

干旱区天然植被生态需水量计算方法

张 丽, 董增川, 赵 斌

(河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 依据生态适宜性理论, 建立了植物生长与地下水位关系的对数正态分布模型; 基于此模型, 结合遥感技术进行的生态分区和植物生理需水的现场实验数据, 提出了干旱区天然植被生态需水量计算方法; 应用此方法计算了黑河流域额济纳旗天然植被生态需水量, 计算成果与其他成果比较相差较小。结果表明, 该计算方法是合理的, 可以推广应用于干旱区其他地区。

关键词: 干旱区; 天然植被; 对数正态分布模型; 生态需水量; 计算方法

中图分类号: S271 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2003)06-745-04

干旱地区由于水资源天然不足, 加之人类活动范围的扩大和不合理的水资源开发利用方式, 导致森林草原退化, 尾间湖泊消失, 沙尘暴强度和数目不断增加, 生态环境急剧恶化。急需对生态需水量进行研究, 在保证生态需水前提下发展经济, 使社会与生态环境协调发展。

植被是生态系统的生产者, 是生态系统最基本的组成部分, 是自然景观的最直接的反应。干旱地区非地带性天然植被的需水量受水资源开发利用影响明显, 在供水不足的情况下迅速退化, 是生态环境中十分脆弱、最易受到破坏的部分。

目前用于植被生态需水量的计算方法多适用于农作物或人工林草等, 对于天然林草植被, 还没有比较成熟的计算方法。本文对天然植被需水量计算的理论和进行了初步探讨。

1 天然植被生态需水量计算方法

1.1 天然植物生长主要环境因子分析

影响植物生长的主要因素是水分和土壤盐分。干旱区干旱少雨, 年降水量一般在 400 mm 以下, 荒漠地带则在 250 mm 以下, 局部地区只有 30~40 mm, 降水不足以维持其生态系统特别是非地带性的中旱生植物组成的系统的正常运转, 维持天然绿洲生态系统的水分主要是地下水。土壤盐分对植物生长的影响也与地下水位高低有关。地下水位过高, 溶于地下水中的盐分受蒸发的影响在土壤表层聚集, 导致盐渍化, 不利于植物的生长。地下水位过低, 地下水不能通过毛管上升到植物可以吸收利用的程度, 导致土壤干化, 植被衰败, 发生土地荒漠化。因此, 在降水稀少情况下, 地下水埋深可作为干旱区植被生长的主要环境因子。

1.2 植物生长与地下水位关系的模型

生态学的适宜性理论指出^[2]: 任一生物种的个数随某个环境因子的变化而变化, 生物种的个数达到最大值时对应的环境因子值称为该物种的最适值, 生物种在其最适环境中生长最好, 生殖最快; 随着环境因子偏离最适值, 该类物种虽然可以出现生长, 但其生殖已经受到胁迫; 当环境因子继续偏离最适值, 达到该物种能够

收稿日期: 2002-07-29; 修订日期: 2002-09-14

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999043608); 河南省科技攻关项目 (0224090005)

作者简介: 张 丽(1964-), 女, 河南南阳人, 华北水利水电学院副教授, 河海大学博士研究生, 主要从事水资源可持续利用及相关领域研究。E-mail: ncwuzl@163.com; ncwuzl@sohu.com

存活的上下极限环境时, 该物种就不再生长, 个数减少, 直到消失。

表 1 主要植物对数正态分布拟合曲线参数

Table 1 Parameters of logarithm normal distribution fitting curves for several major plants					
植物名	μ	σ	x_{pm}/m	$E(X)/m$	$\sigma(X)/m$
胡 杨	1.3127	0.6254	2.5133	4.5187	3.1260
桉 柳	1.1207	0.5420	2.2862	3.5522	2.0758
芦 苇	0.7113	0.6364	1.3583	2.4938	1.7622
罗布麻	1.0835	0.4030	2.5120	3.2048	1.3457
甘 草	1.0216	0.3763	2.3894	2.9548	1.1524
骆驼刺	1.2878	0.4926	2.8438	4.0927	2.1450

