

塔里木河下游土壤种子库分布格局 及其与环境因子的关系

李吉玫¹, 徐海量¹

(中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 在塔里木河下游选择 20 个样地, 进行土壤种子库萌发试验, 并应用典范对应分析(CCA)方法研究了该地区土壤种子库分布格局及其与环境因子的关系。结果表明, 塔里木河下游土壤种子库中共有物种 16 种, 分属于 7 科, 并且以旱生耐盐物种为主, 多数样地物种出现频次较低; 种子库密度不高。CCA 排序表明, 地下水埋深、土壤含水量、电导、pH 值和植被盖度等 5 个环境因子对土壤种子库分布格局有一定的影响。CCA 第一排序轴与地下水位、地表植被盖度和土壤含水量关系显著, 反应了水分因子的作用; CCA 第二排序轴与土壤电导率关系显著, 反映了盐分因子的作用。根据 5 个环境因子的特征, CCA 排序可将土壤种子库中的 16 种植物分为 4 个组, 对应于不同的环境变化梯度。

关键词: 土壤种子库; 空间分布; 环境因子; 排序分类; 塔里木河下游

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0088-06

中图分类号: Q948

Spatial Distribution of Soil Seed Bank and Its Relation to Environmental Factors in Lower Reaches of Tarim River

LI Ji-mei, XU Hai-liang

(Xinjiang Institute of Ecology and Geography Research, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: In order to analyze the spatial pattern of soil seed bank and its relation to environmental factors in the lower reaches of Tarim River, 20 sampling plots were established. Seedling germination experiment was carried out and ordination technique (canonical correspondence analysis) was used in the study areas. Results showed that there were 16 species, belonging to 7 families in soil seed bank, among which tolerant-drought and salinity species were dominant. Most species occurred infrequently and soil seed bank density was lower compared with other desert regions. Groundwater depth, soil moisture content, electric conductance, pH, vegetation coverage all influence the distribution of soil seed bank. The relationship among the first axe of the CCA, groundwater depth, standing vegetation coverage, and soil moisture content were significant, indicating the role of water availability factor. The relationship between the second axe of the CCA and the electric conductance was significant, indicating the role of salinity factor. Based on the above five environmental factors, 16 species of soil seed bank were divided into four groups.

Keywords: soil seed bank; spatial distribution; environmental factor; CCA; lower reaches of Tarim River

土壤种子库是指存在于土壤表层凋落物和土壤中全部存活种子的总和^[1]。它是植物群落生活史的一个重要阶段, 又被称为潜种群阶段^[2]。土壤种子库对生态系统的恢复和植被的构成至关重要, 是植物群落更新发展的重要基础之一, 在群落的保护和恢复中起着重要的作用, 因此近几十年来一直是种群生态学和恢复生态学研究热点之一^[3-7]。土壤种子库中的

每一种植物或种群的种子在空间上都具有水平及垂直分布格局, 这反应了种子向土壤中的初始分布和以后的运动状况^[1-2]。土壤种子库在空间格局上的变化可以直接对地表植物群落的形成产生影响。例如, 影响物种扩散, 植物密度和空间格局, 以及与邻体植物之间的竞争关系等^[8]。土壤中的种子分布格局与地表植被、生境类型和气候条件等生物因素和非生物因

收稿日期: 2008-11-18

修回日期: 2009-03-04

基金项目: 国家自然科学基金项目“河水漫溢对荒漠河岸林植被恢复的影响”(40671036); 国家自然科学基金青年项目“不同地下水位下胡杨长势的量化研究”(30600092)

作者简介: 李吉玫(1980-), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区昌吉玛纳斯县人, 在读博士研究生, 主要从事干旱区恢复生态学研究, E-mail: jim.eili@126.com.

