

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2024.04.023

苏旭飞,张光辉,曾荣昌.黄土丘陵沟壑区典型植物群落切沟系统植被生长特性[J].水土保持学报,2024,38(4):1-10.

SU Xufei, ZHANG Guanghui, ZENG Rongchang. Vegetation growth characteristics of typical plant communities in gully system in the hilly and gully region of Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(4): 1-10.

黄土丘陵沟壑区典型植物群落切沟系统植被生长特性

苏旭飞¹, 张光辉^{1,2}, 曾荣昌¹

(1.北京师范大学地理科学学部,北京 100875;2.北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室,北京 100875)

摘要: [目的] 为探究不同植物群落切沟系统之间以及同一切沟不同部位间植被生长特性的差异。[方法] 以陕西省安塞区纸坊沟小流域 5 个典型植物群落切沟系统为研究对象,系统研究其物种多样性、盖度、地上生物量、枯落物蓄积量和地下生物量等植被生长特性。[结果] (1)地上生物量、枯落物和根系消减系数受植被类型的显著影响,表现为乔木切沟>灌木切沟>草本切沟,盖度表现为灌木切沟>草本切沟>乔木切沟;(2)切沟右壁(阳坡到半阳坡)物种多样性指数、盖度小于左壁(阴坡到半阴坡);(3)受水热条件综合影响,切沟沟底和原始坡面的植被生长特性无明显分异规律;(4)切沟原始坡面枯落物蓄积量大于沟坡不同部位的枯落物蓄积量。[结论] 研究结果为深入理解植被恢复对切沟发育的潜在影响、评估植被恢复阻控切沟侵蚀的功能提供数据基础和理论支撑。

关键词: 物种多样性; 盖度; 地上生物量; 枯落物; 根系

中图分类号:Q948.1

文献标识码:A

文章编号:1009-2242-(2024)04-0001-10

Vegetation Growth Characteristics of Typical Plant Communities in Gully System in the Hilly and Gully Region of Loess Plateau

SU Xufei¹, ZHANG Guanghui^{1,2}, ZENG Rongchang¹

(1.Faculty of Geographical Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing 100875, China)

Abstract: [Objective] To explore the differences of vegetation growth characteristics between different plant communities and gully positions. [Methods] The vegetation growth characteristics of 5 typical plant communities were systematically studied in Zhifanggou small watershed of Ansai, Shaanxi Province. The investigated characteristics included species diversity, coverage, aboveground biomass, litter storage and underground biomass. [Results] (1) The above ground biomass, litter storage and root reduction coefficient were significantly affected by vegetation type, tree cutting ditch > shrub cutting ditch > herb cutting ditch, and the coverage was shrub cutting ditch > herb cutting ditch > tree cutting ditch. (2) The species diversity index and coverage of the right side of gully (sunny to semi-sunny slopes) were smaller than those on the left side (shade to semi-shade slopes); (3) Under the comprehensive influence of hydrothermal conditions, there was no obvious difference in vegetation growth characteristics between gully bottom and the original slope; (4) The accumulation of litter on the original slope was greater than that of different positions of gully. [Conclusion] The research results provide data foundation and theoretical support for understanding of the potential effects of vegetation restoration on the development of gully and evaluating the role of vegetation in mitigating gully erosion.

Keywords: species diversity; coverage; above-ground biomass; litter; root

Received: 2024-02-19

Revised: 2024-03-29

Accepted: 2024-04-08

Online(www.cnki.net): 2024-05-22

收稿日期: 2024-02-19

修回日期: 2024-03-29

录用日期: 2024-04-08

网络首发日期(www.cnki.net): 2024-05-22

资助项目: 国家自然科学基金项目(4213000026)

第一作者: 苏旭飞(1999—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀研究。E-mail: 202121051006@mail.bnu.edu.cn

通信作者: 张光辉(1969—), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: ghzhang@bnu.edu.cn

http://stbxb.alljournal.com.cn

切沟是由间歇性股流冲刷形成、边壁陡峻、深度 >50 cm、断面呈“V”或“U”形、纵剖面和斜坡基本一致、多呈跌水状、无法横跨耕作的侵蚀沟^[1],是小流域侵蚀泥沙的主要来源^[2-4]。郑粉莉等^[4]研究发现,在黄土丘陵沟壑区,切沟侵蚀产沙量占小流域产沙量的 50%以上;孟令钦等^[5]认为,沟蚀在黑土水土流失中扮演着重要的角色;李青云等^[6]指出,在紫色土丘陵区,沟蚀产沙量占小流域产沙的 40%。切沟侵蚀的发生发展不仅导致严重的土地退化问题,还会威胁生态环境安全,制约区域经济发展。因此,找到合适的切沟侵蚀阻控方法并有效治理切沟,对于实施小流域综合治理具有重要意义。

已有研究^[7-9]表明,植被可以截留降水、消减降水动能、减弱地表溅蚀,还可以增加土壤入渗、调节地表径流、减小径流动能、阻碍径流冲刷,植被建设是水土保持措施中最有效和最治本的方法。而植被对水土流失的影响程度与植被群落生长特性密切相关^[10]。植被生长特性包括物种多样性、盖度和地上生物量等,可以表征群落结构的优劣和生态系统功能的高低^[7]。前人^[4,11-12]针对切沟形态特征监测、切沟发育影响因素、切沟发育过程和切沟侵蚀敏感性评价等方面进行了较为全面的研究,而关于植被恢复对切沟环境的响应研究还相对薄弱。地形是影响土壤水分和肥力的关键因素^[13-15],进而影响植被生长特性。切沟与梁峁坡等坡面地形具有明显差异,因此可能导致切沟系统植物群落生长特性与梁峁坡等缓坡面条件下不同。但目前相关研究主要集中于梁峁坡或沟坡等单一坡面条件下,关于切沟尺度上植被生长特性空间分异尚不明确,不同植物群落切沟系统植被生长特性的差异也有待深入研究。因此,本文在前人研究基础上,在黄土丘陵沟壑区典型小流域,选取不同植物群落的代表性切沟,在切沟不同部位,测定植被生长特性,分析不同植物群落切沟之间以及同一切沟不同部位间植被生长特性的差异,为深入理解植被恢复对切沟发育的潜在影响奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设在安塞区纸坊沟小流域($36^{\circ}46'28''$ — $36^{\circ}46'42''$ N, $109^{\circ}13'46''$ — $109^{\circ}16'03''$ E),位于延河中上游,属黄土丘陵沟壑区第 II 副区,流域面积 8.27 km²。该流域为暖温带半湿润向半干旱过渡的气候区,年平均降水量约 549 mm,降水年际变率大,且季节分配不均,集中在 7—9 月;年平均蒸发量 1463 mm,无霜期 $160\sim180$ 天,年日照时间 2415 h, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 2866°C ,年平均气温 8.8°C 。该区地形破

