

# 黄河三角洲自然湿地芦苇在不同演替阶段的生态适应性

田晓燕<sup>1</sup> 杨杉杉<sup>1,2</sup> 赵亚杰<sup>3</sup> 王安东<sup>3</sup> 韩广轩<sup>2</sup> 管博<sup>2\*</sup>

(1 吉林建筑大学市政与环境工程学院, 吉林 长春 130118; 2 中国科学院海岸带环境工程与生态修复重点实验室 (烟台海岸带研究所), 山东 烟台 264003; 3 山东省黄河三角洲国家级自然保护区管理局, 山东 东营 257091)

**摘要** 为探讨黄河三角洲新生滨海湿地不同植被演替阶段下芦苇的生态适应性, 采用空间代替时间的方法, 选取靠近海岸的芦苇盐地碱蓬群落区、芦苇群落区和靠近黄河岸的芦苇白茅群落区分别代表由海地向陆地的 3 个芦苇群落演替阶段。结果表明: 实验区土壤总体表现为碱性, 表层土壤的电导率、可溶钠含量均显著高于下层土壤, 芦苇盐地碱蓬群落区电导率最高。芦苇群落区土壤总氮、总碳、有机质和有效磷、芦苇密度最高, 群落单一, 但 3 个实验区群落总生物量差异不显著。有机质、总碳、总氮、pH 值构成第一主成分, 可溶钠、电导率构成第二主成分。结果表明, 水盐分布格局是影响该区域芦苇植被群落的主要驱动因子, 土壤养分含量变化对芦苇植被群落的生态特征有显著影响。

**关键词** 芦苇; 电导率; 可溶钠; 生态特征; 土壤粒径

## Ecological Adaptability of *Phragmites australis* in Different Succession Stages in the Yellow River Delta

TIAN Xiao-Yan<sup>1</sup> YANG Shan-Shan<sup>1,2</sup> ZHAO Ya-Jie<sup>3</sup> WANG An-Dong<sup>3</sup> HAN Guang-Xuan<sup>2</sup> GUAN Bo<sup>2\*</sup>

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Jilin Jianzhu University, Changchun 130118, Jilin; 2 Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, Shandong; 3 Administration Bureau of the Yellow River Delta National Nature Reserve, Dongying 257091, Shandong)

**Abstract** In order to discuss the ecological adaptability of *P. australis* under different stage of vegetation succession in the coastal wetlands of the Yellow River Delta, this paper adopts the method of replacing time with space from near the coast of *Phragmites-suaeda salsa* community area, *P. australis* community area and near the shore of the Yellow River area of *Phragmites-imperata cylindrical* community area, they represented respectively by the sea to the land of the three *P. australis* community succession stage. The results showed that the overall soil performance in the experimentation area was alkaline, and the contents of soluble sodium and EC in soil surface layer were significantly higher than that in the lower layer, the EC in *Phragmites-suaeda salsa* community was the significantly highest. The total nitrogen, total carbon, organic matter, available phosphorus and density in *P. australis* community was significantly the highest, and the community was single, but the total biomass of the 3 experimentation areas was not significant. Organic matter, total carbon, total nitrogen and pH constitute the first principal component, and soluble sodium and EC constitute the second principal component. To sum up, that the distribution pattern of water and salt was the main driving factor affecting the *Phragmites communis* vegetation community, and the soil nutrient content also had a significant impact on the ecological characteristics of *Phragmites communis* vegetation community.

**Key words** *Phragmites australis*; EC; Soluble sodium; Ecological characteristics; Soil particle size

素有“中国最年轻湿地”之称的黄河三角洲滨海湿地, 其特殊的生态环境为动植物提供了良好的生存条件(张绪良等, 2011; 张晓龙等, 2009)。然而, 近些年海平面上升、海水入侵、降雨量分布不均、区域性暖干化和人类超强度的开发利用等因素导致滨海湿地面积不断减小、土壤盐渍化程度明

显加重(马玉蕾等, 2013; 宋德彬等, 2016; 盖振宇, 2016; 王永丽等, 2016)。水盐变化被认为是影响黄河三角洲滨海湿地植被生态系统的重要限制因子(单鱼洋, 2008; Lv et al, 2016; 管博等, 2014; 栗云召等, 2011; 陈国平等, 2015)。Cui 等(2008) 研究结果显示, 随着水深环境梯度变化,

收稿日期: 2017-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31300325); 中国科学院科技服务网络计划项目(KFJ-EW-STS-127)

