

# 新生滨海湿地土壤微量元素空间分异特征

于君宝<sup>1,2</sup>, 陈小兵<sup>1</sup>, 毛培利<sup>1</sup>, 吴春发<sup>1</sup>, 董洪芳<sup>1</sup>, 单凯<sup>3</sup>

(1 中国科学院烟台海岸带研究所, 滨海湿地生态实验室, 海岸带环境过程重点实验室, 山东 烟台 264003)

2 滨州学院, 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256600;

3 山东黄河三角洲国家级自然保护区管理局, 山东 东营 257091)

**摘要:** 在黄河三角洲国家级自然保护区核心区新生湿地内, 根据植被分布状况, 由黄河岸边至海滩方向布设了两条平行样带, 研究土壤微量元素 Fe, Mn, Cu, Zn 和 B 分布的空间分异特征。结果表明, 黄河三角洲新生滨海湿地表层 0~30 cm 土壤中 B, Mn, Fe, Cu 和 Zn 的平均含量分别为 50.94 mg/kg, 43.987 mg/kg, 22.25 g/kg, 27.48 mg/kg 和 46.39 mg/kg。从黄河岸边至近海光滩区, 土壤中 5 种微量元素含量总体上呈逐渐增加趋势, 在剖面上表现为波动变化规律。不同植被群落土壤中, 5 种微量元素含量之间及其与总有机碳含量、总氮含量、总硫含量和土壤含盐量之间存在显著正相关关系。新生滨海湿地土壤中总有机碳含量、总氮含量和总硫含量是影响土壤微量元素含量的关键因素。

**关 键 词:** 微量营养元素; 空间分异; 滨海湿地; 黄河三角洲

中图分类号: X142 X171.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-5948(2010)03-213-07

湿地是一种特殊自然综合体, 是地球上重要的生存环境和生态系统之一, 因其独特的水文、土壤、植被与生物特征, 使其在调节气候、涵养水源、净化环境等方面具有巨大的环境功能, 拥有极高的生态价值。据估算, 全球湿地生态价值约为全球自然生态系统生态价值总和的 45%<sup>[1]</sup>。黄河三角洲湿地是中国最年轻的滨海湿地生态系统, 是东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬栖息地, 具有海陆过渡性、原生性和脆弱性的特点, 快速演化性和高速沉积性是黄河三角洲新生滨海湿地的独特特征。在这种条件下, 系统内元素生物地球化学循环过程必然有其特殊规律和驱动机制。

在滨海湿地生态系统中, 土壤营养元素状况显著影响植物的演替方向、近海环境及水生生物的生长及外部形态等<sup>[2~4]</sup>, 微量营养元素作为辅助因子参与生物生化反应以促进生物增殖是诱发和促进赤潮发生的因素<sup>[5~7]</sup>。生态系统土壤中 Fe, Mn, Cu, Zn 和 B 是植物正常生长发育所必需的微量元素, 其含量虽少(一般为 0.02%~0.0002%), 但却是组成酶、维生素和生长激素的必要成分, 直接参与有机体的代谢过程。如 Zn 是许多脱氢酶、蛋

白酶和肽酶的必要组成成分和活化剂, Fe 是血红蛋白紧密结合的一个组成部分, 因此每种微量元素都对植物的生长发育都有着其他元素不可替代的作用。微量元素 Mn, Cu 和 Zn 同时也是重金属元素, 因而国内外学者除了研究湿地土壤中微量元素的营养作用、影响因素及其相互关系外<sup>[8~13]</sup>, 也对其污染行为、迁移转化途径进行了相应的探讨<sup>[14~17]</sup>。近些年来, 在黄河三角洲地区开展的主要研究工作包括景观格局变化<sup>[18~20]</sup>、生物多样性保护<sup>[21, 22]</sup>、群落演替过程<sup>[23, 24]</sup>及湿地演化<sup>[25, 26]</sup>等方面, 但对黄河三角洲滨海湿地生态系统营养元素生物地球化学行为研究极少, 仅见 2 篇报道<sup>[27, 28]</sup>, 而微量元素研究尚未见报道。为此, 本研究选择黄河三角洲新生滨海湿地作为研究区域, 通过野外调查和采样测定, 研究新生滨海湿地不同植被群落下土壤微量元素 Fe, Mn, Cu, Zn 和 B 分布的生物地球化学分异特征及其影响因素, 为进一步深入探讨滨海湿地元素生物地球化学循环过程及生态修复研究提供科学依据。

