2 种水土保持灌木的根系数量特征研究

马红燕[1]，格日乐[1]，赵杏花[1]，斯 琴[1]，刘俊宇[1]
（内蒙古农业大学 生态环境学院，内蒙古 呼和浩特 010019）

摘 要：以内蒙古自治区准格尔煤田黑岱沟露天矿排土场 2 种人工栽植的 4 龄水土保持灌木柠条和沙棘的根系为对象，通过研究根系数量特征，确定其代表根，为 2 种灌木根系的生物力学性质和抗蚀研究提供了基础数据和相关参数。代表根的确定将根系以 0.5 mm 为 1 个径级进行分级，计算每个径级组的累计根数量、累计根长、累计根表面积和累计根干重等 4 个方面，取这 4 个值百分比相对较大的径级组作为各自的代表根。结果表明：柠条代表根径级为 0～0.5 mm，0.5～1 mm，1～1.5 mm；沙棘代表根径级是 0.5～1 mm和 1～1.5 mm。在根系固土抗蚀生物力学性质的研究中，建议在内蒙古准格尔露天矿排土场及相似地区柠条和沙棘 2 种水土保持灌木主要研究的根茎范围以其代表根径级为主要研究范围。

关键词：排土场；灌木；代表根；径级
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2013)02-0165-04 **中图分类号**：Q944.54

Quantity Characteristics of Root System of Two Shrubs for Soil and Water Conservation in Waste Dump

MA Hong-yan[1], GERILE[1], ZHAO Xing-hua[1], SI Qin[1], LIU Jun-yu[1]
(*College of Ecology and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia* 010019, *China*)

Abstract: The roots of two kinds of 4 years old shrubs (*Caragana microphylla* Lam. and *Hippophae rhamnoides* Linn.), which was artificially planted for soil and water conservation, were studied in the waste dump of Strip Mine in Heidaigou. The roots quantity characteristics were examined. In addition, the biomechanical properties and corrosion studies were conducted on their representative roots to provide basic data and related parameters. The representative roots were selected according to the following procedures: (1) The root systems were divided into groups by an interval of 0.5 mm; (2) The total root number, root length, surface area and dry weight were recorded and calculated for each group; (3) The representative roots were then selected as the group that had relatively high values in terms of the four parameters. The result showed that the representative roots levels were 0～0.5 mm, 0.5～1 mm, 1～1.5 mm for *Caragana microphylla* Lam; and 0.5～1 mm and 1～1.5 mm for *Hippophae rhamnoides* Linn, respectively. It is suggested that the representative roots should be considered only if these two kinds of shrubs were studied in waste dump of Strip Mine in Heidaigou and other similar areas.

Keywords: waste dump; shrubs; representative roots; diameter class

土壤侵蚀是一个世界性的生态问题，是目前全球瞩目的环境问题之一，人为加速侵蚀是土壤侵蚀研究中的关键内容。我国是世界上最大的煤炭生产国，煤炭资源的开发对我国经济建设和社会发展起到了重要的支撑作用，但也引发了一系列的生态环境问题。露天采煤矿区是直接剥离表土和矿层的上覆岩层，使矿层暴露后开采，并在采区内外分层堆置剥离岩土与矸石、尾矿等废弃物，从而形成阶梯宝塔状的排土场。大型排土场的最大垂直高度在 400 m 左右，最大容量达 1.0×10^9 m^3[1]。

新建大型排土场平台由于重型卡车碾压表层严重压实、高坡度大坡长的松散坡面、岩土混排、复杂的物料组成，长时间的不均匀沉陷、特殊的孔隙、裂隙/裂缝和洞穴分布等，形成了与原地貌显著不同的侵蚀

收稿日期：2012-03-20 修回日期：2012-04-22
资助项目：国家自然科学基金项目“准格尔露天煤矿排土场水土保持功能植被固土抗蚀生物力学响应机制”(41161046)；内蒙古农业大学科技创新团队资助计划(NDTD2010-11)
作者简介：马红燕(1986—)，女(汉族)，内蒙古自治区呼和浩特市人，硕士研究生，从事土壤侵蚀方面的研究。E-mail：hungalu@126.com。
通信作者：格日乐(1970—)，女(蒙古族)，内蒙古自治区呼和浩特市人，博士，副教授，主要从事水土保持与荒漠化防治方面的研究工作。E-mail：gerile81@sohu.com。

