

科尔沁沙地南缘不同林草措施根系 对土壤抗冲性的影响

屈东旭^{1,2}, 吕刚^{1,2}, 翟景轩³, 王锋佰⁴, 张卓⁵, 金兆梁^{1,2}, 郑洋^{1,2}, 吕金昊^{1,2}

(1.辽宁工程技术大学 环境科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000;

2.辽宁工程技术大学 水土保持生态修复研究院, 辽宁 阜新 123000; 3.杭州大地科技有限公司, 杭州 310004;

4.辽宁省风沙地改良利用研究所, 辽宁 彰武 123203; 5.国有彰武县章古台林场, 辽宁 彰武 123203)

摘要:为了探明沙地植被根系对土壤抗冲性的影响机理,以科尔沁沙地南缘不同林草措施为研究对象,采用野外采样和原状土冲刷相结合的方法,分析了不同林草措施根系分布特征及其对土壤抗冲性的影响。结果表明:风沙地不同林草措施下以 <0.5 mm 的根系最多(占根长密度 83.52%),根系总根长密度表现为杨树林地(12.09 cm/cm^3) $>$ 樟子松林地(8.02 cm/cm^3) $>$ 灌木林地(7.03 cm/cm^3) $>$ 荒草地(4.48 cm/cm^3) $>$ 花生地(3.89 cm/cm^3),不同径级根系在土壤中的分布存在较大的空间变异性。根系重密度大小表现为杨树林地、樟子松林地、花生地、灌木林地、荒草地,根生物量与根系总根长密度大小表现为同样趋势;土壤抗冲性强化值表现为樟子松林地($0.786\text{ L}\cdot\text{min/g}$) $>$ 杨树林地($0.758\text{ L}\cdot\text{min/g}$) $>$ 灌木林地($0.458\text{ L}\cdot\text{min/g}$) $>$ 荒草地($0.296\text{ L}\cdot\text{min/g}$) $>$ 花生地($0.064\text{ L}\cdot\text{min/g}$),土壤抗冲性能强化百分率大小为樟子松林地、杨树林地、灌木林地、荒草地、花生地;土壤抗冲性强化值与根系径级 <0.5 mm, $0.5\sim 1$ mm, $1\sim 3$ mm 的根系长度呈显著线性正相关,与根系径级 >3 mm 的根系长度呈显著线性负相关。 $1\sim 3$ mm 根系是影响土壤抗冲性的主要因素。根系径级 3 mm 是根系长度对土壤抗冲性强化影响的阈值。林地的抗冲性增强效果最好,建议推广使用。

关键词:辽西北风沙地; 土壤抗侵蚀性; 植物根系; 原状土冲刷

中图分类号:S157.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)01-0021-05

Effects of Root System of Different Forest and Grass Measures on Soil Anti-Scouring in Southern Margin of Horqin Sandy Land

QU Dongxu^{1,2}, LYU Gang^{1,2}, ZHAI Jingxuan³, WANG Fengbai⁴,
ZHANG Zhuo⁵, JIN Zhaoliang^{1,2}, ZHENG Yang^{1,2}, LYU Jinhao^{1,2}

(1.College of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin,

Liaoning 123000, China; 2.Research Institute of Soil and Water Conservation Ecological Rehabilitation, Liaoning

Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 3.Hangzhou Dadi Technology Co., Ltd., Hangzhou 310004,

China; 4.Liaoning Province Wind and Sand Land Improvement and Utilization Research Institute, Zhangwu, Liaoning

123203, China; 5.State-Owned Zhangwu County Zhanggutai Forest Farm, Zhangwu, Liaoning 123203, China)

Abstract: In order to prove the mechanism of the influence of vegetation root system on soil anti-scourability in sandy land, different forest and grass measures in southern margin of Horqin sandy land were taken as the research samples, and the root distribution characteristics of different forest and grass measures and their effects on soil anti-scourability were analyzed by combining field sampling with soil erosion test. The results showed that under different forest and grass measures in sandy land, the root length and density of <0.5 mm were the most, and the total root length and density decreased in the order: *Populus L.* $>$ *Pinus sylvestris* var $>$ shurb land $>$ unused grassland $>$ *Arachis hypogaea* Linn, besides, the distribution of root system in different diameter classes had greater spatial variability in soil, root density decreased in the order: *Populus L.* $>$ *Pinus sylvestris* $>$ *Arachis hypogaea* Linn. $>$ shurb land $>$ bare sand, root biomass showed the same trend

