河北坝上低山区坡地灌丛沙堆表面土壤理化性质

胡国云[1]，郭中领[1]，王仁德[2]，王红菅[1]，邱梦如[1]，周宏岩[3]，高海楼[3]，常春平[1]

（1.河北师范大学 资源与环境科学学院 河北省环境演变与生态建设省级重点实验室，河北 石家庄 050024；
2.河北省科学院 地理科学研究所，河北 石家庄 050011；3.保定长城汽车股份有限公司，河北 保定 071000）

摘　要：[目的] 揭示河北省坝上地区低山坡地不同坡向和坡位小叶锦鸡灌丛沙堆土壤理化性质变化规律，为坡地草地生态环境稳定提供理论依据。[方法] 基于对山坡 638 个灌丛沙堆野外测量和 86 个室内土样分析的数据，运用地统计学和样品室内分析的方法。[结果] (1) 从低山坡脚到坡顶，灌丛沙堆 pH 值、粗砂、中砂和细砂总含量逐渐减少，粉砂、极细砂逐渐增加；有机质、全氮和全磷含量逐渐增加。(2) 迎风坡不同坡位上灌丛沙堆表面颗粒中粗砂、中砂、细砂总含量大于背风坡相同坡位，极细砂和粉砂小于背风坡相同坡位。表面的土壤养分(有机质、全氮和全磷)为迎风坡坡脚大于背风坡坡脚，迎风坡坡中和坡顶的灌丛沙堆土壤养分含量小于背风坡坡中和坡顶灌丛沙堆，但是 pH 值变化与灌丛沙堆养分变化趋势相反。[结论] 受坡位和坡向的影响，灌丛沙堆土壤理化性质空间分布具有一定的差异性。

关键词：河北坝上；灌丛沙堆；坡位和坡向；土壤理化性质

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2016)04-0315-05　　**中图分类号**：P931.3

文献参数：胡国云，郭中领，王仁德，等.河北坝上低山区坡地灌丛沙堆表面土壤理化性质[J].水土保持通报，2016，36(4)：315-319. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.054

Soil Physical and Chemical Properties of Nebkhas on Slopes in Bashang Region of Hebei Province

HU Guoyun[1], GUO Zhongling[1], WANG Rende[2], WANG Hongying[1],
QIU Mengru[1], ZHOU Hongyan[3], GAO Hailou[3], CHANG Chunping[1]

(1. *College of Resources and Environment Sciences, Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Hebei Normal University, Shijiazhuang, Hebei* 050024, *China*; 2. *Institute of Geographical Science, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei* 050011, *China*; 3. *Great Wall Motor Company of Baoding, Baoding, Hebei* 071000, *China*)

Abstract: [Objective] The soil physical and chemical properties of *Caragana* Nebkhas were analyzed in different slope position and slope direction at the he Bashang area of Hebei Province in order to keep the slope eco-environment stabile . [Methods] Investigation data of 638 nebkhass and assay data of 86 soil samples were analyzed by geo-statistics. [Results] From the top to the foot of the investigated hills, contents of coarse sand, medium sand and fine sand and pH value gradually decreased, whereas, contents of clay, silt, organic matter, total N and total P showed an increased trend. Soil particle composition was different for slope wind exposure, the contents of coarse sand, medium sand and fine sand in the windward slope of nebkhas were greater than the corresponding values in the leeward slope; Comparatively, contents of very fine sand and silt were less than that in the leeward slope. Soil nutrients(organic matter, total N and total P content) in the foot of windward slope were greater than that in the foot of leeward slope; However, in the middle and top of the windward slope were less than the corresponding values of the leeward slope. pH value

收稿日期：2015-09-29　　**修回日期**：2015-10-26

资助项目：河北省软科学项目“河北坝上农田防护林空间结构配置与建设对策研究”(13454213D)；国家自然科学基金重点项目(41330746)；国家自然科学基金青年项目(41301291)

第一作者：胡国云(1989—)，女(汉族)，河北省邯郸市人，硕士研究生，研究方向为建设与灾害防治。E-mail：15233611847@163.com。

通讯作者：常春平(1969—)，男(汉族)，河北省康保市人，博士，教授，硕士生导师，主要从事水土保持，环境评价方面的研究与教学工作。E-mail：changchunping@126.com。

had a reverse trend. [Conclusion] Soil properties of nabkhas are different in different slope positions and directions resulted from wind-involved pedogenesis.

