北京山区 4 种优势林分生态用水实验研究

王贺年，余新晓，赵 阳，邓文平，杨芝歌，张 艺

（北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室，北京 100083）

摘 要：为研究较小尺度上不同林分的生态用水，采用实验方法对 2010 年生长季北京山区 4 种主要优势林分的生态用水量进行了测定。结果显示，4 种林分的生态用水量分别为侧柏 376.15 mm，油松 335.28 mm，刺槐 258.90 mm，栓皮栎 374.94 mm。生态用水的各组分中林分蒸腾用水占据主导性地位；4 种林分中，刺槐林地的有效降水能够满足全部的林地蒸散甚至补充少量土壤贮水，而其他 3 种林分均只能满足约 75%的林地蒸散量和约 55%的生态用水量。建议在降水贫乏的干旱山区造林时，适当增加刺槐林分的比例。

关键词：优势林分；生态用水；测定

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2012)04-0062-03 **中图分类号**：S715

Ecological Use of Water of Four Dominant Forests in Mountainous Area of Beijing City

WANG He-nian, YU Xin-xiao, ZHAO Yang, DENG Wen-ping, YANG Zhi-ge, ZHANG Yi

(*Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The quantity of ecological use of water was determined using experimental methods in the four dominant mountain forests in Beijing area during the growing season of the year 2010. The ecological use of water *Platycladus*, *Pinus tabulaeformis*, *Robinia pseudoacacia*, and *Quercus variabilis* were 376.15, 335.28, 258.90 and 374.94 mm, respectively. Vegetation transpiration was the major water use in total ecological use of water. Among the four forests, the effective precipitation in *Robinia pseudoacacia* was able to offset the water use as evapotranspiration, and was even able to add water into the soil as water storage, while the effective precipitations in the other three forests met only approximately 75% of the water needs as evapotranspiration and 55% of the total ecological use of water. Therefore, *Robinia pseudoacacia* forest was recommended for afforesting efforts in the areas with low precipitation.

Keywords: advantage forest; ecological use of water; measurement

近年来，生态用水已成为一个重要的研究领域和研究热点，对于生态用水的研究，国外始于 20 世纪 70 年代，并且只注重河道内的研究，我国则是在 20 世纪 90 年代以后，随着经济、社会和生态环境可持续发展战略的实施才受到广泛的关注[1]。汤奇成[2]于 1989 和 1995 年首先提出了“生态用水”的概念：为了保证塔里木盆地各绿洲的存在和发展，必须要保护各绿洲的生态环境，而生态环境的保护也离不开水，这部分水可统称为生态用水。杨劼[3]根据水量平衡原理，将生态用水定义为维持各类生态系统正常发育与相对稳定所必需消耗和现存的水分。

目前的生态用水研究多集中在大尺度方面（如新疆地区[4-5]、黑河流域[6]、黄淮海平原[7]等），而且没有相应的实验研究，缺少在较小尺度甚至林分尺度上基于直接实验观测对不同群落类型生态用水的研究报导。本研究基于林分尺度的直接实验观测，采用实验研究的方法，对北京山区 4 种主要优势林分的生态用水进行研究，为水土保持、植被建设提供科学依据。

1 研究区概况

试验地位于北京林业大学西山教学实习林场，地理坐标位置为 40°3′46″N，116°5′45″E。气候属于暖

收稿日期：2011-09-29 修回日期：2011-11-16

资助项目：国家林业公益性行业科研专项经费项目“典型森林植被对水资源形成过程的调控研究”(201104005)；国家科技支撑项目：“海河上游水源涵养林体系构建技术研究与示范”(2011BAD38B05)

作者简介：王贺年(1989—)，男(汉族)，山东省济南市人，硕士研究生，主要研究方向为水土保持。E-mail：wanghenian2006@126.com。

通信作者：余新晓(1961—)，男(汉族)，甘肃平凉市人，教授，博士生导师，主要研究方向为森林水文、水土保持等。E-mail：yuxinixao111@126.com。

