

蟹类底栖动物对河口潮滩无机氮界面交换的影响

刘杰, 陈振楼, 许世远, 王东启, 郑祥民

(华东师范大学 资源与环境科学学院, 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要:以长江河口的沿岸及岛屿潮滩高潮滩湿地为研究区域, 结合现场调查和实验室模拟分析, 初步研究了大型穴居底栖动物无齿相手蟹(*Sesarma denaan*)活动对长江口潮滩沉积物水界面无机氮交换以及界面处氮的生物地球化学循环的影响。结果表明, 高潮滩蟹类底栖动物活动对潮滩滩面地貌施加了显著的改造作用, 蟹类活动较集中的地段, 蟹洞覆盖率达到2%~3%, 滩面掘出沉积物高达1~1.5 kg/m²。潮水淹没情况下, 小范围内高密度的蟹类活动能通过机体排泄、加强沉积物再悬浮及促进沉积物水界面溶质交换等方式致使沉积物出现三态无机氮的巨大释放。蟹类活动造成的洞穴结构及对沉积物的翻动混合能增加沉积物中的氧气含量, 促进沉积物中有机氮的矿化和NH₄⁺的释放, 造成无机氮在沉积物中的剖面分布特征发生较大变化。

关键词:长江口; 潮滩沉积物; 蟹类底栖动物; 无机氮; 影响

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2008)02-0010-07

作为连接河流和海洋的通道, 河口潮流水动力作用强烈, 泥沙输移和物质交换频繁, 物理化学要素梯度变化大, 是河流淡水和海洋环境的动力交汇点。同时, 河口是淡水和海洋栖息地间交错区的生态系统, 其结构复杂、功能独特、生物种类丰富多样。作为入海污染物的环境过滤器, 潮滩沉积物是河口生态系统氮的主要归宿场所, 对陆源氮负荷的削减受到越来越多的关注, 这一功能的实现无不与氮在潮滩沉积物-水界面的迁移转化行为有关。大型底栖动物通过它们的取食、掘穴和通气活动能对海洋沉积物的物质代谢和微生物活动产生重要的影响, 这是近几十年来被相关学界广泛关注的热点问题^[1,2]。然而, 国内相关的研究基础薄弱, 成果匮乏, 而相对于其他类底栖动物, 蟹类活动对河口潮滩界面物质循环的影响研究更为少见。

在河口潮滩的高位盐沼以及潮区河流的岸滩上常栖居着种类繁多、栖息密集的蟹类底栖动物。不论从数量上还是从生物总量上看, 它们都属于最庞大的动物群体。蟹类在取食、掘穴、栖息和滩面运动过程中将对潮滩沉积物表面结构进行主动的改造和破坏, 待高潮海水淹没时, 滩面这些蟹类的活动痕迹进而影响到沉积物-水界面的颗粒及溶解质的交换。作者以长江河口的沿岸及岛屿潮滩湿地为研究区域, 基于实验室模拟的对比分析方法, 初步研究了

这种穴居蟹类底栖动物活动对长江口潮滩沉积物-水界面无机氮交换以及界面处氮的生物地球化学循环的影响。

1 野外调查和室内实验方法

长江每年携带 4.68×10^8 t 泥沙, 其中 50% 左右沉积在长江口^[3], 使长江口成为典型的淤泥质潮滩分布区, 滨海湿地广泛发育, 面积达 40 470 hm²^[4]。目前长江口滨海湿地主要包括崇明东滩、横沙浅滩、南汇东滩等河口岛屿及边滩潮间带湿地, 以及长兴岛头部岸滩、南支各沙洲和刘海拦门沙等河口沙洲湿地^[5]。作者选取长江口南岸浒浦镇边滩潮间带湿地以及崇明东滩潮间带湿地为典型采样断面(图1)。长江口潮滩湿地共有大型底栖动物 68 种, 河蚶(*Corbicula fluminea*)、光滑狭口螺(*Stenothyra glabra*)和无齿相手蟹(*Sesarma denaan*)等为代表物种^[6], 其中蟹类以无齿相手蟹分布最广, 生物量最大, 因此被选为本研究的实验动物种。

收稿日期: 2005-03-14; 修回日期: 2005-09-17

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40131020); 国家自然科学基金项目(40173030); 上海市科委重大项目(04DZ19301); 上海市基础研究重点项目(02DJ14029); 教育部优秀青年教师资助计划项目
作者简介: 刘杰(1977), 男, 湖南浏阳人, 博士研究生, 从事滨岸生物地球化学研究, 电话: 021-62232374

