

Research on Ecosystem Services Based on Ecological Water Requirement for Wetland

Chuanbao Jing, Wei Zhang*

College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan Shandong
Email: *544734799@qq.com

Received: Feb. 6th, 2018; accepted: Feb. 21st, 2018; published: Feb. 28th, 2018

Abstract

Wetland, an important ecological system, has irreplaceable ecosystem service value. The area of natural wetland decreases rapidly in recent years [1] [2] [3]; the study on ecosystem service function of wetland becomes a hot topic. Wetland system is a complicated natural system. However, in past several decades, people unilaterally emphasize the function and composition of wetland ecosystem or studied as a whole. It becomes a question to study its ecological function with system theory. So, in this paper, the system theory is an integral theoretical basis to study water requirement of wetland ecosystem. We build a dynamic balance with water requirement of ecology to get the balance equation about wetland system of the ecological water requirement. Then the ideal model is defined as the best function of wetland ecosystem based theory above. The model could avoid the repetition of the different water requirement. In the end, we discuss the application of the model under different management objectives and the best control model. The ideal model could be used for managers to estimate the health of wetland ecosystem, look for the reasons and restore them.

Keywords

Wetland Ecosystem, Ecosystem Services, Water Requirement, System Theory

基于生态需水量的湿地生态系统服务 功能研究

靖传宝, 张 伟*

山东师范大学地理与环境学院, 山东 济南

*通讯作者。

摘要

湿地作为一种重要的生态系统,具有不可替代的生态功能,近年来天然湿地面积骤减[1] [2] [3],湿地生态系统服务功能严重降低,其保护工作紧迫而复杂。湿地作为一个复杂的自然生态系统,具有整体性,之前的研究仅局限于其某一或某几个功能是远远不够的。如何从湿地生态系统整体性探讨湿地的生态系统服务?本文以系统论为理论基础,从生态需水量角度出发,结合水文-生态法和生态功能法,建立湿地系统的各生态需水量之间的湿地生态需水量平衡方程,并基于此,建立湿地生态系统的理想状态模型,在不同管理目标下探索了实现湿地生态服务功能最优化的调控方式,同时,避免了以往生态需水量的重复计算问题。本文是对湿地生态系统服务功能的进一步探索,将丰富湿地保护和管理工作的理论基础。

关键词

湿地生态系统, 生态服务功能, 生态需水量, 系统论

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湿地是指天然的或人工的、永久的或暂时的沼泽地、泥炭地或水域地带,带有静止或流动、淡水或半咸水及咸水水体,包括低潮时水深不超过6 m的海域[4] [5]湿地生态系统服务是指人类从湿地中获得的效益[6]。湿地可以提供重要的生态系统服务功能[7]。《全国湿地保护“十三五”实施规划》的出台标志着我国湿地从“抢救性保护”阶段迈入“全面保护”新阶段,也标志着湿地保护工作提升到了新的高度。

湿地生态需水量对湿地生态系统功能的发挥具有直接影响,因此,必须对湿地生态需水量进行更为深入的研究。生态需水量的研究起源于保障河道航运功能和保障渔业发展[8] [9] [10] [11]。其研究可大体分为两种方法:生态功能法和水文-生态法。生态功能法是以湿地生态系统的组成及功能特征为基础,对其中涉及到的各种需水量分项计算,包括湿地植物需水量、生物栖息需水量、湿地土壤需水量、防止盐水入侵需水量、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[12] [13]。各湿地需水量中,植物需水量土壤需水量、生物栖息地需水量的研究最多、应用最广[14] [15] [16] [17],其他湿地需水量,如补给地下水需水量[18] [19] [20]、防止盐水入侵需水量、水面蒸发需水量[21]、净化污染物需水量以及河流输沙需水量[22]也均有研究。水文-生态法是融合的生态学和水文学方法,其水文参数可为水量、流速、水位等[23],具体方法包括水量平衡法[24] [25] [26]、生态水位法[27] [28]、物质平衡[29]等。纵观国内外研究,目前湿地生态需水量主要存在以下研究不足:1) 生态功能法在各种需水量分项计算过程中存在重复计算问题,且主要集中在湿地生态系统某一或某几个生态功能的需水量,缺乏整体性思维;2) 水文-生态法无法获得类似于生态功能法那样具体的分项需水量。

