

不同规格可降解沙障铺设 5 年后土壤粒度及有机质特征

崔健, 党晓宏, 汪季, 张超, 李婉娇, 靳灵娜

(内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 呼和浩特 010018)

摘要:为了探究可降解沙障铺设 5 a 后土壤粒度及有机质含量特征,采集库布齐沙漠东南缘铺设 5 a 后不同规格(0.5 m×0.5 m, 1 m×1 m 和 2 m×2 m)、不同坡位(坡底、坡中、坡顶)的 PLA 沙障内近地表层(0—3 cm)土壤样品,通过激光粒度仪测试并分析了土壤粒度、有机质含量的变化情况及二者的相关性。结果表明:(1) PLA 沙障内主要以细砂和粗砂为主,随着铺设规格的增加细砂含量逐渐增加,2 m×2 m(80.66%)>1 m×1 m(75.8%)>0.5 m×0.5 m(45.15%),每种规格坡顶处细砂含量最高分别为 23.39%, 31.73%, 41.17%,坡中粗砂含量最高分别为 44.91%, 36.42%, 42.88%。(2) 障格内分选性均变差,峰态偏离正态分布,沉积物颗粒频率分布曲线部分波段变窄,表层颗粒逐渐细粒化。(3) 土壤有机质含量表现出 1 m×1 m>0.5 m×0.5 m>CK>2 m×2 m 的规律;3 种规格有机质含量均表现为坡底>坡中>坡顶;且极细砂与有机质含量呈现显著正相关,与中砂呈现显著负相关。上述结果说明,对于本研究区内,铺设 5 a 后 1 m×1 m 规格 PLA 沙障防护效益更优,且 1 m×1 m 规格和坡底处有利于有机质的积累,极细砂和中砂是有机质积累的关键粒级。

关键词:PLA 沙障;表层沉积物;粒度特征;土壤有机质;库布齐沙漠

中图分类号:S152.3; S151.9⁺3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)02-0092-07

Characteristics of Soil Particle Size and Organic Matter After Five Years of Laying Different Specifications of Degradable Sand Barriers

CUI Jian, DANG Xiaohong, WANG Ji, ZHANG Chao, LI Wanjiao, JIN Lingna

(College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: In order to investigate the characteristics of soil grain size and organic matter content after the bio-degradable sand barrier was laid for 5 years, soil samples of 0—3 cm in the PLA sand barrier with different sizes (0.5 m×0.5 m, 1 m×1 m and 2 m×2 m) and different slope positions (bottom, middle and top) were collected in the southeastern edge of the Kubuqi Desert. The change of soil particle size determined by laser particle size analyzer and organic matter content and their correlation were analyzed. The results are as follows: (1) the soil in PLA sand barrier is mainly composed of fine sand and coarse sand. With the increase of laying specifications, the content of fine sand increases gradually, and the content decreases in the order: 2 m×2 m(80.66%)>1 m×1 m(75.8%)>0.5 m×0.5 m(45.15%); the highest contents of fine sand at the slope tops of 3 specification sand barriers are 23.39%, 31.73% and 41.17%, respectively; the highest contents of coarse sand in middles slope are 44.91%, 36.42% and 42.88%, respectively; (2) the uniformity of sorting in the barrier becomes worse, and the peakness deviates from the normal distribution; some bands of frequency distribution curve of sediment particles become narrower, and the surface particles become coarse-grained gradually; (3) the soil organic matter contents decreases in the order: 1 m×1 m>0.5 m×0.5 m>CK>2 m×2 m; the organic matter contents in the slopes of the three specifications showed the order of bottom>middle>top; there is a significant positive correlation between the content of organic matter and

收稿日期:2021-02-07

修回日期:2021-04-18

资助项目:国家重点研发专项“不同气候区固沙新材料研发、筛选与施配技术及效果研究”(2018YFC0507101);内蒙古自治区研究生科研创新项目(BZ2020048)

第一作者:崔健(1997—),男,内蒙古巴彦淖尔人,硕士研究生,研究方向为荒漠化防治。E-mail:517632533@qq.com

通信作者:汪季(1957—),男,山东济南人,教授,博士生导师,主要从事荒漠化防治研究。E-mail:wangji1957@126.com

very fine sand, and a significant negative correlation between the content of organic matter and medium sand. The above results indicate that 1 m×1 m PLA sand barrier has better protection efficiency in this study area, 1 m×1 m PLA sand barrier and slope bottom are conducive to organic matter accumulation, and very fine sand and medium sand are the key grain sizes for organic matter accumulation.

Keywords: PLA sand barrier; surface sediment; grain size characteristics; soil organic matter; Kubuqi Desert

PLA 沙障是一种新型的可降解沙障。对于它的研究目前主要涉及到防风固沙效益、降解性能、铺设方式等方面。党晓宏等^[1]通过对比 PLA 沙障和麦草沙障后发现,PLA 沙障防风效能显著大于麦草沙障。在 PLA 沙障降解性能方面,风沙吹蚀活动是影响 PLA 沙障材料降解的主要因素^[2-4]。PLA 沙障影响近地表风速的同时,进而影响沙丘表层土壤理化性质,目前针对 PLA 沙障内土壤粒度特征方面的研究,党晓宏等^[5]对 PLA 沙障障内 0—11 cm 的土壤采样并试验,结果发现铺设 PLA 沙障后表层土壤粒径增大,坡顶处土壤粒径变化最大,表层土壤粒径变化最大;丁延龙等^[6]通过研究发现铺设 PLA 沙障后表层土壤出现粗粒化现象。PLA 沙障使用寿命一般在 8~10 a,前人只是对刚铺设后或铺设 1~2 a 后障格内的土壤粒度进行了研究,而铺设 5 a 后的土壤粒度呈现一种什么样的特征,目前还尚未明确。同时在铺设 5 a 以后,随着风沙活动沙物质沉积、搬运、再沉积、再搬运这一循环的过程中,对于有机质是否发生积累或者流失还没有明确研究,与土壤粒度存在一种怎样的关系到目前为止也尚未清晰。