收稿日期: 2010-03-15 修订日期: 2010-05-08

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-223)、中国科学院百人计划项目、山东省科技攻关计划项目(2008GG20005006, 2008GG3NS07005)以及中国科学院、国家外国专家局创新团队国际合作伙伴计划项目和国家自然科学基金项目(30770412)资助。

作者简介: 于君宝(1970-), 男, 吉林省长春人, 博士, 研究员, 主要从事湿地生物地球化学与生态修复研究。E-mail: junbao\_yu@gnail.com  
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

# 1 材料和方法

## 1.1 研究区概况

研究区位于黄河三角洲国家级自然保护区( $37^{\circ}40'N \sim 38^{\circ}10'N$ ,  $118^{\circ}41'E \sim 119^{\circ}16'E$ )内, 保护区总面积为 $15.3 \times 10^4 hm^2$ , 植被以水生植被和盐生植被为主(85%以上), 植物种群组成简单, 建群种少, 芦苇(*Phragmites australis*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)和翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)分布较广, 植物的分布主要受土壤盐碱化程度影响; 土壤质地以轻壤土和中壤土为主, 土壤类型以潮土和盐土为主; 区域气候属温带大陆性季风气候, 四季分明, 年平均气温为 $12.1^{\circ}C$ , 年降水量为 $551.6 mm$ <sup>[29~32]</sup>。

## 1.2 样带布设、采样和样品处理

在黄河三角洲国家级自然保护区核心区新生湿地内, 由黄河岸边至海方向布设两条平行样带(为植物原生序列)(图1)。根据植被类型, 每条样带设置10个采样点, 共20个采样点, 其依次为无植被河滩地(A处)、三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)和朝天委陵菜(*Potentilla supina*)区(B处)、假苇拂子茅(*Calamagrostis pseudophragnites*)区(C处)、白茅(*Imperata cylindrica*)区(D处)、芦苇区(E处)、翅碱蓬—芦苇区(F处)、翅碱蓬—柽柳区(G处)、翅碱蓬—柽柳(过渡带)区(H处)、翅碱蓬区(I处)、无植被盐滩区(J处)。

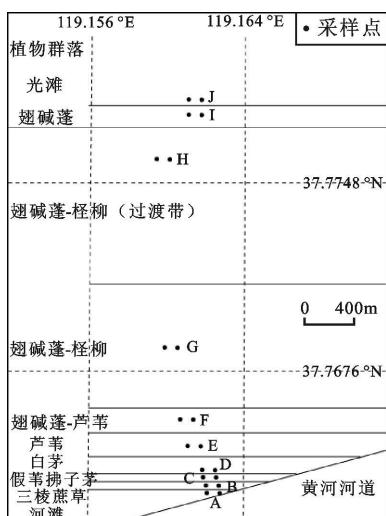


图1 研究区中采样点的分布

Fig 1 Distribution of sampling sites in study area

于2008年8月, 在每个采样点的土壤剖面上分层采集土壤样品, 每层采样间隔为10 cm, 其

中, A处采样点因受水分限制仅采至20 cm深度, 其余样点采样深度至60~80 cm, 共采集土壤样品102个, 全部样品风干后研磨, 过100目筛孔筛, 用于测定。样品的Fe Mn Cu Zn和B含量采用ICP-MS(PE Element DRC II)测定。土壤容重、pH和含盐量等理化指标用常规方法测定。

## 1.3 数据处理与制图

采用单因素法分析野外实测数据和实验室测试数据的差异显著性; 数据的相关性分析采用Person相关系数评价。图件采用Origin7.0和Adobe Illustrator CS3等绘图软件完成。

