
综
合
研
究

北疆引水干渠边坡生态恢复效果的调查与评价

——以新疆克拉玛依市西干渠工程黄旗坝段为例

刘赛^{1,2}, 蒋进¹, 李中邵³, 郭显军³, 王建宝⁴

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 新疆油田公司供水公司, 新疆 克拉玛依 834000; 4. 克拉玛依农林牧有限责任公司, 新疆 克拉玛依 834000)

摘 要: [目的] 分析西干渠黄旗坝段边坡生态恢复效果, 为调控植被演替速率和预期植被恢复效果提供依据。[方法] 对渠道开挖造成的阴坡、阳坡和渠道边坡坡顶上的自然生境下对照样地的土壤、植被状况进行了调查和分析。[结果] (1) 经过生态恢复后的阴坡、阳坡植物的多度、盖度、均匀度指数 Pielou、多样性指数 Shannon-Wiener 和丰富度指数 Margalef 均有所提高, 阴坡高于阳坡, 但仍低于自然生境下的水平。(2) 在土壤氮、磷、钾养分特性方面, 阴坡、阳坡的土壤氮、磷、钾养分均有所提高, 但仍低于自然生境下的水平, 呈现出自然生境 > 阴坡 > 阳坡的分布差异。(3) 阴坡、阳坡经过生态恢复后植物群落指数仍偏低, 群落演替仍处于灌草植物群落阶段。[结论] 边坡生态恢复技术能改善西干渠地区边坡的土壤养分状况, 促进边坡植被的生长, 但鉴于西干渠地区特殊的环境条件, 短时间内生态恢复措施效果尚不明显, 需加大长期的修复力度。另外, 北疆地区边坡生态恢复中植物的选择应以当地乡土植物为主。

关键词: 西干渠; 边坡; 植物多样性; 生态恢复

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0248-07

中图分类号: S157.1, X171.4

文献参数: 刘赛, 蒋进, 李中邵, 等. 北疆引水干渠边坡生态恢复效果的调查与评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 248-254. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.046

Effect of Slope Ecological Protection Measures in Northern Xinjiang Uygur Autonomous Region

—Taking Canal Program in Western Part of Karamay in Huangqiba Section in Xijiang Region as a Case Study

LIU Sai^{1,2}, JIANG Jin¹, LI Zhongshao³, GUO Xianjun³, WANG Jianbao⁴

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumchi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Karamay Agriculture Forestry Animal Husbandry and Limited Liability Company, Karamay, Xijiang Uygur Autonomous Region 834000, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to analyze the effect of slope ecological protection measures in western part of Huangqiba section in northern of Xinjiang Uygur Autonomous Region, in order to provide the scientific basis for regulating vegetation succession rate and expected vegetation restoration effect. [Methods] We investigated soil and vegetation conditions in the canal slopes caused by excavation and natural habitat at the top of channel. [Results] (1) After ecological restoration, the plant density, coverage, evenness index(Pielou), diversity index(Shannon-Wiener) and richness index(Margalef) in the sunny and shady slope has been improved, and the improvement in shady slope was higher than in the sunny slope, but still lower than the natural habitats. (2) Soil nitrogen, phosphorus, potassium nutrient characteristics in both shady slope and sunny slope were increased, however, they were still lower than the level of natural habitats, which showed as: the natural habitat > shady slope > sunny slope. (3) After the ecological

收稿日期: 2014-12-09

修回日期: 2015-01-06

资助项目: 新疆维吾尔自治区重大科技专项“大型引水干渠生态修复与综合治理”(201130106-3); 地方合作项目(Y352161001)

第一作者: 刘赛(1987—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区伊宁市人, 硕士研究生, 主要从事边坡生态恢复的研究工作。E-mail: xslfg@163.com。

通讯作者: 蒋进(1954—), 男(汉族), 湖南省长沙市人, 大学本科, 硕士生导师, 主要从事荒漠环境治理与绿洲生态建设研究工作。E-mail: jiangjin@ms.xjb.ac.cn。

restoration, the plant community index of the shady and sunny slope was still low, and the community succession was still in the stage of shrub and grass plant community. [Conclusion] The slope ecological restoration technology can improve the soil fertility status and promote the growth of vegetation on the side slope. Due to the special environmental conditions of the west main canal area, short-term ecological restoration measures is not enough and long-term restoration is needed. In addition, native plants should be selected in the slope ecological restoration plant in the northern area of Xinjiang region.

