

# 濒危植物裸果木群落物种多样性与土壤因子的关系

孙亚菲<sup>1,2,3</sup>, 柴永青<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 宁夏大学生态环境学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学西北土地退化与生态系统恢复国家重点实验室培训基地, 宁夏 银川 750021; 3. 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)

**摘要:**【目的】探究裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)群落物种多样性特征及其与土壤因子的相关关系。【方法】对祁连山西端不同生境裸果木群落进行植被调查, 并分析裸果木群落物种组成、多样性特征及与土壤因子的相关性。【结果】裸果木群落植物共有25种, 隶属22属12科, 主要为菊科(6种)、藜科(6种)和禾本科(3种), 且以半灌木和多年生草本为主; 裸果木群落生境土壤含水量较少(2.64%), 呈强碱性(pH值为8.99, 全盐量为2.75 g/kg); 土壤养分含量较低(有机碳、全氮、全磷含量均值分别为1.34、0.15、0.29 g/kg, 速效氮、速效磷和速效钾含量分别为13.67、3.54、70.03 mg/kg), 且在不同生境差异显著( $P < 0.05$ ); 裸果木群落物种多样性指数较低, Pielou均匀度指数与含水率呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与速效氮呈显著正相关( $P < 0.05$ )。【结论】祁连山西端裸果木群落物种多样性水平较低, 群落结构简单, 土壤水分条件差、养分贫瘠, 土壤含水率、速效氮对群落Pielou均匀度指数有显著影响。

**关键词:**裸果木群落; 物种多样性; 土壤因子; 相关性

中图分类号: Q948.1 文献标志码: A 文章编号: 1009-5500(2024)04-0044-10

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2024.04.006



裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)是石竹科(Caryophyllaceae)裸果木属(*Gymnocarpus*)亚灌木状植物<sup>[1-2]</sup>, 我国一级保护植物。该物种是亚洲中部荒漠区内比较稀少的孑遗植物, 属古地中海成分, 也是构成石质荒漠植被的重要建群种之一<sup>[3-4]</sup>。裸果木目前主要分布于我国甘肃河西走廊、内蒙古西部、新疆部分区域及宁夏两区中西部<sup>[5]</sup>, 分布在海拔为800~2500 m的干河床、戈壁滩、砾石山坡中<sup>[6]</sup>, 经常受到泥石流干扰, 一般不形成郁闭种群, 遇到大的破坏很容易局部灭绝。另外, 裸果木潜在适生区也是典型生态脆弱区域, 自然环境恶劣, 畜牧业是当地主要经济产

业, 人类干扰、过度放牧及土地不合理的开发利用等因素也容易对裸果木造成威胁, 使得裸果木种群数量不断减少, 种群物种组成及物种多样性发生改变。因此, 了解裸果木植物群落组成、物种多样性和土壤因子含量对天然裸果木群落生境的恢复和保护显得尤为重要。目前国内学者对裸果木在种群结构与群落特征、生态分布格局和遗传多样性<sup>[7-12]</sup>、土壤养分<sup>[13-15]</sup>等方面进行了研究, 指出裸果木植物群落结构简单, 物种组成稀少, 是以温带半灌木和温带灌木荒漠为主的植被类型, 得出裸果木植物对极端环境条件的生态适应机制。然而, 对于裸果木群落结构及物种多样性与土壤因子关系的相关研究还较少。

植物群落是居住在某一地区的全部植物总称, 它是植物对环境变化长期适应而产生的各种组合类型<sup>[16]</sup>。物种多样性研究既能体现群落或生境中物种的丰富度、变化程度或均匀度, 又能体现不同环境条件和群落之间的相互关系<sup>[17]</sup>。植物群落物种多样性

收稿日期: 2023-03-23; 修回日期: 2023-11-22

基金资助: 国家自然科学基金项目(31760145)

作者简介: 孙亚菲(1996-), 女, 宁夏灵武人, 硕士研究生。

E-mail: ssyff\_123@163.com

\*通信作者。E-mail: chaiyq868@163.com

主要由多种因素决定,包括但不限于气候<sup>[18]</sup>,海拔<sup>[19]</sup>,地形条件<sup>[20]</sup>、生物因子<sup>[21]</sup>、地下水和土壤性质<sup>[22-23]</sup>,不同因素可能会在不同的时空尺度上影响植被格局。所以,通过对物种多样性的研究,分析环境因子特征,可以很好地认识群落的组成及群落的生境差异,对于物种保护有积极的影响<sup>[24]</sup>。在众多因素中,海拔和经纬度指标常用于研究大尺度区域物种多样性分布模式<sup>[22]</sup>。而土壤因子对植物生境具有重要影响,尤其在环境条件限制性较高的荒漠区域,土壤理化性质限制了植物生长范围,可能导致植物群落中植被结构和物种多样性发生变化,被广泛认为是景观及更小尺度(如群落)中影响植被格局分布的主导因子<sup>[25]</sup>。尽管近年来众多学者对干旱区沙冬青、怪柳、珍珠猪毛菜、白刺和四合木等荒漠植物群落物种多样性与土壤因子的相关性进行了研究<sup>[26-30]</sup>,但是对不同裸果木植物群落结构及其物种多样性与土壤环境间相互关系的研究甚少。基于此,本研究以祁连山西端肃北荒漠地区4种生境裸果木群落为研究对象,开展裸果木群落物种多样性特征和土壤因子的相关性研究,旨在揭示影响裸果木种群在典型高寒荒漠生态脆弱区适应性的关键土壤因子,为裸果木群落的保护提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于祁连山脉西缘北麓,地理位置38°13′~39°56′N,90°59′~94°33′E,海拔2000~2800m。该区气候类型属于温带干旱气候和荒漠性气候,具有极度干旱少雨、蒸发强烈、风沙大等特点。年均气温6.3℃,最低温度-25.1℃,最高温度33.9℃,多年降水量仅66.7~157.5mm,年均蒸发量