Keywords: Bashang region; nebkhas; slope aspects and slope position; soil physical and chemical properties

近年来,由于河北坝上地区过度放牧,农田开垦不合理,加上冬春季节大风频繁,土地风蚀严重[1],在坡地草场上形成了大量的灌丛沙堆,构成了独特的坡地灌丛沙堆景观。坡地草原的灌丛化现象是草地退化的标志之一,小叶锦鸡灌木的入侵破坏了草地生态环境的相对均一性,改变坡地土壤养分和质地、土壤湿度、土壤微生物和坡地周围小气候,导致土壤理化性质的改变。坡地草地灌丛化越来越严重,在一定程度上破坏整个区域坡地生态系统养分平衡,草地覆盖度和生产力下降,进一步影响区域天然草原向灌木草地转变,加剧了草原的荒漠化过程,致使草原生态修复更加困难。目前中国灌丛沙堆的研究多关注高原平坦草地灌丛沙堆演变过程[2-3]、空间分布格局[4-6]、"沃岛效应"[7-10]、生态效应[11]等。对坡地上生长的灌丛沙堆关注程度较低,尤其坡面灌丛沙堆的土壤理化性质变化特征仍不清楚,难以对其进行坡地草原恢复工作。本文通过对河北坝上坡地灌丛沙堆表面土壤进行野外采样和室内分析,对不同坡位和坡向灌丛沙堆土壤理化性质变化特征进行研究,以期为坡地草地恢复、保育及其生态环境稳定提供理论依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于河北省坝上地区的康保县境内(41°25′—42°08′N,114°11′—114°56′E),是中国北方农牧交错带境内中部。研究区受地质构造的影响,东部为缓坡丘陵区,南部波状平原区,北部低山丘陵区[1]。区域属中温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季凉爽且短促,年平均降水量约 300～400 mm,冬春季节风大沙多,风向以偏西风为主,年均 6 级以上大风日达 60 d 左右。

该区土壤类型以沙质、沙砾质粟钙土为主,结构松散、质地较粗、土层较薄。研究区植被大部分是半干旱典型草原类型,主要的建群种是针茅、冰草、隐子草等,一般分布在平均海拔大于 1 400 m 北部低山丘陵区。灌木有小叶锦鸡、枸杞、沙棘等,其中小叶锦鸡分布最广泛,为优势灌木,一般高为 40～70 cm,人工种植可高达 1 m,具有耐干旱、耐盐碱、抗风蚀等特点,在荒草地和低山丘陵区集中分布[7]。

1.2 研究方法

1.2.1 *样地确定及采样* 2014 年 4—5 月对研究区的北部低山坡地小叶锦鸡儿灌丛沙堆分布情况进行大范围的野外调查采样。在大量实地调查基础上,确定康保县西五福堂村西 500 m 和北部照洋河镇后照阳村南 500 m 附近的两座低山坡地作为典型样地进行深入研究。由于研究区冬春季节盛行风向为西北风,因此本研究中将两座山坡的西北坡定义为迎风坡,东南坡定义为背风坡。在迎风坡和背风坡的坡脚、坡中和坡顶各设置 1 个 25 m×25 m 样方,共 12 个样方。在每个 25 m×25 m 的样方中选取一个形态大小、植被盖度、发育程度等比较接近的灌丛沙堆作为采样对象。在每个灌丛沙堆的迎风坡坡脚、迎风坡坡中、坡顶、背风坡坡中、背风坡坡脚、侧坡坡中、侧坡坡脚分别采集表层土样,采样厚度为表层 5 cm,共采集 84 个土样,用来分析沙堆表面土壤理化性质分析(表 1)。

