

长江口岛屿沙洲湿地陆向发育过程中 表层沉积物氮营养盐的变化

张修峰¹, 梅雪英², 童春富², 陆健健²

(1. 暨南大学水生生物研究所, 广州 510632; 2. 华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 研究针对长江口岛屿沙洲湿地陆向发育的不同时期表层沉积物中氮营养盐的变化规律, 得出: (1) 长江口岛屿沙洲湿地陆向发育过程中, 表层沉积物环境也在不断变化, 氮营养盐含量逐步增加, 处在陆向发育前期的白茆沙, 全氮含量较低, 仅为 30 mg/kg, 而发育较为成熟的崇明东滩全氮含量较高, 达 470 mg/kg; 同时随着岛屿沙洲湿地陆向发育, 表层沉积物全氮分布越来越不均匀; (2) 长江口岛屿沙洲湿地随高程梯度, 全氮的含量逐步增加, 其中芦苇带最高, 420 mg/kg, 光滩最低, 110 mg/kg; 这也说明岛屿沙洲陆向发育过程中, 表层沉积物全氮含量逐步增加; 另外, 各形态无机氮含量占其所在高程无机氮的比例相对稳定, 其中氨氮最高, 59% ~ 60%, 亚硝酸盐最低, 17% ~ 19%, 氨氮是无机氮的主要存在形式。

关键词: 氮; 营养盐; 长江口; 岛屿; 沉积物

文章编号: 1000-0933(2006)04-1116-06 **中图分类号:** Q142.3 **文献标识码:** A

Changing nitrogen levels in surface sediments of island wetlands developing to land in the Yangtze River estuary

ZHANG Xiu-Feng¹, MEI Xue-Ying², TONG Chun-Fu², LU Jian-Jian² (1. Institute of Hydrobiology, JiNan University, Guangzhou 510632, China; 2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1116 ~ 1121.

Abstract: The Yangtze River estuary is one of the largest estuaries in the world and is comprised of four main channels (North Branch, North Passage, North Channel and South Channel) separated by the islands of Chongming, Changxing, Hengsha and Jiuduansha. These islands have been formed by rapid sedimentation. As sedimentation has progressed, there have been associated changes in total nitrogen and inorganic nitrogen in the surface sediments. Island wetland is one of the most important part of the estuary wetland and island sediments are the key "sink" for many nutrients and have a strong purification function, on the one hand; on the other hand, human activity upstream in the catchment leads to complicated migration and transformation of the nutrient elements, so, sometimes, the region is the "source" of nutrients. Little previous research has been completed on nitrogen concentrations in surface sediments of the estuary islands in relation to recent sediment accumulation. This research investigates the variation in concentrations of nitrogen compounds within sediments in relation to the pattern of recent island sedimentation.

Results show: (1) The most recent sediments, such as on Baimaoshan, had a total nitrogen concentration in the surface layer of only 30 mg/kg. In contrast, the oldest sediments, on the east beach of Chongming island, had a concentration of 470 mg/kg. (2) The total nitrogen in the surface sediment of Yangtze River estuarine island wetlands decreased gradually with decrease in altitude, the highest concentrations were in the reed zone, 420 mg/kg, and the lowest were around the low water mark of the beach

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(40131020); 国家 973 科技攻关资助项目(2002CB412406)

收稿日期: 2004-01-05; **修订日期:** 2005-09-13

作者简介: 张修峰(1977 ~), 男, 安徽人, 博士, 主要从事湿地生态环境研究. E-Mail: wetlandxfz@163.com

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China(Key Program)(No. 40131020) and National Science and Technology Foundation (973 Program)(No. 2002CB412406)

Received date: 2004-01-05; **Accepted date:** 2005-09-13

Biography: ZHANG Xiu-Feng, Ph.D., mainly engaged in wetland ecology environment science. E-mail: wetlandxfz@163.com

region, with 110 mg/kg. (3) The proportion of the various inorganic nitrogen compounds to total inorganic nitrogen was relatively stable at all sites. Ammonia contributed the highest proportion at 60%, and nitrite was the lowest, at 17% ~ 19%. Ammonia was therefore the main form of inorganic nitrogen in the Yangtze River estuarine island wetlands. So, with the development of the island to land, the content of the total nitrogen and inorganic nitrogen in the surface sediments would increase.

