

崇明东滩湿地营养盐与重金属的分布与累积

全为民, 李春鞠, 沈盎绿, 钱蓓蕾, 平仙隐, 韩金娣, 施利燕, 陈亚瞿*

(农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090)

摘要:测定了崇明东滩湿地盐沼植物和沉积物中 TN、TP、重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的含量, 阐明了它们在湿地中的分布与累积特征, 评估 3 种盐沼植物对营养盐和重金属的富集能力, 并讨论了互花米草入侵对长江口湿地生态系统可能造成的影响。海三棱藨草地上部分的 TN、Cu、Pb 和 Cd 的含量均显著高于芦苇和互花米草 ($p < 0.01$), 而地上部分 TP 和 Zn 却表现为: 海三棱藨草和互花米草无显著性差异 ($p > 0.05$), 但均显著高于芦苇 ($p < 0.01$)。东滩湿地沉积物中 TN 和重金属的分布与累积特征为: 芦苇带 > 互花米草带 > 海三棱藨草带 > 光滩, 即随着高程的增加, 沉积物中 TN 和重金属的含量逐步上升; 但沉积物中 TP 含量变化不大, 基本维持在 0.06% 左右。基于盐沼植物地上部分的生物量, 估算了 3 种盐沼植物地上部分的营养盐和重金属库, 结果表明: 互花米草地上部分的养分库和重金属库均大于芦苇和海三棱藨草, 表明收获互花米草对环境的净化效果最佳, 特别对磷的去除效率是最高的。

关键词:互花米草; 东滩湿地; 养分; 重金属; 累积

文章编号: 1000-0933(2006)10-3324-08 中图分类号: P734, Q178 文献标识码: A

Distribution and accumulation of nutrients and heavy metals in Dongtan wetlands on Chongming Island, China

QUAN Wei-Min, LI Chun-Ju, SHEN Ang-Lü, QIAN Pei-Lei, PING Xian-Yin, HAN Jin-Di, SHI Li-Yan, CHEN Ya-Qu* (Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3324 ~ 3331.

Abstract: The rapid growing estuary wetlands resulted from Yangtze River sedimentations on Chongming Island of eastern Shanghai, China is accompanied with invasion of spartina (*Spartina alterniflora*), which collective shape the overall function of the coastal ecosystems. The objective of this study is to quantify the distribution and accumulation of nutrients and heavy metals in the salt marsh plants and their sediments in Dongtan wetlands. The total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and heavy metals (Cu, Zn, Pb and Cd) were measured from the sediments and the plant tissues of *Phragmites australis*, *S. alterniflora*, and *Scirpus mariqueter*.

It was found that TN, Cu, Pb and Cd in the aboveground part of *S. mariqueter* were significantly higher than those of *P. australis* and *S. alterniflora* ($p < 0.01$), while TP and Zn in the aboveground part of *P. australis* were significantly lower than those of *S. mariqueter* and *S. alterniflora* ($p < 0.01$). We also found that the distribution of TN and heavy metals in the sediments had similar levels in an order of *P. australis* zone > *S. alterniflora* zone > *S. mariqueter* zone > mudflat zone. With increasing in elevation, TN and heavy metals also increased but TP in the sediment remained at about 0.06%.

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目 (50339040)

收稿日期: 2005-07-08; **修订日期:** 2006-02-20

作者简介: 全为民 (1977 ~), 男, 湖北省大冶市人, 博士生, 主要从事河口生态学研究. E-mail: quanweim@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yq.chen@citiz.net

致谢:衷心感谢崇明东滩鸟类自然保护区管理处对本工作的大力支持和帮助; 感谢美国 Toledo 大学陈吉泉教授和 Oklahoma 大学骆亦奇教授对写作的帮助

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50339040)

Received date: 2005-07-08; **Accepted date:** 2006-02-20

Biography: QUAN Wei-Min, Ph. D. candidate, mainly engaged in estuarine ecology. E-mail: quanweim@163.com

Measured by aboveground standing stock, it appeared that all nutrients and heavy metals of invasive *S. alterniflora* had higher levels than those of native *P. australis* and *S. mariqueter*. The TN stock of *S. alterniflora* was about 1.5 and 2.6 times higher than those of *P. australis* and *S. mariqueter*, respectively. The aboveground standing TP stock was about 3.8 and 5.2 times higher than those of *P. australis* and *S. mariqueter*, respectively. Clearly, removals of *S. alterniflora* through harvesting can be an effective management protocols to reduce nutrients and toxic heavy metals from the site.

