

doi: 10.13866/j.azr.2017.05.14

黄土地与沙地生物结皮的发育特征及其生态功能异同^①

李茹雪¹, 杨永胜², 孟杰³, 杨建振³, 卜崇峰^{1,4}

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院西北高原生物研究所 青海 西宁 810001;
3. 西北农林科技大学资源与环境学院 陕西 杨凌 712100; 4. 中国科学院水利部水土保持研究所 陕西 杨凌 712100)

摘要: 基于课题组已有研究成果, 选取陕北水蚀风蚀交错区内气候条件相同但土壤质地迥异的试验区, 探讨黄土地和沙地生物结皮发育特征及其生态效应的异同。结果表明: ① 苔藓结皮是2种土地生物结皮的重要类型, 其中, 黄土地的优势藓种为尖叶对齿藓 (*Didymodon constrictus* (Mitt.) Saito.)、真藓 (*Bryum argenteum* Hedw.)、狭网真藓 (*B. algovicum* Sendt.); 沙地的优势藓种为黄色真藓 (*B. pallens* Scheich.)、弯叶真藓 (*B. recurvulum* Mitt.)、银叶真藓 (*B. argenteum* Hedw.)。沙地乔灌植物下生物结皮盖度(77.5%)、厚度(11.8 mm)及容重($1.9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)均高于黄土地生物结皮, 而黄土地多年生草本植物下生物结皮抗剪强度(26.5 kPa)高于沙地生物结皮, 总体上, 沙地生物结皮发育的更好。② 黄土地入渗增幅和0~200 cm剖面的平均土壤含水率增幅均显著高于沙地($P < 0.05$), 且在旱季和雨季其0~200 cm剖面的平均土壤含水率增幅分别比沙地高1.4%和1.9%。③ 两地生物结皮均表现出了较好的减蚀作用, 其减蚀效率分别为81.0%和90.6%。

关键词: 黄土地; 沙地; 生物结皮; 土壤含水率; 侵蚀; 减蚀效率; 陕西

生物土壤结皮(简称“生物结皮”)是由隐花植物和土壤微生物与表层土壤颗粒胶结形成的复合体⁽¹⁾, 其作为干旱半干旱地区非常重要且常见的地被覆盖物, 在干旱半干旱生态系统中起着不可替代的作用。生物结皮的发育可以提高土壤表层养分⁽²⁾, 增加土壤稳定性⁽³⁻⁴⁾, 增强土壤抗侵蚀能力⁽⁵⁻⁶⁾。但由于其演替受气候、土壤、植被、地形地貌等诸多因素的影响⁽⁷⁻⁹⁾, 不同地区生物结皮的组成及其特性的限制性因素也有所不同⁽¹⁰⁾, 导致了其生态功能的差异。

由于地理位置的特殊性及气候变化的不确定性, 陕北水蚀风蚀交错区生态环境极为脆弱, 干旱缺水与水土流失(荒漠化)并存是该区域最为突出的生态环境问题⁽¹¹⁻¹²⁾。目前, 生物结皮在新疆、宁夏和内蒙古等沙漠地区⁽¹³⁻¹⁵⁾及黄土高原地区^(11, 16)均有大量研究报道。但由于生物结皮发育的土壤差异性和空间分异性, 导致其生物结皮发育状况及其生态功能存在一定的差异。六道沟和圪丑沟同处陕北水蚀风蚀交错区, 气候条件基本相同, 但六道沟以黄土为主, 圪丑沟以沙地为主, 可能由于其土壤质地不同造成生物结皮发育的差异, 进而对其生态功能也

造成一定的影响, 而关于这方面的研究鲜见报道。因此, 探索2种土壤质地的生物结皮的形成发育特征及其生态功能的异同, 不仅是对生物结皮研究的重要补充, 也是深入了解或揭示其诸多生态功能的基础。

本研究基于六道沟(黄土区)和圪丑沟(沙土区)的研究成果⁽⁵⁻⁶⁾, 对比黄土地和沙地生物结皮在发育状况、土壤水分效应及其防蚀效益等方面的异同, 分析在相同气候条件下, 不同土壤质地对生物结皮发育特征及其生态效应的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区分别位于陕西省神木县境内的六道沟流域($110^{\circ}21' \sim 110^{\circ}23' \text{E}$, $38^{\circ}46' \sim 38^{\circ}51' \text{N}$)及圪丑沟流域($109^{\circ}40' \sim 110^{\circ}30' \text{E}$, $38^{\circ}10' \sim 39^{\circ}05' \text{N}$)。两区域既属于黄土高原向毛乌素沙地过渡和森林草原向典型干旱草原的过渡地带, 又属于以流水作用为主的黄土丘陵区向以干燥剥蚀作用为主的鄂尔多斯高

① 收稿日期: 2016-05-16; 修订日期: 2016-06-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(40701096); 中国科学院西部之光(B28013200); 陕西省自然科学基金(sj08d07)资助

作者简介: 李茹雪(1988-), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: lrxbreith@126.com

