

• 研究报告 •

辽河口湿地植物多样性及物种功能型空间分布格局

李有志^{1,2,3} 崔丽娟^{1,3*} 潘旭^{1,3} 宁宇^{1,3} 李伟^{1,3}
康晓明^{1,3} 李凯^{1,3} 孙宝娣^{1,3} 于菁菁^{1,3}

1 (中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091)

2 (湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128)

3 (湿地生态功能与恢复北京市重点实验室, 北京 100091)

摘要: 辽河口湿地是我国典型的滨海湿地, 在过去几十年受人为过度干扰, 植被变化明显。本研究拟通过野外实地调查揭示辽河口湿地植物多样性及功能型的空间格局。结果表明, 潮上带的物种丰富度和Shannon-Wiener指数均高于潮间带。与潮上带相比, 潮间带的盐生植物与湿生植物比例较高, 而中性植物、甜土植物、中生植物与旱生植物的比例较低。物种丰富度、Shannon-Wiener指数以及中性植物、甜土植物、中生植物、旱生植物的比例均随着与海岸线距离的增加而增加, 盐生植物、湿生植物比例则与之相反。对所调查样地与植物物种的主成分分析(PCA)表明, 潮上带主要为芦苇(*Phragmites australis*)、刺儿菜(*Cirsium setosum*)、山莴苣(*Lagedium sibiricum*)等中性和甜土植物, 潮间带为盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、扁秆藨草(*Scirpus planiculmis*)、水烛(*Typha angustifolia*)等盐生植物。可见, 盐度与水位是决定辽河口湿地植物多样性及物种功能型的关键生态因子。

关键词: 滨海湿地, Shannon-Wiener指数, 盐生植物, 湿生植物

Spatial distribution of plant diversity and functional groups in the Liaohe estuary

Youzhi Li^{1,2,3}, Lijuan Cui^{1,3*}, Xu Pan^{1,3}, Yu Ning^{1,3}, Wei Li^{1,3}, Xiaoming Kang^{1,3}, Kai Li^{1,3}, Baodi Sun^{1,3}, Jingjing Yu^{1,3}

1 Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091

2 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128

3 Beijing Key Laboratory of Wetland Services and Restoration, Beijing 100091

Abstract: Liaohe estuary is a typical coastal wetland in Northeast China. Over the past decades, vegetation in this area suffered great change due to human disturbance. The spatial distribution of plant diversity and functional groups was examined in this coastal wetland. Results showed that species richness and Shannon-Wiener index were higher in supratidal zones than in intertidal zones. Compared to supratidal zones, intertidal zones had a higher ratio of halophytes and hygrophytes, but a lower ratio of neutral plants, glycophytes, mesophytes, and xerophytes. Species richness, Shannon-Wiener index, and the ratio of neutral plants, glycophytes, mesophytes, and xerophytes increased with the increasing distances from the coastline, while halophytes and hygrophytes decreased. Principal Component Analysis (PCA) indicated that plant communities mainly composed of neutral plants and glycophytes in supratidal zones, such as *Phragmites australis*, *Cirsium setosum* and *Lagedium sibiricum*, and halophytes mainly distributed in intertidal zones, such as *Suaeda salsa*, *Scirpus planiculmis* and *Typha angustifolia*. Salinity and water table appear to be the key factors in determining plant diversity and functional groups in the Liaohe estuary.

Key words: coastal wetlands, Shannon-Wiener index, halophyte, hygrophyte

收稿日期: 2014-12-03; 接受日期: 2015-05-19

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项“滨海湿地生态系统服务功能与评估技术研究(201404305)”

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lkyclj@126.com

滨海湿地是我国主要的湿地类型之一,据第二次全国湿地普查结果,我国滨海湿地面积为579.59万ha,占全国湿地总面积的10.81%,它具有调节气候、净化水体、保护海岸线等多种生态服务功能。维持生物多样性是生态系统最为关键与基础性的生态功能,对其他功能具有重要的支持作用(谢永宏和陈心胜, 2008)。与物种多样性不同,植物功能型指享有关键功能性状而对特定环境因子(如盐度、水分等)具有相似反应的不同种类植物组合(Li *et al.*, 2014)。滨海湿地由于生态环境特殊(如高盐度),分布着特定的植物种类(如盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)),形成以盐生植物为功能型的植物多样性格局(毛培利等, 2011; Meng *et al.*, 2013)。然而,近40年来,受油田开发、围海造田与养殖、港口码头与公路建设等人为干扰以及气候变化的双重影响,我国滨海湿地破碎化严重,植物多样性变化明显,尤其是潮间带范围的缩小使盐生植物大范围消失,取而代之的是大面积的水稻(*Oryza sativa*)田与芦苇(*Phragmites australis*)地(陈爽等, 2011; 荣子容等, 2012)。植物多样性的变化尤其是物种功能型的改变必将对生态系统功能产生重要影响(侯志勇等, 2012)。

