

微地形重塑对大型排土场平台水沙及植被的影响

田秀民¹, 马春霞², 鲁旭东³, 郭建英¹, 张铁钢¹

(1.水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020; 2.内蒙古水土保持监测站, 呼和浩特 010020; 3.包头市水土保持工作站, 内蒙古 包头 014030)

摘 要:针对大型排土场平台治理短板,探究控制水土流失的有效办法,改善地表微环境。以大型排土场平台不同微地形改造加植物措施为研究对象,利用径流小区观测设施对研究对象次降雨产流产沙过程开展了连续观测,并进行了植物群落学特征调查。结果表明:大型排土场平台实施微地形组合加植物措施的削流、减蚀、生物多样性方面明显强于单一覆土种植措施;实施微地形改造方法的小区年径流量及泥沙量呈逐年减少趋势,组合微地形改造方法加植物措施的削流率和减蚀率最高,分别达到 62.03% 和 88.81%;且对小雨强时产流和产沙的控制效果最好,与单一的覆土种植措施相比,径流量减少 72.6%,泥沙量减少 90.4%;组合微地形改造加植物措施防护效果最优,多样性指数、均匀度指数和丰富度指数最高,分别为 2.35, 0.87, 1.94;合理的微地形组合方法加植物措施能使植被的恢复效果充分发挥,有效遏制水土流失,塑造出不同的微生境,是治理大型排土场平台“顽疾”的有效措施之一。

关键词:排土场平台; 微地形重塑; 产流产沙; 物种多样性

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2021)03-0074-09

Impact of Microtopographic Reconstruction on Runoff and Sediment Yield and Vegetation of Large Waste Dump Platform

TIAN Xiumin¹, MA Chunxia², LU Xudong³, GUO Jianying¹, ZHANG Tiegang¹

(1. *Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, China*; 2. *Inner Mongolia Soil and Water Conservation Monitoring Station, Hohhot 010020, China*; 3. *Baotou Water and Soil Conservation Workstation, Baotou, Inner Mongolia 014030, China*)

Abstract: The effective methods to control the water and soil erosion were explored to improve the surface microenvironment in terms of the weaknesses on governing the large waste dump platform. Different microtopographic reconstruction and plant measures for large waste dump platforms were studied by using the runoff plot observation facilities to conduct continuous observation during the generation process of runoff and sediment, and the phytoecological characteristics were also investigated. The results show that the flow reduction, erosion reduction and biodiversity in the large waste dump platform with microtopographic reconstruction and plant measures were more significant than that with single soil cover and planting measures; the annual runoff and sediment loads of communities with microtopographic reconstruction methods decreased year by year, and the flow reduction and erosion reduction rates of those combining the microtopographic reconstruction and plant measures were the highest, reaching up to 62.03% and 88.81%, respectively; the control effect of the generation of runoff and sediment was the best when the heavy rain occurred; compared with the single soil cover and planting measures, the runoff volume reduced by 72.6% and the sediment load by 90.4%; the protective effect of the combined microtopographic reconstruction measures and plant measures was the best, and the diversity, evenness and richness indexes were the highest, which were 2.35, 0.87 and 1.94, respectively. Reasonable combination of microtopography and plant measures can fully play the role in the restoration effect of the vegetation, effectively curbing water and soil erosion and creating a different microenvironment, and is one of the effective

收稿日期: 2020-06-30

修回日期: 2020-07-09

资助项目: 中国水利水电科学研究院科研专项项目“半干旱生态脆弱区人为干扰下水土保持技术研究”(MK2017J04); “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0500505)

第一作者: 田秀民(1980—), 男, 内蒙古自治区克什克腾旗人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为开发建设项目水土保持。E-mail: 344239475@qq.com

通信作者: 郭建英(1979—), 男, 内蒙古自治区清水河县人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事水土保持研究工作。E-mail: guojianying1980@163.com

measures to deal with the ‘chronic disease’ of the large waste dump platform.

Keywords: waste dump platform; microtopographic reconstruction; generation of runoff and sediment; species diversity

全国采煤废弃地面积超过 200 多万公顷,挖损和占压直接影响了煤矿矿区植被退化,土壤侵蚀和沙漠化是其退化的间接因素^[1]。大型排土或弃渣场废弃物具有不规则性、特殊性 & 水土保持紧迫性和后滞性^[2-3],其水土流失不同于天然岩土侵蚀^[4-5],排土场平台对边坡的水土流失防治既有控制作用也有加速作用,平台措施被破坏或者措施不完善时,平台汇流就会加剧边坡侵蚀,平台被大型机械碾压,汇流入渗慢,植物扎根困难^[6],特别是在暴雨条件下,由于径流作用使表层覆土与碾实面分离,平台产生了秃斑现象;若不分区块进行系统治理,则会加剧次生水土流失危害^[7-8]。笔者在胜利东二号露天矿南排土场调查发现,植被恢复较差的排土场平台出现了“天花板”现象,坚硬的碾压面裸露出来,水土流失现象严重,而区域防治较好地块,林草覆盖率高,边坡侵蚀沟密度小;因此,坚硬的平台是国内外大型排土场水土流失治理及植被恢复需要重点治理的地带^[9],也是保证边坡水蚀调控及减小径流的重要区域,克服大型排土场平台水土保持“顽疾”是十分紧迫的科学命题。

为突破矿山排土场水土保持短板,专家学者进行了大量理论与实践应用^[10-12],其中包括矿山废弃地治理的植物措施、工程措施及土壤改良措施;虽然通过植被恢复及土壤改良措施能够明显控制矿区的水土流失现象,但是目前水土保持防治重点区划分观点不同,修复措施多集中于矿区空地及排土场边坡,对排土场平台的水土流失治理缺乏足够重视。排土场平台在排弃过程兼有运输任务,是呈缓坡螺旋形上升的通道,径流流向复杂,既有平行平台方向的,也有垂直平台方向的,因此平台防治水土流失必须控制这两个方向的径流。微地形改造对岩土侵蚀存在加剧和抑制两种不同效果^[13-14]。微地改造影响降雨入渗和调控水蚀过程^[15],改善地表生境^[16],促进保水保土效果及植被恢复^[17],在矿区应用微地形改造方法能较好防治水土流失^[18]。

为此,本文基于大型排土场平台治理短板,采用微地形改造方法,提出了一种治理大型露天矿排土场“顽疾”的水土保持技术;论文研究具有指导排土场生态修复,促进矿区生态文明建设的指导性意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区锡林浩特市东北部的胜利露天煤矿东 2 号南排土场,地理坐标为 116°06′41″—