1.2.2 *土壤理化性质测试方法* 土壤样品在室内自然风干,取部分样品过 1 mm 的筛,去除残留的枯落物,用 5 g 土样用于测定 pH 值(水∶土为 5∶1 悬液),分析方法采用电位法测定(PHS-3c 数字酸度计);取部分土样研磨并用 0.25 mm 筛进行筛分用于测定有机质,分析方法采用(重铬酸钾氧化—外加热法)测定;土壤全氮采用凯氏定氮法测定;土壤全磷采用分光光度法;粒度分析采用干筛法。样品测试在河北师范大学分析测试中心进行,数据分析采用 Excel 和 SPSS 13.0 进行。

2 结果与分析

2.1 坡地灌丛沙堆表面土壤粒度特征

坡地灌丛沙堆表面粒度组成以砂粒为主[12],不同坡位和坡向的灌丛沙堆粒级组成差异很大(表 2),灌丛沙堆从坡脚到坡顶,极细砂和粉砂的百分含量显著增加,中砂、细砂和粗砂总含量下降;从不同的坡向上看,迎风坡坡脚、坡中和坡顶的灌丛沙堆极细砂、粉砂百分含量小于背风坡相同坡位,中砂、细砂和粗砂总含量大于背风坡相同坡位总含量。坡地灌丛沙堆土壤颗粒组成的变化,首先是由于坡位和坡向通过影响风速、沙源和风向,使上风向的风蚀物等输送的沙物质粒度在不同坡位和坡向上出现分异;其次不同的坡向和坡位沙堆植物的覆盖度和附生植物的丰富度也影响沙堆表面粒度的分异,从而导致坡脚到坡顶和迎风坡到背风坡灌丛沙堆土壤粒度有变细的特征。

表 1　研究区样地基本情况

位置	坡向	海拔/m	坡度/(°)	沙堆特征	沙堆个数/个	沙堆上植被状况
后照阳村南	背风坡坡脚	1 436	10°	多个沙堆联在一起,形态参数较大	28	小叶锦鸡灌丛生长好,覆盖度大,附生草本植被几乎没有
	背风坡坡中	1 451	15°	沙堆数量变多,形态椭圆,形态参数变小	80	小叶锦鸡灌丛生长良好,覆盖度高,附生草本植物少量生长
	背风坡坡顶	1 455	10°	沙堆参数小,稀疏	50	小叶锦鸡灌丛生长不好,稀疏,覆盖度低,但附生草本植物生长茂盛
	迎风坡坡顶	1 422	10°	形态椭圆,参数小,稀疏	40	小叶锦鸡灌丛生长不好,稀疏,覆盖度低,但附生草本植物生长良好
	迎风坡坡中	1 407	15°	沙堆形态参数比坡脚小,形态椭圆,沙堆数量比坡脚多	63	小叶锦鸡灌丛生长良好,覆盖度好,附生草本植物少量生长
	迎风坡坡脚	1 391	5°	灌丛沙堆形态参数大,多连在一起	28	小叶锦鸡灌丛生长茂盛,覆盖度较大,附生草本植被几乎没有
西五福堂村西	背风坡坡脚	1 421	5°	沙堆形态小,但均匀	55	小叶锦鸡灌丛生长好,覆盖度大,附生草本植被几乎没有
	背风坡坡中	1 415	15°	数量多,形态椭圆、生长稳定	102	小叶锦鸡灌丛生长良好,覆盖度高,附生草本植物少量生长
	背风坡坡顶	1 423	18°	有裸露的石块,沙堆稀疏,形态小	80	小叶锦鸡灌丛生长不好,稀疏,覆盖度低,但附生草本植物生长茂盛
	迎风坡坡顶	1 420	20°	形态参数变小,数量减少	38	小叶锦鸡灌丛生长不好,稀疏,覆盖度低,但附生草本植物生长良好
	迎风坡坡中	1 402	10°	沙堆形态椭圆,参数变小,数量增多	43	小叶锦鸡灌丛生长良好,覆盖度好,附生草本植物少量生长
	迎风坡坡脚	1 391	3°	灌丛沙堆大,很多沙堆连在一起	31	小叶锦鸡灌丛生长茂盛,覆盖度较大,附生草本植被几乎没有

