

徐永武,韩高玲.库布齐沙漠和乌兰布和沙漠植被特征比较[J].中国沙漠,2026,46(4):48-58.

库布齐沙漠和乌兰布和沙漠植被特征比较

徐永武¹, 韩高玲²

(1. 甘肃省耕地质量建设保护总站, 甘肃 兰州 730020; 2. 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全国重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 库布齐沙漠与乌兰布和沙漠地处黄河“几字弯”南北两侧,是中国防沙治沙的主战场。植被在维持沙漠生态系统稳定、促进生物多样性及防风固沙中具有关键作用,人工植被建设是防治沙漠化的重要手段。本研究旨在通过对比库布齐沙漠与乌兰布和沙漠的人工植被区、天然植被区和流动沙区的植被特征,揭示两沙漠植被分异规律及其驱动机制。结果表明:库布齐沙漠草本群落表现出更高的物种多样性,木本盖度极显著高于乌兰布和沙漠($P=0.005$),乌兰布和沙漠的草本群落相对单一。环境因子分析显示,乌兰布和沙漠植被格局受土壤容重、气压、经度等因子主导,而库布齐沙漠则受土壤有机碳、纬度、气温等影响。人工植被建植后虽未完全达到天然植被群落水平,但显著提升了物种多样性和群落盖度,对遏制沙漠化具有积极作用。

关键词: 乌兰布和沙漠; 库布齐沙漠; 植被特征; 人工植被; 植被恢复

文章编号: 1000-694X(2026)04-048-11

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2025.00190

中图分类号: Q948

文献标志码: A

0 引言

沙漠化是全球公认的严峻生态环境问题,也是人类社会面临的重大挑战^[1]。中国受沙漠化影响严重,沙漠化问题对生态环境、经济社会发展及人类活动造成了深远的负面影响^[2-3]。中国现有沙漠化土地面积达168.9万 km^2 ,占国土总面积的17.6%,其中沙漠面积约为48.32万 km^2 ^[4]。多年来中国持续推进沙漠化治理,沙化土地的扩张速率有所减缓,面积逐步减少,但沙漠化威胁依然存在^[5-6]。因此,沙漠化防治研究仍具有极其重要的现实意义,并始终是中国生态环境研究领域的热点方向。我们的研究地点库布齐沙漠与乌兰布和沙漠地处黄河的南北两侧,是黄河“几字弯”攻坚战的主战场。

植被作为沙漠生态系统的重要组成部分,对维持生态稳定、促进生物多样性及防风固沙具有关键作用^[7]。人工植被建设是防治沙漠化的重要手段,固沙植物如梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)等,因具备生长快、耐旱、抗风蚀等特性,成为防

风固沙的主要选择^[8]。沙漠地区因气候干燥、降水稀少,植被类型及分布在不同生物气候带差异显著,灌木和半灌木因耐旱能力强,在群落稳定性中起核心作用^[7]。不同沙地类型(流动、半固定、固定)的物种丰富度与多样性各异,半固定沙地多样性最高,流动沙地最低^[9]。在天然与人工植被对比研究中,多样性表现存在争议,部分研究显示天然植被多样性较高,而人工植被在特定条件下亦可表现良好^[10]。因此,针对不同沙漠类型科学选择植被配置,对实现防风固沙与生态恢复至关重要。本研究旨在通过对比这两大沙漠的人工植被区、天然植被区和流动沙区的植被特征,分析造成这两大沙漠植被差异的原因,揭示两大沙漠植被的分异规律及其驱动机制,为区域差异化生态治理提供理论支撑和实践指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于乌兰布和沙漠和库布齐沙漠。乌兰布和沙漠位于黄河中游内蒙古自治区境内,面积

