



# 宁夏震湖滩涂湿地盐生植物群落多样性 与土壤盐碱度分析

乔斌<sup>1,2</sup>,黄维<sup>3</sup>,何彤慧<sup>1,2</sup>,苏芝屯<sup>1,2</sup>,冯艳琼<sup>1,2</sup>

(1 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室,银川 750021;2 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地,银川 750021;3 宁夏回族自治区林业调查规划院,银川 750001)

**摘要:**该研究以宁夏西吉震湖滩涂湿地 4 种典型盐生植物群落作为研究对象,通过野外调查采样,实验室分析,结合经典统计学方法,研究柽柳 (*Tamarix* sp.)、盐角草 (*Salicornia europaea*)、碱蓬 (*Suaeda glauca*)、芦苇 (*Phragmites australis*) (矮生型) 等 4 种盐生植物群落多样性格局,分析 4 种盐生植物群落及湖滩裸地土壤全盐和 pH 特征,为湿地自然保护区湖滨湿地的保护与恢复提供依据。结果表明:(1)在 4 种盐生群落斑块中共发现植物 26 种,藜科、禾本科、菊科分别占植物总数的 23.08%、19.23% 和 19.23%;柽柳群落为盐生灌丛,物种数繁杂;盐角草群落、碱蓬群落和芦苇群落属于盐生草甸,物种组成单调,大多是单优群落斑块;3 种盐生草甸群落中优势种的重要值显著高于盐生灌丛中柽柳的重要值( $P < 0.05$ )。(2)Margalef 丰富度指数、Shannon-wiener 指数和 Simpson 优势度指数均是柽柳群落最大,分别为 1.105、1.706 和 0.552; Pielou 均匀度指数为:盐角草群落 > 芦苇群落 > 碱蓬群落 > 柽柳群落,分别为 1.166、1.021、0.997 和 0.813。(3)4 种盐生群落类型及湖滩裸地土壤全盐表层(0~10 cm) 表聚效应显著( $P < 0.05$ );表层土壤全盐依次为湖滩裸地 > 盐角草群落 > 碱蓬群落 > 柽柳群落 > 芦苇群落,土壤盐度分别在 0.44%~0.58%、0.49%~0.53%、0.15%~0.54%、0.27%~0.45% 和 0.18%~0.39% 之间;柽柳群落土壤 pH 随土层加深依次降低,3 种盐生草甸土壤 pH 随土层加深先迅速增大后基本不变,湖滩裸地 pH 随土层加深先迅速减小后基本不变。

**关键词:**湖滩湿地;盐生植物群落;全盐;pH;生物多样性

**中图分类号:**Q948.15<sup>+</sup>6; Q948.113      **文献标志码:**A

## Analysis on the Diversity of Halophyte Plant Community and Soil Salinity in Beach-wetland of Zhen-Lake of Ningxia

QIAO Bin<sup>1,2</sup>, HUANG Wei<sup>3</sup>, HE Tonghui<sup>1,2</sup>, SU Zhitun<sup>1,2</sup>, FENG Yanqiong<sup>1,2</sup>

(1 Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem, Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2 Breeding Base of State Key Laboratory for Preventing Land Degradation and Ecological Restoration, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3 Ningxia Hui Autonomous Region Forestry Investigation and Planning Institute, Yinchuan 750001, China)

**Abstract:** In this study, we selected the four typical halophyte plant communities of beach-wetland of semi-arid area in the Dangjiacha Wetland Nature Reserve of Xiji, Ningxia to explore diversity patterns of four halophyte plant communities, including *Tamarix* sp., *Salicornia europaea*, *Suaeda glauca* and *Phrag-*

收稿日期:2017-11-01;修改稿收到日期:2018-01-09

基金项目:国家自然科学基金(41361095);宁夏大学研究生创新项目(GIP2017006);北京绿色未来环境基金会 2016 年绿苗计划(2016LM043)

作者简介:乔斌(1988—),男,硕士研究生,主要从事植物生态和湿地生态恢复方面的研究。E-mail:8807qiaobin@163.com

\* 通信作者:何彤慧,教授,博士,主要从事生态系统监测评估、环境变化和湿地生态恢复方面的研究。E-mail:hetonghui@163.com

*mites australis* (dwarf type) and also studied the characteristics of total salt and pH in soil of four halophytes communities and bare beach. The main conclusions are as follows: (1) a total of 26 plant species were found among four halophyte communities. Among them, Chenopodiaceae, Gramineae and Compositae respectively accounted for 23.08%, 19.23% and 19.23% of the total plants. *Tamarix* sp. community species diversity and the community composition of *S. europaea*, *S. glauca* and *P. australis* are monotonous, mostly monotonous community patches. The important values of the dominant species in the three halophyte communities were significantly higher than those in the saline shrub ( $P<0.05$ ). The important value of *Tamarix* sp. community was between 0.13 and 0.54, which was significantly different from that of the three salted meadows ( $P<0.05$ ). (2) Margalef index, Shannon-wiener index and Simpson index were the largest of *Tamarix* sp. community, which were 1.105, 1.706 and 0.552, respectively. Pielou index is *S. europaea* > *P. australis* > *S. glauca* > *Tamarix* sp., namely 1.166, 1.021, 0.997 and 0.813. (3) The effects of total salt content on the surface layer of the four kinds of halophyte communities and the bare beach were significant ( $P<0.05$ ). In the surface layer the soil total salt was bare beach > *S. europaea* community > *S. glauca* community > *Tamarix* sp. community > *P. australis* community, respectively between 0.44%–0.58%, 0.49%–0.53%, 0.15%–0.54%, 0.27%–0.45% and 0.18%–0.39%. The soil pH of *Tamarix* spp community was decreased with the soil depth. The soil pH of the salted meadow is quickly increased with the soil to deepen, after the basic unchanged. The pH of the bare beach is quickly declined with the soil to deepen, after the basic unchanged.