# 2 结果与讨论

## 2.1 土壤剖面微量元素的分布特征

黄河三角洲新生滨海湿地各采样点土壤剖面微量元素的变化详见图2。图中曲线各点数据为两条平行样带上同一植被类型相同土壤层2个样品的元素含量平均值, 柱状图数值表示平行样带中相同土壤层A~J处的18~20个样品的元素含量平均值。总体上, 土壤剖面的Fe Mn Cu Zn和B的含量都表现为波动变化。除H处采样点外, 其他采样点土壤表层至20 cm或30 cm深度土壤的微量元素含量在下降; 深度20~40 cm或30~50 cm土壤的微量元素含量迅速增加并达到最大值, 随后随着剖面深度增加而逐渐下降。单因素方差分析(One-way-ANOVA)结果显示, 土壤剖面5种微量元素含量差异不显著(sig值变化在0.02~0.27之间)。

从土壤剖面中微量元素的分布看, 在0~30 cm深度土壤内, 其含量逐渐下降(见图2), 这与黄河三角洲优势植物根系分布状况相一致, 说明植物分解归还是表层土壤微量元素主要来源之一, 土壤微量元素含量向下逐渐降低主要归因于植物根系吸收微量元素并累积于植物体内。30~40 cm深度土壤微量元素出现峰值的原因之一是微量元素淋溶累积的结果, 因为Fe Mn Cu Zn和B在水分较多的厌氧还原条件下都十分易溶于水并向下降淋溶, 在土壤某一层形成累积, 并随着剖面深度的加深微量元素含量逐渐下降; 另外, 在剖面中还发现该层土壤中保存有尚未完全分解的黑色植物残体, 这主要是由于某一时期洪水所携带的大量泥沙将植物直接埋于地下并保存下来, 其缓慢的分解释放导致了该层次微量元素

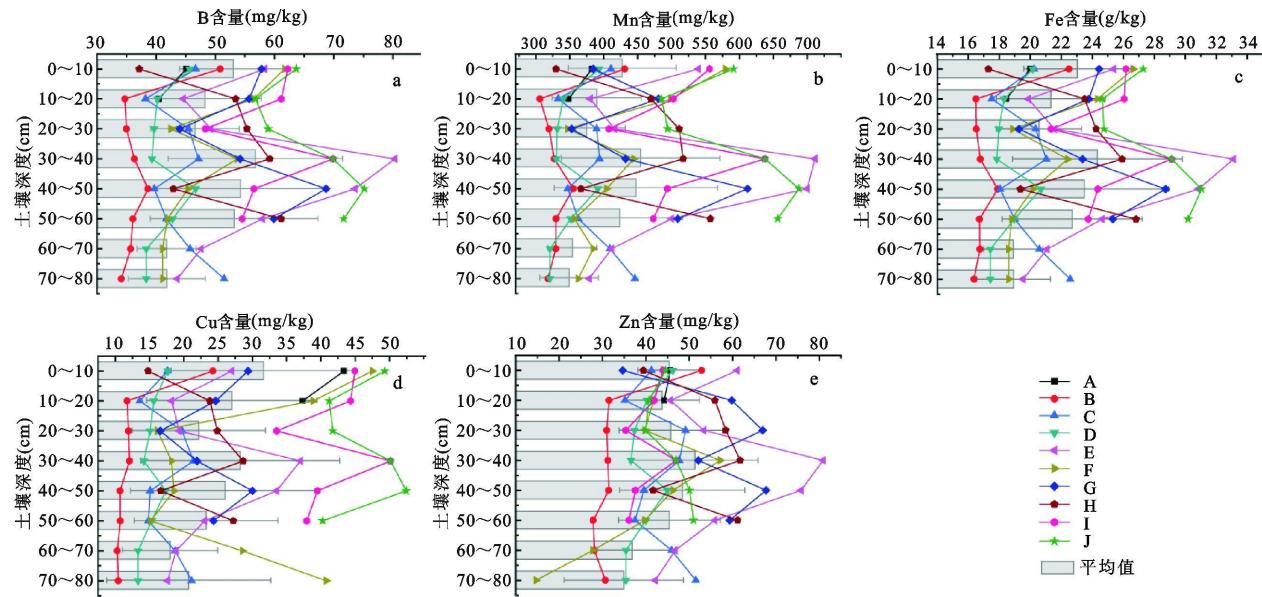


图 2 新生滨海湿地土壤剖面微量元素含量分布

Fig 2 The distribution of contents of soil trace nutrients in soil profiles of new-born coastal wetland

