DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2018.04.023

风水复合侵蚀下锡林河流域不同管理方式草地表土粒度特征①

王则宇[1]，崔向新[1]，蒙仲举[1*]，党晓宏[1]，王 健[2]，葛 楠[2]

(1 内蒙古农业大学沙漠治理学院，呼和浩特 010018；2 水利部牧区水利科学研究所，呼和浩特 010020)

摘 要：结合锡林河流域风水侵蚀情况，对锡林河流域围封天然草地、放牧草地、封育种植草地表层(0 ~ 5 cm)土壤粒度特征及其与风蚀、水蚀关系进行研究，结果表明: 封育种植草地较放牧和天然草地在降低土壤风蚀和水蚀方面均起到了较明显的作用；锡林河流域草地表层土壤粒度组成以砂粒为主，其所占比例为 75% ~ 82%，放牧草地较天然草地及封育种植草地土壤粒度粗化明显，封育种植草地中蒙古冰草+草木樨草地土壤颗粒分选性较差，其余草地土壤颗粒分选性均为中等；研究区内粒径在 160 μm 左右土壤颗粒为易受侵蚀土壤颗粒；研究区土壤粒度组成特征与风蚀、水蚀均有明显相关性，尤其与近地面 20 cm 风速和径流产流总量联系最为密切。

关键词：土壤粒度组成；风水复合侵蚀；管理方式；锡林河流域

中图分类号：S152.3 文献标识码：A

锡林河流域天然草地作为我国目前最大的草地生态系统，其在气候调节、水分循环、水土保持、生物多样性保护及旅游经济发展等方面发挥着重要作用[1]。然而，近年来由于气候的波动变化以及人类活动(过度放牧、旅游、开采)的干扰，锡林郭勒草原植被及土壤正逐渐退化[3]，有关研究表明，锡林河流域草原退化的主要表现为典型草原向荒漠草原发展，而已退化的荒漠草原由于其植被变得稀疏低矮，在长期风力吹蚀下，地表呈现粗粒化，并逐渐沙化[4-5]。

土壤粗粒化是我国北方草原退化的主要表现形式之一[6]，土壤粗粒化会直接导致土壤涵养水源能力的下降以及土壤养分的衰减，因而土壤粒度组成是评价土壤沙漠化程度的重要指标[7]。赵超等[8]研究表明，土壤中粗颗粒物质及平均粒径随沙漠化程度增加而增加，细颗粒物质含量变化则反之。孙改清等[9]研究发现，典型草原土壤黏粒及粉粒含量与旱生、旱中生植物生物量具有显著相关性。张惜伟等[10]认为，沙质草原的表层土壤粒度粗化与当地植被破坏及风蚀活动具有密切联系。总而言之，目前关于草原退化以及土壤粒度特征方面已有大量的研究，且多集中在草原退化评价、土壤风蚀描述、土壤粒度分形维数研究以及不同退化程度草地土壤、植被特征等方面[11-12]。就锡林河流域而言，其土壤侵蚀类型主要包括风蚀和水蚀两方面，由于两者在侵蚀过程中的叠加及耦合效应，更增大了当地土壤侵蚀的复杂及危险性[13]。

因此，本文以锡林河流域围封天然草地、放牧草地、封育种植草地表层土壤为研究对象，结合风蚀和水蚀情况，分析不同管理草地地表土壤粒度组成及变化特征，从而为我国北方典型草原土壤侵蚀监测及评价、草地沙漠化防治工作的开展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

锡林河是锡林郭勒草原上一条内陆河，位于内蒙古高原中东部地区。地理坐标为 115°31′30″ ~ 117°15′10″E，43°22′50″ ~ 44°38′23″N。河水起源于赤峰市克什克腾旗境内，流入查干淖尔湖，途经锡林郭勒盟和锡林浩特市，河流东西向宽 140 km 左右，南北长 175 km 左右，流域总面积约为 11 171.59 km^2[14]。当地气候属于大陆性温带半干旱气候，年均降雨量约为 270 mm，降雨分布不均，其中 5—9 月占全年降水量的 87.41%。全年多风，容易出现沙尘暴等天气。由于气候条件和地形的影响，该流域的土壤类型呈地

