

王 卓,郭月峰,姚云峰,等. 砒砂岩区不同宽度沙棘缓冲带生态调控效应研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(17):276-282.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.17.055

砒砂岩区不同宽度沙棘缓冲带生态调控效应研究

王 卓¹,郭月峰¹,姚云峰¹,李旻宇²,祁 伟^{1,3},仲 宸¹

(1. 内蒙古农业大学沙漠治理学院,内蒙古呼和浩特 010011; 2. 内蒙古自治区林业监测规划院,内蒙古呼和浩特 010020;
3. 内蒙古自治区水利水电勘探设计院,内蒙古呼和浩特 010020)

摘要:为探明砒砂岩区坡面缓冲带生态调控效应,研究 10、15 m 沙棘缓冲带以及天然撂荒地带上(距离缓冲带上方 100~150 m)、带中和带下(距离缓冲带下方 100~150 m)的土壤理化性质变化规律和不同土层土壤水库蓄水效率差异。结果表明,沙棘缓冲带能够有效改良土壤级配和物化性质等指标,同时具有良好的分选效果和拦沙作用,水源涵养能力明显提高,生态调控能力较为显著;不同坡位下,缓冲带内土壤级配、物化性质以及土壤水库利用率均表现为带中>带下>带上;相同坡位下,3 种沙棘缓冲带土壤分形维数、容重、孔隙度、有机质含量等物化性质随着缓冲带的宽度增加而优化,表现为 15 m 带宽>10 m 带宽>对照坡面(容重除外),容重表现为对照坡面>10 m 带宽>15 m 带宽。

关键词:砒砂岩区;缓冲带;土壤性质;土壤水库;生态调控

中图分类号: S727.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)17-0276-07

内蒙古砒砂岩区地形支离破碎,水土流失程度极为严重,具有“地球环境癌症”“生命禁区”之称^[1]。由于砒砂岩区气候干燥,年均降水量少且集中,这些恶劣的自然环境特点加剧了水土流失,造成黄河下游河道泥沙淤积。植物缓冲带作为砒砂岩区一项重要的水土保持措施,能够有效减缓地表径流,降低土壤侵蚀,同时植物缓冲带能够削减点源污染物,有效改良土壤理化性质^[2-3]。同时植物缓冲带下的土壤层是林分主要的蓄水载体,合理地建设植物缓冲带能够增大土壤毛管孔隙,改善土壤渗透性,提高土壤的水源涵养功能。沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)属胡颓子科沙棘属落叶性灌木,其特性是耐旱、抗风沙,可以在盐碱地生存^[4],沙棘根系十分发达,分蘖萌生能力强,繁殖

快,生物量大。同时,沙棘的根瘤放线菌能固定土壤中的氮素促进生长,提高土壤肥力^[5]。沙棘作为黄土高原沟壑区一种适应性很强的水土保持树种,构建缓冲带在减少地表径流、改善土壤肥力和渗透性以及稳固坡面等方面具有诸多优势^[6]。因此,研究砒砂岩区缓冲带对土壤理化性质的影响,阐明不同宽度沙棘缓冲带生态调控效应的差异,是该地区林分建设可持续发展亟待解决的问题。

在植被缓冲带方面,国内很多文献还是介绍性的^[7],如董凤丽研究了不同植被类型、不同季节、不同坡度、不同浓度营养盐的情况下,缓冲带对不同深度的壤中流中氮、磷等营养盐的消除效果^[8-9]。章明奎等研究了河岸水稻缓冲带宽度对稻田灌溉排水的氮、磷浓度的影响^[10]。叶志敏等初步研究了不同植被组合方式、漫流方式和土壤组成情况下滨岸缓冲带对非点源污染物的削减作用^[11]。关于采用沙棘构建植物缓冲带,国内外的研究多注重于沙棘林对沟道的侵蚀产沙特征以及抗蚀促生综合效益及影响因素等方面,对于不同宽度缓冲带的生态调控效应对比还鲜有报道。本研究选择砒砂岩侵蚀特征突出,具有一定代表性的典型小流域,以不同宽度沙棘缓冲带为研究对象,开展砒砂岩区沙棘生物缓冲带的生态调控效应及其作用机制的研究,为有效防治砒砂岩区土壤侵蚀和地区生态环境的建设提供数据基础。