2493.3mm,年日照时数2841.4h,无霜期156d,年均风速3.6m/s。

土壤主要以棕漠土和灰棕漠土为主,地面裸露,表层多为砾石和沙砾石。土壤机械组成粗粒化,砾石含量多,地表积累土层较薄(10cm)。降水以及冰川融水极易积聚,形成洪水和泥石流。荒漠植被型以灌木荒漠植被亚型和半灌木、小半灌木荒漠植被亚型为主,包括霸王(*Zygophyllum xanthoxylom*)、裸果木及灰叶铁线莲(*Clematis canescens*)等组成的灌木层片,以合头草(*Sympegma ragelii*)、木本猪毛菜(*Salsola arbuscula*)、灌木亚菊(*Ajanía fruticulosa*)、中亚紫菀木(*Asterothamnus centraliasiacicus*)及红砂(*Reaumuria soongorica*)等组成的超旱生半灌木和小半灌木层片等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地调查与土壤取样 将研究样地按照裸果木集中分布区划分为干河床、砾石质荒漠、山前干河床、山前冲积扇生境类型,共计4个,研究样地基本情况见表1。调查于2020年6-9月进行。在各样地设置5个10m×10m的样方进行调查,共计20个。统计样方内所有植物的物种名称、数量、高度、盖度、冠幅,同时记录样地的生境特征、经纬度和海拔高度。

通过人工挖取剖面的方式在各样地挖3个2m×2m×1m的土壤剖面(研究区内棕漠土和灰棕漠土剖面砾石含量多,不能采用一般土钻法进行取样),共计12个。自上而下按0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90、90~100cm共10个层次分层取样,每层取3个重复,并充分混匀成一个样品,采用四分法取混合样2份。一份采用铝盒取新鲜土样并测量土壤鲜重,另一份装入样品袋,用于土壤化学因子的测定。

表1 样地基本概况

Table 1 Basic information of sample plots

指标	干河床	砾石质荒漠	山前干河床	山前冲积扇
海拔/m	2000	2387	2445	2780
降水量/mm	119.5	157.2	157.8	197.5
土壤类型	棕漠土	棕漠土	棕漠土	灰棕漠土
地表砾石含量/%	20~40	20~25	50~70	30~70
经度(E)	95°14'52"	95°14'41"	95°14'55"	95°14'68"
纬度(N)	39°46'36"	39°46'53"	39°46'66"	39°46'93"

1.2.2 物种多样性 采用 Shannon—Wiener 多样性指数( $H$ )、Simpson 物种多样性指数( $D$ )、Margalef 丰富度指数( $D_{ma}$ )和 Pielou 均匀度指数( $J$ )来衡量植物群落物种多样性特征。计算公式如下<sup>[31]</sup>:

Margalef 丰富度:

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

Simpson 物种多样性指数:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

Shannon—Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Pielou 均匀度指数:

$$J = \frac{H}{\ln S}$$

式中: $S$ 为样方中所有物种总数; $P_i = N_i/N$ ,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; $N$ 为样方中记录物种的总个数。

1.2.3 土壤理化性质分析方法 土壤铝盒样品带回实验室在 105 °C 下烘至恒重(12 h),测定干重和铝盒重量后计算土壤含水率;另一份样品经自然风干后,研磨过 2 mm 土壤筛,去除植物根系、石砾等杂质,装袋,保存备用,进行土壤养分、全盐量、pH 的测定。有机碳采用重铬酸钾氧化—外加热法测定,全磷采用钼锑抗比色法测定,全氮采用凯氏定氮法测定,速效氮利用碱解扩散法测定,速效磷用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定,速效钾用醋酸铵浸提—火焰光度法测定,pH 采用 5:1 水土比 pH 计测定,全盐量采用 5:1 水土比烘干残渣法<sup>[32]</sup>。

### 1.3 数据分析

采用 Excel 2010 对数据进行初步整理,IBM SPSS Statistics26 软件进行统计分析。利用 K—S 检验方法对数据进行正态分布检验,将不服从正态分布的数据,经自然对数转换后使其呈正态分布<sup>[33]</sup>。经方差齐性检验后,采用单因素方差分析法(One—Way ANOVA)、Duncan 法检验不同样地统计指标的差异性( $\alpha=0.05$ )。使用 Pearson 分析物种多样性与土壤因子间的相关性。用 Origin 2021 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 裸果木植物群落组成和多样性特征

