

· 创新与探索 ·

高海拔工程扰动区不同植物生态修复适应性研究

蒋文翠¹, 冉江华², 王铭明³, 金冠锋¹, 耿庆宝¹, 曾荣俊¹, 瞿佳¹, 孔维博^{2*}

(1. 华能西藏雅鲁藏布江水电开发投资有限公司藏木水电厂, 西藏 山南 856400; 2. 中国能源建设集团云南省电力设计院有限公司, 云南 昆明 650032; 3. 昆明理工大学, 云南 昆明 650031)

摘要:以砂生槐、白羊草、黑德画眉草、狗尾草、白三叶草等5种先锋植物为研究对象,通过植物调查和土壤采样室内养分测定,结合主成分分析法,对不同试验区的植物群落结构和土壤肥力进行相关性分析。结果表明:与对照区相比,不同试验区 Shannon-Wiener 指数(H)表现出显著差异, Simpson 优势度指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J)差异不明显,不同群落 H 值依次为黑德画眉草植物群落 > 白羊草植物群落 > 砂生槐植物群落 > 白三叶草植物群落 > 狗尾草植物群落; 不同植物群落下土壤有效氮含量、含水率平均值明显高于对照区,砂生槐改良土壤肥力效果最好,白三叶草对土壤含水率影响最大。

关键词:植物群落结构;生态修复;土壤肥力;高海拔工程扰动区

中图分类号: X171.4

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2024)03-0063-05

Research on Ecological Restoration Adaptability of Different Plants in High Altitude Engineering Disturbance Areas

JIANG Wencui¹, RAN Jianghua², WANG Mingming³, JIN Guanfeng¹, GENG Qingbao¹, ZENG Rongjun¹, QU Jia¹, KONG Weibo^{2*}

(1. Zangmu Hydropower Plant of Huaneng Xizang the Yarlung Zangbo River Hydropower Development Investment Co., Ltd., Shannan, Xizang 856400, China; 2. China Energy Engineering Group Yunnan Electric Power Design Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan 650032, China; 3. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650031, China)

Abstract: Taking five pioneer plants, sand locust, white sheep grass, black eared eyebrow grass, dog tail grass and white clover, as research objects, the correlation between plant community structure and soil fertility in different test areas was analyzed by plant investigation, soil nutrient determination and principal component analysis. The results indicated that compared with the control area, Shannon Wiener index(H) of different test areas was significant different, while Simpson dominance index(D) and Pielou evenness index(J) were not significantly different. H value of different plant communities in order of large to small were black spikelet plant community, white wool plant community, sand locust plant community, white clover plant community, dog tail plant community. The average content of available nitrogen and moisture in soil in different plant communities were significantly higher than those in the control area. Sand locust had the best effect on soil fertility, and white clover had the greatest impact on moisture in soil.

Key words: Plant community structure; Ecological restoration; Soil fertility; High altitude engineering disturbance area

高海拔地区自然条件恶劣,主要特点为高寒气压低、空气稀薄、大气干燥、太阳辐射强烈、风力强劲^[1-2]、无(少)雨期较长、土壤贫瘠、生态脆弱等^[3-4],故其施工扰动区生态破坏后难以自然恢

收稿日期:2023-04-13;修订日期:2024-05-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52269026, 51969010);云南省教育厅科学研究基金资助项目(2020Y0179)

作者简介:蒋文翠(1990—),男,云南宣威人,工程师,硕士,研究方向为工程扰动区生态修复与植被重构。

*通信作者:孔维博 E-mail: 735319976@qq.com

复^[5]。刘健等^[6]、应丰等^[7]以西藏某水电站建设为背景,对高海拔工程扰动区进行研究,提出了系统地被配置模式。王君武等^[8]以高海拔地区公路为研究对象,系统地阐述了生态修复对土壤基质条件的改善与循环系统的重建,丰富了高海拔公路建设生态修复技术。张帅^[9]以川藏铁路某段为研究对象,筛选优势物种,分析工程扰动特点,提出修复措施,完善了高海拔地区铁路建设生态修复理论。上述研究主要为调查型研究,研究方法相对粗放,难以量化分析。

