

赤峰杨幼林枝条水势及生长对水分胁迫的响应

李卫¹, 冯伟¹, 杨文斌¹, 党宏忠¹, 陈学勋², 李东惠², 梁海荣³

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 内蒙古赤峰市敖汉旗林业局, 内蒙古 敖汉 024300; 3. 内蒙古林业科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 通过对赤峰杨幼林地进行控水试验, 测定了不同程度干旱胁迫下赤峰杨枝条水势、幼林平均株高、地径生长量及生长状况等指标。结果表明, 当土壤含水量高于 15.6% 时, 赤峰杨枝条水势没有明显变化, 低于 11.03% 时, 枝条水势迅速下降; 当土壤含水量大于 $(17.72 \pm 2.75)\%$ 时, 赤峰杨幼树生长正常, 生长量增加趋势快速明显, 而当土壤含水量低于 $(7.12 \pm 2.75)\%$ 时, 赤峰杨出现严重衰退特征, 生长基本停滞, 个体开始出现死亡。综合分析枝条水势、株高生长、地径生长等指标, 表明有利于赤峰杨幼林快速生长, 并维持林分稳定的适宜土壤水分含量为大于 $(17.72 \pm 2.75)\%$ 。

关键词: 赤峰杨; 枝条水势; 水分胁迫; 生长量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0079-04

中图分类号: S812

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.022

Response of Branch Water Potential and Growth on Water Stress of *Populus* × *Xiaozhuanica* Young Forest

LI Wei¹, FENG Wei¹, YANG Wen-bin¹, DANG Hong-zhong¹,
CHEN Xue-xun², LI Dong-hui², LIANG Hai-rong³

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Inner Mongolia Chifeng Aohan Bureau of Forestry, Aohan, Inner Mongolia 024300, China; 3. Inner Mongolia Academy of Forestry Sciences, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China)

Abstract: The branch water potential, average tree height and basal diameter of *P.* × *Xiaozhuanica* young forest were determined based on the water controlling experiment. The results showed that there was no significant change for the branch water potential of *P.* × *Xiaozhuanica* when the soil water content was higher than 15.6%, but the branch water potential decreased rapidly when the soil water content was less than 11.03%. The young forest grew normally and the growth amount increased significantly when the soil water content was higher than $(17.71 \pm 2.75)\%$. However, the young forest showed up severe recession characteristics, nearly stop growing, and some of the tree even dying when the soil water content was below $(7.12 \pm 2.75)\%$. Therefore, the perfect soil water content should be $(17.72 \pm 2.75)\%$ for the rapid growth and maintaining the stability of *P.* × *Xiaozhuanica* young forest.

Keywords: *P.* × *Xiaozhuanica*; branch water potential; water stress; growth amount

在我国干旱半干旱地区, 水分条件是植物分布和生长的主要限制因子, 水分逆境对于植物生理活动的影响持久而且频繁^[1-2]。植物长期适应与抵御水分胁迫, 也由此形成了不同的形态特征和独特的生理生态活动。长期以来, 众多科学家对植物耐旱机理以及对于水分亏缺的适应范围和阈值进行了广泛研究。自 20 世纪中叶将水的化学势差引入到植物水分移动中并完善水势及其组分概念以来, 极大推动了关于植物

水分生理生态研究的进展, 为人们对植物在胁迫下体内水分运动状况有了更深入的认识, 植物水势逐渐成为表征植物耐旱性的重要指标之一。植物水势特征变化能很好地体现植物的抗旱特性, 干旱胁迫造成的低水势能够影响树体内水分的运输^[3], 不同程度的干旱胁迫造成植物枝条水势的下降, 从而增强植物细胞的吸水能力, 使其生理特征表现出抗旱性^[4-5]。植物维持正常生长的水分主要来源于土壤, 土壤水分条件

收稿日期: 2014-02-26

修回日期: 2014-03-18

资助项目: 国家自然科学基金项目“半干旱区低覆盖度固沙林的水分动态及其应对极旱年的调节机理”(31170667); 国家重点基础研究发展计划项目(2013CB429901)

作者简介: 李卫(1978—), 男(满族), 宁夏回族自治区银川市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事荒漠化防治方面的研究。E-mail: lw891@caf.ac.cn.

通信作者: 杨文斌(1959—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事荒漠化防治及干旱区林业方面的研究。E-mail: nmlkyywb@163.com.

