

DOI:10.12119/j.yhyj.202201004

鄂尔多斯盐沼湿地土壤盐分特征对植物群落的影响

崔 乔^{1,2}, 何彤慧^{1,2*}, 全晓塞³, 陈向全^{1,2}, 何玉实^{1,2}

(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, 宁夏 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, 宁夏 银川 750021;

3. 宁夏大学化学化工学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:为研究内陆盐沼植物群落的分布对土壤盐分的响应特征,选取鄂尔多斯盐湖盐沼区作为研究区,筛选了肉质耐盐植物群落、苔草植物群落和禾草植物群落3类典型植物群落,开展了土壤含水量、pH、电导率以及 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 测定,分析了区内典型植物群落对土壤水盐因子的响应规律。探讨了3类植物群落之间土壤因子含量的差异性;采用相关性分析和CCA分析,评价了3类植物群落多样性及物种分布随土壤因子的变化规律。结果表明,区内3类植物群落中,土壤盐分含量表现为肉质耐盐植物群落最高,苔草植物群落最低,禾草植物群落居中;植物多样性与土壤中含量最高的 Na^+ 和 SO_4^{2-} 的相关性最显著;植物分布同时受到土壤盐分、水分和pH的显著影响。研究结果可为鄂尔多斯盐湖区土壤盐渍化改良和植被恢复提供理论支撑。

关键词:土壤盐分;植物群落;植物多样性;物种分布

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2022)01-0025-08

干旱、半干旱区占全球陆地总面积的45%, 水热等环境条件较差,生物多样性较低。其中,内陆盐湖、盐沼湿地作为干旱、半干旱区重要的生态单元,在提供水文循环服务,调节区域气候和生物地球化学循环方面起着重要作用^[1]。因此,开展内陆盐沼盐生植物群落分布研究,对于深入认识生物多样性保护及维持脆弱生态系统的稳定性具有重要的理论和实践意义^[2]。

近些年来,国内有关土壤盐分特征和植物分布关系的研究主要集中在沿海湿地^[3-4],以及内陆的艾比湖、黑河等湿地^[5-8]。有研究发现,土壤盐分是影响黄河三角洲湿地植物群落分布的主要因子^[9-11]。王诗韵等研究发现^[12],艾比湖典型植物群落的功能性状受到土壤盐分的显著影响。赵敏等^[13]研究得出黑河中游植物多样性随着盐分梯度的增加而减少。马俊逸等^[14]研究小苏打湖植物群落空间分布对土壤水盐的响应发现,内陆盐沼湿地植物群落的分布格局是植物对生境因

子适应的结果。但是,关于鄂尔多斯高原的盐湖、盐沼湿地的研究总体较少,仅有的研究只局限于湖泊动态变化^[15]和水体浮游生物^[16]。植被作为土壤盐分状况的重要指示,它们之间的关系可以为环境恢复中耐盐物种的利用提供重要信息,还可以改善盐碱土壤的管理,保护现有的湿地免遭盐渍化侵蚀^[17],维持湿地生态系统的稳定和生态功能的发挥。

鄂尔多斯高原是中国第二大盐碱湖分布地区,这些内陆湿地具有明显的动态变化并具有重要的生态功能^[15]。气候变化和人为活动的影响导致湿地退化的现象在内陆半干旱地区尤为突出^[18],鄂尔多斯盐湖盐沼湿地的退化,使得原先的湿地植被向盐生植被转化。本研究通过分析盐沼湿地土壤盐分特征及其对植物群落多样性和物种分布的影响,旨在:1)表征半干旱地区典型盐沼中的土壤盐分和植物群落组成;2)揭示半干旱地区典型盐沼湿地土壤盐分与植物群落的关系;

收稿日期:2020-12-15;修回日期:2021-02-01

基金项目:国家自然科学基金项目(41761102)

