

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.05.010.

王亚娟, 陈云明, 孙亚荣, 等. 宁南黄土丘陵区侵蚀沟不同部位植物多样性与土壤养分[J]. 水土保持研究, 2023, 30(5): 99-105.

WANG Yajuan, CHEN Yunming, SUN Yarong, et al. Plant Diversity and Soil Nutrients in Different Parts of Erosion Gully in Loess Hilly Region of South Ningxia[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(5): 99-105.

宁南黄土丘陵区侵蚀沟不同部位植物多样性与土壤养分

王亚娟¹, 陈云明², 孙亚荣¹, 赵敏¹

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,

陕西 杨陵 712100; 2.中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: [目的] 探明宁南黄土丘陵区侵蚀沟不同部位植物多样性与土壤养分的关系, 为侵蚀沟的水土保持及防护提供依据。[方法] 以宁夏彭阳县玉洼流域 3 个稳定侵蚀沟的沟头、沟床、沟岸为对象, 通过野外植被调查, 同时采集 0—10, 10—25, 25—40, 40—55, 55—70 cm 土样, 在室内测定土壤有机碳、土壤全氮、土壤全磷含量, 分析了侵蚀沟不同部位(沟头、沟床、沟岸)的植物多样性及土壤养分特征。[结果] 侵蚀沟沟头植物隶属 3 科 6 属, 禾本科 4 属 4 种, 伞形科和豆科各 1 属 1 种; 沟床植物隶属 5 科 12 属, 禾本科 4 属 4 种, 菊科 5 属 5 种, 豆科、茜草科和伞形科各 1 属 1 种; 沟岸植物隶属 3 科 7 属, 禾本科 4 属 4 种, 豆科 2 属 2 种, 伞形科 1 属 1 种。侵蚀沟各部位植物种数表现为: 沟床>沟岸>沟头, 均以禾本科植物为主。生活型上, 各部位均以多年生草本植物搭配一、二年生草本植物为主。侵蚀沟的地上生物量、Shannon-Wiener 指数、Patrick 指数和 Margalef 指数均表现为: 沟床>沟岸>沟头; Simpson 指数表现为: 沟头>沟床>沟岸; Pielou 指数表现为: 沟头>沟岸>沟床。侵蚀沟各部位平均土壤有机质、土壤全磷和土壤全氮含量均表现为: 沟床>沟岸>沟头, 且主要集中在 0—10 cm 和 55—70 cm。侵蚀沟沟头和沟岸的地上生物量与土壤有机碳呈极显著正相关($p<0.01$)、与土壤全磷呈显著正相关($p<0.05$); 侵蚀沟沟床的 Shannon-Wiener 指数与土壤全磷呈显著负相关($p<0.05$), 地上生物量与土壤有机碳呈极显著正相关($p<0.01$)。[结论] 侵蚀沟沟头易崩塌且土壤养分条件较差, 应配置根系发达、茎干粗壮、耐冲性强的乡土树种, 沟床、沟岸养分较高可优先配置碳、氮、磷含量需求较大的草本或灌木。

关键词: 宁南黄土丘陵区; 侵蚀沟; 沟头; 沟床; 沟岸; 物种多样性; 土壤养分

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)05-0099-07

Plant Diversity and Soil Nutrients in Different Parts of Erosion Gully in Loess Hilly Region of South Ningxia

WANG Yajuan¹, CHEN Yunming², SUN Yarong¹, ZHAO Min¹

(1.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau,

Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanx 712100,

China; 2.Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to explore the relationship between plant diversity and soil nutrients in different parts of erosion gully in the loess hilly region of south Ningxia, and to provide basis for soil and water conservation and protection of erosion gully. [Methods] The gully head, gully bed and gully bank of three stable erosion gully in Yuwa catchment, Pengyang County, Ningxia were selected as the sites. Soil samples of 0—10, 10—25, 25—40, 40—55, 55—70 cm were collected through field vegetation investigation, and the contents of soil organic carbon, soil total nitrogen and soil total phosphorus were measured indoors. Plant diversity and soil nutrient characteristics were analyzed in different parts of erosion gully (gully

收稿日期: 2022-09-01

修回日期: 2022-09-27

资助项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目“小流域水土保持与生态系统管理技术集成”(2020BCF01001)

