

塔里木河下游不同退化区地表植被 和土壤种子库特征

李吉玫¹, 徐海量¹, 张占江², 叶 茂³, 王增如¹, 李 媛¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. 新疆农业大学农学院, 新疆乌鲁木齐 830052;
3. 新疆师范大学地球科学与旅游学院, 新疆乌鲁木齐 830054)

摘要:对塔里木河下游不同退化程度的 4 个典型断面进行了植被和土壤种子库的取样调查, 采用种子萌发试验研究了不同退化区植被和土壤种子库的特征, 结果表明: (1) 塔里木河下游地表植被表现为严重的逆行演替, 具体体现为胡杨林都为过熟林, 几乎没有胸径在 10cm 以下的幼林; 植被盖度、密度和多样性指数均维持在一个较低的水平上; 随退化程度不断加重, 地表植被中草本植物的相对密度、相对盖度和相对频度逐渐降低, 而灌木和乔木的相对密度、相对盖度和相对频度逐渐增加; (2) 研究区土壤种子库的基本特征是: 土壤种子库种类贫乏、密度低、多样性指数和相似性系数不高; (3) 随退化程度的加重, 土壤种子库物种数不断减少、密度明显下降、优势种组成趋于单一、表层种子库比例升高、1 年生草本植物占优势逐渐向多年生草本植物和灌木植物转变及土壤种子库物种组成与地上植被物种组成上差异显著。

关键词:不同退化区; 地表植被; 土壤种子库; 塔里木河下游

文章编号: 1000-0933(2008)08-3626-11 中图分类号: Q948 文献标识码: A

The characteristics of soil seed bank and standing vegetation in differently degraded areas in the lower reaches of Tarim river

LI Ji-Mei¹, XU Hai-Liang¹, ZHANG Zhan-Jiang², YE Mao³, WANG Zeng-Ru¹, LI Yuan¹

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography Research, Chinese Academic of Sciences, Urumqi 830011, China

2 College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

3 Department of Geography Sciences and Touristy, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3626 ~ 3636.

Abstract: Four typical monitoring transects (C transect, E transect, G transect and H transect) along the lower reaches of Tarim river were selected. The results showed the following important points. (1) From the medium to extremely degraded regions, the relative density, relative cover and relative frequency of the annuals and perennials decrease gradually, while the relative density, relative cover and relative frequency of the shrub and arbor gradually increase, although the cover and the diversity of the vegetation tend to decline. (2) A total of fifteen species was found in the soil seed bank in the lower reaches of Tarim River, but the numbers of species decreased with increasing level of degradation. The seed bank density ranged from 250 – 2013 seed/m², but the results showed marked differences in the seed bank density along the degradation gradients ($F = 7.922, P < 0.05$). The decline rates varied among different degradation regions. (3) The vertical

基金项目: 中国科学院“西部之光”资助项目; 国家自然科学基金资助项目(30470329; 30600093; 40671036)

收稿日期: 2007-04-22; 修订日期: 2008-04-09

作者简介: 李吉玫(1980 ~), 女, 新疆昌吉人, 博士生, 主要从事干旱区恢复生态学研究. E-mail: jimeili@126.com

Foundation item: The project was financially supported by the West Light Foundation of Chinese Academy of Sciences, and the National Natural Science Foundation of China (No. 30470329, 30600093, 40671036)

Received date: 2007-04-22; **Accepted date:** 2008-04-09

Biography: LI Ji-Mei, Ph. D. candidate, mainly engaged in restoration ecology in arid region. E-mail: jimeili@126.com

distribution of the seed bank was characterized by a decrease of the seed bank density with increased depth: 0—5 cm occupied 71%, 6—10 cm occupied 19%, 11—30 cm occupied 10%. In the medium degraded region, the life form of the seed bank was dominated by annuals, but the life form shifted from annual to perennials and shrubs with increasing level of degradation. (4) The Sorensen's similarity coefficient between the seed bank and the standing vegetation was low, averaged 0.219. The number of co-occurring species both in the seed bank and the standing vegetation decreased with increasing level of degradation.

Key Words: different degradation regions; soil seed bank; standing vegetation; 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]。鉴于土壤种子库对生态系统的恢复和未来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^[3~8],因此近几十年来一直是种群生态学和恢复生态学研究的热点之一。相应地国内外许多学者都针对不同生态系统的土壤种子库开展了研究,如对种子库密度、种子库与地表植被的关系,种子库动态等^[9~20]。但是,针对类似塔里木河下游这样一个生态退化极为严重的地区及植被退化演替过程中种子库特征的针对性研究尚未见报道。这一区域由于生态退化导致植物群落更新和繁殖受到严重的抑制,在恢复实践中必须依靠人为措施促进植物群落的生态恢复,例如:目前在塔里木河下游就开展了激活土壤种子库和引种漫溢等的恢复实验,而这些恢复措施必须建立在对本区土壤种子库特征以及不同退化演替机理的深入掌握的基础上,因此开展塔里木河下游退化区土壤种子库研究具有重要的理论研究价值和实际意义。

