

引用格式:朱丹红,刘广亮.陕北半干旱黄土丘陵区不同植被恢复对土壤理化性质的影响[J].延安大学学报(自然科学版),2026,45(1):17-22. [ZHU D H, LIU G L. The influence of different vegetation restoration types on soil physical and chemical properties in the semi-arid loess hilly area of northern Shaanxi[J]. Journal of Yan'an University(Natural Science Edition), 2026, 45(1): 17-22.] DOI:10.13876/J.cnki.ydnse.250050

陕北半干旱黄土丘陵区不同植被恢复对土壤理化性质的影响

朱丹红¹,刘广亮²

(1. 中国中元国际工程有限公司,北京 100089;2. 吴起县退耕还林生态(森林)公园管理处,陕西 吴起 717600)

摘要:半干旱黄土丘陵区经过长期的植被恢复工程,生态环境得到了有效的改善。而系统分析植被恢复与土壤养分的空间关系,是研究黄土高原生态保护与修复的理论基础。本研究选取沙棘、杜梨、柠条这三种植被恢复类型,以及撂荒地作为对照,分析了不同植被类型土壤养分的关系。结果发现:植被类型差异显著调控了土壤理化性质,杜梨林在提高土壤孔隙度以及维持土壤水分方面具有优势;沙棘林在土壤pH以及磷元素含量显著高于其他植被;而柠条林的有机质含量最高。综合各项指标发现,沙棘林对土壤质量综合提升较高,其次为杜梨林、柠条林、撂荒地。不同植被类型土壤质量指数随土层深度的增加出现下降趋势,垂直分布特征显著。半干旱黄土丘陵区植被恢复有利于改善土壤理化性质,提高土壤质量,人工种植灌木林地对研究区土壤养分的维持具有相对积极的意义。

关键词:半干旱黄土丘陵区;植被类型;土壤质量

中图分类号:S157.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-602X(2026)01-0017-06

半干旱黄土丘陵区是我国重要的生态保护区。由于土质、降雨量低以及人类不合理的干扰等原因,使得自然植被严重破坏,土壤侵蚀和退化剧烈,是我国水土流失最为严重的地区之一^[1-2]。长期以来,在黄土丘陵沟壑区以退耕还林工程为主的植被恢复政策实施后,为区域生态的改善和提升做出了重要贡献。植被覆盖率的增加可以有效提高土壤有机碳含量^[3-4],同时碳通过植物根系分泌物及残留物的形式转移到不同土层中,土壤中的碳和氮储量也随之增加^[5-6],同时土壤水分与植被根系分布的密度、深度关联度较大^[7-10]。芦东旭等^[11]指出黄土丘陵区刺槐林地土壤N、P含量与林龄的增加呈显著升高趋势;马建业等^[12]表明黄土高原丘陵区的生态修复方式下土壤水库蓄水能力自然恢复(荒草地)

优于人工修复(刺槐);梁香寒等^[13]表明柠条林龄与草本群落多样性具有明显关联,与土层深度对土壤有机碳、全氮、全钾均具有显著的影响;土壤因子又是影响植被草本群落生长发育的关键因子^[14]。然而,人工恢复种植树种单一且以深根速生为主,导致生长慢、存活率低等现象,恶化了土壤的理化性质,形成“小老头”等衰败现象,阻碍了植被的生长发育^[15]。有研究指出在人工林植被演替过程中,土壤固肥保水性出现不同程度的退化现象^[16]。杨磊等^[17]表明半干旱黄土丘陵区人工植被均存在不同程度的土壤水分亏缺,阻碍了黄土高原生态的可持续发展。在植被恢复过程中,土壤养分对植被群落的个体生长产生影响,而植被也会通过土壤养分的利用和消耗来影响土壤的理化性质,土壤容重随恢复年限增

收稿日期:2025-05-22

基金项目:延安大学科研项目(2023JBZR-20)

作者简介:朱丹红(1988—),女,高级工程师,主要从事生态保护与修复研究。E-mail:zhudanhong-ruby@163.com

加而减小,总孔隙度增加,土壤渗透性能和持水能力显著提高,两者是一种相互依赖和制约的关系。

因此,本研究以陕北半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复为研究对象,对其土壤理化性状进行综合研究,以期深入理解不同植被对土壤肥力的影响,从而对陕北地区植被恢复治理及生态建设具有一定参考价值。