通讯作者: 卜崇峰。E-mail: buchongfeng@163.com

原过渡的水蚀风蚀交错区⁽¹⁶⁾,直线距离 30 km(图 1) 除土壤及侵蚀类型外,其他自然概况大致相同(表 1 和表 2)。

1.2 研究方法

本文主要通过总结、整理课题组已有研究成果^(5-6,17-20),分析黄土地和沙地生物结皮的发育特征及其生态效应的异同。首先,在野外调查的基础上,测定两地生物结皮的发育指标。盖度采用目测法,厚度和抗剪强度分别使用游标卡尺和袖珍剪力仪 BWT2XZJL 进行原位测定,容重采用涂膜法⁽²¹⁾;其次,在六道沟流域和圪丑沟流域分别建立 12 个径流小区⁽⁶⁾和 8 个风蚀小区⁽⁵⁾,使用 TDR(TRIME-IPH) 测定小区中部 200 cm 垂直剖面土壤水分。其

中,径流小区的测定间距为 10 cm;风蚀小区 20 ~ 100 cm 测定间距为 10 cm,100 ~ 200 cm 测定间距为 20 cm,每月至少监测 1 次。在径流小区下方使用直径 30 cm、高 100 cm 的集流桶收集泥沙和径流,根据天气预报进行雨前雨后监测,均在降雨前后 24 h 内完成。同时,将 50 cm 长的风蚀针插在风蚀小区,间隔 1 m,地上露出 20 cm,地下插入 30 cm,每 2 个月读 1 次数,通过风蚀针刻度的变化计算风蚀模数。

试验数据运用 Microsoft Excel 2007 进行处理与分析,数据表达为平均值 ± 标准误(Means ± SE)。利用统计分析软件(SPSS 19.0) 对各个指标进行单因素方差分析。

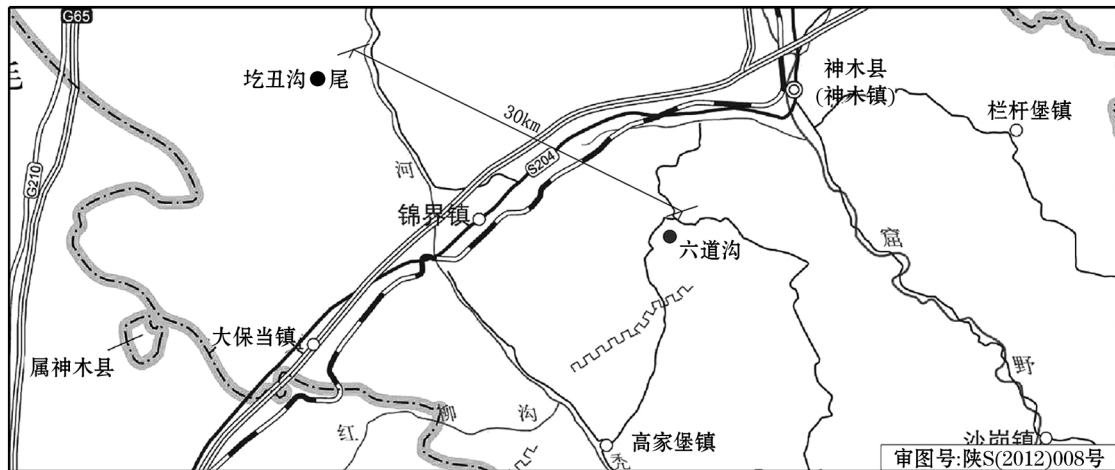


图 1 六道沟和圪丑沟区位示意图

Fig.1 Geographical locations of the Liudaogou and Gechougou valleys

表 1 2 个样点的基本情况

Tab.1 Basic information of 2 sample points

样点	年均温度/℃	年均风速/(m · s ⁻¹)	年均降雨量/mm	年均蒸发量/mm	主要土壤类型	主要侵蚀类型
六道沟流域	8.4	2.2(西南风为主)	408.5	785.4	黄土	水蚀
圪丑沟流域	7.8	3.2(西北风为主)	440.8	2 092	沙土	风蚀

表 2 六道沟和圪丑沟植被组成

Tab.2 Vegetation composition in the Liudaogou and Gechougou valleys

样点	植被类型	主要植被
六道沟流域	灌木	锦鸡儿(<i>Caragana korshinskii</i> Kom.) 长芒草(<i>Stipa bungeana</i> Trin.) 紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i> Linn.) 达乌里胡枝子(<i>Lespedeza davurica</i> (Laxim.) Schindl.) 阿尔泰狗娃花(<i>Heteropappus altaicus</i> (Willd.) Novopokr.)
圪丑沟流域	耐旱植被、小灌木和草本植物	沙蒿(<i>Artemisia desteriorum</i> . Spreng) 珍珠猪毛菜(<i>Agriophyllum squarrosum</i> Moq.) 锦鸡儿(<i>C. korshinskii</i> Kom.)