本文以新疆乃至世界因不合理的水土资源开发而出现严重生态退化的典型区——塔里木河下游为研究区,选择退化程度不同的4个典型断面,分别代表中度、较重、重度和极度退化区,通过野外调查和实验室分析,研究不同退化区地表植被和土壤种子库的特征,目的是摸清塔里木河下游地表植被和土壤种子库对不同退化程度的响应,并且丰富干旱区退化生态系统的土壤种子库研究,同时也为退化生态系统的恢复提供理论依据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 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°27'29.88"~87°33'48.96",北纬 39°30'0.00"~40°35'12.84",是新疆乃至中国生态环境最为脆弱的地区之一。本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 2500~3000 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 50a 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。特别是下游下段的天然植被在经历了 30 多年干旱、高温和风沙等多重胁迫下,天然植被大面积衰败和死亡,2000 年的调查显示,除胡杨(*Populus euphratica*)和怪柳(*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。为研究方便,选择塔里木河下游 4 个典型断面 C、E、G 和 H 断面,分别位于研究区的英苏\喀尔达依\阿拉干和依干不及麻,从现存植被和枯死的残留植被看这四个断面基本属于一个群落类型,即乔木以胡杨为主,灌木主要有怪柳和铃铛刺(*Halimodendron halodendron*),草本植物有芦苇(*Phragmites communis*)、大叶白麻(*Apocynum venetum*)、疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)和胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)等,但是由于河道干涸的时间不同,这 4 个断面植被退化的程度依次加重,其中在 H 断面以下基本上为寸草不生的流沙地。

2 实验材料与方法

2.1 土壤种子库取样及萌发

在塔里木河下游选取中度退化区英苏(C)、较重退化区喀尔达依(E)、重度退化区阿拉干(G)和极度退化区依干不及麻(H)等 4 个监测断面,分别在每个断面垂直河道方向的固定监测样地内(自 2000 年开始设立间

距约 200m, 大小为 $50 \times 50\text{m}^2$ 的 19 个植被监测样地) 进行土壤种子库取样和地表植被调查。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, 在每个 $50 \times 50\text{m}^2$ 的样地内随机取土样 10 个, 每个取样点大小 $40 \times 40\text{cm}^2$, 分 0~5cm、6~10cm 和 11~30cm 3 个深度, 装袋带回位于塔里木河下游 34 团的试验室供试。将同一样地中同层土样混合、过筛, 将筛取的土样充分混匀, 然后平铺到预先制成的 $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 6\text{cm}$ 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 2cm 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 2cm 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 3cm 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 (两种猪毛菜未能鉴定到种, 只鉴定到属, 文中暂以猪毛菜属 1 和猪毛菜属 2 命名), 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 2005 年 3 月和 7 月对上述 19 个样地内的植被进行调查。主要调查样地内的植物种类、各种的个体数、各种的分盖度和各种出现的频次等。

2.3 数据处理

利用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 的方法计算各断面种子库密度之间的差异。方差分析前, 先进行对数转换, 然后再进行单因素方差分析。经过方差分析, 若差异显著, 则进行多重比较^[12]。

根据 Simpson 多样性指数、Shannon-wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数、McIntosh 均匀性指数计算种子库的多样性、丰富度和均匀性指数^[21]:

$$\text{Simpson 多样性指数} \quad D = 1 - \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数} \quad H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

$$\text{Margalef 丰富度指数} \quad D = \frac{S - 1}{\ln N}$$

$$\text{McIntosh 均匀性指数} \quad E = \frac{N - \sum_{i=1}^S N_i^2}{N \sum_{i=1}^S (1 - N_i)}$$

式中, N 表示全部种的个体总数; N_i 表示种 i 的个体数; P_i 表示第 i 个种的多度比例; S 表示物种数;

地表植被各种的相对密度、相对盖度和相对频度的计算采用以下的方法^[21]。

$$\text{相对密度} = \frac{\text{某个种的个体数}}{\text{所有种的个体总数}} \times 100$$

$$\text{相对盖度} = \frac{\text{某个种的盖度}}{\text{所有种的盖度}} \times 100$$

$$\text{相对频度} = \frac{\text{某个种的频度}}{\text{所有种的频度}} \times 100$$

种子库与地表植被的相似性采用 Sorensen (similarity coefficient) 的相似性系数计算^[14]:

$$SC = 2\omega / (a + b)$$

式中, ω 为种子库和地表植被共有的物种数; a 为土壤种子库中的物种数; b 为地表植被的物种数。

种子库的密度、多样性指数及种子库与地表植被的相似性等均是先统计每个培养箱内的出苗数量, 再计算各样地的数量, 最后取平均计算出各断面的种子库密度。

3 结果与分析

3.1 地表植被特征

塔里木河下游经历了 30 多年的断流, 使得沿河道生长的荒漠河岸林植被群落无法得到繁殖和生长所必

须的水分条件,由此造成植物群落出现了严重的逆行演替,主要表现为:胡杨林几乎都是过熟林,样地调查中基本上没有发现胸径在 10cm 以下的中幼龄活胡杨,而这些胡杨长势极度衰败,普遍表现为枯梢和枯枝,这点可以突出地反映在胡杨冠幅的变化上;同时物种贫乏,到 H 断面只有胡杨和柽柳;植被盖度和密度普遍偏低,多样性指数也维持在较低水平(表 1),说明本区生态退化已非常严重。

表 1 塔里木河下游不同退化程度的 4 个典型断面地表植被基本状况

Table 1 Status of standing vegetation in four typical transects with different degradation levels in the lower reaches of the Tarim River

