



贺兰山低山区土壤种子库空间分布特征

李国旗^{1,2}, 王雅芳^{1,2}, 刘 星^{1,2}, 谢博勋^{1,2}, 解 盛^{1,2}, 石 云^{1,2}

(1 宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 银川 750021; 2 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, 银川 750021)

摘 要: 土壤种子库作为地上植被更新的潜在种源, 在植被自然恢复和演替过程以及生态系统建设中起着重要作用。该研究对贺兰山低山区不同海拔高度植物群落土壤理化性质变化与其土壤种子库特征之间的关系进行分析, 以揭示贺兰山低山区植物群落的土壤种子库空间分布特征和自然恢复潜力。研究结果表明: (1) 海拔 1 200 m 处种子主要来源于一年生草本, 海拔 1 600 m 土壤种子库主要来源于多年生草本, 海拔 2 000 m 土壤种子库主要来源于灌木和小灌木; 随着海拔升高, 隶属于禾本科的物种数呈下降趋势, 菊科和藜科呈增加趋势, 蕁藜科、大戟科、豆科和玄参科消失。(2) 5 个海拔高度土壤种子库物种数均显著低于地上植被; 在物种生活型组成上, 土壤种子库中物种数占比最大为一年生草本, 地上植被为多年生草本。(3) 土壤理化性质对种子库物种多样性影响中, 土壤 pH、电导率最为显著。贺兰山低山区 5 个海拔高度土壤种子库种子密度和物种多样性均较低, 无法满足植被自然恢复需求, 可通过飞播等生态恢复措施来弥补表层土壤种子的不足, 从而满足地上植被恢复所需种源量。

关键词: 贺兰山; 海拔; 土壤种子库; 土壤理化性质

中图分类号: Q948.1 **文献标志码:** A

Spatial Distribution Characteristics of Soil Seed Bank in the Low Mountainous Area of Helan Mountain

LI Guoqi^{1,2}, WANG Yafang^{1,2}, LIU Xing^{1,2}, XIE Boxun^{1,2}, XIE Sheng^{1,2}, SHI Yun^{1,2}

(1 Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2 Key Laboratory for Recovery and Restoration of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: As a potential source of vegetation regeneration above ground, soil seed bank plays an important role in the natural restoration and succession process of vegetation and the restoration of ecosystems. The relationship between the changes of soil physicochemical properties and the characteristics of soil seed banks (SSBs) of plant communities at different altitudes in the low mountain area of Helan Mountain, was discussed, in order to reveal the spatial distribution characteristics and natural restoration potential of SSBs of various plant communities. The results showed that: (1) the seeds resources of SSBs at 1 200 m were from annual herbs, at 1 600 m perennial herbs, and at 2 000 m shrubs and small shrubs. With the increase of altitude, the annual herbs were the dominant species in SSBs at all five elevations. (2) The stability index, dominance index, evenness index and richness index of SSB at 1 400 m were significantly lower than those at the other four elevations, that is, the SSB diversity at 1 400 m was the lowest. (3) Soil pH and electrical conductivity were the most significant factors among physical and chemical properties

收稿日期: 2021-09-14; 修改稿收到日期: 2021-12-18

基金项目: 中央引导地方科技创新项目; 中国工程院院地合作项目(2021NXZD5); 贺兰山矿区生态修复模式分析及典型治理示范区研究项目

作者简介: 李国旗(1965—), 男, 教授, 主要从事植物生态学研究。E-mail: guoqilee@163.com

that effected SBB diversity on species of seed bank. The SSB density and species diversity at five elevations in the low mountainous area of Helan Mountain were low, which could not meet the demand of natural vegetation restoration. Ecological restoration measures such as aerial seeding could be adopted to make up for the shortage of seeds in surface soil, so as to meet the provenance required for above-ground vegetation restoration.

Key words: Helan Mountain; altitude; soil seed bank; soil physical and chemical property

贺兰山地处中国西北干旱区,具有重要的地理意义,其作为最后一道生态屏障,阻隔了毛乌素沙地、乌兰布和沙漠、腾格里沙漠这三大沙漠进一步向银川平原扩张,拦截了源自蒙古国、中国阿拉善地区等的沙尘暴;贺兰山的生态安全不仅影响其周边的黄河段、银川平原,还可能进一步影响西北地区、华北地区甚至全国的生态安全^[1-2]。贺兰山地处华北平原、蒙古高原、青藏高原的交汇处,其地理位置决定了该地区生物类型复杂多样,且具有交叉性和过渡性^[3-4];贺兰山位于温带草原与荒漠的交汇处,山体高耸,生物类型具有明显的空间分异规律^[5-6]。植物优势种主要有短花针茅(*Stipa breviflora*)、蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、青海云杉(*Picea crassifolia*)等^[7-8]。

土壤种子库是存在于土壤表面和土壤中有生命活力的种子的总量^[9-10]。也可以定义为单位面积土壤中的全部有生命活力的种子^[11-13]。土壤种子库可作为植物的潜在种群,影响植被自然更新和恢复、生物多样性保护、植被的演替进程和方向^[14-16]。大量研究表明,环境空间异质性是制约或影响植物种群、群落乃至生态系统和物种多样性等的重要因素,其中地形是主要来源^[17-18]。地形通过其单一的生态作用或受一定地形复合体影响地表的光、热、水、土、肥等生态因子,从而改变能量的平衡,直接或间接地影响植被格局。而土壤种子库中的种子主要来源于地上植被,地形可通过影响地上植被进一步影响土壤种子库^[19-20]。

对贺兰山在不同海拔高度上开展土壤种子库调查研究,主要目的是:① 探明土壤种子库特征的空间差异性;② 比较研究各海拔土壤种子库与相应地上植被的物种组成关系的差异性;③ 评估土壤种子库对植被自然恢复与更新的贡献潜力在海拔间的差异性。贺兰山低山区风蚀严重、植被稀疏,植被自然恢复潜力尚未可知,对不同海拔高度种子库开展研究,探讨地上植被自然恢复潜力在海拔间的差异性,以期对贺兰山低山区植被合理利用、恢复治理与生态重建提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区贺兰山国家自然保护区,地理位置 105°49′~106°41′E,38°19′~39°22′N,东接银川平原,西侧和北侧与阿拉善戈壁荒漠相接,位于温带草原与荒漠的交汇处^[1-2]。贺兰山地处中国西北中温带气候区,为典型温带大陆性气候并具有山地气候特征。无霜期 229 d,春季风大、沙多,气候变化大,年均温 -0.8℃。年均降水量 420 mm,年均蒸发量 2 000 mm,降雨集中在 7~9 月份,占全年降水量的 70%~80%^[20]。低山区气温变化剧烈,干旱少雨,为显著大陆性气候。山地植被和土壤具有明显的空间分异规律,海拔由低到高,植被可划分为山前荒漠与荒漠草原带(海拔 1 600 m 以下)、山麓与低山草原带(海拔 1 600~1 800 m)、中山和亚高山针叶林带(海拔 1 800~3 100 m)和高山亚高山灌丛、草甸带(海拔 3 100 m 以上)4 个垂直带,土壤划分为棕钙土带——灰褐土带——高山亚高山灌丛、草甸土带这 3 个带^[3-4]。

