

微地形改造对天山南麓寒旱矿区土壤水分动态的影响

鲁元波^{1,2,4}, 严成^{1,2}, 宋春武^{1,3}, 李雅娟⁵, 来赫云⁵, 朱家龙^{1,2,4}

(1.中国科学院新疆生态与地理研究所 国家荒漠—绿洲生态建设工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2.中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3.中国科学院新疆生态与地理研究所莫索湾沙漠研究站, 新疆 石河子 832000; 4.中国科学院大学, 北京 100049; 5.新疆拜城润华煤业有限公司, 新疆 拜城 842300)

摘要: [目的] 明确微地形改造对(0—50 cm)土壤水分时空动态影响的变化规律, 为天山南麓寒旱矿区的土地复垦及生态系统重建提供科学依据和理论支撑。[方法] 以拜城润华煤矿区覆土平台和边坡改造后的微地形为试验对象, 监测了2022年5—11月的土壤水分, 并进行对比试验分析。[结果] 平台集水坡面和蓄水沟改造土壤含水率分别比对照提高了37.03%和25.85%, 提升效果表现为: 集水坡面>蓄水沟; 蓄水沟和集水坡面改造方式提高了土壤水分的时间稳定性, 其作用效果表现为: 蓄水沟>集水坡面。边坡反坡梯田和鱼鳞坑改造土壤含水率分别提高了6.48%和13.22%, 提升效果表现为: 鱼鳞坑>反坡梯田; 鱼鳞坑改造方式提高了土壤水分的时间稳定性, 反坡梯田改造方式降低了土壤水分的时间稳定性。[结论] 在平台和边坡2种地形条件下, 集水坡面改造更有利于受损矿区平台生态治理, 鱼鳞坑改造更有利于受损矿区边坡生态治理。

关键词: 微地形改造; 土壤水分; 土地复垦; 天山; 寒旱矿区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)06-0126-07

中图分类号: S281

文献参数: 鲁元波, 严成, 宋春武, 等. 微地形改造对天山南麓寒旱矿区土壤水分动态的影响[J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 126-132. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.06.016; Lu Yuanbo, Yan Cheng, Song Chunwu, et al. Effects of micro-topography modification on soil moisture dynamics in cold and arid mining areas of southern piedmont of Tianshan Mountain [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 126-132.

Effects of Micro-topography Modification on Soil Moisture Dynamics in Cold and Arid Mining Areas of Southern Piedmont of Tianshan Mountain

Lu Yuanbo^{1,2,4}, Yan Cheng^{1,2}, Song Chunwu^{1,3}, Li Yajuan⁵, Lai Chengyun⁵, Zhu Jialong^{1,2,4}

(1. National Engineering Research Center for Desert-Oasis Ecological Construction,

Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences,

Urumqi, Xinjiang 830011, China; 3. Mosuo Bay Desert Research Station, Xinjiang Institute of Ecology and

Geography, Chinese Academy of Sciences, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 5. Xinjiang Baicheng Runhua Coal Industry Co., Ltd., Baicheng, Xinjiang 842300, China)

Abstract: [Objective] The effects of spatial and temporal dynamics of soil moisture on micro-topography modification (0—50 cm) were determined in order to provide a scientific basis and theoretical support for land reclamation and ecosystem reconstruction in cold and arid mining areas of the southern piedmont of Tianshan Mountain. [Methods] The study was conducted in the coal-mining area of Baicheng Runhua. Micro-topography changes to the overburden platform and slope of reclaimed mine land were evaluated. Soil moisture content was monitored from May to November 2022 for comparative experimental analysis. [Results] The soil moisture content of the platform storage ditch and the catchment slope transformation increased 37.03% and 25.85% respectively, and the relative enhancement effect was shown to be catchment slope > storage ditch. The water storage ditch and the catchment slope modification methods improved the

收稿日期: 2023-01-16

修回日期: 2023-05-14

资助项目: 企业委托项目“拜城润华煤矿无(低)灌溉植被生态修复关键技术研发集成与试验示范”

第一作者: 鲁元波(1996—), 男(汉族), 江西省上饶市人, 硕士研究生, 研究方向为受损矿区生态修复。Email: luyuanbo2020@mailsucas.ac.cn.

通信作者: 严成(1965—), 男(汉族), 山东省威海市人, 本科, 研究员, 硕士生导师, 主要从事干旱区受损环境生物修复。Email: yancheng@ms.xjb.ac.cn.

temporal stability of soil moisture, and their relative effects were found to be water storage ditch > catchment slope. The soil moisture contents of the side slope reverse-slope terraces and the fish-scale pit transformation increased by 6.48% and 13.22%, respectively, and the relative enhancement effect was shown to be fish-scale pit > reverse-slope terrace. The fish-scale pit transformation method improved the temporal stability of soil moisture, and the reverse-slope terrace transformation method reduced the temporal stability of soil moisture. [Conclusion] Under the two topographical conditions of platform and side slope, the transformation of the catchment slope was more conducive to the ecological management of the damaged mine platform, and the transformation of the fish-scale pit was more conducive to the ecological management of the damaged mine slope.

