非生长时期 6 种植物枝条的抗折力学特性

格日乐，郝需婷，苏日娜，黄 静，崔天民

（内蒙古农业大学 沙漠治理学院，内蒙古 呼和浩特 010019）

摘 要：[目的] 对内蒙古自治区中西部非生长时期 6 种植物枝条抗折力学特性进行研究，为该区防风阻沙植物种的选择及其混交配置提供生物力学方面的科学参考。[方法] 采用 YG(B)026 H-250 型织物强力机和自制夹具，室内进行枝条抗折试验，比较 6 种植物枝条抗折力和抗折强度，分析枝长和直径对抗折力学强度指标的影响。[结果] ①在 0.5～2.5 mm 测试径级范围，6 种植物枝条抗折力随直径的增加而增大，抗折强度则随直径的增加呈幂函数递减；②在测试径级 0.5～2.5 mm 范围内枝长在 60 mm 时柠条枝条抗折力、抗折强度最大，其值分别为 51.700 N 和 33.510 MPa，枝长在 80 mm 时种间抗折力、抗折强度最大为柽柳，其值分别为 61.777 N 和 30.821 MPa，枝长在 100 mm 时种间抗折力、抗折强度最大为沙柳，其值分别是 62.237 N 和 33.156 MPa。[结论] 6 种植物枝条在非生长时期其抗折力和抗折强度随着直径、枝条长度的增加其变化特点表现不一致，表明植物种不同、枝长不同则对枝条抗折力、抗折强度的影响亦有差异，这也从另外一方面证明生态修复中只有实现多树种结合的修复方式才是最优水土保持功能实现的模式。

关键词：非生长时期；枝条；抗折力；抗折强度

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2019)04-0061-07 **中图分类号**：Q947.6

文献参数：格日乐，郝需婷，苏日娜，等. 非生长时期 6 种植物枝条的抗折力学特性[J]. 水土保持通报，2019，39(4)：61-67. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.04.010；Ge Rile，Hao Xuting，Su Rina，et al. Flexural mechanical properties of 6 plant branches during non-growth period[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(4)：61-67.

Flexural Mechanical Properties of 6 Plant Branches During Non-growth Period

Ge Rile，Hao Xuting，Su Rina，Huang Jing，Cui Tianmin

（*College of Desert Control Science and Engineering*，

Inner Mongolia Agricultural University，*Hohhot*，*Inner Mongolia* 010019，*China*）

Abstract：[Objective] The flexural mechanical properties of six plant branches during non-growth period in midwest area of Inner Mongolia were studied in order to provide a scientific reference for the selection of the wind-resistant and sand-reducing plant species and their mixed configuration. [Methods] By YG(B)026 H-250 fabric strength machine and self-made clamps，the branch bending test was carried out indoors，and the anti-folding forceand flexural strength of the branches of the six plants were compared，and the influence of the branch length and diameter on the mechanical strength index was analyzed. [Results] ① In the range of 0.5～2.5 mm diameter，the bending strength of 6 kinds of plant branches increased with the increase of diameter，while the bending strength decreased in power function with the increase of diameter；② The breaking strength and breaking strength of *Caragana korshinskii* branches were the largest when the branch length was 60 mm in the range of 0.5～2.5 mm，the values were 51.700 N and 33.510 MPa，respectively，the breaking strength and breaking strength of *Tamarix chinensis* branches were the largest when the branch length was 80 mm，the values were 61.777 N and 30.821 MPa，respectively，and the breaking strength and

收稿日期：2019-01-14 **修回日期**：2019-02-03

资助项目：国家自然科学基金项目“梯度应力下植物根系在固土抗蚀受损后自修复的生物力学响应机制”(41867011)；内蒙古自然科学基金项目(2017MS0407)

第一作者：格日乐(1970—)，女(蒙古族)，内蒙古自治区呼和浩特市人，博士，副教授，主要从事水土保持与荒漠化防治方面的研究。E-mail：gerile197081@126.com。

通讯作者：郝需婷(1994—)，女(汉族)，内蒙古自治区巴彦淖尔市人，硕士研究生，研究方向为沙地生物资源保护与利用。E-mail：haoxuting123@126.com。

breaking strength of *Salix cheilophila* branches were the largest when the branch length was 100 mm, the values were 62.237 N and 33.156 MPa, respectively. [Conclusion] The anti-folding force and flexural strength of 6 plant shoots were inconsistent with the increase of diameter and length of shoots during non-growth period, indicated that the effects of anti-folding force and flexural strength of shoots were different in plant species and branch length. It also proved that the combination of multiple trees should be the optional choices to realize the soil and water conservation function especially in the ecological restoration.