作者简介:崔 乔(1995-),女,硕士研究生,主要研究方向湿地生态监测与恢复。Email: cuiqiao268@163.com。

通讯作者:何彤慧(1982-),女,教授,主要从事生态环境方面的研究。Email: hetonghui@163.com。

3)为保护和合理利用本地区盐沼湿地资源提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古鄂尔多斯市(表 1),该地区的海拔高度为海拔 1 100 ~1 700 m,气候为半干旱大陆性气候,冬季干燥寒冷,夏季气温高,昼夜温差大。年平均气温为 6.2 ℃,日最高温度为 38 ℃,日最低温度为 -31.4 ℃,年平均降水量为 348.33 mm,夏季降水占年降水量的 70%,年平均蒸发量达到 2 506.3 mm。全年盛行西北风,年平均风速为 3.6 m/s。土壤类型主要是盐生草甸土。鄂尔多斯高原内部流域内的盆地分布着许多盐沼,湖滩上植被呈环状分布,盐生植物群落与其它生境类型明显不同。本文主要研究盐沼周围的土壤和盐渍化植物群落。根据植物群落的建群种植物类型,可将其划分为以尖叶盐爪爪(*Kalidium cuspidatum*)、平卧碱蓬(*Suaeda prostrata*)等为建群种的肉质耐盐植物群落,以寸草苔(*Carex duriuscula*)为建群种的苔草植物群落和以芦苇(*Phragmites australis*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)等为建群种的禾草植物群落。

1.2 实验设计与样品采集

研究区选择在鄂尔多斯盐湖盐沼分布区,在植被分布典型且均匀的区域共布设 18 个样点,肉质耐盐植物群落、苔草植物群落和禾草植物群落各为 6 个样点。通过 1m × 1m 样方框在每个样点对植物进行调查,每个样点设置 3 个重复采样,野外调查了植物的种类和数量,并记录了周围生境的特征。在每个样点采集 20 cm 深度的 3 个土壤样品,然后在同一袋中混合。通过在 104 ℃ 加热 48 h 至恒重来测量土壤含水量。用 pH 计(雷磁 PHS-3G)以 1:5 的土水比测定土壤 pH。土壤电导率(EC)使用电导率仪(雷磁 DDSJ-308F)以 1:5 的土水比进行测量。 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 在离子色谱仪(盛瀚 CIC-D100)中进行测定。用 H_2SO_4 滴定法测定 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 。

表 1 样点坐标

Table 1 Sample point coordinates

群落类型	样点经纬度
肉质耐盐植物群落	37°58'10"N,107°27'33"E
	37°58'08"N,107°27'36"E
	37°57'42"N,107°27'41"E
	40°05'19"N,108°23'02"E
	40°05'18"N,108°23'04"E
	39°27'28"N,109°22'22"E
苔草植物群落	39°03'38"N,109°30'57"E
	39°46'55"N,109°17'40"E
	39°12'06"N,108°03'30"E
	39°22'40"N,108°16'28"E
	39°28'27"N,108°23'35"E
	39°25'35"N,108°38'58"E
禾草植物群落	39°23'11"N,108°27'51"E
	39°15'03"N,108°03'58"E
	39°09'57"N,109°02'31"E
	39°18'15"N,109°13'53"E
	39°16'39"N,108°59'47"E
	40°07'32"N,108°25'12"E

1.3 数据分析

在 SPSS 20 中使用单因素方差分析(One - Way ANOVA),然后在 95% 置信水平下进行最小显著性差异法检验,以比较三种生境之间环境因素的差异。皮尔逊相关性和 CCA 分析用于揭示植物与环境因子之间的关系。植物多样性图和相关性矩阵图使用 R v3.6.2 制作。

首先通过除趋势对应分析(DCA,梯度长度 = 5.971)分析数据,建议典范对应分析(CCA)是合适的方法(梯度长度 >4)。使用偏 CCA 和蒙特卡罗置换检验确定土壤电导率(EC)与其它环境变量作为协变量的条件效应。同样对于土壤含水量,以其余变量作为协变量,再重复一次。DCA、CCA 和偏 CCA 均使用 Canoco for Windows 4.5 软件执行。

2 结果与分析

2.1 土壤特征分析

土壤含水量表现为禾草植物群落显著低于肉质耐盐植物群落和苔草植物群落($P < 0.05$);土壤电导率(EC)和 Na^+ 表现为肉质耐盐植物群落 $>$ 禾草植物群落 $>$ 苔草植物群落($P < 0.05$);

土壤 Cl^- 和 SO_4^{2-} ,肉质耐盐植物群落显著高于苔草植物群落和禾草植物群落($P < 0.05$);禾草植物群落中的土壤 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 显著高于肉质耐盐植物群落和苔草植物群落($P < 0.05$)。 K^+ 含量,肉质耐盐植物群落显著高于苔草植物群落($P < 0.05$); CO_3^{2-} 含量,禾草植物群落显著高于肉质耐盐植物群落($P < 0.05$);三类植物群落的土壤 pH 和 Mg^{2+} 无显著差异(表 2)。

