

黄河分洪对乌兰布和沙漠局地种子库特征影响

辛智鸣^{1,2,3}, 董雪², 黄雅茹², 罗凤敏^{2,3}, 葛根巴图^{1,2,3}, 郭浩^{1*}

(1 中国林业科学研究院 荒漠化研究所, 北京 100091; 2 中国林业科学研究院 沙漠林业实验中心, 内蒙古磴口 015200; 3 内蒙古磴口荒漠生态系统国家定位监测研究站, 内蒙古磴口 015200)

摘 要: 乌兰布和沙漠东北缘固定-半固定-流动沙地被黄河分洪区划分为: 消落带水淹区段和未淹区段以及原生植被(对照)样带, 通过萌发法对 3 个区段实地采样的土壤种子库物种组成、数量和分布特征进行分析, 以探讨黄河分洪区消落带内土壤种子库对地上植被形成的保障能力和未来植物群落结构演替趋势, 为黄河分洪区地表植被的恢复与重建提供理论依据。结果表明: (1) 3 个区段土壤种子库储量存在显著差异, 种子库密度未淹区段($733 \text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$) > 对照样带($609 \text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$) > 水淹区段($176 \text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$)。 (2) 随着土层深度的增加, 土壤种子库密度呈现下降趋势; 随着水淹干扰强度、水淹时间和水淹频率的增加, 表层 0~5 cm 土壤种子库密度呈减小的趋势。 (3) 水淹区段土壤种子库物种分属 4 科 10 属 10 种, 未淹区段分属 5 科 14 属 14 种, 对照样带分属 5 科 15 属 15 种; 其中藜科、禾本科为优势科, 且 3 个区段土壤种子库均以一年生、多年生草本植物为主, 表明种子库对地表植物群落的灌木层片的繁衍、更新和演替的贡献率很小。 (4) 与对照样带相比, 水淹区段土壤种子库的 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均显著降低, 但未淹区段表现出了升高的趋势, 且水淹区段和未淹区段相似性指数最大。

关键词: 黄河分洪区; 水淹干扰; 土壤种子库; 消落带

中图分类号: Q948.112⁺.9

文献标志码: A

Characteristics of Soil Seed Banks in Water-level-fluctuating Zone of the Yellow River Diversion Area

XIN Zhiming^{1,2,3}, DONG Xue², HUANG Yaru², LUO Fengmin^{2,3}, GE Genbatu^{1,2,3}, GUO Hao^{1*}

(1 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy Forestry, Beijing 100091, China; 2 Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China; 3 Inner Mongolia Dengkou Desert Ecosystem Research Station, State Forestry and Grassland Administration, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: We made a germination test to study the characteristics of soil seed banks in the different sand dunes (fixed dune, semi-fixed dune, mobile dune) of Yellow River diversion area water-level-fluctuating zone (including the flooded, non-flooded and control areas of different sand dunes). This study was conducted to evaluate the seed density, species diversity and horizontal distribution pattern of soil seed banks in areas with different local conditions based on field sampling and an indoor burgeoning experiment. In order to provide a theoretical basis for the restoration and reconstruction of the surface vegetation in the Yellow River diversion area, we discussed the soil seed bank in water-level-fluctuating zone of the Yellow

收稿日期: 2018-12-24; **修改稿收到日期:** 2019-02-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2017QA029); 国家重点研发计划课题(2016YFC0501004); 内蒙古磴口荒漠生态系统国家定位观测研究站运行补助项目

作者简介: 辛智鸣(1984—), 男, 高级工程师, 主要从事荒漠化防治。E-mail: xzmlkn@163.com

* 通信作者: 郭浩, 研究员, 主要从事荒漠化防治研究工作。E-mail: guohaomail@163.com

River diversion area to guarantee the formation of above-ground vegetation and the succession trend of plant community structure in the future. The results showed that: (1) there were significant differences in the soil seed bank of three water-level-fluctuating zones. The density of water-level-fluctuating zone soil seed bank is the following in order: non-flooded area (733 seed perm^2) > control area (609 seed perm^2) > flooded area (176 seed perm^2). (2) The seed density decreased with soil depth. With the intensification and prolonging of flooding, the amount of seeds in top soil (0–5 cm) tended to decrease. (3) A total of 10 species belonging to 4 families and 10 genera were detected in the soil seed bank of flooded area. A total of 14 species belonging to 5 families and 14 genera were detected in the soil seed bank of non-flooded area. A total of 15 species belonging to 5 families and 15 genera were detected in the soil seed banks of control area. Most of them belong to Chenopodiaceae and Poaceae, which were annual and perennial herbage species. It indicated that soil seed banks have little contribution to regeneration and succession of shrub layers. (4) Compared with those in control area, all the species diversity indices, richness indices and evenness indices of the standing vegetation decreased significantly in flooded area, but increased in non-flooded area. And the similarity index between the flooded and non-flooded areas was the highest.

