

砒砂岩区三种沙棘根系特征与固土能力

卜繁靖¹, 郭月峰¹, 祁伟², 张燕³, 王皓月¹, 祁慧娟¹

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2.内蒙古水利水电勘测设计院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3.鄂尔多斯市林业和草原调查勘验中心, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要: [目的] 研究中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*)、太阳沙棘(*Hippophae rhamnoides* ssp. *taiyang*)、乌兰沙林沙棘(*Hippophae rhamnoides* ssp. *mongolica* “Wulanshalin”)在砒砂岩区的根系分布特征及林下土壤抗蚀性特征,为改善当地生态环境提供新的树种选择。[方法] 在野外挖土壤剖面获取根土复合体,在室内进行根扫描及崩解试验。[结果] ①沙棘根系垂直分布规律大致相似。随土层深度的增加,根长、根体积逐步减少。根系主要分布在 0—60 cm 土层,占总根量比例分别为 90.96%(中国沙棘),83.38%(太阳沙棘),74.93%(乌兰沙林沙棘);粗根主要分布在 0—40 cm 土层。水平方向粗根主要分布在距根基 0—20 cm 的范围内,细根主要分布在 20—100 cm 范围内,且距根基越远细根含量越少,根系整体呈浅层化分布。②沙棘林下土壤崩解速度变化趋势基本一致。以 0—20 cm 表层土平均崩解速度最低。随着深度增加逐步增大,水平方向距根基部越远土壤平均崩解速度越大。土壤崩解速度表现为:中国沙棘(3.18 g/s)>太阳沙棘(1.27 g/s)>乌兰沙林沙棘(1.21 g/s)。③土壤崩解速度与沙棘根系分布有显著相关关系。垂直方向上受到粗根和细根的共同影响,水平方向主要受到细根的影响,细根对固持水土的作用更大。[结论] 太阳沙棘的根系含量高于乌兰沙林沙棘,且根系分布特征和林下土壤崩解速度变化规律联系更密切,更适用于砒砂岩区的水土流失防治工作。

关键词: 砒砂岩区; 沙棘; 根系特征; 崩解速度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)05-0041-08

中图分类号: S793.6, S714.7

文献参数: 卜繁靖, 郭月峰, 祁伟, 等. 砒砂岩区三种沙棘根系特征与固土能力[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 41-48. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20220525.001; Bu Fanjing, Guo Yuefeng, Qi Wei, et al. Root system characteristics and soil consolidation ability of three *Hippophae rhamnoides* species in feldspathic sandstone area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(5): 41-48.

Root System Characteristics and Soil Consolidation Ability of Three *Hippophae Rhamnoides* Species in Feldspathic Sandstone Area

Bu Fanjing¹, Guo Yuefeng¹, Qi Wei², Zhang Yan³, Wang Haoyue¹, Qi Huijuan¹

(1.College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia

Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China; 2.Inner Mongolia Water

Resources and Hydropower Survey and Design Institute, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China;

3.Ordos Forestry and Grassland Investigation and Investigation Center, Ordos, Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: [Objective] The root distribution characteristics of *Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*, *Hippophae rhamnoides* ssp. *taiyang*, and *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* “Wulanshalin” in a feldspathic area, and the characteristics of soil erosion resistance under the forests were analyzed in order to provide new tree species options for improving the local ecological environment. [Methods] The soil profiles were excavated in the field to obtain the root-soil complexes, and the root scanning and disintegration test were performed indoors. [Results] ① The vertical distribution patterns of roots for the three seabuckthorn species were similar. Root

收稿日期: 2021-10-31

修回日期: 2021-12-10

资助项目: 国家自然科学基金项目“内蒙古砒砂岩区沙棘平茬后林木根系与根际微环境的调节机制”(31960329); 内蒙古自治区科技计划项目“生态脆弱区人工灌木林保护技术研发与示范”(2021GG0085), “地区多功能树种选育及扩繁关键技术与示范项目”(2019GG004)

第一作者: 卜繁靖(1998—), 男(汉族), 内蒙古自治区通辽市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。Email: 1563150504@qq.com。

通信作者: 郭月峰(1982—), 女(汉族), 内蒙古自治区乌海市人, 博士, 副教授, 硕士生导师。主要从事水土保持与荒漠化研究。Email: guoyuefeng0525@126.com。

length and root volume gradually decreased with increasing soil depth, and roots were mainly located in the 0—60 cm soil layer, accounting for 90.96% of the total root amount for *H. rhamnoides* ssp. *sinensis*, 83.38% for *H. rhamnoides* ssp. *taiyang*, and 74.93% for *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* “Wulanshalin”. Thick roots were mainly located in the 0—40 cm soil layer. The thick roots in the horizontal direction were mainly located in the range of 0—20 cm from the base of the plant, and the fine roots were mainly located in the range of 20—100 cm. The farther away from the base, the fewer the fine roots. The overall root system was distributed in a shallow layer. ② The change trend of soil disintegration rate under the *H. rhamnoides* forest was basically the same. The average disintegration rate of the surface soil at 0—20 cm was the lowest, and the rate gradually increased with increasing depth. In the horizontal direction, the farther away from the base of the plant, the greater the average disintegration rate of the soil. The soil disintegration rate followed the order of: *H. rhamnoides* ssp. *sinensis* (3.18 g/s) > *H. rhamnoides* ssp. *taiyang* (1.27 g/s) > *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* “Wulanshalin” (1.21 g/s). ③ There was a significant correlation between soil disintegration rate and root distribution of seabuckthorn. In the vertical direction, it was affected by both coarse and fine roots, while in the horizontal direction, it was mainly affected by fine roots, which have a greater effect on soil and water retention. [Conclusion] The root content of *H. rhamnoides* ssp. *taiyang* was higher than that of *H. rhamnoides* ssp. *mongolica* “Wulanshalin”, and the root distribution characteristics were more closely related to the change law of soil disintegration rate under the forest, which is more suitable for soil erosion prevention and control in the soft sandstone area.