收稿日期:2019-09-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:31500584);内蒙古农业大学优秀青年科学基金培养项目(编号:2017XYQ-3);内蒙古自然科学基金(编号:2018MS03019);内蒙古自治区青年科技英才支持计划(编号:NJYT-17-B19);内蒙古应用研究与开发计划(编号:20110732);内蒙古农业大学教育教学改革研究项目。

作者简介:王 卓(1995—),男,内蒙古乌兰察布人,硕士,主要从事水土保持与荒漠化防治教学与研究。E-mail:953762094@qq.com。

通信作者:郭月峰,博士,副教授,主要从事水土保持与荒漠化防治教学与研究。E-mail:guoyuefeng0525@126.com。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗暖水乡圪秋沟流域内(图 1),大部分范围处于砒砂岩裸露区,地理坐标为 $39^{\circ}42' \sim 39^{\circ}50' \text{N}$, $110^{\circ}25' \sim 110^{\circ}48' \text{E}$ 。该区内地形起伏较大,沟壑较多,梁峁起伏,土壤侵蚀强烈,水土流失严重。平均海拔为 820 ~ 1 582 m,属于典型的中温带半干旱大陆性季风气候,年平均降水量约 400 mm,且集中在 7—8 月;年日照时长 300 d 以上,年平均蒸发量 2 093 mm,年平均气温 $6.2 \sim 8.7^{\circ}\text{C}$ 。地带性土壤为栗钙土,土壤上层伴有少量黄绵土和风沙土盖层。主要造林树种为沙棘、油松(*Pinus tabuliformis*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)和山杏(*Prunus sibirica*)等。



图1 研究区位置

1.2 研究方法

1.2.1 调查与取样 2018 年 4 月选择内蒙古鄂尔多斯市准格尔旗北部的圪秋沟流域内的人工林地作为试验地。选择林龄在 10 年左右的沙棘人工林缓冲带,选取 2 块不同带宽的沙棘林带(10、15 m)和 1 块未种植沙棘林带的坡面(对照坡面),3 个处理除沙棘缓冲带的宽度设置不同外,林带内种植密度、胸径、高度等特征以及坡度、坡向、抚育管理措施等立地条件基本一致(表 1),且受人为干扰较小。于 2 种不同带宽的沙棘缓冲带的带上(距离缓冲带 100 ~ 150 m 的上方)、带下(距离缓冲带 100 ~ 150 m 的下方)、带中(缓冲带本身)以及对对照坡面(上、中、下)采用梅花形 5 点取样法,每个点位土壤垂直分层为 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm;同时每个样地取 0 ~ 60 cm 土层深度的混合土壤约 1 kg,去除枯落物等杂物后放入带编号样品袋,带回实验室分析。

1.2.2 土壤理化性质测定 本次试验利用土壤水分速测仪(TDR)测定土壤含水率;对土壤样品经自然风干、研磨后,采用四分法取出一部分土样利用筛分粒径法对土壤样品进行粒径筛分试验;依据标准 LY/T 1215—1999《森林土壤水分—物理性质的测定》,采用环刀法测定土壤容重、总孔隙度、饱和持水量、毛管持水量、田间持水量等。土壤养分测定指标为有机质含量,采用重铬酸钾容量法—外加热法测定。

1.2.3 分形维数计算 采用杨培岭等通过粒径分布与对应的土壤质量分布之间的关系而推导改进的

表 1 样地基本情况

缓冲带类型	立地类型	海拔 (m)	平均高度 (m)	平均胸径 (cm)	行距 (m)	间距 (m)	坡度 ($^{\circ}$)	坡向
10 m 带宽	阴坡	1 213	1.73	1.6	2	1	15	东北
15 m 带宽	阴坡	1 207	1.80	1.7	2	1	15	东北
对照坡面	阴坡	1 211	—	—	—	—	15	东北

土壤分形维数模型^[12]来计算土壤颗粒质量分形维数,计算公式如下:

$$\lg\left(\frac{m}{m_T}\right) = (3 - D) \lg\left(\frac{\bar{R}_i}{R_{\max}}\right). \quad (1)$$