特征。因压实造成植物扎根困难和大量地表径流;因有沉陷裂缝存在,径流汇集钻入裂缝,集中下渗,下渗水从下伏边坡间出露,诱发崩塌、滑坡和坡面泥石流,或钻向基底,降低基底承载力,整体失陷。而植物措施对于改善养分十分贫瘠的排土场,是一项长期可行的水土保持治理措施。

根是植物直接与土壤接触的营养器官,也是植物生物量的重要组成部分。根系不仅可以不断地从土壤中吸收水分和养分来满足植物生长发育,构建自身[2],而且能与土壤颗粒形成根网,将植物体牢牢固定于土壤中,在稳定土壤结构、提高土壤抗蚀性、防止土壤侵蚀方面的作用是非常显著的,是地上部分所无法替代的[3]。此外,根系还是陆地生态系统物质分配与过程的核心环节[4]。因此,植物根系研究一直以来是生态学研究的重要内容[5-7],但由于根系生长于地下,准确取样、测定、观察存在一定困难,影响了有关研究的进展。

近年来,随着根系研究方法的不断发展,对根系分布特征和固土特性的研究也越来越多[8-12]。植物种类不同,立地条件不同,根系的强度特征和所发挥的固土能力也不相同,即根系的生物力学特性不同,根系固土抗蚀的有效性也不同。然而,研究根系的固土特性如果针对每种植物的整个根系,工作量大,重复性小,针对这些问题,通过研究根系的数量特征,确定其代表根[13],代表根的确定方法是将根系以 0.5 mm 为 1 个径级进行分级,计算每个径级组的累计根数量、累计根长、累计根表面积和累计根干重等 4 个方面,取这 4 个值百分比相对较大的径级组作为各自的代表根。准格尔煤田是内蒙古自治区西部大型的采煤矿区,也是国家重点煤田工程所在地。自煤炭开采以来,已在排土场、露天开采场、废弃岩土堆置场、煤矸石山及采空塌陷地等扰动地进行了大范围的环境整治和土地复垦[14-15]。有鉴于此,以准格尔煤田黑岱沟露天矿排土场 2 种人工栽植的 4 龄水土保持灌木植物柠条(*Caragana microphylla* Lam.)和沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)的根系为对象,通过研究根系数量特征,从而确定其代表根,为 2 种灌木根系的生物力学性质和抗蚀研究提供基础数据和相关参数。同时能为正确认识 2 种植物的根系特征奠定基础,也为该区域矿区土壤侵蚀防治的生物措施中植被配置、树种选择等提供科学依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 试验地自然概况

黑岱沟露天煤矿位于内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗东部,海拔在 1 025～1 302 m,北距呼和浩特市 130 km,地处黄河西岸,黑岱沟与龙王沟之间,面积达 52.11 km^2。地理坐标东经 111°13′—111°20′,北纬 39°43′—39°49′,属于晋、陕、蒙接壤黄土地区的一部分。矿区气候属于中温带半干旱大陆性气候,年均温 7.2 ℃,年平均降水量为 404.1 mm,降水多集中在 7—9 月份,约占全年降水量的 60%～70%,且多以暴雨的形式出现。秋末和冬春盛行西北风,多年平均风速 3.6 m/s,年均大风日数 42.2 d,年均沙尘暴 17～26 d。因受强烈侵蚀的影响,矿区内地带性土壤不明显,非地带性土壤—黄绵土广泛分布。矿区土壤主要为黄绵土,微碱性,肥力低下。排土场台阶上的土壤均为复填土,因排土车辆碾压较紧密。矿区内地带性植被属暖温型草原带,植被稀疏低矮,盖度一般在 30%以下,天然森林已全遭破坏。

1.2 样地及标准株选择

2011 年 9 月,在试验区的东排土场[16],选择生长良好的柠条、沙棘样地,对每一种植物随机抽取 4 年生植株 30 株作为 1 个样本,测其地径、株高及冠幅,计算其平均值。在 30 株样本中找出与平均值最接近的 5 株植物作为标准株进行研究。

