

土壤水分对植物根—土界面相互作用特性的影响

格日乐¹, 刘艳琦¹, 左志严¹, 阿如罕¹, 娜日苏²

(1. 内蒙古农业大学沙漠治理学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 为研究不同土壤水分下不同植物根系与土壤界面的摩阻特性, 使用直剪仪对内蒙古中西部的5种典型乡土植物(柠条、沙棘、杨柴、紫花苜蓿和沙打旺)的根系在不同土壤含水率下进行根—土界面直剪摩擦试验。结果表明: 当土壤含水率在4.5%~24.5%时, 5种植物根—土界面摩擦系数均大于素土的土—土界面的值, 且随着土壤含水率的增加, 根—土界面和土—土界面摩擦系数均呈下降趋势, 其中沙棘根—土界面的摩擦系数和黏聚力均大于其他4种植物的值, 表明仅从根系与土壤间的相互作用特性来看, 沙棘根系固土抗蚀的作用明显优于其他4种植物。根—土界面和土—土界面黏聚力均随着土壤含水率的增加呈先增后减的变化特征, 且植物种不同黏聚力峰值出现时对应的土壤含水率亦不同。

关键词: 根—土界面; 黏聚力; 摩擦系数; 土壤含水率

中图分类号: S714.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)01-0135-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.01.022

Effect of Soil Moisture on the Characteristics of Root-soil Interface Interaction

GE Rile¹, LIU Yanqi¹, ZUO Zhiyan¹, A Ruhan¹, NA Risu²

(1. College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019; 2. College of Grassland Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019)

Abstract: In this study, we used the direct shear apparatus to study the direct shear friction characteristics of root-soil interface under different soil moisture content in the Midwest of Inner Mongolia. Five kinds of typical local plant, including *Caragana Korshinskii*, *Hippophae rhamnoides*, *Hedysarum fruticosum*, *Medicago sativa* and *Astragalus adsurgens*, were selected as experiment plants. The results showed that friction coefficients of root-soil interface for the five plants were all higher than those of soil-soil interface when soil moisture content varied between 4.5% and 24.5%. And friction coefficients of root-soil interface and soil-soil interface both decreased with the increasing of soil moisture content. The friction coefficient of root-soil interface and cohesion of *Hippophae rhamnoides* were both greater than those of other four plants, and this indicated that the effect of *Hippophae rhamnoides* roots on soil erosion resistance was greater than the other four plants according to the interaction between root system and soil. The cohesions of root-soil interface and soil-soil interface all increased first and then decreased with the increasing of soil moisture content. For different plant species, the soil moisture content was different when the cohesion peak appeared.

Keywords: root-soil interface; cohesion; friction coefficient; soil moisture content

植物固土主要通过根系固土来实现^[1]。植物根系与土体之间的结合, 是在某一特定受力条件之下, 根土接触面产生错动滑移或有相互错动滑移趋势, 使根土接触面相应地产生了抵抗位移的摩擦力, 摩擦力将土体的抗剪强度与根系的抗拉强度相结合, 有效地提高了根—土复合体的强度, 抑制或减小土体的变形^[2]。因此, 根—土界面摩阻特性的研究是根系固土机制研究的关键之一。

现有研究认为, 植物主要是通过根系与土壤间的

相互作用来达到稳固边坡的目的。根系与土壤之间的相互作用, 主要通过原位水平拉拔试验或垂直拉拔试验测定根系与土壤之间的摩阻力^[3-8], 直剪试验^[9-10]和三轴压缩试验^[11-12]测定根系—土壤复合体抗剪强度^[13-21]。直剪试验和三轴试验是一个综合试验, 其测定的抗剪强度中不仅有根土界面的摩擦力, 还有黏聚力等其他因素的影响; 野外拉拔试验, 可以直接、准确地量测林木在外荷载的作用下根系与土壤接触界面上的摩阻力等指标, 室内拉拔模拟试验则认

收稿日期: 2017-08-02

资助项目: 国家自然科学基金项目(41161046); 内蒙古自然科学基金项目(2017MS0407)

第一作者: 格日乐(1970—), 女, 蒙古族, 博士研究生, 副教授, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: gerile197081@126.com

通信作者: 刘艳琦(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: 1370023278@qq.com