第一作者: 王亚娟(1995—), 女, 甘肃会宁人, 硕士研究生, 主要从事流域管理研究。E-mail: 3259225914@qq.com

通信作者: 陈云明(1967—), 男, 陕西渭南人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事植被生态与水土保持研究。E-mail: ymchen@ms.iswc.ac.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

head, gully bed and gully bank). [Results] In gully head, the plants belong to 3 families and 6 genera, including 4 genera and 4 species of Gramineae, 1 genus and 1 species of umbelliferae and legumes. In gully bed, plants belong to 5 families and 12 genera, including 4 genera and 4 species of gramineae, 5 genera and 5 species of Compositae, 1 genus and 1 species of legumes, rubiaceae and umbelliferae respectively. In Gully bank, plants belong to 3 families and 7 genera, 4 genera and 4 species of Gramineae, 2 genera and 2 species of legumes, 1 genus and 1 species of umbelliferae. The number of plant species in each part of erosion gully is the order: gully bed>gully bank>gully head. With respect to the life type, all parts were mainly perennial herbs with one or two annual herbs. Above-ground biomass, Shannon-wiener index, Patrick index and Margalef index of erosion gully are the order: gully bed>gully bank>gully head; Simpson index shows the order: gully head>gully bed>gully bank; The Pielou index is the order: gully head>gully bank>gully bed. The average contents of soil organic matter, soil total phosphorus and soil total nitrogen in each part of erosion gully are the order: gully bed>gully bank>gully head, and mainly concentrated in 0—10 cm and 55—70 cm. The aboveground biomass was positively correlated with soil organic carbon and soil total phosphorus ($p<0.05$). Shannon-wiener index was negatively correlated with soil total phosphorus ($p<0.05$), and aboveground biomass was positively correlated with soil organic carbon ($p<0.01$). [Conclusion] The erosion gully head is prone to collapse and the soil nutrient condition is poor, so native tree species with developed roots, strong stems and strong scour resistance should be deployed. Herbs or shrubs with high carbon, nitrogen and phosphorus content in gully bed and gully bank should be preferentially deployed.

Keywords: loess hilly region in south Ningnan; erosion gully; gully head; gully bed; gully bank; diversity of species; soil nutrient

宁南黄土丘陵区是黄土高原土壤侵蚀较严重的地区之一,侵蚀沟是该区水土流失的集中表现形式。自然和人为原因导致侵蚀沟的形成,包括降雨、地形、植被、土壤本身的性质以及人类不合理的耕作方式、乱砍滥伐和各种生产建设活动等。沟头、沟床、沟岸是侵蚀沟的重要组成部分,三者地貌特征明显不同,与沟床相比,沟头和沟岸受重力作用更加明显,沟头的溯源侵蚀、沟床的下切作用和沟岸的冲刷崩塌作用使得侵蚀沟向更长、更宽、更深的方向发育,这一系列作用致使土壤的原有结构被破坏,从而引起土壤碳、氮、磷等营养元素的流失,造成土壤养分含量降低,土壤碳、氮、磷等营养元素与自身的稳定性、植物群落物种组成及生物地球化学循环过程紧密联系^[1]。土壤能够提供植物生长所必需的营养物质,然而植物在生长发育过程中的一系列作用可以改善土壤养分^[2]。研究表明:植物可以维持生态系统的稳定性、提升土壤肥力、保持水土、涵养水源^[3]。植物群落物种多样性指数如 Shannon-Wiener、Simpson 等,能够表征植物群落的组成,与自身的养分存储、物质循环和能量流动等关系紧密^[4]。

地形与土壤—植被系统关系密切^[5],尤其是微地形是驱动土壤养分空间异质性的的重要因素,侵蚀沟各部位作为特殊的微地形,由于局部地形的变化,光照、热量、水分和养分等资源的再分配情况不同,因而其调节降水入渗和土壤蒸发的能力不同,所以会对植物产生不同的

影响,最终使沟头、沟床和沟岸 3 种微地形内的土壤性质与植被特征明显不同。目前报道的关于侵蚀沟的研究多侧重于其演变过程、发展方式、侵蚀临界条件和监测方法等方面^[6-9],针对植被特征及土壤性质的研究主要集中于侵蚀沟沟头、集水区、沟床等单一部位或多个部位部分指标展开^[10-12],而对于侵蚀沟各部位群落物种多样性及土壤养分特征的对比研究相对较少。因此,科学分析侵蚀沟沟头、沟床和沟岸的物种多样性与土壤养分的关系极其重要,对促进侵蚀沟植物生长、恢复土壤肥力具有重要意义。

鉴于此,本研究以宁夏彭阳县白阳镇玉洼流域稳定侵蚀沟不同部位(沟头、沟床、沟岸)为研究对象,通过对 3 个侵蚀沟不同部位共 9 个样点的植物种类、高度、盖度、频度和土壤养分含量等进行调查及计算,明确不同地貌部位对植物物种组成和多样性特征及土壤养分变化的影响,探讨植被特征与土壤养分的关系,以期为该区侵蚀沟的植被恢复、提高土壤肥力和水土流失治理提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏彭阳县白阳镇玉洼流域(35°04′—36°17′N, 106°32′—106°58′E),地处黄土丘陵沟壑

