

夏季干旱时期根系固土主导力学因素 分析与差异性评价

刘福全¹, 刘静¹, 刘鹏飞¹, 胡宁¹, 张格², 赵英铭²

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 中国林业科学研究院 沙漠林业实验中心, 内蒙古 巴彦淖尔 015200)

摘 要:以 3~4 年生(4 年生为主)5 种内蒙古干旱、半干旱地区常见的水土保持植物[柠条(*Caragana microphylla* Lam.)、白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)、沙柳(*Salix psammophila* C. Wang et Ch. Y. Yang.)和沙地柏(*Sabina vulgaris* Ant.)]为研究对象,利用 SAS 9.0 软件对夏季土壤干旱时期影响 5 种植物根系固土的 10 项指标进行主成分分析。结果表明:根系的抗拉力学特性是影响 5 种植物根系固土的主导因素,其次为根-土界面摩阻特性,最后为根-土复合体抗剪特性;在此基础上,运用层次分析法对 5 种植物根系固土差异性进行评价,为了减少主观因素所带来的误差,将主成分分析所得 3 个力学特性的方差贡献率作为权重,5 种植物根系固土指数分别为:柠条(0.954)>沙地柏(0.084)>沙柳(0.041)>白沙蒿(-0.315)>沙棘(-0.764)。

关键词:根系固土;主成分分析;主导力学因素;层次分析;抗拉力学特性

中图分类号:S 157.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)17-0158-05

我国是世界上水土流失最为严重的国家之一。水土流失造成土地资源破坏,江河湖库淤积,水资源质量下降,干旱、洪涝灾害频繁发生,严重危及国家的生态安全。生物措施作为防治区域水土流失最有效地防治措施之一,不仅廉价易行,还可以调节和改善区域小气候,已被广泛应用到生态环境保护的各个领域^[1-3]。

植被是一种既经济又环保的防治措施,具有不可替代的重要作用。近年来,有关植物根系固土的研究受到了国内外学者的广泛关注。根系不再只是吸收水分、养分的主要通道。在水土流失区,根系与土体形成的复合体能够显著改善土体的力学性状,增强土壤的抗蚀性,提高边坡的稳定性。综合近年来国内外学者对根系固土机理的研究,影响根系固土的力学因素主要集中于根系的抗拉特性、根-土界面摩阻特性和根-土复合体抗剪特性^[4-8]。虽然众多学者对这些因素都展开了大量的研究,但目前为止,尚不明确哪种力学特性在根系固持土体的过程中起主要制约作用,有关该方面的研究尚鲜见

报道。固土抗蚀植物种的选择是改善侵蚀区水土流失现状的关键,但植物自身对环境的适应性及立地条件的差异,导致根系的力学特性存在着种间差异,仅从单个力学特性的角度对根系的固土能力进行分析判断具有片面性。

伊金霍洛旗地处温带干旱、半干旱地区,具有明显的大陆性季风气候特征,年均降水量少、蒸发量大造成该地区的气候类型常年以干旱为主。因此,为了探究土壤干旱时期影响植物根系固土的主导力学因素及干旱区植物根系固土能力的差异性,该试验针对夏季干旱条件,以内蒙古地区 5 种常见水土保持植物为研究对象,分析影响根系固土的主导力学因素,并对 5 种植物根系的固土能力进行差异性评价,以期揭示根系固土的力学机理,并为侵蚀区固土抗蚀植物种的筛选提供部分依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗,该地区地处毛乌素沙漠东北缘,内蒙古鄂尔多斯高原东南部,位于亚洲中部草原向荒漠草原过渡的干旱、半干旱地带。地形呈西高东低的走势,属于晋陕黄土高原的北缘水蚀沟壑丘陵区,海拔在 1 300~1 500 m。该区域处于鄂尔多斯高原、黄土丘陵、乌审凹地的交错地带,地貌情况相对复杂。土壤类型为砂壤土。地理坐标为东

第一作者简介:刘福全(1989-),男,硕士研究生,现主要从事水土保持等研究工作。E-mail:15247126744@163.com.

责任作者:刘静(1958-),女,博士,教授,现主要从事干旱及半干旱地区的水土保持与荒漠化防治等研究工作。E-mail:ljing58@126.com.

