

# 石羊河中下游不同生境柽柳群落物种多样性及土壤水分、盐分关系

韩福贵<sup>1,2</sup>, 满多清<sup>2</sup>, 郑庆钟<sup>2</sup>, 肖斌<sup>2</sup>, 张裕年<sup>2</sup>, 付贵全<sup>2</sup>, 杜娟<sup>2</sup>

(1. 甘肃省治沙研究所甘肃河西走廊森林生态系统国家定位观测研究站,

甘肃 武威 733000; 2. 甘肃省治沙研究所荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地, 兰州 730070)

**摘要:** 为了给石羊河流域柽柳群落植被恢复与保护提供参考依据, 以石羊河流域 4 种类生境型柽柳群落为研究对象, 测定了群落物种组成、数量特征及土壤水分、盐分, 分析了不同生境群落特征及其与土壤水分之间的关系。结果表明: (1) 柽柳群落中共有植物 22 种, 分属 9 科 20 属, 其中灌木植物最多, 为 8 种 (5 科 6 属), 其次是多年生草本, 为 7 种 (4 科 7 属), 一年生草本为 7 种 (3 科 7 属), 分别占总物种数的 36.36%, 31.82%, 31.82%。(2) 柽柳群落中, 固定盐碱沙地密度最大, 盐碱地和退耕湿地次之, 丘间低地最低; 平均密度差异不显著 ( $p > 0.05$ ); 盖度差异显著 ( $p < 0.05$ ), 以固定盐碱沙地最大, 为 73.33%, 盐碱地和丘间低地次之, 均为 61.67%, 退耕湿地最小, 为 47.00%。(3) 不同生境类型柽柳群落在物种组成及多样性方面存在差异, 从 Margalef 丰富度指数、Shanon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Alatalo 均匀度指数看, 丘间低地 > 盐碱地 > 固定盐碱沙地 > 退耕湿地 ( $p < 0.05$ ), 丘间低地群落优势度指数低于盐碱地和固定盐碱沙地、退耕湿地, 群落结构相对稳定; 丘间低地 Pielou 均匀度指数明显高于其他 3 种类型。(4) 在 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm 土层范围内, 盐碱地和固定盐碱沙地土壤含水率最高, 其次是退耕湿地和丘间低地, 总体呈现出先升高然后逐渐下降的趋势。物种多样性与土壤水分均呈正相关关系, 但均未达到显著水平 ( $p < 0.05$ ), 综上所述, 不同生境柽柳群落组成物种稀少, 结构简单, 种群物种平均密度差异不显著。群落组成物种中, 灌木种类最多, 多年生和一年生草本种类相同。丘间低地多样性指数高于其他生境类型, 退耕地最低, 而生态优势度指数则相反, 物种多样性与土壤水分表现出非显著的正相关关系。

**关键词:** 石羊河; 不同生境; 柽柳群落; 物种多样性; 土壤水分; 土壤盐分

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)03-0049-08

## Species Diversity of *Tamarix Ramosissima* Communities in Different Habitats and the Relationship Between Soil Moisture and Salinity in the Middle and Lower Reaches of Shiyang River Basin

HAN Fugui<sup>1,2</sup>, MAN Duoqing<sup>2</sup>, ZHENG Qingzhong<sup>2</sup>,  
XIAO Bin<sup>2</sup>, ZHANG Yunian<sup>2</sup>, FU Guiquan<sup>2</sup>, DU Juan<sup>2</sup>

(1. National Observation Station on Forest Ecosystems in Hexi Corridor of Gansu, Gansu Hexi Corridor

Forest Ecosystem National Research Station, Wuwei, Gansu 733000, China; 2. State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In order to provide a reference for the vegetation restoration and protection of *Tamarix Ramosissima* community in the Shiyang River Basin, the species composition, quantitative characteristics, soil moisture and salinity of four habitat-type were measured, and the relationship between the community characteristics and soil moisture were analyzed. The results show that: (1) there are 22 species of plants belonging to 9 families and 20 Genera in *Tamarix* community, of which 8 species (5 families and 6 Genera) belong to shrubs, 7 species (4 families and 7 Genera) belong to perennial plant, 7 species (3 families and 7 Genera)

收稿日期: 2021-05-17

修回日期: 2021-05-28

资助项目: 省级重点研发计划项目 (18YF1NA019); 地区科学资助项目 (31660237); 地区科学资助项目 (32060246)

