

基于生态水位差比法的高海拔湿地生态环境需水量研究 ——以乌梁素海湿地为例

赵晓瑜^{1,2}, 杨培岭^{1*}, 任树梅¹, 张振林³

(1. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083;

2. 河北省水利水电第二勘测设计研究院, 石家庄 050021; 3. 河北水务集团, 石家庄 050011)

摘要:【目的】估算高海拔湿地生态环境需水量。【方法】采用生态水位差比法对乌梁素海湿地生态环境需水量进行了计算,并对乌梁素海生态补水量进行了分析。【结果】乌梁素海湿地最小和适宜生态水位差比系数分别为0.786和1.231,最小和适宜生态环境需水总量分别为5.645亿m³和7.580亿m³;乌梁素海湿地生态补水量为4.68~6.85亿m³。【结论】新提出的生态水位差比法模型是对原生态水位法的改进,此模型更适合应用于高海拔湖泊湿地生态需水量计算,并且此模型可满足湿地净化污染物要求。当某湿地的水文和生态状况与乌梁素海湿地相似时,可用生态水位差比系数进行最小和适宜需水量估算。

关键词:乌梁素海;生态水位差比法;生态环境需水量;生态补水量

中图分类号:X144

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0366

赵晓瑜,杨培岭,任树梅,等. 基于生态水位差比法的高海拔湿地生态环境需水量研究:以乌梁素海湿地为例[J]. 灌溉排水学报,2018,37(5):59-65.

0 引言

湿地作为地球上重要的生态系统,不仅为人类提供大量食物、水资源和原料,而且在维持生态平衡、保持生物多样性以及涵养水源、补充地下水、降解污染和调节气候等方面均起到重要作用^[1]。近年来,国内外学者对湿地生态需水量做了一些研究和探索,并提出了不同生态需水量的计算方法^[2-3],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、湿地生态需水量计算方法和相关指标的探讨等方面^[4]。国外采用的湿地生态需水量计算方法主要有2种:栖息地法和湿周法^[5-6]。这2种方法需要长时间的观测和试验,且资金耗费都较大。国内学者对此也做了大量研究,概括有水文学方法和生态学方法^[7]。水文学方法是以系列的历史数据为依据,通过比较、选择、建模等得以实现,但缺乏对目前生态系统生态价值的考虑;生态学方法主要根据湿地面临的关键问题和生态功能价值等进行需水量的评定,但有时缺乏物种对水量需求的信息^[8-9]。已有生态水位法巧妙地把这二者结合起来,既分析水文状况,又考虑生态系统的健康状况,是较为理想的研究方法^[10]。但此方法在高海拔湖泊湿地生态需水量计算中精度较差,主要原因是原生态水位法是以水位为参数进行分析计算,而高海拔湿地水位数值偏大,计算出的最小和理想生态水位系数相差甚微,都接近于1,由此对后期需水量研究造成较大误差,可操作性低。兹尝试构建生态水位差比法模型来弥补这一不足,即水文参数选择水位相对变化值,生态指标选择与湿地水量相关度较大的指标,通过此模型研究高海拔湿地生态环境需水量。将此模型应用在求解乌梁素海湿地各月最小和适宜需水量(即湖区存量^[10])上,校核其能否满足净化污染物要求;同时考虑湿地的水分消耗项,计算乌梁素海总生态环境需水量,并逐月分析湿地的生态补水量。

收稿日期:2017-06-20

基金项目:国家自然科学基金项目(5167090263)

作者简介:赵晓瑜(1987-),女,河北石家庄人。硕士研究生,从事农业水土灌溉排水理论与新技术研究。E-mail: sjzhaoxiaoyu@163.com

通信作者:杨培岭(1958-),男,内蒙古呼和浩特人。教授,博士生导师,主要从事水资源与水环境、灌溉理论与技术等研究。

E-mail: yangpeiling@126.com

1 湿地生态环境需水量计算模型

1.1 水位与生态数据的相关性分析

湿地生态系统是一个极其复杂的生态系统,其中生物的生长及生存状态与湿地中的水量息息相关,然而完全分析所有的生物特征是不现实的,只有选取部分指示生物作为样本。指示生物要选择生长状况与湿地水位相关性较大的生物,因此,可用灰色相关度检验其相关性大小^[11]。