表 2 三类植物群落的土壤性质(平均值 $\pm$ 标准差, $n = 54$)

Table 2 Soil properties in the different plant communities				g/kg
土壤性质	植物群落			
	肉质耐盐植物群落	苔草植物群落	禾草植物群落	
SM/%	26.14 ± 17.49a	32.47 ± 17.40a	13.05 ± 7.31b	
pH	8.92 ± 0.85a	9.02 ± 0.24a	9.26 ± 0.71a	
EC/(mS · cm ⁻¹)	4.21 ± 2.78a	0.64 ± 0.49c	2.01 ± 1.43b	
Na ⁺	4.83 ± 3.02a	0.36 ± 0.23c	2.05 ± 1.86b	
K ⁺	0.12 ± 0.08a	0.06 ± 0.04b	0.09 ± 0.08ab	
Mg ²⁺	1.30 ± 2.11a	1.01 ± 1.28a	1.61 ± 3.19a	
Ca ²⁺	0.12 ± 0.13b	0.04 ± 0.06b	0.50 ± 0.60a	
Cl ⁻	2.58 ± 2.19a	0.09 ± 0.07b	1.09 ± 1.45b	
SO ₄ ²⁻	3.17 ± 2.75a	0.25 ± 0.42b	1.56 ± 2.21b	
CO ₃ ²⁻	0.04 ± 0.06ab	0.02 ± 0.01b	0.06 ± 0.04a	
HCO ₃ ⁻	0.08 ± 0.09b	0.15 ± 0.08ab	0.19 ± 0.21a	

小写字母表示不同植物群落之间差异显著, $P < 0.05$

2.2 植物群落组成特征

肉质耐盐植物以尖叶盐爪爪和平卧碱蓬为建群种,白刺、沙蒿等为优势种,伴生种较少;苔草植

物群落以寸草苔为建群种,长叶碱毛茛、华蒲公英、鹅绒委陵菜等为优势种;禾草植物群落以芦苇、芨芨草为建群种,寸草苔、冰草、马蔺等为优势种,伴生种较多(表 3)。

表 3 3 类植物群落组成
Table 3 Composition of the three plant communities

植物群落	重要值	物种组成
肉质耐盐植物群落	0.75 $\pm$ 0.26a	尖叶盐爪爪(<i>Kalidium cuspidatum</i>)、白刺(<i>Nitraria tangutorum</i>)、芦苇(<i>Phragmites australis</i>)、芨芨草(<i>Achnatherum splendens</i>)、沙蒿(<i>Artemisia desertorum</i>)、寸草苔(<i>Carex duriuscula</i>)、隐花草(<i>Crypsis aculeata</i>)、平卧碱蓬(<i>Suaeda prostrata</i>)

续表 3:

植物群落	重要值	物种组成
苔草植物群落	0.27 ± 0.10b	寸草苔(<i>Carex duriuscula</i>)、芦苇(<i>Phragmites australis</i>)、碱蓬(<i>Suaeda glauca</i>)、长叶碱毛茛(<i>Halerpestes ruthenica</i>)、华蒲公英(<i>Taraxacum sinicum</i>)、砂珍棘豆(<i>Oxytropis racemosa</i>)、水麦冬(<i>Triglochin palustre</i>)、鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserina</i>)、山苦荚(<i>Ixeris denticulata</i>)、西伯利亚蓼(<i>Polygonum sibiricum</i>)、冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)、苦苣(<i>Ixeris chinensis</i>)、二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)、平车前(<i>Plantago depressa</i>)、海韭菜(<i>Triglochin maritima</i>)
禾草植物群落	0.27 ± 0.13b	芦苇(<i>Phragmites australis</i>)、芨芨草(<i>Achnatherum splendens</i>)、碱蓬(<i>Suaeda glauca</i>)、寸草苔(<i>Carex duriuscula</i>)、平卧碱蓬(<i>Suaeda prostrata</i>)、长叶碱毛茛(<i>Halerpestes ruthenica</i>)、华蒲公英(<i>Taraxacum sinicum</i>)、砂珍棘豆(<i>Oxytropis racemosa</i>)、水麦冬(<i>Triglochin palustre</i>)、鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserina</i>)、山苦荚(<i>Ixeris denticulata</i>)、西伯利亚蓼(<i>Polygonum sibiricum</i>)、冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)、平车前(<i>Plantago depressa</i>)、拂子茅(<i>Calamagrostis epigeios</i>)、小花棘豆(<i>Oxytropis glabra</i>)、冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)、马蔺(<i>Iris lactea</i>)、海乳草(<i>Glaux maritima</i>)、黑沙蒿(<i>Artemisia ordosica</i>)、披针叶黄华(<i>Thermopsis lanceolata</i>)