Keywords: feldspathic sandstone area; *Hippophae rhamnoides*; root system characteristics; disintegration rate

内蒙古自治区中部地区分布着大量砒砂岩^[1-2], 砒砂岩抗侵蚀能力很弱, 干旱气候下坚硬如石; 浸水膨胀崩解、溃散成沙; 遇风则可能会出现被剥蚀风化的现象^[3-4]。同时, 由于该区域的自然环境相对比较恶劣, 年降雨少, 水分紧缺, 导致植物扎根难度大, 树木生长状况较差, 极易发生水土流失等地质灾害, 生态环境脆弱。自 20 世纪 80 年代以来, 砒砂岩地区开展了大规模人工林建设工程, 充分发挥了植物防风固沙的作用。但近期调查发现, 部分人工林出现了衰退现象, 水土保持功能减弱, 砒砂岩地区的生态安全面临新的挑战, 探究其他具有水土保持功能植物在砒砂岩区的生长特性及水土保持效果对于改善当地生态环境具有重要意义。

根系作为植物维持生长、获取养分的通道, 不仅对植物生长发育有着至关重要的作用, 还能够支撑、巩固、改良土壤, 起到稳定边坡的效果^[5-6]。李勇等^[7]深入探究了位于黄土高原上的油松 (*Pinus tabulaeformis*) 根部性质, 开启了采用植物改进土壤抗蚀性和稳定性的研究课题。吴宏伟^[8]研究发现指数形、三角形、均布形和椭圆形 4 种典型的根系形状中, 以指数形的根系形状最有利于提高边坡稳定性。刘秀萍^[9]从力学角度分析, 认为植物粗根能够对土壤起到锚固的作用, 细根起到加筋网结的作用。姬学龙等^[10]探究不同植被固土效益差异, 由高到低依次为: 其他灌木 > 云杉 (*Picea asperata*) > 油松 > 柠条 (*Caragana korshinskii*) > 山杨 (*Populus davidiana*) >

白桦 (*Betula platyphylla*)。通过以上学者的研究可知, 植物根系不同的分布特征和结构组成会产生不同的固土效果, 而根系分布结构又会受到植物种类、种植密度、培育时间、土壤条件以及气候环境的影响^[11]。因此, 深入研究植物根系的分布特征能够更好地反映植物固持水土的能力。

沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 因为自身的特性, 成为黄土高原地区防风固沙、改善生态环境的先锋树种^[12-13], 一直是水土保持专业重点的研究对象。目前对砒砂岩区沙棘根系的研究较多。郭月峰等^[14]发现沙棘平茬后深土层的根系含量明显增多。闫励等^[15]发现在砒砂岩区沙棘细根越长, 根系分形维数越大, 对环境的适应能力越强。但是少有砒砂岩区不同品种沙棘根系分布特征和固土能力的研究。因此, 本文基于金争平等^[16]和孔凡武^[17]的研究成果, 选择生长状态较好的太阳沙棘和乌兰沙林沙棘, 在砒砂岩区开展试验, 探究中国沙棘和引种太阳沙棘、乌兰沙林沙棘的根系分布特征及林下土壤抗侵蚀能力方面的差异及联系, 以期充分发挥沙棘的优良特性, 挖掘沙棘资源的潜力, 改善砒砂岩地区的生态环境提供依据。

1 研究区概况与试验方法

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, 是典型的侵蚀劣地砒砂岩区, 地理坐标为 39°42′—39°50′N, 110°25′—110°48′E,

流域地势不平坦,沟壑较多;平均海拔高度为800~1 590 m,属于半干旱大陆性季风气候,日照为2 900~3 100 h,全年无霜期长达148 d。年均降水量仅为400 mm,密集分布在7—8月;年均蒸发量为2 093 mm,年均气温为6.2~8.7℃,≥10℃积温为2 900~3 500℃。流域主要造林树种包括沙棘、油松、柠条锦鸡儿、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和山杏(*Prunus sibirica*)等,草本植物主要包括羊草(*Leymus chinensis*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)等。流域内土壤类型大部分为黄绵土,少有栗钙土及风沙土。土壤侵蚀性强,水土流失严重。

表1 样地概况

样地编号	林龄/a	基径/cm	株高/cm	林下主要草本植物
1	4	2.31±0.55	206±19.7	紫花苜蓿、茵陈蒿(<i>Artemisia capillaris</i>)、黄花草木樨(<i>Melilotus officinalis</i>)
2	4	2.8±1.07	177.22±16.0	狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)、猪毛菜(<i>Salsola collina</i>) 蕨菜(<i>Pteridium aquilinum</i>)、芦苇(<i>Phragmites australis</i>)
3	4	2.46±0.32	100.22±17.71	艾草(<i>Artemisia argyi</i>)、猪毛菜、茵陈蒿、芦苇

1.2.2 沙棘根系测定 通过前期调查发现沙棘根系一般呈向四周辐射状态,垂直向下的根系分布不深。因此,取根时以标准丛为中心,将水平距离标准丛100 cm的圆形范围,竖直深度大于0 cm且小于100 cm的土壤层视作取样区域,按照四分之一圆的方法进行样本采集,并以20 cm的竖向高度作为间隔将样本土层平均分成5个层级,以20 cm的水平距离作为间隔将样本土层平均分成5个水平区间。在从土层中收集沙棘根系时,应当将土层里的沙棘根系完全拣出,将泥土抖掉后,现场称重记录并编号放置在牛皮纸袋里,最后带至实验室。不同土层的沙棘根系按顺序于圆孔直径达0.01 cm的筛洗筐内进行清洗,去除其表面的泥土等杂物,用游标卡尺测量各径级根系,按径级分为:<2 mm(细根),2~10 mm(粗根)及>10~15 mm(骨骼根)3级^[18]。采用排水法测定各土层根系的体积,接下来对不同径级的根系分别用EPSON10000XL根系扫描仪进行扫描,结合WinRHIZO根系分析系统分析根系体积、根系长度等。

1.2.3 土壤崩解速度测定 在挖取沙棘根系的同时,在标准丛另一侧挖水平100 cm,垂直100 cm的剖面,均以20 cm为一段/层,分为以下5段/层(0—20, 20—40, 40—60, 60—80, 80—100 cm),用自制容器(5 cm×5 cm×5 cm铁盒)对各层的原状土体进行取样并标记,带回实验室使用浸水法分批测定各土体崩解速度。