2.1.1 研究区植被组成 调查结果表明(表 2),裸果

木群落中植被共计 12 科 22 属 25 种,其中,菊科、藜科、禾本科植物数目最多,菊科、藜科植物分别有 5 属 6 种,禾本科有 3 属 3 种,分别占群落中植物的 24.00%、24.00%、12.00%,百合科 1 属 2 种,占 8.00%,并且存在毛茛科、十字花科、石竹科、景天科、麻黄科、蒴藜科、怪柳科、豆科等 1 科 1 属 1 种的现象,累积占群落植物的 32.00%。研究区裸果木群落生活类型多以半灌木、多年生草本为主,且以半灌木为优势层片。其中,半灌木 14 种,灌木 2 种,共占物种数 64.00%,主要有中亚紫菀木、合头草、灌木亚菊、霸王等;多年生草本 7 种,一年生草本 2 种,分别占总物种数的 28.00%、8.00%,主要有戈壁针茅、灰叶铁线莲等。

2.1.2 不同生境裸果木群落结构特征 每一生境类型的裸果木群落结构特征见表 3,干河床、砾石质荒漠、山前冲积扇生境裸果木群落中均以中亚紫菀木、裸果木、合头草为优势种,但是各优势种分盖度有所不同。在干河床、山前干河床生境中,中亚紫菀木的盖度较大,砾石质荒漠生境的合头草盖度较大,达到 13%;山前冲积扇生境以合头草、灌木亚菊、裸果木为优势种,其中灌木亚菊的盖度较大,为 9%。

2.1.3 植物群落物种多样性特征 从图 1 可以看出,裸果木群落物种多样性指数较低,砾石质荒漠生境的裸果木群落 Shannon—Wiener 指数、Simpson 指数均最高,分别为 1.59 和 0.76,山前冲积扇次之,干河床生境最低(分别为 1.45 和 0.71),表明该生境中裸果木群落物种数目最多、物种较其他生境最丰富,且各生境间差异性不显著;Pielou 指数和 Margalef 指数变化略有不同,其中干河床最小(0.81 和 1.09),山前冲积扇生境最大(0.90 和 1.55),且与其他生境间差异显著( $P < 0.05$ )。整体来讲,研究区不同生境裸果木群落物种多样性均匀,差异不明显。

### 2.2 不同生境裸果木群落土壤理化性质特征

研究区内土壤养分含量较低,且在不同生境中差异较大(图 2)。有机碳、全氮、全磷含量均值分别为 1.34、0.15、0.29 g/kg,以山前干河床生境最多,干河床最少;对于速效氮、速效磷和速效钾而言,其含量均值分别为 13.67、3.54、70.03 mg/kg,其中,山前冲积扇生境的速效氮、速效磷含量以及砾石质荒漠生境中速效钾含量最高,而山前干河床和干河床生境含量均较低。pH 值在 8.77~9.20,均值为 8.99,干河床生境

表2 裸果木群落物种组成

Table 2 Species composition in the plant community of *G. przewalskii*

科名(比例/%)	属名	种名	生活型
菊科(24.00)	紫菀木属	中亚紫菀木	半灌木
	蒿属	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>	半灌木
	亚菊属	灌木亚菊	半灌木
	亚菊属	细叶亚菊 <i>Ajania tenuifolia</i>	多年生草本
	短舌菊属	短舌菊 <i>Brachanthemum mongolicum</i>	半灌木
	冷蒿属	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	半灌木
藜科(24.00)	合头草属	合头草	半灌木
	地肤属	木地肤 <i>Kochia prostrata</i>	半灌木
	驼绒藜属	驼绒藜 <i>Ceratoides latens</i>	半灌木
	盐爪爪属	细枝盐爪爪 <i>Kalidium gracile</i>	半灌木
	猪毛菜属	木本猪毛菜	一年生草本
	猪毛菜属	珍珠猪毛菜 <i>Salsola passerina</i>	半灌木
禾本科(12.00)	针茅属	戈壁针茅 <i>Stipa tianschanica</i>	多年生草本
	芨芨草属	芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	多年生草本
	画眉草属	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	一年生草本
百合科(8.00)	葱属	碱韭 <i>Allium polyrhizum</i>	多年生草本
	葱属	蒙古韭 <i>Allium mongolicum</i>	多年生草本
毛茛科(4.00)	铁线莲属	灰叶铁线莲	灌木
十字花科(4.00)	芥属	芥 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	多年生草本
石竹科(4.00)	裸果木属	裸果木	半灌木
景天科(4.00)	瓦松属	瓦松 <i>Orosta. chys fimbriata</i>	多年生草本
麻黄科(4.00)	麻黄属	中麻黄 <i>Ephedra intermedia</i>	半灌木
蒺藜科(4.00)	霸王属	霸王	灌木
柽柳科(4.00)	琵琶柴属	红砂	半灌木
豆科(4.00)	岩黄耆属	红花岩黄耆	半灌木
总计	22	25	

表3 不同生境类型裸果木群落结构特征

Table 3 Characteristics of *G. przewalskii* community structure in different habitats

生境类型	优势种及分盖度	总盖度
干河床	中亚紫菀木(10%)+裸果木(10%)+合头草(8%)	22.78
砾石质荒漠	合头草(13%)+裸果木(7%)+中亚紫菀木(9%)	24.00
山前干河床	中亚紫菀木(11%)+合头草(8%)+裸果木(10%)	23.18
山前冲积扇	合头草(7%)+灌木亚菊(9%)+裸果木(7%)	13.50