式中 x 为地下水位埋深, 即环境因子; μ 为 $\ln x$ 的数学期望, 反映 $\ln x$ 的平均值; σ 为 $\ln x$ 的均方差, 反映 $\ln x$ 偏离其数学期望的程度; x_{pm} 为植物出现频率的众数, 即频率最大值对应的地下水位, 为植物生长的最适值, m ; $E(X)$ 为地下水位埋深的数学期望, 反映地下水位埋深的平均值, m ; $\sigma(X)$ 为地下水位埋深的均方差, 反映地下水位埋深偏离其数学期望的程度。

由计算结果可以看出:

典型植物出现频率峰值所对应的地下水埋深, 即众数分别为: 胡杨 2.51 m, 桉柳 2.29 m, 芦苇 1.36 m, 罗布麻 2.51 m, 甘草 2.39 m, 骆驼刺 2.84 m, 其最适宜区间除芦苇为 1~2 m 外, 其他均为 2~3 m。

典型植物地下水埋深的数学期望分别为: 胡杨 4.52 m, 桉柳 3.55 m, 芦苇 2.49 m, 罗布麻 3.20 m, 甘草 2.95 m, 骆驼刺 4.09 m, 因此, 这些植物正常生长的适宜地下水位为 2~4 m。

植被盖度、出现频率与地下水埋深存在一定的关系, 在植被适宜地下水埋深附近, 植被生长发育良好, 出现频率和相应的植被盖度高; 不然, 植被长势受水分亏缺或土壤盐渍化的影响, 生长发育相对较差, 出现频率和相应的盖度低。

1.3 生态需水量计算方法

本文提出干旱区天然植被生态需水量计算理论与方法为: 基于上述植物生长与环境因子(地下水埋深)关系模型, 利用现代遥感技术进行生态分区和现场实验所得的植物生理需水量的数据, 计算不同植被群落、不同盖度、不同地下水埋深的植物蒸腾和潜水蒸发, 从而求出该区的生态需水量。具体如下:

应用现代遥感技术对研究区域进行生态分区, 测出植被类型 $i(i=1, 2, \dots)$ 的第 $j(j=1, 2, \dots)$ 种盖度 p_{ij} 的面积 A_{ij} , 然后根据模型, 将不同盖度植被覆盖面积 $p_{ij} A_{ij}$ 或裸间面积 $(1-p_{ij}) A_{ij}$, 以其在各地下水埋深区域中的概率 ω_{ijk} 为权重分配在各地下水埋深区域, 分别计算其植株蒸腾量 Q_{i1} 和裸间潜水蒸发量 Q_{i2} 。然后计算 i 类植被总需水量 Q_i 以及计算区域总需水量 Q 。在计算植株蒸腾量 Q_{i1} 时, 取植株蒸腾和相应地下水埋深区间潜水蒸发的较大值。计算公式为

$$Q = \sum_i Q_i \quad (2)$$

$$Q_i = Q_{i1} + Q_{i2} \quad (3)$$

根据“九五”攻关 96-912-01-02 新疆专题所做的有关塔里木河干河流域对胡杨、红柳、芦苇、罗布麻、骆驼刺等优势植物的随机抽样研究资料得出的它们在不同地下水埋深范围内出现频率数据^[3], 经分析, 数据分布属偏态分布, 且是正偏, 因此用对数正态分布, 其概率密度函数为

