

# 内蒙古巴图湾水库库区不同沙障设置 初期植物与土壤特征研究

展秀丽<sup>1,2</sup>, 严平<sup>1,2</sup>, 杨典正<sup>1,2</sup>, 齐彪<sup>1,2</sup>

(1. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学 防沙治沙教育部工程研究中心, 北京 100875)

**摘要:**为研究巴图湾水库库区实施防沙措施后土壤与植被的特征,选取了库区的尼龙网沙障、草方格沙障和草绳沙障,采用野外调查和室内分析的方法,对不同程度沙障内的植被及土壤指标进行了测定,初步得出:不同保存程度的尼龙网沙障植被长势存在差异。尼龙网沙障内粒度组成以中沙、细沙为主,细沙含量高于中沙。草方格内沙土0—30 cm的中沙和细沙含量最高,30—50 cm细沙含量最高,中沙次之,上层较深层沙粒粗。草绳沙障内沙土的粒度组成与尼龙网沙障结果相似,细沙含量最高,中沙次之。三种沙障的土壤全N、全P、全K的含量均较低,无明显差别。沙蒿地上生物量与有机质的变化趋势变化基本一致。

**关键词:**沙障; 土壤; 植物; 巴图湾水库

中图分类号: S154.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)01-0061-05

## Study on the Characteristics of Vegetation and Soil in Different Sand-barriers around Batuwán Reservoir Area

ZHAN Xiu-li<sup>1,2</sup>, YAN Ping<sup>1,2</sup>, YANG Dian-zheng<sup>1,2</sup>, QI Biao<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Center for Engineering and Technology of Blown Sand Control, Beijing 100875, China)

**Abstract:** For studying the characteristics of soil and vegetation after implementing desertification combating measures, the paper selected three kinds of sand-barriers and measured the indicators of soil and vegetation by field investigation and laboratory analysis around Batuwán reservoir areas, and preliminarily obtained the following results, the vegetation growth status in the different nylon net sand-barriers were different. The soil mechanical composition in the Nylon net sand-barriers mainly consisted of fine sand and middle sand, and fine sand was more than middle sand. In straw sand-barriers, the soil mechanical composition mainly consisted of fine sand and middle sand in depth of 0—30 cm, and middle sand was less than fine sand in depth of 30—50 cm, and upper soil was coarser than lower. The soil mechanical composition in straw rope sand-barriers was similar with the nylon net. The soil density of the upper was higher than the depth of 30 cm. The total content of N, P, K and the organic matter in every sand-barrier was low, and different sand-barriers showed no significant differences. The variation trends of aboveground biomass of *Artemisia desertorum* Spreng and the organic matter were basically consistent.

**Key words:** sand-barriers; soil; vegetation; Batuwán Reservoir areas

在干旱地区,随着水土资源的开发利用不断扩大,引起了生态环境的变化,使土地沙漠化程度增长,长期以来,风沙危害严重威胁着干旱地区水库库区的生态环境及水资源利用<sup>[1-4]</sup>。国内外在防沙治沙方面

取得了较丰富的成果,但针对干旱地区水库风沙危害与防沙治沙综合效益评价方面的研究工作,相对薄弱。目前,国内对干旱地区一些水库已经实施了相应的防沙治沙措施,如龙羊峡水库、金塔水库及巴图湾

水库<sup>[1-3]</sup>,采用较多的依然是机械沙障+植被措施,机械措施与生物措施相结合是流沙治理行之有效的重要途径和方法<sup>[5,7]</sup>。当前,流沙固定已不仅仅是沙害防治问题,而是作为生态环境治理、脆弱生态恢复的重要组成部分<sup>[6]</sup>,防沙治沙措施除了具有防风固沙、调节气候的作用,还可以促进土壤肥力的恢复<sup>[7]</sup>,近年来,对防沙治沙实施地区生态恢复研究开展了许多,也取得了一定的成果<sup>[8-10]</sup>,但是对库区防沙治沙过程中的植被与土壤恢复研究工作较少。