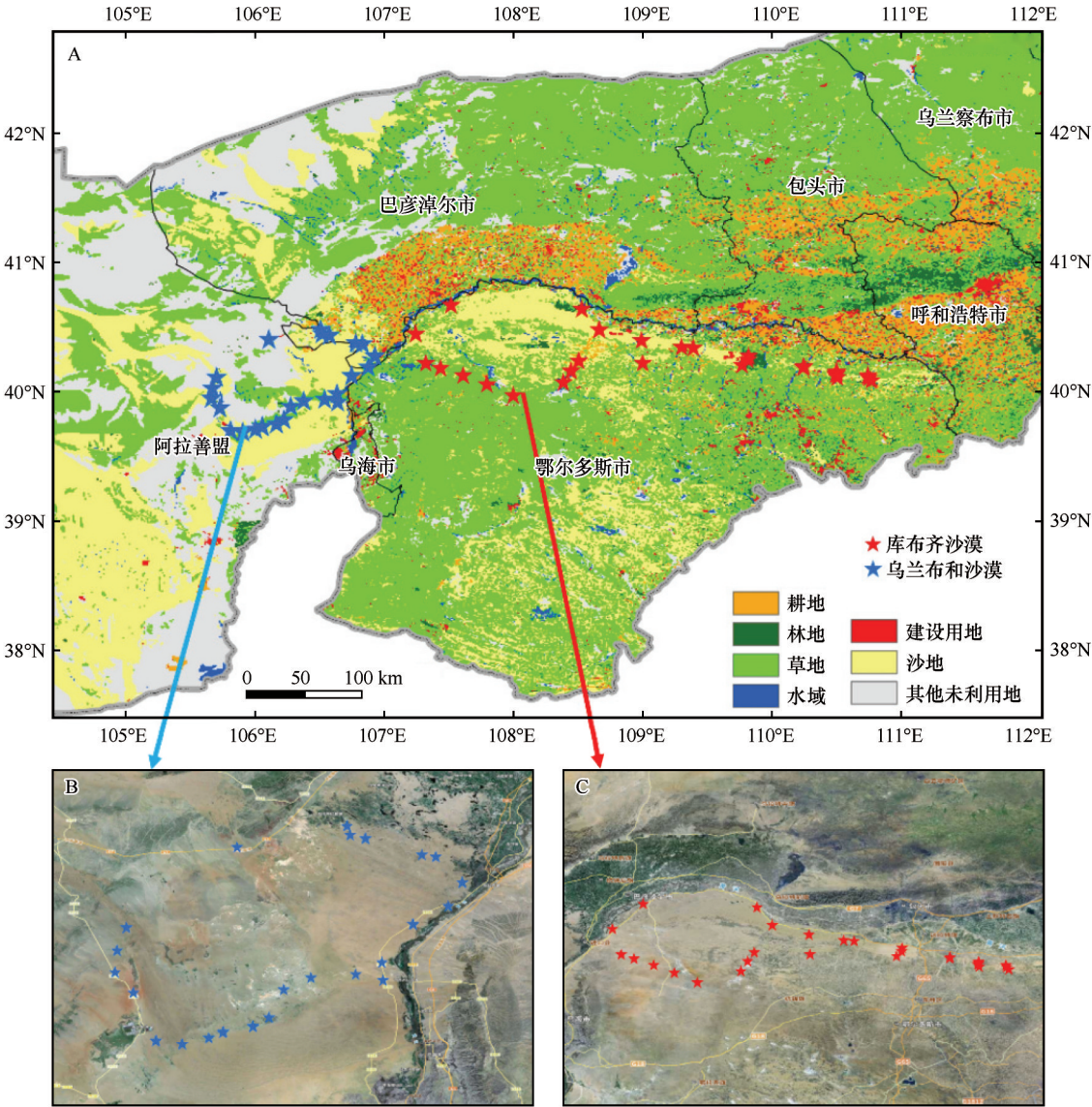
收稿日期:2025-09-27; 改回日期:2025-11-23

资助项目:国家重点研发计划课题(2024YFF1306903);国家自然科学基金联合基金项目(U23A20223)

作者简介:徐永武(1967—),男,甘肃景泰人,工程师,研究方向为土壤培肥和盐碱地改良。E-mail: 229527217@qq.com

通信作者:韩高玲(E-mail: 2674423907@qq.com)

约为 1.0 万 km²^[11-12]。属于温带半干旱到干旱气候的过渡地带,年降水量 90~215 mm,集中在 6—9 月,年蒸发量 2 110~2 995 mm,年平均气温 3.9~9.5 ℃。库布齐沙漠位于黄河以南的鄂尔多斯高原北部边缘,沙漠的东、西、北三面与黄河相邻,沙漠总面积约 1.41 万 km²。属于中温带干旱和半干旱地区,气候类型为中温带大陆性气候,年均气温 6~7.5 ℃,多年平均降水量仅为 249 mm,年蒸发量 2 100~2 700 mm(图 1)。



注:基于自然资源部标准地图服务网站审图号 GS(2024)0650 号标准地图制作,底图边界无修改

图 1 研究区概况

Fig.1 Location of the study area

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查

2022 年和 2023 年 7—8 月进行了样地设置及调查,乌兰布和沙漠设置了 24 个调查点。一条以东西向穿沙公路从吉兰泰到乌海为主线,布设调查点 10 个;另一条线路从吉兰泰途经磴口,然后到达乌海,设置了 14 个调查点。库布齐沙漠沿兴巴高速从东

到西为主线,设置南北横穿支线。南北支线分为东、中、西部 3 个区域,东部设置了 11 个调查点、中部设置了 7 个调查点、西部设置了 12 个调查点。每个调查点设置 10 m×10 m 的 6 个人工+3 个流沙+3 个天然木本植被样方,在没有人工植被和流沙太远的调查点只设置天然植被样方;然后在每个木本植被样方内设置 1 个 0.5 m×0.5 m 的草本样方,总共设置了 284 个木本样方、284 个草本样方。

在每个木本植物样方中,调查所有木本植物的物种种类、数量及盖度,针对每个物种,在样方内选取5株代表性个体,分别测量其株高、冠幅和地径(若为乔木,则测量胸径)。在草本植物样方中,调查所有草本植物的物种种类、数量及盖度,针对每个物种,在样方内选取3株代表性个体,测量其株高,然后剪掉草本样方内地上部分装进信封袋中,带回实验室烘干后测量地上部分草本生物量。在样地调查时用GPS获得每个样点的经纬度及海拔数据。基于样地经纬度坐标,通过ArcGIS Desktop 10.8软件从中国气象要素空间插值数据集中提取了当地气象数据(中国气象要素平均值空间插值数据集: [https://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx? DOIID=39](https://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIID=39))。所获取的气象数据包括年蒸发量、年均地温、年降水量、年均气压、年均相对湿度、年日照时数、年均气温和年均风速等。

在每个木本样方中心,采用土钻采集0~1.5 m不同土层(0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5 m)的土壤样品,通过烘干法测定各层土壤质量含水量;同时利用环刀法采集表层土壤测定其容重与饱和含水量。此外,对各调查点0~20 cm土层进行分层混合取样,风干过筛后,采用湿筛-吸管法测定土壤机械组成;并运用标准分析方法系统测定了土壤有机碳(外加热-重铬酸钾法)、总碳(元素分析法)、全氮(半微量开氏法)、全磷(氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法)、pH值(电位法)及电导率(电导仪法)等关键化学指标^[13]。

1.2.2 数据分析

在植被调查过程中统计出不同沙漠草本及木本物种的组成,对科、属、种情况进行统计分析。计算不同沙漠的草本及木本物种相似性指数 Sørensen 系数,对不同沙漠草本及木本物种差异性进行分析^[14-15]。

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

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及木本物种的种类、盖度、多度计算出物种丰富度(R)、Shannon-Wiener 指数(H')、Simpson 指数(D)^[16]:

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

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

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (4)$$

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 =(相对多度+相对盖度+相对频度)/3。

为了对比分析乌兰布和沙漠和库布齐沙漠的植被特征有何差异,并分析造成两个沙漠植被特征有这种差异的原因。对不同沙漠不同植物群落类型草本及木本差异性进行统计分析。在植被特征的对比分析中,采用裂区试验设计的二因素方差分析(Two-Way ANOVA)法进行分析,主因子为不同沙漠,副因子为不同群落类型(天然、人工、流沙),采用LSD法进行多重比较($\alpha=0.05$)。

为了对比人工植被建立后乌兰布和沙漠和库布齐沙漠植被的变化情况,根据样方调查的草本及木本指标,计算出两个沙漠不同群落类型的植被指标(人工/天然、人工/流沙)的效应值($\ln RR$)^[17],从而反映人工植被建立后植被指标的响应:

$$\ln RR = \ln(X_i/X_c) = \ln(X_i) - \ln(X_c) \quad (5)$$

式中: X_i 代表人工植被群落的植被指标; X_c 代表天然植被群落及流动沙区的植被指标。

本文中两个沙漠植被对比分析使用Excel 2010和IBM SPSS Statistics 26软件,使用Excel 2010和Origin Pro 2021作图表,环境因素对植被特征的影响分析用冗余分析(RDA),冗余分析及排序图均在Canoco5软件中完成。

