

沼泽湿地生态储水量及生态需水量计算方法探讨

李九一^{1,2}, 李丽娟¹, 姜德娟^{1,2}, 杨俊伟^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 沼泽是最典型的湿地类型之一, 具有重要的水文和生态功能, 尤其是在生物多样性保护方面发挥着不可替代的作用。本文提出了沼泽湿地生态储水量的概念与内涵, 界定了其与生态需水量的区别与联系, 探讨了两者的计算依据与方法, 并以扎龙湿地为实例进行了计算。根据生态储水量与生态需水量, 可以确定沼泽湿地生态用水合理规模。实际用水配置中应以湿地系统的自然条件为基础, 考虑生态功能需要, 根据实际水资源丰枯情况, 确定合理的补水规模, 保证湿地储水量在时空尺度上合理变化, 实现水资源的合理配置。

关键词: 沼泽湿地; 生态储水量; 生态需水量; 扎龙

湿地是地球上最具生产力的生态系统之一, 也是最富生物多样性的系统之一, 在自然界中发挥许多至关重要的生态功能和净化环境的作用, 具有重要的社会、经济和生态效益^[1-3]。湿地及其生物多样性保护和合理利用越来越受重视, 已经成为国际社会普遍关注的热点^[4]。研究其生态需水量问题, 有利于实现流域水资源的合理开发、配置和利用, 促进水资源的可持续发展^[5]。

沼泽是最典型的湿地类型之一, 具有重要的水文和生态功能, 尤其是在生物多样性保护方面发挥着不可替代的作用。本文以湿地的生态保护和科学管理为目的, 探讨沼泽湿地生态储水量以及生态需水量的概念和计算方法, 并给出了其合理配置的原则与方法。

1 研究现状

生态需水研究是生态水文学的重要研究内容之一, 通过对生态需水量的计算, 能够分析人类活动对生态需水的挤占程度, 从而为生态恢复与环境保护和水资源合理配置提供科学依据^[6, 7]。

国外对生态需水量的研究主要集中在河流系统上, 沼泽湿地系统的研究相对较少, 主要是评价人类活动用水对湿地的影响^[8-10], 以及个别沼泽湿地生态需水计算实例^[11-15]。

国内对生态需水量的研究起步比较晚, 但近年来发展较快。刘昌明^[16]指出了自然生态与人类环境用水需遵循的四大平衡原则, 即水热(能)平衡、水盐平衡、水沙平衡及区域水量平衡与供需平衡。贾宝全等^[17]、李丽娟等^[18]、刘静玲等^[19]分别探讨了绿洲、河流、湖泊生态系统的生态需水量的内涵, 并给出了相关的概念和计算方法。湿地生态需水量的研究, 主要集中在典型湿地生态需水量的内涵和临界阈值的确定, 湿地生态系统需水量的计算方法和相关指标的探讨等方面^[4, 19-21]。

崔保山等^[4, 21]认为湿地生态需水量是指湿地为维持自然生态系统、保护生物多样性、支持和保护人类活动以及改善环境所需要的生态和环境水量, 并给出了相应的计算方法,

收稿日期: 2005-09-08; 修订日期: 2006-01-7

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571029)和中国工程院重大咨询课题东北地区水与生态关系研究 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40571029]

作者简介: 李九一(1982-), 男, 辽宁建昌人, 硕士, 中国地理学会会员, 主要从事生态需水研究。

E-mail: lijuyi@igsnr.ac.cn

在沼泽湿地生态需水量计算中得到广泛应用^[22-25]。这种方法的计算结果包括两部分水量,一部分是湿地内合理的蓄存水量,以保障湿地基本功能;另一部分是每年需要补充的水量,以维持湿地功能不受破坏。这两部分水量都是湿地所必需的,但以这个水量作为湿地生态需水量是不合理的。湿地生态需水量计算是为湿地配水服务的,沼泽湿地生态需水量应指湿地每年因消耗而需要补充的水量,即后一部分水量,而前一部分水量并不需要每年进行更新,不应该列入湿地生态需水量之中。但另一方面,合理的蓄存水量是保证湿地正常功能的基础,必须加以考虑。基于此,作者对湿地蓄存水量单独讨论,界定了其与生态需水量的区别与联系,探讨了两者的计算依据及方法。