1.2 材料与方法

1.2.1 调查与取样 于2020年6月选择内蒙古自治区准格尔旗暖水乡沙棘苗圃作为试验地,并选择2015年栽种的3种沙棘作为研究对象,沙棘种植密度为3 m×5 m。围绕每种沙棘建立规格为30 m×30 m的样地,分别为样地1(中国沙棘),样地2(太阳沙棘)和样地3(乌兰沙林沙棘)。对每个样地内的4 a沙棘进行每木检尺,并随机选择树干通直、生长良好、无病虫害的9丛沙棘作为标准丛进行调查取样,共27丛。为了增加试验的可信性,每个样地的标准丛数据再取均值。样地概括见表1。

崩解装置由天平、玻璃槽、金属网、秒表、金属细线、支撑件等元件构成。金属网的孔口面积设置成0.5 cm×0.5 cm,整个金属网的直径为10 cm,通过细线使金属网和天平相连,玻璃槽的水位以刚好浸没土层样本为宜。在正式开始实验之前,需要在玻璃槽内存入一定量的水,调节金属网的方位,在使金属网位于玻璃槽水位线以下后,设置天平数值为0;开始试验后,把已经完成重量称量的土层样本放在金属网上面,并对金属网进行悬置,随后以适当的速度把它放进水里面,此时连接金属网和天平的细线需保持紧绷平直的状态,试验开始后的2 min内,按照10 s读取一次天平示数的频次进行数据采集;之后按照30 s读取一次天平示数的频次进行数据采集,总计崩解时间是5 min。在土体发生崩解之后,及时用干净的水替换已经浑浊的水。本实验的基本原理为:将悬置的全部浸入水中的金属网作为受力部件,受力平衡表明,细线拉力与金属网所受浮力之和同金属网的重力相等,以此排除外力影响;通过土体的质量变化计算土壤崩解速度,以反映土壤崩解性质。具体公式如下:

$$V = \frac{M_1 - M_2}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

式中:V表示土壤崩解速度(g/s); t_1, t_2 表示发生崩解的不同时刻(s); M_1, M_2 分别为 t_1 和 t_2 时刻对应的天平示数(g)。土壤崩解速度V能够定量地反映

土壤的崩解性质, V 的数值越小, 意味着土壤的抗崩解性能越强, 不易被侵蚀。

1.3 数据处理

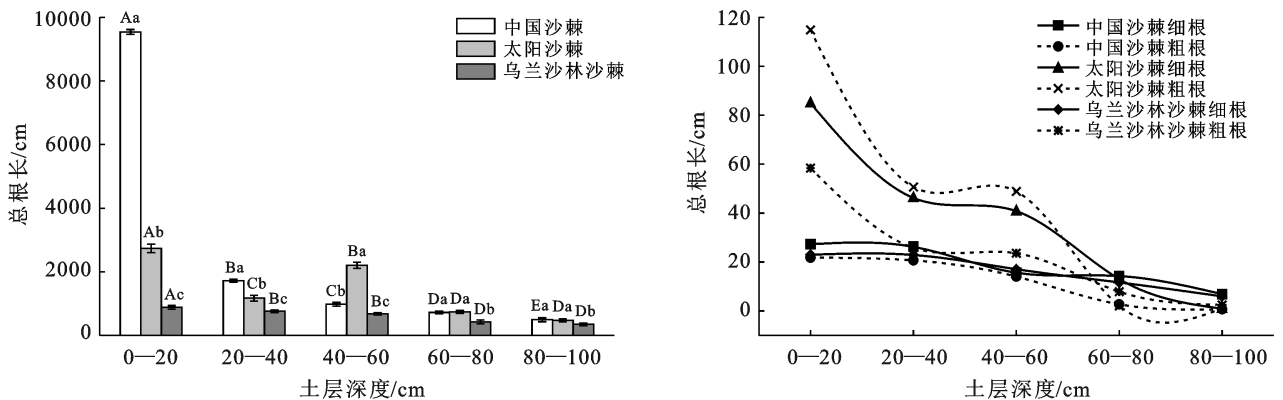
数据整理及制图采用 Microsoft Excel 2010 和 origin 2018, 数据分析采用 SPSS 22.0 软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 沙棘根系空间分布特征

如图 1 所示, 随着土层深度的增加, 3 种沙棘根系总根长均呈现逐步减少的规律。0—20 cm 土层可作为第一梯度, 该土层内沙棘根系总根长较高; 20—60 cm 为第二梯度, 该土层总根长较 0—20 cm 土层有所下降, 处于中间水平; 60—100 cm 为第三梯度, 该土层内总根长较小且无显著变化。在 0—20 cm 之间, 中国沙棘的总根长显著优于太阳沙棘和乌兰沙林沙棘。砒砂岩区土质较硬, 土层较厚, 含水层较低, 中国沙棘根系超强的穿透能力, 能够使根系钻透土层, 向下扎根吸收水分来维持自身生长。由沙棘各土层总根长可推出垂直方向总根长依次为: 中国沙棘 > 太

阳沙棘 > 乌兰沙林沙棘。不同径级根系同样呈现随深度增加, 总根长逐步减少的分布规律。在 0—80 cm 之间, 太阳沙棘的细根总根长显著高于中国沙棘和乌兰沙林沙棘; 在 80—100 cm 之间, 沙棘的细根总根长由高到低依次是: 中国沙棘 > 太阳沙棘 > 乌兰沙林沙棘。粗根的分布规律和细根相似。中国沙棘在各土层的细根总根长占垂直方向细根总根长的比例分别为 30.2%, 29.0%, 17.34%, 15.83%, 7.63%, 粗根总根长占垂直方向粗根总根长的比例分别为 36.34%, 34.48%, 23.44%, 4.53%, 1.21%。太阳沙棘在各土层的细根总根长占垂直方向细根总根长的比例分别为 45.67%, 24.85%, 21.94%, 7.03%, 0.51%, 粗根总根长占垂直方向粗根总根长的比例分别为 52.8%, 23.2%, 22.47%, 0.95%, 0.58%。乌兰沙林沙棘在各土层的细根总根长占垂直方向细根总根长的比例分别为 28.51%, 28.4%, 21.2%, 14.48%, 7.41%, 粗根总根长占垂直方向粗根总根长的比例分别为 49.41%, 21.87%, 19.95%, 6.67%, 2.1%。从根系占比分析, 3 种沙棘根系的垂直分布规律基本一致, 细根主要分布在 0—40 cm, 粗根主要分布在 0—60 cm。