表 2　坡面灌丛沙堆表面土壤颗粒组成　　%

坡向	坡位	粗砂(1～0.5 mm)	中砂(0.5～0.25 mm)	细砂(0.25～0.1 mm)	极细砂(0.1～0.05 mm)	粉砂(<0.05 mm)
迎风坡	坡脚	13.94	17.87	27.82	37.15	3.22
	坡中	6.24	13.81	30.13	44.84	4.98
	坡顶	8.74	9.3	26.06	48.77	7.13
背风坡	坡脚	10.65	16.42	23.22	40.37	9.34
	坡中	9.18	13.69	20.44	46.65	10.04
	坡顶	10.97	10.79	20.58	48.3	9.36

2.2　坡地灌丛沙堆表面有机质变化特征

对不同坡位和坡向的坡地灌丛沙堆土壤有机质含量研究表明,不同坡位和坡向的灌丛沙堆有机质变化差异很大(图 1),从坡脚、坡中到坡顶沙堆有机质含量趋于增加,且迎风坡坡脚到坡顶的沙堆有机质含量增长幅度小,背风坡坡脚到坡顶沙堆有机质增长幅度相对大;从不同的坡向上看,迎风坡坡脚沙堆有机质的含量大于背风坡坡脚沙堆有机质的含量,迎风坡坡中和坡顶灌丛沙堆有机质的含量小于背风坡坡中和坡顶灌丛沙堆有机质含量。这是由于坡地不同坡向和坡位灌丛沙堆土壤质地的差异和沙堆上植物反馈作用,导致沙堆表面土壤的温度、水分、微生物等的改变,也加快沙堆表面凋落物和矿物质的分解速度,增加小叶锦鸡灌木的营养条件,使有机质呈现了空间上的变异。

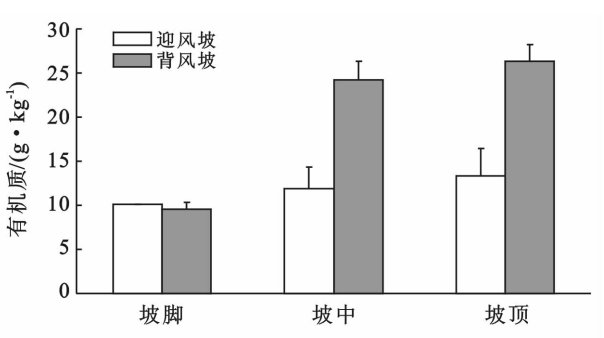


图 1　研究区坡地灌丛沙堆有机质含量变化

2.3 坡地灌丛沙堆表面全氮变化特征

对不同坡位和坡向的坡地灌丛沙堆表面土壤全氮研究表明，不同坡位和坡向的灌丛沙堆全氮差异明显(图 2)。从坡脚到坡顶，沙堆全氮含量增加尤其是背风坡坡脚到坡中灌丛沙堆的全氮含量增加的幅度最大；从不同的坡向看，迎风坡的坡脚处灌丛沙堆的全氮含量大于背风坡的全氮含量，迎风坡坡中和坡顶沙堆全氮含量小于背风坡坡中和坡顶沙堆全氮含量。坡地灌丛沙堆不同坡位和坡向全氮含量的差异与有机质的变化趋势一致，说明坡地沙堆全氮和有机质一样，是由于土壤质地的变异，凋落物的积累、土壤温度、湿度和植物的反馈作用等差异，导致土壤全氮在表层积累的空间变异。