1.2 水位差比值频率分析

原生态水位法是以水位为参数进行计算的,但将此参数应用在高海拔湿地时,计算出的最小和理想生态水位系数都接近于1,从而对生态环境需水量影响较大。故构建的水文参数是水位的相对变化量—水位差比值来分析计算湿地的生态环境需水量,具体方法如下:

1)将湿地长系列年平均水位数据由小到大排列, $x_1, x_2, \dots, x_n$ 。将序列中的每个值减去最小值 x_1 ,得到差值,即 $0, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ 。为便于实际应用和操作,再将差值归一化,将 $0, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ 分别除以 Δx_n ,得到0~1之间的数, $0, \Delta x_2^*, \dots, 1$,即 $\Delta x_i^* = \Delta x_i / \Delta x_n$ 。

2)将区间(0, 1)分为 m 个子区间,各子区间的长度可以相等,也可以不等。子区间的个数一般取8~15个,太多则由于频率的随机摆动而使分布显得杂乱,太少则难于显示分布的特征^[11]。由于(0,1)范围小,文中均分为10个子区间。

3)把所有水位样本观测值逐个分到各子区间内,并计算样本观测值落在各子区间内的频数 n_i 及频率 f_i , $f_i = n_i / n$ ($i=1, 2, \dots, m$)。在横轴上截取各子区间,并以各子区间 $(t_i - t_{i-1})$ 为底,以 $f_i / (t_i - t_{i-1})$ 为高做矩形,各个小矩形的面积 ΔS_i 就等于样本观测值落在该子区间内的频率,即 $\Delta S_i = (t_i - t_{i-1}) \cdot \frac{f_i}{t_i - t_{i-1}} = f_i$ ($i=1, 2, \dots, m$),所有小矩形的面积和等于1。当样本容量 n 充分大时,随机变量 x 落在各个子区间 (t_{i-1}, t_i) 内的频率近似等于其概率,即 $f_i \approx P(t_{i-1} < X < t_i)$ ($i=1, 2, \dots, m$)。

1.3 生态水位差比系数及需水量

由于湿地生态系统对高频率水位逐渐适应,处于高频率水位时期的湿地生态系统一般处于良性循环状态中。因此,参照袁平等^[11]确定生态水位系数的方法来确定最小和适宜生态水位差比系数,即将高频率水位差比年份中指示生物生长状态最差和最好的年份分别作为生态破坏临界时期和生态状况良好时期,其对应的生态差比值分别作为最小标准和适宜标准。将最小水位差比值除以多年平均水位差比值得到最小生态水位差比系数,将适宜水位差比值除以多年平均水位差比值得到适宜生态水位差比系数,不同的生态水位差比系数实质上就是不同的生态环境需水量量化标准,见式(1):

$$L_w = \frac{\left| \sum_{i=1}^n L_i \right|}{n}; \delta = L_i / L_w, \quad (1)$$

式中: L_w 为多年平均水位差比值; n 为统计年份; L_i 为第 i 年各月平均水位差比值; δ 为生态水位系数差比系数。

不同的生态水位差比系数代表了不同生态环境对需水量的要求,将各月多年平均差比值乘以最小和适宜生态水位差比系数后,再乘以 Δx_n 得到最小和适宜水位差,将所得结果加上最低水位 x_1 后为各月平均最小和适宜生态水位。根据湿地水位-水量关系曲线可得各月最小和适宜生态环境需水量(即存量)。

