

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2014.04.010

黄土高原草地植被土壤团聚体特征与可蚀性分析

曾全超^{1,3}, 李娅芸², 刘雷², 安韶山^{1,2*}

(1. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心 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. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:通过对黄土高原典型草地不同植被类型的土壤团聚体分布特征以及土壤可蚀性的分析,探讨了不同立地条件下土壤团聚体特征与土壤可蚀性之间的关系,以期为防止土壤侵蚀提供理论依据。结果表明:Le Bissonais 法的3种处理,慢速湿润处理(SW)后土壤团聚体粒径主要为>2 mm的大团聚体颗粒,预湿后扰动处理(WS)和快速湿润处理(FW)后团聚体粒径分布较均匀,<0.2 mm粒径的团聚体颗粒占主要优势。土壤团聚体平均质量直径表现为SW>WS>FW,土壤可蚀性值K表现为WS>FW>SW,表明黄土丘陵区草地植被土壤团聚体破碎的机制主要是消散和机械破坏。不同立地条件下,对于慢速湿润处理,0~10 cm土层阴梁崩坡、阴沟坡、阳沟坡的土壤团聚体平均质量直径显著高于梁崩顶和阳梁崩坡,阳梁崩坡和梁崩顶的土壤可蚀性值K显著低于阴梁崩坡、阴沟坡和阳沟坡,10~20 cm也表现出相似的变化规律。阳梁崩坡和梁崩顶的土壤团聚体稳定性较低,土壤抗蚀性差,阴梁崩坡、阴沟坡和阳沟坡土壤的团聚体稳定性较好,土壤抗侵蚀能力较好。

关键词:草地植被; Le Bissonais 法; 土壤团聚体; 土壤可蚀性; 黄土高原区

中图分类号: S152.4; S157

文献标识码: A

文章编号: 1007-0435(2014)04-0743-07

Study on Soil Aggregate Stability and Soil Erodibility in the Grassland Vegetation of the Loess Plateau Region

ZENG Quan-chao^{1,3}, LI Ya-yun², LIU Lei², AN Shao-shan^{1,2*}

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi Province 712100, China;
2. College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi Province 712100, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Soil aggregate stability is a key indicator of soil quality evaluation. Soil samples under different plant communities and site conditions were collected in Gaojiagou watersheds located on the hilly-gullied Loess Plateau of northern Shaanxi. Soil water-stable aggregate were measured by using Le Bissonais (LB) method. The mean weight diameter (MWD) and soil erodibility (K value) of soil aggregates were calculated. The results show that the MWDs of three treatments (fast wetting-FW, slow wetting-SW, and wet stirring-WS) are ordered as SW > WS > FW, and the K values of treatments were ordered as FW > WS > SW. The MWDs are also ordered as shady ridge slope > shady gully slope > sunny gully slope > ridge top > sunny ridge slope, the K values are ordered as sunny ridge slope > ridge top > sunny gully slope > ridge slope > shady gully slope. The MWDs of shady ridge slope, shady gully slope and sunny gully slope are significantly higher than that of ridge top and sunny ridge slope. Soil erosion has easily taken place in the ridge top and sunny ridge slope.

Key words: Grassland vegetation; Le Bissonais method; Soil aggregate stability; Soil erodibility; Loess Plateau region

黄土高原丘陵区植被破坏严重,生态环境极其脆弱,导致区域植被结构和功能具有很大的不稳定

收稿日期:2013-03-30;修回日期:2013-07-03

基金项目:国家自然科学基金(41030532)(41171226);新世纪优秀人才支持计划(NCET-12-0473);西北农林科技大学“优秀人才科研专项”(QN2011049)资助

作者简介:曾全超(1989-),男,重庆梁平人,硕士研究生,研究方向为植被恢复与土壤相互作用机制, E-mail: zengchao256@126.com; *通信作者 Corresponding author, E-mail: shan@ms.iswc.ac.cn

性。近年来,国家和地方政府采取多项植被恢复工程,对防止草地土壤侵蚀,提高土壤的抗冲刷能力起到重要作用^[1]。草地植被是植被恢复演替过程中的初级阶段,草本植物的“加筋锚固”作用对固持土壤结构和性质具有重要影响,比演替后期出现的植被类型表现出更强的环境适应能力,并为演替后期植物群落的进展演替创造了必要的土壤条件。草本植被是黄土高原区植被演替的初始阶段,草本植被较其他类型植被具有较强的土壤固持能力和环境适应能力,随着草地植被对土壤固持能力的改善,土壤肥力和土壤团聚体稳定性得到了有效的改善,演替后期的森林草原过渡植被带以及演替亚顶级阶段的森林植被带也逐渐出现^[2]。郭曼等^[3]研究表明,在植被的自然演替过程中,土壤团聚体随着植被群落由草本-灌草-半灌木-灌木-乔木的演替土壤结构逐渐趋于稳定。土壤团聚体作为土壤组成的基本单元,是土壤养分的储存库^[4,5],同时又是影响土壤肥力的重要因数,其稳定性也在一定程度上影响着土壤抗侵蚀能力^[6,7]。许多学者把土壤团聚体的水稳性作为评价土壤可蚀性的重要指标,通过提高土壤团聚体的水稳性以及水稳性团聚体的数量和质量来提高土壤抗侵蚀能力^[8,9]。在植被恢复过程中,土壤结构和功能的改变可以通过团聚体稳定性来反映。安韶山等^[4]研究表明植被恢复可以改善土壤结构,提高土壤的抗侵蚀能力。日前,有关黄土丘陵区土壤团聚体稳定性研究已有诸多报道,主要体现在植被类型对团聚体的影响^[10-12],但不同立地条件下土壤团聚体的稳定性研究较少。

