

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0472

鲁延芳, 马力, 占玉芳, 甄伟玲, 滕玉凤, 钱万建. 河西走廊中部沙漠人工植被中土壤种子库特征. 草业科学, 2019, 36(9): 2334-2341.

LU Y F, MA L, ZHAN Y F, ZHEN W L, TENG Y F, QIAN W J. Characteristics of soil seed banks in an artificial desert vegetation in the Hexi Corridor. Pratacultural Science, 2019, 36(9): 2334-2341.

河西走廊中部沙漠人工植被中土壤种子库特征

鲁延芳, 马力, 占玉芳, 甄伟玲, 滕玉凤, 钱万建

(张掖市林业科学研究院, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 土壤种子库在植被恢复中具有极其重要的作用。本研究以河西走廊人工植被为研究对象, 采用野外植被调查、定点土样采集与种子萌发试验相结合的方法, 研究了人工植被中土壤种子库组成、空间分布以及物种多样性等特征。结果表明: 1) 土壤种子库共有 9 种植物, 分属 3 科 8 属, 表现出土壤种子库组成简单, 科属种较为集中, 一年生植物植株数量占有所有种子库植物数量的 89.53%。2) 0-2、2-5、5-10 cm 土层土壤种子库密度分别为 54.71、58.00、132.86 粒·m⁻², 0-5 cm 土层土壤种子库密度较小, 5-10 cm 土层土壤种子库密度较大。3) 土壤种子库植物与地上植被的共有物种数多, 相似性系数为 0.600 8, 达到中等相似或极相似水平, 表现出较小的空间异质性。土壤种子库植物与地上植物在植物组成种类、数量、密度上正相关。4) 不同梯度土壤种子库的多样性指数较低, 土壤种子库中的 Simpson 多样性指数、Shannon-wiener 多样性指数(H)、Pielou 均匀度指数(E)变化趋势基本一致, 随着土层深度增加而增加。

关键词: 河西走廊; 人工植被; 土壤种子库; 萌发

中图分类号: S154.4 文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2019)09-2334-08

Characteristics of soil seed banks in an artificial desert vegetation in the Hexi Corridor

LU Yanfang, MA Li, ZHAN Yufang, ZHEN Weiling, TENG Yufeng, QIAN Wanjian

(Zhangye Forestry Science Academy, Zhangye 734000, Gansu, China)

Abstract: The soil seed bank plays an important role in vegetation restoration. This research determined artificial vegetation seed bank of the Hexi Corridor. We conducted a field vegetation survey with fixed point soil sample collection and a seed germination experiment. Research characteristics of the composition of the soil seed bank in the artificial vegetation and the spatial distribution and species diversity were determined. The results showed that: 1) There were 9 species of plants in the soil seed bank that belonged to 3 families and 8 genera. The soil seed bank was simple. The family of the species were concentrated. The number of annual plants accounted for 89.53 % of all seed bank plants. 2) Seed bank density at 0-2 cm depth was 54.71 grains·m⁻², 2-5 cm was 58.00 grains·m⁻², and 5-10 cm was 132.86 grains·m⁻². At 0-5 cm, the lowest density of the soil seed bank occurred and at 0-5 cm it was the highest. 3) There were numerous common species in the soil seed bank and of ground plants. The similarity factor was 0.600 8. Medium or highly similar levels occurred with lower spatial heterogeneity. There were positive correlations between composition, quantity, and density of ground plants and seed bank. 4) There was a low diversity index for the different gradients in the seed bank. As the depth of the soil increased the trends in the Simpson and Shannon-Wiener index, and Pielou's evenness index (E) showed consistency in the soil seed bank.

收稿日期: 2018-08-15 接受日期: 2019-03-14

基金项目: 国家自然科学基金项目“河西走廊人工沙漠植被土壤种子库结构与萌发策略研究”(31560240)