扰动区生态修复当优先考虑当地物种,避免生物入侵风险^[10-11]。今以雅鲁藏布江中游某高海拔工程扰动区为研究区域,实地调查并结合前人研究结论,选取先锋物种为研究对象,将不同植物生态修复区植物群落结构特征和对土壤肥力的影响进行综合分析,探讨不同植物对高海拔扰动区生态修复的适应性和改良性,筛选出生态修复优势物种,为高海拔工程扰动区生态修复植被配置物种选择提供参考。

1 研究区概况

研究区(E92°31'27.56", N29°10'30.34")位于加查峡谷内某水电站附近,隶属于西藏自治区山南地区加查县拉绥乡。该地段属高原温带半干旱季风型气候区,光照充足,辐射强,日温差大,雨季集中,冬春季干燥多风。该地雅鲁藏布江江面海拔约为3255 m,年日照时数2750 h,年气温在-3℃~14.6℃之间,最热月平均温度14℃左右,无霜期149 d,降水量约540.5 mm,集中在7月—8月,多年平均蒸发量为2075.2 mm,多年平均风速为1.6 m/s,最大风速19.0 m/s^[12]。该地区以灌丛草原和亚高山灌丛草原为主^[13],通过实地调查先锋植物主要为豆科的砂生槐(*Sophora moorcroftiana* Kanitz)、白三叶草(*Trifolium repens* L.),禾本科的黑穗画眉草(*Eragrostis nigra* Nees ex Steud.)、白羊草[*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng]、狗尾草[*Setaria viridis* (L.) Beauv.]。由于海拔升高,水热的再分配,生物气候垂直差异显著,相应土壤的分布也表现出明显的垂直地带性规律,由低到高依次为褐土(3300 m~3600 m)、暗棕壤(3600 m~3900 m或4100 m)、亚高山灌丛草甸土(3900 m或4100 m~4500 m)、高山寒漠土(4500 m~5300 m或5500 m),5500 m以上为永久性积雪或冰川。

2 材料与方法

2.1 样地设置

依托研究区现状,选择位置较好的区域作为试验样地,布置6个相同的试验小区(5 m×2 m),每个小区间隔30 cm。2021年4月初分别将砂生槐(Y1)、白羊草(Y2)、黑穗画眉草(Y3)、狗尾草(Y4)、白三叶草(Y5)种子按照80 kg/hm²(80 g/小区)的播种量播撒于5个试验小区中,发芽率约50%。剩余1个是空白对照区(CK),种植结束后全部小区浇1次水,浇水量为60 m³/hm²(60 kg/小区)。植物出芽后不再做任何处理,完全依靠天然降雨灌溉。

2.2 植被调查与土样采集

2021—2022年,每年8月对研究区植被进行试验数据收集。8月植物群落物种数最丰富,采用典型选样法^[14],在不同植物生态修复区布设3个具有代表性的样方(1 m×1 m),共计18个。对样方内植物的冠幅、盖度、株高和株数等指标进行调查统计。

在各样方内分别随机布设3个采样点,用直径5 cm土钻采集0 cm~30 cm土样,取样后立即混合成为1个样品,代表该小区土样,每种植物群落取3份土样,共计18份土样。2021—2022年两年各项数据的平均值用作分析数据。

2.3 生物量测定

研究区以草本为主,故采用全株收获法对生物量进行测定^[15],草本的收集也安排在8月。在各分区样地内随机选取3个具有代表性的样方1 m×1 m,将样方内全部草本挖出,称取鲜重后带回实验室,置于烘箱中于105℃下杀青30 min,再将烘箱温度调至65℃进行烘干,待质量恒定,将草本植物干燥质量换算为g/m²。

2.4 土壤养分测定

土样采集后带回实验室,在阴凉通风处风干,磨样过筛,进行理化分析。土壤水分用中子仪测定;土壤有效氮、速效磷、速效钾分别采用碱解扩散法、碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法、NH₄OAc浸提火焰光度法测定^[16]。

