

# 采石场松散体坡面两种治理措施的水土保持效益

冯明明<sup>1,3</sup>, 杨建英<sup>1,2</sup>, 史常青<sup>1,2</sup>, 张华<sup>1,2</sup>, 康勇<sup>4</sup>, 周千里<sup>1,2</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 云南省交通规划设计研究院, 云南 昆明 650011; 4. 北京市工程咨询公司, 北京 100031)

**摘要:** 通过修建径流小区,对北京市房山区黄院采石场的治理进行了连续两年的坡面径流观测,用对比分析的方法研究了采石场治理初期不同年份内不同治理措施的水土保持效益。结果表明,在采石场治理初期,不同的坡度、不同的治理措施、不同的植被覆盖度均对坡面水土流失的影响有较大差异。当坡度为25°时,铺设生态袋措施能够有效防治水土流失;当植被覆盖度小于15%时,影响水土流失的主要因素为松散体坡面的孔隙度;当植被覆盖度大于60%时,影响水土流失的主要因素是降雨量和降雨强度。

**关键词:** 采石场; 水土流失; 径流小区; 水土保持效益

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)06-0049-05

中图分类号: S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.016

## Soil and Water Conservation Benefits of Two Control Measures on Loose Media Slope in Quarries

FENG Ming-ming<sup>1,2</sup>, YANG Jian-ying<sup>1,2</sup>, SHI Chang-qing<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Hua<sup>1,2</sup>, KANG Yong<sup>3</sup>, ZHOU Qian-li<sup>1,2</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing 100083, China; 3. Broadvision Engineering Consultants, Kunming, Yunnan 650011, China; 4. Beijing Municipal Engineering Consulting Corporation, Beijing 100031, China)

**Abstract:** Soil and water conservation benefits of different manage measures in different years were analyzed by applying the method of comparative analysis and monitoring the surface runoff of the different management stations of the Huangyuan quarry runoff plots with two consecutive years. The results showed soil and water conservation benefits of different types of slopes, different control measures and different vegetation coverage varied considerably in the early treatment in quarry. The runoff plot with slope of 25° using the ecological bags reduced soil and water loss significantly. The main reason of soil and water loss was soil porosity of the loose media slopes when the vegetation coverage was less than 15%. Rainfall and rainfall intensity became the most important reason when the rate of vegetation coverage was more than 60%.

**Keywords:** quarry; soil and water loss; runoff plot; soil and water conservation benefits

为了满足建设工程对石材的需求,全国各地兴建了大量采石场。但在我国采石场数量多、规模小、分布零散布局不合理<sup>[1]</sup>。其中,中小型采石场绝大部分为山坡型采石场,年生产规模小,仅为 $3.00 \times 10^4 \sim 5.00 \times 10^4$  t,开采范围一般不足 $0.01 \text{ km}^2$ ,采石场最大采高一般为 $20 \sim 50 \text{ m}^{[2]}$ 。由于开采技术落后以及后期不及时的治理等原因造成了大规模的水土流失,自然景观破坏,生态环境恶化,生物多样性锐减等问

题<sup>[2-5]</sup>。许多学者在采石场植被恢复重建以及水土流失的治理方面开展了很多相关研究。郑涛<sup>[6]</sup>、杨海军<sup>[7]</sup>等利用混合喷播技术、生态石笼护坡技术、边坡挂网技术、挡土墙措施稳定采石场边坡,避免滑坡、泥石流,采用植被措施和工程措施相结合的方式在采石场水土保持和植被恢复治理中取得了一定的成果。袁剑刚等<sup>[8]</sup>以采石场悬崖这种严重受损生态系统自然演替早期阶段的土壤和植被特征为研究对象,为采

收稿日期:2013-12-22

修回日期:2014-02-13

资助项目:林业公益性行业科研专项“建设工程损毁林地植被修复关键技术研究示范”(200904030)

作者简介:冯明明(1987—),男(汉族),陕西省榆林市人,硕士研究生,研究方向为建筑环境与城镇规划。E-mail:fengming0412@126.com。

通信作者:杨建英(1965—),女(汉族),河北省行唐县人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事水土保持与工程概预算方面的研究。E-mail:jyyang@bjfu.edu.cn。