式中: D 为土壤颗粒粒径分形维数; r 为土壤颗粒粒径,mm; \bar{R}_i 为 2 筛分粒级(R_i 与 R_{i+1})的算术平均值,mm; m 为粒径小于 R_i 的颗粒的累积质量,g; m_T 为土壤颗粒的总质量,g; m/m_T 是粒径小于 R_i 的土

壤颗粒的累积质量比例; R_{\max} 为所有粒级的最大粒径,mm。分别以 $\lg\frac{m(r-R_i)}{m_T}$ 和 $\lg\left(\frac{\bar{R}_i}{R_{\max}}\right)$ 为因变量和自变量进行线性拟合,所得直线斜率即为 $(3 - D)$,由此得到土壤粒径分形维数(D)值。

1.2.4 土壤水库蓄水量计算 土壤水库的储水量按照孙仕军等提出的方法^[13]计算。假设某时刻地表以下一定深度(h)处的土壤含水量为 $\theta(h)$,则该

深度土层相应的蓄水量为

$$w_0=\int_0^H\theta(h)\mathrm{d}h。$$

(2)

式中: w_0 为地表以下深度 h 处土层的土壤蓄水量,以 mm 计。

土壤水库总库容的计算方法如下:

$$W_i=0.1\sum_{i=1}^nS_ir_iH_i。$$

(3)

式中: r 表示土壤容重, g/cm^3 ; H 表示土层厚度, cm; n 表示土壤层次; S 表示饱和含水量, %。

土壤水库的蓄水效率是实际贮水量(W)与贮水潜力(土壤总库容)的比值,即土壤水库的利用效率,反映土壤水库功能的优劣。

$$e=W/W_i。$$

(4)

表 2 10 m 带宽土壤粒径和分形维数

编号	土壤级配(%)				分形维数 (D)	确定系数 R^2
	黏粒	粉粒	沙粒	砾石		
带上	0.27	69.37	29.06	1.3	2.12	0.63
带中	1.54	78.92	18.74	0.8	2.51	0.83
带下	1.56	72.24	26.20	0	2.42	0.75

注:黏粒直径 <0.002 mm,粉粒直径 0.002 ~ <0.02 mm,沙粒直径 0.02 ~ 2.00 mm,砾石直径 >2.00 mm。表 3、表 4 同。

表 3 15 m 带宽土壤粒径和分形维数

编号	土壤级配(%)				分形维数 (D)	确定系数 R^2
	黏粒	粉粒	沙粒	砾石		
带上	0.27	69.37	29.06	1.3	2.12	0.63
带中	2.25	82.92	14.83	1.1	2.63	0.91
带下	2.29	74.24	23.47	0	2.53	0.78

表 4 对照坡面土壤粒径和分形维数

编号	土壤级配(%)				分形维数 (D)	确定系数 R^2
	黏粒	粉粒	沙粒	砾石		
带上	0.27	69.37	29.06	1.30	2.12	0.63
带中	0.35	75.29	23.82	0.54	2.20	0.72
带下	0.49	67.13	31.27	0.11	2.30	0.70

砒砂岩区不同宽度沙棘缓冲带 0 ~ 60 cm 土层的土壤颗粒以粉粒和沙粒为主,分形维数均在带中达到最大值。在不同宽度缓冲带内,带中、带下的分形维数均表现为 15 m 带宽 > 10 带宽 > 对照坡面,说明 15 m 带宽沙棘缓冲带坡面土壤分选效果好于 10 m 带宽沙棘缓冲带坡面及对照坡面;10、15 m 带宽沙棘缓冲带不同坡位颗粒级配中值粒径依次为带下 < 带上 < 带中(数据未列出),截沙趋势均为带下颗粒较带中、带上细,带中比带上颗粒粗,说明在坡面水的冲刷过程中,沙棘缓冲带拦截泥沙能力

式中: e 表示土壤水库贮水效率, %。

1.3 数据处理

利用 Excel 和 SPSS 20.0 进行数据处理和分析,各个林带土壤特征值为 3 次重复的算术平均值,运用方差分析进行假设性检验。

2 结果与分析

2.1 不同带宽沙棘缓冲带土壤粒级特征

2018 年 7 月对典型小流域 10、15 m 带宽的沙棘缓冲带土壤级配进行测量。由表 2、表 3 和表 4 可知,分形维数的拟合方程确定系数在 0.63 ~ 0.91 之间,在 95% 的置信区间内,证明土壤级配在砒砂岩区域内于不同坡位的分形维数计算精度较高。