2 沼泽湿地生态储水量

郑红星等^[26]指出生态系统储水量是指其所处的特定时空范围内储存的或可获取的天然存在的水,据此,湿地生态系统内蓄存的水量称为湿地储水量。储水量在一定的范围内,湿地生态系统处于健康状态,此水量范围可称为沼泽湿地生态储水量。沼泽湿地生态储水量指健康状态下的沼泽生态系统包含的地表水、地下水和土壤水总和,是一个范围,具有最小、最佳、最大等特征值。

2.1 地表水储水量

沼泽湿地需要有一定的地表水量,以满足芦苇等水生植物的生长和水禽的栖息、繁殖等需要。地表水量和水位直接对应,可以通过水位来确定沼泽湿地储水量。

为保证湿地动植物的生存条件,水位不能过低,也不能过高。沼泽湿地水位特征值包括最低水位(H_L)、最高水位(H_H)和最佳水位(H_B)。可根据关键保护物种(如重要水禽)所需的最小水面面积及水深要求,确定最低水位;在水陆交错地带通常有优势水生植物(如芦苇)生长,可根据优势水生植物的生长水位条件确定最高水位;最佳水位介于两者之间,可根据关键保护物种(如水禽和芦苇)的最佳需水条件确定。水位的确定是一个很复杂的过程,需要考虑的因素很多,除了动植物的生存和生长,还要考虑水产、景观等因素,需要根据沼泽湿地的具体情况来分析。

最低、最佳、最高水位对应的沼泽湿地地表储水量分别称为最小(W_{SL})、最佳(W_{SB})、最大(W_{SH})地表储水量。水位和湿地地表储水量之间的对应关系,可以查找相关资料或者应用DEM数据计算,对于缺乏这些资料的区域,可用平均水深乘以水面面积估算,即

$$W_{Si} = A_{Si} H_i \quad (1)$$

式中: $i = L, B, H$,分别为最低、最佳、最高特征值; A_{Si} 、 H_i 、 W_{Si} 分别为相应特征值下的水面面积、平均水深、湿地地表储水量,单位分别为 m^2 、 m 、 m^3 。

2.2 地下水及土壤水储水量

地下水位的变化是相当复杂的,地下水和土壤水的界面难以区分,所以一起计算。地下水的水位较高、土壤水分含量较大时,地下水和土壤水蓄存的水量大,反之则小。为了计算需要,认为地下水水位升降是和地表水同步的。实际上,两者变化并不相同,但存在一定的对应关系,可以根据地表水位的变化情况对地下水位的变化进行估计。

地下水及土壤水总量取决于于土壤体积及其含水百分比。根据假设,地表水位处于最低值时地下水位也最低,此水位面以下的土壤常年处于饱和状态,水量没有变化,计算时只需考虑此水位面以上的土壤中的水量。则土壤计算体积为水位最低时的平均地下水埋深和陆面面积的乘积。不同类型土壤的土壤含水量指标有很大区别,在实际计算中,需要根据沼泽湿地的土壤条件选取合理值。

地表水水位为最低水位、土壤含水量为植物生长要求的最低含水量时,地下水和土壤水总量为最低储水量;地表水水位为最佳水位、土壤含水量为植物生长最适含水量时,

地下水及土壤水总量为最佳储水量; 地表水水位为最高水位、土壤含水量为田间持水量时, 地下水及土壤水总量为最高储水量。即最低、最佳、最高地下水及土壤水储水量为:

$$W_{GL} = a_L A_{GL} T_L \quad (2)$$

$$W_{GB} = a_B A_{GL} T_L + (a_S - a_B) (A_{GL} + A_{GB}) (H_B - H_L)/2 \quad (3)$$

$$W_{GH} = a_H A_{GL} T_L + (a_S - a_H) (A_{GL} + A_{GH}) (H_H - H_L)/2 \quad (4)$$

式中: A_{GL} 为水位最低时的陆面面积, 单位为 m^2 ; T_L 为最低水位时非饱和土壤层平均厚度, 单位为 m ; a_L 、 a_B 、 a_H 、 a_S 分别为最低土壤水体积百分比含量、最适土壤水体积百分比含量、田间持水体积百分比含量、饱和土壤水体积百分比含量, 这些参数因土壤类型有很大区别; H_L 、 H_B 、 H_H 分别为地表水最低、最佳、最高水位, 单位为 m ; W_{GL} 、 W_{GB} 、 W_{GH} 为最低、最佳、最高土壤水储水量, 单位为 m^3 。

