

DOI: 10.5846/stxb201411172277

杨显基, 杜建会, 张楚杰, 张立旭. 平潭岛典型海岸草丛沙堆植物群落水势日变化特征及其影响因素. 生态学报, 2016, 36(9): - .
Yang X J, Du J H, Zhang C J, Zhang L X. Diurnal Variations of Water Potential and its Influencing Factors in Typical Plant Communities on Coppice Dunes of Pingtan Island. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(9): - .

平潭岛典型海岸草丛沙堆植物群落水势日变化特征及其影响因素

杨显基, 杜建会*, 张楚杰, 张立旭

中山大学地理科学与规划学院/广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广州 510275

摘要: 水势是反映植物受到环境胁迫的重要指标之一, 可用于确定其受胁迫的程度和适应能力大小。本文以福建省平潭岛海岸典型沙生植物老鼠芳 (*Spinifex littoreus*) 形成的草丛沙堆为研究对象, 选取晴朗无云的天气, 采用 PSYPRO 水势测量系统对其植物叶、茎水势及其所形成的沙堆土壤水势进行测定, 同时采用 HUMIPORT10 手持式温湿度计对当日的气象要素进行同步观测。结果表明: (1) 老鼠芳的叶水势呈现出与早晚高午间低相反的反梯度现象, 叶、茎水势的日变化均表现为“M”型变化趋势, 除 18 点后, 其它时间均表现为叶片水势下降、茎干水势上升, 并且发现叶、茎水势的变化趋势存在位相后移现象; (2) 老鼠芳的叶、茎水势在 10:00 时差异达到最大的 0.65MPa, 且茎水势高于叶水势, 在 14:00 左右, 植物茎水势出现低于叶水势的反常现象, 在 18:00 时叶、茎水势趋于相同; (3) 除表层 30cm 外, 其它层土壤水势日变化特征总体表现为从早晨开始下降, 下午 14 点达到最低, 但总体变化不明显; (4) 随着深度增加, 草丛沙堆土壤水势呈现为依次增加的趋势, 但 80cm 以下土壤水势变化不显著; (5) 叶水势与大气水势具有较好的相关性, 且变化显著, 与茎水势及浅层土壤水势有一定相关性, 但变化不显著, 与 50cm 以下土壤水势均无相关性。

关键词: 平潭岛; 水势; 老鼠芳; 草丛沙堆

Diurnal Variations of Water Potential and its Influencing Factors in Typical Plant Communities on Coppice Dunes of Pingtan Island

YANG Xianji, DU Jianhui*, ZHANG Chujie, ZHANG Lixu

School of Geography and Planning/Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: Water potential is one of the most important factors that reflect environmental stress on plants, and can be used to identify the level of stress a plant experiences and its adaptation ability. This study focused on the coppice dunes formed by the psammophyte *Spinifex littoreus* on Pingtan Island, Fujian province. The PSYPRO Water Potential System was used to determine the water potential of the leaves, stems, and soil, and a HUMIPORT10 hand-held hygrometer was used to simultaneously measure the meteorological variables on cloudless, sunny days. *Spinifex littoreus* showed an opposite pattern of leaf water potential, which is in contrast to the normal phenomenon of increased leaf water potential in the morning and evening compared to that at midday. The diurnal variations of leaf and stem water potential all demonstrated an ‘M’ curve pattern, indicating a decrease of leaf water potential and increase of stem water potential in daytime, until 18:00. Furthermore, we found that the changes of leaf water potential occurred later than those of stem water potential. The biggest discrepancy between stem and leaf water potential, reaching 0.65 MPa, appeared at 10:00, when stem water potential was higher than leaf water potential. At about 14:00, an abnormal phenomenon appeared, in which leaf water potential was

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41101011, 41371030); 中央高校基本科研业务费专项资金 (121gpy15)

收稿日期: 2014-11-17; **网络出版日期:** 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dujh1982@hotmail.com

higher than stem water potential, but at about 18:00, leaf and stem water potential tended to be the same. With the exception of soil water potential at 30 cm, the diurnal variation of soil water potential showed a decrease starting in the morning, which reached the minimum at 14:00; however, this tendency was not statistically significant. With increasing depth, the soil water potential showed a tendency to increase, but this trend disappeared below a depth of 80 cm. Strong correlations and significant changes in water potential were observed between the atmosphere water potential and leaf. Leaf, stem, and 30-cm-deep soil water potential showed some correlations, but the variations were not statistically significant. Leaf water potential was not correlated with the water potential of soil at other depths.

