

# 北京市生态用水分类及森林植被生态用水定额的确定

陈丽华, 王礼先

(北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083)

**摘要:** 生态用水是为维护或改善组成现有生态系统的植物群落、动物以及非生物部分的平衡所需要的水量, 分为绿色植物用水、动物用水和维护无机环境的生物平衡所需的水分三部分。据计算分析, 确定出北京市森林植被的平均年生态用水量为 370.53 mm。

**关键词:** 北京市; 生态用水; 森林植被

**中图分类号:** S181

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2001)04-0161-04

## Classification of Ecological Water Use and Quota Determination of Ecological Water Use of Forest Cover in Beijing

CHEN Li-hua, WANG Li-xian

(College of Resources and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Ecological water use is the requirement of water yield to maintain and improve the balance of existing ecological system, which is composed of flora, fauna and non-organisms. Ecological water use consists of three parts, that is, water use of green plant, animals' water use and water yield required by maintaining organic balance in inorganic environment. It is calculated that the average annual ecological water use of forest cover in Beijing is about 370.53 mm.

**Key words:** Beijing; ecological water use; forest cover

北京市人均水资源量只有  $300 \text{ m}^3$ , 仅相当全国人均水平的  $1/8$ , 世界人均水平的  $1/30$ , 远远低于国际公认的人均  $1000 \text{ m}^3$  的下限, 属重度缺水地区, 北京市已成为世界上最缺水的城市之一。目前北京市水资源开发利用已达到可供水资源的自然极限, 缺水问题十分突出。水资源短缺, 已成为影响和制约首都社会和经济发展的主要因素。从生态用水的角度认识、探讨北京水资源一切利用中存在的各种问题, 将有助于在全新的概念上对未来水资源合理利用和改善生态环境进行综合决策, 真正把可持续发展作为首都城市建设和经济社会发展的基本战略, 正确处理好人口、经济、资源、环境的相互关系, 调整经济结构和布局, 提高用水效率和用水经济效益, 实现传统经济向知识经济的转变, 较快地实现北京的“经济发达、社会安定、生态一流的国际大都市”的发

展目标。

### 1 生态用水的定义与分类

生态系统中水分包括两部分, 即生物部分用水和非生物(环境)部分用水。具体地说包括绿色植物的用水、动物用水和作为无机环境组成部分的河湖等地表水体, 以及其它存在于无机环境中的水分, 其用于包括水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等所需的水。这三部分水分组成了广义上的生态用水, 广义生态用水概念是十分广泛的, 植被建设、水土保持、维护河流水沙平衡、维护陆地水盐平衡、保护和维持河流生态系统的基本径流量、回补超采地下水所需水量以及城市绿地用水等都属于生态用水的范畴。此

\* 收稿日期: 2001-08-25

国家自然科学基金重点基金(39930130), 教育部博士点基金(2000002209)。

作者简介: 陈丽华, 女, (1957-), 副教授, 从事水保教学与科研工作。

外用于河流水质保护和鱼类洄游等所需水量也是生态用水的范畴。

植被是组成生态系统生物部分中最基本的成分,是生态系统的主要生产者。植物进行光合作用固定太阳能,以简单的无机物为原料制造各种有机物,不仅供植物自身生长发育的需要,而且是其它生物群类及人类事物和能量的来源,因此没有植物便没有以此为栖息地和能源的动物乃至人类。另外植被是景观生态的主体部分,更为重要的是植被是自然植物直接的反映,是评判生态环境质量的重要标志之一。因此为维持良好的生态环境,必须保护和建设植物群落,其正常生长和更新所必须消耗的水量是生态用水的基础。由此可知,生态用水主要指组成生态系统的生物部分用水,即绿色植物用水,其中包括植被建设、水土保持以及城市绿地用水等,需要说明的是其一此处的植被既包括天然植被,也包括人工植被;其二水土保持用水是指由于水土保持措施而减少了降雨径流量,这部分减少的径流量大部分通过入渗转化为土壤水,用于植物生长所必需的蒸散而消耗,所以这部分水量应计入生态用水。

由于生态系统是由无机环境、植物、动物、微生物几部分组成的,所以动物用水也应是生态用水的一部分,这部分主要包括维持水生生物栖息地所需水量、鱼类洄游以及非人工饲养的动物饮用水。这部分水分目前讨论的比较少,笔者认为也属于生态用水。