2 结果与讨论

2.1 黄土地和沙地生物结皮的发育特征比较

2.1.1 物种组成 苔藓结皮是在两类土壤中占主导地位的生物结皮类型,藻类结皮处于附属地位,多混生于苔藓结皮中。因此,本文对两类苔藓结皮的物种组成进行分析,发现黄土地和沙地苔藓结皮的优势种均为真藓科(表3)⁽¹⁷⁻²⁰⁾,但藓种不同。在黄土地,尖叶对齿藓(*D. constrictus* (Mitt.) Saito.)、真藓(*B. argenteum* Hedw.)、狭网真藓(*B. algovicum* Sendt.)为优势藓种;而沙地的优势藓种为黄色真藓(*B. pallescens* Scheich.)、弯叶真藓(*B. recurvulum* Mitt.)、银叶真藓(*B. argenteum* Hedw.)。

2.1.2 盖度 如图2a所示,同种植被条件下,两地生物结皮的盖度具有一定差异。除黄土地一年生草本植被下生物结皮盖度比沙地高2%外,沙地多年生草本和乔灌植被下生物结皮盖度分别比黄土地高7%和18.5%,差异达到显著水平($P < 0.05$),黄土地较沙地来说,植被盖度较高,生物结皮无法与高盖度的高等植物进行水分、养分资源的竞争⁽²²⁾,所以,其盖度相对较低。此外,黄土地各植被下生物结皮盖度无显著性差异,沙地乔灌植被下的生物结皮盖度显著高于其他2种植被($P < 0.05$),且两地生物结皮盖度最优均发育在乔灌植被下。这是因为乔灌地表遮阴较好、水分充足,利于生物结皮生长,因此,其生物结皮盖度最高。

2.1.3 厚度 由图2b可知,不同植被条件下,黄土地和沙地生物结皮厚度呈现不同的变化趋势。其中,黄土地生物结皮厚度依次为:乔灌植被 > 多年生

草本植被 > 一年生草本,而沙地生物结皮厚度的变化趋势却截然相反。此外,沙地一年生草本植被下生物结皮厚度比黄土地高1.6 mm,这是由于沙地一年生草本下生物结皮取自海子旁⁽¹⁷⁾,水分比较充足,利于生物结皮发育,所以其结皮厚度较大;多年生草本植被和乔灌植被下生物结皮厚度与黄土地相比,分别降低了1.1 mm和4.3 mm($P < 0.05$)。造成这种差异的原因是黄土地植被发育年限长,能提供良好的遮阴和水分条件,因此,其生物结皮厚度较厚⁽²¹⁾。

2.1.4 抗剪强度 由图2c可知,黄土地各植被下生物结皮的抗剪强度均显著高于沙地($P < 0.05$),且黄土地一年生草本、多年生草本及乔灌植被下生物结皮的抗剪强度分别比沙地高出9.2 kPa、21.9 kPa和20.9 kPa。这主要是由于黄土地高等植被的盖度较高⁽¹⁸⁾,能为结皮层中喜阴的藓类植物提供较好的生长环境和保护作用,另外高大乔灌层受降雨雨滴特征的影响,可能使地表紧实致密⁽²³⁾,因此,黄土地的生物结皮的抗剪强度较大。

2.1.5 容重 如图2d所示,在3种植被条件下,沙地生物结皮的容重均在 $1.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 以上,差异不大,在黄土地上也表现出相同的特点,其容重变化范围为 $1.2 \sim 1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。同时可以得到,沙地各植被下生物结皮的容重均比黄土地高出约 $0.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,差异达到显著性水平($P < 0.05$)。黄土地和沙地裸地(裸沙)的容重分别为 $1.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $1.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。随着生物结皮的发育,黄土地的结皮生物量也随之提高,土壤有机质含量也相应增多,土壤颗粒细化,土壤孔隙度明显提高,从而使结皮容重有所下降⁽¹⁸⁾;而随着生物结皮的发育,沙地细颗粒尤其是粉粒的含量逐渐增加,同时由于生物的凝结作用,故使得生物结皮的容重增大⁽¹⁷⁾。

2.2 黄土地和沙地生物结皮土壤水文效应的比较

2.2.1 生物结皮对入渗影响的比较 分析表4可知,当降雨量分别为8.0 mm、40.5 mm时,黄土地生物结皮的存在增加了土壤入渗量,沙地生物结皮则对入渗量无显著影响,其中,黄土地入渗增幅分别比沙地高33.1%和28.4%,达到显著性水平($P < 0.05$)。这可能是由于黄土地生物结皮层中的苔藓结皮在降雨过程中,短时间内即可吸水膨胀形成一层绒状地被物,增加了土壤表面的粗糙度,延滞了雨水在地表的停留时间,从而促进入渗⁽¹⁰⁻¹¹⁾。沙地结皮的存在阻塞了导水孔隙,将水分滞留在

表3 黄土地和沙地苔藓结皮的藓类优势种组成鉴定结果

Tab.3 Moss composition of moss-dominated biological soil crusts in loessland and sandy land

采样地	科	属	种
黄土地	真藓科 (Bryaceae)	真藓属 (Bryum)	尖叶对齿藓 (<i>D. constrictus</i> (Mitt.) Saito)
			真藓 (<i>B. argenteum</i> Hedw.)
			狭网真藓 (<i>B. algovicum</i> Sendt.)
沙地	真藓科 (Bryaceae)	真藓属 (Bryum)	黄色真藓 (<i>B. pallescens</i> Scheich.)
			弯叶真藓 (<i>B. recurvulum</i> Mitt.)
			银叶真藓 (<i>B. argenteum</i> Hedw.)