生态系统的生境因子尤其是关键因子,是植物多样性及物种功能型格局形成的内在机制(李旭等, 2009; Song *et al.*, 2009; 仲崇庆等, 2011)。与淡水湿地不同,滨海湿地生态环境因子受潮汐活动的影响,空间异质性明显,具有潮上带、潮间带、潮下带之分(雷坤等, 2007)。有关滨海湿地植物多样性的研究主要集中在物种多样性上,而对群落中功能型的组成研究相对较少(苏蔚潇等, 2012)。植物功能型具有环境指示作用,即便物种多样性指数并未发生变化,其功能型也可能发生改变(Kern *et al.*, 2006; Makkay *et al.*, 2008)。因此,开展滨海湿地物种功能型格局研究有利于揭示植物多样性的内在变化。辽河口湿地为我国典型的滨海湿地,与海岸线距离越近,其水体盐度越大(蒋岳文等, 1996; 雷坤等, 2007),物种功能型也将随之改变,如盐生植物增加,甜土植物减少(Song *et al.*, 2009; 仲崇庆等, 2011; Meng *et al.*, 2013)。近几十年来该地植被多样性格局变化明显,其中最为显著的变化是红海滩植物盐地碱蓬的大面积消失。因此,本研究以辽河口湿地为研究对象,通过对植物群落的野外实地调查与物种分析,试图揭示物种多样性与功能型的空间

分布格局,丰富植物多样性内涵,为我国滨海湿地植物多样性保护与功能型恢复提供理论依据。

1 方法

1.1 研究区域

辽河口湿地(40°40′–41°27′ N, 121°34′–122°26′ E)位于辽宁省盘锦市境内的辽河三角洲最南端,辽东湾北岸。地貌类型为冲积型平原,地势低洼平坦,高程(1.3–4.0 m)随着与海岸线距离的增加而逐步增加(图1)。气候冷凉湿润,四季分明,雨热同季,属暖温带大陆性半湿润季风气候区,年均气温8.0℃,年均降水量620–730 mm,冬季盛行东北风,夏季盛行西南风(荣子容等, 2012)。土壤主要有水稻土、盐土、草甸土、沼泽土与风沙土5种类型(苏蔚潇等, 2012)。

1.2 野外调查与植物功能型划分

由于辽河口东部是盘锦市主要的旅游开发区,人为干扰严重,因此本研究选取辽河口西部作为主要调查区域。2014年8月,沿辽河西岸依次选取22个调查样点,并根据是否被潮汐淹没分为潮上带与潮间带两大类(图1)。在每一调查样点,沿潮汐的方向设一条样带,在样带上按照一定距离选取4–5个1 m × 1 m的小样方,记录每个小样方的经纬度、物种名称、个体数、高度与盖度等。在潮上带与潮间带各选取3个调查样点,测定水体盐度与土壤含水量,其中水体盐度采用便携式YSI6820多功能水质检测仪(美国, YSI集团)测定,土壤含水量采用传统的取样烘干称重法测定。

参考《中国植物志·禾本科》(刘亮, 2002)、《中国水生维管束植物图谱》(中国科学院武汉植物研究所, 1983)、《中国常见湿地植物》(张树仁, 2009)等划分植物功能型:依据植物的耐盐性,将其分为盐生、中性与甜土植物3种功能型;依据植物对水分的适应性,分为湿生(含水生)、中生与旱生植物3种功能型。

1.3 数据处理

采用丰富度与Shannon-Wiener指数(H)测度物种多样性,其中丰富度以小样方内物种数来表示(Wei *et al.*, 2003),Shannon-Wiener指数采用以下公式计算(Magurran, 1998):

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i \quad (1)$$



图1 辽河口湿地野外调查样点布局
Fig. 1 Distribution of field investigation plots in Liaohe estuary wetlands

式中, $p_i = N_i/N$, N_i 指样方中第*i*种物种的个体数, N 为样方中所有物种的个体数之和。

重要值(*IV*)采用以下公式计算:

$$IV = (R_D + R_F + R_E)/3$$

(2)

式中, R_D 为相对密度, R_F 为相对频度, R_E 为相对盖度。

植物物种功能型比例采用样方内各功能型物种数占总物种数的百分比表示。

1.4 统计分析

采用SPSS 17.0对潮上带和潮间带的物种丰富度、Shannon-Wiener指数及不同功能型植物的比例进行方差分析。为揭示物种多样性分布格局的变化特点, 对多样性指数(包括物种功能型比例)与距海岸线(指海潮在低潮时所处的界线)的距离进行回归分析, 选取最优模型。采用CANOCO 4.5对61个小样方与物种重要值进行主成分分析(PCA), 以探讨滨海湿地调查样点与植物物种分布特征的关系。