的好坏直接影响到植物生长状况。在我国干旱半干旱区,近年来出现大面积杨树中幼林生长衰退甚至个体死亡的现象,即使在幼林期采取抚育管理措施,也无法使林木生长状况得到有效改善。研究表明^[6-10],造林密度过高,土壤水分供给不足是造成上述现象的主要原因,而幼林地抚育管理时,灌溉补水的不适量和不及时,也是造成林木生长不良的原因。植物生长因干旱胁迫出现的衰退与受干旱胁迫的程度和受干旱胁迫的时间长短有密切关系。本研究以我国半干旱区固沙树种赤峰杨(*Populus × Xiaozhuanica*)为研究材料,通过测定土壤含水率与枝条水势,分析比较土壤含水率变化对幼苗枝条水势的影响,通过控水措施,观测不同程度的干旱胁迫下赤峰杨幼林生长状况,从而确定赤峰杨幼苗生长的适宜土壤水分区间,为赤峰杨幼林抚育和固沙林营造配置模式的选择提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于内蒙古赤峰市敖汉旗新惠林场四道湾作业区,地理坐标为北纬 $42^{\circ}27'34''$,东经 $119^{\circ}37'25''$;研究区所处的敖汉旗地处科尔沁沙地南缘,大兴安岭南段东坡、松嫩平原西南部,燕山山地丘陵向松辽平原的过渡地带,总的地势为南高北低,由南向北由低山丘陵过渡到黄土漫岗。降水量从南到北递减,平均 $310 \sim 460$ mm,极端最大降雨量 740 mm,极端最低降雨量 200 mm。海拔 $150 \sim 250$ m,属温带半干旱季风气候区,年平均气温 $5 \sim 7$ °C;年平均日照时数 $2\ 850 \sim 2\ 950$ h,年平均风速 3.8 m/s,大风天气集中在 3—5 月,最大风速可达 24.4 m/s。试验区土壤为固定风沙土和栗钙土型风沙土,机械组成以物理性沙粒为主,地下水埋深在 15 m 以下,植被以地带性植被为主,草本有狗尾草(*Setaria viridis*)、盐蒿(*Artemisia halodendron*)、赖草(*Leymus secalinus*)、蒺藜(*Tribulus terrestris*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、苍耳(*Xanthium*)、黑沙蒿(籽蒿)(*Artemisia ordosica*)、芦苇(*Phragmites australis*)、小白蒿(*Artemisia frigida*)等。造林树种以赤峰杨(*Sibiricum*)为主。

1.2 研究方法

选择 3 年生赤峰杨育苗地,按照东西走向选择 16 m 长,4 m 宽的苗地,平均分为 4 个处理样地,每块样地内有 3 年生赤峰杨 50 株。每个样地四周挖深 2 m,用塑料布将每块样地进行包裹,包裹深度为 2 m,使每块样地与林外土壤隔断,试验地地下水埋深超过 10 m,可以保证每块样地基本不与样地外发

生水分交换。样地上方搭建阳光棚,棚檐向样地外延伸 1 m,保证样地土壤含水量不受降雨影响。对 4 个样地分别进行不同的灌水处理,每块样地的灌水量分别是样地田间持水量的 60%,40%,20%及 0,每个样地为一个控水级别(分别记为 T_1, T_2, T_3, T_4)。各样地分别在 2012 年 11 月份和 2013 年 4 月进行 1 次灌水,然后通过 ECH₂O-5 对 2013 年 5—10 月份的土壤含水量进行实时测定,测定频率为每 10 min 记录 1 次含水量数据,样地外充分灌溉下的林地作为对照(记为 CK,下同)。水分胁迫持续时间均为 2013 年 5 月到 9 月,持续 150 d。试验地土壤物理特性详见表 1。土壤容重、田间持水量和最大持水量采用环刀法测定;剖面法按照 20,40,60,80,100,150,200 cm 深度分层采样,每层取 3 个重复。各指标的测定按照中华人民共和国林业行业标准《森林土壤水分—物理性质的测定》(LY/T1215—1999)执行^[11]。枝条水势采用美国 PMS 公司生产的压力室进行测定,6—9 月每月选择 3 个典型晴天,在每块样地选择 3 株赤峰杨,每株选择向阳生长健康的 3 个枝条进行枝条水势测定,从 6:00—18:00 每 2 h 测定一次。生长状况观测按每月枝条水势测定完成后进行生长状况调查,分别测量 4 个处理和对照林地幼林的树高、地径、死亡株数、叶片颜色、新生枝木质化程度等指标。