1.2 样地设计与样品采集

从海拔 1 200 到 2 000 m,每隔 200 m 设置 1 个取样点,选取群落生境相对均匀的地方,设置 3 个 5 m×5 m 的大样方,进行灌木调查;在每个大样方内沿对角线布置 3 个 1 m×1 m 的小样方进行草本调查。调查记录每个样方内各植物物种名称、盖度、高度、多度等,其中盖度采用方格网法直接计算;高度用测高尺测量,做 3~5 个重复;多度完全记录小样方内每种植物。在植被调查的同时在每个小样方中采用五点取样法采集土样(取样器采用 20 cm×20 cm×10 cm 规格)。

1.3 实验方法

采用常规分析法测定土壤理化性质(表 1)。土壤种子库采用室内萌发鉴定的方法。将土样均匀的平铺在萌发盆里,厚度约为 2 cm,盆底还铺有 5 cm 的无籽毛细沙。将处理好的萌发盆置温室中,采取少浇、勤浇的方式,保持土壤湿润,等待种子萌发。幼

表 1 土壤理化性质的测定方法

Table 1 Determination methods of soil physical and chemical properties

测定指标 Measured metric	采用方法 Method
土壤含水量 Soil moisture content	烘干法 Drying method
土壤容重 Soil bulk density	环刀法 Cutting-ring method
pH	PHS-3G pH 计测定(水:土=2.5:1) PHS-3G pH method (water:soil=2.5:1)
电导率 Electrical conductance	DDS-307 电导率仪 DDS-307 conductivity meter
土壤有机碳 Soil organic carbon	重铬酸钾容量法-外加加热法 Potassium dichromate volumetric method-external heating method
全氮 Total nitrogen	半微量凯氏定氮法 Semi-micro Kjeldahl method
全磷 Total phosphorus	钼锑抗比色法 Mo-Sb colorimetric method
碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen	碱解扩散法 Alkali-hydrolysis diffusion method
速效磷 Available phosphorus	0.5 mol·L ⁻¹ NaHCO ₃ 法 0.5 mol·L ⁻¹ NaHCO ₃ sodium bicarbonate method

苗种属鉴定后去除,未鉴定出的继续生长,直至可以鉴定出,连续 4 周没有新幼苗萌发结束实验。土壤种子库中种子密度用单位面积(1 m²)土壤中有有效种子数量来表示。

1.4 数据统计与分析

1.4.1 地上植被的物种重要值计算 根据对 5 个海拔地上植被群落特征的调查研究,选取相对多度、相对盖度、相对频度及相对高度 4 个因素来计算植物各物种重要值,计算公式为:

重要值(IV)=(相对多度+相对盖度+相对频度+相对高度)/4

相对多度=(某一种多度/所有种多度之和)×100

相对盖度=(某一种盖度/所有种盖度之和)×100

相对频度=(某一种频度/所有种频度之和)×100

相对高度=(某一种的平均高度/所有种的平均高度之和)×100

1.4.2 物种多样性指标计算 Margalef 丰富度指数:

$$R = (S - 1) / \ln N ;$$

Shannon-wiener 指数:

$$H' = \sum P_i \ln P_i ;$$

Simpson 优势度指数:

$$D = 1 - \sum P_i^2 ;$$

Pielou 均匀度指数:

$$E = H' / \ln S$$

式中:S 为物种总数; $P_i = N_i / N$,N 为样方中总的个体数, N_i 为样方中第 i 物种的个体数。

1.4.3 相似性指数计算 不同海拔高度土壤种子库与地上植被的相似性、海拔间土壤种子库的相似性以及地上植被的相似性,均采用 Sorensen 的相似性系数(similarity coefficient, S_c)来表示,计算公式为:

$$S_c = 2w / (a + b)$$

式中 S_c 为相似性系数;w 代表土壤种子库和地上植被共同拥有的物种数;a 代表土壤种子库中物种数;b 代表地上植被物种数。

S_c 值在 0~0.24 为极不相似;0.25~0.49 为中等不相似;0.50~0.74 为中等相似;0.75~1.00 为极相似。

1.5 数据统计与分析

野外调查及室内试验所得实验数据在 Excel 表格中进行初步处理,在 SPSS 21.0 软件中进行多重比较和相关性分析,在 Canoco4.5 进行 RDA 分析。不同海拔间土壤各性质、种子库特征及地上植被特征均采用单因素方差分析和 LSD 法进行多重比较,用 Person 相关系数法进行相关性分析,土壤种子库物种多样性与土壤因子间的关系进行 RDA 分析与制图。

2 结果与分析

2.1 不同海拔高度土壤种子库特征

2.1.1 土壤种子库密度 由表 2 可知,不同海拔高度土壤种子库密度具有差异性。5 个海拔高度土壤种子库总密度分别为(825±16.07)、(390±10.41)、(685±5.00)、(30±5.00)和(860±18.93) seeds·m⁻²,表现为 2 000 m>1 200 m>1 600 m>1 400 m>1 800 m,且差异显著(P<0.05)。其中,一年生草本种子密度表现为 1 200 m>1 600 m>1 400

m>2 000 m>1 800 m,多年生草本种子密度表现为 1 800 m>1 400 m>2 000 m=1 200 m=1 600 m,灌木或小灌木种子库密度表现为 2 000 m>1 800 m=1 200 m,且海拔间均差异显著($P<0.05$)。

海拔 2 000 和 1 200 m 处土壤种子库总密度分别为(860±18.93)和(825±16.07)seed·m⁻²,显著高于其他海拔,但两者种子来源并不相同。海拔 1 200 m 处种子主要来源于一年生草本,为(810±15.28)seed·m⁻²,显著高于其他海拔;海拔 2 000 m 土壤种子库主要来源于灌木和小灌木,为(710±7.64)seed·m⁻²,显著高于其他海拔。除此之外,海拔 1 600 m 土壤种子库主要来源于多年生草本,为(120±7.64)seed·m⁻²,显著高于其他海拔。