素密切相关,其间的相互作用关系十分复杂,定量地揭示它们之间相互作用的关系具有重要的生态学意义^[9]。因此国内外许多学者借助数量分类和排序的方法分析了不同生态系统土壤种子库的时空分布格局及其与环境因子的关系^[10-15]。如 Kee 等用 CCA 的方法研究了土壤中氮、磷、钾、镁、铁、铜和铬等含量对弃耕地土壤种子库的影响^[15];袁龙义等用 DCCA 的方法分析了龙感湖区土壤种子库沿水位埋深梯度上的变化特征^[14];Caballero 用 CCA 分析了半干旱地区植被盖度、微地形等环境因子对土壤种子库的影响^[13]。已有的少数研究揭示了湿地、耕地和高寒草地等生态系统土壤种子库的分布格局。然而,还缺乏对类似塔里木河下游这样一个生态退化极为严重的地区的土壤种子库空间分布及其与环境因子的关系的了解。

本文以塔里木河下游为研究区,选择 20 个样地,通过野外调查和实验室分析,研究土壤种子库的空间分布及其与环境因子的关系,目的是通过研究种子库的分布格局,为退化生态系统的恢复提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于塔里木河下游大西海子至台特玛湖间,地理坐标介于东经 $88^{\circ}27'30''-87^{\circ}33'49''$,北纬 $39^{\circ}30'-40^{\circ}35'13''$,是新疆乃至中国生态环境最为脆弱的地区之一。该区属暖温带荒漠干旱气候,多年平均降水量仅为 20~50 mm;而年平均蒸发量(潜势)却高达 2 500~3 000 mm。在干旱荒漠气候的控制下,该地区的地带性植被是温性灌木和半灌木。但由于有河水和地下水补给,河漫滩及两岸的低阶地发育着大面积以胡杨为主要建群种的荒漠河岸林植被群落。

近 50 a 来,由于人类不合理的水土资源开发,造成塔里木河下游出现了极其严重的生态退化问题^[16],特别是下游下段的天然植被在经历了 30 a 多干旱、高温和风沙等多重胁迫下,大面积衰败和死亡。2000 年的调查显示,除胡杨(*Populus euphratica*)和柽柳(*Tamarix* spp.)生长在垂死的边缘外,仅在局部低洼湿地和临时性河道旁可以发现一些长势不佳的灌木和盐生草本植物。

2 研究方法

2.1 土壤种子库取样及萌发

在塔里木河下游英苏至依干不及麻断面间选取了 20 个大小为 50 m×50 m 典型样地(S₁—S₂₀)进行土壤种子库取样和地表植被调查。样地沿断面垂直

河道方向设置(间距约 200 m)。根据塔里木河下游植物的物候特点,于 2005 年 3 月底种子未开始萌发前进行取样,每个样地内随机取土样 10 个,取样点大小 40 cm×40 cm,取样深度 0—30 cm。同一样地土样混合、过筛,将筛取的土样充分混匀,然后平铺到预先制成的 10 cm×10 cm×6 cm 的生长实验箱内。为保证萌发的幼苗能有足够的营养,箱内预先铺设约 2 cm 厚的蛭石作为基质。考虑到胡杨和柽柳等植物的种子一般在土层 2 cm 以下上胚轴难以破土萌发,因此铺设在蛭石上的土样厚度均控制在 3 cm 以内。同时为使得土壤中的种子充分萌发,在种子库种子萌发过程中,所有萌发样品光照充足,温度控制在 20 ℃~25 ℃间,每天适时补充水分以保持箱内湿润。混合土样在萌发时重复 6 次,定时统计,若连续 2 周无新幼苗萌发则结束试验。种子萌发实验从 3 月 30 日开始,持续到 7 月 30 日结束,共进行了 4 个月。

2.2 地表植被调查

分别于种子库取样的 3 月和植物长势旺盛的 7 月对上述 20 个样地内的植被进行调查。

在每一样地取样的同时,沿样地对角线 3 等分取表层 0—30 cm 土样并加以混匀,带回实验室,用烘干法测定其土壤含水量;电导法测定土壤电导率和 pH 值;地下水埋深是选取 2005 年 1—12 月的平均值(由塔里木河管理局提供)。

应用国际通用的 CANOCO (Windows 4.5) 软件,利用土壤种子库各物种的密度矩阵和环境因子对土壤种子库进行分类和排序。

3 结果与分析

3.1 土壤种子库的物种组成

塔里木河下游土壤种子库萌发试验中共出现了 16 个物种,分属于 7 科(表 1)。其中藜科最多,为 6 种,占 37.5%;其次为菊科,3 种,占 18.8%;茄科和豆科各 2 种;禾本科、柽柳科和夹竹桃科各 1 种。在土壤种子库中出现频次最多的是枸杞(*Lycium barbarum*),在 20 个样地中出现了 15 次,占样地总数的 75%;其次为黑刺(*Lycium ruthenicum*),出现于 14 个样地中,占样地总数的 70%;再次为刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)和花花柴(*Karelinia caspica*),均出现了 10 次,占样地总数的 50%,反映了塔里木河下游土壤种子库物种组成以旱生耐盐类植物为主的特点^[17]。