基金项目:内蒙古基金重点资助项目(2010ZD16)。

收稿日期:2014-05-20

经 109°45′~110°40′, 北纬 38°50′~39°40′。

1.2 指标选取

试验选取 10 项指标来评价根系力学特性对根系固土的影响。

1.2.1 根系抗拉力学特性 选用夏季植物生长旺盛期的代表根变形特性、直根抗拉强度和侧根分支处抗拉强度作为评价根系抗拉力学特性的指标。代表根变形特性选用代表根的弹性模量和本构特征作为评价指标。弹性模量是根系弹性应力与弹性应变的比值, 衡量根系发生弹性形变难易程度。本构特征是根系极限应力与极限应变的比值, 用来反映根系整体抵抗形变的能力。根系的抗拉强度反映根系在单位横截面积上所受拉力的大小, 但根系在土体中不仅以直根的形式出现, 还存在鲮骨型和二分枝型的侧根, 当土体发生相对移动时, 侧根分支处仍会受到力的作用。因此, 选择直段根和侧根分支处 2 种根系形态来反映根系的抗拉强度。除代表根外, 其它指标均以 0.3~3 mm 的根系为研究对象 (<0.3 mm 的细毛根会在较小的弯曲变形下发生断裂, 试验根系直径>3 mm 时, 常常会出现由于根系抗拉强度过大导致根系在夹具处滑脱或断裂)。

1.2.2 根-土界面摩阻特性 单根拉拔试验能够模拟土体发生滑动或塌陷时根系从土体中被完全拔出的难易程度, 而在拉拔过程中, 由于根系发生形变不明显, 单根

临界滑动拉拔力可以认为是根-土界面的最大摩擦力。为了消除不同植物单根根表面积不同所带来的误差, 选取单根临界滑动拉拔力与根表面积的比值, 即拉拔摩阻特性来反映不同植物间单位根表面积所受根-界面土壤摩擦力的多少。根-土界面摩擦力与根系表面摩擦系数和根表面积成正比, 根系表面越粗糙, 表面积越大, 摩擦系数越大, 界面摩擦力越大。因此, 该试验选用拉拔摩阻特性、累计根表面积和界面摩擦系数作为评价指标。根-土界面摩擦系数采用 4.34% 土壤含水率下根-土界面摩擦系数较素土的增长率; 累计根表面积选用与力学指标相对应的 0.3~3 mm 的 1、2 级根的累计根表面积。

1.2.3 根-土复合体抗剪特性 众多学者研究表明, 当土体发生滑动或裂缝时, 根系受到的剪切作用会使根系发生形变, 并由浅层土体传向深层土体, 从而减缓土体移动, 保持土体稳定。所以, 根系分布越广, 入土越深, 限制土体移动的能力越强。累计根长能够反映根系分布特征。因此, 选用代表根根-土复合体抗剪强度和累计根长来反映根-土复合体的抗剪特性。在法向应力相同的情况下, 抗剪强度由粘聚力和内摩擦角 2 个参数所决定。在此, 选择直剪试验慢剪条件土壤含水率为 4.34% (原状土含水率) 下粘聚力和内摩擦角较素土的增长率作为评价根-土复合体抗剪强度的指标。各指标的实测数据如表 1 所示。

表 1 夏季土壤干旱时期各指标实测数据
Table 1 Measured value of each indicator of soil in summer drought

指标 Indicator	沙棘 <i>Hippophae</i>	柠条 <i>Caragana</i>	白沙蒿 <i>Artemisia</i>	沙柳 <i>Salix</i>	沙地柏 <i>Sabina</i>
根-土复合体粘聚力 I_1 Root-soil composite cohesion/ %	33.12	28.37	25.09	45.39	40.16
根-土复合体内摩擦角 I_2 Root-soil composite equivalent friction angle/ %	-0.57	-7.16	2.01	-9.16	0.74
累计根长 I_3 Accumulation roots length/mm	4 320	17 457	4 517	9 336	24 710
拉拔摩阻特性 I_4 Root-soil interface sheer strength/kPa	20.12	48.31	48.88	45.61	45.67
累计根表面积 I_5 Accumulation surface area/mm ²	20 438	43 257	77 385	41 930	59 976
根-土界面摩擦系数 I_6 Root-soil interface friction coefficient/ %	0.47	3.13	4.57	1.96	0.78
弹性模量 I_7 Elastic modulus/MPa	0.58	1.29	0.21	0.8	0.55
本构特征 I_8 Constitutive properties/MPa	1.46	2.35	0.88	1.63	1.09
直根抗拉强度 I_9 Taproots tensile strength/MPa	13.07	49.86	6.17	23.21	21.40
侧根分支处抗拉强度 I_{10} Lateral roots branch tensile strength/MPa	8.79	33.21	7.69	15.78	12.36