2.3 植物多样性特征分析

三类植物群落中,Margalef 丰富度指数以禾草植物群落最大,其次为苔草植物群落,肉质耐盐植物群落最低($P < 0.05$);Shannon - Wiener 多样性指数,肉质耐盐植物群落显著低于苔草植物群落和禾草植物群落($P < 0.05$);Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数,肉质耐盐植物群落显著低于禾草植物群落($P < 0.05$),苔草植物群落与前二者无显著差异(图 1)。

2.4 土壤因子与植物多样性的相关性分析

相关性分析结果表明,Margalef 丰富度指数与 Na^+ 呈负相关,与 SO_4^{2-} 呈显著负相关($P < 0.05$);Shannon - Wiener 多样性指数与 EC、 Na^+ 、 Cl^- 呈显著负相关($P < 0.05$),与 SO_4^{2-} 呈负相关;Pielou 均匀度指数与 Na^+ 呈显著负相关($P < 0.05$),与 EC、和 SO_4^{2-} 呈负相关;Simpson 优势度指数与土壤因子之间无显著相关性(图 2)。

2.5 植物分布与环境因子的 CCA 分析

CCA 分析显示,轴 1 物种—环境因子关系总

方差为 24.8%,轴 2 物种—环境关系总方差为 46.5%(图 3)。在 Monte Carlo 置换检验下, Na^+ ($F = 6.38, P = 0.002$)、pH ($F = 5.19, P = 0.002$)、SM ($F = 5.15, P = 0.002$)、 Ca^{2+} ($F = 3.76, P = 0.002$)、 Mg^{2+} ($F = 2.95, P = 0.002$)、 Cl^- ($F = 2.93, P = 0.002$)、EC ($F = 2.63, P = 0.002$)、 HCO_3^- ($F = 2.86, P = 0.002$)、 SO_4^{2-} ($F = 2.12, P = 0.008$) 在所有环境变量中均具有显著性,分别占总方差的 21.02%、15.81%、14.52%、10.05%、7.57%、7.23%、6.28%、6.56% 和 4.75%(表 4)。其余两个变量不显著,占未解释方差的 6.22%。

3 讨 论

3.1 植物多样性对土壤因子的响应

肉质耐盐植物群落、苔草植物群落和禾草植物群落的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均表现出对土壤 Na^+ 和 SO_4^{2-} 的相关性(图 2),土壤因子特征分析表明 Na^+ 和 SO_4^{2-} 在阳离子和阴离子中含量最高(表 2),因此植物多样性受到土

壤中主要盐分离子的影响。植物多样性在禾草植物群落中最大,其次为苔草植物群落,肉质耐盐植物群落最小(图 1)。禾草植物群落的生态适应范围广,对盐分具有一定的耐受性,一般可以在不同的盐分条件下形成群落^[19],其耐盐性强于地带性植被,根据“驼峰支持”模型,在中等压力下生物多样性和物种丰富度最高,可以认为是更有利的生境^[20]。苔草植物群落含盐量较低,更具竞争性

的单个物种在盐度较低的植物群落中占主导地位^[21],寸草苔种群容易成簇生长,密度增加,并在群落中构成密集的小群落,形成种群斑块^[22]。肉质耐盐植物群落的土壤盐分含量较高,多分布单一建群种群落,在高盐环境下具有较高的存活率,过高的盐分阻止了其它物种进入,因此植物多样性较低^[13,23]。但由于盐碱化生境影响,植物群落多以单优斑块的形式分布,植物多样性普遍较低^[24]。