温带半湿润季风型大陆性气候,年均温 8.5～9.5 ℃,≥10 ℃有效积温 3 385～4 210 ℃,无霜期约 150 d,多年平均降水量 600 mm,6—9 月降雨总量占全年降雨量的 85%以上。试验林地处低山半阳坡(坡向:东偏南 15°),坡位下位,海拔 145 m,坡度 22°,土壤为坡积黄土,土层厚度 40～60 cm,通气透水性较差。

2　研究方法

2.1　样地设置

在林场内选择选出侧柏、油松、刺槐、栓皮栎为优势树种的典型林分设立 4 个 20 m×20 m 的小型监测样地,将主要观测仪器布设在小型监测样地内。

(1) 侧柏样地。平均胸径为 14.6 cm,平均树高为 8.6 m,平均树龄为 53 a。

(2) 油松样地。平均胸径为 11.8 cm,平均树高为 10.9 m,平均树龄为 25 a。

(3) 刺槐样地。平均胸径为 13.8 cm,平均树高为 7.9 m,平均树龄为 43 a。

(4) 栓皮栎样地。平均胸径为 14.5 cm,平均树高为 10.9 m,平均树龄为 48 a。

2.2　林地蒸散

2.2.1　林下土壤蒸发[8-10]　采用自制的微型蒸渗仪(Microlysimeter)对 2010 年生长季(6—9 月)林下土壤蒸发量进行测量,微型蒸渗仪内筒用不锈钢管制成,高 20 cm,内径 11 cm,表面积 95.0 cm^2,每隔 1～2 日更换筒内的原状土,雨后应立即更换新土。生长季内每天上午 8 点和下午 5 点分别称重一次,两次结果的差值可换算成土壤蒸发量(mm)。

2.2.2　林木蒸腾　采用热扩散式液流计对 2010 年生长季(6—9 月)样地内林木的蒸腾量测定。每样地选取 3 棵典型单木安装热扩散式液流计,连续观测树干液流速度,分析计算液流通量。用智能可编程数据采集器进行数据采集,采集步长为 30 min。结合生长锥测定样地平均边材面积,获得林地林木蒸腾量。

2.3　土壤贮水量

2010 年生长季(6—9 月)林地土壤体积含水量的动态监测采用基于 TDR 时域反射技术的 TRIME-T3 型管状土壤含水量测试仪测定。每样地按对角线埋设 1 m 长的探管 5 根,生长季每天巡回测定 1 次,测定时探头每向下移动 5 cm 记录一次土壤体积含水率。

土壤贮水量计算公式为:

$$W_S = W_C \cdot H$$

式中:W_S——土壤贮水量;W_C——土壤体积含水量;H——土层深度。每层土壤贮水量相加即为林下土壤贮水量。

2.4　生态用水量

根据生态用水的定义,林分的生态用水量计算公式为:

生态用水量＝蒸散量＋土壤贮水量

蒸散量＝林下土壤蒸发＋林木蒸腾

2.5　林冠截留量

在林内和林外分别安装 Dynamet-1K 小型气象站,同步测定林外降雨量(mm)和林内降雨量(mm),以此测量林冠截留量。

3　结果分析

3.1　蒸发散

蒸发散包括植被蒸腾及林下土壤蒸发。通过实验直接观测,获得各样地蒸散发(表 1)。

从表 1 可以看出,在整个生长季中,侧柏和栓皮栎的蒸发散最大,均约 289.6 mm 左右,刺槐的蒸发散最小,仅为 176.07 mm。从蒸发散动态变化上看,各树种均表现出一致的规律:6—7 月变化很小,8 月陡然升高,9 月又略有下降;侧柏、油松、栓皮栎蒸散发均表现为:8 月＞9 月＞6 月＞7 月,而刺槐则表现为:8 月＞6 月＞7 月＞9 月。