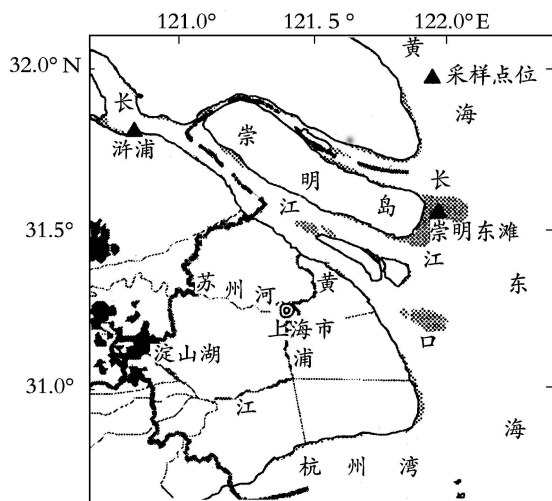


图1 采样点位

Fig.1 Sampling site Yangtze river delta

蟹类动物在潮滩上的运动形式多样,如步行、奔跑、埋伏、游泳、穴居等,其活动的水平和垂直的空间范围都很广,栖息穴可深至高潮滩的地下水位附近,单个个体可随着潮水的涨落活动于不同的潮滩部位,进行现场实验研究有一定的难度。为尽可能模拟现场的条件,作者设计了一套玻璃水箱(后文简称蟹箱)做为螃蟹的活动场所,采用短时水淹和长期暴露相间的方式模拟高潮滩的自然状况。蟹箱由5块40 cm × 40 cm 的玻璃粘合而成(无顶立方体),箱内用30 cm 高的玻璃片分割成4个相等的隔间(图2)。

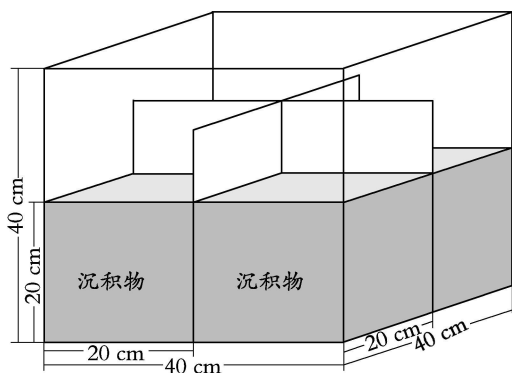


图2 蟹箱示意图

Fig.2 Sketch figure of crab incubation box

野外采样于2002年7月进行,在浒浦和崇明高潮滩没有蟹类活动的区域各采取20 cm × 20 cm × 20 cm 的块状沉积物4块,同步进行高潮滩样方调查和无齿相手蟹活体样本采集。沉积物样品带回实验室后分别装入蟹箱隔间底部,蟹箱的下半部分用蔽光材料包裹。

采样时作者还对崇明高潮滩无齿相手蟹的栖息情况作了现场的调查和沉积物的采样。在高潮滩无齿相手蟹密集活动的区域随机选取50 cm × 50 cm 的样地5~7个,先用数码相机对样地进行拍照,然后用小铲将样地内的螃蟹掘出物铲起运回实验室烘干后进行称质量,现场蟹洞的照片回实验室后用地理信息系统软件 Arcview3.2 统计洞口面积。

高潮滩滩面大部分时间是处于干燥的状态,只有在大潮的时候才能完全被潮水淹没,本研究采用短暂淹水和长期干燥相间隔的实验来模拟现场的情况。实验开始前用当地上覆水灌满蟹箱使4个隔间的水流相通,通气培养3 d,其间经常撬动蟹箱,让沉积物块与隔壁之间的缝隙逐渐闭合。实验开始时,先用虹吸的方法将各个隔间内的上覆水吸干,然后向每个蟹箱的两个隔间内投放与样方调查相似密度的无齿相手蟹,后文称有蟹隔间,另两个保持原状作为对照隔间。实验时间跨度比较长,为保证实验用上覆水水质的均匀,作者将当地上覆海水滤除悬浮物后充分混合均匀,然后将其分装入5 L 塑料水桶内冷冻保存,待采样前取一定数量上覆水解冻使用。采样工作于第5,15,30,50天进行,浒浦由于没有足够的上覆水可用只进行了前三次采样。采样时,蟹箱每个隔间用3 L 上覆水淹没,充气培养5~6 h,采取始末时刻水样,取出的水样(40 mL)经过滤(0.45 μm),固定(HgCl₂)后冷冻保存。未时刻采样完后用虹吸的方法导出各隔间上覆水,从此时到下一次采样前隔间内沉积物都保持干燥状态,有蟹隔间内洞穴比较发育。最后一次采样吸除上覆水后,先待螃蟹在其中活动约7~8 d,然后用内径8 cm 的PVC管在每个隔间内采取上层10 cm 的柱状沉积物进行切分,切分后样品立即冷冻保存,用于分析可提取态无机氮含量和有机质含量。