监测断面 Monitoring transect	距大西海水库 Distance from Daxihai Reservoir (km)	样地数 Plot number	胡杨冠幅 Crown of Populus euphratica (m ²)	植被盖度 Vegetation cover (%)	植被密度 Vegetation density (plant/m ²)	物种多样性指数 Species diversity index	
						Simpson	Margalef
C	61	5	2~6	30.57 ± 8.55	1.12 ± 0.40	0.59 ± 0.23	0.82 ± 0.40
E	118	6	1~3	23.85 ± 5.74	0.65 ± 0.30	0.30 ± 0.15	0.61 ± 0.21
G	301	5	0.5~3.3	8.06 ± 2.85	0.11 ± 0.05	0.28 ± 0.03	0.28 ± 0.27
H	340	3	0.5~1.3	6.05 ± 3.49	0.07 ± 0.02	0.18 ± 0.09	0.22 ± 0.09

对不同物种在各断面的分布及相对密度、相对盖度和相对频度的调查及计算结果表明:大叶白麻、胀果甘草、疏叶骆驼刺和花花柴(*Karelinia caspia*)等多年生草本植物主要分布在 C 断面,并且草本植物的相对密度、相对盖度和相对频度较高(表 2)。而研究区内的主要建群植物柽柳和胡杨在各断面均有分布,其相对密度、相对盖度和相对频度由 C 断面到 H 断面呈现不断升高的趋势。如从 C 断面到 H 断面柽柳的相对盖度和相对密度分别由 27 和 5 升高至 83 和 71。

表 2 不同退化程度的 4 个典型断面地表植被各物种的相对密度、相对盖度和相对频度

Table 2 Relative density, relative covers and relative frequency of the standing species in four typical transects

物种 Species	C 断面 C transect			E 断面 E transect			G 断面 G transect			H 断面 H transect		
	RD	RC	RF	RD	RC	RF	RD	RC	RF	RD	RC	RF
多枝柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	5	27	16	9	21	26	21	56	29	71	83	75
刚毛柽柳 <i>Tamarix hispida</i>	5	18	9	8	17	15	—	—	—	—	—	—
黑刺 <i>Lycium ruthenicum</i>	9	3	9	51	4	17	18	0	14			
胡杨 <i>Populus euphratica</i>	3	47	7	2	36	2	18	44	29	29	17	25
花花柴 <i>Karelinia caspia</i>	16	2	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	38	0	13	—	—	—	43	0	28			
大叶白麻 <i>Apocynum venetum</i>	4	0	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
疏叶骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	12	3	16	2	0	7	—	—	—	—	—	—
铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	—	—	—	10	21	24	—	—	—	—	—	—
盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	—	—	—	2	0	2	—	—	—	—	—	—
薄翅猪毛菜 <i>Salsola pellucida</i>	—	—	—	12	0	4	—	—	—	—	—	—
胀果甘草 <i>Glycyrrhiza inflata</i>	8	0	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—

RD: 相对密度; RC: 相对盖; RF: 相对频度。RD: Relative Density; RC: Relative Cover; RF: Relative Frequency

3.2 土壤种子库特征

3.2.1 土壤种子库物种组成及密度

塔里木河下游土壤种子库萌发试验中共出现了 15 个物种,分属于 7 科。其中藜科最多,为 5 种;其次为菊科,3 种;茄科和豆科各 2 种;禾本科、柽柳科和夹竹桃科各 1 种。不同退化程度的断面土壤种子库物种组成差异较大。C 断面和 E 断面物种均为 13 种,到 G 断面降至 6 种;G 断面到 H 断面物种从 6 种降至 1 种。该结果表明随着退化程度的加剧,土壤种子库中的物种数迅速减少,结构趋于单一(表 3)。

表 3 不同退化程度的 4 个典型断面种子库物种组成

Table 3 Species composition of the seed bank in four typical transects with different degradation levels

科 Family	植物种 Species	生活型 Life-form	C 断面 C transect	E 断面 E transect	G 断面 G transect	H 断面 H transect
藜科 Chenopodiaceae	猪毛菜 <i>Salsola</i> spp1	AH	√	√	—	—
	猪毛菜 <i>Salsola</i> spp2	AH	√	√	—	—
	盐生草 <i>Halogeton glomeratus</i>	AH	√	√	—	—
	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	SH	—	√	—	—
	盐节木 <i>Halocnemum strobilaceum</i>	SH	—	√	—	—
菊科 Compositae	藜子朴 <i>Inula salsoloides</i>	PH	√	—	—	—
	花花柴 <i>Karelinia caspica</i>	PH	√	√	√	—
	鹿角草 <i>Hexinia polydichotoma</i>	PH	√	√	√	—
禾本科 Gramineae	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	PH	√	√	√	—
柽柳科 Tamaricaceae	刚毛柽柳 <i>Tamarix hispida</i>	SH	√	√	—	—
豆科 Leguminosae	蔬叶骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	PH	√	√	√	—
	铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>	SH	√	√	√	—
茄科 Solanaceae	黑刺 <i>Lycium ruthenicum</i>	SH	√	√	√	√
	枸杞 <i>Solanum</i> spp.	SH	√	√	√	√
夹竹桃科 Apocynaceae	大叶白麻 <i>Apocynum venetum</i>	PH	√	√	√	√

—: 样地中无该种植物; AH: 一年生草本植物; PH: 多年生草本植物; SH: 灌木植物 — The species were not recorded in the plot; AH: Annual herbs; PH: Perennial herbs; SH: Shrub

