

高寒草甸区高原鼢鼠新生土丘水土流失特征

马素洁^{1,2}, 周建伟¹, 王福成², 牛钰杰¹,
楚彬¹, 周延山¹, 姬程鹏¹, 王婷¹, 花立民¹

(1.甘肃农业大学,兰州 730070;2.西藏农牧学院,西藏 林芝 860000)

摘要:高原鼢鼠是青藏高原的优势地下啮齿动物,掘洞造丘是其独特的行为之一。高原鼢鼠新生土丘属于次生裸地容易导致水土流失,研究高原鼢鼠新生土丘水土流失对于合理评价其对生态系统的影响具有重要意义。利用径流小区法和风蚀桥法,测定不同地形(平地 and 坡地)、不同直径大小(大土丘:直径 >75 cm,中等土丘:直径 $50\sim75$ cm,小土丘:直径 <50 cm)单位面积新生土丘年土壤流失量和有机质流失量,并比较经过1年侵蚀后的土丘与无土丘草地表层(0—10 cm)土壤粒径组成、含水量和营养成分,旨在明确高原鼢鼠不同大小和不同分布的土丘的水土流失状况。结果表明:(1)研究区平地 and 坡地新生土丘单位面积年均土壤流失量分别为 $4\,039.91, 3\,731.79\text{ g/m}^2$,单位面积年均土壤有机质流失量分别为 $266.83, 252.76\text{ mg/m}^2$,土壤侵蚀级别为中度侵蚀;(2)土丘表层土壤粒径 $<0.25\text{ mm}$ 和 $>5\text{ mm}$ 的团聚体含量均显著小于无土丘草地($P<0.05$), $>0.25\text{ mm}$ 的团聚体含量显著大于无土丘草地($P<0.05$);(3)土丘表层土壤肥力和土壤含水量均显著小于无土丘草地表层土壤($P<0.05$);(4)雨季坡地新生土丘单位面积泥沙流失量显著高于平地新生土丘($P<0.05$)。风季平地风蚀厚度大于坡地风蚀厚度,分别为 $4.33, 3.62\text{ cm}$;(5)风季不同丘型土丘的侵蚀厚度表现为大土丘 $>$ 小土丘 $>$ 中土丘,分别为 $5.50, 3.59, 2.82\text{ cm}$ 。研究认为高原鼢鼠新生土丘会导致高寒草甸风蚀和水蚀发生,且不同地形和不同大小的土丘水土流失情况各异。

关键词:高寒草甸;新生土丘;水土流失

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2019)05-0058-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.05.009

Effect of Soil Erosion of Plateau Zokor New Mound in Alpine Meadow

MA Sujie^{1,2}, ZHOU Jianwei¹, WANG Fucheng², NIU Yujie¹,

CHU Bin¹, ZHOU Yanshan¹, JI Chengpeng¹, WANG Ting¹, HUA Limin¹

(1.Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 2.Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Linzhi, Xizang 860000)

Abstract: Plateau zokor is the dominant subterranean rodent in Qinghai-Tibet plateau and it burrows soil of the ground surface to form new mounds, which is a kind of bare land that easily causes soil erosion. It is of great significance to study soil erosion of new mounds caused by plateau zokor to evaluate the impact of the zokor on alpine meadow ecosystem. This study used the runoff plot method and the wind erosion bridge method to determine the annual soil erosion and organic matter loss on the new mounds, and compared the soil particle composition, soil moisture and soil nutrients contents between the new mounds and the surface soil (0—10 cm) on the grassland without mounds. The purpose was to clarify the soil erosion of the new mounds on different topography, including plain and slope, as well as different size new mounds, involving large (diameter $>75\text{ cm}$), moderate (diameter $50\sim75\text{ cm}$) and small (diameter $<50\text{ cm}$). The results showed that: (1) In plain and slope area, the annual soil loss of plateau zokor mounds was $4\,039.91$ and $3\,731.79\text{ g/m}^2$ respectively, and the annual soil organic matter loss was 266.83 and 252.76 mg/m^2 respectively. The soil erosion level of plateau zokor mound was moderate; (2) Both the contents of soil aggregates with size of $<0.25\text{ mm}$ and $>5\text{ mm}$ in mounds surface were significantly less than that of grassland without mounds ($P<0.05$), and the soil aggregates contents of $>0.25\text{ mm}$ in mounds surface was significantly greater than that of grassland without mounds ($P<0.05$); (3) The soil fertility and soil moisture of

收稿日期:2019-03-27

资助项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0504803, 2016YFC0501902);甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目

第一作者:马素洁(1990—),女,硕士,讲师,主要从事草地生态与水土保持研究。E-mail:yixianshilly@163.com

通信作者:花立民(1971—),男,博士,教授,主要从事草地保护研究。E-mail:hualm@gsau.edu.cn

mounds' surface soil were significantly less than that of grassland without mounds ($P < 0.05$); (4) The amount of sediment loss of new mounds on the slope was significantly higher than that of the plain in the rain season ($P < 0.05$). The wind erosion of zokors' mounds on the plain was greater than that on the slope in the wind season, the thickness of wind erosion on the plain and slope was 4.33 and 3.62 cm, respectively; (5) The thickness of wind erosion of different size mounds in the wind season was highest on the large mounds, followed by small mounds and moderate mounds. The thickness of wind erosion of large, moderate and small size mounds were 5.50, 3.59 and 2.82 cm, respectively. In conclusion, the new mounds of plateau zokor could cause wind and water erosion, which level depends on the different topography and mounds size, in alpine meadows.

