

韩高玲, 霍建强, 赵燕翹, 等. 鄂尔多斯高原砒砂岩地区草本物种组成及多样性[J]. 中国沙漠, 2023, 43(3): 243–251.

鄂尔多斯高原砒砂岩地区草本物种组成及多样性

韩高玲^{1,2}, 霍建强^{1,2}, 赵燕翹^{1,2}, 虎瑞¹, 张志山¹, 黄日辉³, 薛书文³

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 沙坡头沙漠研究试验站/干旱区生态安全与可持续发展重点实验室, 甘肃兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 岭南师范学院 地理科学学院, 广东 湛江 524036)

摘要: 为探究不同类型砒砂岩区草本物种组成、多样性及环境因子对它们的影响, 在内蒙古自治区鄂尔多斯市选择不同类型砒砂岩区, 调查草本植物物种组成及多样性。结果表明: 不同类型砒砂岩区优势物种组成不同, 盖土区为针茅(*Stipa capillata*)、刺蓬(*Salsola tragus*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、蒺藜(*Tribulus terrestris*), 盖沙区为针茅、狗尾草(*Setaria viridis*)、艾蒿(*Artemisia argyi*), 裸露区为刺藜(*Chenopodium aristatum*)。盖沙区和裸露区的相似性指数为50.0%, 盖沙区和盖土区的为63.6%, 盖土区和裸露区的为39.1%。不同类型砒砂岩区草本物种多样性指数差异不显著, 不同地形部位的均匀度指数差异显著($P=0.027$), 坡上显著高于坡中和坡下。影响物种组成及多样性因素的主成分分析结果显示, 载荷量较高的环境因子有相对湿度、气温、降水量以及土壤含水量, 相对湿度、气温、降水量分别占第一主成分的42.4%、44.5%、33.4%, 土壤含水量占第二主成分的66.8%, 这些影响因素大多与水分相关。明确水分条件与物种多样性的关系有助于更好地进行砒砂岩地区生态恢复、人工植被的构建以及水土流失的治理。

关键词: 砒砂岩; 草本植物; 物种组成; 物种多样性; 水分

文章编号: 1000-694X(2023)03-243-09

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00025

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

0 引言

砒砂岩是由风化、干旱和沉积作用形成的结构较为松散的岩层, 指古生代二叠纪和中生代三叠纪、侏罗纪和白垩纪的厚层砂岩、砂页岩和泥质砂岩组成的岩石互层, 包括灰黄、灰白、紫红色的石英砂岩, 灰色、灰黄色、灰紫色的沙质页岩, 紫红色的泥岩, 泥沙岩等^[1]。中国砒砂岩主要分布于陕北、内蒙古、山西等地, 砒砂岩区是黄河粗泥沙的主要来源地, 更是黄土高原侵蚀最为剧烈的区域, 砒砂岩曾被许多学者称为“世界水土流失之最”和“环境癌症”^[2], 砒砂岩区总面积为1.67万km², 按分布形式可以分为盖沙区、裸露区和盖土区^[3-4]。砒砂岩结构较为松散, 易受环境的影响, 经常受到风蚀、降雨等因素的影响, 易发生水土流失^[5]。砒砂岩在干旱环境

下抗压强度较大, 而在遇到降雨后其抗压强度和抗拉强度都会大幅下降, 这是砒砂岩地区水土流失严重的主要原因, 虽然砒砂岩分布区面积占黄土高原水土流失区面积的比例较小, 但输入黄河泥沙量所占比例很大^[6]。因此, 砒砂岩区水土流失的治理对解决黄河粗泥沙来源区问题有着重要意义。

植物种组成及多样性对维持一个地区群落稳定性具有重要的作用, 物种多样性一方面指一定区域内物种的丰富程度, 另一方面是指物种在一定区域内分布的均匀程度。砒砂岩地区由于砒砂岩裸露, 环境条件较为恶劣, 植物种组成较少。近年来, 为了缓解砒砂岩地区水土流失及增加物种多样性, 开展了大量的人工林建设, 对林下草本物种的组成, 生物量及物种多样性有着重要作用, 同时也对砒砂岩地区植被恢复起着促进作用^[7]。目前对于砒

收稿日期: 2023-02-12; 改回日期: 2023-03-21

资助项目: 内蒙古自治区科技重大专项(2021ZD0008-3); 国家自然科学基金项目(31971529)

作者简介: 韩高玲(1999—), 女, 甘肃通渭人, 硕士研究生, 主要从事干旱区生态学研究。E-mail: 2674423907@qq.com

通信作者: 张志山(E-mail: zszhang@lzb.ac.cn)

砂岩地区人工林的研究较多,而对于不同类型砒砂岩区草本物种研究较少^[8]。因此,研究不同类型砒砂岩区草本物种组成及多样性,可以更加深入地了解砒砂岩地区的植物种配置,从而为砒砂岩地区植被恢复及水土流失治理提供重要依据。本文以砒砂岩盖沙区、裸露区、盖土区为研究对象,对比了不同类型砒砂岩区、不同地形部位的草本植物种类、物种组成及多样性,分析了不同类型砒砂岩区、不同地形部位以及环境因子对草本物种组成及多样性的影响,旨在为砒砂岩地区植被恢复和水土保持提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