第一作者: 韩福贵 (1964—), 女, 甘肃民勤人, 研究员, 主要从事荒漠化防治与森林生态定位研究。E-mail: hanfug2008@126.com

通信作者: 肖斌 (1984—), 男, 甘肃张掖人, 工程师, 主要从事水土保持与荒漠化防治。E-mail: 1212232@qq.com

belong to annual plant, which account for 36.36%, 31.82% and 31.82% of the total species, respectively; (2) in *Tamarix Chinensis* community, the density of fixed saline-alkali sandy land is the highest, followed by saline-alkali land and abandoned farmland wetland, and the lowest among hills, the average density has no significant difference ( $p > 0.05$ ), the coverage difference is significant ( $p < 0.05$ ), the largest is fixed saline-alkali sandy land, 73.33% saline-alkali land and abandoned farmland are the next, and the same quantity is 61.67%, the abandoned farmland wetland is 47.00%; (3) the species composition and diversity of *Tamarix* communities in different habitats are different, and the differences are statistically significant in Margalef richness index, Shanon-Wiener Diversity Index, Simpson Diversity Index and Alatalo evenness index ( $p < 0.05$ ). The dominance index of Interdune lowland community is lower than that of saline-alkali land, fixed saline-alkali sand land and abandoned farmland wetland, and the community structure is relatively stable, and the Pielou evenness index of Interdune lowland is significantly higher than that of other three types; (4) in the soil layers of 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm, the soil moisture contents of saline-alkali sandy land and fixed saline-alkali sandy land are the highest, followed by wetland and inter-dune lowland. There is a positive correlation between species diversity and soil moisture, but no significant difference is found ( $p < 0.05$ ). The species of *Tamarix ramosissima* community in different habitats are rare, the structure is simple, and the average density of species is not significant. The shrub species are the most common species in the community, and the perennial and annual plant species are the same. The diversity index of Interdune lowland was higher than that of other habitat types, and the lowest is returned farmland, while the index of ecological dominance is the opposite.

**Keywords:** Shiyang River; different habitats; *Tamarix* community; species diversity; soil moisture; soil salinity

湿地与人类的生存、繁衍、发展息息相关,是自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一,它不仅为人类提供了许多动植物资源,而且在控制土壤侵蚀、促淤造陆、调节径流、调节气候、降解环境污染等方面起着极其重要的作用<sup>[1]</sup>。然而湿地随着社会发展、人口的不断增加和城市化进程的加速,导致地下水持续下降,越来越多的湿地严重退化甚至消失<sup>[2]</sup>,导致湿地生态系统功能极不稳定,严重威胁当地区域生态安全<sup>[3-4]</sup>。石羊河是中国西北干旱区典型的内陆河流域,总面积为 4.16 万 km<sup>2</sup>,红崖山水库和青土湖湿地分别位于石羊河流域的中游和下游。为了区域补偿地下水和改善区域水环境,促进河流系统及区域生态系统恢复,由政府主导,从 2010 年,红崖山水库首次向青土湖人工输入生态用水起,逐渐扩大了湿地面积,到如今,青土湖已变成水草肥美的天然绿洲<sup>[5]</sup>。多年来,在地方政府的大力支持下,通过逐年增加退耕还林(草)、退地还湿区域,进一步加强石羊河流域中下游的湿地保护、防沙治沙力度,探索和运用生态补偿机制,为认识区域生态用水过程等方面发挥了至关重要的作用<sup>[6-8]</sup>。

怪柳(*Tamarix chinensis*)属怪柳科(*Tamaricaceae*)怪柳属(*Tamarix*),产于中国各地,为乔木或

灌木,广泛分布于我国北方地区,其中内蒙和西北的沙漠地区呈片状分布,常生于河岸,海滨沙地、滩涂、潮湿盐碱地和沙荒地<sup>[9]</sup>,固沙能力强,是防风固沙先锋树种。因受地形、地貌和气候等条件的影响,在河西地区怪柳适宜大量生存,在含盐量较高的河岸边、青土湖湿地外围等区域,有天然和人工栽植的怪柳灌丛群落,成片的连续分布,具有地带性分布特征。随着石羊河流域综合治理的不断推进,河岸怪柳植被得以恢复,怪柳逐渐成为石羊河流域中下游湿地重要的植被建群种之一。

前人主要对石羊河中下游怪柳灌丛及人工输水对生态环境的影响进行深入研究,屈艳萍等<sup>[10]</sup>对武威石羊河流域人工长穗怪柳树干液流量变化规律进行研究;于军等<sup>[11]</sup>对长穗怪柳种子形态特征与萌发特性进行研究;徐高兴等<sup>[12]</sup>分析民勤绿洲边缘地下水埋深对怪柳灌丛生长及物种多样性的影响。目前,对石羊河中下游河岸带不同生境怪柳群落物种多样性及其土壤水分的关系研究较少。本项目通过对石羊河流域中下游不同立地类型怪柳群落物种多样性特征的分析,掌握怪柳群落物种多样性对土壤水分变化的响应机制,为石羊河流域中下游怪柳群落保护与利用提供科学依据,同时为盐碱湿地开展怪柳人工造

林,恢复湿地植被提供科学依据,为石羊河中下游不同湿地生态系统功能恢复及群落结构稳定性提供基础数据和参考依据。

## 1 材料与方方法

### 1.1 研究区概况

试验地选择在民勤县西渠镇北部青土湖湿地与孔子沟河岸边带,海拔 1 297.5~1 389.1 m,地理坐标为 38°11′35″—39°09′18.27″N,102°46′10″—103°36′10″E,东、西、北 3 个方向均为原青土湖湿地(20 世纪 50 年代)的湖面区域<sup>[13]</sup>。年均气温 7.4℃,极端最高气温 38.1℃,极端最低气温 -28.8℃,年平均日较差 15.9℃,最剧烈可达 28.3℃,≥10℃积温为 3 248.8℃<sup>[14]</sup>。年日照时数 2 832.1 h;多年平均降水量 113.2 mm,主要集中在 7—9 月,年平均蒸发量 2 604.3 mm;是降水量的 23.6 倍;全年风沙日数达 83 d,多集中在 2—5 月份,年平均风速 2.3 m/s,最大风速 23.0 m/s<sup>[15]</sup>。区域以旱生灌木、半灌木和一年生草本为主,其中灌木主要有怪柳(*Tamarix chinensis*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、小果白刺(*Nitraria sibirica*)、枸杞(*Lycium chinensis*)等,