本研究选取巴图湾水库库区,2006 年开始在水库西南部的北岸,采用防沙治沙新材料和新技术,开展库区沙源固定试验与示范研究,尼龙网作为一种新型的防沙材料,在风沙危害比较严重的地区,防护效果明显<sup>[11]</sup>,目前,库区防沙治沙措施已实施 3 a,本文旨在对水库库区防沙治沙措施实施以来的土壤及植被特征进行调查研究,以期为干旱区水库防沙治沙效益监测及评价提供一定的基础数据。

1 研究区概况

巴图湾水库地处内蒙古乌审旗河南乡境内无定河干流上,处于毛乌素沙地腹地,地理坐标为 108°38′38″—108°46′45″E,37°58′34″—37°53′46″N。该区属于温带半干旱与干旱区过渡地带,年均气温 6~8℃,年均降雨量 360 mm,年蒸发量 2 100~2 600 mm,干燥度 1.6~2.0,年平均风速 3.3 m/s,以西北风与东南风为主,年均大风日数 40~50 d。巴图湾水库建成于 1976 年,控制流域面积 3 421 km<sup>2</sup>,由西南向东北

方向延伸,水面面积 8.67 km<sup>2</sup>,长 23 km,平均水深 8.7 m,总库容 1 亿 m<sup>3</sup>,为内蒙古西部地区最大的一个蓄水库。

水库周围沙漠化土地广布,库区西北部有流沙断面总长 8.4 km,流动沙丘入侵水库较为严重。据初步测定<sup>[3]</sup>,在风速 9.7 m/s 条件下,1 m 断面上每分钟输沙量达到 274 g,初步估算每年入库风沙量为 54.13 万 t,10 a 内产生的泥沙淤积量达到总库容的 5%,对水库的正常运行及库区旅游业的发展构成严重威胁。

2006 年开始在水库西南部的北岸选择 6.67 hm<sup>2</sup> 流动沙丘,采用防沙治沙新材料和新技术,开展库区沙源固定试验与示范研究,主要包括:新型 HDPE 尼龙网沙障 2 hm<sup>2</sup>、“正光”营养基植物沙障(草绳沙障)3.33 hm<sup>2</sup> 和常规草方格沙障 1.33 hm<sup>2</sup>。并在沙障间播种沙蒿 2 hm<sup>2</sup>、沙打旺 1.33 hm<sup>2</sup>、花棒 0.67 hm<sup>2</sup>、草木樨 0.66 hm<sup>2</sup>、柠条 0.33 hm<sup>2</sup>,同时开展工程固沙效益观测、植被恢复动态监测和库区风沙灾害评价等工作。

2 调查研究内容和方法

2009 年 8 月,确定了巴图湾水库库区观测区:2006 年设置的防沙工程措施区,包括尼龙网沙障、草方格沙障及草绳沙障,区内人工栽植的植被主要是沙蒿(*Artemisia desterorum spreng*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)等沙地植物。根据三种不同沙障保存状况选择样方,保存状况分为优、中、差三个级别,并进行植被调查及土壤采样。

表 1 样方概况

样方		生境特征
尼龙网沙障	BTW01(优)	植被总盖度约 50%,植被存活率高,沙蒿长势好,次生植被有沙打旺,植株较小,稀少。
	BTW02(差)	植被总盖度为 10%,无人工植被,自然植被生长,沙米,较小。
	BTW03(中)	沙蒿长势较好,植被总盖度约为 30%。
草方格	BTW04(中)	植被总盖度 20%~30%,沙蒿,大部分植株矮小,个别植株较大,自然植被:沙蒿、大量沙米,草方格稻麦草已被埋。
草绳沙障	BTW06(优)	植被总盖度约 40%,草绳已断,裸露沙面。往东,植被长势较好,主要是沙蒿、花棒。
	BTW07(差)	近围栏,流动沙丘,盖度<5%,草绳已断,裸露沙面。

植物调查选取不同沙障的方格 100 个,调查植物的成活率、高度、冠幅及地上生物量的测定。生物量测定用称重法,其中生物量的测定选取每个样方里长势中等的植株,使用枝剪剪下,立即装入塑封袋里,标记并称重。