内蒙古鄂尔多斯高原地处河套平原黄河弯道中,地势比较平缓,整体从西北向东南微倾。研究区位于鄂尔多斯高原(图1),海拔1 100~1 500 m,砒砂岩面积为1.67万 km²,位于温带季风区,属于典型的温带大陆性气候。土壤类型东部为栗钙土,西部为棕钙土。该区年平均气温6~8℃,1月平均气温-14~-8℃,7月平均气温22~24℃,≥10℃积温2 500~3 200℃,无霜期130~170天,积温高,昼夜温差大。年降水量150~200 mm,集中于7—9月,蒸发量较大,年均潜在蒸发量2 384 mm。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置和调查

2022年8月,在内蒙古自治区鄂尔多斯市选择不同类型砒砂岩区,即盖土区、盖沙区和裸露区进

行样地设置(图1)。其中盖土区主要是皇甫川沿线,调查线路为南北向;盖沙区主要是悖牛川沿线,调查线路为南北向;裸露区调查路线从东到西,主线路沿达拉特旗马呼线(G210),西起卜尔色太沟、东至东柳沟。每个类型砒砂岩区设置3个调查点,共9个调查点,在每个调查点进行草本样方的设置。每个调查点上样方的设置分为黄土塬(坡顶)、山坡(坡中)、沟坡(坡底)3个部位(图1),对于坡太陡峭而无法到达坡中和坡底的地点,则只在坡顶进行样方的设置,样方大小为0.5 m×0.5 m,重复2~3次,其中盖土区共10个样方,全在坡顶;盖沙区共15个样方,坡顶7个,坡中4个,坡底4个;裸露区共13个样方,坡顶6个,坡中4个,坡底3个,总共设置了38个草本样方。调查每个草本样方中草本物种的种类、高度、生物量、盖度、多度。同时,用GPS仪定位,用角度仪测量每个样方的坡度。用土钻采集1.5 m深不同层次土样,装入自封袋在现场称取鲜重,之后将土样带回实验室,105℃下烘干24 h后测量干重,用烘干法计算土壤质量含水量;土钻采样过程中记录土层厚度,如果土层厚度超过采样深度1.5 m,在样方附近悬崖用皮尺测量。现场测量得到盖土区、盖沙区和裸露区平均坡度分别为11.4°、9.3°、5.5°,盖土区、盖沙区和裸露区平均坡高分别为32.4、21.5、19.6 m。最后,根据样方经纬度用ArcGIS Desktop10.8在中国气象要素平均状况空间插值数据集获得当地的气象数据(1960—2021年)。

1.2.2 数据分析

在调查过程中对样方中的草本植物进行现场鉴定,统计出不同类型砒砂岩区草本物种的组成,对不同类型砒砂岩区的科、属、种情况进行统计分

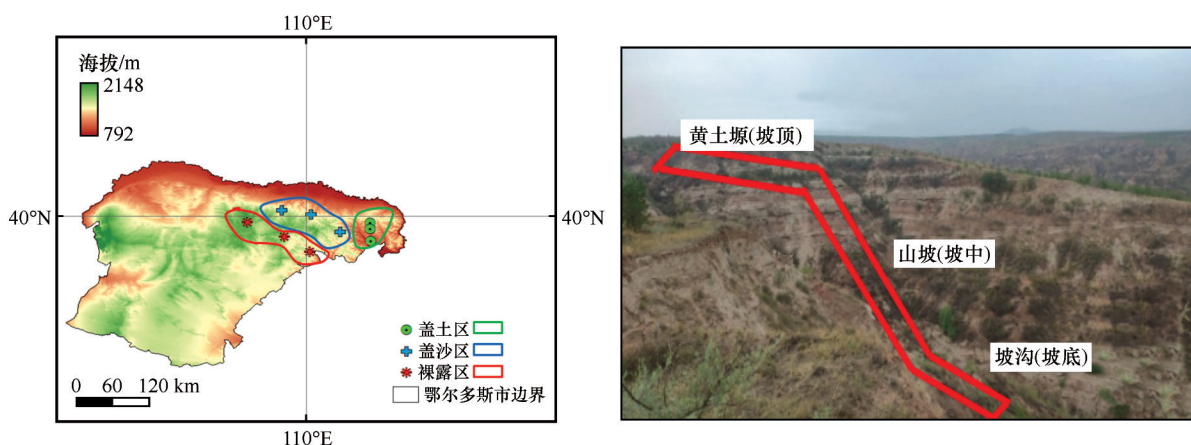


图1 研究区地理位置

Fig.1 The location of the studied areas

析。同时计算不同类型砒砂岩区草本物种相似性指数 Sprenson 系数,对不同类型砒砂岩区草本物种差异性进行分析^[9]。

$$\text{Sprenson 系数} = [2C/(A+B)] \times 100\% \quad (1)$$

式中: A 代表某一区域全部物种数; B 代表另一区域全部物种数; C 代表 A、B 区域共有物种数。

根据样方调查的草本物种的种类、盖度、多度计算出物种丰富度指数 (R)、Shannon-Wiener 指数 (H')、Simpson 指数 (D)、均匀度指数 (E)^[10-14]。

$$R = S \quad (2)$$

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$D = 1 - \sum (P_i)^2 \quad (4)$$

$$E = H' / \ln S \quad (5)$$

式中: S 代表样方内物种数目; P_i 代表样方内种的相对重要值, $P_i = (\text{相对多度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度})/3$ 。