基于此,本文以库布齐沙漠东南缘铺设 5 a 后的 PLA 沙障为研究对象,以未铺设 PLA 沙障的裸沙丘为对照,通过分析不同规格 PLA 沙障障格内表层沉积物粒度及有机质含量,明晰铺设 5 a 后不同规格 PLA 沙障内土壤理化性质如何变化,对土壤粒度和有机质特征进行深入分析的同时对二者相关性进行分析,探究二者存在一种怎样的联系,根据最后得出的结论为区域土壤质量评价与管理以及风蚀防治提供基础数据和科学依据。

1 研究区概况

研究区位于库布齐沙漠东南缘,地理坐标 106°55′16″—109°16′08″E,39°22′22″—40°52′47″N,属于温带大陆性半干旱气候,多年平均降水 311.8 mm,全年盛行西风 and 西北风,年平均风速 2.8 m/s,土壤类型主要有栗钙土、棕钙土和灰漠土;天然植被以沙生植物为主,主要有沙拐枣(*Calligonum arborescens*)、黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)、羊柴(*Hedysarum mongolicum*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)。

2 材料与方法

2.1 样地选择与样品采集

选取库布齐沙漠东南缘铺设 5 a 的 PLA 沙障作为研究对象,以未铺设 PLA 沙障的流动沙丘作为对照,于 2020 年 7 月采用 5 点取样法,分别采集 3 种规格 PLA 沙障(0.5 m×0.5 m,1 m×1 m,2 m×2 m)、裸沙丘 4 种样地、3 个坡位(迎风坡底、坡中、坡顶)0—3 cm 近地表土样,每种规格内各个坡位设置 3 个障格为 1 组重复,重复取样 3 次,将所取土样装入塑封袋带回实验室进行后处理。

将所有土样去除根系和枯落物等杂质后过 2 mm 筛,加体积分数为 30% 的 H₂O₂ 去除土壤中的有机质;加体积分数为 10% 的 HCL 溶液煮沸去除土壤中的碳酸盐;加去离子水稀释并静置 12 h,去除上清液,并反复进行稀释,直至 pH 值为 6.5~7.0;加六偏磷酸钠,在超声波环境下进行 30 s 处理,用激光粒度仪测量土壤粒径的体积分数此试验土壤粒径分级标准采用美国制分级标准^[7]。有机质含量将待测土壤过 0.15 mm 筛后采用常规的重铬酸钾容量法-稀释热法测定^[8]。

2.2 粒度参数

采用伍登-温德华粒级标准,根据克鲁宾对数转化法,分别将先前输出的各土壤颗粒累积体积分数对应的颗粒直径进行转换,有利于计算 Φ 值^[9],见公式(1)。

$$\Phi = -L = -\log_2 D \quad (1)$$

通过克伦拜因和福克计算累计频率曲线图上累计百分含量 5%,10%,16%,25%,50%,75%,84%,95% 所对应粒度对数值 $\Phi_5, \Phi_{16}, \Phi_{25}, \Phi_{50}, \Phi_{75}, \Phi_{84}, \Phi_{95}$, 据此计算粒度特征参数^[9],见公式(2)~(6)。

平均粒径(d_0)反映沙物质粒度平均状况的参数, d_0 越大,表示细粒物质越多。计算公式为:

$$d_0 = \frac{1}{3}(\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) \quad (2)$$

标准偏差(σ_0)反映沙物质粒径分布的分散程度, σ_0 越小,颗粒越均匀,粒径分配的分散程度就越小。根据取值范围划分 7 个分选级别(从集中至分散):分选极好($\sigma_0 \leq 0.35$)、分选好($0.35 < \sigma_0 \leq 0.50$)、分选较好($0.50 < \sigma_0 \leq 0.71$)、分选中等($0.71 < \sigma_0 \leq 1.00$)、分选较差($1.00 < \sigma_0 \leq 2.00$)、分选差($2.00 < \sigma_0 \leq 4.00$)、

分选极差($\sigma_0>4.00$)。计算公式为:

$$\sigma_0=\frac{1}{4}(\Phi_{84}-\Phi_{16})+\frac{1}{6,6}(\Phi_{95}-\Phi_5)$$

(3)

偏度(S_0)反映了沙物质粒度粗细分配的对称性,根据取值范围分 5 个偏度等级,从细粒物质占比大过渡到粗粒物质占比较大:极负偏度($-1.0\leq S_0\leq -0.3$)、负偏度($-0.3<S_0\leq -0.1$)、近于对称($-0.1<S_0\leq 0.1$)、正偏度($0.1<S_0\leq 0.3$)、极正偏度($0.3<S_0\leq 1.0$)

$$S_0=\frac{\Phi_{16}+\Phi_{84}-2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84}-\Phi_{16})}+\frac{\Phi_5+\Phi_{95}-2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95}-\Phi_5)}$$

(4)

峰态值(K_0)反映颗粒粒度的集中程度,根据取值范围分 6 个峰度等级,从比较分散过渡到比较集中:很宽平($K_0\leq 0.67$)、宽平($0.67<K_0\leq 0.90$)、中等($0.90<K_0\leq 1.11$)、尖窄($1.11<K_0\leq 1.56$)、很尖窄($1.56<K_0\leq 3.00$)、极尖窄($K_0>3.00$)

$$K_0=\frac{\Phi_{95}-\Phi_5}{2.44(\Phi_{75}-\Phi_{25})}$$

(5)