作者简介: 田晓燕, 教授, 硕士, 主要研究方向: 污水处理与湿地生态。E-mail: txy1317@163.com

\*通讯作者: 管博, 助理研究员, 博士, 主要从事滨海湿地植被生态学与湿地生态修复研究。E-mail: bguan@yic.ac.cn

芦苇群落优势植物也随着变化。

芦苇 *Phragmites australis* 广泛分布于黄河三角洲滨海湿地, 可利用芦苇的适应性广、抗逆性强、生物量高等生态特性来恢复和平衡湿地生态系统, 对此已有多方面的研究(赵魁义, 1999; 周以良, 1997; 中国湿地植被编辑委员会, 1999; Meng et al, 2016)。黄河三角洲滨海湿地成陆时间短, 物种多样性比较单一, 适应能力较脆弱。以往针对滨海湿地植物群落演替的研究多从植物群落演替阶段土壤特性差异和土壤肥力变化综合评价(曲国辉等, 2003; 张庆费等, 1999; Kellner et al, 1995; 卢其明等, 1997)、植物群落演替模式及结构特征和环境因子的影响(韦翠珍等, 2011; 吴统贵, 2009)、芦苇群落退化土壤性质的变化(樊玉清等, 2014; 樊玉清等, 2013)等方面探讨, 而对不同演替阶段芦苇生态特征响应及适应性等研究仍需深入探讨。本文以由海域向陆地的3个芦苇群落为研究对象, 调查芦苇的生态特征, 并分析其与土壤理化因子的相关性。在此特殊环境背景下探讨具有极高生态价值的芦苇群落的生态适应性, 并为滨海湿地恢复与重建提供科学依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

黄河三角洲滨海湿地地处渤海湾南岸和莱州湾西岸, 其生态环境脆弱, 这里已设立 1 530 km<sup>2</sup> 的国家级自然保护区 (37°40'N ~ 38°10'N, 118°41'E ~ 119°16'E), 总面积 15.3 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>。地处中纬度, 位于暖温带, 受欧亚大陆和太平洋的共同影响, 属于暖温带半湿润大陆性季风气候区, 其四季温差明显, 年平均气温 11.7 ~ 12.6℃, 极端最高气温 41.9℃, 极端最低气温 -23.3℃; 年平均日照时数为 2 590 ~ 2 830 h; 无霜期 211 d; 年均降水量 551.6 mm, 70% 分布在夏季; 平均蒸发量为 1 962 mm。

### 1.2 研究方法

采用空间替代时间的方法, 选择距海、黄河远近3块不同演替阶段的芦苇群落小区, 分为靠近海岸的芦苇盐地碱蓬群落区、芦苇群落区和靠近黄河岸的芦苇白茅群落区(图1)。2012年9月与2013年9月在每个样区里随机选择4个1 m × 1 m的小样

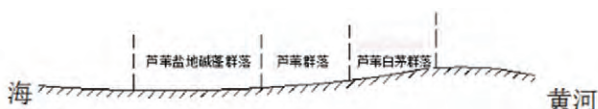


图1 植被调查采样区示意图

Fig. 1 Sketch map of vegetation sampling area

方, 测量小样方内植被形态指标和生物量。在样方内用土壤采样器取土壤剖面(0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30 cm)土柱, 4次重复, 经自然风干过2 mm筛, 土样装进小样瓶备用。

用电导率仪测定样品(土水比1:5) pH值、电导率, 用原子吸收分光光度计(AA-6800, 日本岛津)测定土壤可溶性钠、有效钾离子含量。用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量, 用低温外加热重铬酸钾氧化比色法测定土壤有机质含量, 用激光粒度仪(Marlvorn Mastersizer 2000F, 英国)分析土壤粒径结构, 取部分土壤样品过0.15 mm筛, 用元素分析仪(Elementar Vario Macro, 德国)测定样品总氮、总碳含量。

### 1.3 数据处理

采用Excel 2003计算测量所有数据的平均值、标准差, 使用SPSS 20.0将两年数据进行单因素方差分析、主成份分析、Pearson相关性分析, 并在0.05水平上进行显著性分析。