表 1　研究区各林分不同生长期蒸发散量　mm

林分类型	6 月	7 月	8 月	9 月	生长季
侧 柏	61.99	61.16	87.25	79.22	289.62
油 松	55.90	55.32	71.68	67.94	250.84
刺 槐	41.89	39.40	56.59	38.19	176.07
栓皮栎	65.21	59.41	92.53	72.41	289.56

3.2　土壤贮水

整个生长季中,各林分林下土壤的贮水量如表 2 所示。

由于各树种对林下土壤的改良作用,土壤的容重、孔隙度等水文物理特征都不尽相同,因此其土壤贮水量也各有不同。从整个生长季的平均贮水量来看,各树种相差不大,均为 85 mm 左右。从动态变化上看,也都表现出 7—8 月份升高,9 月份降低。从整个生长季的水分盈亏来看,生长季末(9 月)相比生长季初(6 月),除刺槐林有少量增加以外,其他 3 种林分均下降,也就是说在整个生长季过后,除刺槐外,侧柏、油松、栓皮栎林下土壤贮水均为亏损状态。

表 2　研究区各树种林下不同生长期土壤贮水量　mm

林分类型	6 月	7 月	8 月	9 月	平均值	变化
侧 柏	88.30	83.03	89.95	84.82	86.53	−3.48
油 松	80.00	90.17	91.60	76.00	84.44	−4.00
刺 槐	75.65	81.62	95.21	78.83	82.83	+3.18
栓皮栎	88.90	91.30	87.55	73.77	85.38	−15.13

3.3 生态用水量

根据生态用水的定义，林分的生态用水量主要包括蒸散量和土壤贮水量，通过实验观测和计算得到各样地的整个生长季的生态用水量如图 1 所示。

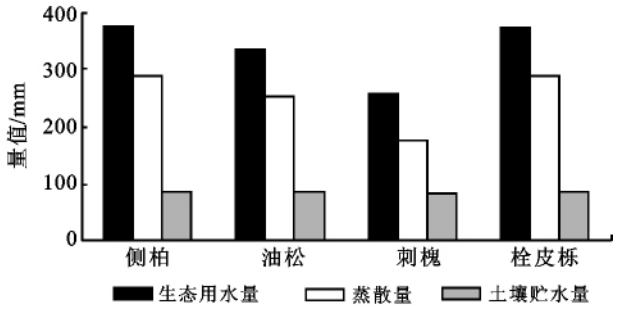


图 1 研究区各林分类型样地生态用水量

从图 1 可以看出，侧柏与栓皮栎的生态用水量最高，分别为 376.15 和 374.94 mm，刺槐的生态用水量最低，仅为 258.90 mm。从图 1 生态用水量、蒸散量和土壤贮水量在生长季 4 个月的变化情况可以看出，由于 4 种树种的土壤贮水量基本相差不大，生态用水量与蒸散量的变化趋势基本一致，而从蒸散量与生态用水量的值的比较来看，4 种树种的生态用水量中，蒸散量均占 75%以上，这都说明林分的生态用水量尽管与土壤贮水量（现存水量）有关，但林分蒸腾（消耗水量）却是起着主导性的作用。

3.4 林地有效降水

降水到达林冠层首先要被林冠截留一部分，剩余的林内降雨和树干径流才是能被林分利用的部分，才是有效降水量，基于 Dynamet-1K 小型气象站测量林内林外降雨量，通过对生长季中的全部 29 场降雨的观测，获得 4 种林分类型的林冠截留特征（表 3）。

表 3 研究区各林分生长季林冠截留特征

林分类型	总降水量/mm	林冠截留量/mm	有效降水量/mm	截留率/%
侧 柏	298.68	77.14	221.54	25.83
油 松	298.68	101.65	197.03	34.03
刺 槐	298.68	106.86	191.82	35.78
栓皮栎	298.68	89.95	208.73	30.12