2.3 数据处理与分析

采用 Excel 2010 进行前期的数据统计和处理工作,运用 Origin 2019b 和 IBM SPSS Statistics 25 软件对不同规格的 PLA 沙障障格内表层沉积物粒度组成及有机质含量进行单因素方差分析(One-way ANOVO),采用最小显著差异法(LSD)进行差异显

著性检验,置信区间为 95%。

3 结果与分析

3.1 不同规格 PLA 沙障表层沉积物极配特征

由表 1 可以看出,土壤颗粒组成主要以细砂和粗砂为主。首先,裸沙丘土壤颗粒以细砂和中砂为主,黏粒和粉砂含量很少接近 0,细砂含量为 33.95%~41.85%,中砂含量为 34.41%~39.83%。3 种规格沙障障格内土壤颗粒变化情况相比于裸沙丘均表现为细砂、中砂含量降低,中砂含量依次为 0.02%~0.56%,0.1%~1.23%,0.37%~3.78%,细砂含量为 10.50%~23.39%,18.83%~31.73%,13.28%~41.17%,细砂含量随着铺设规格的增加而增加;粗砂和极粗砂含量随着铺设规格的增加而减少,粗砂含量分别为 33.71%~44.91%,25.50%~36.42%,17.53%~42.88%;极粗砂含量依次为 35.72%~38.93%,30.21%~35.61%,28.31%~38.24%。其次,每种障格内不同坡位土壤颗粒含量也存在一定差异,3 种规格沙障内坡顶处细砂含量均为最高依次为 23.39%,31.73%,41.17%,且在 1 m×1 m 和 2 m×2 m 规格障格内细砂含量均呈现出坡顶>坡底>坡中的规律,坡中粗砂和极粗砂含量均表现为最高,粗砂含量依次为 44.91%,36.42%和 42.88%,极粗砂含量依次为 38.93%,35.61%,38.24%。

表 1 不同规格 PLA 沙障表层沉积机械组成 %

类型	坡位	黏粒	粉砂	砂砾				
				极细砂	细砂	中砂	粗砂	极粗砂
CK	坡底	0.00	0.00	0.00	41.85±11.76a	35.98±6.67a	13.52±4.46b	8.63±2.25b
	坡中	0.00	0.00	0.00	40.34±16.13a	39.83±8.38a	10.08±4.47a	9.77±3.40b
	坡顶	0.6±0.96b	0.00	0.15±0.21b	33.95±1.32a	34.41±1.15a	18.94±1.26a	11.96±2.21b
0.5 m×0.5 m	坡底	4.26±1.37a	7.58±2.50ab	1.38±0.40a	10.50±2.3ab	0.02±0.01b	40.56±8.97a	35.72±2.81a
	坡中	1.88±0.45b	2.43±0.53b	0.37±0.28a	11.26±3.11b	0.21±0.16b	44.91±6.66a	38.93±1.49a
	坡顶	2.84±0.70a	3.20±0.89a	0.47±0.13a	23.39±2.54a	0.56±0.26b	33.71±11.22a	35.80±3.66a
1 m×1 m	坡底	6.62±2.02a	10.96±3.62a	1.35±0.13a	25.24±4.22b	0.1±0.17b	25.50±4.13ab	30.21±5.93a
	坡中	3.07±0.71a	4.38±1.57a	0.38±0.19a	18.83±2.11b	1.23±1.19b	36.42±1.74a	35.61±3.04a
	坡顶	3.58±0.99a	3.55±0.79a	0.36±0.09ab	31.73±3.53a	0.96±1.19b	26.38±1.71a	33.50±4.58a
2 m×2 m	坡底	4.12±1.18a	5.78±1.96b	0.55±0.12b	26.21±4.87ab	0.74±1.07b	28.87±4.03ab	33.71±4.97a
	坡中	2.26±0.59ab	2.55±0.63b	0.37±0.25a	13.28±8.00b	0.37±0.65b	42.88±7.57a	38.24±2.01a
	坡顶	4.30±1.03a	4.72±1.36a	0.16±0.02b	41.17±7.81a	3.78±3.49b	17.53±4.26a	28.31±9.44a

注:不同小写字母表示同一坡位不同规格该种颗粒含量在不同规格沙障内差异显著($p<0.05$),下表同。

3.2 不同规格 PLA 沙障沉积物频率分布曲线

从图 1 可以看出,4 种样地 3 个坡位的土壤颗粒频率分布曲线总体走向一致,但个别存在一定的差异。3 种规格 PLA 沙障内和裸沙丘沉积物颗粒频率分布曲线均为多峰型曲线,3 种规格分布曲线在<100 μm,100~1 000 μm和>1 000 μm 这 3 种范围内均出现波峰。3 种坡位的颗粒频率分布曲线图中在 10 μm 附近均有明显的凸起,且土壤体积百分含量均高于裸沙丘,由表 1 可知,在此范围内是由于黏粒和粉砂含量增加;在 100~

1 000 μm 范围内,3 种坡位均呈现出障格内土壤颗粒粒径相比裸沙丘土壤颗粒粒径都具有明显减小的趋势,但其含量却存在一定的差异,图 1A 和图 1B 中 3 种障格内土壤体积百分含量显著低于裸沙丘土壤体积百分含量,在坡底土壤体积百分含量由高到低依次为 2 m×2 m>1 m×1 m>0.5 m×0.5 m,在坡中 3 种障格内表现为 1 m×1 m 土壤体积百分含量最高,其余 2 种规格土壤体积百分含量基本一致无明显差异,但在图 1C 中 3 种障格内土壤体积百分含量与裸沙丘土壤体