Key words: Yellow River diversion area; flooding disturbance; soil seed bank; water-level-fluctuating zone

土壤种子库(soil seed bank)是指埋藏于凋落物和土壤中全部有活力种子的总和^[1-2]。地表植物种群生活史的一个重要阶段就是结种,种子进入土壤种子库后直接影响地表植物种群的更新演替与生存,并对群落动态响应与适应环境变化与人为干扰影响巨大^[3-5]。影响种子库变化的主要生物因素包括群落组成格局^[6]、种子形态^[7]、动物摄食行为^[8]、放牧干扰^[9]等;影响种子库变化的非生物因素包括水分^[10]、风况^[11]、土壤条件^[5]和火烧^[12]等。不同干扰因素与干扰历史对土壤种子库时空格局的作用存在差异^[13-14]。荒漠地区影响土壤种子库的关键因子是水分和风沙。研究发现乌兰布和黄河分洪区段地下水位随径流量增大而明显上升^[15],当土壤中有水分存在的条件下,地下水位的季节性变化在影响植被分布的同时会直接增加周边土壤含水量^[16]。水分子与土壤颗粒相互作用产生了拉张力,同时增加了土壤颗粒间的内聚力,从而增强了土壤抗风蚀的能力^[17]。在不同土壤水分环境,风沙的综合交互效应将共同决定土壤种子库水平和垂直分布格局。

由于乌兰布和沙漠东北缘黄河分洪区消落带内地上植被严重退化,而土壤种子库能够直接参与地上植被的繁育与更新,具有维持物种多样性的潜力^[18-19]。此外,因荒漠化程度不同划分的固定、半固定和流动沙地 3 种生境类型形成的消落带水淹前土壤种子库的特征不同,水淹干扰对其土壤种子库的作用强度可能存在差异。本研究以乌兰布和沙漠东北缘黄河分洪区在 3 种生境类型下形成的消落带土壤种子库为研究对象,对比分析退水出露时水淹区段、未淹区段和原生植被对照样带的土壤种子库

的储量、物种组成和垂直分布特征,在消落带干湿交替剧烈变化的过程中,土壤种子库会随着水淹干扰强度的变化作出不同的响应,从而可以影响和预测未来地表植被的恢复与重建,为深入认识与揭示黄河分洪区消落带内土壤种子库对地上植被形成的保障能力和未来植物群落结构演替提供理论依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区域概况

乌兰布和沙漠东北缘黄河分洪区位于磴口县奈伦湖,地理区域为 $E106^{\circ}09' \sim 106^{\circ}57'$, $N39^{\circ}16' \sim 40^{\circ}57'$ 之间。该区属于中温带干旱性气候,年均降水量 $110 \sim 160 \text{ mm}$,年均蒸发量 $2\ 400 \sim 3\ 200 \text{ mm}$;年均气温 $7.5 \sim 8.5^{\circ}\text{C}$,年平均风速 3.5 m/s ,土壤类型以风沙土为主。气候干旱少雨,昼夜温差大,季风强劲,沙尘暴灾害性天气较频繁。分洪区东西长约 28.2 km ,南北宽约 7.8 km ,面积 220 km^2 ^[20]。该分洪区的建设有效缓解了黄河河套段洪水和凌汛压力,同时对乌兰布和沙漠东北缘地下水,生态环境等影响巨大^[16,21]。据黄河水位调度方案,奈伦湖水库进行试验性蓄水以来,每年 6~9 月低水位运行,9 月下旬开始进入蓄水期,水位逐渐升高,直到 11 月底达到最高水位后又开始逐渐降低,次年 7 月左右,水位降至防洪限制最低水位,于是此库周围形成了水位落差的消落带。据实地调查 2017 年整个消落带未被完全淹没,因此在消落带内暂时形成了水淹区段和未淹区段,以及消落带以外的原生植被缓冲带 3 个样带区域。在水库修建之前该分洪区段植被既会受到乌兰布和沙漠流动、半流动、固定沙地 3 种

生境类型的影响,也具有从未被水淹过的陆生植被。因此,整个乌兰布和沙漠东北缘黄河分洪区消落带中具有的本底植被有明显差异,与未修建水库前相比,现有植被的盖度、物种多样性和均匀度都有所降低。

1.2 研究方法

1.2.1 样带设置 试验区设在乌兰布和沙漠东北缘黄河分洪区的奈伦湖库岸区的上风向。由于受水淹干扰强度和时间周期不同的影响,将消落带划分为水淹区段和未淹区段 2 个样带,且将存有原生植被的缓冲带作为对照样带。选取乌兰布和沙漠东北缘 3 种生境类型固定、半固定、流动沙地进行种子库采样,每种沙地类型下的分洪区边缘选择 6 条 200 m 的样线,每条样线包含 3 个区段,在样线两侧 0.5 m 范围内的样带共计 18 个。沿每条样带分别在距离分洪区边缘 0、2、4、6、8、10、15、20、30、50、100 和 200 m 处共设置 12 个 1 m×1 m 样方,每个样方的中心位置为取样点,用直径 8 cm 的金属取土器收集 0~20 cm 土样(分为 3 层:0~5 cm,5~10 cm,10~20 cm)。2017 年 7 月中旬取样。