2 结果与分析

2.1 乌兰布和沙漠和库布齐沙漠植被特征

两个沙漠的草本物种组成存在明显差异(表1)。在物种多样性方面,库布齐沙漠(11科、31属、33种)高于乌兰布和沙漠(6科、17属、18种)。在群落结构上,两地具有共同特征:苋科和禾本科均为优势科,出现频率均高于34%。然而,优势物种不同,乌兰布和沙漠的高频物种(>10%)为沙米、沙竹等6种,而库布齐沙漠为虫实(59.5%)、稗草、沙蓬等8种。群落相似性分析显示,两地草本区系同源性较高,相似性指数为62.8%,共有种达16种。从物种组成来看,乌兰布和沙漠的物种基本包含于库布齐沙漠中,仅芦苇和黄芪为其特有种。综上,库布齐沙漠的草本群落表现出更高的物种多样性,而乌兰布和沙漠的草本群落则相对单一。

表 1 乌兰布和沙漠与库布齐沙漠草本物种组成及出现的频率

Table 1 Composition and frequency of herbaceous species in Ulan Buh Desert and Kubuqi Desert

物种	拉丁名	科	属	频率/%	
				乌兰布和沙漠	库布齐沙漠
沙蓬	<i>Agriophyllum squarrosum</i>	苋科	沙蓬属	29.29	24.86
沙竹	<i>Psammochloa villosa</i>	禾本科	沙鞭属	20.20	9.73
雾冰藜	<i>Bassia dasyphylla</i>	苋科	雾冰藜属	16.16	10.81
猪毛菜	<i>Salsola collina</i>	苋科	猪毛菜属	13.13	2.16
芦苇	<i>Phragmites australis</i>	禾本科	芦苇属	12.12	—
针茅	<i>Stipa capillata</i>	禾本科	针茅属	12.12	7.03
骆驼蓬	<i>Peganum harmala</i>	白刺科	骆驼蓬属	8.08	2.16
狗尾草	<i>Setaria viridis</i>	禾本科	狗尾草属	7.07	22.70
蒺藜	<i>Tribulus terrestris</i>	蒺藜科	蒺藜属	6.06	6.49
刺蓬	<i>Salsola tragus</i>	苋科	猪毛菜属	6.06	17.30
虫实	<i>Corispermum declinatum</i>	苋科	虫实属	5.05	59.46
画眉草	<i>Eragrostis pilosa</i>	禾本科	画眉草属	3.03	10.27
芨芨草	<i>Neotrinia splendens</i>	禾本科	芨芨草属	2.02	1.08
砂蓝刺头	<i>Echinops gmelinii</i>	菊科	蓝刺头属	2.02	2.70
虎尾草	<i>Chloris virgata</i>	禾本科	虎尾草属	2.02	0.54
糙隐子草	<i>Cleistogenes squarrosa</i>	禾本科	隐子草属	1.01	9.73
黄芪	<i>Astragalus membranaceus</i>	豆科	黄芪属	1.01	—
蓼子朴	<i>Inula salsoloides</i>	菊科	旋覆花属	1.01	0.54
稗草	<i>Echinochloa crusgalli</i>	禾本科	稗属	—	25.41
冷蒿	<i>Artemisia frigida</i>	菊科	蒿属	—	10.27
刺藜	<i>Dysphania aristata</i>	苋科	刺藜属	—	6.49
地锦	<i>Euphorbia humifusa</i>	大戟科	地锦属	—	8.65
茵陈蒿	<i>Artemisia capillaris</i>	菊科	蒿属	—	4.32
藜	<i>Chenopodium album</i>	苋科	藜属	—	3.78
冰草	<i>Agropyron cristatum</i>	禾本科	冰草属	—	3.78
地梢瓜	<i>Vincetoxicum mongolicum</i>	夹竹桃科	鹅绒藤属	—	2.16
唐松草	<i>Thalictrum petaloideum</i>	毛茛科	唐松草属	—	1.62
砂引草	<i>Tournefortia sibirica</i>	紫草科	紫丹属	—	1.62
苦豆子	<i>Sophora alopecuroides</i>	豆科	苦参属	—	1.62
烟豆	<i>Glycine tabacina</i>	豆科	大豆属	—	1.08
飞廉	<i>Carduus crispus</i>	菊科	飞廉属	—	1.08
苦苣菜	<i>Sonchus oleraceus</i>	菊科	苦苣菜属	—	0.54
鹤虱草	<i>Carpesium abrotanoides</i>	菊科	鹤虱属	—	0.54
甘草	<i>Glycyrrhiza uralensis</i>	豆科	甘草属	—	0.54
百花蒿	<i>Stilpnolepis centiflora</i>	菊科	百花蒿属	—	0.54

两个沙漠的木本植物物种组成与多样性存在差异(表2)。库布齐沙漠的木本物种多样性(12科、21属、26种)明显高于乌兰布和沙漠(9科、13属、13种)。两地的优势科有所不同:乌兰布和沙漠以苋科、菊科和白刺科为主,而库布齐沙漠则以豆科、菊科和杨柳科为主,其中豆科频率最高。油蒿是两地的共优种,尤其在库布齐沙漠中占据绝对优势(频率74.1%)。乌兰布和沙漠的梭梭、白刺和库布齐沙漠的羊柴,为各自区域的重要伴生优势种(频率>30%)。群落相似性分析显示,两地木本区系相似性指数为46.2%,共有种9种。乌兰布和沙漠拥有沙冬青、盐爪爪等4个特有种,而其他木本物种均为两