2.3 生态储水量

最小、最佳、最大沼泽湿地储水量称为湿地储水量特征值, 分别等于相应的地表水储水量与地下水及土壤水储水量之和, 最小、最大湿地储水量之间就是生态储水量范围。沼泽湿地实际水位不一定处于这三种状态, 其余状态的沼泽湿地储水量, 可根据具体水位、土壤含水量条件进行计算, 也可以根据地表水位插值近似计算。实际储水量在生态储水量范围内变化时, 湿地可称为正常沼泽湿地; 实际储水量超出生态储水量最大、最小阈值限定时, 湿地生态系统功能将受到影响, 小于最小阈值时湿地称为萎缩沼泽湿地。

本文初步给出了最低、最佳、最高水位的确定依据, 不过目前关于湿地水位如何影响植被的生长发育, 水禽对水面面积条件的要求等方面的研究还比较少, 需要进一步深入研究, 才能得出更合理的生态储水量范围。另外, 在不同的季节, 水生动植物对沼泽湿地储水量的要求是不同的, 为了避免计算繁琐与水资源配置操作复杂, 本文认为不需要对此进行考虑, 生态储水量可按照植物生长期、水禽活动频繁期来确定。

沼泽湿地生态储水量与沼泽湿地的保护目标有关。只有确定明确的生态目标, 才能确定相应的水面面积、水位等参数, 从而计算生态储水量特征值。生态目标应以环境现状为起点, 综合考虑人类需要与原生生态系统保护, 根据实际的生态条件来确定。湿地的重要性不同, 保护的程度也不同, 有些沼泽湿地需要恢复天然的状态, 有些只需维持现状, 有些甚至可以继续开发。另外, 同一沼泽湿地在不同时间, 生态目标也可以不同, 比如萎缩湿地的生态恢复是分阶段进行的, 不同阶段的生态目标就不同。

3 沼泽湿地生态需水量

沼泽湿地需要消耗一定的水量, 主要包括蒸散发耗水量 (包括蒸发和蒸腾) 和地下水交换量。当降水不能满足上述耗水需要时, 需要利用径流资源进行补充以保证湿地生态系统的健康状态, 其多年平均值即为湿地的生态需水量。所以, 沼泽湿地生态需水指在一定的生态目标下, 保证湿地生态系统不受破坏, 多年平均需要补充的径流量。

3.1 蒸散发耗水量

沼泽湿地地表形态主要包括湖泊、水库等裸水面, 苔草沼泽等有植物生长的明水面, 芦苇沼泽等季节性水面以及草甸、农田等陆面。这些形态的蒸散发特性不同, 需要分别计算。

湖泊、水库的蒸散发量即为水面蒸散发, 与太阳辐射、空气湿度、风力等因素有关, 可直接应用湿地附近水文站点的观测值。

苔草沼泽的蒸散发量大于水面蒸散发量, 具体数值与植被盖度有关, 植被盖度越大蒸发越强, 计算时需要根据植被盖度来合理选取。

沼泽湿地中存在季节性水面, 丰水时 (春季融雪后或汛期) 为水面, 枯水时为陆面,

这些区域通常以芦苇群落为主要特征, 所以称之为芦苇沼泽, 取芦苇蒸散发为代表进行计算。芦苇的蒸散发因其生长情况不同而有很大变化, 且不同地区的芦苇蒸散发量也会有很大不同, 目前相关的研究尚不多见。实际计算中, 可取相近地区的测量值。

沼泽湿地中有常年没有积水的陆面区域, 一般靠降水补给, 并有部分产流。湿润地区可根据地表植被选取合理值; 干旱区产流较少, 蒸散发量和降水量相差不大, 可用降水量计算。

沼泽湿地蒸散发总量为以上几部分的和:

$$E = \sum A_i \cdot ET_i \quad (5)$$

式中: A_i 为各部分的面积, 单位为 m^2 ; ET_i 为相应的蒸散发量, 单位为 m 。

沼泽湿地储水量不同, 对应沼泽湿地地表形态有所区别, 沼泽湿地蒸散发量就不同。可分别计算三个储水量特征值对应的蒸散发耗水量, 其余状态可应用水面面积进行插值。

3.2 地下水出流量

水分通过渗漏的途径实现地下水交换, 补给速度与水位差、渗漏距离、土壤孔隙条件和断面大小有关。周边丰水, 而沼泽湿地储水量较少(水位较低)时, 周边补给沼泽湿地, 反之则沼泽湿地补给周边。