生态用水还应包括组成生态系统的无机环境用水,这一部分主要包括:维护河流水沙平衡、维护陆地水盐平衡、回补超采地下水所需的水分、保护和维持河流生态系统的基本径流量。此外还包括生态系统中用于保持水体、调节气候、美化景观等功能而消耗的水量。

综上所述,生态用水的定义可概括为:为维护或改善组成现有生态系统的植物群落、动物以及非生物部分的平衡所需要的水量。

## 2 生态用水类型

根据上述生态用水的定义与分类,对北京市的生态用水类型进行界定。首先根据生态系统的组成成分将生态用水划分为三类:绿色植物用水、动物用水和维护无机环境的生物地理平衡所需的水分。

动物用水主要包括维持水生生物栖息地所需水量、鱼类洄游以及动物饮用水几部分,在北京地区基本不存在鱼类洄游的问题,而对于一般的河湖水量

来说能够保证水生生物栖息,并且人工饲养动物的饮水属于畜牧业用水,非人工饲养动物主要指野生动物的饮水,虽属生态用水的范围,但因其数量很小,忽略不计。

无机环境的生态用水主要包括为维持无机环境稳定的生态功能天然水体所必须储存和消耗的水量,以满足排盐、入渗补给、水沙平衡以及污染自净等河流生态系统的需水量。

如上所述,北京市生态用水最主要的组成成分是植物用水,即植被生态建设用水,其中包括山区植被生态用水、水土保持生态用水、平原造林绿化用水和城镇绿化生态用水。

根据北京市生态用水组成的实际情况,要确定生态用水的总量,关键是确定森林植被的生态用水量。

## 3 森林植被生态用水定额的确定

森林植被的生态用水量可通过生态用水定额计算得到,生态用水定额是单位时间内单位面积上不同生态用水类型的用水量,森林植被生态用水定额是指单位时间单位面积森林植被的用水量,可理解为水土保持行业常用的林木需水量。林木需水量是指在水分适宜情况下,林木枝叶生理蒸腾量和土壤蒸发量之和,即蒸发散量。本文以Penman综合法为基本依据来计算林木蒸发散,公式基本形式参见公式如下。其中北京地区的 $a$ 、 $b$ 值和风速修正系数见表1和2。

$$ET_o = \frac{\left(\frac{P_o}{P}\right) \left(\frac{\Delta}{\gamma}\right) R_n + E_a}{\left(\frac{P_o}{P}\right) \left(\frac{\Delta}{\gamma}\right) + 1} \quad (1)$$

式中:  $ET_o$ ——可能蒸散量(mm/d);  $P_o$ ——标准大气压( $P_o = 1013.25$  hPa);  $P$ ——计算地点平均大气压(hPa),实测或根据高程查表;  $\Delta$ ——平均气温时饱和水气压随温度的变化率,  $\Delta = de_a/dt$ ;  $e_o$ ——饱和水气压(hPa);  $t$ ——平均气温(°C);  $\gamma$ ——温度计常数,  $\gamma = 0.66$  (hPa/°C);  $R_n$ ——太阳净辐射,以所能蒸发的水层深度计(mm/d);  $E_a$ ——干燥力(mm/d)或称安全检查气动力学项。

分项计算:

$$e = 6.1 \times 10^3 \times \frac{7.043t}{273+t} \quad (2)$$

$$\Delta = 6.1 \times 10^3 \times \frac{7.043t}{273+t} \times \frac{4683}{(273+t)^2} \quad (3)$$

$$R_n = 0.82Qa \left[ a + b \left( \frac{n}{N} \right) \right] - T_k^4 (0.56 + 0.079 \sqrt{e_a} \times$$

[ $Q_{10+} Q_{90n}/N$ ] (4)

式中:  $Q_a$ ——大气顶层太阳辐射 (mm/d), 可根据纬度计算或查表;  $N$ ——太阳可照时数 (h/d), 可根据纬度计算或查表;  $n$ ——实际日照时数 (h/d);  $T_k$ ——绝对气温 (K), ——斯蒂芬- 鲍茨曼 (Stefan - Boltzman) 辐射常数,  $= 5\ 673 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ;  $e_a$ ——实际空气水汽压 (hPa);  $a$ 、 $b$ ——经验系数。