2 结果

2.1 优势植物种群

潮上带与潮间带间优势物种差异明显。在潮上带优势物种主要为芦苇; 而在潮间带优势物种为盐地碱蓬。此外, 潮上带与潮间带之间植物群落的伴生种也存在明显差别。在潮上带伴生植物主要为刺儿菜(*Cirsium setosum*)、山莴苣(*Lagedium sibiricum*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、野大豆(*Glycine soja*)、地肤(*Kochia scoparia*)、尖头叶藜(*Chenopodium acuminatum*)、鹅绒藤(*Cynanchum chinense*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、木贼(*Equisetum hyemale*)、西伯利亚蓼(*Polygonum sibiricum*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、拂子茅(*Calamagrostis epigeios*)等; 而在潮间带伴生种主要为扁秆蔗草(*Scirpus planiculmis*)、水烛(*Typha angustifolia*)。

2.2 植物多样性

潮上带物种丰富度与Shannon-Wiener指数均显著高于潮间带($P < 0.001$, 表1), 特别是Shannon-Wiener指数, 潮上带(0.58)为潮间带(0.04)的14.5倍。

从植物对盐分的需求来看, 潮上带物种功能型以中性植物为主, 占总物种数的59.3%; 潮间带以盐生植物为主, 占总物种数的84.1%。潮上带盐生植物比例显著低于潮间带($P < 0.001$, 表1), 而中性植物与甜土植物比例均显著高于潮间带($P < 0.001$)。从植物对水分的需求来看, 潮上带与潮间带物种功能型均以湿生植物为主, 且潮上带的湿生植物比例显著低于潮间带, 而中生植物与旱生植物比例高于潮间带($P < 0.001$)。由此可见, 与潮上带相比, 潮间带盐生植物与湿生植物增加, 而中性植物和甜土植物、中生植物和旱生植物减少。

植物多样性与距海岸线距离的回归分析表明(图2), 物种丰富度与Shannon-Wiener指数均随着距离的增加而增加($P < 0.001$)。其中物种丰富度与距海岸线距离的回归方程为 $y = 0.002x^2 - 0.024x + 1.003$ ($R^2 = 0.759$), 而Shannon-Wiener指数与距海岸线距离的回归方程为 $y = 0.001x^2 - 0.028x + 0.137$ ($R^2 = 0.876$)。

从物种不同功能型来看(图3), 盐生植物、湿生植物比例随着距海岸线距离的增大而降低($P < 0.001$), 而中性植物和甜土植物、中生植物和旱生植物比例随着距离的增大而增加($P < 0.05$)。

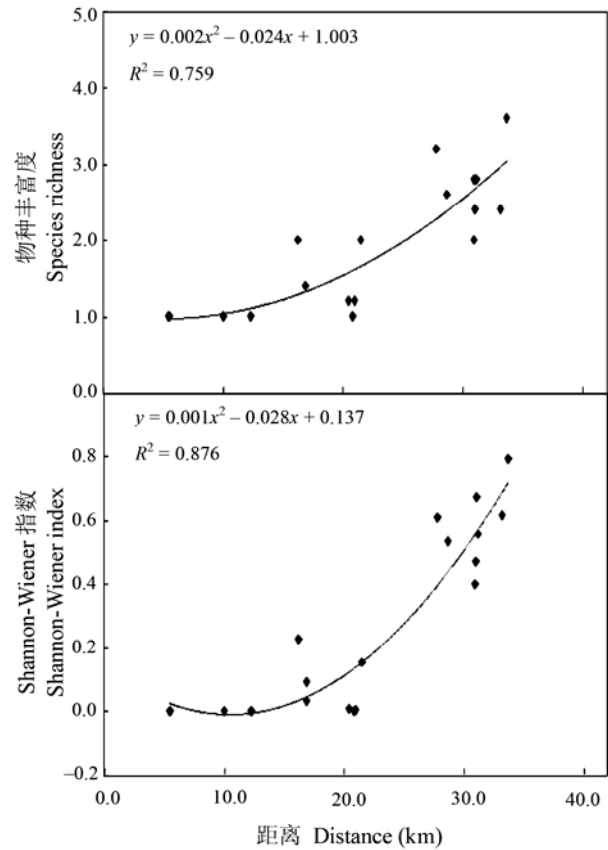


图2 植物多样性与距海岸线距离的回归
Fig. 2 Regression between plant diversity and the distance between investigation plots and coastline