使用 Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 26 软件对数据进行统计分析,使用 Excel 2010 和 Origin Pro 2021 作图。采用裂区试验设计二因素方差分析 (Two-Way ANOVA) 法进行数据分析,主因子为不同类型砒砂岩区,副因子为地形部位 (坡顶、坡中、坡底),采用 LSD 法进行多重比较 ($\alpha=0.05$)。结合气象因子、地理信息及土壤因子进行主成分分析,分析环境因子对不同类型砒砂岩区物种组成及多样性的影响,根据主成分分析的结果,对影响显著的单个因子进行散点图拟合,分析这些环境因子与草本物种多样性的关系。

2 结果与分析

2.1 草本物种组成及相似性

砒砂岩区草本物种共有 16 科、34 属、40 种 (表 1)。其中盖土区 13 科、21 属、23 种,双子叶植物 11 科、14 属、16 种,单子叶植物 2 科、7 属、7 种;盖沙区 10 科、20 属、21 种,双子叶植物 7 科、11 属、12 种,单子叶植物 3 科、9 属、9 种;裸露区 12 科、22 属、23 种,双子叶植物 9 科、14 属、15 种,单子叶植物 3 科、8 属、8 种。对不同类型砒砂岩区物种组成及重要值比较发现,盖土区中针茅 (*Stipa capillata*)、刺蓬 (*Salsola tragus*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、蒺藜 (*Tribulus terrestris*) 占优势地位,重要值均在 10% 以上,其余物种重要值均在 10% 以下;盖沙区中针茅、狗尾草

(*Setaria viridis*)、艾蒿 (*Artemisia argyi*) 占优势地位,重要值均在 10% 以上,其余物种重要值均在 10% 以下;裸露区中刺藜 (*Chenopodium aristatum*) 占绝对优势地位,重要值在 30% 以上,其他物种重要值均在 10% 以下。

不同类型砒砂岩区草本物种相似性指数存在差异。盖沙区和裸露区以及盖沙区和盖土区的共有物种数较多,盖土区和裸露区的共有物种数相较于盖沙区和盖土区来说较少。盖沙区和裸露区相似性指数为 50.0%;盖沙区和盖土区为 63.6%,较高;盖土区和裸露区为 39.1%,较低 (表 2)。

2.2 草本物种多样性

即盖沙区、裸露区、盖土区的草本物种丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和均匀度指数差异均不显著 ($P>0.05$);除均匀度指数外,不同地形部位,即坡顶、坡中、坡底的草本物种丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数也差异不显著 ($P>0.05$);而不同地形部位的均匀度指数差异显著 ($P=0.027$),坡顶为 0.721,显著高于坡中的 0.647 和坡底的 0.653,坡中和坡底则差异不显著 (图 2)。

2.3 影响物种组成及多样性的因素

对不同类型砒砂岩区、不同部位平均土壤含水量进行二因素方差分析可知,盖土区和盖沙区 1.5 m 深土壤含水量差异不显著 ($P=0.224$),而裸露区 7.6% 显著低于盖沙区 12.0% ($P=0.0024$) 和盖土区 10.7% ($P=0.012$);不同地形部位的 1.5 m 深土壤含水量差异显著,坡底 11.4% 显著高于坡顶 10.2% ($P=0.027$) 和坡中 ($P=0.002$),坡顶 10.2% 显著高于坡中 6.9% ($P=0.021$,图 3)。

对不同类型砒砂岩区物种组成、多样性及环境因子进行主成分分析 (图 4),环境因子分为三大类,分别是气象因子、地理信息和土壤因子。第一主成分 (PC1) 解释了物种组成及多样性 51.7% 的变异,第二主成分 (PC2) 解释 20.9% 的变异。盖土区和裸露区在 PCA 图中得到了较好的区分,盖土区主要分布于 PC1 的正半轴,与 1.5 m 深土壤含水量、相对湿度、降水量、气温紧密相关;盖沙区在 PC1 和 PC2 的正半轴和负半轴都有分布,与土壤含水量、坡度、年潜在蒸发量紧密相关;裸露区主要分布于 PC1 和 PC2

表 1 不同类型砒砂岩区草本物种组成及重要值

Table 1 Composition and importance of herbaceous species in different types of arsenic sandstone areas