注: 图中不同小写字母表示同一土层不同品种沙棘相关指标差异显著; 不同大写字母表示同一种沙棘在不同土层相关指标差异显著。

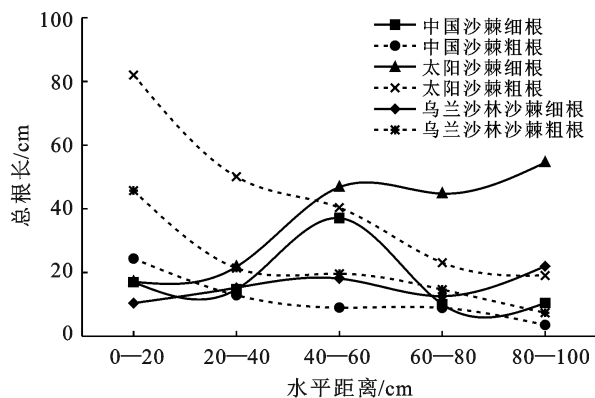
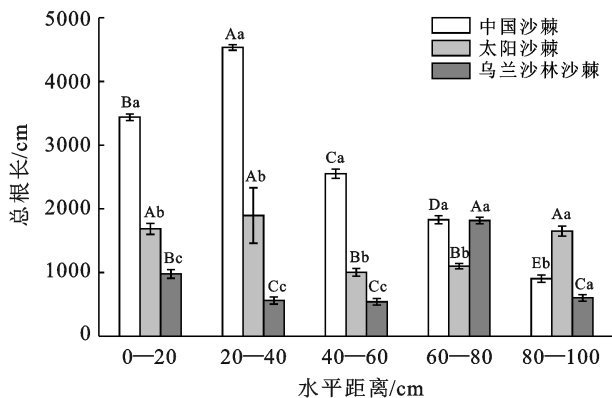
图 1 3 种沙棘根系总根长垂直分布特征

如图 2 所示, 在距标准丛根基部中心水平距离 0—60 cm 之间, 中国沙棘和太阳沙棘的根系总根长均呈现先增加后减少的趋势, 在 20—40 cm 之间, 总根长值最大, 之后随着水平距离的增加总根长逐渐减少。整体看, 3 种沙棘根系在水平方向总根长变化规律不尽相同, 随着距标准丛根基部中心水平距离的增加, 乌兰沙林沙棘表现为下降—上升—下降的曲线, 中国沙棘表现为上升—下降的曲线, 太阳沙棘表现为上升—下降—上升的曲线。结合沙棘的细根和粗根分布规律来看, 符合沙棘这种典型小灌木的生长机制, 植物为了存活, 先生长出粗根用来固定自身,

因而在水平距离 0—20 cm 之间, 粗根含量要明显高于细根。在稳定之后, 为了适应当地的生长环境 (少水), 根系在向外生长的同时又衍生出大量细根, 用以吸收水分及其他营养物质。中国沙棘在各水平区间的细根总根长占水平方向细根总根长的比例分别为 19.03%, 16.47%, 41.54%, 11.27%, 11.69%, 粗根总根长占水平方向粗根总根长的比例分别为 41.56%, 21.94%, 15.31%, 15.13%, 6.06%。太阳沙棘在各水平区间的细根总根长占水平方向细根总根长的比例分别为 9.24%, 11.79%, 25.29%, 24.20%, 29.48%, 粗根总根长占水平方向粗根总根长的比例

分别为 38.22%, 23.33%, 18.8%, 10.76%, 8.89%。乌兰沙林沙棘在各水平区间的细根总根长占水平方向细根总根长的比例分别为 13.29%, 19.44%,

23.12%, 16.08%, 28.07%, 粗根总根长占水平方向粗根总根长的比例分别为 42.06%, 19.68%, 18.03%, 13.47%, 6.76%。

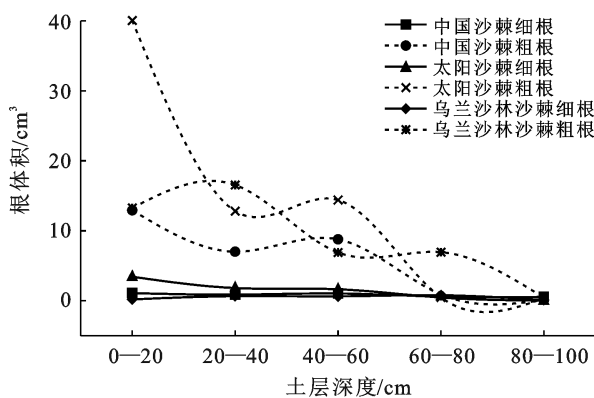
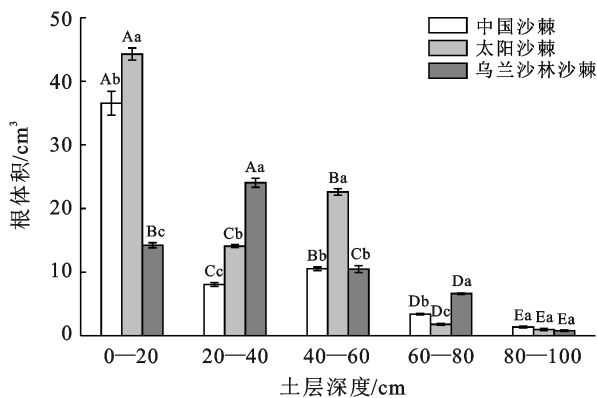


注:图中不同小写字母表示水平距离不同品种沙棘相关指标差异显著;不同大写字母表示同一种沙棘在不同水平相关指标差异显著。

图 2 3 种沙棘根系总根长水平分布特征

如图 3 所示,3 种沙棘根系的总根体积随土层深度的增加均呈减小—增大—减小的变化规律,形成这种变化的原因可能是根系在 40—60 cm 土层中获得了大量养分促进其再生长。中国沙棘和太阳沙棘的根体积最大值在 0—20 cm 的土层中,乌兰沙林沙棘根体积最大值在 20—40 cm 土层中,且主要构成为粗根,粗根占比大的土层其根系总根体积也较大。太阳

沙棘、乌兰沙林沙棘的细根体积和粗根体积最大值出现在 0—20 cm 的土层,其余土层根系体积较小,太阳沙棘细根体积高于中国沙棘和乌兰沙林沙棘。3 种沙棘的细根和粗根体积在土层中的分布格局相似,在每个土层中,粗根体积都要高于细根体积;随着垂直深度的增加,3 种沙棘的细根体积逐渐减少,细根含量变少。