1.4 稀释净化污染物需水量

应用生态水位差比法求得的需水量应满足湿地稀释净化污染物的要求,而两部分水量在功能上是相互兼容的,故应取其中较大者作为参考^[12]。湿地具有较高的污染物自净能力,达到净化水质、改善生态环境的目的。湿地净化污染物需水量指在接纳正常流域排泄污水情况下,为维持湿地对污染物的净化作用,使湿地水质达到一定标准所需的水量^[13]。其原理和过程包括稀释和自净2个部分。湿地大面积沼泽和植被对污染物有较强的自净作用,主要原理为物理沉淀、生物吸收及生化反应;而稀释作用是指单纯的物理作用,其需水量模型应满足^[14-15]:

$$Q_i \cdot \gamma = w_i \cdot c_i, \quad (2)$$

式中: Q_i 为污水排放进入湿地总量(m^3); γ 为湿地污染物稀释作用的稀释系数; w_i 为湿地稀释净化污染物

需水量(m^3); c_i 为相应等级的湿地水质污染物质量浓度达标标准。

1.5 湿地生态环境需水总量

对于湖泊型湿地而言,芦苇等植被蒸腾耗水、湖泊水面蒸发及湖水渗漏是其水量消耗的主要方式^[16]。利用水位差比法计算得到的需水量是存量,应该加上上述几项耗水量,所得结果即为湿地生态环境需水总量。

湿地植被耗水量计算模型为^[17]:

$$w_p(t) = \int_0^t \sum_{i=1}^n k_{ci} \cdot ET_0 \cdot A_{pi} dt - \int_0^t P_i \cdot A_{pi} dt, \quad (3)$$

式中: $w_p(t)$ 为湿地植被耗水量(m^3); k_{ci} 为第 i 种植物系数; ET_0 为参考作物腾发量(mm),其值与当地气象因素有关,可参照 Penman-Monteith 公式进行计算; A_{pi} 为第 i 种植被的面积; t 为计算时段; P_i 为计算时段内的降雨量(mm)。

水面蒸发量的计算模型为^[18]:

$$w_z = E \cdot A \cdot \beta - P_i \cdot A \cdot \beta, \quad (4)$$

式中: w_z 为水面蒸发耗水量; E 为当地年水面蒸发量,应将蒸发皿的蒸发量折算成 E_{601} 的蒸发量(mm); A 为湿地面积(m^2); β 为水面面积比;其余符号同上。

湖水渗漏计算模型^[19]:

$$w_b(t) = \int_0^t k \cdot I \cdot A \cdot \beta \cdot T dt, \quad (5)$$

式中: $w_b(t)$ 为湖水渗漏水量(m^3); k 为渗透系数; I 为湖泊湿地渗流坡度; T 为计算时长(d);其余符号同上。

2 乌梁素海湿地概况

乌梁素海所处地区海拔在 1 000 m 以上,是河套灌区的唯一受纳水体和排水通道,也是我国北方重要的湿地生态屏障和鸟类栖息繁衍地,对当地的气候调节起着至关重要的作用^[20]。近年来,由于对乌梁素海的粗放式管理,导致其生态状况严重失衡,湖面面积大幅度萎缩,水位逐渐下降,湿地功能逐渐丧失,故对其生态环境需水量研究非常急迫^[21]。目前,对乌梁素海的生态环境需水量研究主要基于其水量平衡、物质平衡、水质改善和功能要求等方面,而对于其水位和水量对生态的影响研究甚少,故应用生态水位差比法对乌梁素海生态环境需水量进行研究。

根据巴彦淖尔市水资源公报,六分桥测站 1970—2010 年水文观测资料可以看出(图 1),乌梁素海的水位变化主要受灌区排水的影响,排水期(5—11 月)湖泊水位上涨,非排水期(12 月—次年 4 月)湖泊水位下降。乌梁素海 1970—2010 年年均水位如图 2 所示。可见 2000—2010 年,随着河套灌区节水改造工程的进行,灌区排入乌梁素海的水量逐渐减少,且由于排水水质的严重污染,加剧了湖区水体富营养化和大型水生植物扩大生长^[22],故与 20 世纪相比,乌梁素海水位有所下降。