积百分含量并无差异;在 $>1\,000\,\mu\text{m}$ 范围内土壤体积百分含量变化明显,处于 3 种坡位内不同规格障格中土壤体积百分含量均显著高于裸沙丘土壤体积百分含量,且在此范围内 $0.5\,\text{m}\times 0.5\,\text{m}$ 规格的土壤体积百分含量均为最多且高于其余 2 种规格。

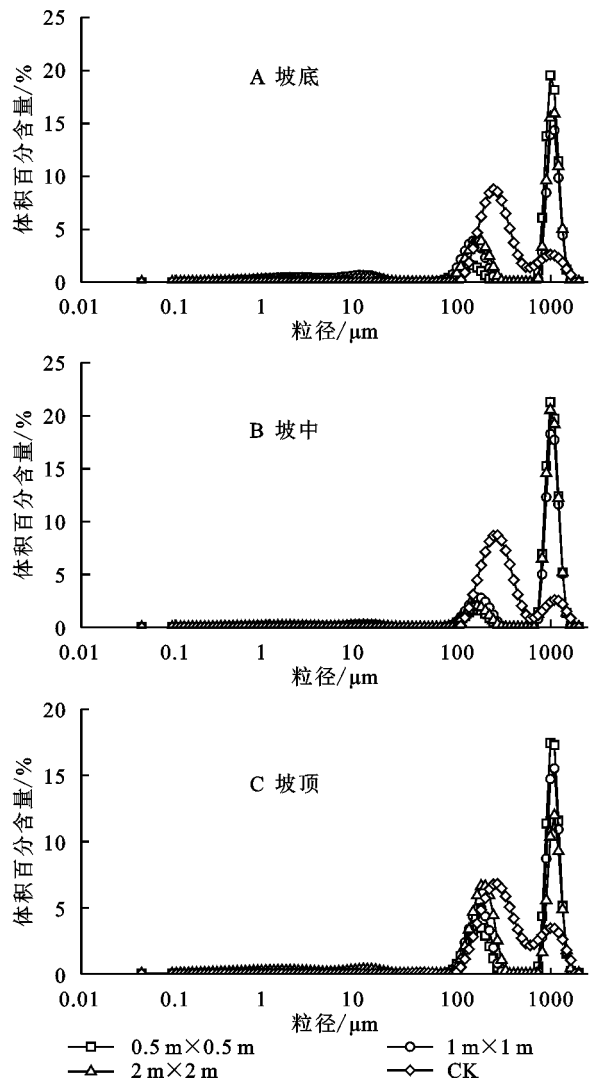


图 1 PLA 沙障内表层土壤颗粒频率分布曲线

累积频率分布曲线能反映土壤颗粒的分布情况,通常曲线越陡,颗粒分布越均匀。图 2 粒径 $<100\,\mu\text{m}$ 时,沙障规格越小,障格内土壤颗粒分布越均匀,由图 2C 可以看出,位于坡顶时土壤颗粒累积情况发生明显的变化,随着沙障规格的增加障格内土壤颗粒分布越均匀,土壤分布均匀程度由高到低依次为 $2\,\text{m}\times 2\,\text{m}$, $1\,\text{m}\times 1\,\text{m}$, $0.5\,\text{m}\times 0.5\,\text{m}$, CK; 当粒径 $>100\,\mu\text{m}$ 时,3 种规格内土壤颗粒累积分布均低于裸沙丘,相反,在坡底和坡中是 $1\,\text{m}\times 1\,\text{m}$ 规格内土壤颗粒分布最均匀,在坡顶 $2\,\text{m}\times 2\,\text{m}$ 规格内土壤颗粒分布最均匀,在 3 种坡位中 $0.5\,\text{m}\times 0.5\,\text{m}$ 规格内土壤颗粒分布情况是最差的。