地表植被中频繁出现的柽柳在土壤种子库中的 20 个样地中仅出现了 6 次,地表植被的建群植物胡

杨在土壤种子库中未出现,说明塔里木河下游土壤种子库物种组成与地表植被物种组成存在一定的差异。土壤种子库的丰富度相对高于地表植被的丰富度,地表在 50 m×50 m 范围内物种数一般不足 5 种,但是在土壤种子库萌发实验中却发现了一个样地最多有 12 种植物的幼苗,表明土壤种子库作为潜种群阶段即使在极端退化区,它的物种组成比地上植被要丰富却是不争的事实。

从图 1 可以看出,塔里木河下游多数样地土壤种子库出现的物种较少,且呈明显的斑块状分布。如 20 个样地中,仅有 1 个种出现的样地最多(4 个);分别有 2 个种和 12 个种出现的样地次之(3 个);6 个种、10 个种和 13 个种出现的样地最少(1 个),这种较低的出现频次说明该区物种丰富度较为贫乏,同时分布的不均匀也说明研究区土壤种子库分布具有较高的空间异质性。

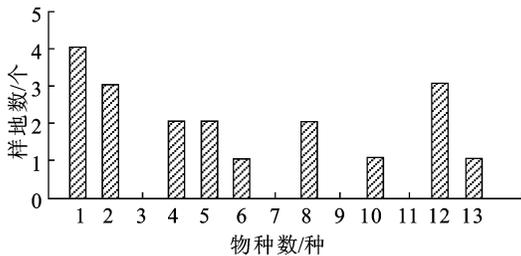


图 1 土壤种子库中不同物种出现的频次

从图 2 看出,塔里木河下游 20 个采样点土壤种子库密度差异很大,在 0~4 874 粒/m²之间,平均密度 1 218.50 粒/m²,种子数量最丰富的是盐生草,为 229.15 粒/m²,占平均密度的 18.81%,其次是枸杞,为 210.15 粒/m²,占平均总密度的 17.25%。地表植被中的建群种柽柳在地下土壤种子库中的密度仅为 27.8 粒/m²,所占比例不足 5%。多数样地的土壤种子库密度较低,20 个样地中,密度为 0~300 粒/m²的样地共有 6 个,占样地总数的 30%;密度为 301~600 粒/m²的样地共有 3 个,占样地总数的 15%;密度为 601~900 粒/m²的样地共有 2 个,占样地总数的 10%;密度为 901~1 200 粒/m²的样地共有 3 个,占样地总数的 15%;密度为 1 201~2 000 粒/m²的样地仅有 2 个,占样地总数的 10%;密度>2 000 粒/m²的样地共有 4 个,占样地总数的 20%。

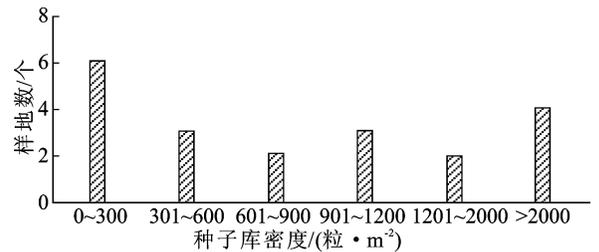


图 2 土壤种子库中不同密度的样地出现频次

表 1 塔里木河下游土壤种子库密度

粒/m²

样地号	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈	S ₁₉	S ₂₀
刺沙蓬	233	367	450	867	100	0	33	100	80	300	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
薄翅猪毛菜	133	333	300	700	0	0	0	125	150	400	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
芦苇	33	67	0	100	0	0	0	125	40	100	0	0	0	0	0	100	0	0	0	350
盐节木	0	0	0	33	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
刚毛柽柳	33	33	1	200	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
藜子朴	0	33	0	58	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
骆驼刺	267	33	2	33	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
铃铛刺	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
盐生草	500	833	8	1 500	0	0	300	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300
白茎盐生草	100	500	4	700	0	0	100	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
鹿角草	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
盐穗木	0	0	0	67	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
花花柴	67	200	2	433	100	330	0	0	120	0	0	0	100	0	100	0	0	0	0	300
黑刺	233	267	1	200	0	330	33	225	100	1 000	0	0	0	100	200	100	100	0	0	50
大花罗布麻	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0
新疆枸杞	100	67	1	33	0	0	33	250	120	1 200	0	100	0	600	600	100	100	300	0	0
总和	1 867	2 776	2 525	4 874	3 320	1 880	990	1 200	520	660	400	200	100	100	700	1 133	420	200	0	200