1.3 根系分级测定方法

将选择好的标准株用整株挖掘法[17]挖出根系,测定各级根系的数量,然后分别剪下,用精度为 0.01 mm 的电子游标卡尺测量每一根根直径,并按 0～0.5 mm(小于 0.15 mm 的毛根除外),0.5～1 mm,1～1.5 mm,1.5～2 mm,2～2.5mm、2.5～3 mm,3～3.5 mm,3.5～4 mm,4～4.5 mm,4.5～5 mm,5～10 mm 和>10 mm 的根径对根系进行分级,由于根系材料直径不同,生物力学特性不同,造成这种差异的原因是根系的组分不同,即根茎小则单位干质量的纤维素含量比根茎大的多[18-19],因此,基于上述研究结论,若某一条根跨越多个径级,则在临界点处将其剪断,分别归入相应的径级中。根长用盒尺测量,并计算根系表面积,然后将各个径级的根系在 85 ℃条件下烘 12 h,然后用 1%的天平称量各个径级根的干重。

$$S_i = 3.14 D_i \cdot L_i$$

式中:S_i——第 i 条根段的表面积;D_i——第 i 条根段的平均直径;L_i——第 i 条根段的长度。

2 结果与分析

2.1 2 种植物不同序级和径级根系的数量特征

2.1.1 不同序级根系的数量特征 从表 1 中可以看出,根的总数是柠条 141 根,明显大于沙棘的 70 根,

说明柠条根系的分枝能力较沙棘强,这除了与植物本身的生物学特性有关外还和其分布的立地条件密切相关。按照不同序级统计,2 种植物均有Ⅳ级侧根,其中,柠条Ⅱ级侧根根数>Ⅰ级侧根根数>Ⅳ级侧根根数>Ⅲ级侧根根数,且Ⅰ级和Ⅱ级侧根根数所占百分比和为 67.38%,明显大于Ⅲ级和Ⅳ级侧根根数所占百分比和 32.62%。这是因为柠条生长在排土场边坡,土层相对较松散,根系生长受到的阻力较小,分支相对较多,粗根(Ⅰ级和Ⅱ级侧根)在坡面上固持土体的作用较为明显,在土体中主要起到锚固的作用来稳定个体,同时粗根和细根(Ⅲ级和Ⅳ级侧根)共同从周围土壤吸收养分和水分,供植物地上部分的生长。

表 1　2 种植物不同序级根系数量特征

植物种类	根总数(个/株)	根数所占比例/%			
		Ⅰ级侧根	Ⅱ级侧根	Ⅲ级侧根	Ⅳ级侧根
柠条	141	29.79	37.59	14.89	17.73
沙棘	70	3.35	20.10	50.24	26.32

沙棘为Ⅲ级侧根根数>Ⅳ级侧根根数>Ⅱ级侧根根数>Ⅰ级侧根根数,沙棘Ⅲ级侧根根数占总根的 50.24%,明显大于其他序级,其次为Ⅳ级侧根,占总根的 26.32%,Ⅲ级和Ⅳ级侧根根数所占百分比和 76.56%,说明沙棘根系在土壤中以细根分布为主,这是因为沙棘样地分布在排土场平台上,平台立地条件是土层较紧实,同时土壤干旱和瘠薄,植物为适应平台紧实、干旱和瘠薄的土壤环境,根系表现出明显的可塑性特点,即以细根分布为主,通常细根的比例越大,单位面积的吸收比例越大。因此,较细的根系是土壤养分、水分的主要吸收者、利用者。另外,细根分泌物还能够改善土壤的容重、团聚体含量等,同时已有的研究表明[20],细根对缠绕固结土壤,强化土壤抗冲性有巨大作用。所以在植物根系固土抗蚀的作用中,细根亦具有不可忽视的作用。这也反映沙棘能适应排土场紧实、干旱和贫瘠的土壤环境。

2.1.2　不同径级根系的数量特征　对 2 种植物的标准株根系进行分级,结果详见表 2。分级后根的总数量表现为柠条>沙棘,其中,柠条在 0 mm～1.5 mm 径级组范围内根数量最多,沙棘则在 0.5 mm～1.5 mm径级组范围内根数量最多,说明,现阶段 2 种植物根系分级后根数主要分布在小径级范围内。2 种植物分级前后根数变化是柠条>沙棘,即柠条增加了 26 条,沙棘减少了 7 条,说明每一个根直径变化沙棘较柠条更加均匀。