科	属	中文名	拉丁学名	重要值		
				盖土区	盖沙区	裸露区
禾本科(Poaceae Barnhart)	针茅属(<i>Stipa</i>)	针茅	<i>Stipa capillata</i>	0.152	0.268	0.051
藜科(Chenopodiaceae)	猪毛菜属(<i>Salsola</i>)	刺蓬	<i>Salsola tragus</i>	0.142	0.059	0.046
豆科(Fabaceae)	胡枝子属(<i>Lespedeza</i>)	胡枝子	<i>Lespedeza bicolor</i>	0.112	0.093	0.030
蒺藜科(Zygophyllaceae)	蒺藜属(<i>Tribulus</i>)	蒺藜	<i>Tribulus terrestris</i>	0.109	0.005	—
菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	艾蒿	<i>Artemisia argyi</i>	0.077	0.127	—
藜科(Chenopodiaceae)	虫实属(<i>Corispermum</i>)	虫实	<i>Corispermum hyssopifolium</i>	0.061	0.014	0.011
禾本科(Poaceae Barnhart)	画眉草属(<i>Eragrostis</i>)	小画眉草	<i>Eragrostis minor</i>	0.051	0.060	0.055
唇形科(Lamiaceae Martinov)	黄芩属(<i>Scutellaria</i>)	黄芩	<i>Scutellaria baicalensis</i>	0.042	—	—
大戟科(Euphorbiaceae)	大戟属(<i>Euphorbia</i>)	地锦草	<i>Euphorbia humifusa</i>	0.032	—	0.025
石竹科(Caryophyllaceae)	石头花属(<i>Gypsophila</i>)	长蕊石头花	<i>Gypsophila oldhamiana</i>	0.029	—	0.034
禾本科(Poaceae Barnhart)	狗尾草属(<i>Setaria</i>)	狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	0.025	0.133	0.031
禾本科(Poaceae Barnhart)	冰草属(<i>Agropyron</i>)	冰草	<i>Agropyron cristatum</i>	0.023	0.010	—
禾本科(Poaceae Barnhart)	隐子草属(<i>Cleistogenes</i>)	无芒隐子草	<i>Cleistogenes squarrosa</i>	0.023	0.019	—
百合科(Liliaceae)	葱属(<i>Allium</i>)	多根葱	<i>Allium polyrhizum</i>	0.023	0.003	—
蔷薇科(Rosaceae)	委陵菜属(<i>Potentilla</i>)	委陵菜	<i>Potentilla chinensis</i>	0.021	—	—
藜科(Chenopodiaceae)	藜属(<i>Chenopodium</i>)	灰条菜	<i>Chenopodium album</i>	0.021	—	—
藜科(Chenopodiaceae)	藜属(<i>Chenopodium</i>)	刺藜	<i>Chenopodium aristatum</i>	0.018	0.062	0.399
菊科(Asteraceae)	飞廉属(<i>Carduus</i>)	飞廉	<i>Carduus nutans</i>	0.016	0.001	—
菊科(Asteraceae)	漏芦属(<i>Stemmacantha</i>)	漏芦	<i>Rhaponticum uniflorum</i>	0.010	—	—
菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	青蒿	<i>Artemisia carvifolia</i>	0.006	—	—
瑞香科(Thymelaeaceae)	狼毒属(<i>Stellera</i>)	狼毒	<i>Stellera chamaejasme</i>	0.004	0.008	—
禾本科(Poaceae Barnhart)	棒头草属(<i>Polypogon</i>)	棒头草	<i>Polypogon fugax</i>	0.003	—	—
小檗科(Berberidaceae)	淫羊藿属(<i>Epimedium</i>)	三枝九叶草	<i>Epimedium sagittatum</i>	0.002	—	—
菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	猪毛蒿	<i>Artemisia scoparia</i>	—	0.052	0.061
禾本科(Poaceae Barnhart)	稗属(<i>Echinochloa</i>)	稗草	<i>Echinochloa crusgalli</i>	—	0.041	0.003
豆科(Fabaceae)	黄耆属(<i>Astragalus</i>)	黄耆	<i>Astragalus membranaceus</i>	—	0.023	0.006
伞形科(Apiaceae)	阿魏属(<i>Ferula</i>)	阿魏	<i>Ferula sinkiangensis</i>	—	0.003	—
禾本科(Poaceae Barnhart)	虎尾草属(<i>Chloris</i>)	虎尾草	<i>Chloris virgata</i>	—	0.012	—
菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	白莲蒿	<i>Artemisia stechmanniana</i>	—	0.005	—
天南星科(Araceae)	菖蒲属(<i>Acorus</i>)	菖蒲	<i>Acorus calamus</i>	—	0.001	0.004
百合科(Liliaceae)	葱属(<i>Allium</i>)	沙葱	<i>Allium mongolicum</i>	—	—	0.074
菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	冷蒿	<i>Artemisia frigida</i>	—	—	0.046
唇形科(Lamiaceae Martinov)	百里香属(<i>Thymus</i>)	百里香	<i>Thymus mongolicus</i>	—	—	0.045
禾本科(Poaceae Barnhart)	雀麦属(<i>Bromus</i>)	雀麦	<i>Bromus japonicus</i>	—	—	0.025
菊科(Asteraceae)	狗娃花属(<i>Heteropappus</i>)	阿尔泰狗娃花	<i>Heteropappus altaicus</i>	—	—	0.016
菊科(Asteraceae)	亚菊属(<i>Ajania</i>)	蓍状亚菊	<i>Ajania achilleoides</i>	—	—	0.015
萝藦科(Asclepiadaceae)	鹅绒藤属(<i>Cynanchum</i>)	牛心朴子	<i>Cynanchum mongolicum</i>	—	—	0.009
豆科(Fabaceae)	黄芪属(<i>Astragalus</i>)	沙打旺	<i>Astragalus laxmannii</i>	—	—	0.006
禾本科(Poaceae Barnhart)	早熟禾属(<i>Poa</i>)	早熟禾	<i>Poa annua</i>	—	—	0.005
旋花科(Convolvulaceae)	旋花属(<i>Convolvulus</i>)	田旋花	<i>Convolvulus arvensis</i>	—	—	0.003