2.3 梯度分析

主成分分析(PCA)结果表明(图4), 第一排序轴解释的物种变异为47.8%, 第二排序轴为26.2%, 第

表1 辽河口湿地植物多样性及物种功能型方差分析(平均值±标准误)
Table 1 ANOVA of plant diversity and species functional types in Liaohe estuary wetlands (mean ± SE)

		潮上带 Supralittoral zone	潮间带 Intertidal zone	自由度 df	F
多样性指数 Diversity indices	物种丰富度 Species richness	2.73 ± 0.17	1.25 ± 0.10	21	61.11***
	Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index	0.58 ± 0.04	0.04 ± 0.02	21	165.59***
盐分功能型比例 Percentage of functional types by salt (%)	盐生植物 Halophyte	32.00 ± 2.23	84.10 ± 8.30	21	23.14***
	中性植物 Neutral plants	59.25 ± 3.50	15.13 ± 8.38	21	15.12**
	甜土植物 Glycophyte	8.75 ± 2.51	0.77 ± 0.76	21	13.42**
水分功能型比例 Percentage of functional types by water (%)	湿生植物 Hygrophyte	64.29 ± 4.70	99.23 ± 1.04	21	81.89***
	中生植物 Mesophyte	22.50 ± 5.21	0.77 ± 0.77	21	27.52***
	旱生植物 Xerophyte	13.21 ± 3.49	0	21	24.04***

** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

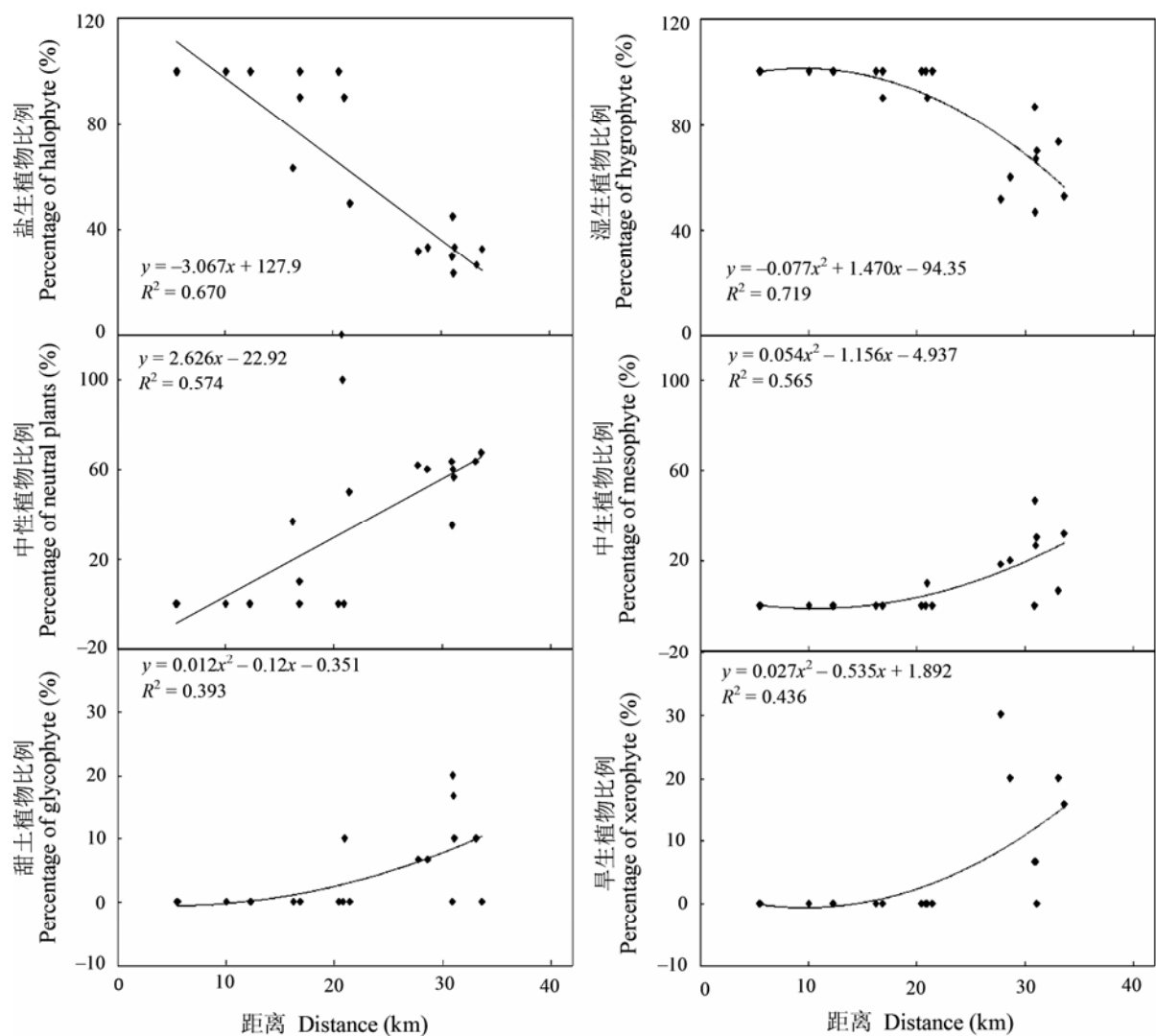


图3 植物功能型比例与距海岸线距离的回归分析
Fig. 3 Regression between percentage of plant functional types and the distance between investigation plots and coastline