由于黄土高原丘陵区地形破碎,沟壑纵横,坡向不同,汛期暴雨风向、降雨侵蚀力、土壤水分、物种多样性均存在差异,导致了不同的侵蚀方式、类型及侵蚀强度和不同的抗侵蚀能力^[13-17]。因此,研究不同立地条件下土壤团聚体稳定性与土壤可蚀性,对于了解该区草本群落下土壤的抗侵蚀能力,以及其对土壤的改良作用具有重要意义。本研究在陕西黄土丘陵沟壑区高家沟流域选取崩顶、阴梁崩坡、阳梁崩坡、阴沟坡和阳沟坡的草本植物群落为对象,比较其土壤团聚体特征以及土壤可蚀性差异,以期对植被恢复和防止土壤侵蚀提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

高家沟小流域属于延河流域的支流,地处陕西

省安塞子长县,属典型的黄土高原丘陵沟壑区,暖温带半干旱大陆性季风气候,夏秋多雨,冬季干燥。该区崩梁起伏,地形破碎,沟壑纵横。海拔 1245~1635 m,无霜期 160~180 d,全年平均气温 8.8℃,≥10℃活动积温 3177.4℃;全年日照时数 2415.5 h,太阳辐射总量 480.1 kJ·cm⁻²;多年平均降水量 505.3 mm,年蒸发量 1645.4 mm,蒸发量平均为降水量的 2 倍以上。土壤类型主要为黄绵土,土体结构疏松、软绵,抗侵蚀能力差,土壤侵蚀严重。植被类型以典型草原植被为主,主要植物种类有铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、芨芨蒿(*Artemisia giraldii*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、大针茅(*Stipa grandis*)等。

1.2 样品采集与分析

2011年7月通过对研究区域的植被类型和地形条件进行详细的调查,按照不同的立地条件选取具有代表性的 11 个样地(表 1)。各样地内选取 3 个 10 m×10 m 的采样单元,每个单元内分别用铝盒采集 0~10 cm 以及 10~20 cm 原状土样,将其自然风干,并用手将大块沿纹理轻轻地掰成小块,去除根系和石块以及其他杂物,干筛法获得 3~5 mm 的土壤团聚体。土壤的基本理化性质分析参照文献^[18]。根据 Le Bissonais 法的 3 种处理方法^[19-20]:快速湿润法(fast wetting, FW)、慢速湿润法(slow wetting, SW)和预湿后扰动(wet stirring, WS)对 3~5 mm 的土壤团聚体进行分析。

Le Bissonais 法(简称 LB 法)具体测定步骤如下:取 3~5 mm 干筛团聚体于 40℃烘箱内烘 24 h,使团聚体土壤含水量一致后进行以下 3 种处理。快速湿润(FW):取 5 g 团聚体快速浸没在去离子水中 10 min 后用移液管吸掉水分;慢速湿润(SW):取 5 g 团聚体置于张力为-0.3 kPa 滤纸上,静置 30~40 min 使团聚体完全湿润;预湿后扰动(WS):取 5 g 团聚体浸没在酒精中以排出空气,浸泡 10 min 后用移液管吸掉酒精,将土壤转入盛有 50 mL 去离子水的 500 mL 三角瓶中,加水至 200 mL,加塞后上下振荡 20 次,静置 30 min 使粗分散体沉淀,然后用吸管吸去多余水分。将已作湿润处理的土壤转移到浸没在 95%浓度酒精中的 0.05 mm 孔径筛子上,上下振荡 20 次(幅度 2 cm);然后在 40℃烘箱中蒸干酒精,转入烧杯中 40℃下烘干 48 h,称重。再过 2,1,0.5,0.2,0.1 和 0.05 mm 套筛,称重得到每个级别的破碎团聚体。LB 法团聚体分析试验在 2013

