

晋北丘陵风沙区不同植被恢复模式的水土保持效应

张 鸾¹, 赵利华²

(1. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006; 2. 中北大学能源动力工程学院, 太原 030051)

摘要: 通过对山西右玉贾家窑阳坡退耕还林约20年后的4种植被恢复模式(自然恢复草地、油松林、柠条灌丛和油松—柠条林)土壤水分、理化性质、径流量和侵蚀量的测定,探讨了不同植被恢复模式的水土保持效应。结果表明:(1)4种植被恢复模式0—100 cm土层土壤平均含水量无显著差异,油松林和自然恢复草地的土壤容重高于油松—柠条林和柠条灌丛,土壤总孔隙度的变化趋势与容重相反;(2)4种植被恢复模式0—20 cm土层土壤粒度组成、pH、有机质、铵态氮和速效磷无显著差异,硝态氮和速效钾差异明显($P < 0.05$);(3)4种植被恢复模式径流量没有明显差异,但土壤侵蚀量自然恢复草地和油松林显著高于柠条灌丛和油松—柠条林($P < 0.05$);(4)覆盖度相似条件下,根系密度、近地表植被盖度和枯枝落叶层厚度是影响林草植被水土保持效应的主要因素。

关键词: 植被恢复模式; 水土保持效应; 土壤水分; 土壤理化性质

中图分类号: S714.7; S718.56

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)06-0107-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.06.016

Effects of Different Revegetation Patterns on Soil and Water Conservation in Sandy-hilly Region of Northern Shanxi Province

ZHANG Luan¹, ZHAO Lihua²

(1. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006;

2. School of Energy and Power Engineering, North University of China, Taiyuan 030051)

Abstract: This study investigated soil and water conservation effect of different revegetation patterns in sandy-hilly region of northern Shanxi Province. The characteristics of soil water content, physical and chemical properties, runoff volume and soil erosion of four revegetation patterns plots which have been grown for about twenty years at sunny slope in Jiayiyao watershed in Youyu County, were analyzed. Those revegetation patterns included naturally colonized herbaceous plants, *Pinus tabulaeformis* plantation, *Caragana korshinskii* plantation, and *Pinus tabulaeformis*-*Caragana korshinskii* plantation. The results showed that: (1) There was no significant difference in soil water content in 0—100 cm depth. Soil bulk density of naturally colonized herbaceous plants and *Pinus tabulaeformis* plantation were higher than those of *Pinus tabulaeformis*-*Caragana korshinskii* plantation and *Caragana korshinskii* plantation, while the trends of soil total porosity were opposite to those of bulk density. (2) There were no significant differences in soil granularity distribution, pH, organic matter, ammonium nitrogen and available phosphorus in 0—20 cm depth of the four revegetation patterns, while the differences of nitrate nitrogen and available potassium were significant ($P < 0.05$). (3) Revegetation patterns had significant differences on soil erosion, but no effects on runoff ($P < 0.05$). The soil erosion of naturally colonized herbaceous plants and *Pinus tabulaeformis* plantation were significantly higher than those of *Caragana korshinskii* plantation and *Pinus tabulaeformis*-*Caragana korshinskii* plantation ($P < 0.05$). (4) If coverage was similar, root density, near surface vegetation coverage and leaf litter thickness were the main factors affecting soil and water conservation effect of forest-grass vegetation.