沼泽湿地地下水交换比较复杂, 尤其是与周边区域的情况关系很大, 很难给出统一的定量计算方法。对于水文资料较全的沼泽湿地, 可以选取典型代表年份, 根据水量平衡原理进行估算:

$$\Delta W = P - E + (R_i - R_o) + (G_i - G_o) \quad (6)$$

式中: ΔW 为沼泽湿地储水变化量; P 、 E 分别为降水量和蒸发量; R_i 、 R_o 为地表水入流和出流量; G_i 、 G_o 为地下水入流和出流量; 单位均为 m^3 。

根据公式(6), 地下水净流出量($G_o - G_i$)可通过其它几项水文数据计算得到。沼泽湿地地下水净流出量与湿地及周边的地下水水位等因素有关, 所以公式(6)的计算结果只能代表与计算典型年相似的年份。

3.3 生态需水量

沼泽湿地蒸散发耗水量以及地下水出流量之和扣除降水量为湿地生态耗水量, 生态耗水量在不同年份因水位、水面面积以及气象条件的不同而不同。根据前面的分析, 沼泽湿地生态需水量等于生态耗水量的多年平均值, 即多年平均储水状态(可取最佳生态储水量)下的耗水量与地下水出流量之和扣除多年平均降水量:

$$D = E + G - P \quad (7)$$

式中: P 、 E 分别为多年平均降水量和蒸发量; G 为多年平均地下水出流量; D 为湿地生态需水量, 单位均为 m^3 。

根据前面的定义, 沼泽湿地生态需水量与生态目标有关, 不同的生态目标对应的生态需水量是不同的。沼泽湿地生态需水量是指多年平均需要补充的径流量, 所以在同一生态目标下, 只有一个生态需水量。但这并不是说沼泽湿地的补水规模每年都要保持一致, 相反沼泽湿地的补水更复杂, 需要根据湿地实际储水量、实际降水量、耗水量以及来水条件来综合确定, 其多年平均值应与生态需水量保持一致。

4 沼泽湿地水资源合理配置

4.1 配水规模的确定

沼泽湿地具有水文调节和防洪功能, 沼泽湿地储水量可以在一定范围内变化, 生态用水量不需和生态耗水量保持一致。根据水量平衡原理, 沼泽湿地储水量变化等于入流

和出流水量之差:

$$W_2 - W_1 = R - U \quad (8)$$

式中: W_1 、 W_2 为沼泽湿地初始和最终储水量; R 为地表净补水量; U 为生态耗水量, 单位均为 m^3 。

对于一个系统, W_1 为初始蓄存水量, 为已知量, W_2 可在最小、最大蓄存水量之间变化, 即 $W_L \leq W_2 \leq W_H$ 。则补水规模范围为:

$$U + W_L - W_1 \leq R = U + W_2 - W_1 \leq U + W_H - W_1 \quad (9)$$

4.2 配置原则与方法

可以根据外界水资源实际丰枯条件, 来合理控制沼泽湿地系统补水规模, 以充分发挥沼泽湿地系统的年际调节功能, 减轻枯水年度的供水压力。补水规模需要根据生态目标、生态特性及生态条件来控制, 即以沼泽湿地系统的自然条件为基础, 考虑实际生态和环境功能需要, 根据实际水资源丰枯情况, 来确定合理的补水规模, 以保证湿地储水量在时空尺度上合理变化, 从而实现水资源的合理配置。

对于正常的沼泽湿地, 在平水年, 补充水量应大致与消耗水量持平; 枯水年, 可适当减少补水量, 以沼泽湿地储水量不低于最低生态储水量为准; 丰水年, 可适当增大补水量, 以沼泽湿地储水量不高于最高生态储水量为准, 多补充的水分可供枯水年消耗使用。对于已经萎缩的沼泽湿地, 首先应保证水面面积不再缩小, 即最低供水标准为生态耗水量, 沼泽湿地储水量的短缺部分可分一次或几次在水量丰富时补足, 使沼泽湿地得以恢复。另外, 以上分析中提到的水量均为年总量, 但实际上, 补充水量在年内仍须加以控制, 应保证沼泽湿地储水量维持在最低、最高蓄存水量之间。