表 1 北京地区 $a$ 、 $b$ 值			
项目	$a$	$b$	$Y_i$
夏半年 (4~ 9 月)	0.19	.54	0.96
冬半年 (10~ 3 月)	0.21	0.56	0.89

\* 注:  $Y_i$  为相关系数;  $a$ 、 $b$  为计算辐射值的相对误差。

林木用水量确定的步骤如下:

(1) 计算  $PE$  值。根据 FAO 推荐的 Penman 综合修正公式 (1) 和北京市气象局汇编的《北京气候年鉴》中各县实测气象资料 (1950~ 1985 年), 计算得

到年可能蒸散量  $PE$  值为 766.5~ 821.3, 各县之间差异不明显, 取平均值为 793.9 mm。

(2) 植物系数  $K_c$  的确定。 $c$  是植物最大需水量与最大可能蒸散量的比例系数, 在求得当地的植物参考蒸腾量后, 用植物系数  $K_c$  作调整后即可得到植物的实际最大蒸散量, 即植物的蒸散需求量

$$K_c = ET_o / PE \tag{5a}$$

式中:  $ET_o$ ——植物实际蒸散需求量 (mm/d);  $PE$ ——植物参考蒸散量 (mm/d);  $K_c$ ——植物系数。 $K_c$  是植物实际蒸散需求量, 该值随植物种类、同一种植物所处的生长发育阶段、生长季节不同而具有不同的数值, 一般是通过试验取得。在我国因农田灌溉发展的需要, 各地区主要农作物的  $K_c$  值都已基本确定, 而有关林木的  $K_c$  值却很少。本文计算时采用“九五”期间在密云县水源保护林试验站对蒸散量的观测研究结果。不同类型林木的植物系数  $K_c$  详见表 3。

表 2 风速修正系数

月平均 最低气 温 $T_m$	月平均最高工 $T_M$ 与月平均最低温度的 差值 $T_m$	系数 $B$	月平均 最低气 温 $T_m$	月平均最高温度 $T_M$ 与月平均最低温度 的差值 $T_m$	系数 $B$
	$T_M - T_m$	12	> 5	13 < $T_M - T_m$	14
> 5	12 < $T_M - T_m$	13	> 5	13 < $T_M - T_m$	14
> 5	13 < $T_M - T_m$	14	> 5	13 < $T_M - T_m$	14
		0.54			0.75
		0.61			0.82
		0.68			0.89

(3) 不同类型森林植最大量  $ET_o$  计算——由  $K_c$  的定义, 变形后有:

表 3 不同类型林木的 $K_c$ 值				
林木类型	刺槐林	板栗林	油松林	荆条林
$K_c$	0.78	0.70	0.75	0.68

$$ET_o = K_c \cdot PE \tag{5b}$$

式中:  $ET_o$ ——林木最大需水量, 即实际最大蒸散量 (mm/a);  $PE$ ——可能蒸散量 (mm/a)。

由式 (5b) 和表 3, 可得不同类型林木的最大需水量 (见表 4)。

表 4 不同类型林木最大需水量值				
林木类型	刺槐林	板栗林	油松林	荆条林
$ET_o/(\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	619.2	557.7	595.4	539.9

(4) 不同类型森林植被实际需水量  $ET$  计算。林木蒸发散不仅受外界蒸发条件以及林木本身生理特性的支配, 同时还受土壤水分状况的限制。在干旱缺水时, 土壤含水量降低, 土壤导水率减小, 林木根系

吸水率降低, 供水不足, 林木受到水分胁迫, 引起叶片含水量减小, 气孔阻力增大, 从而致使缺水干旱胁迫条件的林木实际蒸散量低于充分供水无水分胁迫的蒸散量。

如将土壤—林木—大气作为一个系统来考虑。这一系统的输入量是降雨 ( $P$ ), 输出量是林木蒸发散 ( $ET$ ) 及径流 ( $R$ ), 系统状态变量是土壤含水量 ( $dW/dt$ )。根据水量平衡原量, 系统的状态方程为:

$$dW/dt = P - ET - R \tag{6}$$

对于多年平均的情况, 降水量为一均值, 因此可用林木根系层土壤含水量的变化来确定林木蒸发散量  $ET$ 。

在田间持水量范围内, 林木实际蒸发散量与林木最大需水量的比值  $ET/ET_o$  和土壤含水量成正比, 其分析式为:  $ET/ET_o = W_i/W_f$  (7)