表 1 试验地土壤物理特性

容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	田间持 水量/%	最大持 水量/%	机械组成/% (<0.01 mm)
1.43	31.86	37.27	25.6

注:含水量值均为体积含水量。下同。

2 结果与分析

2.1 不同水分胁迫下赤峰杨幼树水势变化

一般来说,土壤水势为 -1.5 MPa 时,是大多数植物根系能否有效吸水的临界值^[12-13],前期对本试验区土壤水分特征曲线的测定表明,土壤水势为 -1.5 MPa 时对应的土壤体积含水量为 5.27%,试验通过灌水控制样地土壤水分含量,运用 EC-5 实时监测土壤水分变化,各样地生长季土壤水分含量区间如表 2 所示。各样地土壤含水量在整个生长季上下浮动均不超过 2.75%, T_4 样地在生长季末期,土壤含水量值低于临界值 5.27%,其他样地在整个生长季均高于该临界值。

表 2 水分调控下样地土壤水分动态区间

灌水处理	T_1	T_2	T_3	T_4
土壤含水量/%	17.72 ± 2.75	13.01 ± 2.75	11.32 ± 2.75	7.12 ± 2.75

赤峰杨幼林地生长季(5—9月)各层土壤水分含量如图 1 所示。由试验前苗木取样发现,3 年生赤峰杨幼苗主根在土体中分布的深度临界值约为 80 cm 左右;一般水平根系分布深度不超过 40 cm。因此,试验地赤峰杨幼苗土壤水分利用层主要为 100 cm 及以上各层,而且,各个处理下 40—100 cm 土层内体积含水量差异显著,不同处理下赤峰杨幼林受到不同程度的水分胁迫。

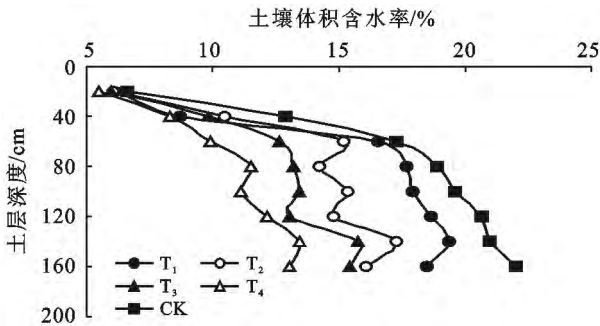


图 1 生长季不同处理赤峰杨幼林地的土壤含水量

通过分析不同水分处理下赤峰杨幼苗枝条水势日变化可以发现(图 2),赤峰杨幼苗水势日变化格局也随不同土壤含水量处理而不同,在 6:00—18:00 各处理间都有较大差别,其中清晨(6:00)时水势对照最低,然后依次是 T₁ 样地到 T₄ 样地,上午随着气温升高、太阳辐射增强,各个样地的赤峰杨枝条水势都开始下降,到中午(12:00—14:00)前后,各处理样地水势都达到一天的最低值。14:00 点以后随着光照减弱、气温下降,水势开始逐渐回升,到日落时趋于稳定,各个样地幼苗枝条水势恢复程度因土壤水分状况的好坏呈现由高到低的趋势。

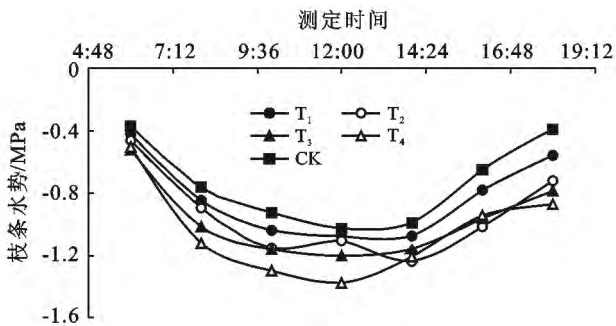


图 2 不同水分胁迫下赤峰杨幼林水势日变化

在各样地中分别选择株高、胸径和长势接近的标准株进行标记,对标准株进行清晨水势(6:00)测定,并同时测定土壤含水量,得到枝条清晨水势与土壤含水量的关系曲线(图 3),赤峰杨幼苗土壤含水量和清晨枝条水势可以用幂函数很好的拟合($R^2=0.9773$)。