从图 1 看: 塔里木河下游土壤种子库的密度在 250 ~ 2013 粒/m² 之间。从 C 断面到 H 断面, 随地表植被退化程度的加重, 土壤种子库密度呈明显下降趋势。对数转换后的方差分析结果表明, 不同退化程度的断面间土壤种子库密度存在显著差异 ($F = 7.922, df = 18, P < 0.05$)。其中 C 断面与 E、G 和 H 断面间种子库密度差异均显著。但 E、G 和 H 断面间, 差异不显著。而从地上植被群落看, 三者的差异则很明显, 表明随植被退化程度的加重, 土壤种子库的差异相对地上植被群落的差异要小, 进一步说明土壤种子库的退化相对地上植被群落的退化有一定的滞后性。

如图 2 所示, 随地表植被退化程度的加剧, 土壤种子库的优势种组成逐渐趋于单一。C 断面优势种以盐生草、猪毛菜 1、黑刺和猪毛菜 2 等 4 种植物为主, 其种子密度共占土壤种子库总密度的 75%; E 断面优势种以盐生草、猪毛菜 1 和黑刺等 3 种植物为主, 共占土壤种子库总密度的 52%; 而 G 断面和 H 断面的优势种均只有黑刺 1 种, 分别占土壤种子库总密度 54% 和 100% (图 2)。

另外, 土壤种子库随群落退化而表现出的明显差异还反映在种子库的垂直分布上 (图 3)。C 断面退化程度相对最轻, 相应地在 0 ~ 5、6 ~ 10cm 和 11 ~ 30cm 土层中均有有活力的种子。而到 H 断面, 有活力的种子基本集中在表层。从这 4 个断面总的趋势看, 表层种子库密度占土壤种子库总密度的比例呈现一个较明显的上升态势, 如表层土壤种子库密度占土壤种子库总密度的比例从 C 断面的 42% 升高到 H 断面的 100%。

3.2.2 土壤种子库生活型组成

从图 4 可以看出, 在物种较丰富并且植被长势较好的 C 断面, 土壤种子库以一年生草本为主, 其密度占土

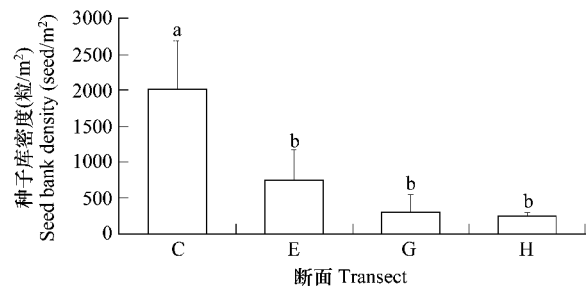


图 1 不同退化程度的 4 个典型断面土壤种子库密度 (平均值 ± 标准误)

Fig. 1 Seed bank density in four typical transects with different degradation levels (mean ± se)

* 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) The different letters indicates the significant difference ($P < 0.05$)

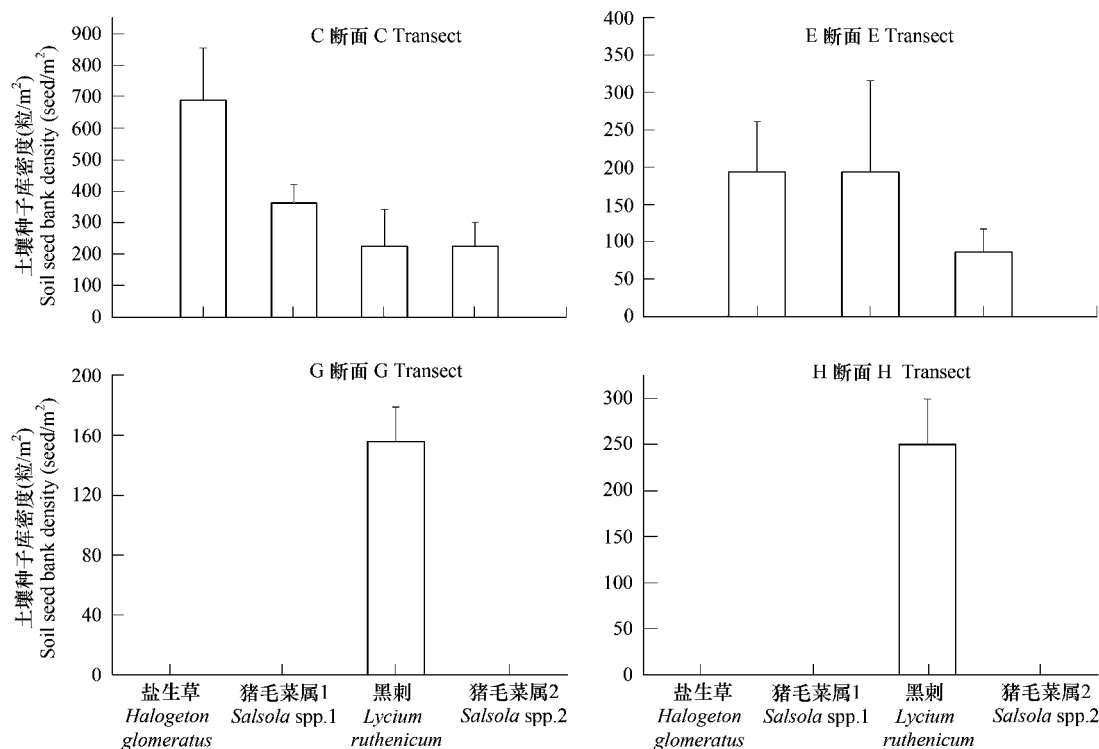


图2 不同退化程度的4个典型断面土壤种子库优势种的密度(平均值±标准误)