为加筋材料上下界面受到的摩擦阻力与拉拔力平衡,据此测得摩阻力。不同的方法各有其优缺点,综合现有成果来看,对处于半干旱区的内蒙古黄土丘陵沟壑区用于固土护坡的典型水土保持乡土树种的研究较少,而且关于土壤水分对根土界面相互作用特性的影响并未得到深入研究。植被的存在一方面通过蒸腾作用减少土壤中之水分和通过降雨截流作用等来达到稳固边坡的目的^[22-24],而另一方面植物对边坡稳定性的增强效应存在着较为明显的局限性,即根系增强土体力学性能的范围非常有限,根系增加土壤的渗透性使得渗入坡体内部的水量增大而削弱了根系的固土作用,植物传递风荷载的性质增加了影响潜在滑体稳定性因素的数量^[25-27]等。土壤水分既是生活因子,又是环境因子。土壤的水分状况受降雨、植被、土壤及其他因素的影响处于经常的变动当中,它集中反映了土壤、植物、气候三者之间相互作用的综合效应。因此,研究土壤水分变化对根—土相互作用特性的影响,将有助于揭示根系固土力学性能对土壤水分变化的响应规律,是认识植物—土壤间相互作用,可为揭示不同水文和气象条件下的植物固土抗蚀机制提供间接依据。另外,植物种类不同,立地条件不同,则根土界面摩阻特性亦不同,对现有的几种植物根—土界面摩擦特性的研究成果,无法直接应用于其他植物。

鉴于此,本文在总结前人研究的基础上,以处于半干旱气候区的内蒙古黄土丘陵沟壑区大型采煤矿区准格尔煤田黑岱沟露天煤矿再塑地貌—排土场土地复垦生态建设中 5 种常见典型水土保持乡土植物沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、杨柴(*Hedysarum fruticosum*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和沙打旺(*Astragalus adsurgens*)的根系为对象,采用直剪仪,对根—土复合体在不同土壤含水率下进行剪切摩擦试验,以确定排土场复填土与根系之间的摩擦系数、黏聚力等,揭示不同土壤含水率下不同植物根系与土壤界面的摩阻特性的差异性及其随土壤水分的变化特征,进而为植物根系固土力学机制的研究提供科学的参考依据,更为该区域矿区及相似地区生态环境建设中植物种的选择及配置提供基础力学数据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

研究材料选择在准格尔煤田黑岱沟露天煤矿,位于内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗东部,海拔 1 025~1 302 m,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,约占全年降水量的 60%~70%,且多以暴雨的形式出现。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。排土场台阶上的土壤均为复填土,因排土车辆碾压较紧密。在研究区的内排土场平台选取 5 种 3~4 a 生柠条、沙棘、杨柴、紫花苜蓿和沙打旺,5 种植物根系都与根瘤菌共生,具有固氮改土作用。其中柠条(豆科 Leguminosae、锦鸡儿属 *Caragana*)是黄土高原地区主要的旱生落叶灌木,根系发达,具有广泛的适应性和很强的抗逆能力,沙棘(胡颓子科 Elaeagnaceae、沙棘属 *Hippophae*)落叶灌木或小乔木,具有较强的适应能力,能在高温、低温、干旱、瘠薄、盐碱、风沙等恶劣环境中生存,2 种灌木均为营造水土保持林和防风固沙林、饲料林和薪炭林的优良树种;杨柴为(蝶形花科 Papilionaceae、岩黄耆属 *Hedysarum*)半灌木,具有抗风沙、耐高温、耐干旱、耐贫瘠等特点,作为防风固沙的先锋植物,杨柴采用封沙育林,自然繁殖很快,即可利用天然下种,又可利用串根成林。紫花苜蓿和沙打旺为豆科(Leguminosae)多年生草本植物,抗逆性强,有较强固土能力。5 种植物中沙棘和柠条 2 种灌木造林方式为植苗造林,株行距为 1.5 m×1.5 m,半灌木杨柴及其他 3 种草本植物均为直播造林,盖度为 50%。采集 5 种植物标准株的根系。标准株的选取,选择在相同立地条件下植物样地内对每一种植物随机抽取 4 a 生植株 30 株作为 1 个样本,测其地径(最粗地径)、株高及冠幅(东西×南北),计算其平均值,植株生长状况及各项生长指标测定结果见表 1。在每种植物样地内选择 3 株最接近平均值的植株作为标准株进行根系采集。

1.2 研究方法

试样制备采用剥取根皮制样方法^[5,9],根系采集后带回实验室,首先对根系进行生命活性的筛选,通过根皮颜色、根皮脱落情况进行判断,进而将死根去除。试验根直径取 3.5~5.5 mm,采用 ZJ 型四联应变控制式直剪仪。具体方法为:直剪仪上盒放土,下盒为嵌入表面粘有根皮的圆木块,木块直径与上盒土样直径相同。分别将 5 种植物根系用刀片剥下表皮,用 502 胶粘在木块上,木块上表面即为根表面,与下盒上表面齐平,根轴线方向与受剪方向平行,以模拟根土分离时所处的受力状况^[3-4]。