2.5 植物多样性计算

重要值是表示某个种在群落中的地位和作用的综合数量指标。频度=该种植物出现的样方数/所调查的样方总和×100%;相对高度=某一种植物的高度/所有种高度总和×100%;相对盖度=某

一种植物的盖度/所有种盖度总和 $\times 100\%$;相对频度=某一种植物的频度/所有种频度总和 $\times 100\%$;乔、灌层重要值^[17]=(相对高度+相对盖度+相对频度)/3;藤本、草本层重要值=(相对频度+相对盖度)/2。

采用 α 多样性测度方法^[18],用 Shannon-Wiener 指数(H)^[19]、Pielou 均匀度指数(J)、Simpson 优势度指数(D)^[20]等3个指标对植物群落的物种多样性进行测评。 H 是用来衡量一个生态系统中物种的多样性和丰富性的熵值,熵值越高,说明物种的多样性越高,生态系统的丰富性也越高; J 是指某一群落或生境中全部物种个体数目的分配状况,反映了各物种个体数目分配的均匀程度,物种数目越多,多样性越丰富,物种数目相同时,每个物种的个体数越平均,多样性越丰富; D 是对多样性的集中性的度量,优势度指数越大,表明生物群落内不同种类生物数量分布越不均匀,优势种的地位越突出,偏离程度越大。

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

$$J = - \sum P_i \ln P_i / \ln S \quad (2)$$

$$D = \sum P_i^2 \quad (3)$$

式中: P_i 为种 i 的相对重要值; S 为种 i 所在样地的物种总数,即物种丰富度指数。

2.6 数据处理

运用 Excel 2007、SPSS 22.0、Origin 7.5 统计软件对数据进行整理与统计分析。

3 结果与讨论

3.1 不同试验区植物群落生物量分布特征

试验区立地条件差,研究植物以草本植被为主,故研究区生物量地上部分高于地下部分。不同试验区植物群落生物量差异明显,砂生槐植物群落生物量最高,为 234.66 g/m²,白三叶草植物群落生物量最低,为 106.68 g/m²。试验区植物群落生物量依次为砂生槐植物群落>白羊草植物群落>狗尾草植物群落>黑穗画眉草植物群落>白三叶草植物群落>CK。说明不同植物对工程扰动区适应性不同,选取砂生槐为工程扰动区生态修复优势物种。砂生槐植物群落生物量最高,主要由于该植物为小灌木,分枝多而密集,长势较草本植物更好,其他均为草本植物,虽有差异,但是总体差异不大。

3.2 不同试验区植物群落多样性分析

不同试验区植物群落的 α 多样性指标值见图1。由图1可见,不同试验区植物群落 α 多样性表现出明显差异,不同试验区 H 值表现出显著差异, H 值越高,说明生态系统物种越丰富,结构稳定性和保护物种多样性的能力越强。不同植物群落 H 值从大到小依次为黑穗画眉草植物群落>白羊草植物群落>砂生槐植物群落>白三叶草植物群落>狗尾草植物群落。不同植物群落试验区 D 值和 J 值差异不明显,说明种间重要值差距大,分布不均匀,这主要是群落结构太过单一所导致。