Key Words: Pingtan Island; water potential; *Spinifex littoreus*; coppice dune

海岸沙生植物是指在极端干旱、贫瘠、强风沙流和盐沫飞溅等条件下生长在砂质海岸的一类植物,主要分布于高潮位线以上的海岸沙丘及邻近海滩^[1]。由于沙地的保水性差,加上盐分胁迫,使得海岸沙生植物受到的环境胁迫相对较大。而水势的高低则可以直接反映植物受到环境胁迫的程度大小,对于筛选合适的物种进行海岸沙地生态系统恢复具有重要的意义^[2]。植物作为土壤-植物-大气连续体系统(简称 SPAC 系统)的中间部分,其水势的变化特征既受土壤水势大小的影响,也受区域气象因素的影响^[3]。目前国内外对于 SPAC 系统受到环境胁迫后的水势变化特征进行了深入的研究,并取得了一定的进展。植物的叶茎水势主要与土壤水势大小有关^[4-6],乔木、灌木水势与深层土壤水势密切相关,而草本对较浅层的土壤水势响应较明显^[7-8]。当土壤水势降低后,会导致植物水势降低,种子萌发率减小,萌发时间延迟^[9]。Ludewig 等^[10]对易北河和莱茵河河漫滩草甸植物种子萌发研究也发现,当土壤水势降低到-1.5MPa 时,种子萌发率几乎为 0。胡继超等^[11]研究了短期干旱对水稻叶水势的影响,结果表明,水稻凌晨叶水势随土壤水势的降低而降低,表现为阈值反应。王丁等^[12]对 6 种喀斯特造林树种叶片水势测定表明,随着干旱胁迫强度的增加,其叶片水势均表现为下降的趋势,其中生长旺期的下降幅度最大,生长末期次之,生长初期最小。植物水势除了受土壤水势影响外,也与气象要素有关^[13-14]。付爱红等^[15]对塔里木河下游怪柳茎水势的日、月变化规律及其与环境因子的关系研究表明,其茎水势日变化与气温和空气相对湿度之间有显著的相关关系。

受人类活动和气候变化的影响,海岸沙地生态系统生物多样性锐减,海岸沙丘破坏严重,迫切需要筛选合适的沙生植物进行生态系统恢复。目前对于沙生植物水势的研究主要集中在内陆地区,而海岸地区尚不多见。除干旱胁迫外,海岸地区沙生植物还受到盐分和风沙流胁迫的影响,其响应机制可能和内陆地区沙生植物有所差异。本文以福建平潭岛典型海岸沙生植物老鼠茅(*Spinifex littoreus*)形成的草丛沙堆为研究对象,选取晴朗无云的天气(2014 年 8 月 21 日),对海岸典型草丛沙堆植物叶、茎水势和土壤水势的日变化特征及其与大气水势之间的相互关系进行研究。该研究有助于进一步理解海岸沙生植物对于环境胁迫的响应机理,为今后筛选合适的物种进行海岸沙地生态系统恢复和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

平潭岛地处福建东部沿海,介于海坛海峡与台湾海峡之间,距福州 128km。实验区坛南湾位于平潭岛东南侧,地理纬度为 25°26'36"—25°26'48"N, 119°46'09"—119°46'21"E 之间(图 1),东面与台湾省新竹港相距仅 68 海里,是祖国大陆距台湾最近处。平潭地处南亚热带半湿润海洋性季节气候区域,植被以常绿阔叶林为主。年平均气温在 19℃—19.6℃,全年无霜期 326 天,年降水量约为 1196.2mm,年蒸发量约为 1300mm,年平均风速 6.9m/s,多年平均大风日数($\geq 17.2\text{m/s}$)98.2 天,土壤多为砖红壤。实地记录坛南湾维管植物 28 科 53 属 54 种,以菊科和禾本科为主,主要有老鼠茅(*Spinifex littoreus*),海边月见草(*Oenothera drummondii*),狗牙根(*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers.),光梗阔苞菊(*Pluchea pteropoda* Hemsl.),海马齿(*Sesuvium portulacastrum* (L.) L.),多枝扁莎(*Pycnus polystachyus* (Rottb.) P. Beauv.)等。本实验选择发育阶段,且表面植被长势较好的典