Keywords: non-growing period; branch; anti-folding force; flexural strength

在治理土壤风力侵蚀的过程中,植被通过遮盖地面、分化风力以及拦截输沙等办法有效地减弱风速、削减风对地面土粒的分离和搬运而起作用。关于植物防风抗蚀的研究,国外学者 Bressolier 和 Thomas[1] 在法国大西洋沿岸沙丘区的研究结果表明,在植被的诸多特点中,对风沙运动植被盖度作用最大,然后是植被的高度和宽度。刘艳萍等人[2] 通过风洞试验研究了荒漠草原区植被对土壤风蚀的影响,证明了风速越大植被对地表的保护作用越明显,相关分析表明,不同风速下风蚀量与植被盖度之间呈幂函数相关。孙艳萍,张晓萍,刘建祥等人[3] 研究得出,风蚀率随植被盖度的增加呈指数函数减少。不同植物防治风蚀的性能是不同的,赵彩霞等人[4] 研究表明,在干旱、半干旱地区灌木的防风蚀作用最大,其次分别是多年生牧草、林木、作物、一年生牧草。Lee 和 Soliman 总结了大量试验观测结果后指出,植株的形状是影响植被覆盖防护效应的重要因素,植被类型的不同可能造成防护效应的显著差异[5]。综上所述,关于植被防风抗蚀的研究,主要集中在植被盖度、植被类型以及植株形状(高度、宽度)等方面。内蒙古中西部地区冬春季正值大风季节,当大风过境时,植物体承受强大的风力作用。风力作用在植物体上,被枝茎阻挡牵引等消耗一部分能量,越过植物体后力量减小,在植被防风抗蚀中地上部分枝条力学特性亦发挥重要的作用。而现有的研究,主要是针对植物生长季节根系[6-8] 和小麦(*Triticum aestivum*)[9-10]、玉米(*Zea mays*)[11]、高粱(*Sorghum bicolor*)[12]、水稻(*Oryza sativa*)[13-16] 等特定茎秆作物的抗倒伏性,及针对植物在生长季鲜枝力学特性的研究[17-18],而关于植物在非生长时期的冬春大风季节枝条力学特性的研究鲜见报道。为此,本文选取分布于内蒙古自治区中西部的 6 种典型的防风固沙植物(沙柳、柠条、白沙蒿、杨柴、柽柳、沙棘),以非生长时期的冬春交替大风季节植物枝条为对象,通过研究非生长时期枝条抗折力和抗折强度及其影响因子,分析直径、长度和植物种对枝条抗折力、抗折强度的影响,揭示其种间差异性以及抗折力学特性的共同规律,从而为该区域防风阻沙植物种的选择及其混交配置提供生物力学方面的科学参考依据。

1 材料及采样地概况

沙柳、柠条、白沙蒿、杨柴和柽柳采样地位于库布齐沙漠西北部,库布齐沙漠地处鄂尔多斯高原北部与河套平原的交接地带,地理位置为 107°—111°30′E,39°30′—39°15′N,呈东西带状分布,长约 400 km,枝条采集样地位于库布齐沙漠西北端的固定沙地,采样地中心位置为 39°26.89′N,107°23.85′E。沙棘采样地位于鄂尔多斯市准格尔旗东南部黄土丘陵沟壑区。

沙柳(*Salix cheilophila*)为杨柳科(*Salicaceae*)柳属(*Salix*),是典型的旱生落叶灌木或小乔木,沙柳属沙生阳性植物,抗逆性强,较耐旱,抗风沙、水涝、牛羊啃、刀斧砍,耐一定盐碱,耐严寒和酷热,喜适度沙压,根系发达,萌蘖力强。沙柳的根系最长可延伸至 100 m,一株沙柳就可将周围流动的沙漠牢牢固住,因此有很好的固沙作用,大面积的沙柳分布具有改善小气候作用,可有效遏制频发的沙尘暴天气,降低地表温度和水分蒸发量,减轻霜冻和干旱危害,是地下资源开发地区良好的生态屏障。此外,沙柳是制作生物沙障的主要树种,通过栽植沙柳在沙面上设置障碍,以控制风沙流动的方向、速度、结构来改变风蚀积沙状况,达到防风阻沙、改变风的作用力及地貌状况等目的,是固定流沙、稳定地表首选的生物措施[19]。柠条(*Caragana Korshinskii*)是豆科(*Leguminosae*)锦鸡儿属(*Caragana*)多年生灌木,耐旱、耐寒、耐高温、耐贫瘠、耐盐碱性,不怕沙埋,是植物王国中的“铁人”、“铁汉子”。根系发达,而且其蒸发量很低,能够最大程度的保水、吸收地下深处的营养物质与水分。柠条苗木比较容易培育,而且能够顺利在沙地中成活,成活以后,对于沙地能够起到固沙固氮的作用,同时在柠条成活以后,可以适当引进其他树种,这样柠条就起到在治沙造林中的先锋作用,为其他树种成活铺路[20]。白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)又称籽蒿,属于菊科(*Asteraceae*)蒿属(*Artemisia*)典型的沙生半灌木,生于流动与半流动以及半固定沙丘上,是固沙的先锋植物,具有耐沙埋、抗风蚀、耐贫瘠、抗旱、