1.2.2 试验设计及数据处理 (1)在室温下将种子库土柱样品均匀平摊在样盘中,去除杂物,并适量浇水,使种子发芽,并记录每份样品中出土幼苗的种类和数量。

(2)土壤种子库密度。将供萌发试验筛选土样占原筛选土样的比例按照 1 m² 面积大小进行换算,然后统计土壤中各物种种子萌发的幼苗数量即是土壤种子库密度。

(3)土壤种子库生活型。将萌发统计到的植物幼苗可以分为 3 种类型:即一年生草本、多年生草本和灌木植物,分别计算每一类型物种数占物种总数的百分比。

(4)计算土壤种子库物种多样性指数、丰富度指数、均匀度指数、相似性系数,公式如下:

① Shannon-Wiener 多样性指数

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

② Margalef 丰富度指数: $R = (S - 1) / \ln N$

③ Pielou 均匀度指数: $E = D / \ln S$

④ Jaccard 相似性系数: $C_j = j / a + b - j$

式中, P_i 为第 i 个物种的种子数占所有物种总种子数的比例, S 为土壤种子库中全部物种数, N 为土壤种子库中所有物种的种子数量。 a 为土壤种子库 A 中的物种数; b 为土壤种子库 B 中的物种数; j

为土壤种子库 A、B 中共有的物种数。

2 结果与分析

2.1 土壤种子库物种组成

消落带水淹区段土壤种子库的物种分属 4 科 10 属 10 种,藜科所占比例最大为 40.0%,禾本科占 30.0%,菊科占 20.0% 以及苋科占 10.0% (表 1)。在土壤种子库种类组成中优势种有赖草的种子库密度最大,为 67 粒·m⁻²,蓼子朴的种子库密度为 50 粒·m⁻²,芦苇的种子库密度为 26 粒·m⁻²。

消落带未淹区段土壤种子库的物种分属 5 科 14 属 14 种,藜科所占比例最大为 42.86%,禾本科占 28.57%,菊科占 14.29%,怪柳科和苋科均占 7.14%。在土壤种子库种类组成中优势种有赖草的种子库密度最大,为 124 粒·m⁻²,蓼子朴的种子库密度为 104 粒·m⁻²,五星蒿的种子库密度为 56 粒·m⁻²。对比消落带内水淹和未淹区段发现,除了虫实、五星蒿、沙竹和甘蒙怪柳没有在水淹区段中出现外,共有 10 种植物在消落带两个区段中均有出现。以上结果说明消落带水淹和未淹区段土壤种子库中物种组成差异不大,但是物种数量变化较大,优势物种相同。

对照样带土壤种子库的物种分属 5 科 15 属 15 种,藜科所占比例最大为 46.67%,禾本科占 26.67%,菊科占 13.33% 以及怪柳科和豆科均占 6.67%。在土壤种子库种类组成中优势种有赖草的种子库密度最大(142 粒·m⁻²),蓼子朴的种子库密度为 97 粒·m⁻²,沙米的种子库密度为 62 粒·m⁻²。

另外,土壤种子库的物种种类在消落带和对照样带间差异明显,在所有出现的物种中,苦苣菜和反枝苋作为外来物种只在消落带内出现,且在消落带内灌木种子仅有甘蒙怪柳出现。3 个区段中共同出现的优势物种只有赖草和蓼子朴,但在消落带水淹区段所占的比例 66.48%,远远大于未淹区段和对照样带,而未淹区段和对照样带间相差不大,分别为 36.90% 和 39.24%。说明这两种植物的种子对环境的干湿变化有着较好的适应性,可以作为消落带植被恢复的主要物种。

由以上得出的结果也可以推测,原有的土壤种子库受水淹干扰发生了巨大的变化,尤其对土壤中灌木植物种子库影响最大,因为从消落带土壤种子库来看,对照样带中出现的油蒿、梭梭、猫头刺 3 个物种并不出现在消落带中,水淹干扰发生前已留存在土壤中的种子由于无法忍受长时间的水淹,在退

表 1 黄河分洪区土壤种子库的物种组成及种子库密度
Table 1 Species composition and seed quantities of soil seed banks in Yellow River diversion area