Keywords: alpine meadow; the neonatal rat mound; soil erosion

高寒草甸生态系统是高原冻土冻融交替并在寒冷生境下孕育的以多年生草本植物为主体的一种草地生态系统^[1],在涵养水源、气候调节等方面具有重要作用。高原鼢鼠(*Myospalax baileyi*)是青藏高原高寒草甸生态系统的重要组成部分,在物质循环和能量流动中扮演重要的角色^[2]。然而,受气候变化和人为因素的影响,高寒草甸区高原鼢鼠种群数量剧增,打破原有的“鼠草平衡”,加剧草地退化,严重威胁区域生态安全^[3]。高原鼢鼠掘洞造丘是其独特的行为之一,新推出的土丘不仅覆盖草地导致植物死亡,而且形成次生裸地^[4]。李凤霞等^[5]研究表明,高原鼢鼠挖洞造丘行为破坏植物群落和土壤结构,导致土壤水分散失,是造成草地沙化和水土流失的主要原因之一。但是,高原鼢鼠也是高寒草甸“生态工程师”^[6],对高寒草甸植被演替、土壤水分涵养等有重要作用。张卫国等^[7]研究表明,在休牧条件下高原鼢鼠造丘活动有利于促进植被恢复,也有学者^[8-10]研究表明,高原鼢鼠造丘活动导致高寒草甸异质性增强进而有利于高寒草甸生态系统的稳定性。高寒草甸植被盖度下降、裸地增加是导致其水土流失的主要原因^[11]。高原鼢鼠推出的新生土丘属于次生裸地,理应受水力、风力侵蚀而造成水土流失^[12],然而高原鼢鼠新生土丘的水土流失程度,不同大小的土丘以及地形对土丘水土流失的影响鲜有报道。因此,本研究选取祁连山东段栖息于高寒草甸的高原鼢鼠不同地形的分布区多样区,通过定点观测法,设置径流小区和风蚀桥,定量观测新生土丘1年内的土壤和有机质流失量,并结合土丘表层土壤的粒径组成及营养成分,明确土丘的土壤侵蚀程度,并分析地形、土丘大小对水土流失的影响程度,进而从水土流失的角度科学评价高原鼢鼠对高寒草甸生态系统的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2016年1—12月在祁连山东段甘肃省天祝县抓喜秀龙乡马营滩地区进行。该区域海拔约

2 937 m,地理坐标为37°12'N,102°46'E,地形成东向的峡谷地带,西高东低。气候寒冷潮湿,太阳辐射强,昼夜温差较大,年均降水量416 mm,主要集中在7—9月,年均蒸发量1 592 mm,无绝对无霜期,仅分冷、热两季。年均气温-0.1℃,7月和1月气温为12.7℃和-18.3℃,植物生长期120~140 d。该区草地类型为高寒草甸,土壤为高山草甸土,植被以鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)、线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)、甘肃冷草(*Koeleria cristata*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)等为主。高原鼢鼠是该地区唯一造丘的地下啮齿动物^[13]。

1.2 试验设计

研究区选择高原鼢鼠栖息的冬季放牧草场。该区位于河谷地带,中间地势平坦,南北两侧为陡坡(坡度在10°~15°左右),是研究土丘水土流失的理想之地。考虑到高原鼢鼠新生土丘水土流失与地形和土丘大小有关,故本研究选取地势平坦的一级阶地和相邻山坡高原鼢鼠栖息草地开展不同地形和不同直径土丘的水土流失研究。此外,考虑到祁连山气候特征,将1年分为雨季(7—9月)和风季(1—6,10—12月)^[14]。高原鼢鼠新生土丘雨季和风季分别以水力和风力侵蚀为主,故本试验在雨季测量水蚀指标,在风季测定风蚀指标。

水蚀指标采用径流小区法,在雨季的每次降雨后测量新生土丘单位面积泥沙流失量^[15]。为消除草地对泥沙截留的影响,根据土丘的特殊形状(椭圆形)以及高寒草甸特点设计了径流小区(图1)。小区用水泥浇筑而成,设有宽15 cm,深10 cm的集水槽,下方设集流桶。平地 and 坡地各设置5个(共10个)。