116°14′11″E,44°02′07″—44°07′05″N,水土保持区划为锡林浩特高原保土生态维护区,排土场区原地形较平缓,海拔 990~1 021 m,排土相对高度 100~120 m,平均 20 m 为一个台阶。排土场排弃年限为 9 a,边坡安息角为 30°~33°;平台纵向坡度为 8°~10°,横向坡度为 3°~5°。试验区为排土场产生秃斑区域的平台,压实面以上平均履土厚度为 10~15 cm,根据上层土壤(0—15 cm)理化性质测定,土壤容重为 1.53 g/cm³,土壤粒径以 >0.25 mm 的中砂为主,土壤质量较差;平台 0—15 cm 土层中全氮含量为 0.12 g/kg,速效钾含量为 0.08 g/kg,速效磷含量为 0.92 mg/kg,有机质含量为 2.0 g/kg,pH 值 8.47。

研究区地处内蒙古高原腹地,属中温带半干旱气候,多年平均降水量 289.2 mm,多集中于 6—8 月份,占全年降水量的 69%,10 a 一遇 24 h 最大降雨量为 85.3 mm,20 a 一遇 24 h 最大降雨量为 111.5 mm。多年平均蒸发量 1 805.1 mm,是降水量的 6 倍;全年主导风向西南,多年平均风速 3.5 m/s,大风(≥17 m/s)日数 58 d;试验区原地带性土壤为沙壤土,非地带性土壤为栗钙土;植被类型属典型草原植被,以克氏针茅(*Stipa krylovii*)、羊草(*Leymus chinensis*)为主要建群种,林草覆盖率为 35%~50%。

1.2 试验布设

在胜利露天煤矿东 2 号南排土场第 3 个台阶的平台上选择坡度平缓均一的中段平台布设 PVC 材料径流小区 4 个,其中 1[#],2[#],3[#] 小区为微地形改造小区,4[#] 小区为对照小区,详见表 1;各小区沿平台纵向依次布设,平台内侧预留 200 cm 宽施工道路;根据实地情况,每个小区规格为 5 m×5 m,小区底部布设集流池;集流池为订制圆柱形铁桶,按 10 a 一遇 24 h 最大降雨量设计铁桶容积为 2.0 m³,半径 0.8 m,深 1.0 m。

1[#] 小区微地形改造方法为挡水围埂+阻拦板,见图 1,距小区挡板 50 cm 处平行平台外边缘修筑 1 道纵向挡水围埂,挡水围埂防御暴雨标准为 10 a 一遇 24 h 最大降雨量,结合汇水面积确定其规格为顶宽 20 cm,高 30 cm,边坡比为 1:1;纵向围埂的主要作用是阻拦平台汇流对边坡的冲刷,拦蓄平台横向径流;距小区上下边缘 55 cm 处各修筑 1 道相同规格的横向挡水围埂,其主要作用是阻滞纵向挡水围埂拦蓄的侧向径流,减缓平台纵向径流的流速。经过 4 a 的调查发现,胜利露天煤矿东 2 号南排土场对平台冲刷较

强的汇水来自于本级台阶边坡产生的横向水流,遇中大雨时,产流时间短流速快;倾泻的边坡汇流易把平台覆土冲向下一级边坡,故在小区纵向方向布设阻拦板,减缓横向水流冲刷。在挡水围埂内部区域沿小区纵向呈品字形布设阻拦板(木制三合板),阻拦板规格为:长 50 cm,宽 20 cm,厚 1 cm;阻隔板横向间隔为 150 cm,纵向间隔为 20 cm;阻拦板竖向埋入的预先开挖的沟槽中,沟槽规格为宽 10 cm,深 10 cm,埋好后阻拦板地上高度为

10 cm;阻拦板布置完后,小区内空地进行覆土,覆土厚度约 10 cm,基本与阻拦板上沿持平;阻拦板的主要作用是防止汇流产生时平台表面覆土与平台压实面产生滑动或分离,使植物种子能均匀分布在平台内侧区域,避免植被恢复时产生秃斑现象。覆土完成后小区内空地穴播柠条,株距为 30 cm,行距为 60 cm,穴状整地规格为坑深 5 cm,半径 5 cm,断面为半圆形;其余空地混合撒播紫花苜蓿与披碱草,混播比例为 1∶1。

表 1 平台微地形改造小区布设情况

径流小区 编号	规格/ (m×m)	横向 坡度/(°)	纵向 坡度/(°)	微地形 改造方法	配制措施
1 [#]	5×5	4	9	挡水围埂+阻拦板	覆土,穴播柠条,撒播紫花苜蓿与披碱草
2 [#]	5×5	4	9	挡水围埂	覆土,穴播柠条,撒播紫花苜蓿与披碱草
3 [#]	5×5	4	9	阻拦板	覆土,穴播柠条,撒播紫花苜蓿与披碱草
4 [#] (对照)	5×5	4	9	无	覆土,穴播柠条,撒播紫花苜蓿与披碱草