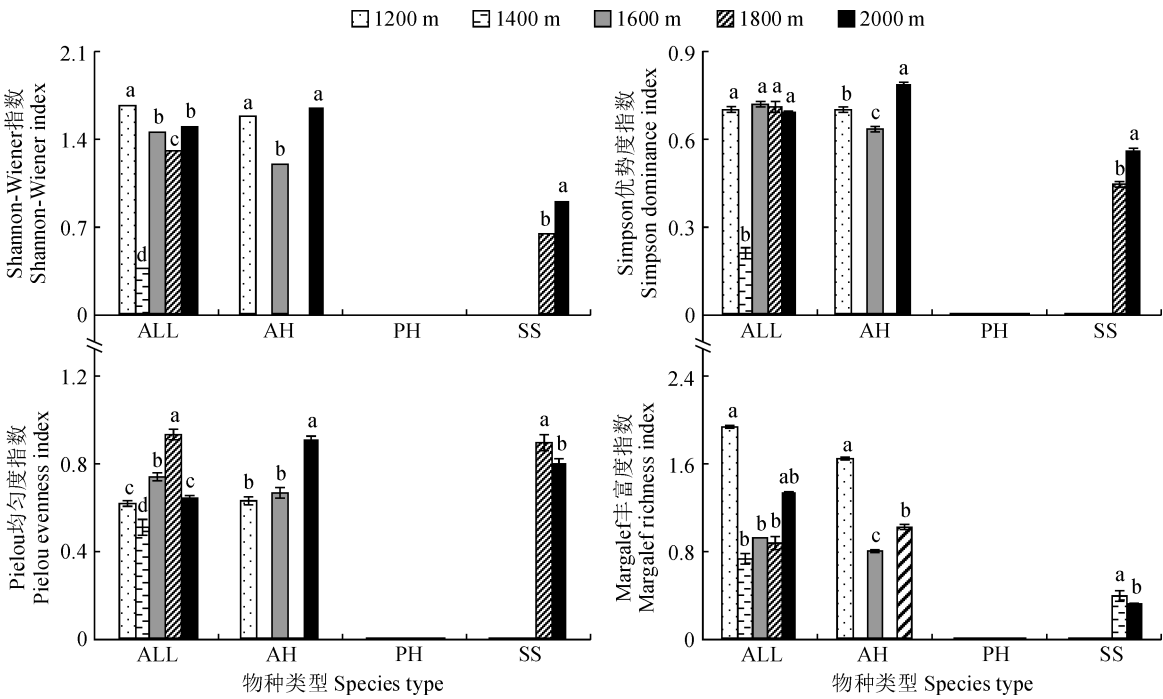
2.1.2 土壤种子库多样性和相似性特征 如图 1 所示,不同海拔高度的土壤种子库多样性具有差异性。物种多样性常用 Shannon-Wiener 指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数来表示。5 个海拔高度土壤种子库中,全部植物种 Shannon-Wiener 指数为 1 200 m>2 000 m>1 600 m>1 800 m>1 400 m,Simpson 优势度指数为 1 600 m>1 200 m>1 800 m>2 000 m>1 400 m,Pielou 均匀度指数为 1 800 m>1 600 m>2 000 m>1 200 m>1 400 m,Margalef 丰富度指数为 1 200 m>2 000 m>1 600 m>1 800 m>1 400 m,且各指数在海拔间的变化差异均显著($P<0.05$)。

随着海拔升高,一年生草本、灌木或半灌木的

表 2 不同海拔土壤种子库组成及密度
Table 2 The composition and density of soil seed banks at different altitudes (seeds·m⁻²)

生活型 Life form	物种 Species	科 Family	海拔 Altitude				
			1200 m	1400 m	1600 m	1800 m	2000 m
一年生植物 Annual herb	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	禾本科 Gramineae	390	—	195	15	15
	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	禾本科 Gramineae	5	—	60	—	—
	锋芒草 <i>Tragus racemosus</i>	禾本科 Gramineae	25	—	—	—	—
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科 Gramineae	60	345	290	—	—
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	禾本科 Gramineae	10	—	—	—	—
	小白藜 <i>Chenopodium iljinii</i>	藜科 Chenopodiaceae	50	—	—	—	10
	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	藜科 Chenopodiaceae	225	—	5	—	20
	地肤 <i>Kochia scoparia</i>	藜科 Chenopodiaceae	—	—	—	—	45
	尖头叶藜 <i>Chenopodium acuminatum</i>	藜科 Chenopodiaceae	—	—	—	—	—
	盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>	藜科 Chenopodiaceae	—	—	—	—	5
	白茎盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i>	藜科 Chenopodiaceae	—	—	—	—	50
	莨菪蒿 <i>Artemisia anethoides</i>	菊科 Compositae	—	—	10	—	—
	蒺藜 <i>Tribulus terrester</i>	蒺藜科 Zygophyllaceae	5	—	—	—	—
	地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	大戟科 Euphorbiaceae	15	—	5	—	—
	野大豆 <i>Glycine soja</i>	豆科 Leguminosae	5	—	—	—	—
合计 Total			810±15.28A	345±7.64C	565±11.55B	15±2.89E	145±10.41D
多年生植物 Perennial herb	地黄 <i>Rehmannia glutinosa</i>	玄参科 Scrophulariaceae	5	—	—	—	—
	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	禾本科 Gramineae	—	45	—	—	—
	九顶草 <i>Enneapogon borealis</i>	禾本科 Gramineae	—	—	120	—	5
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	禾本科 Gramineae	—	—	—	5	—
合计 Total			5±0.00C	45±5.77B	120±7.64A	5±0.00C	5±2.89C
灌木或小灌木 Shrub or subshrub	白莲蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	菊科 Compositae	10	—	—	5	330
	蓍状亚菊 <i>Ajania achilloides</i>	菊科 Compositae	—	—	—	5	35
	华北米蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	菊科 Compositae	—	—	—	—	345
	合计 Total		10±2.89B	—	—	10±5.77B	710±7.64A
总密度 Total density			825±16.07A	390±10.41C	685±5.00B	30±5.00D	860±18.93A

注:—表示未出现此植物种。不同大写字母表示海拔间差异性显著($P<0.05$)
Note:—No this plant appear. Different letters indicate significant differences between altitudes ($P<0.05$)



