

不同浓度湿润剂对高寒草甸鼠害型秃斑地改良效果研究

拉毛草,董隆明,甘瑞勋,蔡斌,余涛,孙文倩,张静,张志莹,花立民*

(甘肃农业大学草业学院,草业生态系统教育部重点实验室,甘肃省草业工程实验室,中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】秃斑地土壤斥水性是限制其植被恢复的重要因素。降低秃斑地土壤斥水性,增加土壤持水性是植被恢复的优选措施之一。【方法】选取青藏高原东部碌曲县典型秃斑地,喷施100、200、300和450 mL/m³浓度的湿润剂,以未喷施湿润剂的秃斑地为对照(CK),对比分析喷施区和对照区土壤物理性状和植物群落特征,并采用相关性分析探讨土壤因子对植物群落特征的影响,灰色关联度分析法,评价改良效果。【结果】1) 不同浓度湿润剂喷施后,土壤最大持水量(MC)、毛管孔隙度(CP)和总孔隙度(TP)均大于CK($P<0.05$),各浓度处理间无显著差异;2) 湿润剂浓度为200 mL/m³的喷施区,多年生杂类草丰富度显著大于其他浓度处理,大于CK($P<0.05$);3) 土壤最大持水量(MC)和毛管持水量(CC)与植物高度(ht)显著相关($P<0.05$)。【结论】秃斑地喷施湿润剂可提高土壤持水能力,增加植物物种丰富度,湿润剂浓度为200 mL/m³喷施效果最佳。

关键词:湿润剂;秃斑地;土壤物理性状;灰色关联度分析

中图分类号:S812.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)04-0113-08

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2024.04.013



土壤斥水性(Soil water repellency, SWR)是指水分不能或很难润湿土壤颗粒表面的物理现象^[1-3]。由于土壤斥水性的存在,灌溉和降水时大部分水分会随土壤大孔隙流失,导致土壤持水能力变差。失水干燥的土壤易形成硬块,再湿性差^[4],更不利于植物吸收利用。改善土壤斥水性,一般是通过耕作疏松土壤以达到增强其持水能力的目的。然而,疏松土壤需要人力或机械操作,不仅增加了土地管理成本,而且对于大面积天然草原,疏松土壤会引起植物群落结构变化,降低群落稳定性^[5]。因此,针对退化天然草地,寻找免

耕降低土壤斥水性的方法具有重要意义。

当前,改良土壤斥水性研究多集中在森林生态系统和农田生态系统,针对草地生态系统的研究相对较少^[6-8]。青藏高原是以高寒草地生态系统为主体的典型生态脆弱区。受气候和人为因素双重影响,高寒草地生态系统退化加剧^[9]。退化的高寒草地提高了草原啮齿动物的生境适合度,导致其种群数量激增形成草地有害啮齿动物^[10],其中,高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)是青藏高原乃至全国危害面积最大的草原有害啮齿动物^[11]。高原鼠兔掘洞和覆土造成植物死亡、根系分解并导致土层塌陷,又在风蚀水蚀作用下形成的秃斑地已成为高寒草地退化的典型景观^[12]。因此,恢复秃斑地植被,是修复退化高寒草地的重要内容。

土壤种子库和土壤理化性质是影响草地植被恢复的重要因素。已有研究发现秃斑地内土壤种子库并不缺乏^[13],限制植被恢复主导因素是土壤理化性状^[14]。高寒草甸秃斑块由于土壤裸露和高原强紫外线易形成土壤结皮^[15],造成雨水难以渗透到土壤,导

收稿日期:2022-12-06;修回日期:2023-04-04

基金资助:国家自然科学基金项目(32160338);甘肃省教育厅产业支撑项目(2021CYZC-05);国家林业和草原局草地啮齿动物危害防控创新团队项目

作者简介:拉毛草(1993-),女,藏族,甘肃合作人,硕士研究生。E-mail: lamc_gsau@163.com

*通信作者。E-mail: hualm@gsau.edu.cn

致土壤物理结构发生改变^[16],进而降低土壤蓄水保肥能力,影响秃斑地内土壤种子萌发。目前,采用高分子保水剂是降低土壤斥水性,增加土壤持水能力的主要措施之一^[17-18]。但是,在极度干旱时,保水剂不仅不能增加土壤比水容量,反而会降低土壤供水能力。保水剂施用量过多时,会出现保水剂与植物竞争“土壤水分”、降低土壤“通气性,对植物生长有直接抑制作用^[19]。湿润剂是非离子和阴离子分子混合物,通过阳离子桥上的疏水作用吸收至固相的能力,在植物意外变干或种植期变干时,湿润剂会再次均匀的吸收水分,且使用双倍剂量湿润剂对植物的发芽和生长无负面影响。