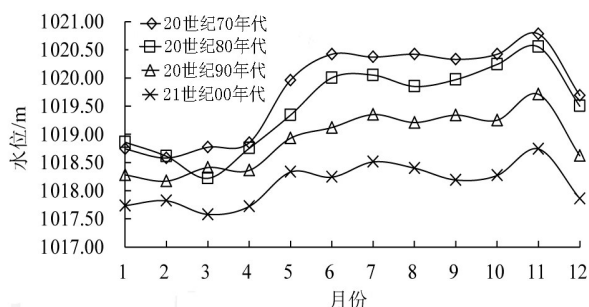


图 1 乌梁素海 1970—2010 年月平均水位

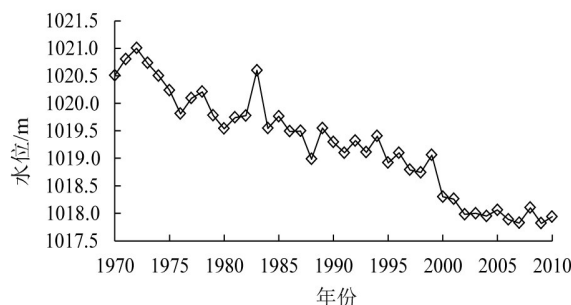


图 2 乌梁素海 1970—2010 年年均水位

3 乌梁素海湿地生态环境需水量研究

3.1 水位与生态数据的相关性分析

乌梁素海湿地物种丰富,盛产鲤鱼和芦苇,浮游植物 65 种,底栖动物 11 种,180 多种珍禽异鸟在此栖息繁衍。选取 1970—2010 年渔业产量、芦苇产量及蒲叶产量与水位做灰色关联度分析(表 1),分辨系数 ζ 取为 0.5,计算得出渔业产量与水位关联度为 0.851,芦苇产量与水位关联度为 0.411,蒲叶与水位关联度为

0.535。乌梁素海水状况与渔业产量的关联度最大,所以选择渔业产量作为评价该区生态状况指标,其他生物作为参考,来分析不同水量状况下的生态环境^[23]。由图3可知,1970—1979年,鱼产量波动较大,总趋势先是大幅度下降,后又稍有上升,渐趋稳定。主要原因是水面面积缩小,水位降低,水深度变浅所致;1980—1999年,仅1981、1982和1983年鱼年产量达到1 000 t左右,其余年份鱼年产量平均只有531.7 t;因2000年和2001年实施休渔和禁捕政策,2002年鱼产量最高为3 500 t,但主要是小杂鱼,经济鱼类几乎没有,1970—2010年渔业发展一直处于滞后状态,主要由水面面积缩小、水深变浅及水质污染严重、富营养化加剧导致。

年代	渔业产量/t	芦苇产量/t	蒲叶产量/t	平均水位/m
1970—1980	642.5	15 152.0	394.0	1 019.88
1980—1990	820.8	48 146.0	971.0	1 019.40
1990—2000	752.3	75 713.0	4 712.0	1 018.79
2000—2010	580.0	101 746.0	5 911.0	1 017.88

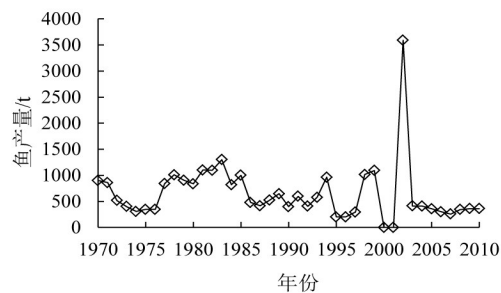


图3 乌梁素海1970—2010年鱼产量

3.2 水位差比值频率确定

将乌梁素海1970—2010年六分桥测站年平均水位由小到大排列,将每年的平均水位减去其中的年最小值(最小值为2009年的1 017.817 m),得到各年相应的水位差值。将各差值进行归一化处理,采用直方图频率统计的方法得出历年来水位差比值频数较高的数据^[24]。由图4可知,频数出现最大的范围是0.3~0.5,出现的频数为22,频率为55%。

