

文章编号:1001-7380(2020)01-0042-04

榉树等 11 个树种根系土壤抗剪切能力的研究

万 欣¹,何小洋²,芮雯奕³,王 磊¹,季永华¹,张纪林¹

(1. 江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153; 2. 东台市农业技术推广中心果树站,江苏 东台 224200;
3. 江苏省科学技术情报研究所,江苏 南京 210042)

摘要:强大的植物根系不仅可以从土壤中吸收植物生长所必须的水分和养分,而且对于改良土壤的结构和成分,增强土壤的抗剪切能力有着重要的作用。该文通过测定苏柳 8-26、苏柳 9-6、苏柳 172、苏柳 795、枫香树、木荷、乌桕、红叶石楠、鄂西红豆、美国梧桐、榉树等 11 个树种根系的生物量以及土壤抗剪切力,研究各树种根系对土壤抗剪切力的影响。结果显示,根径 $\leq 1\text{mm}$ 的树种根系中,美国梧桐的生物量最多,达到 6 g/dm^3 左右,苏柳 9-6 的根系生物量最小,仅为 2 g/dm^3 左右;根径 $>1\text{mm}$ 的树种根系中,美国梧桐生物量最大,达到 16 g/dm^3 ,苏柳 9-6 的根系生物量最小,仅为 3.8 g/dm^3 。榉树、苏柳 9-6、红叶石楠和苏柳 172 根系土壤的抗剪切力最大,达到 60 kPa 左右;而苏柳 8-26 根系土壤的抗剪切力最小,仅为 40 kPa 。综合比较认为,榉树、苏柳 9-6、红叶石楠和苏柳 172 根系土壤的抗剪切能力较好。

关键词:根系;抗剪切;生物量;土壤;树种

中图分类号:S152.9;S792

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2020.01.008

Studies on rhizospheric soil's shear resistances of *Zelkova serrata* and other 10 tree species

Wan Xin¹, He Xiaoyang², Rui Wenyi³, Wang Lei¹, Ji Yonghua¹, Zhang Jilin¹

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 2. Dongtai Agricultural Technique Extension Center, Dongtai 224200, China; 3. Jiangsu Institute of Science & Technology Information, Nanjing 210042, China)

Abstract: Strong plant roots can not only absorb water and provide nutrients necessary for the growth from the soil, but also play an important role in improving the structure and composition of soil and enhancing soil shear resistance. In this paper, through measuring the root biomass and soil shear resistance of 11 tree species such as *Salix jiangsuensis* 'J8-26', 'J9-6', 'J172', 'J795', *Liquidambar formosana*, *Schima superba*, *Sapium sebiferum*, *Photinia × fraseri* Dress, *Ormosia hosiei* Hemsl., *Platanus occidentalis* and *Zelkova serrata*, the effects of their roots on soil shear resistance were studied. The results showed that among those of root system with root diameter $\leq 1\text{mm}$, *P. occidentalis* had the most biomass (about 6 g/dm^3), but *S. jiangsuensis* 'J9-6' had the smallest root biomass (about 2 g/dm^3). Among the root system with root diameter $>1\text{mm}$, the root biomass of *P. occidentalis* was the largest, reaching 16 g/dm^3 while that of *S. jiangsuensis* 'J9-6' was the smallest, only 3.8 g/dm^3 . In terms of soil shear resistance, *Z. serrata*, *S. jiangsuensis* 'J9-6', *P. × fraseri* Dress and *S. jiangsuensis* 'J172' got the highest, reaching about 60 kPa . However, the shear resistance of *S. jiangsuensis* 'J8-26' was the smallest, which was only 40 kPa . It was concluded that the shear resistances of *Z. serrata*, *S. jiangsuensis* 'J9-6', *P. × fraseri* Dress and *S. jiangsuensis* 'J172' were rather better.