选用风蚀桥法测定土壤风蚀厚度^[15]。通过监测土丘表面高程的变化量计算一定时间内被风吹走的土壤量(图2)。于2016年风季每隔3个月测定1次。为避免冬季土壤冻胀对土丘高度的影响,用高50 cm的塑料布围住土丘作为无风对照观测点。考

考虑土丘丘型的局部微地形对风力侵蚀的影响,风蚀桥观测点和无风对照观测点均分别在平地 and 坡地各设置新生大土丘(直径>75 cm)、中土丘(直径 50~75 cm)和小土丘(直径<50 cm)各 3 个重复,高度分别为(25.08±1.78),(35.92±2.13),(27.28±1.35) cm。平地 and 坡地各设风蚀桥观测点 9 个,对照区观测点 9 个(2 种地形共设置 36 个观测点)。

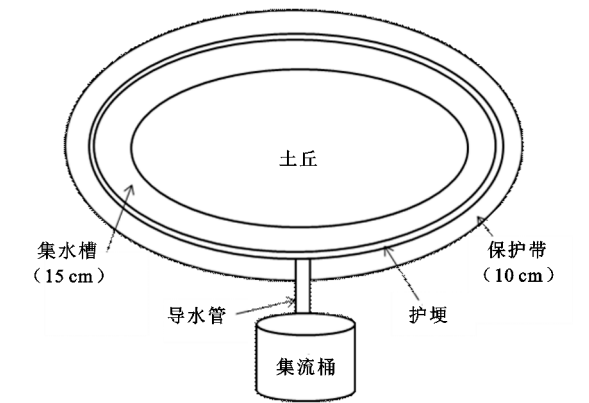


图 1 径流小区设置示意

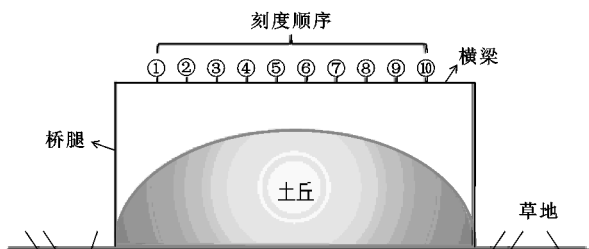


图 2 风蚀桥设置示意

1.3 监测指标及方法

1.3.1 土壤样品采集及理化性质测定 于 2016 年 5 月用土壤环刀在研究区选择高原鼯鼠上年度推出的新土丘共 12 个,土壤取样深度为 0—10,10—20 cm。对照选取土丘旁 5 m 内无土丘草地共 12 个,取样深度为草地表层土壤(0—10,10—20 cm,采用常规方法^[16]测定土壤的容重、含水量、有机质、速效氮、速效磷、速效钾、土壤机械稳定性团聚体及水稳性团聚体含量。采用过筛法^[17]测定土壤机械稳定性团聚体及水稳性团聚体含量。

1.3.2 水蚀指标测定 泥沙流失是降雨对土丘击溅、面蚀和沟蚀的综合表现^[18]。由于径流小区面积较小,每次降雨后将集流桶内泥水经沉淀、烘干后称重,计算单位面积侵蚀量(单位面积侵蚀量=净泥量/径流小区面积),即单位面积泥沙流失量^[19]。

土丘表面积利用球缺模型计算^[8]:

$$S=2\pi\times R\times H$$

式中: S 为土丘表面积(m^2); R 为土丘顶部到底端的垂直距离(m); H 为土丘的最长直径和最短直径的平均值(m)。

1.3.3 风蚀指标测定 风蚀桥采用不易变形钢筋焊制而成,由 2 根桥腿和 1 个横梁组成。腿长 60 cm,横梁依据不同大小的土丘分别为 50,75,100 cm,梁上每隔 10 cm 刻画出测量标记,并按从一侧顺序进行编号(图 2)。利用激光测距仪(泰克曼 TM50)垂直测量风蚀桥横梁各标记点到土丘表面的垂直距离,取平均值为风蚀厚度,并计算每个土丘单位面积风蚀量(单位面积风蚀量=平均风蚀厚度×平均容重)^[15]。

1.3.4 有机质流失量测定 新生土丘表层土壤经过 1 年风蚀和水蚀后,流失的有机质包括侵蚀掉的土壤有机质,以及表层土壤中营养成分的流失量。

1.4 数据处理

利用 Excel 软件对土壤数据、泥沙流失量数据及风蚀厚度数据进行统计和制图;利用 SPSS 19.0 软件单因素方差分析进行数据显著性分析。

2 结果与分析

2.1 土丘表层土壤流失现状

2.1.1 新生土丘单位面积年均土壤及营养流失量 水力侵蚀和风力侵蚀是研究区主要的侵蚀类型。本试验将全年分为雨季和季风,分别测定泥沙流失量和风蚀厚度,计算新生土丘单位面积年均土壤流失量。结果表明(表 1),平地新生土丘单位面积年均土壤流失总量大于坡地新生土丘,分别为 4 039.91,3 731.79 g/m^2 ;平地单位面积新生土丘水蚀量小于坡地,但单位面积新生土丘风蚀量大于坡地;坡地和平地新生土丘单位面积年均土壤有机质流失量分别为 266.83,252.76 mg/m^2 。由于新生土丘表层土壤容重小,根据《土壤侵蚀分类分级标准》^[20]中土壤侵蚀模数标准可知,新生土丘表层土壤侵蚀级别均为中度侵蚀。