碎、沟壑纵横,沟壑密度高达 8.06 km/km²,以梁状地形为主,海拔 $1038\sim1414$ m,大部分沟谷深切基岩。主要土壤类型为黄绵土,占全区 65.5%,其次为红胶土和二色土,占 21.5%,土壤结构疏松,抗蚀性能差。流域植被属森林草原过渡带,天然林已全遭破坏,经过多年生态恢复,目前流域内乔木是以刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)、小叶杨(*Populus Simonii* Carrière)为主,灌木以柠条(*Caragana Korshinskii* Kom.)和沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)为主,而草本以铁杆蒿(*Artemisia gmelinii* Weber. ex Stechm.)、苔草(*Carex tristachya* Thunb.)和野菊(*Chrysanthemum indicum* Linn.)等为主^[7,16]。

1.2 样地选择

研究区切沟侵蚀强烈发育,具有很好的代表性。经野外全面踏查发现,纸坊沟切沟系统植被类型多样,且切沟不同部位植物群落组成存在明显差异,故根据切沟主要植被类型,选择 5 个典型切沟,其中乔木群落为刺槐,灌木群落为柠条和沙棘,草本群落为铁杆蒿和苔草,各切沟基本信息见表 1。每个切沟设置沟头以上原始坡面(以下简称原始坡面)、切沟左壁、切沟右壁和切沟沟底 4 个部位,共计 20 个样地。为提高监测结果的可对比性,样地选择时充分考虑切沟大小、海拔、坡向等因素,力求相似。

每个样地随机选择 3 个样方,避开样地边缘,保证所选样方内植被生长状况具有代表性。综合考虑样地大小和样方的代表性,设置乔木群落样方面积为 $36\sim100$ m²,灌木群落样地样方面积为 $2\text{ m}\times2\text{ m}$,草本群落样方面积为 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 。

1.3 样方调查

在 2022 年 8 月进行调查和采样,调查内容包括植物物种多样性、盖度、地上生物量、枯落物蓄积量和地下生物量。

调查时先统计样方内植物物种数量及分盖度,计算群落物种多样性指数,分盖度测量方法与盖度测量方法类似。

盖度采用 $50\text{ cm}\times50\text{ cm}$ 的样方框测定,制作网格尺寸为 $2.5\text{ cm}\times2.5\text{ cm}$ 的铁丝网嵌进样方框,样方框内格点数为 400 个,测定盖度时将其平铺在样方内,覆盖植被的格点个数占总格点数的比例即为植被盖度。

调查完成后,草本样方用全收获法,用枝剪将植物贴地面全部刈割并装袋;灌木样方采用标准木法进行收获,综合冠幅、基径、株高等因子,选取每种灌木的标准株齐地刈割;乔木用模型法估算生物量^[17]。

采用全收获法收集枯落物(包括落枝、落叶、落皮、枯落的繁殖器官枯立物及枯死的根等)。

用根钻分层采集土样(草本群落分层为 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—60 cm; 灌木和乔木样地分层为 0—10, 10—20, 20—40, 40—60, 60—100 cm), 用清洗法收集根系。地上生物量、枯落物和根系样本经清洗后烘干至恒重(65 ℃, 24 h), 称重后换算为单位面积的地上生物量、枯落物蓄积量和地下生物量。

表 1 不同植物群落切沟系统样地基本信息

Table 1 Basic information of gully systems in different plant community

植物群落	地理坐标	切沟部位	坡向	坡度/%	植被类型	优势物种
苔草	36°45′54″N, 109°15′51″E	沟头以上原始坡面	阴坡	72.7	草地	铁杆蒿+苔草+败酱
		切沟左壁	半阴坡	93.3	草地	苔草+中华卷柏+铁杆蒿
		切沟右壁	半阳坡	85.4	草地	苔草+中华卷柏+野菊
		切沟沟底	阴坡	56.6	灌木	小叶杨+野菊+苔草
铁杆蒿	36°44′01″N, 109°14′48″E	沟头以上原始坡面	半阳坡	71.7	林地	刺槐+悬钩子+铁杆蒿
		切沟左壁	阴坡	103.1	草地	野菊+铁杆蒿+苔草
		切沟右壁	阳坡	134.6	草地	铁杆蒿+茺蒿
		切沟沟底	半阳坡	58.1	草地	巴东醉鱼草+悬钩子+铁杆蒿
柠条	36°43′17″N, 109°14′26″E	沟头以上原始坡面	阴坡	62.5	灌木	柠条+野菊
		切沟左壁	半阴坡	64.9	灌木	柠条+悬钩子+野菊+铁杆蒿
		切沟右壁	半阳坡	93.3	灌木	柠条+扁核木+野菊+铁杆蒿
		切沟沟底	阴坡	55.4	灌木	野菊+铁杆蒿+悬钩子+柠条
沙棘	36°45′19″N, 109°15′05″E	沟头以上原始坡面	阴坡	44.5	灌木	悬钩子+沙棘
		切沟左壁	半阴坡	83.9	灌木	沙棘+野菊
		切沟右壁	半阳坡	55.4	灌木	沙棘+野菊+铁杆蒿
		切沟沟底	阴坡	30.6	灌木	胡颓子+悬钩子+野菊
刺槐	36°43′54″N, 109°15′22″E	沟头以上原始坡面	半阳坡	51.0	林地	刺槐+铁杆蒿+野菊
		切沟左壁	阴坡	57.7	林地	刺槐+铁杆蒿+悬钩子
		切沟右壁	阳坡	57.7	林地	刺槐+悬钩子+旋覆花
		切沟沟底	半阳坡	30.6	林地	刺槐+铁杆蒿+益母草

1.4 数据处理

物种多样性用多样性指数、丰富度指数和均匀度指数表征^[18], 计算公式为:

$$D = 1 - \sum P_i^2 \tag{1}$$

$$H' = \sum (P_i \times \ln P_i) \tag{2}$$

$$Ma = (S - 1) / \lg N \tag{3}$$

$$JP = H' / \lg S \tag{4}$$

式中: D 为 Simpson 多样性指数; H' 为 Shannon—Wiener 多样性指数; Ma 为 Margalef 丰富度指数; JP 为 Pielou 均匀度指数; S 为样方内物种数目; N 为所有物种个体数之和; P_i 为物种相对重要值, $P_i = (R_c + R_f) / 2$, 其中 R_c 为物种盖度, R_f 为物种多度。

Simpson 多样性指数反映从 1 个群落中连续 2 次抽样所得到的个体属于同一种的概率; Shannon—Wiener 多样性指数是借用信息论描述群落物种多寡及群落异质性; Margalef 丰富度指数是利用群落物种数量和总个体数描述物种的丰富程度; Pielou 均匀度指数表征某一群落或生境中全部物种个体数目的分配状况, 是反映各物种个体数目分配均匀程度的指标。