在样方中进行土壤样品采集,采样深度 0—30 cm 和 30—50 cm。所有样品分别过 1.00 mm 和 0.25 mm 的筛分后,送至北京林业大学土壤实验室进行分析测定。其中 0—30 cm 样品用来分析土壤养

分、有机质及盐分和 pH 值。30—50 cm 样品分析盐分和 pH 值。土壤水分的测定采用铝盒取样,分层取样:0—5 cm、5—10 cm、10—15 cm、15—20 cm、20—30 cm、30—50 cm,容重取样深度分为两层,表层和 30 cm 深处。土壤水分和容重测定均采用烘干法测定,试验设计中数据无重复。

土壤粒度分析使用马尔文激光粒度仪进行测定,对样品首先进行预处理,自然风干土样后加 10% 双氧水(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)去除有机质,加入 10% 盐酸去除碳酸盐

物质,反应完全后加过滤水,除去过量酸,反复数次至中性加入浓度为 4% (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> 分散剂,开始测量样品。通过 Mastersizer2000 激光粒度仪输出所需的参数,根据福克和沃克公式,计算得出中值粒径、平均粒径及分选系数等。

3 结果分析

3.1 植被特征

从现场调查的结果看,尼龙网沙障一部分被人为破坏,同时也被沙埋,草方格沙障设置地带,方格被沙积满,已看不见麦草,沙障内生长的植物主要是沙蒿,草绳区及低洼处生长有花棒等植物,长势良好。由表 2 可以看出,不同程度的尼龙网沙障内的植被长势不同,沙障(BTW01)保存较好,植被高度平均为 64 cm,每株生物量达 865.29 g,沙障沙埋及人为破坏严重(BTW02),几乎无植被,高度为 40 cm,每株生物量 307.82 g。草方格沙障(BTW04),植被平均高度为 43.8 cm。草绳沙障保存较好(BTW06),低洼处水分较好,植被长势也较良好,其中,花棒高度有 1 m 多,沙蒿平均高度为 52 cm,沙蒿生物量每株达 586.27 g,花棒每株 245.07 g。

表 2 主要植被特征

样方	植物	平均高/ cm	冠幅/ cm×cm	生物量 (g/株鲜重)
BTW01	沙蒿	64	134×152	865.29
BTW02	沙蒿	40	70×70	307.82
BTW03	沙蒿	42	80×34	224.88
BTW04	沙蒿	43.8	100×84	318.25
BTW06	花棒	100.63	80×60	245.07
	沙蒿	52	128×140	586.27

3.2 土壤特征

3.2.1 土壤粒度特征 尼龙网沙障内沙土的粒度分析结果(表 3)表明,三种不同现存程度的沙障内均以中沙、细沙为主,细沙含量高于中沙。其中保存较好的尼龙网沙障(BTW01)内,0—30 cm 和 30—50 cm 层的中沙、细沙的比重占 31.75%、55.19% 和 25.72%、64.35%。现存较差的(BTW02)0—30 cm 和 30—50 cm 层的中沙、细沙的比重占 36.03%、54.77% 和 35.55%、56.20%。现存中等的沙障(BTW03)0—30 cm 和 30—50 cm 层的中沙、细沙的比重占 28.24%、56.56% 和 34.16%、60.03%。各样方内的沙土粒度组成差异较小。从平均粒径看出,BTW01 上层较 30—50 cm 层粗,BTW02 内两层粗细程度相近,BTW03 上层较 30—50 cm 层细。由分选系数得出,各样方沙土分选均较好。

草方格内沙土的粒度分析结果(表 3)表明,0—30 cm 中沙和细沙含量最高,30—50 cm 是细沙含量最高,中沙次之。0—30 cm 和 30—50 cm 的中沙、细沙含量分别占 44.66%、45.82% 和 32.69%、62.02%,平均粒径为 2.06(Φ)、2.3(Φ),分选系数 1.21(Φ)、1.17(Φ),数据结果均显示出上层较深层沙粒粗。