注:图中不同小写字母表示同一土层不同品种沙棘相关指标差异显著;不同大写字母表示同一种沙棘在不同土层相关指标差异显著。

图 3 3 种沙棘根系体积垂直分布

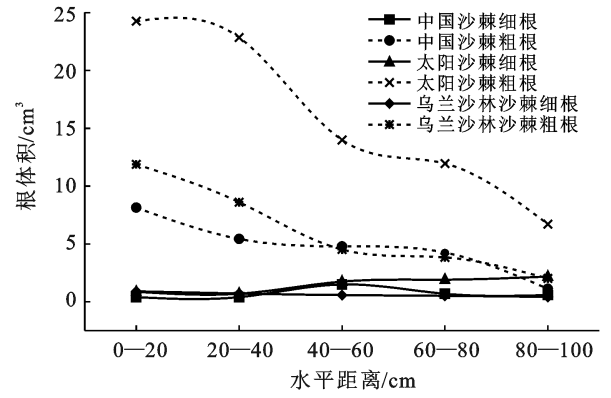
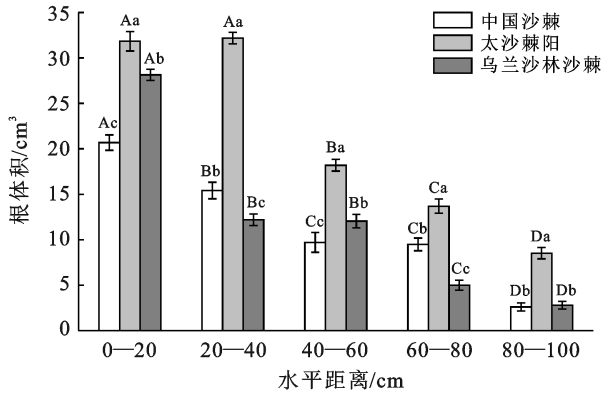
如图 4 所示,3 种沙棘根系体积随距标准丛根基部分中心水平距离的增加呈逐渐下降的趋势。在各水平区间根体积由大到小依次是:太阳沙棘>中国沙棘>乌兰沙林沙棘。3 种沙棘细根体积和粗根体积差异在各土层中的分布规律差异不大,离根基部越远细根含量越多,粗根主要分布在距根基水平 0—20 cm 间。

2.2 沙棘林下土壤崩解速度

不同品种沙棘林下垂直及水平方向的土壤崩解

速度随时间变化规律如图 5—6 所示。

随着时间的增加,中国沙棘林下的土壤崩解速度逐渐变小,各试样崩解速度在 0—30 s 急剧变化,崩解程度较大;而后直至 300 s,试样有部分颗粒散落,无明显崩解,变化程度较小。随着垂直深度的增加,中国沙棘林下的土壤崩解速度也越来越大,崩解速度最大值>6 g/s;0—20 cm 土层间的土壤崩解速度最小,80—100 cm 土层间土壤崩解速度最大。



注:图中不同小写字母表示水平距离不同品种沙棘相关指标差异显著;不同大写字母表示同一种沙棘在不同水平相关指标差异显著。

图 4 3 种沙棘根系体积水平分布

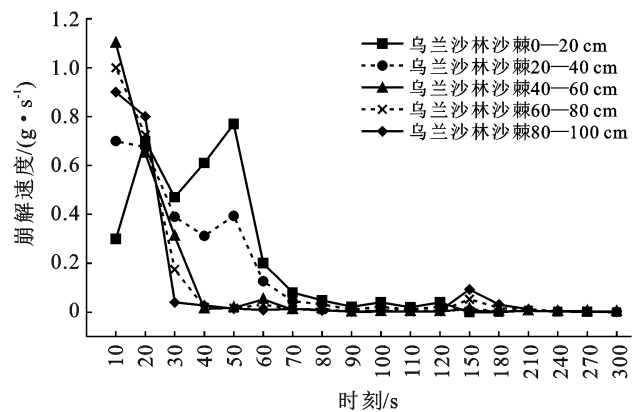
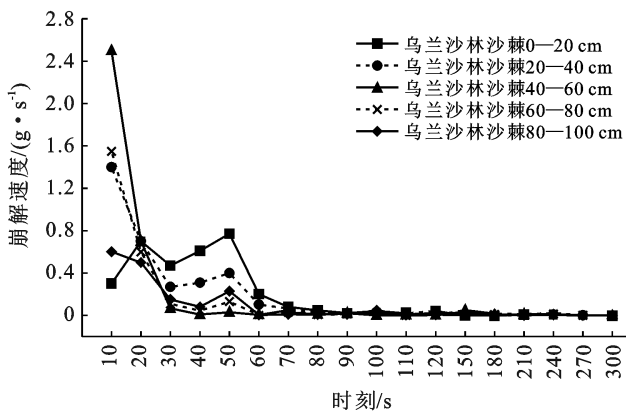
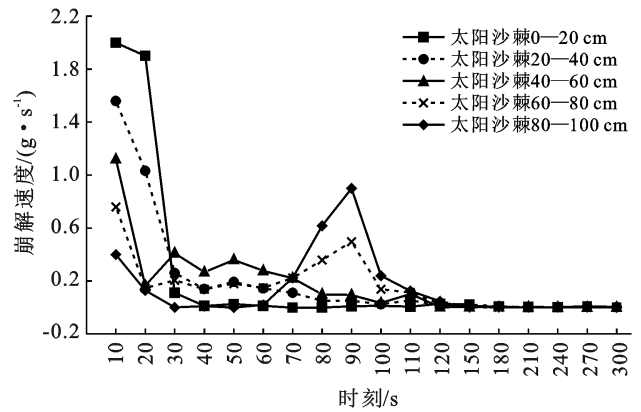
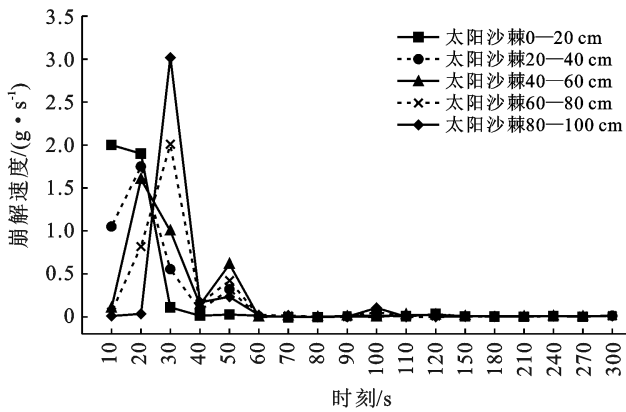
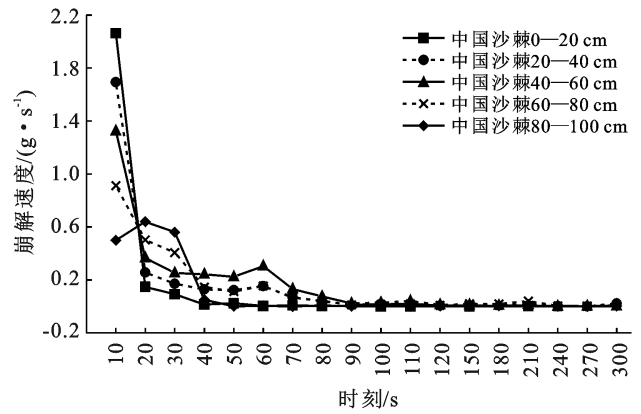
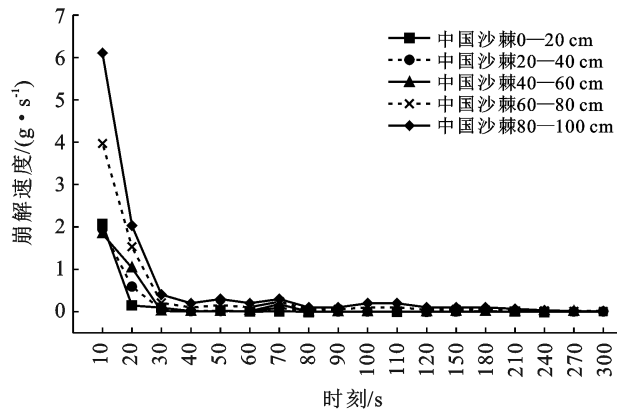