水样中无机氮(DIN)用锌-镉还原法(NO₃⁻)、磺胺和盐酸萘乙二胺试剂法(NO₂⁻)以及次溴酸钠氧化法(NH₄⁺)测定^[6],单位为μmol/L。烘干法测定沉积物含水率^[6],灼烧法测定沉积物有机质含量,以烧失重LOI值表示^[7]。沉积物中可交换态氮取湿沉积物用1 mol/L 的KCl溶液(固液比1:10)提取,经振荡(5℃,1 h),离心(3 000 r/min,10 min),过滤(0.45 μm)获得提取液,提取液预处理、保存及三态无机氮分析方法同于水样,单位为μg/g(沉积物干质量)^[8]。所有水样分析

工作在采样后 48 h 内完成, 经平行实验验证, 实验误差在 $\pm 5\%$ 以内。沉积物经研磨后取 1 g 混于 5 mL 蒸馏水中, 加入 10 mL 10% 的 $(\text{NaPO}_4)_6$ 分散剂, 超声波仪中震动 10 min 后, 用美国 LS 13320 型激光粒度仪测定粒度特征。

2 结果与分析

2.1 现场调查结果

崇明东滩高潮滩及上中潮滩蟹类底栖动物活动密度较大, 对潮滩滩面地貌施加了显著的改造作用。2002 年春夏秋三季作者对崇明东滩高中潮滩的样地调查发现, 在蟹类活动较集中的地段, 蟹洞面积约占滩面面积的 2% ~ 3%, 每平方米由蟹类掘穴活动堆积到滩面的沉积物高达 1 kg 以上(表 1)。

表 2 崇明高潮滩沉积物可交换态无机氮

Tab. 2 Exchangable DIN concentration of sediments in high tidal flat of east Chongming tidal flat

沉积物状态	$\text{NO}_2^- \text{N} (\mu\text{g/g})$			$\text{NH}_4^+ \text{N} (\mu\text{g/g})$			$\text{NO}_3^- \text{N} (\mu\text{g/g})$		
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
原沉积物	0.18	0.05	0.04	1.30	0.07	1.04	0.35	0.06	0.35
掘出物	0.01	0.06	0.03	1.34	0.07	0.72	0.21	0.21	0.35
排泄物	0.08	0.64	0.04	3.09	1.75	3.48	1.55	0.76	1.23

从实验结果看, 螃蟹掘出的深层沉积物上吸附的无机氮与蟹洞旁的表层沉积物间并不存在多大差异, 这是因为崇明高潮滩不同深度层次沉积物在无机氮特征上差异原本就不大, 而且下层沉积物暴露在空气中使之和表层沉积物的理化性质更加相近。然而, 螃蟹排泄物上的无机氮(尤其是氨氮)却明显高于前两者。螃蟹取食会选择有机物较丰富的沉积物和碎屑物, 这些有机物质经消化分解造成了无机氮的积累, 是排泄物上无机氮含量高的原因。螃蟹排泄物中含量较高的无机氮在潮水淹没时将在一定程度上导致上覆海水中无机氮的升高。

2.2 蟹箱淹水实验沉积物中无机氮的释放

图 3 给出了蟹箱实验中崇明、浒浦高潮滩沉积物在有/无蟹类掘穴活动条件下沉积物与上覆水之间无机氮交换的对比情况。从图上看, 无论哪种形态的无机氮, 螃蟹的活动都给其界面交换带来了极

表 1 崇明东滩高潮滩螃蟹活动情况调查结果

Tab. 1 Field investigation results of crab activities in high tidal flat of east Chongming tidal flat

季节	样方数	蟹洞占样方面积比例(%)	掘出沉积物干质量(g/m^2)
春	5	2.5 ± 0.7	$1\ 163.4 \pm 538$
夏	6	2.2 ± 0.4	$1\ 547.2 \pm 734$
秋	7	2.3 ± 0.7	$1\ 379.3 \pm 521$

在螃蟹活动的区域, 我们会发现滩面上遍布有其活动的痕迹以及堆积物, 在这些堆积物中, 有的是螃蟹掘洞行为掘出的下层沉积物, 有的是螃蟹在食沉积物时留下的残积物, 还有的是其排泄的粪便残渣, 为了解这些堆积物与上覆水间无机氮的交换情况, 作者在春夏秋季分别采集了少量新鲜的掘出物、排泄物和原沉积物(在紧邻蟹洞区域采取的表层沉积物样)样品回实验室测定其可交换态无机氮质量分数, 结果见表 2。