Keywords: revegetation pattern; soil and water conservation effect; soil water; soil physical and chemical property

黄土高原是世界上水土流失最严重的地区,也是我国水土保持和生态建设的重点地区。20 世纪 80 年代以后,我国在该区域先后开展了一系列水土流失综合治理,水土保持工作取得了重大进展和显著成效^[1]。植被在防治水土流失、改善生态环境方面扮演着重要角色。植被在削弱降雨侵蚀^[2]、减少径流量与流速^[3]、增加入渗^[4-5]、提高土壤抗蚀性与抗冲性^[6-7]和改善土壤理化性质^[8-10]方面有明显作用。不同植被类型和配置模式在长期恢复过程中可能会引起地表物质迁移过程及影响因素的改变,从而导致土壤结构、土壤肥力、产流产沙等存在差异^[11-12]。Zhou 等^[13]对羊圈沟 6 种典型植被恢复模式径流量和产沙量对比结果表明,草地径流量和侵蚀量显著高于灌丛;周毅等^[14]对大吉沟油松林、沙棘灌丛、油松—沙棘林以及自然恢复草地的水土保持效益研究结果显示,自然恢复草地和油松林的径流量和侵蚀量均高于沙棘灌丛和油松—沙棘林。

晋北丘陵风沙区位于黄土高原水蚀风蚀交错带,气候变化剧烈,水资源匮乏,加之人为不合理的开垦和放牧,致使该区域水土流失相当严重,生态环境十分脆弱,经济相对落后。随着三北防护林工程、退耕还林工程和京津风沙源治理工程的陆续开展,该区人工植被种植面积增加迅速,生态环境大为改善。小叶杨、油松和柠条作为晋北地区的主要造林树种,经过长期植被建设,不同的单、混种植模式在群落组成^[15]、生物多样性^[16]及土壤质量^[17]等方面表现出明显差异,但关于不同植被恢复模式水土保持效应的研究相对欠缺^[18]。开展此项研究对于解决当前水土保持措施的植被优化配置问题,对区域水土保持和植被建设具有重要的理论意义和实践价值。基于此,本研究从土壤水分利用、理化性质改良以及产流产沙控制角度,探讨退耕还林约 20 年的 4 种植被恢复模式(油松林、柠条灌丛、油松—柠条林和自然恢复草地)的水土保持效应,为晋北丘陵风沙区水土流失治理和生态建设提供技术支撑和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西省右玉县贾家窑缓坡丘陵(40°01'N, 112°27'E),海拔 1 436~1 447 m,土壤为栗钙土和淡褐土。年均气温 4.0℃,年均降水量 420 mm,降雨主要集中在 6—9 月,年均蒸发量 1 761 mm,年均日照时间 2 915 h,年均风速 4 m/s。研究区自然植被较差,多为退耕后种植的人工林,乔木以小叶杨(*Populus simonii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、樟子松(*Pinus sylvestris mongolica*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)为主,灌木主要有柠条(*Caragana korshinskii*)

和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)。

本研究在对研究区进行广泛植被调查的基础上,从中选择 4 种典型植被恢复模式:油松林(*Pinus tabulaeformis* plantation)、柠条灌丛(*Caragana korshinskii* plantation)、油松—柠条林(*Pinus tabulaeformis*-*Caragana korshinskii* plantation)以及自然恢复草地。试验地均位于阳坡,原为耕地,90 年代末退耕后进行植被恢复。试验地海拔、坡度和林龄接近(表 1),均以针茅(*Stipa capillata*)和羊草(*Leymus chinensis*)为主要优势草本植物。

表 1 样地基本特征

植被恢复 模式	海拔/ m	坡度/ (°)	林龄/ a	乔灌层 覆盖度/%	草本层 覆盖度/%
自然恢复草地	1436	7	20	—	50
油松林	1439	12	21	50	5
柠条灌丛	1447	9	20	50	20
油松—柠条林	1439	10	18	55	15

1.2 试验与采样

2015 年 7 月根据实际地形,在每种植被恢复模式试验地布设 2 个自然坡面径流小区(8 m×4 m),周围栽入 PVC 板划分范围,小区下部设置集流桶。为避免受人为因素扰动影响数据精度,径流、泥沙数据采集工作从 2016 年 6 月开始,到 2016 年 9 月结束。