Key words: Root system; Shear resistance; Biomass; Soil; Tree species

土壤的抗剪性即在外界营力(降雨冲刷、重力等)的作用下,土壤离开母体发生相对位移过程中,土壤自身或土壤受根系牵制作用抵抗被剪切破坏的位

移阻力,常用土壤的抗剪强度来表示。土体的抗剪强度指在外力的作用下,发生变形和滑动时所具有的抵抗剪切破坏的极限程度。其大小直接反映了土体

收稿日期:2019-08-20;修回日期:2019-09-26

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目“苏北杨树农田林网更新改造技术创新与集成示范”(CX(18)2032);中央财政林业科技推广示范资金项目“长江河滩湿地修复与生态防护林营建技术推广示范”(苏[2019]TG01);江苏省林业科技创新与推广项目“江苏长江沿岸造林绿化模式构建技术集成与示范”(LYKJ[2019]01)

作者简介:万 欣(1983-),女,山东济宁人,高级工程师,博士。主要从事森林土壤生态学的研究工作。

在外力的作用下发生剪切破坏变形的难易程度。土壤的抗剪强度由内摩擦力和粘结力共同决定。

植物根系是改善土壤理化性质最重要的因素。强大的植物根系不仅可以从土壤中吸收植物生长所需要的营养和水分,而且对于改良土壤的结构和成分,在增强土壤抗剪切能力方面有着重要的作用^[1]。庞大的林木根系穿插在土壤的孔隙中,与土壤形成土壤-根系的复合体,一方面根系通过分泌物等将周围的细土颗粒凝聚,增大土壤的粘结力;另一方面根系锚固于土壤中,对土壤产生显著“加筋”作用,从而起到固土效果,增大了土壤的整体抗剪强度。此外土体遭机械破坏,土壤的位移阻力减小,导致土壤发生相对位移。目前其相关研究主要集中在力学方面。

有研究表明,由于根系的穿插、挤压和缠绕导致土壤中的大粒级水稳性团聚体(WSA)增加,进而提高土壤的抗剪切能力^[2-3]。张金池等^[4]曾进行过沿海防护林造林树种根系土壤抗冲性的研究,结果表明根径在 1 mm 以下的细根对土壤抗侵蚀性的强化效应显著。吴钦孝^[5]认为,根系对土体抗剪强度的影响,主要决定于土壤中根表面和根抗拉力的大小。国内外关于植物根系提高土壤抗剪切强度的定量研究也多集中在乔灌木^[6-12]。本研究以苏柳 8-26、苏柳 9-6、苏柳 172、苏柳 795、枫香树、木荷、乌桕、红叶石楠、鄂西红豆、美国梧桐、榉树等 11 个树种为研究对象,通过研究各树种根系的抗剪能力,以为农田防护林的营造、推广及其效益分析等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试树种及土壤基本理化性质

本研究在江苏省东台市国有林场内进行。苏柳 8-26、苏柳 9-6、苏柳 172、苏柳 795、枫香树、木荷、乌桕、红叶石楠、鄂西红豆、美国梧桐、榉树等均为 2 年生栽培树种。

由于该 11 个供试树种在同一块林地内,因此树种根际土壤的基本理化性质基本一致。土壤的基本理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤基本理化性质

土壤容重/ (g/cm ³)	土壤含水量/ %	土壤饱和导水率/ (mm/s)	pH 值
1.56	19.55	0.028	6.78

1.2 试验方法

1.2.1 根系样品采集 在每种树林内,按 5 m × 5 m 的间距均匀布 12 个样点,根据 2 年生树种根系普遍的生长规律和生长速度,每个样点在距树根基部 20 cm 处挖掘出宽 1 m、深 0.6 m 的土壤剖面^[10],然后对根系进行采集。为保证空白对照样品跟有根土壤样品的土壤理化性质一致,故取林地内无根的土壤样品作为空白对照。

1.2.2 根系生物量的测定 本研究采用土柱法^[13]进行根系生物量的测定。根据每种树木的根系深浅程度,采集一定体积的土块,然后将土块的根系按 ≤ 1 mm, > 1 mm 这 2 个径级分类,并把各类根系样品放在 80 ℃ 恒温条件下烘干至恒量(24 h),用电子天平称量干质量。根系生物量即为单位体积的根系干质量。