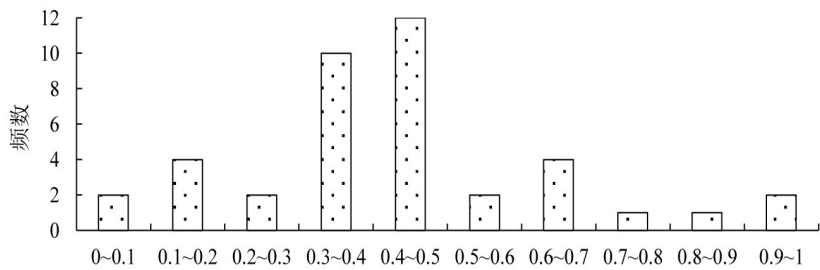


图4 乌梁素海水位差比值频数分布直方图

3.3 生态水位差比系数及需水量确定

根据乌梁素海水位差比频率分析结果可知,1977、1978、1983年等22 a的水位处于高频水位差比值的范畴。对这22进一步进行指示生物产量的对比,1993年的渔业产量为577 t,是22 a中产量最低的年份,且鱼类种类相对较少,芦苇长势相对较差,此年生物生长及生存状态均不佳,故将1993年作为最小标准,水位差比值为0.309;1983年渔业产量为1 301 t,在高频年份中产量最高,且鱼类的种类较多,芦苇在此年覆盖度达75%以上且长势很好,整体的生态环境处于优良状态,故将1983年作为适宜标准,水位差比值为0.484。乌梁素海多年平均水位差比值为0.393,则最小生态水位差比系数 $\delta_1=0.309/0.393=0.786$,适宜生态水位差比系数为 $\delta_2=0.484/0.393=1.231$ 。

通过计算乌梁素海湿地的生态水位差比系数,将生态水位差比系数乘以多年来各月的平均水位差比值,可求得逐月的最小和适宜生态水位差比值,将求得的值乘以最大水位差,再加上40 a中最小年均水位即得各月平均最小生态水位和适宜生态水位。根据乌梁素海的水位-水量关系(图5),可以进一步计算出逐月最小和适宜生态环境需水量,计算结果见表2。

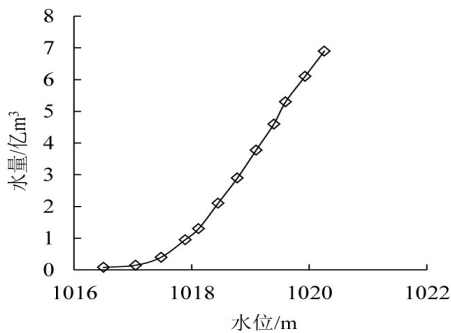


图5 乌梁素海水位-水量关系图

表2 乌梁素海生态环境需水量计算

月份	月均差比值	月水位差比值		生态水位/m		生态环境需水量/亿 m ³	
		最小	适宜	最小	适宜	最小	适宜
1	0.200	0.157	0.246	1 018.176	1 018.610	1.436	2.488
2	0.176	0.138	0.216	1 018.084	1 018.466	1.245	2.139
3	0.185	0.145	0.228	1 018.118	1 018.520	1.297	2.270
4	0.239	0.188	0.294	1 018.326	1 018.845	1.799	3.079
5	0.380	0.299	0.467	1 018.868	1 019.694	3.142	5.528
6	0.424	0.333	0.522	1 019.037	1 019.958	3.607	6.168
7	0.403	0.317	0.496	1 018.957	1 019.832	3.387	5.981
8	0.396	0.311	0.487	1 018.930	1 019.790	3.313	5.761
9	0.387	0.304	0.476	1 018.895	1 019.736	3.216	5.630
10	0.442	0.347	0.544	1 019.107	1 019.960	3.799	6.173
11	0.461	0.362	0.567	1 019.180	1 020.074	3.999	6.449
12	0.310	0.244	0.381	1 018.599	1 019.272	2.461	4.250

