

毛乌素沙地砒砂岩固沙机理研究

程杰^{1,2}, 韩霁昌¹, 王欢元¹, 张扬¹, 张卫华¹, 陈科皓¹

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 国土资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 西安 710075; 2. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048)

摘要: 为探索毛乌素沙地砒砂岩与沙混合后的固沙机理, 采用实验、模拟与野外观测相结合的方法, 对砒砂岩与沙混合后的质地、持水保水性、土壤结皮方面进行了分析。结果表明: (1) 砒砂岩与沙粒度分布范围分别为 0.317~709.0 μm 和 0.564~2 000.0 μm , 二者混合可扩大沙的粒径组成, 有效改善了沙土的质地, 提高地表粗糙度; (2) 从含水量下降随时间变化来看, 沙的含水量快速降低, 54 h 内可从 15.90% 降低到 3.26%, 而砒砂岩、砒砂岩与沙的混合物含水量分别为 21.39% 和 15.87%, 水分下降速率慢, 且砒砂岩的毛管孔隙度高于沙, 混合后提高了沙的孔隙度, 降低了饱和导水率, 提高了沙的保水性能; (3) 在水的作用下, 砒砂岩与沙混合后能够快速形成表层物理结皮, 而无水状态下则极难形成。不同比例的混合方式对结皮形成的厚度有显著的影响, 沙地结皮的形成有效防止了沙丘流动和扬沙的发生, 达到了固沙的效果。

关键词: 砒砂岩; 沙; 质地; 保水持水性; 土壤结皮

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)05-0124-04

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2016.05.021

Study on Sand-fixing Mechanism by Feldspathic Sandstone in Mu Us Sand Land

CHENG Jie^{1,2}, HAN Jichang¹, WANG Huanyuan¹, ZHANG Yang¹, ZHANG Weihua¹, CHEN Kehao¹

(1. ShaanXi Province Land Engineering Construction Group, Key Laboratory of Degraded

and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Land and Resources of China, Xi'an 710075;

2. Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

Abstract: This study was aimed to explore the sand-fixing mechanism of the mixing soil with Feldspathic Sandstone and Sand in the Mu Us Sand Land. This paper analyzed the texture of Feldspathic Sandstone and Sand, holding water retention, soil crusts using combination technical methods of experiment, simulation and field observation. The results showed that: (1) sandstone and sand distribution ranges were 0.317~709.0 μm and 0.564~2 000.0 μm respectively, when mixed, that could expand the sand composition, improve the texture of sand and surface roughness; (2) The moisture content of the sand reduced rapidly when it changed over the time, it could be reduced from 15.90% to 3.26% within 54 h, and the moisture content of the Feldspathic Sandstone, mixture with Feldspathic Sandstone and Sand were 21.39% and 15.87%, the rate of moisture content declined slowly. The capillary porosity of Feldspathic Sandstone was higher than it of sand. When the Feldspathic Sandstone and sand were mixed, they could improve porosity of sand and reduce the saturated hydraulic conductivity. So, the Feldspathic Sandstone improved water retention properties of sand; (3) Under the action of water, it formed physics crust on the surface quickly after the Feldspathic Sandstone and sand mixed, but it was difficult to form at the anhydrous state. There was significant effect on the thickness of crust formation at the different ways of mixing proportions crust formation. The formation of sandy crust effectively prevented the occurrence of sand dunes and sand flow, so it achieved the role of sand fixing.

Keywords: feldspathic sandstone; sand; texture; water holding capacity; soil crusts

收稿日期: 2016-04-26

资助项目: 国土资源部公益性行业科研专项项目(201411008)