生活型 Life-form	种 Species	属 Genus	科 Family	水淹区段 Flooded area						未淹区段 Non-flooded area						对照样带 Control area		
				A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C
一年生草本 Annual herbage	猪毛菜 <i>S. collina</i>	猪毛菜属 <i>Salsola</i>	藜科 Chenopodiaceae	5	—	—	2	52	55	36	48	58	90	—	—	—	—	—
	沙米 <i>A. squarrosus</i>	沙蓬属 <i>Agriophyllum</i>	藜科 Chenopodiaceae	10	—	—	3	59	80	16	52	85	40	62	62	—	—	—
	虫实 <i>C. hyssopifolium</i>	虫实属 <i>Corispermum</i>	藜科 Chenopodiaceae	—	—	—	—	49	21	—	23	20	30	51	34	—	—	—
	五星蒿 <i>B. dasyphylla</i>	雾冰藜属 <i>Bassia</i>	藜科 Chenopodiaceae	—	—	—	—	53	90	56	66	85	58	—	—	—	—	—
	盐生草 <i>H. glomeratus</i>	盐生草属 <i>Halogeton</i>	藜科 Chenopodiaceae	9	2	0	4	84	20	9	38	13	1	—	5	—	—	—
	中亚冰藜 <i>A. centralasiatica</i>	滨藜属 <i>Atriplex</i>	藜科 Chenopodiaceae	9	11	2	7	53	48	21	41	1	2	—	1	—	—	—
	狗尾草 <i>S. viridis</i>	狗尾草属 <i>Setaria</i>	禾本科 Poaceae	2	12	—	5	69	34	4	36	49	8	11	23	—	—	—
	苦苣菜 <i>I. polyccephala</i>	苦苣菜属 <i>Ixeris</i>	菊科 Compositae	21	5	—	9	41	30	8	26	—	—	—	—	—	—	—
	反枝苋 <i>A. retroflexus</i>	苋属 <i>Amaranthus</i>	苋科 Amaranthaceae	12	—	—	4	62	27	—	30	—	—	—	—	—	—	—
	赖草 <i>L. secalinus</i>	赖草属 <i>Leymus</i>	禾本科 Poaceae	83	104	14	67	155	155	61	124	220	145	60	142	—	—	—
多年生草本 Perennial herbage	芦苇 <i>P. australis</i>	芦苇属 <i>Phragmites</i>	禾本科 Poaceae	21	22	35	26	54	52	33	46	125	12	1	46	—	—	—
	沙竹 <i>P. villosa</i>	沙鞭属 <i>Psammodactylo</i>	禾本科 Poaceae	—	—	—	—	55	36	40	44	40	81	19	47	—	—	—
	藜子朴 <i>Inula salsoloides</i>	旋覆花属 <i>Inula</i>	菊科 Compositae	63	30	56	50	153	81	77	104	118	118	55	97	—	—	—
灌木 Shrub	油蒿 <i>A. ordosica</i>	蒿属 <i>Artemisia</i>	菊科 Compositae	—	—	—	—	—	—	—	—	12	20	3	12	—	—	—
	甘蒙怪柳 <i>T. austromongolica</i>	怪柳属 <i>Tamarix</i>	怪柳科 Tamaricaceae	—	—	—	—	88	69	13	57	50	66	9	42	—	—	—
	梭梭 <i>H. ammodendron</i>	梭梭属 <i>Haloxyylon</i>	藜科 Chenopodiaceae	—	—	—	—	—	—	—	—	5	1	—	2	—	—	—
	猫头刺 <i>O. aciphylla</i>	棘豆属 <i>Oxytropis</i>	豆科 Leguminosae	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	1	—	—	—

注: A. 固定沙地; B. 半固定沙地; C. 流动沙地; M. 平均; —, 表示无。下同
Note: A. Fixed dune; B. Semi-fixed dune; C. Mobile dune; —, None. The same as below

水即水淹结束之后种子可能失活,因此遭到了毁灭性的破坏。

2.2 土壤种子库密度特征

乌兰布和沙漠东北缘 3 种沙地类型固定-半固定-流动,随着荒漠化程度加重,土壤种子库密度和物种组成数目呈减少趋势(图 1)。消落带水淹区段的固定、半固定和流动沙地土壤种子库密度分别为 235、186 和 107 粒·m⁻²,与对照样带(884、672 和 271 粒·m⁻²)相比大幅度减少,但消落带未淹区段有所增加,土壤种子库密度分别为 1 027、798 和 374 粒·m⁻²。综合以上结果黄河分洪区消落带水淹区段、未淹区段和对照样带土壤种子库平均密度分别为 176、733 和 609 粒·m⁻²。方差分析结果显示消落带水淹区段土壤种子库密度与未淹区段、对照样带差异性极显著($P<0.01$),未淹区段与对照样带差异显著($P<0.05$)。在所研究的 3 个区段内,水淹区段土壤种子库密度最低,分别比未淹区段和对照区段降低了 75.99%和 71.10%,且未淹区段土壤

种子库密度比对照样带增加了20.36%。消落带和对照带内的 3 个生境类型土壤种子库密度均表现为:固定沙地>半固定沙地>流动沙地,3 者存在显著差异($P<0.05$)。