1.2.3 土壤抗剪切力的测定 本研究采用剪切箱和 YJ-26 型静态电阻应变仪的方法^[14],对有根土样和无根土样(空白对照)进行剪切测定。

供实测的立方土体宽 40 cm、长 40 cm、高 20 cm,4 个面全部切开并移走土壤。供测试用的装置有 4 个部分:一个给土体提供剪力的剪切箱;一个推动剪切箱并在土体下底面产生剪力的千斤顶,一个测量土体位移的位移表,一个测量剪力量值的 YJ-26 型静态电阻应变仪(由传感器和电阻表构成)。具体操作方法:转动旋转柄,可使千斤顶对土体产生剪力,推进速度控制在 0.1 mm/s。在牵拉过程中,传感器将剪力大小以电阻值的形式显示在电阻表中。用公式(1),(2),(3),可以算出施加在土体上的剪力(F_s),当土墩被剪破时垂直根提供的抗剪阻力(F_r),最后得出根系土壤抗剪切力。公式如下:

$$F = \varepsilon K \quad (1)$$

$$F_r = F_{rmax} - F_{smax} \quad (2)$$

$$\Delta \tau = F_r / A \quad (3)$$

式中, K 是电阻-剪力转换系数,实验室标定为 3.148 N/k; F_{smax} 为在土体被剪破时的最大剪力; F_{rmax} 为土体因土壤本身的抗剪强度而产生的最大抗剪阻力; A 为土体剪切面积。

1.3 数据分析处理

将试验测定数据用 Excel 软件进行整理分析,并做柱状图。

2 结果与分析

2.1 根系生物量

苏柳 8-26、苏柳 9-6、苏柳 172、苏柳 795、枫香树、木荷、乌桕、红叶石楠、鄂西红豆、美国梧桐、榉树等 11 个树种根系的生物量如图 1 所示。

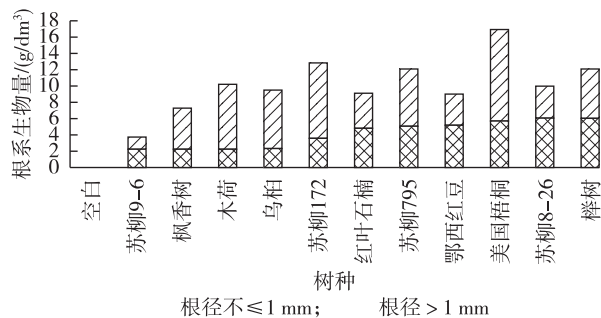
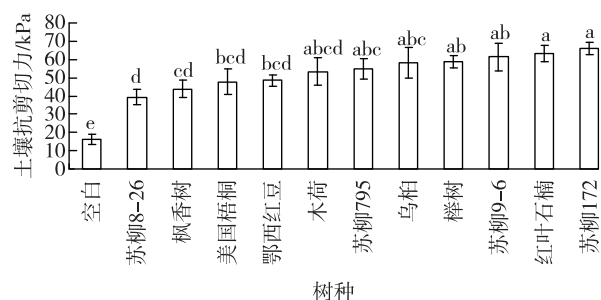


图 1 榉树等 11 个树种根系生物量

结果表明,根径 ≤ 1 mm 的根系中,美国梧桐、苏柳 8-26 和榉树的生物量最多,达到 6 g/dm^3 左右,其次是苏柳 795、红叶石楠和鄂西红豆,苏柳 9-6 的生物量最小,仅为 2 g/dm^3 左右。在根径 > 1 mm 的根系中,美国梧桐生物量最大,达到 16 g/dm^3 ,其次是苏柳 172、苏柳 795 和榉树,苏柳 9-6 的生物量最小,仅为 3.8 g/dm^3 。

2.2 根系土壤抗剪切力

苏柳 8-26、苏柳 9-6、苏柳 172、苏柳 795、枫香树、木荷、乌桕、红叶石楠、鄂西红豆、美国梧桐、榉树等 11 个树种根系的土壤抗剪切能力如图 2 所示。



注:不同小写字母表示结果之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

图 2 榉树等 11 个树种土壤抗剪切力比较

结果表明,在土壤抗剪切力方面,榉树的抗剪切力最大,均达到 60 kPa 左右;而苏柳 8-26 的抗剪切力最小,仅为 40 kPa 。由此可见,树木根系增强了土体的抗剪强度,但是由于各个树种根系自身特性的不同而产生差异。