ALL. 全部植物种;AH. 一年生草本植物;PH. 多年生草本植物;SS. 灌木或半灌木。不同大写字母表示海拔间差异性显著($P < 0.05$)

图1 不同海拔土壤种子库多样性特征

ALL. All plant species; AH. Annual herb; PH. Perennial herb; SS. Shrub or subshrub. Different letters indicate significant differences between altitudes ($P < 0.05$)

Fig. 1 Diversity characteristics of soil seed banks at different altitudes

Shannon-Wiener 指数和 Simpson 优势度指数增大,而一年生草本的 Pielou 均匀度指数增大,灌木或半灌木的 Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均减小,且海拔间有显著差异($P < 0.05$)。

如表 3 所示,海拔间植物群落土壤种子库相似性不同。海拔 1 200 m 土壤种子库与 1 600 m 土壤种子库相似性最高,相似性系数为 0.45,共同物种有 5 种;海拔 2 000 m 植物群落与 1 200m、1 600 m 和 1 800 m 海拔植物群落土壤种子库相似性均较大,相似性系数分别为 0.32、0.35、0.29,共同物种分别有 4 种、3 种、2 种;其余海拔间土壤种子库相似性均较低。

2.2 不同海拔土壤种子库与相应地上植被的物种组成关系

2.2.1 土壤种子库与地上植被物种组成 由表 2 和表 5 可知,不同海拔高度土壤种子库物种组成具有差异。在研究区土壤种子库中共有植物 22 种,隶属于 7 科,禾本科种类最多,为 8 种,藜科 6 种,菊科 4 种,蒺藜科、大戟科、豆科和玄参科各 1 种。其中海拔 1 200 m 处有植物 12 种,隶属于 7 科,其中禾本科 5 种,藜科 2 种,蒺藜科、大戟科、豆科、玄参科和菊科各 1 种。

表3 不同海拔间土壤种子库相似性

Table 3 Similarity of soil seed bank among different altitudes

海拔 Altitudes /m	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000
1 200	1				
1 400	0.12(1)	1			
1 600	0.45(5)	0.22(1)	1		
1 800	0.21(2)	—	0.18(1)	1	
2 000	0.32(4)	—	0.35(3)	0.29(2)	1

1 400 m 处有植物 2 种,均隶属于禾本科。1 600 m 处有植物 7 种,隶属于 4 科,其中禾本科 4 种,藜科、菊科和大戟科各 1 种。1 800 m 处有植物 4 种,隶属于 2 科,其中禾本科、菊科各 2 种。2 000 m 处有植物 10 种,隶属于 3 科,其中藜科 5 种,菊科 3 种,禾本科 2 种。随着海拔升高,隶属于禾本科的物种数呈下降趋势,菊科和藜科呈增加趋势,蒺藜科、大戟科、豆科和玄参科消失。

如表 4 和表 5 所示,样地地上植被群落共出现 33 种植物,隶属于 13 科,菊科种类最多,为 8 种,禾本科 7 种,藜科 4 种,豆科 3 种,唇形科和旋花科各 2

表 4 不同海拔地上植被物种重要值

Table 4 Important values of aboveground vegetation species at different altitudes

生活型 Life style	物种 Species	科 Family	重要值 Important value				
			1 200 m	1 400 m	1 600 m	1 800 m	2 000 m
一年生 草本 Annual herb	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科 Gramineae	7.07	18.64	—	—	—
	苦蕒菜 <i>Ixeris polycephala</i>	菊科 Compositae	—	—	3.57	—	—
	黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	菊科 Compositae	—	—	3.43	—	—
	砂蓝刺头 <i>Echinops gmelini</i>	菊科 Compositae	—	—	3.23	—	—
	灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	藜科 Chenopodiaceae	0.6	—	—	—	—
	地肤 <i>Kochia scoparia</i>	藜科 Chenopodiaceae	2.49	—	—	—	—
	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	藜科 Chenopodiaceae	1.15	—	2.16	—	—
	白茎盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i>	藜科 Chenopodiaceae	—	—	—	—	21.82
多年生 草本 Perennial herb	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	禾本科 Gramineae	20.13	6.18	9.87	31.57	—
	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	禾本科 Gramineae	0.57	7.83	4.95	—	—
	冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	禾本科 Gramineae	2.89	—	—	—	—
	赖草 <i>Leymus secalinus</i>	禾本科 Gramineae	—	12.21	—	—	—
	鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i>	禾本科 Gramineae	—	—	—	—	7.17
	芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i>	禾本科 Gramineae	—	—	—	—	11.48
	帚状鸦葱 <i>Scorzonera pseudodixaricata</i>	菊科 Compositae	0.57	—	—	—	—
	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	菊科 Compositae	0.93	—	4.97	—	—
	沙蒿 <i>Artemisia desertorum</i>	菊科 Compositae	9.01	—	25.08	13.16	—
	灰叶黄耆 <i>Astragalus discolor</i>	豆科 Leguminosae	—	—	—	8.88	—
	紫花棘豆 <i>Oxytropis subfalcata</i>	豆科 Leguminosae	—	—	—	—	31.18
	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i>	唇形科 Labiatae	—	—	13.01	—	—
	冬青叶兔唇花 <i>Lagochilus ilicifolius</i>	唇形科 Labiatae	3.53	—	10.01	—	—
	蒙古韭 <i>Allium mongolicum</i>	百合科 Liliaceae	1.22	—	4.19	4.19	—
	远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	远志科 Polygalaceae	0.88	—	—	—	—
	银灰旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>	旋花科 Convolvulaceae	4.91	8.02	—	—	—
	灰绿黄堇 <i>Corydalis adunca</i>	罂粟科 Papaveraceae	—	10.52	—	—	—
灌木或 半灌木 Shrub or subshrub	华北米蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	菊科 Compositae	12.82	—	15.53	6.86	—
	蓍状亚菊 <i>Ajania achilloides</i>	菊科 Compositae	—	13.36	—	—	—
	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	豆科 Leguminosae	0.6	—	—	—	—
	刺旋花 <i>Convolvulus tragacanthoides</i>	旋花科 Convolvulaceae	2.33	—	—	—	—
	野丁香 <i>Leptodermis potanini</i>	茜草科 Rubiaceae	5.46	14.27	—	—	—
	蒙古扁桃 <i>Amygdalus mongolica</i>	蔷薇科 Rosaceae	4.92	—	—	25.4	28.35
	霸王 <i>Sarcozygium xanthoxylon</i>	蒺藜科 Zygophyllaceae	8.27	8.97	—	9.95	—
	酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i>	鼠李科 Rhamnaceae	9.66	—	—	—	—