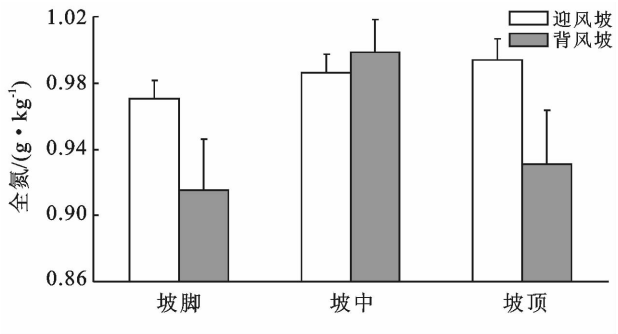


图 2 研究区坡地灌丛沙堆全氮含量的变化

2.4 坡地灌丛沙堆表面全磷变化特征

对不同坡位和坡向的坡地灌丛沙堆表面土壤全磷研究表明，不同坡位和坡向的灌丛沙堆全磷变化特征不明显(图 3)，从坡脚到坡顶灌丛沙堆的全磷含量几乎持平，变化差异小；从不同的坡向来看，迎风坡坡脚灌丛沙堆全磷的含量大于背风坡坡脚，迎风坡坡中及坡顶灌丛沙堆的全磷的含量略小于背风坡坡中和坡脚灌丛沙堆。坡地灌丛沙堆不同坡位和坡向全磷含量的变化特征与有机质和全氮的变化趋势一致，这也是因为沙堆土壤质地、有机质、全氮和植物反馈作用等其他理化性质共同作用的结果。

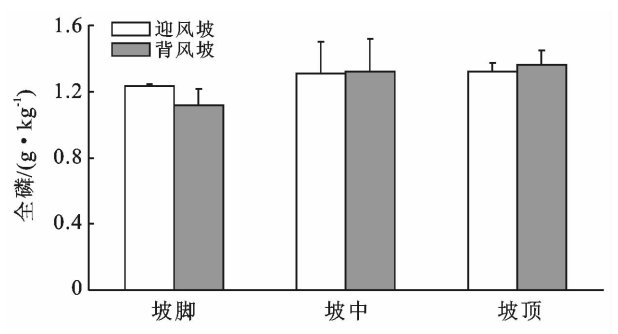


图 3 研究区坡地灌丛沙堆全磷含量变化

2.5 坡地灌丛沙堆 pH 变化特征

对不同坡位和坡向的坡地灌丛沙堆表面土壤 pH 研究表明(图 4)，坡地灌丛沙堆整体呈现弱碱性。从坡脚到坡顶 pH 值逐渐下降；从不同坡向来看，迎风坡坡脚小于背风坡脚灌丛沙堆 pH 值，迎风坡坡中和坡顶灌丛沙堆 pH 值大于背风坡相对坡位灌丛沙堆 pH 值。由于在沙堆形成发育过程中，沙堆由表面初期的物理结皮逐渐发育成了有机结皮，有机结皮的形成使地表土壤持水性能、土壤温度、湿度、物理、化学性质等状况产生了差异，同时从坡脚到坡顶灌丛沙堆大量一年生草本植物覆盖度增加，它们的光合和呼吸作用加强，分泌的有机酸及根际微生物分解物不断积累导致 pH 值从坡脚到坡顶不断减低，但酸化程度较弱。背风坡坡脚植物覆盖度小于迎风坡坡脚，植物的分泌的有机酸、凋落物和根际微生物小于迎风坡坡脚；反之，背风坡坡中和坡顶土壤粒度及植物覆盖度大于迎风坡，所以背风坡坡中和坡顶灌丛沙堆 pH 值小于迎风坡坡中和坡顶灌丛沙堆。