通信作者: 鲁延芳(1982-), 女, 甘肃永登人, 高级工程师, 硕士, 主要从事林业生态工程、荒漠化综合治理和生态恢复与重建研究。

E-mail: lkylyf1014@126.com

Keywords: Hexi Corridor; artificial vegetation; seed bank; germination

Corresponding author: LU Yanfang E-mail: lkylyf1014@126.com

近百年来,受气候变化和人为活动的影响,荒漠化不仅是一个重要的生态问题,也是人类所共同面临的一个非常严峻的经济和社会持续发展的问題。荒漠人工植被建设是荒漠化治理的主要方法和手段,人工治沙对荒漠化过程的逆转、沙漠地区生态平衡和荒漠化防治整体逆转具有重要的作用,而植物的生存和繁衍离不开土壤种子库^[1]。河西走廊被腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠包围,生态环境十分脆弱,地势平坦,戈壁和沙漠广泛分布,绿洲面积较小,植被覆盖度和永久性雪盖面积减少,部分地区生态问题激化。因此,人工治沙在防治荒漠化进程中起到举足轻重的作用,而土壤种子库作为一种潜在的植物群落^[2],为生态系统植被恢复和重建提供着重要基础^[3]。研究土壤种子库特征对于阐明退化生态系统受损与恢复机理具有重要的科学意义^[4]。土壤种子库作为植被潜在更新和演替能力的重要组成部分,在植被恢复和种的延续过程中起着重要作用^[5],尤其在环境恶劣的荒漠地区,这种潜在恢复作用更加突出。国内外学者在不同区域对不同植被类型土壤种子库的大小与组成、放牧对种子库的影响以及土壤种子库在植被恢复中的作用等内容进行了大量深入的研究^[3-6]。而对于干旱荒漠区土壤种子库特征研究很少,尤其是对人工沙漠土壤种子库的物种组成、演替规律以及影响因素等尚未见报道。因此,选择河西走廊中部临泽治沙林场人工植被,采用野外植被调查、定点取土样、土样采集与种子萌发试验相结合的方法开展土壤种子库特征研究,分析土壤种子库的组成、分布、密度、数量特征,土壤种子库物种多样性及其与地上植被的关系,探讨人工治沙对于土壤种子库植被的贡献问题,旨在为实现干旱荒漠区生态恢复和重建提供重要的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

临泽县地处河西走廊中部,属大陆性荒漠草原气候。气候干燥,降水稀少且集中,蒸发量大,多风,四季分明,冬季寒冷而漫长,夏季炎热而短

暂,春季升温快,秋季降温较慢。云量少,晴天多,光照充足,太阳辐射强。年均气温 7.7 °C,年均降水量 118.4 mm,年蒸发量 1 830.4 mm,年均日照时数 3 052.9 h,无霜期 156 d;年平均沙尘暴日数 3.9 d,年平均风速 2.0 m·s⁻¹。主要灾害性天气有干旱、干热风、低温冻害、局地暴雨、晚霜冻、大风和沙尘暴等。植被稀疏,群落结构简单,其生态系统脆弱易于破坏,且一旦遭到破坏,短时间恢复很困难,且往往是不可逆的^[7]。人工植被灌木以梭梭(*Haloxyton ammodendron*)和白刺(*Nitraria tangutorum*)为主,天然草本植被以雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)和白茎盐生草(*Halogeton arachnoideus*)等为主,土壤基质为疏松、贫瘠的沙土,含水率为 1.16%。

1.2 样地调查与取样

1.2.1 地上植被调查

试验区设在临泽县治沙林场(39°22'–39°23' N, 100°08'–100°09' E,海拔 1 387 m),2016–2017 年选择梭梭人工林样地进行植被群落调查。由于样地内一年生草本和短命植物生长集中在 6、7、8 月,因此分 3 次对地上植物生长繁殖期展开调查。在试验区随机选择 5 个 50 m × 50 m 的典型植被样地,每个样地内随机设置 10 个 5 m × 5 m 灌木样方,10 个 1 m × 1 m 草本小样方,共计 100 个,记录 GPS 位点。对样方内灌木、草本进行全面调查,记录各植物种类、株数、高度、冠幅、盖度等指标。为避免重复调查和漏查,调查过的植物挂标签做标记。用 3 次汇总的调查结果来计算土壤种子库与地上植被之间的相似性,并采用土壤水分分析仪测定样地土壤含水量。

1.2.2 土壤种子库取样

在临泽平川镇的临泽治沙林场梭梭人工林内,分别在 2016、2017 年的 4 和 10 月进行样地内土壤种子库取样(表 1),取样时间是在种子萌发之前,主要综合了持久种子库和瞬时种子库。在样地内沿对角线方向“之”形取样,每 1 m 设置 1 个取样点,每个样地内共设 140 个样点。在每个取样点设置 10 cm × 10 cm 小样方,分 0–2、2–5 和 5–10 cm

表1 临泽治沙林场人工梭梭林调查样地基本情况
Table 1 Basic conditions of survey samples of the shuttle plantation in Linze Shalin Farm