要想保持沼泽湿地储水量不变, 则在枯水年需水量反而大, 这是不现实的。沼泽湿地系统本来就是一个水位随天然来水情况不断变化的系统, 根据来水条件配置, 不仅减少了枯水年份的压力, 而且实际上相当于减少了人类活动对沼泽湿地的影响, 更有利于保护原生的沼泽湿地系统。

5 扎龙湿地实例分析

扎龙湿地保护区位于我国黑龙江省齐齐哈尔市东南, 嫩江支流乌裕尔河、双阳河下游, 总面积 2100km^2 , 是一个以鹤类等大型水禽为主体的珍稀鸟类和湿地生态类型的国家级自然保护区, 1992 年被列入国际重要湿地名录。

扎龙湿地保护区中湿地面积 1240km^2 , 其中核心区面积 700km^2 , 为保存完好的典型湿地生境。取保证核心区不受破坏 (明水面积约 200km^2 , 芦苇湿地约 500km^2) 的水量为最小储水量。参考南京水电水利科学院《松辽流域生态环境需水研究报告》、水利部松辽水利委员会《扎龙湿地生态环境需水量研究报告》, 此时地表水平均水深约为 2m , 非饱和土壤层平均厚度约为 2m , 取最低土壤水体积百分含量为 10% , 根据公式 2 计算得最小储水量为 $6.08 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

近年来, 扎龙湿地明水面积约 400km^2 , 芦苇湿地约 840km^2 , 取保证此面积不受破坏的水量为最佳储水量。此时地表水平均深度为 2.3m , 取最适土壤水体积百分比含量为 15% , 饱和土壤水体积百分比含量为 45% , 根据公式 3 计算最佳储水量为 $12.61 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

1998 年洪水时, 湿地明水面积 630km^2 , 芦苇湿地面积 850km^2 , 湿地基本达到了最大蓄水阈值, 参考南京水电水利科学院《松辽流域生态环境需水研究报告》, 取此时湿地储水量为最大储水量, 约为 $30 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

扎龙湿地周围主要为嫩江以及其他毗连湿地, 地下水相互补给, 在较长周期内, 地下水出流量很小, 另外受到数据的限制, 不考虑地下水的影响, 只计算因蒸散发需要补

充的水量作为生态需水量。扎龙湿地多年平均降水量 419mm, 水面蒸发量为 730mm, 芦苇生长期耗水 774mm (齐齐哈尔气象站资料), 非生长期耗水取 50mm, 陆面径流系数取 0.15。取保护核心区湿地、现有湿地面积、1998 洪水时湿地面积三个生态目标, 计算得生态需水量分别为 $2.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $4.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $5.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。20 世纪 50~60 年代湿地面积 (1600km²) 略大于 1998 年的面积, 多年平均湿地入流量 $4.92 \times 10^8 \text{ m}^3$, 说明上述计算结果基本合理。

李兴春等^[22]、郭跃东等^[23]都曾对扎龙湿地生态需水进行过计算, 李兴春等的计算范围与本文基本相同, 结果也相差不大, 为 $5.09 \times 10^8 \text{ m}^3$; 郭跃东等在计算中考虑了湿地储水量, 结果为 $40.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。本文认为, 不计算湿地储水量更有利于为湿地配水服务。

6 结论

(1) 生态储水量为沼泽湿地处于正常状态时, 系统内包含的地表水、地下水和土壤水总和; 生态需水量为相对一定的生态目标, 多年平均用于补充生态系统消耗的水量。前者不像后者那样需要每年重复补充, 因此应单独讨论。

(2) 沼泽湿地生态储水量包括地表水、地下水及土壤水, 其特征值 (最小、最佳、最大值) 可根据水禽、芦苇等水生动植物的生存对水位及水面面积的要求来确定。

(3) 沼泽湿地用水消耗主要包括蒸散发耗水量和地下水出流量, 消耗水量一部分可以靠天然降水补充, 短缺部分需要利用径流资源进行补充, 其多年平均值即为沼泽湿地的生态需水量。