①基金项目：国家自然科学基金项目(51769019)资助。

* 通讯作者(mengzhongju@126.com)

作者简介：王则宇(1992—)，男，内蒙古乌兰察布人，硕士研究生，主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: 18247158681@163.com

带性分布。由上游到下游的土壤依次为黑钙土带、暗栗钙土亚带、淡栗钙土亚带。植被类型大部分分为草甸、典型草原和草甸草原(占植被总面积的 90% 以上)。流域内主要植被有: 无芒雀麦(*Bromus inermis* Leyss.)、羊草(*Leymμs chinensis* (Trin.) Tzvel.)、蒙古冰草(*Agropyron mongolicum* Keng.)、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、大籽蒿(*Artemisia sieversiana* Ehrhart ex Willd.)、狗尾草(*Setaria viridis* (L.) Beaμv.)、栉叶蒿(*Neopallasia pectinata* (Pall.) Poljak.)、碱蒿(*Artemisia anethifolia* Web ex Stechm.)、克氏针茅(*Stipa krylovii* Roshev.)、糙影子草(*Cleistogenes sqμarrosa* (Trin.) Keng.)、刺藜(*Chenopodiμm aristatμm* L.)、草木樨(*Melilotus suaveolens* Ledeb.)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选取 试验选择在坡向相同、坡度 10° 左右的自由放牧草地，2013 年开始围封的天然草地以及人工草种配置种植草地。人工配置种植草种选择适宜当地生长且对植被恢复、土壤改良效果较明显的蒙古冰草、无芒雀麦、紫花苜蓿和草木樨[15]，种植规格为豆科草种 15 kg/hm^2，禾本科草种 11.25 kg/hm^2，豆科和禾本科草种搭配种植，即形成 4 种植被配置模式，A 配置为蒙古冰草＋草木樨，B 配置为蒙古冰草+紫花苜蓿，C 配置为无芒雀麦＋草木樨，D 配置为无芒雀麦＋紫花苜蓿。本试验共选取上述 6 类典型样地，样地内植被基本特征以及 0 ~ 5 cm 层土壤水分及有机质含量见表 1。

表 1 样地基本情况

Table 1 Background of studied plots

样地类型	坡度(°)	优势种植物	植物种数	植被高度(cm)	植被盖度(%)	土壤含水量(g/kg)	土壤有机质(g/kg)
蒙古冰草+草木樨	10	蒙古冰草、草木樨、克氏针茅、刺藜	23	12.33 ± 2.85 a	34.40 ± 3.66 a	68.34 ± 9.12 a	7.91 ± 0.27 a
蒙古冰草+紫花苜蓿	10	蒙古冰草、紫花苜蓿、羊草	13	8.95 ± 0.78 bc	23.75 ± 2.77 c	60.10 ± 7.72 ab	6.11 ± 0.62 bc
无芒雀麦+草木樨	10	草木樨、无芒雀麦、	15	7.87 ± 1.26 c	25.38 ± 7.01 c	64.22 ± 7.63 a	5.01 ± 0.28 c
无芒雀麦+紫花苜蓿	10	紫花苜蓿、无芒雀麦、羊草	18	10.25 ± 1.05 b	29.29 ± 2.93 b	64.31 ± 3.91 ab	6.41 ± 0.35 b
天然草地	11	克氏针茅、羊草	16	7.51 ± 2.69 c	22.11 ± 4.07 c	51.50 ± 5.33 b	4.99 ± 0.39 c
放牧草地	12	冰草、栉叶蒿、刺藜	12	5.34 ± 1.29 d	16.42 ± 2.69 d	37.94 ± 2.10 c	4.13 ± 0.67 c

注: 表中同列数据不同小写字母表示各草地管理类型间差异显著(P<0.05)。

1.2.2 土壤粒径测定 采样于 2015 年 7 月下旬进行，取样前一周内无大风和降水。采样时选取平整地面，首先用剪刀将地表植被及枯落物剪除，用取土器平行于地表采集 0 ~ 5 cm 层土样，各样地采集 3 次重复，当场装入塑封袋后带回实验室，室内试验采用 Mastersizer 3000 激光粒度扫描仪对 0 ~ 5 cm 层土壤进行机械组成分析。