区第二副区,属典型的温带半干旱大陆性季风气候区。海拔 1 292~2 486 m,年均降水量 450~550 mm,年平均气温 7.4~8.5℃,年均日照时数 2 311.2 h,年无霜期 140~170 d。土壤类型以普通黑垆土为典型土壤,土壤母质为黄土及黄土状物。植被稀疏,生态环境较为脆弱,由于人类活动、自然条件等影响,森林面积较小,灌丛、草本植物分布较为广泛。主要乔木物种有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr)、杨树(*Populus*)等;灌木有沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana korshinskii*)

等;草本植物有猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、赖草(*Leymus secalinus*)、早熟禾(*Poa annua* L.)、鹅观草(*Roegneria kamoji ohwi*)等。

1.2 样地布设

于 2021 年 7 月,采用 GPS 定位、实地测量及现场记录的方法,对研究区侵蚀沟发育及发展现状进行调查。调查内容主要包括土壤类型、侵蚀沟的沟深、沟宽、沟长、沟内主要植被生长状况,最后选取 3 条同一坡面且人为干扰较小的稳定侵蚀沟作为研究对象。样地基本信息见表 1。

表 1 样地基本情况

侵蚀沟	沟长/m	沟宽/m	沟深/m	坡向	部位	纬度 N	经度 E	海拔/m	植被盖度/%	优势种
1 号沟	15.5	16.6	5.0	阳坡	沟头	35°57′19″	106°41′26″	1609.8	65	猪毛蒿
					沟床	35°57′20″	106°41′25″	1603.7	58	赖草
					沟岸	35°57′19″	106°41′25″	1613.1	63	鹅观草
2 号沟	19.3	10.4	4.0	阳坡	沟头	35°57′30″	106°41′32″	1606.1	59	长芒草
					沟床	35°57′28″	106°41′32″	1695.6	43	赖草
					沟岸	35°57′29″	106°41′33″	1596.1	62	鹅观草
3 号沟	18.3	11.9	3.3	阳坡	沟头	35°57′32″	106°41′34″	1612.4	58	长芒草
					沟床	35°57′30″	106°41′34″	1602.9	47	赖草
					沟岸	35°57′31″	106°41′35″	1604.1	76	鹅观草

1.3 样品采集与处理

2021 年 8 月在之前选取的 3 条稳定侵蚀沟的沟头、沟床和沟岸共 9 个点位进行植被调查与采样。沟头和沟岸样方布设在距离其 0.5~1.0 m 的位置,沟床随机布设,每个部位分别设置 3 个 1 m×1 m 的样方。记录各部位样方内出现的植物名称、高度、盖度等,利用钢卷尺测定植被高度。在调查完植被的样方内,用直径 70 mm 的土钻采集 0—10,10—25,25—40,40—55,55—70 cm 土壤样品,每个部位各土层的样品均为 3 个重复,混合为 1 个样品带回室内,将其风干、磨碎,过 2 mm 筛后参考鲍士旦^[13]的相关方法测定土壤有机碳含量、土壤全氮和土壤全磷含量。共计土壤样品 45 份,植物样品 27 份。

1.4 指标计算

重要值及物种多样性指数计算如下^[14]:

(1) 重要值=(相对高度+相对盖度+相对频度)/3

(2) 丰富度指数:

Patrick 指数: $R=S$

Margalef 指数: $D=(S-1)/\ln N$

(3) 多样性指数:

Shannon-Wiener 指数: $H=-\sum(P_i \ln P_i)$

Simpson 指数: $D=1-\sum(P_i)^2$

(4) 均匀度指数:

Pielou 指数: $J=H/\ln S$

式中: S 为物种数目; P_i 为第 i 种的相对个体数,即 N_i/N ,其中 N 为样方内全部种的个体总数, N_i 为第 i 种的个体数。

1.5 数据分析与处理

数据经过 Excel 2019 进行整理后,运用 SPSS 软件进行统计学分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和多重比较的方法(Duncan, $p<0.05$)分析侵蚀沟各部位植物多样性指数及土壤有机碳、土壤全氮、土壤全磷含量的差异;采用 Pearson 相关分析法分析沟头、沟床和沟岸植物多样性与土壤养分的相关性;使用 Origin 2018 软件制图。

2 结果与分析

2.1 典型侵蚀沟不同部位植物组成及多样性特征

2.1.1 典型侵蚀沟不同部位植物组成及重要值 由表 2 可知:侵蚀沟沟头有鹅观草、野胡萝卜、赖草、早熟禾、紫花苜蓿、拂子茅 6 种植物,隶属 3 科 6 属,禾本科 4 属 4 种,伞形科、豆科各 1 属 1 种,其中,鹅观草的重要值最大(0.284 6),野胡萝卜的重要值最小(0.036 4);沟床有鹅观草、早熟禾、赖草、紫花苜蓿、刺儿菜、拂子茅、茜草、野胡萝卜、银叶菊、猪毛蒿、苦荚菜、阿尔泰狗娃花 12 种植物,隶属 5 科 12 属,禾本科 4 属 4 种,菊科 5 属 5 种,豆科、茜草科和伞形科各 1 属 1 种,其中,早熟禾的重要值最大(0.270 7),紫花苜蓿的重要值最小(0.014 0);沟岸有早熟禾、赖草、