1 研究区概况

研究区位于陕北榆林市横山区,位于鄂尔多斯草原向黄土高原过渡地带,毛乌素沙漠南缘,僻处内蒙古、陕西交界,地处 $108^{\circ}56' \sim 110^{\circ}01' E$, $37^{\circ}21' \sim$

$38^{\circ}14' N$ 范围内。常年干燥少雨,年内降雨分配不均,大部分降雨多发生于7~9月,2023年降水量为456.3 mm,年平均日照时数2 815.8 h,2023年平均气温为 $10.8^{\circ} C$, $\geq 10^{\circ} C$ 有效积温2 800 $^{\circ} C$,无霜期148 d。代表植被有沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana microphylla*)、杜梨(*Pyrus betulaefolia*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等。

2 材料与方法

2.1 样地布设

2023年7月,选取沙棘、杜梨、柠条、撂荒地4个不同植被类型为研究样地。样地详细信息见表1。

表1 供试样点基本情况

植被类型	海拔/m	恢复年限/a	平均胸(地)径/cm	经纬度	坡度/ $^{\circ}$	坡向	坡位
沙棘	1 136	9	5.45	$37^{\circ}69'23''N$ $109^{\circ}15'32''E$	21	阳坡	中坡位
杜梨	1 120	10	7.51	$37^{\circ}69'22''N$ $109^{\circ}15'39''E$	25	阳坡	中坡位
柠条	1 195	12	6.32	$37^{\circ}68'91''N$ $109^{\circ}15'60''E$	20	阳坡	中坡位
撂荒地	1 205	9	/	$37^{\circ}69'28''N$ $109^{\circ}15'01''E$	24	阳坡	中坡位

2.2 土壤样品采集

在不同植被恢复样地内以直径为5 cm的土钻进行土壤取样,取样分3层,分别为 $0 \sim <20$ cm、 $20 \sim <40$ cm、 $40 \sim 60$ cm,深度共计60 cm,并各选取2个 $20 m \times 20 m$ 样方作为重复,共设置12个样方。每层土样分别混合均匀,装袋、编号、记录,带回实验室分析。

2.3 指标测定

采用环刀浸水-烘干法测定并计算土壤容重和自然含水量、饱和含水率和总孔隙度,分别采用pH计和电导率仪测定土壤pH(水土比为2.5:1)和电导率(水土比为5:1)、采用硫酸—高氯酸消煮—钼锑抗比测法测定土壤全磷、采用重铬酸钾氧化法—外加加热法测定土壤有机质^[18]。

2.4 统计方法

各指标隶属度值通过模糊隶属度函数计算,函数类型依据其与土壤质量变异呈正相关或负相关而定^[19],通过土壤质量指数计算的得分,该值越高,代表土壤质量越好。

用Excel(2010)软件对数据进行整理及制图,通过SPSS(22.0)软件对实验所取得数据整合后进行单方差分析。

3 结果与分析

3.1 不同植被类型对土壤物理性质的影响

由图1可以看出,不同植被类型的土壤物理性质存在显著差异。4种不同植被类型土壤含水量顺序为杜梨(3.70%)>撂荒地(3.29%)>沙棘(3.15%)>柠条(2.79%)。在 $0 \sim <40$ cm土层,撂荒地土壤含水量显著低于其他植被类型($P < 0.05$),而在 $40 \sim 60$ cm土层,土壤含水量则以撂荒地最高(3.50%)。

4种不同植被类型土壤饱和含水量顺序为撂荒地(47.72 g/kg)>柠条(42.69 g/kg)>杜梨(41.62 g/kg)>沙棘(38.51 g/kg)。4种不同植被类型在 $0 \sim <20$ cm土层土壤饱和含水量撂荒地最高(49.14 g/kg),显著高于其他植被,沙棘最低(40.08 g/kg),与柠条无显著差异,且显著低于杜梨和撂荒地;4种不同植被类型在 $20 \sim <40$ cm土层土壤饱和含水量撂荒地最高(49.40 g/kg),显著高于其他植被,沙棘最低(38.02 g/kg),与杜梨无显著差异,且显著低于柠条和撂荒地;4种不同植被类型在 $40 \sim 60$ cm土层土壤饱和含水量撂荒地最高(44.62 g/kg),与柠条无显著差异,显著高于其他植被,沙棘最低(37.43 g/kg),与杜梨无显著差异,显著低于其他植被。