型沙生植物老鼠芳形成的沙堆作为研究对象。其中沙堆宽 1.3m,迎风坡坡长 3.2m,背风坡坡长 9m,高 1.35m。观测点在潮上带以上,距潮上带 70m,基本不受海水影响。

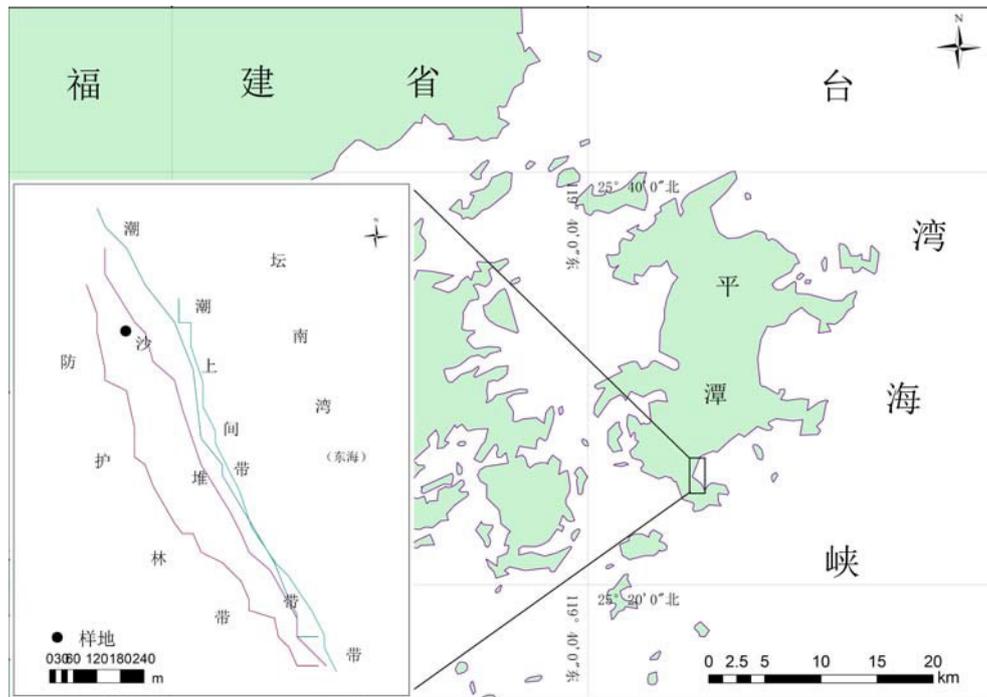


图 1 研究区域图

Fig. 1 The study area of Pingtan Island

1.2 研究方法

1.2.1 叶、茎和土壤水势日变化特征测定

选取典型晴朗天气(2014年8月21日),采用美国 WESCOR 公司生产的 PSYPRO 水势测量系统,从 8:00—20:00,每隔 2h 测定一次。(1)叶水势测定:选择老鼠芳茎干中部阳面生长发育良好的叶片,用打孔器取叶,放入水势测量系统 C-52 样品室,平衡 40min 后进行测定,重复测定三次数据,取平均值作为该时刻的叶水势;(2)茎水势测定:在剪取叶片的同时将与之相连的茎干剪下,迅速装入塑料袋中进行密封,为了避免太阳辐射引起水分散失,将其快速埋入沙层中,以减少水分蒸发。等到叶片测定结束之后,再将塑料袋拿出,选取典型部位,剪取 3mm 的样品,放入 C-52 样品室,平衡 40min 后进行测定,重复测定三次数据,取平均值作为该时刻的茎水势;(3)土壤水势测定:于 2014 年 8 月 18 日晚 8 点在沙堆顶部中间垂直下挖一个土壤剖面,分别在沙堆顶部以下 30cm、50cm、80cm 和 120cm 的土壤深度处安放探头,并且注意防止探头接触植物根系,然后把挖开的剖面掩埋,尽量恢复到原来的沙堆形态,之后平衡时间 60h,于 2014 年 8 月 21 日早上 8 点开始进行测定。重复测定三次数据,取平均值作为该时刻的土壤水势。