草绳沙障内的沙土的粒度结果(表 3)显示,与尼龙网沙障结果相似,沙粒细沙含量最高,中沙次之。现存较好的草绳区,0—30 cm 和 30—50 cm 的细沙、中沙含量占 62.83%、26.12% 和 61.77%、36.56%。现状较差的 0—30 cm 和 30—50 cm 的细沙、中沙含量占 63.29%、23.13% 和 58.92%、36.74%。从平均粒径看,上层较深层沙粒细,分选程度相似。

表 3 土壤粒度特征

样方	深度/cm	含量/%					粒度参数(Φ)	
		>0.5 mm (粗沙)	0.5~0.25 mm(中沙)	0.25~0.10 mm(细沙)	0.05~0.10 mm(极细沙)	<0.05 mm (粉沙)	M <sub>Z</sub>	S <sub>K</sub>
BTW01	0—30	2.79	31.75	55.19	10.19	0.11	2.33	1.22
	30—50	0.055	25.72	64.35	9.88	0.00	2.45	1.17
BTW02	0—30	1.62	36.03	54.77	6.48	1.10	2.25	1.20
	30—50	1.58	35.55	56.20	6.62	0.05	2.25	1.20
BTW03	0—30	1.56	28.24	56.56	12.18	1.46	2.44	1.21
	30—50	0.24	34.16	60.03	5.59	0	2.28	1.18
BTW04	0—30	4.06	44.66	45.82	4.18	1.28	2.06	1.21
	30—50	0.09	32.69	62.02	5.21	0.00	2.30	1.17
BTW06	0—30	0.04	26.12	62.83	9.86	1.15	2.46	1.17
	30—50	0.09	36.56	61.77	1.59	0.00	2.20	1.16
BTW07	0—30	0.00	23.13	63.29	11.63	1.96	2.53	1.17
	30—50	0.24	36.74	58.92	4.10	0.00	2.23	1.17

注:M<sub>Z</sub>——平均粒径;S<sub>K</sub>——分选系数。

3.2.2 土壤含水率、容重 各样方内土壤含水率随深度变化(图 1)显示,尼龙网沙障:BTW01 的表层水分含量较 BTW02、BTW03 高,往下逐渐降低,10 cm 以下低于 BTW02、BTW03,而 BTW02、BTW03 的土壤含水率随深度变化较平缓。草方格沙障区(BTW04)土壤含水率表层较低,随着深度增加逐渐升高。保存较好的草绳沙障(BTW06)土壤含水率表

层高于 BTW04、BTW07,随深度增加土壤含水率上升,在 15 cm 处达到最高,之后开始下降,20—30 cm 处土壤含水率均高于其他。通过对三种沙障内土壤容重的测定,如表 4 所示,各样方均表现为表层的容重高于 30 cm 深处的,其中表层的容重变化为 1.589~1.752 g/cm<sup>3</sup>,30 cm 深的容重变化为 1.554~1.645 g/cm<sup>3</sup>,不同沙障之间差异较小。

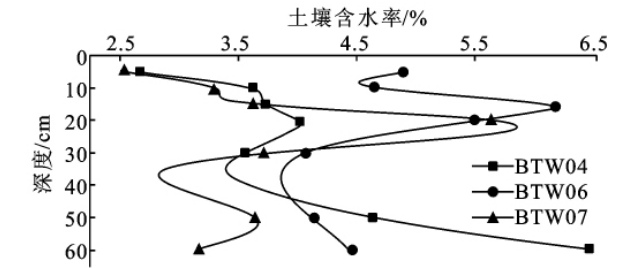
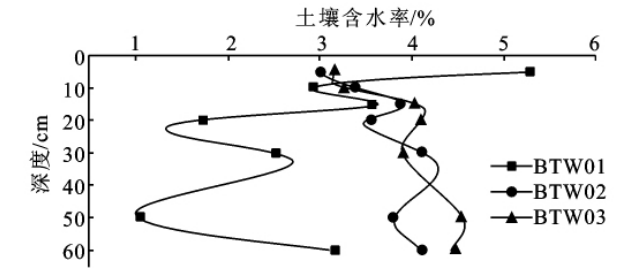