表 1 新生土丘单位面积年均土壤及营养流失量

区域	单位面积 水蚀量/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	单位面积 风蚀量/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	单位面积 土壤流失总量/ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	单位面积 有机质流失量/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$)
平地	1287.39	2752.52	4039.91	266.83
坡地	1432.35	2299.45	3731.79	252.76

由表 2 可知,新生土丘表层土壤经过 1 年风蚀、水蚀后,新生土丘表层 0—10 cm 的土壤有机质、速效磷、速效钾含量也显著小于 10—20 cm 的土壤($P<0.05$),0—10 cm 的土壤中的速效氮含量显著大于 10—20 cm 土壤($P<0.05$)。

2.1.2 侵蚀后土丘表层土壤和草地土壤的团聚体变化 对比经过 1 年侵蚀后土丘表层土壤和草地表层土壤(0—10 cm)团聚体粒径组成。由表 3 可知,在干筛和湿筛处理下,土丘土壤粒径>0.25 mm 的团聚体含量及 0.25~5 mm 的各粒径土壤团聚体含量

均显著高于对照的团聚体含量($P<0.05$);土丘土壤粒径 $<0.25\text{ mm}$ 的团聚体含量和 $>5\text{ mm}$ 的团聚体含量均显著小于无土丘草地土壤的团聚体含量($P<0.05$)。表明土丘表层土壤大粒径团粒($>5\text{ mm}$)在侵蚀作用下崩解,并随粒径 $<0.25\text{ mm}$ 的土壤团聚体流失。

表 2 土丘不同土层土壤肥力比较 单位:mg/kg

土层深度/cm	有机质含量	速效氮	速效磷	速效钾
0—10	19.715±0.725b	0.125±0.024a	0.005±0.003b	167.382±14.892b
10—20	39.045±0.465a	0.080±0.001b	0.010±0.004a	197.110±0.059a

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示不同土层间差异显著($P<0.05$)。下同。

表 3 土壤团聚体各粒径分布特征

样地	土层深度/cm	处理方式	各粒径团聚体组成/%						
			$>5\text{ mm}$	$2\sim5\text{ mm}$	$1\sim2\text{ mm}$	$0.5\sim1\text{ mm}$	$0.25\sim0.5\text{ mm}$	$<0.25\text{ mm}$	$>0.25\text{ mm}$
土丘	0—10	干筛	0.16b	0.20a	0.18a	0.22a	0.13a	0.11b	0.89a
无土丘草地	0—10	干筛	0.22a	0.10b	0.10b	0.12b	0.08b	0.39a	0.61b
土丘	0—10	湿筛	0.07b	0.25a	0.24a	0.15a	0.06a	0.23b	0.77a
无土丘草地	0—10	湿筛	0.12a	0.09b	0.07b	0.07b	0.04b	0.62a	0.38b

2.1.3 侵蚀后土丘土壤和草地土壤的养分含量 通过对比土丘土壤与草地表层土壤养分含量和土壤水分含量(表 4),发现土丘表层土壤的各项指标均显著低于草地表层土壤($P<0.05$)。草地表层土壤的速效氮、速效磷含量均为土丘表层土壤含量的 2 倍多,而土丘表层土壤的有机质、速效钾含量为草地表层土壤含量的 2/3。土丘表层土壤的土壤水分含量也显著低于无土丘草地表层土壤。土丘和草地土层深度为 10—20 cm 的土壤有机质含量分别为 39.05、37.87 mg/kg。

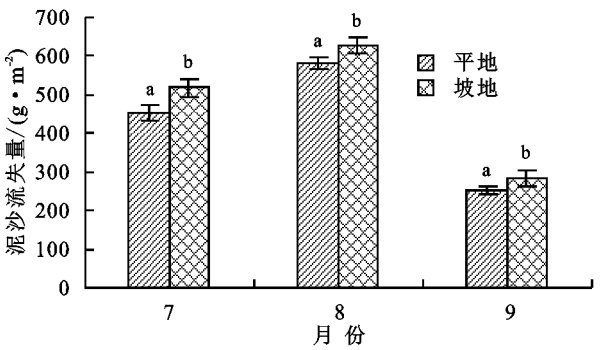
表 4 土壤肥力及土壤含水量比较 单位:mg/kg

样点	有机质含量	速效氮	速效磷	速效钾	土壤含水量
土丘	19.715±0.725b	0.125±0.024b	0.005±0.003b	167.382±14.892b	0.271±0.013b
无土丘草地	29.255±1.850a	0.340±0.012a	0.013±0.005a	212.042±22.093a	0.321±0.012a