收稿日期:2019-01-30

修回日期:2019-03-17

资助项目:国家自然科学基金“辽河上游河岸缓冲带对农业非点源污染的阻控作用研究”(41501548)

第一作者:屈东旭(1989—),男,辽宁阜新人,硕士研究生,研究方向为水土保持与生态修复.E-mail:328235525@qq.com

通信作者:吕刚(1979—),男,吉林九台人,博士,副教授,主要从事水土保持与生态修复的教学和科研工作.E-mail:lvgang2637@126.com

as the root density; reinforcement value of soil anti-scourability decreased in the order: *Pinus sylvestris* > *Populus* L. > shrub land > bare sand > *Arachis hypogaea* Linn., percentages of soil anti-scourability enhancement decreased in the order: *Pinus sylvestris* > *Populus* L. > shrub land > bare sand > *Arachis hypogaea* Linn; the soil anti-scourability reinforcement value was positively correlated with lengths of roots with diameters of <0.5 mm, 0.5~1 mm and 1~3 mm, and negatively correlated with length of root with diameter of >3 mm. root system with 1~3 mm in diameter is the main factor affecting soil anti-scourability. The root with 3 mm in diameter is the threshold of the effect of root length on soil anti-scourability reinforcement. Effect of forestland on reinforcement of soil anti-scourability was significant. Therefore, it is suggested that the forestland should be increased.

Keywords: Northwest Liaoning windy and sandy land; soil erosion resistance; plant roots; scouring of undisturbed soil

科尔沁沙地是我国四大沙地之一,位于生态环境脆弱且敏感的农牧交错区,极易出现持久的旱灾和风沙灾害^[1]。近一百多年来,随着人口加剧、过度放牧及不合理的土地利用,目前该地区已经成为我国土地沙化迅速发展的地区之一^[2]。严重的土壤侵蚀和荒漠化是导致当地土地生产力下降和生态环境恶化的主要原因。移小勇等^[3]研究指出增加含水量是科尔沁地区减小风蚀的有效方法。马玉凤等^[4]研究指出耕地可风蚀性程度远大于沙岗地和裸地。李梅等^[5]研究科尔沁沙地 4 种作物根茬抗风蚀效果指出风蚀量与土壤地表覆盖度、土壤 0—5 cm 表层含水量、地表粗糙度呈显著高度负相关。然而以往关于科尔沁沙地的研究多集中于风力侵蚀、沙地演替与植被恢复^[6-7]等方面,对于水力侵蚀的研究较少。水力侵蚀是水土流失中最重要的侵蚀形式之一,其中土壤抗冲性是最能体现区域水土流失过程和规律的指标^[8]。朱显谟等^[9]研究指出植被固土措施是最有效和最根本的方法,植物根系缠绕、固结和串联土体能显著提高土体水稳性和抗冲性。郭明明等^[10]研究黄土高原沟壑区植被自然恢复年限对坡面土壤抗冲性的影响指出土壤抗冲性的提高与土壤性质的改善和根系密度的增加密切相关,土壤容重、团聚体稳定性(MWD)及<0.5 mm 根系密度是影响土壤抗冲性的关键因子。任改等^[11]研究重庆四面山水源涵养林土壤抗冲性及影响因素指出林地土壤抗冲性主要受 3~5 mm 根系根量及其根长的影响。宋坤等^[12]研究 6 种草本植物根系指出根生物量与抗冲指数呈显著正相关。吕春娟等^[13]研究黄土区排土场指出土壤的抗蚀性指标和抗冲性指标都与根系密度在极显著水平上呈直线关系。卫志勇等^[14]总结植物根系稳定土体的机理指出,当林龄小时,主要是根系的机械缠绕固结作用;当林龄增大时,还可以通过增加有机质含量和