野胡萝卜、紫花苜蓿、鹅观草、拂子茅、野豌豆 7 种植物,隶属 3 科 7 属,禾本科 4 属 4 种,豆科 2 属 2 种,伞形科 1 属 1 种,其中,赖草的重要值最大(0.343 4),野豌豆的重要值最小(0.013 8)。从生活型上看,侵蚀沟的沟头和沟岸多年生草本植物分别有 4,5 种,一年生和二年生草本植物各 1 种,沟床多年生草本植物有 9 种,一年生草本植物 2 种,二年生草本植物 1 种。侵蚀沟各部位植物种数表现为:沟床>沟岸>沟头,植物以禾本科为优势类群,尤其是鹅观草、早熟禾等耐干旱、适应性强的草本植物。

表 2 侵蚀沟不同部位物种组成及重要值

部位	物种名称	重要值	科名	属名	生活型
沟头	鹅观草	0.2846	禾本科	鹅观草属	多年生草本
	野胡萝卜	0.0364	伞形科	胡萝卜属	二年生草本
	赖草	0.2371	禾本科	赖草属	多年生草本
	早熟禾	0.2412	禾本科	早熟禾属	一年生草本
	紫花苜蓿	0.1244	豆科	苜蓿属	多年生草本
	拂子茅	0.0589	禾本科	拂子茅属	多年生草本
沟床	鹅观草	0.1328	禾本科	鹅观草属	多年生草本
	早熟禾	0.2707	禾本科	早熟禾属	一年生草本
	赖草	0.2502	禾本科	赖草属	多年生草本
	紫花苜蓿	0.0140	豆科	苜蓿属	多年生草本
	刺儿菜	0.0313	菊科	蓟属	多年生草本
	拂子茅	0.0474	禾本科	拂子茅属	多年生草本
	茜草	0.1152	茜草科	茜草属	多年生草本
	野胡萝卜	0.0360	伞形科	胡萝卜属	二年生草本
	银叶菊	0.0678	菊科	千里光属	多年生草本
	猪毛蒿	0.0115	菊科	蒿属	多年生草本
	苦荬菜	0.0081	菊科	苦荬菜属	一年生草本
	阿尔泰狗娃花	0.0136	菊科	狗娃花属	多年生草本
沟岸	早熟禾	0.3038	禾本科	早熟禾属	一年生草本
	赖草	0.3434	禾本科	赖草属	多年生草本
	野胡萝卜	0.0627	伞形科	胡萝卜属	二年生草本
	紫花苜蓿	0.0449	豆科	苜蓿属	多年生草本
	鹅观草	0.1201	禾本科	鹅观草属	多年生草本
	拂子茅	0.1114	禾本科	拂子茅属	多年生草本
	野豌豆	0.0138	豆科	野豌豆属	多年生草本

2.1.2 典型侵蚀沟不同部位植物多样性特征 由图 1 可知:典型侵蚀沟的 Shannon-Wiener 指数和 patrick 指数均表现为:沟床>沟岸>沟头,沟床显著高于沟头和沟岸;Margalef 指数表现为:沟床>沟岸>沟头,各部位无显著性变化;Simpson 指数表现为:沟头>沟床>沟岸,沟头(0.87)显著高于沟床(0.70)和沟岸(0.65);Pielou 指数表现为:沟头>沟岸>沟床,各部位差异显著($p<0.05$);植物群落地上生物量表现为:沟床>沟岸>沟头,沟头(203.70 g/m²)显著低于沟床(443.35 g/m²)和沟岸(364.58 g/m²)。

2.2 典型侵蚀沟不同部位土壤养分特征

由图 2 可知,侵蚀沟各部位土壤有机碳含量随土层深度先下降后上升,沟床(7.92~10.85 g/kg)各土层土壤有机碳均无显著变化,沟头和沟岸表层(0—10 cm)和深层(55—70 cm)明显高于中层(10—55 cm)($p<0.05$)。平均土壤有机碳含量表现为:沟床>沟岸>沟头;侵蚀沟各部位土壤全氮含量随土层深度先下降后上升,沟床(0.88~1.06 g/kg)各土层土壤全氮均无显著变化,沟头和沟岸表层(0—10 cm)和深层(55—70 cm)明显高于中层(10—55 cm)($p<0.05$)。平均土壤全氮含量表现为沟床>沟岸>沟头;侵蚀沟各部位土壤全磷含量随土层深度先下降后上升,沟床(0.69~0.79 g/kg)各土层土壤全磷均无显著变化,沟头 0—10 cm 和 40—70 cm 明显高于 10—40 cm,沟岸表层明显高于其他土层($p<0.05$)。平均土壤全磷含量表现为:沟床>沟岸>沟头。