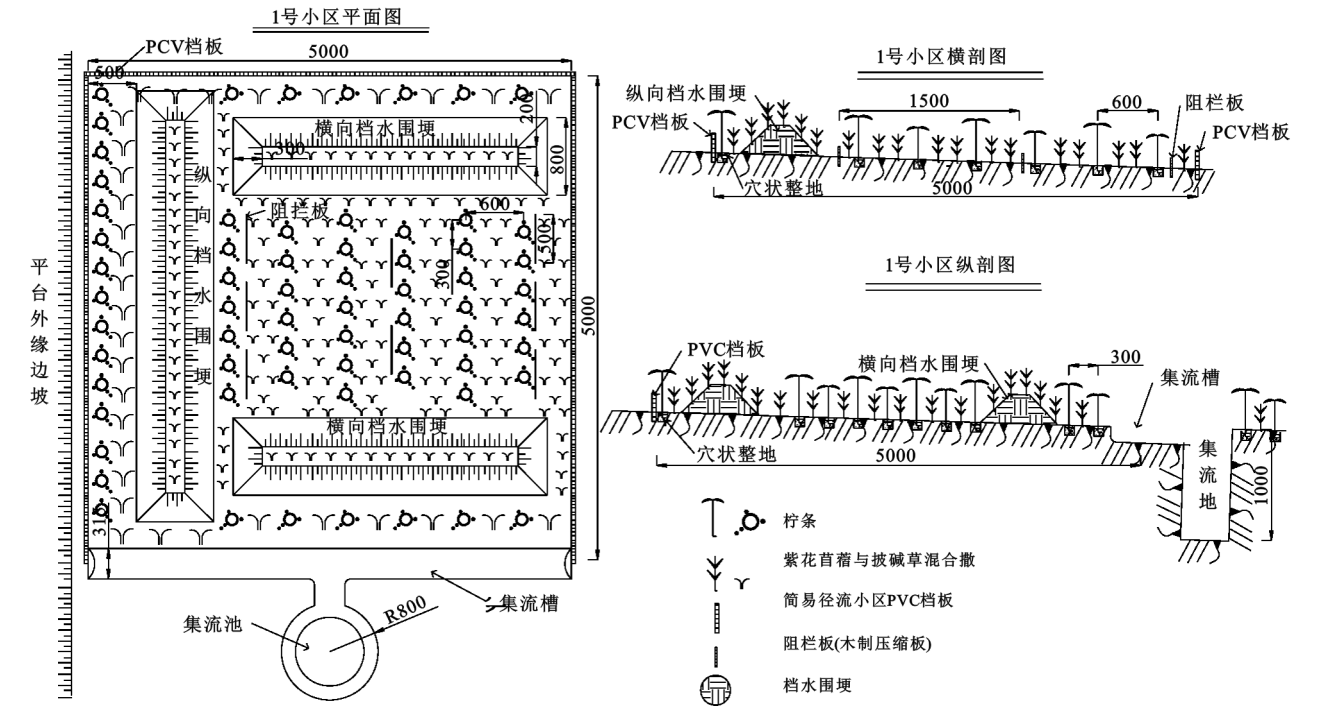
注:阻拦板为木制三合板。

2[#]小区微地形改造方法为小区内布置挡水围埂,见图 2;挡水围埂布设位置及方法同 1[#]小区;挡水围埂布置完成后,小区内空地进行覆土。覆土厚度及方法同 1[#]小区,草树种选择及种植方法同 1[#]小区。

3[#]小区微地形改造方法为小区内布置阻拦板(木制三合板),见图 3;阻拦板呈品字形布置于整个小区内;阻拦板横向间距 150 cm,纵向间距为 20 cm,纵向布设 4 行阻拦板,阻拦板规格与 1[#]小区相同。

阻拦板布设完成后,小区内空地进行覆土种草,覆土厚度、种植灌草的方式和方法与 1[#]小区相同。

4[#]小区为对照小区,见图 4,本小区不进行微地形改造,仅实施表土回覆后种植灌草的措施。这种方法是本排土场经常使用的植被恢复方法,也是周边排土场常用的覆绿方法;所以选择 4[#]小区为对照小区;覆土厚度及种植灌草的方式与 1[#]小区相同。4 个小区于 2018 年 5 月 20 日竣工。



注:图中单位为 mm,下同。

图 1 1号小区布置图

1.3 数据处理

试验监测内容包括:降雨过程观测,径流量观测,泥沙量观测及植物群落学特征调查。具体的监测方

法及频次如下:

1.3.1 降雨过程观测 气象数据获取于项目区附近的小型气象站,该气象站距试验区东北 150 m,为本单位

设立的长期小型气象观测点;站内有 2 台自记雨量筒记录逐次降雨起始时间,每 1 min 记录 1 次降雨量;试验数据均为自然降雨情况下的观测数据(表 2),本研究将发生产流的降雨称为有效降雨,2018 年有效降雨为 11 次,2019 年有效降雨为 13 次,次降雨量范围为 5.28~

43.89 mm;2 a 共发生有效降雨 24 次,其中小雨(≤ 10 mm)9 次、中雨(10.0~24.9 mm)9 次、大雨(25.0~49.9 mm)6 次。中雨和大雨占有效降雨总次数的 65%,累计降雨量占有效降雨总量的 82%,是大型露天矿排土场发生产流的主要降雨类型^[11]。