年1月进行,试验过程中每个样品每种处理重复测试3次。

表1 样地描述

Table 1 The description of sample sites

侵蚀环境	海拔	经度	纬度	坡度	草本层盖度	植被类型
Erosion environment	Altitude/m	Longitude/°	Latitude/°	Slope/°	Herb coverage/%	Vegetation types
峁顶	1370	108.9864	37.2181	5	77	达乌里胡枝子、硬质早熟禾、铁杆蒿
Ridge top	1347	108.9910	37.2307	8	62	大针茅、达乌里胡枝子
阴梁崩坡	1334	108.9874	37.2332	3	38	百里香
Ridge slope	1379	108.9854	37.2160	28	35	芨芨
阳梁崩坡	1345	108.9905	37.2313	26	72	铁杆蒿
Sunny ridge slope	1321	108.9899	37.2319	22	35	铁杆蒿、芨芨、冷蒿、达乌里胡枝子
阳沟坡	1285	108.9897	37.2324	27	33	铁杆蒿
Sunny gully slope	1270	108.9879	37.2320	23	33	达乌里胡枝子、芨芨
阴沟坡	1304	108.9874	37.2180	25	60	铁杆蒿、芨芨
Shady gully slope	1337	108.9878	37.2175	13	44	硬质早熟禾、芦苇、铁杆蒿
	1312	108.5924	37.1353	20	90	铁杆蒿

注(Note):铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、芨芨(*Artemisia giraldii*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、大针茅(*Stipa grandis*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)

1.3 计算方法

土壤团聚体平均重量直径(MWD/mm)和土壤可蚀性因子K值具体计算公式如下^[21-22]:

$$MWD = \frac{\sum_i \chi_i \omega_i}{\sum_i \omega_i}$$

$$K = 7.954 \times \left\{ 0.0017 + 0.0494 \times \exp \left[-0.5 \times \left(\frac{\log GMD + 1.675}{0.6986} \right)^2 \right] \right\}$$

$$GMD = \exp \left(\frac{\sum_i \omega_i \ln \chi_i}{\sum_i \omega_i} \right)$$

式中: χ_i 为每个粒径下的团聚体平均直径(mm), ω_i 为每个粒径下的团聚体质量百分含量。

1.4 数据处理

用Excel 2007和SPSS 20.0统计分析软件对所得试验数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 土壤的基本理化性质

由表2可知,土壤pH在8.83~9.06,为碱性土,不同立地条件差异不显著。其中,0~10 cm土层的土壤容重以阴梁崩坡最大,阳梁崩坡最小,其变化范围为1.05~1.17 g·cm⁻³。10~20 cm土层,阴梁崩坡最大,阳沟坡最小,其变化范围为1.17~1.23 g·cm⁻³。10~20 cm土层的土壤容重明显高于0~10 cm土层,说明下层土壤的通气性要差于上层土壤。0~10 cm土层以阳梁崩坡和梁崩顶土壤有机碳含量最高,阴梁崩坡含量最低;10~20 cm土层以梁崩顶土壤有机碳含量最高,阳沟坡含量最低,0

~10 cm土层明显高于10~20 cm土层。0~10 cm土层以阳梁崩坡和梁崩顶土壤总氮含量最高,阳沟坡含量最低,10~20 cm土层也表现出相似的变化趋势。不论是0~10 cm土层还是10~20 cm土层的土壤总磷含量变化不大,均在0.57~0.58 g·kg⁻¹范围之间变动。0~10 cm土层梁崩顶、阴梁崩坡土壤总钾含量最高,阴沟坡含量最低;10~20 cm土层阴沟坡和阳梁崩坡含量最高,阴梁崩坡含量最低。

2.2 土壤团聚体粒径分布特征

干筛的3~5 mm土壤团聚体在不同湿润处理下形成的水稳性团聚体各粒径质量分数分布如图1所示。SW处理下0~10 cm与10~20 cm土层的变化规律相似,主要为2~5 mm大团聚体,其中梁崩顶、阳沟坡、阴沟坡以及阴梁崩坡2~5 mm粒径的大团聚体比例大于60%,只有阳梁崩坡所占比例在40%左右。SW处理下0~10 cm土层不同立地条件下2~5 mm粒径团聚体的大小顺序为阴梁崩坡>阴沟坡>阳沟坡>梁崩顶>阳梁崩坡,10~20 cm土层大小顺序为阴沟坡>阳沟坡>梁崩顶>阴梁崩坡>阳梁崩坡,阴沟坡、阳沟坡、梁崩顶之间差异不显著。WS处理下各粒径团聚体颗粒分布较均匀,<0.2 mm粒径颗粒占主要优势,0~10 cm土层变化幅度为62.93%~72.61%,10~20 cm土层变化幅度为71.25%~81.23%。FW处理下变化规律与WS处理相似,粒径分布相对均匀,<0.2 mm粒径颗粒占主要优势,0~10 cm土层变化幅度为56.87%~70.11%,10~20 cm土层变化幅度为64.71%~74.22%,10~20 cm土层稍高于0~10 cm土层。在黄土丘陵区,有很多学者把>0.2 mm