垂直荷载的确定是以 5 种植物根系集中分布土层为依据,根据树种的不同一般在 80 cm 左右,按土体自重应力公式推求根系分布层在 80 cm 深时自重应力为 12.5 kPa,150 cm 深时为 25.0 kPa,参照直剪试验的要求选取其余的 2 级应力为 50, 100 kPa^[3-5,18,28]。设定剪切速率为 0.8 mm/min。

表 1 植株生长状况及标准株选取

供试植物	造林方式	株数		株高/cm	冠幅/cm		地径/mm
					东西	南北	
柠条	植苗	30	均值±标准误差	105.45±13.21	76.03±8.02	78.10±9.21	6.11±1.21
			离差	0.14	0.14	0.15	0.24
沙棘	植苗	30	均值±标准误差	98.36±12.28	84.22±14.24	86.12±12.15	11.12±2.11
			离差	0.24	0.28	0.26	0.21
紫花苜蓿	播种	30	均值±标准误差	44.17±5.79	52.27±12.72	51.43±8.11	3.15±0.39
			离差	0.23	0.24	0.21	0.15
沙打旺	播种	30	均值±标准误差	49.13±10.18	58.26±10.24	56.28±8.11	4.36±0.32
			离差	0.22	0.22	0.23	0.16
杨柴	播种	30	均值±标准误差	86.84±12.50	95.10±23.13	92.21±21.25	8.96±0.09
			离差	0.18	0.22	0.24	0.12

2014 年 9 月中旬在植物样地内对标准株根系挖掘取样时,同时测定土壤含水率,土壤剖面深度以根系在土层中的实际分布情况,以根系明显稀疏为限确定为 150 cm,每个剖面分 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100,100—120,120—150 cm 共 7 层取样,每层取 3 个重复,3 个重复的平均值即代表该层土壤含水率。采用定容积的环刀取土和 105 ℃烘干法,测定土壤含水率和干密度,之后将 7 层土样的试验数据取平均值作为该剖面层的土壤含水率,再将 3 个剖面层的含水率取平均值即为样地的土壤含水率,测定结果为土壤含水率 10.86%和干密度 1.53 g/cm³。由于土壤含水率随天气变化而经常处在不断变动之中,因此不同土壤含水率下的试验研究,分别选取实测土壤含水率 10.86%及其以下两个含水率梯度 4.50%,8.50%和以上两个含水率梯度 16.50%,24.50%的 5 个不同土壤含水率条件下进行。每个土壤含水率下至少进行 3 个重复剪切摩擦试验,将 3 个重复试验下得到的指标数据摩擦系数和黏聚力等再进行方差分析,如果方差分析结果显示 3 个重复试验下所得指标数据间无显著性差异,则表明该含水率下 3 个重复试验有效,将 3 个重复指标数据进行平均,即代表该含水率下的试验结果。相同含水率下不同植物种间根—土界面剪切摩擦特性的比较,每个植物种至少进行 3 次重复试验;同一含水率下、相同植物种在不同垂直应力下剪切摩擦试验,每个垂直应力下至少进行 3 个重复试验,其方法

与上述含水率梯度下的试验一致。

重塑土样取自植物样地,土样理化性质测定方法及结果已另文发表^[18],测定结果土壤质地为轻壤土。素土(无根土)试样的制备依据土工试验规程进行^[29],将风干土放置在橡皮板上用木碾将其碾散,依据各批试验所需要的土样的质量,用 1%的天秤精确称量并将称好的风干土样分层依次放入干燥的铁盘内,同时使用喷壶喷洒预计好的加水量,之后将制备好的试样装入干燥且密封的玻璃缸内,玻璃缸盖盖紧后贴上标签,润湿一昼夜以备用。每个含水率下进行 3 个重复试验,其方法与上述根—土界面的测定方法一致。