由表2可知,乌梁素海湿地月最小差比值为0.138~0.362,若小于此范围,则鱼类数量和种类将会减少,其他生态种类也会受到不同程度的影响,湿地整体生态状况将受到威胁;乌梁素海月适宜差比值为0.216~0.567,若大于此范围,湿地整体生态环境也将受到不良影响。湖泊存量受灌区排水影响月变化较大:在主要排水期,月均最小生态环境需水量3.411亿 m³,适宜需水量为5.874亿 m³;在非排水期,月均最小生态环境需水量为1.648亿 m³,适宜需水量为2.845亿 m³。年均最小生态环境需水量为2.725亿 m³,适宜需水量为4.660亿 m³。以上计算得到的需水量是湖区的存量,不包括湿地水量消耗项。

3.4 乌梁素海稀释净化污染物需水量

近年来,由于大量污水排入乌梁素海,湖区污染严重,富营养化加剧。由生态水位差比法计算得到的生态环境需水量必须要能够满足湿地稀释净化污染物的要求。乌梁素海是灌区唯一的承泄区,主要污染物为NH₃-N、COD、TN、TP,目前水质处于劣V类,水体富营养化已成为湿地主要的水环境问题。根据湿地水质恢复目标,以湖泊水质维持V类趋于IV类的需水量为最小需水量,以水质保持IV类的需水量为适宜需水量。由于芦苇沼泽湿地对有机污染废水有较高的自净能力、物理沉淀、化学反应和生物过程等,稀释只占净化过程的一部分,约10%左右。湿地污染物排放量按照2008年统计结果计算,其相应允许质量浓度按照最新执行的地表水环境质量标准进行。根据式(2)4种污染物净化需水量计算结果及相关指标见表3,选择其中最大者作为最终污染物净化需水量。经比较,最小需水量为1.24亿 m³,适宜需水量为2.47亿 m³。

根据生态水位差比法的结果,各月湿地的最小和适宜存量均能满足相应级别的稀释净化污染物要求。

表3 湿地净化污染物需水量

等级	达标水质级别	允许质量浓度/(mg·L ⁻¹)				污水年排放量/t				稀释系数	需水量/亿 m ³			
		NH ₃ -N	COD	TN	TP	NH ₃ -N	COD	TN	TP		NH ₃ -N	COD	TN	TP
最小	V	2.0	40	2.0	0.2	1 279.2	24 778.2	2 292.7	217.4	10%	0.64	0.62	1.15	1.24
适宜	IV	1.5	30	1.5	0.1						0.85	0.83	1.53	2.47

3.5 乌梁素海湿地生态环境需水总量

应用生态水位差比法计算得到的需水量是湖区的存量,应满足上述净化污染物要求。但总湿地总的生态环境需水量应包括湿地的水量消耗项,即主要考虑芦苇等植被的蒸腾耗水量、湖泊水面蒸发量及湖水渗漏量等指标。乌梁素海湿地植被以芦苇为主,其正常生育期为4月—10月,查《FAO推荐的84种作物系数》,芦苇作物系数分别为 $k_{\text{cini}}=0.9$, $k_{\text{cmid}}=1.2$, $k_{\text{cend}}=0.7$ 。根据2009年对乌梁素海的遥感解译结果,芦苇面积约157.84 km²,明水面面积约为119.64 km²,参考《中国水资源评价》的数据,取 ϕ_{20} 的折算系数为0.59,由此计算得到湿地植被和水面的耗水量;当地地下水位较高,年内地下水位变幅在0.93~2.64 m之间,根据调研资料,认为当地下水位埋深大于1.5 m时才发生渗漏现象。根据气象资料显示,月平均气温在0℃以上的月份为4—10月,其中产生渗漏现象的月份为4、5、8和9月,渗透系数采用0.005 m/d。湿地区域内地势平坦,因此不考虑水位差影响,渗流坡度为1。根据式(3)一式(5),计算得乌梁素海湿地各月需水总量如表4所示,年需水总量应为存量加上消耗项:故年最小需水总量为5.645亿 m³,年适宜需水总量为7.580亿 m³。排水期,平均温度在19℃以上,芦苇、蒲叶和六十多种浮游植物水量消耗和蒸腾作用较大,水面蒸发量也增加,且鱼类和十几种底栖动物生命活动旺盛,需水量相对较大;非排水期,平均温度在-3℃左右,植株耗水量和动物需