第一作者: 程杰(1986—), 女, 重庆万州人, 博士研究生, 主要从事水资源系统工程、土地整理复垦、土地工程和项目管理等相关的研究。

E-mail: 568761241@qq.com

通信作者: 韩霁昌(1966—), 男, 陕西渭南人, 博士, 研究员, 正高级工程师, 主要从事土地工程、土地经济、水土资源优化配置等方面的研究。

E-mail: 2100653101@qq.com

沙漠化是干旱半干旱及部分半湿润带过度人为活动与脆弱生态环境(如干旱多风在时间上的同步性、地表沙物质的易侵蚀性等)相互作用的结果,是以风沙活动为标志的地表呈现类似沙漠景观的土地退化过程。沙漠化的实质是在生态脆弱条件下,人地关系相互矛盾的结果,土地沙漠化不仅是重大的生态环境问题,也是中国社会经济可持续发展面临的非常严峻的问题^[1-3],尤其是在城市化进程的加快,耕地锐减和退化,人地矛盾日益突出的情况下。因此,对于沙漠化治理,提高耕地质量,改善土地生态环境,保障粮食安全是我国面临的重大战略问题。毛乌素沙地是我国四大沙地之一,总面积为 3.98 万 km²^[4],光热资源丰富,具有巨大的耕地挖掘潜力。但是由于过度放牧、不合理的农垦和滥樵采及晋、陕、蒙接壤区煤炭资源的大规模开发,引起了毛乌素地区严重的草地退化、土地沙化、土地生产力低下,风沙灾害频繁发生,自然环境趋于恶化,流域产沙继续向粗沙方向发展^[5-7]。目前的治理措施主要以防、挡为主,包括工程措施、化学措施、植被措施等^[8-10]。沙地的开发利用主要采用黄土客土法,但因毛乌素沙地周围缺少黄土土源,远距离运输成本高且污染严重,经济效益差,难以大面积推广,致使毛乌素沙地长期以来无法作为耕地后备资源而进行有效开发利用。此外,毛乌素沙地分布大量砒砂岩,砒砂岩成岩程度低,沙粒间胶结程度差,结构强度低,无水坚硬如石,遇水则松软如泥,极易发生风化剥蚀,水土流失极为严重^[11],对该地区经济社会发展和人民的生产生活造成了严重影响。

研究表明,砒砂岩与沙这两害可以复配成土,按一定比例混合后有利于土壤团粒结构的形成,具有防风固沙作用,同时有利于促进土地资源的可持续利用和发展。截止 2012 年 11 月,利用该复配成土技术已累计在陕西省榆林市榆阳区新增耕地面积 2 773 hm²,给当地带来了显著的经济、社会和生态综合效益^[12-13]。然而砒砂岩是如何实现固沙的?其固沙机理仍不得而知,为利用砒砂岩进行毛乌素沙地土地整治提供技术支撑,将砒砂岩固沙推广至全国甚至全世界进行沙地整治。因此,本文从土壤沙化机制出发,系统研究砒砂岩的固沙机理,分析砒砂岩与沙混合后的质地、砒砂岩的持水保水性、土壤结皮对固沙的作用。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区设在毛乌素沙地榆林市榆阳区小纪汗乡大纪汗村,该地位于毛乌素沙漠南缘(109°28'58"–109°30'10"E,38°27'53"–38°28'23"N),属典型中温带半干旱大陆性季风气候区,降水时空分布不匀,春季

多风干旱,秋季温凉湿润。年均气温 8.1℃,≥10℃积温 3 307.5℃,且持续天数为 168 d。年平均无霜期 154 d,年平均降水量 413.9 mm,60.9%的降雨集中在 7—9 月份,雨热同期。年极端降雨量最大 695.4 mm,最小 159.6 mm,日最大降水量为 141.7 mm。年平均日照时数 2 879 h,日照百分率 65%,年总辐射量 607.79 kJ/cm²^[8]。

1.2 试验方法

土地沙化是在自然因素和人为因素的影响下,由风蚀和风力堆积的过程而形成,其沙化的机制是土壤结构性质的变化,主要体现在粒径组成从丰富变单一,孔隙度减小,透水透气性变差,含水量降低,持水性减弱,容重逐渐增大,有机质矿质元素含量显著降低,微生物种类数量减少,土壤活性降低等。因而,对砒砂岩固沙机理的研究从沙化机制出发,将砒砂岩与沙的混合比例设为 0:1,1:5,1:2,1:1,2:1,5:1和 1:0,测定砒砂岩与沙的粒度分布,分析二者混合后的质地组成;测定含水量、毛管孔隙度和饱和导水率,分析砒砂岩的持水保水性;模拟土壤结皮,分析结皮对风蚀的影响。试验中质地采用 Mastersizer 2000 激光粒度仪测定,毛管孔隙度采用环刀系列分析法测定,饱和导水率采用土壤饱和导水率测定仪 BS-1 测定。