Key words: *Spartina alterniflora*; Dongtan wetland; nutrients; heavy metals; accumulation

长江口是世界性的特大型河口,营养盐和重金属的污染十分严重。长江口区具有丰富的湿地资源,认识营养盐及重金属在湿地中的分布、迁移和循环机制,对于河口综合管理和污染防治将是十分重要的^[1,2]。盐沼植物作为河口湿地中最重要的初级生产者,在生态系统物质循环上扮演着十分重要的角色。而湿地沉积物作为营养盐和重金属的沉积库,显著影响着河口湿地的生物地球化学循环过程。因此,系统研究营养盐和重金属在盐沼植物-沉积物系统中的分布与累积,将具有十分重要的科学意义。

有关学者在长江口湿地开展了一些研究,主要集中在氮和磷的赋存形态^[3~5]、重金属在根际的富集^[6~8]及沉积物-水体界面的营养盐交换^[9]等方面。而综合地研究河口湿地盐沼植物-沉积物系统中营养盐和重金属的分布与累积比较少见。本研究以长江口典型自然湿地-崇明东滩为例,通过测定东滩湿地植物体和沉积物中营养盐和重金属的含量,试图阐明长江口湿地中营养盐和重金属的分布与累积特征,评估盐沼植物对营养盐和重金属的吸收与净化能力,从而为长江口湿地的科学管理提供理论依据。

1 研究地点与方法

1.1 研究地点

崇明东滩位于崇明岛最东端(121°45'E, 31°30'N),是长江径流泥沙在该岛的主要沉积区域之一,属北亚热带海洋性气候,气候温和湿润,四季分明。东滩地势平坦,高程在 4.2m 以下,该区域三面环水,北面是长江口北支水道末端,南面是北港水道,东面是长江口滨海区域。东滩是长江口地区最大的自然湿地之一,其冲淤状况受长江口复杂水动力作用的影响。20 世纪 90 年代上海对东滩湿地进行了几次大规模人工促淤与围垦,现在的自然湿地主要分布在 1998 年建筑的大堤外侧,属典型快速发育过程中的年青潮滩湿地,东滩湿地已于 1992 年被列入《中国保护湿地名录》,2001 年正式列入“拉姆萨国际湿地保护公约”的国际重要湿地名录,是全球迁徙鸟类的重要栖息地和越冬地。其主要潮滩植物由陆向海分别为芦苇、互花米草和海三棱藨草,每一物种形成大面积的单优群落。

1.2 取样方法

2004 年 10 月在崇明东滩湿地开展了一次野外调查。根据东滩沉积状况和盐度分布的特点,在整个东滩湿地设置了两条样线(北样线和中样线,图 1),在每条样线上设置 4 个取样点,即分别位于光滩、海三棱藨草、互花米草和芦苇等典型群落内。每个取样点设置 3 个样方,样方面积为 1m²。取植物样(地上和地下部分)和沉积物样(分 3 层,即表层 0~15cm、中层 15~30cm 和底层 30~45cm),带回实验室。

1.3 分析方法

返回实验后,沉积物样品分成两部分,一部分自然风干,研磨过 80 目筛,用于测定总氮;另一部分在 105℃下烘干(约 1d),研磨过 80 目筛,用于测定总磷和重金属。植物组织用自来水冲洗,然后用去离子水冲洗 3

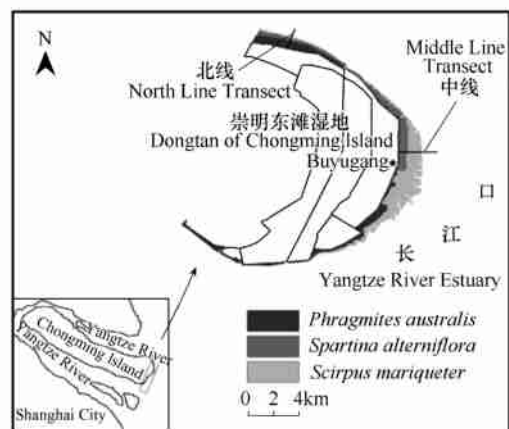


图 1 崇明东滩的地理位置及取样点

Fig. 1 Geographical location of Chongming Dongtan wetlands and sampling sites

遍,擦干后,称鲜重,然后在 60 °C 条件下烘干(2d),称干重,计算含水率。样品经粉碎后,用于测定 TN、TP 和重金属。

总氮用凯氏定氮法测定;总磷先用硫酸-硝酸消解后,用磷钼蓝法测定;重金属用硝酸-高氯酸消解后,用 3500G 型原子吸收分光光度计测定,测定方法为火焰法。所有测定结果以干重表示。