从表 3 可以看出，4 种林分在整个生长季的 29 场降雨中，其林冠截留作用是不容忽视的，4 种林分的林冠截留率达到了 25%～36%。因此，分析降水量对生态用水的补充，应以有效降水量为参考。

3.5 有效降水对生态用水的补偿

通过对 4 种林分类型整个生长季的生态用水、蒸散发以及有效降水的对比，得到其对比关系图（图 2）。

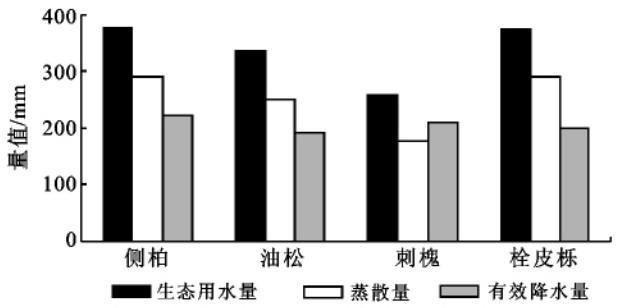


图 2 不同林分样地生态用水量与有效降水量的对比关系

从图 2 可以看出，侧柏、油松、栓皮栎 3 种林分类型其有效降水量均低于其生态用水量和林地蒸散量，有效降水仅能补偿约 55%的生态用水量和约 75%的林地蒸散量；而刺槐林地的有效降水能够补偿林地的蒸散量，满足约 80%的生态用水量。这意味着，侧柏、油松、栓皮栎 3 种林分在整个生长季过程中，林地蒸散不仅消耗掉了全部的有效降水，而且还要消耗一部分的土壤贮水量；而刺槐林分的有效降水不仅能够补偿全部的林地蒸散，而且还能补充少量的土壤贮水量。

4 结 论

通过对北京山区主要优势林分侧柏、油松、刺槐和栓皮栎 4 种林分类型的生态用水量的测定和研究，得出 4 种林分在 2010 年整个生长季（6 月—9 月）的生态用水量为侧柏 376.15 mm、油松 335.28 mm、刺槐 258.90 mm、栓皮栎 374.94 mm。林分的生态用水量尽管与土壤贮水量（现存水量）有关，但林分蒸腾（消耗水量）却是起着主导性的作用。

大气降水中除去林冠截留后的林内降雨才是林分能利用的有效降水，而与同时期的有效降水量相比，刺槐林地的有效降水能够满足全部的林地蒸散甚至补充少量土壤贮水，而其他 3 种林分均只能满足约 75%的林地蒸散量和约 55%的生态用水量。

在气候波动较大的干旱半干旱地区，尤其是在像 2010 年这样的极端少雨年份，北京山区侧柏、油松、栓皮栎 3 种优势林分，其蒸发蒸腾过量耗水造成植物根系作用范围内土壤水分长时间亏缺，天然有效降水已不能有效地予以补偿，长期下去，可能会引起土壤含水量降低、林木生长衰退等环境问题，而刺槐林分则能补偿全部的林地蒸散甚至补偿部分土壤贮水。因此在降水贫乏的干旱山区造林时，适宜地增加刺槐林分的比例，以求总生态用水量适当低于有效降水量，将对维持山区生态系统稳定及其生态环境改善起重要作用。