1.2.3 土壤风蚀水蚀相关指标的测定 风蚀指标选取近地面风速和距地表不同高度输沙量，根据当地多年气象资料以及实地调查数据。试验于 2015 年 4 月风季采用 HOBO 小型气象站测定风速，风杯设置高度为 20、50、100、150、200 cm，同时设置风向标采集风向，数据采集器设置采集间隔为 2 s。输沙量采用内蒙古农业大学研制的分层式集沙仪进行测定。

水蚀的指标选取降雨产流和产沙量来表征，试验于 2015 年 6 月进行，采用人工模拟降雨，降雨器喷头出水高度为 6 m，雨滴大小分配与天然降雨相似，设置雨强为 1.03 mm/min 模拟当地大雨雨强，降雨均匀度为 0.8 ~ 0.9。降雨开始后记录开始产流时间；产流发生后，每间隔 1 min 收集径流样 1 次；以后每间隔 2 min 收集径流样；降雨时间为 45 min，降雨结束后，记录结束产流时间，每次从出水口用聚乙烯塑料瓶接径流，按照小瓶接径流的顺序排号，用量筒称取径流样品体积，然后静置 24 h 后撇去上层清水，取下层泥样烘干并称重，换算出径流中的产沙量。

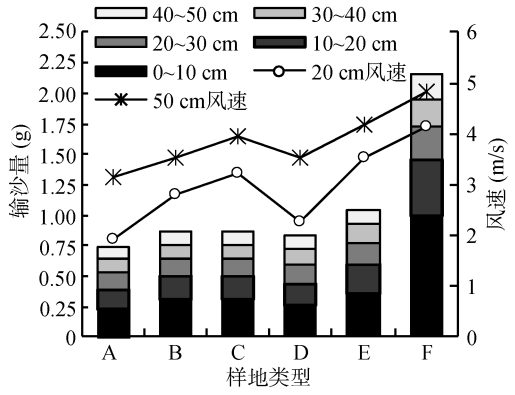
2 结果与分析

2.1 不同管理方式草地土壤侵蚀情况

由于对已退化草地实施了不同管理和恢复措施，从而在不同程度上改善了草地植被群落结构，使得草地下垫面发生变化，进而在不同程度上影响了近地面气流以及降雨后地表径流的流速。

试验通过测量不同管理草地近地面风速以及 0 ~ 50 cm 高度各层输沙量来反映不同管理方式草地风蚀特征。由图 1 可以看出，不同管理方式草地近地面风速以及地表输沙量具有明显差异。放牧草地近地面风速以及输沙量均明显高于其他草地，4 种人为种植草地近地面风速以及输沙量均低于放牧草地和天然草地，其中蒙古冰草+草木樨草地距地表 20 cm、50 cm

高度风速以及总输沙量均为最低，分别为 1.93 m/s、3.14 m/s、0.73 g。同一类型管理草地内，输沙量垂直变化随高度增加而呈降低趋势。



(A. 蒙古冰草+草木樨；B. 蒙古冰草+紫花苜蓿；C. 无芒雀麦+草木樨；D. 无芒雀麦+紫花苜蓿；E. 天然草地；F. 自由放牧草地；下图同)

图 1　不同管理方式草地风蚀特征

Fig. 1　Wind erosion in different management styles of grassland

通常草地坡面水蚀主要表现为降雨时雨滴击溅对表土结构的破坏以及径流对土体的冲刷，因此研究以人工模拟当地大雨雨强，测量降雨期间产流及产沙量，用以描述不同管理方式草地水蚀特征。由图 2 发现，不同管理方式草地产流量和产沙量整体变化规律一致，其大小依次为放牧草地＞天然草地＞无芒雀麦+草木樨草地＞蒙古冰草+紫花苜蓿草地＞无芒雀麦+紫花苜蓿草地＞蒙古冰草+草木樨草地。其中蒙古冰草+草木樨草地产流和产沙总量均最低，分别为 27.82 L 和 3 156.18 g，为放牧草地的 35.29% 和 52.10%，为天然草地的 38.40% 和 55.10%。综合比较，不同管理方式草地风蚀及水蚀指标大小表现基本一致，由此可以看出，人为围封种植管理对于减小草地风蚀和水蚀均起到明显作用。