1.2.2 气象因子与大气水势

大气温度(T)、相对湿度(RH)等气象因子采用 HUMIPORT10 手持式温湿度计(奥地利 E+E 公司生产)在距植物表面 20 cm 处同步进行观测并记录。

大气水势采用如下公式^[16]:

$$\varphi a = 4.6248 \times 10^5 T \ln RH$$

式中: φa 为大气水势; T 为空气绝对温度; RH 为空气相对湿度。

1.3 数据处理

运用 origin7.5 软件绘图;采用 SPSS 19.0 软件的“Pearson 相关分析法”分析大气水势与叶水势,叶水势与

茎水势以及叶水势与土壤水势之间的相关性,探讨 SPAC 系统中各要素水势日变化特征及其影响因素。

2 结果与分析

2.1 老鼠芳叶、茎水势日变化特征

老鼠芳叶水势呈现出了与早晚高午间低相反的趋势(图 2)。早上 8:00 老鼠芳叶水势就已经处于较低水平,10:00 达到了一天中的最低值 -1.15MPa ,随后呈上升趋势,14:00 达到了最高值 -0.61MPa ,之后缓慢下降,至 20:00 降低到 -0.91MPa 。老鼠芳茎水势的变化呈现出双峰型的变化特征。早上 8:00 茎水势达到了一天中的最低值 -0.94MPa ,随后快速升高,10:00 达到了 -0.50MPa ,随后呈逐渐下降的趋势,于 14:00 降到了一天中的第二个低值 -0.91MPa 。叶、茎水势的日变化都表现出“M”型变化趋势,除 18 点后,其它时间都表现为茎水势上升,叶水势下降,并且发现叶、茎水势的变化趋势存在水势位相后移现象,表现为叶水势先上升,然后才是茎的水势上升,如叶的水势从 14 点就开始下降,但茎的反应相对滞后了 2 个小时也开始下降。从老鼠芳叶、茎水势差变化可以看出(图 2),老鼠芳的叶、茎水势在 10:00 时水势差达到最大,差值达到 0.65MPa ,18:00 左右叶、茎水势趋于相同。

2.2 土壤水势日变化特征

土壤水势表现出从早晨开始下降,50cm、80cm 和 120cm 土壤层下午 14 点达到最低,而接近表层的 30cm 土壤层表现为 16 点最低(图 3)。土壤水势日变化有轻微的波动,但变化不明显。总趋势表现为先减小后增大,30cm 深度土壤水势变化于 $-1.47\text{---}-1.41\text{MPa}$,50cm 深度土壤水势变化于 $-0.80\text{---}-0.76\text{MPa}$,80cm 深度土壤水势变化于 $-0.22\text{---}-0.17\text{MPa}$,120cm 深度土壤水势变化于 $-0.20\text{---}-0.17\text{MPa}$ 。随着土壤深度的增加,沙堆土壤水势呈现为线性增加的趋势,但 80cm 以下变化不大(图 4)。