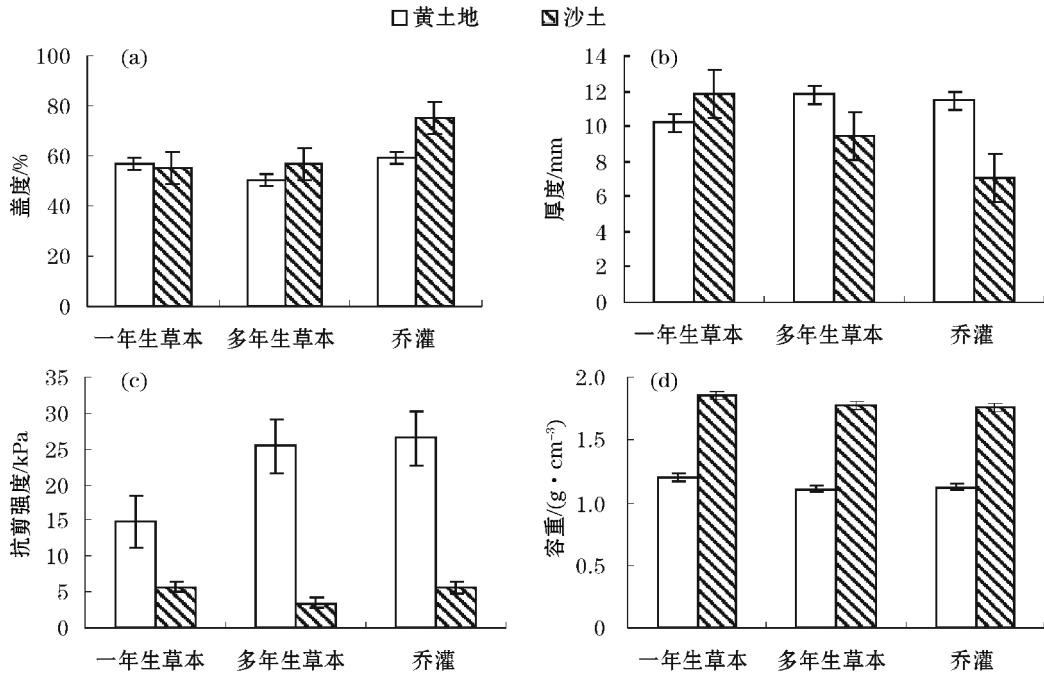


图2 生物结皮在黄土地和沙地不同植被下的生长指标特征

Fig. 2 Growth characteristics of moss-dominated biological soil crusts under different vegetation types in loessland and sandy land

表4 黄土地和沙地的土壤入渗量

Tab. 4 Soil infiltration capacity in loessland and sandy land

土壤类型	降雨量 /mm	裸地(裸沙)入渗量/mm	生物结皮入渗量/mm	入渗增幅 /%
黄土地	8.0	6.6 ± 0.4	7.7 ± 0.4	18.0 ^a
沙地		6.3 ± 0.5	5.4 ± 0.2	-15.1 ^b
黄土地	40.5	39.0 ± 0.0	40.1 ± 0.2	18.0 ^a
沙地		7.7 ± 0.7	6.9 ± 0.8	-10.4 ^b

注: 不同字母表示在 0.05 水平上有显著差异。下同。

土壤浅层, 增大土壤水分的无效蒸发, 进一步降低入渗⁽⁹⁾。

2.2.2 生物结皮对土壤含水率影响的比较 分析黄土地和沙地生物结皮小区相对裸地(裸沙)小区 0~200 cm 土层平均土壤含水率的增减幅度(图 3), 研究不同土壤质地生物结皮对平均土壤含水率的影响。

在旱季, 两地 0~80 cm、160~200 cm 土壤表层的平均含水率增幅差异不显著 ($P > 0.05$), 80~160 cm 平均含水率增幅达到显著水平 ($P < 0.05$), 总体上讲, 黄土地生物结皮 0~200 cm 土壤平均含水率增幅比沙地高 1.4%。其中, 黄土地 0~80 cm 平均土壤含水率呈减少趋势, 80~200 cm 平均土壤含水率呈增加趋势且 80~120 cm 涨幅最大, 为 2.0%; 而沙地 0~200 cm 平均土壤水分均呈减少趋势, 其中 20~40 cm 平均土壤含水率的减幅最大, 为