基于研究湿地生态需水量的重要性以及目前研究的不足, 结合上述两种方法, 试图通过水量平衡建立各生态需水量之间的动态平衡关系, 全面构建适合湿地生态系统保护的顶层设计, 一方面将增加各类湿地生态需水量之间的联系, 构建起基于生态需水量湿地保护新框架, 丰富湿地生态保护的理论基础, 发挥湿地的生态服务功能; 另一方面, 为下一步从全局的角度科学合理的配备生态用水和湿地生态保护提供科学依据。

2. 理论基础

不同专业背景的学者对湿地生态需水量理解不尽相同, 大体可分为环境需水和生态需水两部分。有些学者从环境需水的角度论述, 将湿地生态需水量定义为维持湿地生态系统水分平衡所需要的水量, 其中包括水热平衡、水量平衡、水沙平衡和水盐平衡。如, 刘昌明[16]等。有些学者则从生态角度论述, 提出了湿地生态环境需水量即维护湿地生态正常, 每部分生态因素需水之和, 并将湿地生态需水和湿地环境需水割裂开来。如崔保山、杨志峰[17] [18] [19] [21]。根据生态系统的定义, 生态系统是一定空间内有机生物与无机环境所构成的有机整体。本文将湿地生态需水量定义为维持湿地正常生态系统所需需水量, 其中生态需水量包含环境需水量。

3. 研究方法

3.1. 湿地生态需水分项计算方法

满足湿地生态功能的需水类型主要包括: 满足各种生态功能需水量包括湿地植物需水量(认为其等于植被蒸散发需水量); 湿地土壤需水量; 生物栖息地需水量; 补给地下水需水量; 防止盐水入侵需水量; 水面蒸发需水量; 净化污染物需水量以及河流输沙需水量。

本文通过查阅湿地生态需水量相关文献, 对相应公式进行演化、推理, 得到各生态需水量的计算公式(表 1)。

3.2. 系统论下的湿地生态需水量模型构建

地表流域系统的水量平衡方程遵循整体性原理、相关性原理和动态性原理。湿地生态系统需水量与地表水系统密切相关, 因此选择地表流域系统的水量平衡方程为起点, 应用严密的数学方法推导, 探索各湿地需水量之间的相关性, 构建基于生态需水量及系统论的湿地生态系统理想状态模型。

地表流域系统的水量平衡方程, 即

$$\pm W = P_0 + I - R - E \quad (1)$$

其中, W 为瞬时地表水蓄变量; P_0 为瞬时降雨量; I 为瞬时径流输入; R 为瞬时径流输出; E 瞬时蒸发输出。

将式(1)展开得式(2):

$$\pm W = P_0 + (I_s + I_g) - (R_s + R_g) - (E_s + E_p + E_w) \quad (2)$$

其中, I_s 和 I_g 分别为瞬时区域外地表水入流和地下水入流; R_s 和 R_g 分别为瞬时地表径流输出量和地下水径流输出; E_s 、 E_p 和 E_w 为土壤水蒸发速度、植物水蒸发速度和水面水蒸发速度。

由于需水量为正值, 对式(2)等号两侧积分得:

$$\int \Delta W dt = \int [P_0 + (I_s - R_s) + (I_g - R_g) - (E_s + E_p + E_w)] dt \quad (3)$$

