

蓟运河故道消落带盐碱地土壤种子库特征

翟付群, 莫训强, 李洪远

(南开大学 环境科学与工程学院 环境污染过程与基准教育部重点实验室, 天津 300071)

摘要: 通过对蓟运河故道消落带的土壤种子进行萌发实验, 确定了土壤种子库的物种组成、物种多样性指数和相似性指数, 并对土壤种子库的物种特征进行了空间层次分析。结果表明: (1) 蓟运河故道消落带土壤种子库共有 16 种植物, 隶属于 8 科 15 属, 其中藜科 4 种, 菊科 5 种。3 个区域土壤种子库物种相对多度和密度大小分布顺序为: 洪淹区 > 偶淹区 > 常淹区。(2) 不同区域种子库的 Shannon—Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数随着水位的降低呈下降趋势, 而生态优势度和 Pielou 均匀度指数有增大趋势。(3) 种子库的空间分布特征明显, 其中 0—5 cm 层种子数量最多, 为 623 粒/m²; 同时 3 个区域种子数量差异显著, 洪淹区土壤种子库物种数量比偶淹区和常淹区分别多出 253 和 353 粒/m², 而偶淹区土壤种子库物种数量与常淹区仅相差 100 粒/m²。

关键词: 消落带; 土壤种子库; 蓟运河

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0193-05

中图分类号: Q142.3

Characteristics of Soil Seed Banks in Saline Land of Hydro-fluctuation Belt Along Old Channel of Jiyun River

ZHAI Fu-qun, MO Xun-qiang, LI Hong-yuan

(Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria of Ministry of

Education, College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Seed germination experiments were conducted on the soils collected in the hydro-fluctuation belt along the old channel of Jiyun River. The soil seed bank composition, species diversity, and their similarity and spatial distribution were discussed. Overall, 16 species including 4 species of chenopodiaceae and 5 species of asteraceae, belonging to 8 families and 15 genera, were identified in the soils. Species relative abundance and density distribution of the soil seed bank differed in topographic positions, in a descending order as heavily flooded area > incidentally flooded area > frequently flooded area. The Shannon—Wiener index and the Margalef Richness Index decreased with water levels, while ecological dominance and Pielou evenness index showed an opposite trend. The seed bank also varied spatially. The 0—5 cm layer was the richest in all three areas in terms of seed number, with a quantity of 623 per m². Meanwhile, the seed numbers differed significantly in the three areas; the seed number of heavily flooded area was 253 and 353 per m² more than that of the incidentally flooded area and frequently flooded area.

Keywords: hydro-fluctuation belt; soil seed bank; Jiyun River

随着城市发展步伐的加快, 生态环境的恶化, 土壤种子库在生态恢复工程中的重要性越显突出。土壤中有活性的种子是新植株的来源, 大部分是本土的适应种, 对本地环境产生了依赖性, 有着较强的生命力^[1-3]。土壤种子库种类、数量以及多样性指数可以携带较多的群落演替潜在趋势的信息, 并用以指导植

被恢复重建。所以土壤种子库的特征研究为生态恢复中的物种保护及选择提供了理论基础^[4-5]。但是其研究主要集中在淡水地生态系统, 主要涉及到林地、草地、矿山废弃地、沙漠、湿地、城市绿地和农田等, 对盐碱地区土壤种子库的研究只限于起步阶段^[2,6]。盐碱地生态系统是近年来国内研究的难点, 尤其在盐

收稿日期: 2012-05-15

修回日期: 2012-06-04

资助项目: 国土资源部公益性行业科研专项“土壤有机碳项目”(201111015); 天津市科技兴海科研项目(KJXH2011-10); 天津市自然科学基金重点项(11JCZDJC24500)

作者简介: 翟付群(1986—), 女(汉族), 江苏省邳州市人, 硕士研究生, 研究方向为生态恢复的理论与技术。E-mail: zhaihuanxi@163.com。

通信作者: 李洪远(1963—), 男(汉族), 天津市人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为恢复生态、植被生态与湿地生态。E-mail: eiale@nankai.edu.cn。

碱水域的消落带形成之前,有专家研究认为^[7-8],生长在库区两岸的植被是一道天然的生态屏障,对来自水岸的污染特别是农业面源污染起到一定的拦截和过滤功能,地表径流携带的氮、磷等相当一部分被植被消化吸收,防止其进入水体。而消落区形成后,生态植被遭到一定的破坏,这些功能将被减弱。