综上,本研究选取甘肃省碌曲县秃斑地,喷施不

同浓度湿润剂,以未喷施湿润剂的秃斑地为对照,将土壤持水能力作为评价指标,探究湿润剂对土壤持水能力的影响。同时,调查喷施区土壤物理性状和植物群落特征,分析不同浓度湿润剂喷施后的植被恢复效果,可为秃斑地植被恢复提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

本研究选择甘肃省碌曲县秃斑型退化高寒草甸为试验区(102°24' N,34°13' E)。拥有典型秃斑与草甸复合镶嵌景观。海拔为3 500 m,年均气温为2.3℃,年降水量在633~782 mm,植物群落组成见表1,主要危害鼠种为高原鼠兔^[20]。

表1 试验地主要植物群落组成
Table 1 The main plant community composition of the experimental site

禾本科 Gramineae	莎草科 Cyperaceae	一年生杂类草	多年生杂类草
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	—	四数獐芽菜 <i>Swertia tetraptera</i>	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>
冷地早熟禾 <i>Poa crymophila</i>	—	节裂角茴香 <i>Hypecoum leptocarpum</i>	二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>
赖草 <i>Aneurolepidium dasystachys</i>	—	婆婆纳 <i>Veronica polita</i>	多裂委陵菜 <i>P. multifida</i>
—	—	—	肉果草 <i>Lancea tibetica</i>
—	—	—	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>
—	—	—	露蕊乌头 <i>Gymnaconitum gymnadrum</i>
—	—	—	迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>
—	—	—	蒲公英 <i>Taraxacum officinale</i>
—	—	—	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>
—	—	—	西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i>
—	—	—	凤毛菊 <i>Saussurea japonica</i>
—	—	—	蜜花香薷 <i>Elsholtzia densa</i>
—	—	—	车前 <i>Plantago asiatica</i>
—	—	—	毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>
—	—	—	黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>

1.2 试验材料及设计

1.2.1 试验材料 试验选用的湿润剂(FIBA—ZORB PLUS)由英国德福公司(Turf Tech International ltd)生产,是非离子和阴离子分子的混合物,生物降解缓慢,质量符合欧洲ISO9001质量标准。

1.2.2 试验设计 在试验区选取约2 000 m²的秃斑型退化高寒草甸围栏禁牧。以4个喷施浓度作为处理区,喷洒自来水作为对照区(CK)。每个处理和对照设

3次重复,共计15个区,完全随机区组排列。每个小区面积3 m×9 m,保护行1 m。4个喷洒浓度为100、200、300和450 mL/m³,在牧草返青前期4月初均匀喷施,喷施1次,喷湿量分别为135、270、405、607.5 mL。利用铁锹在处理区边缘抛出土壤侧面,观察湿润剂喷施深度,控制深度在5 cm。同年8月调查样地内植物群落特征和土壤物理性状。

1.3 指标测定方法

1.3.1 植物群落盖度、高度、频度和地上生物量调查 喷施湿润剂4个月后,在不同浓度的喷施区和对照区,调查植物盖度、高度、频度和地上生物量。

群落和物种盖度:采用样方针刺法^[21],选取0.5 m×0.5 m样方,针刺100次获取秃斑内物种的盖度;群落和物种高度:小区内出现的每种植物随机选取5株用钢卷尺人工测量其高度;频度:小区内等距抛样圆5次,记录各物种出现的次数;地上生物量:采用收获法,将样方内植物齐地面剪下在105℃烘箱内烘干后称重,测定植物地上生物量。

1.3.2 土壤持水性调查

高寒草甸土壤种子库主要分布于0~5 cm的表层土壤^[22],采用环刀法取0~5 cm表层土壤,用双环刀法测量0~5 cm土层的土壤渗透率^[23]。记录初始入渗速率和稳定入渗速率,计算平均入渗速率。采集0~5 cm土层土壤,采用室内浸泡法^[24]测定土壤最大持水量、毛管持水量、毛管孔隙度和总孔隙度。