粒径水稳性团聚体的含量作为土壤抗侵蚀能力的重要指标^[10]。对于LB法的3种处理,无论是0~10 cm土层还是10~20 cm土层,>0.2 mm粒径水稳

性团聚体的含量都表现为SW>WS>FW,WS处理与FW处理差异不显著。

表2 土壤的理化性质

Table 2 Soil physical and chemical properties

侵蚀环境 Erosion environment	Soil layer /cm	pH	容重 Soil bulk density /g·cm ⁻³	有机质 Soil organic matter /g·kg ⁻¹	全氮 Total nitrogen /g·kg ⁻¹	全磷 Total phosphorus /g·kg ⁻¹	全钾 Total kalium /g·kg ⁻¹
梁崩顶 Ridge top	0~10	8.91±0.012 ^a	1.13±0.04 ^{ab}	10.02±0.96 ^a	0.63±0.15 ^{ab}	0.58±0.04 ^a	19.56±0.89 ^a
梁崩顶 Ridge top	10~20	8.91±0.15 ^a	1.18±0.06 ^{ab}	8.07±1.64 ^a	0.46±0.10 ^{ab}	0.57±0.05 ^a	18.84±1.83 ^a
阳梁崩坡 Sunny ridge slope	0~10	8.83±0.10 ^a	1.05±0.02 ^c	10.03±4.50 ^a	0.65±0.29 ^a	0.57±0.03 ^a	18.99±0.58 ^{ab}
阳梁崩坡 Sunny ridge slope	10~20	8.95±0.19 ^a	1.20±0.06 ^{ab}	7.68±3.99 ^{ab}	0.54±0.22 ^a	0.57±0.03 ^a	19.19±0.73 ^a
阳沟坡 Sunny gully slope	0~10	8.98±0.22 ^a	1.08±0.03 ^c	8.19±4.45 ^{ab}	0.45±0.19 ^b	0.57±0.03 ^a	18.35±1.32 ^{ab}
阳沟坡 Sunny gully slope	10~20	9.06±0.22 ^a	1.17±0.04 ^b	5.98±2.99 ^b	0.34±0.15 ^{bc}	0.57±0.02 ^a	18.87±1.24 ^a
阴沟坡 shady gully slope	0~10	8.83±0.08 ^a	1.09±0.09 ^{bc}	9.51±3.06 ^{ab}	0.56±0.15 ^{ab}	0.60±0.06 ^a	17.94±1.93 ^b
阴沟坡 shady gully slope	10~20	8.85±0.04 ^a	1.23±0.03 ^a	8.01±2.32 ^{ab}	0.45±0.14 ^{abc}	0.58±0.04 ^a	19.21±0.67 ^a
阴梁崩坡 Ridge slope	0~10	8.89±0.04 ^a	1.16±0.05 ^b	6.53±2.45 ^b	0.49±0.11 ^{ab}	0.57±0.04 ^a	19.30±0.60 ^a
阴梁崩坡 Ridge slope	10~20	8.94±0.14 ^a	1.23±0.08 ^a	6.20±1.27 ^b	0.31±0.02 ^c	0.56±0.03 ^a	18.43±1.42 ^a

注:不同小写字母表示同一土层不同侵蚀环境之间差异显著($P<0.05$),下同

Note: Different small letters within the same soil layer indicate significant difference at 0.05 level, the same as following