Table 1. Computing method of water requirement
表 1. 各需水量的计算方法/m³

生态需水类型	采用公式	变量说明
植被蒸散发需水量	$Q_p = \sum_{i=1}^n E_{p_i} \lambda_{p_i} S_A$	Q_p 为植被年蒸散发需水量(m ³); E_{p_i} 为第 i 种植被的年蒸散发量; λ_{p_i} 为第 i 种湿地植物面积占湿地总面积的百分比。
水面蒸发需水量	$Q_{EW} = 1/n \sum_{i=1}^n (E_{w_i} S_{w_i})$ $Q_{SO} = \max(Q_{SOE}, Q_{SOO})$	Q_{EW} 为年水体的净蒸发损失量(m ³); n 为统计年数; E_{w_i} 为第 i 年水面蒸发量(m); S_{w_i} 为第 i 年水体面积。
湿地土壤需水量	$Q_{SOE} = \alpha \gamma H_{SO} S_{SO}$ $S_{SO} = \lambda_{SO} S_A$ $Q_{SOO} = (C_0 - C) S_{SO} \rho_{SO} H_{SO} \times 10^{-6} / \beta$	Q_{SO} 为土壤需水量; Q_{SOE} 为土壤生态需水量; Q_{SOO} 为土壤环境需水量; α 为田间持水量或饱和持水量百分比; γ 为土壤容重; H_{SO} 为土壤厚度; S_A 为湿地总面积; S_{SO} 为土壤面积。 λ_{SO} 为土壤面积占湿地总面积的百分比; C_0 为湿地土壤盐分初始含盐量(%), C 为湿地土壤盐分控制含盐量(%), ρ_{SO} 为土壤密度(kg/m ³); β 为盐分在水中的溶解度(g/100g)。
生物栖息地需水量	$S_w = \lambda_w S_A$ [30] $Q_a = H_a S_w$	Q_a 为生物栖息地需水量; S_w 为由最适水深确定的最适水面面积; λ_w 为水面面积占湿地总面积的百分比; H_a 为最适水深。
河流的基流态需水量	$Q_b = \lambda_w H_{min} S_A u$ $H_{min} = 1/n \sum_{i=1}^n H_i$	Q_b 表示河流基流生态需水量; H_{min} 为多年最低水深的平均值; u 为换水周期; H_i 为第 i 年的最低水位值(m)。
补给地下水需水量	$Q_g = K I S_w t$ [30]	Q_g 为湿地地下水补给量; K 为渗透系数; I 为水利坡度; S_w 为渗流剖面面积。
河流输沙需水量	$Q_{sa} = Q'_{sa} / C_{sa}$	Q_{sa} 为输沙需水总量(m ³); Q'_{sa} 为年来沙量; C_{sa} 为最大含沙量(kg/m ³)。
净化污染物需水量	$Q_c = (Q'_c C) / C'$	Q_c 为湿地净化污染物需水量; H_c 为最大排污量时, 在控制目标下的最小水位。

式中 $\int \Delta W dt$ 即 t 时间内的蓄水量; $\int (I_s - R_s) dt$ 为 t 时间内的地表径流差; $\int P_0 dt$ 为 t 时间内的降水量; $\int (I_g - R_g) dt$ 为 t 时间内地下水变化量; $\int (E_s + E_p + E_w) dt$ 为 t 时间内的蒸散发量。

由式(3)进一步推导得:

$$\Delta Q_A = \Delta Q_r + Q_g - Q_{Eso} - Q_p - Q_{EW} + Q_{ra} \quad (4)$$

其中 t 取 1 年, 之后的研究都将以年为研究周期。 ΔQ_A 为总蓄水量年变化量; ΔQ_r 为地表年径流量差; Q_g 为补给地下水(渗漏)需水量, 考虑湿地补给地下水的功能, 认为 $I_g < R_g$, 则 $Q_g = \int (R_g - I_g) dt$; Q_{Eso} 土壤蒸散发年需水量, $Q_{Eso} = \int E_s dt$; Q_p 为植物需水量, $Q_p = \int E_p dt$; Q_{EW} 为水面年蒸发量, $Q_{EW} = \int E_w dt$; Q_{ra} 年降水输入量。

由于, 总蓄水量年变化量为土壤水储量差(ΔQ_s)与地表水蓄水量差(ΔQ_w)之和, 又有, 土壤水储量变化量为年末土壤储水量(Q'_{SOO})与年初土壤储水量(Q_{SOO})之差(假设 $Q'_{SOO} > Q_{SOO}$)和地表水蓄水量变化量为年末地表水蓄水量(Q'_w)与年初地表水蓄水量(Q_w)之差(假设 $Q'_w > Q_w$), 将以上表达式代入式(4)可得到式(5), 即建立起状态变量(Q'_w 、 Q_w 、 Q'_{SOO} 和 Q_{SOO})与输入变量(ΔQ_r 、 Q_g 和 Q_{ra})、输出变量(Q_{Eso} 、 Q_p 和 Q_{EW})之间的等式关系:

$$Q'_w + Q'_{SOO} - Q_w - Q_{SOO} = \Delta Q_r + Q_g + Q_{ra} - Q_{ESO} - Q_P - Q_{EW} \quad (5)$$