易于繁殖等特性。具有较强的生态适应性,是重要的防风固沙植物[21]。沙棘(*Hippophae rhamnoides*)属于胡颓子科(*Elaeagnaceae*)沙棘属(*Hippophae*)落叶灌木或小乔木。主要分布于我国华北、西北和东北地区,适应性强,抗旱耐涝。沙棘有发达的根系,其根系可深达地面高度的 5 倍,须根横向生长可达 5 m 多,每株沙棘固沙保土面积可达 70～80 m^2,固沙能力之强,是其他乔木、灌木无法比拟的。不仅如此,沙棘还耐干旱、耐瘠薄,生存能力极强,栽培沙棘树苗时,每株只需约 1 kg 的水即可成活,成活后还可通过种子以及裸露的根系繁殖,能迅速扩大林木面积。所以沙棘是治理我国华北、西北地区风沙的理想植物之一[22]。杨柴(*Hedysarum fruticosum*)属于蝶形豆科(Leguminosae)岩黄蓍属(*Hedysarum*)多年生、沙生落叶半灌木。杨柴地下根茎的生长纵横交错,形成一个网带结构的水平空间,这种网带结构的存在,起到了很好的固定沙丘的作用。而且杨柴能够产生适应沙埋的生理机制,使杨柴能够在适度沙埋后生长更旺盛。杨柴具有耐寒、抗旱、耐瘠薄,抗风蚀、抗沙埋和易栽植,生长迅速,竞争力强的优良特性,是优良的防风固沙植物。杨柴是我国北方的毛乌素沙地、库布齐沙漠和浑善达克沙地的治理中被作为主要植物种进行了大面积种植[23]。柽柳(*Tamarix chinensis*)属于柽柳科(Tamaricaceae)柽柳属(*Tamarix*)灌木或小乔木。柽柳属于泌盐盐生植物,具有很强的耐盐碱能力,是盐碱地种植的首选灌木。柽柳的种植可以在一定程度上改变盐碱地的土壤性状,增加土壤的植被盖度,使盐分发生转移,增加土壤有机质的含量,改善土壤肥力,对盐碱地起到改良作用,并显著提高盐碱地生态与环境功能[24]。柽柳也是最适应干旱沙漠的树种之一,根系很长,可以吸到深层的地下水,枝条顽强不怕沙埋,是防风固沙的优良树种之一。

2　研究方法

2.1　标准株的确定与枝条的采集

于 2018 年 3 月上旬,在采样地选择柠条、沙棘、沙柳、白沙蒿、杨柴和柽柳 6 种植物样地,在每种植物的样地内选择 30 株植株,将每一株植物的冠幅、地径和高度重复测量 3 次。再将 30 株植株的高度、冠幅和地径取平均值来作为衡量该植物种的综合指标。在每个样地内尽量选取与综合指标相近的植株作为标准株[25]。选择标准株 3 株,在标准株的植株上尽量选择无病虫害和人为破坏的枝条进行采集。将采集的枝条带回试验室内,尽快完成试验。

2.2　试样制备

选择枝条较为通直、直径较为均匀的枝条。根据前期对 6 种植物枝条数量特征的研究结果[25],试样枝条直径选取 0.5～2.5 mm 范围,以 0.5 mm 为一个间隔进行分级,选取 60,80 和 100 mm 共 3 个长度梯度。当试样长度为 60 mm 时非生长时期从枝条一侧开始每 15 mm 作 1 个标记一共做 5 个标记(D_1—D_5)。在试验枝条两端标记点的一侧贴上编有序号的标签,用游标卡尺从标签一侧点开始依次量取 5 个标记点处直径,正交方向上各测量一次直径,然后取 5 个点的直径平均值作为该试验枝直径 D。将制备好的试验枝条立即进行试验。枝长 80 和 100 mm 下的标记及测量方法与 60 mm 时一致。采用两端固定式折断法进行试验研究。试验仪器如图 1 所示,包括 YG(B)026H-250 型织物强力机、自制夹具以及电子游标卡尺(精度 0.01 mm)。试验开始前调节仪器以及联机软件的相关参数后,用自制夹具将试验枝条两端的标记点夹紧,在 500 mm/min 的加载速度下开始试验,每一次压头折断枝条施力点时试验结束。试验结束的同时,联机软件会相应的自动生成本次试验枝条抗折力值(F),将此时的数据在试验记录本上记录,最后根据所记录的数据结合抗折力计算公式计算抗折强度,计算公式为:

$$\sigma=\frac{4F}{\pi D^2}$$

式中:σ——抗折强度(MPa);F——抗折力(N);D——直径(mm)。

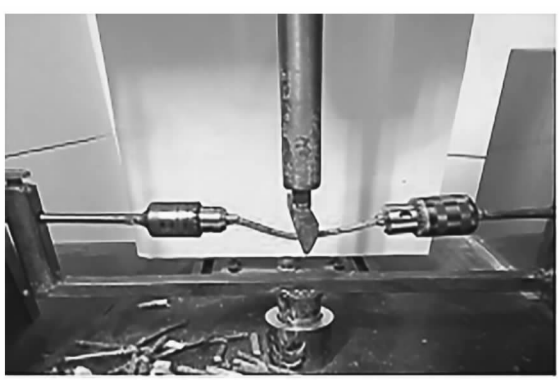


图 1　抗折试验方法示意图

3　结果与分析

3.1　非生长时期 6 种植物枝条抗折力及其影响因子

运用 SPSS 软件对 6 种植物枝条在 60 mm 长度下种内不同径级抗折力进行差异性检验结果显示,在 $\alpha=0.05$ 的显著水平下,除了沙柳非生长时期枝条抗