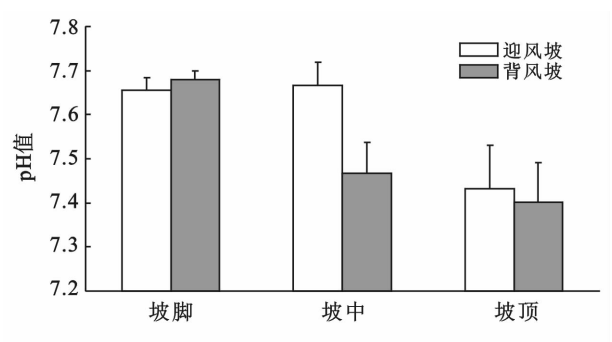


图 4 研究区坡地灌丛沙堆 pH 值变化

3 讨 论

3.1 坡位对坡地灌丛沙堆表面土壤理化性质的影响

坡地灌丛沙堆从坡脚、坡中到坡顶，其粗砂、中砂和细砂总量逐渐减少，极细砂和粉砂逐渐增加，有机质、全氮、全磷出现了增加的趋势，pH 值却出现减少的趋势。这与贾晓红等人对沙坡头流沙固定过程中土壤性质变化的研究和杜建会等对民勤绿洲不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面土壤理化性质研究结果较一致[3,14]。贾宝全等[15]对甘肃省民勤沙区土壤结皮理化性质研究也表明，白刺灌丛沙堆围封后能够显著的促进物理结皮变成有机结皮，也促使有机结皮中的有机质、全氮、全磷、速效氮等养分含量的提高。有机质、全氮和全磷在坡顶含量均显著大于其他坡位，首先，由于坡顶灌丛沙堆土壤极细砂和粉砂大于其他坡位(表 2)，坡顶灌丛沙堆表面土壤颗粒组成的变化，造成土壤持水性的改变，一定程度上影响了土壤水的

再分配过程,使得灌丛沙堆表面从原来疏松、渗透性强的砂粒土层变为持水性较强、渗漏缓慢和变浅的表面,使小叶锦鸡灌木生长受到限制,生长矮小、稀疏,而坡顶沙堆表面附生的一年生草本得到繁衍;其次,这种一年生的草本植物增加沙堆表面凋落物的含量,沙堆植被盖度的增加也减弱了风力对于沙堆表面养分的侵蚀,改善了沙堆表面的小气候,也有利于沙堆表面凋落物分解。而坡脚灌丛沙堆土壤不仅极细砂、粉砂含量均显著低于坡中和坡顶,沙堆土壤含水量低,容重大,而且沙堆表面的小叶锦鸡灌木生长茂盛,几乎没有别的草本植物生长,沙堆凋落物的含量小,再加上人和动物的破坏,可能导致沙堆表面土壤养分亏损,因此从坡脚到坡顶灌丛沙堆有机质、全氮和全磷含量增大。但 pH 值和灌丛沙堆养分变化趋势相反,这是因为坡顶灌丛沙堆一年生的草本植物生长繁盛,它们经过呼吸作用和光合作用分泌大量有机酸,坡中和坡脚灌丛沙堆一年生的草本植物小于坡中,分泌的有机酸小于坡顶,所以从坡脚到坡顶灌丛沙堆 pH 值下降。

3.2　坡向对坡地灌丛沙堆土壤理化性质的影响

迎风坡坡脚土壤粒度极细砂和粉砂小于背风坡坡脚,但其表面的土壤养分为迎风坡坡脚大于背风坡坡脚,这因为迎风坡坡脚灌丛沙堆单体体积大、植被覆盖度大于背风坡坡脚灌丛堆,茂盛沙堆植物截留了大气运动带来的营养物质和植物的凋落物,有利于迎风坡坡脚灌丛沙堆养分的聚集,这一结果与 Dougill 等[16]对南非的 Molopo 盆地灌丛沙堆养分主要来自于植被的反馈作用研究结论相一致。除了迎风坡坡脚外,迎风坡坡中、坡顶灌丛沙堆有机质、全氮、全磷含量小于背风坡坡中、坡顶灌丛沙堆。首先,背风坡坡中和坡顶沙堆土壤粒度含组成变化外,造成沙堆化学性质空间变异;其次,由于迎风坡风速大,不仅对外来的凋落物难以捕获,本身的凋落物也会在强风的作用下大量损失,原来形成的微环境被破坏,凋落物分解速度降低,加之其人为条件的破坏,也会影响到土壤微生物的生存,因此,迎风坡坡中和坡顶的灌丛沙堆土壤养分含量小于背风坡坡中和坡顶灌丛沙堆。pH 值和灌丛沙堆养分变化趋势相反,这因为养分高的沙堆,植物生长茂盛,分泌的有机酸多,pH 值就会减少。

4　结 论

(1) 坡地灌丛沙堆从坡脚到坡顶,其粗砂、中砂、细砂总含量和 pH 值逐渐减少,极细砂、粉砂、有机质、全氮、全磷增加,并且在坡顶处达到最大;迎风坡坡脚、坡中和坡顶灌丛沙堆粒度变化规律一致,均为迎风坡粗砂、中砂、细砂总含量大于背风坡,极细砂、粉砂含量小于背风坡,其次,除了迎风坡坡脚灌丛沙堆有机质、全氮和全磷大于背风坡坡脚灌丛沙堆,pH 值小于背风坡坡脚灌丛沙堆。迎风坡坡中、坡顶的有机质、全氮、全磷均小于背风坡坡中和坡顶灌丛沙堆,pH 值为迎风坡坡中和坡顶灌丛沙堆大于背风坡坡中和坡顶灌丛沙堆。