在每种植被恢复模式试验地(避开径流小区)挖土壤剖面(深 100 cm),除去表面植被凋落物和残根后,沿土壤剖面每间隔 20 cm(0—20 cm 间隔 10 cm)用环刀取原状土,带回实验室测定土壤含水量,容重和总孔隙度。另外采集 0—20 cm 土壤样品,带回实验室自然风干后测定土壤粒度、pH、有机质、铵态氮、硝态氮、速效磷和速效钾。

1.3 土样测定与数据处理

在每次降雨产流结束后用钢尺测量各径流小区集流桶的水位高度,乘以集流桶底面积,计算得到 1 次降雨过程径流量;充分搅拌集流桶内的水沙,用塑料瓶收集浑水样带回室内,采用烘干法计算水样含泥量,算出土壤侵蚀量。降雨数据由设在试验区附近空地的 HOBO 自动雨量记录仪测定。

土壤含水量、容重和总孔隙度采用环刀法和浸水法测定;土壤粒度使用 Malvern Mastersizer 3000 激光粒度仪测定,分级采用美国制(USDA)标准^[19];土壤 pH、有机质、铵态氮、硝态氮、速效磷和速效钾参照鲍士旦^[20]的方法测定。

试验数据采用 SPSS 19.0 处理,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan 法比较组间差异,采用 Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 不同植被恢复模式对土壤水分的影响

从表 2 可以看出,4 种植被恢复模式 0—100 cm 土层平均含水量为 6.40%~8.49%。方差分析(表 2)表明,4 种植被恢复模式 0—100 cm 土层平均含水

量无显著差异,不同土层土壤平均含水量也无显著差异。柠条灌丛土壤平均含水量随土层深度(0—100 cm)呈先上升后下降的趋势。除柠条灌丛外,其他 3 种植被恢复模式土壤平均含水量随土层深度变化均不显著。

表 2 不同植被恢复模式土壤平均含水量 单位: %

植被恢复模式	0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	60—80 cm	80—100 cm	0—100 cm
自然恢复草地	5.19±0.53Aa	6.39±0.52Aa	8.77±1.81Aa	10.37±3.08Aa	10.70±4.97Aa	9.49±4.16Aa	8.49±2.43a
油松林	5.36±0.82Aa	5.48±0.52Aa	6.80±0.45Aa	7.52±2.23Aa	6.92±1.42Aa	6.36±1.37Aa	6.41±0.32a
柠条灌丛	5.52±0.14Da	5.93±0.97CDa	7.60±1.40BCa	9.72±0.56Aa	10.77±1.25Aa	9.34±1.31ABa	8.14±0.69a
油松—柠条林	5.05±1.01Aa	6.56±2.33Aa	7.72±1.96Aa	7.09±0.87Aa	6.83±0.83Aa	5.17±0.75Aa	6.40±0.84a

注:同行不同大写字母表示同一林地不同土层含水量差异显著($P<0.05$);同列不同小写字母表示不同林地同一土层含水量差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同植被恢复模式对土壤理化性质的影响

从图 1 可以看出,除柠条灌丛外,其他 3 种植被恢复模式土壤容重随土层深度的增加(0—100 cm)呈先减小(10—40 cm)后增加(>40 cm)趋势。0—10 cm 土层土壤容重油松林和自然恢复草地明显高于油松—柠条林和柠条灌丛;10—40 cm 仍为油松林土壤容重最高,油松—柠条林最低,自然恢复草地和柠条灌丛差异不明显;40—60 cm 以及 80—100 cm 土层,自然恢复草地土壤容重最高,依次为油松林、柠条灌丛和油松—柠条林和 60—80 cm 土层土壤容重 4 种植被恢复模式间相差不大。

为 43.32%~49.52%。与土壤容重的变化趋势不同,4 种植被恢复模式 0—100 cm 土层总孔隙度大致呈先增加后减小的趋势。0—20 cm 土层土壤总孔隙度柠条灌丛>油松—柠条林>自然恢复草地>油松林;20—80 cm 土层人工林土壤总孔隙度均高于自然恢复草地;80—100 cm 土层油松—柠条林和柠条灌丛土壤总孔隙度高于油松林和自然恢复草地。