其显著的影响。

对于 NO_2^- , 对照隔间在实验中主要表现为进入沉积物的交换, 浒浦实验通量为 $-74.74 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 是崇明实验通量值的 10 倍; 有蟹隔间则主要出现 NO_2^- 自沉积物的释放, 崇明实验平均释放通量到达 $165.81 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 而浒浦实验有蟹隔间释放量较小, 且第 30 天则出现了进入沉积物的交换通量。实验中 NH_4^+ 表现为沉积物释放, 崇明和浒浦有蟹隔间 NH_4^+ 的释放量大大超过对照隔间, 释放均值分别是后者的 14.5 倍和 24.8 倍。实验中, 崇明有蟹隔间 NH_4^+ 释放量不断增大, 而浒浦第一次采样就出现了最大 NH_4^+ 释放量。 NO_3^- 交换也主要表现为自沉积物向上覆水释放。相比 NO_2^- 和 NH_4^+ , NO_3^- 释放量在两类隔间上的差异相对较小, 崇明和浒浦有蟹隔间的平均 NO_3^- 释放量均为各自对照隔间的 7~9 倍。

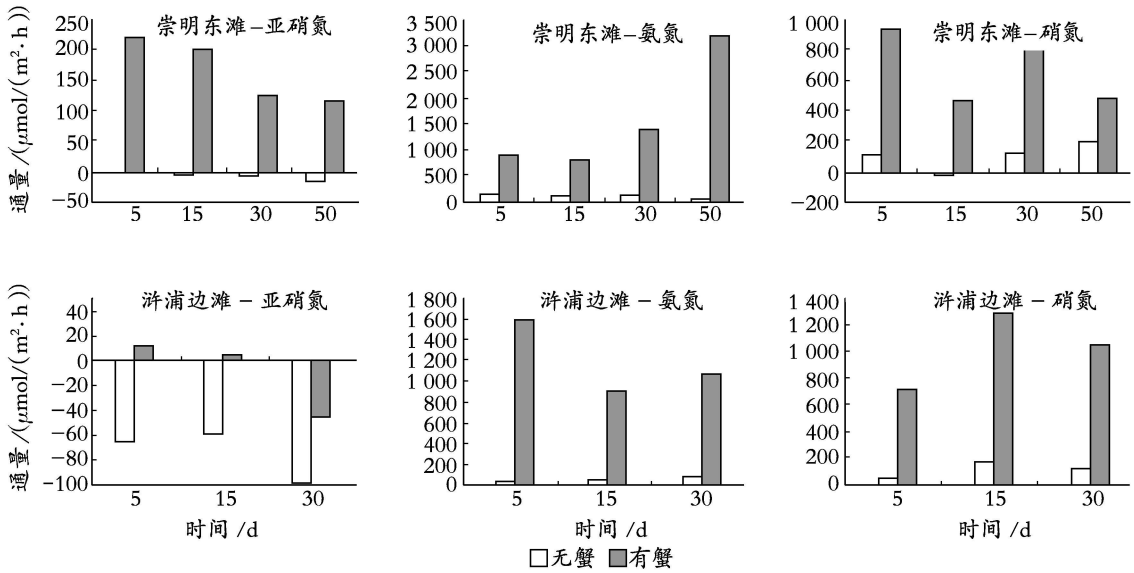


图3 蟹箱实验无机氮的释放通量

Fig. 3 Flux of DIN in crab incubation box experiments

2.3 蟹箱沉积物无机氮和有机质的垂向分布特征

两样点无齿相手蟹生活习性和沉积物颗粒构成的不同造成了各自实验过程的差异。崇明和浒浦沉积物(表层)的平均粒径分别为 24.53 μm 和 20.72 μm, 中值粒径分别为 20.62 μm 和 12.61 μm。崇明的无齿相手蟹能将洞穴掘至 1 m 以上, 蟹箱实验中很容易掘至箱底。崇明高潮滩沉积物偏砂性, 可塑性较差。在每次淹水实验中, 洞穴经水浸和剧烈扰动后基本坍塌, 至干燥培养期螃蟹再次从表面

掘穴至箱底, 由此, 实验期间沉积物已经过充分的翻动混合。浒浦的无齿相手蟹一般生活在高潮滩芦苇的丛林内, 其挖掘的栖息洞穴较浅。在实验中, 浒浦箱中螃蟹洞穴只存在于 0~5 cm 深度的沉积物中, 而浒浦沉积物偏黏性, 可塑性较好, 所以在整个实验中洞穴结构保持良好, 表层洞穴比较密集。