(2) 坡地灌丛沙堆生态景观环境不但在防风固沙方面具有重要意义,也影响坡地土壤理化性质空间变异。首先,坡地灌丛沙堆增加了坡面粗糙度,风沙流在移动过程中遇到的阻力增大,大幅度降低风速和输沙率。其次,沙堆的存在,使坡地的微环境产生了很大的分异,背风坡和迎风坡沙堆表面土壤机械组成不同,造成沙堆的水分、温度和微生物环境的改变,微环境条件的改变,引起不同坡向和坡位沙堆土壤理化性质空间变异,背风坡(阳坡)的温热条件得以加强,干燥性有所增强;迎风坡(阴坡)蒸散强度下降,同时沙堆植物的覆盖度和沙堆表面的凋落物也对沙堆土壤理化性质变异起到一定作用。

(3) 坡地灌丛沙堆土壤理化性质空间变异规律对典型低山坡地草原区防止沙漠化,恢复生态环境具有理论指导的意义。可以根据这种空间变异规律在土地退化严重的坡地荒草地上种植小叶锦鸡儿,不仅增加土层厚度,提高土壤肥力,还能改善局部小气候。

[参 考 文 献]

[1] 康玉梅.河北坝上缓坡耕地土壤风蚀特征研究[D].河北石家庄:河北师范大学,2013.

[2] 武胜利,李志忠,惠军,等.和田河流域灌(草)丛沙堆的形态特征与发育过程[J].地理研究,2008,27(2):314-322.

[3] 杜建会,严平,俄有浩.甘肃民勤不同演化阶段白刺灌丛沙堆表面理化性质研究[J].中国沙漠,2009,29(2):248-253.

[4] 张展赫,来风兵,陈蜀江,等.和田河西侧胡杨沙堆的三维形态特征及空间自相关性[J].水土保持研究,2015,22(3):137-149.

[5] 贾晓红,李新荣.腾格里沙漠东南缘不同生境白刺(*Nitraria*)灌丛沙堆的空间分布格局[J].环境科学,2008,29(7):2046-2053.

[6] 杨帆,王雪芹,何清,等.绿洲—沙漠过渡带柽柳灌丛沙堆形态特征及空间分布格局[J].干旱区研究,2014,31(3):556-563.

[7] 崔楠,吕光辉,刘晓星,等.胡杨、梭梭群落土壤理化性质及其相互关系[J].干旱区研究,2015,32(3):476-482.

(下转第 325 页)

(3) 从冻融侵蚀形式及危害看,北部的大小兴安岭山区冻融侵蚀主要表现为寒冻石流、冻胀丘、冰湖径流[22]等侵蚀形式,其危害主要是冻融侵蚀形成大面积的石流,破坏植被,埋压表层腐殖质,加速山区石漠化,特别是大小兴安岭是松嫩平原的屏障,植被的破坏对黑龙江省的生态环境影响巨大。大小兴安岭南部的黑土区冻融侵蚀主要表现为融雪侵蚀、侵蚀沟岸冻裂融塌侵蚀、融冻泥流侵蚀等形式[22],其危害主要是剥蚀黑土,侵吞耕地,破坏黑土资源,降低土地生产力,危及农业生产的可持续发展。

[参 考 文 献]

[1] 陈雷,焦居仁,刘震,等. 中国土壤侵蚀图册[M]. 北京:中国标准出版社,2002.

[2] 范昊明,蔡强国. 冻融侵蚀研究进展[J]. 中国水土保持科学,2003,1(4):50-55.

[3] 李辉霞,刘淑珍,钟祥浩,等. 基于 GIS 的西藏自治区冻融侵蚀敏感性评价[J]. 中国水土保持,2005(7):44-46.

[4] 唐克丽. 中国土壤侵蚀与水土保持学的特点及展望[J]. 水土保持研究,1999,6(2):2-7.