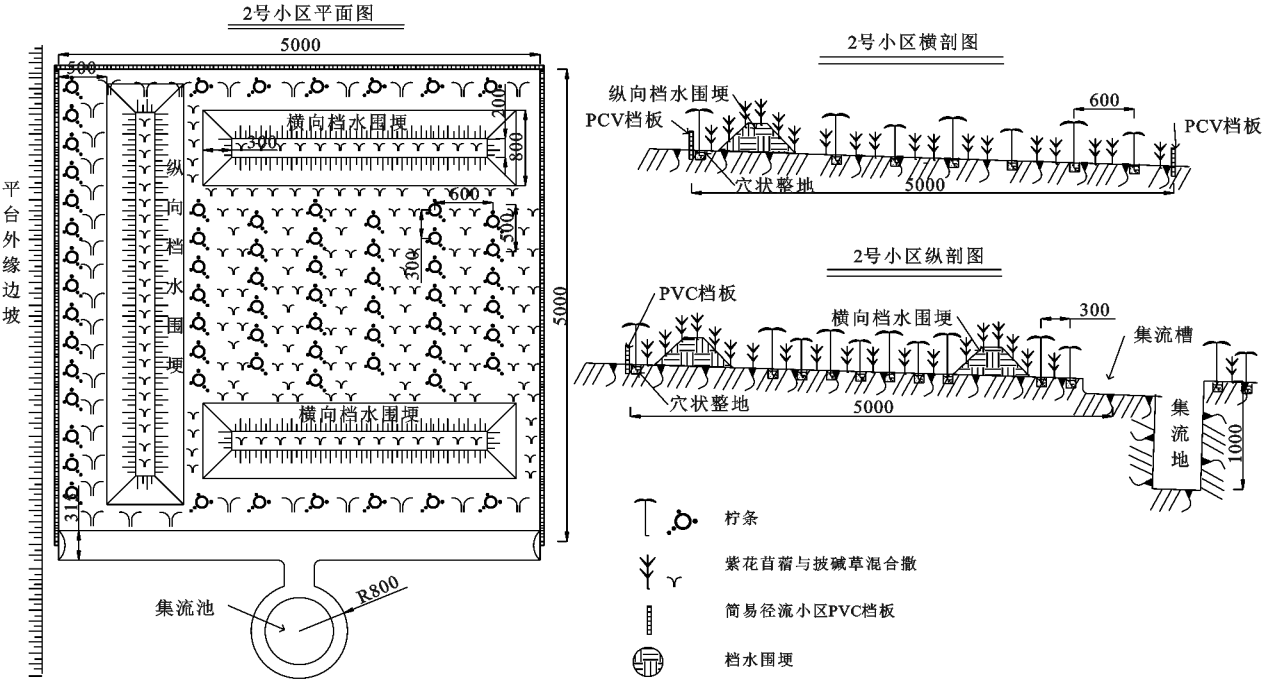


图 2 2 号小区布置图

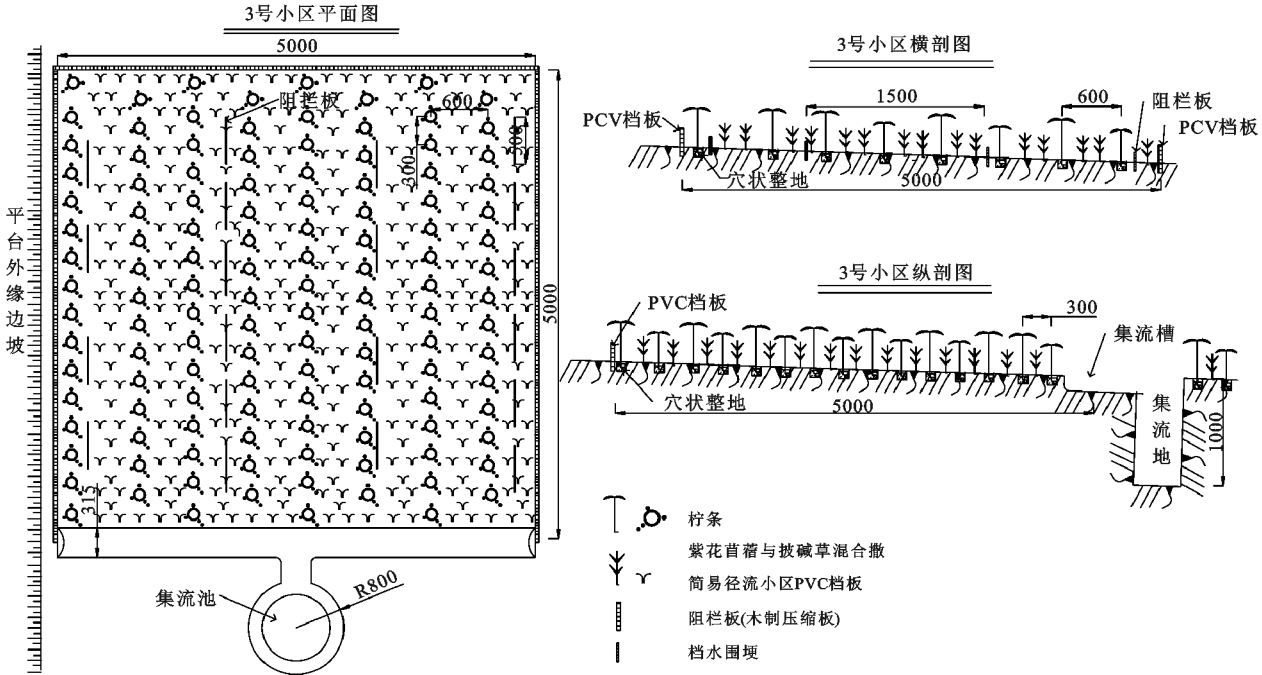


图 3 3 号小区布置图

1.3.2 削流率及减蚀率 采用径流小区监测及比重瓶法计算和统计各个小区的径流量及泥沙量,利用胜利煤矿排土场平台 4 个径流小区连续 2 a 测定的产流产沙量计算削流率及减蚀率;其测定方法和计算公式如下。

(1) 径流量观测:次降雨结束并产生径流后,使用桶内的水尺读取集流桶内水深,根据圆桶底面积计算径流总量(m^3)。由各小区的径流总量计算削流率(X)。

$$X = \frac{A_0 - B_0}{A_0} \quad (1)$$

式中: A_0 为对照小区径流量(m^3); B_0 为微地形改造小区径流量(m^3)。

(2) 泥沙量测定:径流测定结束,将池内的水和泥沙均匀搅拌,采用比重瓶法在收集池内不同部位取水样 3 个,水样体积为 500 ml,充分沉淀后滤去清水,进行烘干称重,计算水样的泥沙含量,取平均值;根据单位体

积的泥沙含量及集流池径流总量可计算出每个小区产沙总量。由产沙总量计算减蚀率(Y)。

$$Y=\frac{A_1-B_1}{A_1}$$

(2)