表2 辽河口湿地水体盐度与土壤含水量
Table 2 Water salinity and soil water content in Liaohe estuary wetlands

区域类型	Area types	环境监测点	距海岸线距离	水体盐度	土壤含水量
		Environmental monitoring points	Distance between plots and coastline (km)	Water salinity (ng/L)	Soil water content (%)
潮上带	Supralittoral zone	M1	33.1	1.2	20.3
		M2	31.1	2.2	22.0
		M3	16.2	6.6	24.1
潮间带	Intertidal zone	M4	12.3	20.8	25.7
		M5	10.0	31.5	29.6
		M6	5.5	39.2	32.6

一与第二排序轴累计解释率为74.0%。对样方而言，在排序轴上的分布可分为两大类，第一类是潮上带类型(图4A)，第二类是潮间带类型(图4B)。对植物而言，物种分布格局呈显著差异，位于第一排序轴

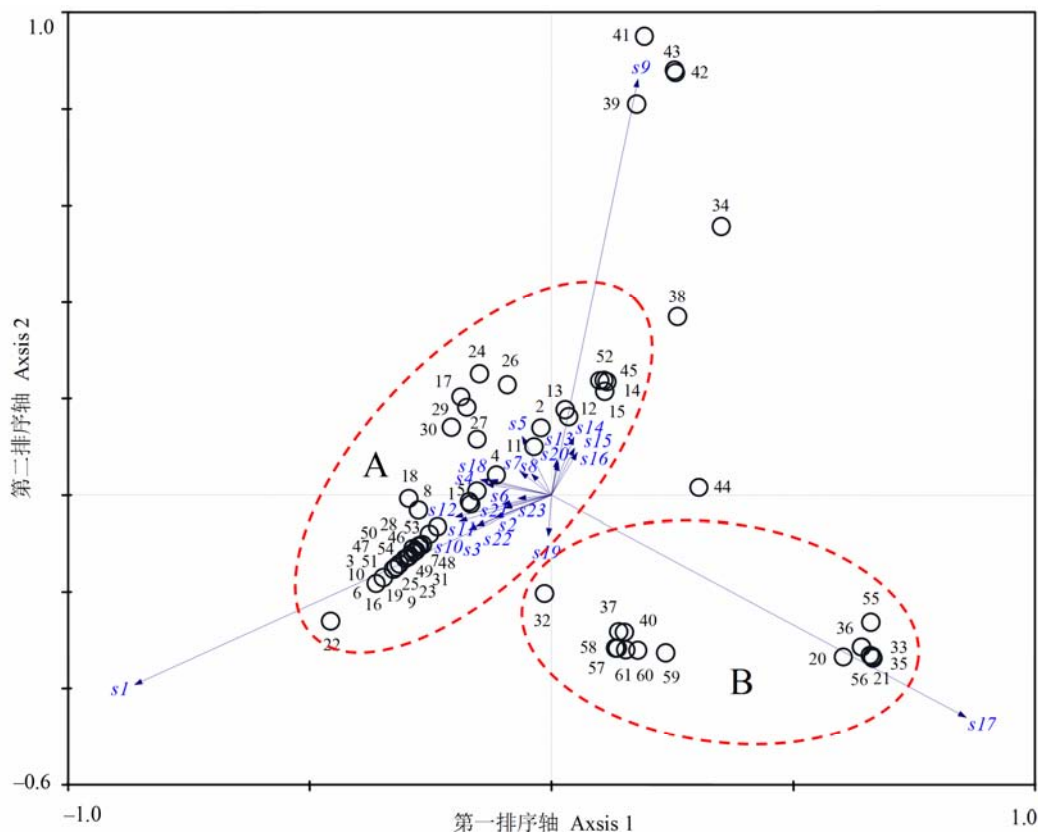


图4 样方与植物物种的主成分分析。图中数字1–61表示野外调查样方。*s1*, 芦苇; *s2*, 刺儿菜; *s3*, 山莴苣; *s4*, 野大豆; *s5*, 碱蓬; *s6*, 地肤; *s7*, 尖头叶藜; *s8*, 鹅绒藤; *s9*, 扁杆蔗草; *s10*, 白茅; *s11*, 罗布麻; *s12*, 木贼; *s13*, 拂子茅; *s14*, 黄花蒿; *s15*, 西伯利亚蓼; *s16*, 藜; *s17*, 盐地碱蓬; *s18*, 歧茎蒿; *s19*, 小果酸模; *s20*, 水烛; *s21*, 稗; *s22*, 野青茅; *s23*, 糙叶藎草。