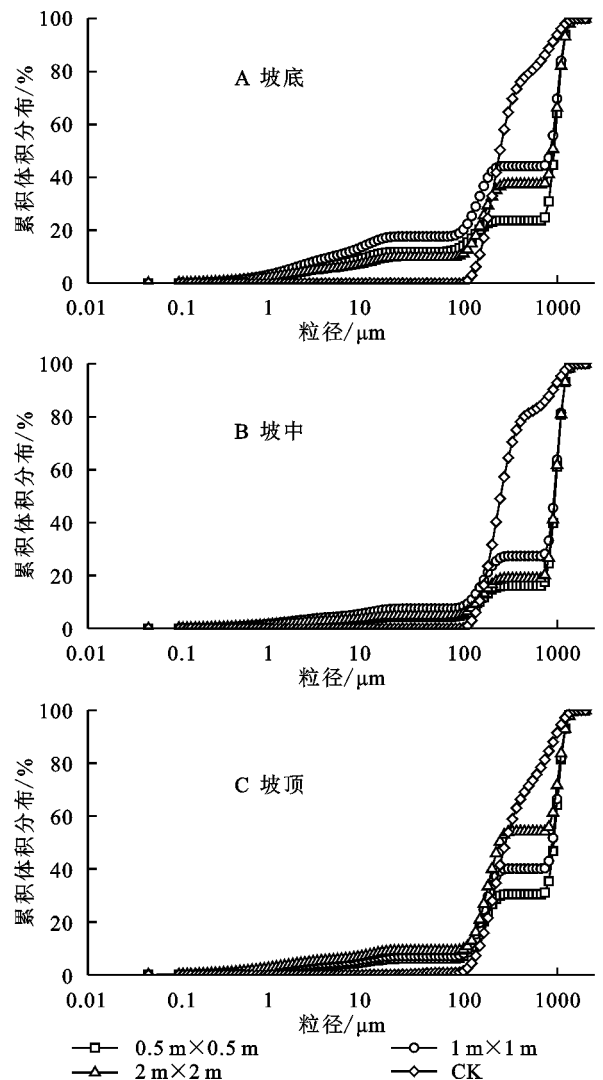


图 2 PLA 沙障内表层土壤颗粒累积频率曲线

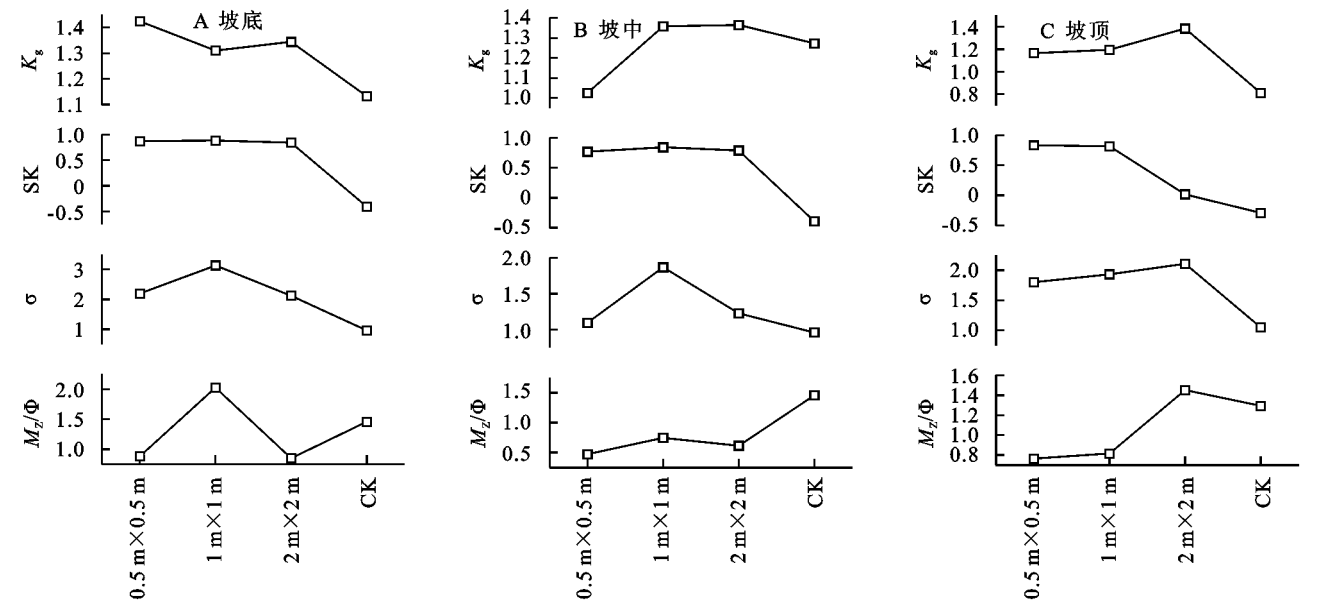
3.3 不同规格 PLA 沙障沉积物粒度参数

按 Folk-Ward 图解法的划分标准,CK 表层沉积物平均粒径为 $1.293\sim 1.458\,\Phi$,均值为 $1.402\,\Phi$, $0.5\,\text{m}\times 0.5\,\text{m}$, $1\,\text{m}\times 1\,\text{m}$, $2\,\text{m}\times 2\,\text{m}$ 平均粒径为 $0.474\sim 0.881\,\Phi$, $0.745\sim 2.028\,\Phi$, $0.613\sim 1.451\,\Phi$,均值分别为 $0.707\,\Phi$, $1.197\,\Phi$, $0.971\,\Phi$;裸沙丘沉积物分选系数为 $0.96\sim 1.047$,均值为 0.990 , $0.5\,\text{m}\times 0.5\,\text{m}$, $1\,\text{m}\times 1\,\text{m}$, $2\,\text{m}\times 2\,\text{m}$ 规格沙障内沉积物分选系数分别为 $1.096\sim 2.194$, $1.868\sim 3.131$, $1.227\sim 2.121$,均值分别为 1.697 , 2.310 , 1.835 ;裸沙丘沉积物偏度 $-0.404\sim -0.293$,均值为 -0.363 ,为负偏度。 $0.5\,\text{m}\times 0.5\,\text{m}$, $1\,\text{m}\times 1\,\text{m}$, $2\,\text{m}\times 2\,\text{m}$ 规格障内沉积物偏度分别为 $0.769\sim 0.871$, $0.819\sim 0.884$, $0.016\sim 0.841$,均值分别为 0.825 , 0.849 , 0.549 ,裸沙丘表层沉积物峰态值为 $0.810\sim 1.273$,均值为 1.072 ,颗粒集中程度为中等。 $0.5\,\text{m}\times 0.5\,\text{m}$, $1\,\text{m}\times 1\,\text{m}$, $2\,\text{m}\times 2\,\text{m}$ 规格障格内沉积物峰态分别为 $1.025\sim 1.424$, $1.195\sim 1.358$, $1.344\sim 1.384$;均值分别为 1.205 , 1.288 , 1.364 。

由图 3 可知,3 种规格 PLA 沙障内表层土壤平

均粒径均显著低于裸沙丘土壤平均粒径,仅坡顶 2 m×2 m 和坡底 1 m×1 m 规格内土壤平均粒径高于裸沙丘;在坡底和坡中位置 3 种规格分选性都高于裸沙丘,且都呈现出 1 m×1 m 规格内分选性最高;偏度则表现出均高于裸沙丘,且在坡底和坡中处 3 种规格偏度变化情况保持一致,无明显的起伏变化,坡