水量均降低,水面蒸发量也减少,故排水期的需水量远大于非排水期的需水量。

表4 乌梁素海湿地需水总量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总量
降雨量/mm	0.04	1.4	3.2	4.1	9.6	20.4	32.9	35.4	22.7	8.0	1.2	1.5	140.8
植被耗水量/10 ⁸ m ³	0	0	0	0.115	0.165	0.208	0.166	0.151	0.111	0.047	0	0	0.963
水面蒸发量/10 ⁸ m ³	0.023	0.037	0.085	0.162	0.210	0.183	0.157	0.121	0.100	0.080	0.040	0.022	1.219
湖水渗漏量/10 ⁸ m ³	0	0	0	0.179	0.185	0	0	0.185	0.179	0	0	0	0.730
总最小需水量/10 ⁸ m ³	1.456	1.285	1.387	2.249	3.702	3.997	3.717	3.773	3.606	3.929	4.039	2.481	2.968
总适宜需水量/10 ⁸ m ³	2.508	2.179	2.360	3.529	6.088	6.558	6.311	6.221	6.020	6.303	6.489	4.270	4.903

3.6 乌梁素海生态补水量

乌梁素海生态补给水源主要是农田退水,其次为工业废水和生活污水。目前,随着引黄水量减少,灌区的排水量也相应地大幅减少,乌梁素海水位逐渐降低。2000—2010年,乌梁素海平均水位在1 017.97 m,较20世纪70年代下降严重,再加上水质污染,湿地生态环境遭到严重破坏。故要对湖区进行生态补水,推求出各月满足生物最小和适宜的补水量,同时对污染物也起到稀释作用。由图5和表5可得,根据2010年各月平均水位可计算出2010年各月湖区水量,为达到水位差比法计算而得的最小和适宜存水量,需将各月的水量损耗考虑在内,逐月进行水量均衡分析。分析时应注意以下2点:①当上月的补水量扣除本月耗水量后,仍然满足本月最小或适宜需水量时,则本月理论补水量应为0;②当按照此均衡分析进行补水后满足乌梁素海的最小或适宜存量时,便可减少逐月生态补水量,即按照每月耗水量进行补给,以维持达到最小或适宜生态水位。

表5 乌梁素海生态补水量均衡分析结果

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总量
2010年水位/m	1017.64	1017.52	1017.68	1017.62	1018.13	1018.04	1017.91	1017.89	1017.79	1018.27	1018.44	1017.86	
2010年水量/10 ⁸ m ³	0.66	0.50	0.72	0.64	1.32	1.18	0.98	0.95	0.87	1.66	2.08	0.96	-
总消耗量	0.02	0.04	0.09	0.45	0.56	0.39	0.33	0.46	0.39	0.13	0.04	0.02	2.92
最小存量/10 ⁸ m ³	1.44	1.25	1.30	1.80	3.14	3.61	3.39	3.31	3.22	3.80	4.00	2.46	-
适宜存量/10 ⁸ m ³	2.49	2.14	2.27	3.08	5.53	6.17	5.98	5.76	5.63	6.17	6.45	4.25	-
最小补水量/10 ⁸ m ³	0.80	0.00	0.00	0.74	1.40	0.66	0.11	0.29	0.21	0.41	0.24	0.00	4.86
适宜补水量/10 ⁸ m ³	1.85	0.00	0.00	1.07	2.11	0.53	0.14	0.21	0.25	0.37	0.32	0.00	6.85