表 2　2 种植物根系分级后的数量特征

植被类型	0～0.5 mm	0.5～1 mm	1～1.5 mm	1.5～2 mm	2～2.5 mm	2.5～3 mm	3～3.5 mm	3.5～4 mm	4～4.5 mm	4.5～5 mm	5～10 mm	>10 mm	总计
柠条/个	63	38	23	12	8	6	5	3	3	4	2	0	167
沙棘/个	5	25	14	7			3	3		6	0	0	63

2.2　2 种植物根系代表根

对柠条和沙棘标准株间累计根数量百分比、累计根长百分比、累计根表面积百分比和累计根干重百分比进行方差分析得出,每种植物的标准株间累计根数量百分比、累计根长百分比、累计根表面积百分比和累计根干重百分比在 $p=0.05$ 水平下均无显著差异。

从表 3 中可以看出,柠条根系的累计根数百分比在 0～1.5 mm 直径范围内占据总根数的主体,为 74.24%,沙棘在 0.5～1.5mm 直径范围内占据总根数的主体,为 61.90%,即 2 种植物根系均以小径级分布为主。从累计根长度百分比来看,柠条直径 0～1.5 mm的累计根长度百分比为 75.06%,沙棘以 0.5～1.5 mm 根径范围占据主体为 45.73%,说明细根的根系累计长度占据 2 个植物种总长度的主体。从累计根表面积来看,柠条直径在 0～1.5 mm 范围内为 44.22%,沙棘则在大径级 4.5～5 mm 时最大为 47.43%。从累计根干重来看,柠条直径在 0～1.5 mm 范围内为 38.18%,沙棘在 0.5～1.5 mm 范围内为对应的累计根干重百分比和很小为 1.42%,根系直径较大,根系干重就占较大的比重,所以沙棘根系大径级 4.5～5 mm 对应的累计根干重百分比占据总干重的主体,为 90.43%。

分析可知,柠条小径级(0～1.5 mm)根数比例越大,对应的根系的累计长度和累计表面积越大,而沙棘则表现为大径级范围(4.5～5 mm)对应的累计根表面积和干重百分比最大。其原因可能除了与植物本身的生物学特性有关以外,还和其生长的立地条件密切相关。

综上所述,从 2 种植物根系的累计根数量、累计根长度、累计根表面积和累计根干重百分比这 4 个方面判断,同时考虑 2 种灌木根系对排土场干旱、贫瘠环境的适应特点,确定 2 种植物的代表根径级分别为:柠条(0～0.5 mm,0.5～1 mm 和 1～1.5 mm);沙棘(0.5～1 mm 和 1～1.5 mm)。

表 3 2 种植物累计根数量、累计根长度、累计根表面积和累计根干重的比例 %

项目		0～0.5 mm	0.5～1 mm	1～1.5 mm	1.5～2 mm	2～2.5 mm	2.5～3 mm	3～3.5 mm	3.5～4 mm	4～4.5 mm	4.5～5 mm	5～10 mm	合计
数量比例	柠条	37.71	22.76	13.77	7.19	4.79	3.59	2.99	1.80	1.80	2.40	1.20	100
	沙棘	7.94	39.68	22.22	11.11	0	0	4.76	4.76	0	9.52	0	100
根长比例	柠条	27.96	32.64	14.46	11.51	4.17	2.60	2.03	1.43	0.49	2.13	0.58	100
	沙棘	6.04	19.88	25.85	3.36	0	0	8.58	12.05	0	24.25	0	100
表面积	柠条	7.81	20.94	15.47	17.23	8.03	6.11	5.66	4.57	1.78	8.67	3.73	100
	沙棘	0.62	6.14	13.31	2.42	0	0	11.48	18.61	0	47.43	0	100
干重比例	柠条	6.66	17.43	14.09	10.48	5.94	6.25	6.41	9.14	2.46	14.81	6.33	100
	沙棘	0.10	0.54	0.88	0.30	0	0	3.88	3.88	0	90.43	0	100

3 结 论

2 种植物根系的分枝能力存在有差异，柠条根系的分枝能力较沙棘强，且不同序级的侧根数量分布特点不同，而不同径级根系的累计根数量、长度、表面积和干重百分比分布规律即有相同点也有不同之处，相同的是 2 种植物小径级(≤1.5 mm)对应的累计根数量百分比均较大，不同的是柠条小径级(0～1.5 mm)根数比例越大的对应的累计根长度和累计根表面积则越大，而沙棘则表现为大径级范围(4.5～5 mm)对应的累计根表面积和干重百分比最大，这可能除了与植物本身的生物学特性有关以外还和其生长的立地条件密切相关，关于这方面还需要进行进一步研究。