顶出现较大的差异;峰态在坡中呈现剧烈波动的现象,在坡底处 0.5 m×0.5 m 规格内峰态显著高于其余 2 种规格,且 1 m×1 m, 2 m×2 m 规格与裸沙丘相比没有明显变化,在坡中处 0.5 m×0.5 m 规格均显著低于其余 2 种规格及裸沙丘,在坡顶处 3 种规格均显著高于裸沙丘,2 m×2 m 规格峰态最高。



注: M_z 表示平均粒径; σ 表示标准偏差; SK 表示偏度值; K_g 表示峰态值。

图 3 PLA 沙障表层土壤粒度参数

3.4 土壤有机质特征

研究区土壤有机质的测试分析结果(表 2)显示,3 种规格 PLA 沙障内表层土壤有机质含量为 0.7~1.14 g/kg。0.5 m×0.5 m 规格内呈现出坡底(1.05 g/kg)>坡中(0.78 g/kg)>坡顶(0.75 g/kg),其中,坡底和坡顶有机质含量均有显著差异;1 m×1 m 规格内呈现出坡底(1.14 g/kg)>坡中(0.77 g/kg)>坡顶(0.7 g/kg)且坡顶与坡底、坡中与坡底有机质含量均具有显著差异;2 m×2 m 规格内呈现出坡底(1.04 g/kg)>坡中(0.75 g/kg)>坡顶(0.73 g/kg),其中,坡顶与坡底、坡中与坡底均具有显著差异;CK 各坡位呈现出坡顶(0.92 g/kg)>坡中(0.85 g/kg)>坡底(0.8 g/kg)且有机质含量均无显著差异。由此可见,整体上 4 种不同类型 PLA 沙障的表层土壤有机质含量表现出 1 m×1 m>0.5 m×0.5 m>CK>2 m×2 m 的规律。

3.5 土壤粒度组分与有机质的相关性

从表 3 可以看出,不同规格 PLA 沙障表层土壤有机质与土壤粒级含量的相关性有着显著差异。其中,0.5 m×0.5 m 规格 PLA 沙障内有机质与极细砂相关系数为 0.966,呈现显著正相关关系,与中砂相关系数为 -0.877,呈现显著负相关;1 m×1 m 规格 PLA 沙障内有机质与极细砂相关系数为 0.999,呈现显著正相关,与中砂相关系数为 -0.98,呈现显著负相关;2 m×2 m 规

格 PLA 沙障内有有机质与极细砂相关系数为 0.975,呈现显著正相关,与中砂相关系数为 -0.707,呈现显著负相关。由此可知,研究区中极细砂和中砂是 3 种规格 PLA 沙障内表层土壤有机质积累与否的关键粒级。

表 2 不同规格 PLA 沙障表层土壤有机质含量

规格	坡位	有机质含量/(g·kg ⁻¹)
0.5 m×0.5 m	坡顶	0.75±0.15b
	坡中	0.78±0.15ab
	坡底	1.05±0.95a
1 m×1 m	坡顶	0.70±0.06b
	坡中	0.77±0.08b
	坡底	1.14±0.12a
2 m×2 m	坡顶	0.73±0.17b
	坡中	0.75±0.11b
	坡底	1.04±0.14a
CK	坡顶	0.92±0.91a
	坡中	0.85±0.56a
	坡底	0.80±0.40a

表 3 不同规格 PLA 沙障表层土壤有机质与粒度组分的相关性

颗粒粒级	0.5 m×0.5 m	1 m×1 m	2 m×2 m
黏粒(<0.02 mm)	0.835	0.981	0.085
粉粒(0.05~0.02 mm)	0.952 *	0.979	0.472
极细砂(0.1~0.05 mm)	0.966 *	0.999 *	0.975 *
细砂(0.25~0.1 mm)	-0.680	-0.066	-0.390
中砂(0.5~0.25 mm)	-0.877 *	-0.980 *	-0.707 *
粗砂(0.5~1.0 mm)	0.295	0.536	0.293
极粗砂(1.0~2.0 mm)	-0.365	0.693	0.397