1.4 统计方法

采用方差分析(ANOVA)来比较植物体和沉积物中 TN、TP 和重金属(Cu、Zn、Pb 和 Cd)含量的差异,统计软件为 Statistica 6.0,多重比较采用新复极差法,并用字母法标记。

2 结果与分析

2.1 植物体内营养盐和重金属的分布与累积

图 2 显示了 3 种盐沼植物地上和地下部分 TN 和 TP 的含量。对于 TN,海三棱藨草地上部分 TN 含量显著高于芦苇和互花米草($p < 0.01$),而后两者之间无显著差异($p > 0.05$);地下部分却相反;除海三棱藨草地上部分 TN 显著高于地下部分以外($p < 0.01$),其它两种植物地上和地下部分 TN 无显著性差异($p > 0.05$)。在 3 种盐沼植物中,海三棱藨草的 TP 含量均是最高。通过地上部分 TP 的多重比较,发现海三棱藨草和互花米草没有显著性差异($p > 0.05$),两者均显著高于芦苇($p < 0.01$);对于地下部分,海三棱藨草显著高于互花米草和芦苇($p < 0.01$),而后两者无显著性差异($p > 0.05$)。通过对同种植物不同部分 TP 含量的比较,海三棱藨草和互花米草均无显著性差异($p > 0.05$),而芦苇地下部分 TP 含量显著高于地上部分($p < 0.05$)。

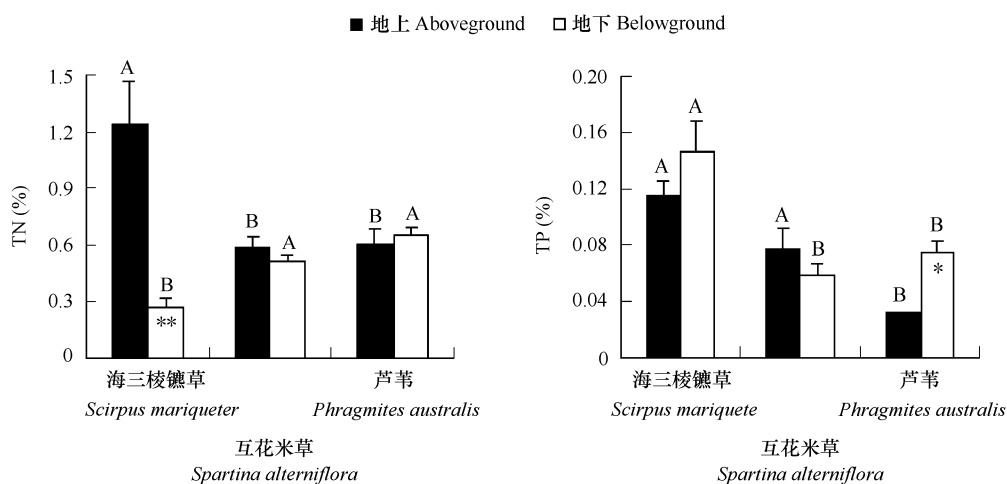


图 2 植物体内 TN 和 TP 含量

Fig. 2 Concentration of TN and TP in the plant

图中误差棒表示标准误($n = 6$),大写和小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上不同植物间具有显著性差异,*和*分别表示在 0.01 和 0.05 水平上植物地上和地下部分之间具有显著性差异,下图相同 The bars show $\pm 1SE$ ($n = 6$) The uppercase and lowercase denote significant difference between plants at $\alpha = 0.01$ and $\alpha = 0.05$ level, respectively. Double asterisk and one asterisk denote significant difference between aboveground and belowground parts at $\alpha = 0.01$ and $\alpha = 0.05$ level, respectively; The symbols in the following figures show the same meaning

图 3 显示重金属(Cu、Zn、Pb 和 Cd)在植物体内的分布。从地上部分 4 种重金属的含量来看,Cu、Pb 和 Cd 表现出相同的特征,即海三棱藨草显著高于互花米草和芦苇($p < 0.01$),而后两者间无显著性差异($p > 0.05$);3 种植物中,芦苇地上部分的 Zn 含量是最低,显著低于海三棱藨草和互花米草($p < 0.01$),而后两者无显著性差异($p > 0.05$)。对于地下部分,3 种植物之间 Cu 和 Cd 的含量均无显著性差异($p > 0.05$),而 Zn 和 Pb 却表现为:海三棱藨草显著高于互花米草和芦苇($p < 0.05$),而后两者差异不显著($p > 0.05$)。总的来说,海三棱藨草体内的重金属高于其它两种盐沼植物。除地上部分 Zn 以外,芦苇和互花米草体内的重金属含量基本一致