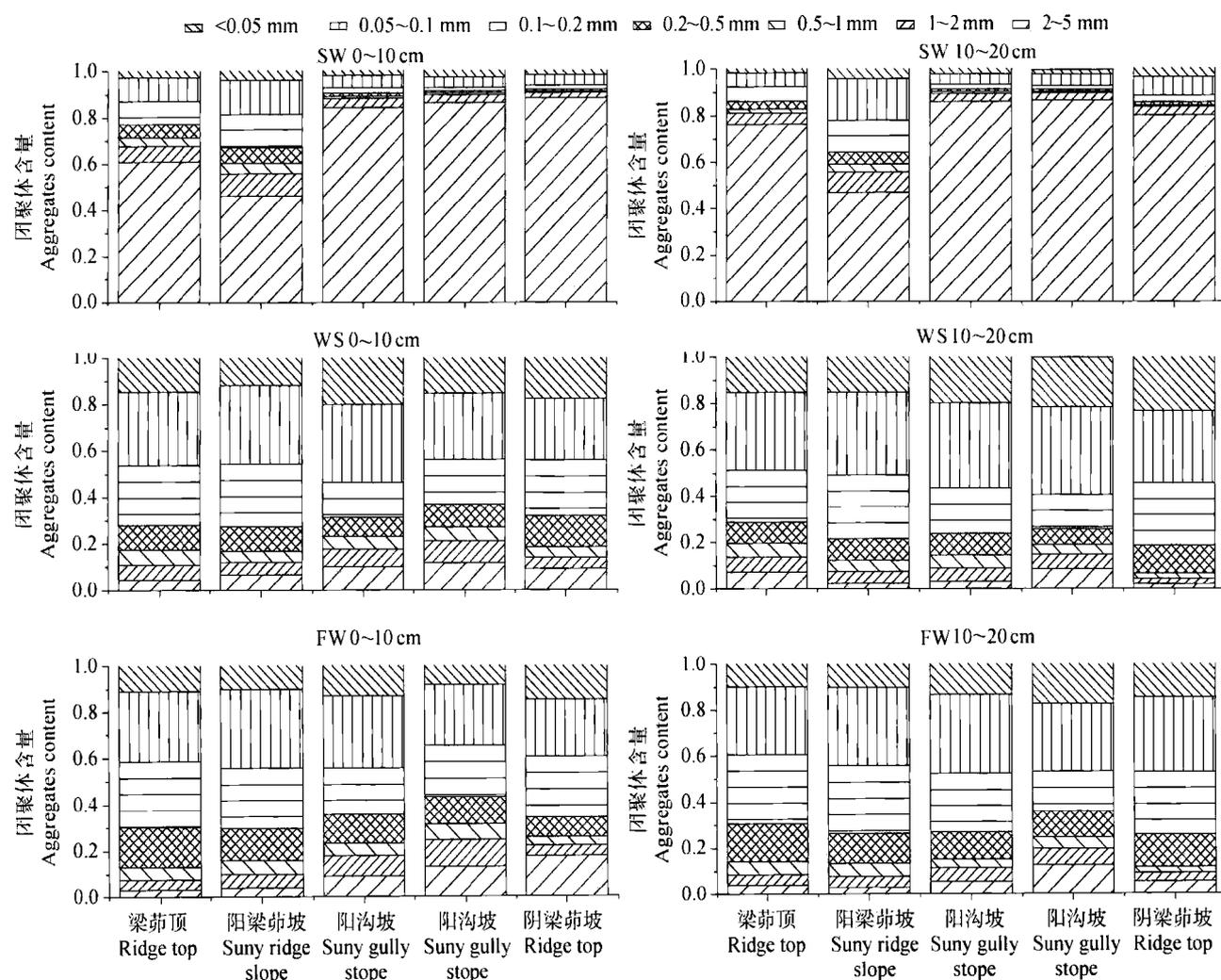


图1 LB法3种处理下土壤水稳性团聚体粒级分布

Fig. 1 Size distributions of water-stable aggregates in the 3 treatments by Le Bissonnais method

2.3 土壤团聚体平均质量直径(MWD)分布特征

由图2可知,无论是0~10 cm还是10~20 cm

土层,SW处理下阳梁崩坡的平均质量直径(MWD)最小,梁崩顶次之,阴沟坡、阳沟坡以及阴梁崩坡的

MWD 值差异不显著。WS 处理下 0~10 cm 土层不同立地条件下 MWD 大小顺序为阴沟坡>阳沟坡>阴梁崩坡>阳梁崩坡>梁崩顶,10~20 cm 土层变化顺序为阴梁崩坡>梁崩顶>阳沟坡>阳梁崩坡>阴梁崩坡。FW 处理下 0~10 cm 土层不同立地条件下 MWD 大小顺序为阴梁崩坡>阴沟坡>阳沟坡>梁崩顶>阳梁崩坡,10~20 cm 土层顺序为阴沟坡>阳沟坡>阴梁崩坡>梁崩顶>阴梁崩坡。SW 处理下的 MWD 值显著高于 WS 处理和

FW 处理下的($P<0.05$),WS 处理与 FW 处理间差异不显著。说明 SW 处理适合于测定黄土高原土壤团聚体稳定性。SW 和 WS 处理在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层差异不明显,而 FW 处理下的 0~10 cm 和 10~20 cm 土层之间略有差异。0~10 cm 和 10~20 cm 土壤 MWD 值均为 SW>FW>WS。这说明在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层内,其土壤团聚体的稳定性规律一致,即慢速湿润>快速湿润>预湿后扰动。