在土体发生剪切破坏的过程中,处于剪切面边缘的土壤或根系才是土体抗剪强度的主要承担者,靠近剪切面的树种根系越多,其抵抗剪切破坏的能力越强。抗剪力强的榉树根系在被剪切过程中,土壤自身先被破坏之后,完全由树木根系承担主要的抗剪能力;对于抗剪力弱的苏柳 8-26 根系,其与土壤的结合作用要强,这表现在增加了土壤自身发生剪切破坏的位移量,而在这之后由根系承担的抗剪强度的值却小于抗剪力强的榉树根系。这可能是由于苏柳 8-26 的根系生长较快,根系中的木质素含量多,而榉树根系由于生长缓慢,其根系中所含的纤维素较多,使得苏柳 8-26 根系的抗弯强度要好于榉树,而其抗拉强度却要比榉树根系差。

此外,由图 2 可知,通过与空白对照的数据比较,无根土壤的抗剪强度比其他有根土壤的抗剪能力低很多。可见,有根土壤的抗剪强度是土壤和根系综合作用的结果。树木根系在土壤中生长,其根尖对周围的土壤产生压力,随着根尖的圆形扩大,四周的土壤产生变形而形成根道,致使根道四周的土壤容重增加,土壤内聚力和摩擦力也随之增强。此外,根面的凹凸不平及众多的叉根、根节、根毛,增加了根与土壤之间的接触面积,在根系膨胀的作用下,根系与土壤之间的摩擦力增加,抗剪强度也随之增强。

3 讨论与展望

综上所述,在 11 个树种中,榉树、苏柳 9-6、红叶石楠和苏柳 172 的抗剪能力较好。可见,根系可提高土壤抗剪强度。一般认为,根系可分为深粗根和浅细根 2 种,并认为深粗根体现锚固作用,浅细根体现加筋作用^[15]。在营造森林的过程中,最先作用于土壤的植物是草本,之后灌木和乔木开始慢慢生长。在生长前期,幼树对土体的加固作用直接决定着其稳定性,当乔木长大之后,其根系深入到岩基层,形成很强的锚固作用,对坡体的稳固作用大大增强^[16]。由于本研究区域内林下灌木草本稀少,所以乔木根系对土壤的加固作用就显得极为重要。根系整体结构在很大程度上影响着剪切力在土壤中的传递,在剪切过程中,根系整体与土壤的结合可以看作是一连串加强作用的联合,并且其整体的变形也会有效抵抗剪切破坏。尽管不同植物由于根数量以及直径的不同导致结构的不同,但是根系整体的这种作用却是不可忽视的。

此外,根系本身的抗剪能力比土体本身强许多

倍^[17-19]。周跃等^[14]在研究云南松垂直根的土壤增强作用时发现,根系的存在可提高土体抗剪强度达 7 183%,并指出植物的垂直根系可以把浅层根际土层锚固到深层土体上,侧根的作用强度与侧根的密度成正比。吴钦孝^[5]也认为,根系对土体抗剪强度的影响因素是根表面积和根系抗拉力,土壤移动会增加土体间的摩擦力,植物根系因不易被拉断,而使根表面与土体间摩擦力得到充分发挥,对土体产生较大的固持力,从而使土壤保持稳定。

为了更深入研究植物根系抗剪力在水土保持中的作用机制,今后应从以下几方面进一步研究:

(1)建立土壤抗剪切强度模型,并从土层构造、根系生长以及根系力学、根系固土机制等方面深入研究;(2)土壤抗侵蚀和抗剪切力的影响因素是土壤理化性质和生物多因子综合作用的结果,应进一步研究土壤动物和微生物的耦合作用及其作用机理;(3)开拓并深化根际效应的研究。受植物根系的影响,距根系 1—5 mm 范围内的微土区域被大量的细菌、真菌和原生动物所包围,它是水分、养分和微生物以及根系分泌物生理作用区域。可以预测,树木根际在农田林网、防护林水土保持中的作用研究,将开拓一个崭新的研究领域。