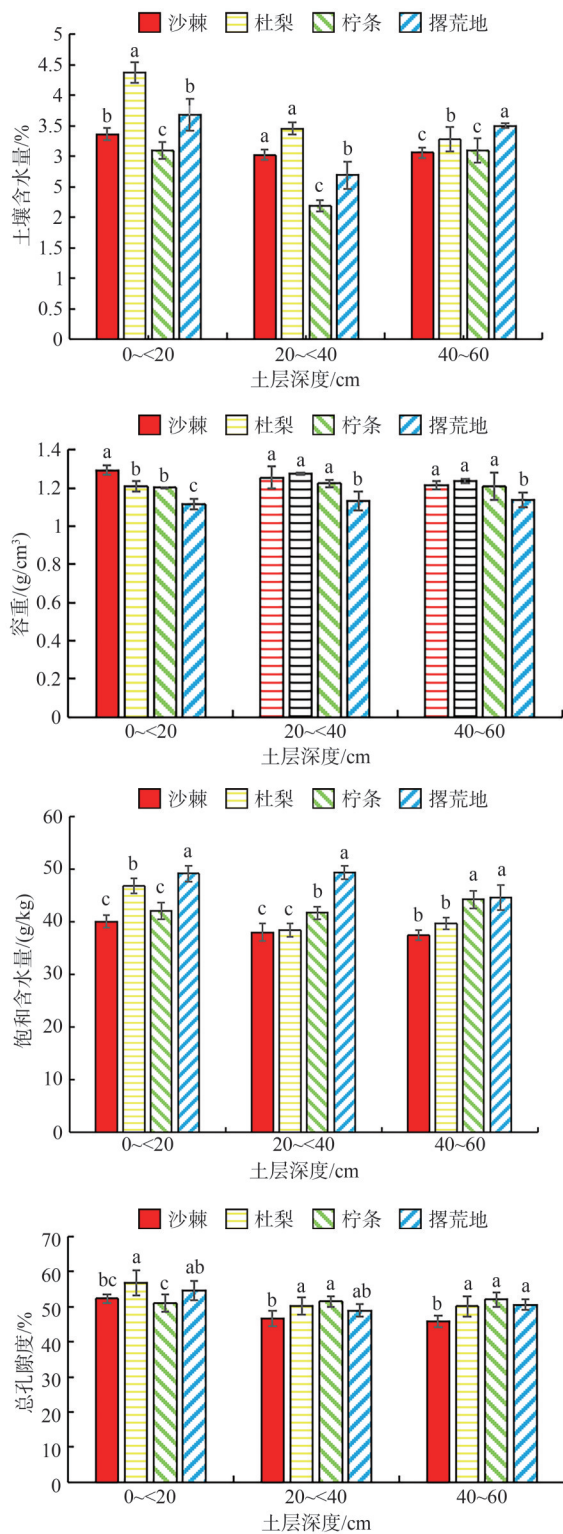


图1 不同植被类型对土壤物理性质的影响

4种不同植被类型土壤总孔隙度顺序为杜梨(52.37%)>柠条(51.49%)>撂荒地(51.39%)>沙棘(48.24%)。4种不同植被类型在0~<20 cm土层土壤总孔隙度杜梨最高(56.81%),与撂荒地无显著差异,显著高于其他植被,柠条最低(50.97%),与沙棘

无显著差异,显著低于其他植被;4种不同植被类型在20~<40 cm土层土壤总孔隙度柠条最高(51.18%),与杜梨、撂荒地无显著差异,显著高于沙棘,沙棘最低(46.69%),与撂荒地无显著差异,显著低于其他植被;4种不同植被类型在40~60 cm土层土壤总孔隙度柠条最高(52.02%),与杜梨、撂荒地无显著差异,显著高于沙棘,沙棘最低(45.75%),显著低于其他植被。

4种不同植被类型土壤容重顺序为沙棘(1.25 g/cm³)>杜梨(1.24 g/cm³)>柠条(1.21 g/cm³)>撂荒地(1.13 g/cm³)。4种不同植被类型在0~<20 cm土层土壤容重沙棘最高(1.29 g/cm³),显著高于其他植被,撂荒地最低(1.20 g/cm³),显著低于其他植被;4种不同植被类型在20~<40 cm土层土壤容重杜梨最高(1.27 g/cm³),与沙棘、柠条无显著差异,显著高于撂荒地,撂荒地最低(1.13 g/cm³),显著低于其他植被;4种不同植被类型在40~60 cm土层土壤容重撂荒地最高(1.23 g/cm³),柠条最低(1.13 g/cm³),之间无显著差异。