## 2 结果与分析

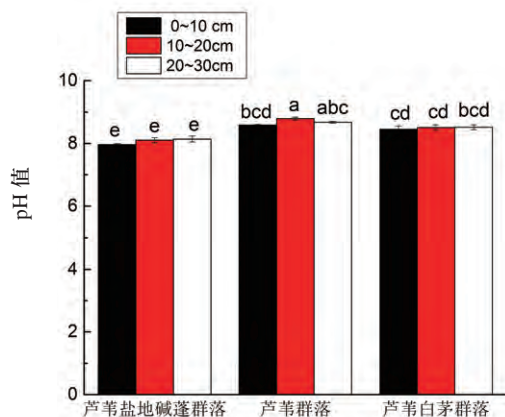
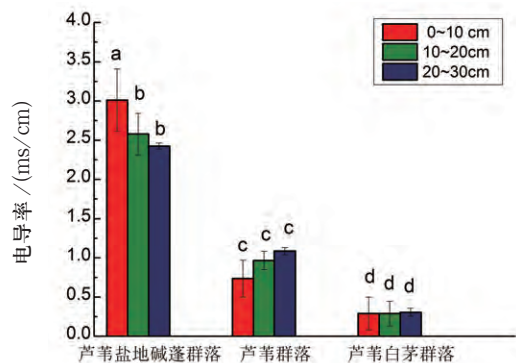
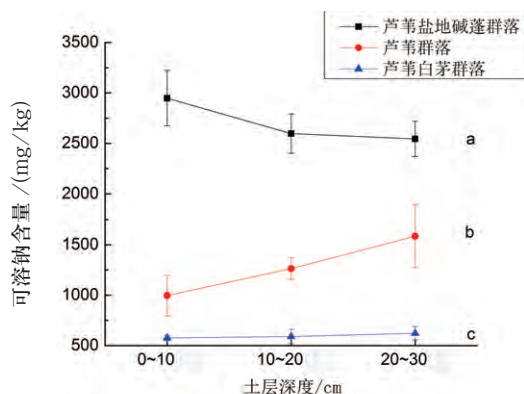
### 2.1 实验区水盐动态变化

2012、2013年芦苇湿地早春雨量较少, 接近0 mm, 干旱严重。生长季内, 两年的雨季均集中在6—8月, 9月以后降雨量显著降低, 表明黄河三角洲滨海湿地降雨全部集中在夏季, 季节分配非常不均。由图2可知, 3个实验区电导率、可溶钠含量差异均达到极显著水平。芦苇盐地碱蓬群落区土壤表层电导率、可溶钠均显著高于下层土壤, pH值8.0左右。芦苇群落区、芦苇白茅群落区pH值在8.4左右, 不同土层差异均不显著( $P < 0.05$ )。

### 2.2 土壤环境因子

**2.2.1 土壤元素含量特征** 土壤理化性质反映了土壤质量, 其对群落植物的生长、分布有着明显的影响。如表1所示, 芦苇盐地碱蓬群落区各土层营养元素含量差异均不显著。芦苇群落区总氮含量土壤表层较高, 土壤有效磷含量底层较高, 土壤有机质、总碳含量随着土层深度增加而显著减少; 芦苇白茅群落区土壤有效钾含量表层较高。不同群落区相比, 芦苇群落区土壤表层营养元素含量最高( $P < 0.05$ )。

**2.2.2 土壤粒径** 土壤粒径是土壤最基本的物理性质之一, 与土壤的通气、保水能力有着密切的联系。由图3可知, 3个群落区相比较, 芦苇盐地碱蓬群落区与芦苇白茅群落区土壤大颗粒(粗粉粒、细砂粒)



注：不同字母代表不同实验区和不同土层之间差异显著

图 2 芦苇 3 个实验区土层土壤可溶钠、电导率和 pH 值  
Fig. 2 Soil soluble sodium, EC and pH value in three study area of *P. australis*

表 1 芦苇 3 个实验区土层土壤理化指标

Table 1 Physicochemical characteristics in three study area of *P. australis*

实验区	土层深度 /cm	总碳/(g/kg)	总氮/(g/kg)	有效磷/(mg/kg)	有机质/(g/kg)	有效钾/(mg/kg)
芦苇盐地碱蓬群落区	0 ~ 10	13.43±1.38c	0.31±0.09 bc	5.55±0.61 b	6.11±1.63 bc	16.78±1.04 bc
	10 ~ 20	13.60±1.20 bc	0.32±0.07 bc	5.43±0.55 bc	5.28±0.83 bc	20.76±3.93 ab
	20 ~ 30	13.22±0.66 c	0.21±0.04 c	5.55±0.30 b	4.39±0.67 c	19.88±4.59 abc
芦苇群落区	0 ~ 10	20.32±0.25 a	0.50±0.05 a	9.92±0.81 a	10.43±1.01 a	20.74±2.10 ab
	10 ~ 20	15.98±0.44 b	0.33±0.02 bc	8.60±0.50 a	7.12±0.60 b	13.59±0.85 bc
	20 ~ 30	13.48±0.42 c	0.25±0.03 bc	5.61±0.25 b	4.11±0.33 c	13.11±0.77 bc
芦苇白茅群落区	0 ~ 10	13.88±0.14 bc	0.36±0.02 ab	4.05±0.21 cd	5.76±0.47 bc	25.75±4.07 a
	10 ~ 20	14.37±1.41 bc	0.30±0.05 bc	3.71±0.29 d	4.71±0.42 bc	15.27±0.45 bc
	20 ~ 30	14.58±0.35 bc	0.31±0.02 bc	4.46±0.40 bcd	4.90±0.89 bc	12.34±0.67 bc