($p > 0.05$)。重金属在植物体内的分配模式是相同的,即地下部分均高于地上部分。

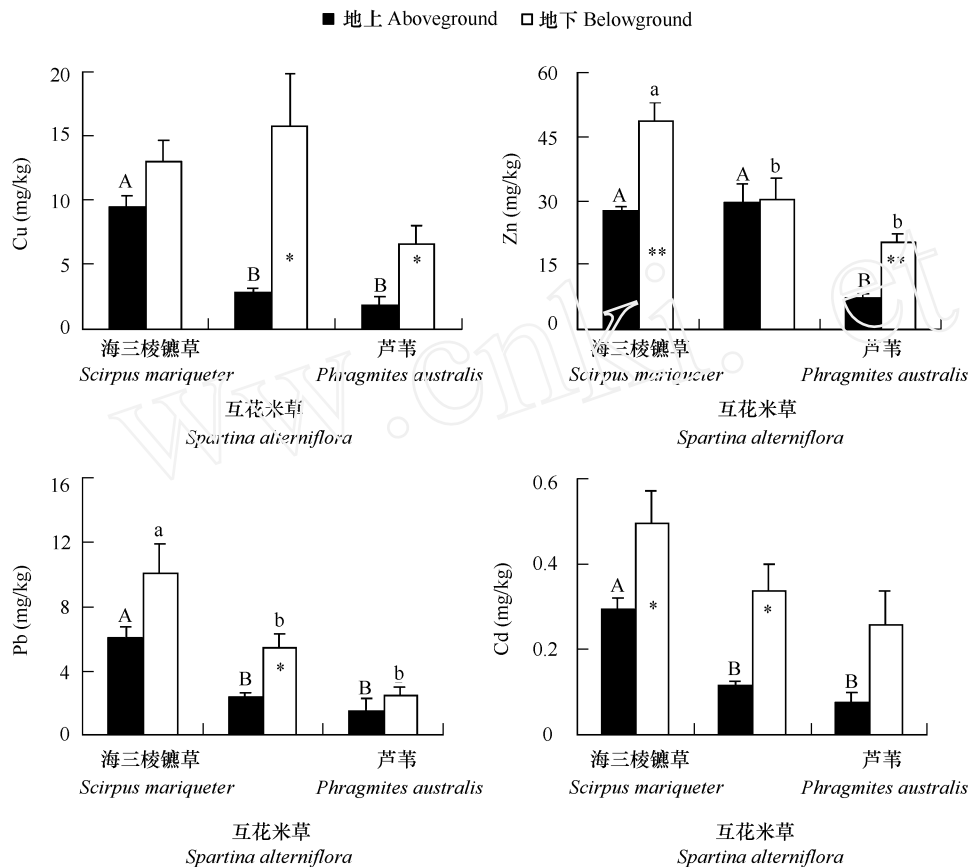


图3 植物体内重金属含量

Fig.3 Concentration of heavy metals in the plant

图4显示植物地上部分TN和TP的库。互花米草TN库与芦苇未达到极显著($0.01 < p < 0.05$),但显著大于海三棱藨草($p < 0.01$);TP库表现为:互花米草显著大于芦苇和海三棱藨草($p < 0.01$),而后两者差异不显著($p > 0.05$)。

图5显示植物地上部分的重金属库。海三棱藨草和芦苇的重金属库均无显著性差异。互花米草地上部分Cu库是最大的,显著高于芦苇($p < 0.01$),但与海三棱藨草无显著性差异($p > 0.05$)。互花米草Zn库显著大于海三棱藨草和芦苇($p < 0.01$)。Pb和Cd库均表现为:互花米草显著大于芦苇和海三棱藨草($p < 0.05$)。

2.2 沉积物中营养盐和重金属的分布与累积

图6显示了湿地沉积物中TN和TP的分布。它们在湿地沉积物中的分布特征显然不同。随着高程的增加,TN呈逐步上升的趋势,即芦苇带>互花米草带>海三棱藨草带>光滩,但统计结果显示,芦苇带TN含量显著高于其它3个样点($p < 0.01$),而后3个样点无显著性差异($p > 0.05$)。而TP的分布并没有表现出空间变异,各样点的TP含量基本保持在0.06%左右。通过对

