

# 湿地生态环境需水量研究

崔保山<sup>1</sup>, 杨志峰<sup>1,2</sup> (1. 北京师范大学环境科学研究所 水环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学水科学研究所, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

**摘要:** 分析了湿地生态环境需水量的内涵和临界阈值, 探讨了湿地生态环境需水量计算方法和相关指标. 对湿地生态需水量和环境需水量各种类型的主要特点、存在特征和关键指标进行了系统剖析, 特别对湿地植物需水量、土壤需水量、野生生物栖息地需水量、补水需水量、防止盐入侵需水量、防止岸线侵蚀及河口生态环境需水量、净化污染物需水量等计算方法和理论模型进行了探讨.

**关键词:** 湿地; 生态环境; 需水量; 存在特征

## Water consumption for eco-environmental aspect on wetlands

CUI Baoshan, YANG Zhifeng (1. Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875; 2. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Beijing 100875)

**Abstract:** The major contents and critical threshold of eco-environmental water consumption on wetlands are analysed. The calculation methods and theoretical models are discussed. The formulas of water consumptions for vegetation, soil, fish and wildlife habitat, hydrological system, salinity control and avoiding of shoreline erosion are given and appraised mainly.

**Key words:** wetlands; eco-environment; water consumption; existing characteristics

湿地及生物多样性保护和合理利用愈来愈引起世界各国的高度重视, 成为国际社会普遍关注的热点<sup>[1-8]</sup>. 为合理利用和保护湿地及生物多样性, 实现区域的可持续发展, 对其敏感因子——水, 进行量化分析和研究, 打破过去只将区域水量配置给工业、农业和城镇人口的传统观念, 积极寻求解决湿地生态环境需水量计算与合理配置的新方法、新途径, 这将为研究区域生态环境整体需水奠定坚实的基础.

### 1 湿地生态环境需水量

生态环境需水量指为基本遏制生态环境恶化趋势, 并逐步改善生态环境质量所需要的水量<sup>[9-11]</sup>. 据有关专家估计, 中国生态环境需水量约 800 亿—1000 亿  $m^3$  (包括地下水的超采量 50 亿—80 亿  $m^3$ ), 主要在黄淮海地区和内陆河流域, 分别为 500 亿  $m^3$  和 400 亿  $m^3$ <sup>[9]</sup>.

按照生态环境需水量的基本特征和表现, 将其分为生态需水量和环境需水量两部分. 生态需水量是为解决生态问题(如保护水生生物、生态防护林等)所需要的水量. 环境需水量是专门为解决环境问题(如污染、保护水环境景观等)所需要的水量<sup>[9,10]</sup>.

湿地生态环境需水量也可以分为湿地生态需水量和湿地环境需水量两部分. 本文按照湿地效益划分湿地生态环境需水量. 湿地效益是湿地所提供的功能、用途和属性的总称, 湿地的效益来源于湿地内部生物、物理、化学组分之间的相互作用过程, 其价值的大小取决于湿地规模大小、作用性质和该湿地所处的人类社会经济环境. 这里所讨论的就是具有一定效益的湿地

收稿日期: 2001-04-02; 修订日期: 2001-09-15

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043605), 国家自然科学基金项目(40101026)

作者简介: 崔保山(1967—), 男, 博士后

生态环境需水量.

依照上述思路,本文认为,广义的湿地生态需水量就是指湿地为维持自身发展过程和保护生物多样性所需要的水量.狭义而言,湿地生态需水量是指湿地每年用于生态消耗而需要补充的水量,主要是补充湿地生态系统蒸散需要的水量;广义的湿地环境需水量是指湿地支持和保护自然生态系统与生态过程、支持和保护人类活动与生命财产以及改善环境而需要的水量,狭义而言,湿地环境需水量是指湿地每年用于环境消耗而需要补充的水量,即补充湿地每年渗漏、防止盐水入侵及补给地下水漏斗、防止岸线侵蚀及河口生态环境需要的水量.以下所讨论的是广义上的概念.