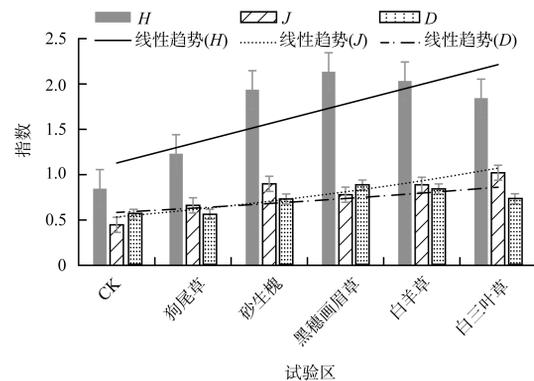


图1 不同试验区植物群落的 α 多样性指标值

Fig. 1 Indicators of α diversity of plant communities in different test areas

3.3 不同试验区植物根际土壤水分与养分分布

3.3.1 不同植物群落下土壤含水率分布特征

不同植物群落下土壤含水率在垂直方向上表现出明显的差异性,见表1。5种植物群落下的土壤含水率均表现出随着土层深度的增加,呈先增加后减少的变化趋势;在0 cm~30 cm土层中,土壤含水率呈增加型,这是由于表层土壤受到太阳直射,水分蒸发量大,而且越接近地表蒸发量越大;在30 cm~60 cm土层中,土壤水分呈逐渐降低趋势,这主要是由于随着土层厚度的增加,降雨对该土层的影响逐渐削弱,且该土层结构性差、非毛管孔隙多,导致其持水能力差、渗透率较高,田间持水量偏低。由表1可知,与对照区相比,不同植物群落下土壤含水率都高于CK区,表明各植物对土壤表层含水率都有改善效果。保水效果最好的为白三叶草,最高含水率比CK区高13.07%,即便是效果相对较差的狗尾草,最高含水率也比CK区高5.58%。在0 cm~30 cm土层中,植物小区土壤含

水率为 11.34%~35.70%, 高于 30 cm~60 cm 土层 (含水率为 10.64%~26.86%), 表明不同植物对土壤表层含水率的改善效果优于深层土壤。在 0 cm~60 cm 土层中, Y1 区、Y2 区、Y3 区、Y4 区、

Y5 区平均含水率分别为 21.96%、23.55%、22.02%、18.34%、22.95%, 平均值比 CK 区高 6.67%, 表明不同植物对改良土壤水分状况具有促进作用。

表 1 不同植物群落下不同土层土壤含水率

Table 1 Moisture in different soil layers in different plant communities

土层深度 <i>h/cm</i>	土壤含水率/%					
	CK	砂生槐(Y1)	白羊草(Y2)	黑穗画眉草(Y3)	狗尾草(Y4)	白三叶草(Y5)
0~10	9.98	15.63	13.02	18.48	11.34	12.41
10~20	19.46	34.09	32.45	33.30	21.24	32.00
20~30	22.63	33.53	31.41	30.51	28.21	35.70
30~40	14.64	22.90	26.86	23.02	21.34	26.54
40~50	13.26	13.88	26.23	15.40	17.24	17.03
50~60	10.55	11.71	11.33	11.41	10.64	14.02

3.3.2 不同植物群落对土壤有效氮的影响

通过取样试验测定, 5 种植物对土壤有效氮都有提升效果, 结果见图 2。由图 2 可见, Y5 区 > Y1 区 > Y2 区 > Y3 区 > Y4 区, CK 区土壤有效氮测定值为 3.78 mg/kg, Y5 区土壤有效氮测定值为 18.23 mg/kg, 与 CK 区对比, 土壤有效氮增值为 14.45 mg/kg, 增幅为 382.28%; 5 种植物中, 白三叶草对土壤有效氮增量最大, 狗尾草对土壤有效氮增量最小。白三叶草、砂生槐土壤有效氮增量较大, 主要是由于这两种植物为豆科植物, 根系具有固氮作用。

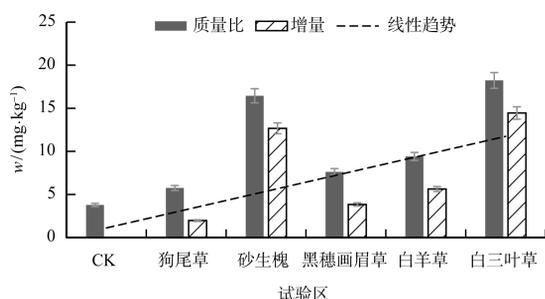


图 2 不同试验区土壤有效氮变化

Fig. 2 Changes of available nitrogen content in soil in different test areas

3.3.3 不同植物群落对土壤速效磷的影响

通过取样试验测定, 5 种植物对土壤速效磷都是削弱效果, 结果见图 3。由图 3 可见, CK 区土壤速效磷测定值为 27.75 mg/kg, 5 种植物群落下土壤速效磷测定值从大到小为 Y4 区 > Y1 区 > Y3 区 >