较强,起到很好的颗粒分选作用,拦沙效果明显。

2.2 不同带宽沙棘缓冲带物化性质研究

2.2.1 沙棘缓冲带土壤容重和孔隙度特征

沙棘缓冲带对垂直方向和水平方向上土壤结构性能的影响表现出一定的差异,沙棘缓冲带对带上的土壤容重与孔隙度影响较小,故不作分析。由表 5 可知,在相同坡位不同宽度的沙棘缓冲带内,4 个土层(0 ~ 60 cm)深度下土壤容重均表现为对照坡面 > 10 m 缓冲带 > 15 m 缓冲带,且容重在对照坡面 20 ~ 40 cm 土层最大(1.56 g/cm^3);土壤孔隙度

表现为 15 m 缓冲带 > 10 m 缓冲带 > 对照坡面,且土壤孔隙度在 15 m 带宽沙棘缓冲带 0 ~ 10 cm 土层最大(49.81%)。因此,沙棘缓冲带的布设有效降低了带中的土壤容重并提高了土壤孔隙度;在不同坡位内,各土层土壤容重表现为带中≥带下,土壤孔隙度表现为带下 > 带中。说明沙棘缓冲带能够有效地拦沙,防治水土流失,较对照坡面而言,经过沙棘缓冲带的颗粒分选,其坡底的土壤结构性状更加优良,但沙棘的根系呈逐级分叉和迂回的趋势生长,主要分布在 35 cm 土层以内,就不同深度土层下的沙棘缓冲带来说,20 ~ 40、40 ~ 60 cm 过度段土壤改良效果不明显。在一定土层范围内,土壤容重和孔隙度的改良效果会随着缓冲带宽度的增加而更加明显。

2.2.2 沙棘缓冲带有机质特征 土壤有机质含量是评价土壤肥力和质量的重要指标,受各种自然和人为因素影响,土壤有机质含量在空间上呈现非均匀分布^[14],其空间变异性是指土壤中所含的有机质在空间不同位置中所表现出的差异性及趋势性^[15]。由表 6 和表 7 可知,不同带宽的沙棘缓冲带带中土壤有机质范围为 4.21 ~ 8.91 g/kg,沙棘缓冲带带下的有机质含量为 4.21 ~ 7.10 g/kg;在缓冲带带中,沙棘缓冲带与对照坡面土壤有机质含量平均值依次为 15 m 缓冲带(6.31 g/kg) > 10 m 缓冲带(6.05 g/kg) > 对照坡面(4.70 g/kg);在缓冲带带下,沙棘缓冲带与对照坡面土壤有机质含量平均值依次为对照坡面(5.40 g/kg) > 15 m 缓冲带(5.24 g/kg) > 10 m 缓冲带(5.19 g/kg);沙棘缓冲带能够有效地提高表层土壤有机质含量,表现为随土层深度增加有机质含量逐渐降低且趋于稳定,而表层有机质难以入渗至深层土壤,导致在 40 ~ 60 cm 土层有机质含量较低。对照坡面各土层有机

表 5 沙棘缓冲带对土壤容重与孔隙度水平与垂直变化

土层 (cm)	处理	容重 (g/cm ³)	土壤孔隙度 (%)
0 ~ 10	10 m 带中	1.40	46.56
	15 m 带中	1.37	46.56
	对照坡中	1.47	43.89
	10 m 带下	1.35	49.06
	5 m 带下	1.33	49.81
10 ~ 20	对照坡下	1.45	45.28
	10 m 带中	1.43	45.42
	15 m 带中	1.41	46.18
	对照坡中	1.53	41.60
	10 m 带下	1.38	47.92
20 ~ 40	15 m 带下	1.36	48.68
	对照坡下	1.50	43.40
	10 m 带中	1.46	44.27
	15 m 带中	1.43	45.42
	对照坡中	1.56	40.46
40 ~ 60	10 m 带下	1.41	46.79
	15 m 带下	1.40	47.17
	对照坡下	1.56	41.13
	10 m 带中	1.47	43.89
	15 m 带中	1.44	45.04
	对照坡中	1.52	41.98
	15 m 带下	1.41	46.76
	对照坡下	1.52	42.64