表 2 不同类型砒砂岩区共有草本物种数和相似性指数

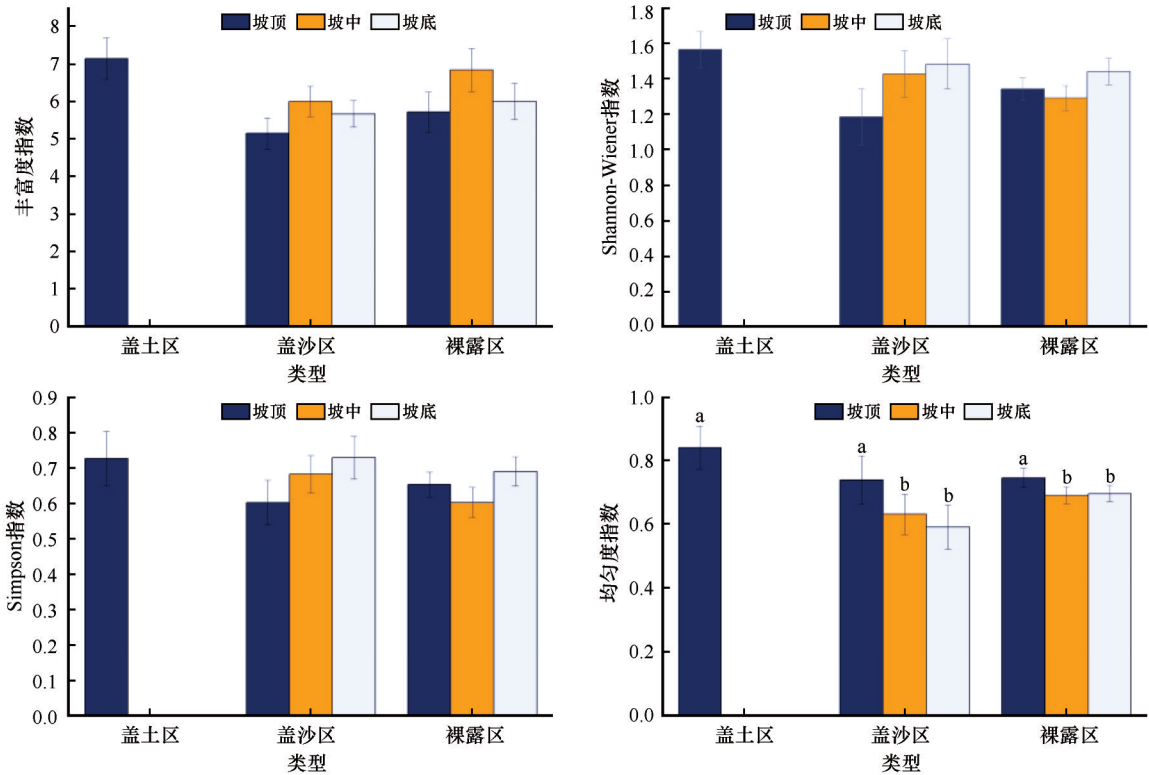
Table 2 Species number and similarity index of herbaceous species in different types of arsenic sandstone areas

砒砂岩类型区	盖土区	盖沙区	裸露区
盖土区		63.6	39.1
盖沙区	14		50.0
裸露区	9	11	

上三角为两个砒砂岩类型区草本物种相似性指数 Sprenson 系数(%),下三角为两个砒砂岩类型区间共有物种数。

的零点附近,主要受坡度、干燥度指数、土层厚度的影响。由此可知,影响草本植物物种组成及多样性的主要因素有相对湿度、降水量、气温和土壤含水量等。

把主成分分析载荷量较高的环境因子与物种多样性进行拟合发现:砒砂岩地区相对湿度与草本物种均匀度指数($R^2=0.184, P=0.007$)、土壤含水量与草本物种 Shannon-Wiener 指数($R^2=0.166, P=0.011$)、土壤含水量与草本物种 Simpson 指数($R^2=0.163, P=0.012$)显著正相关,降水量与草本物种均匀度指数($R^2=0.223, P=0.012$)、气温与草本物种均匀度指数($R^2=0.173, P=0.036$)、气温与草本物种丰富度指数($R^2=0.148, P=0.061$)呈二次函数关系(图 5)。虽然这些因子对物种多样性有显著影响,但 R^2 都比较小,说明解释程度都不是太高,但这些载荷量较高的环境因子大多与水分条件相关。由此可知,不同类型砒砂岩地区草本物种多样性主要受到水分的影响。



不同字母表示不同地形部位差异显著($\alpha=0.05$)

图 2 不同类型砒砂岩区、不同地形部位草本物种丰富度指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、均匀度指数

Fig.2 Species richness index, Shannon-wiener index, Simpson index and Evenness index of herbaceous species in different topographic locations of different arsenic sandstone areas

3 讨论

3.1 不同类型砒砂岩区不同地形部位对草本物种组成及多样性的影响

砒砂岩地区植被以人工林为主,但我们发现不

同类型砒砂岩区草本物种组成不同,优势物种也不同。造成不同类型砒砂岩区草本优势物种不同的原因可能是不同类型区的土壤类型不同,土壤的储水能力不同、土壤水分也不同,从而导致草本优势物种存在差异。有研究发现,砒砂岩草本植物有针茅、百里香、糙隐子草、狼毒、刺藜、阿尔泰狗娃花、