黄河分洪区形成的 3 个区段水淹、未淹和对照样带土壤种子库密度随着土层的加深,在垂直分布上均呈下降趋势(图 1)。其中,对照区段 0~5 cm、5~10 cm 和 10~20 cm 层土壤种子库密度分别为 508、82 和 19 粒·m⁻²,表层土壤种子库的密度占总垂直分布层的 83.42%,且表层与中层和下层均达到极显著水平($P<0.01$);未淹区段表层 0~5 cm、中层 5~10 cm 和下层 10~20 cm 土壤种子库密度分别为 551、148 和 34 粒·m⁻²,表层土壤种子库的密度占总垂直分布层的 75.17%,且表层与中层和下层均达到极显著水平($P<0.01$);水淹区段表层 0~5 cm、中层 5~10 cm 和下层 10~20 cm 层土壤种子库密度分别为 89、70 和 17 粒·m⁻²,表层土壤种子库的密度占总垂直分布层的 50.57%,但表层与中层之间没有显著差异($P>0.05$),这与水淹干扰有很大的关系。以上结果表明,随着水淹干扰强度增加,表层 0~5 cm 土壤种子库的储量所占比例有下降趋势。

2.3 土壤种子库种子生活型

萌发试验统计结果(表 2)表明,整个消落带土壤种子库生活型分布特征表现为一年生草本种子占 64.29%,多年生的草本种子占 28.57%,而灌木种子仅占 7.14%。与对照样带相比,整个消落带土壤种子库的一年生草本种子所占比例显著增加了 20.96%,而多年生草本和灌木种子所占比例却分别减少了 4.66%和 16.30%,但多年生草本种子所占比例与对照样带的差异不显著。另外,水淹区段种子库植物生活型组成与未淹区段有较显著的差异,说明水淹干扰影响土壤种子库的物种种类。与对照样带相比,水淹区段和未淹区段土壤中一年生草本种子所占比例分别增加了 7.38%和 18.97%,而灌木种子所占比例分别减少了 23.44%和 15.9%,水淹区段多生草本种子所占比例增加了 16.06%,但未淹区段多年生草本种子所占比例与对照样带的差异未达到显著水平。

2.4 土壤种子库物种多样性与相似性

对 3 个区段的土壤种子库的物种多样性分别进行了计算,结果如表 3 所示。水淹区段的多样性指数最低 1.293,说明水淹条件降低了不适物种的比例,只有少数原生植被可以适应水淹的干扰。未淹

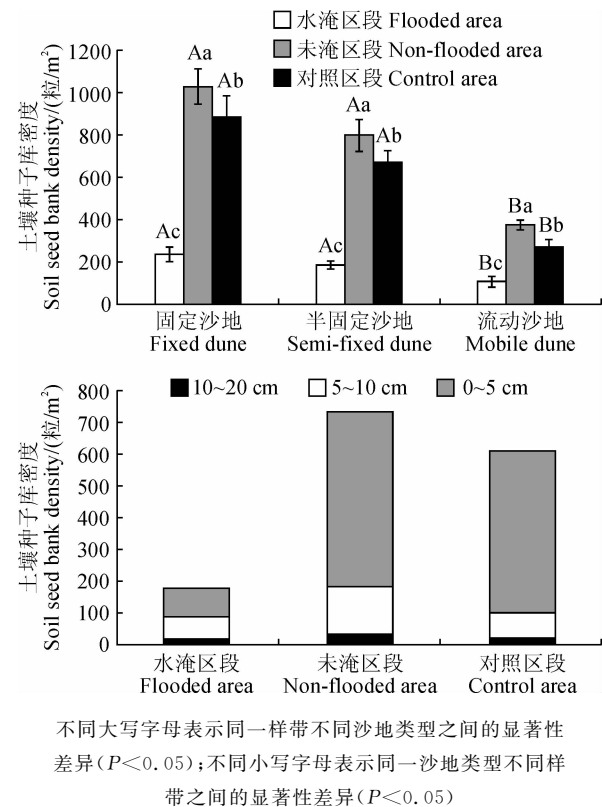


图 1 黄河分洪区土壤种子库密度比较

Different capital letters indicate significant differences among dunes ($P<0.05$) in the same transect; Different normal letters indicate significant differences ($P<0.05$) among transects within the same dune

Fig. 1 Comparison of the densities of soil seed banks in Yellow River diversion area

表 2 黄河分洪区土壤种子库生活型分布

Table 2 Life form distribution of soil seed banks in Yellow River diversion area/%

生活型 Life-form	整个消落带 Water level fluctuating zone	水淹区段 Flooded area	未淹区段 Non-flooded area	对照样带 Control area
一年生草本 Annual herbage	64.29	50.71	62.30	43.33
多年生草本 Perennial herbage	28.57	49.29	30.16	33.23
灌木 Shrub	7.14	0	7.54	23.44

表 3 黄河分洪区土壤种子库多样性指数

Table 3 Diversity indices of soil seed banks in Yellow River diversion area

生态指标 Ecology index	水淹区段 Flooded area				未淹区段 Non-flooded area				对照样带 Control area			
	A	B	C	M	A	B	C	M	A	B	C	M
I	1.811	1.362	0.706	1.293	2.542	2.471	2.004	2.339	2.238	2.155	1.809	2.067
II	1.648	1.148	0.642	1.146	1.875	1.945	1.857	1.892	2.064	1.997	1.428	1.829
III	0.787	0.700	0.509	0.665	0.963	0.936	0.806	0.902	0.826	0.817	0.823	0.822