图 1 土壤含水率随深度变化

表 4 土壤容重		g/cm <sup>3</sup>				
样方	BTW01	BTW02	BTW03	BTW04	BTW06	BTW07
表层	1.730	1.685	1.589	1.752	1.667	1.628
30 cm	1.621	1.618	1.567	1.645	1.554	1.595

3.2.3 土壤养分、有机质、盐分和 pH 值 从测得的数据结果来看(表 5),尼龙网沙障、草方格和草绳沙障内的土壤全 N、全 P、全 K 的含量均较低,不同沙障之间无明显区别。

壤有机质含量有关,有机质越高,生物量越高,因为有机质含量的多少,反映土壤肥力的高低,进而直接影响生物量<sup>[13]</sup>。

表 5 土壤养分含量平均值(0—30 cm)			
沙障类型	全 N/%	全 P/%	全 K/%
尼龙网	0.064	0.088	0.473
草方格	0.058	0.038	0.485
草绳	0.058	0.112	0.675

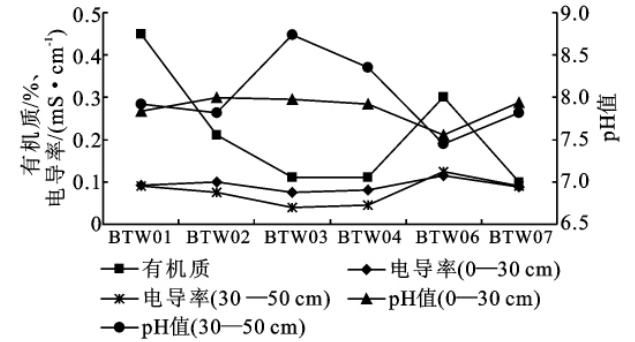


图 2 各沙障内土壤有机质、盐分和 pH 值

目前,巴图湾水库沙区的土壤有机质变化为 0.10~0.45% 之间,含量较低,各样方结果(图 2)对比得出:BTW01>BTW06>BTW02>BTW03>BTW04>BTW07。盐碱度状况(图 2),土壤 pH 值 0—30 cm 层表现为 7.50<pH<8.00,呈弱碱性,各区差异较小,30—50 cm 层为 7.45<pH<8.74, BTW01 和 BTW06 的 pH 值较其他样方小,而这两样方植被长势较好,也说明了植被恢复有利于土壤的 pH 值减小<sup>[12]</sup>,本研究中的 BTW03 和 BTW04 的 pH 值 0—30 cm 的明显低于 30—50 cm 的,其他点两层 pH 值差异不大。从土壤饱和浸出液的电导率(图 2)来看,两层土壤电导率均在 0~2 mS/cm 之间,土壤属于非盐化状态,另外可看出,0—30 cm 层的值略高于 30—50 cm 层。

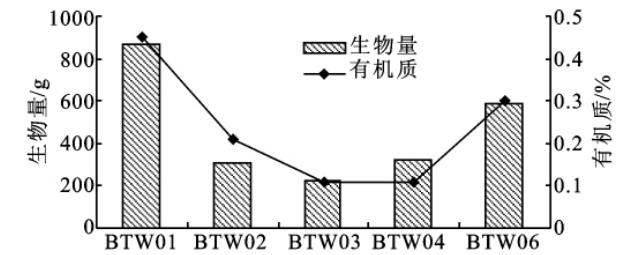


图 3 沙蒿生物量与有机质的关系

3.3 植物与土壤有机质之间的关系

从图 3 中可以看出,各样方的沙蒿生物量 BTW01>BTW06>BTW04>BTW02>BTW03,有机质的变化 BTW01>BTW06>BTW02>BTW03>BTW04,二者趋势变化基本一致,说明沙蒿生长与土