Key words: nitrogen; nutritive salt; Yangtze River estuary; islands; sedimentation

长江每年从其上游带来大量泥沙沉积在长江口形成一系列沙洲岛屿,经不断沉积——侵蚀,其面积、形态、位置都会发生变化,积年累月沉积的泥沙露出水面发育成为冲积岛。崇明岛、九段沙、扁担沙和白茆沙等是长江口现代发育过程不同时期形成的河口岛屿沙洲^[1]。崇明岛成陆时间最长,迄今已有 1300 多年历史;九段沙是长江口的又一新重要沙洲岛屿湿地,20 世纪 50 年代,基本是上一个水下沙洲,20 世纪 60 ~ 70 年代已是一片光滩,80 年代后期,局部较高滩面已有蘆草 (*Scirpus triquetus*) 生长,90 年代,已有芦苇 (*Phragmites australis*) 生长,目前沙体相对稳定,趋向成陆^[2]。扁担沙平面面积上提下挫不断地变化,上面长有芦苇、海三棱蘆草 (*Scirpus xmariqueter*) 等^[3];白茆沙在 1965 年出现雏形,随后逐步发展,到 1993 年,已经发育成比较完整的江心洲,目前沙体上无高等植物定居^[3]。本区地貌分带明显,根据高程,小潮高潮位附近出现海三棱蘆草,向上逐渐连成片状;小潮高潮位以下是光滩;大潮高潮位以上分布有以芦苇为主的植被。可以简单地按芦苇带、海三棱蘆草带和光滩带分为高、中、低 3 个地貌单元,且不同的地貌单元处于发育的不同阶段^[1,4]。

河口沉积物是各种营养物质的重要蓄积库或汇,对水体具有很强的环境净化功能^[5],另外,河口作为海陆过渡带,常受到各种自然和人为因素的作用,致使营养元素在这一环境系统中发生着复杂的迁移和转化,沉积物中营养盐的含量及其与水体间的交换对水质具有重要的影响^[6-8]。沉积物是湿地植物的主要营养盐库,氮的空间分布显著影响着湿地生态系统的生产力^[9],同时也影响着植被的生长与分布;另外,氮在沉积物中过度富集又可导致水体发生富营养化^[10]。近年来,对长江口湿地沉积物中营养盐状况已作了大量研究^[11-13],但对长江口岛屿沙洲湿地陆向发育不同时期表层沉积物中氮营养盐分布规律的研究尚未见报导。为此本文重点研究长江口岛屿沙洲湿地发育过程中表层沉积物中氮营养盐的分布规律,为合理开发利用、保护以及修复长江口湿地生态系统提供理论依据。

1 区域概况和研究方法

1.1 区域概况

长江每年从其上游带来大量泥沙,其中 50% 左右在长江口沉积并形成一系列岛屿沙洲湿地(图 1)。崇明岛成陆时间最长,崇明东滩湿地面积广阔,潮滩最宽处 13km,目前吴淞零点以上的面积 301.6km²,其中芦苇滩面积 26km²,草滩面积 106 km²,是具有国际意义的保护湿地^[1];九段沙包括上沙、中沙和下沙 3 部分,0m 以上的面积有 115km², -5m 以上的面积 315km²,高等植物主要是芦苇、蘆草、海三棱蘆草等,它们的生物量占九段沙植被总生物量的 99% 以上,其中芦苇的总生物量约为蘆草、海三棱蘆草的总生物量的 3 倍,芦苇呈点丛状分布^[2];扁担沙是南支水道中一条长约 37km 的沙体(-5m),是涨潮槽与落潮槽之间缓流区的泥沙堆积而成的沙体,其平面面积与南北港分汊口位置的上提下挫而不断地变化,而且在滩顶上多次出现串沟,时而淤高,时而被冲失,上面长有芦苇、海三棱蘆草等^[3];白茆沙是徐六泾节点下游河道展宽而导致水体挟沙能力降低而形成的节点型沙洲,20 世纪 60 年代出现雏形,随后逐步发展,到 2000 年 -5m 等深线内沙体面积为 35.5km²^[14]。目前沙体上无高等植物定居,全部为光滩,涨潮淹没,退潮露出。