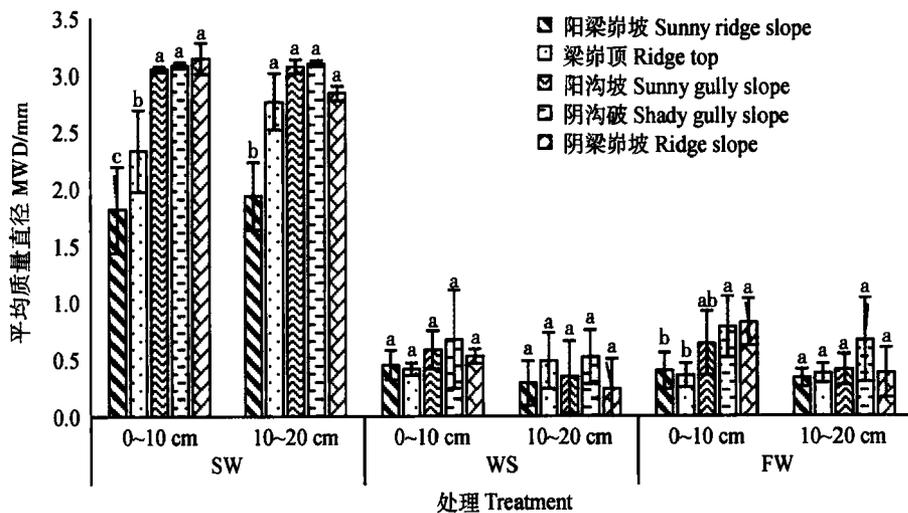


图 2 LB 法 3 种处理下 MWD 变化

Fig. 2 MWD changes of 3 treatments by Le Bissonnais method

2.3 土壤可蚀性因子 K 值比较

土壤可蚀性 K 值是土壤抵抗水蚀能力大小的一个相对综合的指标,K 值越大,土壤抗侵蚀能力越弱。相反,K 值越小,土壤抗侵蚀能力越强。由图 3 可知,对于 SW 处理,0~10 cm 土层阴沟坡、阳沟坡和阴梁崩坡土壤可蚀性 K 值较小,梁崩顶次之,阳梁崩坡较大;10~20 cm 土层阴沟坡、阳沟

坡、梁崩顶和阴梁崩坡 K 值较小,阳梁崩坡土壤可蚀性值 K 显著高于其他 4 种立地条件下的($P<0.05$)。SW 处理下阳梁崩坡的 K 值显著高于其他条件下的 K 值($P<0.05$),这与 MWD 值的变化规律是相似的。说明这 5 种立地条件下,阳梁崩坡的土壤可蚀性是最大的,该处的土壤相比其他坡位更容易发生侵蚀。

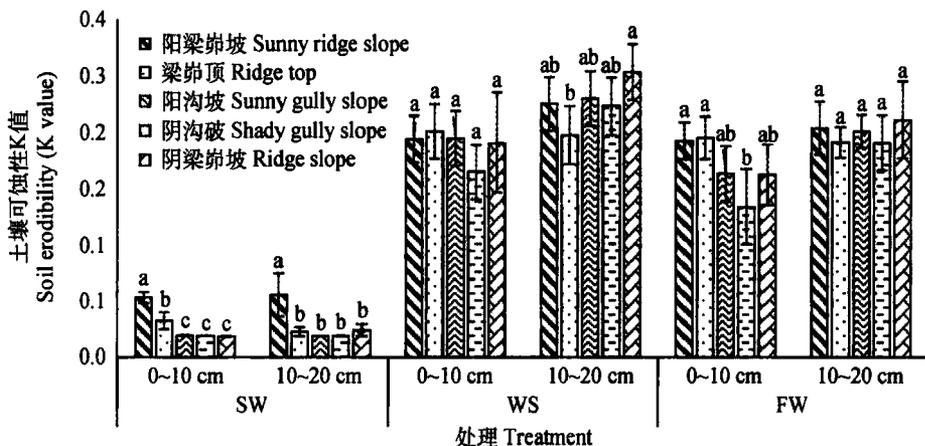


图 3 LB 法 3 种处理下 K 值变化

Fig. 3 Changes of Soil erodibility under 3 treatments by Le Bissonnais method

草地植被带 0~10 cm 和 10~20 cm 土层在 LB 法 3 种处理中,SW 处理后的土壤可蚀性 K 值均为最小,和其他 2 种处理相比,SW 处理后的土壤抗侵

蚀能力最强,这与根据 MWD 值分析得出的规律一致。LSD 检验表明,0~10 cm 与 10~20 cm 土层中,SW 处理与 FW 和 WS 处理之间差异显著($P<$

0.05), WS 与 FW 处理间差异不显著。

2.4 相关性分析

由表 3 可知, SW 处理下的 MWD 值与土壤的有机

碳、总氮成极显著负相关; WS 处理下 MWD 与土壤容重成极显著负相关, 与总磷、总氮成极显著正相关, 与总有机碳成显著正相关; FW 处理下 MWD 与土壤容重成显著负相关, 与总磷成极显著正相关($P < 0.01$)。

表 3 相关性分析

Table 3 Correlation analysis

	pH	容重 BD	有机碳 SOC	全氮 TN	全磷 TP	全钾 TK
MWD _{sw}	0.189	-0.054	-0.287**	-0.422**	-0.131	-0.043
MWD _{ws}	-0.275**	-0.334**	0.255*	0.280**	0.335**	0.169
MWD _{fw}	-0.158	-0.214*	0.131	0.137	0.778**	-0.210

注: ** 0.01 水平上显著相关; * 0.05 水平上显著相关

Note: ** Significant correlation at the 0.05 level; * Significant correlation at the 0.01 level

