布根方式及根系径级对根土复合体抗剪性能的影响

胡 敏[1], 李为萍[2], 史海滨[2], 梁建财[2]

(1. 内蒙古农业大学 职业技术学院, 内蒙古 包头 014109;
2. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要: 以沙地柏根系及其土壤所构成的根土复合体为研究对象,通过根土复合体的室内直剪试验,研究了沙地柏根的不同径级、不同布置方式对根土复合体抗剪性能的影响。结果表明,在不同法向应力作用下,有根系存在的根土复合体抗剪强度均明显高于无根扰动土的抗剪强度。在根土复合体中,垂直存在的根系对提高土体抗剪强度的贡献大于水平存在的根系。在所含根数一致的情况下,根土复合体的抗剪强度并不与所含根系径级的大小成正比,而是随着根系径级的增大呈现递增—回落—反弹的趋势。该试验的研究可为今后沙地柏水土保持树种的栽植提供一定的技术参数及理论支撑。

关键词: 根土复合体; 抗剪强度; 根系径级; 布根方式; 沙地柏

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2012)01-0042-03 **中图分类号**: S714.7

Effects of Root Layout and Diameter on Shear Performance in Root－Soil Composite

HU Min[1], LI Wei-ping[2], SHI Hai-bin[2], LIANG Jian-cai[2]

(1. *Vocational and Technical College, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou* 014109, *China*; 2. *College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia* 010018, *China*)

Abstract: By taking the composite of the roots of *Sabina vulgaris* and soil around the roots as a research object, the effects of different root diameter classes and root layouts on shear performance of the root-soil composite were investigated through laboratory shear tests. Results showed that under different normal stresses, shear strength for the root—soil composite with roots was significantly greater than that for the disturbed soil without root. As for the root—soil composite, shear strength contributed by vertical roots was greater than that by horizontal roots. Under the condition of the same number of roots contained, shear strength for the composite was not proportional to the size of root diameter, but presented an increasing—fallback—rebounding trend with the increased root diameter. The study may provide some technical parameters and a theoretical support for the future plantation of *Sabina vulgaris* as a soil and water conservation measure.

Keywords: **soil－root composite; shear strength; root diameter; root layout; *Sabina vulgaris***

内蒙古自治区是中国水土流失极为严重的地区,其侵蚀特点是冬春大风、夏季暴雨—大风交替作用下的风水复合侵蚀。由于土壤侵蚀的外营力复杂多变,导致水土流失治理,特别是植被建设具有不同的特点,要求坡面上的植被既能防治水蚀,又能防治风蚀,因此,植被建设是防治水蚀和风蚀最有效的措施之一。有关植被保持水土、防治土壤侵蚀的研究已有大量报道[1-4],杨亚川等[5]以草本植物为研究对象,提出了“土壤—根系复合体”的新概念,即将根系与土壤视为一体简称复合体。胡其志等[6]通过对加入草本植物狗牙根根系的根土复合体进行直接剪切试验,研究在不同含根量和不同垂直压力情况下根土复合体抗剪强度变化情况。张超波等[7]研究了黄土高原刺槐林根系,在垂直布根、水平布根及复合布根方式下根土复合体及素土间抗剪强度指标的变化。本文则针对内蒙古地区广泛生长的水土保持树种——沙地柏,

收稿日期:2011-05-22 **修回日期**:2011-10-31
资助项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目“内蒙河套灌区上游盐碱地农业高效利用技术模式研究示范”(200903001-2-2);“十二五”国家科技支撑计划重点项目“干旱半干旱节水技术集成与示范”,“内蒙古河套灌区粮油作物节水技术集成与示范”(2011BAD29B03);国家农业转化基金项目“盐渍化土壤高效利用与节水灌溉技术转化与应用研究”(2010GB2A400060)
作者简介:胡敏(1977—),女(达斡尔族),内蒙古呼和浩特市人,讲师,博士研究生,主要从事农业水土工程的研究工作。E-mail:jxxx666@sina.com。
通信作者:李为萍(1978—),女(汉族),内蒙古呼和浩特市人,副教授,博士研究生,主要从事农业水土工程的研究工作。E-mail:nmnd_ljwp@163.com。