Fig. 4 PCA analysis between investigation plots and plant species. The numbers of 1–61 in figure indicated field plots. *s1*, *Phragmites australis*; *s2*, *Cirsium setosum*; *s3*, *Lagedium sibiricum*; *s4*, *Glycine soja*; *s5*, *Suaeda glauca*; *s6*, *Kochia scoparia*; *s7*, *Chenopodium acuminatum*; *s8*, *Cynanchum chinense*; *s9*, *Scirpus planiculmis*; *s10*, *Imperata cylindrica*; *s11*, *Apocynum venetum*; *s12*, *Equisetum hyemale*; *s13*, *Calamagrostis epigeios*; *s14*, *Artemisia annua*; *s15*, *Polygonum sibiricum*; *s16*, *Chenopodium album*; *s17*, *Suaeda salsa*; *s18*, *Artemisia igniaria*; *s19*, *Rumex microcarpus*; *s20*, *Typha angustifolia*; *s21*, *Echinochloa crusgalli*; *s22*, *Deyeuxia arundinacea*; *s23*, *Carex scabrifolia*.

左边的芦苇(*s1*)、刺儿菜(*s2*)和拂子茅(*s13*)属中性–甜土植物类型; 而位于第一排序轴右边的盐地碱蓬(*s17*)属于典型的盐生植物类型。

2.4 水体盐度与土壤含水量

辽河口湿地水体盐度为1.2–39.2 ng/L, 潮上带(3.33 ng/L)显著低于潮间带(30.5 ng/L)。土壤含水量为20.3–32.6%, 潮间带(29.3%)显著高于潮上带(22.8%) (表2)。

3 讨论

在辽河口湿地, 单位面积物种数目平均值为1.99, Shannon-Wiener指数为0.32, 多样性指数显著低于淡水湿地, 如洞庭湖湿地芦苇地物种数目为

5.17, 湿地杨树地高达9.17 (Li *et al.*, 2014)。与淡水湿地不同, 盐分对滨海湿地植物具有重要的筛选作用, 是决定植物尤其是优势植物分布最为关键的生态因子(李旭等, 2009; Chen *et al.*, 2013)。由于辽河口湿地潮上带盐分含量(3.33 ng/L)显著低于潮间带(30.5 ng/L), 导致潮上带和潮间带分别形成以中性植物芦苇和盐生植物盐地碱蓬为优势物种的植物群落(蒋岳文等, 1996; 雷坤等, 2007)。对调查样方与植物物种的主成分分析也表明, 盐地碱蓬、水烛等盐生植物主要分布在盐分较高的潮间带, 而芦苇、野大豆、尖头叶藜、糙叶藎草(*Carex scabrifolia*)等中性和甜土植物主要分布在盐分相对较低的潮上带(图4)。

对植物多样性与物种组成而言, 潮上带物种丰富度与Shannon-Wiener指数均高于潮间带, 而盐生植物与湿生植物比例均低于潮间带, 这主要是因为潮上带与潮间带生境差异明显: (1)潮间带盐分与水分含量较高(表2), 导致盐生植物与湿生植物比例较高(李旭等, 2009; Li *et al.*, 2014); (2)潮间带生境单一, 异质性程度较低, 致使植物多样性较低(Díaz *et al.*, 1998; Taki *et al.*, 2011)。可见, 盐分与水位是决定滨海湿地植物多样性及物种功能型的关键因子。在人为干扰较小的区域, 盐度随着距海岸线距离的增大而减小(王红等, 2005; Wang *et al.*, 2010)。如在黄河口湿地, 距海岸线10 km的区域, 沉积物电导率为3.1 ms/cm, 而在距海岸线20 km的区域, 电导率减小至0.9 ms/cm (李峰, 2009); 在辽河口湿地, 距海岸线5.5 km区域的水体盐度(39.2 ng/L)为31.1 km区域(2.2 ng/L)的13倍。水体盐度随海岸线的变化趋势导致辽河口湿地植物多样性指数、中性植物与甜土植物比例随着距海岸线距离的增大而增多, 盐生植物比例随距离的增大而减小(Wang *et al.*, 2010)。与盐度类似, 水位随着距海岸线距离增大而降低的变化趋势(表2)同样导致辽河口湿地湿生植物比例随距离的增大而减小, 中生与旱生植物随距离的增大而增多(孙荣等, 2011; Li *et al.*, 2014)。