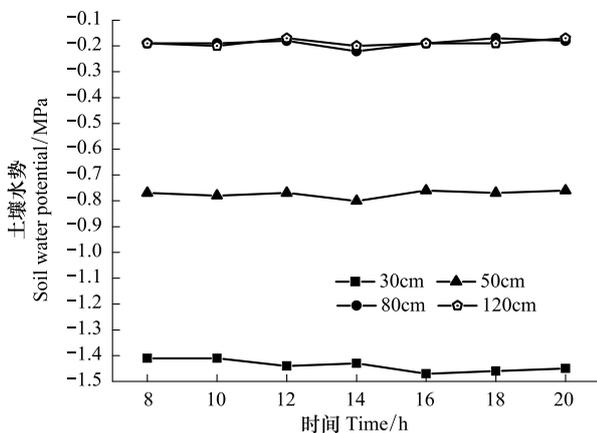


图 3 不同深度土壤水势日变化

Fig. 3 Diurnal variations of soil water potential

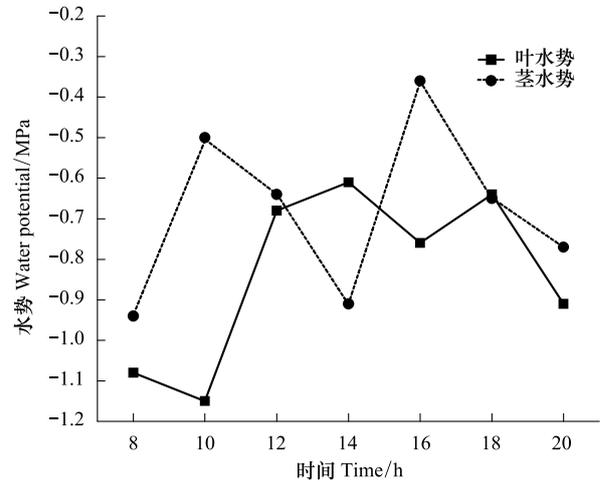


图 2 叶茎水势日变化

Fig. 2 Diurnal variations of leaf and stem water potential

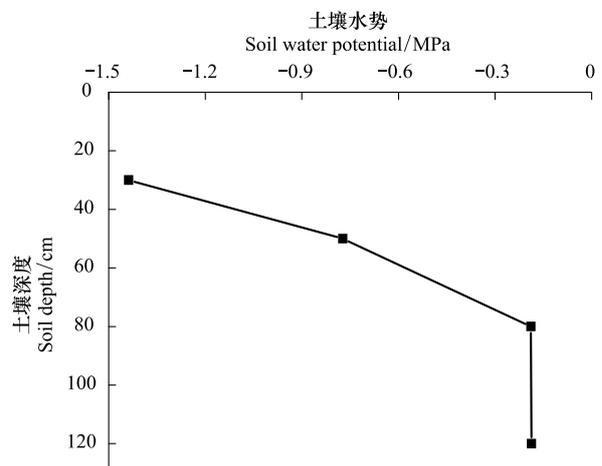


图 4 不同深度的土壤水势变化

Fig. 4 Soil water potential variation of different soil depth

2.3 草丛沙堆各要素水势变化特征比较

对叶、茎、土壤和大气水势均值比较发现,土壤水势(-0.6466MPa) $>$ 茎水势(-0.6814MPa) $>$ 叶水势(-0.8329MPa) $>$ 大气水势(-8.6113MPa)。对大气水势和叶水势进行相关分析表明(表 1),位移前大气水势

与叶水势不相关,对叶水势位移两个小时后相关系数为 -0.746 ,二者存在较显著的滞后负相关性($P<0.1$),即随着大气水势的降低,叶水势滞后两个小时后也随之降低;对叶水势和茎水势进行相关分析表明,位移前叶、茎水势不相关,将茎水势进行相位后移两个小时后,二者相关系数为 0.678 ,二者日变化有一定滞后相关性,但相关性不显著($P=0.138$),即叶水势升高两个小时后茎水势才开始升高;对叶水势和 30cm 、 50cm 、 80cm 和 120cm 深度土壤水势进行相关分析表明,叶水势和 30cm 深度土壤水势相关系数为 -0.678 ,具有一定相关性,但不显著($P=0.110$),与 50cm 、 80cm 和 120cm 深度土壤水势无相关性。

表 1 草丛沙堆各要素水势相关系数 r 变化特征

Table 1 Correlation coefficients of water potential in SPAC system of coppice dune

水势 Water potential	大气水势 Air water potential		茎水势 Stem water potential		土壤水势 Soil water potential			
	位移前 Before displacement	位移后 After displacement	位移前 Before displacement	位移后 After displacement	30cm	50cm	80cm	120cm
	叶水势 r Leaf water potential	-0.056	-0.746^*	-0.007	0.678	-0.678	-0.198	-0.101