草本主要有白茎盐生草(*Halogeton glomeratus*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、虎尾草(*Chloris virgata* Sw)、赖草(*Leymus secalinus*)、针茅(*Stipa capillata*)、独行菜(*L. ageratum apetalum*)、鹅绒藤(*Cynanchum chinense*)、骆驼蓬、*Peganum nigellastrum*、西伯利亚滨藜(*Atriplexsibirica*)、芦苇(*Phragmites australis*)等。根据研究区的土壤类型和地貌特点,将怪柳种群分布划分为退耕湿地(退耕还湿地)、丘间低地、固定盐碱沙地、盐碱地等 4 种立地类型见表 1。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地调查方法 在石羊河流域下游民勤青土湖选择退耕湿地、固定盐碱沙地、丘间湿地各一个样地,在孔子沟选择盐碱湿地一个样地,共 4 个样地(图 1)。在每个样地设置 100 m×100 m 的大样方,采用 5 点法在每个大样方设置 5 个 10 m×10 m 的灌木小样方,在设置的大样方内随机抽取 1 m×1 m 的草本层样方 3 个,每个样地 3 个重复。植被调查时间为 2019 年 6—9 月,用荒漠生态调查方法对样方内植物种类、数量、高度、冠幅等指标进行调查,同时用 GPS 定位记录每个样地的经纬度、海拔。

表 1 不同地理位置怪柳灌丛优势种群及土壤类型

生境类型	地点	经纬度	海拔/m	优势种群	土壤类型
退耕湿地	青土湖	103°36′18″E,39°03′17.22″N	1305.4~1306.3	怪柳、骆驼蓬、黑果枸杞	灰棕漠土
盐碱地	孔子沟	102°46′10″E,38°11′35″N	1389.1~1399.4	怪柳、独行菜、白茎盐生草、雾冰藜	灰棕漠土
丘间低地	青土湖	103°36′10″E,39°03′05″N	1300.0~1310.0	怪柳、白茎盐生草、黑果枸杞、骆驼蓬	黏土
固定盐碱沙地	青土湖	103°36′35.69″E,39°09′18.27″N	1297.5~1297.9	怪柳、盐爪爪、黑果枸杞、白刺、芦苇	风沙土

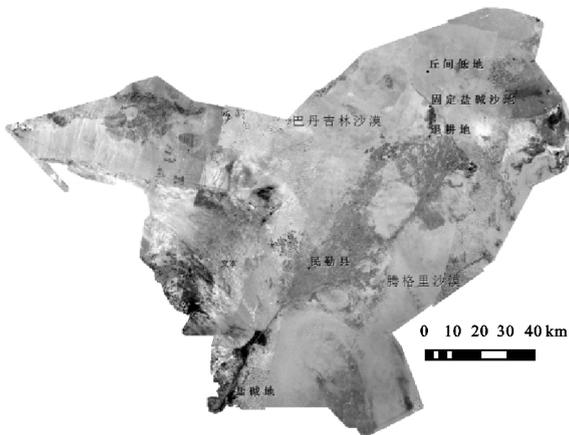


图 1 石羊河中下游不同湿地怪柳灌丛群落调查样地分布

1.2.2 物种多样性指数分析方法 选取 Margalef 丰富度指数( $D_{ma}$ )、Simpson 物种多样性指数( $D$ )、Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ )衡量植物群落物种多样性特征;Pielou 均匀度指数( $J_{sw}$ )、群落优势度指数( $D_1$ )和 Alatalao 均匀度指数( $E_a$ )来衡量植物群落

物种的分布均匀程度<sup>[16-17]</sup>。计算公式如下:

Margalef 丰富度(richness indices):

$$D_{ma} = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

Simpson 多样性指数:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \ln p_i^2 \quad (2)$$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = 1 - \sum_{i=1}^S P_i \ln p_i \quad (3)$$

Pielou 均匀度指数( $J_{sw}$ ):

$$J_{sw} = (\sum p_i \ln p_i) / \ln S \quad (4)$$

Alatalao 均匀度指数:

$$E_a = [1 / (\sum p_i^2) - 1] / [\exp(-\sum p_i \ln p_i) - 1] \quad (5)$$

群落优势度指数:

$$D_i = \sum p_i^2 \quad (6)$$

式中: $S$  为样方中物种总数; $p_i = N_i / N$ ,第  $i$  个物种的相对多度; $N_i$  为样方中第  $i$  个物种的个体数; $N$  为

样方中记录的个体总数。

1.2.3 土壤水分的测定方法 采样时间 2019 年 7 月, 采用烘干法测定土壤含水率, 具体方法为: 以 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm 6 个土层深度分别用土钻进行取样, 取样后放入土壤盒称重, 每个深度重复取样 2 次, 然后在 105℃ 的恒温箱内烘干, 取平均值为各土层绝对含水率。

1.2.4 土壤性质测定 采用滴定法测定全盐量, 每个深度重复测定 3 次, 具体测定的指标为:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  (八大离子) 简称为全盐量, 取各土层平均值。

1.2.5 数据统计分析 采用 SPSS 数据处理软件进行统计分析, 为检验不同样地各统计指标的差异性, 采用邓肯检验法对均值差异显著性进行检验, 用 Excel 进行绘图, 线性回归均值分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同湿地类型柽柳灌丛群落物种组成和结构特征