石场悬崖的生态恢复提供参考。结合工作实践,罗松、郑天媛<sup>[9]</sup>提出阶梯整形覆土绿化方法,为治理采石场遗留的石质开采面提供了新思路。此外,张艳等<sup>[10]</sup>研究了不同时间梯度的采石场植被多样性动态规律以及土壤分异特征,为矿山废弃地植被恢复和重建提供可借鉴的理论依据。本研究以北京市房山区周口店镇黄院采石场为试验区进行坡面径流量、径流泥沙含量的监测,对采石场区域的土壤、植被、降雨等方面进行观测与调查,对比分析不同坡度、不同治理措施、不同时间段、不同降雨强度下的水土流失情况。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验区位于北京市房山区周口店镇建设工程损毁林地植被修复试验示范区(115°25′—116°15′ E, 39°30′—39°55′ N),南北跨纬度 25′,东西经度相间 50′<sup>[11]</sup>。该区域为典型的北方土石山区,属暖温带半湿润、半干旱大陆性季风气候,四季分明,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,春季干旱多风,秋季秋高气爽而短促。年平均气温 10~12℃,多年平均降水量为 655 mm 左右<sup>[12]</sup>。试验区山高、坡陡,降水较集中,水土流失严重<sup>[13]</sup>。试验区主要组成树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 [*Platycladus orientalis* (L) Franco]、辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、槲栎(*Quercus aliena*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、槲树(*Quercus dentata*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、五角枫(*Acer mone*)、小叶白蜡(*Fraxinus sogdiana*)等。黄院采石场于 20 世纪 40 年代开始开采,开采面积约 10 km<sup>2</sup>,近 10 a 来乱采现象日益严重,导致该区域地面支离破碎,地表植被遭到毁灭性破坏,表土剥离导致山体裸露,自然景观遭到了严重的破坏,废弃土石随处堆放,经雨水冲刷后,采石场多次发生滑坡、坍塌现象。2010 年采用工程措施与植物措施相结合的方法开始对该区域进行绿化恢复,其中工程措施主要包括压实处理、挡墙措施、建立水平台、生态袋护坡措施、生态棒拦挡措施等;植被措施包括容器苗、成苗,播撒草籽;主要乔灌木包括油松、火炬树(*Rhus typhina*)、黄栌(*Cotinus coggygria*),主要草本植物为高羊茅(*Festuca elata*)、小冠花(*Coronilla varia*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)等。

### 1.2 试验设计

标准径流小区规格为 5 m×20 m(水平距),且顺坡向为长边;排水系统设置在径流小区上部和左右两

侧,规格大小按 20 年一遇暴雨设计。每组小区之间隔板采用石材(厚 3 cm,高 40 cm),隔板上沿为一侧坡尖(向小区外呈 60°倾斜,埋深 20 cm),小区顶部设截水沟,底部设集雨池,将径流泥沙导入集雨池。径流小区坡度设置选取 20°,25°,30°,35°共 4 种坡度,坡向选取正西、东南、东北、正北 4 个坡向(表 1)。

生态袋选用无纺布材料,具无毒、不降解、抗酸碱盐以及微生物侵蚀的理化优点,透水不透土,且不妨碍袋中种子生长<sup>[14]</sup>,规格为 80 cm×40 cm。袋中填充种子为小冠花、高羊茅、紫花苜蓿。平铺生态袋措施为沿坡面顺直整齐压实平铺,常规整地法指坡面压实、覆土、播撒草籽,其中覆土厚度为 30 cm,播撒主要草籽为高羊茅、小冠花、紫花苜蓿。

表 1 径流小区设计标准

小区编号	坡面处理方式	坡面植被
35°-W-1	常规整地法自然恢复	紫花苜蓿、高羊茅
35°-W-2	平铺生态袋绿化	小冠花、高羊茅
20°-ES-1	常规整地法自然恢复	紫花苜蓿、高羊茅
20°-ES-2	平铺生态袋绿化	小冠花、高羊茅
30°-EN-1	常规整地法自然恢复	紫花苜蓿、高羊茅
30°-EN-2	平铺生态袋绿化	小冠花、高羊茅
25°-N-1	常规整地法自然恢复	紫花苜蓿、高羊茅
25°-N-2	平铺生态袋绿化	小冠花、高羊茅

注:35°表示坡度为 35°,W 表示正西方向,ES 表示东南方向,EN 表示东北方向,N 表示正北方向,1 表示常规整地法,2 表示平铺生态袋绿化。例如,35°-W-1 表示正西方向 35°坡采用常规整地法。下同。