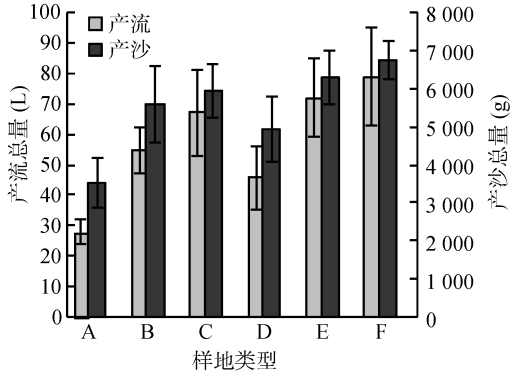


图 2　不同管理方式草地水蚀特征

Fig. 2　Water erosion in different management styles of grassland

2.2　不同管理方式草地表层土壤粒度特征

试验中测试结果以美国制土壤粒径分级标准输出，即分为黏粒(＜0.002 mm)、粉粒(0.002 ~ 0.05 mm)、极细砂(0.05 ~ 0.1 mm)、细砂(0.1 ~ 0.25 mm)、中砂(0.25 ~ 0.5 mm)、粗砂(0.5 ~ 1 mm)、极粗砂(1 ~ 2 mm)以及砾石(＞2 mm)。相关粒度参数的计算采用 Folk 和 Ward 的图解法[6]，为便于计算，将先前输出的土壤粒径累积体积分数对应的颗粒直径转换为 Φ 值，其公式为

$$\Phi = -\log_2 d \quad (1)$$

式中：d 为以 mm 计算的颗粒直径。

粒度参数中平均粒径计算公式为

$$d_0 = 1/3(\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84) \quad (2)$$

标准偏差

$$\delta_0 = (\Phi 84 - \Phi 16)/4 + (\Phi 95 - \Phi 5)/6.6 \quad (3)$$

标准偏差表示土壤颗粒分布的离散程度，其值越小表示土壤颗粒分布越集中，颗粒分选性越好。

各样地土壤粒度累积频率间平均距离:

$$D = \sqrt{\sum p - \overline{p}/(k-1)} \quad (4)$$

式中: p 为某一样地土壤粒度累积频率；$\overline{p}$ 为 6 个样地土壤累积频率平均值；k-1 为自由度，k = 6。

表 2 为各样地地表土颗粒组成特征，从中看出: 6 种不同管理方式草地土壤粒度组成均以砂粒所占比例最大，其所占百分比分别为: 75.15%、80.06%、78.46%、76.69%、80.51%、81.89%。其中除蒙古冰草+草木樨草地砂粒含量以极细砂为主外，其他人工管理草地表土均以细砂为主，而放牧草地粗砂百分含量(20.29%)明显高于其他类型草地。就各类型草地黏粒和粉粒含量来看，人为种植草地明显高于天然草地和放牧草地，其中蒙古冰草+草木樨草地黏粒和粉粒百分含量均最高(分别为 2.17%、22.68%)，其次是无芒雀麦+紫花苜蓿草地(分别为 1.97%、21.34%)。各类型草地中，仅有天然草地和放牧草地中含有砾石(分别为 0.19%、1.17%)。不同管理方式草地表土平均粒径存在较大差异，放牧草地表土平均粒径(160.43 μm)显著高于其他类型草地，其次是天然草地(141.61 μm)，封育种植草地平均粒径范围为 84.38 ~ 124.14 μm。蒙古冰草+草木樨和无芒雀麦+紫花苜蓿草地标准偏差明显大于其他草地，说明其分选性最差。放牧草地和无芒雀麦+草木樨草地标准偏差明显小于其他草地，分选性较好。

由不同管理方式土壤粒度频率分布曲线(图 3)可以看出，不同管理草地粒径基本均呈单峰型分布，其中放牧草地波峰最为明显，且明显滞后于其他类型草地，其波峰出现在 250 μm 附近，蒙古冰草+草木樨