2.2 地形对新生土丘土壤侵蚀的影响

2.2.1 不同地形下新生土丘的泥沙流失量比较 土壤泥沙流失量由降雨量和降雨强度决定。从不同月份来看,研究区新生土丘不论平地还是坡地,8 月泥沙流失量为 9 月泥沙流失量的 2 倍多(图 3)。受地形影响,新生土丘的水土流失量不尽相同。8 月平地 and 坡地的泥沙流失量分别为 583.63,629.33 g/m²,9 月泥沙流失量平地 and 坡地的泥沙流失量分别为 251.93,285.35 g/m²,坡地新生土丘泥沙流失量均显著高于平地新生土丘($P<0.05$),说明地形对新生土丘水土流失有重要影响。

2.2.2 坡地和平地新生土丘风蚀厚度比较 通过比较不同地形下新生土丘的风蚀厚度,可以明晰地形对新生土丘表层土壤风力侵蚀的影响。由图 4 可知,风季 1—3 月新生土丘风蚀厚度均表现为平地 $>$ 坡地,4—6 月中土丘和小土丘的风蚀厚度、10—12 月中土丘风蚀厚度均表现为平地 $<$ 坡地,其他月份新生土丘风蚀厚度均表现为平地 $>$ 坡地。平地最大平均风蚀厚度 1.75 cm 出现在 1—3 月。坡地最大平均风蚀厚度 1.49 cm 出现在 4—6 月。整个风季,平地 and 坡地新生土丘总侵蚀厚度分别为 4.33,3.62 cm。



注:同一月份不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 3 平地和坡地新生土丘泥沙流失量

2.3 不同大小新生土丘风蚀厚度比较

高原鼢鼠推出的新生土丘呈大小不均的半椭圆“凸”形,丘型大小是改变局部微地形的重要因素。通过测量不同丘型大小的新生土丘风蚀厚度,可以明晰不同大小的新生土丘的风力侵蚀状况。整个风季,风力侵蚀对不同丘型土丘造成的侵蚀厚度表现为大土丘 $>$ 小土丘 $>$ 中土丘(图 5),平均风蚀厚度分别为 5.50,3.59,2.82 cm。由图 5 可知,大土丘在 4—6 月平地 and 坡地风蚀厚度均最大,平均风蚀厚度为 3.45 cm。中土丘平地最大风蚀厚度出现在 10—12 月,坡地最大风蚀厚

度出现在 1—3 月, 平地 and 坡地最大平均风蚀厚度 1.45 cm 出现在 1—3 月。小土丘在 10—12 月平地 and 坡地风蚀厚度均最大, 平均风蚀厚度分别为 1.65 cm。1—3 月平地 and 坡地大、中、小土丘都存在强烈风力侵蚀。

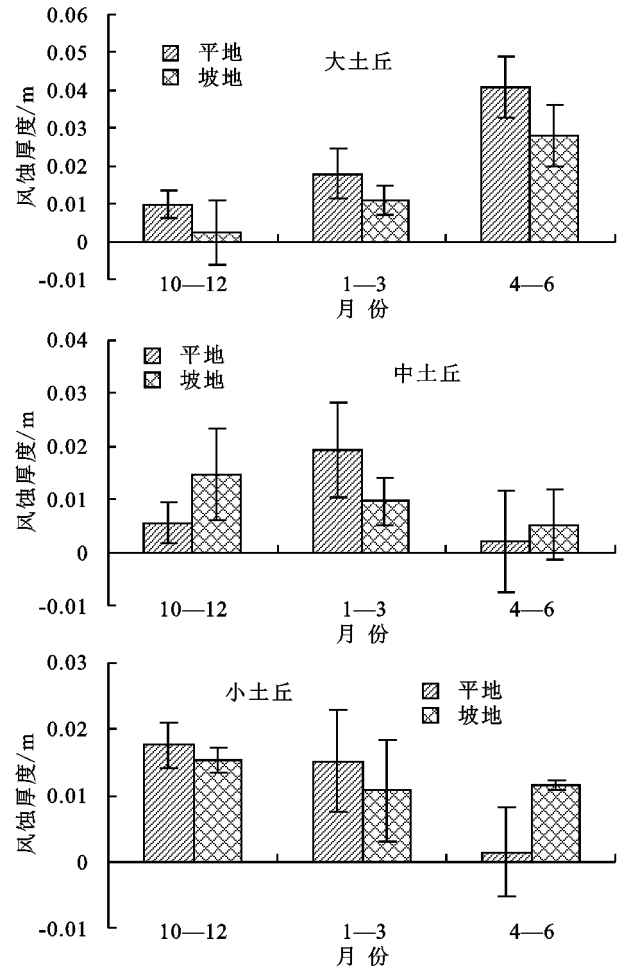
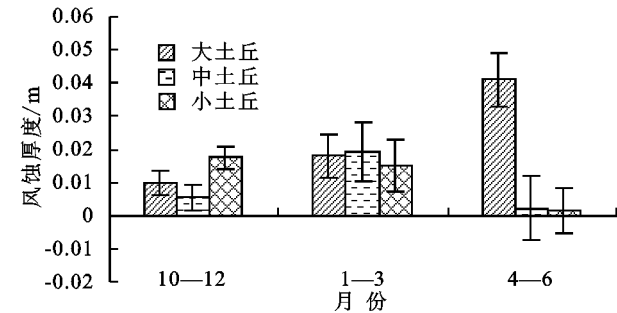