2.0% 且 80~200 cm 的土壤含水率减幅处于稳定状态。这说明无论是黄土地还是沙地, 生物结皮的存在会使土壤水分的消耗量相对提高、耗水深度增加, 这可能是由于半干旱地区秋冬季节降雨稀少, 土壤水分补充不足, 且生物结皮具有较高的持水能力, 提高浅层土壤含水量, 间接促进降雨初期水分蒸发, 造成土壤水分的大量流失, 降低了各层土壤含水量⁽⁵⁾。

在雨季, 两地 0~200 cm 各土层平均含水率增幅虽未达到显著水平, 但黄土地其增长幅度比沙地高 1.9%。其中, 黄土地除了 40~80 cm 平均土壤含水率减幅为 0.7% 外, 其他土层平均土壤含水率均呈增长状态, 在 20~40 cm 平均土壤含水率增幅最大, 为 3.1%, 120~200 cm 平均土壤含水率增幅处于稳定状态; 沙地除在 0~20 cm 平均土壤含水率的变化为增加外, 20 cm 以上土层平均含水率的变化均呈减少趋势, 且在 20~80 cm、160~200 cm 平均含水率的减幅均可达 1.5% 以上。总之, 在雨季黄土地生物结皮增加了土壤含水率, 而沙地则呈相反的变化趋势。这是由于黄土地生物结皮可以改变下层土壤理化性质, 从而起到改善表土层土壤孔隙结构的作用, 进而增强土壤的入渗能力^(6,11); 而沙地生物结皮的存在明显恶化了沙地土壤水分状况, 使水分难以通过土壤间的非毛管孔隙, 将有限的降雨吸持在土壤浅层。这使土层表面有了更多可供蒸发

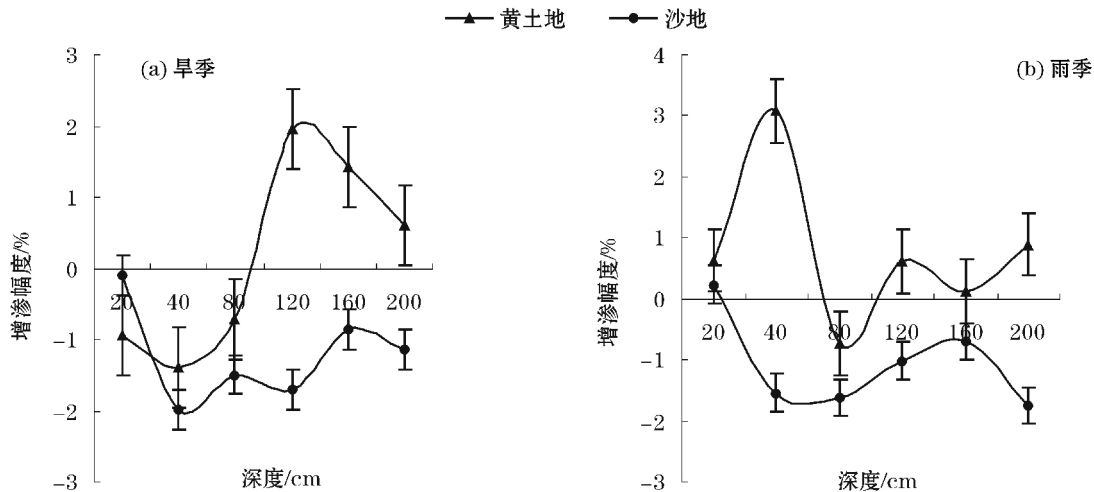


图3 旱季和雨季黄土地及沙地生物结皮相对裸地(裸土)0~200 cm土壤平均含水率变化情况

Fig. 3 Variation of average soil moisture content at depth of 0-200 cm in loessland and sandy land in dry and rainy seasons

的水源,生物结皮在水分充足时极显著促进土壤水分蒸发,造成大量土壤水分被无效蒸发所消耗⁽⁵⁾。

2.3 生物结皮对侵蚀影响的比较

黄土地以水蚀为主,沙地以风蚀为主,通过比较减蚀效率和减蚀贡献率,揭示两类土壤防蚀效益的异同。

由表5可知,与裸地小区相比,两地生物结皮的减蚀效率均达到极显著水平($P < 0.01$)且沙地生物结皮的减蚀效率比黄土地高10.6%,差异显著($P < 0.05$)。同时,沙地生物结皮小区与植被+生物结皮小区减蚀贡献率均显著高于黄土地($P < 0.05$)。这说明,即使无植被存在,两地的生物结皮也能够起到良好的防蚀效果,但沙地的防蚀效果更佳。一方面可能是由于在生物结皮中,大量丝状的席藻、微鞘

藻和单歧藻形成密集的网状,增强了藻丝的抗拉力,提高了抗蚀力,稳定了土壤⁽⁵⁾;另一方面,生物结皮的存在增加了土壤的有机质和土壤细颗粒含量,进而改善了土壤状况⁽²⁴⁾。已有研究表明,土壤细颗粒较多,更易形成团聚体,其抗蚀性越好⁽²⁵⁾,与本研究结论不一致。