2 结果与分析

2.1 影响根系固土的主导力学因素分析

采用 SAS 9.0 软件对夏季土壤干旱时期影响根系固土的 10 个指标进行主成分分析。由表 2 可知, 前 3 个

主成分的方差贡献率分别为 48.73%、26.87% 和 15.59%, 累计方差贡献率为 91.19% > 85%, 表明前 3 个主成分基本包含了全部指标的大部分信息。因此, 选取前 3 个主成分作为影响 5 种植物根系固土的主导因素。

表 2 主成分分析结果
Table 2 Result of principal component analysis

成分 Component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Proportion/ %	累计贡献率 Cumulative proportion/ %
1	4.8728	48.73	48.73
2	2.6872	26.87	75.60
3	1.5592	15.59	91.19
4	0.8811	8.81	100.00

由表 3 可知,第一主成分中起支配作用的 4 项指标均反映根系抗拉力学特性,其中,代表根弹性模量、直根抗拉强度、本构特征、侧根分支处抗拉强度的影响系数分别为 0.451、0.439、0.433、0.429;第二主成分中,根-土界面摩擦系数、拉拔摩阻特性、累计根表面积的影响系

数为 0.538、0.529、0.525,可将第二主成分看成是由这 3 个指标构成的反映根-土界面摩阻特性的综合指标;第三主成分中,累计根长和粘聚力反映根-土复合体抗剪特性,影响系数分别为 0.609 和 0.562。

表 3

3 个主成分各指标的影响系数

Table 3

Indicator influence coefficient of three principal components

主成分 Component	影响系数 Influence coefficient									
	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈	I ₉	I ₁₀
F ₁	0.073	-0.375	0.201	0.101	-0.190	-0.027	0.451	0.433	0.439	0.429
F ₂	-0.313	0.062	0.110	0.529	0.525	0.538	-0.027	-0.049	0.103	0.169
F ₃	0.562	0.022	0.609	0.302	0.232	-0.327	-0.060	-0.227	0.019	-0.077

综合上述分析可知,夏季土壤干旱时期,影响 5 种植物根系固土的主导因素首先是根系抗拉特性,其次是根-土界面摩阻特性,第三是根-土复合体抗剪特性。各指标影响程度大小的排列顺序依次为:代表根弹性模量、直根抗拉强度、代表根本构特征、侧根分支处抗拉强度、根-土界面摩擦系数、拉拔摩阻特性、累计根表面积、累计根长、根-土复合体粘聚力。

2.2 植物根系固土差异性评价

2.2.1 建立层次结构模型 层次结构模型由目标层、准则层、指标层和方案层和 4 个层次构成。为了减少误差,选用主成分分析结果中前 3 个主成分的方差贡献率

作为准则层中根系抗拉力学特性、根-土界面摩阻特性和根-土复合体抗剪特性的权重。指标层与方案层采用专家咨询法构造判断矩阵,并按照 1~9 标度法确定各元素间的重要程度,进而得出各指标的权重。层次结构模型与指标权重如表 4 所示。

2.2.2 层次单排序与总排序的一致性检验 采用 Excel 软件并运用和积法^[9] 计算得出一致性比率 CR。若 CR<0.1,则认为判断矩阵具有较为满意的一致性。经计算,层次单排序与层次总排序的一致性比率 CR<0.1,具有满意的一致性。

表 4

植物根系固土层次结构模型与各指标权重

Table 4

Roots reinforce soil hierarchical structure model and the weight of each indicator