注:—表示未出现此植物种

Note:—No this plant appear

种、百合科、远志科、茜草科、蔷薇科、蒺藜科、鼠李科和罂粟科各 1 种。其中,一年生草本共有 8 种,隶属于 3 科,藜科种类最多,为 4 种,菊科 3 种,禾本科 1 种;多年生草本共有 17 种,隶属于 8 科,禾本科种类最多,为 6 种,菊科 3 种,唇形科和豆科各 2 种,百合科、远志科和旋花科各 1 种;灌木或半灌木共有 8 种,隶属于 7 科,菊科种类最多,为 2 种,旋花科、豆科、茜草科、蔷薇科、蒺藜科和鼠李科各 1 种。

2.2.2 土壤种子库与地上植被物种生活型构成

由表 6、表 7 可知,地上植被与土壤种子库物种生活

表 5 不同海拔土壤种子库与地上植被物种数及其科类分布

Table 5 The number of soil seed banks and above-ground vegetation species and their family distribution at different altitudes

科 Family		物种数 Number of species	海拔 Altitude/m				
			1 200	1 400	1 600	1 800	2 000
土壤种子库 Soil seed banks	禾本科 Gramineae	8	5	2	4	2	2
	菊科 Compositae	4	1	—	1	2	3
	藜科 Chenopodiaceae	6	2	—	1	—	5
	蒺藜科 Zygophyllaceae	1	1	—	—	—	—
	大戟科 Euphorbiaceae	1	1	—	1	—	—
	豆科 Leguminosae	1	1	—	—	—	—
	玄参科 Scrophulariaceae	1	1	—	—	—	—
	物种总数 Total	21	12	2	7	4	10
地上植被 Aboveground vegetation	禾本科 Gramineae	7	4	4	2	1	2
	藜科 Chenopodiaceae	4	3	—	1	—	1
	菊科 Compositae	8	4	1	6	2	—
	百合科 Liliaceae	1	1	—	1	1	—
	远志科 Polygalaceae	1	1	—	—	—	—
	唇形科 Labiatae	2	1	—	2	—	—
	旋花科 Convolvulaceae	2	2	1	—	—	—
	豆科 Leguminosae	3	1	—	—	1	1
	茜草科 Rubiaceae	1	1	1	—	—	—
	蔷薇科 Rosaceae	1	1	—	—	1	1
	蒺藜科 Zygophyllaceae	1	1	1	—	1	—
	鼠李科 Rhamnaceae	1	1	—	—	—	—
	罂粟科 Papaveraceae	1	—	1	—	—	—
	物种总数 Total	33	21	9	12	7	5

型构成在 5 个海拔高度存在差异性。其中,土壤种子库物种生活型构成海拔间的变化差异显著($P<0.05$),而地上植被物种生活型构成在海拔间差异不显著($P>0.05$)。一年生草本在海拔 1 200~1 800 m 土壤种子库占比较大,但在地上植被中占比明显低于多年生草本和灌木或半灌木。在海拔 1 200 m 处土壤种子库密度中一年生草本种子密度最大,贡献了该海拔 98.18% 的种子,但地上植被占比最大的为多年生草本,这可能是由于一年生草本的繁殖策略所导致的。与其他海拔相比,海拔 1 800 m 土壤种子库密度中多年生草本占比相对较高,相对应的地上植被占比最大的也为多年生草本。在海拔 2 000 m 处土壤种子库密度中灌木或半灌木种子密度最大,贡献了该海拔 82.60% 的种子,但地上植被占比最大的为多年生草本,这可能是由于灌木或半灌木的繁殖策略所导致的。

2.2.3 土壤种子库与地上植被耦合关系 如表 8 所示,5 个海拔高度地上植被与土壤种子库的相似性均较低,且地上植被与土壤种子库在物种组成上有显著差异。5 个海拔高度地上植被与土壤种子库的相似性系数分别为 0.12、0.33、0.11、0.12 和 0.12,共有种分别为 3、2、1、1 和 1。海拔 1 400 m 相似性较高,为 0.33;海拔 1 600 m 相似性较低,仅为 0.11。说明该研究区不同海拔高度地上植被群落稳定性和发展趋势具有差异性。

2.3 土壤种子库物种多样性与土壤理化因子的 RDA 分析

为了更好地揭示土壤种子库与土壤环境因子之间的关系,采用冗余分析的方法进行排序,将不同海拔高度土壤种子库物种多样性指数(Shannon-Wiener 指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数)作为响应变量,土壤各理化

表 8 不同海拔土壤种子库与地上植被相似性

Table 8 Similarities between soil seed banks and aboveground vegetation at different altitudes

海拔 Altitude /m	地上植被 Aboveground vegetation	土壤种子库 Seed banks	Soreson 相似性(共有种) Soreson similarity (common species)
1 200	15	21	0.12(3)
1 400	2	10	0.33(2)
1 600	7	12	0.11(1)
1 800	4	8	0.12(1)
2 000	10	7	0.12(1)

表 6 不同海拔土壤种子库物种生活型构成

Table 6 Species life form composition of soil seed bank at different altitudes

海拔 Altitude /m	一年生草本 Annual herb		多年生草本 Perennial herb		灌木或半灌木 Shrub or subshrub	
	密度 Density /(seeds · m ⁻²)	贡献率 Contribution rate/%	密度 Density /(seeds · m ⁻²)	贡献率 Contribution rate/%	密度 Density /(seeds · m ⁻²)	贡献率 Contribution rate/%
1 200	810±15.28Aa	98.18±0.33Aa	5±0.00Cb	0.61±0.01Cb	10±2.89Bb	1.21±0.34Cb
1 400	345±7.64Ca	88.50±1.27Aa	45±5.77Bb	11.50±1.27Bb	—	—
1 600	565±11.55Ba	82.47±1.20Aa	120±7.64Ab	17.53±1.20Ab	—	—
1 800	15±1.25Ea	52.50±4.36Ba	5±0.00Ca	17.50±1.45Aa	10±8.08Ba	30.00±2.49Ba
2 000	145±10.41Db	16.83±0.89Cb	5±2.89Cc	0.57±0.32Cc	710±7.64Aa	82.60±0.96Aa