2 结果与讨论

2.1 砒砂岩对沙土质地结构的影响

由图 1 可知,砒砂岩的粒度分布范围为 0.317~709.0 μm,主要集中在较细的粘粉粒段;沙的粒径范围在 0.564~2 000.0 μm,主要集中在较粗的砂粒段。同时,由砒砂岩、沙的机械组成与质地(表 1)可知:沙中粉粒和粘粒含量仅为 4.05%和 0.21%,砂粒含量高达 95.37%,而砒砂岩中含有大量的粉粒,高达 75.31%,粘粒含量为 14.26%,随着砒砂岩的加入,砒砂岩与沙体积比从 1:5,1:2 到 1:1,粉粒含量分别提高到 22.53%,38.88%和 49.38%,粘粒含量分别提高到 4.92%,8.38%和 11.05%。由此可知,在沙中加入砒砂岩后,改善了沙中粒径较粗的状况,从而使沙地的粒度组成向较细的方向转变。二者的混合改变了各自粒度组成上的缺陷,扩大了粒度组成范围,且沙地中结构体赋存的关键粒级含量(粉粒和粘粒)逐渐提高,同时改善了沙土中砂粒含量过大的性状,土壤质地呈现出砂壤土、壤土的转变,逐步出现一定的结构性质。因此,粒度组成范围的扩大,相对增加了地表粗糙度,起到了抵消一部分风能,减少大风引起的沙尘颗粒运动,并对近地面的气流产生阻尼,有效降低近地表风速,从而有效控制土壤沙化,达到固沙的目的。

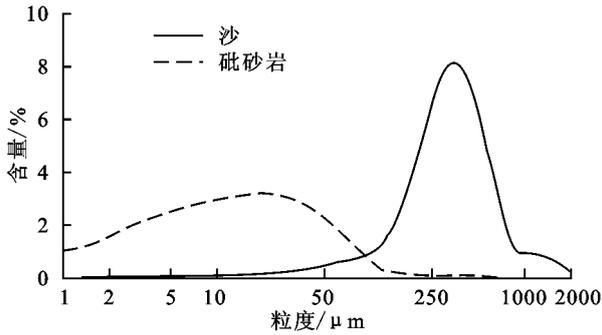


图1 砒砂岩与沙的粒度分布

由于风只有直接作用于地表时,才有可能导致土壤颗粒的运动^[14],当地表气流的剪切力大于颗粒的重力、粘结力以及摩擦力时,颗粒会被剥离或搬运,风蚀的强

表1 砒砂岩、沙的机械组成与质地

砒砂岩:沙	颗粒组成/%			质地
	砂粒(2~0.05 mm)	粉粒(0.05~0.002 mm)	粘粒(<0.002 mm)	
0:1	95.73	4.05	0.21	砂土
1:5	72.55	22.53	4.92	砂壤
1:2	52.74	38.88	8.38	砂壤
1:1	39.57	49.38	11.05	壤土
1:0	10.43	75.31	14.26	粉壤

2.2 砒砂岩对沙土持水保水性的影响

2.2.1 砒砂岩加入后沙土含水量的变化特征 以沙为对照,经过1110 h的观测,沙、砒砂岩、砒砂岩与沙的混合物含水量随时间的变化趋势如图2。由图2可知,沙的含水量变化分为3个阶段:第1阶段,在最初的54 h内,沙的含水量快速降低,从15.90%降低到3.26%;第2阶段,54~342 h,含水量缓慢下降,从3.26%降低到0.64%;第3阶段,含水量达到最低,处于稳定阶段。砒砂岩、砒砂岩与沙混合物含水量随时间延长的变化趋势相同,均分为2个阶段:最初的54 h内,砒砂岩含水量逐步增加,从19.29%增加到21.39%;砒砂岩与沙的混合物含水量保持在14.76%~15.87%之间。54 h后,二者含水量持续下降。整个过程中砒砂岩、砒砂岩与沙的混合物含水量分别下降10.73%和13.006%,斜率分别为0.0095和0.0126,而沙在342 h后即趋于平缓。由此可知,沙的保水性能很差,土壤水分损失速度快,而砒砂岩相当于“吸水剂”,能够从中吸收水分,储存在砒砂岩中缓慢释放水分,因而含水量下降的速度较慢,说明砒砂岩具有保水性,因此,沙中加入砒砂岩后可利用的有效水分增加,持水保水性增强。

2.1.2 毛管孔隙度和饱和导水率变化特征 从毛管孔隙度来看(图3),砒砂岩的毛管孔隙度显然高于沙,且随着砒砂岩与沙体积比由1:5到5:1的增加,毛管孔隙度逐渐增加,由28.17%增加到42.20%,非毛管孔隙由26.50%降低到7.89%。土壤毛管孔隙和非毛管孔隙的分配发生了改变,部分非毛管孔隙向毛管孔隙转变,提高了沙的孔隙度。饱和导水率与毛管孔隙