养元素偏高。J处的无植被盐滩区,土壤剖面五种微量元素的总体变化与其他处采样点基本一致,这说明黄河三角洲新生滨海湿地土壤表层微量元素来源还有其他途径,如大气颗粒物的干湿沉降。有研究表明,全球大气每年向北太平洋输送 $16\% \sim 76\%$ 的溶解Fe<sup>[33]</sup>,太平洋表层水的总溶解Mn主要由来自于大气输入<sup>[34]</sup>。

## 2.2 土壤微量元素的水平分异

由于植物的吸收累积和分解释放作用,生态系统养分的分布与植被状况关系密切<sup>[35]</sup>。从黄河岸

边至盐滩区(由B处至J处),表层(0~30 cm)土壤中Fe、Mn、Cu和B含量变化有波动增加的趋势;虽然因含盐量过高(2.6%以上)和受潮汐冲刷靠海光滩区无植被生长,但其土壤中的各微量元素平均含量却高于样带中其他采样区(图3,图中曲线数据为两个平行样带同一植被类型0~30 cm土壤层4~6个样品的元素含量平均值)。单因素方差分析表明,不同植被类型除Zn外的其余4种土壤微量元素含量差异显著( $\text{sig} < 0.01$ )。

不同湿地植物对养分的吸收与归还能力是决

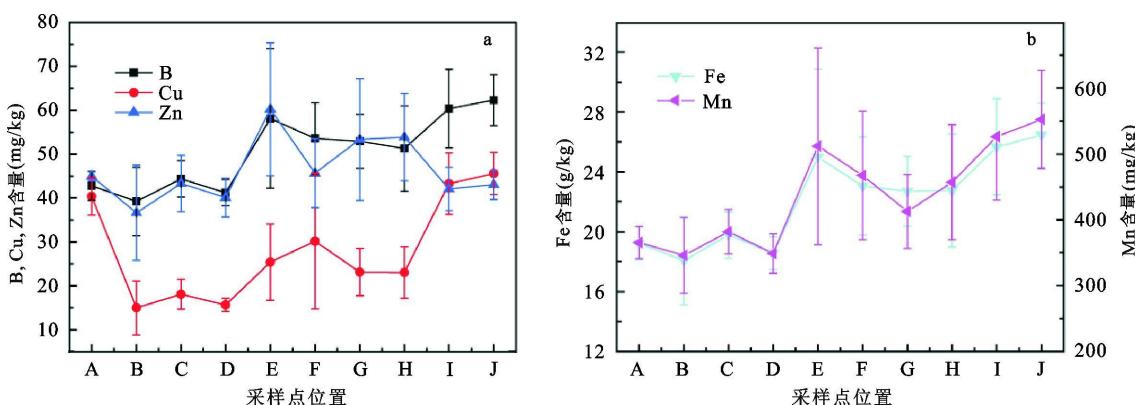


图 3 新生滨海湿地表层(0~30 cm)土壤微量元素含量水平分布(a B, Cu和Zn; b Fe和Mn)

Fig 3 The horizontal distribution of contents of trace nutrient elements in topsoil (0~30 cm) of new-born coastal wetland (a B, Cu and Zn; b Fe and Mn)

定养分水平分布的关键因素<sup>[36,37]</sup>。黄河三角洲不同植物种群的带状分布是植物适应不同盐分阈值的具体体现<sup>[31]</sup>。从黄河岸边至近海光滩区,土壤含盐量和总有机碳(TOC)逐渐升高,植物种群表现出从三棱藨草→芦苇→碱蓬的变化,在植物吸收与残体分解归还作用下,表层土壤中Fe、Mn、Cu和B含量大体上呈现出逐渐增加的趋势,而在芦苇群落土壤中出现的较高含量的微量营养元素可能与芦苇本身对微量营养元素的吸收能力与分解释放速率有关。在表层(0~30 cm)土壤中,B含量为34.72~80.32 mg/kg(中值50.04 mg/kg),Mn含量为305.87~711.39 mg/kg(中值413.38 mg/kg),Fe含量为16.50~33.11 g/kg(中值21.99 g/kg),Cu含量为11.74~50.16 mg/kg(中值24.03 mg/kg),Zn含量为30.99~80.88 mg/kg(中值44.37 mg/kg)。

