的颗粒,释放的磷较多,但因 水体中的磷主要以无机形式存在, 被颗粒物吸附的 量也较少、导致水体中溶解态磷和总磷都不断增加。

从沙海蜇消亡过程中培养水体中 DN/DP 比的变 化看(图 1E),在沙海蜇消亡的初期阶段,水体中 DN/DP 比迅速升高并在第3天达到最大值229:1;在 沙海蜇消亡的后期阶段,水体中的 DN/DP 比迅速降 低并逐渐趋于稳定,DN/DP 比约为24:1,初期阶段 的 DN/DP 比显著高于后期阶段。DN/DP 比的这种变 化特征也在一定程度上反映了沙海蜇消亡过程中氮 比磷更易于释放。

2.2 环境因子对沙海蜇消亡过程中氮与磷释放的影响 2.2.1 pH的影响 调整培养海水的 pH, 使其分别 为 pH=5 和 pH=9, 观察其中沙海蜇的消亡特征, 并与 自然海水(pH 8)中沙海蜇的消亡特征相对比,探讨 不同 pH 海水对沙海蜇消亡过程中氮与磷释放的影 响。图 2A、B 是不同 pH 海水中沙海蜇消亡所导致的 海水溶解态氮、磷浓度随时间的变化。pH 对氮、磷 释放的影响并不一致。在沙海蜇消亡的初期阶段,不 同海水 pH 条件下水体中溶解态氮的浓度变化不大, 但氮的释放速率变化较大(表 1)。碱性条件下第 1 天 沙海蜇释放氮的速率更大,这与碱性条件更有利于 有机质的溶解有关。在后期阶段, 无论是在 pH=5 还 是 pH=9 的条件下, 水体中溶解态无机氮的含量都明 显增加, 这是因为偏酸或偏碱的条件不利于颗粒物 对沙海蜇所释放氮的吸附, 使所释放的氮更多的进 入水体。海水 pH 对磷的影响相对比较简单。从图 2B

温度梯度的设计

可以看出,不同 pH 条件下水体中 溶解态磷的含量变 化基本一致,在不 同海水 pH 条件下 沙海蜇释放磷的差 异不大,但从磷的 最大释放速率看, 偏酸性的条件更有 利于磷的释放。 2.2.2 盐度的影响

-**o**- pH=5 -**∆**- pH=8 -**∎**- pH=9

添加不同比例的蒸 馏水,改变海水的 盐度,以研究海水 盐度对沙海蜇消亡 过程中释放氮与磷

在自然海水中



in sea water

A. 溶解氮, B. 溶解磷 的影响。从理论上 来说盐分的存在有利于沙海蜇的保存,将延缓沙海 蜇的分解,而且盐度越高其分解速率就越低。从不同 盐度下沙海蜇释放氮与磷的速率来看(表 1), 沙海蜇 释放氮与磷的速率在消亡的后期阶段高于初期阶段, 特别是其释放氮与磷的最高速率远高于第1天的。从 氮与磷的最大释放速率看,盐度为 30.4 时的释放速 率明显低于盐度为 21 时的, 说明高盐度不利于氮与 磷的释放,这与理论结果一致。第1天氮与磷的释放 速率之所以表现为盐度越高氮与磷的释放速率越高, 是由沙海蜇本身的特性决定的。由于第1天的沙海蜇 比较新鲜、各组织比较完整,同时沙海蜇本身含有大 量的水分,沙海蜇体内与外界溶液的盐度差越大,沙 海蜇体内的水分渗出越多, 而随水分释放的氮与磷 就越多,这就导致外界溶液的盐度越低释放的氮与 磷就越少。从不同盐度条件下沙海蜇消亡过程中释放 的氮与磷所导致的培养水体中溶解态氮、磷浓度的变 化(图 3A、B)看,在培养的初期,水体中溶解态氮、 磷的浓度较低,而后期溶解态氮、磷的浓度较高,而 且在沙海蜇消亡结束时总体上表现为水体的盐度越 低,水体中溶解态氮、磷的浓度增加就越大,也与理 论结果一致。

2.2.3 温度的影响 从理论上来说, 温度越高应 当越有利于沙海蜇的分解,释放到水体中的氮与磷 应当越快,但从培养结果看,温度对沙海蜇消亡过程 中氮与磷释放的影响和理论分析相差甚远。本次试验



盐度对沙海蜇消亡过程中氮、 图 3 磷释放的影响

Fig.3 Salinity influence on the release of nitrogen and phosphorus during the process of N. nomurai decomposition in sea water