天津蓟运河属于人工淡水河流,但是由于受到海水的影响地下水矿化度较高,周围的土壤环境盐碱化较为明显。目前运河的功能已经丧失,人工干扰相对较少,河岸生态系统基本处于自然演替状态。近几年已启动辖区蓟运河堤两岸的改造工程,建立蓟运河休闲景观体系。工程将为蓟运河河道两岸恢复自然堤岸,避免不适宜的土地利用对河流产生污染和视觉破坏,保留更多的河岸生态绿地空间。因此,研究该区域消落带土壤种子库的组成、物种多样性以及差异性,对盐碱性水域生态系统的保护和恢复有重要的借鉴价值。

1 研究区概况

蓟运河是海河流域北系的主要河流之一。研究区域即蓟运河故道(北纬 39°08′—39°10′,东经 117°44′—117°45′)位于天津市滨海新区北侧河段。该地区以温带大陆性季风气候为主。四季分明,冬季寒冷干燥少水,春季大风干旱,冷暖多变,夏季气温高,雨水集中,秋季天高气爽。年平均气温 12.6℃,年均温差 30.7℃,无霜期 206 d;年均降水量为 604.3 mm。土壤含盐量较高,地面植被以盐生植被为主。

研究样地选择水位变化较典型的消落带区域。洪淹区:只有发生洪灾时被淹没的区域;偶淹区:汛期时(每年 7—9 月份)水位降至最低,此时被淹没的区域;常淹区:靠近偶淹区平时经常被河水淹没的区域^[9]。土壤母质碳酸盐含量为 5%~6%,pH 值在 8.21~9.25,地面植被类型主要有盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、野大豆(*Glycine soja*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、大刺儿菜(*Cirsium arvense var. integrifolium*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)等盐地天然演替植被,分布于不同区域。

2 研究方法

2.1 采样方法

本研究采用样带取样法取样。在对蓟运河故道消落带植被类型调查的基础上,于 2011 年 3—4 月,即冻土解冻之后,土壤种子萌发之前,对土壤进行调查取样。样带设置采用水平距离法,与水边垂直设置^[10];样带的选取遵循均匀分布及考虑采样地点的

自然程度和植被典型性的原则。在每条样带内的不同区域分别设置草本植物样方为 1 m×1 m,灌木样方为 5 m×5 m。在每个小样方内用环刀分别取深度为 0—5 cm,5—10 cm,10—15 cm 的土样,并小心地将土样装进塑料袋,封口。每个样方取 3 个重复,共设置 8 条样带,样方 72 个,带回实验室萌发。

2.2 萌发实验

利用萌发法计算土壤种子库种子数量。对每个土样进行分层:0—5 cm,5—10 cm 和 10—15 cm,将相同区域中 3 个平行的同层土样进行均匀混合,采用 3 mm 网筛分离去除土壤中的杂物。铺成苗床(厚度 5 cm),重复 3 次在室内发芽;室内温度保持 25℃,光照时间和黑暗时间各 12 h,经常洒水保持土壤湿润(土壤含水量在 40%左右,每隔 3 d 洒水 1 次^[11-13])。种子萌发出苗后,确定幼苗种属及数量并将其从苗床中轻轻拔掉。对于暂不能识别的植物幼苗,将其移栽至室外培养棚继续培养直至能够识别其种类。若无新的幼苗长出则视其萌发实验结束。整个种子萌发试验自 4 月 1 日开始至 8 月 23 日结束,共持续 28 周。

2.3 数据处理及分析方法

数据采用 PASW Statistics 18.0 和 Excel 软件进行处理。种子库的特征采用生态优势度,Shannon—Wiener 多样性指数,Marginalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数^[14]进行计算。土壤种子库密度用单位面积土壤内所含有的活力种子数量来表示,将取样面积内的种子数量换算成 1 m² 面积的数量,计算消落带内不同水位的 0—5 cm,5—10 cm 和 10—15 cm 土层土壤种子库物种的种类及密度(粒/m²)。