目标层 Target layer	准则层 Rule layer	权重 Weight	指标层 Index layer	权重 Weight	方案层 Scheme layer	权重 Weight	组合权重 Combination weight
根系固土 Roots reinforce soil	根-土复合体抗剪特性 Root-soil composite shear properties	0.1559	抗剪强度 Shear strength/kPa	0.333	粘聚力 Cohesion/%	0.833	0.0433
					内摩擦角 Equivalent friction angle/%	0.167	0.0087
			累计根长 Accumulation roots length/mm	0.667			0.1039
	根-土界面摩阻特性 Root-soil surface friction properties	0.2687	拉拔摩阻特性 Root-soil interface sheer strength/kPa	0.250			0.0672
			累计根表面积 Accumulation surface area/mm ²	0.500			0.1344
			界面摩擦系数 Interface friction coefficient/%	0.250			0.0672
	根系抗拉力学特性 Roots tensile mechanical properties	0.4873	代表根变形特性 Represented roots deformation properties/MPa	0.333	弹性模量 Elastic modulus/MPa		0.0812
			直根抗拉强度 Taproots tensile strength/MPa	0.333	本构特征 Constitutive properties/MPa		0.0812
			侧根分支处抗拉强度 Lateral roots branch tensile strength/MPa	0.333			0.1624

2.2.3 根系固土指数的计算 根系固土指数等于所有指标的标准化数据值与其对应的组合权重值乘积的累加值。

$$P_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} W_j;$$

式中, P_i 为根系固土指数; X_{ij} 为第 i 种植物第 j 项指标标准化值; W_j 为第 j 项指标的权重值; n 为评价指标个数。

2.2.4 差异性评价结果与分析 由表 5 可知,夏季土壤干旱时期,5 种植物根系固土指数分别为:柠条(0.954)>

沙地柏(0.084) > 沙柳(0.041) > 白沙蒿(-0.315) > 沙棘(-0.764)。从表 1 中各指标的实测数据可以看出, 柠条代表根变形特性、直根抗拉强度和侧根分支处抗拉强度均大于其它 4 种植物, 表现出较强的抗拉力学特性, 固土指数在 5 种植物中最高, 分析原因可能与根系内部的机械组成和纤维素含量有关; 沙地柏根-土复合体粘聚力较高, 仅次于沙柳, 累计根长最长, 试验中发现, 沙地柏 0.3~3.0 mm 的根系数量分别较柠条、沙柳、白沙蒿、沙棘多出 8.24%、40.46%、44.88%、75.24%, 使得沙地柏具有较强的根-土复合体抗剪特性, 但抗拉力学特性较差使其固土指数远小于柠条; 沙柳的累计根长和累积根表面积较小, 但复合体粘聚力最高, 加上略高于沙地柏、

白沙蒿、沙棘的根系抗拉力学特性, 使其固土指数与沙地柏相近; 白沙蒿根-土界面摩阻特性较好, 拉拔摩阻特性、累计根表面积和根-土界面摩擦系数均高于其它 4 种植物, 推测原因与白沙蒿根系表面的粗糙程度有关。但白沙蒿复合体抗剪特性和抗拉力学特性较差, 复合体粘聚力、代表根变形特性、直根抗拉强度和侧根分支处抗拉强度在 5 种植物中最小。试验发现, 白沙蒿根系表现出脆性的材料特性, 较小的弯曲变形就会断裂, 从而造成白沙蒿固土指数较小; 实测数据显示, 沙棘界面摩阻特性最差, 抗拉力学特性和复合体抗剪特性的各项指标与白沙蒿相近, 表现出较差的材料特性, 固土指数在 5 种植物中最小。

表 5 夏季土壤干旱时期各评价指标综合指数值
Table 5 Composite index of each indicator in summer drought

指标 Indicator	沙棘 <i>Hippophae</i>	柠条 <i>Caragana</i>	白沙蒿 <i>Artemisia</i>	沙柳 <i>Salix</i>	沙地柏 <i>Sabina</i>
根-土复合体粘聚力 Root-soil composite cohesion/%	-0.008	-0.035	-0.054	0.064	0.033
根-土复合体内摩擦角 Root-soil composite equivalent friction angle/%	0.004	-0.008	0.009	-0.012	0.007
累计根长 Accumulation roots length/mm	-0.102	0.071	-0.099	-0.036	0.166
拉拔摩阻特性 Root-soil interface sheer strength/kPa	-0.133	0.041	0.044	0.024	0.024
累计根表面积 Accumulation surface area/mm ²	-0.198	-0.038	0.203	-0.047	0.080
根-土界面摩擦系数 Root-soil interface friction coefficient/%	-0.076	0.042	0.106	-0.010	-0.062
弹性模量 Elastic modulus/MPa	-0.024	0.138	-0.109	0.026	-0.031
本构特征 Constitutive properties/MPa	-0.004	0.139	-0.096	0.024	-0.063
直根抗拉强度 Taproots tensile strength/MPa	-0.106	0.296	-0.181	0.005	-0.015
侧根分支处抗拉强度 Lateral roots branch tensile strength/MPa	-0.119	0.309	-0.138	0.004	-0.056
根系固土指数 Benefit index of roots reinforce soil	-0.764	0.954	-0.315	0.041	0.084