样地编号 Sample number	株行距 Line spacing	海拔 Elevation/m	平均株高 Average plant height/cm	平均冠幅 Average crown/cm	林龄 Trees age/a
I	2 m × 2 m	1 387.0	202.3	205.6	30
II	2 m × 2 m	1 386.2	185.9	151.5	15
III	1.5 m × 2 m	1 389.5	218.5	212.1	15
IV	2 m × 2 m	1 391.0	186.1	180.9	10
V	2 m × 3 m	1 392.0	140.5	173.3	10

3个土层采集原状土壤样品,装入自封袋,带回实验室。自然风干后去除杂物,并将同一样地中每20个样点的两次取样的同层土样混合。

1.2.3 萌发试验

带回实验室的土样,选用117 cm × 117 cm育苗盘作发芽床,装填厚度为2 cm的珍珠岩作基垫,置于露天场所。取适量土样均匀平摊于育苗盘表层,土壤种子库土样厚度为1~2 cm,每一土样设2~4个重复。发芽期间,每天定时喷水一次,保持育苗盘土壤湿润,观察记录种子萌发情况,开始萌发后,可以辨认的幼苗迅速进行鉴定统计,鉴定后轻轻拔除。无法鉴定的幼苗继续生长直至开花,进行鉴定^[7]。在萌发后两个月内翻动土样,以促进种子萌发,直到无种子萌发为止^[8]。萌发试验于2017年4月12日~9月30日进行,直到不再有种子萌发为止。计算出面积为1 m²的土壤种子密度。

1.2.4 土壤种子库种子密度计算

萌发试验的统计结果按取样面积换算为1 m²土壤中所有萌发种子的数量,即为土壤种子库密度。

1.2.5 土壤种子库中种子鉴定

参照《中国植物志》^[9]对种子萌发试验进行植物种类鉴定,将统计到的植物分为灌木、多年生草本和一年生草本植物3种类型,分别计算各类型植物占有植物总数的比例。

1.3 生物多样性计算方法

1.3.1 重要值的计算

重要值=(相对多度+相对高度+相对盖度)/3。

1.3.2 多样性指数的计算

本研究应用 Simpson 指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(E)、Simpson 生态优势度指数(S)、Margalef 丰富度指数(F)进行

α 多样性的计算,其中:

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

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

$$P_i = n_i/N;$$

$$E = \frac{\sum P_i \ln P_i}{\ln s};$$

$$F = (s-1)/\ln N;$$

$$S = \sum n_i(n_i-1)/N(N-1)。$$

式中: P_i 为种*i*的个体数占群落中总个体数的比例, s 为种*i*所在样方的物种总数, n_i 为第*i*个种的个体数, N 为所有种的个体数。

1.3.3 相似性的计算

本研究应用 Sorenson 相似性系数(C)和 Jaccard 相似性系数(C_S)来测度地上植物群落与土壤种子库植物群落在物种组成上的差异,具体计算方法为:

$$C = Z_j/(a+b)。$$

式中: Z_j 为两个群落的共有种在各群落中重要值的总和, a 和**b**分别是两个群落中所有种重要值的总和。

$$C_S = 2d/(S_1+S_2)。$$

式中: d 为2个样本群落之间的相同物种数; S_1 和**S**₂分别为地上植物与土壤种子库植物的物种数。

1.4 数据处理

应用 Excel 进行土壤种子库物种的多样性、均匀度、优势度和丰富度指数及地上植物与种子库植物的相似性计算;应用 SPSS17.0 软件完成土壤种子库植物与地上植物显著性分析。根据土壤种子库萌发计数计算出土壤种子库密度、多样性指

数以及相似性系数。

2 结果与分析

2.1 土壤种子库组成

梭梭人工林土壤种子库共统计到 3 科 8 属 9 种植物 (表 2)。以藜科植物最多, 共 6 种, 分别是雾冰藜、白茎盐生草、梭梭、沙蓬 (*Agriophyllum squarrosum*)、猪毛菜 (*Salsola collina*)、刺沙蓬 (*S. ruthenica*); 禾本科 1 种, 为芦苇 (*Phragmites australis*);

蒺藜科 1 种, 为白刺。一年生植物 6 种; 多年生草本 1 种, 为芦苇; 灌木 2 种, 为梭梭和白刺。一年生植物植株数量占有种子库植物数量的 89.53%, 多年生草本和灌木所占比例很小, 仅占 10.47%。土壤种子库总体表现出科属种较为集中、一年生草本的物种和密度占优势的特点。

2.2 土壤种子库特征的空间分布

2.2.1 土壤种子库的水平分布

在梭梭人工林群落中, 不同样地同一土层中种

表 2 土壤种子库物种组成种属及其重要值
Table 2 Species composition and importance values of soil seed bank