沉积物吸附态 NO_2^- 的质量比比较小而且没有明显的垂直分布规律, 其数值包括在 NO_3^- 中(崇明 NO_2^- 约占总值的 1%~7%, 浒浦约占 2%~15%), 两样点无机氮的垂直分布情况见图 4。

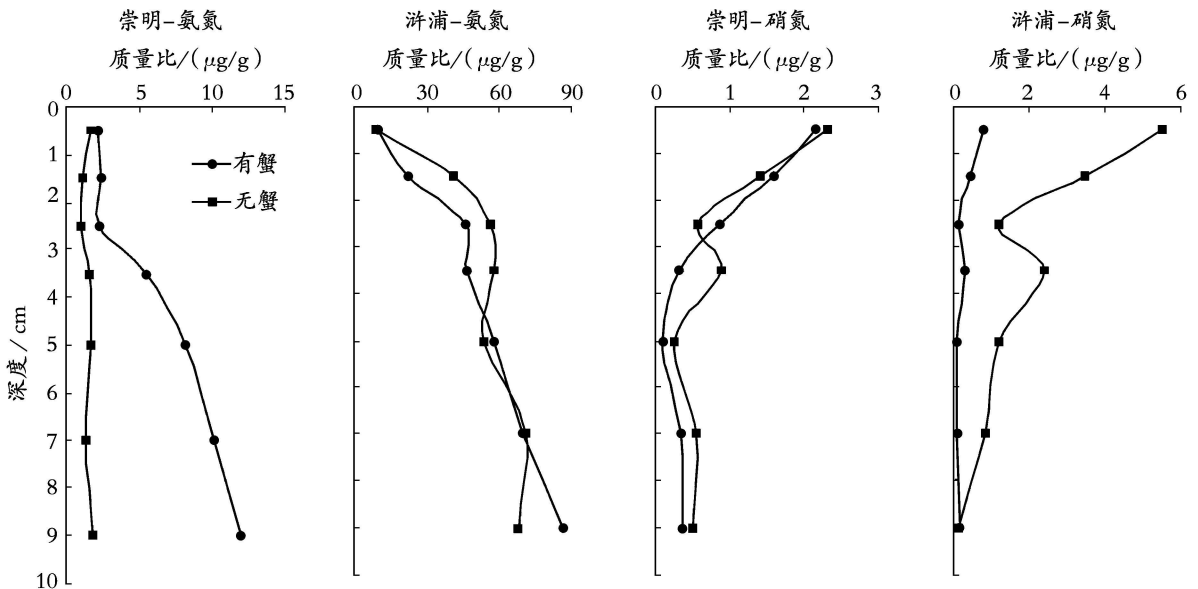


图4 蟹箱实验沉积物可交换态无机氮的剖面分布

Fig. 4 Profiles of extractable DIN in sediments of crab incubation box experiments

3 讨论

蟹类动物在潮滩上活动范围广,运动形式多样,行为和功能复杂,如步行、奔跑、埋伏、游泳、穴居等^[9]。大量研究显示,蟹类底栖动物对其栖息地环境状况具有显著的改造作用,如影响沉积物颗粒粒度及有机质的空间分配^[10],改变沉积物的化学性质^[11,12],控制沉积物中的微生物活动^[13]及影响其他底栖动物的丰度等^[14]。室内模拟实验具有很大的随机性,而且难以精确再现野外复杂的环境条件,但是隔箱实验却能使研究者有目的地控制特定环境条件,便于有侧重的机理探讨,是今后现场实验研究的基础。

从淹水实验结果看,两样点沉积物无机氮释放量都因螃蟹的活动而得到巨大的提升。 NH_4^+ 是无机氮中释放量增加最显著的成分,崇明东滩比较洁净,各个层次沉积物吸附无机氮均比较少,即使螃蟹在淹水实验时剧烈翻动沉积物也不能导致无机氮释放量的巨大提升。同步空白实验结果表明,在实验过程中动物体排出的 NH_4^+ 约为 $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,亦不能直接导致 NH_4^+ 释放量剧增。然而,在干燥培养期间,无齿相手蟹不断取食箱内沉积物并排出分泌物和排泄物积累在沉积物表面。这些排泄和分泌物上微生物活动密集,利于有机氮的分解和铵离子的累积。同时,发达的洞穴结构使得沉积物中氧的可利用性增大^[15],提供了更多沉积物早期成岩过程所需的电子受体,改善表层下沉积物的微生物活动^[16],促进了沉积物有机氮的矿化释氮。崇明高潮滩沉积物可塑性差,淹水实验时螃蟹活动导致上覆水相当浑浊,悬浮颗粒含量高达 16.9 g/L ,悬浮沉积物上吸附的大量氨氮在颗粒-水的吸附-解吸过程中迅速释放进入上覆水体。以上三点是淹水实验迅速释氮的主要原因。相比崇明实验,浒浦采集的动物样本和沉积物性质有以下特征:无齿相手蟹体型较小,生活习性不活跃,沉积物翻掘量小,栖居洞穴浅($< 5 \text{ cm}$);沉积物颗粒细,可塑性好,螃蟹在淹水实验期间扰动强度不大。但是,浒浦边滩污染严重,且沉积物粒径较小,沉积物可交换态 NH_4^+ 平均质量比($50.15 \mu\text{g/g}$)是崇明东滩的30倍以上。所以,除上述三点原因以外,浒浦实验有蟹隔间表层发达的洞穴结构及螃蟹在洞穴中的活动加速沉积物 NH_4^+ 储存库的释放也是主要的促进机制。