乔木地上生物量用模型法^[17]估算, 公式为:

$$W_{ch} = e^{-2.895\ 531 + 0.857\ 64 \times \ln(D^2 \cdot H)} + e^{-3.719\ 16 + 0.790\ 79 \times \ln(D^2 \cdot H)} + e^{-2.908\ 72 + 0.457\ 39 \times \ln(D^2 \cdot H)} \tag{5}$$

式中: W_{ch} 为单个刺槐的地上生物量 (g/m^2); D 为树木胸径 (cm); H 为树木高度 (m)。

不同植物群落根系分布的差别用根系垂直分布模型表征。GALE 等^[19]于 1987 年基于不同演替阶段根系垂直分布特征提出了根系垂直分布模型, 该公式被广泛用于草灌植被根系垂直分布模拟^[18]:

$$Y = 1 - \beta^d \tag{6}$$

式中: Y 为一定土层深度根系累积百分比 (%); d 为土层深度 (cm); β 为根系消减系数。 β 值反映根系垂直分布特征, 直观反映不同植物群落根系分布的差异。 β 值越大, 根系越集中分布于深层土壤中; β 值越小, 根系在表层土壤分布较多。

所有数据均采用 Excel 2016 软件处理, 采用 SPSS 23.0 统计分析软件中 ANOVO 检验进行单因素方差分析, 同一指标不同组别间多重比较采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 物种多样性

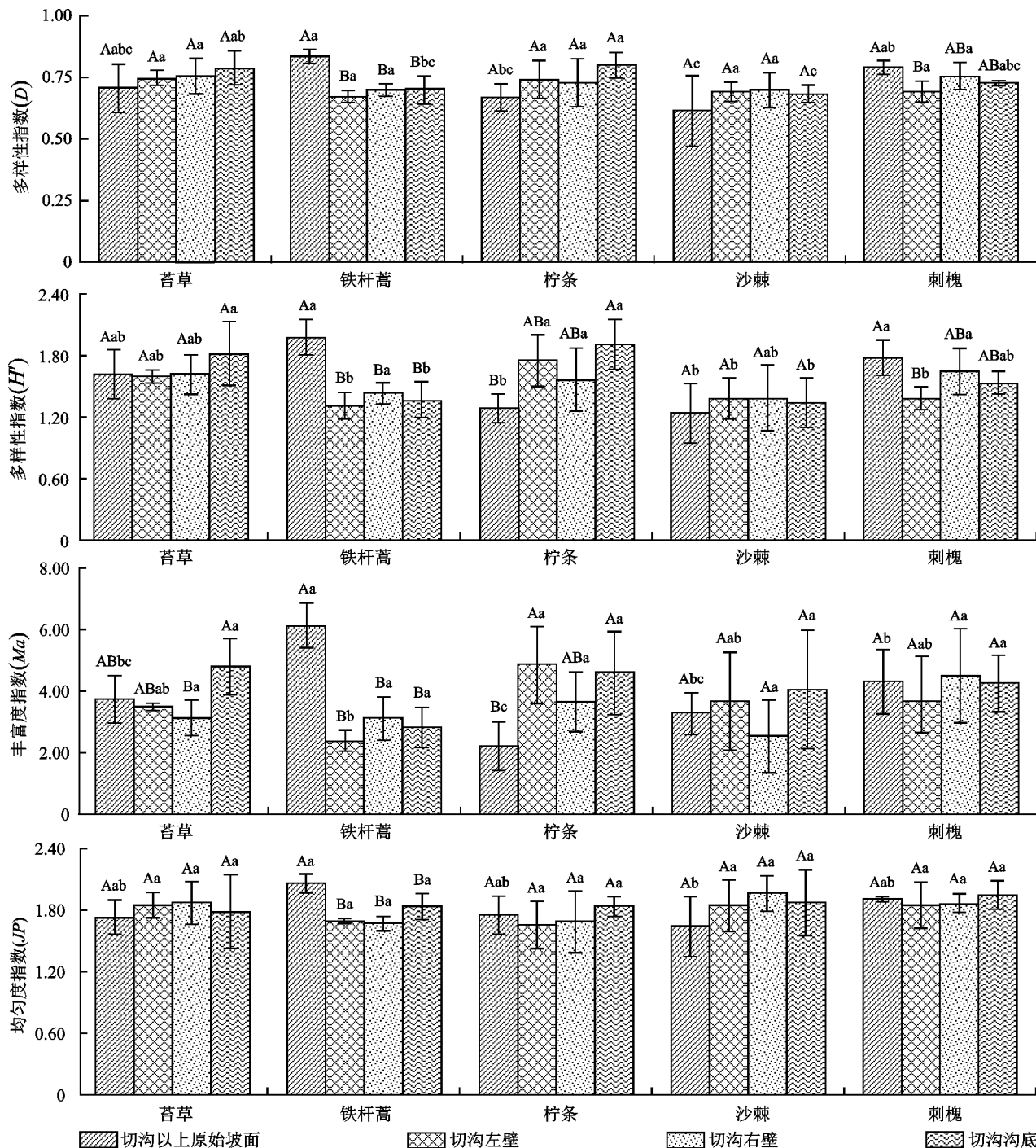
不同植物群落切沟系统 Simpson 多样性差异明显(图 1), 平均值从大到小依次为苔草切沟(0.750) > 刺槐切沟(0.743) > 柠条切沟(0.735) > 铁杆蒿切沟

(0.727) > 沙棘切沟(0.672)。

对比同一切沟的不同部位发现,苔草、柠条、沙棘群落切沟系统不同部位的 Simpson 多样性无显著差异,且原始坡面略小于切沟左右壁及沟底;铁杆蒿切沟系统原始坡面的 Simpson 多样性显著大于其他部位;刺槐切沟系统原始坡面的 Simpson 多样性显著

大于切沟左壁。

对比不同植物群落切沟同一部位发现,沟头以上原始坡面的 Simpson 指数呈铁杆蒿 > 刺槐 > 苔草 > 柠条 > 沙棘;左壁和右壁无显著差异;柠条切沟沟底的 Simpson 多样性显著大于其他切沟,而沙棘切沟沟底的 Simpson 多样性显著小于其他切沟。



注: 图柱上方不同大写字母表示同一切沟不同部位间差异显著 ($p < 0.05$); 不同小写字母表示不同切沟相同部位间差异显著 ($p < 0.05$)。

图 1 不同植物群落切沟系统物种多样性指数

Fig. 1 Species diversity index of gully systems in different plant communities

不同植物群落切沟系统 Shannon-Wiener 多样性指数从大到小依次为苔草切沟(1.66) > 柠条切沟(1.63) > 刺槐切沟(1.59) > 铁杆蒿切沟(1.52) > 沙棘切沟(1.34)。苔草、沙棘群落切沟系统不同部位的