中数值较高,山前冲积扇生境最低;全盐含量在0.21~7.53 g/kg,均值为2.75 g/kg,砾石质荒漠生境显著高于其余生境,为7.53 g/kg,干河床和山前干河床生境含量较低且差异不显著( $P>0.05$ );含水率以山前冲积扇生境最高(4.16%),干河床和山前干河床生境次之,砾石质荒漠生境最低(0.78%)。

### 2.3 裸果木群落物种多样性与土壤理化性质的相关性

相关性分析结果表明(表4),除Pielou均匀度指数与含水率呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与速效氮呈显著正相关外( $P<0.05$ ),其他多样性指数与土壤因子的相关性均未达到显著水平( $P>0.05$ )。具体来

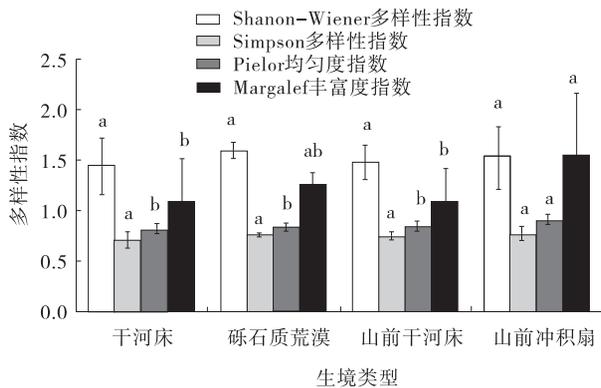


图1 不同生境类型裸果木群落多样性指数

Fig. 1 Community diversity index of *G. przewalskii* communities in different habitat types

注:图中不同字母表示同一指标、不同生境间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

讲,全磷、pH与多样性指数均为负相关,有机碳与Shannon—Wiener多样性指数、Simpson优势度指数、Margalef丰富度指数也呈负相关;全盐量、速效钾与物种多样指数呈正相关。

### 3 讨论

#### 3.1 裸果木群落组成和多样性特征

植物群落结构可以反映出群落的整体状态。祁连山西端肃北荒漠地区裸果木群落结构简单,多为菊科和藜科植物,且以半灌木和多年生草本植物为主,这与我国西北干旱区分别以沙冬青和子遗植物四合木为建群种的植物群落物种组成相似<sup>[26,27]</sup>,但裸果木群落中物种数(25种)远远低于沙冬青(70种)和四合

木(64种)群落。这可能是由于研究区土壤养分极为匮乏、pH值(均值为8.99)过高、含水率(均值为2.64%)较低等因素限制了植物生长,仅适合生长一些如霸王、中亚紫菀木、红砂等耐受性较强的植物,导致裸果木群落物种数目较少。此外,生境条件也是影响裸果木物种多样性结构的主要因素,裸果木主要生长在干河床、砾石质荒漠和冲积扇等土质差、土壤砾石含量高的特殊生境中,且频繁受到洪水冲刷等作用力的影响,植被生长不断受到干扰,最终也会影响植物群落组成。

植物群落物种多样性指数反映了群落内各植物种类的多少及各植物种的数量在种间分布的均匀程度<sup>[34]</sup>。与温带其他植被类型的物种多样性相比较,祁连山西端裸果木荒漠群落物种多样性较低,就Shannon—Wiener多样性指数而言,鄂尔多斯高原荒漠化草原灌丛群落为1.86~3.41<sup>[35]</sup>,而裸果木荒漠群落在1.45~1.59。在不同区域荒漠植被群落多样性研究中,新疆阜康荒漠过渡带植物群落为0.48~1.57<sup>[36]</sup>,位于库姆塔格沙漠东南缘荒漠植物群落在0.08~1.71<sup>[37]</sup>。说明荒漠植物群落物种多样性水平普遍较低,这与荒漠生境条件极端恶劣、群落的组成种类少且均匀度较低有关。但由于裸果木具有其独特的生境地貌类型,表现出不同群落物种多样性的变化特征。其中,Simpson指数和Margalef指数的大小顺序基本相同,在山前冲积扇生境最高,表明该生境裸

表4 裸果木植物群落物种多样性指数与土壤理化性质的相关性

Table 4 Correlation between species diversity index and soil nutrients in *G. przewalskii* communities

	Shannon—Wiener 多样性指数(H)	Simpson 多样性指数(D)	Pielou 均匀度指数(J)	Margalef 丰富度指数(D <sub>ma</sub> )
有机碳	-0.225	-0.007	0.196	-0.066
全磷	-0.190	-0.006	-0.074	-0.310
全氮	-0.170	0.054	0.234	-0.065
速效氮	-0.080	0.012	0.461*	0.031
速效磷	-0.139	-0.013	0.367	0.029
速效钾	0.197	0.302	0.261	0.197
pH	-0.072	-0.284	-0.304	-0.194
全盐量	0.187	0.257	0.013	0.094
含水率	-0.227	-0.019	0.543**	0.127