土层 Soil layer	植物种 Plant species	生活型谱 Life spectrum	科名 Family name	属名 Genus name	重要值 Importance value
0-2 cm	雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	88.37
	白茎盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	盐生草属 <i>Halogeton</i>	26.00
	梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	A	藜科 Chenopodiaceae	梭梭属 <i>Haloxylon</i>	24.17
	沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	沙蓬属 <i>Agriophyllum</i>	18.93
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	C	禾本科 Gramineae	芦苇属 <i>Phragmites</i>	12.36
	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	A	蒺藜科 Zygophyllaceae	白刺属 <i>Nitraria</i>	12.35
	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	12.10
2-5 cm	刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	6.05
	雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	76.34
	白茎盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	盐生草属 <i>Halogeton</i>	42.24
	沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	沙蓬属 <i>Agriophyllum</i>	17.68
	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	15.21
	刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	15.21
	梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	A	藜科 Chenopodiaceae	梭梭属 <i>Haloxylon</i>	15.17
	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	A	蒺藜科 Zygophyllaceae	白刺属 <i>Nitraria</i>	9.73
狗尾草 <i>Setaria italica</i>	D	禾本科 Gramineae	狗尾草属 <i>Setaria</i>	8.74	
5-10 cm	雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	71.99
	白茎盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	盐生草属 <i>Halogeton</i>	32.83
	刺沙蓬 <i>Salsola ruthenica</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	24.31
	沙蓬 <i>Agriophyllum squarrosum</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	沙蓬属 <i>Agriophyllum</i>	19.13
	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	C	禾本科 Gramineae	芦苇属 <i>Phragmites</i>	16.76
	梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	A	藜科 Chenopodiaceae	梭梭属 <i>Haloxylon</i>	15.19
	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	D	藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	12.84
	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	A	蒺藜科 Zygophyllaceae	白刺属 <i>Nitraria</i>	7.28

A: 灌木 Shrub; B: 半灌木 Semi-shurb; C: 多年生草本 Perennial herb; D: 一年生草本 Annual herb.

子库的水平分布规律基本相似, 物种数量平均为 8 种。0–2、0–5 cm 土层受人为活动的影响较强, 种子库密度较小; 5–10 cm 土层土壤种子库密度较大, 原因是处于比较深的土层中不易受外界的干扰, 也不受季节的影响, 水平分布变化波动基本不大。0–2 cm 土层物种重要值依次为雾冰藜、白茎盐生草、梭梭、沙蓬、芦苇、白刺、猪毛菜、刺沙蓬; 0–5 cm 土层物种重要值依次为雾冰藜、白茎盐生草、沙蓬、猪毛菜、刺沙蓬、梭梭、白刺、狗尾草 (*Setaria italica*); 0–5 cm 土层物种重要值依次为雾冰藜、白茎盐生草、刺沙蓬、沙蓬、芦苇、梭梭、猪毛菜、白刺 (表 2)。

2.2.2 土壤种子库的垂直分布

随土层深度的增加土壤种子库密度增大, 0–2、2–5、5–10 cm 种子库密度依次为 54.71、58.00、132.86 粒·m⁻², 总体高于裸露沙地 (0)。梭梭人工林土壤种子库中, 0–2 cm 土层中种子数占种子总数的 22.28%, 2–5 cm 土层中种子数占种子总数的 23.62%, 5–10 cm 土层中种子数占种子总数的 54.10% (图 1)。土壤种子库种子主要分布在 5–10 cm 的土层, 所以 5–10 cm 的土层为种子主要分布层。

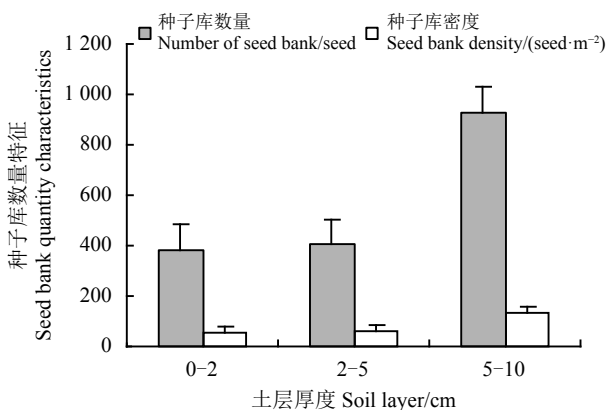


图 1 土壤种子库的垂直分布图

Figure 1 Vertical distribution of soil seed bank

2.3 土壤种子库与地上植被的关系

土壤种子库植物与地上植被的共有物种数多, 但是地上植被的物种数大于土壤种子库的物种数, 土壤种子库植物与地上植被的物种组成存在一定的差异。种子库相似性系数表明, 研究区 5 个样地中, 土壤种子库与地上植被 Jaccard 相似性系数分别为 0.588 2、0.588 2、0.545 5、0.666 7 和 0.615 4, 平均相似性系数 0.600 8, 达到中等相似和极相似水平^[9],