从累计根数量、累计根长度、累计根表面积和累计根干重的百分比这 4 个方面判断，同时考虑 2 种灌木根系对排土场干旱、贫瘠环境的适应特点，确定 2 种植物的代表根径级分别为：柠条(0～0.5 mm，0.5～1 mm 和 1～1.5mm)，沙棘(0.5～1 mm 和 1～1.5 mm)。因此，在根系生物力学性质的研究中，建议在内蒙古准格尔露天煤矿再塑地貌排土场及相似地区，柠条和沙棘 2 种水土保持灌木植物主要研究的根茎范围分别为：柠条(0～0.5 mm，0.5～1 mm 和 1～1.5 mm)，沙棘(0.5～1 mm 和 1～1.5 mm)。

[参 考 文 献]

[1] 贺跃光. 露天矿山排土场的变形破坏及其监测[J]. 中国锰业，2002，20(2)：11-14.

[2] 李红丽，董智. 浑善达克沙地榆树根系分布特征及生物量研究[J]. 干旱区资源与环境，2002，16(4)：99-105.

[3] 刘定辉，李勇. 植被根系提高土壤抗侵蚀性机理研究[J]. 水土保持学报，2003，17(3)：34-37.

[4] 贺金生，王政权，方精云. 全球变化下的地下生态学：问题与展望[J]. 科学通报，2004，13(49)：1226-1233.

[5] 黄建辉，韩兴国，陈灵芝. 森林生态系统根系生物量研究进展[J]. 生态学报，1999，19(2)：270-277.

[6] 胡建忠，郑佳丽，沈晶玉. 退耕地人工植物群落根系生态位及其分布特征[J]. 生态学报，2005，25(3)：481-490

[7] 何维明. 不同生境中沙地柏根面积分布特征[J]. 林业科学，2000，36(5)：17-21.

[8] 单立山，张希明，魏疆，等. 塔克拉玛干沙漠腹地两种灌木有效根系密度分布规律的研究[J]. 干旱区地理，2007，30(3)：400-405.

[9] Li Peng, Zhao Zhong. Vertical root distribution character *Robiniap seudoacaciaon* the Loess Plateau in China [J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15(4): 87-92.

[10] 李勇，徐晓琴，朱显漠. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报，1992，12(4)：366-369.

[11] 彭少麟，郝艳茹. 森林演替过程中根系分布的动态变化[J]. 中山大学学报：自然科学版，2005，44(5)：65-68.

[12] 张晶. 油松、侧柏、白皮松根系径级结构及其与呼吸特性关系的研究[D]. 北京：北京林业大学，2006.

[13] 邢会文，姚喜军，刘静，等. 4 种植物代表根的研究[J]. 内蒙古农业大学学报，2008，29(4)：22-25.

[14] 薛玲，曹江营，张树礼，等. 乔灌草生态模式在准格尔煤田植被恢复中的研究[J]. 内蒙古大学学报：自然科学版，1995(26)：202-208.

[15] 姚敏娟，张树礼，李青丰，等. 黑岱沟露天矿排土场不同植被配置土壤水分研究[J]. 北方环境，2011，23(1/2)：29-32.

[16] 姚敏娟. 黑岱沟露天矿排土场不同植被配盖对土壤养分和土壤水分影响研究[D]. 内蒙古 呼和浩特：内蒙古农业大学，2007.

[17] 伯姆 W. 根系研究法[M]. 薛德榕，谭协麟，译. 北京：北京科学出版社，1985.

[18] Marie G, Alexia S, Franck S, et al. The influence of cellulose content on tensile strength in trees roots[J]. Plant and Soil, 2005, 278(1/2): 1-9.

[19] 赵丽兵，张宝贵. 紫花苜蓿和马唐根的生物力学性能及相关因素的试验研究[J]. 农业工程学报，2007，23(9)：7-12.

[20] 李勇. 黄土高原植物根系与土壤抗冲性[M]. 北京：科学出版社，1995：24-45.