3.2 环境因子特征

表2为研究区各项环境因子的情况。由表2可以看出,各样地间环境因子差异较大。研究区地下水位普遍较低,多数样地的地下水位已经超出了天然植被生长的合理水位(4—6 m);土壤含水量较低,均不足5%(0—30 cm 土层),远低于土壤凋萎系数(5.97%)^[18];土壤含盐量较高,土壤浸提液电导率均值为4.31 dS/m,部分植物的生长受到抑制;除样地4、样地12和样地20这3个样地外,其余17个样地的植被盖度普遍偏低,个别样地盖度不足10%;土壤pH值变化不大。

表2 塔里木河下游各样地环境因子数据

样地号	地下水位/m	土壤含水量/%	电导率/(ds·m ⁻¹)	pH值	植被盖度/%
S ₁	2.88	1.94	4.93	8.22	0.30
S ₂	3.05	2.35	1.56	7.32	0.25
S ₃	3.54	1.69	2.09	7.35	0.30
S ₄	2.37	4.09	3.93	7.79	0.70
S ₅	3.55	1.50	3.25	7.98	0.18
S ₆	3.61	1.32	2.19	8.09	0.20
S ₇	4.22	1.10	3.26	8.19	0.36
S ₈	6.00	0.59	3.04	7.60	0.14
S ₉	5.78	0.65	2.26	7.75	0.15
S ₁₀	3.00	2.70	3.05	7.98	0.20
S ₁₁	2.98	1.79	5.45	8.28	0.25
S ₁₂	3.15	1.73	4.59	8.18	0.55
S ₁₃	5.28	1.30	4.10	7.61	0.30
S ₁₄	5.61	0.70	2.70	8.00	0.27
S ₁₅	7.13	0.37	3.00	7.20	0.16
S ₁₆	7.74	0.38	3.79	8.38	0.10
S ₁₇	8.20	0.14	3.41	8.39	0.10
S ₁₈	8.45	0.12	3.53	7.81	0.08
S ₁₉	9.18	0.14	4.90	7.77	0.05
S ₂₀	3.16	3.33	4.16	7.30	0.50

对各个环境因子间进行相关分析结果表明,地下水埋深与土壤含水量及植被盖度间均呈极显著负相关,相关系数分别为-0.840和-0.622。正相关排列的为土壤含水量和植被盖度、土壤电导率和土壤pH值,相关系数分别为0.853和0.485。本文的结果与张元明等人^[17]的研究结果相一致(表3)。

3.3 环境因子对土壤种子库分布的影响

种子库的分布格局与很多因素(如种子大小、种子寿命和各环境因子等)有关^[19-27]。本文主要分析的是地下水埋深、土壤含水量、土壤电导率、pH和植被盖度等环境因子对土壤种子库分布格局的影响。以样方—物种数据矩阵和样方—环境因子矩阵为基

础,输入计算机进行CCA排序。结果表明,排序前4轴的特征值之和占总特征值的39.7%,即本次排序可揭示出物种分布变化规律特征全部信息的39.7%。4个排序轴的特征值分别为0.350,0.206,0.071和0.036。CCA第一排序轴解释了20.8%的土壤种子库物种组成变化,与环境因子的相关系数为0.795,解释了土壤种子库与环境之间关系的51.4%。第二排序轴进一步解释了12.2%的土壤种子库变化,与环境因子的相关系数为0.912,解释了土壤种子库与环境因子之间关系的30.3%。第一排序轴和第二排序轴共解释了81.7%的土壤种子库分布与环境之间的关系(表4)。

表3 塔里木河下游各样地环境因子相关分析

项目	地下水位	土壤含水量	电导率	pH	植被盖度
地下水位	1				
土壤含水量	-0.840**	1			
电导率	-0.141	-0.213	1		
pH值	-0.126	-0.169	0.485*	1	
植被盖度	-0.622**	0.853**	-0.344	-0.136	1