注:大写字母表示不同海拔间的差异,而小写字母表示不同生活型物种间的差异
Note: Capital letters indicate the difference between different altitudes, while lowercase letters indicate the difference between different life form species

表 7 不同海拔地上植被物种生活型构成

Table 7 Species life form composition of aboveground vegetation at different altitudes

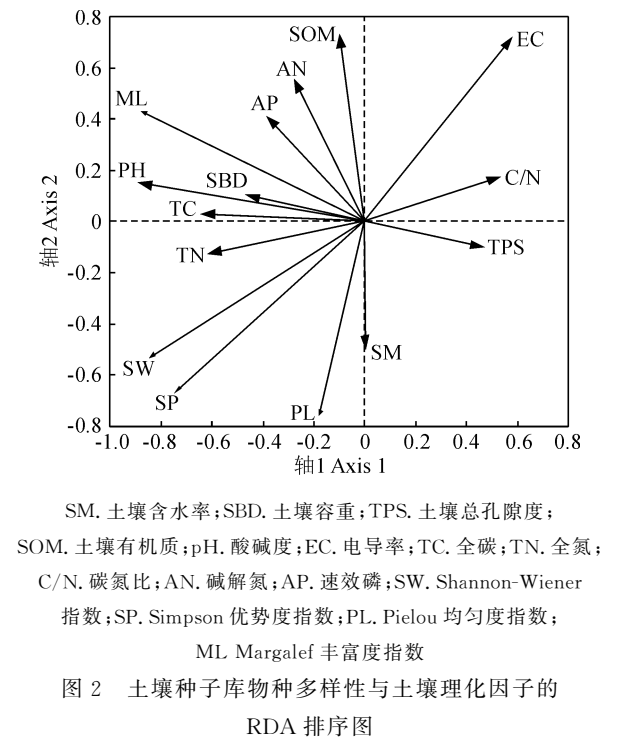
海拔 Altitude /m	一年生草本 Annual herb		多年生草本 Perennial herb		灌木或半灌木 Shrub or subshrub	
	密度 Density/(seeds · m ⁻²)	重要值 Important value	密度 Density/(seeds · m ⁻²)	重要值 Important value	密度 Density/(seeds · m ⁻²)	重要值 Important value
1 200	5	11.31	20	44.64	10	44.05
1 400	16	18.64	16	44.76	5	36.60
1 600	4	12.38	15	72.09	8	15.22
1 800	—	—	20	57.79	4	42.21
2 000	40	21.82	3	49.84	1	28.35

表 9 土壤种子库物种多样性与土壤理化因子的 RDA 排序分析

Table 9 RDA ranking analysis of soil seed bank species diversity and soil physical and chemical factors

排序轴 Axe	1	2
特征值 Eigenvalues	0.708	0.248
物种-环境相关性 Species-environment correlations	0.983	0.987
变量积累百分比物种数据 Cumulative percentage variance of species data	70.8/%	95.6/%
物种-环境关系 species-environment relation	73.1/%	98.7/%
所有特征值之和 Sum of all eigenvalues	1	
所有典型特征值之和 Sum of all canonical eigenvalues	0.968	

指标作为解释变量,进行 RDA 分析,筛选能明显影响土壤种子库变化的土壤理化因子。由表 9 可知,RDA 排序图的前两个排序轴特征值分别为 0.708 和 0.248,相对应的物种数据变量积累百分比分别为 70.8%和 95.6%,故轴 1 能较好地反映土壤种子库物种多样性与土壤理化因子的变化特征。由图 2 和表 10 可知,土壤种子库物种多样性指数与土壤容重、pH、有机质、全碳、全氮、碱解氮、速效磷呈正相关,与含水率、总孔隙度、电导率、碳氮比呈负相关,其中与 pH 呈显著正相关,与电导率呈显著负相关,即 pH、电导率对土壤种子库物种多样性的影响较大。



SM. Soil moisture content; SBD. Soil bulk density; TPS. Soil total porosity; SOM. Soil organic matter; pH. Acidity; EC. Electrical conductance; TC. Total carbon; TN. Total nitrogen; C/N. Carbon to nitrogen ratio; AN. Alkaline nitrogen; AP. Available phosphorus; SW. Shannon-Wiener Index; SP. Simpson Dominance Index; PL. Pielou Uniformity Index; ML. Margalef Richness Index

Fig.2 RDA ordination diagram of species diversity of soil seed bank and soil physical and chemical factors

3 讨论与结论

3.1 不同海拔土壤种子库特征

土壤种子库特征显著影响该生态系统稳定性、演替趋势、植被恢复潜力^[21]。在本研究中,5个海拔高度的土壤种子库种子密度、物种组成、生活型、多样性均存在差异。海拔等地形因素显著影响土壤种子库种子密度^[22]。海拔2 000 m和1 200 m处土壤种子库密度显著高于其他海拔,但其种子来源并不相同,海拔1 200 m处种子主要来源于一年生草本,海拔2 000 m土壤种子库主要来源于灌木或半灌木,海拔1 600 m土壤种子库主要来源于多年生草本。种子库萌发物种以禾本科草本植物为主。随着海拔升高,隶属于禾本科的物种数呈下降趋势,菊科和藜科物种呈增加趋势,蕨藜科、大戟科、豆科和玄参科物种消失。

土壤种子库间相似性可用来预测该植物群落发展、演替。在本研究中,5个海拔高度的植被群落土

表 10 土壤理化因子对土壤种子库物种多样性的 RDA 条件解释变量				
Table10 RDA condition explanatory variables of soil physical and chemical factors on species diversity of soil seed bank				
因素 Factor	影响 Influence	F	P	MCR/%
SM	0.03	1.77	0.176	3
SBD	0.01	0.77	0.508	1
TPS	0.01	0.77	0.508	1
pH	0.56	13.97	0.002 **	56
EC	0.23	10.83	0.002 **	23
SOM	0.04	3.44	0.070	4
TC	0.03	1.74	0.238	3
TN	0.01	0.41	0.666	1
C/N	0.02	1.28	0.264	2
AN	0.01	0.79	0.466	1
AP	0.03	1.62	0.214	3
合计 Total				98

注: MCR 表示单个环境因子的解释变量; ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关

Note: MCR represents the explanatory variable of a single environmental factor; ** is significantly correlated at the 0.01 level (two-sided)

壤种子库相似性具有差异性,海拔2 000 m植物群落与其他海拔植物群落土壤种子库相似性均大于该海拔与其他海拔植物群落土壤种子库相似性,可能是因为海拔2 000 m植物群落土壤种子库中优势种画眉草、猪毛菜常见于其他海拔。