3 结论

对比分析表明,沙地结皮的发育状况优于黄土地,黄土地生物结皮的土壤含水率高于沙地,且在两地生物结皮均能发挥良好的防蚀效益,具体如下:

(1) 黄土地和沙地生物结皮的物种组成均以苔藓结皮为主。总体上,沙地的苔藓结皮发育状况优于黄土地。除沙地一年生草本下生物结皮的盖度和厚度比黄土地低以外,其在多年生草本和乔灌下生物结皮的盖度和厚度均高于黄土地,且黄土地生物结皮的抗剪强度和容重均显著高于沙地($P < 0.05$)。

(2) 降雨量相同时,黄土地生物结皮促进土壤水分入渗,沙地生物结皮对土壤水分的入渗无影响。此外,黄土地生物结皮小区0~200 cm剖面的平均土壤含水率增幅显著高于沙地($P < 0.05$)。

(3) 虽然黄土地和沙地的主要侵蚀类型分别为水蚀和风蚀,但两地生物结皮均能有效地防治侵蚀,甚至沙地生物结皮的防蚀效果更佳。

参考文献(References):

- (1) 李新荣,张元明,赵允格.生物土壤结皮研究——进展、前沿与展望(J).地球科学进展,2009,24(1):11-24.(Li Xinrong,

表5 黄土地和沙地生物结皮的减蚀效率及其减蚀贡献率

Tab.5 The efficiency of soil loss reduction and the contribution to soil loss reduction of biological soil crusts in loessland and sandy land

小区	减蚀效率/%	减蚀贡献率/%
裸地	0 ^c	
裸沙	0 ^c	
黄土地生物结皮	81 ± 5.3 ^b	81 ± 5.3 ^a
沙地生物结皮	90.6 ± 3.2 ^a	90.6 ± 3.2 ^a
黄土地多年生草本	95.6 ± 0.2 ^a	
沙地多年生草本	75 ± 10 ^b	
黄土地生物结皮+多年生草本	96.6 ± 0.9 ^a	0.7 ± 1.1 ^c
沙地生物结皮+多年生草本	96.3 ± 2.5 ^a	21.3 ± 10.5 ^b

注:减蚀效率=(1-当前小区土壤流失量/裸地流失量)×100%;减蚀贡献率=[(1-有生物结皮小区土壤流失量/裸地流失量)-(1-没有生物结皮小区土壤流失量/裸地流失量)]×100%。