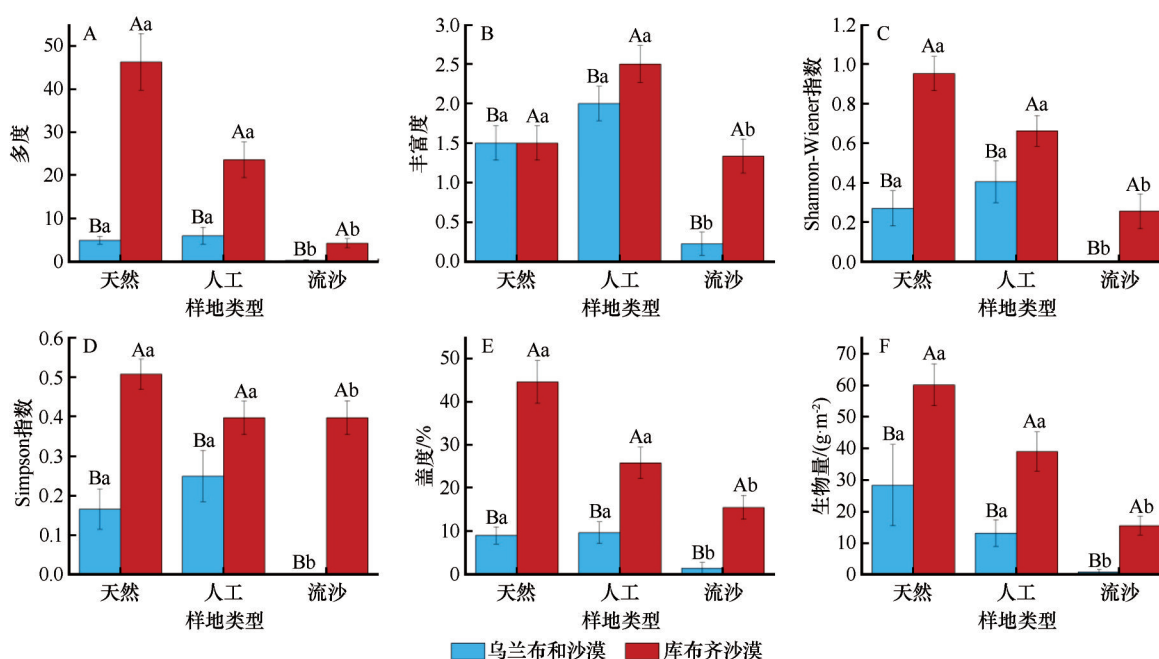
表2 乌兰布和沙漠与库布齐沙漠木本植物物种组成及出现的频率
Table 2 Composition and frequency of woody plant species in Ulan Buh Desert and Kubuqi Desert

物种	拉丁名	科	属	频率/%	
				乌兰布和沙漠	库布齐沙漠
油蒿	<i>Artemisia ordosica</i>	菊科	蒿属	44.44	74.05
梭梭	<i>Haloxylon ammodendron</i>	苋科	梭梭属	38.38	3.24
白刺	<i>Nitraria tangutorum</i>	白刺科	白刺属	36.36	3.24
霸王	<i>Zygophyllum xanthoxylum</i>	蒺藜科	骆驼刺属	14.14	3.24
柠条	<i>Caragana korshinskii</i>	豆科	锦鸡儿属	13.13	18.92
沙冬青	<i>Ammopiptanthus mongolicus</i>	豆科	沙冬青属	12.12	—
红砂	<i>Reaumuria songarica</i>	柽柳科	红砂属	11.11	3.24
盐爪爪	<i>Kalidium foliatum</i>	苋科	盐爪爪属	9.09	—
花棒	<i>Hedysarum scoparium</i>	豆科	岩黄耆属	8.08	12.43
珍珠柴	<i>Caroxylon passerinum</i>	苋科	珍珠柴属	3.03	—
鹰爪柴	<i>Convolvulus gortschakovii</i>	旋花科	旋花属	3.03	—
沙拐枣	<i>Calligonum mongolicum</i>	蓼科	沙拐枣属	2.02	2.16
沙柳	<i>Salix cheilophila</i>	杨柳科	柳属	1.01	21.08
羊柴	<i>Hedysarum fruticosum</i>	豆科	羊柴属	—	31.89
杨树	<i>Populus</i>	杨柳科	杨属	—	12.43
矮脚锦鸡儿	<i>Caragana brachypoda</i>	豆科	锦鸡儿属	—	7.57
猫头刺	<i>Oxytropis aciphylla</i>	豆科	棘豆属	—	6.49
沙木蓼	<i>Atraphaxis bracteata</i>	蓼科	木蓼属	—	6.49
驼绒藜	<i>Krascheninnikovia ceratoides</i>	苋科	驼绒藜属	—	3.24
藏锦鸡儿	<i>Caragana tibetica</i>	豆科	锦鸡儿属	—	3.24
新疆杨	<i>Populus alba</i>	杨柳科	杨属	—	2.70
紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i>	豆科	紫穗槐属	—	2.16
柽柳	<i>Tamarix ramosissima</i>	柽柳科	柽柳属	—	1.62
沙棘	<i>Hippophae rhamnoides</i>	胡颓子科	沙棘属	—	1.08
柏树	<i>Cupressus funebris</i>	柏科	柏木属	—	1.08
四合木	<i>Tetraena mongolica</i>	蒺藜科	四合木属	—	1.08
小叶锦鸡儿	<i>Caragana microphylla</i>	豆科	锦鸡儿属	—	0.54
狭叶锦鸡儿	<i>Caragana stenophylla</i>	豆科	锦鸡儿属	—	0.54
松叶猪毛菜	<i>Salsola laricifolia</i>	藜科	猪毛菜属	—	0.54
蒙古莢	<i>Caryopteris mongholica</i>	唇形科	莢属	—	0.54

地共有。综上所述,库布齐沙漠木本群落的物种多样性更高,而乌兰布和沙漠则较低,并拥有独特的物种组成。

采用裂区试验设计二因素方差分析发现,乌兰布和沙漠草本物种多度、丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数、盖度及生物量均显著低于后者

($P<0.05$)。在不同植被类型中,天然植被群落在多度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数、盖度与生物量方面表现最优,而人工植被群落在丰富度方面占优。两个沙漠天然与人工植被群落间各项指标差异均不显著($P>0.05$),但二者与流动沙区之间的差异普遍显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$,图2)。



注:图中值为平均值±标准误差(SE),不同大写字母表示不同沙漠差异显著,不同小写字母表示不同植被类型差异显著($\alpha=0.05$)

图2 不同沙漠、不同植被类型草本物种多度(A)、丰富度(B)、Shannon-Wiener指数(C)、Simpson指数(D)、盖度(E)、生物量(F)

Fig.2 Species abundance (A), richness (B), Shannon-Wiener Index (C), Simpson Index (D), coverage (E) and biomass (F) of herbaceous species in different desert and vegetation types