注:\*表示在0.05(双侧)水平上显著相关,\*\*表示在0.01(双侧)水平上极显著相关。

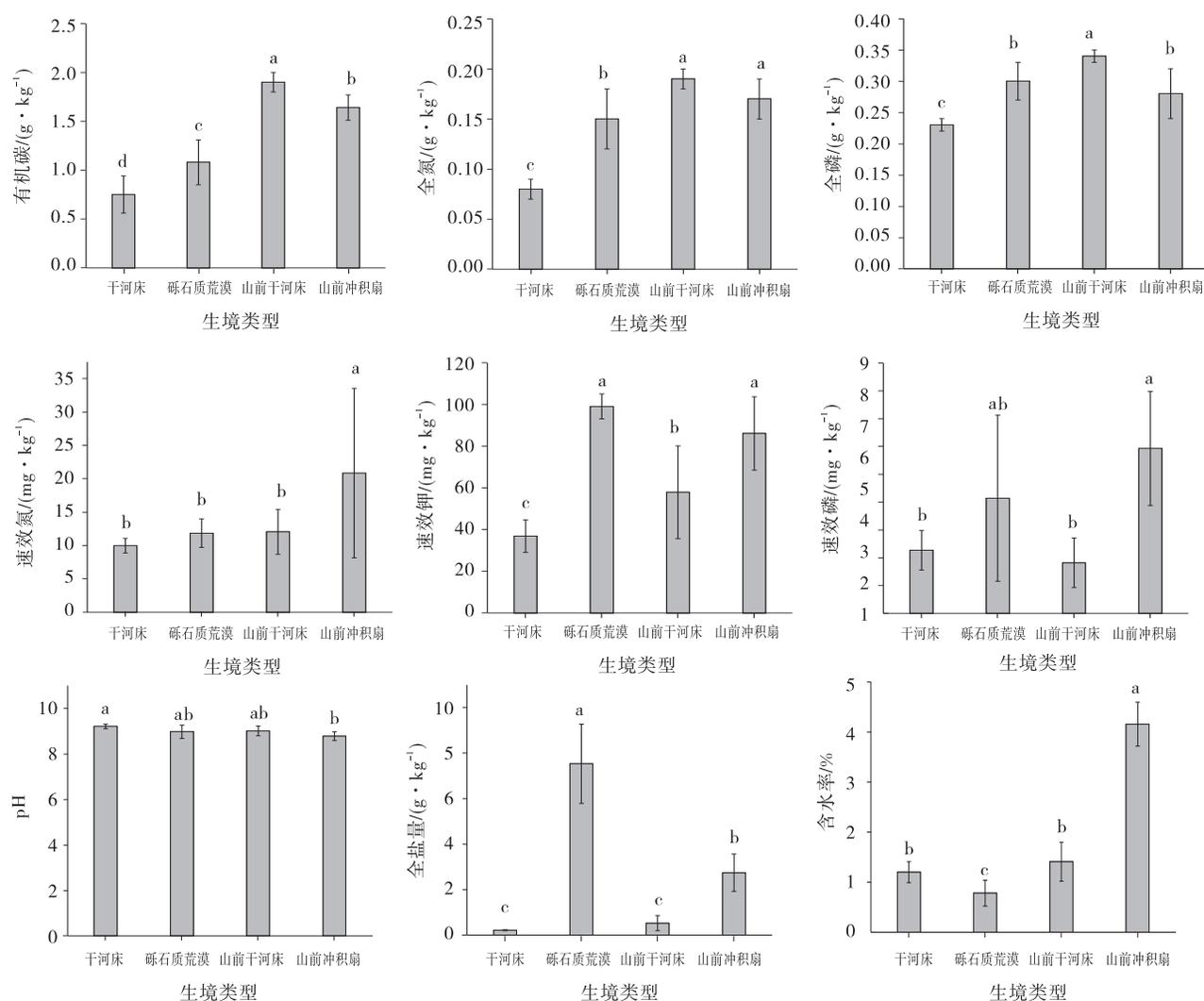


图2 不同生境类型裸果木植物群落土壤理化性质

Fig. 2 Soil physical and chemical properties of *G. przewalskii* communities in different habitats

注:图中数据为每个生境0~100 cm土层混合后的平均值,不同字母表示不同生境间的差异显著性( $P < 0.05$ )。

果木群落中的植物数目较多,与其他生境相比较为丰富,而干河床生境的物种多样性指数最小,表明该生境裸果木群落中物种较为贫乏。相对较低的均匀度反映了群落类型物种组成或群落组织水平格局多为团块状分布,这与柴永青等的研究结果相近<sup>[7]</sup>,可能是因为裸果木多生长在砾石含量多的干河床、砾石质戈壁等地带,环境极端严酷,加之裸果木自然更新和繁殖困难,使其不能均匀分布。另外,植物个体形成的集中分布格局可以提高种群对不良环境条件的抵御能力<sup>[38]</sup>。

### 3.2 裸果木生境土壤因子含量特征

土壤水分和盐分是干旱区荒漠生态系统最为显著的限制性因子之一,其含量高低对植物生长有重要影响<sup>[39-41]</sup>,同时由于不同区域的生境特点、成土母质<sup>[42]</sup>的差异致使土壤水盐分布状况不同。通过对比

分析发现,裸果木群落土壤含水量较少(2.64%)且在不同生境存在差异,这主要是因为不同生境的海拔高度和降水量及水分来源不同。山前冲积扇生境海拔最高,降水量最多(一般海拔每升高100 m,年降水量增加8~12 mm),且此生境的裸果木群落在冲沟中,冬季积雪较多,所以水分条件优于其余生境;山前干河床生境是夏季雪山冰川消融融水出口,也是洪水和泥石流多发地带,干河床生境海拔最低、降水量稀少,但夏季也有短暂的洪水,其土壤含水量均高于砾石质荒漠生境。而砾石质荒漠生境土壤水分仅来自于降雨,含水量最低,其全盐量较高(7.53 g/kg),表明稀有植物裸果木及其伴生植物具有较强的耐受性和生态适应性。