Fig. 2 The density of soil seed bank of dominant species in four typical transects with different degradation level (mean ± se)

壤种子库总密度的75%,其次为多年生草本,最少的是灌木。随着退化程度的加剧,多年生草本和灌木种子的密度占土壤种子库总密度的比例明显增加,尤其是灌木。如G断面灌木植物的密度占土壤种子库总密度的75%,而H断面土壤种子库中仅为灌木(图4)。表明随植被群落的退化演替,土壤种子库的生活型也逐渐由1年生草本植物转为多年生草本植物和灌木植物。

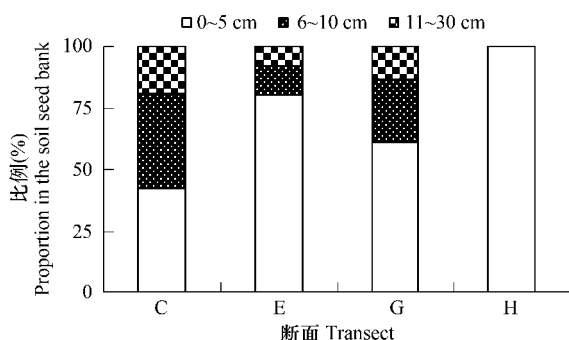


图3 不同退化程度的4个典型断面土壤种子库的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of soil seed bank in four typical transects with different degradation levels

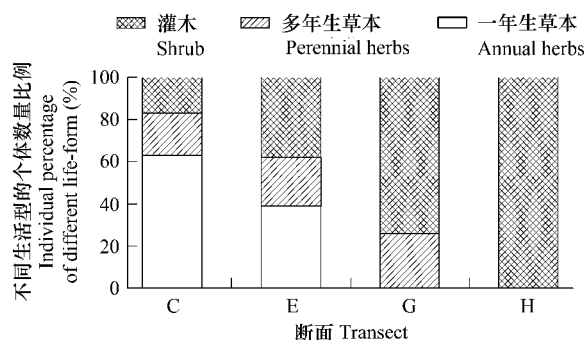


图4 不同退化程度的4个典型断面土壤种子库物种的生活型

Fig. 4 Proportion of life-form of species of seed bank in four typical transects with different degradation levels

3.2.3 土壤种子库的物种多样性

从表1地表植被的退化状况看,明显的表现出随退化程度的加重,植物物种越来越贫乏,生物多样性指数也越来越低的特点,而土壤种子库的物种多样性指数的变化趋势与此相类似。但衰减模式上却有明显差异。图5所示,从C断面到G断面土壤种子库物种多样性指数中(H断面只有一个种,因此没有计算多样性指数),Simpson多样性指数、Shannon-Wiener多样性指数、McIntosh均匀性指数和Margalef丰富度指数均呈递减

趋势。如 3 个断面 Simpson 指数分别为 0.806、0.675 和 0.542, C 断面到 E 断面的降幅为 16.3%, E 断面到 G 断面的降幅 19.7%。但与地上植被的降幅 49.6% 和 23.3% 相比, 物种多样性衰减模式上存在明显差异, 地上植被的物种多样性指数在 C 到 E 断面下降最快, 而土壤种子库物种多样性指数在 E 到 G 断面降幅最大。这也表明了退化过程中种子库多样性的变化比地上植被变化要迟缓。但是在植被退化演替的末期, 土壤种子库的物种多样性指数随演替进展变化有日趋明显的趋势。

3.3 土壤种子库物种组成与地表植被物种组成的关系

与地表植被相比, 土壤种子库的物种组成较丰富, 特别是在 E 断面, 地表植被中共有物种 8 种, 但在土壤种子库萌发实验中共萌发出物种 13 种, 其中地表没有的植物有盐生草、猪毛菜(2 种)、鹿角草、芦苇、罗布麻和枸杞等, 表明土壤种子库作为潜种群阶段即使在极度退化区, 它的物种组成比地上植被要丰富却是不争的事实。而地表植被的主要建群植物如胡杨和柽柳等在多个样地的种子萌发实验上没有出现, 也表明土壤种子库与地表植被在物种组成上的明显差异。

图 6 显示塔里木河下游土壤种子库物种组成与地表植被物种组成的相似性具有两个明显的特点: 其一, 相似性水平处在一个较低的水平上, 相似性系数平均值只有 0.219; 其二, 随着地表植被退化程度的加剧, 土壤种子库与地表植被的共有物种数不断减少, 土壤种子库物种组成与地表植被物种组成的相似性呈现一个较明显的递减趋势。如在地表植被长势较好的 C 断面, 土壤种子库和地表植被的共有物种数占总物种数的 23%, 相似性系数为 0.469, 而在 E、G 和 H 断面则共有物种数占总物种数的比例分别降至 11%、7% 和 0, 相应的相似性系数也降为 0.233、0.144 和 0。也说明了在极度退化区退化演替的末期地上植被与种子库在物种组成上的差异日趋明显。

4 讨论

沿塔里木河下游河道, 随地下水埋深不断增加, 土壤含水量逐渐降低, 退化程度依次加重, 而分布于此的地表植被则在数量和组成的分布格局指示了这种生态条件; 同地表植被一样, 塔里木河下游土壤种子库的空间分布格局也反映了这种不同的退化程度。