Keywords: micro-topography modification; soil moisture content; land reclamation; Tianshan Mountain; cold and arid mining areas

天山南麓地处中国西北干旱区,属典型干旱大陆性气候,是著名的矿产富聚区,矿产资源种类多样且储量丰富^[1-3]。长期以来,矿产资源大规模的开发导致草地退化、林地减少,土地荒漠化加剧^[4-5],严重破坏了生态环境健康和生态功能^[6],制约了当地社会经济的可持续发展,受损矿区生态系统修复已迫在眉睫。植被恢复是受损生态系统修复的有效途径^[7],但植被恢复与气候、地貌、水文、土壤等生态环境因子密切相关^[8],而在干旱区,土壤水分是影响植物生长的主要限制因子^[9],因此研究土壤水分特征对于干旱区受损矿区生态系统的修复具有重要意义。微地形改造是指根据实际要求人工对地表下垫面进行二次改造和整理,形成集水单元^[10-11],其能够有效减少地表径流和土壤侵蚀,控制水土流失,起到合理利用水土资源的作用^[12-13]。杨更强等^[13]对克拉玛依黏土地梭梭工程造林技术研究发现,通过工程集水沟和双坡面集水沟地形改造能够有效改善土壤水分环境,提高梭梭造林的存活率;宋春武和朱家龙等^[14-15]对龟裂土和灰漠土免灌人工梭梭林生长复壮研究表明,通过集水沟改造能够形成微域径流,有效改善退化人工梭梭林生长状况,复壮无灌溉退化人工梭梭林,然而这些研究主要集中在干旱区工程造林方面,而关于寒旱矿区微地形改造对土壤水分的影响研究较少,且针对微地形改造对土壤水分影响规律的研究不够深入。

拜城润华煤矿位于新疆拜城县北偏东方向直线距离约45 km处,受开采活动的影响,该区域环境破坏严重,亟需进行生态修复。库车—拜城—温宿县一带是天山南坡著名的聚煤中心,煤炭资源丰富^[16]。该区域年均气温介于6.9℃~7.6℃之间,年均降雨量及土壤质地相似^[17-19],气候和土壤环境条件大致相同。因此,本研究以拜城润华煤矿区为研究对象,采取不同微地形改造措施,探究不同微地形下土壤水分动态变化规律,以期为天山南麓寒旱矿区受损生态系统的重建提供科学依据和理论支撑。

1 试验地概况

研究区布设于天山南坡中部的润华煤矿煤矸石排土场(81°57'54"E,42°5'40"N),平均海拔高度约为2 150 m,属温带大陆性干旱型气候。年平均气温约7.6℃,极端最高气温38.3℃,极端最低气温-28℃;无霜期133~163 d,年均日照系数为2 789 h,年均降水量约148.2 mm,降水主要集中在6—8月,占年降水量的60%~70%,水资源时空分布极其不均匀^[20]。试验区土壤以棕钙土为主。土壤砂粒含量较高,基质粗糙,多为砂砾质和砾石质,保水性能较差^[21-22]。山前低位阶地植被分布以吐鲁番锦鸡儿(*Caragana turfanensis*)为灌木层建群种,伴生植物有驼绒藜(*Ceratoides latens*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)等;草本层主要以羊茅(*Festuca ovina*)和冷蒿(*Artemisia frigida*)为建群种,伴生有委陵菜(*Potentilla chinensis*)、沙葱(*Allium mongolicum*)等等^[23]。

试验期间(2022年4—10月)通过雨量筒测定拜城县润华煤矿区降雨量(图1)。月际分布特征呈现单峰型,8月降雨量最大,达86.7 mm,10月降雨量最小,仅3.6 mm。与往年降雨特征相比,试验期间降雨量较高于往年平均降雨量,降雨动态趋势基本一致,主要集中的6—8月,不存在突发性或极端天气。

2 材料与方法

2.1 试验设计

为探究微地形改造对大气降雨在土壤中分布格局的影响,于2022年4—10月进行试验研究。试验布设于煤矸石山排土场已覆土平台和边坡,覆土厚度为60 cm,边坡坡度为35°。覆盖材料为就近取得的山前砂砾岩土,砂砾岩土壤渗透性强,保水性差,土壤偏碱性,缺乏有机质(表1)。平台覆土土壤粒径 $r \geq 2$ mm土壤粒径比例为33.70%, 2 mm $\geq r \geq 1$ mm土