表明地上植被与土壤种子库在群落组成上的相似性程度比较高, 表现出较小的空间异质性。Sorenson 相似性系数为 0.829 8, 进一步说明该梭梭人工林群落地上植被与土壤种子库组成上具有较高的相似性。土壤种子库与地上植被在植物组成种类、数量、密度上呈正比, 共有植物种为梭梭、白刺、雾冰藜、白茎盐生草、沙蓬、刺沙蓬, 均是当地耐盐碱和耐干旱物种。梭梭人工林地上植被中梭梭、白刺、雾冰藜、白茎盐生草、沙蓬、刺沙蓬在种子库中均有种子, 且一年生草本白茎盐生草、雾冰藜在种子库中占比较大, 沙拐枣 (*Calligonum mongolicum*)、花棒 (*Hedysarum scoparium*)、虫实 (*Corispermum hyssopifolium*)、虎尾草 (*Lysimachia barystachys*)、碱茅 (*Puccinellia distans*)、三芒草 (*Aristida adscensionis*)、红砂 (*Reaumuria soongorica*)、早熟禾 (*Poa annua*) 在种子库中未统计到种子, 种子库中芦苇、猪毛菜、狗尾草在地上植被中未统计到。

土壤种子库所有植物与地面植物之间存在显著不完全相关性, 关系可以用三次曲线来表示 (图 2a), ($y = 0.001 3x^3 - 0.194 9x^2 + 7.933 8x - 30.649$, $R^2 = 0.955 6$, $P < 0.01$, $n = 25$); 其中, 土壤种子库一年生草本植物种密度与地上植物种密度也显著相关 (图 2b); 土壤种子库灌木植物种密度也与地面植物种密度显著相关 (图 2c)。

2.4 土壤种子库多样性分析

土壤种子库多样性分析结果表明, 不同梯度土壤种子库的 Simpson 多样性指数、Shannon 多样性指数、Pielou 均匀度指数变化趋势基本一致, 随着土层深度增加而增加。相反, Simpson 生态优势度指数和 Margalef 丰富度指数随土层深度增加而减少。5–10 cm 土层丰富度和均匀度大于 2–5、0–2 cm 土层, 造成这种状况的原因仍与放牧和人为活动干扰密切相关 (表 3)。

3 讨论

荒漠区土壤种子库组成简单, 种子库密度较低。由于荒漠植物种子表现出的形态结构多样、耐高温性以及高萌发性、萌发周期短、对水分的敏感程度高等特点^[10], 可以忽略因休眠而不萌发的种子。地处河西走廊中部的临泽治沙林场梭梭人工林土壤种子库共统计到 3 科 8 属 9 种植物, 主要