- Zhang Yuanming ,Zhao Yunge. A study of biological soil crusts: Recent development ,trend and prospect (J). *Advances in Earth Science* 2009 24(1) : 11 – 24.)
- (2) 闫德仁,季蒙,薛英英. 沙漠生物结皮土壤发育特征的研究 (J). *土壤通报* 2006 37(5) : 990 – 993. (Yan Deren ,Ji Meng , Xue Yingying. Development characteristics of desert biological crust (J). *Chinese Journal of Soil Science* ,2006 37(5) : 990 – 993.)
- (3) Patrick E. Researching crusting soils: Themes ,trends ,recent developments and implications for managing soil and water resources in dry areas (J). *Progress in Physical Geography* 2002 26(3) : 442 – 461.
- (4) 段争虎,刘新民,屈建军. 沙坡头地区土壤结皮形成机理的研究 (J). *干旱区研究* ,1996 13(2) : 31 – 36. (Duan Zhenghu ,Liu Xinming ,Qu Jianjun. Study of formation mechanism of biological soil crust in the Shapotou Area (J). *Arid Zone Research* ,1996 13(2) : 31 – 36.)
- (5) Yang Y S ,Bu C F ,Mu X M ,et al. Interactive effects of moss-dominated Crusts and *artemisia ordosica* on wind erosion and soil moisture in Mu Us Sandland ,China (J). *Scientific World Journal* , 2014 3: 649 816.
- (6) Bu C F ,Wu S F ,Han F P ,et al. The combined effects of moss-dominated biocrusts and vegetation on erosion and soil moisture and implications for disturbance on the Loess Plateau ,China (J). *Plos One* 2015 10(5) : 1 – 15.
- (7) Thomas A D ,Dougill A J. Distribution and characteristics of cyanobacterial soil crusts in the Molopo Basin ,south Africa (J). *Journal of Arid Environments* 2006 64(2) : 270 – 283.
- (8) 张元明,潘惠霞,潘伯荣. 古尔班通古特沙漠不同地貌部位生物结皮的选择性分布 (J). *水土保持学报* ,2004 18(4) : 61 – 64. (Zhang Yuanming ,Pan Huixia ,Pan Borong. Distribution characteristics of biological crust on sand dune surface in Gurbantungut Desert ,Xinjiang (J). *Journal of Soil and Water Conservation* , 2004 18(4) : 61 – 64.)
- (9) 焦雯珺,朱清科,张宇清,等. 陕北黄土区退耕还林地生物结皮分布及其影响因子研究 (J). *北京林业大学学报* 2007 29(1) : 102 – 107. (Jiao Wenjun ,Zhu Qingke ,Zhang Yuqing ,et al. Distribution of biotic crusts and its influencing factors in the grain-for-green land of the Loess Region (J). *Journal of Beijing Forestry University* 2007 29(1) : 102 – 107.)
- (10) Heather A V. Understanding dryland landscape dynamics: Do biological crusts hold the key? (J). *Geography Compass* ,2008 2(3) : 899 – 919.
- (11) 李莉,孟杰,杨建振,等. 不同植被下生物结皮的水分入渗与水土保持效应 (J). *水土保持学报* 2010 24(5) : 105 – 109. (Li Li ,Meng Jie ,Yang Jianzhen ,et al. Effect of biological soil crust on infiltration and soil and water conservation under different vegetation types (J). *Journal of Soil and Water Conservation* ,2010 24(5) : 105 – 109.)
- (12) 霍竹,邵明安. 黄土高原水蚀风蚀交错带降水及灌木林冠截留特性研究 (J). *干旱地区农业研究* 2005 23(5) : 88 – 92. (Huo Zhu ,Shao Mingan. Characteristics of rainfall and crown interception of shrub in wind-water erosion interleaving region of Loess Plateau (J). *Agricultural Research in the Arid Areas* ,2005 23(5) : 88 – 92.)
- (13) 聂华丽,吴楠,梁少民,等. 不同沙埋深度对刺叶墙藓植株碎片生长的影响 (J). *干旱区研究* 2006 23(1) : 66 – 70. (Nie Huali ,Wu Nan ,Liang Shaoming ,et al. Effects of different sand burial depths on the growth of fragments of *Tortula Desertorum* (J). *Arid Zone Research* 2006 23(1) : 66 – 70.)
- (14) 白学良,王瑶,徐杰,等. 沙坡头地区固定沙丘结皮层藓类植物的繁殖和生长特性研究 (J). *中国沙漠* ,2004 23(2) : 171 – 173. (Bai Xueliang ,Wang Yao ,Xu Jie ,et al. Characteristics of reproduction and growth of mosses in the soil crust of fixed dunes in Shapotou Area (J). *Journal of Desert Research* 2004 23(2) : 171 – 173.)
- (15) 田桂泉,白学良,徐杰,等. 腾格里沙漠固定沙丘藓类植物结皮层的自然恢复及人工培养试验研究 (J). *植物生态学报* 2005 29(1) : 164 – 169. (Tian Guiquan ,Bai Xueliang ,Xu Jie ,et al. Experimental studies on natural regeneration and artificial cultures of moss crusts on fixed dunes in the Tengger Desert (J). *Acta Phytocologica Sinica* 2005 29(1) : 164 – 169.)
- (16) 肖波,赵允格,邵明安. 陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤饱和导水率的影响 (J). *农业工程学报* 2007 23(12) : 35 – 40. (Xiao Bo ,Zhao Yunge ,Shao Mingan. Effects of biological soil crust on saturated hydraulic conductivity in water-wind erosion crisscross region ,north of Shaanxi Province ,China (J). *Transactions of the CSAE* 2007 23(12) : 35 – 40.)
- (17) 杨建振,卜崇峰,张兴昌. 陕北毛乌素沙地生物结皮发育特征的初步研究 (J). *水土保持学报* 2009 23(6) : 162 – 165. (Yang Jianzhen ,Bu Chongfeng ,Zhang Xingchang. Primary study on development characteristics of biological soil crust in Mu Us Sandy Land in northern Shaanxi (J). *Journal of Soil and Water Conservation* , 2009 23(6) : 162 – 165.)
- (18) 孟杰,卜崇峰,张兴昌,等. 陕北水蚀风蚀交错区不同植被下生物结皮的发育特征研究 (J). *西北林学院学报* 2011 26(4) : 41 – 46. (Meng Jie ,Bu Chongfeng ,Zhang Xingchang ,et al. Developmental characteristics of biological soil crust under different vegetation types in wind-water erosion crisscross region ,northern Shaanxi Province ,China (J). *Journal of Northwest Forestry University* , 2011 26(4) : 41 – 46.)
- (19) 李金峰,孟杰,叶菁,等. 陕北水蚀风蚀交错区生物结皮的形成过程与发育特征 (J). *自然资源学报* 2014 29(1) : 67 – 79. (Li Jingfeng ,Meng Jie ,Ye Jing ,et al. The development characteristics and formation process of biological soil crusts in wind-water erosion crisscross region ,northern Shaanxi Province ,China (J). *Journal of Natural Resources* 2014 29(1) : 67 – 79.)
- (20) 卜崇峰,张朋,叶菁,等. 陕北水蚀风蚀交错区小流域苔藓结皮的空间特征及其影响因子 (J). *自然资源学报* 2014 29(3) : 490 – 499. (Bu Chongfeng ,Zhang Peng ,Ye Jing ,et al. Spatial