注：不同字母代表不同实验区和不同土层之间差异显著

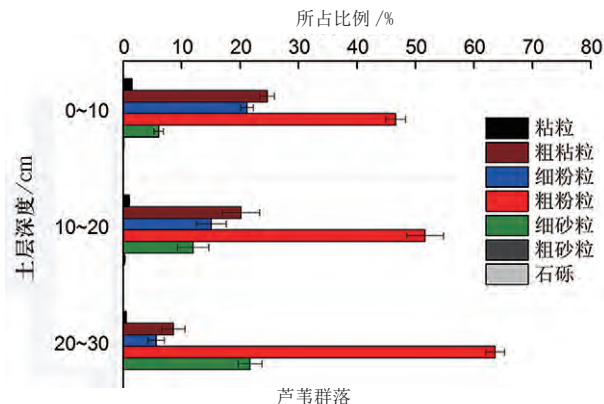
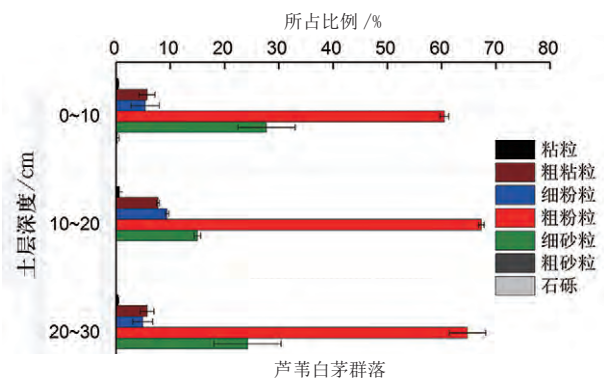
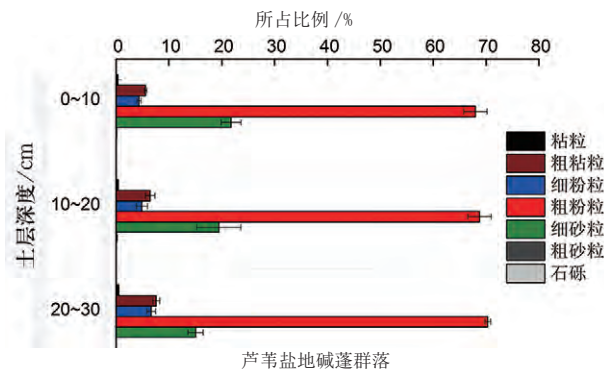


图 3 芦苇 3 个实验区土层土壤粒径结构比例

Fig. 3 Particle size in in three study area of *P. australis*

所占比例高于芦苇群落区，小颗粒（粘粒、粗粘粒、细粉粒）所占比例较低，说明芦苇群落区土壤保水效果较好。



### 2.3 芦苇植被生态特征

选择2012年与2013年数据进行对比分析,探讨不同演替阶段芦苇的生态特征。芦苇的生态特征在不同演替阶段表现出显著的差异性(图4),2012年,芦苇白茅群落区的芦苇基径、高度最高,均值达到4.5 mm、151 cm。芦苇群落区的芦苇密度最高,均值达到每平方米42株。芦苇盐地碱蓬群落区的芦苇盖度最低,仅为48%。2013年,芦苇白茅群落区的芦苇基径最低,仅为2.0 mm。芦苇群落区的芦苇密度显著最高,均值达到每平方米72株。芦苇白茅群落区地上总生物量最高,但与其他两个实验区相比差异不显著。结果表明,在不同演替阶段的芦苇形态特征差异大,并表现出较强的生态适应性。