采用 PASW Statistics 18.0 进行单因素方差分析(ONEWAY—ANOVA),比较 3 个不同区域之间种子库的差异,用最小显著差异法(LSD)比较两两之间均值的差异。物种多样性指数:Shannon—Wiener 多样性指数,其计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$\text{生态优势度: } L = 1 - \sum_{i=1}^S (P_i)^2$$

$$\text{Marginalef 丰富度指数: } R = (S - 1) / \ln N$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } E = H / \ln S$$

式中:S——种子库的总种数;P_i——物种 i 的个体数目占种子库总个体数目的比例;N——种子库所有种的种子总数。

3 结果分析

3.1 蓟运河故道土壤种子库总体特征

本研究采用土壤种子库的物种组成、相对多度和

种子密度来表述消落带种子库的特征(表 1)。种子库相对多度是指群落中某一物种的多度占有物种多度之和的百分比。种子库密度是指单位面积有活力种子的总和^[15]。两者可用于判断一个地区植物群落的大小和植物的恢复潜力^[16]。

从表 1 可以看出, 蓟运河故道消落带土壤种子库共有 16 种物种, 隶属于 8 科 15 属, 其中藜科 4 种, 菊科 5 种。其中盐生植物有 13 种, 占总数的 90% 以上, 以一年生和多年生草本植物为主。3 个区域土壤种子库物种数分别为 14 种、11 种和 7 种。物种相对

多度大小顺序为: 洪淹区 > 偶淹区 > 常淹区; 物种密度大小顺序为: 洪淹区 > 偶淹区 > 常淹区。其中洪淹区数量最多的物种为独行菜 (*Lepidium apetalum*) 68.34%, 中亚滨藜 (*Atriplex centralasiatica*) 9.88%; 偶淹区主要种为独行菜 (*L. apetalum*) 53.41%, 盐地碱蓬 (*S. salsa*) 17.94%; 常淹区主要种为独行菜 (*L. apetalum*) 46.54%, 盐地碱蓬 (*S. salsa*) 19.57%。

由此得出, 随着水位的降低物种数量呈下降趋势, 同时更强的耐盐性植物将成为优势种。

表 1 蓟运河故道不同淹没区土壤种子库物种组成、相对多度和密度

科名	编号	物种	洪淹区		偶淹区		常淹区		植物生活型
			相对多度/%	密度/(粒·m ⁻²)	相对多度/%	密度/(粒·m ⁻²)	相对多度/%	密度/(粒·m ⁻²)	
藜科	1	中亚滨藜	9.88	146	8.62	62	12.65	53	一年生中生草本
	2	盐地碱蓬	5.55	82	17.94	100	19.57	78	一年生草本
	3	碱蓬	4.53	67	4.87	35	10.98	46	一年生草本
	4	皱果苋	1.83	27	0.42	3	0.00	0	一年生中生草本
苋科	5	灰绿藜	0.27	4	0.14	1	0.00	0	一年生草本
	6	野大豆	0.00	0	1.53	11	0.00	0	一年生缠绕草本
豆科	7	苘麻	0.68	10	0.00	0	0.00	0	一年生中生草本
锦葵科	8	田旋花	1.22	18	0.70	5	0.00	0	多年生旱生中生草本
旋花科	9	黄花蒿	0.07	1	0.00	0	0.00	0	一年生旱生中生草本
	10	茵陈蒿	1.42	21	5.15	37	1.43	6	多年生中生草本
菊科	11	大刺儿菜	0.41	6	0.00	0	0.00	0	多年生中生草本
	12	苣荬菜	0.27	4	1.39	10	0.00	0	一年生中生草本
	13	中华小苦荬	0.95	14	0.00	0	0.00	0	多年生草本
	14	狗牙根	0.00	0	0.00	0	0.95	4	多年生草本
禾本科	15	狗尾草	4.60	68	9.74	70	7.88	33	一年生中生草本
	16	独行菜	68.34	1 010	53.41	384	46.54	195	二年生草本

注: 几种植物单名分别为: 苘麻 (*Abutilon theophrasti*), 苣荬菜 (*Sonchus arvensis*), 中华小苦荬 (*Ixeridium chinense*), 狗牙根 (*Cynodon dactylon*)。