1.3.3 指标计算及分析

1) 土壤持水量和孔隙度

土壤容重(g/cm^3) $P = m_4/100$

最大持水量(%) $D = \frac{m_1 - m_3}{m_4} \times 100\%$

毛管持水量(%) $G = \frac{m_2 - m_3}{m_4} \times 100\%$

毛管孔隙度(g/cm^3) $K = G \times P$

非毛管孔隙度(g/cm^3) $F = (D - G) \times P$

总孔隙度(g/cm^3) $Z = K + F$

式中, m_0 :湿土+环刀; m_1 :环刀+原状土浸泡24 h; m_2 :沙子表面放置2 h; m_3 :干土+环刀; m_4 :干土重。

2) 土壤含水率 $SMC = \frac{m_0 - m_3}{m_4} \times 100\%$

3) 入渗速率 $K = \frac{H}{3}$

平均入渗速率= $\Sigma K/30$ (mm/min)

K 表示入渗速率(mm/min), H 表示渗透液面下降高度(mm)。

4) 植物多样性指数 以相对盖度、相对频度和相对高度为基础计算每一样地内每种植物的重要值,根据重要值计算物种丰富度、多样性和均匀度指数^[25-26]。采用Simpson指数和Pielou指数来表示秃斑地内植物多样性^[14]。

重要值=(相对盖度+相对频度+相对高度)/3

Shannon—Wiener index of diversity: $H' = -\sum_{i=1}^s \rho_i \ln \rho_i$ ($\rho_i = n_i/N$)

Simpson index(D): $D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2$

Pielou evenness index: $J' = H'/\ln S$

式中, S 为物种数, N 为样地内所有所有物种的个体数之和, n_i 为第*i*物种的个体数量, P_i 为物种*i*的重要值

用Excel 2021软件进行基本数据处理,GraphPad Prism 8进行图表制作,采用SPSS 24.0进行方差分析,用LSD方法进行多重比较,利用R3.5.2中的corrplot进行植物群落指标与环境因子的相关性分析,之后绘图。采用灰色关联度分析法^[27],评价改良效果。

2 结果与分析

2.1 不同浓度湿润剂对土壤持水量和孔隙度的影响

土壤持水量和孔隙度是反映土壤通气、蓄水和持水特性的重要指标。本研究发现,不同浓度湿润剂处理下,土壤最大持水量(图1-A)、毛管孔隙度(图1-C)和总孔隙度(图1-D)显著大于对照CK($P < 0.05$)。不同浓度湿润剂处理间毛管持水量差异不显著(图1-B)。

2.2 不同浓度湿润剂对土壤渗透率的影响

入渗曲线显示,各浓度湿润剂处理下土壤入渗速率随时间的延长逐渐趋于平缓(图2)。除浓度100 mL/m³处理外,土壤初始入渗率最大,随时间推移逐渐减小,最终达到稳定入渗。在入渗瞬变期(0~33 min),各处理入渗速率随时间延长没有明显规律;进入渐变期(33~51 min),入渗速率变化缓慢;稳定入渗阶段(>51 min),入渗速度大小为CK>300 mL/m³>450 mL/m³>200 mL/m³>100 mL/m³。

2.3 不同浓度湿润剂对植物能群及群落的影响

喷施不同浓度湿润剂对秃斑地植物物种多样性的影响无显著差异,对植物功能群盖度的影响无显著差异。对多年生杂类草丰富度具有显著影响($P < 0.05$)。其中,浓度200 mL/m³大于其他浓度湿润剂处理,大于CK(表2)。