2.1.1 研究区植被概况 调查结果表明, 在研究样地中出现物种共计 9 科 20 属 22 种, 其中藜科 5 属 5 种, 蒺藜科 2 属 3 种, 禾本科 6 属 6 种, 茄科 1 属 2 种, 柽柳科 2 属 2 种, 其余毛茛科、十字花科、豆科、萝藦科均为 1 属 1 种。在不同生境类型的样地中, 丘间低地物种组成数目最多、其次为盐碱沙地、退耕湿地、固定盐碱沙地较少。研究区内植被群落结构比较简单, 存在单科单属单种现象, 灌木层主要有柽柳科、茄科和蒺藜科等植物, 草本层主要是能适应干旱盐碱化的藜科和禾本科等植物。从生活型上看, 灌木层物种(8 种)、多年生草本与一年生草本物种数相同, 均为 7 种(表 2)。分别占总物种数的 36.36%, 31.82%, 31.82%。

表 2 植物群落物种组成

科名	属名	种名	生活型
藜科	盐爪爪属 <i>Kalidium</i>	盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i> .	灌木
	盐生草属 <i>Halogeton</i>	白茎盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i>	一年生草本
	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	一年生草本
	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	一年生草本
	滨藜属 <i>Atriplex</i>	西伯利亚滨藜 <i>Atriplex sibirica</i>	一年生草本
	画眉草属 <i>Eragrostis</i>	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	一年生草本
禾本科	虎尾草属 <i>Chloris</i>	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	一年生草本
	芦苇属 <i>Phragmites</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	多年生草本
	赖草属 <i>Leymus</i>	赖草 <i>Leymus secalinus</i>	多年生草本
	针茅属 <i>Stipa</i>	沙生针茅 <i>Stipa capillata</i>	多年生草本
	芨芨草属 <i>Achnatherum</i>	芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	多年生草本
	白刺属 <i>Nitraria</i>	小果白刺 <i>Nitraria sibirica</i>	灌木
蒺藜科	白刺属 <i>Nitraria</i>	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	灌木
	骆驼蓬属 <i>Peganum</i>	骆驼蓬 <i>Peganum nigellastrum</i>	多年生草本
柽柳科	柽柳属 <i>Tamarix</i>	柽柳 <i>Tamarix chinensis</i>	灌木
	红砂属 <i>Reaumuria</i>	红砂 <i>Reaumuria songarica</i>	灌木
茄科	枸杞属 <i>Lycium</i>	黑果枸杞 <i>Lyciumru thenicum</i>	灌木
	枸杞属 <i>Lycium</i>	枸杞 <i>Lycium chinosis</i>	灌木
豆科	锦鸡儿属 <i>Caragana</i>	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>	灌木
十字花科	独行菜属 <i>Lepidium</i>	独行菜 <i>L. apetalum</i>	一年生草本
毛茛科	铁线莲属 <i>Clematis</i>	黄花铁线莲 <i>Clematis intricata</i>	多年生草本
萝藦科	鹅绒藤属 <i>Cynanchum</i>	鹅绒藤 <i>Cynanchum chinense</i>	多年生草本

2.1.2 不同湿地类型柽柳种群主要生物学特征 不同生境柽柳群落植被株数、株高、新梢长、冠幅、密度和盖度等种群生物学特征差异均显著 ( $p < 0.05$ ) (表 3)。样方内 (10 m × 10 m) 柽柳群落株数从大到小依次排列为固定盐碱沙地 > 盐碱沙地 > 退耕湿地 > 丘间低地, 各湿地类型退耕地和盐碱地差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 其余差异显著 ( $p < 0.05$ ); 株高从大到小

依次排列为丘间低地 > 退耕湿地 > 固定盐碱沙地 > 盐碱沙地, 各湿地类型丘间低地和固定盐碱沙地差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 其余差异均显著 ( $p < 0.05$ ); 冠幅从大到小依次排列为丘间低地、固定盐碱沙地、退耕湿地和盐碱沙地, 各湿地类型盐碱地和丘间低地差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 其余差异显著 ( $p < 0.05$ ); 密度从大到小依次排列为退耕湿地和盐碱沙地最大、固定盐

碱沙地次之、丘间低地最小,且各湿地类型差异不显著( $p>0.05$ );新梢长从大到小依次排列为丘间低地、固定盐碱沙地、盐碱沙地、退耕湿地,各湿地类型退耕湿地和盐碱地差异不显著( $p>0.05$ ),其余差异

显著( $p<0.05$ );盖度从大到小依次排列为固定盐碱沙地最高、丘间低地和盐碱沙地次之、退耕湿地最小,其中盐碱沙地和丘间低地盖度相同差异不显著( $p>0.05$ ),其余差异显著( $p<0.05$ )。

表3 不同湿地类型桤柳灌丛种群生物学特征

生境类型	株数(均值±标准误)	株高(均值±标准误)/m	冠幅(均值±标准误)/m	密度(均值±标准误)/hm <sup>2</sup>	新梢长(均值±标准误)/m	盖度(均值±标准误)/%
退耕湿地	171.00±45.03a	1.99±0.29b	3.80±1.38a	0.08±0.03a	0.13±0.01a	47.00±4.16a
盐碱地	172.00±67.73a	0.71±0.01a	1.35±0.38a	0.08±0.02a	0.15±0.03a	61.67±9.96ab
丘间低地	38.67±10.65b	2.27±0.24b	12.49±1.53b	0.05±0.02a	0.50±0.22c	61.67±1.67ab
固定盐碱沙地	208.67±139.67a	1.80±0.51b	6.91±2.69a	0.07±0.01a	0.31±0.05b	73.33±4.41b