(4) 沼泽湿地补水规模需根据湿地实际储水量、实际降水量、耗水量以及来水条件来综合确定, 本文给出了确定其合理范围的方法。

(5) 沼泽湿地水资源配置应根据生态目标、生态特性和生态条件来确定, 即以湿地系统的自然条件为基础, 考虑实际生态功能需要, 根据实际水资源丰枯情况, 来确定合理的补水规模, 以保证系统内蓄存水量在时空尺度上合理变化, 从而实现水资源的合理配置。

(6) 本文提出了沼泽湿地生态储水量的概念, 把消耗型需水量 (生态需水量) 和非消耗型需水量 (湿地储水量) 分开考虑。由此得出的配水规模及原则, 保证了合理性, 同时更具可操作性。这种方法在绿洲、内陆湖泊等封闭或半封闭系统中也可应用。

参考文献 (References)

- [1] Lu Kang. Wetland and Ramsar Convention. World Forestry Research, 2001, 14(1): 1-7. [禄康. 湿地与湿地公约. 世界林业研究, 2001, 14(1): 1-7.]
- [2] Chen Kelin, Zhang Xiaohong, Lu Yong. Climate change and wetland. Wetland Science, 2003, 1(1): 73-77. [陈克林, 张小红, 吕咏. 气候变化与湿地. 湿地科学, 2003, 1(1): 73-77.]
- [3] Deng Peiyan, Chen Guizhu. Discussion on values of wetlands and related problems. Wetland Science, 2003, 1(2): 136-140. [邓培雁, 陈桂珠. 湿地价值及其有关问题探讨. 湿地科学, 2003, 1(2): 136-140.]
- [4] Cui Baoshan, Yang Zhifeng. Water consumption for eco-environmental aspect on wetlands. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22(2): 219-224. [崔保山, 杨志峰. 湿地生态需水量研究. 环境科学学报, 2002, 22(2): 219-224.]
- [5] Jiang Dejuan, Wang Huixiao, Li Lijuan. A review on the classification and calculating methods of ecological and environmental water requirements. Progress in Geography, 2003, 22(4): 369-378. [姜德娟, 王会肖, 李丽娟. 生态需水量分类及计算方法综述. 地理科学进展, 2003, 22(4): 369-378.]
- [6] Liu Changming, Wang Lixian, Xia Jun. Research on regional allocation of ecological construction and ecological water requirement in northwest China. Beijing: Science Press, 2004. [刘昌明, 王礼先, 夏军. 西北地区生态环境建设区域配置及生态环境需水量研究. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [7] Feng Huali, Xia Jun, Zhan Chesheng. Advances on ecological and environmental water requirement research. Progress in Geography, 2003, 22(6): 591-598. [丰华丽, 夏军, 占车生. 生态环境需水研究现状和展望. 地理科学进展, 2003, 22