>2 mm 粒级的水稳性团粒起间接作用。但以往对于植物根系对土壤抗冲性的影响研究多集中在西北黄土高原地区和西南紫色土地区,而关于风沙土土壤抗冲性的研究还较为鲜见。李强等^[15]对黄土风沙区根系强化抗冲性土体构型进行了定量化研究,得出了植物根系物理固结效应是强化沙黄土抗冲性土体构型的主要表现形式,且根表面积密度可较好地反映根系固土效应。由于风沙土土壤贫瘠、沙量高、松散易流动、结构松散等特点,土壤质量远远低于其他土地类型,使得根系的固土作用将在风沙土表现的更加显著。本文通过研究科尔沁沙地南缘不同林草措施根系分布特征及其对土壤抗冲性的影响,以期对科尔沁沙地水土流失治理、荒漠化防治和土地利用结构调整提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于辽宁省风沙地改良利用研究所章古台试验站内,位于辽宁省阜新市彰武县章古台镇(122°22'E,42°43'N),往北距内蒙古哲里木盟科左后旗甘旗卡镇 30 km,往南距彰武县城 40 km。自然区域属于科尔沁沙地东南部边缘,是西辽河平原的边缘地带,平均海拔高度 345 m,年平均气温 6.82℃,极端最低气温-33.4℃,极端最高气温 43.2℃,平均气温变化幅度在 4.9~6.7℃,平均空气湿度 60.4%,年均降水量 450 mm 左右,年均蒸发量为 1 590 mm,年均风速 3.33 m/s,风速大于 3 m/s 的日数平均为 160 d,风速大于 10 m/s 的日数为 10 d,而起风沙的风速 5 m/s 全年达 240 多次。无霜期 145~150 d,是典型的北方风沙半干旱地区。土壤属于风沙土,植被属蒙古植被区系西辽河小区,以抗旱性较强的沙生植物为主。代表性植物有樟子松(*Pinus sylvestris*)、杨树(*Popu-*

lus L.)、野生山杏(*Armeniaca sibirica* (L.) Lam)、有色木(*Acer mono*)、山里红(*Crataegus pinnatifida*)、家榆(*Ulmus pumila*)、大果榆(*Ulmus macrocarpa*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、小黄柳(*Salix gordejewii*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、中华隐子草(*Cleistogenes chinensis*)等。综合考虑植被类型、地形状况,在试验地选取 4 种林草措施下的土壤作为研究对象,分别是樟子松林地、野生灌木林地(山杏)、荒草地和花生地,研究科尔沁沙地南缘土壤抗冲性对不同林草措施下的响应,以期从土壤侵蚀发生机制的方面优化风沙地改良利用模式提供理论依据。样地基本情况见表 1。

表 1 各样地的基本概况

项目	樟子松林地	灌木林地	花生地	荒草地
枯落物覆盖度/%	98	60	—	—
乔木层郁闭度/%	65	65	—	—
植物总盖度/%	99	98	58	99

1.2 研究方法

1.2.1 原状土冲刷试验 采用 10 cm×10 cm×20 cm 原状土取样器在表 1 的各样地表层分别取 3 个原状土样。在樟子松、灌木地采集表层土样时,先将 0—3 cm 未腐烂的枯枝落叶层清除,自 3—13 cm 深度取土。在荒草地,首先用剪子将草茎剪去,将上边厚约 1 cm 左右的土皮铲掉,自 1—11 cm 深度取土。在花生地,自表层取样深度为 0—10 cm。取样时,用皮锤将取样器垂直钉入。然后,铲掉取样器周边土壤,将取样器完整取出,用铲刀沿取样器底部将土样削平后盖上上下盖。

原状土取回后,将取样器置于水盘内,向水盘内注水,浸水 24 h,使其达到毛管水饱和。然后,将饱和的原状土轻轻置于铁架台上 8 h 去除土壤重力水后进行抗冲试验,试验冲刷坡度为 15°,设置冲刷流量为 2 L/min,冲刷时间从冲刷槽的出口产流开始计时,每 1 min 量取 1 次泥沙样,冲刷 10 min,预试验表明此时间可达到稳定状态,共取 10 次样。冲刷结束后称量各个桶内的径流泥沙量,然后将塑料桶静置澄清,泥沙沉淀完全后倒掉上层清液,剩余泥水样转移至铁盒内,置于烘箱中 105℃ 烘干并测定泥沙质量(g)。