注:同列不同小写字母表示不同立地类型间差异显著( $p<0.05$ )。

### 2.1.3 不同湿地类型桤柳群落的物种多样性特征

由调查结果得知(见图2—3),丘间低地物种 Margalef 丰富度指数(Dma)、Simpson 物种多样性指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Alatulo 群落均匀度指数(Ea)显著高于盐碱地、退耕湿地和固定盐碱沙地,其作用比较显著( $p<0.05$ ),当 Alatulo 群落均匀度指数越高时,群落优势度指数相对越低,物种比较丰富,群落结构相对稳定;Margalef 丰富度指数和 Shannon-wiener 多样性指数,当群落优势度指数较高,群落 Pielou 均匀度指数相应的呈降低趋势,群落的建群种逐步趋向单一的物种发展。但是群落优势度指数丘间低地明显低于退耕湿地、盐碱地和固定盐碱沙地,从 Alatulo 群落均匀度指数来看,丘间低地>盐碱地>固定盐碱沙地>退耕湿地,且差异均具有统计学意义( $p<0.05$ ),但是退耕湿地和固定盐碱沙地植物种类较少,结构简单,物种丰富度也较低,群落垂直分层不明显,群落较为不稳定。从 Pielou 均匀度指数

看,丘间低地和固定盐碱沙地差异显著( $p<0.05$ ),盐碱地和退耕湿地物种差异不显著( $p>0.05$ )。

### 2.2 不同湿地类型桤柳群落土壤含水率和全盐量变化规律

从不同生境桤柳群落土壤平均水分含量来看(图4),固定盐碱沙地水分含量最高,为13.23%,退耕湿地次之,为11.58%,盐碱地和丘间低地最低分别为,为9.33%和9.15%。从不同土层深度来看,变化差异明显,盐碱地以表层深度0—10 cm 水分含量高,为21.21%,40—80 cm 最低,为3.08%;固定盐碱沙地次之,以土层深度30—40 cm 水分含量最高,为17.22%,0—10 cm 最低,为8.4%;退耕湿地以土层深度30—40 cm 水分含量高,为14.01%,0—10 cm 最低,为5.35%;丘间低地以土层深度20—30 cm 水分含量高,为12.22%,0—10 cm 最低,为4.02%。总的变化规律从高到低排列为固定盐碱沙地>盐碱地>退耕湿地>丘间低地。

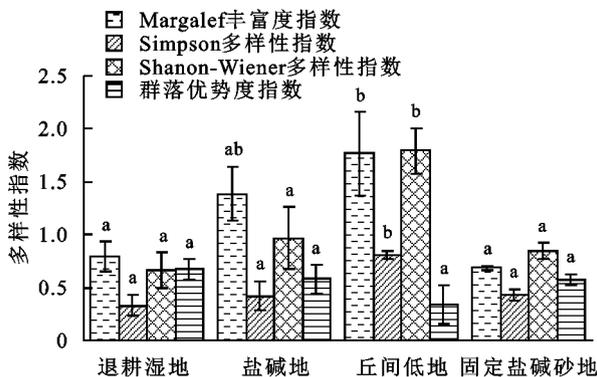


图2 不同湿地类型桤柳灌丛群落多样性指数

盐碱地平均含盐量最高,为4.01%,固定盐碱沙地次之为3.52%,退耕湿地和丘间低地最低,分别为0.11%和0.11%。从不同土层深度来看,变化差异较大,固定盐碱沙地和盐碱地表层0—5 cm 盐分含量较高,分别为7.59%和4.66%,丘间低地是中间0—40 cm 含量较高,为0.16%,退耕湿地下层40—80 cm 含

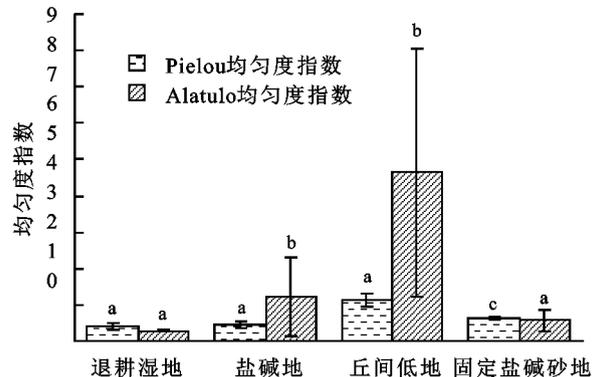


图3 不同湿地类型桤柳灌丛群落均匀度指数

量较高,为0.14%。随着土层深度的不断增加盐分含量呈逐渐下降的趋势。

### 2.3 不同湿地类型桤柳群落物种多样性指数与土壤水分的相关性

土壤水分在植被生长过程中起主要作用。通过石羊河中下游不同生境类型桤柳群落物种多样性指

数与土壤水分的相关性分析(表 4), 研究结果表明: 在不同湿地演替期间各指数与土壤水分间存在不同程度的差异。Simpson 指数、Shanon-Wiener 指数、群落优势度指数、Pielou 指数、Alatulo 指数与 Margalef 指数显著性不明显; Shannon-Wiener 指数与 Simpson 指数呈极显著正相关( $p < 0.01$ ); 群落优势度指数与 Simpson 指数呈极显著负相关( $p > 0.01$ ); 群落优势度指数与 Shannon-Wiener 指数呈显著负相关( $p > 0.05$ ); Pielou 指数与 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数分别呈显著正相关( $p < 0.05$ ); Pielou 指数与群落优势度指数呈显著负相关( $p > 0.05$ ); Alatulo 指数与 Simpson 指数呈显著正相关