### 2 湿地生态环境需水量的临界阈值

湿地生态环境需水量存在一个临界阈值问题,这里主要从水的年际变化来研究和判定其阈值.根据湿地来水量的差异,丰水年、平水年和枯水年会导致湿地不同的生态特征,特别是湿地边界的明显变化,因而以不同的年份作为评价基础,生态环境需水量的计算结果会明显不同.我们在三类水平年不同需水量的基础上,加入湿地生态环境的理想需水量和最小需水量,如图 1 所示.在这 5 类需水量中,其排序为:丰水年极端用水量( $Q_{极大}$ ) > 丰水年需水量( $Q_{丰}$ )

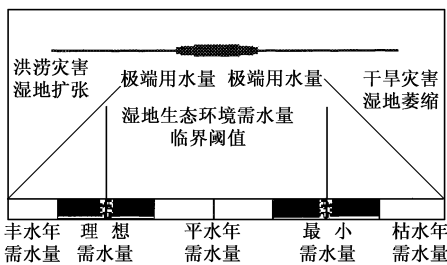


图 1 湿地生态环境需水量临界阈值分析

Fig. 1 The analysis of the critical threshold on eco-environmental water consumption for wetlands

界阈值的必要性.

### 3 湿地生态需水量的计算

在计算某一区域湿地生态需水量时,首先要明确被研究湿地的生态需水量类型,该类型存在与否,可根据其存在特征来判定(表 1).

#### (1) 湿地植物需水量

湿地植物的正常生长所需要的水分就是植物需水量.其中蒸腾耗水和土壤蒸发是最主要耗水项目,占植物需水量的 99%.因而把植物需水量近似理解为植物叶面蒸腾和棵间土壤蒸

理想需水量( $Q_{理}$ ) 平水年需水量( $Q_{平}$ ) 最小需水量( $Q_{小}$ ) 枯水年需水量( $Q_{枯}$ ) > 枯水年极端用水量( $Q_{极小}$ ).其中:

$$Q_{理} = Q_{丰} + Q_{平}, Q_{小} = Q_{平} + Q_{枯}$$

式中,、、、为权重,根据具体区域和湿地功能要求而定.根据上述假定和模式,最终得出的湿地生态环境需水量的临界阈值为: $Q = [Q_{小}, Q_{理}]$ .

实际上,由于对湿地生态环境功能的要求不同,、、、具有可变性, $Q_{小}, Q_{理}$ 本身就存在一个阈值问题,这就更增加了研究湿地生态环境需水量临

表 1 湿地生态需水量存在特征及关键指标

Table 1 The existing characteristics and the key indicators for ecological water consumption on wetlands

需水量类型	存在特征	关键指标
植物需水量	是湿地植物	植被类型
	植被盖度 > 33%	植被盖度
	植被有显著的宽度和长度	植被季相
土壤需水量	是湿地土壤	土壤类型
	土壤有一定的宽度和深度	土壤持水量
		土壤厚度
野生生物栖息地需水量	是野生动物孵化、抚育、栖息地	湿地边界
	植物种子生产、萌发地	湿地面积
	高度的生物多样性	湿地环境梯度
	面积较大,且未受干扰	湿地水周期

发的水量之和,称为蒸散发量<sup>[12-14]</sup>.在正常生育状况下(水分充分满足),常采用彭曼公式计算植物实际蒸散发量.

在估算大区域或流域湿地植物需水量中,常常采用湿地植被面积和蒸散发量的乘积进行植物需水量的计算.从理论公式上可表达为:

$$dW_p/dt = A(t) ET_m(t)$$

式中,  $dW_p$  为植物需水量,  $A(t)$  为湿地植被面积,  $ET_m$  为蒸散发量,  $t$  为时间.

(2) 湿地土壤需水量

湿地土壤需水量与植物生长及其需水量密切相关.

在一定的时空尺度内,土壤中具有一定的含水量,但土壤中的含水量并不能代表土壤的需水量,因此,土壤含水量不是解决土壤需水量的办法,但却是一个参照.不同的湿地土壤,持水量、含水量和水特性不同,需水量就会有差异,通常根据研究的需要,按照前述湿地生态环境需水量阈值特征,或用田间持水量或用饱和持水量参数进行计算,公式为:

$$Q_t = H_t A_t$$

式中,  $Q_t$  为土壤需水量,  $H_t$  为田间持水量或饱和持水量百分比,根据研究的土壤类型而定,为土壤容重,  $H_t$  为土壤厚度,  $A_t$  为湿地土壤面积.

(3) 野生生物栖息地需水量

野生生物栖息地需水量是鱼类、鸟类等栖息、繁殖需要的基本水量.计算原理是:以湿地的不同类型为基础,找出关键保护物种,如鱼类或鸟类,根据正常年份鸟类或鱼类在该区栖息、繁殖的范围内计算其正常水量,为避免与湿地土壤需水量的重复,这里只计算地表以上低洼地的蓄水量(满足野生动物栖息、繁殖的水量).根据现状年湿地的边界土壤、边界植被等确定湿地水梯度和功能边界,然后统计其面积和水深,如图 2 所示. A 为洪水年湿地边界, B 为平水年湿地边界, C 为枯水年湿地边界,以公式  $Q_f = f A_f H_f$  来计算栖息地需水量,式中,  $f$  为 A、B、C,  $Q_f$  为栖息地需水量,  $f$  为由于湿地水梯度而需要的水深订正系数,  $A_f$  为功能边界内湿地面积,  $H_f$  为水平面高度(水深).