3.2 不同植被类型对土壤化学性质的影响

由图2可以看出,不同植被类型的土壤化学性质存在显著差异。4种不同植被类型土壤pH顺序为沙棘(7.99)>杜梨(7.97)>柠条(7.75)>撂荒地(7.48)。4种不同植被类型在0~<20 cm土层pH沙棘最高(8.08),与杜梨、柠条无显著差异,显著高于撂荒地,撂荒地最低(7.63),与柠条无显著差异,显著低于其他植被;4种不同植被类型在20~<40 cm土层pH杜梨最高(8.40),显著高于其他植被,柠条最低(7.37),显著低于其他植被;4种不同植被类型在40~60 cm土层pH沙棘最高(7.90),与柠条无显著差异,显著高于其他植被,撂荒地最低(7.43),与杜梨无显著差异,显著低于其他植被。4种不同植被类型土壤电导率顺序为沙棘(118.47 μS/cm)>杜梨(99.41 μS/cm)>柠条(99.08 μS/cm)>撂荒地(92.29 μS/cm),且在各土层沙棘电导率最高。4种不同植被类型土壤有机质顺序为柠条(10.93 g/kg)>沙棘(7.97 g/kg)>杜梨(5.52 g/kg)>撂荒地(1.68 g/kg)。4种不同植被类型在0~<20 cm、20~<40 cm、40~60 cm土层有机质最高均为柠条(14.56 g/kg)、(10.02 g/kg)、(8.20 g/kg),显著高于其他植被,最低均为撂荒地(2.07 g/kg)、(1.70 g/kg)、(1.27 g/kg),显著低于其他植被。

4种不同植被类型土壤全磷顺序为沙棘(0.38 mg/kg)>杜梨(0.32 mg/kg)>柠条(0.31 mg/kg)=撂荒地(0.31 mg/kg)。4种不同植被类型在0~<20 cm

土层深度时土壤全磷沙棘最高(0.38 mg/kg),与杜梨、柠条无显著差异,撂荒地最低(0.28 mg/kg),显著低于其他植被;4种不同植被类型在20~<40 cm土层土壤全磷沙棘最高(0.36 mg/kg),杜梨最低(0.31 mg/kg),之间无显著性差异;4种不同植被类型在40~60 cm土层土壤全磷沙棘最高(0.39 mg/kg),显著高于其他植被,柠条最低(0.28 mg/kg),与杜梨、撂荒地无显著差异,显著低于沙棘。