折力在 1～1.5 mm 和 1.5～2 mm 径级之间无显著差异以外其他径级间均呈显著差异，另外 5 种植物枝条抗折力在直径 0.5～1 mm，1～1.5 mm，1.5～2 mm 和 2～2.5 mm 径级之间均存在显著性差异，表明直径因素对 6 种植物枝条抗折力大小有显著的影响，抗折力随着直径的增加而增大(表 1)。

表 1 非生长时期 6 种植物枝条抗折力在不同径级种内差异性检验结果 N

直径/mm	杨柴	柽柳	沙柳	白沙蒿	柠条	沙棘
0.5～1	14.718 ± 1.706^{A}	8.819 ± 0.607^{A}	24.071 ± 7.045^{A}	13.420 ± 0.800^{A}	21.541 ± 2.154^{A}	12.626 ± 3.001^{A}
1～1.5	21.086 ± 4.104^{B}	14.743 ± 4.043^{B}	35.866 ± 1.332^{B}	19.297 ± 2.066^{B}	31.889 ± 5.790^{B}	25.221 ± 4.158^{B}
1.5～2	35.443 ± 3.648^{C}	41.600 ± 12.495^{C}	39.381 ± 1.556^{B}	31.501 ± 4.373^{C}	60.283 ± 7.948^{C}	51.317 ± 7.502^{C}
2～2.5	53.219 ± 8.613^{D}	82.718 ± 21.651^{D}	46.815 ± 3.442^{C}	57.100 ± 10.308^{D}	99.985 ± 17.072^{D}	69.660 ± 6.915^{D}

注：数据为均值±标准差；相同植物种不同径级间字母不同则表示抗折力差异性显著，字母相同或包含相同字母则表示差异性不显著($p<0.05$)。下同。

图 2 为 6 种植物枝条在 60 mm 长度下抗折力随直径变化图。由图 2 可知，6 种植物枝条抗折力均随直径的增加而增大。沙柳枝条直径与抗折力呈对数函数正相关关系、沙棘呈幂函数正相关关系，其他 4 种植物非生长时期枝条抗折力与直径的关系均呈多项式函数正相关关系(表 2)。这与郑永刚[7]选取柠条、沙棘、沙柳和白沙蒿的直根抗折力随直径增大而增加的结果一致，只是拟合函数不同，分析原因是因为供试植物均属于干旱半干旱区灌木，而灌木枝条和根系均属于植物材料，材料性质相同的缘故，拟合函数不同则是因为植物种不同则生物学特性不同，关于上述结果还需要结合材料微观结构和化学组分等进行进一步研究。

表 3 为运用 SPSS 软件对 6 种植物枝条在 60，80 和 100 mm 长度下相同径级范围(0.5～2.5 mm)内种间抗折力的差异性检验结果表。由表 3 可知，在 60 mm 枝长下，相同径级不同植物种间，在 $\alpha=0.05$ 的显著水平下，柠条抗折力与沙棘、柽柳、沙柳、杨柴和白沙蒿 5 种植物枝条抗折力均存在显著差异性，而沙棘、柽柳和沙柳 3 种植物枝条抗折力间无显著差异性，杨柴和白沙蒿枝条抗折力间无显著差异性。6 种植物枝条抗折力大小则表现为：柠条(51.700 N)＞沙棘(39.706 N)＞柽柳(37.530 N)＞沙柳(36.156 N)＞杨柴(29.553 N)＞白沙蒿(27.147 N)。

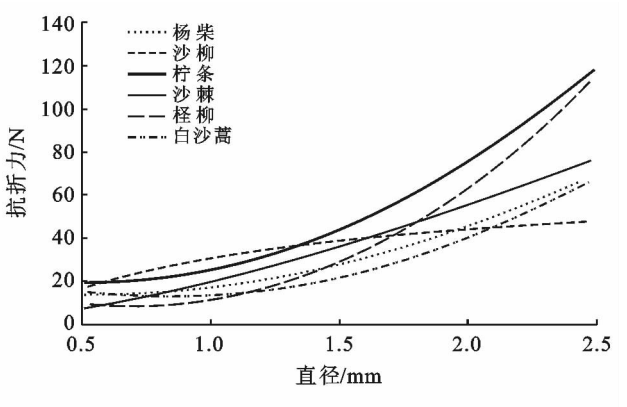


图 2 非生长时期 6 种植物枝条抗折力随直径变化

表 2 6 种植物枝条抗折力与直径的拟合函数

植物种	拟合函数	决定系数 R^2
柠条	$y=25.814x^2-27.631x+26.852$	0.9752
沙柳	$y=19.368\ln(x)+30.509$	0.9333
杨柴	$y=13.864x^2-13.494x+16.998$	0.987
沙棘	$y=20.12x^{1.462}$	0.9611
柽柳	$y=34.096x^2-49.551x+26.156$	0.9771
白沙蒿	$y=19.817x^2-32.919x+26.6$	0.9741