不同浓度湿润剂对植物群落特征影响不同(表2)。喷施浓度100、200、300 mL/m³湿润剂时,植物的

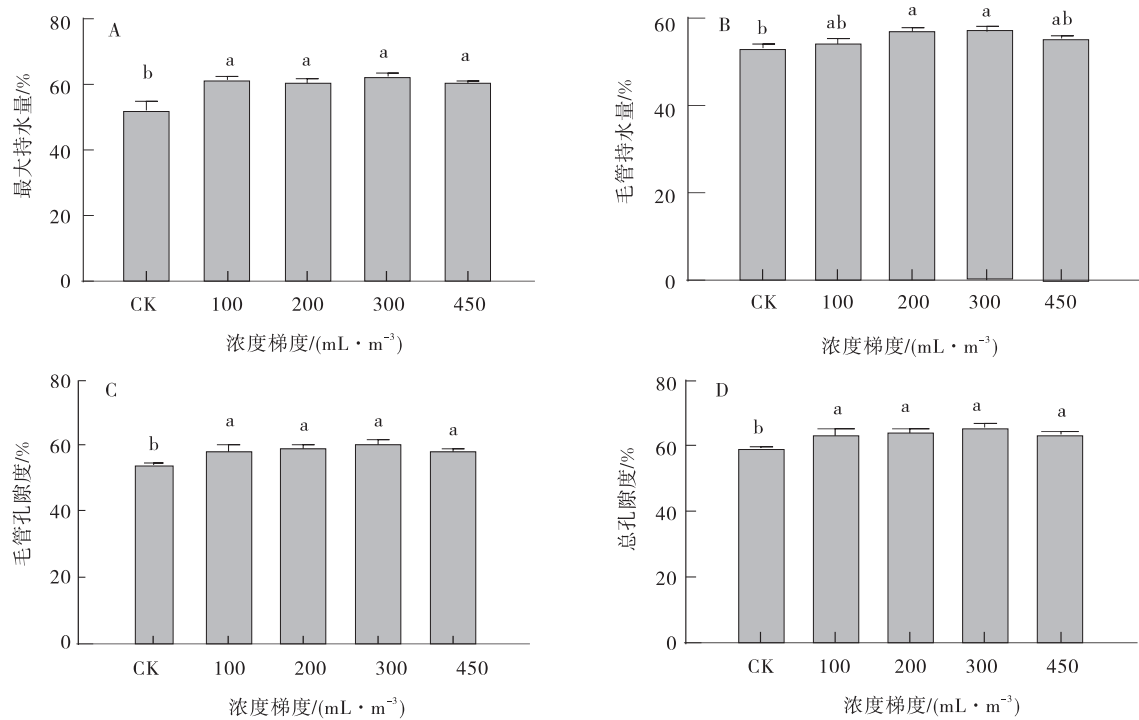


图1 不同浓度湿润剂处理下土壤持水量和孔隙度的变化

Fig. 1 Changes of soil water – holding capacity and porosity under different concentrations of wetting agent

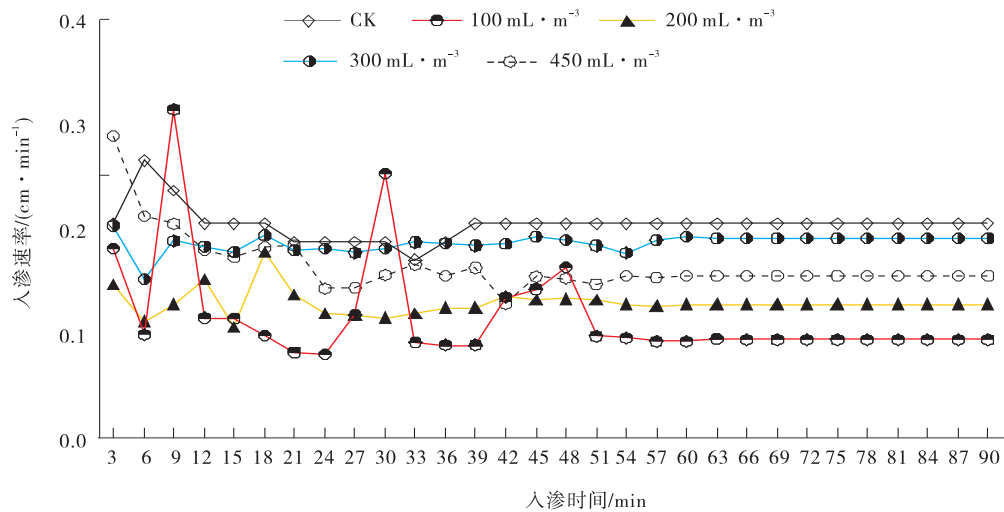


图2 不同浓度湿润剂处理下土壤入渗速率变化

Fig. 2 Changes of soil infiltration rate under different concentrations of wetting agent treatment

高度显著大于CK($P<0.05$)。喷施浓度200 ml/m³湿润剂时,植物的生物量显著大于CK($P<0.05$)。不同浓度湿润剂对植物群落盖度无显著差异。

2.4 不同湿润剂浓度下土壤物理性状与植物物种多样性、功能群特征和群落特征的相关性

土壤最大持水量(MC)和土壤总孔隙度(TP)与植物群落高度(ht)呈显著正相关($P<0.05$)。土壤最大持水量(MC)与植物盖度(cr)呈显著正相关($P<0.05$)。土壤初始入渗速率(IR)与多年生杂类草丰富