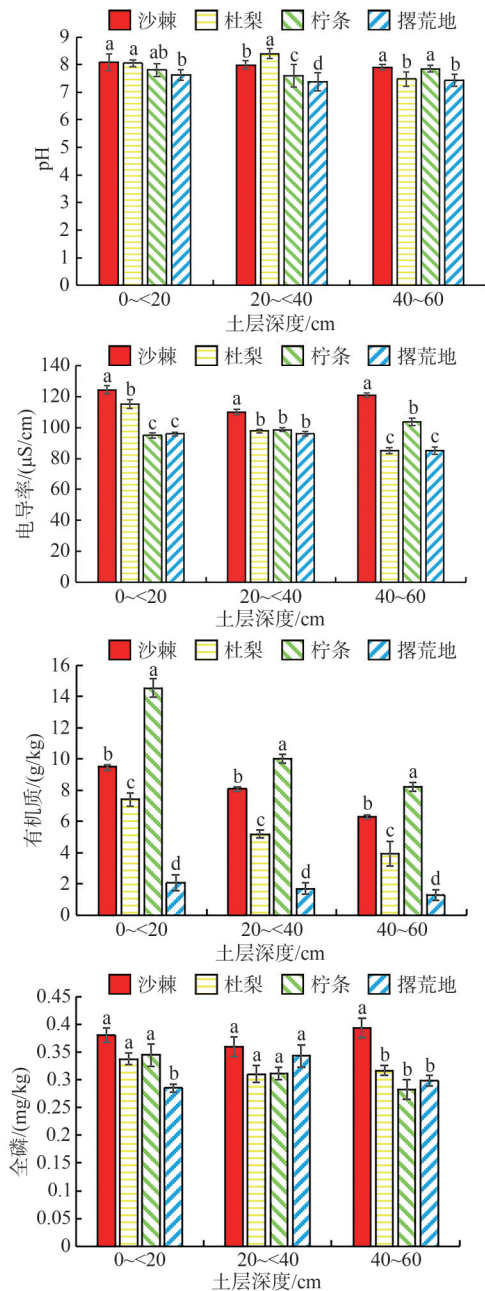


图2 不同植被类型对土壤化学性质的影响

3.3 基于线性评价模型的土壤质量评价

由图3可以看出,研究区不同植被类型土壤质量指数存在显著差异,基于全部数据集的线性评价

模型土壤质量指数介于0.32~0.65,不同植被类型土壤质量指数从大到小表现为沙棘(0.54)>杜梨(0.49)>柠条(0.45)>撂荒地(0.37)。

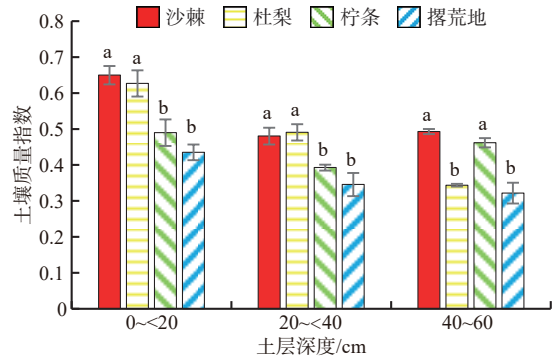


图3 基于线性评价模型土壤质量指数

4 讨论与结论

土壤水分是区域林草植被生长恢复关键因素,随着土层深度的增加,其剖面水分含量及时空变异特征存在显著差异^[20]。本研究表明杜梨土壤含水量最高,柠条最低,在不同植被类型间土壤含水量也呈现显著差异,植被恢复的群落结构、生物量以及叶片特征的差异导致其蒸腾耗水量明显不同^[21-23]。杜梨的抵御干旱胁迫的能力能够保持自身叶片气孔的正常形态,具有较强的光合能力和较高的水分利用效率。柠条林随着林龄的增加,容易形成“小老树”,保水和固土有所降低^[13]。在黄土高原地区乔灌草结构丰富,半干旱黄土丘陵区土壤土质为黄绵土,土壤质地较为均一,且植被根系分布错综复杂,导致不同植被类型在20~60 cm土层深度时,土壤容重差异性较小。黄土高原地区丰富的乔灌草空间布局在改善土壤结构、增加土壤孔隙度、提高土壤蓄水、保水功能等方面具有显著作用。柠条饱和含水量高于杜梨和沙棘,改善土壤结构优于其他两种灌木,这与田昕等^[24]研究结果类似。在0~<20 cm土层深度时,研究区土壤饱和含水量和总孔隙度高于其他土层,与表层存在生物结皮有关^[25],随着土层深度的增加,呈现降低的趋势,这与周琳等研究结果类似^[26]。本研究结果显示,植被类型差异显著调控了土壤物理性质,杜梨在提高土壤孔隙度以及维持土壤水分方面具有优势。

土壤养分时空分布特征与植物生长之间存在反馈机制,植被演替影响土壤生态系统的发育,土壤养分制约植物的生长。土壤理化性质、土壤质地、水盐状况及其相互关系等共同决定着群落物种

组成及其多样性^[27-28]。在本研究中,由于植物表面凋落物的质量、组成、分解速度不同等原因,导致不同植被类型土壤pH、电导率、有机质、全磷在不同土层间存在显著性差异。在0~60 cm土层深度,沙棘土壤化学指标平均值高于其他3种植被,高pH通过影响土壤脲酶活性可以有效减少土壤中氮素的流失,使得植物可以更好的利用氮素^[29-30]。沙棘属于固氮植物,其固氮能力强,植株的凋落物归还养分多,根系分泌有机物以及植物表层的残落物,使得沙棘灌木根际土壤有机质含量较高,可以有效促进植被-土壤理化性质之间共同演替发展^[31]。

土壤养分状况对植被生长影响显著,半干旱黄土丘陵区存在土壤养分贫瘠现象,且生态环境较差,改善土壤肥力状况是生态重建的关键^[32]。本研究中基于全部数据集的线性与非线性评价模型撂荒地土壤质量指数均小于其他植被类型,与前人研究结果相同。沙棘、柠条、杜梨根系可有效改善土壤结构、固定沙土,减少养分流失,枯落物和腐殖质则削弱了水蚀风蚀时地表土壤分化^[33-34]。撂荒地植被覆盖率较低,人为干扰严重,降水时土壤侵蚀以及养分流失较为严重,所以撂荒地土壤质量较差。