- characteristics of moss-dominated soil crust and its impact factors in small watershed in wind-water erosion crisscross region , northern Shaanxi Province ,China (J). *Journal of Natural Resources* 2014 , 29(3) : 490 - 499.)
- (21) 卜崇峰,石长春,蔡强国. 土壤结皮几种分析测算指标的应用评价(J). *水土保持学报* 2009 23(2) : 240 - 243. (Bu Chong-feng Shi Changchun ,Cai Qiangguo. Evaluation on calculation index for soil crust development (J). *Journal of Soil and Water Conservation* 2009 23(2) : 240 - 243.)
- (22) 李新荣,贾玉奎,龙利群,等. 干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展 (J). *中国沙漠* 2001 21(1) : 7 - 14. (Li Xinrong ,Jia Yukui ,Long Liqun ,et al. Advances in microbiotic soil crust research and its ecological significance in arid and semiarid regions (J). *Journal of Desert Research* ,2001 ,21 (1) : 7 - 14.)
- (23) 罗德,余新晓,董磊,等. 密云山区林冠层对天然降雨能量影响的初步研究 (J). *水土保持学报* 2008 22(3) : 60 - 63. (Luo De ,Yu Xinxiao ,Dong Lei ,et al. Changes of nature rainfall energy forest canopy in Miyun Region (J). *Journal of Soil and Water Conservation* 2008 22(3) : 60 - 63.)
- (24) 赵允格,许明祥,王全九,等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮理化性状初报 (J). *应用生态学报* 2006 17(8) : 1 429 - 1 434. (Zhao Yunge ,Xu Mingxiang ,Wang Quanjiu ,et al. Impact of biological soil crust on soil physical and chemical properties of rehabilitated grassland in Hilly Loess Plateau ,China (J). *Journal of Natural Resources* 2006 17(8) : 1 429 - 1 434.)
- (25) 王媛,赵允格,姚春竹,等. 黄土丘陵区生物土壤结皮表面粗糙度特征及影响因素 (J). *应用生态学报* 2014 25(3) : 647 - 656. (Wang Yuan ,Zhao Yunge ,Yao Chunzhu ,et al. Surface roughness characteristics of biological soil crusts and its influencing factors in Hilly Loess Plateau ,China (J). *Chinese Journal of Applied Ecology* 2014 25(3) : 647 - 656.)

Similarities and Differences of Development and Ecological Functions of Biological Soil Crusts between Loessland and Sandy Land

LI Ru-xue¹ , YANG Yong-sheng² , MENG Jie³ , YANG Jian-zhen³ , BU Chong-feng^{1 4}

(1. *Institute of Water and Soil Conservation Northwest Agricultural and Forestry University ,Yangling 712100 ,Shaanxi ,China;*

2. *Northwest Institute of Plateau Biology ,Chinese Academy of Sciences ,Xining 810001 ,Qinghai ,China;*

3. *College of Resources and Environment Northwest Agricultural and Forestry University ,Yangling 712100 ,Shaanxi ,China;*

4. *Institute of Soil and Water Conservation ,Chinese Academy of Sciences/Ministry of Water Resources ,Yangling 712100 ,Shaanxi ,China)*

Abstract: Biological soil crusts play an important role in arid and semiarid ecosystems. Based on the available research achievements of our team ,the experimental areas with the similar climatic conditions and different soil textures in the wind-water erosion region on the Loess Plateau were selected to study the similarities and differences of development and ecological functions of biological soil crusts between loessland and Mu Us sandy land. The results are as follows: ① The main biological soil crust species in both loessland and sandy land were moss crusts. The species composition of moss crusts were *Bryum argenteum* Hedw. ,*B. caepititicium* Hedw. and *B. algovicum* Sendt. in loessland ,but the *B. pallescens* ,*B. recurvulum* and *B. argenteum* in sandy land. The highest coverage of biological soil crusts under arbor-shrub vegetation was 77.5% in sandy land ,and the lowest one under perennial herbs was 50.5% in loessland. In sandy land the thickest biological soil crust under annual herbs was 11.8 mm ,and the thinnest one under perennial herbs was 9.5 mm; the highest shear strength of biological soil crusts under perennial herbs in loessland was 26.5 kPa ,and the lowest one under perennial herbs in sandy land was 3.5 kPa; the highest density of biological soil crusts under annual herbs in sandy land was 1.9 g · cm⁻³ ,and the lowest one under perennial herbs in loessland was 1.1 g · cm⁻³; ② When the values of precipitation in loessland and sandy land were 8.0 mm and 40.5 mm respectively ,the soil infiltration rate in loessland was significantly higher than that in sandy land ,but for the total infiltration (sum of increased soil moisture) ,there was no significant difference between loessland and sandy land; ③ The average increase of soil moisture content at 0 - 200 cm soil profile in loessland was 1.4% and 1.9% higher than that in sandy land; ④ Whether there were herbs or not ,biological soil crusts had positive effects on soil loss reduction in both loessland and sandy land ,and the highest contribution of biological soil crusts to soil loss reduction in sandy land was 90.6% ,and the lowest one in loessland was only 0.3% .

Key words: loessland; sandy land; biological soil crust; soil moisture content; soil erosion; efficiency of soil loss reduction; Shaanxi