1.2 研究方法

1.2.1 样品的采集 2003 年 9 月 15 日 ~ 21 日、10 月 2 日 ~ 5 日和 2004 年 7 月 13 日分别对崇明东滩、九段沙、中央沙(青草沙)、扁担沙、白茆沙等地进行表层沉积物样品的采集(采样区域如图 1 所示)。采样点用 GPS 定位,并记录采样点植被状况。用小铲分别采集 0 ~ 5 cm 深度的表层沉积物;每点 3 个平行样品,放入可密封的聚乙烯塑料袋中,采用四分法将各个样点的 3 份相同类型的样品等量缩分至一份,混匀;各采样区域所采样

点及其植被情况见表 1。所有的样品先于分析之前进行冷保存以供鲜样测定,其他部分剔除杂物后在室温下风干研磨至粉末状直至过 200 目筛后进行分析。

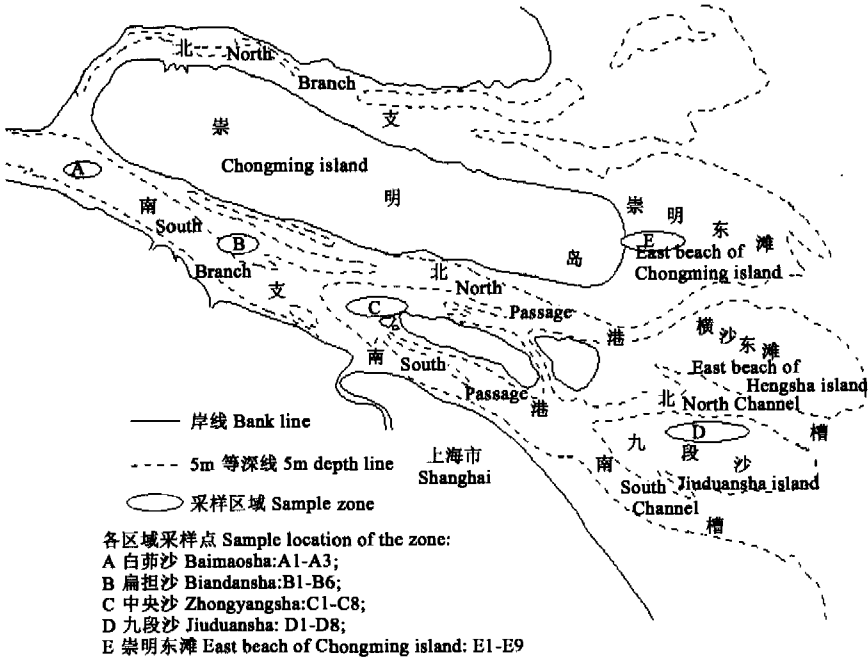


图 1 长江口岛屿沙洲湿地表层沉积物采样区域
Fig. 1 Sample zone location of islands surface sediment in Yangtze River estuary wetlands

表 1 各采样点及其概况
Table 1 Samples location and the general situation

采样区域 Sample zone	样点 Samples	概况 General situation	采样区域 Sample zone	样点 Samples	概况 General situation
白茆沙 A Baimaosha A	A1, A2, A3	光滩 Bare beach	九段沙 D Jiuduansha D	D1, D2	光滩 Bare beach
扁担沙 B Biandansha B	B1, B2	光滩 Bare beach	崇明东滩 E East beach of Chongming island E	D3, D4, D5	海三棱藨草 Scirpus xmariqueter
	B3, B4	海三棱藨草 Scirpus xmariqueter		D6, D7, D8	芦苇 Reed
	B5, B6	芦苇 Reed		E1, E2, E3	光滩 Bare beach
中央沙 C Zhongyangsha C	C1, C2	光滩 Bare beach		E4, E5, E6	海三棱藨草 Scirpus xmariqueter
	C3, C4, C5	海三棱藨草 Scirpus xmariqueter		E7, E8, E9	芦苇 Reed
	C6, C7, C8	芦苇 Reed			

1.2.2 样品测定 沉积物全氮采用高氯酸-硫酸消化法测定;无机氮(鲜样)采用 MgO-Devarda 合金蒸馏法测定;用风干法测定样品的含水率,之后将鲜样沉积物无机氮含量转化成风干样品含量。

1.2.3 研究和统计分析方法 采用空间代时间的方法研究长江口岛屿沙洲湿地陆向发育过程中(平面空间和高程梯度上处于不同发育阶段的岛屿)表层沉积物氮营养盐含量的变化规律。数据处理采用 STATISTICA6.0 进行。