表 3 非生长时期 6 种植物枝条在 60 mm 相同径级下种间抗折力差异性检验结果 N

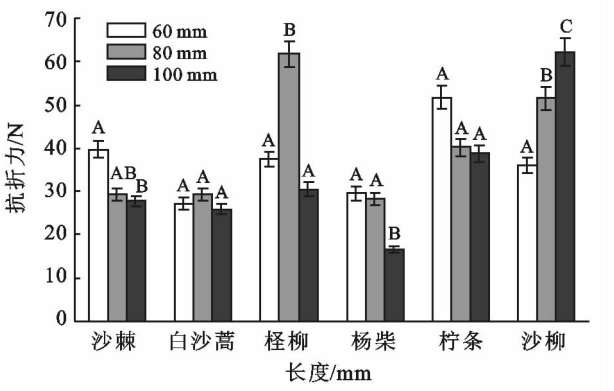
直径/mm	长度/mm	柠条抗折力均值	沙棘抗折力均值	柽柳抗折力均值	沙柳抗折力均值	杨柴抗折力均值	白沙蒿抗折力均值
0.5～2.5	60	51.700 ± 31.430^{A}	39.706 ± 23.261^{B}	37.530 ± 32.325^{B}	36.156 ± 9.382^{B}	29.553 ± 14.966^{C}	27.147 ± 13.411^{C}
0.5～2.5	80	40.180 ± 20.765^{C}	29.270 ± 21.773^{D}	61.777 ± 35.942^{A}	51.440 ± 21.146^{B}	28.401 ± 15.666^{D}	29.370 ± 12.339^{D}
0.5～2.5	100	38.889 ± 25.873^{B}	27.768 ± 18.677^{BC}	30.575 ± 31.710^{B}	62.237 ± 21.521^{A}	16.590 ± 11.615^{D}	25.875 ± 12.287^{BC}

在 80 mm 枝长下，相同径级范围(0.5～2.5 mm)内在 $\alpha=0.05$ 的显著水平下，白沙蒿、沙棘和杨柴 3 种植物枝条抗折力间无显著差异性以外其他均存在显著差异性；6 种植物枝条抗折力大小依次为：柽柳(61.777 N)＞沙柳(51.440 N)＞柠条(40.180 N)＞白沙蒿(29.370 N)＞沙棘(29.270 N)＞杨柴(28.401 N)。当枝条在 100 mm 长度下，在 $\alpha=0.05$ 的显著水平下，沙柳、杨柴枝条抗折力与其他 4 种植物柠条、柽柳、沙棘、白沙蒿存在显著差异性，而柠条、柽柳、沙棘、白沙蒿 4 种植物枝条抗折力间差异性不显著；6 植

物枝条抗折力大小表现为:沙柳(62.237 N)>柠条(38.889 N)>柽柳(30.575 N)>沙棘(27.768 N)>白沙蒿(25.875 N)>杨柴(16.590 N)。从图 3 中可以看出,在 $\alpha=0.05$ 显著水平下,白沙蒿和柠条枝条抗折力随着枝条长度的增加无显著性差异,表明枝长对 2 种植物枝条抗折力变化无影响。沙柳则相反,随着枝条长度的增加抗折力呈增大趋势,表明枝长对沙柳枝条抗折力有明显影响。其他 3 种植物沙棘、柽柳和杨柴枝条抗折力随着枝条长度的增加无明显变化规律。上述结果表明植物种不同则枝长对枝条抗折力的影响亦有差异,关于这点还需要结合枝条微观结构及其纤维素、半纤维素、木质素等化学组分进行进一步研究。

3.2　非生长时期 6 种植物枝条抗折强度及其影响因子

运用 SPSS 软件对 6 种植物枝条在 60 mm 长度下种内不同径级间抗折强度进行差异性检验结果显示,在 $\alpha=0.05$ 的显著水平下白沙蒿枝条抗折强度在直径 1.5～2.0 mm,2～2.5 mm 之间无显著差异以外,其他植物种枝条径级之间均存在显著差异性,表明直径因素对枝条抗折强度有显著影响,抗折强度随直径的增加而减小(表 4)。



注:图中包含相同字母则表示在 0.05 水平下差异性不显著,字母不同则表示差异性显著(LSD 多重比较结果)。下同。

图 3　非生长时期 6 种植物枝条抗折力随枝条长度变化

表 4　非生长时期 6 种植物枝条种内不同径级间抗折强度差异性检验结果　　MPa

直径/mm	杨柴	柽柳	沙柳	白沙蒿	柠条	沙棘
0.5～1	44.098±12.527^{A}	29.093±3.647^{A}	58.731±6.101^{A}	37.517±16.07^{A}	59.516±19.522^{A}	33.387±5.763^{A}
1～1.5	25.519±1.506^{B}	21.179±1.549^{B}	30.546±7.198^{B}	20.455±2.477^{B}	26.856±0.909^{B}	21.974±1.381^{B}
1.5～2	17.106±0.422^{C}	17.003±1.968^{C}	16.952±2.827^{C}	13.198±0.928^{C}	20.308±0.925^{C}	18.410±0.723^{C}
2～2.5	13.231±0.344^{D}	13.448±0.405^{D}	11.472±0.929^{D}	10.979±0.712^{C}	12.668±0.900^{D}	16.231±0.638^{D}