图 4 坡地和平地新生土丘风蚀厚度比较

3 讨论

3.1 高原鼯鼠新生土丘容易导致水土流失

高原鼯鼠属于掘洞类地下啮齿动物, 广泛分布于



青藏高原的高寒草甸、高寒草原和高寒灌丛区。高原鼯鼠采食、求偶等行为挖掘洞道并向地表推出土壤形成大小各异的土丘。王莹等^[21]估计 1 只高原鼯鼠每年将 1 t 左右的土壤从地下运输到地表, 导致土壤形态、土壤垂直和水平结构均发生变化。因此, 高原鼯鼠挖掘造丘行为是高寒草地主要的干扰因素之一。本研究结果显示, 无论是在平地或坡地, 高原鼯鼠新生土丘表层土壤侵蚀级别均为中度侵蚀。王太春^[22]研究发现, 高原鼯鼠新生土丘被盖度较低, 一年生植物盖度在 8.1%, 多年生植物盖度在 0.2%。较低植被盖度是导致水土流失的重要原因之一。邓景成^[23]、刘艳萍等^[24]也认为, 植被盖度高低与土壤侵蚀程度呈显著相关关系。高寒草甸植物地上部分对降雨具有拦截、蓄积作用, 对风力侵蚀也有抵抗作用, 而植物地下根系可固结土壤, 增加土壤入渗^[25]。因此, 无植被覆盖、根系含量少是造成高原鼯鼠新生土丘表层土壤侵蚀严重的主要原因。除新生土丘植被因素外, 新生土丘土壤结构松散, 也是导致其抗蚀性差的主要原因之一。田永亮^[26]研究发现, 高原鼯鼠新生土丘土壤疏松、紧实度低, 表层土壤在太阳照射下含水量较低。孙泉忠等^[27]研究发现, 土壤紧实度对土壤侵蚀的影响最为明显, 适度增加紧实度有助于提升土壤抗冲性及抗蚀性。本研究发现, 高原鼯鼠新生土丘表层土壤 <0.25 mm 和 >5 mm 的团聚体含量显著小于无土丘草地, 而 >0.25 mm 土壤团聚体含量则显著大于无土丘草地。土壤中 >5 mm 的团聚体在水力和风力侵蚀作用下崩解为直径更小的团粒, 而土壤中 <0.25 mm 的微团聚体最易受侵蚀而流失, 这与卢嘉等^[28]的研究结果一致。因此, 高原鼯鼠新生土丘植被盖度和土壤紧实度低是导致其水土流失的主要因素。

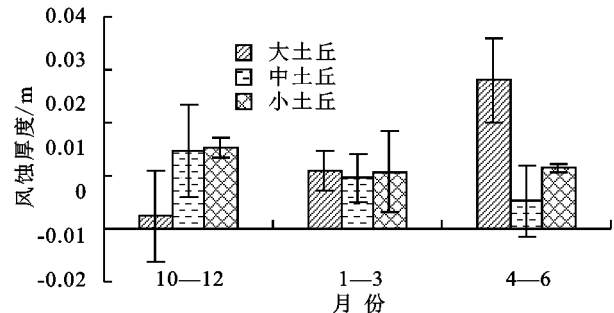


图 5 不同大小的新生土丘风蚀厚度比较

3.2 不同地形的高原鼯鼠土丘水土流失程度各异

本研究发现, 坡地栖息的高原鼯鼠新生土丘泥沙流失量显著高于平地土丘泥沙流失量, 而坡地新生土丘总风蚀厚度小于平地新生土丘总风蚀厚度。王保一等^[29]研究表明, 坡度对铁路边坡产流起始时间、径流量、产沙率等具有重要影响; 张少博等^[30]研究发

现, 伊犁河流域的土壤侵蚀主要集中在该流域坡度为 10°~15°的区域, 该区域受气候等因素的影响, 土壤大块、团粒结构容易被破坏, 容易发生土壤侵蚀。本研究选择的高原鼯鼠坡地栖息区坡度在 10°~15°。因此, 在降雨的影响下, 高原鼯鼠坡地的新生土丘泥沙流失量大于平地。此外, 地形也是影响风速的重要