注: I. Shannon-Wiener 多样性指数; II. Margalef 丰富度指数; III. Pielou 均匀度指数
Note: I. Shannon-Wiener index; II. Margalef index; III. Pielou index

表 4 黄河分洪区土壤种子库之间相似性指数

Table 4 Similarity coefficients of soil seed banks in Yellow River diversion area

样带 Area	水淹区段 Flooded area	未淹区段 Non-flooded area	对照样带 Control area
水淹区段 Flooded area	1		
未淹区段 Non-flooded area	0.714	1	
对照样带 Control area	0.250	0.423	1

区段的多样性指数最大 2.339,干湿变化的土壤微环境增加了外来物种进入土壤的机率。对照样带多样性指数 2.067,且三个区段间差异性显著。3 个区段均匀度指数都在 0.5 以上,说明土壤中各物种种子分布都比较均匀。丰富度指数与多样性指数变化趋势一致,未淹区段(1.892) > 对照样带(1.829) > 水淹区段(1.146),但未淹区段与对照样带差异不显著。很明显可以看出,从固定-半固定-流动沙地的过程中,随着荒漠化程度的增加,相应土壤种子库物种多样性 Shannon-Wiener 指数呈减小趋势。由表 4 可知,水淹区段与未淹区段、水淹区段与对照样带、未淹区段与对照样带之间相似性系数分别为 0.714、0.250 和 0.426,消落带的水淹、未淹区段与对照样带的相似性指数都没超过 0.500,处于中等不相似水平,说明水淹影响了原生植被土壤种子库,且随着水淹强度增加,相似性减弱。

3 讨论

黄河分洪区奈伦湖水库的修建改变了原生自然生态环境的水文、水资源条件,从而导致原生植被群落由于无法忍受水淹造成严重退化的趋势,突出的特点是水流对地表优势灌木造成了毁灭性的伤害,

大量沙旱生灌木因无法忍受长时间的水淹而死亡,造成消落带地表植被盖度显著降低,同时为外来物种的侵入提供了充足的空间,从而增加了土壤中种子萌发所需的光照条件^[22-23]。水流对土壤中的种子有携带作用,消落带内的涨水与退水过程,伴随着种子的消耗与补充^[24]。乌兰布和沙漠东北缘黄河分洪区消落带具有冬水夏陆的季节波动性特征^[15],水位升降和水淹周期也具有季节或者年际的动态变化特征,严重影响种子的活力与萌发^[25]。本研究结果表明消落带的水淹区段、未淹区段以及对照样带土壤种子库均以一年生和多年生草本为主,所占比例均超过 75% 以上。就土壤种子库储量而言,消落带水淹区段主要以赖草、藜子朴、芦苇为主,大量土壤种子因无法忍受长时间水淹而失活,同时水淹不利于土层中种子库的建立,造成水淹区段物种数量极少,种子库密度最低^[1,26-27]。消落带水淹区段无灌木植物种子出现,未淹区段灌木植物种子仅有甘蒙怪柳,且所占比例仅为 7.54%。对照样带土壤种子库草本占 76.56%,主要有赖草、藜子朴、虫实、猪毛菜,五星蒿等,灌木占 23.44%,主要有怪柳、油蒿等。说明水淹造成消落带内灌木植物种子比例显著下降,草本植物种子比例大幅度上升^[28]。与水淹区

段相比,未淹区段土壤种子库的物种种类和数量显著增加,退水后仍以原生草本植物蓼子朴、赖草、五星蒿等种子为主,再者由外来物种如苦苣菜、反枝苋的进入极大增加了物种的丰富度。未淹区段受水干扰较小,从而形成了干湿交替变化的特异性微环境,有利于更多种类的植物在这里繁衍生长,因此土壤种子库物种种类有所增加。未淹区段土壤种子库内物种组成有所变化,而其植物生活型与水淹区段没有发生显著的变化,但两者与对照样带形成了显著差异。赖草、蓼子朴在 3 个样带中均作为优势种出现,表明两者适应性强,既耐干旱又耐水淹,表现出具有较宽的生态位,对各种环境都能适应,目前成为了消落带内主要的建群种。

前期大量研究结果表明,土壤种子库密度主要集中在表层 0~5 cm 范围的土壤中,5 cm 以下的深层土壤中很少有种子存在,即使有种子也很难萌发出苗^[27,29-30]。但本研究中,由于消落带水位的涨落,整个样带内存在冲刷和淤积的现象,种子在土壤中的分布格局受水力作用被打乱进行了重新分配,种子被沙子覆盖在深层土壤中,促进了下层土壤种子的分布。根据生物多样性指数结果来看,与对照样带相比,水淹区段内物种 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均有显著下降趋势,这与其物种数量少、盖度小有较大关系。但未淹区段 3 个指数变化和水淹区段相反,表现为上升的趋势,未淹区段的生物多样性最高是由于产生了异质性小环境,加之外来物种入侵,土壤微环境适合更多物种生存;而水淹区段经过长时间的水淹,不利于种子库的建立,只使耐水淹的植物种可以生存下来,而不耐水淹或者喜干燥的种子彻底消亡,尤其是灌木种子无法忍受长时间水淹,从而降低了水淹区段土壤种子库的物种种类。3 个区段相似性分析结果表明,水淹区段和未淹区段的相似性最