度受风力大小、地面粗糙度、砂粒或者土粒的粒径及其与地表物质连接强度等因素的影响。因此,对于一定的土壤要发生风蚀必须具备的条件是:一定强度的风和地表有裸露、干燥、松散的颗粒。显然,通过改变土壤特性,增加土壤颗粒之间的粘结力是有效控制土壤风蚀的方法之一。为此,许多研究工作者通过高分子化学物质,促进土壤团粒结构的形成,提高土壤的抗风蚀性^[15]。Chepil等^[16]研究表明,土壤中砂砾的含量越高,土壤团聚体越难形成,土壤的抗风蚀性就越差;而土壤中粉粒和粘粒含量越高,越容易形成土壤团聚体,土壤的抗风蚀性越高。砒砂岩中大量粉粒的存在为土壤团聚体的形成创造了良好的条件,有利于提高沙地的抗风蚀性。

度呈现负相关的变化(图4),沙的饱和导水率远远高于砒砂岩,并随砒砂岩的加入而降低,提高了沙的保水性能。

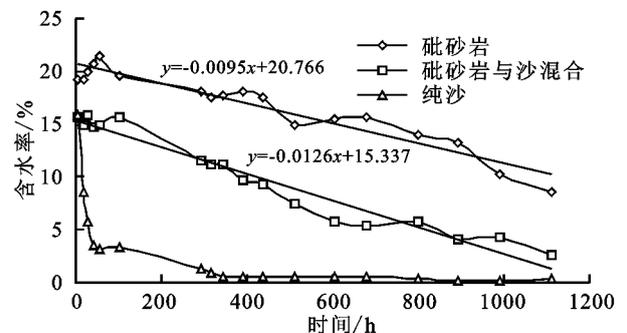
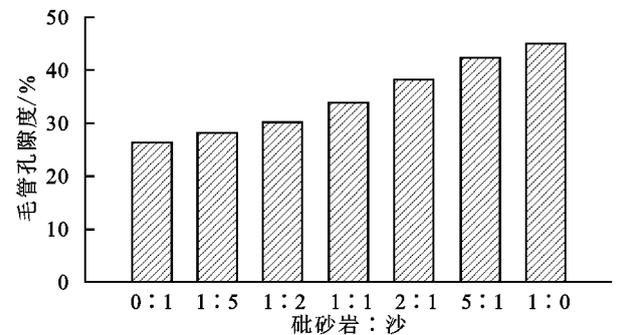
图2 沙、砒砂岩、砒砂岩与沙混合物含水量随时间的变化^[12]

图3 毛管孔隙度与不同比例砒砂岩与沙的关系

2.3 结皮对固沙的影响

试验将砒砂岩与沙按不同比例进行混合,混合比例(砒砂岩:沙)分别为1:1,1:2,1:5,以及纯沙处理(0:1)。设置模拟降水处理和无降水处理,然后进行自然晾晒。分别在3,10,15 d后测定砒砂岩结皮厚度,各个处理形成结皮的厚度如表2。试验表

明,在模拟降水处理下,砒砂岩与沙混合后能够快速形成表层物理结皮,而无水状态下则极难形成。不同比例的混合方式对结皮形成的厚度有显著的影响,1:1的比例和1:2的比例迅速形成结皮,并达到一定的厚度,15 d后,其厚度分别为7.9 cm和5.0 cm。1:5的比例下形成速度相对较慢,但也在一周之内形成了结皮,15 d后的厚度为4.2 cm。而纯沙处理在有无降水的条件下均未形成结皮。这是由于砒砂岩中粉粒和粘粒含量高达89%,当沙中混合砒砂岩后,粉砂和粘粒含量显著增加,在降水处理下,较细颗粒随入渗和径流移动将粗颗粒之间的空隙堵塞以及雨滴压实而易于形成结皮。结皮的存在一方面固结了砂粒,提高沙尘起动风速,使土壤的抗剪切能力得到提高,减轻风蚀;另一方面,减弱地表水分蒸发,提高含水率,为植被的生长创造条件^[17-18]。

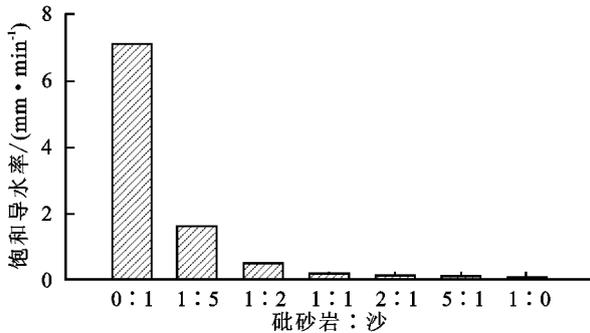


图 4 饱和导水率与不同比例砒砂岩与沙的关系

表 2 不同处理下砒砂岩与沙混合后形成的结皮厚度

处理	砒砂岩:沙	结皮厚度/mm		
		3 d后	10 d后	15 d后
模拟降水处理	1:1	4.7	7.3	7.9
	1:2	1.9	4.7	5.0
	1:5	0.0	3.7	4.2
	0:1	0.0	0.0	0.0
无降水处理	1:1	0.0	0.0	0.1
	1:2	0.0	0.0	0.0
	1:5	0.0	0.0	0.0
	0:1	0.0	0.0	0.0