3.2 消落带土壤种子库水平特征分析

3.2.1 消落带不同区域土壤种子库多样性分析 由图 1 可以看出, 消落带不同区域种子库的 Shannon—Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数呈下降趋势: 洪淹区 > 偶淹区 > 常淹区。从洪淹区到偶淹区物种多样性指数和丰富度指数下降量相差不大, 从洪淹区到偶淹区分别下降了 10.80% 和 15.91%, 然而, 从偶淹区到常淹区分别下降了 5.73% 和 44.38%, 即丰富度指数急剧下降。说明随着水位的下降物种的多样性降低, 同时物种的群聚程度明显降低。物种多样性指数: 生态优势度和 Pielou 均匀度指数随着水位的降低有相同的增大趋势, 相对于洪淹区其他两个区域的 Pielou 均匀度指数分别增加了 37.5% 和 58.3%, 常

淹区的生态优势度相对于洪淹区增加了 36.54%, 只在偶淹区有小幅度的下降(降低 7.69%)。可见消落带土壤种子库物种随着水位的降低只有盐地碱蓬、中亚滨藜和狗尾草占优势, 并且分布较均匀。

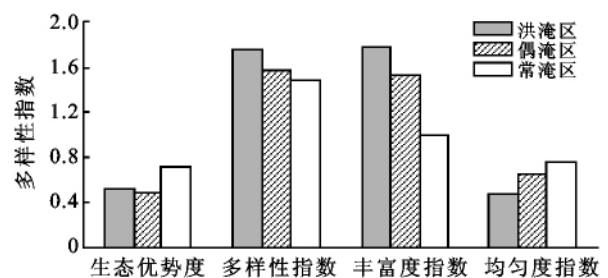


图 1 各区域土壤种子库物种多样性指数变化情况

3.2.2 消落带不同区域土壤种子库的差异性 采用 PASW Statistics 18.0 对消落带不同区域的土壤种子库数量进行单因素方差分析(ONEWAY—ANOVA)(表 2), p 值为 0.006 (<0.01)。根据以上数据可知各研究区域的土壤种子库之间的数量具有极其显著性差异,说明随着消落带水位的不同,土壤种子库的储量发生较大变化。

表 2 各区域土壤种子库数量 ONEWAY—ANOVA 分析

项目	平方和	自由度 d_f	均方	F 值	显著性
组间	198 618	2	99 309	13.589	0.006
组内	43 848	6	7 308		
总数	242 466	8			

继续对各研究区域土壤种子库进行 LSD 分析(表 3),得出洪淹区和常淹区之间的种子库数量有极显著性差异($p < 0.01$);洪淹区与偶淹区之间有显著性差异($p < 0.05$);常淹区与偶淹区之间没有显著性差异($p >$

0.05)。同时得出,洪淹区土壤种子库物种数量远大于偶淹区(253 粒/ m^2)和常淹区(353 粒/ m^2),然而偶淹区土壤种子库物种数量只与常淹区相差 100 粒/ m^2 。

土壤种子库储量的区域间差异可能来源于不同样地地面植被组成的差异、不同物种的生物学特性的差异、样地的土壤性质(湿度、密度、含盐量等)的不同、样地受干扰情况不同等^[17-18]。本研究的 3 个不同水位的样地的土壤种子库的优势种都有盐地碱蓬和独行菜,但随着水位的降低此优势种的数量减少,并且在常淹区的田旋花(*C. arvensis*)、黄花蒿(*A. annua*)等耐盐性较弱的物种接近消失,说明土壤含盐量对此类植物有一定影响,但是随着水位的下降其他耐盐性较强的植物:皱果苋(*A. viridis*)、灰绿藜(*C. glaucum*)、野大豆(*G. soja*)等也逐渐消失,土壤湿度可能是影响其变化的主要因素。同时,由于偶淹区的土壤湿度较大接近常淹区,土壤条件相差不大,则两者的土壤种子库物种数量没有明显差异。

表 3 各区域土壤种子数量 LSD 分析

(1)研究区域	(2)研究区域	均值差(1—2)	标准误差	显著性	95%置信区间	
					下限	上限
洪淹区	偶淹区	253*	69.800	0.011	82.21	423.79
	常淹区	353*	69.800	0.002	182.21	523.79
偶淹区	洪淹区	-253*	69.800	0.011	-423.79	-82.21
	常淹区	100	69.800	0.202	-70.79	270.79
常淹区	洪淹区	-353*	69.800	0.002	-523.79	-182.21
	偶淹区	-100	69.800	0.202	-270.79	70.79