4.1 塔里木河下游地表植被退化特征

水分条件是制约干旱区植物生长发育及分布的主要限制因子之一。受水分条件的限制, 塔里木河下游地区群落结构简单, 植物种类贫乏, 只有一些深根系、抗旱性强的植物在环境退化的过程中存留下来^[22]。而由于断流时间和补给水量的差异, 塔里木河下游由上而下的地下水位呈现较明显的梯度下降的趋势, 由此导致不同断面天然植被退化程度的差异^[23]。如在距离大西海子水库较近的 C 断面, 由于受部分河水的补给, 除乔木和灌木外, 还有多年生草本和零星的一年生草本分布, 物种组成较丰富, 植物群落长势较之下段各断面要好。愈往下游, 退化程度愈重, 除根系较深的草本(如疏叶骆驼刺和芦苇)尚能勉强维持生命, 其余草本植物大量死亡, 直至最终草本植物完全消失, 而柽柳和胡杨等由于根系较深, 仍可以较好的生长, 且相对盖度、相对密度和相对频度有所增大。

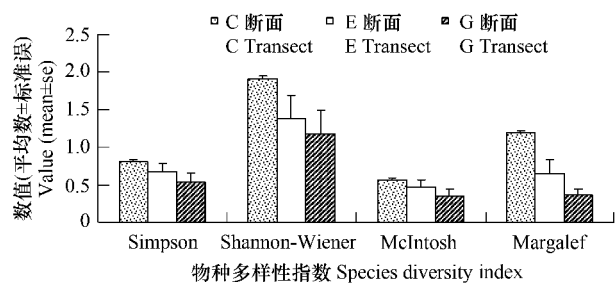


图 5 不同退化程度的 4 个典型断面的土壤种子库物种多样性指数(平均值 ± 标准误差)

Fig. 5 Species diversity index of the soil seed bank in four typical transects with different degradation levels (mean ± se)

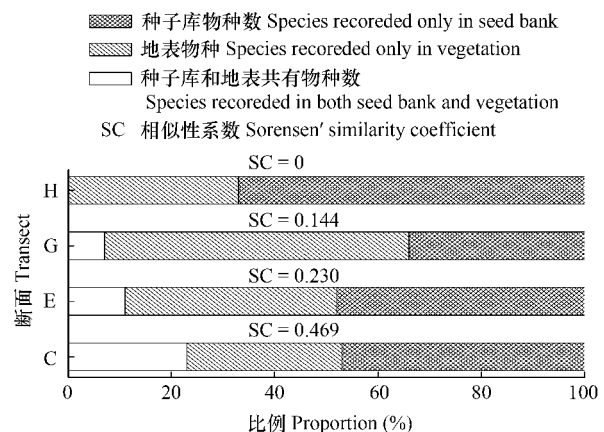


图 6 土壤种子库物种组成与地表植被物种组成的相似性

Fig. 6 Similarity between the seed bank and the standing vegetation species composition

4.2 土壤种子库的特征

种子库的大小与很多因素(如种子大小、植被类型、演替阶段、种子寿命等)有关^[24]。不同演替阶段,土壤种子库的密度差别很大,其中演替早期的生态系统具有较丰富的土壤种子库^[17]。与其它沙漠(沙地)土壤种子库相比(表4),塔里木河下游土壤种子库密度偏低(阿拉善沙漠区除外)。同时研究区土壤种子库物种组成贫乏,多样性较低。这一方面可能与本区多年生草本植物的无性繁殖对策和种子寿命较短有关,另一方面与其地表群落组成单一和种子植物相对较少有关^[25]。

随地表植被退化程度的不断加重,土壤种子库物种数、总密度和多样性指数均呈现不断降低的趋势,同时优势种组成趋于单一,表明退化程度对土壤种子库有明显的影响。但与地表植被相比,土壤种子库对退化程度的响应较滞后。

表4 世界各地部分沙漠(沙地)土壤种子库密度
Table 4 Seed bank density for different world deserts

沙漠(沙地)名称 Name of the Desert (Sandy land)	土壤种子库密度(粒/m ²) Seed density (seeds/m ²)	资料来源 Reference
Peruvian coastal (南美)	5200	[10]
Chilean thorn scrub (南美)	15,000 ~ 42,000	[10]
Monte (南美)	9,300 ~ 22,900	[10]
Prepuna (南美)	1150 ~ 1650	[10]
Mojave (北美)	800 ~ 18750	[10]
Sonoran (北美)	400 ~ 2700	[10]
Sonoran (北美)	33000	[10]
Chihuahuan (北美)	21000	[10]
Monte (阿根廷)	7900 ~ 8900	[10]
阿拉善沙漠区	8	[26]
科尔沁沙地	2609 ~ 19022	[17]

许多研究结果表明,土壤种子库的垂直分布规律为表层土壤中种子比例高,随着土壤深度的加深而递减^[26]。本文的研究结果与之一致。同时随着退化程度的加重,土壤种子库呈现出明显的表聚特点,造成这一结果的原因一方面与群落自身的退化有关。随着环境条件的突变,下游许多植物无法耐受而死亡,深藏在地下的持久土壤种子库也逐渐失去活力,从而出现了土壤种子库垂直分布上的梯度变化;另外,塔里木河下游多大风天气,疏松的土质在大风的作用下,造成表层土壤的风蚀非常严重。从G和H断面的风蚀调查看,表层土壤被风蚀的深度分别在5cm和20cm以上,因此许多植物的种子无法进入土壤。而土壤种子库里的种子包括表层,有相当比例可能在土壤中滞留的时间已经很长了。总之,严重的生态退化已经对本区土壤种子库的垂直分布造成了显著的影响。