群落的物种多样性可直接或间接反映群落结构类型、演替进程。芦苇盐地碱蓬群落区,由于土壤盐分较高,群落呈斑块状分布,植被以盐生植被盐地碱蓬为主,偶见鹅绒藤;而芦苇群落区,未发现其他伴生种;芦苇白茅群落区为靠近黄河岸的低盐区,群落以野蓼、白茅、芦苇、节节草等非盐生植物为主,属于明显的群落演替后期。

表2 土壤粒径与土壤理化指标 Pearson 相关性

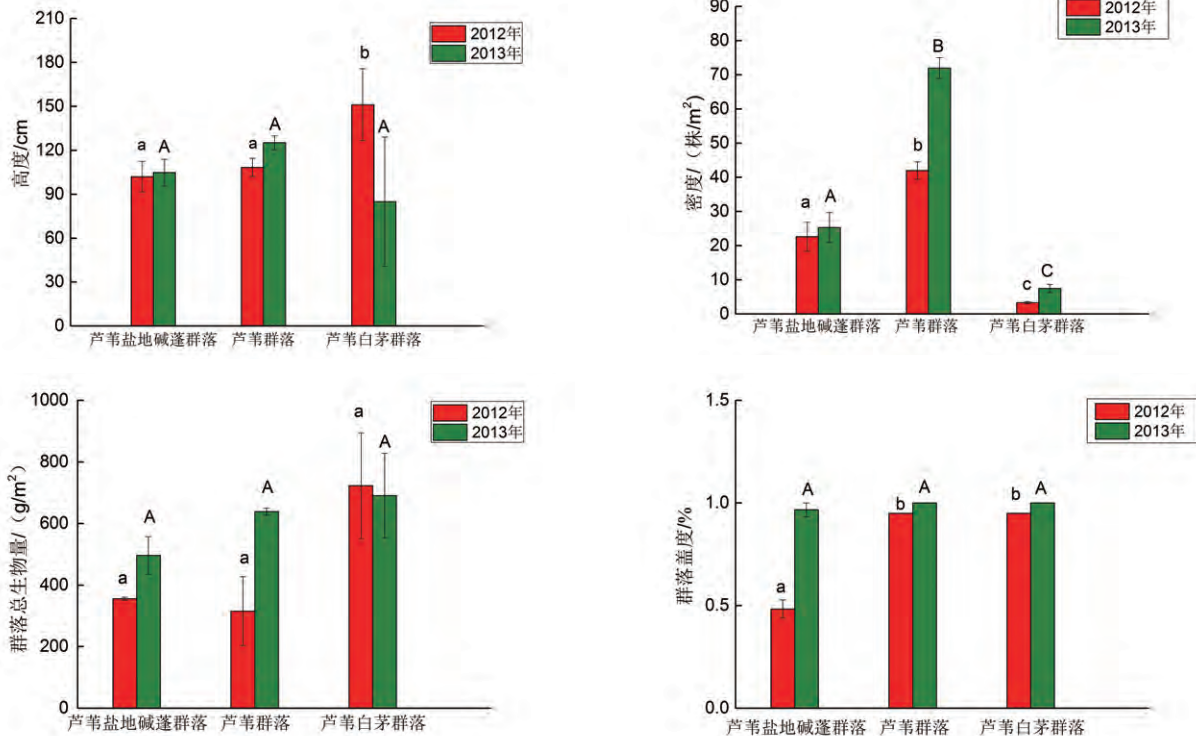
Table 2 Pearson correlations of soil particle size and physicochemical parameters

粒径	电导率	可溶钠	有效钾	总碳	总氮	有效磷	有机质	pH
粘粒	-0.231	-0.190	0.030	0.763*	0.947**	0.941**	0.909**	0.601
粗粘粒	-0.302	-0.256	-0.066	0.705*	0.914**	0.943**	0.868**	0.711*
细粉粒	-0.187	-0.153	0.036	0.760*	0.921**	0.935**	0.902**	0.561
粗粉粒	0.022	-0.035	-0.001	-0.616	-0.803**	-0.968**	-0.865**	-0.526
细砂粒	0.462	0.451	0.039	-0.696*	-0.835**	-0.678*	-0.697*	-0.627

\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$

### 2.4 土壤粒径与土壤环境因子相关性

对研究区土壤粒径与土壤理化性质进行 Pearson 相关性分析(表2)发现,土壤粘粒、粗粘粒、细粉粒比重与总氮、有效磷、有机质呈极显著正相关,与总碳呈显著正相关,体现了小颗粒比重较高时,土壤保水、保肥能力较大的特点;粗粘粒比重与 pH 值呈显著正相关,该结果验证了本研究中 pH 值在芦