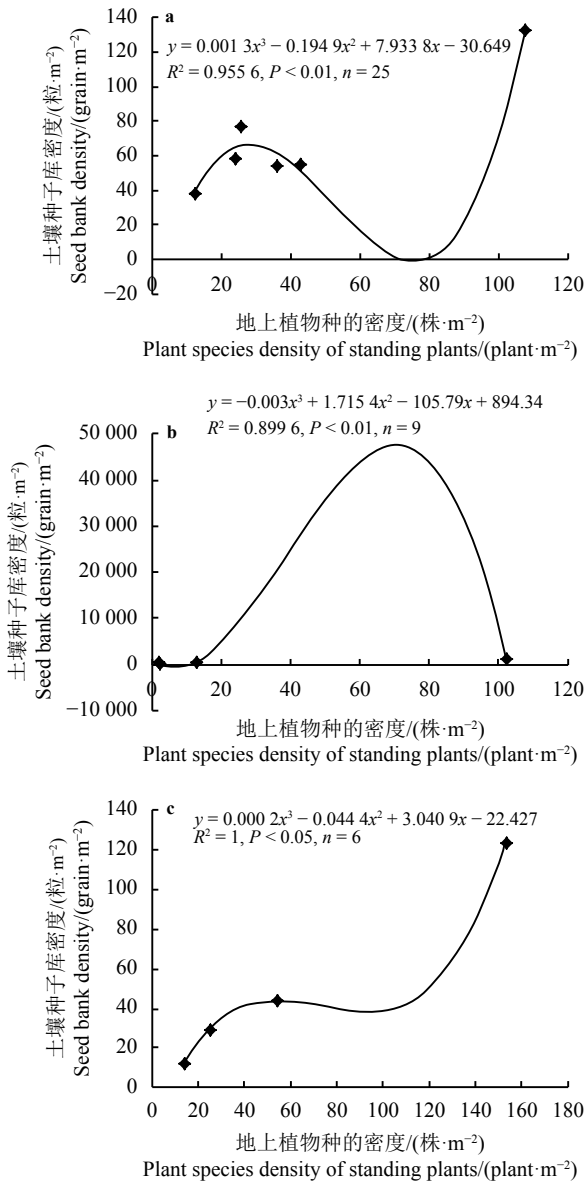


图 2 土壤种子库与地面植物种密度之间的关系

Figure 2 Relationship between density of seed bank and species density of standing plants

a: 所有植物物种; b: 一年生草本; c: 灌木。
a: All plant species; b: Annual herb; c: Shrubs.

包括一年生草本、多年生草本和灌木植物，其中草本植物占有所有种子库植物的 91.16%，表现出土

壤种子库组成简单，种子库密度低。一年生草本的物种和密度占优势，是构成梭梭人工林土壤种子库的主体，多年生草本植物和灌木种子比例较低作为土壤种子库的补充。

在梭梭人工林群落中，不同样地同一土层中种子库的水平分布规律基本相似，水平分布基本上没有波动。在垂直分布上以 5-10 cm 的土层为主要分布层，达到 132.86 粒·m⁻²，0-2 cm 土层和 2-5 cm 土层中种子数量和密度均低于 5-10 cm 的土层，土壤种子库垂直分布随土层深度的增加种子库密度逐渐增大，5-10 cm 的土层为种子主要分布层。这与干旱荒漠生态系统土壤种子库表层 5 cm 之下已经很少有种子^[11]不符，这是由于 0-2、2-5 cm 土层中的种子易被动物采食和践踏，也易遭受病害和降雨而霉烂变质，在萌发季节许多种子萌发出苗，而下层土壤层中的种子由于动物活动、雨水、自身重力等原因逐渐下移，萌发也相对困难，种子逐年累积^[12]，加之牲畜的践踏可能使散落在土表的种子进入土壤的更深层^[13]，此外还与风蚀沙埋的生境影响有关。总之是由种子的形态、自身重力、大小、特征及土壤结构、土壤粒径大小、动物干扰及其物理过程共同决定的，成因较为复杂^[14]，加之干旱的气候导致沙漠土壤表层中的种子不能得到及时萌发^[15]，使 5-10 cm 土层的种子数量越积累越多，这也使植被的自然恢复变得非常缓慢的一个重要原因。

土壤种子库植物与地上植物的植物组成在数量、密度上存在显著不完全相关性，这与赵丽娅和李锋瑞^[5]对科尔沁沙地围封沙质草甸土壤种子库特征研究中的结论一致。土壤种子库植物与地上植物共有物种数多，但在物种组成上存在一定的差异，表现在地上植被的物种数大于土壤种子库的物种数^[16]，这与白文娟等^[17]对我国黄土丘陵沟壑区退耕地土壤种子库的研究中发现一致。种子库中出现的物种在地上植被中也并未统计到。土

表 3 土壤种子库物多样性、均匀度、丰富度指数
Table 3 Soil seed reservoir diversity, and evenness and richness indexes

土层 Soil layer	Simpson 指数D	Shannon-wiener 指数H'	Pielou 均匀度指数E	Simpson 生态优势度指数S	Margalef 丰富度指数F
0-10 cm	0.605 5	1.335 9	2.197 2	0.394 1	1.208 1
0-2 cm	0.512 0	1.154 0	1.998 7	0.516 1	1.345 0
2-5 cm	0.624 8	1.235 8	2.032 4	0.486 6	1.331 9
5-10 cm	0.686 1	1.354 2	2.079 4	0.071 1	1.170 4

壤种子库的种类组成以一年生草本植物占优势,说明土壤种子库在梭梭人工林植被的组成中贡献较大,梭梭人工林植被恢复与重建主要依赖于土壤种子库种子的繁殖^[18]。地上植物与地下植物相似性系数为 0.600 8,达到中等相似或极相似水平,表现出较小的空间异质性。土壤种子库植物与地上植物共有植物种为雾冰藜、白茎盐生草、梭梭、白刺、沙蓬、刺沙蓬。以一年生草本植物为主导的群落土壤种子库与地上植被的相似性高^[19],一年生植物和依靠种子繁殖的物种比例越高,导致土壤种子库与地上植被的 Sorensen 相似性指数增大^[20]。