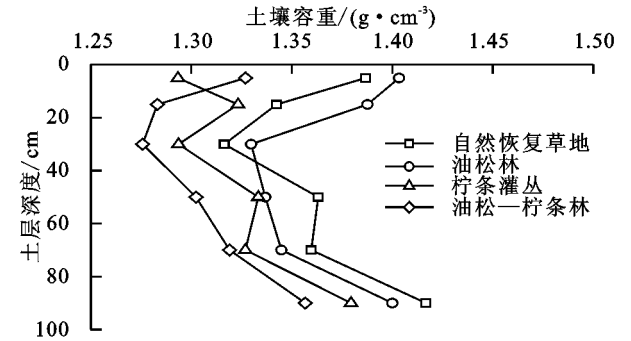


图 1 不同植被恢复模式土壤容重

从图 2 可以看出,0—100 cm 土层土壤总孔隙度

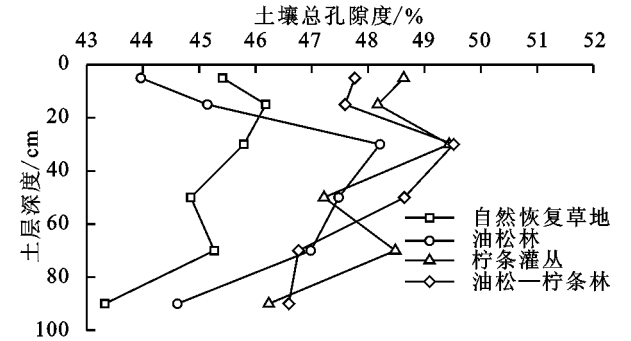


图 2 不同植被恢复模式土壤总孔隙度

根据美国制(USDA)标准(表 3),4 种植被恢复模式 0—20 cm 土壤粒度组成相似,砂粒含量达 68.94%~70.24%,粉粒含量为 28.42%~29.71%,黏粒含量最低,仅为 1.25%~1.37%。方差分析表明,4 种植被恢复模式各粒级组成均无显著差异。

表 3 不同植被恢复模式土壤粒度组成 单位: %

植被恢复模式	黏粒 <0.002 mm	粉粒 0.002~0.05 mm	极细砂 0.05~0.1 mm	细砂 0.1~0.25 mm	中砂 0.25~0.5 mm	粗砂 0.5~1.0 mm	极粗砂 1.0~2.0 mm
自然恢复草地	1.32±0.10a	28.61±1.44a	44.02±0.92a	22.47±1.90a	2.54±0.85a	0.18±0.06a	0.42±0.33a
油松林	1.25±0.05a	29.71±0.49a	45.62±0.37a	20.44±0.34a	2.41±0.37a	0.19±0.12a	0.28±0.18a
柠条灌丛	1.37±0.29a	28.62±0.89a	45.33±0.41a	22.19±0.22a	2.30±1.46a	0.18±0.16a	0.00±0.00a
油松—柠条林	1.32±0.10a	28.42±0.49a	46.24±1.49a	22.84±0.87a	1.15±0.60a	0.02±0.03a	0.00±0.00a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

从图 3 可以看出,4 种植被恢复模式 0—20 cm 土壤 pH、有机质、铵态氮和速效磷无显著差异,硝态氮含量柠条灌丛和自然恢复草地显著高于油松林($P<0.05$),速效钾含量油松林显著高于自然恢复草地($P<0.05$)。

2.3 不同植被恢复模式对径流和侵蚀的影响

试验期间共记录 8 次产流过程,累积降雨量 213 mm。统计不同植被恢复模式径流小区的累积径流量和侵蚀量。方差分析表明,4 种植被恢复模式累积径流量无显著差异,累积侵蚀量自然恢复草地与油松