注:不同小写字母代表2012年不同实验区之间差异显著,不同大写字母代表2013年不同实验区之间差异显著

图4 芦苇3个实验区生态特征

Fig. 4 Ecological characteristics in three study area of *P. australis*

表 3 方差贡献率表  
Table 3 Variance contribution table

公共因子	方差贡献率			旋转后的方差贡献率		
	特征值	方差 /%	累计方差 /%	特征值	方差 /%	累计方差 /%
1	4.509	56.359	56.359	3.675	45.932	45.932
2	2.097	26.214	82.572	2.931	36.640	82.572

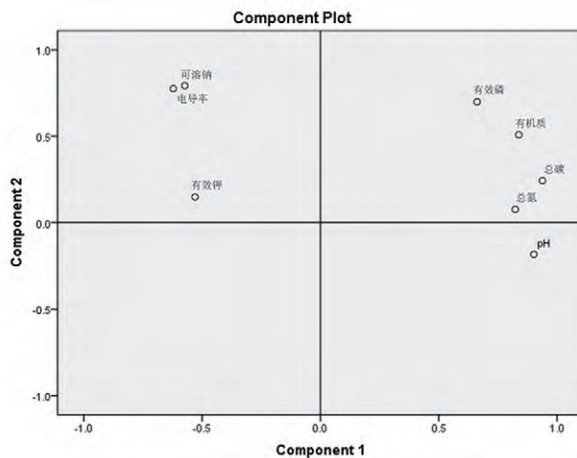


图 5 环境因子荷载系数的旋转空间图形

Fig.5 Rotation space figure of environmental factor load factor 芦苇群落区分布最高的趋势。粗粉粒比重与总氮、有效磷、有机质呈极显著负相关。细砂粒比重与总氮呈极显著负相关，与总碳、有效磷、有机质呈极显著负相关，土壤粒径与电导率、可溶钠和有效钾均未发现显著相关性。

2.5 土壤环境因子与芦苇生态特征相关性

从表 3 可看出，特征值大于 1 的 2 个公共因子的方差累计贡献率已达 82.57%，说明其可代表原始 8 个指标的 82.57% 的信息。在此基础上采用方差最大正交方法进行旋转，获得各环境因子指标的荷载系数 compent 1、compent 2 (表 4)，图 5 为环境因子荷载系数的旋转空间图形。荷载系数代表的是公共因子与指标变量的相关系数，其绝对值越靠近 1，公共因子与指标变量的关系越密切。

从表 4 和图 5 可以看出：

(1) 第 1 公共因子上荷载系数大于 0.7 的指标有 4 个，由大到小分别是总碳、pH 值、有机质、总氮，表明土壤营养指标和 pH 值对芦苇群落植被生长有很大影响。

(2) 第 2 公共因子上荷载系数大于 0.7 的指

表 4 各环境指标的荷载系数  
Table 4 Load factor of each environmental index

指标	Component 1	Component 2
pH 值	0.902	-0.182
总氮	0.823	0.077
总碳	0.938	0.243
有效磷	0.662	0.699
有机质	0.838	0.508
电导率	-0.622	0.775
可溶钠	-0.573	0.793
有效钾	-0.530	0.148

标只有 2 个，由大到小分别是可溶钠、电导率，说明盐度对芦苇群落植被生长也有显著影响。

群落地上生物量与不同土层土壤环境因子相关性分析表明 (表 5)，只有 0 ~ 10 cm 土壤有效钾与群落地上生物量呈显著正相关；20 ~ 30 cm 土壤可溶钠与芦苇群落地上生物量显著负相关；其余均无显著相关性。

3 讨论

研究期间黄河三角洲总降水量年间变化不大，月降雨量分配极不均匀，雨季主要集中在 7、8 月 (宋德彬等, 2016; 王笛, 2010)，降雨量约占全年的 75%。土壤可溶钠、电导率、pH 值是描述土壤盐碱度的常用指标 (商放泽等, 2013)。已有研究表明，随着温度逐渐升高，土壤蒸发量增大，在盐碱地或盐碱湿地区域土壤盐分积聚到表层，从而使植被产生退化现象 (Yu et al, 2014)。本研究中，芦苇盐地碱蓬群落区靠近海岸，土壤盐分 (表现为电导率、可溶钠) 最高，由于该区域蒸发量大，植被覆盖率较低，土壤返盐现象严重，盐分均积累在土壤表层。但芦苇群落区和芦苇白茅群落区土壤各层电导率和可溶钠含量差异不显著，原因可能为取样时间在雨季过后，降雨产生了一定的压盐作用，加之植被覆盖率较高，土壤返盐现象不明显。