壤粒径比例为 28.00%, $1\text{ mm} \geq r$ 土壤粒径比例为 39.30%; 边坡覆土 $r \geq 2\text{ mm}$ 土壤粒径比例为 33.06%, $2\text{ mm} \geq r \geq 1\text{ mm}$ 土壤粒径比例为 24.06%, $1\text{ mm} \geq r$ 土壤粒径比例为 42.88%(表 2)。平台采取集水坡面和蓄水沟 2 种微地形改造措施, 蓄水沟规格为: 沟宽 60 cm, 沟深 20 cm; 集水坡面规格为: 沟深 60 cm, 下口宽 50 cm, 上口宽为 3 m, 两边坡度约为 25°。边坡采取反坡梯田和鱼鳞坑 2 种微地形改造措施, 反坡梯田规格为: 反坡面宽度约 30 cm, 反坡面与水平线呈 7°~8°夹角, 上下反坡梯田间隔 5 m; 鱼鳞坑规格为: 鱼鳞坑长径 120 cm, 短径 80 cm, 鱼鳞坑上下行呈品字形排列, 上下间隔为 2 m。

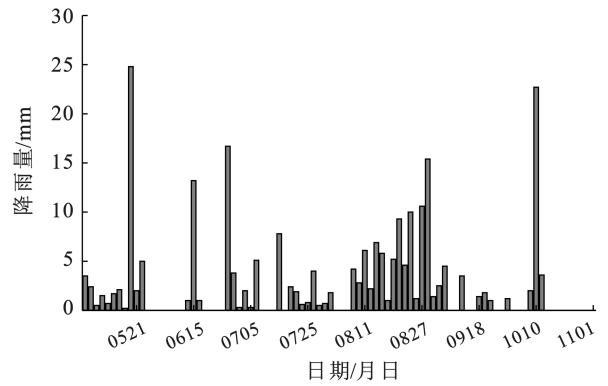


图 1 试验区 2022 年 4—10 月降雨特征

Fig.1 Rainfall characteristics of test area from April to October 2022

表 1 平台覆土的理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of overburden platform

取样点	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH 值 (1:2.5)	总盐/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	粒径组成/%			
				粒径 ($r \geq 5\text{ mm}$)	粒径 ($5\text{ mm} \geq r \geq 2\text{ mm}$)	粒径 ($2\text{ mm} \geq r \geq 1\text{ mm}$)	粒径 ($1\text{ mm} \geq r$)
样点 1	8.98	8.72	4	10.15	17.24	32.11	40.50
样点 2	6.19	8.73	3.46	15.74	17.06	26.98	40.23
样点 3	3.23	8.67	2.33	20.98	16.93	24.92	37.18
平均值	6.13	8.71	3.26	15.62	17.08	28.00	39.30

表 2 边坡覆土的理化性质

Table 2 Soil physical and chemical properties of overburden slope

取样点	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH 值 (1:2.5)	总盐/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	粒径组成/%			
				粒径 ($r \geq 5\text{ mm}$)	粒径 ($5\text{ mm} \geq r \geq 2\text{ mm}$)	粒径 ($2\text{ mm} \geq r \geq 1\text{ mm}$)	粒径 ($1\text{ mm} \geq r$)
样点 1	9.56	8.43	3.91	10.91	13.20	19.69	56.20
样点 2	8.07	8.86	1.93	15.52	17.80	27.33	39.35
样点 3	9.27	8.52	3.22	24.69	17.07	25.15	33.08
平均值	8.97	8.60	3.02	17.04	16.02	24.06	42.88

2.2 指标测定

试验期间, 每隔 20 d 左右在每种地形条件下随机选择取样点, 通过打土钻的方式对试验区不同微地形改造不同土层深度(0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—50 cm) 土壤进行采集, 每层土样 3 次重复, 每次共取 90 个土样, 通过烘干法测定土壤水分。

2.3 数据处理

先通过 Excel 2013 对数据进行预处理, 通过 SPSS 26.0 进行数据分析, 用单因素方差分析、变异系数和 Spearman 秩相关系数法进行分析, 采用 Origin 2021 进行绘图。方差分析主要用于研究不同微地形改造下土壤水分的显著性, 变异系数(C_v)表示土壤水分的变异性, 当变异系数 $C_v < 0.1$ 时, 土壤水分为弱变异性; 当 $0.1 < C_v < 1$ 时, 土壤水分为中等变异性;