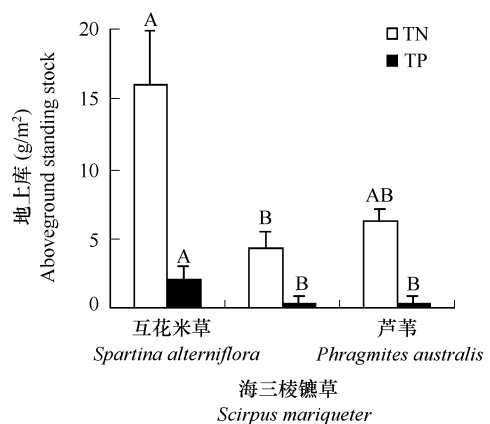


图4 植物地上部分TN和TP的库

Fig.4 Aboveground standing stock of TN and TP

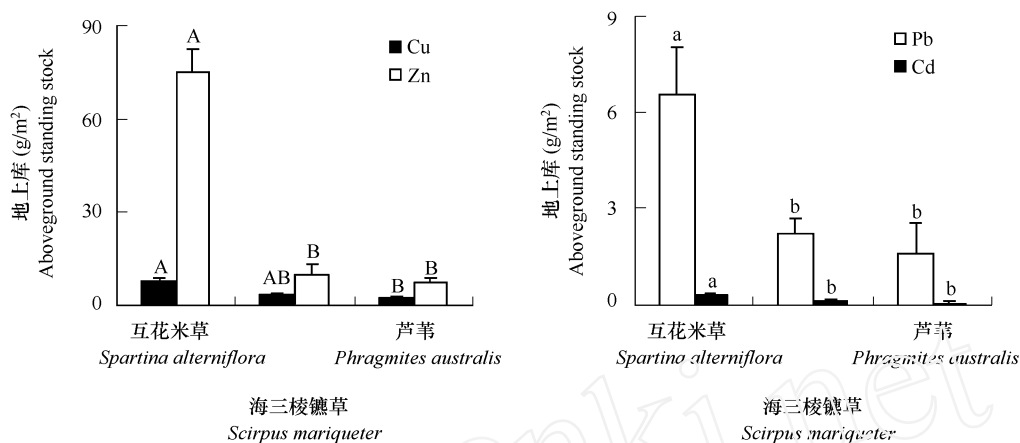


图5 植物地上部分重金属的库

Fig. 5 Aboveground standing stock of heavy metals in the plant

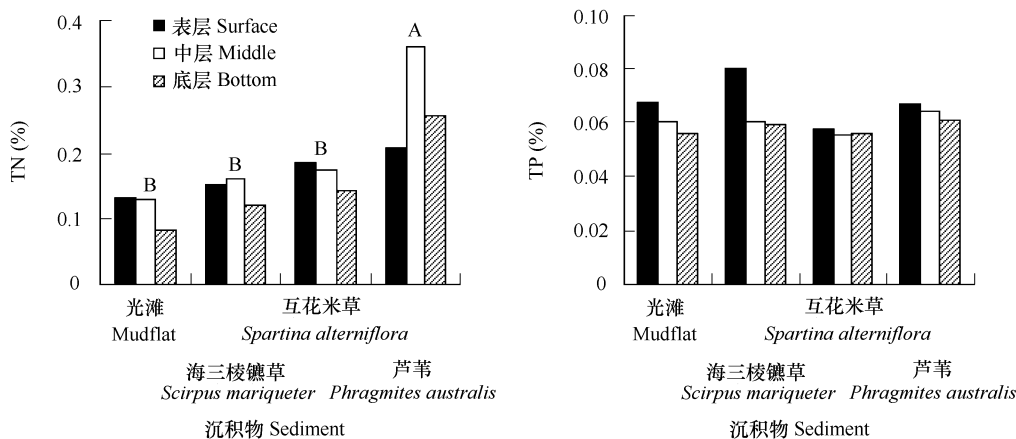


图6 湿地沉积物中 TN 和 TP 的含量

Fig. 6 Concentration of TN and TP in the sediment

不同深度层中 TN 和 TP 含量的比较,总的来说,随着深度的增加,沉积物中 TN 和 TP 含量逐步降低,但统计结果显示差异不显著 ($p > 0.05$)。

图 7 显示了崇明东滩湿地沉积物中重金属的分布。与 TN 相似,4 种重金属在沉积物中的分布与累积呈现出相同的特征,即随着高程的增加,由海洋向陆地,沉积物中重金属的含量逐步增加,至芦苇带达到最大值,变化特征为:芦苇带 > 互花米草带 > 海三棱藨草带 > 光滩;统计结果显示,除 Cd 外,其它 3 种重金属均表现为芦苇带显著高于其它 3 个潮带 ($p < 0.01$)。通过对不同深度层中重金属的含量比较,总的来说,随着深度的增加,重金属含量逐步降低,但互花米草带并未表现这种变化特征。