**Key words:** beach wetland; halophyte plant community; total salt; pH; biodiversity

湖滩湿地作为发育于湖泊生态系统与陆地生态系统过渡地带的湿地生态系统,具高度敏感性和脆弱性。湖滩湿地植被作为湖滩湿地的重要组成部分,是湿地生态系统中的第一性生产力,兼具保滩护岸、维护生物多样性等多种生态功能<sup>[1]</sup>。因此,探究湖滩湿地植物群落多样性及其维持机制,是了解区域湿地生态功能和稳定的基础<sup>[2-3]</sup>,也一直是群落生态学研究的中心议题<sup>[4-5]</sup>。同时,湿地科学领域尤为关注水盐对湿地植被的影响<sup>[6]</sup>。目前在滩涂湿地植物多样性研究中,滨海湿地的研究较为系统<sup>[2,7-8]</sup>,湖滨湿地的研究比较欠缺。有关湖滨湿地植物群落特征、植物群落多样性格局及演化驱动因子的研究的报道仅见于艾比湖湿地<sup>[9-11]</sup>和吉兰泰盐池、乌梁素海、查干诺尔碱矿及额吉诺尔盐池湖滨湿地<sup>[12]</sup>,这些研究表明土壤盐分条件是影响盐生植物群落结构与生存发育的重要因子<sup>[11-12]</sup>。

位于宁夏西吉县境内的自治区级党家岔湿地自然保护区内,分布有典型的地震堰塞湖湿地,包括了党家岔堰、堡玉堰、苏堡堰、河滩堰及其余零星湖堰。作为黄土高原独特的湖堰湿地生态系统,具有极高的生态、经济、科学价值和历史存留意义。近年来,由于气候变化和人类活动的干扰<sup>[13-14]</sup>,这些堰塞湖萎缩严重,致使地下水位不断下降,周围土壤盐渍化程度日益加深,发育了完善的盐碱化湖滩湿地<sup>[13]</sup>,形成了典型的隐域性盐生植被。这里的湖滩湿地作为生态敏感地带,是开展湖沼型湿地植物群落多样

性及其生境土壤盐碱度研究的天然试验场和理想场所。因此,本文以党家岔湿地自然保护区内湖滩湿地盐生植被作为研究对象,通过探究柽柳(*Tamarix* sp.)、盐角草(*Salicornia europaea*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、芦苇(*Phragmites australis*) (矮生型)等4种典型盐生植物群落多样性,分析4种盐生植物群落及湖滩裸地土壤全盐、pH特征,以期为党家岔湿地自然保护区湖滨湿地的保护与恢复及有效管理提供科学指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况及堰塞湖选取

西吉县位于宁夏南部山区,位于 $105^{\circ}20' \sim 106^{\circ}04'E$ ,  $35^{\circ}35' \sim 36^{\circ}14'N$ ,海拔为 $1\,688 \sim 2\,633$  m,属于温带大陆性半干旱型季风气候。春寒干旱,夏短温和,秋凉多雨,冬冷少雪,年平均降水量在 $350 \sim 500$  mm之间。作为六盘山集中连片特困区的西吉县,回族人口占总人口的57%,是典型的国家级民族贫困县。在全国生态功能区划上西吉县属于限制开发生态区。1920年“海原大地震”诱发黄土滑坡堵截河谷水流,在宁夏西吉县形成了若干堰塞湖。2002年,为保护堰塞湖群湿地景观,宁夏回族自治区人民政府批准建立自治区级党家岔湿地自然保护区。2006年,西吉县党家岔地震滑坡堰塞湖遗址被国家地震局设立为国家级典型地震遗址。至此,随着保护力度加大,人们环境保护意识不断加强。

及西吉县当地政府和社会各界的广泛关注呼吁,这一宁南黄土丘陵沟壑区独特的高原堰塞湖群湿地景观得到了较为完善的保护。

本研究选取党家岔堰、堡玉堰、苏堡堰、河滩堰的湖滩湿地盐生植被作为研究对象,是因为其均位于党家岔湿地自然保护区核心区内,受人为干扰较小或无人为干扰,盐生植被发育完善,具有典型性。

## 1.2 野外调查与采样

通过对党家岔堰、堡玉堰、苏堡堰、河滩堰的湖滩湿地的野外调查,选择柽柳、盐角草、碱蓬、芦苇(矮生型)4种具有代表性的典型盐生植物群落作为研究对象,于2016年7月到8月开展了样方调查。分别选取柽柳、盐角草、碱蓬、芦苇为优势种群的斑块作为典型样地,其中柽柳属于半自然化的盐生灌丛,盐角草、碱蓬、芦苇为具有代表性的人为干扰较小或无人为干扰的原生自然植被,属于盐生草甸。草本植物群落的样方尺寸为1 m×1 m,灌木群落样方尺寸为5 m×5 m,每个群丛都在样方邻近地段作2~3个重复。共调查了48组样方,其中柽柳群落12组,碱蓬群落11组,盐角草群落9组,芦苇群落16组。在样方调查中,主要记录植物名称、数量或多度、高度、盖度、生活型等。在群落样方调查的同时,在各样地用土钻分别取0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm共5个土层的土壤。取土样时将同一层土样混匀后装入自封袋中带回实验室,每层3个重复。此外,在无植被生长的湖滩裸地也采取了0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm共5个土层的土壤,视为对照。