有研究表明,演替早期的土壤种子库1年生草本植物较丰富^[24]。本研究结果与之一致,在退化程度相对较轻、植被长势较好的C断面土壤种子库以1年生草本植物为主,随着退化程度的加重,土壤种子库的生活型组成逐渐由1年生草本植物过渡为多年生草本植物和灌木植物。这可能与演替早期的地表植被中植物组成较丰富有关。

4.3 土壤种子库物种组成与地表植被的物种组成关系

塔里木河下游由于出现严重的生态问题,导致地表植被出现严重的退化;同时从上面的研究也发现土壤种子库也呈现类似的递减趋势,而二者之间是否存在必然的联系是研究所重点关注的问题。在此通过分析不同断面地表植被与土壤种子库物种组成的相似性来探讨它们之间的联系。

土壤种子库和地表植被的关系大致有两种情况,即不相似性和相似性。这主要是由于不同群落类型的差异造成的。环境因子如干燥度和演替阶段等也影响这二者的关系^[2]。本文的研究结果表明,C断面和E断面

相似性系数分别为 0.469 和 0.233,这与许多地区相比并不低。但在 G 和 H 断面相似性系数只有 0.144 和 0,属于一个很低的水平。造成这一结果的原因在于:C 断面和 E 断面 1 年生草本植物的种子分别占土壤种子库总密度的 75% 和 38%,使得地上植物与土壤种子库的相似性较高。这一结果与 Touzard 等^[13]的研究结果相符合,即以 1 年生草本植物为主的土壤种子库,其物种组成与地表植被物种组成的相似性较高;而以多年生草本植物和灌木植物为主的土壤种子库,其物种组成与地表植被物种组成的相似性较低。同时研究结果也表明随着退化程度的加剧,相似性系数逐渐降低。这与有些学者提出的“随着干燥度的提高,地上植被与土壤种子库的相似性有提高的趋势”的观点不一致^[27],但与“演替后期地表植物与种子库的相似性差异显著”较相符^[28]。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,而开花和接种等正常的繁衍过程已经受到极大的影响,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^[29],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。另一方面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的条件(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^[29]。

虽然塔里木河下游地表植被与土壤种子库的种类组成上存在明显的差异,但无论是土壤种子库密度还是土壤种子库的多样性指数的变化趋势均与地表植被退化程度的差异保持较高的一致性,如图 1,种子库密度随地表植被退化程度的加重而表现出明显的下降趋势,图 5 也表现出随生态退化的加重, Simpson 指数、Margalef 指数还是 McIntosh 指数均表现出明显下降的规律,表明地表植被的退化直接影响着土壤种子库的组成和数量,它们在一定的空间范围内是一个统一的整体。这点对于制定生态恢复策略有重要的指导作用,生态退化越严重的区域恢复的难度也越大,这不仅表现在地上植被自我维持、自我恢复功能恢复的难度较大,而且表现在随着地表植被群落受到长时间严重的损害,土壤种子库种子的数量和种类也随之下降,特别是对长久种子库种子数量和种类的伤害更为明显,如图 3 中, H 断面 5cm 以下的种子数量极少。因此,在开展生态恢复工作中,绝不能等到天然植被已经完全死亡,环境灾害频繁发生时才考虑实施相应的恢复措施,那样只会事半功倍。

5 结论

(1)塔里木河下游经历了 30 多年的断流,使得沿河道生长的荒漠河岸林植被群落无法得到繁殖和生长所必须的水分条件,由此造成植物群落出现了严重的逆行演替,主要表现为:胡杨林几乎都是过熟林,调查样地基本上没有发现胸径在 10cm 以下的中幼龄活胡杨,而这些胡杨由于长势极度衰败,因此普遍表现为枯梢、枯枝现象。植物分布稀疏,植被盖度、密度较低,多样性指数维持在一个较低的水平;并且从 C 断面到 H 断面草本逐渐消失,灌木和乔木的相对盖度、相对密度和相对频度逐渐升高;到 H 断面仅为衰败的胡杨和柽柳。

(2)塔里木河下游极端恶劣的环境条件和极其严重的生态退化导致本区土壤种子库特征的特殊性。主要表现在土壤种子库密度低、物种贫乏、物种多样性低及种子库与地表植被组成的相似性不高等特点。

(3)同时随着植物群落退化程度的加重,土壤种子库的垂直结构表现出有活力的种子向表层集中的特点和种子库的生活型由 1 年生草本向多年生草本和灌木转变的特点;生物多样性指数以及土壤种子库与地表植被组成的相似性系数越来越低的发展趋势。

References:

- [1] Robert H A. soil seed bank in the soils. Advance of biology. London: Academic Press, 1981.
- [2] Yu S L, Jiang G M. The research development of soil seed bank and several hot topics. Acta Phytocologica sinica, 2003, 27(4): 552—560.