( $p < 0.05$ ); Alatulo 指数与 Shannon-Wiener 指数呈极显著正相关( $p < 0.01$ ); Alatulo 指数与群落优势度指数呈显著负相关( $p > 0.05$ ); Alatulo 指数与 Pielou 指数显著性不明显; 土壤平均含水率与 Margalef 丰富度指数、Simpson 多样性指数、Shanon-Wiener 多样性指数、群落优势度指数、Pielou 均匀度指数、Alatulo 均匀度指数间均呈正相关且均未达到显著水平。这或许是由于研究尺度的差异所引起的, 这说明土壤水分有效性的改变, 从而影响土壤水分与物种多样性相关关系的强弱, 甚至会发生逆转<sup>[18]</sup>。所以物种组成或物种多样性对生态系统功能的发挥具有十分重要的作用。

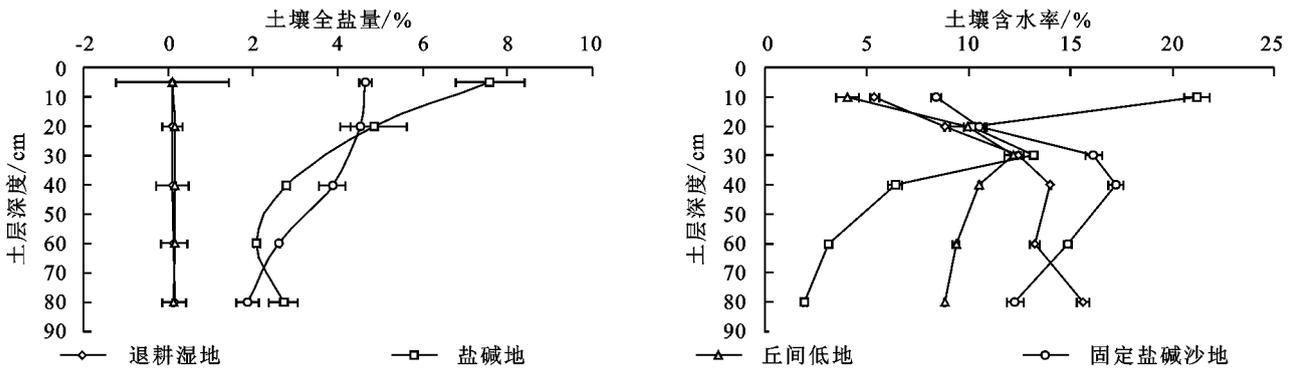


图 4 不同湿地类型柽柳群落土壤水盐的垂直变化

表 4 物种多样性与土壤水分的关系

指数	Margalef 指数	Simpson 指数	Shanon-Wiener 指数	群落优势度数	Sielou 指数	Alatulo 指数	平均含水率
Margalef 指数	1.000						
Simpson 指数	0.82	1.000					
Shanon-Wiener 指数	0.88	0.994 **	1.000				
群落优势度指数	0.82	-0.994 **	-0.988 *	1.000			
Pielou 指数	0.70	0.982 *	0.954 *	-0.974 *	1.000		
Alatulo 指数	0.89	0.987 *	0.996 **	-0.973 *	0.940	1.000	
平均含水率	0.83	0.600	0.660	0.540	0.490	0.720	1.000

注: \*\* 表示在 0.01 水平上极显著相关; \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

### 3 讨论

石羊河中下游不同生境类型, 柽柳灌丛在退耕湿地、盐碱地、丘间低地和固定盐碱沙地不同生境类型中, 因受地下水埋深度及环境条件的影响, 柽柳群落组成物种较少, 各群落中共出现物种 22 种, 分属 9 科 21 属, 各立地条件下, 柽柳群落物种主要集中在藜科、禾本科、蒺藜科及柽柳科, 其余科物种为单科单属单种, 无乔木层和高大灌木层、物种间相比只有较偏高的柽柳灌木层占为优势<sup>[19]</sup>。在不同生境类型的柽柳群落中, 灌木主要局限在柽柳、黑果枸杞、白刺、枸杞、盐爪爪几个单一的物种之间。在不同生境类型柽

柳群落中, 丘间低地物种最多, 退耕湿地原是多年前的弃耕地, 随着青土湖水量的增加, 现已演变为湿地, 物种较少, 基本被灌木层所占据, 由于种间竞争加剧, 草本植物难以存活, 退耕湿地和丘间低地的灌木物种种类相同, 均为柽柳、黑果枸杞、白刺、枸杞、盐爪爪; 盐碱地和固定盐碱沙地灌木物种数目最少, 地表有干盐湖沉积, 含水率最高。草本植物主要以禾草类和水草类为主。

从不同生境类型柽柳生长指标看, 退耕湿地, 物种密度、新梢生长和盖度明显低于其他 3 种类型; 丘间低地为人工多年栽植的柽柳, 土壤条件相对最优, 物种出现最多, 新梢生长、相对株高和冠幅显著高于