Shannon—Wiener 多样性无显著差异;铁杆蒿切沟系统原始坡面的 Shannon—Wiener 多样性显著大于切沟左右壁及沟底;柠条切沟系统沟底的 Shannon—Wiener 多样性显著大于原始坡面;刺槐切沟系统原始坡面和切沟右壁的 Shannon—Wiener 多样性显著大于切沟左壁。对比不同植物群落切沟的同一部位:灌木切沟原始坡面的 Shannon—Wiener 多样性显著低于草本和乔木切沟;柠条切沟左壁的 Shannon—Wiener 多样性显著大于其他切沟;切沟右壁差异性不显著;切沟沟底的 Shannon—Wiener 多样性呈柠条>苔草>刺槐>铁杆蒿>沙棘。

Margalef 丰富度指数从大到小为刺槐切沟(4.23)>柠条切沟(3.82)>苔草切沟(3.78)>铁杆蒿切沟(3.61)>沙棘切沟(3.38)。沙棘、刺槐切沟系统不同部位的 Margalef 丰富度之间无显著差异;苔草切沟系统沟底的 Margalef 丰富度显著大于右壁;铁杆蒿切沟系统原始坡面的 Margalef 丰富度显著大于其他部位;柠条切沟系统左壁和沟底的 Margalef 丰富度显著大于原始坡面。不同植物群落切沟之间,铁杆蒿切沟原始坡面的 Margalef 丰富度显著大于其它切沟;柠条切沟左壁的 Margalef 丰富度显著大于铁杆蒿;不同切沟右壁和沟底的 Margalef 丰富度相互之间无显著差异。

Pielou 均匀度指数大小排序为刺槐切沟(1.892)>沙棘切沟(1.829)>铁杆蒿切沟(1.814)>苔草切沟

(1.809)>柠条切沟(1.732)。苔草、柠条、沙棘、刺槐切沟系统不同部位的 Pielou 均匀度指数无显著差异;铁杆蒿切沟系统原始坡面的 Pielou 均匀度显著高于其他部位。不同植物群落切沟之间,铁杆蒿切沟原始坡面的 Pielou 均匀度显著高于沙棘原始坡面;不同切沟左壁、右壁、沟底的 Pielou 均匀度指数无显著差异。

2.2 植被盖度

对于草本、灌木群落样地用草灌盖度作为盖度,对于乔木群落样地用乔木郁闭度作为盖度。5 个切沟盖度的单因素方差分析及样地间多重比较结果见表 2。不同切沟的盖度由大到小为柠条切沟(89.92%)>苔草切沟(79.63%)>沙棘切沟(77.63%)>铁杆蒿切沟(68.18%)>刺槐切沟(54.89%),总体上灌木群落>草本群落>乔木群落。

切沟系统不同部位植被盖度多重比较结果显示,苔草、柠条、刺槐切沟系统不同部位的盖度无显著差异;铁杆蒿切沟系统左壁和沟底的盖度显著大于原始坡面和切沟右壁;沙棘切沟系统原始坡面的盖度显著小于切沟左右壁及沟底。

不同植物群落切沟系统同一部位多重比较结果为:苔草和柠条切沟原始坡面的盖度显著大于其他切沟;刺槐切沟左壁的盖度显著小于其他切沟;铁杆蒿和刺槐切沟右壁盖度显著小于其他切沟;苔草和刺槐切沟沟底盖度显著小于其他切沟。

表 2 不同植物群落切沟系统植被盖度

Table 2 Vegetation coverage of gully systems in different plant communities					%
植物群落	沟头以上原始坡面	切沟左壁	切沟右壁	切沟沟底	平均值
苔草	84.07±14.43Aa	84.42±12.96Aa	86.50±13.53Aa	63.52±13.97Ab	79.63
铁杆蒿	60.00±11.46Bb	83.33±3.21Aa	43.00±16.70Bb	86.38±14.58Aa	68.18
柠条	92.33±4.62Aa	90.00±0Aa	90.00±0Aa	87.33±2.52Aa	89.92
沙棘	47.50±14.74Bb	89.33±1.15Aa	90.00±0Aa	83.67±7.57Aa	77.63
刺槐	57.17±7.73Ab	60.00±9.13Ab	57.40±15.93Ab	45.00±8.66Ab	54.89

注:同行不同大写字母表示同一切沟内不同部位间差异显著($p<0.05$);同列不同小写字母表示不同切沟同一部位间差异显著($p<0.05$)。下同。

2.3 地上生物量

5 个切沟地上生物量的单因素方差分析和多重比较结果见表 3。整体表现为刺槐切沟(5 387.3 g/m²)>铁杆蒿切沟(756.51 g/m²)>柠条切沟

(693.56 g/m²)>沙棘切沟(420.13 g/m²)>苔草切沟(283.19 g/m²),铁杆蒿切沟原始坡面为林地所以平均生物量偏高,地上生物量乔木群落切沟>灌木群落切沟>草本群落切沟。

表 3 不同植物群落切沟系统地上生物量

Table 3 Aboveground biomass of gully systems in different plant communities					g/m ²
植物群落	沟头以上原始坡面	切沟左壁	切沟右壁	切沟沟底	平均值
苔草	240.33±60.93Ac	215.59±40.71Ac	408.05±142.23Ab	268.78±128.80Abc	283.19
铁杆蒿	2 364.29±62.63Ab	312.27±24.81Bc	233.22±21.07Cb	116.25±22.74Dc	756.51
柠条	990.46±321.30Ac	722.43±133.18ABb	708.13±200.48ABb	353.22±116.46Bab	693.56
沙棘	394.28±150.90Ac	357.75±83.31Ac	423.04±127.41Ab	505.44±132.03Aa	420.13
刺槐	4 971.53±991.78Ba	5 953.44±430.52Ba	10 552.47±851.07Aa	71.77±57.18Cc	5 387.30

对比同一切沟系统不同部位发现,苔草、沙棘切沟系统不同部位地上生物量无显著差异;铁杆蒿切沟系统不同部位地上生物量差异显著,依次为原始坡面>切沟左壁>切沟右壁>切沟沟底;柠条切沟系统原始坡面地上生物量显著大于沟底;刺槐切沟系统沟底的地上生物量显著小于原始坡面和切沟左右壁。