新生滨海湿地土壤中微量营养元素B、Mn和Zn含量较小,低于中国和世界土壤的平均值,Cu平均含量略高于中国土壤平均值,Fe含量比中国和世界土壤平均值高约2倍(表1)。这主要是由于黄河三角洲新生湿地的成陆泥沙来源于黄土,而黄土来源于风成,长距离迁移以轻、浅色矿物为主,所成土壤成分单一,多数元素处于缺乏状态,土壤中Fe含量较高。另外,湿地的厌氧环境和干湿交替条件有利于Fe的累积富集,如三江平原沼泽土壤中Fe的平均含量约为25 g/kg<sup>[38]</sup>,福建红树林湿地土壤Fe含量为32.8~36.7 g/kg<sup>[39]</sup>,其都与本研究结果相近。另外,A处土壤中Cu和Zn含量略高于B处、C处和D处,说明这些微量营养元素可能由河流输入;无植被光滩区土壤微量营养元素含量高于其他大部分采样点,则与土壤中其他营养物质有关。

表1 土壤微量元素平均含量对比

Table 1 Comparison of average contents of soil trace nutrient elements

土壤	B (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (g/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	数据来源
滨海湿地土壤	50.94	439.87	22.25	27.48	46.39	本研究
中国黄土	60.70	532.00	6.70	21.70	68.70	文献[38]
中国土壤	64.01	710.00	7.16	22.10	100.00	文献[39]
世界土壤	60.00	850.00	8.53	20.00	50.00	文献[40]

## 2.3 土壤微量元素与土壤相关理化参数的关系

土壤保持养分的能力主要取决于土壤的理化性状,如在有机质含量较丰富的土壤中,其土壤微团聚结构好,保持养分能力强<sup>[12]</sup>,而盐渍化较严重的土壤,由于其土壤颗粒过细,盐分含量过高,土壤结构较差,保水、保肥能力较弱。黄河三角洲新生滨海湿地土壤微量元素含量与土壤理化参数的相关分析表明,研究区不同植被群落土壤中五种微量元素之间及其与TOC、总氮(TN)、总硫(TS)和土壤含盐量在0.01水平呈显著正相关(表2);B、Fe、Mn与总磷(TP)以及B、Mn、Cu与pH在0.01水平显著负相关,Cu、Zn与pH以及Zn与TP在0.05水平显著相关。这说明微量元素与大量营养元素C、N、S、P之间的关系极为密切。由此可见,土壤中有机碳、N、P等营养元素可以通过改善土壤性状来保持微量元素,如高有机碳土壤具有较高的B、Fe和Zn的吸附能力<sup>[12]</sup>,土壤中微量元素Fe和Zn之间存在着较好的相互促进

关系<sup>[8]</sup>。这也是尽管J处没有植被,但其微量元素含量高于其他大部分采样点的主要原因。

总的来说,黄河三角洲是冲积、淤积平原,新生湿地的微量元素主要来源于黄河所携带的泥沙。因此,研究区土壤微量元素的剖面及水平分异特征是植物吸收与释放、淋溶累积、大气输入及黄河泥沙淤积等综合作用的结果。

## 3 结 论

黄河三角洲新生滨海湿地土壤中微量元素B、Mn和Zn含量处于较低水平,Cu和Fe含量略高于中国土壤平均值。表层土壤(深度为0~30 cm)中B、Mn、Fe、Cu和Zn平均含量分别为50.94 mg/kg、439.87 mg/kg、22.25 g/kg、27.48 mg/kg和46.39 mg/kg。

从黄河岸边的假苇拂子茅群落至近海光滩区,新生滨海湿地表层土壤中Fe、Mn、Cu和B含量波动增加;在剖面上表现为波动变化规律,峰值大致出现在土壤的淋溶累积层(深度为30~40 cm)。

表 2 新生滨海湿地不同植被土壤中微量元素含量与土壤特征参数的相关系数

Table 2 The correlation coefficients between contents of trace nutrient elements and characteristic parameters of soils with various vegetations in new-born coastal wetland