### 1.3 数据采集与分析

利用 Vantage pro2 型自动气象站进行降雨数据的采集。泥沙采样分两种情况进行记录:(1)无泥沙层,将桶中水样混匀取样,每个坡面至少取 3 个样本。(2)有泥沙层,测量径流桶中水层厚度及泥沙层厚度,至少在不同方位测量 3 次并取下层泥沙。泥沙样本均取 200 ml<sup>[15]</sup>。将样本称重、烘干(105℃)并计算径流小区的次降雨径流量以及水土流失量。计算公式为:

$$\text{降雨径流量} = H_{\text{径流深}} \cdot S_{\text{底}} \quad (1)$$

式中: $H_{\text{径流深}}$ ——次降雨径流桶内水深; $S_{\text{底}}$ ——径流桶的底面积。

$$\text{泥沙量 } m = \frac{m_{\text{干}}}{v_{\text{样}}/v_{\text{总}}} \quad (2)$$

式中: $m_{\text{干}}$ ——泥沙取样烘干的干重; $v_{\text{样}}$ ——取样体积; $v_{\text{总}}$ ——径流桶内泥沙总体积。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被调查结果分析

采用样方法调查径流小区内的植被覆盖度,在每

个小区的上坡、中坡、下坡各设置 1 个  $1\text{ m}\times 1\text{ m}$  的小样方,主要调查样方内的植物种和植被覆盖度。由表 2 可以看出,松散体坡面治理当年地表扰动较大,植被覆盖度较低。随着时间的推移,径流小区内部的植被覆盖度逐渐增加,其中 2011 年 7—9 月的植被覆盖度增长速度最快,平均增长率为 294.17%,主要植被为高羊茅、小冠花、紫花苜蓿等人工栽植植被;2012 年 6—10 月植被覆盖的平均增长速度降低为 11.78%,但是总覆盖度明显增大,小区内部逐渐出现圆叶牵牛、葎草、鬼针草等自然演替植被。

表 2 2011—2012 年各小区植被盖度

小区编号	2011 年植被覆盖度/%			2012 年植被覆盖度/%	
	5 月	7 月	9 月	6 月	10 月
35°-W-1	0	11.56	36.73	78.33	88.64
35°-W-2	0	13.11	62.18	81.42	90.22
20°-ES-1	0	12.48	52.62	80.19	90.11
20°-ES-2	0	15.23	65.81	84.71	93.45
30°-EN-1	0	12.12	46.32	79.45	89.66
30°-EN-2	0	15.56	64.82	83.93	94.66
25°-N-1	0	17.72	57.53	84.88	92.52
25°-N-2	0	18.03	69.27	85.23	96.24

## 2.2 相同降雨条件下不同措施的水土保持效益 对相同降雨强度下不同治理措施的径流量以及

水土流失量进行对比研究,降雨强度取当年降雨的中雨、大雨和暴雨。降雨强度根据 2006 年水文手册分类,对施工当年和施工翌年的径流小区内径流量和土壤流失量分别进行论述,分别对中雨、大雨、暴雨下不同年份的径流量和土壤流失量进行分析。由表 3—4 可以看出,施工当年,地表扰动幅度较大,坡面土壤较松散,植被覆盖度为 15%左右,不同措施、不同坡度的坡面径流量与土壤流失量均较大,经过几次降雨之后,表层的土壤越来越少,坡面土壤的孔隙度增大,在发生较大降雨强度时地表径流和径流泥沙含量反而减少,其主要原因是坡面径流随着土壤空隙下渗形成壤中流。随着时间的推移,不同措施小区内部的植被覆盖度出现了一定的差异,在相同降雨条件下,水土流失状况产生明显的差异。当植被覆盖度达到 80%左右,坡面植被拦蓄径流能力和保土能力增强,在降雨强度较小的情况下,相同降雨条件产生的降雨径流量和水土流失量明显的减少,各小区之间的差异性也逐渐缩小;在较大降雨条件下,尽管径流量较大,但是只能产生少量的土壤流失量。尤其是在 2012 年 7 月 21 日,试验区降雨量达到 103 mm,集水池均发生漫溢现象,但是集水池内水质较清澈,仅含有少量泥沙,其主要原因是坡面植被根系保土效果较好,坡面表层土壤不易被冲刷。