Keywords: west channel; slope; plant diversity; ecological restoration

大规模的工程建设和矿山开采等人为活动干扰了原有的自然生态系统,对土壤、植被造成了严重的破坏^[1],形成了大量裸露的岩质和土质边坡。由于受地形限制,边坡多呈高陡形态,具有极强的不稳定性^[2],极易造成崩塌、泥石流等地质灾害的发生,对裸露边坡进行生态恢复与重建已迫在眉睫^[3]。退化边坡生态系统的恢复与重建,首先需要进行边坡自然环境条件的调查,了解边坡的植被破坏、水土流失和侵蚀情况,采取工程和生物措施相结合的护坡措施,从而达到控制水土流失和改善土壤理化特性的目的,促进边坡植被的恢复重建^[4-5]。

生态系统的恢复与重建的目的是生物多样性和完整生态系统的重构,关键则是植物多样性的构建^[4],植物多样性是生态系统其他生物多样性的基础,其发展能促进土壤结构与肥力以及土壤微生物与动物的恢复,从而促进整个生态系统结构与功能的恢复与重建^[5]。本文拟通过分析西干渠黄旗坝段阴坡和阳坡不同生态恢复方式后群落多样性和土壤理化性质的变化,阐述生态恢复和自然生境因子对边坡植物和土壤特性的共同作用。以期为丰富北疆地区这类特殊生境下边坡植被恢复的基础资料搜集,同时为边坡生态恢复工程技术方法的开发、设计、施工提供技术方法,为调控植被演替速率和预期植被恢复效果等提供依据。

1 研究区概况

研究区域位于准噶尔盆地西干渠的西北部,西干渠引水工程黄旗坝分水闸附近,地理坐标为(46°15′—46.49″N,86°52′—64.56″E),海拔566 m。气候属为温带干旱区气候^[6-7],多年平均气温3.4~4.5℃,≥10℃的积温在3300~3350℃之间,盛行东北风,平均风速一般小于2 m/s。干燥度6.0~19.9,蒸发量大,年蒸发量1500~2300 mm,降水少,年平均降水只有88.5 mm;夏季炎热,有干热风之害,为荒漠景观。研究区域渠道边坡走向为东西走向,阴阳坡分界明显,边坡以土质边坡为主,属于引水

工程开挖造成的人工新边坡,边坡土壤与自然生境地相比,土层多在地平面1 m以下,土层从上到下依次有沉积层、母质层、甚至岩层,边坡土壤母质以灰棕荒漠土和盐渍土为主。渠道边坡坡长2 km,坡度30°~40°,植被总体生长稀疏,植被盖度2%~5%,主要植物以盐生草(*Halogeton glomeratus*)、针茅(*Stipa capillata*)为主,渠道边坡在丰水年,以角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)、针茅(*Stipa capillata*)、猪毛菜(*Salsola collina.*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)等旱生草本为主,且长势较差。该研究区段水土流失类型主要为风蚀和水蚀。在护坡实践前对边坡土壤进行基本理化性质分析,其中,有机质阳坡为1.14 g/kg,阴坡为1.83 g/kg,全氮阳坡为0.08 g/kg,阴坡为0.13 g/kg,速效磷阳坡为0.29 g/kg,阴坡为0.32 g/kg,速效钾阳坡为42.56 g/kg,阴坡为64.97 g/kg。由表1可知,试验地阴坡与阳坡土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量均处于极缺、缺、或中下水平。

表1 2001年土壤养分含量全国统一分级标准

| 分级 | 有机质/ (g·kg ⁻¹) | 全氮/ (g·kg ⁻¹) | 速效磷/ (mg·kg ⁻¹) | 速效钾/ (mg·kg ⁻¹) |
|-----|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 丰富 | >40 | >2.0 | >40 | >200 |
| 较丰富 | 30~40 | 1.5~2.0 | 20~40 | 150~200 |
| 中上 | 20~30 | 1.0~1.5 | 10~20 | 100~150 |
| 中下 | 10~20 | 0.8~1.0 | 5~10 | 50~100 |
| 缺 | 6~10 | 0.5~0.8 | 3~5 | 30~50 |
| 极缺 | <6 | <0.5 | <3 | <30 |

2 研究方法

2.1 野外调查

2013年10,11月和2014年4,5月对研究区域黄旗坝段阴坡和阳坡进行了人为的边坡生态恢复措施,主要对阳坡采用客土人工种草护坡和手工撒播植草护坡,种植的草本植物主要有针茅,撒种植物主要有盐生草和猪毛菜。阴坡采用客土植生植物护坡和手工撒播植草护坡的方式,手工撒播植草的草本植物主要有盐生草、沙蒿、猪毛菜,客土植生植物主要有西