3 讨论

3.1 3 种处理对土壤团聚体的影响及应用价值

Le Bissonnais 法的 3 种处理是根据不同团聚体崩解的作用力, 以区分团聚体崩解的不同机制。其中 SW 处理是在水中慢慢充分饱和, 消除了团聚体内压缩空气的压力而使黏粒的膨胀达到最大, 模拟的是小雨或者滴灌条件下的土壤黏粒膨胀作用, 对团聚体结构的破坏程度最小。WS 处理中先将土壤团聚体浸入乙醇中, 除去或减小了团聚体内压缩空气的压力和黏粒的膨胀, 只有低强度的机械作用, 模拟的是雨滴的打击破坏作用, 强调的是机械破坏。FW 处理是将团聚体快速浸入水中, 使团聚体内压缩空气的压力成为团聚体崩解的主要机制, 模拟的是暴雨对土壤产生的气爆而导致的破坏^[11, 23]。本试验中, SW 处理下不同立地条件下的土壤团聚体粒径主要以 > 2 mm 的大团聚体为主, 具有较好的稳定性, 其 MWD 值显著高于 WS 处理与 FW 处理。WS 处理与 FW 处理后的土壤各级粒径团聚体分布较为分散, 以 $0.1 \sim 0.2$ mm, $0.05 \sim 0.1$ mm 和 < 0.5 mm 为主, MWD 值显著低于 WS 处理和 FW 处理, 说明 FW 处理与 WS 处理对该区土壤产生较大的破坏作用。WS 处理和 FW 处理不适用于评价黄土丘陵区草地植被土壤的团聚体稳定性, 这与郭曼等^[31]的研究结果一致, 而与卢升高等^[24]、张孝存等^[25]研究结果相反, 说明 LB 法的 3 种处理对于不同的土壤类型有不同的结果。因此, 在使用 LB 法研究土壤团聚体的稳定性时, 需要因地制宜, 酌情选择。LB 法作为一种新型的测定团聚体特征的方法, 相比传统的研究方法比如雨滴和人工降雨法、湿筛法、浸水崩解法等方法^[20, 23, 26, 27], 克服了由于水分湿润方式、干扰能力大小和试验所用的团聚体大小等

因素造成的测定结果难以比较的缺点。有研究表明, LB 法的 SW 处理后测定结果与传统的 Yoder 法接近^[10, 35], 能够全面准确地评价黄土丘陵区土壤的团聚体特征。目前 LB 法已经成为研究团聚体的标准方法 (ISO/DIS 10930, 2012)。本研究表明 SW 处理可以运用于评价黄土高原草地植被带团聚体稳定性特征。

3.2 不同立地条件土壤团聚体稳定性和土壤可蚀性的差异

不同立地条件下土壤团聚体稳定性和土壤可蚀性有所不同。SW 处理下, 阳梁崩坡的 > 0.2 mm 粒径团聚体含量和 MWD 最小, K 值最大, 表明阳梁崩坡的土壤团聚体稳定性较差, 土壤容易发生土壤侵蚀。不同立地条件下, $0 \sim 10$ cm 土层的 > 0.2 mm 粒径团聚体含量及 MWD 值大小顺序为阴梁崩坡 $>$ 阴沟坡 $>$ 梁崩顶 $>$ 阳梁崩坡, K 值大小顺序为阳梁崩坡 $>$ 梁崩顶 $>$ 阳沟坡 $>$ 阴沟坡 $>$ 阴梁崩坡。 $10 \sim 20$ cm 土层变化规律与 $0 \sim 10$ cm 土层相似。说明阳梁崩坡的土壤团聚体稳定性最差, 最容易发生土壤侵蚀, 梁崩顶次之, 沟坡和阴梁崩坡土壤抗侵蚀能力较强。有研究表明黄土高原由于崩顶及阳坡上部生境条件差, 很容易发生土壤侵蚀^[28]。总体上, 阳坡侵蚀强度大于阴坡^[29]。阳梁崩坡的坡度相对较大, 土壤侵蚀强度大, 海拔较高、光照强, 土壤水分条件差、植被覆盖度较小^[30]。梁崩顶坡度相对较小, 在 $5 \sim 8^\circ$ 之间, 土壤养分、水分流失率小, 其土壤总氮、总磷、总钾以及有机质含量高于沟坡和崩坡, 但其海拔高、光照强、空气流动速度快, 植物地上部分受伤害程度较大。阴梁崩坡土壤水分及养分充足, 植被盖度高, 有效地减小了土壤侵蚀强度。阴沟坡的坡度小, 植被恢复时间长, 土壤水

分及养分条件较好,植被盖度较高达67%,土壤侵蚀强度较弱。由于不同立地条件导致其光照、水分、土壤养分等一系列生境条件发生了变化,导致植被覆盖度和物种多样性有所不同。有研究表明阴坡物种多样性较高,植被盖度较大^[10],有利于防止雨滴对土壤的直接打击破坏,提高土壤的抗侵蚀能力。总之,不同立地条件下土壤团聚体稳定性和土壤可蚀性差异受水热条件、植被类型、土壤理化性质等因素的影响。