## 1.3 研究方法

**1.3.1 多样性指数选取** 群落生物多样性是生物丰富度和均匀度的函数,有关群落生物多样性的计算模型很多,它们的差别在于对丰富度和均匀度这2个变量所赋予的权重不同<sup>[15]</sup>。本研究选用了Margalef丰富度指数、Shannon-wiener指数、Simpson优势度指数、Pielou均匀度指数<sup>[16]</sup>。计算公式如下:

$$\text{Margalef丰富度指数: } R = (S-1)/\ln N$$

$$\text{Shannon-wiener指数: } H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$\text{Simpson优势度指数: } D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

$$\text{Pielou均匀度指数: } E = H/\ln S$$

以上各式中, S 代表样方内物种总数,  $P_i$  为样

方内某一物种的相对重要值,  $P_i = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度} + \text{相对高度})/4$ 。在计算出每个样方的多样性指数后,按照其所属群落类型,分别相加后求取平均值,得到不同盐生群落的多样性指数。

**1.3.2 土壤测定** 将土壤样品带回实验室,放在通风处自然风干、研磨后过2 mm的筛备用。准确称量5 g的土壤样品放置于三角瓶中,加入25 mL蒸馏水,将三角瓶封口后置于振荡器上振荡30 min,后静置30 min获得的上清液过滤后装入容量瓶中,用于测试(水土比为5:1)。土壤全盐含量利用电导率仪(雷磁 DDSJ-308F 型号)测定, pH 采用 pH 计(雷磁 PHS-3G 型号)测定。

## 1.4 数据处理

用SPSS19.0软件单因素水平的参数检验法检验物种多样性指数指标和土壤全盐、pH指标,其中正态性检验用QQ-Pots检验( $P > 0.05$ ),若数据不满足正态性,对数据进行对数转换,方差齐性检验用Levene's法检验( $P > 0.05$ )。差异性检验用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差法(least-significant difference, LSD)或Tamhane's T2法,若方差齐性( $P > 0.05$ )用LSD法检验,若方差非齐性( $P < 0.05$ )用Tamhane's T2法检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 典型盐生植物群落物种组成

通过对湖滩湿地4种盐生植物群落斑块的调查,共发现了26种植物,隶属于13科,其中藜科、禾本科、菊科为优势科,分别占植物总数的23.08%、19.23%和19.23%。26种物种中,剔除7种偶见种,分别形成了以柽柳、盐角草、碱蓬、芦苇(矮生型)为优势种,其余物种交错伴生的镶嵌型群落斑块格局。4种典型盐生植物群落特征见表1,其中,柽柳群落盖度在40%~70%之间,群落物种数较为繁杂。灌木层为柽柳,高度在200 cm左右,优势种柽柳的重要值为(0.34±0.14),常见伴生物种多达12种,草本层以画眉草、碱蓬、冰草为优势种群;盐角草群落、碱蓬群落的群落物种数单一,优势种盐角草和碱蓬的重要值分别为(0.62±0.37)和(0.73±0.18);芦苇群落盖度在70%~100%之间,芦苇种群的重要值为(0.80±0.12),伴生种较为丰富,常见有画眉草、盐角草、碱蓬、冰草等;3种盐生草甸群落中优势种的重要值显著高于盐生灌丛中柽柳的重要值( $P < 0.05$ ),盐生草甸群落中优势种在各自群落中的地位和作用更明显。

表 1 4 种典型盐生植物群落特征

Table 1 Characteristics of four typical plant halophyte communities

群落类型 Community type	群落盖度 Community coverage/%	高度 Height/cm	重要值 Important value	常见伴生物种 Associated species
柽柳群落 <i>Tamarix</i> sp. community	40~70	200.50±103.35a	0.34±0.14b	冰草、芦苇、画眉草、碱蓬、盐角草、灰绿藜、乳苣、骆驼蓬、猪毛蒿、二色补血草、狗尾草、苦苣菜 <i>Agropyron cristatum</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Eragrostis pilosa</i> , <i>Suaeda glauca</i> , <i>Salicornia europaea</i> , <i>Chenopodium glaucum</i> , <i>Mulgedium tataricum</i> , <i>Peganum harmala</i> , <i>Artemisia scoparia</i> , <i>Limonium bicolor</i> , <i>Setaria viridis</i> and <i>Sonchus oleraceus</i>
盐角草群落 <i>Salicornia europaea</i> community	35~100	7.89±3.72c	0.62±0.37a	碱蓬、画眉草 <i>Suaeda glauca</i> 、 <i>Eragrostis pilosa</i>
碱蓬群落 <i>Suaeda glauca</i> community	70~80	23.92±15.67b	0.73±0.18a	盐角草、画眉草、冰草、西伯利亚蓼 <i>Salicornia europaea</i> , <i>Eragrostis pilosa</i> , <i>Agropyron cristatum</i> and <i>Polygonum sibiricum</i>
芦苇群落 <i>Phragmites australis</i> community	70~100	10.67±6.10b	0.80±0.12a	画眉草、盐角草、碱蓬、冰草、乳苣、蒲公英 <i>Eragrostis pilosa</i> , <i>Salicornia europaea</i> , <i>Suaeda glauca</i> , <i>Agropyron cristatum</i> , <i>Mulgedium tataricum</i> and <i>Taraxacum mongolicum</i>