伯利亚白刺。鉴于研究区域特殊的环境条件,为了保证护坡植物的成活、生长,在植被生长前期进行喷施植物营养液和补水的维护工作。在 6—8 月对研究区域进行植被调查和土样的采集,植被调查样地设置按照坡向不同划分成阴坡、阳坡和坡顶自然生境下的对照样地,采用随机布点和典型抽样方法对各样地的边坡进行植被调查,每个样地设置 10 个采样点,共计 30 个,每个样地设置 10 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的样方调查草本植物,在坡顶自然生境对照样地设置 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 样方的灌木物种调查,共计 5 个,在 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 样方中设置具有代表性的 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方调查草本植物。每个样地采用样地与样线法结合的方法进行野外植被调查^[8-10];样线法主要调查植物高度、冠幅、盖度和生长状况,样方内对植物种和数量进行统计。同时按照“W”形采样法采集土壤样品,样点取 0—20 cm 表层土样,将所取的表层土样充分混合,每个样点取样重量约 1 kg,用于土壤理化性质的测定。每个样地设置 4 个采样点,每个采样点取样 3 次。利用环刀法采集土壤剖面样品,带回实验室测量土壤水分和养分。

2.2 群落多样性测定

群落物种多样性不仅反映了群落组成中物种的丰富程度和均匀度,也反映了不同自然地理条件与群落的相互关系,是群落组织结构的重要特征,揭示了生态恢复过程中边坡植物群落的演替变化。本文采用了 α 多样性指数中的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H'), Pielou 均匀度指数 (J), Margalef 丰富度指数 (R), 物种丰富度 (即物种数, S) 4 个多样性指数进行之后的统计分析,各指数按照下式计算^[11-12]:

Margalef 丰富度指数: $R = (S - 1) \cdot \ln(n)$

Shannon-Wiener 多样性指数 (H'):

$$H' = - \sum P_i \ln(P_i)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } JP = \frac{\sum P_i \ln(P_i)}{\ln S} = \frac{H'}{\ln S}$$

式中: S ——群落中的总物种数; n ——群落中全部种的总个体数; n_i ——各个物种的个体数 $P_i = N_i \cdot N$ 。

覆盖度的测定:采用仪器测定法,利用传感器测量光通过植被层的状况计算植被覆盖度。

2.3 土壤理化性质测定

样品采集后,将土样中的碎石、植物残根等杂物剔除,平铺于厚纸上,摊成约 2 cm 厚的薄层,然后放在干燥通风的地方自然风干。风干土样经研磨后选择 1 mm 孔径的筛子分筛进行速效养分测定,而全量养分的测定用土通过 0.149 mm 孔径的筛子分筛,测定土壤理化性质。土壤含水量 (W) 用称重法;各种土

壤养分的测定^[13-14]分别为:土壤有机质 (TOM) 采用油浴加热—重铬酸钾容量法;土壤全氮 (TN) 用半微量凯氏法;土壤速效氮 (EP) 用氯化钾浸提—蒸馏法;土壤全磷 (TP) 用氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法;土壤有效磷 (EP) 用双酸浸提—钼锑抗比色法;土壤全钾 (TK) 用氢氧化钠碱熔—火焰光度法;采用乙酸浸提—火焰光度法测定土壤速效钾 (RaK)。每个样品重复 3 次,取平均值。

2.4 数据处理

利用 Excel 和 SPSS 13.0 软件进行试验数据处理。

3 结果与分析

3.1 土壤含水量

土壤水分是植物生长和生存的物质基础,它对土壤的形成过程、土壤坡面的发育和土壤中物质和能量的运移都有重要的影响。由图 1 可知,阴坡土壤水分均值为 5.33%,其次为自然生境下的对照样地,均值为 4.19%;土壤含水量最低的为阳坡,均值为 2.82%,土壤的含水量呈现出:阴坡 > 自然生境 > 阳坡的变化趋势。其中,4 月的土壤含水量明显高于 6 和 8 月,主要原因是一方面冬季的冰雪融水增加了阴坡土壤的含水量,另一方面坡向影响着土壤的热量来源,阳坡由于长时间受太阳直接辐射,坡面温度比阴坡高,土壤水分蒸发量大,因此阴坡相对于阳坡具有更高的水分含量。同时,随着植被恢复效果作用的发挥,植被盖度的增加有效地减少了边坡土壤水分的散失,起到了保水护土的作用。