r : Pearson 相关系数,取小数点后三位,*代表 0.10 水平极显著性,表中所指位移均为后移两个小时

3 讨论

叶茎水势日变化大体上呈“M”型的变化特征,且茎水势具有明显滞后于叶水势两个小时的日变化特征,呈现出较强的滞后相关性。这与杨朝选等^[17]对于旱胁迫下桃树茎和叶水势变化的研究有一致性,可能与沙生植物体内的水容特性有关,水分传输过程不是瞬时的,有一定的滞后效应^[16],这种滞后效应有助于缓解干旱胁迫下叶片水分的迅速散失。叶水势是反映叶片细胞水分状况的一个重要指标,大部分研究认为,植物叶水势服从早晚高午间低的规律^[18-19],但老鼠芳的叶水势呈现出相反的趋势,这与杨朝选、庄丽等人的研究结果比较一致^[17,20]。茎水势 $14:00$ 降到了一天中的第二个低值 -0.91MPa ,该值和叶水势的最高值对应,可能在这个时间段茎内水分运移到叶片,导致其水势升高,而茎水势降低。在 $10:00$ 后,叶、茎水势呈相反的变化趋势, $12:00$ 叶、茎水势差接近于 0 ,茎水势出现低于叶水势的反常现象,大气水势也处于一天中的最低值,叶-气水势差达 14.28MPa ,沙生植物此时受到一日中最大程度的干旱胁迫,叶片通过气孔关闭,导致其水势在短时间内升高,而茎水势则因为之前叶片蒸腾失水水势快速下降^[17,21],加上根系从土壤中吸收水分补给受到SPAC系统传输阻力的影响,无法瞬时迅速提高其水势,导致短时间内出现茎叶水势变化的反常现象,该现象可能是老鼠芳在受到极端干旱胁迫时通过抑制水分蒸发,从而达到自我保护的目的,有助于其在该地区定居,并成为建群种。

土壤水势相对于叶、茎和大气水势也存在滞后效应。土壤水势从早晨开始下降, 50cm 及以下土壤水势 14 点达到最低, 30cm 土壤水势则 16 点最低,之后开始上升,可能在于不同深度土壤水势影响因素有所差异^[7-8]。深层土壤水势主要受茎叶水势变化的影响,大气水势在 12 点达到最低,此时茎水势开始呈下降趋势,加剧了土壤水分消耗,两个小时后土壤水势也达到最低。浅层土壤水势除了受茎叶水势影响外,与大气水势变化也有一定相关性,日气温最高值往往出现在 14 点,导致表层 30cm 深度土壤水势进一步下降,直到 16 点才达到最低,这与孟薇等^[22]研究比较一致。 80cm 以下土壤水势保持在一个稳定的范围,可能是 80cm 以下无根系分布,且受大气水势影响不大。对叶水势与各深度土壤水势相关分析表明,其与不同深度土壤水势相关性均不显著,可能在于叶水势的变化过程除了受自身气孔调节外,还需经过根系、茎的水分传导调节过程,与土壤水势不存在一一瞬时代应关系。

4 结论

平潭岛海岸典型草丛沙堆叶、茎水势的日变化都表现出“M”型的变化趋势,叶水势与茎水势、土壤水势与

大气水势日变化均存在水势位相后移的现象,并且老鼠芳的叶、茎水势日变化呈现出了与早晚高午间低相反的反梯度现象,茎水势会出现短暂的低于叶水势的反常现象;除表层 30cm 外,其它层的土壤水势日变化特征总体表现为从早晨开始下降,下午 14 点达到最低,但总体变化不明显。土壤水势随深度的增加呈线性增大趋势,但 80cm 以下土壤水势变化不大,维持在一个稳定的范围。叶水势与大气水势具有较好的相关性,且变化显著,与茎水势及浅层土壤水分有一定相关性,但变化不显著,与 50cm 以下深度土壤水势均无相关性。海岸沙生植物生物多样性丰富,不同植物对于环境胁迫的响应机理存在很大的差异,未来需要通过长时间的定位观测,进一步加强不同物种以及同一物种在不同生境胁迫下的响应机理研究,以期筛选合适的物种,为海岸沙地生态系统恢复和生态系统管理提供科学依据。

参考文献 (References):