采用裂区试验设计二因素方差分析发现,两个沙漠在木本物种多度、丰富度、Shannon-Wiener指数及Simpson指数方面均无显著差异($P>0.05$),但木本物种盖度差异极显著($P=0.005$),其中乌兰布和沙漠的盖度显著低于库布齐沙漠。在不同植被类型中,天然植被群落的木本物种多度最高,平均值为 75.2 ± 12.4 ;而人工植被群落在丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数及盖度方面均表现最优,其中盖度平均值为 $22.3\%\pm3.08\%$ 。两个沙漠天然与人工植被群落间各指标差异不显著($P>0.05$),但二者与流动沙区之间的差异普遍显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$,图3)。

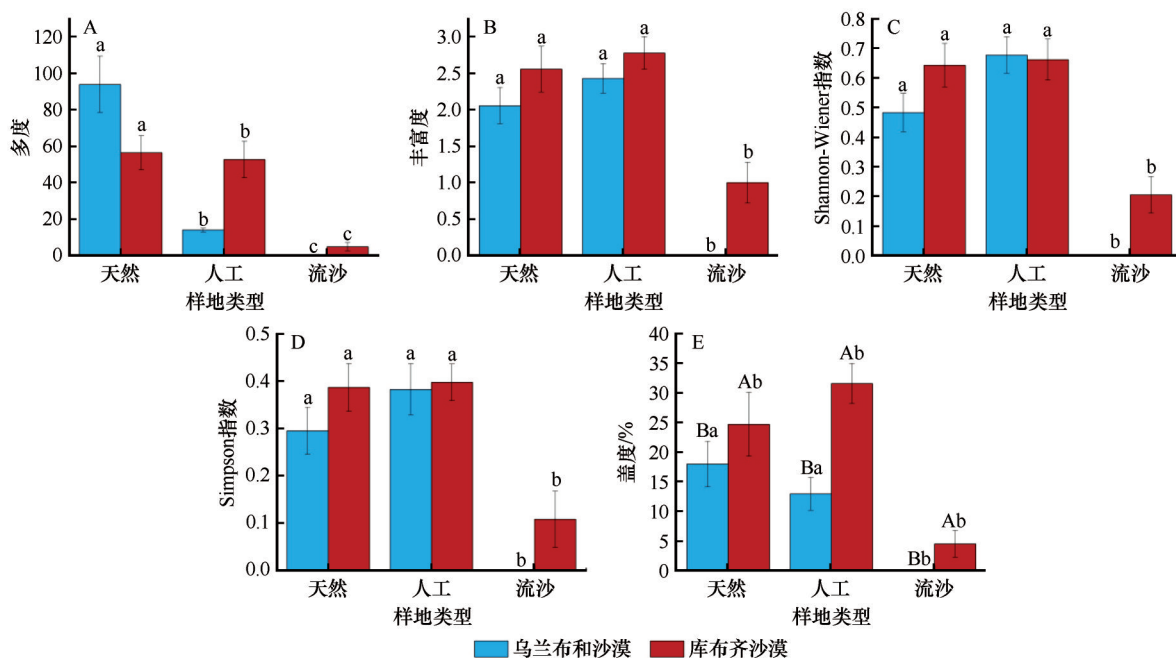
2.2 乌兰布和沙漠和库布齐沙漠植被指标效应值

为了对比两个沙漠建植人工植被后植被的恢复情况,对效应值分析发现,在乌兰布和沙漠,人

工植被群落与天然植被群落相比,草本多度、丰富度及Shannon-Wiener指数显著提升,但草本生物量与木本丰富度却显著降低。然而,与流动沙区相比,人工植被种植后草本多度、丰富度、盖度及生物量均得到极显著提升。在库布齐沙漠,人工植被群落与天然植被群落相比,草本多度、丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数、盖度及生物量均出现显著下降,唯独木本多度显著增加。与流动沙区相比,草本多度、丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数以及木本多度、丰富度均显著提高(图4)。

2.3 乌兰布和沙漠和库布齐沙漠植被特征与环境因子的关系

为阐明两沙漠植被格局的驱动因素,本研究采用冗余分析(RDA)定量解析植被与环境的关系。



注:图中值为平均值±标准误差(SE),不同大写字母表示不同沙漠差异显著,不同小写字母表示不同植被类型差异显著($\alpha=0.05$)

图3 不同沙漠、不同植被类型木本物种多度(A)、丰富度(B)、Shannon-Wiener指数(C)、Simpson指数(D)、盖度(E)

Fig.3 Species abundance (A), richness (B), Shannon-Wiener Index (C), Simpson Index (D) and coverage (E) of woody species in different desert and vegetation types

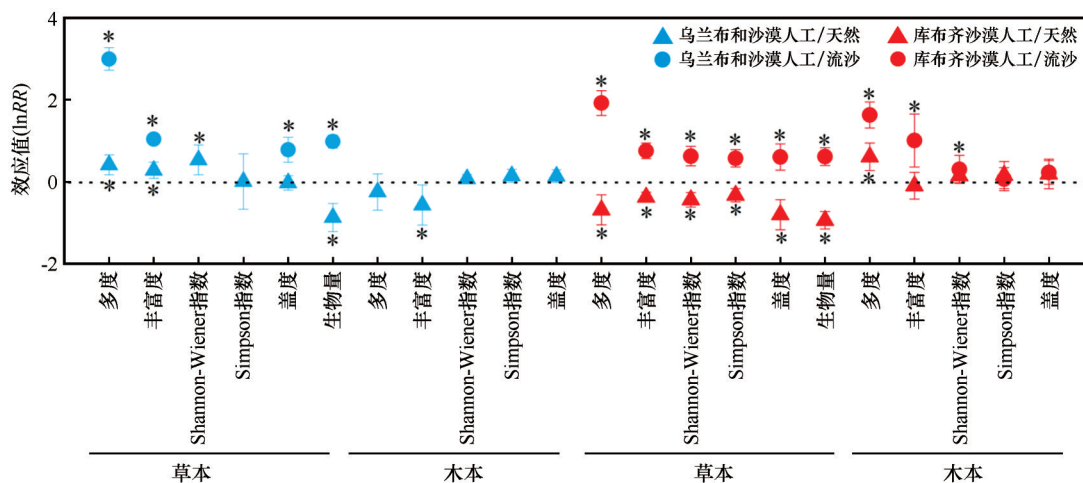


图4 乌兰布和沙漠和库布齐沙漠植被指标的效应值

Fig.4 The effect values of vegetation indicators in the Ulan Buh Desert and the Kubuqi Desert