质含量表现为坡下 > 坡中,林地土壤表层丰富的植物凋落物在地表分解过程中形成的结构各异的有机物是土壤有机质的主要来源^[16]。沙棘生长导致枯落物含量增多且植被盖度大,根系小环境的因素导致有机物的积累。而对照坡面为天然荒草地,无大型植被覆盖,地表冲刷造成严重的水土流失,土壤有机质易随径流累积于坡底。

表 6 沙棘缓冲带带中土壤有机质含量

处理	有机质含量(g/kg)				
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	40 ~ 60 cm	平均值
10 m 缓冲带	8.48	7.16	6.02	4.30	6.05b
15 m 缓冲带	8.91	7.29	6.37	4.46	6.31a
对照坡面	6.04	5.23	4.25	4.21	4.70c

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 7 同。

2.3 不同带宽沙棘缓冲带土壤水库库容计算

2.3.1 沙棘缓冲带水分时空变化规律 由表 8 可知,10 m 带宽沙棘缓冲带在 20 ~ 40 cm 土层土壤水

分变化最剧烈,变异系数最大,达到 0.87,属于强度变异;10 ~ 20、40 ~ 60 cm 土层变异系数分别为 0.61、0.50,属于中度变异;0 ~ 10 cm 处土层变异系

表 7 沙棘缓冲带带下土壤有机质含量

处理	有机质含量(g/kg)				
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 40 cm	40 ~ 60 cm	平均值
10 m 缓冲带	6.94	6.18	4.81	4.21	5.19c
15 m 缓冲带	7.10	6.24	4.83	4.23	5.24b
对照坡面	6.68	5.65	5.00	4.27	5.40a

表 8 10 m 带宽沙棘缓冲带各层土壤水分动态变化统计参数

土层 (cm)	最小含水量 (%)	最大含水量 (%)	平均含水量 (%)	标准差 (%)	变异系数	95% 置信区间
0 ~ 10	0.40	4.66	2.85	1.14	0.40	2.72 ~ 5.84
10 ~ 20	1.43	6.40	3.21	1.96	0.61	2.76 ~ 5.67
20 ~ 40	0.60	7.95	3.58	3.10	0.87	3.16 ~ 5.54
40 ~ 60	1.95	9.66	4.91	2.45	0.50	2.64 ~ 7.17

数最小(0.40),属于弱度变异。各层土壤水分动态变异强弱顺序为 20 ~ 40 cm 土层 > 10 ~ 20 cm 土层 > 40 ~ 60 cm 土层 > 0 ~ 10 cm 土层;各层土壤水分动态平均值以 40 ~ 60 cm 土层最大(4.91%), 0 ~ 10 cm 土层最小(2.85%)。各层土壤水分动态平均值大小依次为 40 ~ 60 cm 土层 > 20 ~ 40 cm 土层 > 10 ~ 20 cm 土层 > 0 ~ 10 cm 土层。

由表 9 可知,15 m 带宽沙棘缓冲带在 20 ~ 40 cm 土层土壤水分变化最剧烈,变异系数最大达到 0.84,属于强度变异;0 ~ 10、10 ~ 20、40 ~ 60 cm 土层变异系数分别为 0.56、0.67、0.53,属于中度变异,各层土壤水分动态变异强弱顺序为 20 ~ 40 cm

土层 > 10 ~ 20 cm 土层 > 0 ~ 10 cm 土层 > 40 ~ 60 cm 土层;各层土壤水分动态平均值以 40 ~ 60 cm 土层最大(5.21%),其次为 20 ~ 40 cm 土层(4.12%),0 ~ 10 cm 土层最小(3.85%)。各层土壤水分动态平均值依次为 40 ~ 60 cm 土层 > 20 ~ 40 cm 土层 > 10 ~ 20 cm 土层 > 0 ~ 10 cm 土层。2 种带宽沙棘缓冲带变异系数规律及平均含水量变化规律基本一致,均是 20 ~ 40 cm 土层变异系数最大,10 m 带宽沙棘缓冲带变异系数于 0 ~ 10 cm 土层处最小,而 15 m 带宽沙棘缓冲带变异系数于 40 ~ 60 cm 土层处最小。