抗冲性指数计算为每冲刷掉 1 g 的烘干土所需水量,用 ANS 表示(L/g),ANS 愈大,土壤的抗冲性愈强。

ANS=f×t/W

式中:f 为冲刷流量(L/min);t 为冲刷时间(min);W 为烘干泥沙质量(g)。

1.2.2 根系测定 植物根系生物量的获取是将做完抗冲试验的土体在直径 0.5 mm 筛网上反复冲洗,将土壤中所有的根系洗出,用 WinRHIZO 根系分析系统测定根系的根长、根径、根表面积、根体积等指标。然后将根系置于 105℃ 烘箱中,烘 24 h 左右,然后置于垫子天平上称重,测量根重密度 RD(kg/m³)

RD=M_D/V

式中:M_D为根系烘干质量(kg);V 为采样器体积(m³)。

2 结果与分析

2.1 根系分布特征

2.1.1 根长密度 植物根系可以从根系固土,改善土壤物理性质等两个方面使土壤结构变得稳定,使土壤抗冲性性能得到增强。不同林草措施的根长密度见图 1。由图 1 可知,樟子松林地的根系总根长密度为 8.02 cm/cm³,其中<0.5 mm 径级的根系最多,占总根长密度的 83.52%,>3 mm 的根系最少,占总根长密度的 1.54%。杨树林地总根长密度为 12.09 cm/cm³,其中<0.5 mm 的根系最多,占总根长密度的 86.12%,>3 mm 的根系最少,占总根长密度的 1.18%。灌木林地总根长密度为 7.03 cm/cm³,其中<0.5 mm 的根系最多,占总根长密度的 80.96%,>3 mm 的根系最少,占总根长密度的 1.72%。花生地总根长密度为 4.48 cm/cm³,其中<0.5 mm 的根系最多,占总根长密度的 80.96%,>3 mm 的根系最少,占总根长密度的 1.72%。荒草地总根长密度为 3.89 cm/cm³,其中<0.5 mm 的根系最多,占总根长的 82.03%,>3 mm 的根系最少,占总根长的 1.41%。这说明在风沙地不同林草措施下以<0.5 mm 的根系最多,占总根系根长密度的 83.58%,>3 mm 的根系最少,占总根系根长密度的 1.46%。其根系总根长密度表现为杨树林地>樟子松林地>灌木林地>荒草地>花生地。

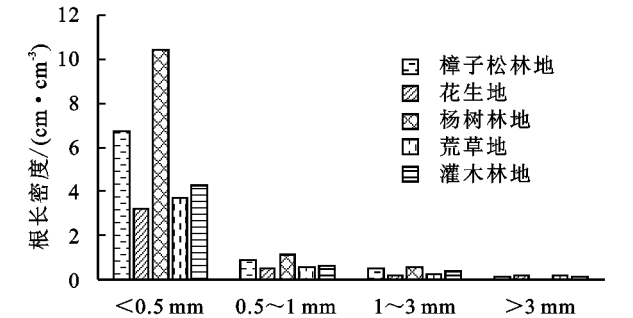


图 1 不同径级根系密度

根系特征描述性统计分析见表 2。由表 2 可知,不同径级根长密度,变异系数在 32.42%~51.15%,变异程度较小。 $<0.5\text{ mm}$ 、 $0.5\sim1\text{ mm}$ 、 $1\sim3\text{ mm}$ 及 $>3\text{ mm}$ 根长密度平均为 7.49 cm/cm^3 、 0.97 cm/

cm^3 、 0.48 cm/cm^3 、 0.15 cm/cm^3 ,可见根长密度随根系径级的增大而不断减小,表明土壤中大根系分布较少,而主要以小径级根系为主,且不同径级根系在土壤中的分布存在较大的空间变异性。