注:**表示 $P < 0.01$ 水平下显著;*表示 $P < 0.05$ 水平下显著。

表4 CCA排序的特征值及积累解释量

项目	第一轴	第二轴	第三轴	第四轴
特征值	0.350	0.206	0.071	0.036
物种与环境的相关系数	0.795	0.912	0.749	0.549
物种数据变化的累积比例	20.80	33.00	37.20	39.40
物种与环境关系变化累积比例	51.40	81.70	92.10	97.40
特征值总和	1.685			
典范特征值总和	0.681			

图3直观地表示出各环境因子对土壤种子库分布的影响。从图3可以看出,地下水埋深的箭头最长,且与第一轴的夹角最小,同时土壤含水量和植被盖度的箭头也较长,与第一排序轴的夹角略小于地下水埋深,表明沿CCA第一排序轴自左向右,地下水埋深逐渐加深,土壤含水量和植被盖度逐渐降低,并且土壤含水量和植被盖度的方向比较一致,表明了这两个环境因子之间有密切的正相关性,这与环境因子的相关分析结果相符合。土壤含盐量与第二排序轴的夹角较小,表明沿第二轴自上而下土壤含盐量逐渐升高。

土壤种子库中各物种在CCA二维排序空间中的位置差异很大,每种物种都有自己的分布区域,表明它们各自具有其适宜的生态需求。同时每种物种

的散布又具有一定的规律性,其中某些物种的相互位置较近,甚至各自聚合成组,另一些则处于组团之间的过渡位置上。根据 5 个主要环境因子的分布特征,CCA 排序可将土壤种子库中的 16 种植物分为 4 个组。组 I 包括浅根系的猪毛菜、刺沙蓬、盐生草和白茎盐生草等 4 种植物,位于排序轴的最左端,对应于地下水埋深最浅,土壤含水量最高的样地;组 II 包括花花柴、芦苇、河西苜、柽柳和盐节木等 5 种植物,主要分布在排序轴的左上方,对应于较浅地下水埋深和相对较低的土壤含盐量;组 III 包括骆驼刺、盐穗木、铃铛刺、鹿角草和罗布麻等 5 种植物,主要分布在排序轴的右下方,对应于高盐分和高地下水位;组 IV 包括黑刺和枸杞等 2 种植物,位于排序轴最右端,即地下水埋深最深和土壤含水量最低的区域。总的来说,CCA 第一轴从左到右,土壤种子库中的物种由浅根系逐渐向深根系耐干旱过渡;第二轴从上到下,物种的耐盐性逐渐增强。

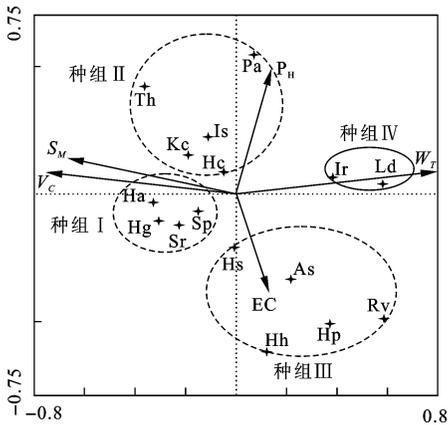


图 3 塔里木河下游土壤种子库物种的 CCA 排序

Sr. 刺沙蓬 Sp. 薄翅猪毛菜; Pa. 芦苇; Hs. 盐节木; Th. 刚毛柽柳; Is. 料子蒲; As. 骆驼刺; Hh. 铃铛刺; Hg. 盐生草; Ha. 白茎盐生草; Hp. 鹿角草; Hc. 盐穗木; Kc. 花花柴; Lr. 黑刺; Av. 罗布麻; Ld. 新疆枸杞; EC. 土壤电导率; W_T . 地下水埋深; V_C . 植被盖度

4 讨论

塔里木河下游土壤种子库萌发试验中共出现了 16 个物种,分属于 7 科,平均密度 $1\ 218.5$ 粒/ m^2 。与表 5 中其它沙漠(沙地)土壤种子库相比,该区土壤种子库物种组成贫乏,密度低,并且以旱生耐盐类植物为主(表 5)。但与地表植被相比,土壤种子库的丰富度相对较高,表明土壤种子库作为潜种群阶段即使在极端退化区,它的物种组成比地上植被要丰富。地表植被中的建群植物胡杨和柽柳在土壤种子库中却很少出现或未出现,说明塔里木河下游土壤种子库物种组成与地表植被物种组成存在一定的差异。造成这一结果的主要原因有以下几点。(1)与种子繁殖