土壤种子库多样性指数常用来表征植物群落潜在种群稳定性,可用来预测群落演替方向等。物种多样性常用 Shannon-Wiener 指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数来表示。在本研究中,随着海拔升高,一年生草本、灌木或半灌木的 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 优势度指数显著增加,一年生草本的 Pielou 均匀度显著增加,灌木或半灌木的 Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数显著降低。海拔1 400 m处土壤种子库的稳定性指数、生态优势度指数、均匀度指数和物种丰富度指数均显著低于其他4个海拔,即海拔1 400 m处土壤种子库多样性最低。海拔2 000 m处土壤种子库表现为一年生草本和灌木或半灌木的物种多样性有更高的稳定性、生态优势度,一年生草本分布均匀,可能是因为海拔2 000 m处虽然物种数量多,但灌木或半灌木植物物种数量占优势。

贺兰山低山区土壤种子库多样性受自身物种组成影响,还可能受地上植被制约,需进一步研究。

3.2 不同海拔土壤种子库与相应地上植被的物种组成关系

地上植被与土壤种子库物种组成显著影响生态系统稳定性、演替趋势、植被恢复潜力^[21]。在本研究中,地上植被与土壤种子库在密度、物种组成、物种多样性以及相似性均具有较大差异,与 Smith^[23]、张起鹏等^[24] 研究结果一致,与 Yuan^[25]、Valk^[26] 不一致。本研究区内,贺兰山 5 个海拔高度地上植被共计调查 33 种植物隶属于 13 科,土壤种子库共计萌发 22 种植物隶属于 7 科,各海拔高度土壤种子库物种数均显著低于地上植被,表明贺兰山不同海拔典型植物群落地上植被与土壤种子库的物种组成差异较大。对 5 个海拔高度进行植被调查和土壤种子库萌发实验,发现禾本科、菊科、藜科植物在 地上植被群落和土壤种子库中出现比例均较高,且随着海拔升高,禾本科和藜科植物占比减少,菊科植物占比增加。说明禾本科、菊科、藜科植物在贺兰山适应度相对较高,且随海拔变化而变化,繁殖策略偏向于种子繁殖。在物种生活型组成上,土壤种子库中物种数占比最大为一年生草本,地上植被为多年生草本,差异较大,可能是因为植物的不同繁殖策略引起的,一年生草本生活史较短,种子小且量大,多年生草本、灌木或半灌木倾向于量小种子大的繁殖策略。

地上植被与土壤种子库相似性可用来衡量该植物群落稳定性和预测该群落的发展趋势^[27]。在本研究中,有 6 种植物共同出现在土壤种子库和地上

植被中,16 种植物仅出现在土壤种子库中,27 种植物仅出现于地上植被中,土壤种子库和地上植被之间具有较低的相似性,除海拔 1 400 m 的相似性指数为 0.33 外,其余海拔高度相似性系数均为 0.11 和 0.12。地上植被与土壤种子库相似性较低,与齐丹卉^[28]、张志明等^[29] 研究结果一致。可能是因为贺兰山地处干旱半干旱区,气候干旱少雨,种子在土壤种子库中的持久性受到影响;也可能是由于地上植被的物种表现为以多年生草本占优势,其繁殖策略形成的种子量少,对土壤种子库形成的贡献率较低。

植被恢复的潜力与土壤种子库种子密度和物种多样性密切相关^[30]。土壤种子库物种多样性既受地上植被特征制约,同时也受土壤特性影响^[31]。在本研究中,pH、电导率对土壤种子库物种多样性的影响较大,与王晓荣^[32]、翟付群等^[33] 研究结果一致。可能是通过影响种子形成、储存、萌发等过程直接或间接影响土壤种子库,关于这方面的问题还需进一步研究。在本研究中,5 个海拔高度土壤种子库密度均较低,土壤种子库种源尚不能满足地上植被恢复所需种源量;5 个海拔高度土壤种子库物种多样性均较低,无法满足植被自然恢复需求,特别是海拔 1 400 m 处物种多样性显著低于其他海拔,恢复潜力最低。贺兰山低山区风蚀严重、植被稀疏,土壤种子库自身所具有的种子无法满足植被自然恢复需求,可采取飞播等生态恢复措施来弥补表层土壤种子的不足,从而满足地上植被恢复所需种源量。关于种子种类的选取和实际应用时的外界因素的干扰,还需进一步研究。

参考文献:

[1] 金 山. 宁夏贺兰山国家级自然保护区植物多样性及其保护研究[D]. 北京:北京林业大学,2009.

[2] 王小明. 宁夏贺兰山国家级自然保护区综合科学考察[M]. 银川:宁夏阳光出版社,2011.

[3] 梁存柱,朱宗元. 内蒙古贺兰山自然保护区植物多样性[M]. 银川:宁夏人民出版社,2007.

[4] 顾延生,丁俊傑,葛继稳. 贺兰山中段植被类型及其覆盖变化研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2016,50(4): 579-587. GU Y S, DING J J, GE J W. Survey on the vegetation types and their coverage changes in the middle Helan Mountain [J]. Journal of Central China Normal University (Natural Science Edition), 2016, 50(4): 579-587.

[5] 蒋有绪. 论 21 世纪生态学的新使命——演绎生态系统在地球表面系统过程中的作用[J]. 生态学报,2004,24(8): 1 824-1 827. JIANG Y X. New mission of ecology in 21st century: to deduct

the functions of ecosystems in process of earth surface system [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004,24(8): 1 824-1 827.

[6] 梁存柱,朱宗元,王 炜,等. 贺兰山植物群落类型多样性及其空间分异[J]. 植物生态学报,2004,28(3): 361-368. LIANG C Z, ZHU Z Y, WANG W, et al. The diversity and spatial distribution of plant communities in the Helan Mountain [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2004,28(3): 361-368.

[7] 狄维忠,田连恕,李智军. 贺兰山种子植物区系的特征[J]. 西北植物学报,1988,8(4): 242-254. DI W Z, TIAN L S, LI Z J. The characteristics of Helan Mountain flora of spermatophytes[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1988,8(4): 242-254.

[8] 解新明,马万里,赵良成. 贺兰山禾本科植物的生态地理分布及区系特征[J]. 干旱区资源与环境,1999,(2): 17-24. XIE X M, MA W L, ZHAO L C. Ecogeographical distribution and floristic characteristics of Gramineae in Helan Mountain[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,

1999,(2): 17-24.