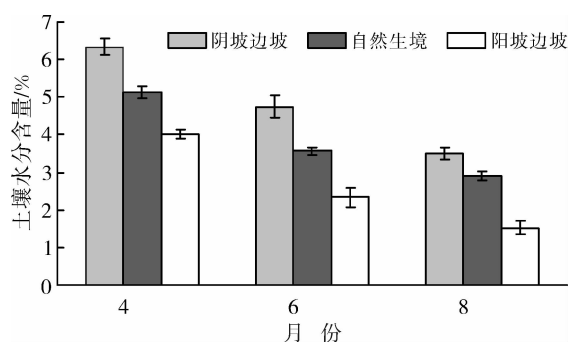


图 1 3 种样地不同月份土壤含水量的对比

3.2 土壤养分变化

土壤养分状况直接影响着群落先锋物种的拓殖和更替,土壤不但影响植物的生长发育,对植物群落的发生、发育和演替的速度具有明显的影响,在一定程度上决定着植被群落的演替速率和演替方

向^[15],是评价生态恢复成效的重要依据。

土壤有机质、速效养分是土壤提供植物生活所必须的易被作物吸收利用的营养来源,是评价土壤

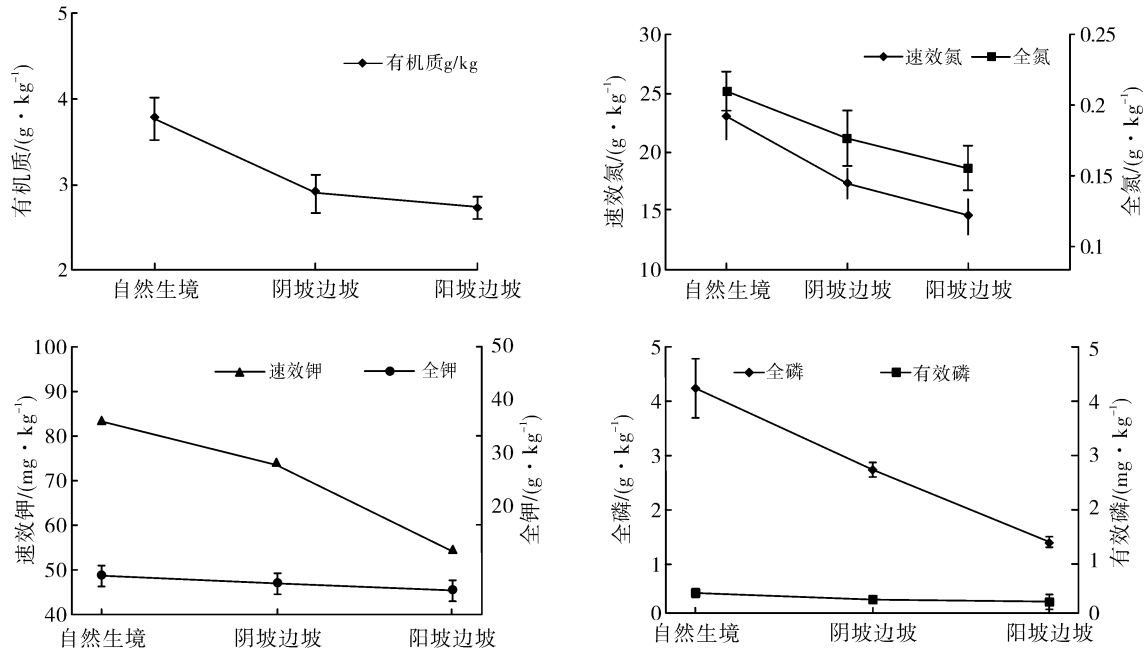


图 2 各样地土壤中有有机质及氮、磷、钾养分含量趋势

从图 2 可以看出,3 种不同生境条件下土壤有机质含量以自然生境为最高为 3.80 g/kg,其次为阴坡为 2.91 g/kg,最后是阳坡为 2.27 g/kg,自然生境下的土壤有机质含量分别为阴坡和阳坡的 1.31,1.67 倍。土壤速效钾含量以自然生境下最高为 143.05 mg/kg,其次为阴坡为 73.40 mg/kg,阳坡为 54.05 mg/kg。自然生境的土壤速效钾含量分别为阴坡和阳坡的 1.95,2.65 倍。土壤全氮、全钾含量通常用于衡量土壤氮素、钾素的基础肥力。土壤全磷含量以自然生境最高为 0.48 g/kg,其次为阴坡、阳坡分别为 0.35 和 0.31 g/kg,自然生境土壤全磷分别为阴坡和阳坡的 1.37 和 1.54 倍,土壤速磷含量以自然生境最高为 4.25 g/kg,阴坡和阳坡次之,分别为 2.75 和 1.41 mg/kg,自然生境分别为阴坡和阳坡的 1.55 和 3.01 倍,土壤全氮含量以自然生境最高为 0.22 g/kg,阴坡和阳坡样地次之,分别为 0.18 和 0.16 g/kg,自然生境分别为阴坡和阳坡的 1.22 和 1.37 倍。由图 2 可知,在对西干渠人工生态恢复后的阴坡、阳坡和自然条件下的自然生境的土壤调查发现,土壤氮、磷、钾的养分含量总体呈现出:自然>阴坡>阳坡的变化趋势。