在辽河口湿地, 植物多样性及物种功能型变化明显, 潮上带优势群落为芦苇, 植物多样性指数较高, 以中性植物为主, 而潮间带优势植物为盐地碱蓬, 植物多样性指数较低, 以盐生植物为主。与多样性指数较高的芦苇群落相比, 盐地碱蓬群落具有特殊的生态功能, 如为濒危物种黑嘴鸥(*Larus saundersi*)提供栖息地(江红星等, 2008)。因此, 简单地以多样性指数高低来评价植物多样性不足以体现物种功能的变化, 尤其是在生态环境多变的湿地生态系统中, 同时考虑物种功能型对于深入认识植物多样性具有重要意义(Li *et al.*, 2014)。在辽河口湿地, 盐分与水位是决定植物多样性与物种功能型空间格局的关键生态因子, 均受到潮汐活动的影响(雷坤等, 2007)。然而, 在湿地生态系统中, 潮汐的范围又与高程密切相关, 通常随着高程的增加, 潮汐强度减弱(Urban, 2005)。因此, 湿地高程在一定程度上决定着水体盐度与水位。在过去几十年, 受油田开发、围海造田等人为活动影响, 辽河口湿地微地貌在逐步改变, 导致潮汐范围急剧缩小, 大范围

的潮间带转变为潮上带, 致使盐地碱蓬逐渐演替成芦苇(Wang *et al.*, 2010)。因此, 为保护辽河口湿地盐地碱蓬这一特殊的植物资源与红海滩景观, 建议减少人为干扰, 尤其是阻断潮汐活动的修路与筑堤等行为; 在距离海岸线较近的区域, 可采取退田还海、引潮入田等措施, 恢复潮汐通道, 增加潮间带范围, 以恢复退化的滨海湿地。

参考文献

- Chen S (陈爽), Ma AQ (马安青), Li ZY (李正炎) (2011) Landscape pattern changes and its driving mechanism of the wetland in Liaohe. *Periodical of Ocean University of China* (中国海洋大学学报), **41**(3), 81–87. (in Chinese with English abstract)
- Chen P, Yan K, Shao H, Zhao S (2013) Physiological mechanisms for high salt tolerance in wild soybean (*Glycine soja*) from Yellow River Delta, China: photosynthesis, osmotic regulation, ion flux and antioxidant capacity. *PLoS ONE*, **8**, e83227.
- Díaz M, Carbonell R, Santos T, Tellería JL (1998) Breeding bird communities in pine plantations of the Spanish plateau: biogeography, landscape and vegetation effects. *Journal of Applied Ecology*, **35**, 562–574.
- Hou ZY (侯志勇), Chen XS (陈心胜), Xie YH (谢永宏), Li X (李旭) (2012) Characteristics of soil seed bank and its relationship with aboveground vegetation in Lake Dongting. *Journal of Lake Sciences* (湖泊科学), **24**, 287–293. (in Chinese with English abstract)
- Jiang HX (江红星), Chu GZ (楚国忠), Hou YQ (侯韵秋), Qian FW (钱法文), Wang H (王会), Zhang GG (张国钢), Zheng GM (郑光美) (2008) Spatiotemporal variation of nesting sites of the Saunders's gull *Larus saundersi*. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), **54**, 191–200. (in Chinese with English abstract)
- Jiang YW (蒋岳文), Guan DM (关道明), Chen SM (陈淑梅), Fu YZ (付宇众) (1996) Distribution and change characteristics of the nutrients in Liaohe estuary in summer. *Marine Science Bulletin* (海洋通报), **15**(3), 92–96. (in Chinese with English abstract)
- Kern CC, Palik BJ, Strong TF (2006) Ground-layer plant community responses to even-age and uneven-age silvicultural treatments in Wisconsin northern hardwood forests. *Forest Ecology and Management*, **230**, 162–170.
- Lei K (雷坤), Zheng BH (郑丙辉), Meng W (孟伟), Qin YW (秦延文), Su YB (苏一兵) (2007) Distributions and the factors influenced of nitrogen and phosphorus nutrients in the Daliaohe Estuary. *Marine Environmental Science* (海洋环境科学), **26**, 19–27. (in Chinese with English abstract)
- Li F (李峰), Xie YH (谢永宏), Chen XS (陈心胜), Deng ZM (邓正苗), Li X (李旭) (2009) Composition of aquatic plants and their niche characteristics in wetlands of the Yellow