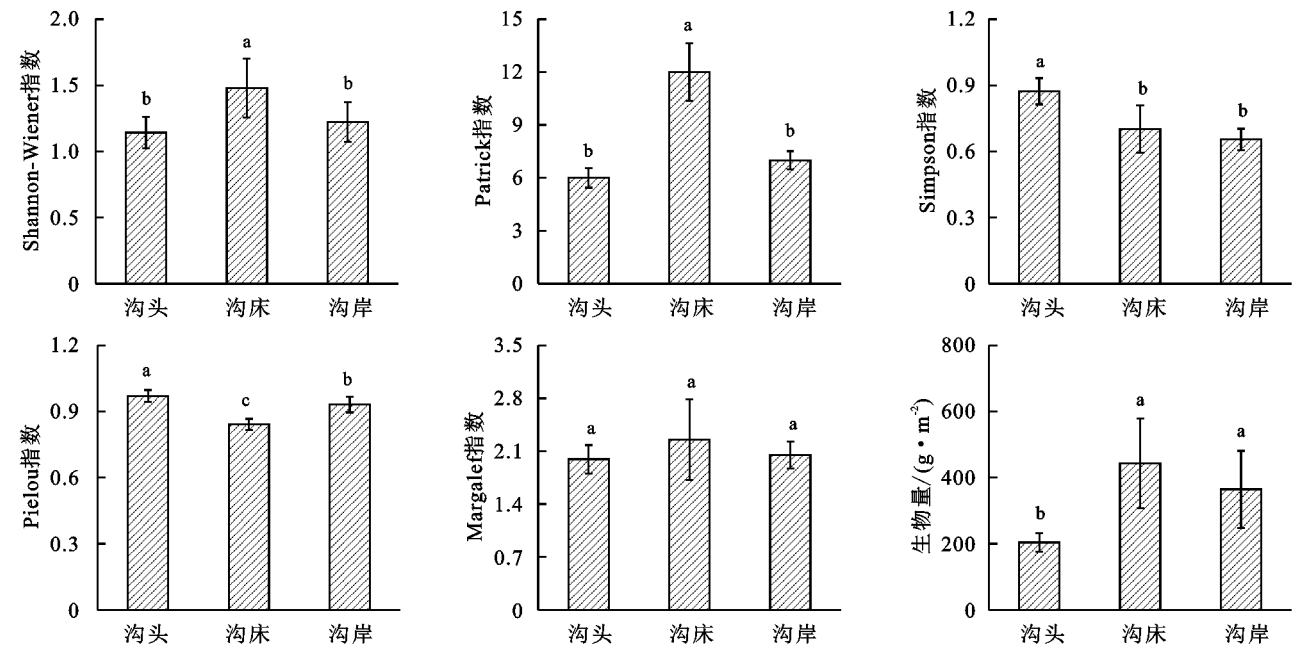
2.3 典型侵蚀沟不同部位植物群落特征与土壤养分的相关性

由表 3 可知:侵蚀沟沟头的地上生物量与土壤有机碳呈极显著正相关($p<0.01$)、与土壤全磷呈显著正相关($p<0.05$);侵蚀沟沟床的 Shannon-Wiener 指数与土壤全磷呈显著负相关($p<0.05$),地上生物量与土壤有机碳呈极显著正相关($p<0.01$);侵蚀沟沟岸的地上生物量与土壤有机碳呈极显著正相关($p<0.01$)、与土壤全磷呈显著正相关($p<0.05$)。