潮滩沉积物是硝化活动最为活跃的地方,虽然干燥的条件下硝化细菌会受到一定程度的抑制^[17],但干燥培养期间遍布沉积物表面和洞穴穴壁上的排泄物和分泌物有机质含量高,有氧条件好,成为硝化

崇明对照隔间沉积物 NH_4^+ 在0~10 cm深度上都处于较低的水平且质量比随深度变化不大,全剖面平均质量比为 $1.47 \mu\text{g/g}$ (图4)。有蟹隔间沉积物在0~3 cm深度上 NH_4^+ 质量比也没较大变化,质量比(平均 $2.25 \mu\text{g/g}$)高于同层次的对照剖面($1.27 \mu\text{g/g}$),从3 cm往下,沉积物中 NH_4^+ 质量比出现持续的增高,到9 cm处质量比为 $12.06 \mu\text{g/g}$ 。 NO_3^- 质量比(包含 NO_2^- ,下同)在有蟹隔间和对照隔间沉积物中质量比的分布模式比较类似,0~5 cm范围内从沉积物表层向下逐渐减少,5 cm以下质量比较低且变化不大,全剖面质量比均值分别为 $0.83 \mu\text{g/g}$ 和 $0.93 \mu\text{g/g}$ 。

浒浦高潮滩沉积物中的 NH_4^+ 质量比远远高于崇明,有蟹和对照隔间的平均质量比分别为 $48.46 \mu\text{g/g}$ 和 $51.04 \mu\text{g/g}$, NH_4^+ 质量比垂直分布上都呈现从表面向下递增的趋势(图4)。相比对照隔间,有蟹隔间沉积物 NH_4^+ 在上部沉积物(0~4 cm)的质量比都明显较低,平均质量比的值比对照隔间低26.2%。浒浦沉积物 NO_3^- 质量比的剖面分布模式也呈现随深度降低的趋势,而与崇明不同的是,其有蟹隔间沉积物中 NO_3^- 质量比在各个深度上都远低于对照隔间。

崇明与浒浦高潮滩沉积物的有机质质量比水平相似,LOI值基本在3%~4%之间。崇明实验沉积物有机质质量比在0~10 cm深度上基本呈渐增趋势,而浒浦只在0~4 cm深度上呈递增趋势,4 cm以下有机质质量比转而降(图5)。崇明有蟹隔间沉积物有机质在浅层略高于对照隔间沉积物(0~3 cm),在3 cm以下则相对较低,有蟹隔间沉积物有机质各深度上差异较小。浒浦蟹箱有蟹隔间沉积物有机质质量比在0~5 cm深度上比对照隔间低。

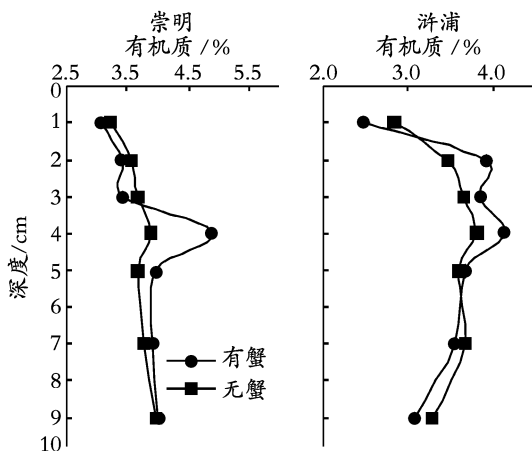


图5 蟹箱沉积物有机质的垂直分布

Fig. 5 Profiles of organic contents in sediments of crab incubation box experiments

细菌的良好培养基。而且这里 NH_4^+ 浓度高, 可利用性好, 使得有蟹隔间沉积物颗粒吸附累积一定量的 NO_2^- 和 NO_3^- , 它们同样在淹水实验时迅速释放, 造成较大的 NO_2^- 和 NO_3^- 释放通量值。同时, 淹水实验的通气条件能大大加强沉积物-水界面的硝化作用, 将大量向上覆水释放的 NH_4^+ 氧化, 以 NO_2^- 和 NO_3^- 释放通量的形式表现出来。