和蒙古冰草+紫花苜蓿草地波峰较为靠前，出现在 100 μm 附近，说明其表土颗粒主要为细砂和极细砂；同时在 20 ~ 50 μm 处具有明显的起伏，说明其粉粒含量具有增高趋势。

表 2　不同管理方式草地表层(0 ~ 5 cm)土壤粒度组成(%)
Table 2　Soil particle compositions in different management styles of grassland

管理方式	黏粒	粉粒	砂粒					砾石	平均粒径(μm)	标准偏差
	<0.002 mm	0.002 ~ 0.05 mm	0.05 ~ 0.1 mm	0.1 ~ 0.25 mm	0.25 ~ 0.5 mm	0.5 ~ 1 mm	1 ~ 2 mm	>2 mm		
蒙古冰草+草木樨	2.17	22.68	27.42	26.54	10.48	9.74	0.97	0	84.38	2.05
蒙古冰草+紫花苜蓿	1.35	18.59	20.72	29.91	11.54	15.76	2.13	0	107.32	1.72
无芒雀麦+草木樨	1.53	20.01	22.43	27.27	10.96	16.24	1.56	0	124.14	1.41
无芒雀麦+紫花苜蓿	1.97	21.34	25.07	27.68	11.46	11.27	1.21	0	84.62	1.97
天然草地	1.28	18.02	17.69	30.49	11.52	18.56	2.25	0.19	141.61	1.71
放牧草地	0.95	14.38	15.26	32.55	12.62	20.29	2.78	1.17	160.43	1.50

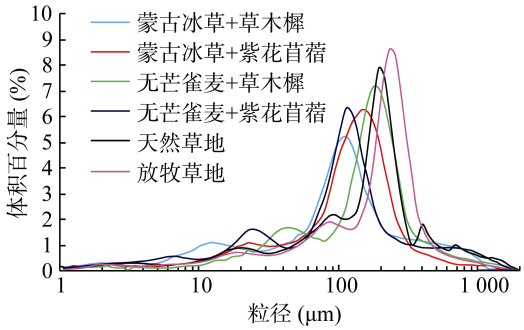


图 3　不同管理方式草地土壤粒度频率分布曲线
Fig. 3　The particle size distrib ution curves in different management sty les of grass land

图 4 表示不同管理草地土壤粒度累积百分比变化情况，从中可以看出各类型草地累积频率曲线在 100 ~ 300 μm 范围内斜率最大，说明各类型样地土壤颗粒粒径大部分集中在 100 ~ 300 μm。同时发现各类型草地土壤粒度累积频率之间平均距离最大值出现在 160 μm 处，说明各类型草地整体差异在颗粒粒径为 160 μm 处较大，也可认为粒径在 160 μm 左右的土壤颗粒含量最易受到自然以及人为条件的干扰而发生变化。

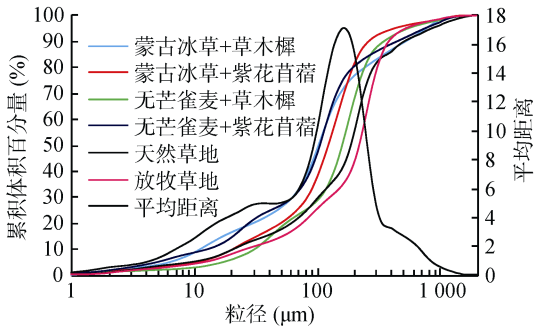
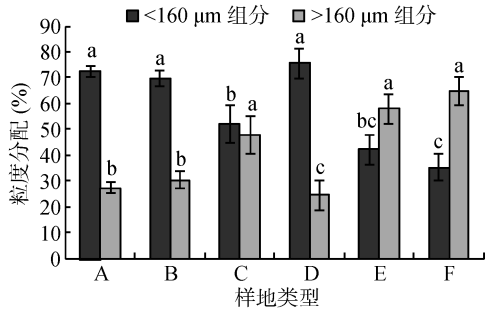


图 4　不同管理方式草地土壤粒度累计频率曲线
Fig. 4　cumulative frequency of the soil particle size in different management styles of grass land