表 3 施工当年(2011 年)相同降雨条件下径流量和土壤流失量调查结果

小区编号	降雨量 15.12 mm		降雨量 27.3 mm		降雨量 69.4 mm	
	径流量/ $\text{m}^3$	泥沙干重/kg	径流量/ $\text{m}^3$	泥沙干重/kg	径流量/ $\text{m}^3$	泥沙干重/kg
35°-W-1	0.204 3	15.09	0.216 6	23.84	0.142 8	50.59
35°-W-2	0.179 7	11.32	0.088 6	11.48	0.086 2	24.56
20°-ES-1	0.184 0	20.55	0.216 6	23.63	0.086 2	34.56
20°-ES-2	0.161 9	17.13	0.216 6	13.84	0.157 6	22.16
30°-EN-1	0.196 9	27.57	0.209 2	22.45	0.160 0	32.79
30°-EN-2	0.179 4	20.68	0.211 7	13.65	0.088 6	13.12
25°-N-1	0.182 9	19.61	0.209 2	24.45	0.160 0	54.64
25°-N-2	0.168 9	16.34	0.211 7	13.92	0.086 2	23.04

表 4 施工翌年(2012 年)相同降雨条件下径流量和土壤流失量调查结果

小区编号	降雨量 16.5 mm		降雨量 40.4 mm		降雨量 103 mm	
	径流量/ $\text{m}^3$	泥沙干重/kg	径流量/ $\text{m}^3$	泥沙干重/kg	径流量/ $\text{m}^3$	泥沙干重/kg
35°-W-1	0.017 2	3.47	0.009 8	1.76	0.214 0	3.42
35°-W-2	0.019 7	2.60	0.030 8	2.76	0.214 0	19.32
20°-ES-1	0.017 2	1.80	0.000 0	1.05	0.214 0	2.62
20°-ES-2	0.095 9	1.07	0.044 3	0.87	0.214 0	1.96
30°-EN-1	0.125 5	2.49	0.093 5	2.09	0.214 0	3.85
30°-EN-2	0.019 7	1.48	0.034 4	3.61	0.214 0	8.27
25°-N-1	0.034 4	1.28	0.056 6	1.03	0.214 0	3.07
25°-N-2	0.004 9	0.31	0.007 4	0.55	0.214 0	1.94

### 2.3 不同年份径流小区土壤流失量对比分析

对 2011 和 2012 年不同径流小区的土壤流失量进行对比分析。图 1 显示,2011 年的土壤流失量较大,常规整地自然恢复坡面土壤流失量最高达到 686.83 kg,平铺生态袋的小区护坡措施出现不同程度的土壤流失,坡面土壤流失量最高达到 494.73 kg,坡度为 25°时,平铺生态袋坡面产生的土壤流失量最小,与常规整理自然恢复坡面相比减少了 58.8%的土壤流失量;坡度为 30°坡,平铺生态袋坡面产生的土壤流失量较大,与常规整地自然恢复坡面相比仅减少了 14.2%。与 2011 年相比较,2012 年的土壤流失量明显减少,松散体坡面坡度选取 25°时治理效果最明显,土壤流失量分别减少了 97.0%和 95.8%。整体减少了 95%。施工当年与施工翌年径流小区内产生的土壤流失量有较大差异的主要原因为:施工当年对松散体坡面扰动面积较大,土壤较松散,表层土壤容易随着地表径流移动产生水土流失。在施工当年经历雨季之后,径流小区内植被长势良好,项目区域的植被覆盖度逐步增长。随着植被覆盖度的增加,径流小区内的土壤流失量明显减少。

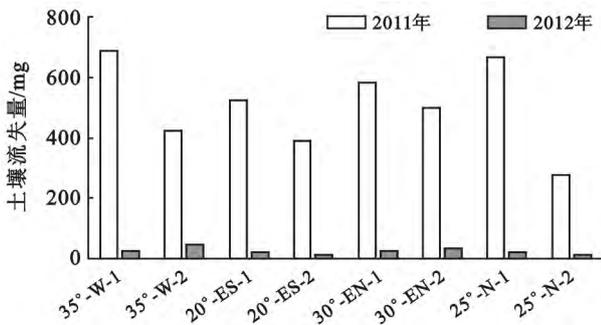


图 1 各径流小区不同年度土壤流失量对比

### 2.4 不同时间段的土壤流失量动态分析

#### 2.4.1 施工当年不同径流小区水土流失动态分析

由图 2 可以看出,在矿山植被恢复初期,降雨量较小,但是土壤流失量很大,其主要原因是,土壤较松散,植被覆盖度极低,一旦出现降雨,坡面容易产生较大的地表径流,表层松散体土壤将随着雨水向坡下移动,产生较大水土流失量。