度(pfn)呈显著负相关($P<0.05$)。土壤最大持水量(MC)、毛管持水量(CC)、毛管孔隙度(CP)、总孔隙度(TP)、初始入渗速率(IR)、稳定入渗速率(SR)、平均入渗速率(AR)以及土壤含水量(WTC)与Simpson index(D)(spi)、Evenness index(eni)、禾本科盖度(gc)、一年生杂类草盖度(afc)、多年生杂类草盖度(pfc)、禾本科丰富度(gn)、一年生杂类草丰富度(afn)、生物量(bs)无显著相关性(图3)。

表 2 不同浓度湿润剂处理下植物多样性和功能群特征分析

Table 2 Analysis of plant diversity and functional group characteristics under different concentrations of wetting agents								
湿润剂浓度/ (mL·m ⁻³)	Simpson index (D)	Evenness index	功能群盖度/%			功能群丰富度		
			禾本科	一年生杂类草	多年生杂类草	禾本科	一年生杂类草	多年生杂类草
CK	1.15±0.02 ^a	0.91±0.03 ^a	0.17±0.03 ^a	0.06±0.01 ^a	0.66±0.07 ^a	1.44±0.18 ^a	1.67±0.24 ^a	4.89±0.2 ^{bc}
100	1.15±0.03 ^a	0.92±0.01 ^a	0.17±0.04 ^a	0.10±0.03 ^a	0.68±0.06 ^a	1.67±0.37 ^a	1.67±0.24 ^a	5.22±0.15 ^b
200	1.12±0.01 ^a	0.93±0.00 ^a	0.26±0.02 ^a	0.08±0.02 ^a	0.72±0.06 ^a	1.67±0.24 ^a	1.56±0.18 ^a	6.56±0.34 ^a
300	1.14±0.02 ^a	0.89±0.02 ^a	0.19±0.04 ^a	0.07±0.03 ^a	0.63±0.07 ^a	1.33±0.17 ^a	1.00±0.37 ^a	4.11±0.31 ^c
450	1.13±0.01 ^a	0.93±0.01 ^a	0.21±0.04 ^a	0.06±0.02 ^a	0.68±0.03 ^a	1.22±0.15 ^a	1.67±0.33 ^a	4.44±0.5 ^{bc}

注:同一列数据后标识小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

表 3 不同浓度湿润剂处理下植物群落特征分析

Table 3 Analysis of plant community characteristics under different concentrations of wetting agent treatment			
湿润剂浓度/(mL·m ⁻³)	盖度/%	高度/cm	生物量/(g·m ⁻²)
CK	88.14±0.95 ^a	12.34±0.78 ^b	54.98±2.22 ^b
100	91.50±1.34 ^a	15.54±0.64 ^a	58.83±1.28 ^{ab}
200	91.32±1.16 ^a	15.72±0.87 ^a	64.04±2.59 ^a
300	91.18±1.54 ^a	15.38±0.58 ^a	62.68±2.75 ^{ab}
450	89.19±2.45 ^a	13.60±0.91 ^{ab}	60.52±2.30 ^{ab}

2.5 喷施不同浓度湿润剂时土壤物理性状与植物物种多样性、功能群特征和群落特征的灰色关联度分析

喷施不同湿润剂浓度处理下,以 200、300 mL/m³ 恢复效果最好,说明经灰色关联度分析,与其他浓度相比,200、300 mL/m³能较好的平衡土壤物理环境和植被间的关系(表 4)。

3 讨论

改良秃斑地土壤保水性能,改善土壤疏水性是恢复退化草地土壤物理性状的有效途径^[28]。本研究表明,不同浓度湿润剂处理下土壤最大持水量、毛管孔隙度和总孔隙度均显著大于 CK。浓度 200、300 mL/m³湿润剂的处理下,土壤毛管持水量显著大于 CK。这表明湿润剂在适宜浓度下,能显著提升土壤的毛管水上升高度,减弱水分散失。能够增强土壤的持水能力,保持更多水分的同时具有更大的通气性。这与崔敏^[4]和高庆月等^[29]的研究结果相同。本研究发现不同浓度湿润剂处理下土壤入渗速率均低于对照 CK。这与白文波等^[30]的研究结果相同。添加不同浓度的湿润剂会对土壤入渗速率产生不同程度的抑制效应。这可能由于在试验处理中,湿润剂分布集中,吸水膨胀对水分入渗在很大程度上形成阻滞作用,阻碍土壤水分向下运动。