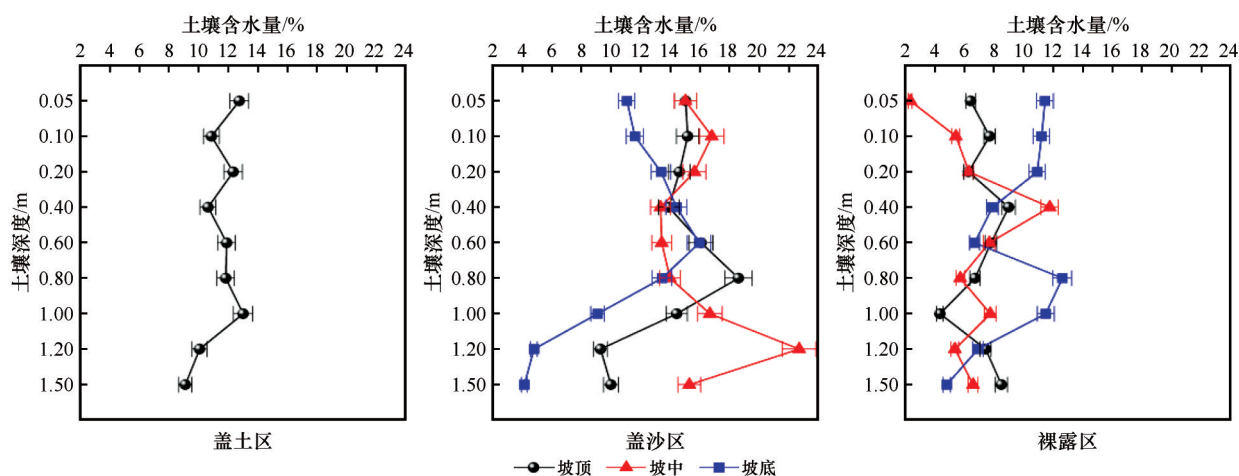
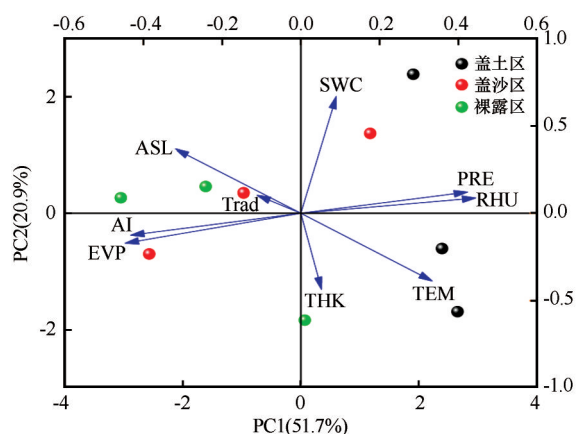


图3 不同类型砒砂岩区、不同地形部位土壤含水量

Fig.3 Soil water content in different topographic locations of different arsenic sandstone areas



EVP:年潜在蒸发量(mm); PRE:降水量(mm); RHU:相对湿度(%); TEM:气温(°C); Trad:坡度(°); ASL:海拔(m); THK:土层厚度(cm); SWC:1.5 m深土壤含水量(%); AI:干燥度指数

图4 不同类型砒砂岩区物种组成及多样性PCA得分图和载荷图

Fig.4 PCA score map and load map of species composition and diversity in different types of arsenic sandstone areas

猪毛菜、艾蒿等,同本研究结果基本一致,这与该地区独特的环境和气候类型相符^[15-16]。盖沙区和盖土区的相似性指数较高,盖沙区和裸露区的居中,盖土区和裸露区的较低。研究发现相似性指数的大小一般与两个区域的距离有关,如果两地越近,其相似性指数越大,而两个地点距离越小,则两地的环境因子就越相似,它们的相同物种类型就可能越多,物种的相似程度也会越大;反之,物种的相似指数就会越小^[17]。

本研究发现不同类型砒砂岩区草本物种多样性指数并没有显著差异,可能是由于3种类型砒砂岩区生境条件相近,因此物种多样性差异小,但裸

露区的草本物种盖度要低于盖土区和盖沙区,盖土区的草本物种盖度较高,是因为裸露区水土流失更加严重,受到的侵蚀程度大。砒砂岩区不同地形部位的草本物种盖度为坡中最低,坡底最高。有研究表明砒砂岩区坡顶和坡中的土壤侵蚀程度高于坡底^[18],这影响了不同部位的植物组成和多样性。根据分析发现砒砂岩不同部位的均匀度指数差异显著,其中坡顶草本物种的均匀度指数最高,坡底草本物种均匀度指数最低,这可能也与砒砂岩地区水土流失问题有关。不同地形部位由于相隔较近、高度差较小,所以各个部位的降雨、温度、湿度等环境因子比较一致,可能导致了不同地形部位的物种组成及多样性比较相似。

3.2 环境因子对砒砂岩草本物种组成及多样性的影响

对多种环境因子进行主成分分析表明,影响砒砂岩地区草本物种组成及多样性的重要因子主要有相对湿度、降水量、气温和土壤含水量,这些因子都与水分条件有关。地形因子对于物种组成及多样性的影响不明显,但有研究表明地形因子是间接的影响因子,其主要通过对降水、光照、温度、湿度的影响,从而间接影响到物种组成及多样性^[19]。通过对砒砂岩草本物种多样性与主成分分析载荷量较高环境因子关系进一步分析可知,相对湿度与均匀度指数显著正相关,空气湿度对植物的生存及生长都有着很大的影响,降水量的多少也会影响湿度,从而也可能对砒砂岩地区物种组成及多样性造成影响,年平均气温对物种组成的影响可能主要通