土壤种子库多样性分析结果表明,不同梯度土壤种子库的多样性指数较低,土壤种子库中的 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数变化趋势基本一致,随着土层深度增加而增加。土壤种子库组成、大小及其分布受植被状况、种子大小及分布、繁殖方式、土壤和空气水分、风速、动物活动与昆虫采食等外界因素的综合影响^[17]。研究表明,“适度”的干扰有利于增减土壤种子库中种子植物多样性,而“严重”干扰

使生物土壤结皮趋于流沙阶段,会降低种子植物的多样性^[21]。践踏后的羊粪内种子萌发物种数是未经践踏的 2~3.6 倍^[22],适度的放牧能有效地改变草地土壤种子库的密度和物种组成。

4 结论

综上所述,河西走廊中部梭梭人工林土壤种子库物种组成简单,种子库密度和多样性指数低,这与梭梭人工林植被群落组成相对单一和种子植物相对较少密切相关。一年生草本植物为优势种,说明群落不稳定,群落呈退化趋势^[23],最主要的原因还是干旱环境及恶劣土壤生境共同影响的结果。

植物与地上植物共有物种数多达 6 种,临泽治沙林场梭梭人工林植被恢复与重建主要依赖于土壤种子库种子的繁殖,土壤种子库的贡献较大,具有一定的种群恢复潜力^[24],依靠自身种子库对该生态脆弱带进行生态重建是可行的。在种子库密度较大的萌发季节采取禁牧等适当措施均有利于提高幼苗成活率,可以为干旱荒漠区进行生态恢复提供有力保障。

参考文献 References:

- [1] 陈孟晨,张景光,冯丽,滕嘉玲.沙波头地区生物结皮覆盖区土壤种子库组成及垂直分布特征.生态学报,2017,37(22):1-9.
CHEN M C, ZHANG J G, FENG L, TENG J L. The composition and vertical distribution characteristics of soil seed banks in soil coverage with biocrusts in the Shapotou Region. *Acta Ecologica*, 2017, 37(22): 1-9.
- [2] 吕正文.青藏高原东缘弃耕地的土壤种子库及其与地上植被关系的研究.兰州:兰州大学硕士学位论文,2013.
LYU Z W. Soil seed bank of abandoned cultivated land in Qinghai-Tibet Plateau and its relationship with above-ground vegetation. Lanzhou: Lanzhou University, 2013.
- [3] 赵萌莉,许志信.内蒙古乌兰察布西部温性荒漠草地土壤种子库初探.中国草地学报,2000,22(2):46-48.
ZHAO M L, XU Z X. Study on Seed bank of Desert Grassland in Inner Mongolia. *Grassland of China*, 2000, 22(2): 46-48.
- [4] 崔艳,王新平,冯丽,苏延桂.天然固定沙地与人工固沙植被区土壤种子库的比较研究.中国沙漠,2010,30(5):1114-1119.
CUI Y, WANG X P, FENG L, SU Y G. A comparative study on soil seed bank of naturally stabilized sandy land and artificially re-vegetated region. *Journal of Desert Research*, 2010, 30(5): 1114-1119.
- [5] 赵丽娅,李锋瑞.沙漠化过程土壤种子库特征的研究.干旱区研究,2013,20(4):317-321.
ZHAO L Y, LI F R. Study on the characteristics of soil seed banks in desertification process. *Dry Zone Research*, 2013, 20(4): 317-321.
- [6] 孙建华,王彦荣,曾彦军.封育和放牧条件下退化荒漠草地上土壤种子库特征.西北植物学报,2005,25(10):2035-2042.
SUN J H, WANG Y R, ZENG Y J. Characteristics of the soil seed banks in degenerated grasslands under grazing and grazing suspension. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(10): 2035-2042.
- [7] 韩润燕,陈彦云,李旺霞.不同微地形固定沙丘地上植被、土壤种子库和土壤含水量的分布特征.草业科学,2014,31(10):1825-1832.
HAN R Y, CHEN Y Y, LI W X. The distribution and relationships of ground vegetation, soil seed bank and soil water content of fixed sand under different micro-landform conditions. *Pratacultural Science*, 2014, 31(10): 1825-1832.
- [8] 马妙君,周显辉,吕正文,杜国祯.青藏高原东缘封育和退化高寒草甸种子库差异.生态学报,2009,29(7):3658-3664.