4 结论

LB法的3种处理中,0~10 cm土层与10~20 cm土层表现出相同的变化趋势。WS处理与FW处理对土壤的破坏性较大,SW处理对土壤的破坏性最小。黄土高原丘陵区草地植被类型土壤团聚体的破坏机制主要为快速湿润引起的消散作用和湿润扰动引起的机械破坏。

黄土高原草地植被带不同立地条件下的土壤团聚体稳定性和土壤可蚀性表现出较大的差异。阳梁崩坡、崩顶的土壤团聚体稳定性较低,土壤可蚀性较强,容易发生土壤侵蚀。因此可根据不同的立地条件,选择种植不同的植被,尽最大可能防止土壤侵蚀,对于黄土高原植被恢复工程具有重要意义。

参考文献

- [1] 徐佳,刘普灵,邓瑞芬,等. 黄土坡面不同植被恢复阶段的减流减沙效益研究[J]. 地理科学,2012,32(11):1391-1936
- [2] 朱志诚,黄可. 陕北黄土高原森林草原地带植被恢复演替初步研究[J]. 山西大学学报:自然科学版,1993,16(1):94-100
- [3] 郭曼,郑粉莉,安韶山,等. 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区土壤团聚体稳定性[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):68-73
- [4] 安韶山,张扬,郑粉莉. 黄土丘陵区土壤团聚体分形特征及其对植被恢复的响应[J]. 中国水土保持科学,2008,6(2):66-70
- [5] Six J, Bossuyt H, Degryze S, et al. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics [J]. Soil and Tillage Research,2004,79(1):7-31
- [6] Yoder R E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses [J]. Agronomy Journal,1936,28(5):337-351
- [7] 彭新华,张斌,赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报,2004,41(4):618-623
- [8] 吴彦,刘世全,付秀琴,等. 植物根系提高土壤水稳性团粒含量的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(1):45-49
- [9] 马祥华,焦菊英,温仲明,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中土壤物理特性变化研究[J]. 水土保持研究,2005,12(1):17-21
- [10] 刘雷,安韶山,黄华伟. 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报,2013,33(20):6670-6680
- [11] 董莉丽,郑粉莉,秦瑞杰. 基于 LB 法不同植被类型下土壤团聚体水稳性研究[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(2):191-196
- [12] An S S, Darboux F, Cheng M. Revegetation as an efficient means of increasing soil aggregate stability on the Loess Plateau (China) [J]. Geoderma,2013,209(1):75-85
- [13] 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
- [14] 焦菊英,张振国,贾燕锋,等. 陕北丘陵沟壑区撂荒地自然恢复植被的组成结构与数量分类[J]. 生态学报,2008,28(7):2981-2997
- [15] 李孝地. 黄土高原不同坡向土壤侵蚀分析[J]. 中国水土保持,1988(8):52-54
- [16] 林超,李昌文. 阴阳坡在山地地理研究中的意义[J]. 地理学报,1985(1):20-28
- [17] 周萍,刘国彬,侯喜禄. 黄土丘陵区不同坡向及坡位草本群落生物量及多样性研究[J]. 中国水土保持科学,2009,7(1):67-73
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:31-107
- [19] LeBissonnais Y, Arrouays D. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility; II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents [J]. European Journal of Soil Science,1997,48(1):39-48
- [20] LeBissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility; 1. Theory and methodology [J]. European Journal of Soil Science,1996,47(4):425-437
- [21] van Bavel C H M. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation [J]. Soil Science Society of America Journal,1950,14(C):20-23
- [22] Shirazi M A, Boersma L. A unifying quantitative analysis of soil texture [J]. Soil Science Society of America Journal,1984,48(1):142-147
- [23] Amezketa E. Soil aggregate stability: A review [J]. Journal of Sustainable Agriculture,1999,14(2/3):83-151
- [24] 卢升高,竹蕾,郑晓萍. 应用 Le Bissonnais 法测定富铁土中团聚体的稳定性及其意义[J]. 水土保持学报,2004,18(1):7-11
- [25] 张孝存,郑粉莉. 基于 Le Bissonnais 法的东北黑土区土壤团聚体稳定性研究[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2009,37(5):82-86
- [26] Diaz-Zorita M, Perfect E, Grove J H. Disruptive methods for assessing soil structure [J]. Soil & Tillage Research,2002,64(1/2):3-22
- [27] Beare M H, Bruce R R. A comparison of methods for measuring water-stable aggregates - Implications for determining environmental-effects on soil structure [J]. Geoderma,1993,56(1/4):87-104
- [28] 贾燕锋,王宁,韩鲁艳,等. 黄土丘陵沟壑区坡沟植被生态序列研究[J]. 中国水土保持科学,2008,6(6):50-57
- [29] 梁广林,陈浩,蔡强国,等. 黄土高原现代地貌侵蚀演化研究进展[J]. 水土保持研究,2004,11(4):131-137
- [30] 杜华栋,焦菊英,寇萌,等. 黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀环境下芽库的季节动态及垂直分布[J]. 应用生态学报,2013,24(5):1269-1276

(责任编辑 刘云霞)