注: * 表示均值差的显著性水平小于或等于 0.05。

3.3 土壤种子库的垂直分布特征

由于水分含量、风力、水流等的影响,土壤种子库呈现垂直分布特征^[19]。由图 2 可以看出,相同土层下不同区域的土壤种子库密度差异显著($p < 0.05$),在 0—5 cm 层,土壤种子数由洪淹区的 623 粒/ m^2 ,降低到偶淹区的 471 粒/ m^2 和常淹区的 384 粒/ m^2 。在 5—10 cm 和 10—15 cm 土层,土壤种子数表现为:洪淹区 > 偶淹区 > 常淹区,整体呈指数趋势下降。

消落带同一水位的不同土壤层种子库的分布也不同。通过方差分析,3 个区域的土壤种子库数量随深度的增加而减少(图 2),种子库的垂直分布性明显($p < 0.05$);其中洪淹区 0—5 cm 土壤层和 5—10 cm 土壤层中种子数量相差最大,主要由于 0—5 cm 层集中了大量的优势种盐地碱蓬、独行菜和狗尾草的种子,使得上层种子库种子数量大为增加。另外发现处于 0—5 cm 层的多为短暂性种子如碱蓬、盐地碱蓬等,而处于 5—10 cm 和 10—15 cm 层的则多为持久

性种子^[20],由于偶淹区和常淹区受水位的影响较大,相对洪淹区来说,表层短暂性种子大大减少;5—10 cm 和 10—15 cm 层多为持久性种子。所以,对偶淹区来说这两层种子密度相差不大。然而,对于经常浸渍在水中的常淹区,随着土层的加深及土壤养分的变化 10—15 cm 层的土壤几乎不适于种子的存活,即常淹区 10—15 cm 层土壤种子库数量最小。

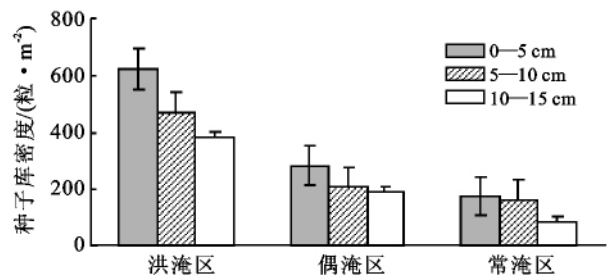


图 2 不同区域土壤种子库分层密度

4 结论

(1) 由于蓟运河故道消落带土壤含盐量较高, 决定了其土壤种子库的物种组成较为单一。由于土壤含盐量较高, 土壤容易板结成块状, 一年生的盐生草本植物能够适应这类呈斑块状和条状分布的土壤环境。同时对地面植被的调查发现, 植物种子的散布受植株高度和植物体地理分布的影响而散布距离较小, 容易集中分布, 从而影响土壤种子库的分布、组成及多样性。另外, 人为干扰影响地面植被的组成、分布和土壤环境, 也会对土壤种子库的构成造成影响。其影响的机制和效应还有待进一步研究。

(2) 不同区域土壤种子库物种数量分布规律为: 洪淹区 > 偶淹区 > 常淹区。主要是由于洪淹区土壤基本上不受洪水的影响, 地面植被可以经过正常开花结籽的生命过程, 所以每年秋季土壤种子库中物种数量被大量的补充。靠近洪淹区的偶淹区, 每年除了汛期, 其他 9 个月为植物提供了存活条件, 等到汛期来临时水位降至最低, 此时大部分植物还没有结籽, 经过 3 个月的汛期之后, 地面植被大部分被淹死, 从而土壤种子库中物种较少。研究区域一年生和多年生植物物种占主导地位, 主要是受风力的影响, 尤其是秋季季风很容易将洪淹区中植物的种子吹到偶淹区, 从而偶淹区土壤种子库的一年生和多年生植物物种数得到一定的补偿。对于常淹区, 由于土壤种子经常被水浸渍, 一年生植物种子能遗留下来的有限, 此时多年生植物在土壤种子库的维持方面起到重要作用。所以常淹区土壤种子库中物种组成较简单。