2 结果与分析

2.1 不同土壤含水率下根—土界面抗剪强度与垂直荷载的关系

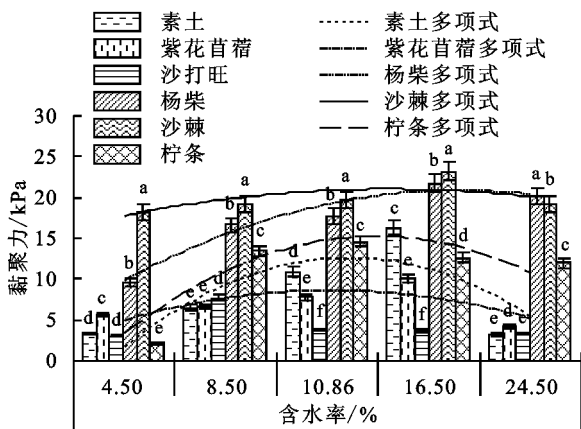
在 4.50%,8.50%,10.86%,16.50%,24.50%的 5 个不同土壤含水率下进行 5 种植物根—土界面及素土的土—土界面的剪切摩擦试验,结果显示,5 种不同土壤含水率下根—土界面及土—土界面抗剪强度与垂直荷载(12.5,25,50,100 kPa)均呈线性正相关,拟合方程和决定系数(R^2)在 0.90~0.99($\alpha=0.05$)(表 2),结果表明,5 种植物根—土界面及土—土界面剪切关系均服从摩尔—库仑理论。据此,可以采用摩尔—库仑理论来推求根—土界面的摩擦系数和黏聚力,分析根—土界面的摩阻特性。

表 2 5 种植物根—土界面及素土土—土界面在不同土壤含水率下的抗剪强度与垂直荷载的关系

供试植物	拟合方程及 决定系数	土壤含水率				
		4.50%	8.50%	10.86%	16.50%	24.50%
沙棘根—土界面	拟合方程	$y=0.8021x+18.241$	$y=0.7753x+19.256$	$y=0.7707x+19.621$	$y=0.759x+23.167$	$y=0.7384x+19.175$
	决定系数	0.9299	0.9488	0.9504	0.9664	0.9452
柠条根—土界面	拟合方程	$y=0.7428x+2.193$	$y=0.731x+13.412$	$y=0.7265x+14.633$	$y=0.7072x+12.591$	$y=0.6783x+11.957$
	决定系数	0.9996	0.9787	0.9804	0.9471	0.9339
杨柴根—土界面	拟合方程	$y=0.8091x+9.53$	$y=0.7735x+16.653$	$y=0.7629x+17.691$	$y=0.7095x+21.663$	$y=0.6727x+20.217$
	决定系数	0.9796	0.9911	0.9932	0.9928	0.9237
沙打旺根—土界面	拟合方程	$y=0.7850x+3.068$	$y=0.9966x+7.665$	$y=0.7832x+3.862$	$y=0.9009x+3.729$	$y=0.8668x+3.255$
	决定系数	0.9985	0.9763	0.9879	0.8978	0.9729
紫花苜蓿根—土界面	拟合方程	$y=0.7258x+5.6128$	$y=0.6970x+6.6367$	$y=0.6354x+7.8192$	$y=0.6820x+9.9986$	$y=0.5855x+4.2475$
	决定系数	0.9978	0.9970	0.9864	0.9949	0.9948
土—土界面	拟合方程	$y=0.6044x+3.3630$	$y=0.6326x+6.4900$	$y=0.5337x+10.922$	$y=0.4750x+16.294$	$y=0.4222x+3.2235$
	决定系数	0.9815	0.9905	0.9964	0.9967	0.9931

2.2 土壤含水率对根—土界面黏聚力的影响

由图 1 可知,当土壤含水率 4.50% 时,黏聚力大小顺序为沙棘根—土界面>杨柴>紫花苜蓿>沙打旺和素土>柠条;土壤含水率为 8.50% 时黏聚力大小为沙棘根—土界面>杨柴>柠条>沙打旺>紫花苜蓿和素土;土壤含水率在 10.86% 和 16.50% 时,5 种植物根—土界面黏聚力及与素土黏聚力间均存在显著性差异,且大小顺序一致,均为沙棘根—土界面>杨柴>柠条>素土>紫花苜蓿>沙打旺;在土壤含水率 24.50% 时黏聚力大小顺序为杨柴根—土界面>沙棘>柠条>紫花苜蓿>沙打旺和素土。结果表明,当土壤含水率在 4.50%~24.5% 变动时 5 种植物根—土界面黏聚力相比较总体呈沙棘优于其他 4 种植物,其次为杨柴,杨柴又优于柠条,5 种植物种根土界面黏聚力最小的两种草本植物是紫花苜蓿和沙打旺。这与植物种不同则生物学特性不同有关,例如根系分泌物、根表面的微域环境即根际特性、根系表面微观形态结构、根系表皮粗糙度等进行进一步研究。同时结果显示,根—土界面的黏聚力不总是大于土—土界面黏聚力的值。根据摩尔—库伦理论,根土界面抗剪强度的发挥除了与根土界面黏聚力有关外,还与根土界面摩擦力密切相关,摩擦力和黏聚力共同作用发挥根土界面的抗剪强度,其中对于有些植物种则根土界面抗剪强度的发挥对黏聚力起主要作用,而对于另外一些植物种则摩擦力发挥重要作用。造成这种差异的原因如上所述与植物本身的生物学特性不同有关,需要进行后续研究。