图 5 垂直土层土壤崩解速度变化特征

图 6 水平土层土壤崩解速度变化特征

与中国沙棘不同, 太阳沙棘林下的土壤崩解速度在 0—60 s 之间起伏较大, 表现为急升—急降—上升—下降的变化规律, 0—40 s 之间以 80—100 cm 土层间土壤崩解速度最大, 达到了 3 g/s, 土层越浅崩解速度越小, 0—20 cm 土层间的土壤崩解速度最小; 40—60 s 之间, 各土层试样经历了短暂的稳定后再次崩解, 崩解速度由快到慢依次是: 40—60, 60—80, 20—40, 80—100, 0—20 cm。90—110 s 之间也存在着小的崩解现象, 其他时刻的崩解过程与中国沙棘相同。乌兰沙林沙棘林下的土壤崩解速度在 0—60 s 之间变化较大, 表现为急降—上升—下降的变化规律, 开始崩解时, 40—60 cm 土层间的土壤崩解速度最大, 达到了 2.5 g/s, 0—20 cm 土层间的土壤崩解速度最小, 之后随着浸水时间的增加, 0—20 cm 土层间的土壤崩解速度逐渐变大并高于其他土层。

与垂直试样相似, 随着时间的增加, 各林下水平试样的土壤崩解速度先降低, 至某一时刻再变大, 继续崩解过程。太阳沙棘林下的土壤崩解速度变化趋势和崩解进程与中国沙棘相同。乌兰沙林沙棘在 0—60 s 之间变化较大, 60 s 之后相对稳定, 土壤崩解速度最大值为 1.1 g/s。中国沙棘和太阳沙棘在 0—30 s 之间变化较大, 之后也相对稳定, 土壤崩解速度最大值均达到了 2 g/s 左右。崩解速度随水平距离的变化规律一致表现为距根基越近(0—20 cm)崩解速度越小, 越远(80—100 cm)越大。

2.3 沙棘根系特征与林下土壤崩解速度的关系

通过 Pearson 相关性分析(表 2—3), 发现 3 种沙棘林下各垂直土层土壤崩解速度与当层根系分布规律均呈负相关关系, 说明根系对土壤崩解速度起到了抑制作用, 且粗根和细根含量是土壤抗蚀能力的主要因子(−0.925, −0.971^{*})。各水平土壤试样崩解速度与根系分布规律也呈负相关关系, 尤以细根为主(−0.941^{*}), 也符合沙棘在水平方向上细根含量多的特征。

表 2 沙棘根系特征和垂直土层土壤崩解速度的相关性分析

项目	总根长	细根比例	粗根比例	根体积	
土壤崩解速度	中国沙棘	−0.516	−0.925 [*]	−0.925	−0.632
	太阳沙棘	−0.812	−0.851	−0.806	−0.775
	乌兰沙林沙棘	−0.907 [*]	−0.971 ^{**}	−0.800	−0.878

表 3 沙棘根系特征和水平土层土壤崩解速度的相关性分析

项目	总根长	细根比例	粗根比例	根体积	
土壤崩解速度	中国沙棘	−0.893	−0.867	−0.369	−0.830
	太阳沙棘	−0.791	−0.941 [*]	−0.609	−0.699
	乌兰沙林沙棘	−0.536	−0.712	−0.616	−0.571

注: ①相关性水平均是在 $p < 0.05$ 水平下。②^{*} 表示皮尔逊系数(R 值)在 $p < 0.05$ 水平上显著相关, ^{**} 表示该值在 $p < 0.01$ 水平上极显著相关。下同。