当 $C_v > 1$ 时, 土壤水分为强变异性^[24-25]。变异系数计算公式为:

$$C_v = SD/MN \quad (1)$$

式中: SD 为数据标准差; MN 为土壤含水率平均值; C_v 为变异系数。

3 结果与分析

3.1 不同微地形改造下平台土壤水分时间动态研究

不同微地形改造下土壤水分(0—50 cm) 动态变化如图 2 所示。试验期间平台对照各土层平均含水率介于 2.69%~6.21%, 各土层土壤含水率随降雨呈现波动变化, 波动趋势基本一致, 波动幅度和频度均较大; 蓄水沟改造各土层平均含水率介于 3.56%~10.82%, 各土层土壤含水率随降雨波动趋势基本一致, 呈单峰型变化, 峰值出现在 8 月末, 表明在蓄水沟

改造下,土壤含水率的增长需要多次降雨的积累;集水坡面改造土层平均含水率介于 4.77%~8.42%,0—40 cm 土层土壤含水率随降雨呈现波动变化,波动趋势基本一致,40—50 cm 土层土壤含水率在 8 月

初变化趋势与其他土层相反。整体上,各土层平均土壤含水率表现为集水坡面(6.02%)>蓄水沟(5.51%)>对照(4.38%),土壤水分在降雨影响下稳定性由高到低为:蓄水沟>集水坡面>对照。

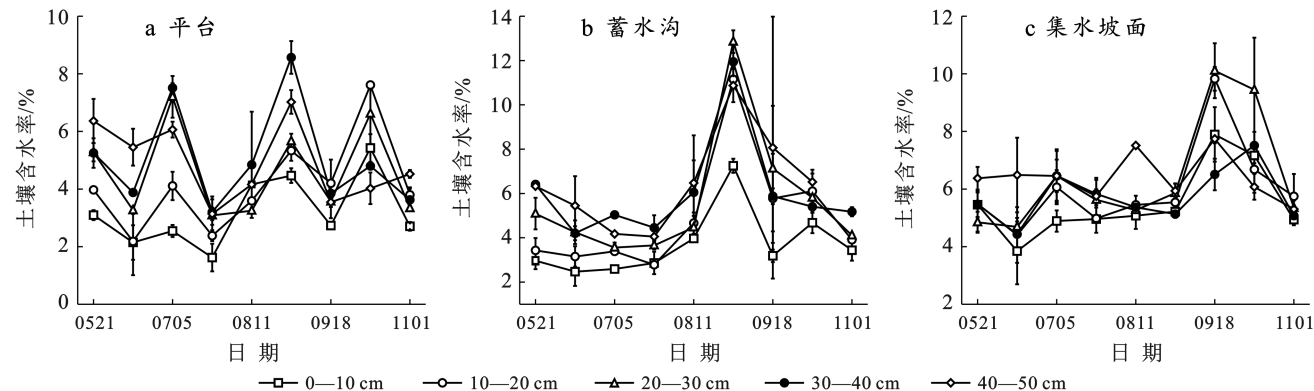


图 2 平台土壤(0—50 cm)水分动态变化

Fig.2 Dynamic change of soil moisture from 0—50 cm layer on platform

3.2 不同微地形改造下平台土壤水分垂直动态研究

不同微地形下各土层(0—10,10—20,20—30,30—40,40—50 cm)土壤水分及变异系数详见表 3。试验期间平台对照 0—50 cm 土层土壤水分介于 3.21%~5.06%,平均含水率为 4.38%,0—10 cm 土层土壤水分最低(3.21%),30—40 cm 土层土壤水分最高(5.06%);蓄水沟 0—50 cm 土层土壤水分介于 3.71%~6.49%,平均含水率为 5.51%,0—10 cm 土层土壤水分最低(3.71%),40—50 cm 土层土壤水分最高(6.49%),土壤水分随土层深度而逐渐提高;集

水坡面 0—50 cm 土层土壤水分介于 5.49%~6.41%,平均含水率为 6.02%,0—10 cm 土层土壤水分最低(5.49%),20—30 cm 和 40—50 cm 土层土壤水分最高(6.41%)。3 种地形下 0—50 cm 土层土壤水分表现为:集水坡面>蓄水沟>对照,但无显著($p>0.05$)差异。由表 3 可知,平台对照、蓄水沟和集水坡面各土层土壤水分变异系数分别介于 0.27~0.39,0.33~0.52,0.12~0.31,0—50 cm 土层土壤水分变异系数表现为:蓄水沟(0.40)>对照(0.28)>集水坡面(0.19),均属于中等变异。

表 3 不同微地形下平台 0—50 cm 土层土壤水分及变异系数

Table 3 Soil moisture and coefficient of variation in 0—50 cm layer of platform under different micro-topography