[9] LECK M A, PARKER V T, SIMPSON R L. Ecology of soil seed bank [M]. New York: Academic Press, 1989.

[10] HE M X, LÜ L, LI H Y, *et al.* Analysis on soil seed bank diversity characteristics and its relation with soil physical and chemical properties after substrate addition[J]. *PLoS One*, 2016,**11**(1): e0147439.

[11] ROBERTS H A, NEILSON J E. Seed banks of soils under vegetable cropping in England[J]. *Weed Research*, 1982,**22**(1): 13-16.

[12] BIGWOOD D W, INOUE D W. Spatial pattern analysis of seed banks: An improved method and optimized sampling [J]. *Ecology*, 1988,**69**(2): 497-507.

[13] HARPER J L. Population Biology of Plants [M]. London: Academic Press, 1977.

[14] 于 露,周玉蓉,赵亚楠,等. 荒漠草原土壤种子库对灌丛引入和降水梯度的响应特征[J]. 草业学报, 2020,**29**(4): 41-50.
YU L, ZHOU Y R, ZHAO Y N, *et al.* Responses of the soil seed bank to simulated rainfall levels and anthropogenically introduced shrub encroachment in the desert steppe[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020,**29**(4): 41-50.

[15] 马全林,卢 琦,魏林源,等. 干旱荒漠白刺灌丛植被演替过程土壤种子库变化特征[J]. 生态学报, 2015,**35**(7): 2 285-2 294.
MA Q L, LU Q, WEI L Y, *et al.* Varying characteristics of soil seed banks during the succession process of *Nitraria tangutorum* vegetation in an arid desert area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015,**35**(7): 2 285-2 294.

[16] COFFIN D P, LAUENROTH W K. Spatial and temporal variation in the seed bank of a semiarid grassland[J]. *American Journal of Botany*, 1989,**76**(1): 53-58.

[17] 赵凌平,程积民,苏纪帅. 土壤种子库在黄土高原本氏针茅草地群落长期封禁演替过程中的作用[J]. 草业学报, 2012,**21**(3): 38-44.
ZHAO L P, CHENG J M, SU J S. The role of soil seed bank in vegetation succession under grazing exclusion in *Stipa bungeana* grasslands on the Loess Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012,**21**(3): 38-44.

[18] OSEM Y, PEREVOLOTSKY A, KIGEL J. Similarity between seed bank and vegetation in a semiarid annual plant community: The role of productivity and grazing[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2006,**17**(1): 29-36.

[19] 王文彬. 扩散和土壤种子库在高寒草甸裸地斑块恢复过程中的作用[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.

[20] 刘秉儒,张秀珍,胡天华,等. 贺兰山不同海拔典型植被带土壤微生物多样性[J]. 生态学报, 2013,**3**(22): 7 211-7 220.
LIU B R, ZHANG X Z, HU T H, *et al.* Soil microbial diversity under typical vegetation zones along an elevation gradient in Helan Mountains[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013,**33**(22): 7 211-7 220.

[21] PUGNAIRE F I, LÁZARO R. Seed bank and understorey species composition in a semi-arid environment: The effect of shrub age and rainfall[J]. *Amals of Botany*, 2000,**86**(4): 807-813.

[22] CHAMBERS J C. Seed movements and seedling fates in disturbed sagebrush steppe ecosystems: Implications for restoration [J]. *Ecological Applications*, 2000,**10**(5): 1 400-1 413.

[23] SMITH L M, KADLEC J A. Seed banks and their role during drawdown of a North American marsh[J]. *The Journal of Applied Ecology*, 1983,**20**(2): 673.

[24] 张起鹏,王 建,赵成章,等. 高寒干旱草原披针叶黄华植物群落土壤种子库与地上植被的关系[J]. 生态学报, 2017,**37**(14): 4 619-4 626.
ZHANG Q P, WANG J, ZHAO C Z, *et al.* Relationships between the soil seed bank and above-ground vegetation of a *Thermopsis lanceolata* community in degraded alpine arid grasslands[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017,**37**(14): 4 619-4 626.

[25] YUAN L Y, LIU G H, LI W, *et al.* Seed bank variation along a water depth gradient in a subtropical lakeshore marsh, Longgan Lake, China[J]. *Plant Ecology*, 2007,**189**(1): 127-137.

[26] VAN DER VALK A G, DAVIS C B. The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial marshes [J]. *Ecology*, 1978,**59**(2): 322-335.

[27] 高 芳. 三峡水库消落区地表植被及其土壤种子库时空动态研究[D]. 重庆: 重庆三峡学院, 2017.

[28] 齐丹丹,刘文胜,李世友,等. 兰坪铅锌矿区植被恢复初期土壤种子库与地上植被关系的研究[J]. 西北植物学报, 2013,**33**(11): 2 317-2 325.
QI D H, LIU W S, LI S Y, *et al.* Relationship between aboveground vegetation and soil seed banks from different communities of initial restoration stage in Lanping lead/zinc mining area[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013,**33**(11): 2 317-2 325.

[29] 张志明,沈 蕊,张建利,等. 元江流域干热河谷灌草丛土壤种子库与地上植物群落的物种组成比较[J]. 生物多样性, 2016,**24**(4): 431-439.
ZHANG Z M, SHEN R, ZHANG J L, *et al.* Comparisons of species composition between soil seed banks and aboveground plant communities in the dry-hot valley of the Yuanjiang River [J]. *Biodiversity Science*, 2016,**24**(4): 431-439.

[30] 刘子敬. 北京松山典型植物群落土壤种子库特征与应用研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2020.

[31] 李国旗,邵文山,赵盼盼,等. 荒漠草原区 4 种植物群落土壤种子库特征及其土壤理化性质[J]. 生态学报, 2019,**39**(17): 6 282-6 292.
LI G Q, SHAO W S, ZHAO P P, *et al.* Analysis of soil seed bank characteristics and soil physical and chemical properties of four plant communities in a desert steppe region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019,**39**(17): 6 282-6 292.

[32] 王晓荣. 三峡库区消落带土壤理化性质及种子库研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.

[33] 翟付群,许 诺,莫训强,等. 天津蓟运河故道消落带土壤种子库特征与土壤理化性质分析[J]. 环境科学研究, 2013,**26**(1): 97-102.
ZHAI F Q, XU N, MO X Q, *et al.* Characteristics of soil seed banks and soil physical and chemical properties of hydro-fluctuation belt in Jiayun Canal[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2013,**26**(1): 97-102.