注:同列不同小写字母表示差异达显著水平( $P<0.05$ )

Note: The different lowercase letters in the same column represent the significant difference at 0.05 level

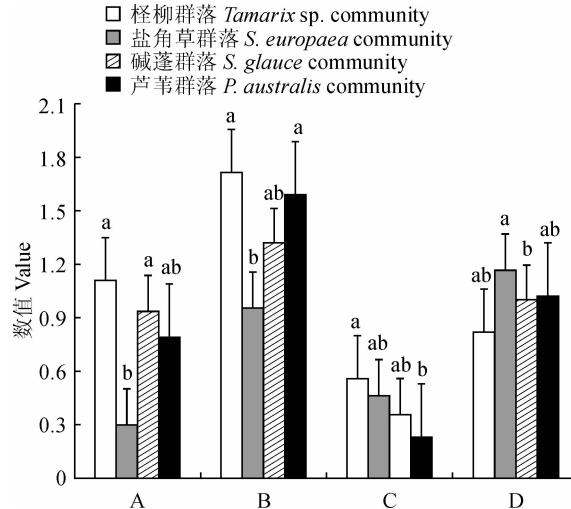
## 2.2 典型盐生植物群落多样性特征

4 种典型盐生植物群落多样性指数结果如图 1 所示。其中, Margalef 丰富度指数为柽柳群落>碱蓬群落>芦苇群落>盐角草群落, 分别为 1.105、0.936、0.787 和 0.301; Shannon-wiener 指数为柽柳群落最大(1.706), 且与芦苇群落、碱蓬群落、盐角草群落存在显著差异( $P<0.05$ ); Simpson 优势度指数为柽柳群落与盐角草群落、碱蓬群落差异不显著( $P>0.05$ ), 但与芦苇群落差异显著( $P<0.05$ ); Pielou 均匀度指数为盐角草群落最高, 芦苇群落、碱蓬群落次之, 柽柳群落最小, 分别是 1.166、1.021、0.997 和 0.813, 且柽柳群落与盐角草群落、碱蓬群落、芦苇群落差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.3 典型盐生植物群落土壤盐碱度特征分析

### 2.3.1 典型盐生植物群落间土壤盐碱度差异特征

由表 2 可知, 柽柳群落、盐角草群落、碱蓬群落、芦苇群落、湖滩裸地土壤全盐均表现为表层(0~10 cm)与表层以下其他土层(10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm)差异显著( $P<0.05$ ); 4 种盐生群落类型及湖滩裸地同层土壤间全盐存在不同的差异显著性, 在表层(0~10 cm), 湖滩裸地、盐角草群落、碱蓬群落之间土壤全盐差异不显著( $P>0.05$ ), 但与柽柳群落、芦苇群落土壤全盐差异显著; 在亚表层(10~20 cm), 湖滩裸地土壤全盐与柽柳群落、碱蓬群落土壤全盐差异不显著, 但与芦苇群落、盐角草群落土壤全盐差异显著; 在 20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm 土层, 湖滩裸地、柽柳群落土壤全盐与盐角



A. Margale 丰富度指数; B. Shannon-wiener 指数;  
C. Simpson 优势度指数; D. Pielou 均匀度指数

图 1 湖滩湿地典型盐生植物群落多样性指数

A. Margale index; B. Shannon-wiener index;  
C. Simpson index; D. Pielou index

Fig. 1 Biodiversity of typical halophyte plant communities in beach wetland

草群落、碱蓬群落、芦苇群落土壤全盐均差异显著, 且碱蓬群落、芦苇群落土壤全盐与盐角草群落土壤全盐差异显著。

4 种盐生群落类型及湖滩裸地土壤 pH 表现出不同的差异显著性(表 3)。其中, 湖滩裸地表层土壤 pH 与表层以下其他土层(10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm) pH 差异显著( $P<0.05$ ), 且表层以下其他土层之间 pH 差异不显著( $P>0.05$ )。

表 2 典型盐生植物群落及其湖滩裸地土壤盐度特征值

Table 2 Characteristic values of soil salinity of typical halophyte communities and bare beach

土层 Soil layer/cm	全盐 Total soil content/%				
	柽柳群落 <i>Tamarix</i> sp. community	盐角草群落 <i>S. europaea</i> community	碱蓬群落 <i>S. glauca</i> community	芦苇群落 <i>P. australis</i> community	湖滩裸地 Beach bare land
0~10	0.366±0.056Ab	0.507±0.021Aa	0.399±0.184Aab	0.292±0.090Ab	0.498±0.060Aa
10~20	0.221±0.033Ba	0.150±0.003Bb	0.189±0.110ABab	0.170±0.400Bb	0.242±0.075Ba
20~30	0.183±0.046Ba	0.103±0.015BCc	0.148±0.072Bb	0.144±0.050Bb	0.215±0.064Ba
30~40	0.184±0.071Ba	0.097±0.006Cc	0.128±0.067Bb	0.157±0.025Bb	0.210±0.045Ba
40~50	0.181±0.056Ba	0.087±0.006Cc	0.118±0.049Bb	0.169±0.026Bb	0.213±0.049Ba