2 结果与分析

2.1 平面空间

2.1.1 全氮 白茆沙、扁担沙、九段沙和崇明东滩等岛屿沙洲湿地经历了不同的发育阶段,在陆向发育过程中,其表层沉积物全氮含量也在发生变化(图 2)。处在发育前期的岛屿沙洲,其表层沉积物全氮含量低,如白茆沙,全氮含量仅为 30 mg/kg,而随着岛屿沙洲的发育,表层沉积物全氮含量逐渐升高,如发育较为成熟的崇明东滩湿地全氮含量达 470 mg/kg,为白茆沙的 15 倍多;处在陆向发育中的九段沙和扁担沙湿地上表层沉积物全氮含量较崇明东滩低,但较白茆沙有大幅度增加,这说明岛屿沙洲湿地陆向发育过程中,其表层沉积物环境

也在不断变化,全氮含量逐步增加。同时也可以看出,随着岛屿沙洲湿地的陆向发育,其表层沉积物全氮分布越来越不均匀,如处在发育前期的白茆沙的表层沉积物全氮含量分布最为均匀,而发育较为成熟的崇明东滩的最不均匀(表 2)。

表 2 不同岛屿沙洲表层沉积物全氮方差分析结果

Table 2 Result of ANOVA of total nitrogen in surface sediment of different islands		可信区间 95 %				
(I)地点 site	(J)地点 site	均数差 Mean Difference (I - J)	标准误 Std. Error	显著水平 Sig.	95 % confidence Interval	
					下限 Lower Bound	上限 Upper Bound
白茆沙 Baimaasha	扁担沙 Biandansha	- 0.021800 *	0.010057	0.046	- 0.04312	- 0.00048
	九段沙 Jiuduansha	- 0.023125 *	0.009323	0.025	- 0.04289	- 0.00336
	崇明东滩 Chongming Dongtan	- 0.043750 *	0.010518	0.001	- 0.06605	- 0.02145
扁担沙 Biandansha	白茆沙 Baimaasha	0.021800 *	0.010057	0.046	0.00048	0.04312
	九段沙 Jiuduansha	- 0.001325	0.007851	0.868	- 0.01797	0.01532
	崇明东滩 Chongming Dongtan	- 0.021950 *	0.009238	0.030	- 0.04153	- 0.00237
九段沙 Jiuduansha	白茆沙 Baimaasha	0.023125 *	0.009323	0.025	0.00336	0.04289
	扁担沙 Biandansha	0.001325	0.007851	0.868	- 0.01532	0.01797
	崇明东滩 Chongming Dongtan	- 0.020625 *	0.008433	0.026	- 0.03850	- 0.00275
崇明东滩 Chongming Dongtan	白茆沙 Baimaasha	0.043750 *	0.010518	0.001	0.02145	0.06605
	扁担沙 Biandansha	0.021950 *	0.009238	0.030	0.00237	0.04153
	九段沙 Jiuduansha	0.020625 *	0.008433	0.026	0.00275	0.03850

* 差异显著 $\alpha = 0.05$ The mean difference is significant at the 0.05 level

2.1.2 无机氮 处在不同发育阶段的岛屿沙洲湿地,陆向发育过程中,其表层沉积物无机氮含量也在发生变化(表 3)。发育前期的岛屿沙洲,其表层沉积物无机氮含量低,如白茆沙,无机氮含量为 5.451mg/kg,其中氨氮 1.429mg/kg,硝酸盐 1.286mg/kg,而随着岛屿沙洲的陆向发育,表层沉积物无机氮含量就逐渐升高,如九段沙湿地无机氮含量达 11.154mg/kg,其中氨氮和硝酸盐氮分别为 6.371mg/kg、2.996mg/kg,分别是白茆沙的 2.0、4.5 倍和 2.3 倍。这同全氮的分布趋势较为一致。

2.2 高程梯度

2.2.1 全氮 长江口岛屿沙洲湿地表层沉积物全氮随高程分布(图 3)呈现出一定的规律性,即芦苇带最高,290~680 mg/kg,平均 420 mg/kg;海三棱藨草带次之 80~510 mg/kg,平均 310 mg/kg;光滩最低,为 40~