根据前面所提出的理想需水量和最小需水量概念,其野生生物栖息地需水量可表示为:

$$Q_1 = 1/6(A_b + A_t + \sqrt{A_t A_b}) \cdot {}_1(T_1 + B)$$

$$Q_2 = 1/6(A_b + A_m + \sqrt{A_m A_b}) \cdot {}_2(T_2 + B)$$

式中,  $Q_1$  为理想需水量,  $Q_2$  为最小需水量,  $A_b$  为湿地区正常年面积,  $A_t$  为洪水期湿地面积,  $A_m$  为枯水期湿地面积,  $T_1$ 、 $T_2$  分别为洪水期、枯水期水平面高度,  $B$  为正常年水平面高度,  ${}_1$ 、 ${}_2$  分别为水平面高度订正系数.

在计算大区域湿地野生生物栖息地需水量时,由于湿地分布广,布点多,上述各指标不可能一一测出,因此,通常情况下,需要根据栖息地水面面积百分比和水深进行计算.水面面积百分比和水深的确定,视湿地类型及研究区生态环境特点而定.通常,确定的水面面积百分比为 10%—40%,水深为 0.5—1.5 m.可以肯定,由水面和沼泽植被共同组成的湿地系统可为水禽提供最佳的栖息场所,水面和沼泽植被面积的相对比率,是决定物种丰富性的重要因素.

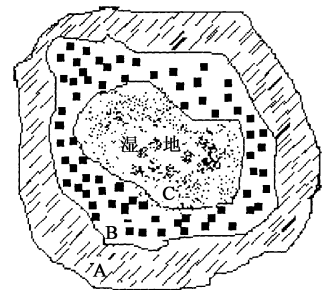


图 2 湿地边界概念模型  
Fig. 2 A concept mode of wetlands boundary

以上述分析为依据,通过水面面积百分比和水深要素计算栖息地需水量,公式为:

$$dW_q/dt = A(t)CH(t)$$

式中,  $W_q$  为生物栖息地需水量,  $A(t)$  为湿地面积,  $C$  为水面面积百分比,  $H(t)$  为水深,  $t$  为时间.

#### 4 湿地环境需水量的计算

同样,在计算湿地环境需水量时,首先要明确各类型存在与否(表2),其存在特征暗示着某一具体需水量的存在.值得一提的是,某一项存在特征的存在有时并不一定证明某一具体地点的某一类需水量的存在,还需要结合该湿地具体的水量平衡原理和实际状况来进行判定.

表2 湿地环境需水量存在特征及关键指标

Table 2 The existing characteristics and the key indicators for environmental water consumption on wetlands

需水量类型	存在特征	关键指标
补水需水量	多孔基底 年降雨量大于蒸发量 位于另一湿地上游 汇水区不透水 通过地表径流向另一湿地补水	水力坡度 渗流剖面面积 渗透系数
防止盐水入侵需水量	有深厚土层的沿海湿地 下层基底是可渗透的 深水井和强度利用井为苦咸水	入流量 出流量
防止岸线侵蚀及河口生态环境需水量	水陆边界地带的植被有显著的宽度和长度 河岸湿地植被宽度大于3米 有泥沙沉积作用 是河口三角洲湿地 湿地植被刚硬和根深	输沙量 沉积速率 植被盖度 植被类型
净化污染物需水量	水流进入湿地后面积减少 有深厚沉积物存在 湿地接收溢岸径流,洪水泛滥 有点源污染物的流入 湿地平浅,植被繁茂	污染物排入量 净化系数

##### (1) 补水需水量

湿地具有补给地下水的功能,实现这一功能是通过渗漏途径完成的.计算公式为:

$$W_b = kIA T$$

式中,  $W_b$  为补水量,  $k$  为渗透系数,  $I$  为水力坡度,  $A$  为渗流剖面面积,  $T$  为计算时段长度.

对于有大面积水稻田(人工湿地)的平原区,水稻生长期的降水入渗和灌溉入渗应一并考虑(可按水稻生长期有效降水量与同期灌溉水量间的比例关系,分别确定两者的数量),其入渗补给量的计算公式为:  $W = TF$

式中, 为水稻田稳渗率,即降水或灌溉水每天平均对地下水的补给量,实验数据表明:粘土 = 1 mm/d,亚粘土 = 1.7 mm/d,亚砂土 = 2.5 mm/d,粉细砂 = 3 mm/d;  $T$  为水稻生长期(包括泡田期),单季稻为 120 d,双季稻为 180 d,  $F$  为水稻田计算面积.