土层深度/ cm	对照		蓄水沟		集水坡面	
	含水量/%	变异系数 C_v	含水量/%	变异系数 C_v	含水量/%	变异系数 C_v
0—10	3.21±1.22 ^b	0.38	3.71±1.49 ^b	0.4	5.49±1.24 ^a	0.22
10—20	4.13±1.61 ^a	0.39	4.93±2.60 ^a	0.52	6.02±1.56 ^a	0.25
20—30	4.45±1.61 ^a	0.35	5.66±2.92 ^a	0.51	6.41±1.98 ^a	0.31
30—40	5.06±1.83 ^a	0.36	6.06±2.32 ^a	0.38	5.75±0.93 ^a	0.16
40—50	4.92±1.35 ^a	0.27	6.49±2.20 ^a	0.33	6.41±0.79 ^a	0.12
0—50	4.38±1.21 ^a	0.28	5.51±2.20 ^a	0.40	6.02±1.15 ^a	0.19

注:不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平差异显著。下同。

3.3 不同微地形改造下边坡土壤水分时间动态研究

不同微地形改造下土壤水分(0—50 cm)动态变化如图 3 所示。试验期间边坡对照各土层平均含水率介于 7.71%~10.67%,反坡梯田改造各土层平均含水率介于 8.24%~10.91%,两种地形下表层(0—30 cm)和浅层(30—50 cm)土壤含水率随降雨变化不同,试验前期 0—30 cm 土层土壤含水率随降雨变化波动趋势一致,30—50 cm 土层含水率随降雨变化波

动趋势一致,后期各层土壤含水率随降雨变化波动趋势一致,边坡对照波动幅度和频度均较大;鱼鳞坑改造各土层平均含水率介于 8.40%~10.30%,各土层土壤含水率随降雨呈现波动变化,波动趋势基本一致。整体上,各土层平均土壤含水率表现为鱼鳞坑(9.57%)>反坡梯田(9.00%)>对照(8.46%),土壤水分在降雨影响下稳定性由高到低为:鱼鳞坑>对照>反坡梯田。

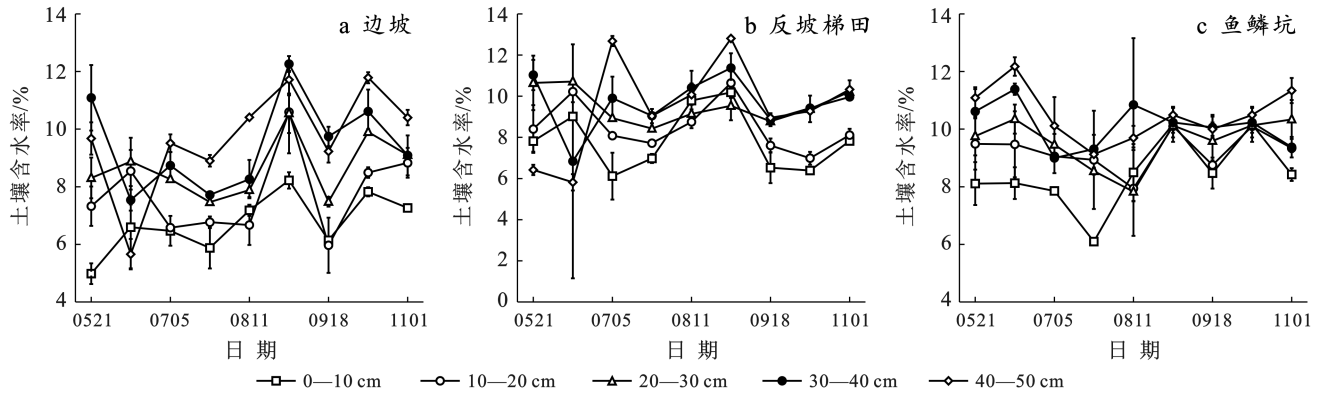


图3 边坡0—50 cm土层土壤水分动态变化

Fig.3 Dynamic change of soil moisture from 0—50 cm layer on slope

3.4 不同微地形改造下边坡土壤水分垂直动态研究

不同微地形下各土层(0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—50 cm)土壤水分及变异系数如表4所示, 试验期间边坡对照0—50 cm土层土壤水分介于6.73%~9.70%, 平均含水率为8.46%, 0—10 cm土层土壤水分最低(6.73%), 40—50 cm土层土壤水分最高(9.70%), 土壤水分随土层深度而逐渐提高; 反坡梯田0—50 cm土层土壤水分介于7.85%~9.65%, 平均含水率为9.00%, 0—10 cm土层土壤水分最低(7.85%), 30—40 cm土层土壤水分最高(9.65%); 鱼鳞坑0—50 cm土层土壤水分介于8.44%~10.50%,