由于该地区的降雨分布极不均匀,30 a的平均结果显示,每年的降雨集中在6—10月,占全年降雨量的88.8%,而相对降雨较少的11月到次年5月仅占全年降雨量的11.20%。由于在冬春季节降雨非常稀少,降雨量很小,不会发生径流,因此在冬春季节结皮对土壤风蚀的保护作用是抵抗风蚀的有力手段。通过大田试验的研究证明,在6级大风的作用下,砒砂岩固沙后的土壤仍不会扬沙。土壤结皮的出现相对于无结皮的沙地,风蚀量降低了49%~69%,显著提高了土壤抗风蚀的能力。

3 结论

(1)砒砂岩与沙质地结构存在互补性,二者混合可扩大沙的粒径组成,有效改善沙的质地,提高地表

粗糙度。

(2)砒砂岩的加入可提高沙的孔隙度,降低饱和导水率,增强沙地的持水保水性能。

(3)砒砂岩的加入有利于结皮的形成,从而有效防止了沙丘流动和扬沙的发生,达到固沙的效果。砒砂岩在达到固沙目的的同时,实现了沙地的资源化利用,对陕西省境内毛乌素沙地的进一步开发提供了技术支持。

参考文献:

- [1] 朱震达,刘恕,邸醒民. 中国的沙漠化及其治理[M]. 北京:科学出版社,1989.
- [2] 樊胜岳,徐裕财,徐均,等. 生态建设政策对沙漠化影响的定量分析[J]. 中国沙漠,2014,34(3):893-900.
- [3] 朱震达. 中国土地荒漠化的概念、成因与防治[J]. 第四纪研究,1998(2):145-155.
- [4] 闫峰,吴波,王艳姣. 2000—2011年毛乌素沙地植被生长状况时空变化特征[J]. 地理科学,2013,33(5):602-608.
- [5] 郭坚,王涛,薛娴,等. 毛乌素沙地荒漠化现状及分布特征[J]. 水土保持研究,2006,13(3):198-203.
- [6] 王维,吴殿廷,邱研,等. 晋陕蒙接壤地区资源开发过程中经济、社会、生态协调发展研究:以榆林市为例[J]. 干旱区地理,2014,37(2):388-396.
- [7] 姬艳梅. 陕北榆林能源化工基地生态环境建设对策措施研究[D]. 西安:西北大学,2012.
- [8] 周明吉,周玉生,孙加亮,等. 我国固沙材料研究及应用现状[J]. 材料导报,2012,26(20):332-334.
- [9] 赵晓彬,党兵,符亚儒,等. 半干旱区沙地高速公路防风固沙林营造技术及其效益研究[J]. 中国沙漠,2010,30(6):1247-1255.
- [10] 孙涛,刘虎俊,朱国庆,等. 3种机械沙障防风固沙功能的时效性[J]. 水土保持学报,2012,26(4):12-16,22.
- [11] 王愿昌,吴永红,寇权,等. 砒砂岩分布范围界定与类型区划分[J]. 中国水土保持科学,2007,5(1):14-18.
- [12] Han J C, Xie J C, Zhang Y. Potential role of feldspathic sandstone as a natural water retaining agent in Mu Us sandy land northwest China[J]. Chinese Geographical Science, 2012, 22(5): 550-555.
- [13] 张行勇. 沙海展开绿色画卷:新技术让毛乌素沙地变良田[N]. 科学时报,2011-09-02(A2).
- [14] 王彦武. 榆林毛乌素沙地固沙林地土壤质量演变机制[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [15] 王体朋,毛志怀. 液化玉米秸秆基固沙剂控制土壤风蚀试验[J]. 农业机械学报,2010,41(4):36-40.
- [16] Chepil W S, Woodruff N P. Estimations of wind erodibility of field surfaces[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1954, 9(6): 257-265.
- [17] 朱远达,蔡强国,胡霞,等. 土壤理化性质对结皮形成的影响[J]. 土壤学报,2004,41(1):13-19.
- [18] 付广军,廖超英,孙长忠. 毛乌素沙地土壤结皮对水分运动的影响[J]. 西北林学院学报,2010,25(1):7-10.