3 讨论与结论

根系的抗拉特性是研究根系固土力学机制的关键, 根系在固持土体的过程中, 根系抗拉特性的作用要远大于根-土界面摩阻特性和根-土复合体抗剪特性。因为当土体发生滑动或塌陷时, 根系与土体产生相对位移, 由于根系自身的柔韧性, 根系所受的剪切力和界面的摩擦力都将转化为根系的抗拉力, 并由浅层根系传递至深层根系, 对土体力的作用过程形成缓冲, 限制土体发生进一步移动, 从而有效地保持了土体的稳定^[10]。所以, 根系固土效果受其抗拉力学特性的制约, 这就需要根系在能够承受较大变形的同时还要有较高的抗拉强度, 如此才能保证根系在发生较大延伸率时而不被拉断。因此, 植物根系的抗拉力学特性是制约植物根系固土的主导力学因素。

柠条根系较好的抗拉力学特性可能与其根系内部的纤维组成有关。朱海丽等^[11]通过分析 5 种灌木植物根系的解剖结构发现, 单位横截面积上的柠条根系, 其次生韧皮部与次生木质部的面积占到 80% 左右, 而霸王、白刺和北方枸杞 3 种植物所占面积仅为 60% 左右。柠条根系单位横截面积上的次生韧皮部所占面积达到 45%, 为 5 种灌木植物中的最大值。植物根系中韧皮纤维的含量越高根系的弹性越好, 根系的延伸率越大。柠

条根系单位横截面积上的次生木质部所占比例约为 35%, 均高于霸王、白刺和北方枸杞。木质部中的木纤维韧性较差, 脆而易断, 但具有较高好的机械强度。柠条根系中木质部与韧皮部所占根系横截面积的比例均较大, 所以柠条根系在具有较大的抗拉强度的同时又具有较大的延伸率, 使得柠条根系的抗拉力学特性较好, 固土能力较强。

根-土界面摩阻特性对根系固土同样具有较为重要的作用^[12]。当土体发生移动时, 根系表面与土体产生的摩擦力能够延缓土体的滑动变形。若土体的滑动力小于根-土界面静摩擦力时, 土体保持稳定, 当滑动力大于静摩擦力时, 根-土间发生相对位移, 根-土界面产生滑动摩擦力, 而滑动摩擦力在削弱一部分土体滑动力的同时又可以转化为根系的抗拉力, 使根系发生形变, 并延伸至深层土体的根系中, 从而削弱土体滑动趋势, 保证土体稳定。但如果根系抗拉力学特性较差, 即便有较好的根土界面摩阻特性, 仍无法显著提高根系的固土能力。以白沙蒿为例, 其根-土界面摩阻特性普遍优于其它 4 种植物, 但根-土复合体抗剪特性与抗拉力学特性较差, 较小的弯曲变形就会发生断裂, 表现出脆性的材料特性。因此, 较好的根系抗拉学特性是保证植物具有较强固土能力的前提条件。

与根系的抗拉力学特性和根-土界面摩阻特性相比,根-土复合体的抗剪特性在根系固土过程中发挥的作用并不明显。根系在土体中受摩擦与拉伸作用较多而受剪切作用较少,由于根系自身柔韧性和抵抗变形的能力,根-土界面摩擦力将剪切力转化为抗拉力^[13]。如果根系表面较为光滑,摩擦系数较小,则无法构成根-土复合体。同样,较差的抗拉特性会使根系在较小的形变时就发生断裂,从而无法发挥根-土复合体的抗剪特性。因此,根-土复合体抗剪特性主要依靠根-土界面摩阻特性与根系抗拉特性来发挥作用。