在 7 月上旬到中旬,产生的水土流失量较少,主要原因可能是由于此阶段的降雨较少,次降雨量多在 10 mm 左右,产生的地表径流较小;此外,松散体土壤的孔隙度较大,大部分降雨产生入渗形成壤中流,减少了地表径流。7 月下旬至 8 月中旬,降雨的频率与降雨量明显增加,相对应的土壤流失量也明显增加并呈正相关关系。

#### 2.4.2 施工翌年不同径流小区水土流失动态分析

观测数据表明,2011 与 2012 年的土壤流失量规律存在较大差别,主要表现为 2012 年的植被覆盖度均超过 80%,植被土壤流失量明显减少。

由图 3 可以看出,当植被的覆盖度达到 80%以上,总的土壤流失量较小,次降雨的土壤流失量基本在 0.05 kg/m<sup>2</sup> 以下,不同坡度对水土流失的影响无明显差异,降雨强度对土壤流失的影响也无明显区别。

2012 年 7 月 21 日研究区突降强降雨,35°-W-2 坡度与 30°-EN-2 坡度的土壤流失量明显增加,但是由于植被覆盖度较大,产生的土壤流失量与 2011 年 7 月份相比仍有明显的减少。

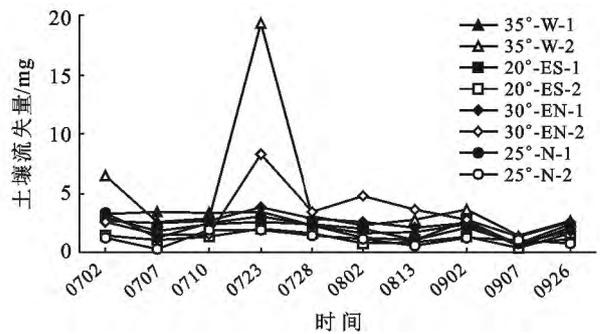


图 2 不同径流小区 2011 年土壤流失动态

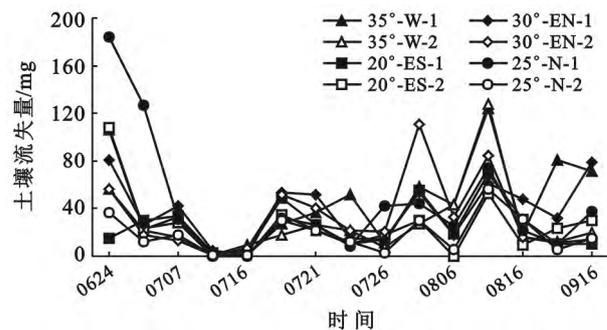


图 3 2012 年不同径流小区土壤流失动态

## 3 结论

(1) 采石场恢复治理的当年,不同坡度采用常规整地自然恢复措施和平铺生态袋绿化措施,所减少的水土流失量有较大的差异性。其中,坡度为 25°时铺设生态袋措施与自然恢复相比减少的水土流失量较多,减少了 58.8%的土壤流失量;坡度为 30°时铺设生态袋与自然恢复相比减少水土流失量较少,仅减少了 14.2%的土壤流失量。因此,在采石场恢复治理中,尽量避免出现较大坡度,当坡度为 25°时,建议采用铺设生态袋措施。

(2) 采石场恢复治理不同年份的土壤流失量差异性明显。2012 年径流小区的土壤流失总量与 2011 年相比,常规整地自然状态恢复条件下水土流失总量减少了 90%左右;平铺生态袋绿化措施下,水土流失总量减少了 97%左右。其主要影响因素是植被覆盖度,松散体土壤粒径组成,坡面土壤孔隙度。当覆盖度小于 15%时,不同径流小区产生的水土流失量均较大且差异性小;当覆盖度在 15%~50%之间,各小区的产生的水土流失量的差异性较大且随着植被覆盖度的增加而减少;当覆盖度大于 50%时,各小区土壤流失量的差异性逐渐减小;植被覆盖度大于 80%,土壤流失量与差异性均非常小。