湿地生态系统中，土壤养分主要来源于动植物、微生物残体及根系分泌物等 (陈海霞等, 2007)。由于受不同环境因子的影响，不同植被群落之间土壤环境因子差异很大。虽然已有很多研究表明，土壤养分含量与群落多样性指数和物种丰富度呈正相关 (白永飞等, 2000; 许莎莎等, 2011)，但不同研究区有其各自的特点。本研究中，芦苇群落区群落植被种类单一，而芦苇盐地碱蓬群落区和芦苇白茅群落区均为混合群落，但芦苇群落区芦苇密度和土壤表层总碳、有机质、有效磷等养分含量均显著高于另外两个群落区。这与该区域水文特征有关，芦苇盐地碱蓬群落区靠近海岸，受潮水影响剧烈，海水涨潮时能够完全淹没芦苇盐地碱蓬群落区，土壤

表 5 芦苇群落地上总生物量与土壤各层环境因子 Pearson 相关性分析  
Table 5 Pearson correlations of aboveground biomass of *P. australis* and environmental factors in different soil layers

土层	电导率	可溶钠	有效钾	pH 值	N%	C%	有效磷	有机质
0 ~ 10	-0.493	-0.524	0.800*	0.061	-0.052	-0.287	-0.438	-0.406
10 ~ 20	-0.549	-0.494	-0.359	0.062	0.312	0.460	0.364	-0.031
20 ~ 30	-0.629	-0.714*	-0.517	-0.165	0.631	0.511	-0.637	0.104

\*P<0.05

表层动植物残体能够随着潮水而被带走；而芦苇白茅群落区靠近黄河岸边，当黄河上游调水调沙时河水漫过芦苇白茅群落区，降低土壤盐分的同时，也会将表层动植物残体冲刷掉，因此两个研究区虽然植被多样性较高，但动植物残体无法长时间停留在土壤表层，导致土壤中养分含量较低。对土壤理化因子进行主成份分析的结果表明，以养分特征为主导的土壤总碳、有机质、pH值、总氮共同构成了第一主成分，贡献率达到56.36%；以土壤盐分特征可溶钠、电导率构成第二主成分，贡献率达到26.21%，并且群落地上生物量与有效钾呈正相关，与可溶钠呈负相关。

滨海湿地、河口湿地的植被分布主要受土壤水文和盐分的影响，由海向陆3个不同演替阶段的群落，其中芦苇盐地碱蓬群落区土壤盐分较高，对芦苇群落和个体生长发育有一定的抑制作用（赵可夫等，1998），因此该区域主要以盐地碱蓬为优势物种，芦苇属于伴生种。而离黄河岸较近的芦苇白茅群落区，分布着野蓟、白茅、节节草等淡水植被。介于两者之间的中等盐分区为芦苇群落区，芦苇植被占优势地位，该区域盐分特征适合芦苇生长，并且芦苇具有绝对竞争力，形成了芦苇群落。3个演替阶段的群落区均有芦苇分布，说明芦苇具有较广的盐分适应阈值，这也是芦苇能够广泛生长在具有一定盐度的滨海湿地和内陆湿地的原因之一，因此芦苇一直被用于作为湿地生态修复的关键种（薛宇婷，2015）。综合本研究结果，水盐分布格局是影响该区域芦苇植被群落分布的主要驱动因子，同时土壤营养元素含量对芦苇植被群落的生态特征也有显著影响。

致谢：本研究得到中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站的支持。

### 参考文献

白永飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 2000. 锡林河流域草原群落植物多样性和初级生产力沿水热梯度变化的样带研究 [J]. 植物生态学报, 24(6): 667-673

陈海霞, 付为国, 王守才, 等. 2007. 镇江内江湿地植物群落演替过程中土壤养分动态研究 [J]. 生态环境, 16(5): 1475-1480

陈国平, 程珊珊, 刘静, 等. 2015. 天津滨海湿地3种典型群落土壤理化性质及碳氮差异性分析 [J]. 植物研究, 35(3): 406-411

樊玉清, 王秀海, 孟庆生. 2013. 辽河口湿地芦苇群落退化过程中土壤营养元素和含盐量变化 [J]. 湿地科学, 11(1): 35-40

樊玉清, 赵越, 洪波, 等. 2014. 双台子河口芦苇湿地盐分离子空间变化与植物群落退化演替关系 [J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 44(7): 91-94, 99