3.3 植物多样性

3.3.1 群落结构组成 群落的密度、盖度、高度可反映恢复群落的恢复效果和生产能力。对经过生态修

自然肥力的主要指标。氮、磷、钾是表征有机质及土壤肥力的 3 大主要元素,均显著影响植物的生长发育(图 2)。

复后的阳坡、阴坡和自然生境的对照样地的调查得出其群落结构组成如表 2 所示。

植被调查结果发现:在自然生境条件上生长的植物共 9 种,分属 6 科 9 属,盐生草和沙葱为优势种。在阴坡上生长的植物共 6 种,分属 4 科 6 属,盐生草和地肤为优势种。在阳坡上生长的植物共 4 种,分属 2 科 4 属,角果藜为优势种,3 种生境条件下植被的盖度差距明显自然生境的盖度为 60%,阴坡达到 45%,从生态恢复样地调查结果发现,物种密度达到 95 株/m²,虽然部分样地的物种密度在 40 株/m² 以下,但其多样性均匀指数较高,基本达到与自然生境相似的水平,生态群落稳定,生态恢复效果良好,显示出良好的边坡防护效果。植被对坡面的覆盖不仅能有效地截留雨水,减缓土壤水分的蒸发,提高土壤墒情,而且能够防止表面水土流失,固结表土,增强边坡的稳定性。西干渠边坡经过生态修复后植被群落多度、盖度均表现出:自然生境>阴坡>阳坡的变化特征。

3.3.2 物种多样性 物种多样性作为植被群落的重要特征,标示群落系统内部及其与周围环境关系的变化^[16],多样性的提高可增加系统的稳定性。因此,群落多样性可反映恢复群落的生态意义大小。对西干渠边坡的物种多样性指数结果分析见表,从表 3 中可以看出,自然生境的 Shannon-Wiener 多样性指数 H 达到 0.82,阳坡生境的 Shannon-Wiener 多样性指数

H' 只有 0.24, 可以看出, 两地之间的群落物种多样性水平差距很大。植物群落丰富度指数和物种多样性指数都表现出基本一致的分布差异, 即自然生境 > 阴坡 > 阳坡, 说明 3 种生境条件下的整体群落结构单调不富于变化, 植物群落结构较为简单, 阴坡各指数中,

除均匀度相差不大之外, 其丰富度、多样性指数远高于其他修复方式的边坡, 从群落结构组成来看, 群落建立初期, 草本植物为优势群体, 但随着时间的推移, 灌木植物的种数大幅增加, 物种变得更加丰富, 植物群落呈现出灌、草搭配的立体感, 系统稳定性大大增强。