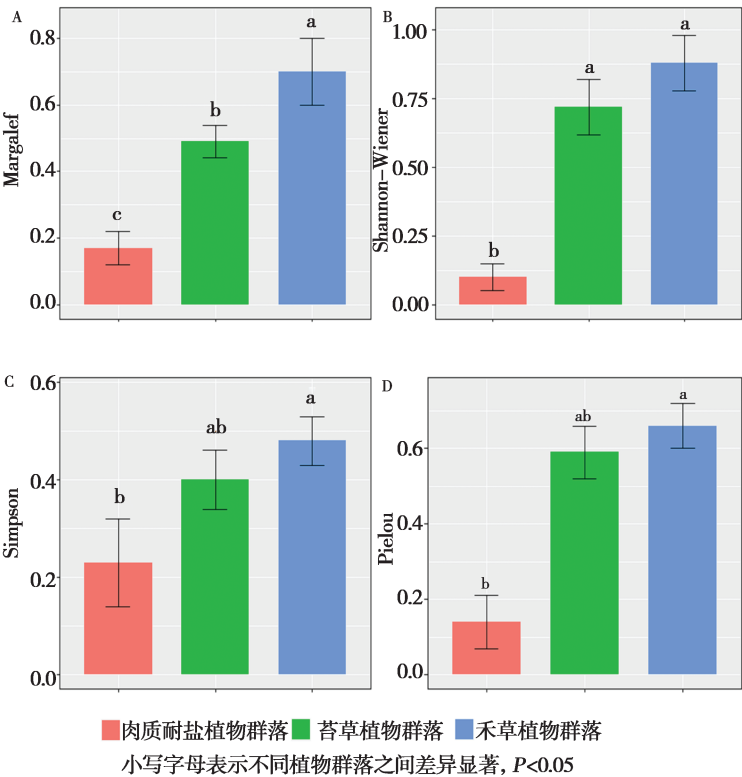
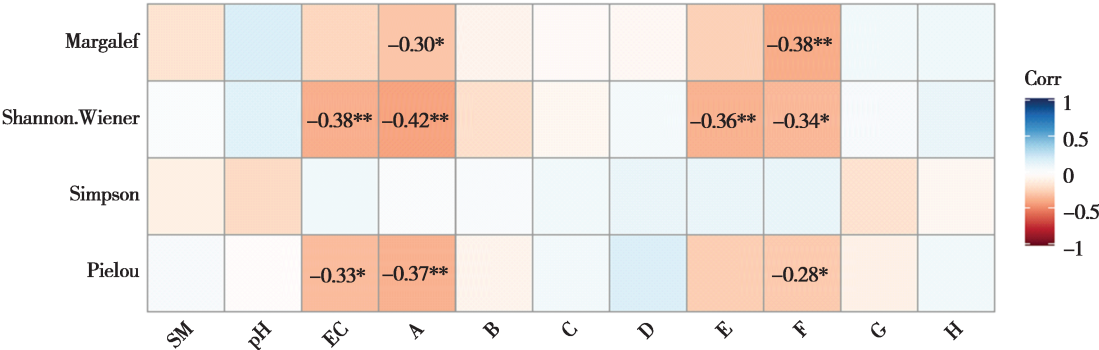


图 1 三类群落植物多样性(n =54)

Fig. 1 The changes of plant community index in the three communities



*、** 分别代表处于 0.05、0.01 的显著水平(双边);A - Na⁺、B - K⁺、C - Mg²⁺、D - Ca²⁺、E - Cl⁻、F - SO₄²⁻、G - CO₃²⁻、H - HCO₃⁻、SM - 土壤水分、pH - 土壤 pH、EC - 土壤电导率

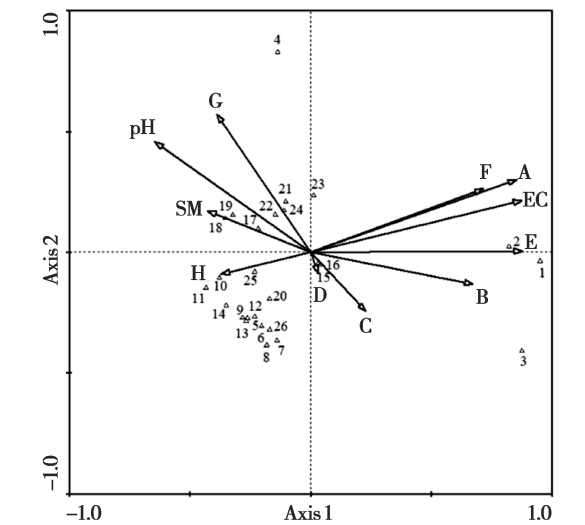
图 2 植物多样性指数与环境因子之间的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis between the environment factors and the plant diversity index