由图 5 可知，蒙古冰草+草木樨、蒙古冰草+紫花苜蓿、无芒雀麦+紫花苜蓿草地中粒径<160 μm 土壤颗粒含量处于较高水平，放牧草地中粒径<160 μm 土壤粒度含量明显小于其他类型草地。土壤有机质是评价土壤肥力和质量的重要指标，进一步对各类型草地粒径<160 μm 颗粒含量和土壤有机质含量进行相关性拟合(图 6)发现，土壤有机质随粒径<160 μm 土壤颗粒含量增加而增加，且二者呈明显线性相关，相关系数为 0.76。



(图中小写字母不同表示同一组分不同样地类型间差异达 $P<0.05$ 显著水平)

图 5　各类型草地<160 μm 土壤粒度组分分配
Fig. 5　Distribution of the soil particle (<160 μm) in different management styles

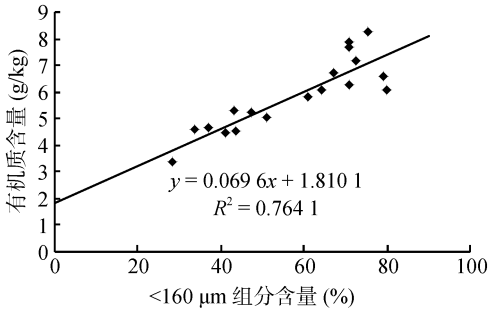


图 6　<160 μm 粒度组分与有机质含量相关关系
Fig. 6　Relationship between soil particle (<160 μm) and organic matter content

2.3　土壤粒度组成与风蚀水蚀关系

表 3 为土壤粒度组成参数与风蚀水蚀指标的相关性分析结果，由表 3 中可以发现，土壤黏粒百分比、粉粒百分比、标准偏差以及粒径<160 μm 土粒百分比与试验测定的 5 个侵蚀指标均呈负相关，土壤砂粒百分比、平均粒径与 5 个侵蚀指标均呈正相关。就其相关程度来看，土壤粒级组成参数与 20 cm 处风速以及产流总量相关性较强，其中除平均偏差与 20 cm 处风速呈显著相关外，其他土壤粒级组成参数与 20 cm 处风速均呈极显著相关，水蚀指标中产流总量与黏粒百分比呈极显著负相关，与平均粒径呈极显著正相关，产沙总量与黏粒百分比呈极显著负相关。粒径参数中粉粒含量百分比与各侵蚀指标相关性较强，而标准偏差与各侵蚀指标相关性较弱。

表 3　土壤粒度组成参数与土壤侵蚀特征相关性分析

Table 3　Correlation between soil particle size compositions and soil erosion characteristics

	输沙总量	20 cm 处风速	50 cm 处风速	产流总量	产沙总量
黏粒百分比	–0.749	–0.948**	–0.872*	–0.923**	–0.938**
粉粒百分比	–0.981**	–0.935**	–0.913*	–0.868*	–0.881*
砂粒百分比	0.831*	0.941**	0.895*	0.894*	0.914*
平均粒径	0.799	0.987**	0.955**	0.937**	0.893*
标准偏差	–0.517	–0.838*	–0.758	–0.867*	–0.838*
(＜160 μm)土粒百分比	–0.759	–0.948**	–0.937**	–0.895*	–0.823

注: ** 表示在 $P<0.01$ 水平上(双侧)显著相关，　* 表示在 $P<0.05$ 水平上(双侧)显著相关。

3　讨论

付标等[16]研究不同植被重建管理方式对沙质草地植被及土壤性质的影响发现，封育管理在不同程度上改善了退化草地土壤及植被性质。本研究对不同管理方式下草地部分植被及土壤性质研究也发现，放牧草地内植被种类、高度、盖度以及表层土壤含水量、有机质均低于人为封育管理草地以及天然草地。试验中蒙古冰草+草木樨配置模式草地由于其植被高度、盖度等方面均高于其他样地，因此在降低近地面风速、增加地表粗糙度以及拦截降雨及地表径流方面起到显著的作用。