林差异不明显,但显著高于柠条灌丛和油松—柠条林 ($P < 0.05$) (图 4)。

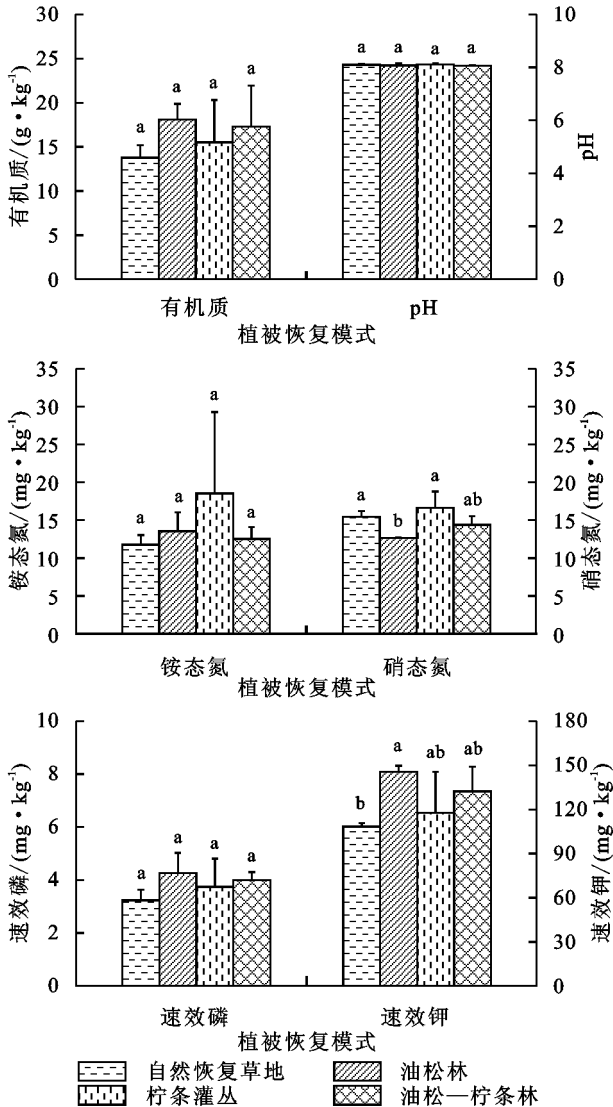


图 3 不同植被恢复模式土壤化学性质

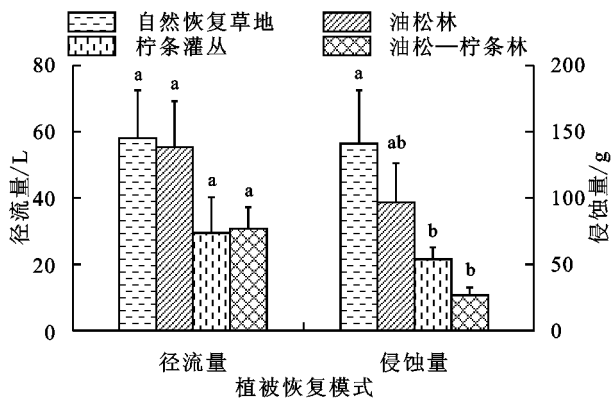


图 4 不同植被恢复模式径流量和侵蚀量

3 讨论

土壤水分是干旱半干旱区限制植物生长的主要因素之一^[21]。安文明等^[22]对黄土高原阳坡人工刺槐林和自然撂荒草地 0—400 cm 土壤水分含量对比研究结果表明,人工林地土壤水分在整个剖面显著低

于自然撂荒草地,因而认为自然撂荒草地对土壤水分的恢复和保持作用优于人工林地。本研究对 3 种人工林(油松林、柠条灌丛和油松—柠条林)与自然恢复草地 0—100 cm 各土层土壤平均含水量的对比结果均无显著差异,这与 4 个样地处于阳坡,采样季气温较高,正值植物生长旺季,植被蒸腾和土壤水分蒸散强烈使得 0—100 cm 土层的土壤水分变化活跃,消耗严重有关。