不同切沟系统同一部位对比结果表明,刺槐切沟原始坡面地上生物量显著大于铁杆蒿切沟(沟头以上原始坡面为刺槐群落),两者都显著大于其他切沟;刺槐切沟左壁地上生物量显著大于柠条切沟,两者都显著大于其他切沟;刺槐切沟右壁地上生物量显著大于其他切沟;沙棘切沟沟底地上生物量显著大于铁杆蒿和刺槐切沟。

2.4 枯落物蓄积量

5 个不同植物群落切沟枯落物蓄积量的单因素

方差分析和多重比较结果见表 4。由大到小依次为沙棘切沟(1 399.4 g/m²)>刺槐切沟(727.08 g/m²)>铁杆蒿切沟(294.7 g/m²)>柠条切沟(257.6 g/m²)>苔草切沟(145.45 g/m²)。

对比同一切沟系统不同部位发现,苔草切沟系统原始坡面枯落物蓄积量显著大于切沟左壁;铁杆蒿切沟系统原始坡面枯落物蓄积量显著大于左壁和右壁;柠条切沟系统不同部位枯落物蓄积量差异不显著;沙棘切沟系统沟底枯落物是其他部位 9 倍以上;刺槐切沟系统原始坡面和沟底枯落物蓄积量显著大于切沟左右壁。

不同切沟系统同一部位对比结果表明,刺槐切沟原始坡面枯落物蓄积量显著高于其他切沟;刺槐、沙棘切沟左壁枯落物蓄积量显著高于其他切沟;不同切沟右壁枯落物蓄积量差异不显著;沙棘切沟沟底枯落物蓄积量是其他切沟沟底数倍。

表 4 不同植物群落切沟系统枯落物蓄积量

Table 4 Litter storage of gully systems in different plant communities

g/m²

植物群落	沟头以上原始坡面	切沟左壁	切沟右壁	切沟沟底	平均值
苔草	244.92±101.94Ab	60.81±27.04Bb	170.58±0.31ABa	105.50±82.11ABb	145.45
铁杆蒿	424.48±3.39Ab	194.50±47.26Bb	193.00±12.05Ba	187.40±138.70ABb	249.84
柠条	285.12±128.13Ab	179.16±11.92Ab	288.42±76.34Aa	277.54±42.74Ab	257.56
沙棘	322.38±29.84Bb	494.74±86.75Ba	201.48±85.70Ba	4 579.00±2 289.10Aa	1 399.40
刺槐	1 096.92±207.60Aa	465.06±199.15Ba	356.80±112.12Ba	989.52±217.60Ab	727.08

2.5 地下生物量

根据植被类型在不同深度分 5 层采集地下生物量样本,不同植物群落根重密度随深度的变化见图 2。0—60 cm 地下生物量依次为苔草切沟>柠条切沟>铁杆蒿切沟>沙棘切沟>刺槐切沟。不同群落根系多分布于表层土壤,0—20 cm 占根系总量的 33.80%~86.10%,并随土层深度增加而快速减少。表层 10 cm 根重密度均值依次为苔草>柠条>铁杆蒿>沙棘>刺槐。同一切沟系统不同部位的根重密度无明显分异规律。分别对 5 个切沟的 20 个样地的根重密度用公式(5)拟合, d 设置为 40 cm 便于不同植被类型切沟间比较,结果见表 5。

各部位根系消减系数平均结果为刺槐切沟(0.976)>沙棘切沟(0.972)>柠条切沟(0.968)>铁杆蒿切沟(0.953)>苔草切沟(0.933),乔木和灌木切沟的根系消减系数显著大于草本切沟,即乔木和灌木切沟根系集中在较深土层,草本植物群落切沟根系集中在较浅土层。

3 讨论

整体而言,以刺槐为代表的乔树林切沟系统的物种多样性指数大于灌木和草本植物群落切沟系统。杨寒月等^[7]、寇萌等^[20]研究表明,优势种具有明显竞

争优势可能导致群落多样性较差。受高大乔木对光照、水分优先争夺的影响,林下灌木草本植被的生长状况如盖度和生物量不如其他灌木和草本群落的切沟系统,也难形成优势种,因此乔木切沟系统的物种多样性可能因为林下植被缺少优势种而高于灌木和草本群落切沟系统。另外切沟右壁(阳坡到半阳坡)物种多样性指数无显著差异,切沟沟底(光照差、水分条件好)物种丰富度、均匀度差异不显著,说明在黄土丘陵沟壑区,与坡向和微地形密切相关的光照、水分条件可能是影响切沟系统物种多样性的重要因素。各切沟右壁均位于阳坡或半阳坡,其物种多样性小于切沟其他部位,说明在干旱的黄土丘陵沟壑区,阳坡或半阳坡水分条件较差,植物群落物种多样性较低,这与寇萌等^[20]的研究结果一致。

植被通过对降雨产流、入渗及降雨动能的影响,可以显著影响土壤侵蚀^[21]。坡向显著影响光照强度和土壤含水,进而影响植被盖度^[22]。植被盖度较高的柠条、沙棘和苔草切沟系统整体朝向阴坡,土壤水分条件较好,且柠条、沙棘群落存在灌木和草本 2 个冠层,而苔草好阴喜湿,所以切沟不同部位盖度都较高,这与丁翔^[13]、卢纪元等^[23]关于阴坡植被盖度显著高于其他坡向的观点一致。铁杆蒿切沟左壁为阴坡,有较好的水分条件,盖度高达 80%以上,而右壁为阳

坡,植被低矮,盖度显著低于其他部位和同部位其他切沟,与丁翔^[13]、卢纪元等^[23]关于盖度与坡向关系的研究结论相符。切沟沟底是径流汇集的通道,水分条件优于其他部位^[24],因而植被盖度较高,铁杆蒿、柠条、沙棘切沟沟底植被盖度均达到 83%以上,显著高于同一切沟的原始坡面(汇水区,水分相对较低),这

与邓飞等^[25]、陆丰帅等^[26]关于盖度与水分关系的研究结论一致。可见,与微地形直接相关的坡向和水分显著影响切沟系统植被盖度空间分异。而苔草切沟沟底下切基岩、缺少养分,且光照条件差,不利于植物生长;刺槐切沟沟底侵蚀严重,几乎无植被生长,因此盖度低于其他部位。