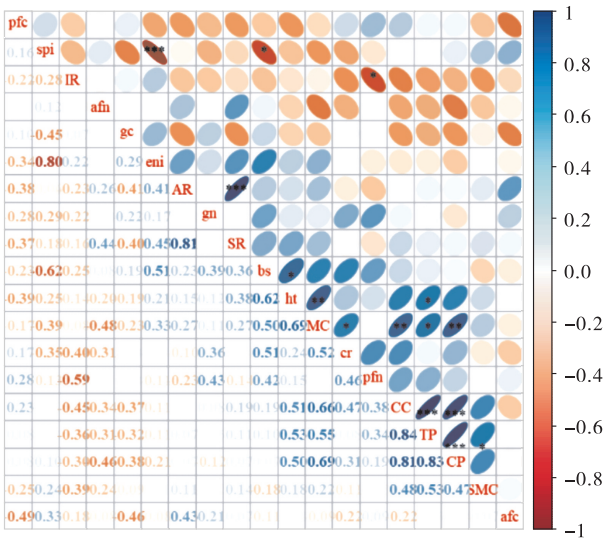


图 3 不同浓度湿润剂处理下土壤物理性状与植物物种多样性、功能群特征和群落特征的相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of soil physical properties with plant species diversity, functional group characteristics and community characteristics under different concentrations of wetting agents

注:SR 稳定入渗速率;IR 初始入渗速率;AR 平均入渗速率;CC 毛管持水量;CP 毛管孔隙度;MC 最大持水量;TP 总孔隙度;SMC 土壤含水率;spi Simpson index (D);eni Evenness index;gc 禾本科盖度;afn 一年生杂类草盖度;pfn 多年生杂类草盖度;gn 禾本科数;afn 一年生杂类草数;pfn 多年生杂类草数;cr 盖度;bs 生物量;ht 高度。

表4 喷施不同浓度湿润剂时环境因子与植物群落特征的灰色关联度分析

Table 4 Grey correlation analysis of environmental factors and plant community characteristics when spraying different concentrations of wetting agents

湿润剂浓度/(mL·m ⁻³)	关联度	排名
CK	0.75	3
100	0.73	4
200	0.79	1
300	0.79	1
450	0.78	2

退化土壤存在孔隙度低、保水性差以及水分散失速度快等缺点,这些缺点成为秃斑内植物难以恢复的重要限制性因素^[13]。通过添加保水材料(如湿润剂),满足秃斑地植物生长的水分要求是治理我国退化草地的重要途径^[31]。本研究中,浓度200 mL/m³湿润剂处理下多年生杂类草丰富度显著大于CK。浓度200 mL/m³湿润剂处理下植物生物量显著大于CK。不同浓度湿润剂处理下土壤物理性状和植物物种多样性、功能群特征和群落特征的相关性分析表明,土壤最大持水量和毛管持水量与植物群落高度显著相关。土壤最大持水量与植物盖度显著相关。经灰色关联度分析,与其他浓度相比,200、300 mL/m³能较好的平衡土壤物理环境和植被间的关系。土壤持水力的高低直接影响植物的生长^[32]。在秃斑地中,杂类草易取代原有的密根性嵩草及禾草类植物,土壤持水力对于杂类草的影响较为显著^[33]。喷施适宜浓度湿润剂能有效提高土壤持水量,增加土壤饱和含水量^[34-35],确保土壤快速初始湿润和持续快速再湿润,改善土壤物理结构,满足植物的水分需求。因此,喷施适宜浓度湿润剂对于提高秃斑地土壤持水性,恢复秃斑地植物具有重要意义。

采用高分子保水剂是降低土壤斥水性,增加土壤持水能力的主要措施之一^[36-37]。湿润剂是非离子和阴离子分子混合物,通过阳离子桥上的疏水作用吸收至固相的能力,在植物意外变干或种植期变干时,湿润剂会再次均匀的吸收水分,且使用双倍剂量湿润剂对植物的发芽和生长无负面影响。在我国退化草地恢复中,湿润剂少有应用。据对本研究样地所用湿润剂价格估算,2 000 m²约需成本300元。相对于传统恢