式中: A_1 为对照小区产沙量(kg); B_1 为微地形改造小区产沙量(kg)。

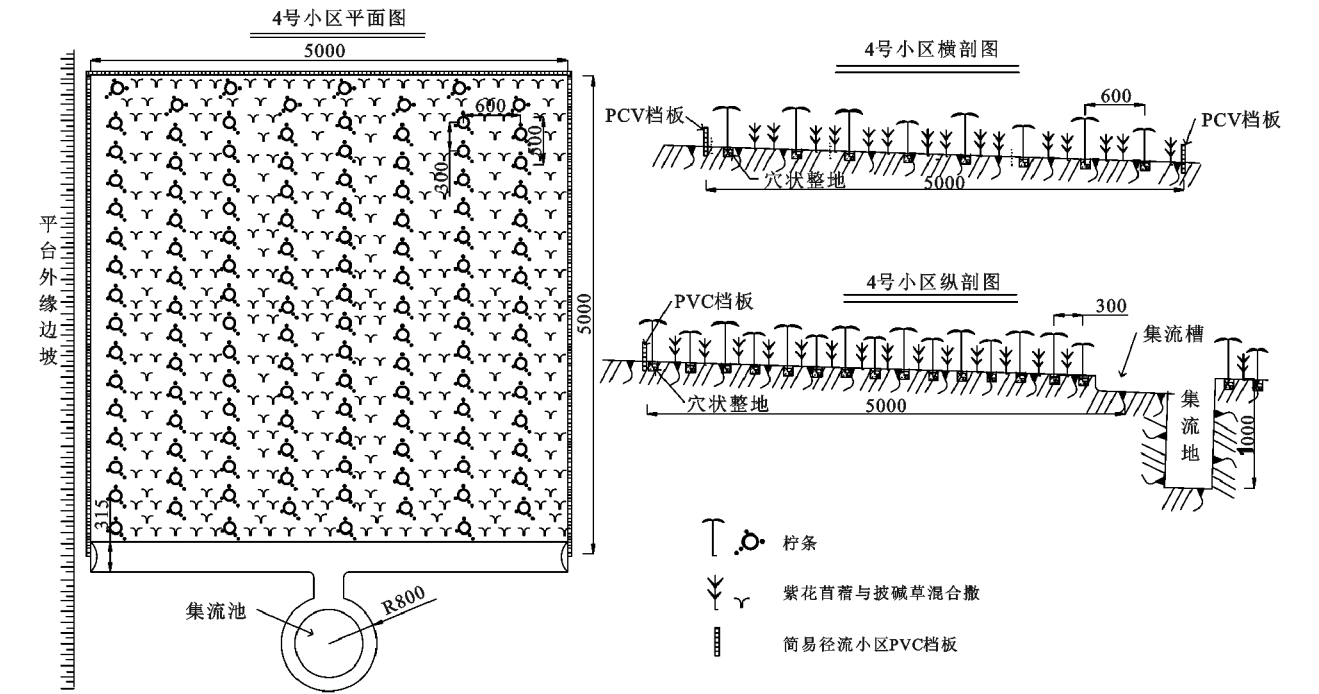


图 4 4 号小区布置图

表 2 径流小区降雨及产流情况统计

年份	全年累计 降雨量/mm	有效 降雨量/mm	次降雨强度/ (mm·min ⁻¹)	次降雨 历时/min	产流 次数/次	有效降雨类型/次		
						小雨	中雨	大雨
2018	279.2	215.05	0.01~0.27	10~745	11	3	4	4
2019	228.3	179.08	0.01~0.25	5~1114	13	6	5	2

1.3.3 生物多样性调查统计

(1) 植物群落学特征调查:2019 年 8 月中旬,分别在 4 个小区内上中下随机选取 3 个样方(1 m×1 m),测定每个样方内的各植物种个体高度、密度及盖度,同时记录样方内出现的植物种类^[19]。

(2) 物种多样性指数。物种多样性指数选用 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数及 Margalef 丰富度指数 3 类指标进行分析,计算公式如下^[19-20]:

Shannon-Wiener 多样性指数(H'): $H'=-\sum P_i \ln P_i$

(3)

Pielou 均匀度指数(J): $J=\frac{H'}{\ln S}$

(4)

Margalef 丰富度指数(R): $R=\frac{S-1}{\ln N}$

(5)

式中: P_i 为相对重要值,即 $P_i=N/N_i$, N_i 为第 i 物种的重要值; N 为调查样方内物种重要值总和; S 为

调查样方内物种数目。

重要值(I)的计算公式为: $I=R_C+R_F+R_D$ (6)

式中: R_C 为相对盖度; R_F 为相对频度; R_D 为相对密度。

所有数据处理软件为 SPSS 22.0,使用 Excel 2013 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 微地形改造方法对年径流量及泥沙量的调控分析

大型露天矿排土场压实平台与松散边坡造成了人工堆垫地貌岩土侵蚀的特殊性,布设有效的工程与植物措施调控径流,减少水蚀至关重要^[3]。因此,通过不同的微地形改造方法对胜利煤矿排土场平台进行治理,可有效调控径流及泥沙量。

通过图 5 和图 6 的分析可知,在有效降雨情况下,对照小区(4[#])的年径流量及年泥沙量均最大,4[#] 小区 2018 年径流总量及泥沙量分别为 52.43 mm 和 322.87

kg,2019年径流总量和泥沙量分别为52.35 mm和240.88 kg;对照小区2a内的径流量基本无变化,2019年较2018年仅减少了0.08 mm,但泥沙量减少了81.99 kg,这说明大型排土场压实平台易产流而不易起沙,这与杨娅

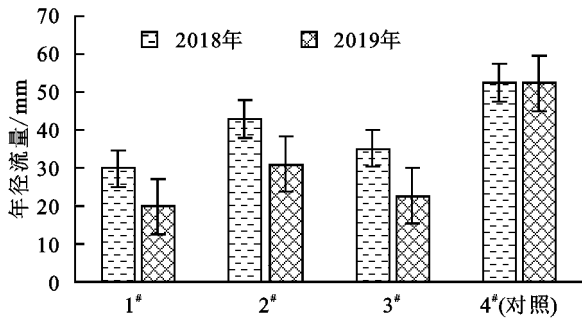


图5 不同微地形改造小区年径流量比较

1#微地形改造小区年产流及产沙量最小,随着治理年限的增加,3#小区年产流产沙量小于2#微地形改造小区,说明单独阻拦板微地形改造方法(3#)要好于实施单独挡水围埂措施的2#小区;实施微地形改造方法的小区年径流及泥沙量呈逐年减少趋势,1#,2#,3#小区2019年径流量较2018年分别减少了33%,28%,36%,泥沙量分别减少了71%,43%,45%。经过分析,第1年控制径流及泥沙量起主要作用的是微地形改造方法,随着治理年限的增加,在微地形改造方法的保护下小区植被生长较好,微地形改造与植被的综合作用发挥效果。综合年际变化分析结果,微地形改造方法对减少排土场平台水土流失起到了良好的效果,与对照小区相比,实施挡水围埂+阻拦板方法(1#)小区效果最好,次之为单独实施阻拦板小区(3#)。

2.2 微地形改造方法对削流率和减蚀率的影响

微地形改造方法对地表水文过程和土壤侵蚀过程有着十分显著的影响^[21]。由表3看出,与对照小区相比,单独实施挡水围埂方法的小区(2#)削流率及减蚀率最小,2018年分别为18.23%和55.80%,2019年分别为40.98%和66.33%;实施挡水围埂+阻拦板方法的小区(1#)削流率及减蚀率最大,2018年分别为43.05%和71.04%,2019年分别为62.03%和88.81%;次之为单独实施阻拦板方法的小区(3#),2018年分别为32.99%和64.50%,2019年分别为56.81%和74.01%;2018年和2019年削流率及减蚀率由高到低的顺序为1#>3#>2#。

组合不同的微地形改造方法,塑造了不同形态的微地形及集水区,从而对相同条件下的微景观、土壤水文和植被恢复进程产生重要影响^[22]。通过分析表明,挡水围埂+阻拦板方法的小区(1#)水沙控制效果最好,挡水围埂将小区分成较大的区块,埋入平台的阻拦板又将小区均匀分成更小区块,产流后阻拦板减缓了平台小区

双等^[3]的研究结果一致。使用微地形改造方法的小区年径流量及泥沙量均小于对照小区(4#),2018年径流量及泥沙量由大到小的顺序为4#>2#>3#>1#;2019年径流量及泥沙量由大到小的顺序为4#>2#>3#>1#。