(3) 对于洪淹区, 土壤表层的种子数比其他两层多 32.27% 和 62.24%, 主要是由于洪淹区受洪水的影响很小, 同时相对于土壤表层种子的数量, 受动物影响(如一些脊椎动物土壤中打洞储藏食物, 蚂蚁、甲虫、蚯蚓以及泥鳅等)的种子数量也很小, 10—15 cm 土层的土壤种子库除了几十年一遇的洪水的作用之外, 土壤表层种子库对其的补偿很少。因此, 此层中的持久性种子库占优势, 种子数量与表层相差较大。对于 5—10 cm 土层, 由于离表层土壤较近, 容易受动物活动影响, 其种子库中的短暂性种子和持久性种子的数量相差不大。在偶淹区和常淹区, 土壤种子库的层次容易受水位及水流淤积的影响, 5—10 cm 和 10—15 cm 土壤层中的土壤种子库数量与表层之间的差异没有洪淹区明显。而常淹区的 10—15 cm 土壤层的种子数量与表层相差较大(只占表层的 46.29%), 可能是由于此层常年浸渍在水中, 大部分种子无法存活, 种子库数量较小。

[参 考 文 献]

- [1] 张智婷, 宋新章, 肖文发, 等. 长白山森林不同演替阶段采伐林隙土壤种子库特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1296-1298.
- [2] 李洪远, 莫训强, 郝翠. 近 30 年来土壤种子库研究的回顾与展望[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 731-737.
- [3] 陈忠礼, 刘红, 孙荣, 等. 三峡库区澎溪河消落带湿地土壤种子库特征[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2011, 28(3): 33-36.
- [4] Baskin J M, Baskin C C. The seed bank in a population of an endemic plant species and its ecological significance[J]. Biological Conservation, 1978, 14(2): 125-130.
- [5] Marchante H, Freitas H, Hoffmann J H. The potential role of seed banks in the recovery of dune ecosystems after removal of invasive plant species[J]. Applied Vegetation Science, 2011, 14(1): 107-119.
- [6] 莫训强, 李洪远, 蔡喆, 等. 天津滨海盐碱湿地土壤种子库特征研究[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(1): 53-57.
- [7] 徐海量, 李吉玫, 叶茂. 塔里木河下游不同地下水水位下土壤种子库特征[J]. 生态学杂志, 2008, 27(3): 305-310.
- [8] Siegley C E, Boerner R E J, Reutter J M. Role of the seed bank in the development of vegetation on a freshwater marsh created from dredge spoil[J]. Journal of Great Lakes Research, 1988, 14(3): 267-276.
- [9] 侯志勇, 谢永宏, 于晓英, 等. 洞庭湖青山垸退耕地不同水位土壤种子库特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1323-1328.
- [10] Mickelson J A, Stougaard R N. Assessment of soil sampling methods to estimate wild oat (*Avena fatua*) seed bank populations[J]. Weed Science, 2003, 51(2): 226-230.
- [11] Page M J, Baxter G S, Lisle A T. Evaluating the adequacy of sampling germinable soil seed banks in semi-arid systems[J]. Journal of Arid Environments, 2006, 64(2): 323-341.
- [12] Poiani K A, Carter J W. Evaluation of the emergence method in estimating seed bank composition of prairie wetlands[J]. Aquatic Botany, 1988, 32(1/2): 91-97.
- [13] Peter A T. Factors involved in the selection of plant resources for conservation as seed in gene banks[J]. Biological Conservation, 1976, 10(3): 159-167.
- [14] 刘燕. 暖温型草原不同恢复演替阶段土壤种子库特征的对比研究[D]. 内蒙古呼和浩特: 内蒙古大学, 2009: 1-66.
- [15] 刘晓霞, 王明玖. 浑善达克沙地土壤种子库结构与动态特征[J]. 畜牧与饲料科学, 2009(2): 42-46.
- [16] Bastida F. Aerial seed bank dynamics and seedling emergence patterns in two annual Mediterranean Asteraceae[J]. Journal of Vegetation Science, 2010, 21(3): 541-550.