高,主要是因为水淹干扰增强了物种的趋同性,只保留了原耐受性强的物种,且增加了适应性较强的外来杂草种类。另外,消落带生态环境系统严重退化,植被盖度减小,受水淹影响严重的区域甚至一毛不拔。研究区整个区域的土壤种子库储量有限且较低,加之水资源条件变化不稳定,经过干扰的消落带未淹区段虽然种子库储量最大,但种子库在野外条件下是否具备萌发出苗的能力,以及出苗后能否形成稳定结构的植被群落,这些均与水淹干扰形成的微环境对土壤理化性质的改变、土壤种子库储量的丰富度以及人为干扰等有较大的关系^[31-32],因此我们下一步还需对土壤种子库和地表植被动态做长期监测,但本研究对未来消落带受水淹干扰后土壤种子库的动态变化趋势还是有很好的科学指示作用。

4 结 论

对照样带土壤种子库中共出现有 5 科 15 属 15 种,消落带水淹区段土壤种子库中共出现有 4 科 10 属 10 种,未淹区段有 5 科 14 属 14 种,其中均以藜科和菊科为优势科。以上结果说明由于水淹强度等因素的影响,许多物种种类急剧减少。土壤种子库密度水淹区段最低(176 粒·m⁻²),分别比未淹区段(733 粒·m⁻²)和对照区段(609 粒·m⁻²)降低了 75.99%和 71.10%。水淹区段、未淹区段和对照样带表层 0~5 cm 种子数量分别占 50.57%、75.17%和 83.42%。虽然土壤种子还是主要集中在表层 0~5 cm,但是随着水淹干扰程度减弱,土壤深层种子含量所占比例减小。物种 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数均表现为未淹区段>对照区段>水淹区段。整体来看,消落带物种组成还没有形成稳定的群落,以草本为主,灌木物种十分有限,导致水淹区段与未淹区段相似性较高。

参考文献:

[1] SIMPSON R L, LECK M A, PARKER V T. Seed Banks: General Concepts and Methodological Issues, Ecology of Soil Seed Banks[M]. Academic Press, 1989.

[2] ROBERTS H A. Seed bank in soils[M]. Advances in Applied Biology, 1981, 6: 1-55.

[3] MILBERG P, HANSSON M L. Soil seed bank and species turnover in a limestone grassland[J]. Journal of Vegetation Science, 1994, 5(1): 35-42.

[4] 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): 552-560.

YU S L, JIANG G M. The research development of soil seed bank and several hot topics[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(4): 552-560.

[5] 李秋艳, 赵文智. 干旱区土壤种子库的研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 350-358.

LI Q Y, ZHAO W Z. Advances in the soil seed bank of arid regions[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(3): 350-358.

[6] 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.

ZHAO W Z, BAI S M. Characteristics of seed bank at fenced grassland in Horqin Sandy land[J]. Journal of Desert Re-