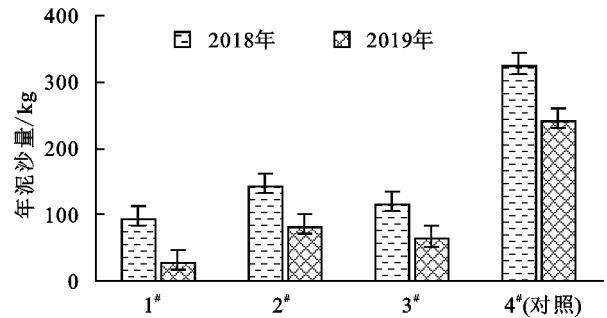


图6 不同微地形改造小区年泥沙量比较

内表层土壤的横向位移,从而减缓径流对表土的冲刷;挡水围埂阻拦了小区内纵向及横向径流和泥沙,双重作用下1#小区的水沙调控效果最好。3#小区虽然使用埋入平台的阻拦板划分了小区块,减缓或阻止了平台横向的水沙运输,但没有拦蓄纵向的产流,使得集流桶内的径流和泥沙量增加。2#小区仅使用挡土围埂对平台内的表层覆土进行了围挡,产流后对挡水围埂内部的水沙运移未进行调控,使其在3个微地形改造小区中水沙调控效果最差。

2.3 不同雨强下微地形改造方法的产流产沙量分析

本研究中小雨强的径流量和泥沙量是每年有效降雨中小雨强的径流总量和泥沙总量各自取平均值^[6],中雨强及大雨强的径流量和泥沙量计算方法与小雨强相同。

本文将2018年和2019年共24场有效降雨分为3种雨强类型:大雨强、中雨强及小雨强;以便准确评价微地形改造方法对大型排土场平台次降雨条件下水沙调控效果。由图7和图8可以看出,从平台产流产沙情况来看,所有的24场有效降雨中,实施微地形改造方法的3个小区产流产沙量均小于对照小区(4#),说明排土场平台微地形改造方法对各类型的降雨均有好的调控效果。

由图7可知,小雨强下对照小区的年径流量最大,为2.07 mm;挡水围埂+阻拦板微地形改造方法小区(1#)2a的径流总量分别为0.57 mm和1.85 mm,比对照小区(4#)减少了72.6%和10.48%;单独实施阻拦板的微地形改造方法的小区(3#)2a的径流总量比对照小区分别减少了51.64%和65.58%;2#小区2a的径流总量比对照小区分别减少了16.51%和50.91%。中雨强时,挡水围埂+阻拦板微地形改造方法小区(1#)2a的径流总量分别比对照小区(4#)减少了54.36%和62.97%,其他2个微地形改造方法的小区为24.10%~70.04%。大雨强时,挡水围埂+阻拦板微地形改造方法

小区(1[#])2 a 的径流总量分别比对照小区(4[#])减少了 35.98%和 52.57%,其他 2 个微地形改造方法的小区为 15.21%~41.46%。通过分析可知,除 1[#] 小区外,其他两个微地形改造小区对小雨强的调节效果最好;与对照相比,挡水围埂+阻拦板微地形改造方法

(1[#])小区 2018 年调控径流效果要好于其他 2 个微地形改造小区;随着治理年限的增加,1[#] 小区对大雨强的径流调控效果要好于其他小区。说明大雨强条件下,组合不同的微地形改造方法的拦水蓄水效果要好于其他单一的微地形改造方法。

表 3 径流小区产流产沙及调控效果统计

径流小区	2018 年				2019 年			
	年径	年泥	调控效果		年径	年泥	调控效果	
	流量/mm	沙量/kg	削流率/%	减蚀率/%	流量/mm	沙量/kg	削流率/%	减蚀率/%
1 [#]	29.86	93.5	43.05	71.04	19.88	26.96	62.03	88.81
2 [#]	42.87	142.72	18.23	55.8	30.9	81.1	40.98	66.33
3 [#]	35.13	114.62	32.99	64.5	22.61	62.6	56.81	74.01
4 [#] (对照)	52.43	322.87	—	—	52.35	240.88	—	—

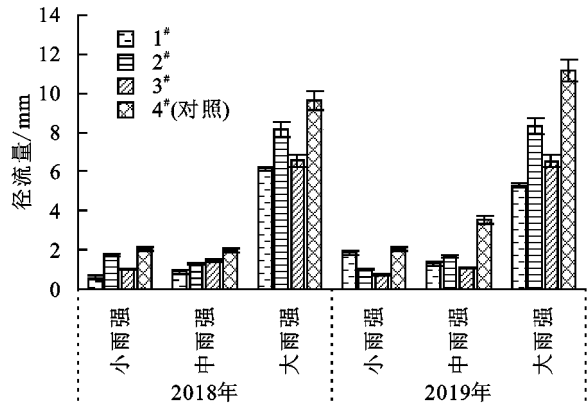


图 7 不同微地形改造小区雨强径流比较

由图 8 可知,小雨强下对照小区(4[#])的泥沙量最大,为 4.45 kg;挡水围埂+阻拦板微地形改造方法小区(1[#])2 a 的泥沙总量分别为 0.43 kg 和 1.40 kg,比对照小区(4[#])减少了 90.40%和 66.80%;单独实施阻拦板的微地形改造方法的小区(3[#])2 a 的泥沙总量比对照小区分别减少了 45.35%和 75.31%;2[#] 小区 2 a 的泥沙总量比对照小区分别减少了 16.12%和 63.38%。中雨强时,挡水围埂+阻拦板微地形改造方法小区(1[#])2 a 的泥沙总量分别比对照小区(4[#])减少了 68.52%和 86.71%,其他 2 个微地形改造方法的小区为 59.61%~73.77%。大雨强时,挡水围埂+阻拦板微地形改造方法小区(1[#])2 a 的泥沙总量分别比对照小区(4[#])减少了 70.71%和 89.59%,其他 2 个微地形改造方法的小区为 56.88%~73.99%。通过分析可知,在小、中、大雨强时,实施微地形改造方法的 3 个小区泥沙量逐年减少;与对照相比,挡水围埂+阻拦板微地形改造方法(1[#])小区 2018 年在小雨强下调控泥沙效果要好于其他 2 个微地形改造小区;随着治理年限的增加,1[#] 小区对中、大雨强的泥沙调控效果要好于其他小区。说明中、大雨强条件下,组合不同的微地形改造方法的保土拦沙效果要好于其他单一的微地形改造方法。