研究含有不同根数、不同径级的沙地柏根系及不同根系布置方式下,根土复合体与素土在不同法向应力作用下的抗剪强度变化规律,以期为风水复合侵蚀下进行植被建设提供技术依据,为今后沙地柏在作为水土保持树种栽植方面提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　采 样

采样地位于内蒙古农业大学苗圃内沙地柏试验田,土壤质地为沙壤土。沙地柏(*Sabina vulgaris*)又称臭柏、圆柏,为柏科圆柏属长绿匍匐针叶灌木,其根系是灌木根系中极具有代表性的根系,在防治荒漠化和水土流失方面起着重要的作用[8-9]。2009 年 4 月 15 日进行现场采样,该沙地柏地势平坦,南北走向,长约 200 m,宽约 10 m。随机选取 20 棵长势良好的沙地柏样株测其冠幅、树高、胸径和地径,然后根据各指标平均值选取 1 株作为标准株。挖取标准株的沙地柏根系若干根,并取适量土壤立即将根系及土壤埋入校园内的树林带内,以保持根系的新鲜与活力。挖取 0—40 cm 土层深度内的扰动土,用于试验室配置扰动土试样。测试试验地的基本物理性质指标如表 1 所示。

表 1　采样地土壤的基本物理性质

土层/cm	ω/%	ρ/(g·cm^{-3})	G_s	ρ_d/(g·cm^{-3})
0—20	13	1.61	2.70	1.52
20—40	13	1.61	2.70	1.58

注:ω 为含水率;ρ 为天然密度;G_s 为土粒比重;ρ_d 为干密度。

1.2　根系分级

用精度为 0.001 的游标卡尺分别测量根的上中下 3 处直径,测量差值应小于 0.5 mm。根据所测直径将根系从 0～2.0 mm 每隔 0.5 mm 分 1 级,共分 4 级,分级后取 2 cm 长为 1 段根,即与直剪仪环刀高度相同。每个根系径级下制备 4 个受试土样,用于做剪切试验不同的竖向荷载(50,100,200,400 kPa)。

1.3　试样制备及直剪试验

以制备 0.5 mm 径级、垂直布 4 根扰动土试样为例阐明试样制备过程。依据采样地含水率、干密度以及环刀规格计算出配置扰动土所需土的重量,将其分成 3 等份,分 3 层装入环刀,每层厚度为环刀高度的 1/3。首先装入第 1 份扰动土,并将 4 根长为 2 cm 的 0.5 mm 径级的沙地柏根系垂直均匀插入土中后在根系间隙处击实,直至土层厚度达到环刀高度的 1/3 处,同时记录锤击数;然后将因击实作用而倒伏的根系轻轻扶起至与土面垂直,用小刀将土面剖毛后,在根系间隙处装入第 2 份扰动土,用相同的击实力度和锤击数将土样击实到环刀高度的 2/3 处;重复上述步骤,装入并完成第 3 份扰动土的击实工作后,即完成了 1 个 0.5 mm 径级垂直布 4 根扰动土试样的制备工作。水平布根时,将根系均匀布置在环刀中间深度所处平面上。根据 0.5,1.0,1.5 和 2.0 mm 这 4 个径级,每个径级垂直 4 根、垂直 2 根和垂直 2 根水平 2 根 3 个处理的试验设计,共制备 48 个试样和 4 个无根扰动土对比试样,每组试样的密度差值应小于 0.02 g/cm^3。直剪试验采用南京电力自动化设备总厂生产的 GJZ-3 三联应变控制式直剪仪,环刀内径 6.18 cm,高 2 cm。试样制备以及直剪试验过程均以《土工试验规程》[10]为依据。