图 4 为 6 种植物枝条在枝长 60 mm 时抗折强度随直径变化图。由图 4 可知,在非生长时期 6 种植物枝条抗折强度均随直径的增加而减小。6 种植物枝条抗折强度与直径的关系均呈幂函数负相关关系(表 5)。这与郑永刚[7]关于柠条、沙棘、沙柳和白沙蒿直根的研究结果一致,只是变化函数不同,其原因与枝条抗折力的结果分析一致。

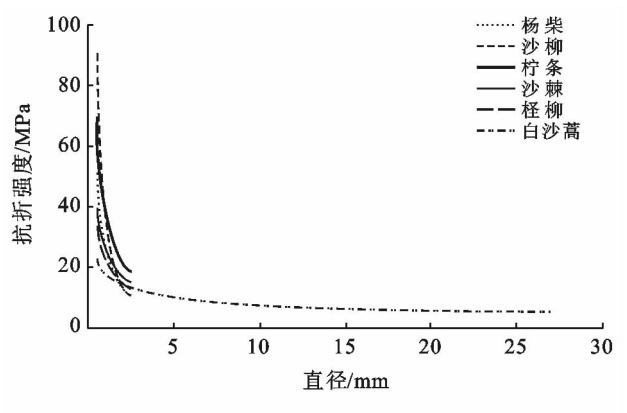


图 4　非生长时期 6 种植物枝条抗折强度随直径变化

表 6 是运用 SPSS 软件对 6 种植物枝条在枝长 60,80 和 100 mm 长度下相同径级范围(0.5～2.5 mm)内种间抗折强度的差异性检验结果。由表 6 可知,在 $\alpha=0.05$ 的显著水平下,当枝长为 60 mm 时,柠条抗折强度与沙柳抗折强度无显著性差异,杨柴、沙棘、柽柳和白沙蒿抗折强度间无显著差异性;6 种植物枝条抗折强度大小依次为:柠条(33.510 MPa)>沙柳(30.314 MPa)>杨柴(23.783 MPa)>沙棘(22.500 MPa)>柽柳(20.044 MPa)>白沙蒿(16.613 MPa)。

表 5　6 种植物物枝条抗折强度与直径的拟合函数

植物种	拟合函数	决定系数 R^2
柠条	$y=39.212x^{-0.86}$	0.901 6
沙柳	$y=36.88x^{-1.376}$	0.973 5
杨柴	$y=26.284x^{-0.992}$	0.930 6
沙棘	$y=26.205x^{-0.607}$	0.979 4
柽柳	$y=22.6x^{-0.624}$	0.966 4
白沙蒿	$y=22.015x^{-1.081}$	0.922 6

当枝条长度在 80 mm 时,在 $\alpha=0.05$ 的显著水平下,柽柳与沙柳枝条抗折强度差异性不显著,白沙蒿和柠条枝条抗折强度无显著性差异,二者又与沙柳枝条抗折强度差异性不显著;沙棘和杨柴枝条抗折强度无显著性差异。在 80 mm 枝条长度下,6 种植物枝

条抗折强度大小依次表现为:柽柳 30.821 MPa,沙柳 27.122 MPa,白沙蒿 23.013 MPa,柠条 22.932 MPa,沙棘 16.778 MPa 和杨柴 16.047 MPa。当枝条长度在 100 mm 时,在 $\alpha=0.05$ 的显著水平下,沙柳抗折强度与其余 5 种植物均存在显著性差异;白沙蒿和柠条枝条抗折强度差异性不显著,沙棘、柽柳和杨柴枝条抗折强度间无显著性差异,柠条又与沙棘、柽柳和杨柴 3 种植物枝条抗折强度间差异性不显著。6 种植物枝条在长度为 100 mm 时,种间抗折强度大小表现为沙柳最大为 33.156 MPa,其次为白沙蒿 20.030 MPa,柠条 18.837 MPa,沙棘 14.262 MPa,柽柳 12.718 MPa,抗折强度最小为杨柴 9.620 MPa。

表 6 6 种植物非生长时期枝条在 60 mm 相同径级下种间抗折强度差异性检验结果 MPa

直径/mm	长度/mm	柠条抗折强度均值	沙柳抗折强度均值	杨柴抗折强度均值	沙棘抗折强度均值	柽柳抗折强度均值	白沙蒿抗折强度均值
0.5～2.5	60	33.510±18.376^{A}	30.314±19.573^{A}	23.783±14.385^{B}	22.500±7.303^{B}	20.044±6.312^{B}	16.613±10.566^{BC}
0.5～2.5	80	22.932±5.840^{B}	27.122±10.927^{AB}	16.047±3.374^{C}	16.778±7.668^{C}	30.821±12.955^{A}	23.013±10.825^{B}
0.5～2.5	100	18.837±3.826^{BC}	33.156±11.887^{A}	9.620±2.964^{C}	14.262±5.991^{C}	12.718±4.897^{C}	20.030±6.404^{B}