其他 3 种类型;盐碱沙地中物种次之,怪柳株数最多,密度和盖度较大,存在种内竞争,使得株高和冠幅均不突出,长势一般;固定盐碱沙地中物种较少基本以灌木层为主,表层形成盐分的移动和积聚,水分蒸发快,水分基本集中在中层,长势较好,且冠幅、盖度最高,明显高于其他 3 种类型。这与刘发民<sup>[20]</sup>、王玉辉<sup>[21]</sup>、常兆丰<sup>[22]</sup>等的研究结果相似,因此,在干旱荒漠地区土壤水分是影响群落结构的主导因子,在不同土壤类型上分布的植物群落,其群落结构和物种多样性存在明显差异,而湿地周围虽土壤含水较多,但盐碱含量也较高,导致群落物种多样性和优势度逐渐减小,为了提高植被覆盖率,要通过人工辅助恢复更新来还原植物群落。

不同湿地类型怪柳群落的物种多样性特征表明:植物群落物种丰富度指数、多样性指数、Simpson 多样性指数、Alatalo 均匀度指数在植被恢复过程中呈增大趋势,Pielou 均匀度指数、群落优势度指数呈减小的趋势,丘间低地在 4 种湿地类型中 Margalef 丰富度指数、Shanon-Wiener 多样性指数和 Alatalo 均匀度指数最高,其次为盐碱沙地和退耕湿地、固定盐碱沙地最低,总体呈先逐步增加然后再缓慢减小趋势。在演变过程中,退耕湿地和固定盐碱沙地群落优势种逐步趋于集中,多年生与一年生草本逐渐消退,基本被灌木层所占据,物种多样性呈下降趋势最后趋于不稳定,盐碱地和丘间低地中,被多年生灌木和草本层占据,物种多样性开始恢复和增加最后趋于稳定,因此,不同生境伴生种草本群落多样性有明显的差异,其中,总盖度、物种数、均匀度指数、多样性指数、丰富度指数随着土壤水分的增加呈逐渐增加趋势,表现出一定的“表聚性”,但在荒漠区有限的降水限制下,植被的恢复是一个滞后的过程,各项多样性指标仍在不断变化,需要经过一段时间才能充分提现出来。

在 4 种不同湿地类型群落中,随着土层深度的增加,土壤紧实度加大,土壤含水量是固定盐碱沙地和退耕湿地最高,其次为盐碱地和丘间低地,土壤含水量的活跃土层在 30 cm 或 40 cm(土壤相对活跃层),相关性分析表明:怪柳群落物种多样性与土壤含水量均呈正相关性但均未达到显著水平,这与鲁延芳<sup>[23]</sup>、孟明<sup>[24]</sup>等的研究结果一致,而与濮阳雪华<sup>[25]</sup>等的研究结果不同,这或许是由于各研究区域怪柳群落的人为干预和研究尺度的差异引起的结果。物种多样性和土壤水分梯度间关系很复杂,多数研究表明,植物群落物种多样性与土壤含水量间表现出正相关关系<sup>[26-28]</sup>;还有研究表明,植物多样性与年降水量具有正相关关系<sup>[29]</sup>。但也有研究指出,水分对植物群落

物种多样性无显著影响<sup>[30]</sup>,同样,植物生长特性与土壤水分间的关系也存在争议<sup>[31]</sup>,说明在不同水盐养分环境下的显著变化可能对物种多样性、功能多样性二者间关系起决定性作用<sup>[32]</sup>。在今后的研究中,应加强关于降水梯度与盐分养分协同变化下对植物群落多样性特征的响应研究,深入了解全球变化背景下生态脆弱区域植被恢复规律。

## 4 结论

石羊河中下游不同生境带怪柳群落因受环境条件的限制,共有 22 种,9 科,20 属,灌木 8 种主要有怪柳科、茄科和蒺藜科等物种,多年生草本与一年生草本物种数相同,均为 7 种,主要有藜科和禾本科等物种,多为单科多属单种。不同湿地类型怪柳群落物种多样性指数从高到低依次排列为丘间低地>盐碱地>固定盐碱沙地>退耕湿地,且差异均具有统计学意义( $p < 0.05$ ),从 Pielou 均匀度指数看,丘间低地和固定盐碱沙地差异显著( $p < 0.05$ ),盐碱地和退耕湿地物种差异不显著( $p > 0.05$ )。土壤平均含水率与植被群落物种多样性均呈正相关但均未达到显著水平。

### 参考文献:

- [1] Wheeler B D, Shaw S C, Fojt W J, et al. Introduction Restoration and wetlands. Restoration of Temperate Wetlands[C]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1995:1-18.
- [2] Sakane N, Alvarez M, Becker M, et al. Classification, characterisation, and use of small wetlands in East Africa[J]. Wetlands, 2011,31(6):1103-1116.
- [3] Nie Y, Li A. Assessment of alpine wetland dynamics from 1976—2006 in the vicinity of Mount Everest[J]. Wetlands, 2011,31(5):875-884.
- [4] Klement T, Martin P, Dietrich B, et al. Multiple stressors in coupled river-floodplain ecosystems[J]. Freshwater Biology, 2010,55(S1):135-151.
- [5] 冯绳武.民勤绿洲的水系演变[J].地理学报,1963,29(3):241-249.
- [6] Engelhardt K A M, Ritchie M E. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services[J]. Nature, 2001,411(6838):687-689.
- [7] Zhang L, Wang M H, Hu J, et al. A review of published wetland research, 1991-2008:Ecological engineering and ecosystem restoration[J]. Ecological Engineering, 2010,36(8):973-980.
- [8] Hefting M M, Vanden R N, Verhoeven T A. Wetland-sin agricultural landscapes for nitrogen attenuation and biodiversity enhancement: opportunities and limitations