3 讨论

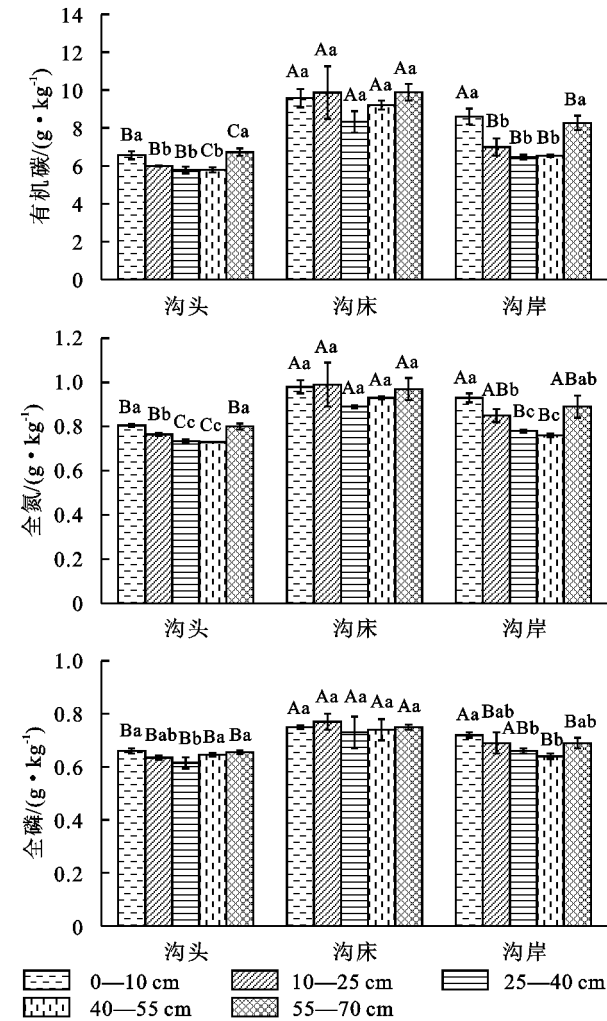
3.1 典型侵蚀沟不同部位的植被特征

植物群落科、属、种结构不仅能反映自身特征^[15],而且在一定程度上,也能表征出群落的外貌特征,是植物群落对各种生境因素综合反映的外部表现^[16]。本研究中,侵蚀沟各部位因受土壤侵蚀影响,植物种类较少,沟头和沟岸分别有 6,7 种植物,沟床有 12 种植物,沟头植物隶属 3 科 6 属,禾本科 4 属 4 种,伞形科、豆科各 1 属 1 种;沟床植物隶属 5 科 12 属,禾本科 4 属 4 种,菊科 5 属 5 种,豆科、茜草科和伞形科各 1 属 1 种;沟岸植物隶属 3 科 7 属,禾本科 4 属 4 种,豆科 2 属 2 种,伞形科 1 属 1 种。植物以禾本科为优势类群,尤其是鹅观草、早熟禾等耐干旱、适应性强的草本植物,这些植物的生物量大,更有利于应对外界不良侵蚀环境,可作为侵蚀沟各部位植被恢复先锋草本的备选植物;生活型上,各部位均以多年生草本植物搭配一、二年生草本植物为主,物种组成简单,多属于单科单属单种,无乔木和灌木,生态系统脆弱,易受人类活动和自然条件的影响,致使植被逆向演替,进而产生土壤侵蚀及土地退化的现象^[17]。



注:不同小写字母表示不同部位差异显著($p<0.05$)。

图 1 侵蚀沟不同部位植物多样性指数



注:不同大写字母表示相同土层不同部位差异显著,不同小写字母表示相同部位不同土层差异显著($p<0.05$)。

图 2 侵蚀沟不同部位土壤有机碳含量、土壤全氮、土壤全磷含量

本研究中,侵蚀沟的地上生物量、Shannon-Wiener 指数、Patrick 指数和 Margalef 指数均表现为:沟床>沟岸>沟头; Simpson 指数表现为:沟头>沟床>沟岸; Pielou 指数表现为:沟头>沟岸>沟床。侵蚀沟不同部位由于侵蚀作用不同,降雨时,沟头和沟岸表层土壤发生侵蚀和搬运,沟床出现沉积,有利于土壤养分的增加。而又相比沟头和沟岸,沟床比较平坦,利于水分汇集,所以沟床植物生长良好,地上生物量较高。与王文鑫^[18]的研究相比,本研究沟头的 Simpson 指数和 Pielou 指数较高,可能是因为研究区沟头有一定的植被覆盖,溯源侵蚀减缓,土壤受径流冲刷作用小,且经过多年的物理风化和地表及地下的生物作用,其颗粒分布较均匀,土壤质地较好,沟头比较稳定。侵蚀沟各部位的 Shannon-Wiener 指数与 Simpson 指数的变化呈相反趋势,沟头和沟岸的物种多样性指数较低,植物种数较少,优势度较高。可见,沟床更有利于增强植物群落物种多样性,提高抵御不良环境或外部干扰的能力。因此,在一般情况下,生态系统物种多样性因受某些环境因子的限制,其水平并不高,这与马剑等^[19]的研究结果一致。沟床 Pielou 指数最小,表明物种分布最不均匀,间接反映其植物种类最多,而沟头、沟岸优势种的地位比较突出,植物多样性较低且各物种的个体数比较接近。Margalef 指数是指一个群落或环境中物种数目的多少^[20]。相比侵蚀沟的其他部位, Margalef 指数最大的是沟床,当地表出现板结现象时,土壤抗侵蚀性能增强,可为植物生长发育提供良好的物质基础,