- (6): 591-598.]
- [8] Voogt K D, Kite G, Droogers P et al. Modelling water allocation between a wetland and irrigated agriculture in the Gediz Basin, Turkey. *Water Resources Development*, 2000, 16(4): 639-650.
- [9] Middleton B A. The flood pulse concept in wetland restoration. In: Middleton B A (ed.), *Flood Pulsing in Wetlands: Restoring the Natural Hydrological Balance*. New York: John Wiley and Sons, 2002. 1-10.
- [10] Duvail S, Hamerlynck O. Mitigation of negative ecological and socio-economic impacts of the Diama dam on the Senegal River Delta wetland (Mauritania), using a model based decision support system. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2003, 7(1): 133-146.
- [11] Roberts J, Young B, Marston F. Estimating the water requirements for plants of floodplain wetlands: a guide. Occasional Paper No. 04/00 Land and Water Resources Research & Development Corporation, Canberra.
- [12] Bennett M J A, Green J. Estimating the water requirements of the lower Gwydir wetlands, Sydney Australia. New South Wales Department of Water Resources, 1993.
- [13] Mayer T D, Thomasson R. Fall water requirements for seasonal diked wetlands at lower Klamath National Wildlife Refuge. *Wetlands*, 2004, 24(1): 92-103.
- [14] Newbold C, Mountford J O. *Water Level Requirements of Wetland Plants and Animals*. Peterborough: English Nature, 1997.
- [15] Robertson H A, James K R. Determining the water requirement for the rehabilitation of wetland habitat at Kanyapella Basin, Victoria. *Ecological Management and Restoration*, 2002, 3: 220-221.
- [16] Liu Changming. Water resource problems in West Development. *China Water Resources*, 2000, (8): 23-25. [刘昌明. 我国西部大开发中有关水资源的若干问题. *中国水利*, 2000, (8): 23-25.]
- [17] Jia Baoquan, Ci Longjun. The primary estimation of water demand by the eco-environment in Xinjiang. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2): 243-250. [贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算. *生态学报*, 2000, 20(2): 243-250.]
- [18] Li Lijuan, Zheng Hongxing. Environmental and ecological water consumption of river systems in Haihe-Luanhe basins. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4): 495-500. [李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态需水量计算. *地理学报*, 2000, 55(4): 495-500.]
- [19] Liu Jingling, Yang Zhifeng. A study on the calculation methods of the minimum eco-environmental water demand for lakes. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(5): 604-608. [刘静玲, 杨志峰. 湖泊生态需水量计算方法研究. *自然资源学报*, 2002, 17(5): 604-608.]
- [20] Xu Zhixia, Wang Hao, Tang Kewang et al. Minimum ecological water requirements for lakes taking in-sending out water. *Resources Science*, 2005, 27(3): 140-144. [徐志侠, 王浩, 唐克旺等. 吞吐型湖泊最小生态需水研究. *资源科学*, 2005, 27(3): 140-144.]
- [21] Cui Baoshan, Yang Zhifeng. The classification and case study on eco-environmental water requirement of wetlands. *Resources Science*, 2003, 25(1): 21-28. [崔保山, 杨志峰. 湿地生态需水量等级划分与实例分析. *资源科学*, 2003, 25(1): 21-28.]
- [22] Li Xingchun, Lin Nianfeng, Tang Jie et al. Calculation for eco-environmental water requirement of Zhalong wetland. *Journal of Jilin University (Science Edition)*, 2004, 42(1): 143-146. [李兴春, 林年丰, 汤洁等. 扎龙湿地生态环境需水量研究. *吉林大学学报(理学版)*, 2004, 42(1): 143-146.]
- [23] Guo Yuedong, He Yan, Deng Wei et al. Research on eco-environmental water demand of Zhalong Nation Natural Wetlands. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(6): 163-167. [郭跃东, 何岩, 邓伟等. 扎龙国家自然湿地生态环境需水量研究. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 163-167.]
- [24] Zhao Dongsheng, Wu Zhengfang, Shang Lina. Study on the ecological water requirement of wetland in Honghe National Nature Reserve. *Wetland Science*, 2004, 2(2): 133-138. [赵东升, 吴正方, 商丽娜. 红河保护区湿地生态需水量研究. *湿地科学*, 2004, 2(2): 133-138.]
- [25] Luan Zhaoqing, Deng Wei, Zhu Baoguang. Estimation of eco-environmental water consumption for Honghe National Nature Reserve Wetlands. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(1): 59-63. [栾兆擎, 邓伟, 朱宝光. 红河国家级自然保护区湿地生态环境需水初探. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(1): 59-63.]
- [26] Zheng Hongxing, Liu Changming, Feng Huali. On concepts of ecological water demand. *Advances in Water Science*, 2004, 15(5): 626-633. [郑红星, 刘昌明, 丰华丽. 生态需水的理论内涵探讨. *水科学进展*, 2004, 15(5): 626-633]

Calculation Method on Ecological Pondage and Ecological Water Requirement of Marsh

LI Jiuyi^{1,2}, LI Lijuan¹, JIANG Dejuan^{1,2}, YANG Junwei^{1,2}

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: Marsh is one of the most typical wetlands, playing important roles in hydrological and economic aspects, especially in keeping biological diversity. In this study, the definition and category of the ecological pondage of marsh have been discussed for the first time, and the distinction and relationship with ecological water requirement have been analyzed. Furthermore, the gist and method of calculating ecological pondage and ecological water requirement have been provided, and Zhalong wetland has been given as an example of calculation of the two variables. Ecological water use of marsh can be ascertained according to ecological pondage and ecological water requirement, and the suitable quantity can be calculated basing on the marsh's water condition and the total water quantity, insuring that the pondage changes reasonably in spatial and temporal scale, so that the rational water allocation can be achieved.

Key words: marsh; ecological pondage; ecological water requirement; Zhalong