- [1] 杜建会, 刘安隆, 董玉祥, 胡绵友, 梁杰, 李薇. 华南海岸典型沙生植物根系构型特征. 植物生态学报, 2014, 38(8): 888-895.
- [2] Mrema A F, Granhall U, Sennerby-Forsse L. Plant growth, leaf water potential, nitrogenase activity and nodule anatomy in *Leucaena leucocephala* as affected by water stress and nitrogen availability. *Trees-Structure and Function*, 1997, 12(1): 42-48.
- [3] 付爱红, 陈亚宁, 李卫红, 张宏锋. 干旱、盐胁迫下的植物水势研究与进展. 中国沙漠, 2005, 25(5): 744-749.
- [4] Morte A, Lovisolo C, Schubert A. Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense*-*Terfezia clavaryi*. *Mycorrhiza*, 2000, 10(3): 115-119.
- [5] 付爱红, 陈亚宁, 李卫红, 刘家珍, 薛燕. 新疆塔里木河下游不同地下水位的胡杨水势变化分析. 干旱区地理, 2004, 27(2): 207-211.
- [6] Donovan L A, Grisé D J, West J B, Pappert R A, Alder N N, Richards J H. Predawn disequilibrium between plant and soil water potentials in two cold-desert shrubs. *Oecologia*, 1999, 120(2): 209-217.
- [7] 王华田, 马履一, 徐军亮. 油松人工林 SPAC 水势梯度时空变化规律及其对边材液流传输的影响. 植物生态学报, 2004, 28(5): 637-643.
- [8] 宋耀选, 周茂先, 张小由, 肖洪浪. 额济纳绿洲主要植物的水势与环境因子的关系. 中国沙漠, 2005, 25(4): 496-499.
- [9] 张香凝, 孙向阳, 王保平, 乔杰, 崔令军, 孟伟, 杨超伟, 郝明丽. 土壤水分胁迫对拉瑞尔小枝水分参数的影响. 生态学报, 2014, 34(8): 1984-1993.
- [10] Ludewig K, Zelle B, Lutz Eckstein R, Mosner E, Annette O, Donath T W. Differential effects of reduced water potential on the germination of floodplain grassland species indicative of wet and dry habitats. *Seed Science Research*, 2014, 24(1): 49-61.
- [11] 胡继超, 姜东, 曹卫星, 罗卫红. 短期干旱对水稻叶水势、光合作用及干物质分配的影响. 应用生态学报, 2004, 15(1): 63-67.
- [12] 王丁, 姚健, 杨雪, 薛建辉. 干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化. 生态学报, 2011, 31(8): 2216-2226.
- [13] 付爱红, 李卫红, 陈亚宁, 陈亚鹏, 马建新. 极端干旱区胡杨宽卵形叶水分变化影响因子分析. 中国沙漠, 2012, 32(1): 65-72.
- [14] 滕元文, 许明宪. 外界因子对杏树叶水势调控的研究. 植物学报, 1991, 33(1): 69-77.
- [15] 付爱红, 陈亚宁, 李卫红. 新疆塔里木河下游柽柳茎水势变化与影响因子研究. 干旱区地理, 2007, 30(1): 108-114.
- [16] 康绍忠, 刘晓明. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用. 北京: 水利电力出版社, 1994: 53-53, 75-77.
- [17] 杨朝选, 焦国利, 王新峰, 张世英. 干旱过程中桃树茎和叶水势的变化. 果树科学, 1999, 16(4): 267-271.
- [18] Čermák J, Huzulák J, Penka M. Water potential and sap flow rate in adult trees with moist and dry soil as used for the assessment of root system depth. *Biologia Plantarum*, 1980, 22(1): 34-41.
- [19] Singh K P, Malik R S, Malik D S. Diurnal variations in leaf water potential and stomatal conductance of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) cultivars as affected by irrigation levels. *Biologia Plantarum*, 1983, 25(1): 1-4.
- [20] 庄丽, 陈亚宁, 李卫红, 赵红艳. 渗透胁迫条件下植物茎叶水势的变化-以塔里木河下游胡杨为例. 中国沙漠, 2006, 26(6): 1002-1008.
- [21] Philip J R. Plant water relations: some physical aspects. *Annual Review of Plant Physiology*, 1966, 17: 245-268.
- [22] 孟薇, 陈洪松, 王克林, 张伟, 王峰. 红壤坡地油茶林及自然恢复植被下土壤水势动态变化特征研究. 水土保持学报, 2007, 21(5): 90-95, 132-132.