3 讨论

互花米草作为外来入侵种,凭借其单位面积上较高的地上生物量,因此拥有较高的地上部分 TN 和 TP 库,其地上部分 TN 库分别是芦苇和海三棱藨草的 2.5 倍和 3.6 倍,TP 库分别是芦苇和海三棱藨草的 4.8 倍和 6.2 倍,从净化功能上考虑,无疑通过收获互花米草对营养盐的去除效果最佳。3 种盐沼植物对 TP 的富集系数明显大于 TN (表 1),可见盐沼植物对 P 的净化与累积效率更高。因此,通过收获互花米草去除磷,对控制近岸水体富营养化有一定效果,因为从整个长江口水域营养盐的含量及构成来看,磷最有可能成为浮游植物生长的限制性因子^[10]。

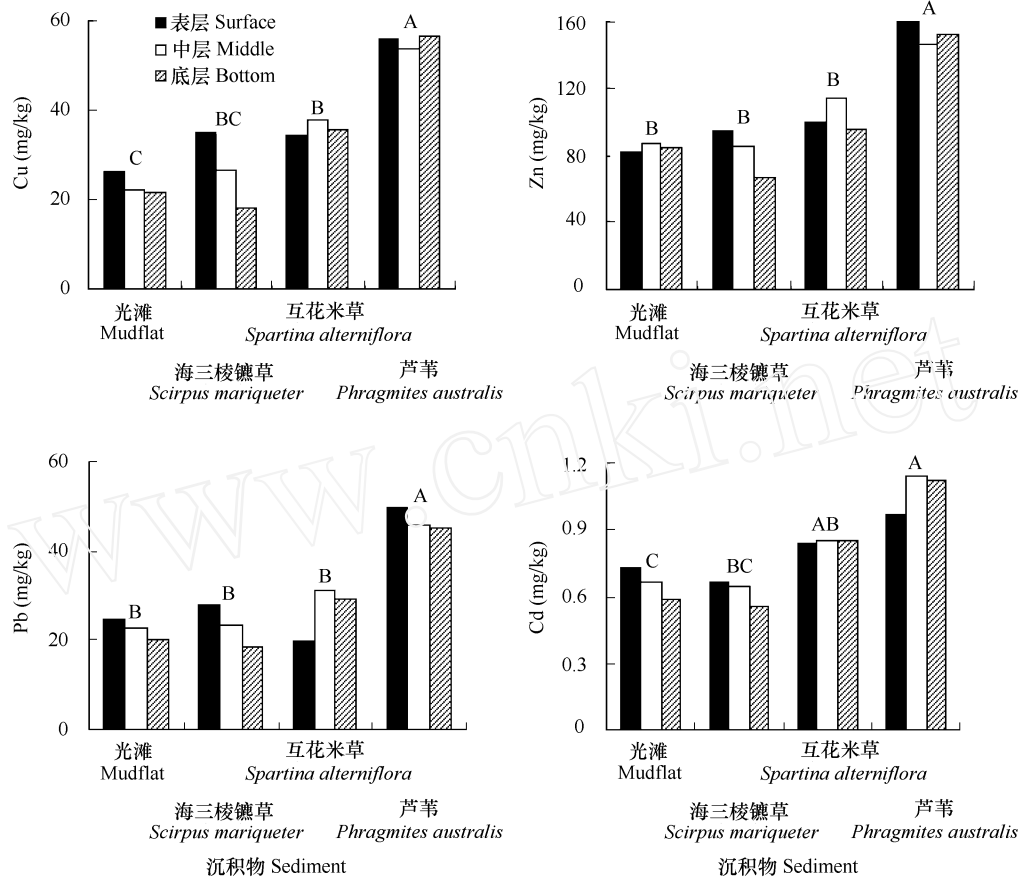


图 7 湿地沉积物中重金属的含量

Fig. 7 Concentration of heavy metals in the sediment

同样,互花米草地上部分的重金属库明显大于其它两种植物,一方面表明互花米草对重金属的吸收与累积效率更高;但另一方面,互花米草将更多的重金属输送到地上部分,从而有可能将沉积物中的更多有毒重金属输入到邻近河口水体及食物网中。同时,有研究证实互花米草叶片中具有能够释放出金属离子的盐腺,所以互花米草叶片的重金属释放速度会显著大于芦苇^[11~13]。因此,互花米草入侵可能会显著提高长江口湿地重金属的生物可利用性,有可能使湿地成为重金属的源,但有待进一步证实。