- [3] Matus G, Papp M, Tothmeresz B. Impact of management on vegetation dynamics and seed bank formation of inland dune grassland in Hungary. *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. *Journal for Natural Conservation*, 2007, 15(1): 59—69.
- [5] Gardmark A, Enberg K, Ripa J, *et al.* The ecology of recovery. *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. *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. *Biotropica*, 2000, 32(1): 23—32.
- [8] Bossuyt B, Cosyns E, Hoffmann M. The role of soil seed banks in the restoration of dry acidic dune grassland after burning of *Ulex europaeus* scrub. *Journal of Applied Vegetation Science*, 2007, 10(1): 131—138.
- [9] Marone L, Rossi B E, M H. Timing and spatial patterning of seed dispersal and redistribution in a South American warm desert. *Plant Ecology*, 1998, 137(2): 143—150.
- [10] Ramiro Pablo López. Soil seed banks in the semi-arid Prepuna of Bolivia. *Plant Ecology*, 2003, 168(1): 85—92.
- [11] Caballero I, Olano J M, Loidi J, *et al.* Seed bank structure along a semi-arid gypsum gradient in Central Spain. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55(2): 287—299.
- [12] Arriaga L, Mercado C. Seed bank dynamics and tree-fall gaps in a northwestern Mexican *Quercus-Pinus* forest. *Journal of Applied Vegetation Science*, 2004, 15(5): 661—668.
- [13] Touzard B, Amiaud B, Langlois E, *et al.* The relationships between soil seed bank, aboveground vegetation and disturbances in an eutrophic alluvial wetland of Western France. *Flora*, 2002, 197(3): 175—185.
- [14] 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 Applied Vegetation Science*, 2006, 17(1): 29—36.
- [15] Zhan X, Li L, Cheng W. Restoration of *Stipa krylovii* steppes in Inner Mongolia of China: Assessment of seed banks and vegetation composition. *Journal of arid Environments*, 2007, 68(2): 298—307.
- [16] Zhang Z Q, Shu W S, Lan C Y, *et al.* Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings. *Restoration Ecology*, 2001, 9(4): 378—385.
- [17] Zhao L Y, Li F R, Zhang H. Characteristics of the soil seed bank at the fenced sandy meadow in Horqin Sandy Land. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(2): 45—49.
- [18] Ren J, Tao L, Liu X M. Effect of water supply on seed germination of soil seed-bank in desert vegetation. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(1): 124—126.
- [19] Zhao W Z, Liu Z M, Chang X L. Influence of grazing intensity on seed bank of a sandy grassland in Horqin Steppe of China. *Annals of Arid Zone*, 2001, 40(4): 397—404.
- [20] Zhao L Y, Li F R, Wang X Z. Characteristics of soil seed bank and standing vegetation change in sandy grasslands along a desertification gradient. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1745—1756.
- [21] Zhang J T. *Quantitative Plant Ecology*. Beijing: Science Press, 2004. 87.
- [22] Chen Y N, Li W H, Xu H L, *et al.* The Influence of Groundwater on Vegetation in the Lower Reaches of Tarim River, China. *Acta Geographic Sinica*, 2003, 58(4): 542—549.
- [23] Xu H L, Chen Y N, Yang G. Effect of Translating Water on Vegetation at the Lower Reaches of Tarim River. *Acta Geographic Sinica*, 2003, 24(4): 18—22.
- [24] Marage D, Et J C & Garraud L. Soil seed banks and vegetal succession in the Southern Alps: effects of historic and ecologic factors. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne de Botanique*, 2006, 84(1): 99—111.
- [25] Huang P Y. *Excused irrigation vegetation and restoration in arid area*. Beijing: Science Press, 2002. 86—93.
- [26] Zeng Y J, WANG Y R, Nan Z B, *et al.* soil seed banks of different grassland types of Alaskans arid desert region, Inner Mongolia. *Journal of*

Applied Ecology, 2003, 14(9):1457—1463.

- [27] Holzapfel C, Schmidt W & Shmida A. the role of seed bank and seed rain in the recolonization of disturbed sites along an aridity gradient. *Phytocoenologia*, 1993, 23: 561—580.
- [28] Yang Y J, Sun X Y, Wang B P. Forest soil seed bank and natural regeneration. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(2): 304—308.
- [29] LIU G H, LI W, Wang X L, *et al.* Relationship between seed banks and standing vegetation in Hulimarsh, Chaling, Hu'nan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 450—456.

参考文献:

- [2] 于顺利, 蒋高明. 土壤种子库的研究进展及若干研究热点. *植物生态学报*, 2003, 27(04): 552~550.
- [17] 赵丽娅, 李锋瑞, 张华, 等. 科尔沁沙地围封沙质草甸土壤种子库特征的研究. *生态学杂志*, 2004, 23(2): 45~49.
- [18] 任郡, 陶玲, 刘新民. 水分供应对沙漠植被土壤种子库中种子萌发的影响. *植物学报*, 2002, 44(1): 124~126.
- [20] 赵丽娅, 李锋瑞, 王先之. 草地沙化过程地上植被与土壤种子库变化特征. *生态学报*, 2003, 23(9): 1745~1756.
- [21] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004. 87.
- [22] 陈亚宁, 李卫红, 徐海量, 等. 塔里木河下游地下水位对植被的影响. *地理学报*, 2003, 58(4): 542~549.
- [23] 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. *环境科学*, 2003, 24(4): 18~22.
- [25] 黄培祐. 干旱区免灌植被. 北京: 科学出版社, 2002. 86~93.
- [26] 曾彦军, 王彦荣, 南志标, 等. 阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1457~1463.
- [27] 杨跃军, 孙向阳, 王保平. 森林土壤种子库与天然更新. *应用生态学报*. 2001, 12(2): 304~308.
- [28] 刘贵华, 李伟, 王相磊, 等. 湖南茶陵湖里沼泽种子库与地表植被的关系. *生态学报*, 2004, 24(3): 450~456.