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关。

4 讨论

4.1 不同规格 PLA 沙障防沙效果

分析 PLA 沙障铺设后表层沉积物易蚀颗粒的变化可有助于细化 PLA 沙障阻滞风沙流效果,从图4可以看出,3种规格 PLA 沙障在不同坡位下均表现为细砂和中砂含量相较裸沙丘减少,粗砂含量较裸沙丘升高,粉砂和黏粒含量较裸沙丘升高。铺设5a后的 PLA 沙障土壤粒径均有增大趋势,0.5 m×0.5 m 规格沙障由于在铺设时设计铺设的规格较小,在铺设5a后易蚀颗粒几乎被完全风蚀,细砂和中砂含量远低于裸沙,粗砂和极粗砂含量远高于裸沙,大部分的障体已经完全被风沙所掩埋,导致0.5 m×0.5 m 规格的沙障防护效益大大降低,这与屈建军等^[10]的研究结果发现0.5 m×0.5 m 规格沙障障体很快被沙埋后失去防护作用结论相一致。沙丘各部位的1 m×1 m 规格 PLA 沙障内极细砂、细砂含量均降低,而粗砂和极粗砂颗粒相较于裸沙丘含量均升高;通过分析可知,铺设沙障后,沙障能改变地表粗糙度,使近地表风速降低,当饱和风沙流在遇到沙障后,由于沙障的阻挡导致其风速降低,同时在障格内形成小范围紊流,从而造成风沙流携砂能力降低,导致质量较大的砂砾在沿着主风向继续向上运动过程中动能减小从而掉落于障格内,由于风沙流要继续向上运动,而此时的风沙流结构变为不饱和风沙流,沿着主风向的过程中携带走障格内细小砂砾,此时的沙障内部以风蚀为主。2 m×2 m 规格沙障通过实地观测发现由于障格面积过大并且铺设时间过长,部分障体受到风力作用障体发生扭曲,防护功能大大降低。风沙流由坡底向上运动到坡中的过程中,部分障体受到破坏阻挡作用降低,携带走大量的细小物质,所以使其障格内细砂含量降低,粗砂和极粗砂含量相较于裸沙丘含量升高,而此时风沙流要继续向上运动,粗砂继续掉落,风沙流趋于不饱和,当风沙流到达坡顶时发生蚀积转换,中砂物质被风蚀,虽然土壤粒径整体变粗,但细砂含量却有所增加。综上所述,0.5 m×0.5 m 规格防护效果最差,1 m×1 m 规格防护效果次之,2 m×2 m 规格虽然较1 m×1 m 规格能够阻拦更多细粒物质,但由于部分障体受损,防护功能有所下降。因此,对于本研究区域1 m×1 m 规格防护效益最佳,这与丁延龙等^[6]研究发现2 m×2 m 规格防护效果最佳结果略有不同。

4.2 不同规格 PLA 沙障对土壤粒度特征的影响机制

在 PLA 沙障障格内,细砂和中砂属于障格内的易蚀颗粒,受风沙活动影响程度较大。铺设5a后0.5 m×0.5 m 障格内细砂含量为45.15%,易蚀颗粒相较裸沙含量低,其原因是单一障格障体所能承受的

积沙量较少,因此极易容易被沙埋,而在实际布设并观察后发现阻沙作用可能会有所降低,有些沙障甚至会失去阻沙作用^[11]。1 m×1 m 和2 m×2 m 规格沙障内细砂含量分别为75.8%,80.66%,这两种规格障格内都有不同面积的侵蚀,但两者易蚀颗粒含量大致相同,由此可以看出,2种规格沙障对风沙流结构中沙粒拦截效果基本相同,且能控制过境饱和风沙流中大部分易蚀颗粒不被带走;从其分选系数上看,在铺设 PLA 沙障5a后,3种规格障格内土壤颗粒分选性均变差,PLA 沙障部分障体防护功能可能受到削弱,障格内颗粒分布不均匀,大量易蚀颗粒被风吹蚀,而使得大量的粗砂粒留在障格内;在风沙流中,0~10 cm 高度内的沙砾约占整体的75%^[12],在这一高度下,粒径在2.32~2.74 Φ 里的沙砾极易被风吹蚀^[13],但本研究样地里裸沙丘平均粒径为1.402 Φ,远大于0~10 cm 高度内沙砾粒径。从土壤频率分布曲线图来看,3种规格 PLA 沙障每个坡位内土壤颗粒粒径均比裸沙地的颗粒粒径要细但是含量却远低于裸沙地,从分选系数上看,在铺设5a后每种规格 PLA 沙障障格内分选性都变差,偏度变大。