表 9 15 m 带宽沙棘缓冲带各层土壤水分动态变化统计参数

土层 (cm)	最小含水量 (%)	最大含水量 (%)	平均含水量 (%)	标准差 (%)	变异系数	95% 置信区间
0 ~ 10	0.38	3.96	3.85	2.14	0.56	2.54 ~ 5.17
10 ~ 20	1.42	5.4	3.99	2.68	0.67	2.69 ~ 5.37
20 ~ 40	0.57	8.95	4.12	3.46	0.84	2.56 ~ 4.84
40 ~ 60	1.85	10.73	5.21	2.75	0.53	2.33 ~ 6.99

2.3.2 不同宽度沙棘缓冲带水库调控效应 土壤蓄水量是评价植被涵养水源功能最主要的指标之一^[17]。由图 2 和图 3 可知,随着土层深度增加,各层实际土壤蓄水量与总库容均呈先增加后减少的趋势,20 ~ 40 cm 土层最大,不同宽度缓冲带在该土层的实际蓄水量表现为 15 m 缓冲带 > 10 m 缓冲带 > 对照坡面,土壤蓄水量与沙棘缓冲带的宽度成正比;从 3 个处理各土层水库平均蓄水效率(蓄水效率 = 实际蓄水量/总库容)来看,带中土壤水库蓄

水效率依次为 20 ~ 40 cm 土层(51.26%) > 40 ~ 60 cm 土层(43.36%) > 10 ~ 20 cm 土层(41.98%) > 0 ~ 10 cm 土层(36.68%);带下土壤水库蓄水效率依次为 20 ~ 40 cm 土层(45.75%) > 10 ~ 20 cm 土层(37.21%) > 40 ~ 60 cm 土层(35.38%) > 0 ~ 10 cm 土层(32.33%);种植沙棘缓冲带的区域,土壤水库蓄水效率较带下土壤水库蓄水效率平均高出 5%。分别对不同宽度沙棘缓冲带各土层蓄水总量进行计算(图 4),带中土壤总库容表现为 15 m 缓

冲带(284.30 mm) > 10 m 缓冲带(253.33 mm) > 对照坡面(233.52 mm);带下土壤总库容表现为 15 m 缓冲带(278.17 mm) > 10 m 缓冲带(253.65 mm) > 对照坡面(219.50 mm);带中土壤水库蓄水效率依次为 15 m 缓冲带(45.60%) > 10 m 缓冲带(45.26%) > 对照坡面(40.16%);带下土壤水库蓄

水效率依次为 15 m 缓冲带(39.17%) > 对照坡面(39.14%) > 10 m 缓冲带(39.06%)。综上所述,随着缓冲带宽度的增加,带中土壤水库总库容增加,同时缓冲带中的土壤蓄水效率也逐步提高,体现了植物缓冲带优良的水源涵养功能。