Y5 区 > Y2 区, 分别减少 3.24 mg/kg、9.33 mg/kg、12.41 mg/kg、15.22 mg/kg、20.15 mg/kg, 降幅依次为 11.68%、33.62%、44.72%、54.85%、72.61%, 白羊草对土壤速效磷的削弱作用最强, 狗尾草对土壤速效磷削弱作用最弱。在类似工程扰动区植物生态修复时, 草本植物可优先考虑狗尾草, 若选择白羊草, 则须加大磷肥的施用量。

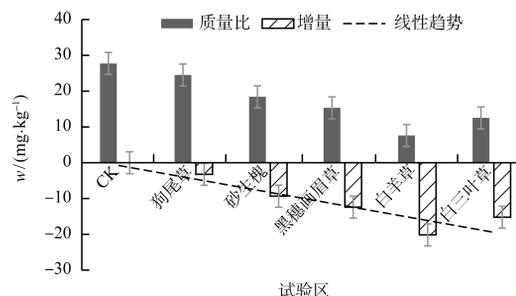


图 3 不同试验区土壤速效磷变化

Fig. 3 Changes of available phosphorus content in soil in different test areas

3.3.4 不同植物群落对土壤速效钾的影响

通过取样试验测定, 5 种植物对土壤速效钾都是削弱效果, 结果见图 4。由图 4 可见, CK 区土壤速效钾测定值为 24.52 mg/kg, 5 种植物群落下土壤速效钾测定值从高到低为 Y1 区 > Y3 区 > Y4 区 > Y2 区 > Y5 区, 分别减少 9.11 mg/kg、10.83 mg/kg、18.84 mg/kg、19.40 mg/kg、19.56 mg/kg。在类似工程扰动区植物生态修复时, 植物可优先考虑砂生槐, 若选择白三叶草, 则须加大钾肥的施用量。

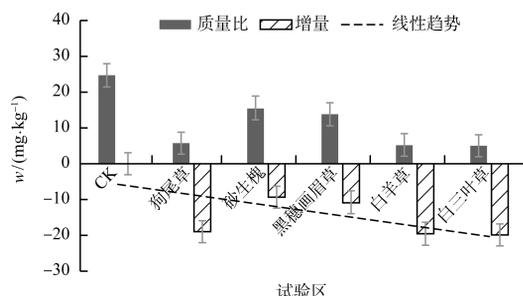


图4 不同试验区土壤速效钾变化

Fig. 4 Changes in soil available potassium in different test areas

4 结语

以高海拔工程扰动区为研究对象,采用典型抽样调查法、对比分析法和主成分分析法,结合前人研究结论,筛选研究区优势物种,通过种植试验采样收集,分析不同植物在试验区的植物群落结构特征和对土壤养分的影响。试验结果表明,上述5种植物不同植物群落试验区 Shannon-Wiener 指数差异明显,Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数差异不明显。5种植物对土壤水分含量和土壤有效氮都有提升作用,对土壤速效磷和速效钾都有削弱效果,故后期在相似类型工程扰动区进行植被生态修复时,需要适当地施放磷肥和钾肥。

通过对工程扰动区不同植物生态修复效果进行综合分析,不同植物对高海拔工程扰动区植物群落结构的影响和土壤肥力改良效果依次表现为砂生槐>黑穗画眉草>白羊草>白三叶草>狗尾草。为提高改良土壤肥力综合效果,建议砂生槐+黑穗画眉草+白羊草进行混播种植,既充分利用豆科植物固氮特性,又兼顾禾本科植物生长快、成坪迅速、覆盖率高的特征,可加快工程扰动区植被生态修复速率。该研究结论可为相似类型工程扰动区生态修复植物配置提供参考。每个试验区只种植一种先锋植物,物种单一,植物群落结构和生物多样性相对简单,生态修复效果不佳。在下一步的研究中需要增加物种研究数量,采用单一种植和混播进行对比试验,综合分析不同生态修复方式对工程扰动区的修复效果,进一步丰富试验区物种多样性,提高研究区生态修复效果。

[参考文献]

[1] 李萌,龚群超,潘家华. 碳中和目标下中国小水电价值评估与

发展战略转型[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2022, 22(2): 86-104.