表 3 岛屿沙洲湿地表层沉积物无机氮含量

Table 3 Inorganic N in the surface sediment in different islands of Yangtze River estuary (mg/kg)				
岛屿 Island	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Inorganic N
白茆沙 Baimaasha	1.429	1.286	2.736	5.451
扁担沙 Biandansha	4.498	2.667	1.093	8.258
九段沙 Jiuduansha	6.371	2.996	1.787	11.154

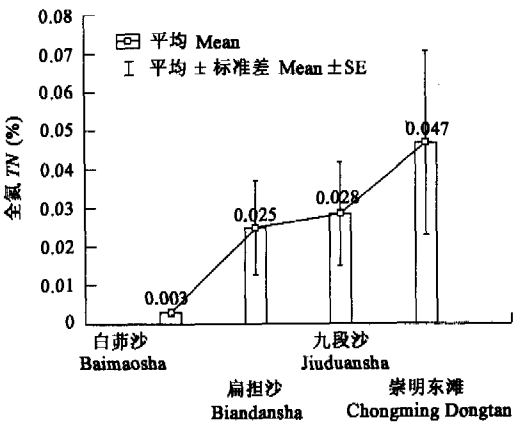


图 2 不同岛屿沙洲表层沉积物全氮的变化

Fig.2 Change of total nitrogen in surface sediment of different islands

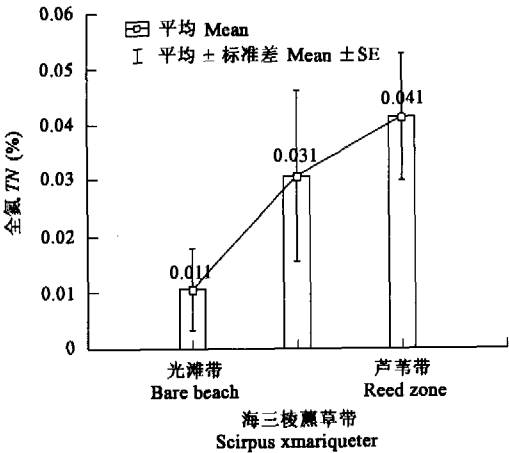


图 3 表层沉积物全氮随高程的分布

Fig.3 Total nitrogen of different altitudes in surface sediment of the wetland

230 mg/kg, 平均 110 mg/kg, 各带之间相差较大, 海三棱藨草带和芦苇带表层沉积物中全氮含量分别约是光滩带的 3~4 倍。同时也可以看出长江口岛屿沙洲湿地表层沉积物全氮随高程分布是光滩带较为均匀, 海三棱藨草带较不均匀。根据 LSD 检验结果可以看出, 各带表层沉积物中全氮含量差异均显著(表 4)。

2.2.2 无机氮 从长江口岛屿沙洲湿地各高程表层沉积物无机氮的含量(表 5)可以看出, 各高程中, 无机氮的含量相差不大, 其中光滩 9.597mg/kg, 海三棱藨草带 11.222 mg/kg, 芦苇带 10.235 mg/kg; 同时, 各形态的无机氮分布较为均匀, 所占其高程表层沉积物中无机氮的比例相对稳定, 但各形态无机氮含量相差较大, 其中氨氮最高, 是无机氮的主要存在形式, 占 59%~60%, 硝酸盐含量次之, 占 21%~24%; 亚硝酸盐最低, 占 17%~19%。即表层沉积物中各形态无机氮的含量顺序为氨氮>硝酸盐氮>亚硝酸盐氮。

表 4 不同高程表层沉积物全氮方差分析结果

Table 4 Result of ANOVA of Total nitrogen in surface sediment of different altitudes

(I) 地点 Site	(J) 地点 Site	均数差 Mean Difference (I-J)	标准误 Std. Error	显著水平 Sig.	95% 可信区间 95% confidence Interval	
					下限 Lower Bound	上限 Upper Bound
光滩 Bare beach	海三棱藨草带 <i>Scirpus xmariqueter</i> zone	-0.020133*	0.005074	0.000	-0.03050	-0.00977
	芦苇带 Reed zone	-0.030788*	0.004947	0.000	-0.04089	-0.02069
海三棱藨草带 <i>Scirpus xmariqueter</i> zone	光滩 Bare beach	0.020133*	0.005074	0.000	0.00977	0.03050
	芦苇带 Reed zone	-0.010655*	0.005178	0.048	-0.02123	-0.00008
芦苇 Reed zone	光滩 Bare beach	0.030788*	0.004947	0.000	0.02069	0.04089
	海三棱藨草带 <i>Scirpus xmariqueter</i> zone	0.010655*	0.005178	0.048	0.00008	0.02123