平均含水率为9.57%, 0—10 cm土层土壤水分最低(8.44%), 40—50 cm土层土壤水分最高(10.50%), 土壤水分随土层深度而逐渐提高。3种地形下0—50 cm土层土壤水分表现为: 鱼鳞坑>反坡梯田>对照, 具有显著($p<0.05$)差异。

由表4还可知, 边坡对照、反坡梯田和鱼鳞坑各土层土壤水分变异系数分别介于0.12~0.19, 0.09~0.25, 0.07~0.15, 0—50 cm土层土壤水分变异系数表现为: 对照(0.13)>反坡梯田(0.10)>鱼鳞坑(0.07), 对照和反坡梯田改造土壤水分属于中等变异, 鱼鳞坑改造土壤水分属于弱变异。

表4 不同微地形下边坡0—50 cm土层土壤水分及变异系数

Table 4 Soil moisture and coefficient of variation of 0—50 cm layer soil on slopes under different micro-topography

深度/cm	对照		反坡梯田		鱼鳞坑	
	含水量/%	变异系数 C_v	含水量/%	变异系数 C_v	含水量/%	变异系数 C_v
0—10	6.73±1.01 ^b	0.15	7.85±1.51 ^{ab}	0.19	8.44±1.23 ^a	0.15
10—20	7.75±1.47 ^b	0.19	8.50±1.21 ^{ab}	0.14	9.24±0.68 ^a	0.07
20—30	8.65±1.06 ^a	0.12	9.53±0.82 ^a	0.09	9.57±0.86 ^a	0.09
30—40	9.45±1.61 ^a	0.17	9.65±1.35 ^a	0.14	10.12±0.78 ^a	0.08
40—50	9.70±1.82 ^a	0.19	9.49±2.39 ^a	0.25	10.50±0.92 ^a	0.09
0—50	8.46±1.12 ^b	0.13	9.00±0.88 ^{ab}	0.10	9.57±0.66 ^a	0.07

4 讨论与结论

4.1 讨论

时间稳定性是分析土壤水分时空变异性的的重要因素^[26-27]。研究发现, 蓄水沟和集水坡面改造能够提高0—50 cm土层土壤水分时间稳定性, 蓄水沟改造土壤水分时间稳定性优于集水坡面改造。研究表明, 降雨和蒸散是干旱区土壤水分动态变化的主要因子^[28-30], 在干湿交替状态下土壤水分波动性较大, 土壤水分时间稳定性较差^[31]。李艳梅等研究发现, 微地形改造能够使雨后土壤水分的消退减缓, 在土壤中

停留更长时间^[32], 从而减小土壤水分的波动性, 提高土壤水分的时间稳定性, 本研究结果与该结论相似。其中蓄水沟改造土壤水分时间稳定性优于集水坡面改造, 这是因为集水坡面具有更大的蒸散面积, 其单位时间土壤水分蒸散量较大, 使得土壤水分时间稳定性较差。本研究中, 鱼鳞坑改造提高了0—50 cm土层土壤水分时间稳定性, 反坡梯田改造降低了0—50 cm土层土壤水分时间稳定性。相关研究表明, 鱼鳞坑和反坡梯田改造能够有效提高局部土壤水分, 但同样增加了土壤与空气接触面积, 会增加土壤水分的无效蒸发^[33-34], 使得土壤水分在短期内发生较大波

动,从而降低土壤水分的时间稳定性,而本研究中鱼鳞坑改造提高了0—50 cm 土层土壤水分时间稳定性,造成这种现象的原因可能是因为鱼鳞坑的蓄水效果大于其所增加的土壤水分无效蒸发作用,因此土壤水分时间稳定性有所提高。土壤水分的时间稳定性能够有效改善干旱区土壤水分资源紧缺情况,增强土壤水分的调节能力,对植物的生长和发育起到正面的影响,从而能够有效改善干旱区受损生态系统植被恢复状况。

降雨是干旱区土壤水分补充的重要途径^[35],而地形能够实现降雨的重新分配^[36-37]。研究发现,蓄水沟和集水坡面改造下土壤含水率与对照相比分别提高了37.03%和25.85%,集水坡面改造对土壤水分的提高效果优于蓄水沟改造。研究表明,水平沟整地能够拦蓄降雨,增加水分入渗量,给予土壤更多、更深的水分补给^[38],本研究结果与该结论基本一致。其中集水坡面对土壤水分的提升效果优于蓄水沟,这是因为集水坡面具有更大的集水面积,能够汇集更多的自然降水。本研究中,反坡梯田和鱼鳞坑2种地形改造土壤含水率与对照相比分别提高了6.48%和13.22%,鱼鳞坑改造对土壤水分的提高效果优于反坡梯田。研究表明,反坡梯田和鱼鳞坑2种地形改造方式能够有效拦蓄坡面降雨径流,提高降雨叠加入渗能力,增加土壤水分入渗,提高局部的土壤水分^[39-41]。李得伟等^[42]对丘四区半干旱区覆盖灌木造林土壤水分变化特征研究发现,鱼鳞坑改造对土壤水分的提升效果优于反坡梯田,本研究结果与上述结论一致。在干旱区,土壤水分是影响植物生长的主要限制因子^[43],土壤水分的高低决定了荒漠植被的种类及群落组成^[30],对生态系统稳定性具有重要意义^[44]。因此,土壤含水率的提高对干旱区受损生态系统的重建具有重要意义。