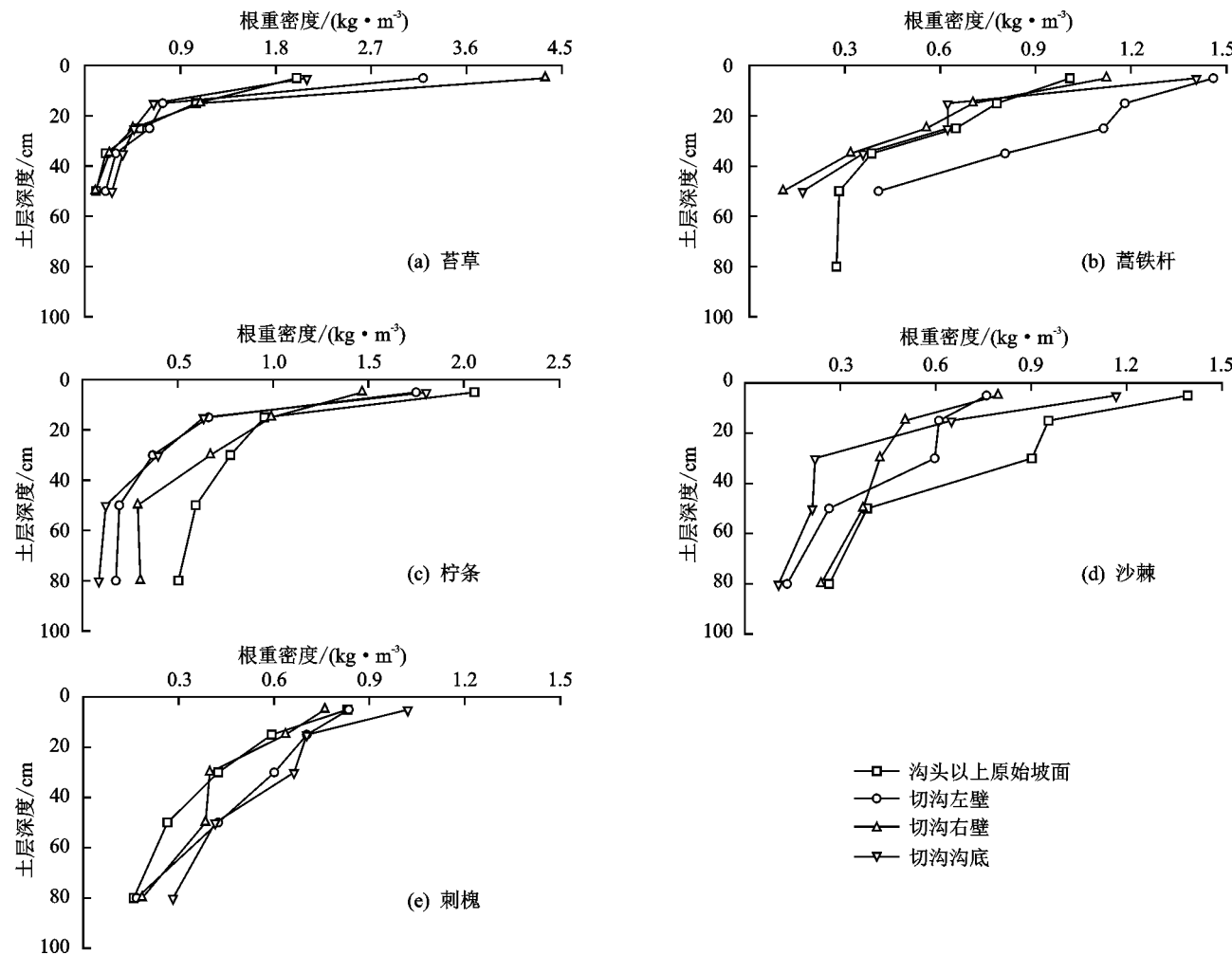


图 2 不同植物群落切沟系统根重密度
Fig. 2 Root redensity of gully systems in different plant communities

表 5 不同植物群落切沟系统根系消减系数

Table 5 Root attritionindex of gully systems in different plant communities

植物群落	沟头以上原始坡面	切沟左壁	切沟右壁	切沟沟底	平均值
苔草	0.929	0.937	0.917	0.949	0.933c
铁杆蒿	0.976	0.954	0.937	0.944	0.953b
柠条	0.978	0.967	0.972	0.955	0.968ab
沙棘	0.971	0.970	0.980	0.968	0.972a
刺槐	0.973	0.975	0.978	0.977	0.976a

注:同列不同小写字母表示在不同植物群落切沟平均值差异显著($p<0.05$)。

切沟系统地上生物量差异与切沟的立地条件有关,但影响不同切沟系统生物量的主导因子存在差异。苔草和沙棘切沟系统不同部位植被类型一致,地上生物量无显著差异。具体而言,苔草切沟各部位都是草本植物,虽因水分光照有所差异地上生物量略有

差异但未达到显著水平。沙棘切沟各部位均以灌木为主,生长状况有所差异,沟底灌木高大但稀少,其他部位灌木较小但更加密集,从而使得地上生物量差异不显著。铁杆蒿和柠条切沟原始坡面的植被,其生长年限大于其他部位,因而原始坡面地上生物量显著大

于其他部位,铁杆蒿切沟系统地上生物量表现为原始坡面>切沟左壁>切沟右壁>切沟沟底,左壁(阴坡、水分较好)与右壁(阳坡、水分较差)切沟生物量的差异,可用受坡向影响的土壤水分解释^[27-28],虽然沟底水分条件更好,但因下切严重导致光照条件较差,因而地上生物量显著小于其他部位。刺槐切沟系统原始坡面汇水面积小,因而水分条件比其他部位差,导致其生物量小于切沟左壁和右壁^[27,29];右壁(阳坡)生物量>左壁(阴坡)的结果与汝海丽等^[28]的结论相反,可能是因为刺槐高大茂密,削弱坡向对土壤水分的影响,使得光照成为影响生物量的主导因子;刺槐切沟沟底虽然水分条件更好,但土壤侵蚀严重,几乎无乔木生长,因此生物量显著小于其他部位。

枯落物可以有效阻控径流和土壤侵蚀,覆盖地表的枯落物可有效降低雨滴对表层土壤的直接击溅、拦蓄降水,同时增加地表糙率,显著减缓径流流速^[23],从而降低径流的侵蚀动力,抑制径流对切沟沟头和沟底的冲刷。枯落物蓄积量表现为沙棘>刺槐>柠条>铁杆蒿>苔草。灌木和乔木群落(257.56~1 399.40 g/m²)显著大于草本群落(145.45~249.84 g/m²),与栾莉莉等^[8]在黄土高原南北样线上所得结论比较相似,但也存在一定差异,原因在于切沟系统不同部位立地条件复杂多变,空间变异更加明显,如沙棘切沟系统沟底下切较深,全年阴冷潮湿,不利于枯落物分解,而生长于沟底的耐阴植物胡颓子,产生大量落叶,因此枯落物蓄积量远高于其他切沟或部位,导致沙棘切沟系统平均枯落物蓄积量大于刺槐切沟。张缓等^[14]、刘中奇等^[30]研究认为,阴坡枯落物蓄积量大于阳坡,这与沙棘、刺槐切沟系统左、右壁枯落物蓄积量对比结果一致。苔草、铁杆蒿、柠条切沟系统不同部位的枯落物蓄积量受地上生物量影响更加明显,与栾莉莉等^[8]研究结论一致。张缓等^[14]、刘中奇等^[30]研究认为,沟坡枯落物蓄积量大于梁峁坡,与本研究结果不同,因为切沟左右壁和沟底的侵蚀强度远大于位于梁峁坡的原始坡面,不利于枯落物积累,所以原始坡面枯落物蓄积量一般大于切沟其他部位。