土壤物理性质主要包括容重、孔隙状况、粒径组成等与导水、贮水特征密切相关的多项指标^[23]。不少研究^[8,10]表明,林分组成、地下根系分布等因素对土壤物理性质的改善作用存在差异。本研究中,柠条灌丛和油松—柠条林根系分布较多,加上林下大量针茅和枯落物改善了土壤孔隙状况,使得土壤疏松,通气状况较好。植被恢复在改善土壤结构的同时,还可以进一步增加土壤养分^[11,24]。柠条灌丛的土壤硝态氮含量较高,主要是柠条形成的固氮菌和菌根增大了对空气中氮固定的缘故。油松林土壤速效钾有较多积累,可能与枯枝落叶中含有大量树脂类高分子有机物有关^[25]。

一般认为,植被的水土保持效应主要表现为植被地上部分对降雨和径流的阻截作用以及地下部分对土壤的固持和改良作用^[7]。朱智勇等^[2]对黄土丘陵沟壑区林草地水土保持效应研究表明,不同植被类型水土保持调控作用机制不同,林地通过植物根系消减降雨侵蚀动力、减缓流速、增加入渗、削减径流实现水沙调控,草地则通过地表植被冠层拦截泥沙实现水沙调控。本研究中,4 种植被恢复模式的地表累积径流量没有明显差异,更多是体现在减沙效果上。本研究发现,人工林乔灌层盖度与自然恢复草地盖度相差不大,但油松—柠条林和柠条灌丛的林下草本生长茂密,乔灌层和林下草本层形成的复层冠层可以起到有效减小雨滴动能、增加入渗和拦截泥沙的作用。油松林下草本植物覆盖率低,加上当地人有采集油松松针当燃料的习惯,林下枯落物不多,因而拦沙作用有限。

综上,柠条灌丛和油松—柠条林在改善土壤结构和肥力,减少土壤侵蚀方面的效果优于自然恢复草地。考虑到人工林恢复时间越长,对于深层土壤水分的消耗越高^[26-27],加之本研究地处干旱阳坡,水分欠缺,因此应该对种植密度进行调控,以防过度耗水。本次试验监测时间短,有必要开展长期土壤水分、水沙过程连续动态观测,以便更深入了解植被恢复的水土保持效应机理。

4 结论

(1)退耕还林约 20 年后,4 种植被恢复模式 0—

100 cm 土壤平均含水量无显著差异,油松林和自然恢复草地土壤容重高于油松—柠条林和柠条灌丛,土壤总孔隙度的变化趋势与容重相反;

(2)4种植被恢复模式 0—20 cm 土层土壤粒度组成、pH、有机质、铵态氮和速效磷无显著差异,硝态氮和速效钾差异显著($P<0.05$);

(3)4种植被恢复模式径流量没有明显差异,但侵蚀量自然恢复草地和油松林显著高于柠条灌丛和油松—柠条林($P<0.05$);

(4)覆盖度相似条件下,根系密度、近地表植被盖度和枯枝落叶层厚度是影响林草植被水土保持效应的主要因素。

致谢:感谢右玉县林业局和右玉县水利局在试验期间给予的帮助与支持。

参考文献:

- [1] 刘国彬,上官周平,姚文艺,等.黄土高原生态工程的生态成效[J].中国科学院院刊,2017,32(1):11-19.
- [2] 朱智勇,解建仓,李占斌,等.坡面径流侵蚀产沙机理试验研究[J].水土保持学报,2011,25(5):1-7.
- [3] 宋江平,李忠武,刘春,等.湘北红壤低山丘陵区典型水土流失治理模式径流泥沙效应[J].水土保持学报,2018,32(1):32-38.
- [4] Zhang B, Yang Y S, Zepp H. Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey Plinthudult in southeastern China[J]. Catena, 2004, 57: 77-90.
- [5] Hu J, Lü Y H, Fu B J, et al. Quantifying the effect of ecological restoration on runoff and sediment yields: A meta-analysis for the Loess Plateau of China[J]. Progress in Physical Geography, 2017, 41(6): 753-774.
- [6] 何淑勤,宫渊波,郑子成,等.不同植被类型条件下土壤抗蚀性变化特征及其影响因素[J].水土保持学报,2013,27(5):17-22.
- [7] 王雅琼,张建军,李梁,等.祁连山区典型草地生态系统土壤抗冲性影响因子[J].生态学报,2018,38(1):122-131.
- [8] Wang L, Mu Y, Zhang Q F, et al. Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind-water erosion region of the northern Loess Plateau of China[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2012, 40(1): 7-15.
- [9] 张晓霞,杨宗儒,查同刚,等.晋西黄土区退耕还林 22 年后林地土壤物理性质的变化[J].生态学报,2017, 37(2):416-424.
- [10] Zhu B B, Li Z B, Li P, et al. Soil erodibility, microbial biomass, and physical-chemical property changes during long-term natural vegetation restoration: A case study in the Loess Plateau, China[J]. Ecological Research, 2010, 25: 531-541.

- [11] 赵护兵,刘国彬,曹玉清.黄土丘陵沟壑区不同植被类型的水土保持功能及养分流失效应[J].中国水土保持科学,2008,6(2):43-48.
- [12] Peng S L, Chen A Q, Fang H D, et al. Effects of vegetation restoration types on soil quality in Yuanmou dry-hot valley, China[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2013, 59(3): 347-360.
- [13] Zhou J, Fu B J, Gao G Y, et al. Effects of precipitation and restoration vegetation on soil erosion in a semi-arid environment in the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2016, 137: 1-11.
- [14] 周毅,魏天兴,解建强,等.黄土高原不同林地类型水土保持效益分析[J].水土保持学报,2011,25(3):13-21.
- [15] 赵德怀,李素清.晋西北丘陵风沙区人工植被数量分类与排序研究[J].山西师范大学学报(自然科学版), 2011, 25(1): 103-109.
- [16] 张鸾,郭伟,李素清,等.晋西北丘陵风沙区人工植被群落分布格局与多样性[J].林业资源管理,2017(6):60-66.
- [17] 李青,狄晓艳.晋北丘陵风沙区不同植被恢复模式的土壤化学特征与生态恢复效应[J].水土保持研究,2017, 24(5): 88-92.
- [18] 王青杵,王改玲,石生新,等.晋北黄土丘陵区不同人工植被对水土流失和土壤水分含量的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):71-74.
- [19] 周健民.土壤学大辞典[M].北京:科学出版社,2013.
- [20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社, 2000.
- [21] Simmons M T, Archer S R, Teague W R, et al. Tree (*Prosopis glandulosa*) effects on grass growth: An experimental assessment of above-and belowground interactions in a temperate savanna[J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72(4): 314-325.
- [22] 安文明,梁海斌,王聪,等.黄土高原阴/阳坡向林草土壤水分随退耕年限的变化特征[J].生态学报,2017, 37(18): 6120-6127.
- [23] 马雪华.森林水文学[M].北京:中国林业出版社, 1993.
- [24] Wang Y F, Fu B J, Lü Y H, et al. Effects of vegetation restoration on soil organic carbon sequestration at multiple scales in semi-arid Loess Plateau, China[J]. Catena, 2011, 85: 58-66.
- [25] 薛莲,刘国彬,戴全厚,等.不同植被恢复模式对黄土丘陵区侵蚀土壤微生物量的影响[J].自然资源学报, 2007, 22(1): 20-27.
- [26] 李军,陈兵,李小芳,等.黄土高原不同植被类型区人工林地深层土壤干燥化效应[J].生态学报,2008, 28(4): 1429-1445.
- [27] 马婧怡,贾宁凤,程曼.黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤水分变化特征[J].生态学报,2018, 38(10): 3471-3481.