##### (2) 防止盐水入侵需水量

控制地表盐化、避免海水从地下侵入,主要计算洪水洗盐和滨海湿地防止盐水入侵需要的

水量.对于洪水期洗盐而言,根据盐土分布特征、盐土类别及含盐量特点,以达标含盐量(根据要求不同)为依据,假定需要洗盐的盐土含盐量为 1.5%,则溶盐、洗盐需水量为:

$$W_y = (1.5\% - R) A H$$

式中,  $W_y$  为溶盐洗盐需水量,  $R$  为达标含盐量,  $A$  为土壤面积,  $\rho$  为土壤密度,  $H$  为土壤层厚度,  $\alpha$  为溶解度.

对于防止盐水入侵而言,水的汇流随同河流基流一同运行,河段内的蓄水量认定为输沙排盐需水量.在水量平衡的条件下,河段内的蓄水量可用方程表示为: $dS/dt = I(t) - Q(t)$

式中,  $I$  与  $Q$  分别为上游来水量与流入下游水量.按照马斯京贡(Muskingum)的假定<sup>[15]</sup>,  $S$  与  $I$ 、 $Q$  有如下关系: $S = K[wI + (1 - w)Q]$ ,式中,  $w$  为权系数,  $K$  为比例参数,将上述两式合并,得: $K(1 - w)(dQ/dt) + Q = I - Kw(dI/dt)$ .

这样可得到一差分方程  $Q_k = -a_1 Q_{k-1} + b_0 I_k + b_1 I_{k-1}$ ,用来计算下游获得的水量.式中,  $k$  是离散时间,  $a_1$ 、 $b_0$ 、 $b_1$  是系数,差分处理方式不同,  $a_1$ 、 $b_0$ 、 $b_1$  有不同的形式.

### (3) 防止岸线侵蚀及河口生态环境需水量

防止河岸、湖岸和海岸侵蚀,河岸、湖岸的湿地植被是防止岸线侵蚀的屏障,其需水量计算在前面已做分析,如果是红树林湿地,可通过计算红树林植被及其土壤需水量等来确定防止岸线侵蚀需水量.这里主要计算河口生态环境需水量.计算公式为<sup>[11]</sup>:

$$W = S / C_{max}, W \text{ 为输沙需水量, } S \text{ 为多年平均输沙量, } C_{max} \text{ 为多年最大月平均含沙量的平均}$$

$$\text{值,用下式计算: } C_{max} = 1/N \sum_{j=1}^12 \max(C_{ij})$$

式中,  $C_{ij}$  为第  $i$  年  $j$  月的平均含沙量,  $N$  为统计年数.

### (4) 净化污染物需水量

湿地净化污染物的原理和过程主要为稀释和自净<sup>[16-18]</sup>.计算净化污染物需水量需要用到湿地周边的年污水排放量、水质监测资料、河水流量资料、湿地净化率、枯水年湿地最小水量等.

$$\text{从理论上讲,净化污染物需水量模型可由下式来表示: } dW_j/dt = Q_d(t) + Q_r(t)$$

式中,  $W_j$  为湿地净化需水量,  $t$  为时间,  $Q_d$  为点源污水排放量进入湿地量,  $Q_r$  为非点源污水进入湿地总量,  $\alpha$ 、 $\beta$  分别为点源污水和非点源污水的稀释倍数,稀释倍数的计算根据达标排放浓度与地表水国家标准比值而定.

实际情况是,由于湿地面积的限制以及排污量较大,上述公式计算的结果将会很大,需要如此大的水量来对污染物进行稀释是不现实的.另一方面,按照已有的研究资料<sup>[11]</sup>,湿地对污染物 COD 的净化效果是  $0.2 \text{ t/hm}^2$ ,根据这一结果,以黄淮海地区典型沼泽湿地总面积为  $74 \times 10^4 \text{ hm}^2$  为例,能够净化污水仅仅为  $0.015 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,即使将其它类型的湿地一并考虑在内,进入湿地的污水远远高于其净化能力,因此,唯一的途径是大量的污染物在排放前必须得到有效处理.这样,上述理论公式中的  $Q_d(t)$  应改为  $Q_r(t)$ ,即湿地可容纳、可承载点源污水排放量.