4.2 结论

平台治理应以集水坡面改造方式最佳,它能够有效地接纳降雨,减少土壤水分的散失,其0—50 cm 土层土壤含水率比对照提高了37.30%,比蓄水沟改造提高了9.10%,各地形条件下土壤含水率无显著($p > 0.05$)差异;集水坡面改造下具有较好的土壤水分时空结构,土壤水分时间稳定性均有所提高。在此基础上进行植被恢复,能有效促进平台植被生长、提高植被覆盖度。

边坡治理应以鱼鳞坑改造方式最佳,它能够有效地接纳降雨,减少土壤水分的散失,其0—50 cm 土层土壤含水率比对照提高了13.22%,比反坡梯田改造提高了6.32%,各地形条件下土壤含水率存在显著

($p < 0.05$)差异;鱼鳞坑改造下具有较好的土壤水分时空结构,土壤水分时间稳定性均有所提高。在此基础上进行植被恢复,能有效促进边坡植被生长,提高植被覆盖度。

本试验中只研究了不同地形改造方式对土壤水分动态变化的影响。此外,土壤质地、土壤结构、温度等均会对土壤水分产生影响,这些因素均会对土壤水分的空间分布格局产生影响,还需进一步进行探究。

[参 考 文 献]

- [1] 杨天鸿,孙东东,胥孝川,等.新疆大型露天矿绿色安全高效开采存在问题及对策[J].采矿与安全工程学报,2022,39(1):1-12.
- [2] 杜昌河,敬莉.资源环境约束下新疆区域经济发展差异研究:基于“两区两带”的比较分析[J].西部经济管理论坛(原四川经济管理学院学报),2015,26(2):17-24.
- [3] 王新,张胜东.新疆水资源布置格局与优化配置建议[J].水利规划与设计,2021(6):34-37.
- [4] 符淙斌,温刚.中国北方干旱化的几个问题[J].气候与环境研究,2002,7(1):22-29.
- [5] Hai W, Mei L T. Water resources protection of mining area in Toutun river basin of Tianshan Mountains: a case study of Liuhuanggou coal mine [J]. Environmental Earth Sciences, 2022, 81(14): 1-12.
- [6] 康文平.中国北方半干旱区土地沙漠化及生态系统稳定性遥感评估[D].中国科学院大学,2019.
- [7] Ursion U, Contarini S. Stability of banded vegetation pattern sunder seasonal rainfall and limited soil moisture storage capacity [J]. Advances in Water Resources, 2006,10(29):1556-1564.
- [8] 王丽,雷少刚,卞正富.系统视角下中国西部煤炭开采生态损伤与自然修复研究综述[J].资源开发与市场,2017,33(10):1188-1192.
- [9] 蒋涛,郑文革,余新晓,等.北京山区干旱胁迫下侧柏叶片水分吸收策略[J].生态学报,2022,42(4):1429-1440.
- [10] 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,2013,33(20):6462-6469.
- [11] Thompson S E, Katul G G, Porporato A. Role of microtopography in rainfall-runoff partitioning: an analysis using idealized geometry [J]. Water Resources Research, 2010,46(7):1-11.
- [12] 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.
- [13] 杨更强,严成,宋革新,等.克拉玛依黏土地梭梭工程造林技术初探[J].西部林业科学,2015(5):137-141.
- [14] 中国科学院新疆生态与地理研究所.一种干旱区灰漠土无灌溉退化人工梭梭林复壮方法:CN202210445456.3 [P].2022-12-16.