图 5 为 6 种植物枝条抗折强度随枝长变化图。从图 5 可以看出,在 $\alpha=0.05$ 显著水平下,沙柳枝条抗折强度随枝长的增加无显著差异性,表明枝长对其枝条抗折强度无影响,而其他 5 种植物枝条抗折强度随枝条长度的增加变化不一致,其中杨柴、柠条和沙棘总体随长度的增加枝条抗折强度呈下降趋势,而白沙蒿和柽柳则呈现先增加后减小的变化。

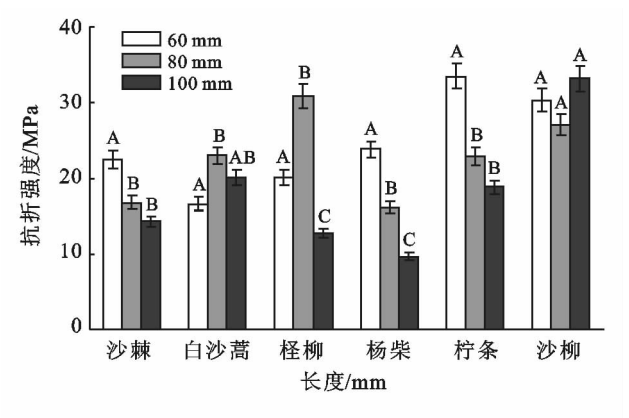


图 5 非生长时期 6 种植物枝条抗折强度随枝长变化

4 讨 论

6 种植物在非生长时期枝条抗折力随着直径的增加而增大,抗折强度随直径的增加均呈幂函数减小,这与郑永刚[7]对柠条、沙棘、沙柳和白沙蒿直根的研究结果一致,只是随枝条直径的增加,抗折力增大或抗折强度减小的变化函数有所不同。这可能是因为上述对比分析的植物均属于干旱半干旱区灌木植物,植物材料性质相同的缘故,变化函数不同是由于植物种不同则生物学特性不同,其内在原因还需要结合材料微观结构和化学组分等进行进一步研究。关于枝条或根系长度对植物枝条或根系抗折力学特性研究的文献很少,薛冬梅[17]在 3 种植物枝条生物力学特性的研究结果中表明枝长对植物枝条的抗拉强度无显著影响,抗弯强度则随枝条长度的增加而增大。本文通过对 6 种植物非生长时期枝条抗折力和抗折强度随着枝条长度的增加,研究结论显示植物种不同则枝长对枝条抗折力和抗折强度的影响亦有差异,即有些植物种表现为枝长因子对其枝条抗折力学强度指标无明显影响,而另外一些植物种则表现为枝长因子对其枝条抗折力学强度指标的变化有明显影响,究其内在原因还需要结合不同植物种枝条微观结构及其纤维素、半纤维素、木质素等进行进一步研究[26-27]。同时这也是否从另外一个方面证明了生态修复中只有实现多树种结合的修复方式才是最优水土保持功能实现的模式。

5 结 论

(1) 6 种植物枝条在非生长时期抗折力、抗折强度在 0.5～2.5 mm 测试径级范围,随着直径的增加抗折力呈现增大趋势,而抗折强度则呈现减小的趋势。其中沙柳枝条抗折力呈对数函数增长、沙棘枝条抗折力呈幂函数增长,其他 4 种植物枝条抗折力随着直径的增加均呈多项式函数增长;6 种植物枝条抗折强度随直径的增加均呈幂函数减小。

(2) 在测试径级 0.5～2.5 mm 范围内枝长在 60 mm 枝条抗折力、抗折强度最大为柠条,其值分别为 51.700 N 和 33.510 MPa,枝长在 80 mm 时种间抗折力、抗折强度最大为柽柳,其值分别为 61.777 N 和 30.821 MPa,枝长在 100 mm 时种间抗折力、抗折强度最大为沙柳,其值分别为 62.237 N 和 33.156 MPa。表明枝长不同则植物种间枝条抗折力和抗折强度值有差异。证明生态修复中只有实现多树种结合的修复方式才是最优水土保持功能实现的模式。

(3) 6 种植物在非生长时期枝条抗折力和抗折强

度随着枝条长度的增加其变化特点表现不一致,关于这点还需要结合不同植物种枝条微观结构及其纤维素、半纤维素、木质素等化学组分进行进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] Bressolier Y F T C.. Studies on wind and plant interactions on french atlantic coastal dunes[J]. Journal of Sedimentary Research, 1977,47(1):331-338.

[2] 刘艳萍,刘铁军,蒙仲举.草原区植被对土壤风蚀影响的风洞模拟试验研究[J].中国沙漠,2013,33(3):668-672.

[3] 孙艳萍,张晓萍,刘建祥,等.黄土高原水蚀风蚀交错带植被覆盖度动态变化[J].干旱区研究,2013,30(6):1036-1043.