结果表明,两沙漠的驱动因子存在显著差异:乌兰布和沙漠的植被变异主要受土壤容重、年平均气压、经度及气候因子(气温、湿度)影响,其前两排序轴共解释65.60%的总变异。库布齐沙漠的植被变异则主要由土壤有机碳含量、纬度、年平均气温和土壤电导率驱动,前两排序轴共解释45.41%的总变异(图5)。

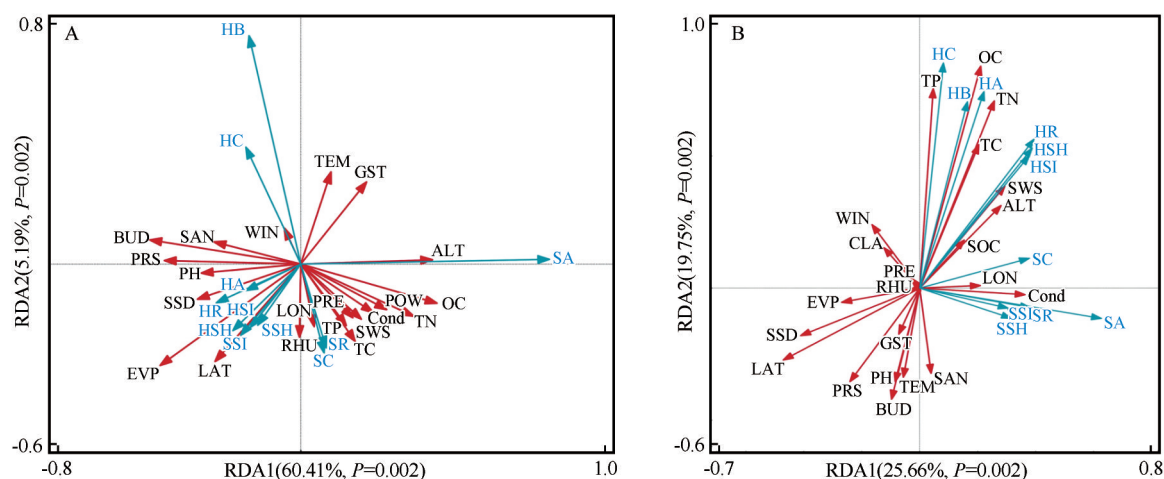
相关性分析显示,土壤有机碳含量与草本多度、盖度呈显著正相关,年平均气温、气压、降水量、

相对湿度和经度也与草本指标普遍呈正相关关系(图6)。

3 讨论

3.1 乌兰布和沙漠和库布齐沙漠植被特征差异

乌兰布和沙漠与库布齐沙漠在人工与天然植被类型上存在显著差异,具体表现在人工木本种类、草本组成及优势种不同。这种差异主要源于两



注: LON为经度; LAT为纬度; ALT为海拔(m); EVP为年蒸发量(mm); GST为年平均地温($^{\circ}\text{C}$); PRE为年降水量(mm); PRS为年平均气压(hPa); RHU为年平均相对湿度(%); SSD为年日照时数(h); TEM为年平均气温($^{\circ}\text{C}$); WIN为年平均风速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); SOC为土壤有机碳(%); OC为有机碳($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); TN为总氮($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); TC为总碳($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); TP为全磷($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); Cond为电导率($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); SAN为砂粒(%); POW为粉粒(%); CLA为黏粒(%); BUD为容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); SWS为土壤饱和含水量(%); HA为草本多度; HR为草本丰富度; HSH为草本Shannon-Wiener指数; HSI为草本Simpson指数; HC为草本盖度(%); HB为草本生物量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$); SA为木本多度; SR为木本丰富度; SSH为木本Shannon-Wiener指数; SSI为木本Simpson指数; SC为木本盖度(%)

图5 乌兰布和沙漠(A)与库布齐沙漠(B)植被特征与环境因子的冗余分析

Fig.5 Redundancy analysis(RDA) of vegetation characteristics and environmental factors in Ulan Buh Desert (A) and Kubuqi Desert (B)

地地理位置和气象条件所导致的土壤理化性质及水分状况的差异,进而影响植被分布格局。已有研究指出,乌兰布和沙漠草本以菊科、禾本科和藜科为主,木本以梭梭、白刺、盐爪爪等为优势种,适应其干旱气候^[18-19]。本研究也发现该区草本以禾本科、藜科为主,木本中油蒿、梭梭、白刺等出现频率较高。库布齐沙漠则以多年生禾本科为优势,不同区域建群种有所不同,如狭叶锦鸡儿、红砂、油蒿等^[20-21]。本研究同样发现其草本中禾本科占比最高,木本豆科比例较高,常见种有油蒿、柠条、沙柳等。两沙漠物种组成差异主要由其各自的环境与气候条件所决定。