植物得以良好的生长,植物群落的物种丰富度增加,又能有效的防止雨滴对地面的直接打击和破坏

作用,不易产生地表径流,增强固持土体的能力,减少水土流失量^[21]。

表 3 侵蚀沟各部位植物多样性与土壤养分的相关性

部位	指标	Margalef 指数	Shannon-Wiener 指数	Simpson 指数	Pielou 指数	Patrick 指数	生物量
沟头	全氮	0.057	-0.045	0.233	-0.573	0.057	0.237
	全磷	-0.162	-0.046	0.225	-0.574	-0.162	0.871 *
	有机碳	-0.002	-0.206	0.248	-0.400	-0.002	0.933 * *
沟床	全氮	-0.304	-0.273	-0.146	0.269	-0.324	1.000
	全磷	-0.523	-0.855 *	-0.217	0.052	-0.569	0.487
	有机碳	-0.466	-0.460	-0.151	0.202	-0.396	0.946 * *
沟岸	全氮	-0.617	-0.653	0.209	-0.281	-0.617	1.000
	全磷	-0.769	-0.768	-0.043	-0.162	-0.769	0.927 *
	有机碳	-0.565	-0.609	0.854 *	-0.146	-0.565	0.939 * *

注: * 表示 $p < 0.05$; * * 表示 $p < 0.01$ 。

3.2 典型侵蚀沟不同部位的土壤养分特征

本研究中,侵蚀沟各部位平均土壤有机碳、土壤全氮和土壤全磷含量均表现为:沟床>沟岸>沟头,且土壤养分主要集中在 0—10 cm 和 55—70 cm。土壤有机碳、全氮和全磷含量的变化规律相似,土壤养分含量总体偏低。相比沟床和沟岸,沟头土壤会受到更多的水力、风力及重力侵蚀,这将影响沟头植被生长和有机质的积累,所以,沟头土壤养分含量小于沟床和沟岸。降雨产生的径流汇集,在其流经沟床时,由于下降的比降以及增加的糙率等因素,使得径流输送泥沙的能力减弱,一部分泥沙在侵蚀沟的沟床沉积,发生正侵蚀,径流逐渐减弱直至消退后,相对而言,沟床因为水热条件比较优越,植物得以良好的生长发育,所以,沟床土壤养分含量相对较高^[22]。沟头、沟床和沟岸土壤有机碳含量整体偏低(5.7~9.87 g/kg),侵蚀沟的发育使得地形急剧变化,造成沟头前进、沟床下切和沟岸崩塌等,各种侵蚀形式共同存在,导致表层土壤大幅度流失,各部位出现土壤退化的现象。刘刚才等^[23]的研究结果表明,土壤侵蚀是造成土壤退化特别是土壤养分贫瘠化的主要原因。本研究区植被盖度较低,且以多年生草本植物搭配一、二年生草本植物为主,物种组成简单,又由于人类活动的影响,导致有机碳来源减少,从而致使土壤有机碳含量偏低,而土壤氮、磷主要来源于有机质分解,因此,土壤全氮、全磷含量随着有机碳的降低而减少^[17]。植被类型、有机质矿化速率和人类活动等因素都会影响有机碳含量。研究证实,地表枯落物富集将加强土壤微生物活动,为有机质形成创造有利条件,但随土层深度变化,微生物的呼吸速率降低,腐殖

化作用仅局限于表层,而对深层土壤影响作用较小,所以可通过提高侵蚀沟各部位地表枯落物的储存量来增加土壤表层有机碳含量^[24],进而增加土壤氮、磷含量。土壤养分状况是植物生长发育的直接影响因素,植物的物种多样性与土壤养分是相互影响,相互制约的^[25-26]。本研究中,侵蚀沟沟床的 Shannon-Wiener 指数与土壤全磷呈显著负相关关系,随着土壤全磷含量的增加,沟床 Shannon-Wiener 指数减少。植被是影响土壤资源异质性的主要驱动因子,而物种多样性又取决于土壤养分资源的供给水平。由于全磷与土壤中富含磷的钙质化颗粒含量有关,而钙质化颗粒含量与土壤质地粗细有关,该研究区土壤质地较粗,较粗的土壤植物分布较少,因植物分布的主要限制性因素并不是磷,而是其他元素。

4 结 论

(1) 侵蚀沟各部位植物种数表现为:沟床>沟岸>沟头,均以禾本科为优势类群,尤其是鹅观草、早熟禾等耐干旱、适应性强的植物,这些优势植物生物量大,更有利于应对外界不良侵蚀环境,可作为侵蚀沟各部位植被恢复先锋草本的备选植物;生活型上,各部位均以多年生草本植物搭配一、二年生草本植物为主,物种组成简单,多属于单科单属单种。

(2) 侵蚀沟的地上生物量、Shannon-Wiener 指数、Patrick 指数和 Margalef 指数均表现为:沟床>沟岸>沟头;Simpson 指数表现为:沟头>沟床>沟岸;Pielou 指数表现为:沟头>沟岸>沟床。

(3) 侵蚀沟各部位平均土壤有机质、土壤全磷和土壤全氮含量均表现为:沟床>沟岸>沟头,且主要集中

在0—10 cm和55—70 cm。侵蚀沟沟头和沟岸的地上生物量与土壤有机碳呈极显著正相关($p < 0.01$)、与土壤全磷呈显著正相关($p < 0.05$);侵蚀沟沟床的 Shannon-Wiener 指数与土壤全磷呈显著负相关($p < 0.05$),地上生物量与土壤有机碳呈极显著正相关($p < 0.01$)。