（下转第 70 页）

logical Society, 2000,81(3):417-425.
[4] 陈家其,施能. 全球增暖下我国旱涝灾害可能情景的初步研究[J]. 地理科学,1995,15(3):201-207.
[5] 左洪超,吕世华,胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象,2004,23(2):238-244.
[6] 朱坚,张耀存,黄丹青. 全球变暖情景下中国东部地区不同等级降水变化特征分析[J]. 高原气象,2009,28(4):891-895.
[7] 李智才,宋燕,德平. 山西省主汛期极端降水变化特征[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):433-442.
[8] 陈少勇,任燕,乔立,等. 中国西北地区大雨以上降水日数的时空分布特征[J]. 资源科学,2011,33(5):958-965.
[9] 陈晓燕,尚可政,王式功,等. 近 50 年中国不同强度降水日数时空变化特征[J]. 干旱区研究,2010,27(5):766-772.
[10] Karl T R, Knight R W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998,79(2):231-241.
[11] 吴宜进,熊安元,姜彤,等. 近 50 年长江流域降水日数的演变趋势[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(2):217-222.
[12] 韩军彩,陈静,岳艳霞,等. 石家庄市不同等级降水日数的时空分布特征[J]. 气象与环境学报,2009,25(6):34-38.
[13] 白爱娟,刘晓东,刘长海. 青藏高原与四川盆地夏季降水日变化的对比分析[J]. 高原气象,2011,30(4):852-859.
[14] 白莹莹,张炎,高阳华,等. 四川盆地降水变化的区域差异[J]. 地理科学,2011,31(4):478-484.
[15] 邵远坤,沈桐立,游泳,等. 四川盆地近 40 年来的降水特征分析[J]. 西南农业大学学报:自然科学版,2005,27(6):749-752.
[16] 刘晓冉,李国平,范广州,等. 我国西南地区 1960—2000 年降水资源变化的时空特征[J]. 自然资源学报,2007,22(5):783-792.
[17] 黄国如,何泓杰. 城市化对济南汛期降雨特征的影响[J]. 自然灾害学报,2011,20(3):7-12.
[18] 党碧玲,任志远,张翀. 西安地区近 50 a 降水量的统计分析[J]. 西北大学学报:自然科学版,2011,41(1):139-144.
[19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
[20] 曹文静,李强子,蒙继华,等. 基于 GIS 的气温插值方法比较[J]. 中国农业气象,2007,28(S):175-178.
[21] 陈超,庞艳梅,潘学标. 近半个世纪以来四川盆地气温和降水的变化特征[J]. 中国农业气象,2010,31(S1):27-31.
[22] 王颖,施能,顾骏强,等. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学. 2006,30(1):162-170.
[23] 徐裕华,王宗德,王明,等. 西南气候[M]. 北京:气象出版社,1991:298.
[24] 周长艳,岑思弦,李跃清,等. 四川省近 50 年降水的变化特征及影响[J]. 地理学报,2011,66(5):619-630.

(上接第 64 页)

[参 考 文 献]

[1] 杨爱民,唐克旺,王浩,等. 生态用水的基本理论与计算方法[J]. 水利学报,2004(12):39-45.
[2] 汤奇成. 绿洲的发展与水资源的合理利用[J]. 干旱区资源与环境,1995,9(3):107-111.
[3] 杨劼,宋炳煜,朴顺姬,等. 黄埔川丘陵沟壑区小流域生态用水实验研究[J]. 自然资源学报. 2003, 18(5):513-521.
[4] 贾宝全,许英勤. 干旱区生态用水的概念和分类:以新疆为例[J]. 干旱区地理,1998,21(2):8-12.
[5] 贾宝全,慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算[J]. 生态学报,2000,20(2):243-250.
[6] 潘启民,任志远,郝国占. 黑河流域生态需水分析[J]. 黄河水利职业技术学院学报,2001,13(1) :14-16.
[7] 李丽娟,郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[J]. 地理学报,2000,55(4):495-500.
[8] 宋炳煜,尹晓青. 草原植物群落蒸腾耗水量的测定方法比较[C]// 中国科学院内蒙古草原生态系统定位站. 草原生态系统研究:第 2 集. 北京:科学出版社,1988:224-231.
[9] 宋炳. 草原区不同植物群落蒸发蒸腾的研究[J]. 植物生态学报,1995,19(4):319-328.
[10] 刘昌明,王会肖等. 土壤—作物—大气界面水分过程与节水调控[M]. 北京:科学出版社,1999:60-65.