试验对不同管理方式下表土粒度组成特征研究发现，封育种植草地及天然草地土壤中黏粒、粉粒以及极细砂含量明显高于放牧草地。其原因是，黏粒、粉粒和极细砂粒径均<100 μm，<100 μm 的沙粒由于其沉降速度经常小于气流向上的脉动分速度，所以极有可能以悬移形式运动，封育草地由于植被高度及盖度均大于放牧草地，其不仅增加了地表粗糙度，而且有助于截留气流中的细粒物质，从而使得土壤中细颗粒得以保存[17]。有关研究表明，粒径为 100 ~ 150 μm 的沙粒最容易以跃移的形式运动，凡以跃移运动的沙物质统称为跃移质，而跃移质是风蚀过程中风沙运动的主体部分，其占风沙流中总沙量的 1/2 ~ 3/4[18]。而本试验中各类样地土壤粒度累积频率之间平均距离最大值出现在 160 μm 左右，其原因是锡林河流域年平均风速较大，同时，风季过后土壤表面粒径较大的跃移质容易被径流挟带形成挟沙水流而发生运移[19]，因此研究区不同类型样地内粒径为 160 μm 左右沙粒变化幅度较大。

脱登峰等[20]利用风洞以及人工模拟试验研究风蚀水蚀交错区侵蚀产沙过程和机理，认为风蚀和水蚀具有明显的正交互作用，风蚀加剧了降雨坡面侵蚀强度，而水蚀又为下一次风蚀提供了物质来源[21]。本试验发现土壤粒度组成参数和风蚀、水蚀均有明显的相关性，其中土壤粒度组成参数与距 20 cm 处风速以及产流总量相关性最强。其原因是 20 cm 处风速和产流总量这两指标均直接反映了侵蚀营力大小，而研究区内不同样地土壤类型均为沙质土，其土粒间粘结能力相差较小，因此土壤颗粒搬运、沉积的比例主要取决于所受侵蚀营力作用的大小。而研究中输沙量以及径流产沙量大小一方面取决于气流及水的输沙能力，另一方面取决于地表沙物质组成及可蚀性特征[13]，研究区人为管理草地土壤粒径较放牧草地更细，因此在同等侵蚀营力作用下更易受到侵蚀，故与近地面 20 cm 风速以及径流量相比，输沙总量及径流产沙总量与土壤粒度组成参数相关性较弱。

4　结论

1)相比放牧草地和天然草地，封育种植草地在降低土壤风蚀和水蚀方面均起到较明显的作用，其中蒙古冰草+草木樨人工配置草地效果最为明显。

2)锡林河流域不同管理方式草地表层土壤粒度组成均以砂粒为主，其所占比例为 75% ~ 82%。相比

封育种植草地及天然草地，放牧草地土壤粒度粗化明显；各类型草地中除蒙古冰草+草木樨草地土壤颗粒分选性较差（δ_0 = 2.05）外，其余草地土壤颗粒分选性均在中等范围内。

3)土壤粒度分布频率曲线和粒度累积频率间平均距离显示研究区粒径在 160 μm 左右颗粒为易受侵蚀土壤颗粒。

4)对研究区表土粒度组成参数与土壤侵蚀特征指标进行相关性分析发现，研究区表土粒度组成分布与风蚀和水蚀均有明显的相关性，其中近地面 20 cm 风速及径流产流总量与土壤粒度组成联系最为紧密。

参考文献：

[1] 彭浩, 李镇清. 锡林河流域天然草地生态系统服务价值评价[J]. 草业学报, 2007, 16(4): 107–115

[2] 张雪峰, 牛建明, 张庆, 等. 内蒙古锡林河流域草地生态系统土壤保持功能及其空间分布[J]. 草业学报, 2015, 24(1): 12–20

[3] 李政海, 鲍雅静, 王海梅, 等. 锡林郭勒草原荒漠化状况及原因分析[J]. 生态环境学报, 2008, 17(6): 2312–2318

[4] 陈四清, 刘纪远, 庄大方, 等. 基于 Landsat TM/ETM 数据的锡林河流域土地覆盖变化[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 45–52