复措施(补播、围封等)来讲经济实惠,且对植物不会造成物理和化学伤害。因此,利用湿润剂进行草地恢复是贴近“近自然恢复”理论,较理想的恢复措施。

4 结论

不同浓度湿润剂对秃斑地土壤物理性状和植物群落特征影响显著。不同浓度湿润剂均提高了鼠害地土壤的最大持水量、毛管持水量、毛管孔隙度和总孔隙度。其中,喷施200 mL/m³的湿润剂显著提高了秃斑地多年生杂类草丰富度以及植物地上生物量。此外,不同湿润剂浓度下土壤最大持水量影响植物群落高度和盖度。今后秃斑地治理措施应该多关注土壤持水性能的改善,尽可能使土壤水分满足秃斑地植物生长的需求。

参考文献:

[1] Wallach R, Jortzick C. Unstable finger-like flow in water-repellent soils during wetting and redistribution - the case of a point water source[J]. Journal of Hydrology, 2008,351(1-2):26-41.

[2] 张培培,赵允格,王媛,等. 黄土高原丘陵区生物结皮土壤的斥水性[J]. 应用生态学报,2014,25(3):657-663.

[3] 李子忠,吴延磊,龚元石,等. 内蒙古草原土壤斥水性的季节变化[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(2):208-213.

[4] 崔敏. 湿润剂对斥水性栽培基质基本理化性质和作物生长状况的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2008.

[5] 祁宇麟. 黄土高原整地措施对植物群落根系分布特征及其生态效应的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020.

[6] 杨邦杰. 土壤斥水性引起的土地退化、调查方法与改良措施研究[J]. 环境科学,1994(4):88-90.

[7] 彭家顺,雷开敏,兰龙焱,等. 不同类型人工林下土壤斥水性的变化[J]. 中南林业科技大学学报,2022,42(3):136-142.

[8] 吴小雨. 不同施肥与耕作条件下紫色土坡耕地土壤斥水性及产流产沙特征[D]. 重庆:西南大学,2021.

[9] 尚占环,董世魁,周华坤,等. 退化草地生态恢复研究案例综合分析:年限、效果和方法[J]. 生态学报,2017,37(24):8148-8160.

[10] 张永超,袁晓波,牛得草,等. 玛曲高寒草甸高原鼠兔种群数量对植被调控措施的响应[J]. 草业学报,2016,25(2):87-94.