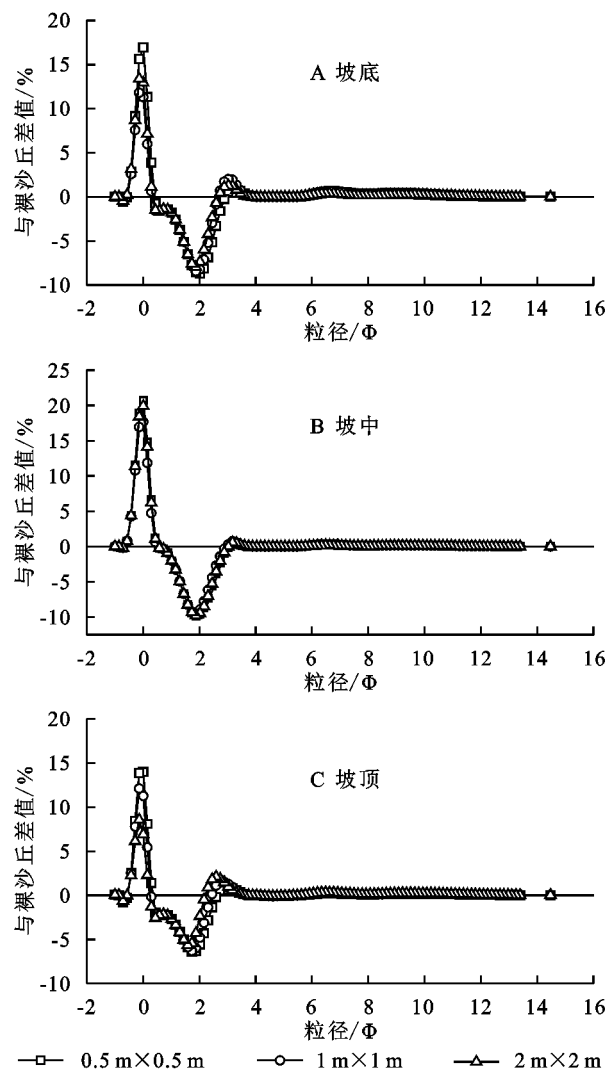


图4 PLA 沙障表层沉积物颗粒与裸沙丘差值曲线

4.3 不同规格 PLA 沙障粒级组分与有机质分析

土壤粒度和有机质含量是构成土壤综合体的重要组成部分,二者含量的多寡直接影响着土壤理化性质和结构的稳定性;同时,粒级组分与有机质存在着相互关联性,在我国西北沙质荒漠化地区,通常黏粒含量较多的土壤,其有机质含量也相对较高;而有机质含量较高的土壤,其物理性质和结构也相对稳定^[14];土壤有机质易与细颗粒结合形成有机-无机复合物,而且一旦与有机质结合便难以被微生物分解而且极易发生积累^[15]。因此,不同规格 PLA 沙障铺设 5 a 后其土壤组分也存在差异,而有机质随着土壤组成的变化随之变化;研究区不同规格 PLA 沙障表层土壤粒级组成中粒级含量的变化情况大致变现为:铺设沙障前土壤粒级主要以细砂和中砂为主,随着铺设 PLA 沙障 5 a 后土壤粒级主要表现为细砂和粗砂为主。土壤有机质能改善土壤的物理和化学性质,有机质含量的增加,能提高土粒间微结构的胶结力和土壤结构体间的抵抗离散力,从而增加土壤的抗风蚀能力^[16]。一般而言,土壤细颗粒对有机质的吸附和有机质的积累起着关键作用,二者存在着关联性,但不同地类的土壤粒级组成与有机质的相关性也存在差异。首先,研究区 3 种规格 PLA 沙障内表层土壤有机质表现为 $1\text{ m} \times 1\text{ m} > 0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m} > \text{CK} > 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 这与土壤沉积物颗粒分布曲线变化情况大致相同,虽然细砂含量相较于 CK 出现降低现象,但在 PLA 沙障内土壤粒级表现出明显变小的状态,这与有机质含量变化情况基本保持一致。从而不同规格 PLA 沙障内有机质含量与极细砂呈现显著正相关关系,与中砂呈现显著负相关关系。这与杨梅焕等^[17]对毛乌素沙地东南缘榆阳区、靖边、横山等地土壤表层(0—5 cm)粒级与有机质含量关系分析得出的黏粒含量与有机质存在显著相关性结果有所不同。

5 结论

(1) 研究区不同规格 PLA 沙障内表层土壤粒级组分及参数特征存在显著差异。PLA 沙障内主要以细砂和粗砂为主,细砂含量分别为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ (80.66%) $>1\text{ m} \times 1\text{ m}$ (75.8%) $>0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ (45.15%),每种规格坡顶处细砂含量最高分别为 23.39%,31.73%,41.17%,坡中粗砂含量最高分别为 44.91%,36.42%,42.88%。

(2) 研究区障格内土壤分选性均变差,峰态偏离正态分布,沉积物颗粒频率分布曲线部分波段变窄,表层颗粒出现细粒化。

(3) 研究区不同规格 PLA 沙障内表层土壤有机质含量存在显著差异。整体上表现出 $1\text{ m} \times 1\text{ m} >$

$0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m} > \text{CK} > 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的规律,3 种规格 PLA 沙障内有机质含量均与极细砂含量呈现显著正相关,相关系数依次为 0.996,0.999,0.975,与中砂呈现显著负相关,相关系数依次为 -0.877, -0.980, -0.707;且极细砂和中砂是有机质积累的关键粒级。

参考文献:

- [1] 党晓宏,高永,虞毅,等.新型生物可降解 PLA 沙障与传统草方格沙障防风效益[J].北京林业大学学报,2015,37(3):118-125.
- [2] 赵文玲.新型生物可降解 PLA 沙袋沙障降解特性及其影响因子探究[J].水土保持研究,2015,22(6):198-202.
- [3] 原伟杰,虞毅,王戈,等.可降解聚乳酸沙障降解性能研究[J].水土保持通报,2012,32(3):107-110,132.
- [4] 原伟杰,虞毅,岳永德,等.沙丘部位对聚乳酸纤维沙袋沙障降解速度的影响[J].干旱区资源与环境,2015,29(4):166-171.
- [5] 党晓宏,虞毅,高永,等. PLA 沙障对沙丘土壤粒径的影响分析[J].水土保持研究,2014,21(3):16-19,24.
- [6] 丁延龙,高永,汪季,等.生物基可降解聚乳酸(PLA)沙障对沙丘表层沉积物粒度特征的影响[J].中国沙漠,2018,38(2):262-269.
- [7] 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.
- [8] 吴恙,陈江.重铬酸钾容量法测定土壤有机质—加热法研究[J].中国高新技术企业,2016(26):11-12.
- [9] Folk R L, Ward W C. Brzaos river bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957,27(1):3-26.
- [10] 屈建军,凌裕泉,俎瑞平,等.半隐蔽格状沙障的综合防护效益观测研究[J].中国沙漠,2005,25(3):329-335.
- [11] 王艺钊,原伟杰,丁国栋,等.聚乳酸(PLA)沙障凹曲面及沉积物粒度特征研究[J].干旱区地理,2020,43(3):671-678.
- [12] 刘贤万.试验风沙物理与风沙工程学[M].北京:科学出版社,1995.
- [13] 吴正.风沙地貌与治沙工程学[M].北京:科学出版社,2003.
- [14] 苏永中,赵哈林.农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究[J].中国农业科学,2003,36(8):928-934.
- [15] 毛丽,苏志珠,王国玲,等.毛乌素沙地不同土地利用类型的土壤粒级及有机质特征[J].干旱区研究,2019,36(3):589-598.
- [16] 袁晓宇,海春兴,刘广通.阴山北麓不同用地土壤有机质含量对抗风蚀的作用研究[J].水土保持研究,2007,14(6):302-304.
- [17] 杨梅焕,曹明明,朱志梅,等.毛乌素沙地东南缘沙漠化过程中土壤理化性质分析[J].水土保持通报,2010,30(2):169-172,176.