注:不同字母表示 0.05 水平下差异性显著。下同。

图 1 相同土壤含水率下 5 种植物根—土界面黏聚力及与素土的土—土界面黏聚力的比较

由图 2 可知,5 种植物根—土界面及土—土界面黏聚力均总体随着土壤含水率的增加呈先增加后减小的变化趋势。将 5 种植物根土界面和土—土界面黏聚力随土壤含水率的变化进行进一步的方程拟合,其拟合方程和决定系数分别为:沙棘 $y = -0.4881x^2 + 3.5069x + 14.741$, $R^2 = 0.46$;柠条 $y = -1.9259x^2 + 13.426x - 8.137$, $R^2 = 0.87$;杨柴 $y = -1.0146x^2 + 8.7258x + 2.1336$, $R^2 = 0.95$;沙打旺 $y = -0.463x^2 + 2.4209x +$

2.1478 , $R^2 = 0.30$;紫花苜蓿 $y = -0.8972x^2 + 5.4456x + 0.3955$, $R^2 = 0.59$;土—土界面 $y = -2.2468x^2 + 14.433x - 10.527$, $R^2 = 0.64$ 。拟合结果显示除了沙打旺的拟合方程的决定系数小于 0.5 以外,其他 4 种植物根土界面及土—土界面黏聚力随着土壤含水率的增加均呈现二项式函数关系,且拟合方程的决定系数 ≥ 0.5 。

5 种植物中紫花苜蓿、杨柴和沙棘根土界面和土—土界面黏聚力在土壤含水率 16.50% 时对应其峰值,峰值大小顺序为沙棘(23.17 kPa)>杨柴(21.66 kPa)>土—土界面(16.29 kPa)>紫花苜蓿(10 kPa)(图 1),沙打旺的峰值出现在含水率 8.50% 时,其值为 7.67 kPa,柠条在含水率 10.86% 时对应黏聚力的峰值为 14.63 kPa。结果表明,植物种不同则黏聚力峰值出现时的土壤含水率在有些植物种间一致、有些植物种间则不同。分析原因主要与植物生物生态学特性有关,其内在机理需要进行后续研究。自然环境中的土壤水分状况受天气变化的影响,在空间和时间上处于经常不断的变动之中,这也正是在坡面治理工程的植物措施中,采用多植物种进行合理混交搭配的原因所在,合理混交配置在时间和空间上可以做到充分利用营养空间。

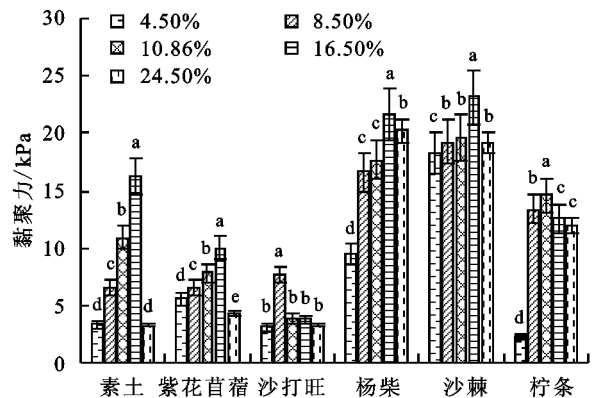


图 2 5 种植物根土界面及素土的土—土界面黏聚力随着土壤含水率的变化

2.3 土壤含水率对根—土界面摩擦系数的影响

由图 3 可知,相同含水率下 5 种植物根—土界面摩擦系数均大于土—土界面的值。当土壤含水率 4.50% 时,5 种植物根土界面和土—土界面摩擦系数间相比较,其大小顺序为杨柴>沙棘>沙打旺>柠条>紫花苜蓿>土—土界面;土壤含水率 8.50% 时,沙棘>杨柴>柠条>沙打旺>紫花苜蓿>土—土界面;土壤含水率 10.86% 时,沙棘>杨柴>沙打旺>柠条>紫花苜蓿>土—土界面;土壤含水率 16.50% 时,沙棘>杨柴>柠条>沙打旺>紫花苜蓿>土—土界面;土壤含水率 24.50% 时,沙棘>柠条>杨柴>沙打旺>紫花苜蓿>土—土界面。说明,仅就根系与土体之间的摩擦来看,5 种植物中沙棘根—土界面的摩擦明显好于其他 4 种植物根系,其次是杨柴,杨柴总体上又优于柠条,最小的两种草本植物是沙打旺和紫花苜蓿,其中沙打旺又优于紫花苜蓿。