2　结果与讨论

2.1　不同布根方式对根土复合体抗剪强度的影响

通过室内直剪试验,得到了无根扰动土、不同径级垂直布置 4 根沙地柏根系、垂直布置 2 根沙地柏根系、垂直水平各布置 2 根沙地柏根系的扰动土试样抗剪强度值,具体结果如表 2 所示。由表 2 可知,在不同法向应力作用下,有根扰动土的抗剪强度均高于无根扰动土的抗剪强度,表明沙地柏根系的存在提高了土体的抗剪强度。从根系布置方式分析,垂直布置 4 根的抗剪强度明显高于垂直水平各布置 2 根的扰动土抗剪强度;垂直水平各布置 2 根的扰动土抗剪强度只是略高于垂直布置 2 根的扰动土抗剪强度,由此说明根系在土壤中的存在方式影响着根土复合体的抗剪强度,以垂直方式存在的根系较水平方式存在的根系对土体的抗剪强度影响更大。

表 2　不同沙地柏根系配置方式下扰动土抗剪强度　kPa

径级/mm	布根方式	竖向荷载			
		50	100	200	400
—	无 根	40.42	66.00	136.03	239.82
5	垂直 4 根	45.63	75.11	141.36	262.38
	垂直 2 根	41.66	72.66	140.12	261.64
	垂直 2 根,水平 2 根	42.41	72.91	140.86	262.14
1.0	垂直 4 根	49.10	76.88	144.34	268.00
	垂直 2 根	42.66	75.89	140.37	265.36
	垂直 2 根,水平 2 根	42.90	76.384	141.58	265.64
1.5	垂直 4 根	45.14	69.95	143.00	265.86
	垂直 2 根	42.05	66.38	136.11	264.62
	垂直 2 根,水平 2 根	42.14	66.88	136.36	264.86
2.0	垂直 4 根	46.08	78.62	143.92	275.28
	垂直 2 根	42.14	84.32	141.61	267.34
	垂直 2 根,水平 2 根	44.39	85.38	141.86	267.84

2.2 不同根系径级对根土复合体抗剪强度的影响

由图 1—3 可知，上述 3 种布根方式下，根土复合体的抗剪强度开始是随着所含根系径级的增大而增加，当所含根系径级在 1.0 mm 左右时抗剪强度达到峰值之后随着所含根系径级的增大而降低，在 1.5 mm 附近抗剪强度曲线达到极小值，之后根土复合体抗剪强度随着所含根系径级的增加再次回升。由此说明，根土复合体抗剪强度并不是与所含根系径级的大小成正比，而是分阶段性变化的。分析其原因，当根系径级逐渐增大后，根土间的结合变弱，使得根土复合体抗剪强度逐渐下降，当根系径级增大到一定程度时，根系本身的抵抗剪切变形能力增大较为显著，从而抵消了由于根系径级增大而使土体抗剪强度降低的部分，总体上根土复合体的抗剪性能呈现增加趋势。