3.4 不同沙障植物生长和土壤水分、养分之间的关系

从前面的分析看出,本研究中的尼龙网沙障(BTW01)的表层水分含量较 BTW02、BTW03 高,植被高度平均为 64 cm,每株生物量达 865.29 g。草方格沙障区(BTW04)土壤含水率表层较低,随着深度的增加逐渐升高,植被平均高度为 43.8 cm。草绳沙障(BTW06)于低洼处,土壤含水率表层较高,植被长势也较良好。尼龙网沙障、草方格和草绳沙障内的土壤全 N、全 P、全 K 的含量均较低,各沙障之间无明显区别。

植物的生长不仅仅与土壤水分有关,土壤养分对植物生长也有很大的影响,而且植物、土壤水分与养分三者之间也是相互影响的。研究表明,固沙植被对沙地土壤水分状况影响较明显<sup>[14-15]</sup>,人工植被的恢复对土壤养分具有明显的表聚作用,而且对土壤养分的空间变化特征具有一定的影响<sup>[16]</sup>。本研究数据结果显示,植被、土壤水分与土壤养分三者之间关系不明显,主要是因为沙障设置年限较短,植被栽植期也较短,还没有完全形成植被—土壤—水分相互作用的系统,三者之间的关系还不明显,还需要进行较长年限的监测。另外,本研究采样为雨季,采样前期有过降雨,对沙地土壤水分也产生了影响。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1)尼龙网沙障内,不同保存程度沙障的植被长势存在差异,保存较好的沙障植被高度平均为 64 cm,被沙埋及人为破坏严重的沙障内植被平均高度为 40 cm。草方格沙障植被平均高度为 43.8 cm,草绳沙障保存较好,植被长势也较好。可见,防沙治沙措施设置初期,沙障保护好坏与植物的生长有着重要作用。

(2)尼龙网沙障区内均以中沙、细沙为主,细沙含量高于中沙。草方格区上层中沙和细沙含量最高,下层细沙含量最高,中沙次之,上层较深层沙粒粗。草绳沙障与尼龙网相似,沙粒细沙含量最高,中沙次之,上层较深层沙粒细。土壤容重表层均高于 30 cm。沙障设置初期,各沙障内风沙土的机械组成差异较小,相对稳定。

(3)尼龙网沙障、草方格和草绳沙障内的土壤全 N、全 P、全 K 的含量均较低,不同沙障之间无明显区别,养分元素相对稳定。沙蒿地上生物量与有机质的变化趋势基本一致。土壤 pH 值显示,土壤均为弱碱性。沙障设置初期,巴图湾水库库区沙地的土壤改良一般,随着植物的增长,将会逐渐提高。

### 4.2 讨论

本文从土壤与植被恢复的角度,来探讨干旱地区水库防沙治沙工程措施实施初期的生态效应,通过野外调查与室内分析,对巴图湾水库防沙工程措施区目前土壤与植被的基本特征有了初步的了解,总体看来,尼龙网沙障+植物措施的土壤与植被恢复效果稍优于其它两种沙障。植物沙障和尼龙网沙障相结合可将尼龙网沙障的功效发挥到最大,沙障布设后,可以防止沙障间种子播种后遭受风力侵蚀裸露而降低成活率,经过一定的年限后,尼龙网沙障将不能发挥防风固沙效益,植物沙障此时代替尼龙网沙障,使其

达到持久性固沙。在野外调查中发现,尼龙网沙障除了被沙埋,较大一部分被人为抽掉,损坏较严重。

草绳沙障区的草绳,大部分被吹蚀裸露沙面,已中断成一段一段地,人工种植的植物生长较少,保存效果较差。草绳较尼龙网和麦草寿命短,容易腐烂,某一部位草绳被风蚀裸露后可能会加速相邻区域草绳的裸露,因此草绳所起的保持水分和增加营养的作用随之减弱,植物种子在很短时间内难以生长,草绳沙障无法起到预期的效果,这些均可能是导致草绳沙障植被恢复能力较差的原因,因此对于草绳沙障的布设适于选择风蚀速率较小的沙地,或者表面已有一定植被覆盖的半流动沙地,布设时应该对草绳间隔一定距离进行固定,布设后采取一定的滴灌措施,使植被能够快速生长,防止风蚀裸露。