表 4 环境变量对植物分布的条件影响的典范对应分析(CCA) ($n = 54$)

Table 4 Canonical correspondence analysis(CCA) for quantifying the conditional effects of the environmental variables on the plant distribution			
Variable	P	F	MC/%
A	0.002	6.38	21.02%
pH	0.002	5.19	15.81%
SM	0.002	5.15	14.52%
D	0.002	3.76	10.05%
C	0.002	2.95	7.57%
E	0.002	2.93	7.23%
EC	0.002	2.63	6.28%
H	0.002	2.86	6.56%
F	0.008	2.12	4.75%
B	0.054	1.65	3.65%
G	0.304	1.17	2.57%

A - Na^+ ; B - K^+ ; C - Mg^{2+} ; D - Ca^{2+} ; E - Cl^- ; F - SO_4^{2-} ; G - CO_3^{2-} ; H - HCO_3^- ; SM - 土壤水分; pH - 土壤 pH; EC - 土壤电导率



物种组用△表示。A - Na^+ 、B - K^+ 、C - Mg^{2+} 、D - Ca^{2+} 、E - Cl^- 、F - SO_4^{2-} 、G - CO_3^{2-} 、H - HCO_3^- 、SM - 土壤水分、pH - 土壤 pH、EC - 土壤电导率。1 - 尖叶盐爪爪、2 - 白刺、3 - 沙蒿、4 - 平卧碱蓬、5 - 寸草苔、6 - 长叶碱毛茛、7 - 华蒲公英、8 - 水麦冬、9 - 鹅绒委陵菜、10 - 山苦荬、11 - 西伯利亚蓼、12 - 苦苣、13 - 二裂委陵菜、14 - 海韭菜、15 - 芦苇、16 - 芨芨草、17 - 冰草、18 - 拂子茅、19 - 小花棘豆、20 - 冷蒿、21 - 马蔺、22 - 海乳草、23 - 黑沙蒿、24 - 披针叶黄华、25 - 平车前、26 - 砂珍珠豆

图 3 典范对应分析(CCA)显示了植物分布与环境变量之间的关系($n = 54$)

Fig. 3 Canonical correspondence analysis (CCA) showing the relationship between plants' distribution and environmental variables

3.2 植物种分布对土壤因子的响应

土壤电导率和各盐分离子对植物分布的贡献率均较大,其中 Na^+ 的贡献率最大。植物群落组成的粗略模式取决于土壤电导率,而离子组成在精细模式中起着至关重要的作用^[25],不同类型植物对于不同的盐离子具有吸收上的选择性^[26],表明土壤盐分含量及类型显著影响物种的空间分布。物种是每种生境土壤盐分的有效指标,与群落类型的分布密切相关^[27]。肉质耐盐植物群落中的物种主要分布在盐度更高的环境中,植物主要通过叶或茎的肉质化适应盐分胁迫,对盐离子具有较强的吸收能力^[28],这些植物根际的盐分聚集程度更大^[29],CCA 分布图显示尖叶盐爪爪、白刺、沙蒿和平卧碱蓬集中在盐分较高的生境。苔草植物群落的物种占据了盐分较少的生境,在轻度盐渍化梯度下,寸草苔是出现频率最高的物种^[22],长叶碱毛茛、华蒲公英和鹅绒委陵菜出现在盐度较低的环境中^[30],这类生境对于这些物种而言生存压力较小。在禾草植物群落中,物种倾向于分布在中等盐分的生境,芦苇是一种分布广泛、种内变异高的假盐生植物,通常在盐渍土中占主导地位^[31]。芨芨草群落是干旱、半干旱地区的典型盐生植物群落类型^[32],马蔺和冰草通常分布在盐碱度较高的土壤中^[33-34],表明了这些物种特

定的生境偏好^[35]。土壤 pH 和含水量也表现出对植物分布的显著影响,土壤 pH 偏碱性,在一定范围内可促进植物根系的伸长和对养分元素的吸收^[36],提高植物的抗盐和抗干旱能力^[37],在一定范围内,物种丰富度与 pH 成正比^[38]。土壤水分作为干旱、半干旱区植物生长发育的限制性因子,其含量和利用效率对植物分布产生重要影响^[14]。