参考文献:

- [1] Elser J J, Andersen T, Baron J S, et al. Shifts in lake N:P stoichiometry and nutrient limitation driven by atmospheric nitrogen deposition[J]. *Science*, 2009, 326(5954): 835-837.
- [2] 杜忠毓, 贺一鸣, 房朋朋, 等. 牙遗濒危植物四合木群落组成、物种多样性及土壤养分含量[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(11): 3537-3548.
- [3] 田佳歆, 刘盛, 刘冠兵, 等. 带状皆伐对长白落叶松林草本多样性和土壤养分的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2021, 27(4): 901-907.
- [4] Cai H Y, Li F R, Jin G Z. Soil nutrients, forest structure and species traits drive aboveground carbon dynamics in an old-growth temperate forest[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 705: 135874.
- [5] 陈卓鑫, 王文龙, 郭明明, 等. 黄土高原沟壑区植被恢复对不同地貌部位土壤可蚀性的影响[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(2): 387-398.
- [6] 吴淑芳, 刘勃洋, 雷琪, 等. 基于三维重建技术的坡面细沟侵蚀演变过程研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(9): 114-120.
- [7] 王涛, 陈宁生, 邓明枫, 等. 洪水侵蚀沟床形成泥石流的临界水力条件研究[J]. *泥沙研究*, 2018, 43(1): 38-43.
- [8] 姜芸, 王军, 张莉. 东北典型黑土区侵蚀沟形态及分布特征[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(7): 157-165.
- [9] 李镇, 秦伟, 齐志国, 等. 东北漫川漫岗和山地丘陵黑土区侵蚀沟形态特征遥感分析[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(14): 133-140.
- [10] 苟嘉皓, 吴世祥, 何聪, 等. 元谋干热河谷侵蚀沟不同部位土壤含水量与植物多样性关系研究[J]. *西南农业学报*, 2021, 34(6): 1262-1268.
- [11] 何聪. 元谋干热河谷典型侵蚀沟植被与土壤理化性质关系研究[D]. 四川南充: 西华师范大学, 2021.
- [12] 吴汉, 熊东红, 张宝军, 等. 金沙江干热河谷冲沟发育区不同部位土壤水分的时空变化特征[J]. *西南农业学报*, 2018, 31(2): 384-392.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 刘俊廷, 张建军, 王恒星, 等. 晋西黄土区不同退耕年限油松林草本多样性与土壤养分的关系[J]. *干旱区研究*, 2020, 37(2): 400-409.
- [15] 何芳兰, 刘世增, 李昌龙, 等. 甘肃河西戈壁植物群落组成特征及其多样性研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(4): 74-78.
- [16] 郝文芳, 杜峰, 陈小燕, 等. 黄土丘陵区天然群落的植物组成、植物多样性及其与环境因子的关系[J]. *草地学报*, 2012, 20(4): 609-615.
- [17] 韩福贵, 满多清, 郑庆钟, 等. 青土湖典型湿地白刺灌丛沙堆群落物种多样性及土壤养分变化特征研究[J]. *草业学报*, 2021, 30(1): 36-45.
- [18] 王文鑫. 不同植被带黄土塬沟头植被恢复对土壤性质和可蚀性的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [19] 马剑, 刘贤德, 何晓玲, 等. 祁连山典型灌丛群落结构特征及其多样性研究[J]. *干旱区地理*, 2021, 44(5): 1427-1437.
- [20] 赵方莹, 刘飞, 程婕, 等. 北京市灵山亚高山草甸植被群落特征[J]. *水土保持通报*, 2016, 36(3): 165-171.
- [21] 王晨. 元谋干热河谷不同发育阶段侵蚀沟与植被关系研究[D]. 四川南充: 西华师范大学, 2019.
- [22] 袁勇, 熊东红, 校亮, 等. 元谋干热河谷冲沟不同部位土壤质量评价[J]. *西南农业学报*, 2018, 31(10): 2165-2172.
- [23] 纪中华, 方海东, 杨艳鲜, 等. 金沙江干热河谷退化生态系统植被恢复生态功能评价: 以元谋小流域典型模式为例[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(4): 1383-1389.
- [24] 黄雅茹, 郝玉光, 董礼隆, 等. 乌兰布和沙漠东北缘典型固沙林土壤养分特征研究[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(2): 1-9.
- [25] 雷斯越, 赵文慧, 杨亚辉, 等. 不同坡位植被生长状况与土壤养分空间分布特征[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(1): 86-91, 105.
- [26] 薛飞, 龙翠玲, 廖全兰, 等. 喀斯特森林凋落物对土壤养分及土壤酶的影响[J]. *森林与环境学报*, 2020, 40(5): 449-458.