参考文献:

- [1] 潘义国,丁贵杰,彭云,等.关于植物根系在土壤抗侵蚀和抗剪切中的作用研究进展[J].贵州林业科技,2007,35(2):10-13.
- [2] 雷洁,张国明,刘连友.土壤抗剪强度测定与影响因素研究进展[J].北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(4):486-492.
- [3] 刘定辉,李勇.植物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] 张金池,臧廷亮,曾锋.岩质海岸防护林树木根系对土壤抗

冲性的强化效应[J].南京林业大学学报,2001,25(1):9-12.

- [5] 吴钦孝.森林保持水土机理及功能调控技术[M].北京:科学出版社,2005.
- [6] 陈士银,黄月琼,吴雪彪.湿地松林根系对土壤抗侵蚀能力影响的研究[J].西南农业大学学报,2000,22(5):468-471.
- [7] REUBENS B, POESEN J, DANJON F, et al. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: A review[J]. Trees, 2007, 21(4):385-402.
- [8] GYSSELS G, POESEN J. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates[J].Earth Surface Processes and Landforms,2003,28(4):371-384.
- [9] DOCKER B B, HUBBLE T C T. Quantifying root reinforcement of river bank soils by four Australian tree species [J]. Geomorphology, 2008, 100(3):401-418.
- [10] 张超.宁杭高速公路边坡五种灌木根系防护效备研究[D].南京:南京林业大学,2011.
- [11] 徐宗恒,黄丽苹,杨正辉,等.不同根系含量对山原红壤抗剪强度的影响[J].水土保持通报,2019,39(5):54-59,66.
- [12] 刘惠江.热带雨林树种根系固土力学性能与现场剪切试验研究[D].海口:海南大学,2016.
- [13] 翟明普.北京西山地区油松元宝枫混交林根系研究[J].北京林业学院学报,1982(1):1-11.
- [14] 周跃,李宏伟,徐强.云南松幼树垂直根的土壤增强作用[J].水土保持学报,2000,14(5):100-105.
- [15] 赵丽兵,张宝贵,苏志珠.草本植物根系增强土壤抗剪切强度的量化研究[J].中国生态农业学报,2008,16(3):718-722.
- [16] 姜志强,孙树林,程龙飞.根系固土作用及植物护坡稳定性分析[J].勘察科学技术.2005(4):12-14.
- [17] 程洪,赵建民,颜涛.非饱和沙粒植草后抗剪强度与粘聚力增强试验研究[J].南昌工程学院学报,2017,36(6):31-36.
- [18] 郝彤琦,谢小妍,洪添胜.滩涂土壤与植物根系复合体抗剪强度的试验研究[J].华南农业大学学报,2000,21(4):78-80.
- [19] 周云艳,陈建平,杨倩,等.植物根系固土护坡效应的原位测定[J].北京林业大学学报,2010,32(6):66-70.

(上接第10页)

- [9] HOFFMANN W C, KIRK I W. Spray deposition and drift from two "medium" nozzles [J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(1):5-11. [10] HUANG Y, ZHAN W, FRITZ B K, et al. Optimizing selection of controllable variables to minimize downwind drift from aerially applied sprays [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2012, 28(3):307-314.
- [11] 段彦丽,陶万强,曲良建,等. HcNPV 和 Bt 复配对美国白蛾的致病性[J].中国生物防治,2008(3):233-238.

- [12] 徐明,刘冬梅,徐福元,等. Bt 与灭幼脲混剂对美国白蛾第 2,3 代幼虫的联合毒力及防治效果[J].林业科学,2013,49(12):171-174.
- [13] 刘永生,赵丽波.影响农业航空喷洒质量的主要因素[J].现代化农业,2006,326(9):44-45.
- [14] 贾刚,夏剑萍,田玲,等.美国白蛾飞防作业质量控制技术探讨[J].湖北林业科技,2019,48(1):37-38.
- [15] 赵永军,杨龙,梅爱华,等.错时飞防美国白蛾技术研究与应用[J].中国森林病虫,2012,31(6):32-35.