植被类型差异显著调控了土壤理化性质,杜梨在提高土壤孔隙度以及维持土壤水分方面具有优势,沙棘林地在土壤pH以及磷元素固定方面具有优势,而柠条林地具有较高的有机质。综合各项指标发现,沙棘林对土壤质量综合提升最高,其次为杜梨林、柠条林、撂荒地。不同植被类型土壤质量指数随土层深度的增加出现下降趋势,垂直分布特征显著。

参考文献:

- [1]凌强,赵西宁,高晓东,等. 间作经济作物对黄土丘陵区旱作红枣土壤水分的调控效应[J]. 应用生态学报, 2016, 27(2): 504-510.
- [2]唐敏,赵西宁,高晓东,等. 黄土丘陵区不同土地利用类型土壤水分变化特征[J]. 应用生态学报, 2018, 29(3): 765-774.
- [3]ZHAO Q Z, SHI P, LI P, et al. Effects of vegetation restoration on soil organic carbon in the Loess Plateau: A meta-analysis[J]. Land Degradation & Development, 2023, 34(7): 2088-2097.
- [4]LAN Z L, ZHAO Y, ZHANG J G, et al. Long-term vegetation restoration increases deep soil carbon storage in the Northern Loess Plateau[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 13758.
- [5]ZENG Y F, WU Q, MEI A S, et al. Hydrogeochemical process and coal mining-motivated effect on the hydrochemistry for the groundwater system in mining area of Western China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2024, 263: 107516.
- [6]MI J X, YANG Y J, HOU H P, et al. Impacts of ground fissures on soil properties in an underground mining area on the Loess Plateau, China[J]. Land, 2022, 11(2): 162.
- [7]BOORI M S, CHOUDHARY K, PARINGER R, et al. Spatiotemporal ecological vulnerability analysis with statistical correlation based on satellite remote sensing in Samara, Russia [J]. Journal of Environmental Management, 2021, 285: 112138.
- [8]WANG Y, DING Q, ZHUANG D F. An eco-city evaluation method based on spatial analysis technology: a case study of Jiangsu Province, China[J]. Ecological Indicators, 2015, 58: 37-46.
- [9]何福红,黄明斌,党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征[J]. 水土保持通报, 2002, 22(4): 6-9.
- [10]WANG Y Q, SHAO M A, LIU Z P. Vertical distribution and influencing factors of soil water content within 21-m profile on the Chinese Loess Plateau[J]. Geoderma, 2013, 193: 300-310.
- [11]芦东旭,耿雪琪,崔子怡,等. 黄土丘陵区不同林龄刺槐养分利用特征和林分质量研究[J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(12): 90-99.
- [12]马建业,李占斌,马波,等. 黄土高原丘陵区不同植被恢复方式下土壤水分特征:以桥子沟流域为例[J]. 中国水土保持科学, 2017, 15(4): 8-15.
- [13]梁香寒,张克斌,乔厦. 半干旱黄土区柠条林土壤水分和养分与群落多样性关系[J]. 生态环境学报, 2019, 28(9): 1748-1756.
- [14]逯金鑫,高飞,周荣磊,等. 不同植被类型下草本群落与土壤因子的关系[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 310-317+326.
- [15]南国卫,赵满兴,王月月,等. 不同退耕类型土壤-植被系统耦合协调关系评价[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(5): 157-162.
- [16]魏强,凌雷,柴春山,等. 甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质[J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4700-4713.
- [17]杨磊,卫伟,莫保儒,等. 半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺[J]. 生态学报, 2011, 31(11): 3060-3068.
- [18]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [19]MASTO R E, CHHONKAR P K, SINGH D, et al. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 136(1/2/3): 419-435.
- [20]宗巧鱼,艾宁,刘长海,等. 陕北黄土区山地枣林土壤水分研究进展[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2020, 39(2): 81-86.
- [21]WANG C, WANG S, FU B J, et al. Soil moisture variations