因素之一。汪之松等^[31]研究发现,平地与坡地的极值风速高度大致相同,但平地地形对应风速极值明显大于坡地。本研究区位于祁连山东段金强河峡谷地带,受地形影响,阴坡新生土丘受到的风力反而比平地小,所以,坡地新生土丘总风蚀厚度小于平地新生土丘总风蚀厚度。

3.3 高原鼯鼠不同大小土丘的水土流失情况

本研究发现,不同大小的新生土丘受到的风力侵蚀不同,土壤侵蚀厚度表现为大土丘>小土丘>中土丘。这可能与新生土丘高度、丘顶面积有关。何俊龄等^[32]通过对土丘高度及半径格局的观测也发现,土丘在越冬后面积和半径均会出现显著下降,也证明高原鼯鼠新生土丘侵蚀与其高度有关。本研究中发现,不同丘型土丘高度分别为大土丘<小土丘<中土丘,土丘的高度越高,造成局部微地形的影响越大,风力从丘底部向上吹动,改变了风向,造成一定量的土壤余土丘后积累。李锦荣等^[33]研究沙丘高度与风蚀状况时发现,坡顶的总风蚀速率最大。大土丘顶部平且面积大,中土丘顶部尖且面积小,因此,大土丘的平均土壤侵蚀厚度大于中土丘。但是,本研究中风蚀厚度的测量时间跨度较大,期间受不同风向的影响,土丘表层土壤不同区域受到的侵蚀量和积累量不同,导致同一土丘风蚀桥不同部位的侵蚀厚度出现较大差异,所以数据标准偏差较大,但整体趋势不变。另外,由于土丘丘型不同造成的局部微地形对土壤风蚀的影响还需进一步探讨。

4 结 论

本研究认为,高原鼯鼠新生土丘在降雨和风力的影响下,不同地形和不同丘型的新生土丘均会发生中度侵蚀。且在侵蚀作用下,新生土丘表层土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量和土壤含水量都显著低于无土丘草地表层土壤,导致土壤营养物质流失。高寒草甸土壤侵蚀现象与草地退化现象密切相关。高原鼯鼠是青藏高原优势害鼠之一,其造丘形成的次生裸地是高寒草甸退化过程中的主要干扰因素,也是草地退化的重要标志。因此,从水土保持角度出发,应严格控制高原鼯鼠种群密度,防止大量裸露土丘在侵蚀作用下造成土壤及其营养物质的流失。

参考文献:

[1] 周幼吾,邱国庆,程国栋,等.中国冻土[M].北京:科学出版社,2000:15-20.

[2] 胡雷,阿的鲁骥,字洪标,等.高原鼯鼠扰动及恢复年限对高寒草甸土壤养分和微生物功能多样性的影响[J].应用生态学报,2015,26(9):2794-2802.

[3] 严作良,周华坤,刘伟,等.江河源区草地退化状况及成因[J].中国草地学报,2003,25(1):73-78.

[4] 张兴禄,李广.高原鼠兔和高原鼯鼠在高寒草甸生态系

统的作用[J].草业科学,2015,32(5):816-822.

[5] 李凤霞,张德罡.草地退化指标及恢复措施[J].草原与草坪,2005(1):24-28.

[6] 周建伟,花立民,左松涛,等.高原鼯鼠栖息地的选择[J].草业科学,2013,30(4):647-653.

[7] 张卫国,江小蕾,王树茂,等.鼯鼠的造丘活动及不同休牧方式对草地植被生产力的影响[J].西北植物学报,2004,24(10):1882-1887.

[8] 周延山,花立民,楚彬,等.祁连山东段高原鼯鼠对高寒草甸危害评价[J].生态学报,2016,36(18):5922-5930.

[9] 张军,葛庆征,张卫国,等.植被性状与高原鼯鼠栖息地适合度的关系[J].草业科学,2011,28(5):836-840.

[10] Zhang Y M, Zhang Z B, Liu J K. Burrowing rodents as ecosystem engineers: The ecology and management of plateau zokors *Myospalax fontanierii* in alpine meadow ecosystems on the Tibetan Plateau[J]. Mammal Review,2003,33(3):284-294.

[11] 范月君,侯向阳.三江源区高寒草甸退化与水塔功能的关系[J].西南民族大学学报(自然科学版),2016,42(1):8-13.

[12] 刘小平,任树梅,杨培岭.不同盖度草地水土流失分析[J].草原与草坪,2013(5):27-32.

[13] 刘丽,花立民,杨思维,等.放牧干扰下高原鼯鼠栖息地选择因素[J].动物学杂志,2015,50(5):725-734.

[14] 纪韵琴.天祝县旱作农业综合丰产技术措施[J].甘肃农业科技,2006(4):46-47.

[15] 张建军.水土保持监测指标的观测方法[M].北京:中国林业出版社,2013:98-145.

[16] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:18-96.