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

进行拟合, 所得参数见表 1, 曲线如图 1 所示。

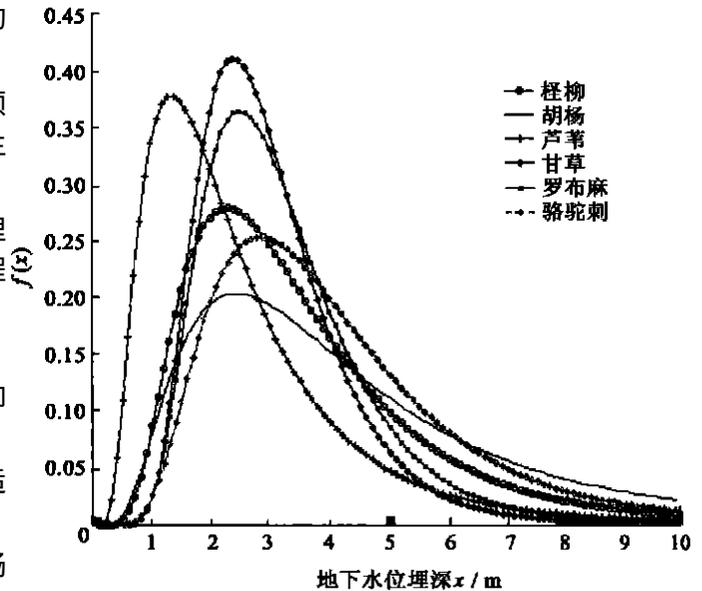


图 1 主要植物生长频率与地下水埋深拟合曲线

Fig. 1 Logarithm normal distribution fitting curves for several major plants

$$Q_{i1} = \sum_j \sum_k A_{ijk} \max(ET_i, EV_k) \tag{4}$$

$$Q_{i2} = \sum_j \sum_k B_{ijk} EV_k \tag{5}$$

$$A_{ijk} = \omega_{jk} p_{ij} A_{ij} \tag{6}$$

$$B_{ijk} = \omega_{jk} (1 - p_{ij}) A_{ij} \tag{7}$$

$$\omega_{jk} = \int_{x_1}^{x_2} f_i(x) dx \tag{8}$$

2 实例研究

以我国西北地区较大的内陆河黑河流域为例。根据 2000 年黑河下游遥感资料, 狼心山以下额济纳旗区域不同盖度的胡杨林、灌丛、草地面积见表 2。根据黑河流域的植被类型, 分别取怪柳作为灌丛类植被的代表, 苦豆子、胖姑娘或甘草作为草地类的代表, 依据植物生长与地下水水位关系模型, 计算得狼心山以下额济纳旗区域的植株蒸腾和棵间潜水蒸发及总生态需水量见表 3。

表 2 狼心山以下天然植被遥感统计
Table 2 RS statistics of natural vegetation

downstream from Langxinshan				km ²
植被名称	高盖度	中盖度	低盖度	合计
胡杨	121.14	117.43	77	315.57
灌木	283.44	537.35	956.84	1777.63
草地	46.65	363.17	3200.34	3610.16

表 3 狼心山以下天然植被生态需水量
Table 3 Ecological water requirement of natural vegetation downstream from Langxinshan 亿 m³

植被名称	植株蒸腾量	潜水蒸发量	合计
胡杨	1.612	0.073	1.685
灌木	0.475	0.662	1.137
草地	0.575	1.916	2.491
合计	2.662	2.651	5.313

从表中可知, 下游狼心山以下总生态需水量为 5.313 亿 m³, 其中植株蒸腾量为 2.662 亿 m³, 占总需水量的 50.10%, 潜水蒸发量为 2.651 亿 m³, 占总需水量的 49.90%, 接近一半。仍需注意的是, 在植株蒸腾里面, 还有一部分无效蒸发。如果在计算植株蒸腾量时, 不管植株蒸腾定额和潜水蒸发定额的大小, 一律取植株蒸腾定额计算, 则狼心山以下植株蒸腾量为 2.009 亿 m³, 比原 2.662 亿 m³ 小 0.653 亿 m³, 这 0.653 亿 m³ 或被其他植被利用或为无效潜水蒸发。