* The mean difference is significant at the 0.05 level

表 5 各高程表层沉积物无机氮含量

Table 5 Inorganic N in the surface sediment in different altitude of Yangtze River estuary wetland (mg/kg)

区域 Zone	项目 Item	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺
光滩 Bare beach	平均 Average	2.237	1.691	5.669
	标准差 SD	1.112	0.552	1.288
	占无机氮比例 Proportion to inorganic N	23%	18%	59%
海三棱藨草 <i>Scirpus xmariqueter</i>	平均 Average	2.392	2.092	6.738
	标准差 SD	1.938	0.825	2.080
	占无机氮比例 Proportion to inorganic N	21%	19%	60%
芦苇 Reed	平均 Average	2.476	1.951	5.808
	标准差 SD	1.372	1.303	1.324
	占无机氮比例 Proportion to inorganic N	24%	17%	59%

3 讨论

研究表明, 处在发育前期的岛屿沙洲, 高程较低, 其表层沉积物全氮含量低; 随着岛屿沙洲的陆向发育, 高程愈来愈高, 其表层沉积物全氮含量逐渐升高。这主要是因为长江口岛屿沙洲湿地底质为软相沉积物, 主要有细砂、粉砂质砂、砂质粉砂、粘土砂质粉砂等多种类型, 高潮滩沉积物最细, 以黑色-青灰色粉砂质粘土和粘土质粉砂为主; 中潮滩沉积物由青灰色的粘土质粉砂和粉砂组成; 低潮滩沉积物最粗, 多为粉砂和细砂质粉砂, 局部为细砂, 滩地高程愈高, 物质愈细, 粘粒增加, 而粘粒越多, 氮营养盐含量越高^[4,15]。另外, 长江口岛屿沙洲自然演变过程中由小到大, 高程由低到高并在这一发育过程中植被也发生着演替, 从无植被生长高程最低的光滩, 包括低潮带和中潮带下部逐步演替到中潮带中、上部和高潮带下部的长江口湿地先锋物种海三棱藨草, 最后演替到高潮带中、上部的芦苇且芦苇群落的出现标志着滩涂植物群落达到了成熟阶段^[1,16], 而湿地上生长的植被会对沉积物全氮的含量产生很大影响^[17]。湿地植被生长过程中能从水体吸收营养物质以作为自身生长所需的营养元素, 死亡后其残体进入沉积物, 从而将水体中的氮转化成沉积物中的营养盐^[18]。如植被的凋落物部分进入沉积物而成为有机质, 另外芦苇的根状茎在土体内纵横伸展, 最深可达 1m, 海三棱藨草的根茎也较为发达, 枯死后这些积累的有机质就残留在土体内从而大大增加了土壤的有机质含量^[16]; 而沉积

物中氮的含量与有机质含量密切相关^[8]。因此,岛屿沙洲陆向发育过程中,高程愈高,沉积物颗粒越细并逐渐向芦苇群落方向演替时,表层沉积物全氮含量逐步升高。

4 结论

长江口岛屿沙洲湿地陆向发育过程中,处在陆向发育前期的白茆沙,表层沉积物氮营养盐的含量低,而发育较为成熟的崇明东滩,表层沉积物全氮含量高;随陆向发育,高程较低的光滩逐步演替成高程较高的芦苇群落时,表层沉积物氮营养盐含量逐步增加;同时随着岛屿沙洲湿地陆向发育,其表层沉积物全氮分布越来越不均匀;但各形态无机氮含量占其所在高程无机氮的比例相对稳定,氨氮最高,亚硝酸盐最低。

References:

- [1] Yuan X Z, Lu J J. Studies on zoobenthos resources in the islands of the Changjiang estuary. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 37 ~ 41.
- [2] Tang C J, Lu J J. Studies on plant community on the Jiuduansha Shoals at the Yangtze Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 399 ~ 403.
- [3] Li J F, Wan X N, Chen X H. Coastal land resources in Shanghai with analysis on their sustainable exploitation. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(1): 17 ~ 22.
- [4] Chen J Y. General research of Coastal area and resources in the beach. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1998. 7 ~ 36.
- [5] Klump J V, Martens C S. Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin II. Nutrient sediment water exchange processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45: 101 ~ 121.
- [6] Edward C, Douglas E H. Nutrient exchange across the sediment water interface in the Potomac river estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1982, 15: 395 ~ 413.
- [7] Fukuyo Y, Takano H, Chihara M, et al. Red tide organisms in Japan-An illustrated taxonomic guide, Tokyo: Japan Fisheries Resource conservation association, 1990. 80 ~ 90.
- [8] Hunt P G, Stone K C, Humenik F J, et al. In-stream wetland mitigation of nitrogen contamination in a USA Coastal Plain stream. *Journal of Environmental Quality*, 1999, 28(1): 249 ~ 256.
- [9] Verhoeven J T A, Whigham D F, Kerkhoven M Y. Comparative study of nutrient-related processes in geographically separated wetlands: Towards a science base for functional assessment procedure. In: William J M, ed. *Global Wetlands: Old World and New*. Columbus: Elsevier Press, 1994. 91 ~ 106.
- [10] Liu M, Hou L J, Xu S Y, et al. Nitrogen and phosphorus diffusion fluxes across sediment water interface in estuarine and coastal tidal flats. *Marine Environmental Science*, 2001, 20(3): 19 ~ 23.
- [11] Liu M, Lu M, Xu S Y, et al. Phosphorus species in aquatic sediments at the Yangtze estuary and Shanghai coast. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7: 94 ~ 98.
- [12] Gao X J, Zhang N L, Chen Z L, et al. Seasonal variation of inorganic nitrogen in water and sediment of intertidal flats on the Shanghai coast. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(4): 407 ~ 412.
- [13] Gao X J, Xu S Y, Zhang N L, et al. Distribution and diffusion of inorganic Nitrogen in water and sediment of inter tidal flats on the Shanghai coast, China. *Journal of Fudan University(Natural Science)*, 2003, 42(3): 497 ~ 505.
- [14] Chen X H, Li J F, Wan X N. Categories of the underwater shoals and the movement of the typical shoals in the Changjiang estuary. *Marine Science Bulletin*, 2004, 23(1): 1 ~ 7.
- [15] Yuan X Z, He W S, Lu J J. Studies on biological resources and variation tendency on the wetland in Jiuduansha in estuary of Changjiang River. *Environment and Exploitation*, 1999, 14(2): 1 ~ 4.
- [16] Sun P Y, Lu J J. Sustainable utilization of biological resources on the wetland in the Yangtze estuary. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1998, 7(4): 330 ~ 336.
- [17] Bolalek J, Graca B. Ammonia nitrogen at the water-sediment interface in Puck Bay(Baltic). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1996, 43: 767 ~ 779.

参考文献:

- [1] 袁兴中, 陆健健. 长江口岛屿湿地的底栖动物资源研究. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 37 ~ 41.
- [2] 唐承佳, 陆健健. 长江口九段沙植物群落研究. *生态学报*, 2003, 23(2): 399 ~ 403.
- [3] 李九发, 万新宁, 陈小华. 上海滩涂后备土地资源及其可持续开发途径. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(1): 17 ~ 22.
- [4] 陈吉余. 海岸带和海涂资源综合调查报告. 上海: 上海科技出版社, 1998. 7 ~ 36.
- [10] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 河口滨岸沉积物-水界面 N, P 的扩散通量. *海洋环境科学*, 2001, 20(3): 19 ~ 23.
- [11] 刘敏, 陆敏, 许世远, 等. 长江河口及其上海岸带水体沉积物中磷的存在形态. *地质学前沿*, 2000, 7: 94 ~ 98.
- [12] 高敏江, 张念礼, 陈振楼, 等. 上海滨岸水沉积物中无机氮的季节性变化. *地理学报*, 2002, 57(4): 407 ~ 412.
- [14] 陈小华, 李九发, 万新宁. 长江河口水下沙洲类型及典型水下沙洲的推移规律. *海洋通报*, 2004, 23(1): 1 ~ 7.
- [15] 袁兴中, 何文珊, 陆健健. 长江口九段沙湿地生物资源及其变化趋势研究. *环境与开发*, 1999, 14(2): 1 ~ 4.
- [16] 孙平跃, 陆健健. 长江口湿地资源生物的可持续利用. *长江流域资源与环境*, 1998, 7(4): 330 ~ 336.