[17] 赵锦梅,徐长林,马瑞,等.东祁连山不同高寒灌丛草地土壤抗蚀性研究[J].水土保持学报,2016,30(5):119-123.

[18] 王小云.不同作物间坡面径流和泥沙流失量特征与差异分析[J].干旱区资源与环境,2017,31(11):100-104.

[19] 令凡,焦健.不同土地利用方式对高寒地区水土流失的影响[J].中国农学通报,2014,30(36):237-241.

[20] 中华人民共和国水利部.土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,2008.

[21] 王莹,魏代红,张卫国,等.高原鼯鼠地上土丘性状季节性差异[J].草业科学,2018,35(11):2738-2743.

[22] 王太春.高寒草甸鼯鼠土丘的植被恢复与边缘效应动态的研究[D].兰州:兰州大学,2007.

[23] 邓景成.灌草植被盖度对产流产沙影响的模拟降雨实验研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2018.

[24] 刘艳萍,刘铁军,蒙仲举.草原区植被对土壤风蚀影响的风洞模拟试验研究[J].中国沙漠,2013,33(3):668-672.

[25] 王晗生,刘国彬.植被结构及其防止土壤侵蚀作用分析[J].干旱区资源与环境,1999,13(2):62-68.

[26] 田永亮.祁连山东段高原鼯鼠(*Myospalax baileyi*)鼠丘及洞道气体研究[D].兰州:甘肃农业大学,2017.

2017,8(1):2013-2025.

[13] Nusser S M, Breidt F J, Fuller W A. Design and estimation for investigating the dynamics of natural resources [J]. *Ecological Applications*,1998,8(2):234-245.

[14] USDA-NRCS.2015 National Resources Inventory; Natural Resources Conservation Service [R]. Washington, DC: USDA, 2018.

[15] 谢云,赵莹,张玉平,等.美国土壤侵蚀调查的历史与现状[J].*中国水土保持*,2013,34(10):53-60.

[16] 刘宝元,郭索彦,李智广,等.中国水力侵蚀抽样调查[J].*中国水土保持*,2013,34(10):26-34.

[17] Yin S Q, Zhu Z Y, Wang L, et al. Regional soil erosion assessment based on a sample survey and geostatistics [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2018,22(3):1695-1712.

[18] Elwood S, Goodchild M F, Sui D Z. Researching volunteered geographic information: Spatial data, geographic research, and new social practice [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2012, 102 (3):571-590.

[19] Yu L, Gong P. Google Earth as a virtual globe tool for Earth science applications at the global scale:Progress and perspectives [J]. *International Journal of Remote Sensing*,2012,33(12):3966-3986.

[20] Ban Y F, Gong P, Giri C. Global land cover mapping using Earth observation satellite data:Recent progresses and challenges [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,2015,103(1):1-6.

[21] 地质出版社地图编辑室.世界地理地图集[M].北京:地质出版社,2011.

[22] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室.第一次全国水利普查培训教材之六水土保持情况普查[M].北京:中国水利水电出版社,2010.

[23] 梅安新,彭望琚,秦其明,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001:144-148.

[24] 水利部水土保持监测中心.水土流失普查技术规定[R].北京:水利部,2017.

[25] 牛亮,杨勤科.DEM 尺度变换中直方图相似度计算与应用[J].*水土保持研究*,2010,17(3):120-125.

[26] 张加琼,马波,税军峰,等.泰国北部山区土壤侵蚀调查报告[J].*水土保持通报*,2019,39(1):1-8.

[27] 李骛,魏欣,李子轩.土壤侵蚀动态监测中的高分辨率影像土地利用解译精度分析[J].*中国水土保持科学*, 2018,16(3):8-17.

(上接第 63 页)

[27] 孙泉忠,高华端,刘瑞禄,等.黔中喀斯特地区土力学特性对土壤侵蚀的影响[J].*水土保持学报*,2010,24(6):38-41.

[28] 卢嘉,郑粉莉,安娟,等.降雨侵蚀过程中黑土团聚体流失特征[J].*生态学报*,2016,36(8):2264-2273.

[29] 王保一,张荣华,荆莎莎,等.降雨和坡度对路基边坡产流产沙的影响[J].*南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019,43(2):114-120.

[30] 张少博,李建贵,黄俊华,等.坡度对伊犁河流域土壤侵蚀的试验分析[J].*甘肃农业大学学报*,2018,53(1):110-114,123.

[31] 汪之松,唐阳红,方智远,等.山脉地形下击暴流风场数值模拟[J].*湖南大学学报(自然科学版)*,2019,46(3):90-98.

[32] 何俊龄,张金沙,杨莹博,等.高原鼢鼠土丘空间格局及主要特征研究[J].*草业学报*,2006,15(1):107-112.

[33] 李锦荣,郭建英,赵纳祺,等.乌兰布和沙漠流动沙丘风蚀空间分布规律及其影响因素[J].*中国沙漠*,2018,38 (5):32-39.