- [J]. Ecological Engineering, 2013, 56: 5-13.
- [9] 张鹏云, 刘铭庭. 中国柽柳属植物研究简史[J]. 干旱区研究, 1988, 5(3): 20-26.
- [10] 屈艳萍, 康绍忠, 夏桂敏, 等. 甘肃石羊河流域人工种植长穗柽柳树干液流量变化规律研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(11): 2259-2265.
- [11] 于军, 姜喜, 白宝伟, 等. 长穗柽柳种子形态特征与萌发特性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(7): 3911-3920.
- [12] 徐高兴, 王立, 徐先英, 等. 民勤绿洲边缘地下水埋深对柽柳灌丛生长及物种多样性的影响[J]. 草原与草坪, 2017, 37(2): 49-56.
- [13] 韩福贵, 魏林源, 王理德, 等. 民勤退耕地物种多样性与土壤养分及其相关性分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(6): 109-114.
- [14] 徐先英, 严平, 郭树江, 等. 干旱荒漠区绿洲边缘典型固沙灌木的降水截留特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 141-145.
- [15] 韩福贵, 孙涛, 郭树江, 等. 干旱荒漠区不同演替阶段白刺灌丛沙堆土壤呼吸特征及其影响因素分析[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(5): 1-7.
- [16] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: Ia 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [17] 陈慧, 郝慧荣, 熊君, 等. 地黄连作对根际微生物区系及土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2755-2759.
- [18] 岳静, 郝敏, 张灵菲, 等. 物种多样性—生态系统功能关系的影响因素[J]. 草业科学, 2011, 28(4): 532-535.
- [19] 张元恺, 张杰, 姚泽. 民勤沙区绿洲—荒漠过渡带典型植被群落物种多样性特征分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(28): 1-7.
- [20] 刘发民, 张应华, 仵彦卿. 黑河流域荒漠地区梭梭人工林地土壤水分动态研究[J]. 干旱区研究, 2002, 19(1): 27-31.
- [21] 王玉辉, 周广胜. 内蒙古羊草草原植物群落地上初级生产力时间动态对降水变化的响应[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1140-1145.
- [22] 常兆丰, 赵明, 韩福贵. 民勤沙区几种荒漠植物群落的现实生态位研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 165-173.
- [23] 鲁延芳, 占玉芳, 钱万建, 等. 河西走廊中部人工沙漠植被典型群落物种的多样性[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 14-18.
- [24] 孟明. 宁夏中部干旱带荒漠草原土壤水分与生物多样性的相关关系[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [25] 濮阳雪华, 王春春, 苟清平, 等. 陕北黄土区植被群落特征与土壤水分关系研究[J]. 草业学报, 2019, 28(11): 184-191.
- [26] 刘旻霞, 王刚. 高寒草甸植物群落多样性及土壤因子对坡向的响应[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 259-265.
- [27] 王永健, 陶建平, 张炜银, 等. 四川茂县土地岭大熊猫走廊带植被恢复格局及其与干扰的关系[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3525-3532.
- [28] Yoshihara Y, Tatsuno Y, Miyasaka K, et al. Can complementarity in water use help explain diversity-productivity relationships in semi-arid grasslands? [J]. Journal of Arid Environments, 2019, 173, 103994. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.103994>.
- [29] Zelnik I, Carni A. Plant species diversity and composition of wet grasslands in relation to environmental factors [J]. Biodiversity and Conservation, 2013, 22: 2179-2192.
- [30] 赵新风, 徐海量, 张鹏, 等. 养分与水分添加对荒漠草地植物群落结构和物种多样性的影响[J]. 植物生态学报, 2014, 38(2): 167-177.
- [31] 黄德青, 于兰, 张耀生, 等. 祁连山北坡天然草地地上生物量及其与土壤水分关系的比较研究[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 20-27.
- [32] 张雪妮, 李岩, 何学敏, 等. 水盐变化对荒漠植物功能多样性与物种多样性关系的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(8): 2354-2360.

(上接第 48 页)

- [26] 董雪, 郝玉光, 辛智鸣, 等. 浑善达克沙地 3 种灌木土壤分形特征与养分关系[J]. 草业学报, 2020, 29(6): 172-181.
- [27] 王小丹, 刘刚才, 刘淑珍, 等. 西藏高原干旱半干旱区土壤分形特征及其应用[J]. 山地学报, 2003, 23(1): 58-63.
- [28] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [29] 任婷婷, 王瑄, 陈雯静, 等. 不同土地利用类型土壤颗粒分形特征与黏粒含量的关系[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(2): 202-207.
- [30] 王燕, 蒙仲举, 斯庆毕力格, 等. 基于多重分形的半干旱区农田表层土壤粒径分布特征研究[J]. 土壤, 2018, 50(4): 826-831.
- [31] 陈新闻, 郭建英, 董智, 等. 乌兰布和沙漠沿黄段不同土地利用类型对土壤分形特征的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(11): 169-173.