(3) 在相同的降雨情况下不同径流小区产生的径流量和土壤流失量有较大的差异。在植被恢复初期最为明显,主要原是土地平整过程中,不同坡面土壤的粒径组成、土壤的孔隙度差异性较大,大部分径流入渗形成壤中流。随着植被覆盖度的增加,相同坡度地表径流量和土壤流失量的差异性逐渐减小。当植被的覆盖度大于 50%以后,影响地表径流和土壤流失量的主要因素不再是土壤的粒径组成和夯实程度,植物根系固定土壤的效果成为主要影响因素,水土流失量与植被覆盖率、降雨量、降雨强度呈正相关关系。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 汤惠君,胡振琪. 试论采石场的生态恢复[J]. 中国矿业, 2004,13(7):38-42.
- [2] 张猛. 中小型采石场治理恢复工程浅析[J]. 黑龙江科技信息,2012,(6):211-212.
- [3] 方华,林建平,莫江明. 采石场生态重建的有关问题[J]. 生态环境,2006,15(3):654-658.
- [4] 夏汉平,蔡锡安. 采矿地的生态恢复技术[J]. 应用生态学报,2002,13(11):1471-1477.
- [5] 左芳萍,裴宗平,徐崇喜. 废弃露采矿山生态恢复研究与实践[J]. 能源技术与管理,2009(2):81-83.
- [6] 郑涛,车伟光. 废弃采石场生态恢复以及景观再生研究[J]. 草原与草坪,2009(3):62-68.
- [7] 杨海军,毕琪,赵亚楠,等. 深圳市高速公路边坡和采石场植被恢复技术[J]. 生态学杂志,2004,23(1):120-124.
- [8] 袁剑刚,周先叶,陈彦,等. 采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征[J]. 生态学报,2005,25(6):1517-1522.
- [9] 罗松,郑天媛. 采石场遗留石质开采面阶梯整形覆土绿化方法研究[J]. 中国水土保持,2001(2):36-37.
- [10] 张艳,赵廷宁,史常青,等. 北京山区采石场边坡植被恢复动态研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(6):61-66.
- [11] 张华,赵廷宁,白麟,等. 采石场松散体坡面平铺生态袋绿化的水土保持效应[J]. 水土保持通报,2013,33(2):111-115.
- [12] 和继军,蔡强国,田磊. 北京市水土流失综合治理体系的结构功能及效应[J]. 水土保持通报,2009,29(6):52-56.
- [13] 符素华,段淑怀,李永贵,等. 北京山区土地利用对土壤侵蚀的影响[J]. 自然科学进展,2002,12(1):108-112.
- [14] 邱从维. 生态袋护岸技术在邵武市同青溪河道治理中的应用[J]. 水利科技,2010(1):23-24.
- [15] 景峰,张学培,郭汉清,等. 山西省葛铺煤矿弃土弃渣径流泥沙研究[J]. 水土保持研究,2007,14(4):61-64.
- [17] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[M] // Advances in Soil Science. New York: Springer, 1985:1-70.
- [18] Martinez M M, Williams A G, Ternan J L, et al. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment[J]. Soil and Tillage Research, 1998,48(1):71-80.
- [19] Keck T J, Nielsen G A, Quimby W F. Spatial distribution of soil attributes on reconstructed minesoils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(3):782-786.
- [20] 石辉. 转移矩阵法评价土壤团聚体稳定性[J]. 水土保持通报,2006,26(3):91-95.
- [21] 周虎,吕贻忠,杨志臣,等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(9):1973-1979.
- [22] 张琪,方海兰,史志华,等. 侵蚀条件下土壤性质对团聚体稳定性影响的研究进展[J]. 林业科学,2007,43(10):77-82.
- [23] 龙明杰,曾繁森. 高聚合物土壤改良剂研究进展[J]. 土壤通报,2000,31(5):199-202.
- [24] 巫东堂,王久志. 土壤结构改良剂及其应用[J]. 土壤通报,1990,21(3):140-143.
- [25] 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京:科学出版社,1976:24-36.
- [26] 王孟本,柴宝峰,李洪建,等. 黄土区人工林的土壤持水力与有效水状况[J]. 林业科学,1999,35(2):7-14.
- [27] 张光灿,夏江宝,王贵霞,等. 鲁中花岗岩山区人工林土壤水分物理性质[J]. 水土保持学报,2005,19(6):44-48.
- [28] 谢伯承,薛绪掌,王纪华,等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报,2003,23(6):44-46.

(上接第 48 页)