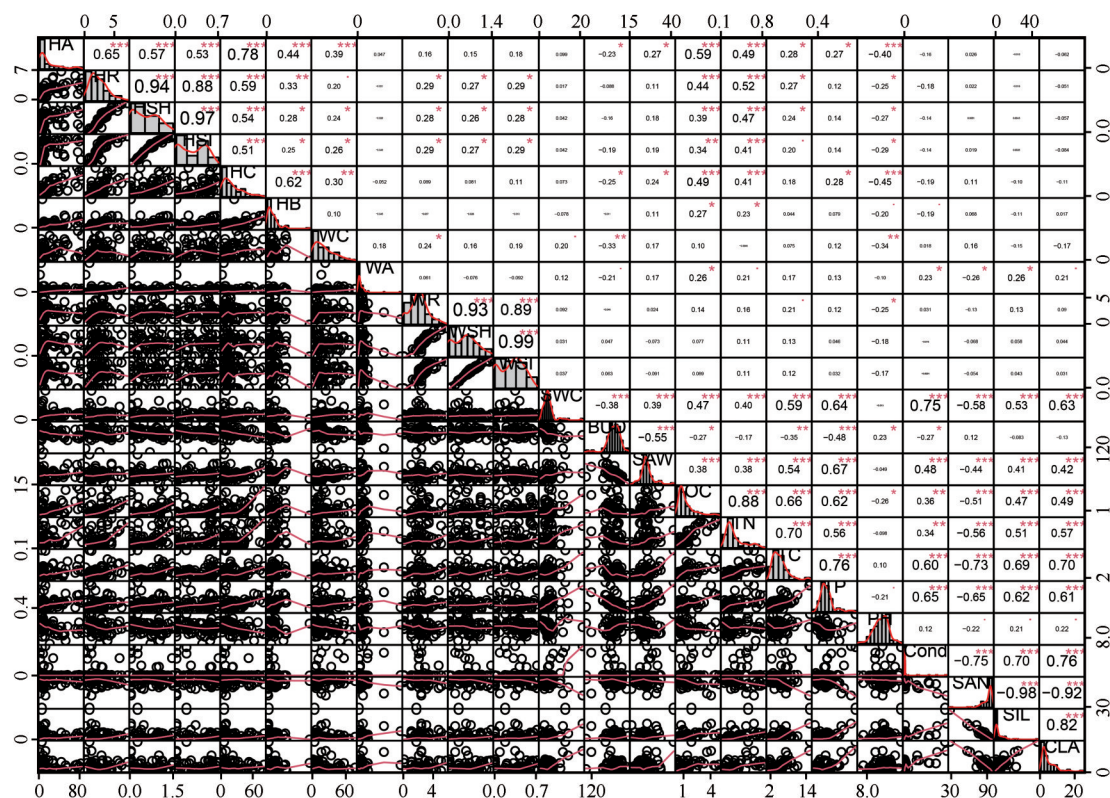
乌兰布和沙漠与库布齐沙漠的草本物种相似性指数(62.8%)高于木本,这与两区环境条件相对一致有关^[22]。草本相似性较高可能源于其自然生长特性,而木本相似性较低可能与人工灌木引入的干扰有关。此外,两沙漠在草本多样性、盖度、生物量及木本盖度上差异极显著,但木本多样性无显著差异,这可能因草本对环境变化和种间竞争更为敏感^[23],而木本抗逆性强、适应性稳定。物种多样性随演替上升,在固定沙丘阶段达峰值^[21,24]。整体上,乌兰布和沙漠物种多样性、丰富度、多度、盖度和生物量指标普遍低于库布齐沙漠,可能与其水分条件

差、土壤及地形水文不利有关。

3.2 乌兰布和沙漠与库布齐沙漠植被及土壤指标效应值

人工植被的引入对两沙漠植被特征的影响也有所不同。在乌兰布和沙漠,人工植被与天然植被相比,草本多度、丰富度和Shannon-Wiener指数显著增加,但草本生物量、木本丰富度及深层与浅层土壤含水量显著减小,可能是由于人工木本植被为草本植物提供了更多生境和资源,促进了其生长和繁殖^[25-26],但同时竞争了土壤养分和水分,限制了草本生物量并减少了木本丰富度。在库布齐沙漠,人工植被与天然植被相比,草本多度、丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数、盖度及生物量均显著降低,而木本多度显著增加,可能因人工木本植被增加了木本多度,但竞争了草本的养分和水分资源^[27]。与流动沙区相比,两个沙漠的人工植被均使草本多度、丰富度、盖度及生物量显著增加,说明人工植被通过改善土壤结构、提高肥力和减少风沙侵蚀,有效促进了生态系统恢复^[28-29]。

尽管人工植被群落在物种多样性和群落盖度方面尚未达到天然植被群落的水平;但与流动沙区相比,人工植被的建植在两个沙漠均显著促进了植



注: LON为经度; LAT为纬度; PRE为年降水量(mm); PRS为年平均气压(hPa); RHU为年平均相对湿度(%); TEM为年平均气温($^{\circ}\text{C}$); OC为有机碳($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); Cond为电导率($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); BUD为容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); HA为草本多度; HR为草本丰富度; HSH为草本Shannon-Wiener指数; HSI为草本Simpson指数; HC为草本盖度(%); HB为草本生物量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$); SA为木本多度; SR为木本丰富度; SSH为木本Shannon-Wiener指数; SSI为木本Simpson指数; SC为木本盖度(%)

图6 乌兰布和沙漠与库布齐沙漠植被特征与环境因子的相关系数矩阵热图

Fig.6 Correlation coefficient matrix heatmap of vegetation characteristics and environmental factors in Ulan Buh Desert and Kubuqi Desert

被的恢复进程,有效提升了物种多样性和群落盖度。这表明人工植被建植在遏制沙漠化、改善区域植被状况方面发挥了显著且积极的作用。

3.3 基于植被差异与环境关系的区域生态恢复策略

两沙漠植被变异的主要驱动因子存在明显差异,乌兰布和沙漠植被格局受土壤容重、气压、经度等因子主导,而库布齐沙漠则受土壤有机碳、纬度、气温等影响。这可能是由于土壤有机碳通过提升土壤肥力与保水能力,显著促进了草本植被的生长,与干旱区生态恢复的普遍规律相符。同时,气温、湿度及降水梯度(经度)等气候因子通过延长生长期共同驱动了植被格局^[30],而乌兰布和沙漠特有的高土壤容重可能通过限制根系发育成为影响植被分布的关键制约因素。

空气湿度与降水量共同影响沙漠地区物种组成及多样性,年平均气温则主要通过影响植物物候

间接作用于物种组成。土壤中丰富的全氮和有机碳含量有助于促进植物生长和生产力,提高物种多样性^[31],这与本研究中土壤有机碳含量与草本多度及生物量呈正相关的结果相符。年平均气温、年降水量、年平均相对湿度、经度及年平均气压与草本指标的正相关关系,共同反映了水热条件对于干旱区植被格局的决定性作用。其中,气温、降水和湿度可能是通过延长生长期和缓解水分胁迫促进植物生长^[32-33];经度则作为关键的空间梯度变量,指示了自西向东递增的水分格局;而年平均气压可能与有利的水汽输送条件相关。

4 结论

乌兰布和沙漠与库布齐沙漠在物种组成、物种多样性、植被生产力上存在显著分异。库布齐沙漠整体植被与土壤状况优于乌兰布和沙漠。乌兰布和沙漠植被格局受土壤容重、气压、经度等因子主