表 2 3 种生境条件下的群落结构组成

| 生境条件 | 种名 | 科 | 属 | 多度 | 盖度/% | 平均高度/m |
|------------------------------------|--|-----|------|------|------|--------|
| 阴坡边坡 | 盐生草 (<i>Halogeton glomeratus</i>) | 藜科 | 盐生草属 | 54 | 45 | 0.16 |
| | 地肤 (<i>Kochia scoparia</i>) | 藜科 | 地肤属 | 62 | | 0.16 |
| | 沙蒿 (<i>Artemisia desertorum</i>) | 菊科 | 蒿属 | 7 | | 0.25 |
| | 猪毛菜 (<i>Salsola collina</i>) | 藜科 | 猪毛菜属 | 15 | | 0.19 |
| | 西伯利亚白刺 (<i>Nitraria sibirica</i>) | 蒺藜科 | 白刺属 | 22 | | 0.18 |
| | 八角刺 (<i>Ilex cornuta</i>) | 冬青科 | 冬青属 | 1 | | 0.08 |
| 自然生境 | 盐生草 (<i>Halogeton glomeratus</i>) | 藜科 | 盐生草属 | 132 | 60 | 0.19 |
| | 地肤 (<i>Kochia scoparia</i>) | 藜科 | 地肤属 | 33 | | 0.12 |
| | 角果藜 (<i>Ceratocarpus arenarius</i>) | 藜科 | 角果藜属 | 14 | | 0.15 |
| | 西伯利亚白刺 (<i>Nitraria sibirica</i>) | 蒺藜科 | 白刺属 | 14 | | 0.14 |
| | 沙蒿 (<i>Artemisia desertorum</i>) | 菊科 | 蒿属 | 5 | | 0.21 |
| | 针茅 (<i>Stipa capillata</i>) | 禾本科 | 针茅属 | 26 | | 0.32 |
| | 娟蒿 [<i>Seriphidium</i> (<i>Besser ex Less.</i>) <i>Fourr.</i>] | 菊科 | 娟蒿属 | 53 | | 0.18 |
| | 沙葱 (<i>Allium mongolicum</i>) | 百合科 | 葱属 | 88 | | 0.15 |
| 小蓬 (<i>Nanophyton erinaceum</i>) | 藜科 | 小蓬属 | 33 | 0.11 | | |
| 阳坡边坡 | 角果藜 (<i>Ceratocarpus arenarius</i>) | 藜科 | 角果藜属 | 12 | 15 | 0.12 |
| | 针茅 (<i>Stipa capillata</i>) | 禾本科 | 针茅属 | 4 | | 0.22 |
| | 盐生草 (<i>Halogeton glomeratus</i>) | 藜科 | 盐生草属 | 20 | | 0.12 |
| | 猪毛菜 (<i>Salsola collina</i>) | 藜科 | 猪毛菜属 | 6 | | 0.17 |

表 3 3 种生境条件下立地多样性指数

| 生境条件 | 丰富度指数 | | | | 多样性指数 | | | | 均匀度指数 | | | |
|------|-------|---------|------|---------|-------|---------|------|---------|-------|---------|------|---------|
| | 草本 | 标准误 | 木本 | 标准误 | 草本 | 标准误 | 木本 | 标准误 | 草本 | 标准误 | 木本 | 标准误 |
| 自然生境 | 1.46 | 0.144 9 | 1.13 | 0.253 6 | 0.82 | 0.033 8 | 0.43 | 0.051 3 | 0.94 | 0.035 7 | 0.68 | 0.036 2 |
| 阴坡边坡 | 0.82 | 0.144 2 | 0.82 | 0.201 5 | 0.67 | 0.027 9 | 0.26 | 0.026 8 | 0.71 | 0.029 5 | 0.27 | 0.022 7 |
| 阳坡边坡 | 0.59 | 0.045 8 | 0.28 | 0.040 6 | 0.24 | 0.027 5 | 0.11 | 0.031 4 | 0.55 | 0.022 7 | 0.18 | 0.037 7 |

坡向导致边坡植被多样性的显著变化, 从阳坡到阴坡到自然生境, 边坡植被 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 和 Margalef 丰富度指数 (R) 逐渐增加, 自然生境下的植被的物种数最多, 群落多样性最高, 而阴坡的植被多样性次之, 阳坡边坡下的样地植被多样性最低, 这与已有的研究结果^[17]一致。与阳坡相比, 经过生态修复生境条件下的阴坡生态恢复取得了一定的效果, 但是效果并不明显, 植物群落丰富度、多样性、均匀度指数均偏低, 说明植物的演替阶段还比较低。调查研究表明, 植物的多样性和丰富度都低, 群落演替阶段处于初期的灌草植物群落时期, 后期还需要继续跟进调查研究。

在生境条件方面, 有研究表明, 坡向影响着土壤

的能量来源, 阳坡由于受太阳直接辐射的时间较长, 坡面温度比阴坡高, 土壤水分蒸发量大^[18], 因此阴坡比阳坡的土壤水分含量高, 土壤水分含量的差异可能使得坡向成为影响边坡植被生长的因素^[19]。因此, 在进行阳坡的生态恢复时, 需要采取更多的措施, 例如增大植物物种配置的多样性, 增加阳性植物, 以加快植物群落的演替进程。

4 讨论和结论

4.1 土壤养分和水分

通过克拉玛依西干渠边坡生态恢复方式下阴坡、阳坡和自然生境条件下对照样地土壤分析对比发现, 采用客土植生植物护坡和手工撒播植草护坡方式的

阴坡的土壤有机质、速效养分含量高于采用人工种草护坡和手工撒播植草护坡的阳坡。

在土壤有机质和氮、磷、钾养分含量方面,呈现出:自然境地>阴坡>阳坡的分布差异,阴坡生态防护效果良好。其主要原因是:①自然生境条件下土壤未经任何人工扰动且常年植被生长较好,土壤分层保持在正常状态下的水平即表层土属于有机残落物层,有利于植被的生长,自然境地植被盖度高于渠道边坡上的植被盖度,植被生长的枯枝落叶凋落物和腐殖质随着生物异化分解作用,释放出养分归还土壤,对土壤中各物质的含量有一定的贡献,如此常年积累造成自然生境下的土壤养分含量一直保持在较高水平。②西干渠的阴坡和阳坡属于引水工程活动开挖过程中制造的新边坡,边坡土壤与自然地相比土层多在地平面1 m以下,土层从上到下依次有沉积层、母质层、甚至岩层。虽然对其进行一定程度的人工生态修复,但其土壤养分含量不能在短时间内达到自然生境下的土壤的水平。