沉积物中有机物的垂直分布由矿化活动控制, 不同层次矿化活动受限于微生物的活动、电子受体补给和抑制性产物的去除而达到各自的平衡状态。螃蟹的掘穴及扰动活动激化了微生物活动, 增加了电子受体补给同时加快了抑制性产物的去除, 从而显著地促进了沉积物的矿化作用。有蟹隔间沉积物有机质因此而加速消耗。从沉积物有机质的垂直分布比较(图5)可以推论, 洞穴结构改善了上层沉积物的氧化条件促进了沉积物有机质的矿化。矿化作用促使有机物大分子上氮素的游离, 以 NH_4^+ 为主要形式迅速加入沉积物库。

沉积物吸附态无机氮的垂直分布上, 两样点亦出现了不同的分布模式。崇明东滩沉积物以砂性为主, 透水性好, 其吸附态 NH_4^+ 质量分数较低且垂直分异不大, NO_3^- 自表层向下不断减小。浒浦沉积物中无机氮质量比较大, 主要以 NH_4^+ 的形式赋存, 在未受扰动情况下, 沉积物自表层向下呈增加的趋势, 反映了无机氮主要以 NH_4^+ 的形式向表层释放。同时表层较低的 NH_4^+ 质量比体现了氧化环境下 NH_4^+ 向 NO_3^- 的转化, 并由此导致表层沉积物中 NO_3^- 的积累。

浒浦有蟹隔间沉积物柱是沿着隔间一个较大洞穴的穴壁垂直向下取得的, 洞穴结构对沉积物 NH_4^+ 的剖面分布造成了明显的影响。在图4中可以看到, 0~4 cm 深度上有蟹隔间沉积物的可提取态 NH_4^+ 较对照剖面明显偏小(NH_4^+ 平均质量比低 26.2%), 这是洞穴结构以及螃蟹活动加速了沉积物中 NH_4^+ 库向上覆水释放的结果, 与此同时, 螃蟹的活动在数次淹水实验中也增加了沉积物-上覆水间的 NO_3^- 的交换, 使得有蟹隔间沉积物可提取态 NO_3^- 在各深度上都小于对照隔间。崇明有蟹隔间沉积物可提取态 NH_4^+ 出现在了表层以下大量富集的现象。前文提及, 崇明蟹箱每次淹水实验中洞穴出现坍塌现象, 干燥培养期螃蟹又重新在平整沉积物表面开始掘穴, 这样经过频繁的重复掘洞活动, 螃蟹在沉积物表层和洞穴内遗留的排泄物得以在整个沉积物中传输、运移和埋藏保存下来。因此, 崇明有蟹隔间沉积物得以出现的 NH_4^+ 质量分数递增的剖面分布。

有蟹隔间沉积物可提取态 NO_3^- 则由于沉积物表面闭合较好而出现了与对照隔间相似的剖面分布规律, 由表层向下质量分数逐渐减少。

以上讨论的是实验室条件下蟹类底栖动物活动对潮滩无机氮在沉积物-水界面交换及其在沉积物中垂向分布的影响。封闭的实验模拟环境很可能增大了动物活动对这种交换和分布影响的效果, 这些实验结果仅具有有限的参考意义, 而实际影响情况则须通过大尺度的现场实验进一步验证, 这也是将来研究的努力方向。

4 结论

崇明东滩高潮滩蟹类底栖动物活动对潮滩滩面地貌施加了显著的改造作用, 在蟹类活动较集中的地段, 蟹洞能覆盖滩面面积的 2%~3%, 每平方米由蟹类掘穴活动堆积到滩面的沉积物干质量高达 1~1.5 kg, 但是蟹类活动掘出的深层沉积物与表层沉积物间不存在很大的理化性质差异。室内模拟实验结果表明, 潮水淹没情况下, 小范围内高密度的蟹类活动会导致沉积物出现三态无机氮的巨大释放。室内实验条件下, 蟹类在比较洁净的崇明高潮滩主要通过取食沉积物, 排放高无机氮质量比的排泄物, 以及造成沉积物的剧烈再悬浮的方式提高向上覆水的无机氮释放。对于无机氮质量比高的浒浦高潮滩沉积物, 蟹类活动还能通过洞穴结构和扰动活动促进沉积物与上覆水间的无机氮交换。蟹类活动造成的洞穴结构能增加沉积物中的氧气含量, 促进沉积物中有机氮的矿化和 NH_4^+ 的释放。同时, 洞穴结构和蟹类对沉积物的翻动混合能造成可交换态无机氮在沉积物中的剖面分布特征发生显著变化。