土壤养分状况是土壤物理、化学、生物等因素综合作用的结果,是土壤从环境条件和营养条件两方面

供应和协调植物生长发育的能力<sup>[43]</sup>。裸果木群落生境内土壤养分含量积累较少,均低于科尔沁沙化草地<sup>[44]</sup>、准噶尔荒漠<sup>[45]</sup>等典型荒漠区。原因可能为:1) 研究区自然环境更加恶劣,降水量少,蒸发量大,气候极端干燥,虽有植被覆盖,但植被盖度低,生物量积累非常有限,且恶劣的气候条件不利于枯落物分解,不能在植被灌丛周围形成枯落物胶结层;2) 风蚀强烈,地表处于极不稳定状态,使土壤剖面发育不全而缺少腐殖质层,阻止了有机质积累<sup>[46]</sup>;3) 高海拔引导的低温条件,温差大,有利于物理风化,也造成土壤有机质积累困难,导致其含量较低。同时,裸果木植物群落土壤养分含量在不同生境间存在显著差异,其空间异质性可以降低不同植物对资源的竞争,在一定程度上反映和指示出植物种群对恶劣生态环境的生态适应性<sup>[47]</sup>。

### 3.3 裸果木群落物种多样性指数与土壤因子的相关关系

土壤作为植物生长发育的重要基质,土壤理化性质的差异均会对植被产生不同效应,从而影响植物多样性<sup>[48]</sup>。从研究结果可以看出土壤含水率除与Pielou均匀度呈极显著相关外,与其他多样性指标关系不大,这与张林静等<sup>[49]</sup>的研究结果一致。可能是因为分布区主要受旱生、超旱生的植物影响,利用有限的水分可以完成生活史,且半灌木和灌木的根系分布较深,0~100 cm土层的含水量对它们影响不大,而棕漠土和灰棕漠土不利于土壤的保水性。也可解释为植物对生境的长期适应进化所形成的,如耐旱、耐盐碱以及植物生态位宽度等生物特性对物种多样性贡献大于土壤含水量的差异<sup>[50]</sup>。另外,本研究结果显示裸果木植物群落土壤全盐含量与物种多样性之间的相关性很小,裸果木生境主要分布中亚紫菀木、珍珠猪毛菜等耐盐碱、根系分布较深的物种,0~100 cm土层的盐分含量并不限制这些植物生长,因此其变化对该区裸果木植物群落物种多样性变化的反映程度较小。研究区内土壤主要呈强碱性(pH均值为8.99),而pH过高会阻碍植物对微量元素的吸收,影响土壤养分的有效性从而影响物种生长,所以成为了限制植物多样性较低的原因之一<sup>[51]</sup>,且本研究中pH与物种多样性指数均呈负相关,与黄雅茹等<sup>[52]</sup>研究结果一致。

对不同的物种多样性指标,同一土壤养分因子与

它们之间的相关性大小却不同,说明土壤养分与物种多样性之间的关系较为复杂。在本研究中,速效氮与均匀度指数呈显著正相关,这可能是因为优势种的生长占据绝对优势,其他植物生长受限。相关研究表明,有机质、全氮、速效磷、速效钾等环境因子对物种组成起重要作用,而在本研究中这些因子含量较低,并未成为影响群落物种多样性的主要因子,这与贾荣、Baer等<sup>[53-54]</sup>研究结果一致,这可能是由于不同的群落类型存在不同的物种组成,对环境资源的需求、资源利用的能力及方式均有差异,形成了对环境因子响应的差异<sup>[55]</sup>。同时,生境中存在复杂多样的环境因子,它们之间的拮抗或协同作用可能会削弱或增强了某些因子对植株的作用,或是某些因子的作用被显著影响因素所掩盖<sup>[56]</sup>。

## 4 结论

祁连山西端裸果木群落结构较为简单。研究区植物群落物种共12科22属25种,主要以菊科、藜科和禾本科植物为主,且多为半灌木和多年生草本植物。裸果木植物群落多样性总体较低,且物种分布不均匀,其中山前冲积扇生境中裸果木群落物种Simpson指数和Margalef指数较高。研究区不同生境裸果木群落土壤因子含量差异显著,Pielou均匀度指数与含水率呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与速效氮呈显著正相关( $P < 0.05$ )。

### 参考文献:

- [1] Ma S, Zhang M, Sanderson S. Phylogeography of the rare *Gymnocarpus przewalskii* (Caryophyllaceae): indications of multiple glacial refugia in north-western China [J]. Australian Journal of Botany, 2012, 60(1): 20-31.
- [2] 唐欣, 李新蓉. 荒漠孑遗植物裸果木的开花物候特征[J]. 植物学报, 2017, 52(4): 487-495.
- [3] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [4] 刘嫵心. 中国沙漠植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [5] Oxelman B, Ahlgren B, Thulin M. Circumscription and phylogenetic relationships of *Gymnocarpus* (Caryophyllaceae-Paronychioideae) [J]. Edinburgh Journal of Botany, 2002, 59(2): 221-237.
- [6] 李冬梅, 徐金娥, 刘燕, 等. 巴彦淖尔市珍稀濒危树种裸果木保护存在问题与建议[J]. 内蒙古林业, 2022(2): 19-20.