4 结 论

肉质耐盐植物群落土壤盐分含量最高,其次为禾草植物群落,苔草植物群落最低,土壤电导率和各盐离子含量存在差异,这表明盐分含量和类型决定了植物群落的类型;植物多样性与 Na^+ 和 SO_4^{2-} 含量存在相关性,表明植物多样性受到土壤中主要盐分离子的影响;土壤盐分、pH 和含水量均为影响该地区植物种分布的重要因素,但土壤盐分因子的影响更显著, Na^+ 为主要影响因子。

参考文献:

- [1] 孟阳阳,何志斌,刘冰,等. 干旱区绿洲湿地空间分布及生态系统服务价值变化——以三大典型内陆河流域为例[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 2022–2034.
- [2] Betzen B M, Smart C M, Maricle K L, et al. Effects of Increasing Salinity on Photosynthesis and Plant Water Potential in Kansas Salt Marsh Species[J]. Transactions of the Kansas Academy of Science, 2019, 122(1–2): 49.
- [3] 王瑞燕,孔沈彬,许璐,等. 黄河三角洲不同地表覆被类型和微地貌的土壤盐分空间分布[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 132–141.
- [4] 陆琳莹,邵学新,杨慧,等. 浙江滨海湿地互花米草生长性状对土壤化学因子的响应[J]. 林业科学研究, 2020, 33(5): 177–183.
- [5] 阿迪拉·阿布力米提,王勇辉. 艾比湖湿地梭梭覆被下土壤有机质、盐分、水分含量特征[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(10): 34–40.
- [6] 李宏侠,杨晓东,吕光辉,等. 艾比湖自然保护区盐生植物的分布及其水分利用效率[J]. 干旱区研究, 2018, 35(2): 370–378.
- [7] 张晓雅,赵锐锋,张丽华,等. 不同生态保护区植物特征和土壤性质的对比研究——以黑河中游湿地为例[J]. 生态学报, 2020, 40(9): 3027–3039.
- [8] 周远刚,赵锐锋,赵海莉,等. 黑河中游湿地不同恢复方式对土壤和植被的影响——以张掖国家湿地公园为例[J]. 生态学报, 2019, 39(9): 3333–3343.
- [9] 张天举,陈永金,刘加珍. 黄河口湿地不同植物群落土壤盐分与养分分布特征[J]. 土壤, 2020, 52(1): 180–187.
- [10] 赵心怡. 黄河三角洲滨海湿地典型植物群落特征及其与环境因子的响应[D]. 烟台: 鲁东大学, 2020.
- [11] 张文馨,范小莉,王强,等. 黄河三角洲植物多样性与生态系统多功能性间的关系[J]. 山东大学学报(理学版), 2020, 55(1): 110–116.
- [12] 王诗韵,吕光辉,蒋腊梅,等. 不同尺度下艾比湖典型植物群落功能多样性和系统发育多样性研究[J]. 生态环境学报, 2020, 29(5): 889–900.
- [13] 赵敏,赵锐锋,张丽华,等. 基于盐分梯度的黑河中游湿地植物多样性及其与土壤因子的关系[J]. 生态学报, 2019, 39(11): 4116–4126.
- [14] 马俊逸,赵成章,苟芳珍,等. 盐沼湿地植物的群落分类及其空间分布格局对土壤水盐的响应[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1001–1008.
- [15] 陈晓江. 鄂尔多斯高原湖泊动态及其生态系统功能研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2016.
- [16] 刘文盈,袁晓霞,铁牛,等. 内蒙古盐沼湿地浮游动物群落与环境的关系[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(1): 38–40.
- [17] Zhang D M, Zhao W Z, Zhang G F. Soil moisture and salt ionic composition effects on species distribution and diversity in semiarid inland saline habitats, northwestern China[J]. Ecological Research, 2018, 33(2): 505–515.
- [18] 王敬哲. 内陆干旱区尾间湖湿地识别及其景观结构动态变化——以艾比湖湿地为例[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2019.
- [19] 冯艳琼,何彤慧,陈向全,等. 盐生草甸群落的植物多样性与土壤质地、盐分关系的研究[J]. 草地学报, 2020, 28(6): 1682–1689.
- [20] Grime J P. Vegetation Processes, and Ecosystem Properties[M]. New York: Wiley, 2001.
- [21] Kluse J S, Diaz B H A. Importance of soil moisture and its interaction with competition and clipping for two montane meadow grasses[J]. Plant Ecology, 2005, 176(1): 87–99.
- [22] 乌云娜,霍光伟,锥文涛,等. 盐碱化梯度上草原植被空间异质性的数量分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(10): 84–90.
- [23] Iqbal T. Rice straw amendment ameliorates harmful effect of salinity and increases nitrogen availability in a saline paddy soil[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2016, 17(4): 445–453.
- [24] 乔斌,黄维,何彤慧,等. 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[J]. 西北植物学报, 2018, 38(2): 324–331.
- [25] Tug GN, Ketenoglu O, Bilgin A. The relationships between plant zonation and edaphic factors in halophytic vegetation around Lake Tuz, Central Anatolia, Turkey[J]. Rendiconti Lincei, 2012, 23(4): 355–363.
- [26] 余冬梅,祁兆鑫,胡夏嵩,等. 柴达木盆地尕斯库勒盐湖区