从图 3 还可以看出,11.03%的土壤含水量是影响赤峰杨幼苗枝条清晨水势变化的临界值,当土壤含水量低于 11.03%时,枝条水势进入快速下降区间,随着土壤含水量的进一步降低,枝条水势快速下降;当土壤含水量高于 15.6%时,枝条水势变化不明显,其值一般不低于-0.59 MPa。当土壤含水量位于11.03%~15.6%区间时,幼林受到一定程度干旱胁迫,此时,根系从土壤中吸收的水分不足以维持叶片蒸腾消耗,水势会缓慢升高,一定程度引起植株蒸腾速率的变化。当土壤含水量低于 11.03%时,枝条水势随着含水量的降低快速下降,表明植物已很难从土壤中吸取水分用以补充叶片的蒸腾耗水,土壤水分的有效性明显降低。

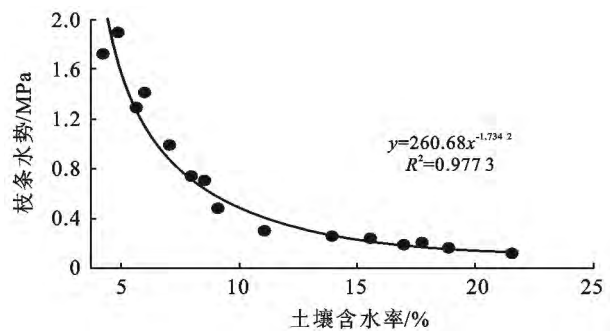


图 3 赤峰杨幼林枝条水势与土壤体积分含水量的关系

2.2 不同水分胁迫对赤峰杨幼树长势的影响

土壤含水量与幼林的长势密切相关,各样地中试验初始前幼树生长指标详见表 3。各个试验样地的赤峰杨幼林平均树高、地径生长曲线如图 4 所示。不同水分胁迫下赤峰杨幼林的生长状况不同,由图 4 可以看出,在生长季初期,各样地之间树木的株高、地径生长量差异尚不明显;但进入生长季中期和后期,株高和地径生长量开始出现不同,表明干旱胁迫对个体生长产生较大影响。对照与 T₁ 样地具有较高的地径和树高生长速率,整个生长期生长力旺盛,T₃ 和 T₄ 样地在中后期生长放缓,到后期基本停止生长,开始出现个别植株死亡。生长量计算结果表明,整个生长季 4 个处理树高、地径生长量均小于对照,其中 T₁ 和 T₂ 的树高生长量分别为对照的 78.1%和 59.2%,地径生长量分别为 82.6%和 63.3%;T₃ 和 T₄ 树高、地径生长量与对照的差异更加明显,T₃ 和 T₄ 的树高生长量分别是对照样地的 50.5%和 37.3%,地径生长量分别为 37.3%和 28.2%;同时如表 4 所示,随着不同处理下水分胁迫程度的提高,赤峰杨幼苗的叶片颜色由深绿变浅,新生枝条木质化程度也逐渐降低。生长量和生长状况的差异表明,不同的水分胁迫会造成

成林木植株个体健壮程度的减弱,从而影响整个林分的稳定性。

表 3 试验样地幼树生长状况

项目	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	CK
株高/cm	2.21	2.26	2.13	2.4	2.34
地径/cm	2.07	2.01	1.88	2.16	2.28

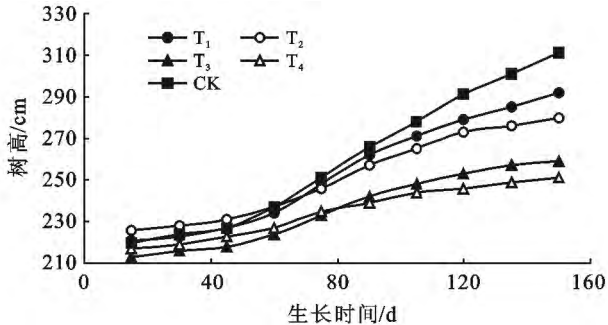
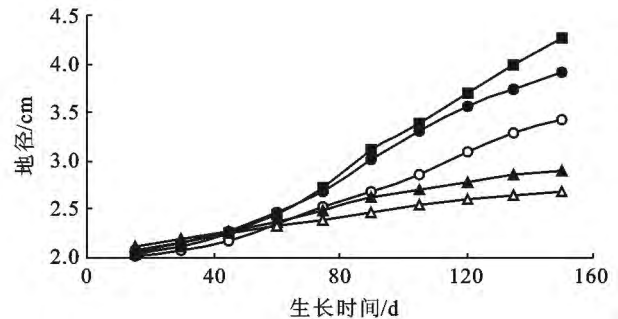