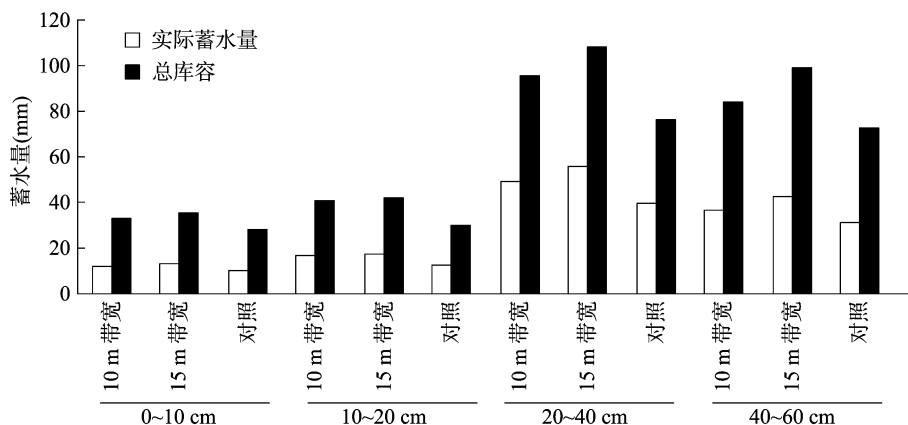


图2 沙棘缓冲带带中土壤水库对比

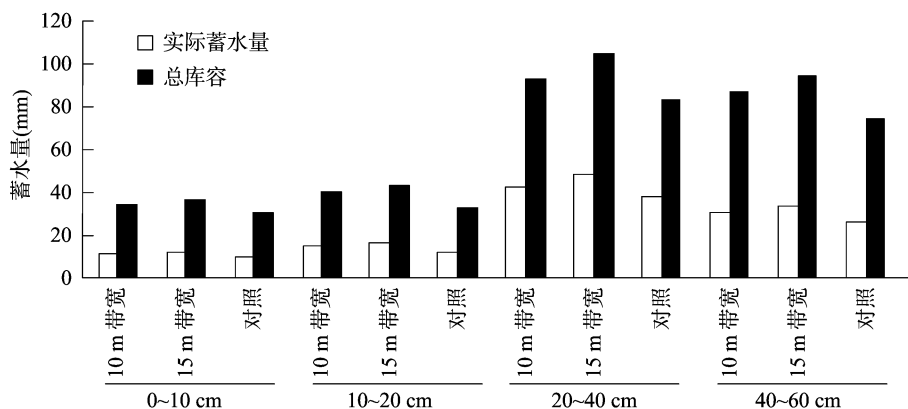


图3 沙棘缓冲带带下土壤水库对比

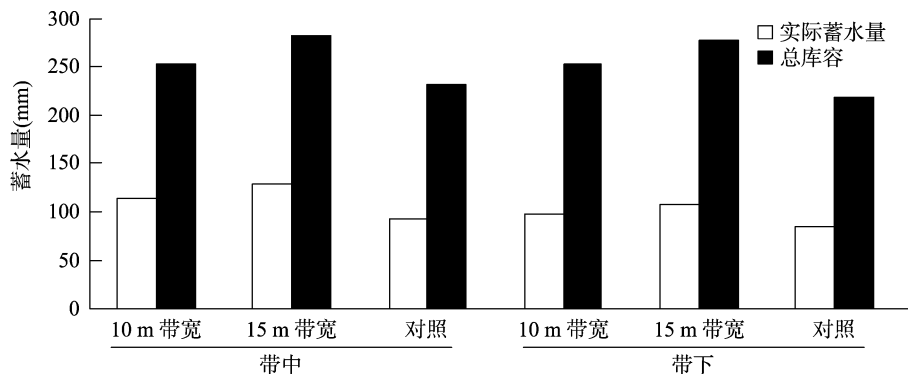


图4 不同宽度沙棘缓冲带土壤蓄水性能

3 讨论与结论

砒砂岩区作为水土流失治理的重点治理区域,土壤粒径级配、理化性质和土壤水库利用效率等特

征都是直接反映土壤优劣的重要指标。因此,研究砒砂岩区植物缓冲带的生态调控效应对生态建设的可持续发展具有重大意义。不同宽度植物缓冲带对土壤改良程度有所差异,研究表明,土壤质地

越粗越不易形成良好的结构,土壤质地越细结构越复杂,而土壤颗粒分形维数在 2.75 左右代表土壤结构良好^[18-19]。本研究测得砒砂岩区裸露坡面土壤分形维数在 2.2 左右,土壤结构较差,通过沙棘缓冲带的改良土壤、阻沙保水等功效,其 15 m 沙棘缓冲带内土壤分形维数最高值为 2.63,证明随着缓冲带宽度的增加,植物缓冲带的阻沙、改良土壤效果更加显著,改良后的土壤具有较好的透水性和保水保肥力性能^[20]。同时对比不同宽度沙棘缓冲带来看土壤理化性质,在 20~40 cm 土层,沙棘缓冲带明显降低了土壤容重,增加了土壤孔隙度,与卢立娜等对沙棘林的研究^[21]保持一致。在土壤水分时空变化中,10 m 表层土壤含水率变异系数小于 40~60 cm 土层变异系数,原因可能是砒砂岩区降水少,蒸发大,10 m 缓冲带表层土壤处于干燥状态,而深层土壤由于沙棘根系固水保土的特点,其深层水分变异系数较表层 10 cm 变化更大。整体趋势依旧表现为 2 种带宽沙棘缓冲带平均水分含量均在 40~60 cm 土层以下变化平稳,受到各种随机因素影响较小;而其他土层受降水、蒸发与其他草本植物生长、动物扰动等外界因素影响较大。沙棘缓冲带的土壤涵养水源能力是制约缓冲带土壤截污效果的重要条件^[22]。因此,沙棘缓冲带对砒砂岩区深层次的土壤截污作用效果以及沙棘根系对固结土壤团粒结构的抗崩解能力等,还有待在今后的试验中研究。