	B	Mn	Fe	Cu	Zn	TOC	TP	TS	TN	含盐量	pH
B	1	0.97*	0.99**	0.76**	0.65**	0.56**	0.38*	0.73**	0.64*	0.51**	-0.39*
Mn		1	0.98**	0.76**	0.64**	0.53**	0.35*	0.68**	0.64*	0.46**	-0.35*
Fe			1	0.77**	0.66**	0.57**	0.38*	0.72**	0.66*	0.52**	-0.39*
Cu				1	0.11	0.57**	0.20	0.59**	0.52*	0.44**	-0.31*
Zn					1	0.37**	0.31*	0.52**	0.55*	0.36**	-0.26*
TOC						1	0.10	0.72**	0.76*	0.70**	-0.52*
TP							1	0.38**	0.19	0.18	-0.07
TS								1	0.54*	0.72**	-0.52*
TN									1	0.41**	-0.42*
含盐量										1	-0.55*
pH											1

注: \*\* 表示 0.01 水平显著相关; \* 表示 0.05 水平显著相关; n = 132。

土壤中总有机碳、总氮、总硫和土壤含盐量是保持土壤微量元素的关键因素。新生滨海湿地土壤微量元素的剖面及水平分异特征是植物吸收与释放、淋溶累积、大气输入及黄河泥沙淤积等综合作用的结果。

致 谢:感谢黄河三角洲国家级自然保护区管理局刘月良总工程师对本研究野外工作的支持。

## 参考文献

- [1] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, **387**(6630): 253–260.
- [2] Choi Y, Wang Y, Hsieh Y P, et al. Vegetation succession and carbon sequestration in a coastal wetland in northwest Florida: Evidence from carbon isotopes [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2001, **15**(2): 311–319.
- [3] Tanner D K, Brazner J C, Brady V J. Factors influencing carbon, nitrogen, and phosphorus content of fish from a Lake Superior coastal wetland [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2000, **57**(6): 1243–1251.
- [4] Gascon S, Boix D, Saka J, et al. Organic carbon and nutrient (P, N) concentrations of water and sediment in several aquatic environment types of a Mediterranean coastal wetland (Emporda Wetlands NE Iberian Peninsula) [J]. Annales De Limnologie-International Journal of Limnology, 2006, **42**(4): 221–231.
- [5] 陈慈美,包建军,吴瑜瑞.纳污海域营养物质形态、含量与浮游植物的增殖竞争关系 II 微量营养要素 Cu<sup>2+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup> 的效应 [J].海洋环境科学,1990, **9**(2): 127.
- [6] Green R M, Geider R J, Kolber Z, et al. Iron-induced changes in light harvesting and photochemical energy conversion processes in eukaryotic marine algae [J]. Plant Physiol, 1992, **100**: 565–575.
- [7] 秦晓明,邹景忠, N, P, Fe-EDTA, Mn 对赤潮生物链状斯氏藻增殖影响的初步研究 [J].海洋与湖沼,1997, **28**(6): 594~598.
- [8] Swarup A. Iron, Zinc and Manganese Nutrition of Wetland Rice (*Oryza-Sativa L.*) on a Gypsum Amended Sodic Soil [J]. Plant and Soil, 1993, **156**: 477–480.
- [9] Snowden R E D, Wheeler B D. Chemical changes in selected wetland plant species with increasing Fe supply, with specific reference to root precipitates and Fe tolerance [J]. New Phytologist, 1995, **131**(4): 503–520.
- [10] McBride M B, Barrett K A, Martinez C E. Zinc and cadmium distribution and leaching in a metalliferous peat [J]. Water Air and Soil Pollution, 2006, **171**(1–4): 67–80.
- [11] Goulet R R, Pick F R. Changes in dissolved and total Fe and Mn in a young constructed wetland: Implications for retention performance [J]. Ecological Engineering, 2001, **17**(4): 373–384.
- [12] de Azevedo W R, Faquin V, Fernandes L A. Boron adsorption in low land soils from southern of the state of Minas Gerais, Brazil [J]. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 2001, **36**(7): 957–964.
- [13] Batty L C, Baker A JM, Wheeler B D, et al. The effect of pH