从以上分析看来,巴图湾水库库区的防沙体系还需要进一步健全,需要及时更新,首先应对积沙较满的沙障进行维修及更新,人为破坏的沙障应及时补充。机械措施与生物措施相结合是目前公认的流动沙丘有效固定的方法,机械措施是生物措施得以有效治理沙地的必要辅助,最终依然是植物固定沙丘。因此,在沙障实施后需要加强对沙障的修复与保护,禁止人畜进入治理区。另外,在调查中还发现,自然植被长势较好,但是多度较低,沙障在被人为破坏后,人工栽植植物生长较一般,建议定期补栽乡土物种。一般地,生态恢复的时间越久,效益也越显著,因此,巴图湾水库沙区植被的恢复与重建还需进一步实施,防沙治沙采取措施的年限较短,亟需进一步治理与监测。

致谢:本研究野外工作得到了内蒙古萨拉乌苏旅游文化发展有限公司的大力支持,特此表示感谢!

### 参考文献:

- [1] 杨根生,韩泽明. 水库风沙污染的控制:以金塔解放村水库为例[J]. 新疆环境保护,1983(1):7-11.
- [2] 邹桂香,高宏智,董光荣,等. 龙羊峡水库年进库风沙量及其对库区的影响[C]//中国科学院兰州沙漠研究所集刊(第4号). 北京:科学出版社,1994:184-200.
- [3] 宋阳,严平,杜建会,等. 巴图湾水库风沙入库量的估算[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(5):68-73.
- [4] 岳耀杰,王静爱,邹学勇,等. 中国北方沙区湖泊(水库)风沙灾害危险度评价与安全对策:以内蒙古沙区为例[J]. 干旱区研究,2008,25(4):574-582.
- [5] 唐进年,张晔明,徐先英,等. 不同人工措施对沙质荒漠化生态恢复与重建初期效应的影响[J]. 生态环境,2007,16(6):1748-1753.

(3)从西南各岩溶区石漠化综合指数(KDI)的计算结果看,滇东岩溶区石漠化程度最为严重;从各岩溶区石漠化动态变化看,各区石漠化综合指数均有不同程度的增加,1999 年与 1989 年相比,西南岩溶区石漠化综合指数上升了 1.18,其中,滇东岩溶区、贵州岩溶区和广西岩溶区的石漠化综合指数分别上升了 0.46、1.49 和 1.30。

(4)西南各区水土流失强度在总体上有减弱的趋势,而石漠化程度均有上升的趋势,这主要与岩溶区水土流失强度与石漠化程度关系的复杂性和阶段性、西南岩溶石漠化区的水土流失的隐蔽性、岩溶区水土流失遥感解译结果存在误差有关。