能力有关。从塔里木河下游实地的调查结果看,越向下游尾间区,胡杨和柽柳等植物的长势越差。植被退化严重的断面,整株胡杨树上仅有一两个枝条上长出绿叶,表现为胡杨冠幅的明显降低,这种状况使得它们只能保证生命维系的最低需求,而开花和结种等正常的繁衍过程受到极大的影响,由此造成这些区域的植物对土壤种子库形成的贡献小;(2)与地表植被建群种种子寿命较短有关。研究区内的主要建群种胡杨和柽柳的种子不具有休眠特性,种子寿命较短,在取样的季节这些植物的种子已经失去活力或是很少有具有活力的种子存在,因此它们对种子库形成的贡献较小。(3)与其地表群落组成单一和种子植物相对较少有关。另外,不同物种种子萌发所需的适宜条件不同,很难在一个实验中满足所有物种种子萌发的最适宜条件(温度、水分、埋深和光照等),导致种子库中的一些物种不能萌发,从而低估了一些种子库的物种组成。

表 5 世界部分沙漠(沙地)土壤种子库密度

沙漠(沙地)名	名土壤种子库密度/(粒· m^{-2})	资料来源
Peruvian coastal(南美)	5 200	文献[28]
Chilean thorn scrub(南美)	15 000~42 000	文献[28]
Monte(南美)	9 300~22 900	文献[28]
Prepuna(南美)	1 150~1 650	文献[28]
Mojave(北美)	800~18 750	文献[28]
Sonoran(北美)	400~2 700	文献[28]
Sonoran(北美)	33 000	文献[28]
Chihuahuan(北美)	21 000	文献[28]
阿拉善沙漠区	8	文献[29]
科尔沁沙地	2 609~19 022	文献[22]

土壤种子库的物种组成和大小与很多因素(如种子大小、植被类型、演替阶段、土壤质地等)有关。CCA 排序的结果表明,地下水埋深、土壤含水量、土壤含盐量和植被盖度等 5 个环境因子均影响该地区土壤种子库分布格局。CCA 排序的第一轴反映了地下水埋深、土壤含水量和植被盖度等的变化;第二排序轴反映了土壤含盐量的差异。CCA 排序可将土壤种子库中的 16 个物种分为 4 个组,总体上沿 CCA 第一轴从左到右,土壤种子库各物种由浅根系喜湿逐渐向深根系耐干旱过渡;第二轴从上到下,植物种的耐盐碱性逐渐增强,这与张远明等人^[17]对塔里木河下游地表植被分布格局的研究结果相一致。但地表植被中在很多地下水位高达 9 m 以上的样地仍然大面积分布的柽柳、盐穗木和盐节木,在土壤种子库中仅分布在地下水埋深不超过 5 m 的样地,说明环境因

子对土壤种子库与地表植被的影响有一定的差异。这与这些低地下水位区域植物种子结实能力较差有关。长期干旱和地下水位持续下降导致植物长势衰败, 种子的结实能力较差, 即使有少量的种子, 也因寿命较短而丧失活力, 因此在这些水位较高的区域, 土壤种子库中很少有柽柳等植物, 而仅仅在地下水位较高, 植物长势较高, 结实能力较强的区域有分布。在水分条件较好的样地, 尤其是在塔里木河下游生态输水过程中, 部分受河水漫溢干扰的湿润样地, 如样地4等, 由于在输水中, 部分植物种子随水漂移, 并富集在湿润的土壤表层, 同时在漫溢的样地土壤水分条件满足了植物种子萌发的条件, 因此种子库密度丰富、物种组成丰富。同时在干旱区出了水分条件之外, 土壤表层含盐量也是影响种子萌发的重要条件。漫溢的样地, 表层土壤盐分被淋洗至底层, 含盐量较低, 对种子萌发的抑制作用较小, 因此土壤种子库中较多的种子萌发。

[参 考 文 献]