至此, 建立起湿地系统的各生态需水量之间的动态平衡方程, 满足平衡方程即可达到在特定管理目标下的理想状态。特定生态管理目标下的湿地生态系统的理想状态是指, 在特定的管理目标下(如满足净化污染物需要等), 湿地系统各项生态功能发挥最为均衡, 实现整体功能最大化健康发展。

4. 结论

由于湿地本身是复杂的自然生态系统, 要实现湿地生态功能最大化必须以系统论为基础, 关注湿地各生态功能之间的联系, 宏观调控湿地各生态需水量, 在特定的生态管理目标下实现湿地生态服务功能最大化。本文即立足于系统论, 在不考虑周边地区城市生活及工农业用水的情况下, 结合水文-生态法和生态功能法, 利用生态需水量探讨在特定管理目标下的湿地生态系统, 为湿地生态系统的保护提供理论依据, 主要研究内容及成果体现在以下几个方面:

1) 本文在计算生态需水量时, 充分考虑了各种生态功能的生态需水量之间的相关性, 避免了当前生态需水量的计算过程中的重复计算问题。

2) 结合水文-生态法和生态功能法, 通过地表水系统水量平衡方程进一步推倒, 探索得到各湿地需水量之间与水量平衡方程中物理量之间的联系, 建立湿地各需水量之间的动态平衡方程, 实现了湿地各需水量直接的联系。

$$Q'_w + Q'_{SOO} - Q_w - Q_{SOO} = \Delta Q_r + Q_g + Q_{ra} - Q_{ESO} - Q_P - Q_{EW}$$

方程的等式左侧为状态变量年末地表水蓄水量(Q'_w)、年初地表水蓄水量(Q_w)、年末土壤储水量(Q'_{SO})、年初土壤储水量(Q_{SO})构成, 右侧为输入变量(地表年径流量差(ΔQ_r))、补给地下水(渗漏)需水量(Q_g)和年降水输入量(Q_{ra})和输出变量(土壤蒸散发年需水量(Q_{ESO}))、植物需水量(Q_P)和 Q_{EW} 为水面年蒸发量)。

5. 讨论

理想状态模型即湿地各需水量之间的动态平衡方程将为湿地保护提供一个有效的顶层设计, 下面针对几种主要的湿地管理目标讨论模型在湿地保护中的应用。

5.1. 基于地表水蓄水量的湿地理想状态模型的应用

与地表水蓄水量相关的湿地需水量类型包括: 生物栖息需水量, 净化污染物需水量和河流输沙需水量。首先定义湿地净化污染物最大排放量时的湿地蓄水量(Q'_c)和最大含沙量时湿地蓄水量(Q'_{sa})。

$$Q'_c = Q_c / u; \quad Q'_{sa} = Q_{sa} / u \quad (6)$$

其中 u 为换水周期。

其次, 将式(5)移项得到式(7)

$$Q'_w = \Delta Q_r + Q_g + Q_{ra} + Q_w + Q_{SOO} - Q_{ESO} - Q_P - Q_{EW} - Q'_{SOO} \quad (7)$$

当需保证植物生长, 净化污染物和河流输沙要求时, 具体的调控方式为: 首先将湿地净化污染物最大排放量时的湿地蓄水量(Q'_c)、最大含沙量时湿地蓄水量(Q'_{sa})和生物栖需水量(Q_a)分别于方程中年末地表水蓄水量(Q'_w)的计算值比较, 根据比较结果相应采取不同的调控措施(图 1)。

5.2. 基于土壤需水量的湿地理想状态模型的应用

当需要满足土壤需水量湿地管理目标时, 式 5 可以转化为:

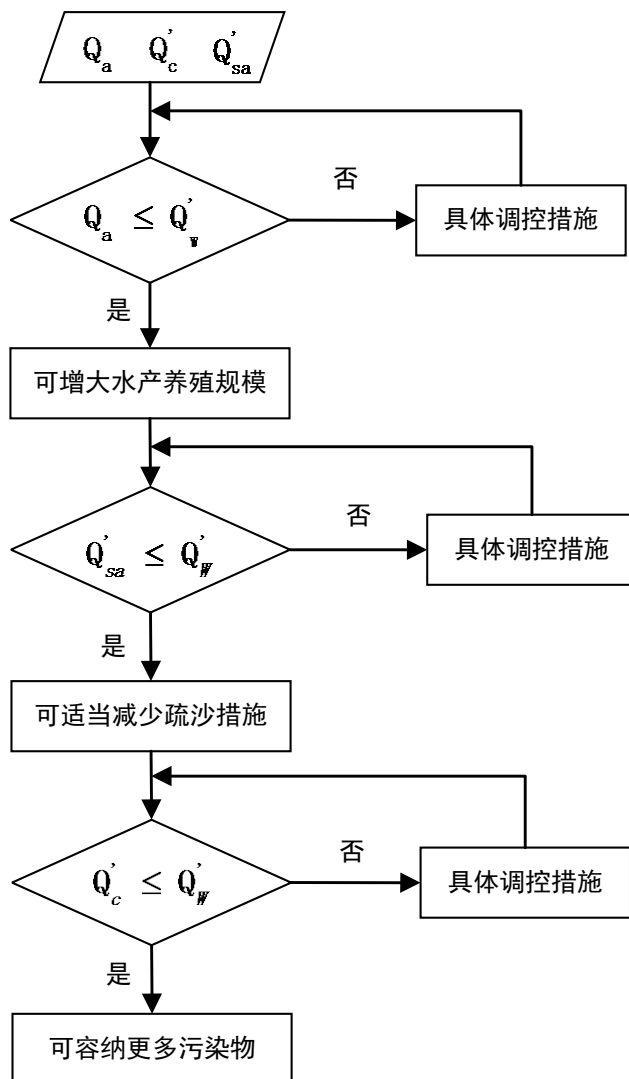


Figure 1. Control based on surface water storage
 图 1. 基于地表水蓄水量的调控

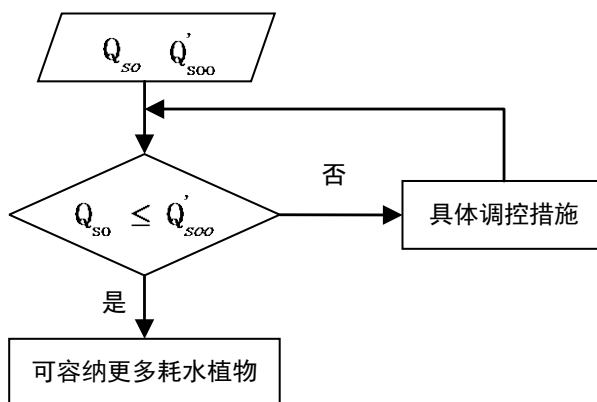


Figure 2. Control based on soil water requirement
 图 2. 基于土壤需水量的调控

$$Q'_{SOO} = \Delta Q_r + Q_g + Q_{ra} + Q_w + Q_{SOO} - Q_{ESO} - Q_p - Q_{EW} - Q'_{SOO} - Q'_w \quad (8)$$

根据上述方程, 具体的调控方式是将湿地土壤需水量 (Q_{SO}) 与方程中计算得到的年末土壤储水量 (Q'_{SOO}) 比较, 根据比较结果相应采取不同的调控措施(图 2)。

本文应用理想状态模型以常见的湿地管理目标(满足生物栖息、净化污染物、河流输沙和土壤需水量)为例, 探索了理想状态模型的实践意义。理想状态将实现对湿地生态系统各需水量的宏观调控, 丰富了湿地保护的理论基础, 同时, 为不同管理目标下的湿地保护工作提供了强大的理论依据。本文只提供阐明宏观理论支持, 具体研究方法有待进一步完善。

参考文献 (References)