参考文献:

- [1] Kristensen E. Benthic fauna and biogeochemical processes in marine sediments: Microbial activities and fluxes [A]. Blackburn T H, Sorensen J. Nitrogen cycling in coastal marine environments [C]. New York: Wiley, 1988. 275-299.
- [2] Aller R C, Aller J Y. The effect of biogenic irrigation intensity and solute exchanges on diagenetic reaction rates in marine sediments [J]. *Journal of Marine Research*, 1998, 56: 905-936.
- [3] 汤奇成. 中国河流水文 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 133.
- [4] 毕春娟. 长江口滨岸潮滩重金属环境生物地球化学研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2003.
- [5] 袁兴中, 陆健健. 长江口潮滩湿地大型底栖动物群落的生态学特征 [J]. *长江流域资源与环境*, 2002, 11

(5): 414-420.

- [6] 韩舞鹰, 容荣贵, 黄西能, 等. 海水化学要素调查手册[M]. 北京: 海洋出版社, 1986. 121-148.
- [7] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988. 270.
- [8] Hansen K, Kristensen E. The impact of the polychaete *Nereis diversicolor* and enrichment with macroalgal (*Chaetomorpha linum*) detritus on benthic metabolism and nutrient dynamics in organic poor and organic rich sediment[J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1998, 231: 201-223.
- [9] 戴爱云, 杨思谅, 宋玉之, 等. 中国海洋蟹类[M]. 北京: 海洋出版社, 1986. 488.
- [10] Warren J H, Underwood A J. Effects of burrowing crabs on the topography of mangrove swamps in New South Wales [J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1986, 102: 223-235.
- [11] Wolfrath B. Burrowing of the fiddler crab *Uca tangeri* in the Ria Formosa in Portugal and its influence on sediment structure[J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1992, 85: 237-243.
- [12] Morrissey D J, Dewitt T H, Roper D S, *et al.* Variation in the depth and morphology of burrows of the mud crab *Helice crassa* among different types of intertidal sediments in New Zealand [J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1999, 182: 231-242.
- [13] Dittmann S. Impact of foraging soldier crabs (Decapoda, Mictyridae) on meiofauna in a tropical tidal flat [J]. **Rev Biol Trop**, 1993, 413: 627-637.
- [14] Olafsson E, Ndaro S G M. Impact of the mangrove crabs *Uca annulipes* and *Dotilla fenestrata* on meiobenthos [J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1997, 158 (1): 225-231.
- [15] Forster S, Graf G. Continuously measured changes in redox potential influenced by oxygen penetrating from burrows of *Callinassa subterranean* [J]. **Hydrobiologia**, 1992, 235: 527-532.
- [16] Laima D B, Brossard P G, Sauriau M, *et al.* The influence of long emersion on biota, ammonium fluxes and nitrification in intertidal sediments of Marennes-Oleron Bay, France [J]. **Marine Environmental Research**, 2002, 53: 381-402.
- [17] Belser W L. Population ecology of nitrifying bacteria [J]. **Annals Review of Microbiology**, 1979, 33: 309-333.

Impacts of burrowing crab on the dissolved inorganic nitrogen exchange at the sediment-water interface in the intertidal flat of the Yangtze estuary

LIU Jie, CHEN Zhen-lou, XU Shi-yuan, WANG Dong-qi, ZHENG Xiang-min

(Key Laboratory of Geo-information Science of the Ministry of Education, College of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Received: Mar., 14, 2005

Key words: Yangtze estuary; intertidal sediments; crab; DIN; impacts

Abstract: The burrowing crabs are important bioturbators of intertidal flats. Selecting the Yangtze estuary coastal and island high tidal flat wetland as a study area, based on the integrated method of field investigation and experimental simulation, the impacts of macrobenthos crab *Sesarma denaan* sp. activities on the DIN exchange in the sediment-water interface and nitrogen biogeochemical cycling of tidal flat are analyzed and discussed simply in this paper. It is revealed that the burrowing benthos crab activities exert an outstanding reconstruction on tidal flat morphology. For example, in high crab dense zone the cave area accounts for 2%~3% of flat and the dry weight of burrowing mound can reach 1 to 1.5 kg per square meter. When high tidal flat is submerged, intensive crab *Sesarma denaan* sp. activities can cause a very large release of DIN by virtue of excretion, burrowing, bioturbation and sediment resuspension. Developed cave in sediment and continual turnover of sediment by crab can improve an organic matter remineralization and ammonification, consequently reworking the DIN vertical profile in sediment.

(本文编辑: 刘珊珊)