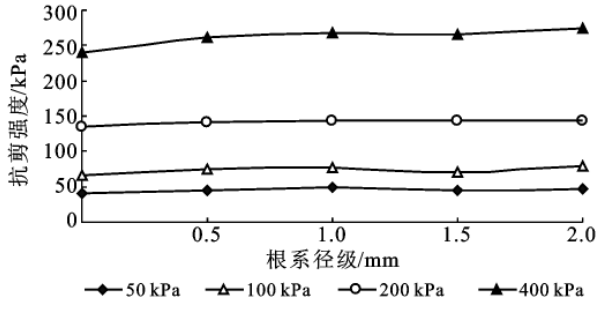


图 1 垂直布根 4 根后根土复合体抗剪强度

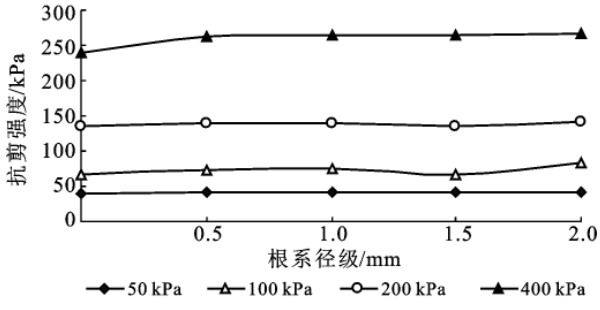


图 2 垂直布根 2 根后根土复合体抗剪强度

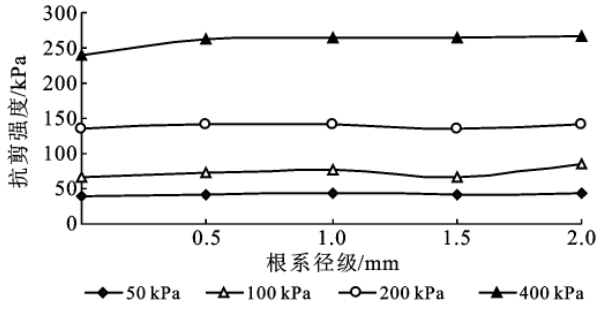


图 3 垂直水平各布 2 根后根土复合体抗剪强度

3 结 论

(1) 在不同法向应力的作用下，有根系存在的根土复合体的抗剪强度均明显高于无根扰动土的抗剪强度。

(2) 在根土复合体中，垂直存在的根系对提高土体抗剪强度的贡献大于水平存在的根系。

(3) 在所含根数一致的情况下，根土复合体的抗剪强度并不与所含根系径级的大小成正比，其抗剪强度随着根系径级的增大呈现递增—回落—反弹的趋势。

通过本试验研究，阐明了在不同法向应力作用下，有根系存在的根土复合体抗剪强度明显高于无根扰动土的抗剪强度，初步归纳了布根方式及根系径级对根土复合体抗剪性能的影响规律，可为今后沙地柏作为水土保持树种的栽种提供一定的技术参数及理论依据。本试验没有针对倾斜布根方式以及根系径级 2.0 mm 以上根土复合体抗剪强度进行研究，今后应针对不同方位，不同径级根系的根土复合体抗剪性能的变化规律进行深入研究，为防风固土、防治荒漠化和水土流失提供更科学的理论依据。

[参 考 文 献]

[1] 杨璞，向志海，胡夏嵩，等. 根对土壤加强作用的研究[J]. 清华大学学报：自然科学版，2009，49(2)：305-308.

[2] 胡夏嵩，李国荣，朱海丽，等. 寒旱环境灌木植物根：土相互作用及其护坡力学效应[J]. 岩石力学与工程学报，2009，28(3)：613-620.

[3] 刘川顺，郑勇，关洪林，等. 灌木对黄土边坡的加固效应[J]. 武汉大学学报：工学版，2010，43(1)：55-59.

[4] 朱力，吴展，袁郑棋. 生态植被护坡作用机理研究[J]. 土工基础，2009，23(1)：46-49.

[5] 杨亚川，莫永京，王芝芳，等. 土壤—草本植物根系复合体抗水蚀强度与抗剪强度试验研究[J]. 中国农业大学学报，1996，1(2)：31-38.

[6] 胡其志，周政，肖本林，等. 生态护坡中土壤含根量与抗剪强度关系试验研究[J]. 土工基础，2010，24(5)：85-87.

[7] 张超波，陈丽华，刘秀萍. 黄土高原刺槐根系固土的力学增强效应评价[J]. 水土保持学报，2009，23(2)：57-60.

[8] 姚喜军，刘静，王林和，等. 快剪条件下柠条和沙地柏根系提高土壤抗剪特性研究[J]. 内蒙古农业大学学报，2008，29(4)：82-86.

[9] 张欣，姚喜，刘静，等. 土壤孔隙水承压条件下 4 种根土复合体抗剪特性[J]. 水土保持通报，2010，30(4)：22-26.

[10] 中华人民共和国水利部. 土工试验规程 SL237—1999[S]. 北京：中国水利水电出版社，1999.