根系系统通过物理捆绑和化学吸附作用强化土壤抗蚀性能,同时通过改善土壤结构提升土壤入渗能力^[9]。根系消减系数平均结果为刺槐切沟(0.977)>沙棘切沟(0.973)>柠条切沟(0.969)>铁杆蒿切沟(0.964)>苔草切沟(0.931),表现为乔木群落>灌木群落>草本群落,与杨寒月^[10]在黄土丘陵沟壑区沟坡上的研究结果一致,但特定群落的根系消减系数与杨寒月^[10]的研究结果存在差异,这可能由伴生种差异所致,如本研究中沙棘样地伴生较多胡颓子和悬钩

子等,而柠条切沟伴生铁杆蒿和野菊等草本植物;杨寒月等^[7]的铁杆蒿样地生长有杠柳等灌木,从而使得铁杆蒿根系消减系数偏大。同一切沟不同位置的根系消减系数同时受植被类型和生长状况的影响,乔木灌木越多根系消减系数越大,如铁杆蒿切沟系统原始坡面根系消减系数大于切沟左右壁和沟底;植被类型相同的情况下生长年限越长,则根系消减系数越大,如柠条切沟系统原始坡面根系消减系数大于切沟左右壁和沟底。

根据切沟侵蚀强度和发育速度可以将切沟发育过程分为活跃阶段和稳定阶段。就黄土丘陵沟壑区而言,特别是对于研究的纸坊沟小流域,切沟内生长有大量不同类型的植被,说明在该区切沟发育已经处于相对稳定的阶段,侵蚀类型由原来的沟头冲刷与崩塌、沟底下切、沟岸扩展,转变为以沟壁细沟间和细沟侵蚀为主。前期的众多研究均表明,植被具有强大的阻控细沟间和细沟侵蚀的功能,植被阻控侵蚀的功能与其物种组成、盖度或郁闭度、枯落物蓄积量、地上生物量、根系密度及其垂直分布特征密切相关,本文中切沟系统植被生长特性的差异及切沟不同部位的空间分异,势必直接影响切沟系统土壤侵蚀强度及其空间分布,因此本文研究结果对于精准评价植被恢复对切沟侵蚀、流域产沙的影响具有重要意义。

4 结 论

黄土丘陵沟壑区不同植物群落切沟系统植被生长特性存在明显差异,大致符合梁峁坡乔木、灌木、草本群落植被生长特性的分异规律,盖度表现为灌木>草本>乔木,地上生物量、枯落物蓄积量和根系密度消减系数的总体呈乔木切沟>灌木切沟>草本切沟。

同一切沟不同部位的立地条件存在显著差异,受微地形的影响,不同立地条件下的光照和土壤水分存在差异,进而影响切沟系统植被生长特性。受黄土丘陵区干旱气候条件的影响,切沟左壁(阴坡到半阴坡)的植被生长特性明显优于右壁(阳坡到半阳坡),如切沟右壁植物群落物种多样性指数、盖度小于左壁。虽然切沟沟底是径流汇集的通道,水分条件较好,但因其下切较深,因光照不足或因基岩出露,导致切沟沟底和原始坡面植被生长特性的差异较为复杂。

不同植物群落切沟系统沟壁枯落物蓄积量显著小于原始坡面,原因在于切沟左右壁和沟底侵蚀强度远大于位于梁峁坡的原始坡面,同时沟壁坡度较大,不利于枯落物累积,所以切沟系统原始坡面枯落物蓄积量大于切沟其他部位。

研究结果对理解切沟系统植被生长特性的空间分异、量化植被恢复的水土保持功能具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 刘宝元,杨扬,陆绍娟.几个常用土壤侵蚀术语辨析及其生产实践意义[J].中国水土保持科学,2018,16(1):9-16.
LIU B Y, YANG Y, LU S J. Discriminations on common soil erosion terms and their implications for soil and water conservation[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(1): 9-16.
- [2] 李斌兵,黄磊.基于面向对象技术的黄土丘陵沟壑区切沟遥感提取方法研究[J].水土保持研究,2013,20(3):115-119,124.
LI B B, HUANG L. Study on recognition of the gully in loess hilly-gully region based on object-oriented technology[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(3): 115-119, 124.
- [3] 张文杰,程维明,李宝林,等.黄土高原丘陵沟壑区切沟侵蚀与地形关系分析:以纸坊沟流域为例[J].地球信息科学学报,2014,16(1):87-94.
ZHANG W J, CHENG W M, LI B L, et al. The relationship between gully erosion and geomorphological factors in the hill and ravine region of the Loess Plateau[J]. Journal of Geo-Information Science, 2014, 16(1): 87-94.
- [4] 郑粉莉,徐锡蒙,覃超.沟蚀过程研究进展[J].农业机械学报,2016,47(8):48-59,116.
ZHENG F L, XU X M, QIN C. A review of gully erosion process research[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8): 48-59, 116.
- [5] 孟令钦,李勇.东北黑土区沟蚀研究与防治[J].中国水土保持,2009(12):40-42.
MENG L Q, LI Y. Study and prevention of gully erosion in black soil region of Northeast China[J]. Soil and Water Conservation in China, 2009(12): 40-42.
- [6] 李青云,蒋顺清,孙厚才.长江上游紫色土丘陵区小流域地面侵蚀量的确定[J].长江科学院院报,1995,12(1):51-56.
LI Q Y, JIANG S Q, SUN H C. Determination of surface erosion in small watershed in purple soil hilly area of the upper reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute, 1995, 12(1): 51-56.
- [7] 杨寒月,张光辉,张宝军.黄土丘陵沟壑区沟坡典型植物群落生长特征[J].水土保持研究,2019,26(2):62-67.
YANG H Y, ZHANG G H, ZHANG B J. Growth characteristics of typical plant communities on gully slopes in the loess hilly-gully region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(2): 62-67.
- [8] 栾莉莉,张光辉,孙龙,等.黄土高原区典型植被枯落物蓄积量空间变化特征[J].中国水土保持科学,2015,13(6):48-53.
LUAN L L, ZHANG G H, SUN L, et al. Spatial variation of typical plant litters in the Loess Plateau[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2015, 13(6): 48-53.
- [9] 曹斌挺.黄土丘陵沟壑区退耕坡面不同植物群落的土壤侵蚀特征[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2016.
CAO B T. Soil erosion characteristics of different plant communities on the slope of returning farmland in loess hilly and gully region [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2016.
- [10] 杨寒月.黄土高原丘陵沟壑区沟坡植被生长特性及其水土保持效益[D].北京:北京师范大学,2019.
YANG H Y. Vegetation growth characteristics and soil and water conservation benefits of gully slopes in hilly and gully regions of the Loess Plateau[D]. Beijing: Beijing Normal University, 2019.
- [11] 张光辉.切沟侵蚀研究进展与展望[J].水土保持学报,2020,34(5):1-13.
ZHANG G H. Advances and prospects for gully erosion researches[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(5): 1-13.
- [12] 张光辉,杨扬,符素华,等.切沟侵蚀预报研究进展与展望[J].地球科学进展,2022,37(6):551-562.
ZHANG G H, YANG Y, FU S H, et al. Advances and prospects of gully erosion prediction [J]. Advances in Earth Science, 2022, 37(6): 551-562.
- [13] 丁翔.黄土区露天煤矿排土场坡度坡向对植被盖度影响研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
DING X. Study on the influence of slope and aspect of opencast coal mine dump on vegetation coverage in loess area[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.
- [14] 张缓,穆兴民,高鹏.黄土高原不同立地条件下枯落物蓄积量及持水特征[J].水土保持研究,2021,28(3):45-52.
ZHANG H, MU X M, GAO P. Variation of litter accumulation and water holding capacity at different site conditions in the Loess Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(3): 45-52.
- [15] 朱云云,王孝安,王贤,等.坡向因子对黄土高原草地群落功能多样性的影响[J].生态学报,2016,36(21):6823-6833.
ZHU Y Y, WANG X A, WANG X, et al. Effects of slope aspect factors on functional diversity of grassland communities in the Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(21): 6823-6833.
- [16] 苏娜,焦菊英,王志杰.陕北黄土丘陵沟壑区坡沟立地环境下幼苗的存活特征[J].植物生态学报,2014,38(7):694-709.
SU Y, JIAO J Y, WANG Z J. Characteristics of seedling survival in habitats of hill and gully slopes in hill-gully Loess Plateau region of northern Shaanxi[J]. Chinese