温度对沙海蜇消亡过程中氮、 图 4 磷释放的影响



是根据沙海蜇暴 发消亡时实际海 水的温度确定的, 最低水温控制在 23℃,最高水温控 制在30℃,温度范 围比较窄。从沙海 蜇消亡释放氮与 磷的速率来看(表 1), 虽然没有表现 出温度越高氮与 磷释放速率越大 的特征,但温度最 高的30℃时、氮与 磷的释放速率仍 然是最高的。从图 4A、B 看, 无论是 培养水体中最高 的氮、磷浓度增加 量,还是氮、磷浓 度的整个变化过 程,受温度的影响 并不显著。之所以 出现这种结果,可 能与培养实验所 设计的温度变化 梯度过窄有关。因 此,在培养实验控 制的温度范围内, 温度对沙海蜇消 亡过程中氮与磷 的释放影响不大。 2.2.4 氮、磷浓度 对沙海蜇消亡过

程中氮与磷释放

为探讨不同氮、磷浓度对沙海蜇消亡过程 的影响 中释放氮与磷的影响,在培养水体(DN: 13.64µmol/L, DP: 0.05µmol/L)中添加不同比例的 NaNO3和 KH2PO4, 使培养水体中的 DN 和 DP 分别为 64.0µmol/L、0.8 µmol/L; 116.0µmol/L、 0.8µmol/L; 192.0µmol/L、 0.8 umol/L。培养结果见图 5A、B, 图中的总氮和总磷为 减去所添加氮、磷量后水体中的总氮和总磷。可以看

出, 高氮、磷浓度 条件下所释放的氮 使水体中氮的浓度 增加最大为 1338 umol/L, 低于自然 条件下总氮增加的 最大浓度 (1623 µmol/L), 而且氮 的浓度越高,在相 同时间内释放到水 体中的总氮就越少, 表明水体中较高的 氮、磷浓度将抑制 沙海蜇消亡过程中 氮的释放。虽然磷 的释放没有明显表 现出氮与磷的浓度 越高, 在相同时间 释放到水体中的总 磷就越少的特征, 但在高浓度氮条件



图 5 不同氮磷浓度对沙海蜇消亡过 程中氮、磷释放的影响

Fig.5 The influence of different nitrogen and phosphorus concentrations on the release of nitrogen and phosphorus during the process of *N. nomurai* decomposition in sea water

A. 总氮, B. 总磷。1: N-64.0µmol/L,
 P-0.8µmol/L; 2: N-116.0µmol/L,
 P-0.8µmol/L; 3: N-192.0µmol/L,
 P-0.8µmol/L

下所释放到水体中的磷明显比自然条件下少得多, 表明水体中较高的氮浓度也将抑制沙海蜇消亡过程 中磷的释放。从沙海蜇消亡过程中释放总氮、总磷的 速率看,氮的浓度越高,总氮和总磷的释放速率也越 低。另外,就培养过程中观察到的现象来看,添加氮 与磷的一组沙海蜇的消亡速率也小于其它条件下的, 沙海蜇经过 8d 才分解完毕,多于其它组的 7d,这也 从一个方面说明较高的氮、磷浓度不利于沙海蜇消亡 过程中氮与磷的释放。

3 结论

沙海蜇消亡过程中向水体释放氮、磷可以分为两 个阶段,且氮和磷的释放过程有明显不同,氮的释放 速率比磷高一个数量级。在沙海蜇消亡的初期阶段, 仍然以较大的块体存在,但其体内的氮、磷快速进入 水体中,导致水体中溶解态氮、磷和总氮、总磷的浓 度迅速增高,氮可以达到其消亡过程中的最高浓度, 其中溶解态氮可达 1042μmol/L,总氮可达 1650μmol/L, 溶解态氮的释放速率最高可达 42.4mg/(kg·d),总氮的 释放速率最高可达 56mg/(kg·d),水体中 DN/DP 比迅 速升高并在第3天达到最大值229:1;在沙海蜇消亡 的后期阶段,沙海蜇分解成较细的颗粒,并且有相当 一部分颗粒沉降到水底,所释放的氮因被颗粒物吸 附并随颗粒物沉降到水底,导致水体中溶解态氮和 总氮的含量反而下降, 而水体中的磷因不被颗粒物 吸附其含量不断增加,水体中的磷可以达到消亡过 程中的最高浓度, 其中溶解态磷可达 28.2µmol/L, 总 磷可达 37.9μmol/L, 溶解态磷的释放速率最高可达 2.64mg/(kg·d), 总磷的释放速率最高可达 3.72mg/(kg·d), 水体中的 DN/DP 比迅速降低至 24:1 并逐渐趋于稳 定。海水 pH 对氮与磷释放的影响表现为碱性条件有 利于氮的释放,酸性条件有利于磷的释放。盐度越高 氮和磷的释放速率越小、所释放的氮和磷的量也越 少。温度对沙海蜇消亡过程中氮和磷的释放影响不大; 海水中氮与磷的含量对沙海蜇消亡过程中氮、磷的释 放影响表现为,水体中氮和磷含量越高,沙海蜇消亡 的速度越慢, 而且氮的浓度越高, 氮和磷释放到水体 中的速率就越慢,因此在富营养化的海水中沙海蜇消 亡释放氮和磷的速度会变慢。