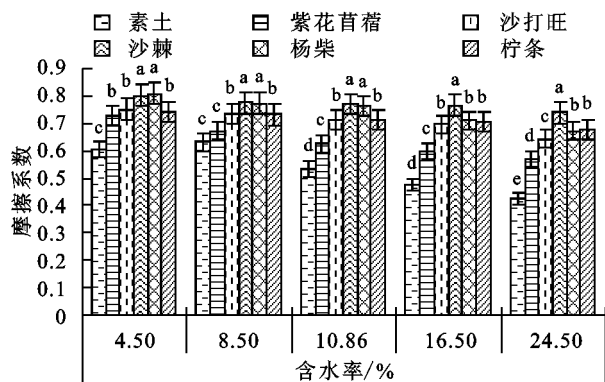


图3 相同土壤含水率5种植物根—土界面及与素土土—土界面摩擦系数的比较

由图4可知,5种植物根—土界面和土—土界面摩擦系数均随着土壤含水率的增加呈现减小的趋势。对同一植物种在不同土壤含水率下根—土界面和土—土界面摩擦系数进行方差分析,结果显示2种草本植物紫花苜蓿、沙打旺根—土界面摩擦系数和土—土界面摩擦系数在5种不同土壤含水率下在0.05水平均存在显著性差异,而沙棘、柠条和杨柴根—土界面摩擦系数则在含水率下差异性显著($\alpha=0.05$),在含水率下无显著性差异($\alpha=0.05$)。其中2种灌木柠条和沙棘的规律一致,即在含水率8.50%,10.86%,16.50%时的值无显著性差异($\alpha=0.05$),并分别与含水率4.50%和24.50%下的值存在显著性差异($\alpha=0.05$);杨柴根—土界面摩擦系数在土壤含水率为8.5%与10.86%时的值比较,无显著性差异($\alpha=0.05$),并分别与土壤含水率为4.50%,16.50%,24.50%时的值存在显著性差异($\alpha=0.05$)。

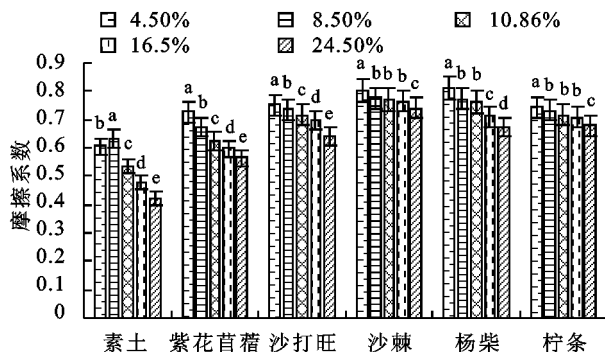


图4 5种植物根土界面及素土的土—土界面摩擦系数随着土壤含水率的变化

3 讨论

根—土界面及土—土界面黏聚力随着土壤含水率的增加呈先增大后减少的变化特征,这与一些研究者通过直剪、三轴、拉拔等试验得到的规律一致^[3,18,30-31]。从根土接触面的角度分析,将土颗粒近似看成球体,根系近似看成无限延伸的平面(图5)。当土颗粒与根系接触面上存在毛细水时,由于两者表面的湿润作用,会使得毛细水面向内弯曲。此时,水气分界面上会出现表面张力,其作用方向将沿着曲面的切线方向指向内部。由于

这种张力的存在,使得土颗粒与根系的接触面上形成了一种毛细压力,从而增加了根土间的黏聚力。而这种黏聚力在土壤含水率过高或过低时是不存在的,只有当含水率在某一范围内时才存在。因此,这种黏聚力将随着土壤含水率的增加呈现先增后减的规律,从而使得根土间的作用力亦呈现此种变化规律。从土壤颗粒自身的角度分析,它的表面存在一层弱结合水膜,这是一种黏滞水膜。当土壤含水率较低时,该水膜较薄,黏滞性较弱,与根系接触时表现出的黏聚性能较弱。随着土壤含水率的增加,弱结合水膜的厚度逐渐增厚,黏滞性逐渐增强,与根系间的黏聚性能随之增加。当含水率超过某一定值后,弱结合水膜的厚度增至最大值,根系与土颗粒作用面上开始出现孔隙水,削弱了水膜的黏滞性能,从而使得根土间的黏聚性能减小。