- [1] 于顺利, 陈宏伟, 郎南军. 土壤种子库的分类系统和种子在土壤中的持久性[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 2099-2108.
- [2] 于顺利, 蒋高明. 土壤种子库的研究进展及若干研究热点[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 552-550.
- [3] Matus G, Papp M, Tothmeresz B. Impact of management on vegetation dynamics and seed bank formation of inland dune grassland in Hungary[J]. *Flora*, 2005, 200(3): 296-306.
- [4] Vecrin M P, Grevilliot F, Muller S. The contribution of persistent soil seed banks and flooding to the restoration of alluvial meadows[J]. *Journal for Natural Conservation*, 2007, 15(1): 59-69.
- [5] Gardmark A, Enberg K, Ripa J, et al. The ecology of recovery[J]. *Annales Zoologici Fennici*, 2003, 40(2): 131-144.
- [6] Griffith A B, Forseth I N. The role of a seed bank in establishment and persistence of *Aeschynomene Virginica*, a rare wetland annual[J]. *Northeastern Naturalist*, 2006, 13(2): 235-246.
- [7] Tekle K, Bekele T. The role of soil seed banks in the rehabilitation of degraded hillslopes in southern Wello, Ethiopia[J]. *Biotropica*, 2000, 32(1): 23-32.
- [8] 刘贵华, 肖葳, 陈漱飞, 等. 土壤种子库在长江中下游湿地恢复与生物多样性保护中的作用[J]. 自然科学进展, 2007, 17(6): 741-747.
- [9] Wellstein C, Otte A, Waldhardt R. Seed bank diversity in mesic grasslands in relation to vegetation type, management and site conditions [J]. *Journal of Vegetation science*, 2007, 18(2): 153-162.
- [10] Dzwonko Z. Effect of proximity to ancient deciduous woodland on restoration of the field layer vegetation in a pine plantation [J]. *Ecography*, 2001, 24(2): 198-204.
- [11] Hausman C E, Fraser L H, Kershner M W, et al. Plant community establishment in a restored wetland: Effects of soil removal [J]. *Applied Vegetation Science*. 2007, 10: 383-391.
- [12] Clements D R, Krannitz P G, Gillespie S M. Seed bank responses to grazing history by invasive and native plant species in a semi-desert shrub-steppe environment[J]. *Northwest Science*, 2007, 81(1): 37-49.
- [13] Caballero I, Olano J M, Loidi J, et al. Seed bank structure along a semi-arid gypsum gradient in Central Spain[J]. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55(2): 287-299.
- [14] 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.
- [15] Kim K D, Lee E J. Soil seed bank of the waste landfills in South Korea[J]. *Plant and Soil*, 2005, 271(1-2): 109-121.
- [16] 徐海量, 陈亚宁, 杨戈. 塔里木河下游生态输水对植被和地下水位的影响[J]. 环境科学, 2003, 24(4): 18-22.
- [17] 张元明, 陈亚宁, 张小雷. 塔里木河下游植物群落分布格局及其环境解释[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 903-910.
- [18] 宋郁东, 樊自立, 雷志栋, 等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000: 213.
- [19] 于顺利, Marcelosternberg, 蒋高明, 等. 地中海沿岸沙丘土壤种子库的异质性[J]. 植物学报: 英文版, 2003, 45(5): 536-543.
- [20] 闫巧玲, 刘志民, 李荣平. 持久土壤种子库研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 948-952.
- [21] 沈有信, 刘文耀, 张彦东. 东川干热退化山地不同植被恢复方式对物种组成与土壤种子库的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1454-1460.
- [22] 李锋瑞, 赵丽娅, 王树芳, 等. 封育对退化沙质草地土壤种子库与地上群落结构的影响[J]. 草业学报, 2003, 12(4): 90-99.
- [23] 赵文智, 白四明. 科尔沁沙地围封草地种子库特征[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 204-208.
- [24] 苏延桂, 李新荣, 张景光, 等. 生物土壤结皮对土壤种子库的影响[J]. 中国沙漠, 2006, 26(6): 997-1001.
- [25] 陶玲, 任郡, 刘建明, 等. 水分供应对沙漠植被土壤种子库中种子萌发的影响[J]. 植物学报: 英文版, 2002, 44(1): 124-126.
- [26] 苏延桂, 李新荣, 贾荣亮, 等. 腾格里沙漠东南缘苔藓结皮对荒漠土壤种子库的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 504-508.
- [27] 刘志民, 蒋德明, 高红瑛, 等. 植物生活史繁殖对策与干扰关系的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 418-422.