表 2 根长密度描述性统计

径级	最大值/ ($\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$)	最小值/ ($\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$)	平均值/ ($\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$)	方差	标准差	变异系数/%
$<0.5\text{ mm}$	10.41	3.19	7.49	8.30	2.88	48.06
$0.5\sim1\text{ mm}$	1.14	0.53	0.97	0.06	0.25	32.42
$1\sim3\text{ mm}$	0.58	0.18	0.48	0.03	0.16	42.10
$>3\text{ mm}$	0.18	0.03	0.15	0.0004	0.06	51.15

2.1.2 根重密度 由图 2 和图 3 可知,不同林草措施下的根重密度介于 $0.09\sim21.09\text{ kg/m}^3$,平均为 3.82 kg/m^3 ,根重密度大小表现为杨树林地(9.403 kg/m^3) $>$ 樟子松林地(6.142 kg/m^3) $>$ 灌木林地(1.575 kg/m^3) $>$ 荒草地(1.483 kg/m^3) $>$ 花生地(0.487 kg/m^3)。不同林草措施根生物量与根重密度表现为同样趋势。杨树林地最大为 42.04 g ,花生地最小为 0.974 g 。表明樟子松林地、杨树林地、灌木林地表层根系分布较多,其中以杨树林地最为丰富。而花生地表层须根缺乏,根重密度和根系长度及生物量均最小,这是导致其抗冲性弱的主要原因。

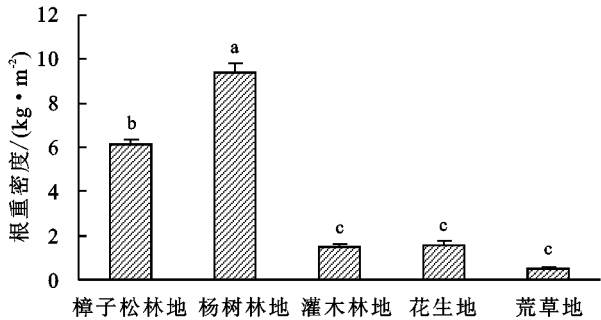


图 2 不同林草措施下根重密度

2.2 根系对土壤抗冲性的增强效应

不同植被对土壤结构及其抗冲性的影响主要通过根系来表征。本试验选择裸沙地的样点作为对照,裸沙地的土壤抗冲性指数 ANS 为 $0.58\text{ L}\cdot\text{min/g}$,并以此为基础计算根系对土壤抗冲性能的强化值(图 3)。不同林草措施下土壤抗冲性能强化值 ΔANS 表现为:樟子松林地($0.7864\text{ L}\cdot\text{min/g}$) $>$ 杨树林地($0.7584\text{ L}\cdot\text{min/g}$) $>$ 灌木林地($0.4584\text{ L}\cdot\text{min/g}$) $>$ 荒草地($0.2964\text{ L}\cdot\text{min/g}$) $>$ 花生地($0.064\text{ L}\cdot\text{min/g}$)。土壤抗冲性能强化百分率大小依次为樟子松林地(135.52%) $>$ 杨树林地(130.69%) $>$ 灌木林地(78.97%) $>$ 荒草地(51.04%) $>$ 花生地(10.35%)。这表明根系对风沙地土壤的保护作用很显著,在相同径流冲刷强度与相