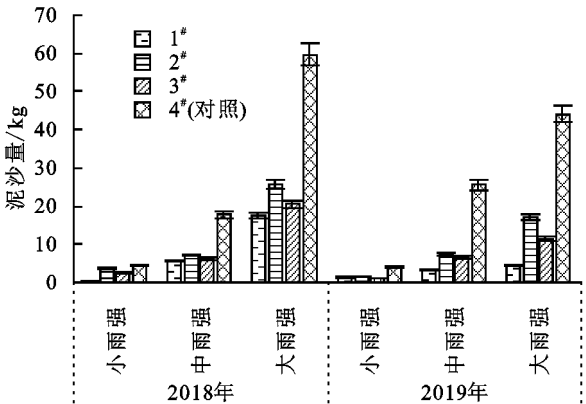


图 8 不同微地形改造小区雨强泥沙比较

2.4 微地形改造方法对植物群落多样性的影响

科学布设不同的微地形改造方法能充分发挥植被的恢复效果^[17],进一步研究表明,微地形改造方法在植被恢复状况与对应的生态功能、水文特征和生物多样性方面都有非常紧密的联系^[22]。据此,本研究于 2019 年 8 月中旬,对 3 个微地形改造小区及对照小区进行了植物群落学特征调查,供试的 4 个小区共出现 15 种植物,分属 5 科 14 属;植物种类及植物重要值(P_i)见表 4,物种多样性指数计算结果见表 5。

物种多样性是生境中物种丰富度及分布均匀性的一个综合数量指标,可较好地反映群落的结构^[23]。由表 5 看出,实施微地形改方法的 3 个小区物种个数、多样性指数(H')、均匀度指数(J)和丰富度指数均高于对照小区(4[#])。3 个微地形改造小区多样性指数最高的为挡水围埂+阻拦板的小区(1[#]),值为 2.35;其次为仅实施阻拦板的微地形改造小区(3[#]),值为 2.26;再次之为仅实施挡水围埂的微地形改造小区(2[#])。群落均匀度指数反映的是群落植物分布的均匀程度,3 个微地形改造小区均匀度指数最高的为 1[#] 小区,值为 0.87;其次为 3[#],2[#],其值分别为 0.83,0.80。物种丰富度指数表明群落物种丰富程度,3 个微地形改造小区丰富度指数最高的为 1[#] 小区,值为 1.94;其次为 3[#],2[#],其值分别为 1.90,1.78。

Shannon-Wiener 多样性指数能客观反映植物群落内物种组成的变化情况,兼顾了物种丰富度和均匀度的不足,更能反映不同群落的多样性,因此,实施微地形改造方法的 1[#]小区内植物群落表现出较高的物种多样性。

表 4 不同小区出现植物重要值 P_i

编号	植物种	所属科、属	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#] (对照)
1	柠条 <i>Caragana Korshinskii</i>	豆科锦鸡儿属	116.4	90.2	60.1	31.7
2	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	豆科胡枝子属	29.5	78.4	10.5	10.5
3	披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	禾本科披碱草属	186.7	115.7	224.1	122.5
4	狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>	禾本科狼尾草属	22.4	10.6	30	18.6
5	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	豆科苜蓿属	141.7	205.2	142.7	50.1
6	蒙古虫实 <i>Corispermum mongolicum</i>	苋科虫实属	30.5	32.6	80.6	15.1
7	碱韭 <i>Allium polyrhizum</i>	百合科葱属	28.7	21.2	34.5	10.2
8	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	禾本科画眉草属	10.4	16.8	21.6	13.2
9	刺藜 <i>Chenopodium aristatum</i>	藜科藜属	43.5	34.9	14.2	5.2
10	猪毛菜 <i>salsola collina</i>	藜科猪毛菜属	50.2	31.7	25.1	7.6
11	黍子 <i>Panicum miliaceum</i>	禾本科黍属	15.3	5.7	50.1	2.3
12	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	禾本科狗尾草属	33.4	10.5	10.5	15.1
13	尖头叶藜 <i>Chenopodium acuminatum</i>	苋科藜属	10.02	5.3	30.2	3.5
14	野苋菜 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苋科苋属	60.2	8.9	30.2	—
15	雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	苋科雾冰藜属	30.2	—	10.3	—

注:—代表调查样方内未出现该植物。

表 5 不同小区群落多样性、均匀度及丰富度指数比较

小区	物种 个数/个	多样性 指数(H)	均匀度 指数(J)	丰富度 指数(R)
1 [#]	15	2.35±0.82	0.87±0.15	1.94±0.44
2 [#]	14	2.10±0.79	0.80±0.13	1.78±0.54
3 [#]	15	2.26±0.76	0.83±0.24	1.90±0.47
4 [#] (对照)	13	1.98±0.75	0.77±0.13	1.66±0.35

1[#]小区实施了挡水围埂+阻拦板的方法,组合的微地形改造方法拦蓄了平台内横向及纵向的径流,减缓径流流速,增加了地表入渗;且埋入平台内部的阻拦板防治了表土与平台压实面分离,这些都可能为植物生长提供安全稳定的环境,有利于植被恢复,所以 1[#]小区植物群落多样性指数、均匀度指数和丰富度指数最高;3[#]小区仅实施阻拦板的微地形改造方法,细化小区内部空间,保证初始阶段植物种分布的均匀性;虽然防治了表土与平台压实面分离,但是调查发现其纵向冲刷高于 1[#]小区,这可能是其多样性指数低于 1[#]小区原因。2[#]小区仅实施挡水围埂的微地形改造方法,对小区内调查发现,挡水围埂内部空地有 0.01 m²~0.09 m²面积不等的秃斑;物种数量少,有秃斑现象产生,故 2[#]小区生物多样性低于 3[#]小区。4[#]小区仅实施了覆土种植的方法,对平台内的横纵向径流未实施调控,平台压实面与表土分离,平台压实面开始裸露;小区内出现 0.16 m²~0.36 m²面积不等的“秃斑”,物种数量更少,秃斑面积较大,故 4[#]小区植物群落多样性最低。结合 2 a 的调查表明,2018 年各供试小区植物种类组成单一,主要为人工种植初期成活的植物种,无层次分化,仅为单层结构;2019 年,除对照小区外,其他 3

个微地形改造的小区物种种类都有增加,层次开始分化,微地形改造措施能充分发挥植被的恢复效果。

3 讨论

3.1 微地形改造方法对平台产流产沙的响应

本研究实施微地形改造方法的小区年径流及泥沙量呈逐年减少趋势,2019 年最高削流率为 62.03%,最大减蚀率为 88.81%,说明微地形改造方法的应用遏制了排土场平台水土流失,这与李斯佳、秦朝亮等研究结果一致;与对照小区相比,3 种雨强下,产流产沙量最少的是挡水围埂+阻拦板的微地形改造小区(1[#]),调控年径流及泥沙量效果也是 1[#]小区最好,说明组合微地形方法能够达到最好的蓄水拦沙效果;这与杨娅双^[3]、田飞^[24]等研究结果一致。本研究创新了微地改造材料和微地形组合方法,取得了较好的保土蓄水效果;但是,本研究仅进行了为期 2 a 的微地形改造方法水沙调控效果观测,缺乏长期的水土保持作用研究,今后要加强微地形重塑后排土场平台保土蓄水效果的量化研究;与对照相比,3[#]小区的削流率比 2[#]小区高 14.76%~15.83%,3[#]小区的减蚀率比 2[#]小区高 7.68%~8.70%;本文分析的原因是现场调查侵蚀状况得出的,未对其水文过程及土壤侵蚀过程进行研究;针对 3 个实施微地形改造方法的小区控制水土流失机理还有待明确。