#### 参考文献:

- [1] 王恒松,熊康宁,刘云.喀斯特区地下水土流失机理研究[J].中国水土保持,2009(8):11-15.
- [2] 单洋天,于炳松,李朝晖,等.我国西南地区岩溶石漠化趋势及可持续发展研究[J].安徽农业科学,2009,37(2):753-754.
- [3] 黄刚,陈晓燕,倪九派.微型小区在石漠化地区水土流失监测中的应用[J].贵州农业科学,2009,37(1):106-108.
- [4] 李品荣,孟广涛,方向京.云南石漠化山地不同植被恢复模式下土壤地力变化和水土流失状况研究[J].水土保持学报,2008,22(6):35-39.
- [5] 周常萍,童立强,雷蓉.贵州省土地石漠化形成与发展机理研究[J].云南农业大学学报,2005,20(2):269-273.
- [6] 胡宝清,廖赤眉,严志强,等.基于 RS 和 GIS 喀斯特石漠化驱动机制分析:以广西都安瑶族自治县为例[J].山地学报,2004,22(5):583-590.
- [7] 单洋天.我国西南岩溶石漠化及其地质影响因素分析[J].中国岩溶,2006,25(2):163-167.
- [8] 李瑞玲,王世杰,周德全.贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J].地理学报,2003,58(2):314-320.
- [9] 黄金国,李森,魏兴琥.粤北岩溶山区石漠化土地综合治理模式及实施途径:以英德、阳山、乳源、连州 4 县(市)为例[J].西北林学院学报,2009,24(5):171-175.
- [10] 胡胜华,赵轶.浅谈贵州峰丛山地区土地石漠化及其治理[J].中国水土保持,2005,27(2):18-19.
- [11] 李瑞玲,王世杰.喀斯特石漠化评价指标体系探讨[J].热带地理,2004,24(12):145-149.
- [12] 王德炉,朱守谦,黄宝龙.贵州喀斯特石漠化类型及程度评价[J].生态学报,2005,25(5):1057-1063.
- [13] 李阳兵,王世杰,程安云.区域石漠化评价方法研究:以盘县为例[J].地球与环境,2009,37(3):275-279.
- [14] 苏广实,胡宝清,梁铭忠,等.基于神经网络的喀斯特石漠化预警分析模型研究:以广西都安为例[J].地球与环境,2009,37(3):287-292.
- [15] 李玲,麦雄发.基于 CA-ANN 喀斯特石漠化时空格局的动态模拟和预测[J].广西师范学院学报:自然科学版,2009,26(1):84-89.
- [16] 吴良林,卢远,周兴.桂西北土地石漠化时空格局演化 GIS 分析[J].地球与环境,2009,37(3):280-286.
- [17] 张盼盼,胡远满,殷洁,等.1973 年至 2004 年贵州喀斯特山区石漠化风险格局的变化:以普定后寨地下河流域中下游为例[J].资源科学,2009,31(9):1561-1567.
- [18] 曹建华,蒋忠诚,杨德生.我国西南岩溶区土壤侵蚀强度分级标准研究[J].中国水土保持科学,2008,6(6):1-7.
- [19] 曹建华,蒋忠诚,杨德生.中国西南岩溶区土壤允许流失量及防治对策[J].中国水土保持,2008(12):40-46.
- [20] 宋维峰.我国石漠化现状及其防治综述[J].中国水土保持科学,2007,5(5):102-106.

(上接第 65 页)

- [6] 韩致文,王涛,董治宝,等.风沙危害防治的主要工程措施及其机理[J].地理科学进展,2004,23(1):13-21.
- [7] 王葆芳,王志刚,江泽平,等.干旱区防护林营造方式对沙漠化土地恢复能力的影响研究[J].中国沙漠,2003,23(3):236-241.
- [8] 许林书,许嘉巍.沙障成林的固沙工程及生态效益研究[J].中国沙漠,1996,26(4):392-396.
- [9] 蒋德明,曹成有,李雪华,等.科尔沁沙地植被恢复及其对土壤的改良效应[J].生态环境,2008,17(3):1135-1139.
- [10] 李生宇,雷加强.草方格沙障的生态恢复作用:以古尔班通古特沙漠油田公路扰动带为例[J].干旱区研究,2003,20(1):7-10.
- [11] 张克存,屈建军,俎瑞平,等.不同结构的尼龙网和塑料网防沙效应研究[J].中国沙漠,2005,25(4):483-487.
- [12] 安韶山,刘梦云,李壁成,等.宁南山区不同植被恢复措施的土壤养分效应研究[J].西北植物学报,2003,23(8):1429-1432.
- [13] 张伟华,关世英,李跃进,等.不同恢复措施对退化草地土壤水分和养分的影响[J].内蒙古农业大学学报,2000,21(4):31-36.
- [14] 赵文智.科尔沁沙地人工植被对土壤水分异质性的影响[J].土壤学报,2002,39(1):113-119.
- [15] 李新荣,马凤云,龙立群,等.沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究[J].中国沙漠,2001,21(3):217-225.
- [16] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域植被恢复的土壤养分效应研究[J].水土保持学报,2005,19(1):93-96.