在重金属的分配模式上,3种植物的共同特点是植物地上部分重金属含量低于地下部分,这与许多研究的结论是相同的,即大多数盐沼植物将更多的重金属累积在其根系,主要原因是:除超累积植物外,植物根系内皮组织(root endodermis)能阻碍重金属向光合作用部位的运输^[11]。

营养盐和重金属在沉积物中的分布和累积与其外源输入量、沉积物特性(粒径组成、氧化还原电位和pH等)及各元素的化学性质等有关^[2,10,14,15,17~19]。本研究阐明了崇明东滩湿地沉积物中TN、TP和重金属的空间分布规律,即随着潮滩高程的增加,沉积物中TN和4种重金属的含量均表现出逐步上升的趋势,这与其它研

表 1 3种盐沼植物地上 TN、TP 库(g/m²)和富集系数*(×10³kg)

Table 1 Aboveground standing stock of nutrients and enriching coefficient of three salt marsh plants

盐沼植物 Salt marsh plants	地上库 Standing stock		富集系数 Enriching coefficient	
	TN	TP	TN	TP
互花米草 <i>S. alterniflora</i>	15.97	2.01	19.97	57.45
海三棱藨草 <i>S. mariqueter</i>	4.41	0.33	5.51	9.34
芦苇 <i>P. australis</i>	6.28	0.41	7.85	11.74

* 富集系数 = 植物地上部分 TN 或 TP 量/(1000 × 长江口水体中无机营养盐的平均含量),无机氮取 0.80mg/L,无机磷为 0.035mg/L,意指 1m² 植物可完全吸收多少吨海水中无机营养盐 Enriching coefficient = aboveground standing stock of TN or TP/(1000 × DIN or DIP), which showed the plant per unit can absorb the mass of inorganic nutrient from seawater totally. DIN = 0.80mg/L, DIP = 0.035mg/L

究的结果是比较一致的^[2,16~18],这也反映崇明东滩湿地是一块沿未受显著干扰的河口潮滩湿地^[2]。据研究,崇明东滩沉积物粒度组成具有明显的空间分布特点,高-中-低潮滩依次出现细粉砂、中粉砂和粗粉砂^[20],这可能是 TN 和重金属在东滩湿地呈现出规律性分布的主要原因。

本研究也显示沉积物中 TP 含量空间变异不大,这可能与湿地沉积物中磷的赋存形态有关。据有关学者研究^[3,4],无机磷是长江河口区磷存在的主要化学形态,其中以 Ca-P 为最主要的形态,由于 Ca-P 在不同粒径颗粒中是呈均匀分布的,其含量与沉积物粒径无关,因而崇明东滩湿地沉积物 TP 是呈均匀分布的。

4 小结

(1) 崇明东滩湿地沉积物中 TN 和重金属的分布表现出相同的特征,即从光滩到芦苇带, TN 和重金属的含量呈逐步上升趋势;而各潮带 TP 含量基本保持在 0.06 %左右。这种分布特点与沉积物粒度及元素的赋存形态等有关。

(2) 互花米草地上部分的养分库和重金属库均大于芦苇和海三棱藨草,表明收获互花米草对河口环境的净化作用最佳,特别对磷的去除效率是最高的。未来,应重点研究互花米草入侵对长江口湿地生物地球化学循环过程的影响。

References:

- [1] Wu Y, Zhang J, Li D J. Transport and recycling of nutrients (N,P) in the wetland. *Marine Science*, 2004, 28(3):69~72.
- [2] Qian C P, Chen Z L, Bi C J, et al. Progress of biogeochemical study on heavy metals in tidal flat sediment. *Research of Environmental Sciences*, 2002, 15(5):49~52.
- [3] Hou L J, Liu M, Xu S Y, et al. Species of phosphorus in core sediments from the Changjiang Estuary and its environmental significance. *Marine Environmental Science*, 2001, 20(2):8~13.
- [4] Liu M, Lu M, Xu S Y, et al. Phosphorus species in aquatic sediments at the Yangtze estuary and Shanghai coast. *Earth Science Frontiers(supplement)*, 2000, 7:94~98.
- [5] 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.
- [6] Bi C J, Chen Z L, Xu S Y, et al. Distribution and accumulation of heavy metals in plants and rhizosphere sediments at tidal flat in Changjiang Estuary. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2003, 22(1):38~41.
- [7] Xu S Y, Tao J, Chen Z L, et al. Dynamic accumulation of heavy metals in tidal flat sediments of Shanghai. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1997, 28(5):509~515.
- [8] Chen Z L, Xu S Y, Liu L, et al. Spatial distribution and accumulation of heavy metals in tidal flat sediments of Shanghai coastal zone. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(6):641~651.
- [9] 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.
- [10] Han X R, Wang X L, Sun X, et al. Nutrient distribution and its relationship with occurrence of red tide in coastal area of East China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(7):1097~1101.
- [11] Burke D J, Weis J S, Weis P. Release of metals by the leaves of the salt marsh grasses *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51:153~159.
- [12] Weis P, Windham L, Burke D J, et al. Release into the environment of metals by two vascular salt marsh plants. *Marine Environmental Research*, 2002, 54:325~329.
- [13] Weis J S, Weis P. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implication for phytoremediation and restoration. *Environment International*, 2004, 30:685~700.
- [14] Fitzgerald E J, Caffrey J M, Nesaratnam S T, et al. Copper and lead concentrations in salt marsh plants on the Suir Estuary, Ireland. *Environmental Pollution*, 2003, 123:67~74.
- [15] Cacador I, Vale C, Catarino F. Seasonal variation of Zn, Pb, Cu and Cd concentrations in the root-sediment system of *Spartina maritima* and *Halimione portulacoides* from Tagus estuary salt marshes. *Marine Environmental Research*, 2000, 49:279~290.
- [16] Windham L, Weis J S, Weis P. Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes, *Spartina alterniflora* (cordgrass) and *Phragmites australis* (common reed). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 56:63~72.

- [17] Zhang W, Yu L, Hutchinson S M, *et al.* China 's Yangtze Estuary . Geomorphic influence on heavy metal accumulation in intertidal sediments. *Geomorphology*, 2001, 41: 195 ~ 205.
- [18] Kang Q S, Wu Y, Zhang J, *et al.* The distribution and pollution of heavy metals in Chongming wetland. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25 (supplement 2): 1 ~ 7.
- [19] Zhang C S, Wang L J, Li G S, *et al.* Grain size effect on multi-element concentrations in sediments from the intertidal flats of Bohai Bay, China. *Applied Geochemistry*, 2002, 17: 59 ~ 68.
- [20] Liu Q Y, Dai X R, He X Q. The spatial distribution characteristics of sediment grain size on the east tidal flat, Chongming Island. *Shanghai Geology*, 2003, 4: 5 ~ 8.

参考文献:

- [1] 吴莹,张经,李道季. 营养盐(氮、磷)在湿地中的迁移与循环. *海洋科学*, 2004, 28(3): 69 ~ 72.
- [2] 钱嫦萍,陈振楼,毕春娟,等. 潮滩沉积物重金属生物地球化学研究进展. *环境科学研究*, 2002, 15(5): 49 ~ 52.
- [3] 侯立军,刘敏,许世远,等. 长江口岸带状沉积物中磷的存在形态及其环境意义. *海洋环境科学*, 2001, 20(2): 8 ~ 13.
- [4] 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. *地学前缘*, 2000, 7(增刊): 94 ~ 98.
- [5] 高效江,张念礼,陈振楼,等. 上海滨岸潮滩水沉积物中无机氮的季节性变化. *地理学报*, 2002, 57(4): 407 ~ 412.
- [6] 毕春娟,陈振楼,许世远,等. 长江口潮滩植物根际重金属的分布与累积. *矿物岩石地球化学通报*, 2003, 22(1): 38 ~ 41.
- [7] 许世远,陶静,陈振楼,等. 上海潮滩沉积物重金属的动力学累积特征. *海洋与湖沼*, 1997, 28(5): 509 ~ 515.
- [8] 陈振楼,许世远,柳林,等. 上海滨岸潮滩沉积物重金属元素的空间分布与累积. *地理学报*, 2000, 55(6): 641 ~ 651.
- [9] 刘敏,侯立军,许世远,等. 河口滨岸潮滩沉积物-水界面 N、P 的扩散通量. *海洋环境科学*, 2001, 20(3): 19 ~ 23.
- [10] 韩秀荣,王修林,孙霞,等. 东海近海海域营养盐分布特征及其与赤潮发生关系的初步研究. *应用生态学报*, 2003, 14(7): 1097 ~ 1101.
- [18] 康勤书,吴莹,张经,等. 崇明东滩湿地重金属分布特征及其污染状况. *海洋学报*, 2003, 25(增刊 2): 1 ~ 7.
- [20] 刘清玉,戴雪荣,何小勤. 崇明东滩表层沉积物的粒度空间分布特征. *上海地质*, 2003, 4: 5 ~ 8.