- 盐生植物吸盐效应及其耐盐性评价[J]. 盐湖研究, 2020, 28(1): 123–131.
- [27] 赵丹, 余冬梅, 胡夏嵩, 等. 青海柴达木盆地大柴旦盐湖区盐生植物降盐效应[J]. 盐湖研究, 2016, 24(4): 37–47.
- [28] 刘云芬, 彭华, 王薇薇, 等. 植物耐盐性生理与分子机制研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(12): 30–36.
- [29] 潘晶, 黄翠华, 彭飞, 等. 植物根际促生菌诱导植物耐盐促生作用机制[J]. 生物技术通报, 2020, 36(9): 75–87.
- [30] 曹新萍. 内蒙古草原区湿地草本群落特征及其分布[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018.
- [31] Song H, Jespersen E, Guo X, *et al.* Differences in relative air humidity affect responses to soil salinity in freshwater and salt marsh populations of the dominant grass species *Phragmites australis*[J]. *Hydrobiologia*. 2020, 848(14): 3353–3369.
- [32] 张翼飞, 王炜, 梁存柱, 等. 内蒙古典型草原区芨芨草群落适生生境[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 189–197.
- [33] 马晶晶, 黄苏珍, 原海燕, 等. NaHCO_3 胁迫对喜盐鸢尾和马蔺生长及解剖结构的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(4): 55–61.
- [34] 高涵. 几种盐生植物对改善土壤次生盐渍化的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.
- [35] 赵连春, 段凯祥, 赵成章, 等. 嘉峪关草湖湿地植物谱系结构及其对不同生境的响应[J]. 生态学杂志, 2020, 39(7): 2123–2130.
- [36] 张磊, 吕光辉, 蒋腊梅, 等. 影响艾比湖流域荒漠植物生物量分布的土壤驱动力分析[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(3): 12–18.
- [37] 赵学春, 来利明, 朱林海, 等. 三工河流域琵琶柴群落特征与土壤因子的相关分析[J]. 生态学报, 2014, 34(4): 878–889.
- [38] 李子雁. 中国北方温带草原养分含量、生物量及多样性对土壤酸碱变化的响应[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2019.

Effects of Soil Salinity Characteristics on Plant Community in Ordos Salt Marsh Wetland

CUI Qiao^{1,2}, HE Tong-hui^{1,2*}, QUAN Xiao-sai³, CHEN Xiang-quan^{1,2}, HE Yu-shi^{1,2}

(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. *College of Chemistry and Chemical Engineering, Ningxia University, Yinchuan, 750021, China*)

Abstract: To study the response characteristics of the distribution of inland salt marsh plant communities to soil salinity, the Ordos salt lake and salt marsh area was selected as the research area, and three typical plant communities were screened for the succulent salt-tolerant plant community, including the succulent plant, the *Carex* plant community and the Gramineous grass plant community. The soil water content, pH, electrical conductivity and the concentrations of Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} and HCO_3^- were measured for the response of typical plant communities in the area to soil water and salt factors. The differences in the soil factors among the three types of plant communities were discussed; correlation analysis and CCA analysis were used to evaluate the changes in the diversity and species distribution of the three types of plant communities with soil factors. The results showed that among the three types of plant communities in the area, the soil salt content was the highest in the succulent salt-tolerant plant community, the *Carex* plant community was the lowest, and the gramineous grass plant community was in the middle; the plant diversity was correlated with the content of Na^+ and SO_4^{2-} in the soil. Plant distribution is also significantly affected by soil salinity, moisture and pH. The research results can provide theoretical support for soil salinization improvement and vegetation restoration in the Ordos salt lake area.

Key words: Soil salinity; Plant communities; Plant diversity; Species distribution