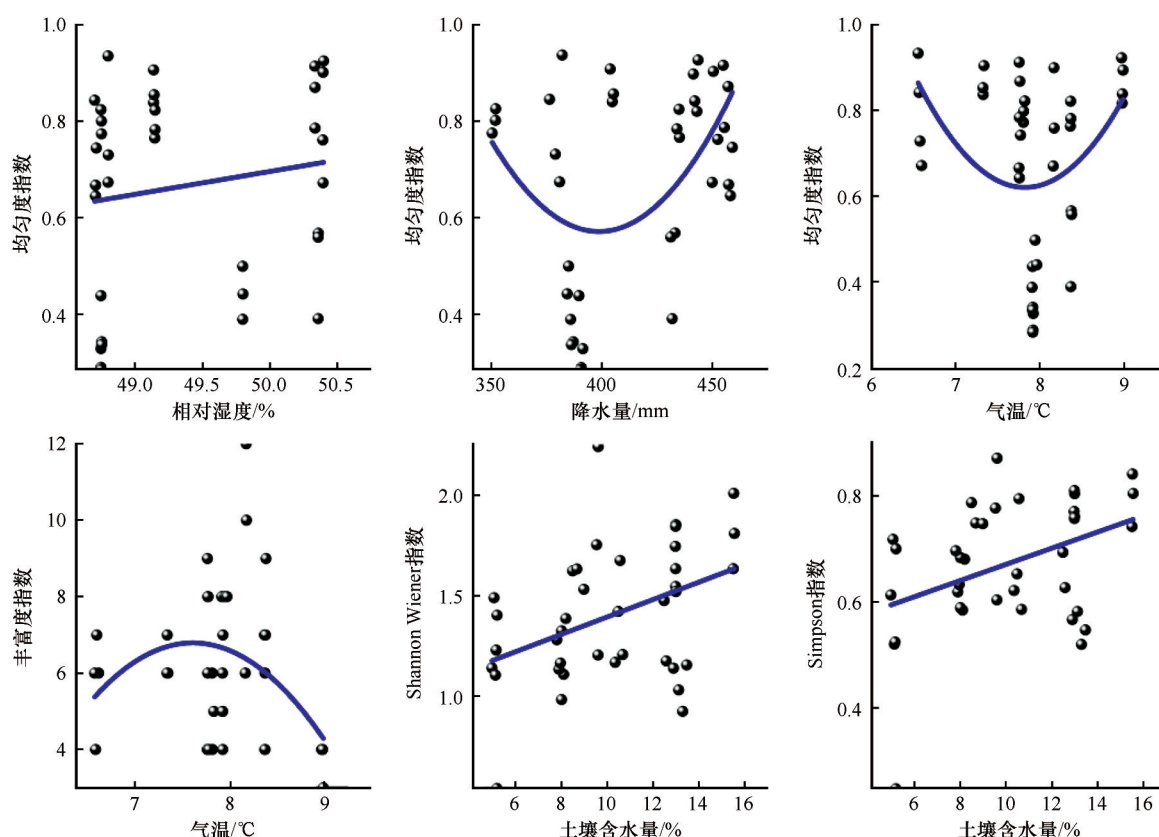


图5 砒砂岩区草本物种多样性与相对湿度、气温、降水量及土壤含水量的关系

Fig.5 The relationship between species diversity and relative humidity, temperature, precipitation and soil water content in arsenic sandstone areas

过影响植物物候而体现。土壤含水量同 Shannon-Wiener 指数呈显著正相关关系,土壤含水量对于草本物种多样性的增加起到促进作用^[20],与本文中分析结果一致。本研究发现土壤含水量是影响砒砂岩物种组成及多样性的重要因子,同前人研究一致,说明土壤水分是影响植物物种组成和多样性的关键因子^[21]。虽然相对湿度、气温、降水量和土壤含水量与物种组成及多样性有一定的相关关系,但由于距离较近导致生境条件相近,所以不同类型砒砂岩区、不同地形部位物种组成及多样性差异较小。

综上所述,不同类型砒砂岩区草本物种组成及优势物种均有差异,草本物种相似性指数也因距离远近不同而不同,草本物种盖度裸露区低于盖土区和盖沙区,不同地形部位草本物种盖度坡中最低,坡底最高。但由于3种类型砒砂岩区生境条件比较相近,所以草本物种多样性指数没有明显差异,而不同地形部位的均匀度指数差异显著。影响砒砂岩地区物种组成及多样性的主要因素是水分条件,一个地区的空气湿度、土壤水分、温度、降水都是决

定该区域水分条件的因子,因而也是影响一定区域物种组成及多样性的因素。水分条件决定了植物适合生长的地理位置,影响植物的分布。而在砒砂岩地区水是限制因子,所以明确砒砂岩地区水分条件和物种组成及多样性的关系,可以为该地植被恢复中物种的选择提供参考,有利于植被恢复的设计,从而提高植被恢复的效率^[22],同时本研究可以为砒砂岩区植被恢复提供近自然的植物空间配置模式,从而达到促进植被恢复的效果。因此,今后砒砂岩地区的植被恢复,都应该首先考虑水分条件和气象条件的影响。

参考文献:

- [1] 王立久,李长明,董晶亮.砒砂岩分布及岩性特征[J].人民黄河,2013,35(12):91-93.
- [2] 姚文艺,时明立,崔长江.黄河泥沙问题研究综述[J].黄河水利职业技术学院学报,2004(1):1-3.
- [3] 杨具瑞,方铎,毕慈芬,等.砒砂岩区小流域沟冻融风化侵蚀模型研究[J].中国地质灾害与防治学报,2003(2):89-95.
- [4] 王愿昌,吴永红,寇权,等.砒砂岩分布范围界定与类型区划分[J].中国水土保持科学,2007(1):14-18.