- [1] Davidson, N.C. (2014) How Much Wetland Has the World Lost? Long-Term and Recent Trends in Global Wetland Area. *Marine & Freshwater Research*, **65**, 936-941. <https://doi.org/10.1071/MF14173>
- [2] Niu, Z.G., Zhang, H.Y., Wang, X.W., et al. (2012) Mapping Wetland Changes in China between 1978 and 2008. *Chinese Science Bulletin*, **57**, 2813-2823. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5093-3>
- [3] 毛德华, 王宗明, 罗玲, 等. 1990-2013 年中国东北地区湿地生态系统格局演变遥感监测分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1253-1263.
- [4] Mao, D.H., Wang, Z.M., Luo, L., et al. (2016) Monitoring the Evolution of Wetland Ecosystem Pattern in Northeast China from 1990 to 2013 Based on Remote Sensing. *Journal of Natural Resources*, **31**, 1253-1263.
- [5] 国家林业局《湿地公约》履约办公室编译. 湿地公约履约指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [6] Bledzki, L.A. Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water. Synthesis. <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>
- [7] Camacho-Valdez, V., Ruiz-Luna, A., Ghermandi, A. and Nunes, P.A.L.D. (2013) Valuation of Ecosystem Services Provided by Coastal Wetlands in Northwest Mexico. *Ocean and Coastal Management*, **78**, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.017>
- [8] Armbruster, J.T. (1976) An Infiltration Index Useful in Estimating Low-Flow Characteristics of Drainage Basins. *Journal of Research of the US Geological Survey*.
- [9] Richter, B., Baumgartner, J., Wigington, R., et al. (1997) How Much Water Does a River Need? *Freshwater Biology*, **37**, 231-249. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x>
- [10] Smakhtin, V.U. (2001) Low Flow Hydrology: A Review. *Journal of Hydrology*, **240**, 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)
- [11] Geoffrey, E.P. (1996) Water Allocation to Protect River Ecosystems. *Regulated Rivers: Research & Management*, **12**, 353-365. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199607\)12:4/5<353::AID-RRR425>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199607)12:4/5<353::AID-RRR425>3.0.CO;2-6)
- [12] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲. 生态环境需水量理论、方法与实践[M]. 北京: 北京科学出版社, 2003.
- [13] 崔保山, 李英华, 杨志峰. 基于管理目标的黄河三角洲湿地生态需水量[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 606-614.
- [14] Golbert, J., Gowing, D., Spoor, G., et al. (1996) Quantifying the Hydrological Requirements of Plants as a Tool for the Water Management of Wet Grassland. *IEEE*.
- [15] (2000) Estimating the Water Requirements for Plants of Floodplain Wetlands: A Guide. Land and Water Resources Research & Development Corporation, Australia.
- [16] 董李勤, 章光新, 张昆. 嫩江流域湿地生态需水量分析与预估[J]. 生态学报, 2015, 35(18): 6165-6172.
- [17] 奚歌, 刘绍民, 贾立. 黄河三角洲湿地蒸散量与典型植被的生态需水量[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5356-5369.
- [18] 赵东升, 吴正方, 商丽娜. 洪河保护区湿地生态需水量研究[J]. 湿地科学, 2004, 2(2): 133-138.
- [19] 李加林, 赵寒冰, 刘闯, 等. 辽河三角洲湿地生态环境需水量变化研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 129-134.
- [20] 白元, 徐海量, 张青青, 等. 基于地下水恢复的塔里木河下游生态需水量估算[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 630-640.
- [21] 孙栋元, 杨俊, 胡想全, 等. 基于生态保护目标的疏勒河中游绿洲生态环境需水研究[J]. 生态学报, 2017, 37(3): 1008-1020.
- [22] 张长春, 王光谦, 魏加华. 基于遥感方法的黄河三角洲生态需水量研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 149-152.
- [23] 周林飞, 许士国, 李青山, 等. 扎龙湿地生态环境需水量安全阈值的研究[J]. 水利学报, 2007, 38(7): 845-851.

-
- [24] 陈敏建, 王立群, 丰华丽, 等. 湿地生态水文结构理论与分析[J]. 生态学报, 2008, 28(6): 2887-2893.
- [25] 唐蕴, 王浩, 严登华. 向海自然保护区湿地生态需水研究[J]. 资源科学, 2005, 27(5): 101-106.
- [26] 李九一, 李丽娟, 姜德娟, 杨俊伟. 沼泽湿地生态储水量及生态需水量计算方法探讨[J]. 地理学报, 2006(3): 289-296.
- [27] 衷平, 杨志峰, 崔保山, 等. 白洋淀湿地生态环境需水量研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(8): 119-126.
- [28] 杨柳, 马克明, 白雪, 等. 洪河国家级自然保护区最小生态需水量与补水分析[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4501-4507.
- [29] 王效科, 赵同谦, 欧阳志云, 等. 乌梁素海保护的生态需水量评估[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2124-2129.
- [30] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量研究[J]. 环境科学学报, 2002, 2: 219-224.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ije@hanspub.org