3 讨论

3.1 根系分布特征及差异

试验发现 3 种沙棘根系的垂直分布规律相似, 根系总根长自上而下逐渐减少, 呈浅层分布, 根系集中分布在 0—60 cm 土层, 60—100 cm 土层间根系含量较少。不同径级根系垂直分布规律相似, 自上而下根系占比逐渐减少, 细根主要分布在 0—60 cm, 粗根主要分布在 0—40 cm。这与陈江南等^[18]、武晶等^[19]、王浩^[20]有关裸露砒砂岩区沙棘根系主要分布在 0—40 cm 土层的结论基本相同。形成这样分布的原因是 50—70 cm 深度处的土层为钙积层, 这种土层的构造紧密、通透性差, 植物向下扎根的难度增加, 加上砒砂岩特殊的构造, 导致其根部长短一般较短, 因此在 80—100 cm 土层根含量最少。中国沙棘总根长最长, 说明中国沙棘的根系具有很强的穿透能力; 太阳沙棘在 0—80 cm 之间的细根总根长明显高于中国沙棘和乌兰沙林沙棘, 说明太阳沙棘的根系具有很强的萌蘖能力, 有利于获取营养物质, 能更好地适应砒砂岩区恶劣的自然条件^[21]。试验发现, 3 种沙棘根系在水平方向分布也基本相似, 在水平 0—100 cm 之间均有根系, 结合沙棘各径级根系根长占比, 根体积占比发现, 粗根多分布在水平 0—20 cm 的范围内, 随着水平距离的延长, 以细根为主。

综合分析沙棘根系在垂直和水平方向上的分布规律, 得出砒砂岩区沙棘根系主要生长范围在以根基为中心, 垂直深 80 cm, 水平长 100 cm 左右的区域。由于砒砂岩自身的特殊性, 导致沙棘根系主要分布在土壤表层, 呈浅根型分布, 且水平根系比较发达, 其总根长、根体积多高于垂直根, 这与苗恒录等^[22]、党晓宏^[23]的研究结果一致。沙棘在贫瘠且干旱的砒砂岩区具有发达的水平根系, 一方面可以有效提高根系占有空间的能力, 增加沙棘养分水分空间, 有效利用土壤水分和养分; 另一方面, 在多风沙的砒砂岩区, 发达的水平根系相对于垂直根系能够更好地固定和支撑整个植株^[24]。

3.2 土壤崩解过程及差异

土体抗崩解性质即土体在静止水体环境下维持结构稳定和抵抗分解崩塌的能力, 是国内常用的衡量土壤可蚀性的指标之一^[25], 土壤崩解即土体在水中出现散落的情况, 崩解速度体现出土体构造抗击雨水浸润瓦解的能力, 是评估土壤抗蚀性的主要指标之一^[26]。在试验过程中发现: 3 种沙棘林下根土复合体试样崩解过程基本一致, 可分为 3 个阶段。①初始阶段崩解剧烈, 崩解速度达到峰值, 土体四周松散颗粒

下沉,原因可能是试样刚浸水,受到压力会促使裂隙、孔隙发展,导致颗粒间胶结物溶解、连结性减弱。

②当浸水时间稍长后,土体水分达到饱和,水分入侵困难,崩解速度会减缓。随着浸水时间延长,试样内部含水率增大,内部受力不平衡,发生应力集中造成土体快速崩解,崩解速度再次达到峰值。③待试样饱和度满足一定状态,基质吸力逐渐减小,试样颗粒间孔隙气压与大气压逐渐平衡时,崩解速度又逐渐减小,崩解的第二阶段结束。在崩解的第三阶段,通过观察,土体已大致成为泥状,无较强崩解现象,崩解过程基本结束。3种沙棘的垂直试样和水平试样崩解速度变化大致相同。垂直试样中以0—20 cm表层土崩解速度最低,说明抗侵蚀能力最强;80—100 cm深层土崩解速度最高,最易被侵蚀。水平各试样以距根基最近的0—20 cm崩解速度最低,80—100 cm崩解速度最高。对比垂直和水平试样崩解过程和崩解速度的变化,可以发现垂直试样崩解剧烈时间在入水0—30 s,水平试样为0—60 s,而垂直试样的崩解速度也显著高于水平试样,说明土样崩解过程发展越快、最大崩解速度越大,崩解稳定所需时间也越短。

3.3 根系与崩解速度的关系

将沙棘根系分布特征和林下土壤崩解速度结合分析,能较直观地感受到根系对于固土起到的促进作用,根系分布较多的土层,土壤平均崩解速度较低,固土能力较强。相关性分析结果表明,垂直方向上以粗根和细根含量为主要影响因子,水平方向上以细根为主要影响因子。说明沙棘粗根发挥固土作用的程度主要看其生长深度,相比于沙棘的粗根来说,细根对固持水土的影响更大,细根多为横向生长,分布范围较广,生长密集能够更好地让土壤颗粒保持在相对稳定的位置上^[27]。沙棘根系在砒砂岩区的浅层分布规律有利于控制易发生面蚀、沟蚀的表层土,更好地发挥水土保持作用。

4 结论

(1)沙棘根系垂直分布规律大致相似,随土层深度的增加,总根长、根体积均呈现逐步减少的规律,根系主要分布在0—60 cm土层,占总根量比分别为90.96%(中国沙棘),83.38%(太阳沙棘),74.93%(乌兰沙林沙棘);粗根主要分布在0—40 cm土层。水平方向粗根主要分布在距根基0—20 cm的范围内,细根主要分布在20—100 cm范围内,且距根基越远细根含量越少,根系整体呈浅层化分布。

(2)沙棘林下土壤崩解速度变化趋势基本一致,以0—20 cm表层土的平均崩解速度最低,随着深度

增加崩解速度逐步增大;水平方向为距根基部越远土壤平均崩解速度越大。土壤崩解速度表现为:中国沙棘(3.18 g/s)>太阳沙棘(1.27 g/s)>乌兰沙林沙棘(1.21 g/s)。

(3)土壤崩解速度与沙棘根系分布有显著相关关系。垂直方向上受到粗根和细根的共同影响,水平方向以细根为主要影响因子,细根对固持水土的影响更大。

(4)太阳沙棘的根系含量高于乌兰沙林沙棘,且根系分布特征和林下土壤崩解速度变化规律联系更密切,更适用于砒砂岩区的水土流失防治工作。

[参 考 文 献]