导,而库布齐沙漠则受土壤有机碳、纬度、气温等影响。研究结果强调了在未来恢复策略应因地制宜:在水肥条件较好区域优先选用高耗水、高生物量物种以提升生态服务功能;在干旱贫瘠区域则应选育耐旱、高效资源利用的深根系灌木或多年生草本,并适当降低种植密度,以增强系统稳定性。这种基于环境异质性的分区恢复策略,有助于提升恢复效率与生态系统长期稳定性,为区域生态可持续发展提供支撑。

参考文献:

- [1] 张建香,张多勇,刘万锋,等.基于ESAI的黄土高原荒漠化风险评估[J].水土保持通报,2017,37(2):339-344.
- [2] 王涛,蒙仲举,党晓宏,等.库布齐沙漠典型防护林土壤养分特征[J].水土保持学报,2022,36(1):325-331.
- [3] 胡光印,董治宝,逯军峰,等.黄河流域沙漠化空间格局与成因[J].中国沙漠,2021,41(4):213-224.
- [4] 我国荒漠化、沙化、石漠化面积持续缩减[J].中国环境监察,2021(6):8.
- [5] 李青梅.我国土地荒漠化现状与防治对策[J].现代园艺,2016(10):142.
- [6] Wang T, Zhu Z, Wei W. Sandy desertification in the north of China [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2002 (45):23-34.
- [7] 李得禄,马全林,张锦春,等.腾格里沙漠植被特征[J].中国沙漠,2020,40(4):223-233.
- [8] 陈思航.沙漠地区防风固沙植物的研究[J].种子科技,2020,38(15):34-35.
- [9] 聂素梅,高丽,闫志坚.库布齐沙漠植被特征与土壤营养状况的研究[J].草业科学,2010,27(8):23-28.
- [10] Wani N-R, Mughal A H. Studies on vegetation analysis of the afforested bank of Manasbal Lake, Kahmir-India [J]. Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology, 2012, 16(2):35-38.
- [11] 丁国栋.沙漠学概论[M].北京:中国林业出版社,2002.
- [12] 王涛,吴薇,薛娴,等.中国北方沙漠化土地时空演变分析[J].中国沙漠,2003,23(3):24-29.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978:28-42.
- [14] 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.
- [15] Whittaker R-H. Evolution and measurement of species diversity [J]. Taxon, 1972, 21(2/3):213-251.
- [16] 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.
- [17] Hedges L V, Gurevitch J, Curtis P S. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology [J]. Ecology, 1999, 80: 1150-1156.
- [18] 张德魁,马全林,靳虎甲,等.乌兰布和沙漠草本植物的组成和多样性[J].草原与草坪,2011,31(5):7-11.
- [19] 靳虎甲,马全林,张德魁,等.乌兰布和沙漠典型灌木群落结构及数量特征[J].西北植物学报,2012,32(3):579-588.
- [20] 唐道锋.库布齐沙地主要灌木树种耗水特性研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [21] 于洁.库布齐沙漠东段不同沙丘类型土壤种子库特征研究[D].北京:中国农业科学院,2016.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Odum E-P. The strategy of ecosystem development [J]. Science, 1969, 164:262-270.
- [25] 安明志.喀斯特森林土壤水分和养分格局及其植物物种多样性维持机制研究[D].贵阳:贵州大学,2019.
- [26] 陈金艺.喀斯特山地不同土壤厚度小生境下土壤种子库特征及其与地上植被关系[D].重庆:西南大学,2023.
- [27] 郑丽婷.种植实验早期草本植物对树木功能多样性与地上生产力关系的影响[D].上海:华东师范大学,2022.
- [28] 杨贵云,李林鑫,何昆,等.林下植被对杉木人工林生长的影响研究进展[J].世界林业研究,2023,36(6):20-25.
- [29] 郭欣宇,杨光,陆乃静,等.造林密度对科尔沁沙地奈曼沙区小叶杨防护林林下植被的影响[J].水土保持研究,2024,31(1):199-206.
- [30] 李茂华,都金康,李皖彤,等.1982-2015年全球植被变化及其与温度和降水的关系[J].地理科学,2020,40(5):823-832.
- [31] Yang H, Yuan Y, Zhang Q, et al. Changes in soil organic carbon, total nitrogen, and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi along a large-scale aridity gradient [J]. Catena, 2011, 87(1):70-77.
- [32] Li X R, Zhang Z S, Zhang J G, et al. Association between vegetation patterns and soil properties in the southeastern Tengger Desert, China [J]. Arid Land Research and Management, 2004, 18(4):369-383.
- [33] 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.

Vegetation comparison between the Kubuqi Desert and the Ulan Buh Desert

Xu Yongwu¹, Han Gaoling²

(1. *The General Station of Construction and Protection for The Cultivated Land Quality of Gansu Province, Lanzhou 730020, China*; 2. *Shapotou Desert Research and Experiment Station / State 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*)

Abstract: The Kubuqi Desert and Ulan Buh Desert, situated on the northern and southern sides of the “Zigzag bend” of the Yellow River, represent the main frontiers for sand control and desertification prevention in China. Vegetation plays a crucial role in maintaining desert ecosystem stability, promoting biodiversity, and contributing to wind erosion prevention and sand fixation. Revegetation has been widely implemented as a key measure in the fight against desertification. This study aimed to elucidate the vegetation differentiation patterns and their underlying driving mechanisms in both deserts. This was achieved by comparing vegetation characteristics across revegetation zones, natural vegetation zones, and moving sand dunes in the Kubuqi and Ulan Buh Deserts. Results demonstrated that herbaceous communities in the Kubuqi Desert display higher species diversity, and woody vegetation cover is significantly greater than that in the Ulan Buh Desert ($P < 0.001$). In contrast, herbaceous communities in the Ulan Buh Desert were relatively less diverse. Analysis of environmental factors revealed that vegetation patterns in the Ulan Buh Desert were primarily influenced by soil bulk density, atmospheric pressure, and longitude, whereas those in the Kubuqi Desert were more affected by soil organic carbon, latitude, and temperature. Although revegetated areas have not yet fully reached the ecological status of natural vegetation communities, it significantly enhanced species diversity and community cover, demonstrating a positive role in curbing desertification. This study provides theoretical support and practical guidance for regionally differentiated ecological management strategies.

Key words: Ulan Buh Desert; Kubuqi Desert; vegetation characteristics; revegetation; vegetation restoration