在土壤有机质和氮、磷、钾养分含量方面呈现出阴坡>阳坡的趋势,其主要原因是:①西干渠地区环境极其干旱,在人工措施恢复前,阳坡由于受太阳直接辐射,土壤水分蒸发量大,造成阴坡土壤水分含量一直高于阳坡,阴坡植被生长较好,植被盖度也较阳坡好,植被的枯枝落叶凋落物(根系、残茬、落叶等)对土壤养分贡献较大,虽然阴阳坡在护坡后期的维护措施基本相同,但阳坡土壤养分含量不能在短时间内达到阴坡下的土壤养分水平。②在人工生态护坡条件下,不同恢复方式造成了植被盖度和植被凋落物的差异,进一步造成了阴坡土壤养分含量高于阳坡的趋势。

土壤水分含量的差异可能使得坡向成为影响边坡植被生长的因素^[19],坡向影响着土壤的热量来源,土壤水分含量除与边坡坡向有关外,植被覆盖对土壤水分有明显的影响^[20-22],植被对降水具有截流作用,可减缓水分渗入土层速度、减弱地表径流、减少地表水分蒸发量,进而降低地表的水土流失,起到保水、保肥的作用。土壤有机质呈现出明显的分布差异,土壤有机质最主要来源是植物根系分泌物与地上凋落物^[23],边坡生态恢复使土壤的养分含量均有不同程度的增加,植被的恢复有利于有机质和全氮含量的增加^[24]。总体来看,在人工边坡生态恢复条件下,边坡的养分和有机质均有所提高,有利于护坡植物的生长,但短时间的生态修复虽在一定程度上使边坡植被得到恢复,土壤得到改善,但土壤的整体状况还处在结构不良、保水性差、有机物质和土壤养分转化储存

能力弱的阶段,仍需较长的时间来恢复和改善。

4.2 边坡植物多样性

植物多样性是生态系统其他生物多样性的基础,其发展能够促进土壤结构与肥力以及土壤微生物与动物的恢复,从而促进整个生态系统结构与功能的恢复与重建^[5]。植被具有改善土壤营养状况的作用,同时植被所具有的深根性质也对增加土层的稳定性起到了重要的作用,使土壤更适合植被恢复和群落演替。植被对降水具有截流作用,可减缓水分渗入土层速度、减弱地表径流、减少地表水分蒸发量,进而降低地表的水土流失,起到保水、保肥的作用。已有研究表明,水分和土壤有机质是群落分布的主要影响因素^[25]。克拉玛依西干渠阴坡土质边坡经过人工生态恢复后,其群落构成与阳坡存在很大差异,植物种类更加丰富,经过客土植生植物护坡和手工撒播植草护坡的方式的阴坡植物生长更好,且分布均匀。表明,经过客土植生植物护坡和手工撒播植草护坡的方式后的阴坡植物群落指数均增加,群落演替进入灌草植物群落阶段,生态修复边坡群落结构及稳定性优于种草护坡和手工撒播植草护坡的阳坡植被恢复。

4.3 边坡生态恢复措施建议

(1)北疆地区边坡生态恢复中植物物种的选择应以当地原始植被大量分布的乡土植物为主,选择干旱区强适生型植物,以降低人工灌溉干预,降低因为灌溉而导致的水土流失^[26]。在坡向分界明显的阴坡、阳坡应加强对阳坡植被的后期维护和管理,在阳坡边坡上栽植抗旱性更强的植被。如若引种应以引进不具有强侵入性的物种为主,以使植被快速覆盖坡面,形成坡面保护层。在克拉玛依西干渠的自然荒漠植被地带,土壤发生了严重的盐渍化,甚至有大量的盐土分布。因此,在利用植被进行生态护坡时,可以选择一些耐盐的植物,如怪柳等作为盐渍土改良的栽培树种。