注:同行不同小写字母表示不同植物群落之间土壤全盐差异显著( $P<0.05$ ),同列不同大写字母表示各层土壤之间全盐差异显著( $P<0.05$ )。下同

Note: The different lowercase letters in the same row represents that the soil salinities were significantly difference in the different plant communities ( $P<0.05$ ), The different capital letters in the same column represents that the soil salinities were significantly different between layers of soil ( $P<0.05$ ). The same as below

表 3 典型盐生植物群落及其湖滩裸地土壤 pH 特征值

Table 3 Characteristic values of soil pH of typical halophyte communities and bare beach

土层 Soil layer/cm	pH				
	柽柳群落 <i>Tamarix</i> sp. Community	盐角草群落 <i>S. europaea</i> community	碱蓬群落 <i>S. glauca</i> community	芦苇群落 <i>P. australis</i> community	湖滩裸地 Beach bare land
0~10	8.30±0.27Aa	7.30±0.03Cb	7.68±0.47Ab	7.48±0.38Ab	8.15±0.11Aa
10~20	8.03±0.91Ba	7.55±0.03Bb	7.90±0.25Aa	7.52±0.16Ab	7.89±0.13Ba
20~30	7.99±0.24Ba	7.70±0.02Ab	7.81±0.25Ab	7.64±0.09Ab	7.81±0.13Bb
30~40	7.69±0.24Cab	7.69±0.05Aab	7.78±0.17Aa	7.53±0.19Ab	7.84±0.53Ba
40~50	7.66±0.18Cab	7.69±0.05Aab	7.81±0.16Aa	7.54±0.12Ab	7.91±0.13Ba

$>0.05$ );柽柳群落表层土壤 pH 与表层以下其他土层 pH 差异显著,且 10~20 cm、20~30 cm 土层 pH 与 30~40 cm、40~50 cm 土层 pH 差异显著( $P<0.05$ );盐角草群落表层土壤 pH 与表层以下其他土层 pH 差异显著,且 10~20 cm 土层 pH 与 20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm 土层 pH 差异显著;碱蓬群落和芦苇群落各土层间 pH 差异性均不显著( $P>0.05$ );在表层土壤中,湖滩裸地、柽柳群落土壤 pH 与碱蓬群落、芦苇群落、盐角草群落土壤 pH 差异显著;在亚表层土壤中,湖滩裸地、柽柳群落、碱蓬群落土壤 pH 与芦苇群落、盐角草群落土壤 pH 差异显著;在 20~30 cm 土层,柽柳群落土壤 pH 与湖滩裸地、碱蓬群落、芦苇群落、盐角草群落土壤 pH 差异显著;在 30~40 cm、40~50 cm 土层,芦苇群落土壤 pH 最小,且与湖滩裸地、柽柳群落、碱蓬群落、盐角草群落土壤 pH 差异显著。

### 2.3.2 典型盐生群落土壤盐碱度垂直分布特征

由图 2,A 可知,柽柳群落、盐角草群落、碱蓬群落、芦苇群落、湖滩裸地土壤全盐垂直分布均表现为先

迅速降低,后基本趋于稳定;4 种盐生群落类型及湖滩裸地土壤全盐的最大值均出现在表层(0~10 cm),表聚效应显著;表层土壤全盐为湖滩裸地>盐角草群落>碱蓬群落>柽柳群落>芦苇群落,土壤盐度分别在 0.44~0.58%、0.49~0.53%、0.15~0.54%、0.27~0.45% 和 0.18~0.39% 之间;土壤全盐由表层(0~10 cm)到亚表层(10~20 cm)的变化中盐角草群落变化速率最大,降低了 70.41%;10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm 和 40~50 cm 土层土壤全盐基本表现为湖滩裸地>柽柳群落>芦苇群落>碱蓬群落>盐角草群落。

图 2,B 显示,4 种盐生群落类型及湖滩裸地土壤 pH 表现各异,柽柳群落土壤 pH 随土层加深依次降低,pH 最高值出现在表层(8.30);碱蓬群落、盐角草群落、芦苇群落的土壤 pH 均随土层加深先迅速增大后基本维持不变,pH 最高值分别出现在 10~20 cm、20~30 cm 和 20~30 cm 土层;湖滩裸地的 pH 则随土层加深先迅速减小后基本维持不变,表层 pH 最大;表层土壤 pH 表现为柽柳群落>

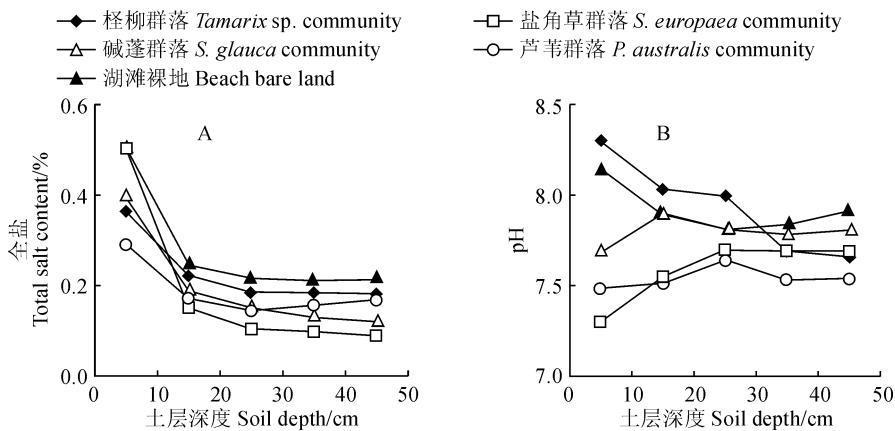


图 2 典型盐生植物群落及湖滩裸地土壤盐碱度垂直分布特征

Fig. 2 Vertical distribution characteristics of soil salinity and pH in halophyte communities and bare beach