图 4 不同程度水分胁迫下赤峰杨生长曲线

表 4 不同程度水分胁迫下赤峰杨生长量

项目	株高生长量/cm	地径生长量/cm	死亡株数	生长季末期生长状况描述
T ₁	71	1.84	0	叶片深绿,新枝木质化程度较高
T ₂	54	1.41	0	叶片浅绿,部分新枝木质化
T ₃	46	0.78	2	叶片浅黄,少有新枝木质化
T ₄	34	0.63	7	部分枝条枯萎
CK	91	2.23	0	叶片深绿,新枝木质化程度高



3 讨论与结论

(1) 赤峰杨幼林在生长季土壤水分普遍表现不足,出现水分胁迫,测定结果表明,不同程度的干旱胁迫对于赤峰杨幼苗的枝条水势影响明显,赤峰杨幼苗枝条水势随土壤含水量的下降而下降。有研究表明,当土壤水分饱和的情况下,植物枝条水势的变化与土壤含水量无显著相关关系^[14],而当土壤供水不足,植物受到干旱胁迫,枝条水势会随土壤含水量的降低而下降,当降低到一定程度时,会抑制植物的正常生理活动甚至死亡^[15-18]。本研究中通过建立枝条水势、土壤含水量与植物生长之间的关系,确定了赤峰杨植物适宜生长的土壤水分区间为大于 $(17.72 \pm 2.75)\%$,这为通过土壤水分的调节维持整个林分稳定性提供了重要依据。

(2) 赤峰杨在不同程度的土壤水分亏缺时,枝条水势虽然日变化趋势基本相同,但各个时段都明显地随土壤含水率的降低而下降,赤峰杨清晨枝条水势和土壤含水量的关系符合幂函数关系 $(R^2 = 0.9773)$ 。 11.03% 的土壤含水量是影响赤峰杨幼苗枝条清晨水势变化的临界值,在此之下,枝条水势快速下降,水分难以被赤峰杨吸收;当土壤含水量高于 15.6% 时,枝条水势下降趋势不明显,其值一般不低于 -0.59 MPa,水分容易被吸收利用。当土壤含水量位于 $11.03\% \sim 15.6\%$ 区间时,根系从土壤中吸收的水分不足以维持叶片蒸腾消耗,水势会缓慢升高,表现出对植株蒸腾的调节控制。

(3) 土壤含水量对赤峰杨生长的影响明显,随着

土壤含水量的降低,赤峰杨树高、地径生长量均呈现下降趋势,当土壤含水量大于 $(17.72 \pm 2.75)\%$ 时,赤峰杨幼树生长正常,树高、地径生长量增加趋势快速明显,当土壤含水量下降在 $(13.01 \pm 2.75)\%$ 到 $(11.32 \pm 2.75)\%$ 区间时,赤峰杨幼树生长速率明显下降,生长量增加趋势缓慢,而当土壤含水量在 $(7.12 \pm 2.75)\%$ 以下,赤峰杨出现严重衰退特征,到生长季中后期,生长基本停滞,生长量没有增长趋势,个体开始出现死亡。结合对土壤水分与叶水势间的分析,可以认为有利于赤峰杨幼林快速生长,并维持林分稳定的适宜土壤水分区间为大于 $(17.72 \pm 2.75)\%$ 。

[参考文献]

- [1] 胡新生,王世绩. 树木水分胁迫生理与耐旱性研究进展及展望[J]. 林业科学,1998,4(2):77-89.
- [2] 汤章城. 植物干旱生态生理的研究[J]. 生态学报,1983,3(3):196-204.
- [3] 孙守家,孟平,张劲松,等. 基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究[J]. 生态学报,2012,32(12):3892-3901.
- [4] De Craene L P R, De Laet J, Smets E F. Morphological studies in Zygophyllaceae (II): The floral development and vascular anatomy of *Peganum harmala* [J]. Am. J. Bot., 1996,83(2):201-215.
- [5] Boughalleb F, Denden M, Tiba B B. Anatomical changes induced by increasing NaCl salinity in three fodder shrub, *Nitraria*, *Atriplex halimus* and *Medicago arborea*[J]. Acta Physiol. Plant, 2009,31(5):657-664.
- [6] 杨文斌,卢琦,吴波,等. 杨树固沙林密度、配置与林木生长过程的关系[J]. 林业科学,2008,43(8):54-59.