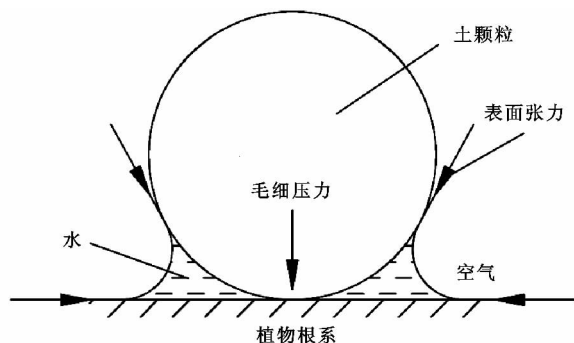


图5 毛细压力作用示意

5种植物根—土界面黏聚力随着土壤含水率的增加,植物种不同黏聚力峰值出现时对应的土壤含水率亦不同。已有研究^[32-35]表明,生态位分化有利于群落的稳定并保持较高的生产力,营造人工纯林或者生活型相似的混交林,植物水分利用特征单一,土壤水分亏缺,导致植被退化。本文则从根—土界面摩擦特性角度揭示在坡面治理工程的植物措施中,只有做到合理选择和搭配植物,进行科学配置,构建稳定的人工植被群落,才有利于最大程度的发挥根系的固土抗蚀作用。

根—土界面摩擦系数在不同土壤含水率下均大于土—土界面的值,5种植物根—土界面和土—土界面摩擦系数均随着土壤含水率的增加呈现减小的趋势,这一研究结论与其他研究者^[3-4,9-10]的结论一致。分析原因可能是随着土壤含水率逐渐增大,根—土界面上孔隙中水分含量逐渐增大,根—土界面土体结构性减小,根与土的咬合作用逐渐减弱的缘故,同时随着土壤水分的增加,使根—土界面上孔隙水承受的压力的比重逐渐增大,使得根与土之间的有效应力减小,从而降低了根与土之间的摩擦力^[4,36]。

4 结论

(1)5种植物根—土界面和土—土界面黏聚力均随着土壤含水率的增加呈先增加后减小的变化趋势,其中除了沙打旺以外,其他植物均随着土壤含水率的增加呈

二项式函数关系。植物种不同则黏聚力峰值出现时的土壤含水率在有些植物种间一致,有些植物种间则不同。当土壤含水率在 4.50%~24.50%变动时,5 种植物根—土界面黏聚力相比较总体呈现沙棘优于其他 4 种植物,其次为杨柴,杨柴又优于柠条,5 种植物种根土界面黏聚力最小的是两种草本植物紫花苜蓿和沙打旺。

(2)根—土界面摩擦系数在不同土壤含水率下均大于土—土界面的值,5 种植物根—土界面和土—土界面摩擦系数均随着土壤含水率的增加呈现减小的趋势,这也正好从另外一个方面说明,由于植被的存在,植物地上部分枝叶通过蒸腾作用,起到了调节土壤中之含水量的作用。当土壤含水率在 4.50%~24.50%变动时,5 种植物根—土界面摩擦系数相比较沙棘优于其他 4 种植物,其次是杨柴,杨柴总体上又优于柠条,最小的是两种草本植物沙打旺和紫花苜蓿,其中沙打旺又优于紫花苜蓿。故综合根—土界面黏聚力和摩擦系数两个指标,在半干旱的内蒙古黄土丘陵沟壑区及相似地区,沙棘根系固土抗蚀的作用明显优于其他 4 种植物。

参考文献:

- [1] 杨永红. 东川砾石土地区植被固土护坡机理研究[D]. 成都:西南交通大学,2006.
- [2] 陈昌富,刘怀星,李亚平. 草根加筋土的护坡机理及强度准则试验研究[J]. 中南公路工程,2006,31(2):14-17.
- [3] 邢会文,刘静,王林和,等. 柠条、沙柳根与土及土与土界面摩擦特性[J]. 摩擦学报,2010,30(1):87-91.
- [4] 邢会文. 4 种植物根—土界面摩擦阻特性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [5] 格日乐,刘艳琦,左志严,等. 根系固土主要力学因子的主成分分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2015,36(6):39-47.
- [6] 周跃,张军,骆华松,等. 松属、青冈属乔木侧根的强度在防护林固土护坡作用中的意义[J]. 植物生态学报,2001,25(1):105-109.
- [7] 张云伟,刘跃明,周跃. 云南松侧根摩擦型根土粘合键的破坏机制及模型[J]. 山地学报,2002,20(5):628-631.
- [8] 解明曙. 林木根系固坡土力学机制研究[J]. 水土保持学报,1990,4(3):7-14.
- [9] 宋维峰,陈丽华,刘秀萍. 根系与土体接触面相互作用特性试验[J]. 中国水土保持科学,2006,4(2):62-65.
- [10] 杨永红,王成华,刘淑珍,等. 不同植被类型根系提高浅层滑坡土体抗剪强度的试验研究[J]. 水土保持研究,2007,14(2):233-235.
- [11] 张超波. 林木根系固土护坡力学基础研究[D]. 北京:北京林业大学,2011.
- [12] 刘秀萍,陈丽华,宋维峰,等. 边坡形态对刺槐林边坡稳定性的影响[J]. 北京林业大学学报,2008,30(增刊 2):228-233.
- [13] 王云翔,孙海龙,罗龙皂,等. 人工石质边坡构树根系抗剪特性研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):114-118.
- [14] 胡宁,刘静,姚喜军,等. 快剪条件下柠条根对 3 种土壤土工特性的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(1):106-111.
- [15] 王剑敏,沈烈英,赵广琦. 中亚热带优势灌木根系对土壤抗剪切力的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(2):47-50.
- [16] 胡文利,李为萍,陈军. 不同含水率水平下根—土复合体抗剪强度试验研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2011,32(1):215-219.
- [17] 李为萍,史海滨,胡敏. 沙地柏根系径级对根土复合体抗剪强度的影响[J]. 土壤通报,2012,43(4):934-937.
- [18] 格日乐,张成福,蒙仲举,等. 3 种植物根—土复合体抗剪特性对比分析[J]. 水土保持学报,2014,28(2):85-90.
- [19] 张欣,姚喜军,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.
- [20] 曹云生,陈丽华,盖小刚,等. 油松根系的固土力学机制[J]. 水土保持通报,2014,34(5):6-10.
- [21] 方便,罗海波,魏华炜. 三叶草根—土复合体抗剪强度试验研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2012,29(2):29-32.
- [22] 周英. 植物护坡在西北地区公路边坡应用的研究[D]. 天津:天津大学,2006.
- [23] 刘志明,李建中,张可能,等. 公路边坡工程中的植物生态防护技术[J]. 地下空间与工程学报,2005,1(7):1025-1028.
- [24] 向东,吴钦孝,赵鸿雁. 森林植被垂直截留作用与水土保持[J]. 水土保持研究,1994,1(3):8-13.
- [25] 徐则民,黄润秋,唐正光,等. 植被护坡的局限性及其对深层滑坡孕育的贡献[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(3):438-450.
- [26] 宋庆丰. 根系固土作用及植物护坡稳定性研究[D]. 成都:西南交通大学,2008.
- [27] 杨永兵,施斌,杨卫东,等. 边坡治理中的植物固坡法[J]. 水文地质工程地质,2002,22(1):64-67.
- [28] 姚喜军. 4 种植物根系提高土体抗剪强度有效性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.
- [29] 南京水利科学研究所. SL 237—1999《土工试验规程》[S]. 南京:辽宁民族出版社,1999.
- [30] 夏振尧,管世烽,牛鹏辉,等. 麦冬和多花木蓝根系抗拉拔特性试验研究[J]. 水土保持通报,2015,35(6):110-113.
- [31] 曹云生,陈丽华,刘小光,等. 植物根土界面摩擦力的影响因素研究[J]. 摩擦学报,2014,34(5):482-488.
- [32] Morenogiérrez C, Dawson T E, Nicolás E, et al. I-sotopes reveal contrasting water use strategies among coexisting plant species in a Mediterranean ecosystem[J]. New Phytologist, 2012, 196(2): 489-496.
- [33] 曾德慧,姜凤岐,范志平,等. 樟子松人工固沙林稳定性的研究[J]. 应用生态学报,1996,7(4):337-343.
- [34] 雷泽勇,刘心玲,周凯,等. 辽西北沙地人工林植物水分亏缺与恢复研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):86-90.
- [35] 吴祥云,姜凤岐,李晓丹,等. 樟子松人工固沙林衰退的规律和原因[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2225-2228.
- [36] 郑力文,刘小光,涂志华,等. 土壤含水率与干密度对油松根—土界面摩擦性能的影响[J]. 中国水土保持科学,2014,12(6):36-41.