[5] 张建国,刘淑珍. 界定西藏冻融侵蚀区分布的一种方法[J]. 地理与地理信息科学,2005,21(2):32-34.

[6] 黑龙江省统计局,国家统计局黑龙江调查总队. 黑龙江省统计年鉴 2012 年[S]. 北京:中国统计出版社,2012.

[7] 黑龙江省人民政府. 黑龙江[EB/OL]. 中华人民共和国中央人民政府,2005.

[8] 熊毅,李庆奎. 中国土壤 [M]. 2 版. 北京:科学出版社,1987:20-28.

[9] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全:东北黑土区卷[M]. 北京:科学出版社,2010:254-269.

[10] 水利部水土保持司. 水土保持技术规范[S]. 北京:中国标准出版社 1985.

[11] 周绍飞,胡宝军,裴敬霞. 黑龙江省冻土的时空分布[J]. 黑龙江水利科技,2009,37(1):16-17.

[12] 张建国,刘淑珍,杨思全. 西藏冻融侵蚀分级评价[J]. 地理学报,2006,61(9):911-918.

[13] 孙中峰,宋朝峰,李文淑,等. 浅析冻融侵蚀机理与防治对策[J]. 黑龙江省水专学报,1999,26(3):34-35.

[14] 顾亚清,黄永江,魏学文. 北引渠道冻融侵蚀因素分析[J]. 黑龙江水利科技,2004,31(1):37-37.

[15] 董瑞琨,许兆义,杨成永. 青藏高原冻融侵蚀动力特征研究[J]. 水土保持学报,2000,14(4):12-16.

[16] 景国臣,任宪平,刘绪军,等. 东北黑土区冻融作用与土壤水分的关系[J]. 中国水土保持科学,2008,6(5):32-36.

[17] 刘佳,范昊明,周丽丽,等. 春季解冻期降雨对黑土坡面侵蚀的影响研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):64-67.

[18] 王风,韩晓增,李良皓,等. 冻融过程对黑土水稳性团聚体含量的影响[J]. 冰川冻土,2009,31(5):915-919.

[19] 刘佳,范昊明,周丽丽,等. 冻融循环对黑土容重和孔隙度影响的试验研究[J]. 水土保持学报,2009,23(6):186-189.

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

[21] 王洋,刘景双,王国平,等. 冻融作用与土壤理化效应的关系研究[J]. 地理与地理信息科学,2007,23(2):91-96.

[22] 景国臣,任宪平,刘丙友,等. 黑龙江省冻融侵蚀形式及其危害[J]. 中国水土保持科学,2003,1(3):99-101.

(上接第 319 页)

[8] 苏永中,赵哈林,张铜会. 几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制的研究[J]. 应用生态学报. 2002,13(7):802-806.

[9] 陈鸿洋. 荒漠区红砂灌丛“肥岛”效应及其固碳特征[D]. 甘肃 兰州:兰州大学,2014.

[10] 郑敬刚,张本昀,何明珠,等. 灌丛化对贺兰山西坡草场土壤异质性的影响[J]. 干旱区研究,2009,26(1):26-30.

[11] Hesp P, Mclachlan A. Morphology, dynamics, ecology and fauna of *Arctotheca populifolia*, and *Gazania* rigens, nabkha dunes[J]. Journal of Arid Environments, 2000, 44(44):155-172.

[12] 王乐,李改欣,王仁德,等. 半干旱农田灌丛沙堆形态及沉积特征[J]. 水土保持研究,2014,21(1):76-80.

[13] 朱永磊. 河北主要土壤肥力质量时空变异及评价研究[D]. 河北 保定:河北农业大学,2014.

[14] 贾晓红,李新荣,王新平. 流沙固定过程中土壤性质变异初步研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):46-50.

[15] 贾宝全,张红旗,张志强,等. 甘肃省民勤沙区土壤结皮理化性质研究[J]. 生态学报,2003,23(7):1442-1448.

[16] Dougill A J, Thomas A D. Nebkha dunes in the Molopo Basin, South Africa and Botswana: Formation controls and their validity as indicators of soil degradation [J]. Journal of Arid Environments, 2002, 50(3): 413-428.