3.2 微地形改造方法对生物多样性的响应

实施微地形改方法可为植被恢复、生物多样性创造条件^[25],本研究通过植物群落学特征调查,与对照小区相比,实施挡水围埂+阻拦板措施的小区(1[#])

物种数量最多(15种),Shannon-Wiener 多样性指数最高、均匀度指数和丰富度指数最高,分别为 2.35, 0.87, 1.94;实施微地形改造方法的 3 个小区的多样性指数均高于对照小区(4[#]),说明单一或组合的微地形改造方法在排土场平台塑造出不同的微生境,为物种的生殖繁衍创造条件,这与杨娅双^[3]、卫伟^[17]等研究结果一致。在植被恢复方面,本研究创新了微地形组合方法与生物多样性的紧密联系,取得了一定的效果;但是,本研究仅在 2019 年 8 月中旬植物生长旺盛期进行了群落学特征调查,未明确微地形改造是否促进植物群落的正向演替。本研究中,多样性指数、均匀度指数和丰富度指数由高到低的顺序为 1[#]>3[#]>2[#]>4[#];这个结果是基于植物群落学特征调查得出的,单一或组合的微地形改造方法对植物群落动态变化有待研究。

4 结论

利用径流小区观测设施,研究了单一或组合的微地形改造方法对大型排土场平台产流、产沙及生物多样性的影响,为突破大型排土场平台治理短板,提供方法支撑和生产实践方面的借鉴,初步得出以下结论:

(1) 大型排土场平台单一或组合的微地形改造措施的水沙调控效果均好于单一覆土种植措施。

(2) 实施微地形改造方法在小雨强下,减流减沙效果最好,在大雨或极端降雨条件下调控效果略差;组合微地形改造加植物措施的防护效果最优。

(3) 实施微地形改造措施后生物多样性指数均高于单一覆土种植措施;组合微地形改造加植物措施防治了大型排土场平台覆土层滑动和分离,为植物生长创造了安全稳定的微环境。

参考文献:

- [1] 于昊辰,牟守国,王小予,等.大柳塔煤矿区植被恢复适度人工干预与调控研究[J].生态与农村环境学报,2018,34(8):692-699.
- [2] 房焕英,谢颂华,黄鹏飞,等.江西省生产建设项目弃土弃渣土壤侵蚀定量研究[J].水土保持通报,2019,39(2):131-143.
- [3] 杨娅双,王金满,万德鹏.人工堆垫地貌微地形改造及其水土保持效果研究进展[J].生态学杂志,2018,37(2):569-579.
- [4] 李玉亭婷,高照良,李永红,等.坡长对黄土区工程堆积体产流产沙影响的模拟试验研究[J].水土保持通报,2019,39(4):102-106.
- [5] 吕文星,高亚军,徐十锋,等.多沙粗沙区露天煤矿水土保持生态效应的监测评价[J].水土保持通报,2019,39(3):101-107,118.
- [6] 郭建英,何京丽,李锦荣,等.典型草原大型露天煤矿排土场边坡水蚀控制效果[J].农业工程学报,2015,31(3):296-303.
- [7] 严友进,戴全厚,伏文兵,等.下垫面变化对喀斯特坡地地下产流产沙的影响[J].水土保持学报,2018,32(1):67-73,79.
- [8] 俞慎,许敬华.南方红壤区崩岗侵蚀治理综合效益评价[J].福建农林大学学报:自然科学版,2016,45(4):361-370.
- [9] Zhang Ling, Wang Jinman, Bai Zhongke, et al. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area[J]. Catena, 2015,128:44-53.
- [10] 孔令伟,薛春晓,苏凤,等.不同建植技术对露天煤矿排土场生态修复效果的影响及评价[J].水土保持研究,2017,24(1):187-193.
- [11] 珊丹,何京丽,刘艳萍,等.草原矿区排土场恢复重建人工植被变化[J].生态科学,2017,36(2):57-62.
- [12] 韩煜,赵伟,张洪翔,等.不同植被恢复模式下矿山废弃地的恢复效果研究[J].水土保持研究,2018,25(1):120-125.
- [13] Darboux F, Huang C. Does soil surface roughness increase or decrease water and particle transfers[J]. Soil Science Society of America Journal, 2005,69(3):748-756.
- [14] Go'mez J A, Nearing M A. Runoff and sediment losses from rough and smooth soil surfaces in a laboratory experiment[J]. Catena, 2005,59(3):253-266.
- [15] 郑子成,何淑勤,吴发启.降雨条件下地表糙度对片蚀的影响及其变化[J].农业工程学报,2010,26(13):139-145.
- [16] 林艺,秦凤,郑子成,等.不同降雨条件下垄作坡面地表微地形及土壤侵蚀变化特征[J].中国水土保持科学,2015,13(3):36-42.
- [17] 卫伟,余韵,贾福岩,等.微地形改造的生态环境效应研究进展[J].生态学报,2013,30(20):6462-6469.
- [18] 李斯佳,王金满,万德鹏,等.采煤沉陷地微地形改造及其应用研究进展[J].生态学杂志,2018,37(6):1612-1619.
- [19] 章家恩.生态学常用试验研究方法与技术[M].北京:化学工业出版社,2007,90-93.
- [20] 戈峰.现代生态学[M].北京:科学出版社,2002,70-87.
- [21] Keith E G, Brian C M. Microtopography influences early successional plant communities on experimental coal surface mine land reclamation[J]. Restoration Ecology, 2014,22(2):232-239.
- [22] Courtwright J, Findlay S G. Effects of microtopography on hydrology, physicochemistry, and vegetation in a tidal swamp of the Hudson River[J]. Wetlands, 2011,31(2):239-249.
- [23] 常学向,赵文智,赵爱芬.祁连山区不同海拔草地群落的物种多样性[J].应用生态学报,2004,15(9):1599-1603.
- [24] 田飞,谢永生,陈磊,等.薄土坡耕地石坎反坡水平阶水沙调控效果[J].干旱地区农业研究,2015,33(6):247-253.
- [25] 黄元仿,张世文,张立平,等.露天煤矿土地复垦生物多样性保护与恢复研究进展[J].农业机械学报,2015,46(8):72-82.