管博, 栗云召, 夏江宝, 等. 2014. 黄河三角洲不同水位梯度下芦苇植被生态特征及其与环境因子相关关系 [J]. 生态学杂志, 33(10): 2633-2639

盖振宇. 2016. 人类活动影响下的黄河三角洲滨海湿地变化研究

[D]. 济南: 山东师范大学学位论文

栗云召, 于君宝, 韩广轩, 等. 2011. 黄河三角洲自然湿地动态演变及其驱动因子 [J]. 生态学杂志, 30(7): 1535-1541

卢其明, 林琳, 庄雪影, 等. 1997. 车八岭不同演替阶段植物群落土壤特性的初步研究 [J]. 华南农业大学学报, 18(3): 51-55

马玉蕾, 王德, 刘俊民, 等. 2013. 黄河三角洲典型植被与地下水埋深和土壤盐分的关系 [J]. 应用生态学报, 24(9): 2423-2430

曲国辉, 郭继勋. 2003. 松嫩平原不同演替阶段植物群落和土壤特性的关系 [J]. 草业学报, 12(1): 18-22

宋德彬, 于君宝, 王光美, 等. 2016. 1961—2010年黄河三角洲湿地年平均气温和年降水量变化特征 [J]. 湿地科学, 14(2): 248-253

单鱼洋. 2008. 不同盐度灌溉水对芦苇生长动态和生理特性影响的研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学学位论文

商放泽, 任树梅, 邹添, 等. 2013. 再生水及盐溶液入渗与蒸发对土壤水盐和碱性的影响 [J]. 农业工程学报, 29(14): 120-129

王永丽, 于君宝, 董洪芳. 2016. 黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析 [J]. 地理科学, 32(6): 17-724

韦翠珍, 张佳宝, 周凌云. 2011. 沿黄河下游湖泊湿地植物群落演替及其多样性研究 [J]. 生态环境学报, 20(1): 30-36

吴统贵. 2009. 杭州湾滨海湿地植被群落演替及优势物种生理生态学特征 [D]. 北京: 中国林业科学研究院学位论文

王笛, 马风云, 侯栋. 2010. 黄河三角洲湿地保护区降水多时间尺度分析 [J]. 西南林学院学报, 30(6): 33-37

许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等. 2011. 黑河河岸植被与环境因子间的相互作用 [J]. 生态学报, 31(9): 2421-2429

薛宇婷. 2015. 芦苇不同生长阶段的耐盐特性研究 [D]. 南京: 南京林业大学学位论文

张庆费, 宋永昌, 由文辉. 1999. 浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系 [J]. 生态学报, 19(2): 32-36

张晓龙, 李萍, 刘乐军, 等. 2009. 黄河三角洲湿地生物多样性及其保护 [J]. 海岸工程, 28(3): 33-39

张绪良, 肖滋民, 徐宗军, 等. 2011. 黄河三角洲滨海湿地的生物多样性特征及保护对策 [J]. 湿地科学, 9(2): 125-131

赵可夫, 冯立田, 张圣强. 1998. 黄河三角洲不同生态型芦苇对盐度适应生理的研究 I. 渗透调节物质及其贡献 [J]. 生态学报, 18(5): 17-23

赵魁义. 1999. 中国沼泽志 [M]. 北京: 科学出版社

周以良. 1997. 中国东北植被 [M]. 北京: 科学出版社

中国湿地植被编辑委员会. 1999. 中国湿地植被 [M]. 北京: 科学出版社

Cui B, Zhao X, Yang Z, et al. 2008. Response of reed community to the environment gradient-water depth in the Yellow River Delta, China [J]. *Frontiers in Biology*, 3(2): 194-202

Kellner O, Redbo-Torstensson P. 1995. Effects of elevated nitrogen deposition on the field layer vegetation in coniferous forests [J]. *Ecological Bulletins*, 44: 227-237

Lv X F, Ma B, Yu J B, et al. 2016. Bacterial community structure and function shift along a successional series of tidal flats in the Yellow River Delta [J]. *Scientific Reports*, 6: 36550

Meng H, Wang X, Tong S, et al. 2016. Seed germination environments of *Typha latifolia* and *Phragmites australis* in wetland restoration [J]. *Ecological Engineering*, 96: 194-199

Yu J B, Li Y Z, Han G X, et al. 2014. The spatial distribution characteristics of soil salinity in coastal zone of the Yellow River Delta [J]. *Environmental Earth Sciences*, 72(2): 589-599