3 计算结果比较

利用本文提出的计算方法所得的上述计算结果与“九五”攻关其他文献所计算的黑河流域额济纳旗生态需水量成果进行比较(表 4)。从生态需水总量分析, 本法计算结果与文献[4~6]相差分别为 18.4%、6.8%、0.4%, 除与文献[4]相差较大外, 与文献[5,6]相差均不超过 10%, 与文献[6]相差仅为 0.4%。与文献[4]相差较大的原因可能是文献[4]计算的是 1989-1995 年期间的年平均生态需水量, 在此期间, 尤其是在前期, 植被状况要比本次及文献[5,6]所用的研究资料的时间 1995 年、1997 年、2000 年的植被状况要好得多。从生态需水强度分析, 本法计算与文献[5,6]相差分别为 6.8%、0.4%, 也不超过 10%。由此可以认为, 本法的计算成果是可信的, 方法是合理的, 可以推广应用于干旱区其他地区或流域的生态需水量计算。

表 4 额济纳旗生态需水量研究成果比较

Table 4 Comparison of some ecological water requirement results in Ejinaqi

成果来源	研究范围	研究面积/km ²	所用研究资料时间	生态需水量/亿 m ³	生态需水强度/(m ³ ·km ⁻²)
文献[4]	狼心山以下		1989-1995	6.508	
文献[5]	额济纳旗	6535.84	1995	5.700	87211
文献[6]	额济纳旗	6599.96	1997	5.337	80864
本法	狼心山以下	5701.38	2000	5.313	93188

4 结 论

本文提出的基于生态适宜性理论建立的植物生长与地下水位关系的对数正态分布偏态模型、利用遥感技术进行生态分区,结合植物生理需水的现场实验数据,计算干旱区天然植被生态需水量的方法是合理的,应用于黑河流域额济纳旗天然生态需水量的计算成果与“九五”攻关其他文献所得的数据比较相差较小,可以推广应用于干旱区其他地区或流域的生态需水量计算。

为了更加准确地计算生态需水,建议在研究区域进行大量的科学的实地随机抽样,并建议遥感应和地面地下水观测工作结合起来,以获取更丰富的原始资料和植被盖度与地下水位的关系数据,使得建立的模型及相应的天然植被生态需水量更加准确。

参考文献:

- [1] 崔树彬. 关于生态环境需水量若干问题的探讨[J]. 中国水利, 2001(8): 71-76.
- [2] Mackenzie A, Ball A S, Virdee S R. Instant notes in Ecology[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 11-17.
- [3] 王 芳. 干旱半干旱区生态需水研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2000. 39-44.
- [4] 内蒙古自治区水利科学研究院, 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 额济纳地区天然绿洲向人工绿洲转化研究[R]. 呼和浩特, 1999. 22-23.
- [5] 李世明, 吕光圻, 李元红, 等. 河西走廊可持续发展与水资源合理利用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999. 109-119.
- [6] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 黑河流域水资源合理利用与社会经济和生态环境协调发展研究[R]. 兰州, 1999. 204-205.

Method for estimating ecological water requirement of natural vegetation in arid area^{*}

ZHANG Li, DONG Zeng-chuan, ZHAO Bin

(Institute of Water Resource and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: According to the ecological appropriate theory, the logarithm normal distribution model between the growth of natural vegetation and the depth of groundwater was established. Based on the model, the quantitative method for ecological water requirement of natural vegetation in arid area is proposed, by using the remote sensing technique to divide the area in the light of different ecological vegetation and the spot tested data of vegetative physiology demand. As an example, the ecological water requirement of natural vegetation in Heihe River basin is computed. Compared with the other related researches, the result is rational. The method is reasonable and can be used in other arid area.

Key words: arid area; natural vegetation; logarithm normal distribution model; ecological water requirement; computing method

^{*} The project is supported by National Key Basic Research of China(No. G1999043608).