黄土高原砒砂岩地区种植的沙棘缓冲带能够有效地减沙蓄水,降低水土流失,通过对不同宽度沙棘缓冲带生态调控效应的研究,得出以下结论:(1)沙棘缓冲带能够有效改良土壤级配和物化性质等指标,同时具有良好的分选效果和拦沙作用,较对照坡面而言,水源涵养能力明显提高,沙棘缓冲带生态调控能力较为明显。(2)不同坡位下,缓冲带内土壤级配、物化性质以及土壤水库利用率均表现为带中>带下>带上。(3)相同坡位下,3 种沙棘缓冲带土壤分形维数、容重、孔隙度、有机质含量等物化性质随着缓冲带的宽度增加而优化,表现为 15 m 带宽>10 m 带宽>对照坡面(容重除外),容重表现为对照坡面>10 m 带宽>15 m 带宽。

参考文献:

[1] Vidon P, Hill A R. Denitrification and patterns of electron donors and

- acceptor in eight riparian zones with contrasting hydrogeology[J]. Biogeochemistry, 2005, 71(2): 259–283.
- [2] 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.
- [3] Simpkins W W, Wineland T R, Andress R J, et al. Hydrogeological constraints on riparian buffers for reduction of diffuse pollution: examples from the Bear Creek Watershed in Iowa, USA[J]. Water Science and Technology, 2002, 45(9): 61–68.
- [4] 张永亮. 沙棘根系生物力学特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [5] 吴建峰, 林先贵. 土壤微生物在促进植物生长方面的作用[J]. 土壤, 2003, 35(1): 18–21.
- [6] Parkyn S. Review of riparian buffer zone effectiveness[R]. New Zealand: Ministry of Agriculture and Forestry, 2004: 1–31.
- [7] 王良民, 王彦辉. 植被过滤带的研究和应用进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2074–2080.
- [8] 董凤丽. 上海市农业面源污染控制的滨岸缓冲带体系初步研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2004.
- [9] 茆安敏, 吴永波, 余显莹. 杨树林河岸缓冲带对磷素的去除效果及机制研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 267–270.
- [10] 章明奎, 方利平. 河岸水稻田缓冲带宽度对排水中氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 10–13.
- [11] 叶志敏, 易 漩. 滨岸缓冲带削减非点源污染试验研究[J]. 科技资讯, 2006(28): 250–251.
- [12] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1896–1899.
- [13] 孙仕军, 丁跃元, 曹 波, 等. 平原井灌区土壤水库调蓄能力分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 42–47.
- [14] 张晓光, 陈明利, 刘佩茹, 等. 黄河三角洲典型地区土壤有机质空间变异[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(5): 27–30.
- [15] 张法升, 刘作新. 分形理论及其在土壤空间变异研究中的应用[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1351–1358.
- [16] 袁 勤, 崔向新, 乔 荣. 砒砂岩区不同人工林对土壤理化性质的影响[J]. 北方园艺, 2013(18): 52–55.
- [17] 刘 洁, 李贤伟, 纪中华, 等. 元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2331–2340.
- [18] 葛东媛, 张洪江, 郑国强, 等. 重庆四面山 4 种人工林地土壤粒径分形特征[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 148–151.
- [19] 刘小鹏, 王国栋, 张社奇, 等. 陕西 4 种土壤粒径分布的分形特征研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(2): 92–94.
- [20] Liu X, Zhang G, Heathman G C, et al. Fractal features of soil particle – size distribution as affected by plant communities in the forested region of Mountain Yimeng, China[J]. Geoderma, 2009, 154(1): 123–130.
- [21] 卢立娜, 赵雨兴, 胡莉芳, 等. 沙棘(*Hippophae rhamnoides*) 种植对鄂尔多斯砒砂岩地区土壤容重、孔隙度与贮水能力的影响[J]. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1171–1176.
- [22] 林晓晨. 吉林省辽河流域土壤涵水与缓冲带截污能力研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.