- River Delta. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **29**, 6257–6265. (in Chinese with English abstract)
- Li Y, Chen X, Xie Y, Li X, Li F, Hou ZY (2014) Effects of young poplar plantations on understory plant diversity in the Dongting Lake wetlands, China. *Scientific Reports*, **4**, doi: 10.1038/srep06339.
- Li X (李旭), Xie YH (谢永宏), Huang JS (黄继山), Chen XS (陈心胜) (2009) Research progresses on the formation mechanism of vegetation distribution pattern in wetlands. *Wetland Science* (湿地科学), **7**, 280–288. (in Chinese with English abstract)
- Liu L (刘亮) (2002) Gramineae. In: *Flora of China* (中国植物志) (eds Editorial Committee of *Flora of China* of Chinese Academy of Sciences (中国科学院中国植物志编辑委员会)), **9**(2), 34. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Magurran AE (1998) *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton.
- Makkay K, Pick FR, Gillespie L (2008) Predicting diversity versus community composition of aquatic plants at the river scale. *Aquatic Botany*, **88**, 338–346.
- Mao PL (毛培利), Cheng WL (成文连), Liu YH (刘玉虹), Wang GM (王光美), Chen JC (陈景春), Han GX (韩广轩), Zhang ZD (张志东), Yu JB (于君宝), Liu FD (刘福德) (2011) Biomass allocation in *Suaeda salsa* population in different habitats of coastal zone. *Ecological and Environmental Sciences* (生态环境学报), **20**, 1214–1220. (in Chinese with English abstract)
- Meng Q, Yang J, Yao R, Liu G (2013) Soil quality in east coastal region of China as related to different land use types. *Journal of Soils and Sediments*, **13**, 664–676.
- Rong ZR (荣子容), Ma AQ (马安青), Wang ZK (王志凯), Yu H (于浩), Zhang JX (张敬旭) (2012) Formation mechanism of landscape pattern based on logistic regression model in the wetland of Liaohe. *Periodical of Ocean University of China* (中国海洋大学学报), **42**(7–8), 138–143. (in Chinese with English abstract)
- Song J, Chen M, Feng G, Jia Y, Wang B, Zhang F (2009). Effects of salinity on growth, ion accumulation and the roles of ions in osmotic adjustment of two populations of *Suaeda salsa*. *Plant and Soil*, **314**, 133–141.
- Su WX (苏蔚潇), Zhang ZH (张朝晖), Wang SQ (王守强) (2012) Flora characteristics of vascular plants of coastal wetlands in Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province. *Urban Environment and Urban Ecology* (城市环境与城市生态), **25**(2), 1–5. (in Chinese with English abstract)
- Sun R (孙荣), Yuan XZ (袁兴中), Liu H (刘红), Chen ZL (陈忠礼), Zhang YW (张跃伟) (2011) Floristic composition and species diversity of plant communities along an environment gradient in drawdown area of Three Gorges Reservoir after its initial impounding to the water level of 156 m. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **30**, 208–214. (in Chinese with English abstract)
- Taki H, Yamaura Y, Okabe K, Maeto K (2011) Plantation vs. natural forest: matrix quality determines pollinator abundance in crop fields. *Scientific Reports*, **1**, doi: 10.1038/srep00132.
- Urban KE (2005) Oscillating vegetation dynamics in a wet heathland. *Journal of Vegetation Science*, **16**, 111–120.
- Wang H (王红), Liu GH (刘高焕), Gong P (宫鹏) (2005) Use of Cokriging to improve estimates of soil salt solute spatial distribution in the Yellow River Delta. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), **60**, 511–518. (in Chinese with English abstract)
- Wang Y, Liu R, Gao H, Bai J, Ling M (2010) Degeneration mechanism research of *Suaeda heteroptera* wetland of the Shuangtaizi Estuary National Nature Reserve in China. *Procedia Environmental Sciences*, **2**, 1157–1162.
- Weih M, Karacic A, Munkert H, Verwijst T, Diekmann M (2003) Influence of young poplar stands on floristic diversity in agricultural landscapes (Sweden). *Basic and Applied Ecology*, **4**, 149–156.
- Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences (中国科学院武汉植物研究所) (1983) *Picture of Aquatic Vascular Plants in China* (中国水生维管束植物图谱). Hubei People's Press, Wuhan. (in Chinese)
- Xie YH (谢永宏), Chen XS (陈心胜) (2008) Effects of Three-Gorge Project on succession of wetland vegetation in Dongting Lake. *Research of Agricultural Modernization* (农业现代化研究), **29**, 684–687. (in Chinese with English abstract)
- Zhang SR (张树仁) (2009) *Common Wetland Plants in China* (中国常见湿地植物). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhong CQ (钟崇庆), Wang JX (王进欣), Qin P (钦佩) (2011) Relationship of salt marsh plant distribution and soil physical and chemical characteristics in coastal salt marsh planet of North Jiangsu Province. *Transactions of Oceanology and Limnology* (海洋湖沼通报), **33**(4), 151–157. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 于飞海 责任编辑: 黄祥忠)