- [15] 朱家龙,周智彬,王立生,等.免灌人工梭梭林生长与土壤水分变化的耦合关系[J].干旱区地理,2022,45(5):1579-1590.
- [16] 肖冀平,彭建文,李杰.新疆天山南坡经济带经济增长分析[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2005,26(3):44-48.
- [17] 罗梦媛,王雪梅.干旱区典型绿洲耕层土壤肥力特征研究:以库车县为例[J].西南农业学报,2015,28(1):299-303.
- [18] 胡旗武.拜城县玉米种植的气候条件分析[J].现代农业科技,2018(14):62-63.
- [19] 齐永昌.干旱区绿洲果林土壤呼吸特征及影响因素研究:以阿克苏地区温宿县佳木斯试验站果林为例[D].新疆乌鲁木齐:新疆师范大学,2012.
- [20] 张晓,刘娟,刘亮.新疆拜城盆地平原区地下水动态特征分析[J].新疆地质,2017,35(S):46-49.
- [21] 刘彬,布买丽娅木·吐如汗,艾比拜姆·克热木,等.新疆天山南坡中段种子植物区系垂直分布格局分析[J].植物科学学报,2018,36(2):191-202.
- [22] 张立运.新疆拜城盆地天然草场的基本特点[J].中国草原,1982(2):9-13.
- [23] 艾比拜姆·克热木.新疆拜城盆地种子植物区系研究[D].新疆乌鲁木齐:新疆师范大学,2016.
- [24] 王悦,王金满,时文婷,等.降雨强度与微地形塑造对露天煤矿排土场边坡土壤水分的影响[J].水土保持学报,2022,36(6):241-249.
- [25] 单玉琳,解建仓,韩霁昌,等.黄土高原坡面土壤水分特征及时间稳定性:以延安市九龙泉沟为例[J].中国水土保持科学,2021,19(6):1-7.
- [26] 赵娜娜,李传哲,刘佳,等.不同下垫面的土壤水分时间稳定性分析[J].南水北调与水利科技,2015(4):765-770.
- [27] 王俊,郭金龙,张永旺,等.黄土高原自然植被恢复过程中土壤温度和水分的相关性[J].水土保持学报,2022,36(2):130-137.
- [28] Duan Liangxia, Huang Mingbin, Zhang Luodan. Differences in hydrological responses for different vegetation types on a steep slope on the Loess Plateau, China [J]. Journal of Hydrology, 2016,537:356-366.
- [29] 尹鑫卫.三工河流域绿洲:荒漠复合系统土壤水盐动态随机模拟[D].北京:中国科学院大学,2019.
- [30] 王家强,柳维扬,彭杰,等.塔里木河上游荒漠河岸林土壤水分与浅层地下水分布规律研究[J].西南农业学报,2017,30(9):2071-2077.
- [31] 丁聪,王冬梅,贺康宁,等.黄土高寒区坡面土壤水分的时间稳定性[J].生态学报,2020,40(1):151-160.
- [32] 李艳梅,王克勤,刘芝芹,等.云南干热河谷微地形改造对土壤水分动态的影响[J].浙江林学院学报,2005,22(3):259-265.
- [33] 柯浩成.黄土高原生态建设与土壤水分响应关系研究[D].陕西西安:西安理工大学,2021.
- [34] 李虹辰,赵西宁,高晓东,等.鱼鳞坑与覆盖组合措施对陕北旱作枣园土壤水分的影响[J].应用生态学报,2014,25(08):2297-2303.
- [35] 程一本.干旱半干旱地区典型沙地深层土壤水分渗漏过程研究[D].北京:中国林业科学研究院,2018.
- [36] 王艳兵,王彦辉,熊伟,等.六盘山半干旱区华北落叶松树干液流速率及主要影响因子的坡位差异[J].林业科学,2017,53(6):10-20.
- [37] 李桂芳,郑粉莉,卢嘉,等.降雨和地形因子对黑土坡面土壤侵蚀过程的影响[J].农业机械学报,2015,46(4):147-154,182.
- [38] 姚雪玲,杨国靖,王帅,等.黄土丘陵沟壑区不同深度土壤水分对降雨的响应及其稳定性[J].干旱区地理,2021,44(2):507-513.
- [39] 方贤辉.关于矿区边坡生态修复思考[J].世界有色金属,2022(20):190-192.
- [40] 陈胜,王秉忠,包振国.甘肃中部干旱地区抗旱造林(保水)技术浅议[J].甘肃林业科技,2010,35(3):65-67.
- [41] 张海,张立新,柏延芳,等.黄土崩状丘陵区坡地治理模式对土壤水分环境及植被恢复效应[J].农业工程学报,2007,23(11):108-113.
- [42] 李得伟.丘四区半干旱区覆盖灌木造林土壤水分变化特征研究[J].现代农业科技,2010(13):212-213.
- [43] 张旭阳,刘英,龙林丽,等.干旱半干旱区采煤沉陷引起的土壤水分变化及其对植物生理生态潜在影响分析综述[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2022,48(4):415-425.
- [44] 孙沛沛,钱朝菊,尹晓月,等.半干旱区沙地蒿类植被建成对土壤细菌的影响[J].生态学报,2020,40(16):5783-5792.