- and plaque on the uptake of Cu and Mn in *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steudel [J]. Annals of Botany, 2000, **86**(3): 647~ 653.
- [14] Bringolf R B, Morris B A, Boese C J, et al. Influence of dissolved organic matter on acute toxicity of zinc to larval fathead minnows (*Pimephales promelas*) [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2006, **51**(3): 438~ 444.
- [15] Deng H, Ye Z H, Wong M H. Lead and zinc accumulation and tolerance in populations of six wetland plants [J]. Environmental Pollution, 2006, **141**(1): 69~ 80.
- [16] Karlsson S, Grahn E, Duker A, et al. Historical pollution of sediments monitored trace elements in Sweden – Part A: Sediment properties and chronological indicators [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2006, **8**(7): 721~ 731.
- [17] Weiss J, Hondzo N, Biesboer D, et al. Laboratory study of heavy metal phytoremediation by three wetland macrophytes [J]. International Journal of Phytoremediation, 2006, **8**(3): 245~ 259.
- [18] 汪小钦, 王钦敏, 刘高焕, 等. 黄河三角洲土地利用覆盖格局与演化分析 [J]. 水土保持学报, 2006, **20**(5): 158~ 161.
- [19] 张建锋, 邢尚军, 孙启祥, 等. 黄河三角洲植被资源及其特征分析 [J]. 水土保持研究, 2006, **13**(1): 100~ 102.
- [20] 张晓龙, 李培英, 刘月良, 等. 黄河三角洲湿地研究进展 [J]. 海洋科学, 2007, **31**(7): 81~ 85.
- [21] 王玉珍. 黄河三角洲湿地资源及生物多样性研究 [J]. 安徽农业科学, 2007, **35**(6): 1 745~ 1 746, 1 787.
- [22] 李政海, 王海梅, 刘书润, 等. 黄河三角洲生物多样性分析 [J]. 生态环境, 2006, **15**(3): 577~ 582.
- [23] 侯本栋, 马风云, 邢尚军, 等. 黄河三角洲不同演替阶段湿地群落的土壤和植被特征 [J]. 浙江林学院学报, 2007, **24**(3): 313~ 318.
- [24] 叶庆华, 田国良, 刘高焕, 等. 黄河三角洲新生湿地土地植被演替图谱 [J]. 地理研究, 2004, **23**(2): 257~ 264.
- [25] 尹延鸿, 周永青, 丁东. 现代黄河三角洲海岸演化研究 [J]. 海洋通报, 2004, **23**(2): 32~ 40.
- [26] 张绪良, 叶思源, 印萍, 等. 黄河三角洲自然湿地植被的特征及演化 [J]. 生态环境学报, 2009, **18**(1): 292~ 298.
- [27] 吕艳华, 白洁, 姜艳, 等. 黄河三角洲湿地硝化作用强度及影响因素研究 [J]. 海洋湖沼通报, 2008, **2**(2): 61~ 66.
- [28] 孙宁波, 王宇庭, 孙春光, 等. 黄河三角洲水库底泥中氮、磷特征及其与水体磷富营养化关系 [J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2007, **24**(4): 274~ 278.
- [29] 邵秋玲, 解小丁, 李法曾. 黄河三角洲国家级自然保护区植物区系研究 [J]. 西北植物学报, 2002, **22**(4): 947~ 951.
- [30] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 等. 水盐梯度下黄河三角洲湿地植被空间分异规律定量分析 [J]. 湿地科学, 2007, **5**(3): 208~ 214.
- [31] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 等. 黄河河口盐沼植被分布、多样性与土壤化学因子的相关关系 [J]. 生态学报, 2009, **29**(2): 676~ 687.
- [32] 凌敏, 刘汝海, 王艳, 等. 黄河三角洲柽柳林场湿地土壤养分的空间异质性及其与植物群落分布的耦合关系 [J]. 湿地科学, 2010, **8**(1): 92~ 97.
- [33] Duce R A. The atmospheric input of trace species to the world ocean [J]. Global Biogeochemical Cycle, 1991, **5**: 193~ 259.
- [34] Guiu C, Duce R A, Inoto R. Dissolved input of manganese to the ocean: Aerosol source [J]. Journal of Geophysical Research, 1994, **99**: 18 789~ 18 800.
- [35] 毛志刚, 王国祥, 刘金娥, 等. 盐城海滨湿地盐沼植被对土壤碳氮分布特征的影响 [J]. 应用生态学报, 2009, **20**(2): 293~ 297.
- [36] Sollie S, Verhoeven JT A. Nutrient cycling and retention along a littoral gradient in a Dutch shallow lake in relation to water level regime [J]. Water Air and Soil Pollution, 2008, **193**(1~4): 107~ 121.
- [37] Forja JM, Ortega T, Ponce R, et al. Tidal transport of inorganic carbon and nutrients in a coastal salt marsh (Bay of Cadiz, SW Spain) [J]. Ciencias Marinaes, 2003, **29**(4): 469~ 481.
- [38] 于君宝, 王金达, 刘景双. 三江平原泥炭地微量元素垂直分布特征 [J]. 生态环境, 2003, **12**(4): 392~ 400.
- [39] 刘景春, 严重玲. 福建漳江口红树林湿地沉积物中四种重金属的空间分布特征 [J]. 亚热带植物科学, 2006, **35**(5): 1~ 5.