[4] 赵彩霞,郑大玮,何文清.植被覆盖度的时间变化及其防风蚀效应[J].植物生态学报,2005,29(1):68-73.

[5] Gartshore I S. Discussion: "An investigation of the forces on three dimensional bluff bodies in rough wall turbulent boundary layers" (Lee, B. E. and Soliman, B. F. 1977, ASME J. Fluids Eng. 99, pp. 503-509)[J]. Journal of Fluids Engineering, 1977, 99(3):510.

[6] 刘鹏飞.4 种植物侧根分支处抗折力学特性的研究[D].内蒙古 呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.

[7] 郑永刚.4 种植物直根抗折力学特性的研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.

[8] 张欣,刘静,郑永刚,等.4 种植物直根抗折力和抗折强度的研究[J].水土保持研究,2016,23(5):338-342.

[9] 郭维俊,黄高宝.小麦根系力学性能及微观结构研究[J].农业机械学报,2010,41(1):92-95.

[10] 赵多佳,郭维俊,宋言明,等.小麦茎秆抗拉性能研究[J].安徽农业科学,2008,36(14):5837-5838.

[11] 陈艳军,吴科斌,张俊雄,等.玉米秸秆力学参数与抗倒伏性能关系研究[J].农业机械学报,2011,42(6):89-92.

[12] 杨洪昌,范源洪.甜高粱抗倒伏性状评价及其倒伏系数初探[J].作物杂志,2008,18(3):54-56.

[13] 向波,刘王庆,孙仙奇,等.水稻节间的弹性模量和拉伸强度极限的研究[J].安徽农业科学,2007,35(18):5388-5389.

[14] 莫永生,杨亲琼,刘王庆,等.高大韧稻的抗折力与茎杆结构的关系[J].作物杂志,2007(2):40-42.

[15] 向波.水稻节间的弹性模量和拉伸强度极限及相关性状的研究[D].广西 南宁:广西大学,2007.

[16] 蔡中全.水稻茎秆抗折力及其相关性状研究[D].广西南宁:广西大学,2008.

[17] 薛冬梅.3 种植物枝条生物力学特性的研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.

[18] 格日乐,斯琴,刘俊宇.6 种防风植物枝条生物力学特性及影响因素[J].中国沙漠,2013,33(5):1333-1339.

[19] 陈志强.固沙先锋树种:沙柳[J].农民致富之友,2016(18):114-115.

[20] 王丽丽.柠条生物学特性及在治沙造林中的应用[J].现代农村科技,2015(9):34-34.

[21] 韩文娟.科尔沁沙地飞播白沙蒿生理生态适应性研究[D].内蒙古 呼和浩特:内蒙古师范大学,2012.

[22] 席德强.沙棘的生物学特性与开发利用[J].生物学通报,2008,43(9):9-10.

[23] 高明刚,杨军.杨柴的生理特性及应用的调查分析[J].吉林林业科技,2000(4):36-38.

[24] 何秀平,王保栋,谢琳萍.柽柳对盐碱地生态环境的影响[J].海洋科学,2014,38(1):96-101.

[25] 格日乐,额尔敦花,宋想斌,等.6 种水土保持植物枝条的数量特征[J].中国水土保持科学,2012,10(6):71-76.

[26] 吕春娟,陈丽华.华北典型植被根系抗拉力学特性及其与主要化学成分关系[J].农业工程学报,2013,29(23):69-78.

[27] 格日乐,乌仁图雅,左志严.4 种植物枝条与根系生物力学特性及其影响因素研究[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2015,36(1):46-54.

(上接第 60 页)

[23] 陈彩虹,叶道碧.4 种人工林土壤酶活性与养分的相关性研究[J].中南林业科技大学学报,2010,30(6):64-68.

[24] 韩东苗,冯茂松,吴韬,等.柏木低效林改造对土壤微生物、酶活性及养分的影响[J].东北林业大学学报,2016,44(5):57-62.

[25] 翟辉,张海,邱梅,等.黄土高原退耕坡地不同类型林分土壤生物学活性的研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):33-38.

[26] 张超,刘国彬,薛萐,等.黄土丘陵区不同林龄人工刺槐林土壤酶演变特征[J].林业科学,2010,46(12):23-29.

[27] 冯金玲,郑新娟,杨志坚,等.5 种栽培模式对油茶土壤微生物及酶活性的影响[J].西南林业大学学报,2016,36(2):10-16.

[28] 王风芹,田丽青,宋安东,等.华北刺槐林与自然恢复植被土壤微生物量碳、氮含量四季动态[J].林业科学,2015,51(3):16-24.

[29] Gong Qingli, Zhai Bingnian, Zheng Wei, et al. Effects of grass cover combined with different fertilization regimes on soil nutrients and enzyme activities in apple orchard in Weibei dryland, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018,29(1):205-209.

[30] 桑巴叶,朱玉伟,陈启民,等.伊犁河谷不同造林模式土壤养分与酶活性的关系[J].水土保持通报,2018,38(3):228-232.