- [7] 柴永青,曹致中,蔡卓山. 肃北地区裸果木荒漠群落构成特征及物种多样性研究[J]. 草业学报, 2010, 19(1): 21—27
- [8] 柴永青,曹致中,蔡卓山,等. 肃北地区稀有植物裸果木种群的空间分布格局[J]. 草业学报, 2010, 19(5): 239—249.
- [9] 柴永青,曹致中,刘秉儒. 河西走廊肃北地区中亚紫菀木—裸果木荒漠群落特征[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 166—171.
- [10] 马松梅,张明理,张宏祥,等. 利用最大熵模型和规则集遗传算法模型预测孑遗植物裸果木的潜在地理分布及格局[J]. 植物生态学报, 2010, 34(11): 1327—1335.
- [11] 王亮,黄海霞,杨增武,等. 安西极旱荒漠国家级自然保护区裸果木种群结构和空间分布格局研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015, 51(5): 690—693+698.
- [12] 吴建国,吕佳佳,周巧富. 气候变化对6种荒漠植物分布的潜在影响[J]. 植物学报, 2010, 45(6): 723—738.
- [13] 刘辉,张佳琦,石文宏,等. 不同种群裸果木与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化的研究[J]. 草原与草业, 2017, 29(4): 55—61.
- [14] 徐振朋,宛涛,蔡萍,等. 裸果木种群遗传多样性及其与土壤因子的关联性研究[J]. 生态环境学报, 2017, 26(9): 1473—1479.
- [15] 周禧琳,柴学平,梁继业,等. 西北荒漠区孑遗植物裸果木居群的土壤养分特征研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2017, 37(5): 114—121.
- [16] 刘艳会,刘金福,何中声,等. 基于戴云山固定样地黄山松群落物种组成与结构研究[J]. 广西植物, 2017, 37(7): 881—890.
- [17] 李玉,齐昊,王飞,等. 白龙江干旱河谷地区典型灌木群落结构分析[J]. 四川林业科技, 2018, 39(3): 110—115.
- [18] Gavilán R G. The use of climatic parameters and indices in vegetation distribution. A case study in the Spanish Sistema Central[J]. International Journal of Biometeorology, 2005, 50: 111—120.
- [19] Zedler J B, Callaway J C, Desmond J S, *et al.* Californian salt-marsh vegetation: an improved model of spatial pattern[J]. Ecosystems, 1999, 2: 19—35.
- [20] Chase M, Johnson E, Martin Y. The influence of geomorphic processes on plant distribution and abundance as reflected in plant tolerance curves [J]. Ecological Monographs, 2012, 82(4): 429—447.
- [21] Mujic A B, Durall D M, Spatafora J W, *et al.* Competitive avoidance not edaphic specialization drives vertical niche partitioning among sister species of ectomycorrhizal fungi [J]. New Phytologist, 2016, 209(3): 1174—1183.
- [22] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems [J]. Nature, 1996, 379: 718—720.
- [23] 王军强,刘彬,常凤,等. 巴音布鲁克新疆假龙胆适生地植物群落物种多样性及其环境解释[J]. 中国草地学报, 2021, 43(3): 29—36.
- [24] 淮虎银,魏万红,张懿铨. 青藏铁路温性草原区路域植被自然恢复过程中群落组成和物种多样性变化[J]. 山地学报, 2005, 23(6): 6657—6662.
- [25] Guisan A, Zimmermann I N E. Predictive habitat distribution models in ecology [J]. Ecological Modelling, 2000, 135(2/3): 147—186.
- [26] 杜忠毓,贺一鸣,房朋朋,等. 孑遗濒危植物四合木群落组成、物种多样性及土壤养分含量[J]. 生态学杂志, 2020, 39(11): 3537—3548.
- [27] 段义忠,杜忠毓,亢福仁. 西北干旱区孑遗濒危植物蒙古沙冬青群落特征及与环境因子的关系[J]. 植物研究, 2018, 38(6): 834—842.
- [28] 韩福贵,满多清,郑庆钟,等. 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[J]. 水土保持研究, 2022, 29(3): 49—56.
- [29] 韩福贵,满多清,郑庆钟,等. 青土湖典型湿地白刺灌丛沙堆群落物种多样性及土壤养分变化特征研究[J]. 草业学报, 2021, 30(1): 36—45.
- [30] 贾喆亭,杨九艳,孙艳霞,等. 阿拉善高原珍珠猪毛菜群落物种多样性及与环境因子的相关性[J]. 中国草地学报, 2021, 43(6): 1—9.
- [31] Magurran A E. Ecological diversity and its measurement [M]. Princeton University Press, 1988.
- [32] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社. 2000.
- [33] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征—变异函数与Kriging插值分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 555—566.
- [34] Cadotte M W, Carscadden K, Mirotnick N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services [J]. Journal of Applied Ecology, 2011, 48(5): 1079—1087.
- [35] 李新荣,张新时. 鄂尔多斯高原荒漠化草原与草原化荒漠灌木类群生物多样性的研究[J]. 应用生态学报,