(2)在北疆地区边坡生态恢复中植物护坡有天然的局限性,如气候因素,土壤因素等。如果不采用工程措施和人为后期的维护措施,植被难以生长,因此植被措施需与工程防护技术相结合,优势互补,既保证了边坡的稳定,又实现了护坡植物的快速恢复。

(3)北疆地区边坡生态恢复中防护植物在初期应以本地草本为主,后期增补低矮的灌木植被,保证群落的多样性,做到“灌、草”的结合,优势互补,以起到稳固边坡的作用。边坡生态恢复是一个长期的过程,在植被恢复过程中,要对植被进行长期的监控和维护,做到及时的补栽和移栽。

[参 考 文 献]

- [1] Bradshaw A. The use of natural processes in reclamation: Advantages and difficulties[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 51(2):89-100.
- [2] Tan D L. Investigation of the technology on ecological protection of highway slope[J]. *Chinese Hi-tech Enterprise*, 2009, 5(15):175-176.
- [3] 张俊云, 周德培, 李绍才. 岩石边坡生态护坡研究简介[J]. *水土保持通报*, 2000, 20(4):36-38.
- [4] 王伯荪, 彭少麟. 植被生态学: 群落与生态系统[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [5] 任海, 彭少麟, 陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学[J]. *生态学报*, 2004, 24(8):1756-1764.
- [6] 李江风. 新疆气候[M]. 1 版. 北京: 气象出版社, 1991: 25-121.
- [7] 新疆地理学会. 新疆地理手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1993:88-137.
- [8] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1997:35-50.
- [9] 顾峰雪, 张远东, 潘晓玲, 等. 阜康绿洲土壤盐渍化与植物群落多样性的相关性分析[J]. *资源科学*, 2002, 24(3):42-47.
- [10] 郭正刚, 王根绪, 沈禹颖, 等. 青藏高原北部多年冻土区草地植物多样性[J]. *生态学报*, 2004, 24(1): 150-155.
- [11] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法[J]. *生物多样性*, 1994, 2(4):231-239.
- [12] 周顺涛, 辜彬, 蔡胜, 等. 挡土翼工法在石质边坡生态恢复中的应用研究[J]. *水土保持通报*, 2009, 29(2): 192-195.
- [13] 潘发明. 森林土壤肥力的综合分析评价[J]. *四川林勘设计*, 1997(1):32-39.
- [14] Huang Biao, Sun Weixia, Zhao Yongcun, et al. Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices[J]. *Geoderma*, 2007, 139(3/4): 336-345.
- [15] 李艳, 李鹏, 赵忠, 等. 退耕地植被恢复演替的生态环境效应研究进展[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(8):155-159.
- [16] 张晶晶, 王蕾, 许冬梅. 荒漠草原自然恢复中植物群落组成及物种多样性[J]. *草业科学*, 2011, 28(6): 1091-1094.
- [17] Alday J G, Marrs R H, Martinez-Ruiz C. The importance of topography and climate on short-term revegetation of coal wastes in Spain[J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36(4):579-585.
- [18] Cano A, Navia R, Amezaiga I, et al. Local topoclimate effect on short-term cutslope reclamation success[J]. *Ecological Engineering*, 2002, 18(4):489-498.
- [19] Martinez-Ruiz C, Marrs R H. Some factors affecting successional change on uranium mine wastes: Insights for ecological restoration[J]. *Applied Vegetation Science*, 2007, 10(3):333-342.
- [20] 王思砚, 苏维词, 范新瑞, 等. 喀斯特石漠化地区土壤含水量变化影响因素分析: 以贵州省普定县为例[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(3):171-175.
- [21] 邓建梅, 尹海英, 余传波. 攀枝花地区干热河谷干季末期典型植被的土壤含水量研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(34):21013-21015.
- [22] 胡天均, 周启文, 周义贵, 等. 岷江上游山地森林. 干旱河谷交错带几种植被类型土壤含水量研究[J]. *现代农业科技*, 2011, (15):258-261.
- [23] Chapin III F S, Matson P A, Vitousek P. Principles of terrestrial ecosystem ecology[M]. Springer Science & Business Media, 2011.
- [24] 苗仁辉, 蒋德明, 王永翠. 科尔沁沙质草地封育过程中的植被变化及其机制[J]. *干旱区研究*, 2013, 2(30): 264-270.
- [25] 张娟红, 何彤慧, 程志, 等. 宁夏平原沟渠边坡植物群落多样性的影响因子分析[J]. *干旱区研究*, 2013, 5(30):845-849.
- [26] 仲坚. 干旱地区边坡类绿地生态与植被恢复技术浅议[J]. *绿色科技*, 2014, 8(8):11-12.