- MA M J, ZHOU X H, LYU Z W, DU G Z. A comparison of the soil seed bank in an enclosed vs. a degraded alpine meadow in the eastern Tibetan. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3658-3664.
- [9] 马全林, 卢琦, 魏林源, 靳虎甲. 干旱荒漠白刺灌丛植被演替过程中土壤种子库变化特征. *生态学报*, 2015, 35(7): 2258-2294.
MA Q L, LU Q, WEI L Y, JIN H J. Varying characteristics of soil seed bank during the succession process of *Nitraria Tangutorum* vegetation in an arid desert area. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(7): 2258-2294.
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物. 北京: 科学出版社, 2004.
Chinese Flora Editorial Committee. Chinese Academy of Sciences. Chinese Flora. Beijing: Science Publishing House, 2004.
- [11] 贺慧. 阿拉善主要荒漠植物种子(果实)形态结构和萌发特性的适应性研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2008.
HE H. Adaptation of seed (Fruit) morphological structures and germination characteristics of main desert plant in Alxa. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008.
- [12] BEKKER R M, BAKKER J P, GRANKLIN U, KALAMEES R, MILBENG P, PESCHLED P, THOMPEON K, WILLEMS J H. Seed size, shape and vertical distribution in the soil, indicators of seed longevity. *Functional Ecology*, 1998(5): 834-842.
- [13] 侯牡丹. 不同放牧强度下短花针茅草原主要植物种群的繁殖特性. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2003.
HON M D. Reproductive characteristics of dominated population in *Stipa breviflora* desert-steppe under different grazing intensities. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2003.
- [14] 李红艳, 杨晓晖, 黄选瑞, 张克斌. 盐池封育草场土壤种子库特征及其与植被的关系. *生态环境*, 2007, 16(2): 533-537.
LI H Y, YANG X H, HUANG X R, ZHANG K B. Soil seed bank features and its relation to vegetation in enclosed rangeland Yanchi County. *Ecology and Environment*, 2007, 16(2): 533-537.
- [15] GUO Q F, RUNDEL P W, GOODALL D W. Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: Patterns, causes, and implications. *Journal of Arid Environments*, 1998, 38(3): 465-478.
- [16] 沈艳, 刘彩凤, 马红彬, 赵菲, 谢应忠. 荒漠草原土壤种子库对草地管理方式的响应. *生态学报*, 2015, 35(14): 4725-4732.
SHAN Y, LIU C F, MA H B, ZHAO F, XIE Y Z. Response of a soil seed bank to modes of grassland management on a desert steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(14): 4725-4732.
- [17] 白文娟, 焦菊英, 张振国. 安塞黄土丘陵沟壑区退耕地的土壤种子库特征. *中国水土保持科学*, 2007, 5(2): 72.
BAI W J, JIAO J Y, ZHANG Z G. Characteristics of soil seed bank in abandoned croplands at Ansai County on the Hilly-gullied Loess area. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(2): 72.
- [18] 邢旭明, 马晓东, 张元明. 古尔班通古特沙漠生物土壤结皮对土壤种子库多样性与分布特征的影响. *生态学杂志*, 2016, 35(3): 612-620.
XING X M, MA X D, ZHANG Y M. Effect of biological soil crusts on soil seed bank diversity and distribution characteristics in Gurbantunggut Desert. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(3): 612-620.
- [19] MARONE L, CUETO V R, MILESI F A, DE CASENAVE J L. Soil seed bank composition over desert microhabitats: Patterns and plausible mechanisms. *Canadian Journal of Botany*, 2004, 82(12): 1809-1816.
- [20] OSEM Y, PEREVOLOTSKY A, KIGEL J. Similarity between seed bank and vegetation in a semi-arid annual plant community: The role of productivity and grazing. *Journal of Vegetation Science*, 2006, 17(1): 29-36.
- [21] HOPFENSBERGER K N. A review of similarity between seed bank and standing vegetation across ecosystems. *Oikos*, 2007, 116(9): 1438-1448.
- [22] LI X R, MA F Y, XIAO H L, WANG X P, KIM K C. Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of northern China. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57(1): 1-16.
- [23] 杨自辉, 高志海. 荒漠绿洲边缘降水和地下水对白刺群落消长的影响. *应用生态学报*, 2000, 11(6): 927-930.
YANG Z H, GAO Z H. Impact of precipitation and underground water level in the edge of oases on growth and decline of *Nitraria tangutorum* community. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(6): 927-930.
- [24] FAUST C, EICHBERG C, STORM C, SCHWABE A. Post-dispersal impact on seed fate by livestock trampling: A gap of knowledge. *Basic and Applied Ecology*, 2011, 12(7): 215-226.

(责任编辑 武艳培)