- 1999,10(6):665—669.
- [36] 张林静,岳明,张远东,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性特征[J]. 地理科学,2003,13(6):329—334.
- [37] 张锦春,王继和,赵明,等. 库姆塔格沙漠南缘荒漠植物群落多样性分析[J]. 植物生态学报,2006,30(3):375—382.
- [38] 孙儒泳,李博,诸葛阳,等. 普通生态学[M]. 北京:高等教育出版社,1993.
- [39] 鄯亚栋,蒋腊梅,吕光辉,等. 温带荒漠植物叶片功能性状对土壤水盐的响应[J]. 生态环境学报,2018,27(11):2000—2010.
- [40] 陶冶,吴甘霖,刘耀斌,等. 古尔班通古特沙漠典型灌木群落土壤化学计量特征及其影响因素[J]. 中国沙漠,2017,37(2):305—314.
- [41] 于闯,南丽丽,魏永鹏,等. 甘肃省盐碱地主要植物群落土壤理化性质及酶活性研究[J]. 草原与草坪,2016,36(3):72—77.
- [42] 高瑞,曹文侠,王辛有,等. 河西走廊盐渍化草地芨芨草“肥岛”对土壤养分空间分布的影响[J]. 草原与草坪,2022,42(2):83—89+97.
- [43] 蒋文伟,周国模,余树全,等. 安吉山地主要森林类型土壤养分状况的研究[J]. 水土保持学报,2004,18(4):73—76+100.
- [44] 宁志英,李玉霖,杨红玲,等. 沙化草地土壤碳氮磷化学计量特征及其对植被生产力和多样性的影响[J]. 生态学报,2019,39(10):3537—3546.
- [45] 陶冶,刘耀斌,吴甘霖,等. 准噶尔荒漠区域尺度浅层土壤化学计量特征及其空间分布格局[J]. 草业学报,2016,25(7):13—23.
- [46] 肖洪浪,肖生春,董治宝,等. 库姆塔格沙漠地区土壤及分布特征[J]. 中国沙漠,2010,30(4):837—843.
- [47] Chatanga P, Kotze D, Janks M, *et al.* Classification, description and environmental factors of montane wetland vegetation of the Maloti—Drakensberg region and the surrounding areas [J]. South African Journal of Botany, 2019,125:221—233.
- [48] 杨小波,张桃林,吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报,2002,22(2):190—196.
- [49] 张林静,岳明,顾峰雪,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性与土壤环境因子的耦合关系[J]. 应用生态学报,2002,13(6):658—662.
- [50] 李新荣,何明珠,贾荣亮. 黑河中下游荒漠区植物多样性分布对土壤水分变化的响应[J]. 地球科学进展,2008,23(7):685—691.
- [51] 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.
- [52] 黄雅茹,辛智鸣,葛根巴图,等. 乌兰布和沙漠东北缘典型灌木群落多样性与土壤养分相关性研究[J]. 中国农业科技导报,2018,20(9):95—105.
- [53] Baer S G, Collins S L, Blair J M, *et al.* Soil heterogeneity effects on tallgrass prairie community heterogeneity: an application of ecological theory to restoration ecology[J]. Restoration Ecology,2005,13(2):413—424.
- [54] 贾荣,兰登明,郭威星,等. 宁夏东北部典型荒漠草原植物群落与土壤养分特征[J]. 生态环境学报,2020,29(3):483—488.
- [55] 陈晓熹,杨新东,曾献兴,等. 环境因子对青云山自然保护区森林群落物种分布的影响[J]. 生态学杂志,2019,38(12):3642—3650.
- [56] 邵方丽,余新晓,郑江坤,等. 北京山区防护林优势树种分布与环境的关系[J]. 生态学报,2012,32(19):6092—6099.

# Species diversity of the endangered plant *Gymnocarpos przewalskii* community and its correlation with soil characteristics

SUN Ya-fei, CHAI Yong-qing\*

(School of Ecology and Environment, Ningxia University, Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystems in Northwestern China of Ministry of Education, Ningxia University, Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** [Objective] To explore the species diversity of the *Gymnocarpos przewalskii* community and its relationship with soil factors, providing a scientific basis for the protection of endangered plant *G. przewalskii* community. [Method] Field investigations were conducted on the *G. Przewalskii* community at the western end of the Qilian Mountains. Species composition, species diversity, and the correlation between species diversity and soil factors were analyzed. [Result] *G. przewalskii* community has a simple composition structure and low species diversity, with a total of 25 species, 22 genera and 12 families recorded. Most species are sub-shrubs and perennial herbs from families Asteraceae (6 species), Chenopodiaceae (6 species) and Poaceae (3 species). The soil in this community was low in nutrients (2.64%) and strongly alkaline (pH=8.99, total salt=2.75 g/kg). The average contents of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus were 1.34, 0.15 and 0.29 g/kg, respectively. The average contents of available nitrogen, available phosphorus and available potassium were 13.67, 3.54 and 70.03 mg/kg, respectively. Significant differences in soil nutrient contents were observed among different *G. przewalskii* communities ( $P < 0.05$ ). The Pielou index of the *G. Przewalskii* community was significantly positively correlated with soil content and available nitrogen. [Conclusion] The plant diversity level of *G. przewalskii* community at the western end of Qilian Mountain is low, and the community structure is simple. The soil water and nutrient conditions are poor, and the Pielou index is significantly positively correlated with soil water content and available nitrogen.

**Key words:** *Gymnocarpos przewalskii* community; species diversity; soil factors; correlation

(责任编辑 靳奇峰)