# The Spatial Differentiation of Soil Trace Nutrient Elements in New-Born Coastal Wetland

YU Jun-Bao<sup>1,2</sup>, CHEN Xiao-Bing<sup>1</sup>, MAO Pei-Li<sup>1</sup>, WU Chun-Fa<sup>1</sup>,  
DONG Hong-Fang<sup>1</sup>, SHAN Kai<sup>3</sup>

(1. Laboratory of Coastal Wetland Ecology, Key Laboratory of Coastal Environment Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003 Shandong P. R. China;

2. Shandong Key Laboratory of Eco-environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou 256600 Shandong, P. R. China; 3. Administration of Shandong Yellow-River-Delta National Nature Reserve, Dongying 257091, Shandong P. R. China)

**Abstract** The Yellow River Delta wetlands is one of the youngest coastal wetland ecosystems in China. The typical characteristics of the wetland include transitional character of land and sea, native and vulnerability, rapid evolution and fast deposition. Therefore Yellow River Delta wetlands is the most valuable coastal wetland ecosystems for protection in China. In recent years, the research works in Yellow River Delta mainly focused on landscape structure change, biodiversity protection, plant community succession, land use, land cover change, saline soil melioration and etc. Unfortunately, little of studies about biogeochemical behavior of nutrient elements were carried out in the region. The literature showed that the trace nutrient elements study in Yellow River Delta wetlands was never reported. Based on the distribution of vegetation, the 2 transects from Yellow River bank to salt beach were selected in new-born coastal wetland in core area of Yellow River Delta National Nature Reserve to study the spatial differentiation characteristics of soil trace nutrient elements of Fe, Mn, Cu, Zn and B. The results showed that the average contents of B, Mn, Fe, Cu and Zn in topsoil of 0~30 cm depth in new-born coastal wetland in Yellow River delta were 50.94 mg/kg, 439.87 mg/kg, 22.25 g/kg, 27.48 mg/kg and 46.39 mg/kg, respectively. B, Mn and Zn were deficient in soils. Generally, under functions of plant root absorption and litters decomposition, from river bank to salt beach (site B to site J), the content variation trends of 5 soil trace nutrient elements were increased gradually. The contents of B, Mn and Zn in soils of Yellow River Delta wetlands were much lower than that average values in China and world, while Fe content was 2 times of that average values. The main reasons were that the Loess (mother soil), which is wind-borne soil are shorten for most of elements and rich Fe for soil long distant transportation. In addition, the conditions of alternating dry and wet anaerobic environment are conducive to accumulate and enrich Fe. The variations of trace element contents in soil profiles were fluctuated as two-peak shape, for the functions of plant root absorption and nutrients leaching and deposition. The results of correlation analysis showed that there were great significant relationships between 5 trace nutrient elements and total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), total sulfur (TS) as well as salinity ( $p < 0.01$ ). We also observed that significant negative correlation between B, Fe, Mn and total phosphorus (TP) ( $p < 0.01$ ), between B, Mn, Cu and pH ( $p < 0.01$ ) and positive relation between Cu, Zn and pH, between Zn and total phosphorus at 0.05 level. Thus TOC, TN and TS were the deterministic factors for keeping trace nutrient elements in soils of coastal wetland. In conclusion, Yellow River Delta is alluvial silt plain and trace nutrients in new-born wetland soils mainly came from the silt which carried by the Yellow River. Therefore, the horizontal differentiation and profile distribution of soil trace nutrient elements in study region were contributed to the comprehensive effects of the plant uptake and litter release, the accumulation and leaching, atmospheric input and silt deposition of Yellow River.