该试验以内蒙古干旱、半干旱地区 5 种常见的水土保持植物:柠条、白沙蒿、沙棘、沙柳、沙地柏为研究对象,采用主成分分析法探究夏季干旱时期影响根系固土的主导力学因素。结果表明,根系的抗拉力学特性是影响 5 种植物根系固土的首要因素,其次是根-土界面的摩阻特性,最后为根-土复合体抗剪特性。在根系固土差异性评价的过程中,将主成分分析法与层次分析法相结合,在保证评价数据完整性的同时,减小专家主观因素所带来的误差,使得评价结果更具科学性。评价结果显示,5 种植物根系固土指数为:柠条(0.954) > 沙地柏(0.084) > 沙柳(0.041) > 白沙蒿(-0.315) > 沙棘(-0.764)。因此,干旱区在筛选固土抗蚀植物种时,应首先考虑具有较强根系抗拉力学特性的植物。柠条根系抗拉力学特性的各项指标在 5 种植物中最高,可作为干旱、半干旱地区重要的水土保持参考树种。

参考文献

- [1] 陈群香. 中国水土保持生态环境建设现状与经济社会可持续发展对策[J]. 水土保持通报, 2000(3): 1-4.
- [2] 张岳. 我国水土流失现状及其防治对策[J]. 水土保持通报, 1993(1): 7-10.
- [3] 陈永宗. 黄土高原的水土流失及其治理[J]. 水土保持通报, 1981(1): 20-27.
- [4] Fan C C, Chen Y W. The effect of root architecture on the shearing resistance of root-permeated soils[J]. Ecological Engineering, 2010, 36: 813-826.
- [5] Burylo M, Hudek C, Rey F. Soil reinforcement by the roots of six dominant species on eroded mountainous marly slopes (Southern Alps, France)[J]. Catena, 2010, 84: 70-78.
- [6] 苑淑娟, 牛国权, 刘静, 等. 瞬时拉力下两个生长期 4 种植物单根抗拉力与抗拉强度的研究[J]. 水土保持通报, 2009(5): 21-25.
- [7] 邢会文, 刘静. 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.
- [8] 张超波, 陈丽华, 刘秀萍, 等. 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.
- [9] 王珠娜, 史玉虎, 潘磊, 等. 层次分析法在退耕还林生态效益评价指标体系建立中的应用[J]. 湖北林业科技, 2007(3): 1-4.
- [10] 吕春娟, 陈丽华, 周硕, 等. 油松根系固土的基本力学特性[J]. 水土保持学报, 2011(5): 17-20.
- [11] 朱海丽, 胡夏嵩, 毛小青, 等. 护坡植物根系力学特性与其解剖结构关系[J]. 农业工程学报, 2009(5): 40-46.
- [12] 吴昊. 植被根系护坡力学效应分析途径研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [13] 王萍花, 陈丽华, 冀晓东, 等. 白桦根系力学特性的定量研究[J]. 水土保持通报, 2011(4): 154-158.

Analysis of the Mechanical Factors of Soil Reinforcement by Roots and Evaluation of the Differences Between 5 Kinds of Plants

LIU Fu-quan¹, LIU Jing¹, LIU Peng-fei¹, HU Ning¹, ZHANG Ge², ZHAO Ying-ming²

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019; 2. Desert Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Bayannur, Inner Mongolia 015200)

Abstract: Taking 3~4 year-old of *Caragana microphylla* Lam., *Salix psammophila* C. wang et Ch. Y. Yang., *Sabina vulgaris* Ant., *Artemisia sphaerocephala* Krasch. and *Hippophae rhamnides* Linn. that were common used in soil and water conservation in the arid and semi-arid regions of Inner Mongolia as materials, the test was to explore the dominant mechanical factors of roots and the differences of soil reinforcement by roots between plants, and ten indicators of the mechanical properties of roots were analyzed by the principal component analysis (PCA) with the software of SAS 9.0. The results showed that the dominant factors of summer drought were in the sequence of the tensile mechanical property, the root-soil surface friction property, and the root-soil composite shear property. On this basis, five plants were evaluated by the method of analytic hierarchy process (AHP). In order to reduce the error caused by subjective factors, the variance contribution rate of PCA of the three mechanical properties were used as evaluation weight of AHP. The index of soil-reinforcement by roots were *Caragana microphylla* Lam. (0.954) > *Sabina vulgaris* Ant. (0.084) > *Salix psammophila* C. wang et Ch. Y. Yang. (0.041) > *Artemisia sphaerocephala* Krasch. (-0.315) > *Hippophae rhamnides* Linn. (-0.764).

Keywords: soil-reinforcement by roots; principal component analysis; dominant mechanical factors; analytic hierarchy process; tensile mechanical property