有以下几种边界条件:

当  $W_s = W_i > W_f$  时,  $ET = ET$

当  $W_f < W_i < W_k$  时,  $ET < ET$

当  $W_i = W_k$  时,  $ET = 0$

式中:  $W_s$ ——土壤饱和含水量;  $W_f$ ——土壤田间持水量;  $W_k$ ——土壤凋萎含水量;  $W_i$ ——土壤实际含水量。

考虑到土壤空间变异性和土壤水分非线性的特性, 根据以上边界条件, 得到如下方程

$$\frac{ET_o}{ET} = \left( \frac{W_i - W_k}{W_f - W_k} \right)^m \quad (8)$$

式中:  $m$  是与土壤性质有关的参数。根据刘昌明(1985)的研究,  $m$  值在华北地区的变化范围为 1.24 ~ 1.70 之间, 北京地区取其下限, 即  $m = 1.24$ 。

根据在密云水库集水区的调查和测定, 得到:

$W_s = 38.5\%$ ,  $W_f = 28.5\%$ ,  $W_k = 5.5\%$ , 此时:

$$ET_o/ET = 1.57, ET = 0.64ET_o \quad (9)$$

由式(9)可计算得到不同类型林木实际需水量  $ET$ , 见表 5。

表 5 不同类型林木实际需水量值

林木类型	刺槐林	板栗林	油松林	荆条林
$ET/(mm \cdot a^{-1})$	396.3	356.9	381.1	345.5

根据表 5 和北京市不同类型生态区森林植被的实际情况, 将生态用水的定额加以概化, 结果见表 6。

## 4 结 语

研究提出了北京市生态用水的计算类型, 并根

据实测和调查资料, 确定出了北京市森林植被的生态用水定额, 即森林植被平均年生态用水量为 370.53 mm。

表 6 生态用水定额

森林植被类型	阔叶林	针叶林	混交林	灌木林
定额/(mm · a <sup>-1</sup> )	376.6	381.1	378.9	345.5
备注:	刺 × 板栗	油松	刺 × 板栗 × 油	荆条

生态用水和生态需水是涉及生态学、林学、水土保持学、水文学与水资源学、环境学、地理学等多学科, 以及林业、水土保持、水利、环境保护等多部门和行业的一个复杂问题。今后还需要从多学科交叉的角度, 考虑各个部门和行业生态用水的要求, 在可供水资源允许的前提下协调各方面生态用水要求。

各种类型生态用水的定额, 是决定生态用水精度的关键因素, 需要对生态用水定额进行深入研究, 分析它在空间和时间上的变化规律, 建立生态用水定额函数, 这将是生态用水问题研究的一个关键。

生态用水的理论体系目前还不完善, 需要从基础理论和计算方法等不同层次, 进一步建立和完善计算方法和水资源评价方法, 以及影响生态用水因素的量化分析等, 形成完整的理论体系。

## 参考文献

- [1] 钱正英, 等. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[R]. 北京: 中国水利电力出版社, 2001.
- [2] 首都绿化委员会办公室, 北京市科学技术学会. 21 世纪的首都绿化[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [3] 王斌瑞, 等. 黄土高原径流林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.
- [4] 刘奉觉, 等. 杨树水分生理研究[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992.
- [5] 王礼先. 植被生态建设与生态用水——以西北地区为例[J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 5~ 7.
- [6] 贾宝全, 等. 新疆生态用水量的初步估计[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 243~ 250.
- [7] 张寿全. 21 世纪首都水问题的对策与建议[J]. 科技月报, 2000(9): 37~ 40.
- [8] 贾保全, 等. 干旱区生态用水的概念和分类——以新疆为例[J]. 干旱地理, 1998, 21(2): 8~ 12.
- [9] 陈丽华, 等. 森林流域蒸发散的计算[J]. 水土保持学报, 1992, 6(3): 87~ 90.
- [10] Peter H, Gleick. Water in crisis paths to sustainable water use[J]. Ecological Applications, 1998, 8(3): 571~ 579.
- [11] Frank R Spellman. The science of Water: concepts & applications[M]. 200~ 201.
- [12] Covich, A. Water and ecosystems in P H Gleick, editor Water in crisis A guide to the world's fresh water resources [S]. New York: Oxford University Press 1993 40~ 45.