- nese Journal of Plant Ecology, 2014, 38(7): 694-709.
- [17] 黄则舟, 毕君. 太行山刺槐林分生物量研究[J]. 河北林业科技, 1992(2): 48-52.
- HUANG Z Z, BI J. Study on biomass of *Robinia pseud-acacia* stand in Taihang Mountain[J]. Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 1992(2): 48-52.
- [18] 师阳阳, 陈云明, 张光辉, 等. 不同退耕年限撂荒地植物多样性及生物量分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 36-40, 44.
- SHI Y Y, CHEN Y M, ZHANG G H, et al. Investigation into the species diversity and biomass of plants in the abandoned farmlands with different restoration years [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(6): 36-40, 44.
- [19] GALE M R, GRIGAL D F. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17(8): 829-834.
- [20] 寇萌, 焦菊英, 杜华栋, 等. 黄土丘陵沟壑区不同立地条件草本群落物种多样性与生物量研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(1): 12-18.
- KOU M, JIAO J Y, DU H D, et al. Species diversity and biomass of herbosa at different site conditions in the hilly-gullied Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1): 12-18.
- [21] 王爱娟, 章文波. 林冠截留降雨研究综述[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 55-59.
- WANG A J, ZHANG W B. Review on canopy interception of rainfall[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(4): 55-59.
- [22] 曾晓琳, 王大伟, 刘金平, 等. 坡向对野生苕草构件性状和生物量结构及水分配的影响[J]. 草业科学, 2020, 37(3): 477-485.
- ZENG X L, WANG D W, LIU J P, et al. Effects of slope aspect on component traits, biomass structure and water distribution of *Arthraxon hispidus* [J]. Pratacul-tural Science, 2020, 37(3): 477-485.
- [23] 卢纪元, 朱清科, 陈文思, 等. 陕北黄土区植被特征对坡面微地形的响应[J]. 中国水土保持科学, 2016, 14(1): 53-60.
- LU J Y, ZHU Q K, CHEN W S, et al. Response of vegetation characteristics to slope micro-topography in loess area of North Shaanxi Province[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2016, 14(1): 53-60.
- [24] 谢云, 刘宝元, 伍永秋. 切沟中土壤水分的空间变化特征[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 278-282.
- XIE Y, LIU B Y, WU Y Q. Spatial distribution of soil moistures in a gully watershed[J]. Advance In Earth Sci-ences, 2002, 17(2): 278-282.
- [25] 邓飞, 全占军, 于云江. 20 年来乌兰木伦河流域植被盖度变化及影响因素[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 137-140, 152, 283.
- DENG F, QUAN Z J, YU Y J. Study on the vegetation coverage change and its impact factors in Wulanmulun River basin during the recent 20 years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(3): 137-140, 152, 283.
- [26] 陆丰帅, 阿的鲁骥, 程云湘, 等. 祁连山高寒草原土壤水分与植被盖度的关系[J]. 草业学报, 2020, 29(11): 23-32.
- LU F S, ADE L T, CHENG Y X, et al. Relationship between soil moisture and vegetation cover in Qilian Mountain alpine steppe[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(11): 23-32.
- [27] 张志南, 武高林, 王冬, 等. 黄土高原半干旱区天然草地群落结构与土壤水分关系[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 313-319.
- ZHANG Z N, WU G L, WANG D, et al. Plant com-munity structure and soil moisture in the semi-arid natu-ral grassland of the Loess Plateau[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(6): 313-319.
- [28] 汝海丽, 张海东, 焦峰, 等. 黄土丘陵区微地形对草地植物群落结构组成和功能特征的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1): 25-32.
- RU H L, ZHANG H D, JIAO F, et al. Impact of mi-cro-landform on grassland plant community structure and function in the hilly Loess Plateau region, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(1): 25-32.
- [29] 王建国, 樊军, 王全九, 等. 黄土高原水蚀风蚀交错区植被地上生物量及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 556-564.
- WANG J G, FAN J, WANG Q J, et al. Vegetation above-ground biomass and its affecting factors in water/wind erosion crisscross region on Loess Plateau[J]. Chi-nese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(3): 556-564.
- [30] 刘中奇, 朱清科, 邝高明, 等. 半干旱黄土丘陵沟壑区封禁流域植被枯落物分布规律研究[J]. 草业科学, 2010, 27(4): 20-24.
- LIU Z Q, ZHU Q K, KUANG G M, et al. Study on the distribution pattern of vegetation litter in fenced wa-tershed in semi-arid loess hilly and Gully Region[J]. Pratacultural Science, 2010, 27(4): 20-24.