[5] 王琴, 蒙仲举, 汪季, 等. 希拉穆仁草原近自然恢复状态下植被–土壤响应特征[J]. 生态学报, 2017, 37(4): 1159–1167

[6] 丁延龙, 高永, 蒙仲举, 等. 希拉穆仁荒漠草原风蚀地表颗粒粒度特征[J]. 土壤, 2016, 48(4): 803–812

[7] 闫玉春, 唐海萍, 张新时, 等. 基于土壤粒度分析的草原风蚀特征探讨[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1263–1268

[8] 赵超, 鲁瑞洁, 李金凤. 青海湖流域土地沙漠化及表土粒度特征[J]. 中国沙漠, 2015, 35(2): 276–283

[9] 孙改清, 李素英, 赵园园, 等. 锡林浩特土壤颗粒分形特征与草原植物生物量的相关性研究[J]. 资源科学, 2016, 38(6): 1065–1074

[10] 张惜伟, 汪季, 高永, 等. 呼伦贝尔沙质草原风蚀坑表层土壤粒度特征[J]. 干旱区研究, 2017, 34(2): 293–299

[11] Li J, Okin G S, Epstein H E. Effects of enhanced wind erosion on surface soil texture and characteristics of wind blown sediments[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2009, 114(G2): 157–163

[12] Gao J, Gao Y, Luo F, et al. Response of surface soil grain size characteristics to wind erosion desertification[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(25): 20–25

[13] 杨会民, 王静爱, 邹学勇, 等. 风水复合侵蚀研究进展与展望[J]. 中国沙漠, 2016, 36(4): 962–971

[14] 席小康, 朱仲元, 郝祥云. 锡林河流域草原植物群落分类及其多样性分析[J]. 生态环境学报, 2016, 25(8): 1320–1326

[15] 葛楠. 不同管理方式对锡林河流域退化草地侵蚀特征的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016

[16] 付标, 齐雁冰, 常庆瑞. 不同植被重建管理方式对沙质草地土壤及植被性质的影响[J]. 草地学报, 2015, 23(1): 47–54

[17] 杨立辉, 叶玮, 郑祥民, 等. 河漫滩相沉积与风成沉积粒度判别函数的建立及在红土中应用[J]. 地理研究, 2014, 33(10): 1848–1856

[18] 张洪江. 土壤侵蚀原理[M]. 北京: 科学出版社, 2014

[19] 汤珊珊, 李鹏, 任宗萍, 等. 模拟降雨下覆沙坡面侵蚀颗粒特征研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(1): 39–47

[20] 脱登峰, 许明祥, 郑世清, 等. 风水两相侵蚀对坡面产流产沙特性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 142–148

[21] 脱登峰, 许明祥, 马昕昕, 等. 风水交错侵蚀条件下侵蚀泥沙颗粒变化特征[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 381–386

Soil Particle Size Distributions of Different Management Styles Under Complex Wind and Water Erosion in Xilin River Basin

WANG Zeyu[1], CUI Xiangxin[1], MENG Zhongju[1*], DANG Xiaohong[1], WANG Jian[2], GE Nan[2]

(1 *College of Desert Science and Engineering*, *Inner Mongolia Agricultural University*, *Hohhot* 010018, *China*;
2 *Institute of Water Resources for Pastoral Area*, *Ministry of Water Resources*, *Hohhot* 010020, *China*)

Abstract: Combined with the situation of wind and water erosion in the Xilin River Basin, particle size distributions of topsoils (0−5 cm) and their relations with wind and water erosion were studied in different management styles including enclosed natural grassland, grazing grassland and enclosed planting grassland in the Basin. The results showed that enclosed planting grassland played a more significant role in controlling soil water and wind erosion than grazing and natural grasslands. Sands were dominant in soil particles with a proportion of 75%−82% in the Basin. Compared with the natural and artificial grasslands, soil coarsening is obvious in grazing grassland. Soil particle sorting was poor in Mongolia wheatgrass and clover grasslands of enclosed planting grassland, while were medium in other grasslands. Soil particles (about 160 μm in size) are more erodible. Soil particle distribution is significantly correlated with wind and water erosion, especially correlated with wind speed about 20 cm above the ground and the total amount of runoff.

Key words: Soil particle size composition; Complex wind and water erosion; Management style; Xilin River Basin