(下转第 202 页)

树种的栽培方式和密度有关。如 10 号的稀柑和 11 号密柑径流小区相比,11 号径流小区栽种的柑橘密度较大,在栽培的前 2 a 内树冠较小,所起的拦截雨滴的作用不大,但地面却因栽种过程对地表的扰动程度大,所以水土流失强度高于 10 号的稀柑径流小区。设在同一坡面上的 5 个不同树种的径流小区在前 2 a 内的水土流失强度排序为:杉树林>密柑林>稀柑林>毛竹林>混交林。

(3) 在栽培的前 2 a 内各小区水土流失强度均表现为雨季最大。但最大产流量与最大产沙量并不对应,一般在春夏梅雨季节产沙量大于夏秋季的产沙量,但产流量却以夏秋季为最大。当树种发育成林后,这一规律正好相反。年内春夏梅雨季节的产流量大于夏秋季的产流量,但产沙量这两个季节相差不多。产沙量与产流量对应关系较好的小区是 10 号稀柑和 11 号密柑径流小区。

(4) 茶园是一种低矮的灌木林地,茶树栽培以密株行式排列,成长较快。但因茶树每年要进行施肥和采茶,人为干扰程度较大,其水土流失规律明显不同于其他林地,与农耕地的水土流失规律相似。在连续系统监测的几年内,水土流失强度随施肥和采茶季节而波动。茶园与松树林坡地水土流失强度的对比分析发现,茶园坡地水土流失量远大于松树林坡地,其 9 a 的平均值是松树林坡地的 5 倍之多。就年内两个雨季的最大产沙量而言,茶园坡地是松树林坡地的 7 倍之多。

(5) 在培育水土保持林时,林地栽培的前 2 a 内,水土保持功能不明显,反而由于栽培过程中的人为扰动,水土流失有增加的迹象。在栽培的 3 a 以后,随着树龄的增长,林地的水土保持功能凸显。而经济林

如茶园等,最初 2 a 内是加强水土保持管理的时段,特别是在施肥、产品采摘期的人为干扰程度较大,容易产生水土流失。因此,加强经济林园地的生产行为管理(如施肥、采摘等)减少生产过程的人为干扰是减少经济林地水土流失的关键。

[参 考 文 献]

- [1] 何贵平,陈益泰,蔡宏明,等. 杉木幼林地水土流失动态研究[J]. 林业科学研究,1996,9(5):544-548.
- [2] 吴耀溪. 杉木幼林地水土流失与降雨特性关系研究[J]. 福建林学院学报,1996,16(4):304-309.
- [3] 俞新妥,杨玉盛,何智英. 杉木幼林地水土流失规律研究[J]. 林业科学,1993,29(1):25-32.
- [4] 李召青,薛涛. 加勒比松林地水土流失监测研究[J]. 广东林业科技,2001,17(4):21-25.
- [5] 徐义保,查轩,黄少燕. 南方红壤丘陵区马尾松林地水土流失研究进展[J]. 亚热带水土保持,2011,23(4):40-43.
- [6] 李国华. 毛竹林地水土流失特点及其防治[J]. 亚热带水土保持,2008,20(3):57-58.
- [7] 张丽萍,吴希媛,张锐波. 不同管理方式竹林地产流产沙过程模拟试验[J]. 水土保持学报,2011,25(2):39-43.
- [8] 张丽萍,付兴涛,吴希媛. 竹林坡地径流中泥沙及氮磷载荷特征模拟[J]. 应用生态学报,2012,23(4):881-888.
- [9] 贺赐平. 油桐林地水土流失控制技术探讨[J]. 湖南林业科技,2010,37(4):48-49.
- [10] 付兴涛,张丽萍,叶碎高. 经济林地坡长对侵蚀产沙动态过程影响的模拟[J]. 水土保持学报,2010,24(4):73-77.
- [11] 夏为,严江明,朱爱国. 综合防治山核桃林地水土流失的技术研究[J]. 浙江水利水电专科学校学报,2007,19(4):70-72.
- [17] Peterson J E, Baldwin A H. Seedling emergence from seed banks of tidal fresh water wetlands: Response to inundation and sedimentation[J]. Aquatic Botany, 2004,78(3):243-254.
- [18] Baldwin A H, Egnotovitch M S, Clark E. Hydrologic change and vegetation of fresh water marshes: Field, greenhouse, and seed-bank experiments[J]. Wetlands, 2001,21(4):519-531.
- [19] Arrieta S, Suarez F. Spatial dynamics of *Ilex aquifolium* populations seed dispersal and seed bank: Understanding the first steps of regeneration[J]. Plant Ecology, 2005,177(2):237-248.
- [20] Augusto L, Dupouet J L, Picard J F, et al. Potential contribution of the seed bank in coniferous plantations to the restoration of native deciduous forest vegetation [J]. Acta Oecologica, 2001,22(2):87-98.

(上接第 197 页)