湖滩裸地>碱蓬群落>芦苇群落>盐角草群落, pH 分别在 7.99~8.79、8.00~8.29、7.04~8.12、7.03~7.98 和 7.28~7.34 之间。此外,4 种盐生群落类型及湖滩裸地在 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm 土层 pH 的波动幅度(波动幅度 =  $pH_{max} - pH_{min}$ )分别是 1.76、1.11、0.90、0.86 和 0.84, 表现为随着土层的加深, pH 波动幅度减小; 表层土壤 pH 波动幅度最大, 在 7.03~8.79 之间波动, 40~50 cm 土层 pH 波动幅度最小, 在 7.25~8.09 之间波动(图 2,B)。

### 3 讨论与结论

本研究中,4 种典型盐生植物群落在湖泽沼泽系统中具有不同的功能作用和表达特征。从生境类型来看, 桤柳群落属于盐生灌丛, 群落结构较为复杂, 物种数最多, 建群种重要值最小; 盐角草群落、碱蓬群落、芦苇群落(矮生型)属于盐生草甸, 群落物种组成单调, 建群种重要性相对增强, 大多是单优群落斑块; 从人工化程度划分, 桤柳群落属于半自然化的盐生植被(梆柳为湖滩地人工种植种), 盐角草群落、碱蓬群落、芦苇群落(矮生型)属于自然植被。可见, 通过适度人为驱动, 合理引进种植耐盐灌木, 有利于改善湖滩地植被群落结构, 这与张华兵等<sup>[7]</sup>认为人工管理是驱动植物群落演化的重要因子的研究结果一致。乔斌等<sup>[17]</sup>研究认为小生境土壤理化性质的差异使得草甸湿地在小尺度上形成了单优禾草群落斑块。本研究中湖滩湿地盐生植物群落调查作为小尺度实验研究, 盐角草、碱蓬、芦苇 3 种盐生草甸呈现的斑块状分布格局预示着土壤盐碱度存在差异。

群落物种多样性是群落结构和功能复杂性的重要测度指标<sup>[18]</sup>, 是维持生态系统结构和功能稳定的

基础<sup>[19]</sup>。本研究共选取了 4 个群落多样性测度指标, 总体来看, 4 个多样性测度指数整体偏低, 主要是由于湖滩湿地植物群落分化明显, 多形成了单一优势种群的镶嵌斑块。从各指标分别来看, Margalef 丰富度指数、Shannon-wiener 指数和 Simpson 优势度指数均是梆柳群落最大, 体现出梆柳群落植物种类丰富、物种个体数量多、群落复杂程度高。同时, 梆柳群落作为人工种植的半自然化植被, 显著提高了湖滩湿地植物多样性, 生态效益明显。Pielou 均匀度则表现为芦苇、盐角草、碱蓬草甸显著高于梆柳灌丛, 盐生草甸植物物种分布均匀, 群落物种数简单, 仅是单一的草本层, 是重盐生植物群落<sup>[12]</sup>, 优势种在各自群落中的生态贡献大。

小尺度范围内, 土壤盐分条件是造成植被群落结构差异的主要因素, 土壤的盐渍化程度决定了植被隐域性程度<sup>[12]</sup>。总体来说, 湖滩湿地 4 种典型盐生植被结构组成及多样性格局本质上映射的是植物生长对盐分的响应。研究发现, 4 种盐生群落类型及湖滩裸地土壤全盐在表层(0~10 cm)聚集效应显著, 这与杜改俊等<sup>[10]</sup>、颜安等<sup>[20]</sup>的研究结果一致; 值得注意的是, 湖滩裸地“盐斑化”明显, 土壤表层及深层盐分累积均显著, 不利于植物繁衍定居; 盐角草群落聚盐能力强, 通过吸收垂直运移土壤盐分<sup>[21]</sup>, 表聚效应最显著; 碱蓬为真盐生植物, 对盐分离子的吸收能力突出<sup>[22,23]</sup>, 因而生境土壤盐渍化程度较高; 芦苇为假盐生植物, 具有一定程度的耐盐能力<sup>[24]</sup>, 芦苇群落斑块覆盖度高, 有效地减少了地面的蒸发作用<sup>[22]</sup>, 表层积盐能力最弱; 梆柳群落作为盐生灌丛, 因其植株形态和冠型结构, 通过截流降水二次淋洗土壤, 有效减缓了土壤表层的积盐速率。同时, 梆柳是泌盐植物, 对盐碱地有一定生物改良作

用<sup>[25]</sup>。因此,柽柳冠型结构的物理改良盐碱地机理,加之柽柳生物改良盐碱地的功能,有效抑制了土壤盐分累积,这为研究区域柽柳群落结构复杂,物种多样性较高的现状提供了科学解释。