- with land use along the precipitation gradient in the north-south transect of the Loess Plateau [J]. *Land Degradation & Development*, 2017, 28(3): 926-935.
- [22] 南正正, 杨妮, 贾雨如, 等. 花石崖不同植被类型土壤水分特征[J]. *延安大学学报(自然科学版)*, 2023, 42(2): 49-53.
- [23] XIONG X, ZHOU G Y, ZHANG D Q. Soil organic carbon accumulation modes between pioneer and old-growth forest ecosystems [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2020, 57(12): 2419-2428.
- [24] 田昕, 赵勇钢, 刘啟霞, 等. 黄土丘陵区长期种植柠条坡地土壤饱和导水率及其影响因素[J]. *中国水土保持科学(中英文)*, 2023, 21(4): 20-27.
- [25] 杨澜, 陈晓燕, 朱平宗, 等. 三峡库区经果林地生物结皮发育对土壤饱和导水率的影响[J]. *水土保持学报*, 2024, 38(5): 244-251.
- [26] 周琳, 杜敏, 杨晓楠, 等. 黄土高原沟壑区土壤理化性质对不同植被结构的响应[J]. *林业与生态科学*, 2025, 40(2): 182-188+219.
- [27] 高雷, 崔晓阳, 郭亚芬, 等. 小兴安岭地区典型红松林下不同形态土壤氮的动态变化[J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(12): 52-60.
- [28] 孙小丽, 康萨如拉, 张庆, 等. 荒漠草原物种多样性、生产力与气候因子和土壤养分之间关系的研究[J]. *草业学报*, 2015, 24(12): 10-19.
- [29] 林玉, 聂富育, 杨万勤, 等. 四川盆地西缘 4 种人工林土壤氮转化酶的季节动态[J]. *应用与环境生物学报*, 2019, 25(3): 634-639.
- [30] 胡宗达, 刘世荣, 罗明霞, 等. 川西亚高山不同演替阶段天然次生林土壤碳氮含量及酶活性特征[J]. *植物生态学报*, 2020, 44(9): 973-985.
- [31] 周文洁, 魏天兴, 刘广全, 等. 陕北典型退耕地沙棘群落与土壤因子的耦合关系[J]. *中国水土保持科学*, 2020, 18(2): 1-9.
- [32] PANCHAL P, PREECE C, PEÑUELAS J, et al. Soil carbon sequestration by root exudates [J]. *Trends in Plant Science*, 2022, 27(8): 749-757.
- [33] 刘畅, 张建军, 张海博, 等. 晋西黄土区退耕还林后土壤入渗特征及土壤质量评价[J]. *水土保持学报*, 2021, 35(5): 101-107.
- [34] 李鹏飞, 张兴昌, 郝明德, 等. 基于最小数据集的黄土高原矿区复垦土壤质量评价[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(16): 265-273.

[责任编辑 李晓霞]

The influence of different vegetation restoration types on soil physical and chemical properties in the semi-arid loess hilly area of northern Shaanxi

ZHU Danhong¹, LIU Guangliang²

(1. China Zhongyuan International Engineering Co., Ltd., Beijing 100089; 2. Wuqi County Farmland Retirement to Forest and Ecological (Forest) Park Management Office, Wuqi 717600, China)

Abstract: The ecological environment in the semi-arid loess hilly area has been effectively improved through long-term vegetation restoration projects. The systematic analysis of the spatial relationship between vegetation restoration and soil nutrients is the theoretical basis for studying ecological protection and restoration in the Loess Plateau. Based on this, this study selected three types of vegetation restoration, namely sea buckthorn, pear, and caragana, as well as abandoned land, as controls to analyze the relationship of soil nutrients among different vegetation types. It was found that the significant differences in vegetation types regulate the physical and chemical properties of the soil. The *Pyrus betulaefolia* has advantages in increasing soil porosity and maintaining soil moisture. The sea buckthorn forest land has advantages in soil pH and phosphorus fixation, while the caragana forest land has a higher organic matter content. Based on a comprehensive assessment of various indicators, it was found that sea buckthorn forests have a relatively high overall improvement effect on soil quality, followed by pear forests, caragana forests, and abandoned land. The soil quality index of different vegetation types shows a downward trend with the increase of soil layer depth, and the vertical distribution characteristics are significant. The vegetation restoration in the semi-arid loess hilly area is conducive to improving the physical and chemical properties of the soil and enhancing soil quality. The artificial planting of shrub forest land plays a significant positive role for the maintenance of soil nutrients in the study area.

Key words: semi-arid loess hilly region; vegetation restoration type; soil quality