(下转第 88 页)

- [8] 赵景波,孙桂贞,岳应利,等. 关中平原人工林地的干层及其成因[J]. 地理研究, 2007, 26(4): 763-772.
- [9] 牛俊杰,赵景波,王尚义. 汾河流域上游人工林地深层土壤干燥化探讨[J]. 地理研究, 2007, 26(4): 773-781.
- [10] Martinez C, Hancock G R, Kalma J D, et al. Spatio-temporal distribution of near-surface and root zone soil moisture at the catchment scale [J]. Hydrological Processes, 2008, 22(14): 2699-2714.
- [11] Stoyan H, De-Polli H, Böhm S, et al. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale[J]. Plant and Soil, 2000, 222(1/2): 203-214.
- [12] 毕华兴,李笑吟,刘鑫,等. 晋西黄土区土壤水分空间异质性的地统计学分析[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(5): 59-66.
- [13] 姚月锋,满秀玲,毛乌素沙地不同林龄沙柳表层土壤水分空间异质性[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 111-115.
- [14] Zhao Long, Yang Kun, Qin Jun, et al. Spatiotemporal analysis of soil moisture observations within a Tibetan mesoscale area and its implication to regional soil moisture measurements[J]. Journal of Hydrology, 2013, 482(3): 92-104.
- [15] Savva Y, Szlavecz K, Carlson D, et al. Spatial patterns of soil moisture under forest and grass land cover in a suburban area, in Maryland, USA [J]. Geoderma, 2013, 192(1): 202-210.
- [16] Maeda K, Tanaka T, Park H, et al. Spatial distribution of soil structure in a suburban forest catchment and its effect on spatio-temporal soil moisture and runoff fluctuations[J]. Journal of Hydrology, 2006, 321(1): 232-256.
- [17] He'brard O, Voltz M, Andrieux P, et al. Spatio-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment[J]. Journal of Hydrology, 2006, 329(1/2): 110-121.
- [18] Korres W, Reichenau T G, Schneider K. Patterns and scaling properties of surface soil moisture in an agricultural landscape: An ecohydrological modeling study [J]. Journal of Hydrology, 2013, 498(8): 89-102.
- [19] 姚雪玲,傅伯杰,吕一河. 黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因子[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 4961-4968.
- [20] 马晓东,李卫红,朱成刚,等. 塔里木河下游土壤水分与植被时空变化特征[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4035-4045.
- [21] 王存国,韩士杰,张军辉,等. 长白山阔叶红松林表层土壤水分空间异质性的地统计学分析[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 849-855.
- [22] 蔡庆空,蒋金豹,崔希民,等. 环境因子对土壤水分空间异质性的影响: 以北京市怀柔区为例[J]. 山地学报, 2013, 31(3): 294-299.
- [23] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵小流域土壤水分空间格局及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 483-492.
- [24] 尹传华,冯固,田长彦,等. 塔克拉玛干沙漠边缘柽柳对土壤水盐分布的影响[J]. 中国环境科学, 2007, 27(5): 670-675.

(上接第 82 页)

- [7] 党宏忠,周泽福,赵雨森. 祁连山水源区主要树种耐旱性研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2241-2247.
- [8] 田有亮,郭连生. 几种针阔叶树种生长水势阈和生命水势阈的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 190-194.
- [9] 姜丽娜,杨文斌,卢琦,等. 低覆盖度行带式固沙林对土壤及植被的修复效应[J]. 生态学报, 2013, 33(10): 3192-3204.
- [10] 杨志国,孙保平,丁国栋,等. 浑善达克沙地东段风沙源治理模式初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(3): 83-88.
- [11] 国家林业局. LY/T1215—1999 森林土壤水分—物理性质的测定[S]. 北京: 国家林业局, 1999.
- [12] 秦耀东. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 57-59.
- [13] 张友焱,周泽福. 半干旱区主要树种水分生理特性研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 23-24.
- [14] 杨文斌,王晶莹. 干旱、半干旱区人工林边行水分利用特征与优化配置结构研究[J]. 林业科学, 2004, 40(5): 3-9.
- [15] 郭惠清,田有亮. 杨幼树水分生理指标和光合强度与土壤含水量关系的研究[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(2): 101-106.
- [16] 杨文斌,任建民,贾翠萍. 柠条抗旱的生理生态与土壤水分关系的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 239-244.
- [17] 杨文斌,包雪峰,杨茂仁,等. 梭梭抗旱的生理生态水分关系研究[J]. 生态学报, 1991, 11(4): 318-322.
- [18] 付爱红,陈亚宁,李卫红,等. 干旱、盐胁迫下的植物水势研究与进展[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 744-749.