[11] 花蕊,周睿,包达尔罕,等. 玛曲县高原鼠兔地理分布预测及其对气候变化的潜在响应[J]. 草原与草坪,2020,

- 40(3):1—8.
- [12] 韩立辉,尚占环,任国华,等. 青藏高原“黑土滩”退化草地植物和土壤对秃斑面积变化的响应[J]. 草业学报, 2011,20(1):1—6.
- [13] 花立民,柴守权. 中国草原鼠害防治现状、问题及对策[J]. 植物保护学报,2022,49(1):415—423.
- [14] 牛钰杰,杨思维,王贵珍,等. 放牧强度对高寒草甸土壤理化性状和植物功能群的影响[J]. 生态学报,2018,38(14):5006—5016.
- [15] 贺金生,刘志鹏,姚拓,等. 青藏高原退化草地恢复的制约因子及修复技术[J]. 科技导报,2020,38(17): 66—80.
- [16] 尚占环,董全民,施建军,等. 青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近10年研究进展——兼论三江源生态恢复问题[J]. 草地学报,2018,26(1):1—21.
- [17] 黄占斌,孙朋成,钟建,等. 高分子保水剂在土壤水肥保持和污染治理中的应用进展[J]. 农业工程学报,2016, 32(1):125—131.
- [18] 纪冰祎. 连续失水—复水中保水剂与土壤的水分交换及其互作效应[D]. 北京:中国农业科学院,2020.
- [19] 司徒艳结,卫尤明,杨俊颖,等. 保水剂对作物生长的不利影响及发生机制[J]. 植物营养与肥料学报,2022,28(7):1318—1328.
- [20] 王延,杨彦东,俞慧云,等. 碌曲县生长季草地植被覆盖度与生产力动态特征[J]. 草原与草坪,2021,41(5): 38—44+51.
- [21] 叶国辉,楚彬,周睿,等. 高原鼠兔干扰下高寒草甸植物功能群分布与土壤因子的关系[J]. 生态学杂志,2019, 38(8):2382—2388.
- [22] 马妙君. 青藏高原东部高寒草甸的土壤种子库研究[D]. 兰州:兰州大学,2009.
- [23] 王迪,赵锦梅,雷隆举,等. 祁连山东段高寒植被类型对土壤理化特征的影响[J]. 水土保持通报,2021,41(1): 35—40.
- [24] 赵雨森,韩春华,张宏光,等. 阿什河上游小流域主要林分类型土壤水文功能研究[J]. 水土保持学报,2012,26(2):203—208.
- [25] 孔凡洲,于仁成,徐子钧,等. 应用 Excel 软件计算生物多样性指数[J]. 海洋科学,2012,36(4):57—62.
- [26] 刘丽,花立民,杨思维,等. 放牧干扰下高原鼯鼠栖息地选择因素[J]. 动物学杂志,2015,50(5):725—734.
- [27] 武晶,刘志民. 生境破碎化对生物多样性的影响研究综述[J]. 生态学杂志,2014,33(7):1946—1952.
- [28] 王海,高永飞,刘洪林,等. 草原土壤斥水性与土壤理化因子的相关性分析[J]. 中国草地学报,2019,41(1): 68—74.
- [29] 高庆月,张秀省,褚鹏飞,等. 润湿剂对我国草本泥炭物理性状改善的作用[J]. 土壤通报,2018,49(5):1184—1190.
- [30] 白文波,宋吉青,李茂松,等. 保水剂对土壤水分垂直入渗特征的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(2):18—23.
- [31] 李杰霞. 黄河源高寒草甸景观破碎化过程及其对两种扰动的响应[D]. 西宁:青海大学,2021.
- [32] 刘勇,王瑾瑜. 黄土高原植被演替过程中植被与土壤养分、水分关系研究进展[J]. 吉林农业科学,2010,35(5): 25—27.
- [33] 易湘生,李国胜,李阔,等. 长江源区草地植被退化对土壤持水能力影响[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(4):907—918.
- [34] 谭其言,李素艳,孙向阳,等. 保水剂和生物表面活性剂配制屋顶绿化轻型基质的探究[J]. 浙江农林大学学报, 2021,38(6):1178—1186.
- [35] 张婷婷. 复合润湿剂的配方筛选及其在基质栽培中的应用[D]. 北京:北京林业大学,2013.
- [36] 黄占斌,孙朋成,钟建,等. 高分子保水剂在土壤水肥保持和污染治理中的应用进展[J]. 农业工程学报,2016, 32(1):125—131.
- [37] 纪冰祎. 连续失水—复水中保水剂与土壤的水分交换及其互作效应[D]. 北京:中国农业科学院,2020.

Study on improvement effect of different concentrations of wetting agent on alpine meadow rodent-damaged bald land

Lamaocao, DONG Long-ming, GAN Rui-xun, CAI Bin, YU Tao, SUN Wen-qian, ZHANG Jing, ZHANG Zhi-ying, HUA Li-min*

(College of grassland, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of grassland ecosystem, Ministry of education, Ministry of education, Engineering and Technology Research Center for Alpine Rodent Pests Control, National Forestry and Grassland Administration, Lanzhou 730070, China)

Abstract: 【Objective】 Soil water repellency is an important factor limiting vegetation restoration in bare land. Reducing soil water repellency and increasing soil water holding capacity are key measures for effective vegetation restoration. 【Method】 A typical bald spot in Luqu County, eastern Qinghai—Tibet Plateau, was selected for the study. Wetting agents with concentrations of 100 mL/m³, 200 mL/m³, 300 mL/m³ and 450 mL/m³ were applied. An untreated bald spot served as the control (CK). The study compared and analyzed the soil physical properties and plant community characteristics between the treated and control areas. Correlation analysis was used to explore the effects of soil factors on plant community characteristics, and the grey correlation analysis method evaluated the improvement effect. 【Result】 (1) After spraying different concentrations of wetting agents, the soil maximum water holding capacity (MC), capillary porosity (CP) and total porosity (TP) were significantly higher than those in the control ($P < 0.05$), with no significant differences among the different concentrations ($P > 0.05$). (2) In the area treated with 200 mL/m³ concentration of wetting agent, the richness of perennial forbs was significantly higher compared to other concentration treatments and CK ($P < 0.05$). (3) The soil maximum water holding capacity (MC) and capillary water holding capacity (CC) were significantly correlated with plant height (ht) ($P < 0.05$). 【Conclusion】 Spraying wetting agent on bald spot can improve soil water holding capacity and increase plant species richness. A concentration of 200 mL/m³ is identified as the most effective for these improvements.

Key words: wetting agent; bald patch; soil physical properties; grey relational analysis

(责任编辑 康宇坤)