土壤盐碱度体现植物的耐盐性和生态适应性,土壤盐碱的变化是植被群落演替的关键因子。本研究中,4种盐生群落类型及湖滩裸地pH表现为随土层的加深pH差异减小,深层出现趋同趋势;碱蓬群落、盐角草群落、芦苇群落的土壤pH表现为随土层加深先迅速增大后基本维持不变,因其是自然植被,土层剖面结构未被破坏,植物根际微生物呼吸作用会产生CO<sub>2</sub>,加之植物残体经微生物分解产生有机酸,使得表层土壤碱性降低<sup>[22]</sup>;柽柳群落pH表现为随土层加深依次降低,表层土壤碱性最大,因研究区柽柳群落是半自然化植被,人工种植的柽柳显著增强了表层土壤碱性,这与伊传华等<sup>[26]</sup>的研究结果一致。湖滩裸地的pH表现为随土层加深先迅速减小后基本维持不变,与柽柳群落土壤pH垂直特征类似,这为湖滩裸地恢复植被、实现生态治理提供了科学启示。

综上所述,通过探究柽柳、盐角草、碱蓬、芦苇(矮生型)等4种典型盐生植物群落多样性及土壤全

盐、pH垂直分布特征,可以得出以下结论:(1)宁夏西吉湖滩湿地4种盐生群落斑块共发现植物种26种,藜科、禾本科、菊科为优势科;柽柳群落为盐生灌丛,群落物种数繁杂,盐角草群落、碱蓬群落和芦苇群落(矮生型)属于盐生草甸,群落物种组成单调,大多是单优群落斑块。(2)多样性指数中,Margalef丰富度指数、Shannon-wiener指数和Simpson优势度指数均是柽柳群落最大,分别是1.105、1.706和0.552,Pielou均匀度指数为盐角草群落>芦苇群落>碱蓬群落>柽柳群落,分别是1.166、1.021、0.997和0.813。(3)4种盐生群落类型及湖滩裸地土壤全盐的最大值均出现在表层(0~10cm),表聚效应显著;表层土壤全盐依次为湖滩裸地>盐角草群落>碱蓬群落>柽柳群落>芦苇群落,土壤盐度分别在0.44%~0.58%、0.49%~0.53%、0.15%~0.54%、0.27%~0.45%和0.18%~0.39%之间;4种盐生群落类型及湖滩裸地pH表现为随土层的加深pH差异减小;柽柳群落pH表现为随土层加深依次降低,表层pH为8.30,3种盐生草甸的土壤pH表现为随土层加深先迅速增大后基本不变,湖滩裸地的pH则表现为随土层加深先迅速减小后基本不变。

## 参考文献:

- [1] 赵小雷,凌云,张光富,等. 大丰麋鹿保护区不同生境梯度下滩涂湿地植被的群落特征[J]. 生态学杂志,2010,29(2):244-249.
- [2] ZHAO X L, LONG Y, ZHANG G F, et al. Community characteristics of beach wetland vegetations along a habitat gradient in Dafeng Milu Reserve of Jiangsu Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(2): 244-249.
- [3] 张华兵,刘红玉,李玉凤,等. 自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究[J]. 环境科学,2013,34(2):540-546.
- [4] ZHANG H B, LIU H Y, LI Y F, et al. Spatial variation of soil moisture/ salinity and the relationship with vegetation under natural conditions in Yancheng Coastal Wetland[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(2): 540-546.
- [5] JUCHER T, COOMER D A. Response to comment on plant species richness and ecosystem multifunctionality in global [J]. *Dry lands Science*, 2012, 337(6091): 155-157.
- [6] SANKARAN M, HANAN NP, SCHOLESS RJ, et al. Determinants of wood cover in African savannas [J]. *Nature*, 2005, 438(7069): 846-849.
- [7] TILMAN D. The ecological consequences of changes in biodiversity:a research for general principles [J]. *Ecology*, 1999, 80(5): 155-1474.
- [8] 夏贵菊,何彤慧,于骥,等. 银川平原草甸湿地表层土盐分累积特征[J]. 农业工程学报,2016,32(5): 142-148.
- [9] XIA G J, HE T H, YU J, et al. Salt accumulation characteristics of topsoil in meadow wetland in Yinchuan plain [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(5): 142-148.
- [10] 张华兵,刘红玉,郝敬峰,等. 自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异[J]. 生态学报,2012,32(1):101-110.
- [11] ZHANG H B, LIU H Y, HAO J F, et al. Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(1): 101-110.
- [12] 贺强,安渊,崔保山. 滨海盐沼及其植物群落的分布与多样性[J]. 生态环境学报,2010,19(3):657-664.
- [13] HE Q, AN Y, CUI B S. Coastal salt marshes and distribution and diversity of salt marsh plant communities[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(3): 657-664.
- [14] 龚雪伟,吕光辉. 艾比湖流域杜加依林荒漠植物群落多样性及优势种生态位[J]. 生物多样性,2017,25(1):34-45.
- [15] GONG X W, LÜ G H. Species diversity and dominant species'