- [2] 刘清友,朱海燕,陈鹏举. 地质工程一体化钻井技术研究进展及攻关方向——以四川盆地深层页岩气储层为例[J]. 天然气工业, 2021, 41(1): 178-188.
- [3] 温鑫鸿,何小娟,刘进山,等. 不同海拔梯度柳杉林粗木质残体基础特征[J]. 森林与环境学报, 2022, 42(4): 392-400.
- [4] 卢晶,马宗祺,高鹏斐,等. 祁连山区演替先锋物种西藏沙棘的种群结构及动态对海拔梯度的响应[J]. 植物生态学报, 2022, 46(5): 569-579.
- [5] 朱蒙恩,沙利云,周明涛,等. 西藏高寒地区不同边坡生态修复类型土壤的肥力变化[J]. 水土保持通报, 2021, 41(4): 158-165.
- [6] 刘健,应丰,王静,等. 高寒高海拔地区水电站植被修复技术探讨[J]. 中国水土保持, 2021(11): 38-40.
- [7] 应丰,李健,王静,等. 高寒高海拔地区水电站施工扰动区生态修复技术及植物物种选择[J]. 中国水土保持, 2018(1): 36-39.
- [8] 王君武,张茂林,侯克锁,等. 高寒高海拔地区路域生态修复技术体系研究[J]. 交通节能与环保, 2018, 14(1): 34-36.
- [9] 张帅. 高寒高海拔地区铁路建设生态修复措施及植物配置[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(9): 171-175.
- [10] 蒋文翠,冉江华,王铭明,等. 生态修复废弃矿山植被群落结构特征研究[J]. 环境监测管理与技术, 2024, 36(2): 69-73.
- [11] 扎西次仁,拉琼,次增卓玛,等. 西藏扎其阿嘎矿区植被调查及其恢复技术探讨[J]. 西藏大学学报(自然科学版), 2012, 27(2): 1-5.
- [12] 拉琼,扎西次仁,朱卫东,等. 雅鲁藏布江河岸植物物种丰富度分布格局及其环境解释[J]. 生物多样性, 2014, 22(3): 337-347.
- [13] 安克俭,魏霞,贺燕,等. 祁连山区4种高寒植被类型下土壤养分及含水率分布[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 16-22.
- [14] 李春林,范小妮,臧小龙,等. 植被恢复对高寒高海拔地区沙化土壤养分含量的影响——以拉萨空港新区为例[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2021, 33(4): 55-58.
- [15] 孔维博,尹亚敏,彭尔瑞,等. 山区河道工程扰动边坡植物群落恢复动态研究[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(6): 19-23.
- [16] 蒋文翠,杨继清,彭尔瑞,等. 矿山生态修复研究进展[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(4): 127-132.
- [17] 孔维博,尹亚敏,彭尔瑞,等. 山区河流生态河道治理工程扰动区植被群落恢复的影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2021(3): 31-35.
- [18] 孔维博,周军红,李迎阳,等. 高盐胁迫下芒硝盐岩弃渣场植被生态修复研究[J]. 环境监测管理与技术, 2022, 34(6): 21-25.
- [19] 魏光普,于晓燕,闫伟,等. 轻稀土尾矿库不同植被恢复模式对其土壤肥力的影响[J]. 西部林业科学, 2019, 48(6): 1-8.
- [20] 杨帅,高照良,白皓,等. 矿山废弃地植物种植模式对土壤改良效果[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 134-140.