- search, 2001, **21**(2): 204-208.
- [7] THOMPSON K, BAND S R, *et al.* Seed size and shape predict persistence in soil[J]. *Functional Ecology*, 1993, (7): 236-241.
- [8] SAMSON D A, PHILIPPI T E, DAVIDSON D W. Granivory and competition as determinants of annual plant diversity in the Chihuahuan desert[J]. *Oikos*, 1992, **65**(1): 61-80.
- [9] KINUCAN R J, SMEINS F E. Soil seed bank of a semiarid texas grassland under three long-term (36-years) grazing regimes [J]. *American Midland Naturalist*, 1992, **128**(1): 11-21.
- [10] REICHMAN O J. Spatial and temporal variation of seed distributions in Sonoran desert soils[J]. *Journal of Biogeography*, 1984, **11**(1): 1-11.
- [11] OKUBO A, LEVIN S A. A theoretical framework for data analysis of wind dispersal of seeds and pollen[J]. *Ecology*, 1989, **70**(2): 329-338.
- [12] WILLIAMS P R, CONGDON R A, *et al.* Germinable soil seed banks in a tropical savanna: seasonal dynamics and effects of fire[J]. *Austral Ecology*, 2008, **30**(1): 79-90.
- [13] PROULX M, MAZUMDER A. Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs. nutrient-rich ecosystems[J]. *Ecology*, 1998, **79**(8): 2 581-2 592.
- [14] 刘志民, 赵晓英, 刘新民. 干扰与植被的关系[J]. 草业学报, 2002, **11**(4): 1-9.
- LIU Z M, ZHAO X Y, LIU X M. Relationship between disturbance and vegetation [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, **11**(4): 1-9.
- [15] 彭 芳, 田志强, 岳 瑞, 等. 乌兰布和分洪区地下水位特征及主要影响因素分析[J]. 中国农村水利水电, 2013, (11): 37-40.
- PENG F, TIAN Z Q, YUE R, *et al.* The characteristics of groundwater level of Ulanbu flood diversion area and its major influencing factors[J]. *China Rural Water and Hydro-power*, 2013, (11): 37-40.
- [16] 海 青, 彭 芳, 田志强, 等. 乌兰布和沙漠分洪影响区植被变化研究[J]. 中国水运, 2014, **14**(2): 198-200.
- HAI Q, PENG F, TIAN Z Q, *et al.* Study on vegetation change in the areas affected by flood diversion in Ulanbu Desert[J]. *China Water Transport*, 2014, **14**(2): 198-200.
- [17] 董治宝, 陈渭南, 李振山, 等. 风沙土水分抗风蚀性研究[J]. 水土保持通报, 1996, **16**(2): 17-23.
- DONG Z B, CHEN W N, LI Z S, *et al.* On resistance of eolian sandy soil moisture to wind erosion[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, **16**(2): 17-23.
- [18] 王 欣, 高贤明. 模拟水淹对三峡库区常见一年生草本植物种子萌发的影响[J]. 植物生态学报, 2010, **34**(12): 1 404-1 413.
- WANG X, GAO X M. Effects of simulated submergence on seed germination of four common annual herbs in the Three Gorges Reservoir Region, China[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2010, **34**(12): 1 404-1 413.
- [19] 孙 荣, 袁兴中, 刘 红, 等. 三峡水库消落带植物群落组成及物种多样性[J]. 生态学杂志, 2011, **30**(2): 208-214.
- SUN R, YUAN X Z, LIU H, *et al.* Floristic composition and species diversity of plant communities in drawdown area of Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Ecology*, 2011, **30**(2): 208-214.
- [20] 温 俊, 高 儒, 周 敏, 等. 浅析乌兰布和分洪区生态保护建设效益[J]. 内蒙古水利, 2013, (2): 72-73.
- WEN J, GAO R, ZHOU M, *et al.* A brief analysis of ecological protection and construction benefits in Ulanbu and flood diversion area[J]. *Inner Mongolia Water Conservancy*, 2013, (2): 72-73.
- [21] 胡 杨, 张瑞霞. 乌兰布和分洪区防洪工程建设效益分析[J]. 内蒙古水利, 2015, 1: 162-163.
- HU Y, ZHANG R X. Analysis of the benefits of flood control projects in Ulanbu Desert and flood-diversion areas[J]. *Inner Mongolia Water Resources*, 2015, 1: 162-163.
- [22] LIEFFERS V J. Emergent plant communities of oxbow lakes in northeastern Alberta: salinity, water-level fluctuation, and succession[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1984, **62**(2): 310-316.
- [23] OLGA URBANC-BER ČI Č, ALENKA GABER ŠČIK. The relationship of the processes in the rhizosphere of common Reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel to water fluctuation [J]. *International Review of Hydrobiology*, 2004, **89**(5-6): 500-507.
- [24] MERRITT D M, WOHL E E. Processes governing hydrochory along rivers: hydraulics, hydrology, and dispersal phenology[J]. *Ecological Applications*, 2002, **12**(4): 1 071-1 087.
- [25] RIDDIN T, ADAMS J B. The seed banks of two temporarily open/closed estuaries in South Africa[J]. *Aquatic Botany*, 2009, **90**(4): 328-332.
- [26] XIAO D R, ZHANG L Q, ZHU Z C. A study on seed characteristics and seed bank of *Spartina alterniflora* at salt-marshes in the Yangtze Estuary, China [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, **83**(1): 105-110.
- [27] RIDDIN T, ADAMS J B. The seed banks of two temporarily open/closed estuaries in South Africa[J]. *Aquatic Botany*, 2009, **90**(4): 328-332.
- [28] CAPON S J, BROCK M A. Flooding, soil seed bank dynamics and vegetation resilience of a hydrologically variable desert floodplain[J]. *Freshwater Biology*, 2006, **51**(2): 206-223.
- [29] LIU W Z, ZHANG Q F, LIU G H. Seed banks of a river-reservoir wetland system and their implications for vegetation development[J]. *Aquatic Botany*, 2009, **90**(1): 7-12.
- [30] 王相磊, 周 进, 李 伟, 等. 洪湖湿地退耕初期种子库的季节动态[J]. 植物生态学报, 2003, **27**(3): 352-359.
- WANG X L, ZHOU J, LI W, *et al.* Seasonal dynamics of soil seed bank in Honghu wetland withdrawn from long-term rice culture[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2003, **27**(3): 352-359.
- [31] JOHNSON E A. Buried seed populations in the subarctic forest east of Great Slave Lake, Northwest Territories[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1975, **53**(24): 2 933-2 941.
- [32] 王增如, 徐海量, 尹林克, 等. 土壤种子库对漫溢区受损植被更新的贡献[J]. 应用生态学报, 2008, **19**(12): 2 611-2 617.
- WANG Z R, XU H L, YIN L K, *et al.* Contribution of soil seed bank to the regeneration of damaged vegetation on flood plain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, **19**(12): 2 611-2 617.