- [5] 范淑花. 鄂尔多斯盆地准格尔旗砒砂岩成岩及风化作用机制研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2019.
- [6] 秦富仓, 董晓宇, 郭月峰, 等. 砒砂岩区不同植被类型土壤崩解特征及其影响因素研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2022, 43(5): 61–70.
- [7] Spellerberg I F, Sawyer J W D. Standards for biodiversity: a proposal based on biodiversity standards for forest plantations [J]. *Biodiversity & Conservation*, 1996, 5(4): 447–459.
- [8] 袁勤, 崔向新, 蒙仲举. 砒砂岩区不同人工林林下草本层植物的结构特征[J]. 绿色科技, 2013(5): 47–50.
- [9] 孟庆辉. 朝阳地区草本植物区系组成及相似性分析[J]. 新农业, 2021(24): 7–8.
- [10] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法I α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994(4): 231–239.
- [11] 马克平. 生物群落多样性的测度方法I α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994(3): 162–168.
- [12] 白永飞, 李凌浩, 王其兵, 等. 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, 2000(6): 667–673.
- [13] Bai Y, Wu J, Clark C M, et al. Tradeoffs and thresholds in the effects of nitrogen addition on biodiversity and ecosystem functioning: evidence from inner Mongolia Grasslands [J]. *Global Change Biology*, 2010, 16(1): 358–372.
- [14] 胡一鸣, 梁健超, 金崑, 等. 喜马拉雅山哺乳动物物种多样性垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2018, 26(2): 191–201.
- [15] 孙成, 秦富仓, 包雪源, 等. 砒砂岩区人工油松林下草本植物的生态位特征[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 81–86.
- [16] 孙成, 秦富仓, 李龙, 等. 砒砂岩区不同立地类型人工油松林下草本种群生态位特征及其环境解释[J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3613–3623.
- [17] 于顺利, 陈灵芝, 张承军. 不同地点蒙古栎群落相似性的研究[J]. 植物学通报, 2000(6): 554–558.
- [18] 陈鹏, 张铁钢, 董智, 等. 不同灌草格局对砒砂岩区土壤剥蚀特征的影响[J]. 水土保持研究, 2021, 28(3): 13–18.
- [19] Fan J, Xu Y, Ge H, et al. Vegetation growth variation in relation to topography in Horqin Sandy Land [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 113: 106215.
- [20] 周国娜, 袁胜亮, 崔书文. 不同林分林下植被的多样性特征及生物量研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(18): 4052–4056.
- [21] 谭许脉, 张文, 肖纳, 等. 杉木林改造成乡土阔叶林对林下植物物种组成和多样性的影响[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2931–2942.
- [22] 程冬兵, 蔡崇法, 孙艳艳. 退化生态系统植被恢复理论与技术探讨[J]. 世界林业研究, 2006(5): 7–14.

Analysis of herbaceous species composition and diversity in the Ordos Arsenic Sandstone Areas

Han Gaoling^{1,2}, Huo Jianqiang^{1,2}, Zhao Yanqiao^{1,2}, Hu Rui¹, Zhang Zhishan¹,
Huang Rihui³, Xue Shuwen³

(1.Shapotou Desert Research and Experiment Station / Key Laboratory of Ecological Safety and Sustainable Development in Arid Lands, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.School of Geographical Sciences, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524036, Guangdong, China)

Abstract: In order to explore the species composition and diversity of herbaceous species in different types of arsenic sandstone areas and the impact of environmental factors on them, different types of arsenic sandstone areas were selected in the Inner Mongolia Ordos City, to investigate the species composition and diversity of herbaceous plant. The results showed that: The dominant herbaceous species was different in different types of arsenic sandstone areas. The soil-covered area was *Stipa capillata*, *Salsola tragus*, *Lespedeza bicolor*, *Tribulus terrestris*; the sand-covered area was *S. capillata*, *Setaria viridis*, *Artemisia argyi*; the bare area was *Chenopodium aristatum*. The similarity index of sand-covered area and bare area was 50.0%, those of sand-covered area and soil-covered area and soil-covered area and bare area were 63.6% and 39.1%. There was no significant difference in the diversity index of herbaceous species among different types of arsenic sandstone areas. The evenness index of different topographic sites was significantly different ($P=0.027$), which is significantly higher on the slope than on the middle and lower slopes. The results of principal component analysis showed that relative humidity, air temperature, precipitation and soil water content were the main environmental factors affecting species composition and diversity, relative humidity, air temperature and precipitation accounted for 42.4%, 44.5% and 33.4% of the first principal component respectively, and soil moisture accounted for 66.8% of the second principal component. Therefore, understanding the relationship between water conditions and species diversity is helpful for ecological restoration, construction of revegetation and control of soil erosion in arsenic sandstone areas. This study can provide a near-natural plant spatial allocation model for vegetation restoration in arsenic sandstone area, so as to promote the effect of ecological restoration.

Key words: arsenic sandstone; herbaceous plant; species composition; species diversity; water