- [1] 王立久,李长明,董晶亮.砒砂岩分布及岩性特征[J].人民黄河,2013,35(12):91-93.
- [2] 葛磊,李娟,彭飏.鄂尔多斯砒砂岩微观结构特征研究[J].西部大开发(土地开发工程研究),2019,4(8):36-42.
- [3] 肖培青,姚文艺,刘慧.砒砂岩地区水土流失研究进展与治理途径[J].人民黄河,2014,36(10):92-94.
- [4] 童伟,韩霁昌,王欢元,等.毛乌素沙地砒砂岩与沙复配成土技术固沙效应[J].中国沙漠,2015,35(6):1467-1472.
- [5] 吴美苏,周成,王林,等.根系和裂隙对土体水力和力学特性影响数值模拟[J].岩土力学,2019,40(S1):519-526.
- [6] Ng C W W, Kamchoom V, Leung A K. Centrifuge modelling of the effects of root geometry on transpiration-induced suction and stability of vegetated slopes [J]. Landslides, 2016, 13(5):925-938.
- [7] 李勇,吴钦朱,朱显谟,等.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究(I):油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应[J].水土保持学报,1990,4(1):1-5.
- [8] 吴宏伟.大气—植被—土体相互作用:理论与机理[J].岩土工程学报,2017,39(1):1-47.
- [9] 刘秀萍.林木根系固土有限元数值模拟[D].北京:北京林业大学,2008.
- [10] 姬学龙,秦伟春,魏浩男,等.宁夏罗山国家级自然保护区不同植被类型保育土壤功能及价值评估[J].宁夏工程技术,2019,18(2):165-168.
- [11] 刘龙,姚云峰,郭月峰,等.农牧交错带柠条锦鸡儿根系与土壤水分空间关系研究[J].中国农业科技导报,2017,19(7):101-107.
- [12] 陆增祥,孟好军,阎春鸣.沙棘生长规律及对土壤性质改良的研究[J].甘肃科技,2006,22(10):220-221.
- [13] 梁月,殷丽强.砒砂岩区沙棘人工林对土壤化学性质的影响分析[J].国际沙棘研究与开发,2014,12(2):15-17.
- [14] 郭月峰,祁伟,姚云峰,等.内蒙古砒砂岩区沙棘细根生长特征对平茬的响应[J].中国农业科技导报,2020,22(12):155-162.

- [24] 闫瑞亚, 娄安如. 阿拉善荒漠灌丛群落谱系结构及其影响因子[J]. 西北植物学报, 2019, 39(11): 2072-2081.
- [25] Li X R, Zhang Z S, Zhang J G, et al. Association between vegetation patterns and soil properties in the southeastern tengger desert, China [J]. Arid Land Research and Management, 2004, 18(4): 369-383.
- [26] 杨崇曜, 李恩贵, 陈慧颖, 等. 内蒙古西部自然植被的物种多样性及其影响因素[J]. 生物多样性, 2017, 25(12): 1303-1312.
- [27] 何明珠. 阿拉善高原荒漠植被组成分布特征及其环境解释(Ⅲ): 植物功能群多样性对环境因素的响应[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 278-286.
- [28] 黎磊, 陈家宽. 气候变化对野生植物的影响及保护对策[J]. 生物多样性, 2014, 22(5): 549-563.
- [29] 杜忠毓, 贺一鸣, 房朋朋, 等. 孑遗濒危植物四合木群落组成、物种多样性及土壤养分含量[J]. 生态学杂志, 2020, 39(11): 3537-3548.
- [30] 马全林, 王继和, 金红喜, 等. 国家二级保护植物绵刺的生物、生态学特征[J]. 植物研究, 2003, 23(1): 106-111.
- [31] 黄继红, 臧润国. 中国植物多样性保护现状与展望[J]. 陆地生态系统与保护学报, 2021(1): 66-74.
- [32] 哈斯巴根. 内蒙古野生植物资源分类及开发途径的研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2002, 31(3): 262-268.
- [33] 刘果厚, 高润宇, 赵培英. 珍稀濒危植物沙冬青、四合木、绵刺和半日花等四种旱生灌木在环境胁迫下的生存对策分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2001, 22(3): 66-69.
- [34] 杜巧珍, 红雨, 包贺喜图. 珍稀濒危植物蒙古扁桃研究进展[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2010, 39(3): 308-312.
- [35] 阿里穆斯, 庄丽, 王勇, 等. 西鄂尔多斯珍稀濒危药用植物资源调查与评价[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2014, 45(1): 43-50.
- [36] 魏育钢. 阿拉善木本植物区系及其资源利用[D]. 内蒙古呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [37] 刘芳. 乌兰布和沙区的植物资源[J]. 内蒙古师大学报(自然科学汉文版), 2000, 29(3): 215-220.

(上接第 48 页)

- [15] 闫励, 杨方社, 李怀恩, 等. 砒砂岩区不同立地地下沙棘根系分形特征[J]. 干旱区研究, 2019, 36(2): 467-473.
- [16] 金争平, 蓝登明, 周世权. 中国沙棘优良类型选育和俄罗斯大果沙棘引种研究[J]. 沙棘, 1998(4): 10-16.
- [17] 孔凡武. 大果沙棘品种引种栽培试验初报[J]. 山西林业科技, 2020, 49(3): 4-5.
- [18] 陈江南, 辛瑛, 李贵, 等. 砒砂岩区沙棘根系的初步调查与分析[J]. 沙棘, 1998(2): 10-12.
- [19] 武晶, 王百田, 郭红艳, 等. 浅析沙棘根系在砒砂岩地区坡面上的分布[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 358-360.
- [20] 王浩. 砒砂岩区不同生境条件下沙棘根系构型特征研究[D]. 陕西 西安: 西北大学, 2018.
- [21] 胡建忠, 刘丽颖, 殷丽强, 等. 砒砂岩区沙棘群落根系层的垂直分布规律[J]. 防护林科技, 2011(1): 15-19.
- [22] 苗恒录, 张瑞强, 王健, 等. 沙棘的水土保持作用机制与效益[J]. 中国水土保持, 2020(6): 34-36.
- [23] 党晓宏. 鄂尔多斯砒砂岩地区沙棘林生态效益分析研究[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [24] 刘国军, 张希明, 李晓荣, 等. 塔克拉玛干柽柳的根对多风环境的适应[J]. 科学通报, 2008, 53(S2): 147-150.
- [25] 蒋定生, 李新华, 范兴科, 等. 黄土高原土壤崩解速率变化规律及影响因素研究[J]. 水土保持通报, 1995, 15(3): 20-27.
- [26] 刘国彬. 黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 12(1): 93-96.
- [27] Durán Zuazo V H, Rodríguez Pleguezuelo C R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2008, 28(1): 65-86.