同冲刷时间条件下,表层根系丰富的樟子松林地、杨树林地、灌木林地、荒草地比花生地、裸沙地的抗冲性能提高效果更明显。

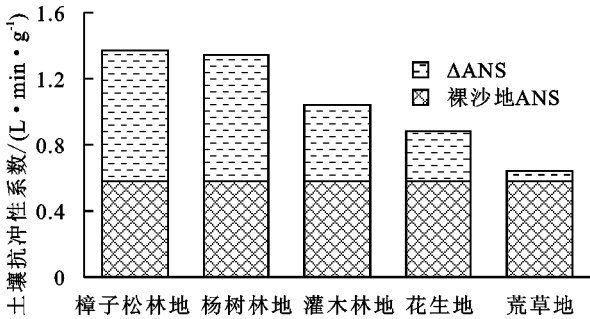


图 3 根系对土壤抗冲性强化特征

2.3 根系与土壤抗冲性增强效应的关系

不同径级根系对土壤抗冲性的影响也不同,其作用机理也不同,产生的增强效应也有所差异。图 4 为土壤抗冲性强化值 ΔANS 与不同径级根系长度的相关性。由图 5 可知,土壤抗冲性强化值 ΔANS 与 $<0.5\text{ mm}$ 根系长度、 $0.5\sim1\text{ mm}$ 根系长度、 $1\sim3\text{ mm}$ 根系长度呈显著线性正相关,其中 $1\sim3\text{ mm}$ 根系长度与土壤抗冲性强化值 ΔANS 之间相关系数最大, R^2 值达到 0.6717 ,表明 $<1\sim3\text{ mm}$ 根系是影响土壤抗冲性的主要因素。而土壤抗冲性强化值 ΔANS 与 $>3\text{ mm}$ 根系长度呈显著线性负相关,这说明随着根系径级的增大根系长度对土壤抗冲性的强化影响逐渐减弱,并存在一个根系径级的阈值为 3 mm 。根系生物量及根密度与土壤抗冲性强化值 ΔANS 之间的关系不显著。

3 结论

(1) 不同林草措施根系长度大小表现为杨树林地 $>$ 樟子松林地 $>$ 灌木林地 $>$ 荒草地 $>$ 花生地。不同径级根系长度变异程度较小,且不同径级根系在土壤中的分布存在较大的空间变异性。根系密度大小表现为杨树林地 $>$ 樟子松林地 $>$ 花生地 $>$ 灌木林地 $>$ 荒草地。根生物量与根系密度表现具有相同的变化趋势。