参考 文献

- 丁峰元,程家骅,2007.东海区沙海蜇的动态分布.中国水产 科学,1:83—89
- 江 红,程和琴,徐海根等,2010.大型水母爆发对东海生态
 系统中上层能量平衡的影响.海洋环境科学,29(1):91—
 95
- 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
- 程家骅,丁峰元,李圣法等,2005.东海区大型水母数量分布 特征及其温盐度的关系.生态学报,25(3):440—445
- Hay S, 2006. Marine ecology: gelatinous bells may ring change in marine ecosystems. Current Biology, 16: 679–682
- Mills C E, 2001. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? Hydrobiologia, 451: 55–68
- Pitt K A, Welsh D T, Condon R H, 2009. Influence of jellyfish blooms on carbon, nitrogen and phosphorus cycling and plankton production. Hydrobiologia, 616: 133–149
- Titelman J L, Riemann T A, Sornes T *et al*, 2006. Turnover of dead jellyfish: stimulation and retardation of microbial activity. Marine Ecology Progress Series, 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

NITROGEN AND PHOSPHORUS RELEASE FROM *NEMOPILEMA NOMURAI* IN SIMULATED DECOMPOSITION

LI Xue-Gang¹, LI Ning¹, MA Qing-Xia^{1, 2}, YUAN Hua-Mao¹, DUAN Li-Oin¹, SONG Jin-Ming¹

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

Abstract Jellyfish populations grew rapidly to attain large biomasses and therefore represent significant stocks of carbon and nitrogen in the ecosystem. Blooms were also generally short-lived, lasting for just weeks or months, after which time the population decline rapidly, sink and decompose. The releases of nitrogen and phosphorus from decomposing Nemopilema nomurai were examined in a series of experiments at different pH values, salinities, temperatures and nitrogen and phosphorus concentrations as incubate conditions. The release of nitrogen and phosphorus from decomposing N. nomurai could be divided into two stages, but the releases of nitrogen and phosphorus were quite different, and the nitrogen effluxed at rates more than one order greater than phosphorus. In the early stages of N. nomurai decomposition, the concentrations of dissolved nitrogen, dissolved phosphorus, total nitrogen and total phosphorus in sea water increased rapidly. The concentration of nitrogen was highest in the whole degradation process, which dissolved nitrogen reached 1042µmol/L, total nitrogen reached 1650µmol/L, dissolved nitrogen release rates reached 44.8mg/(kg·d), total nitrogen release rates reached 56mg/(kg·d), DN/DP ratio increased rapidly and reached maximum 229 : 1. In the later stages of N. nomurai decomposition, the concentration of dissolved nitrogen and total nitrogen continues to decline, while the phosphorus concentration in water can reach the maximum concentration during the degradation process, which dissolved phosphorus reached 28.2µmol/L, total phosphorus reached 37.9µmol/L, dissolved phosphorus release rates reached 3.14mg/(kg·d), total phosphorus release rates reached 4.4mg/(kg·d), the DN/DP ratio decreased rapidly to 24 : 1 and gradually stabilized. Sea water pH had different influence on the release of nitrogen and phosphorus. Alkaline conditions favor the release of nitrogen, and acidic conditions favor the release of phosphorus. The nitrogen and phosphorus release rates increased with the salinity of sea water, and the amount of nitrogen and phosphorus released increased with their rates. Temperature had little impact on the release of nitrogen and phosphorus during the process of N. nomurai decomposition. The content of nitrogen and phosphorus in sea water had significant impact on the release of nitrogen and phosphorus. The rate of N. nomurai decomposition decreased with the increase of nitrogen and phosphorus content in sea water. The nitrogen and phosphorus release rates decreased with the increase of the concentration of nitrogen. So the rate of nitrogen and phosphorus release would be slowed during the process of N. nomurai decomposition in the eutrophication sea water.

Key words Nemopilema nomurai, Nitrogen and phosphorus, Release rate, Simulation test