- niches of eremophyte communities of the Tugai forest in the Ebinur basin of Xinjiang, China [J]. *Biodiversity Science*, 2017, **25**(1):34-45.
- [10] 杜改俊,李艳红,张小萌,等. 艾比湖湿地典型植物群落土壤养分和盐分的空间异质性[J]. 生态环境学报,2015, **24**(8): 1 302-1 309.
- DU G J, LI Y H, ZHANG X M, et al. Spatial heterogeneity of the soil nutrient and salinity of the typical plant communities in Ebinur Lake Wetland [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, **24**(8): 1 302-1 309.
- [11] 王盼盼,李艳红,张小萌. 艾比湖湿地植物群落变化对盐分环境梯度的响应[J]. 生态环境学报,2015, **24**(1):29-33.
- WANG P P, LI Y H, ZHANG X M. Responses of plant diversity changes in the wetland of Lake Ebinur to salinity environment gradient[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, **24**(1):29-33.
- [12] 杜泉滢,李智,刘书润,等. 干旱、半干旱区湖泊周围盐生植物群落的多样性格局及特点[J]. 生物多样性,2007, **15**(3): 271-281.
- DU Q Y, LI Z, LIU S R, et al. Dynamics of species diversity and characteristics of halophytic plant communities around saline lakes in arid and semi-arid regions of Inner Mongolia [J]. *Biodiversity Science*, 2007, **15**(3):271-281.
- [13] 缪倩倩,屈建军,王国华,等. 中国干旱半干旱地区湿地研究进展[J]. 干旱区研究,2015, **32**(2): 213-220.
- GOU Q Q, QU J J, WANG G H, et al. Progress of wetland researches in arid and semi-arid regions in China [J]. *Arid Zone Research*, 2015, **32**(2):213-220.
- [14] THOMAS DSG, MIDDLETON NJ. Salinization: new perspectives on a major desertification issue[J]. *Journal of Arid Environments*, 1993, **24**(24):95-105.
- [15] 夏贵菊,赵永全,何彤慧. 基于植物多样性的水利设施生态化评价研究——以银川平原为例[J]. 中国农村水利水电,2015,(2):22-26.
- XIA G J, ZHAO Y Q, HE T H. Research on the ecologIcalization evaluation of water conservancy facilities on the basis of plant diversity[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2015,(2):22-26.
- [16] 何彤慧,程志,张玉峰,等. 银川平原沟渠植物多样性特征及影响因素[J]. 湿地科学,2013, **11**(3): 352-358.
- HE T H, CHENG Z, ZHANG Y F, et al. Characteristics of plant diversity of canals and ditches and their influencing factors in Yinchuan Plain[J]. *Wetland Science*, 2013, **11**(3): 352-358.
- [17] 乔斌,何彤慧,吴春燕,等. 银川平原草甸湿地三种禾草构件特征及其土壤生境[J]. 北方园艺,2017, **379**(4):77-82.
- QIAO B, HE T H, WU C Y, et al. Study on modular characteristic and soil habitat of three gramineous species in meadow wetland in Yinchuan Plain[J]. *Northern Horticulturalture*, 2017, **379**(4):77-82.
- [18] OTTO R, KRUSI BO, BURGA CA, et al. Old-field succession along a precipitation gradient in the semi-arid coastal region of Tenerife[J]. *Journal of Arid Environments*, 2006, **65**(1):156-178.
- [19] LOREAU M, NAEEM S, INCHAUSTI P, et al. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges[J]. *Science*, 2001, **294**(5 543):804-808.
- [20] 颜安,王泽,蒋平安,等. 土壤盐分对干旱区盐渍土壤碳垂直分布的影响[J]. 干旱区研究,2017, **34**(4):770-774.
- YAN A, WANG Z, JIANG P A, et al. Effects of soil salinity on vertical distribution of soil carbon in saline soil in Arid Area[J]. *Arid Zone Research*, 2017, **34**(4):770-774.
- [21] 公慧珍,李升峰. 江苏省东台市滩涂星区不同自然植被下的土壤/沉积物盐分特征[J]. 江苏农业科学,2015, **43**(12): 395-398.
- GONG H Z, LI S F. Soil/sediment salinity under different natural vegetations in the beach reclamation area of Dongtai City, Jiangsu Province[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2015, **43**(12):395-398.
- [22] 时林,冯若昂,靖淑慧,等. 黄河三角洲不同植被类型下土壤pH与盐分差异分析[J]. 环境科学导刊,2017, **36**(3): 14-17.
- SHI L, FENG R A, JING S H, et al. Characteristics of soil pH and salinity under the different vegetation types in Yellow River Delta[J]. *Environmental Science Survey*, 2017, **36**(3): 14-17.
- [23] 张立宾,徐凌,赵庚星. 碱蓬的耐盐能力及其对滨海盐渍土的改良效果[J]. 土壤,2007, **39**(2): 310-313.
- ZHANG L B, XU H L, ZHAO G X. Salt tolerance of *Suaeda Salsola* and its soil ameliorating effect on coastal saline soil[J]. *Soils*, 2007, **39**(2):310-313.
- [24] MAUCHAMP A, MESLEARD F. Salt tolerance in *Phragmites australis* populations from coastal mediterranean marshes[J]. *Aquatic Botany*, 2001, **70**(1):39-52.
- [25] 肖克巍,吴普特,雷金银,等. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J]. 农业环境科学学报,2012, **31**(12):2 433-2 440.
- XIAO K B, WU P T, LEI J Y, et al. Bio-reclamation of different halophytes on saline-alkali soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, **31**(12):2 433-2 440.
- [26] 尹传华,董积忠,石秋梅,等. 不同生境下盐生灌木盐岛效应的变化及生态学意义[J]. 土壤学报,2012, **49**(2):289-295.
- YIN C H, DONG J Z, SHI Q M, et al. Salt island effect of halophytic shrubs in different habitats and its ecological implication[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, **49**(2):289-295.

(编辑:潘新社)