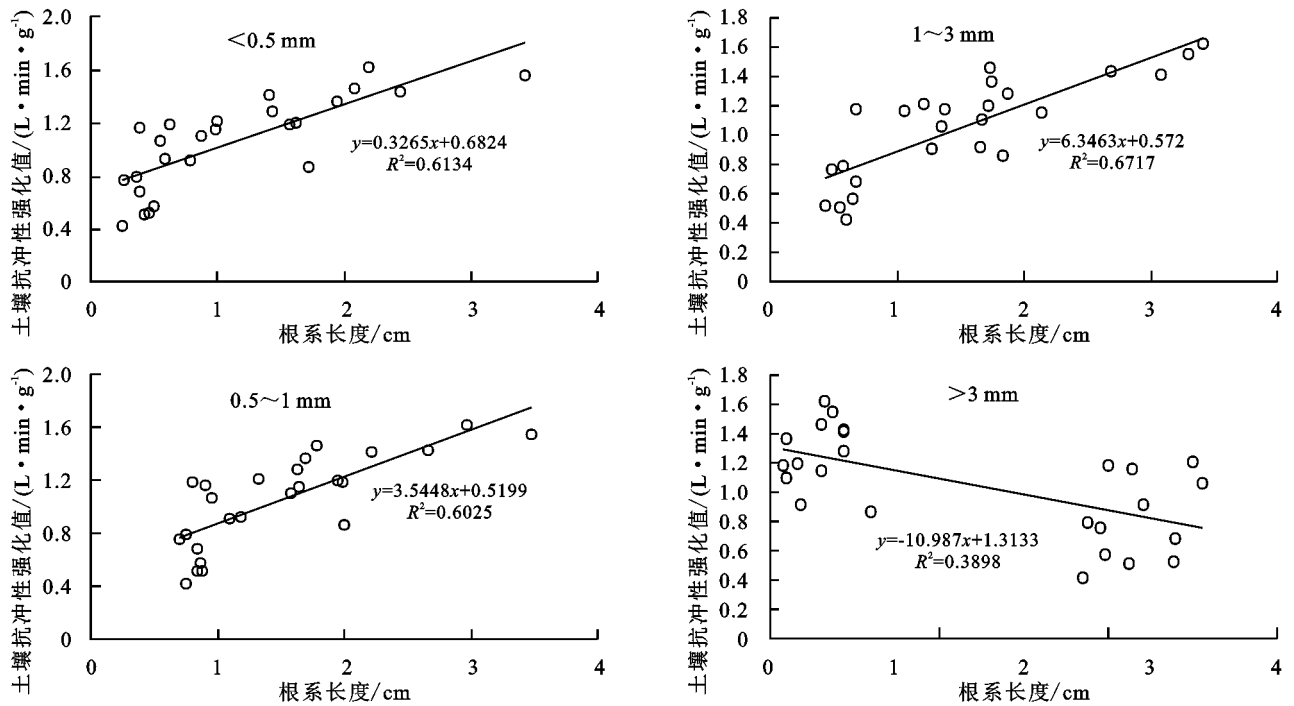


图 4 ΔANS 与不同径级根系长度关系

(2) 不同林草措施土壤抗冲性能强化值 ΔANS 表现为樟子松林地>杨树林地>灌木林地>荒地>花生地。不同林草措施下土壤抗冲性能强化百分率大小依次为樟子松林地>杨树林地>灌木林地>荒地>花生地。

(3) 土壤抗冲性强化值 ΔANS 与<0.5 mm 根系长度、0.5~1 mm 根系长度、1~3 mm 根系长度呈显著线性正相关。1~3 mm 根系是影响土壤抗冲性的主要因素。根系长度对土壤抗冲性的强化影响存在一个根系径级的阈值为 3 mm。根系生物量及根密度与土壤抗冲性强化值 ΔANS 之间的关系不显著。

(4) 林地的抗冲性最强,其次是草地,农地最差,建议当地荒漠化治理以林地为主,或以林草结合的方式。

参考文献:

[1] 王静爱,孙恒,徐伟,等.近 50 年中国旱灾的时空变化[J].自然灾害学报,2002,11(2):1-6.
[2] 王蕾,哈斯.科尔沁沙地沙漠化研究进展[J].自然灾害学报,2004,13(4):8-14.
[3] 移小勇,赵哈林,李玉霖,等.科尔沁沙地不同风沙土的风蚀特征[J].水土保持学报,2006,20(2):10-13.
[4] 马玉凤,介东梅,严平,等.科尔沁东部沙地土壤可蚀性研究[J].世界地质,2007,26(3):338-344.
[5] 李梅,胡跃高,曾昭海,等.科尔沁沙地 4 种作物根茬抗风蚀效果风洞试验研究[J].中国农学通报,2009,25

(11):254-258.

[6] 蒋德明,苗仁辉,押田敏雄,等.封育对科尔沁沙地植被恢复和土壤特性的影响[J].生态环境学报,2013,22(1):40-46.
[7] 罗永清,赵学勇,丁杰萍,等.科尔沁沙地不同类型沙地植被恢复过程中地上生物量与凋落物量变化[J].中国沙漠,2016,36(1):78-84.
[8] 曾光,杨勤科,姚志宏.黄土丘陵沟壑区不同土地利用类型土壤抗侵蚀性研究[J].水土保持通报,2008,28(1):6-9.
[9] 朱显谟.黄土地区植被因素对于水土流失的影响[J].土壤学报,1960,13(2):110-121.
[10] 郭明明,王文龙,康宏亮,等.黄土高原沟壑区植被自然恢复年限对坡面土壤抗冲性的影响[J].农业工程学报,2018,34(22):138-146.
[11] 任改,张洪江,白芝兵.重庆四面山水源涵养林土壤抗冲性及影响因素[J].中国水土保持科学,2013,11(1):1-7.
[12] 宋坤,潘晓星,穆立蕾.6 种草本植物根系土壤抗冲性[J].国土与自然资源研究,2013,35(3):82-83.
[13] 吕春娟,白中科,陈卫国,等.黄土区大型排土场植被根系的抗蚀抗冲性研究[J].水土保持学报,2006,20(2):35-38.
[14] 卫志勇,王晓冰.植被根系与土壤抗蚀抗冲性的研究综述[J].内蒙古林业调查设计,2011,34(2):103-106.
[15] 李强,刘国彬,张正,等.黄土风沙区根系强化抗冲性土体构型的量化研究[J].中国水土保持科学,2017,15(3):99-104.