## 5 讨论

随着湿地研究的深入,指标量化在湿地研究中的重要性越来越大<sup>[16-20]</sup>.因此,作为湿地与水的关系问题,特别是湿地生态环境需水量中生态需水量和环境需水量的有机整合问题,当前

对其整体认识还处于初期阶段,概念和理论模型并不成熟,需要探索的问题很多,特别是对湿地生态环境功能要求越高,相应的生态环境需水量类型越多,计算也越复杂.这就需要多学科的合作和联系.

本文探讨的湿地生态环境需水量计算问题,主要是从各类型的特定的功能和价值方面进行研究,具有一定的相对独立性,实际上,湿地中的水是互为联系在一起,很难区分出各类型的明显界限,同时,在有些严重缺水或不规则补水地区,特别是农业干旱缺水、河流断流、湖泊干涸、地下水超采、水环境恶化等地区,其湿地生态环境需水量的实际计算就非常困难,尽管理论上是可行的.另一方面,文中提出的一些模型和公式都是从各类型需水量原理的角度进行分析的,在一定的时空尺度内,需要特定的观测、采样,还需要大量的资料数据改进和修正各种参数,使其最终反应实际的需水特征.其次,上述大部分公式并没有将阈值理论直接考虑在内,实际上,每一种需水量类型都存在一个阈值问题,其整合后的最终需水量也具有阈值特征,因此,在研究具体区域时,需要同时评价这些特征.第三,需要指出的是湿地生态环境需水量各类型的相互兼容性问题.如上述公式中提到的生物栖息地和净化污染物需水量就有重复计算问题,如果生物栖息地需水量大于净化污染物需水量,则前者兼容后者,反之,后者兼容前者.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 陈宜瑜,主编.中国湿地研究[M].长春:吉林科学技术出版社,1995.262—268
- [ 2 ] Hughes R M, Whittier T R, Thiele J E, *et al.* Lake and stream indicators for the United States environmental protection agency's environmental monitoring and assessment program[A]. In: Daninel H, Mckenzie D, Hyatt E, *et al.* Ecological Indicators[C]. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992. 305—335
- [ 3 ] Wheeler B D. Introduction: Restoration and wetlands[A]. In: Wheeler B D, Shaw S C, Fojt W J, *et al* (eds.). Restoration of Temperate Wetlands[C]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1995. 1—18
- [ 4 ] Henry C P, Amros C. Restoration Ecology of Riverine Wetlands: I. A Scientific Base[J]. Environmental Management, 1995, 19(6): 891—902
- [ 5 ] Henry C P, Amros C, Guliani Y. Restoration ecology of riverine wetlands: An example in former channel of the Rhone River [J]. Environmental Management, 1995, 19(6): 891—902
- [ 6 ] Metzker K D, Mitsch W J. Modelling self—design of the aquatic community in a newly created freshwater wetland[J]. Ecological Modelling, 1997, (100): 61—86
- [ 7 ] Shukla V P. Modelling the dynamics of wetland macrophytes: Deoladeo National Park Wetland, India[J]. Ecological Modelling, 1998, (109): 99—114
- [ 8 ] Lamers L P M, Tomassen H B M, Roelofs G M. Sulfate- Induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands[J]. Environ Sci Technol, 1998, (32): 199—205
- [ 9 ] 朱建盈.二十一世纪中国的水供求[J].中国水利, 2000, (1): 21—22
- [ 10 ] 谢新民,杨小柳.半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,1999.228—229
- [ 11 ] 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): 496—500
- [ 12 ] 刘昌明,王会肖等著.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,1999.10—18
- [ 13 ] 武吉华,主编.自然资源评价基础[M].北京:北京师范大学出版社,1999.35—51
- [ 14 ] Adamus P R. Choices in monitoring wetlands[A]. In: Daninel H, Mckenzie D, Hyatt E, *et al.* Ecological indicators[C]. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992. 571—592
- [ 15 ] 王 铮,丁金宏,等著.理论地理学概论[M].北京:科学出版社,2000.159—161
- [ 16 ] Martin J F, Reddy K R. Interaction and spatial distribution of wetland nitrogen processes[J]. Ecological Modelling, 1997, 105: 1—21
- [ 17 ] Mitsch W J. Ecological indicators for ecological engineering in wetlands[A]. In: Daninel H, Mckenzie D, Hyatt E, *et al* (eds.). Ecological Indicators[C]. Barking: Elsevier Science Publisher Ltd, 1992. 537—558
- [ 18 ] Mitsch W J, Reader B C. Modelling nutrient retention of a freshwater coastal wetland: estimating the roles of primary productivity, sedimentation, resuspension and hydrology[J]. Ecological Modelling, 1991, 54: 151—187