由表5可知,要达到差比法计算而得的最小或适宜存量,需要向乌梁素海补给4.68亿~6.85亿m³的水。2010年总排干沟排入乌梁素海的水量为4.49亿m³,另需要建立其他补水通道,补给0.19亿~2.36亿m³的水(如建立分凌减灾结合生态补水通道,直接引凌水入乌梁素海),如此在控制污染排放的前提下,便可逐渐提高年渔业产量至577~1 301 t,同时乌梁素海的整体生态状况也得到恢复。当补水量达到要求时,可减少年补给量至2.92亿m³,以维持最小或适宜生态水位,维持良好的生态状况。

4 结 论

1)经计算,乌梁素海最小和适宜生态水位差比系数分别为0.786和1.231,年均最小需水量为2.725亿m³,年均适宜需水量为4.660亿m³,经比较,以上存量均能够满足相应级别稀释净化污染物的要求;当综合考虑湿地的水分消耗项时,乌梁素海湿地最小和适宜生态环境需水总量分别为5.645亿m³和7.580亿m³。

2)根据当前乌梁素海的水位和水量值,要达到各级别需水量,应对湿地进行生态补水,生态补水量为4.68亿~6.85亿m³。在控制污染排放的前提下,便可逐渐提高渔业产量至577~1 301 t。当达到需水量要求时,可减少年补给量至消耗总量2.92亿m³,以维持良好的生态状况。

参考文献:

[1] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态环境需水量等级划分与实例分析[J]. 资源科学, 2003(1):21-28.
[2] 韩宇平, 赵若, 王富强. 宁夏引黄灌区湖泊湿地生态需水量计算[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(4):67-71.
[3] FERRATI R, CANZIANI G A. An analysis of water level dynamics in Esteros del Ibera wetland[J]. Ecological Modelling, 2005, 186(1):17-27.
[4] 邓雯, 陈刚, 王肖鹏, 等. 滇池外海环湖湿地生态需水研究[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(1):99-104..
[5] CUI Baoshan, HUA Yanyan, Wang Chongfang, et al. Estimation of Ecological Water Requirements Based on Habitat Response to Water Level in Huanghe River Delta, China[J]. Chinese Geographical Science, 2010, 20(4):318-329.

- [6] HUGHES D A, HANNART P. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa [J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 270(3/4):167-181.
- [7] 崔丽娟, 赵欣胜, 李胜男, 等. 北京市湿地公园生态需水保障分析[J]. *林业资源管理*, 2012(1):81-86.
- [8] 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[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(6):163-166.
- [9] 杨志峰, 崔保山, 刘静玲. 生态环境需水量评估方法与例证[J]. *中国科学*, 2004, 34(11):1 072-1 082.
- [10] 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.
- [11] 袁平, 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):1 119-1 126.
- [12] 贾忠华, 武志刚, 罗纨, 等. 考虑沼泽植被盖度差异对湿地腾发量计算的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2013, 32(4):141-144.
- [13] 潘扎荣, 阮晓红, 徐静. 河道基本生态需水的年内展布计算法[J]. *水利学报*, 2013, 44(1):119-126.
- [14] RAISIN G W, MITCHELL D S. The use of wetlands for the control of non-point source pollution[J]. *Water Science & Technology*, 1995, 32(3):177-186.
- [15] ARHEIMER B, WITTGREN H B. Modelling the Effects of Wetlands on Regional Nitrogen Transport[J]. *Ambio*, 1994, 23(6):378-386.
- [16] 高凡, 黄强, 畅建霞. 我国生态需水研究现状、面临挑战与未来展望[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(6):755-760.
- [17] 孙才志, 高颖, 朱正如. 基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算[J]. *生态学报*, 2013, 33(5):1 513-1 523.
- [18] 赵晓瑜, 杨培岭, 任树梅, 等. 内蒙古河套灌区湖泊湿地生态环境需水量研究[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(2):126-129.
- [19] LI L, LI J, LIANG L, et al. Method for calculating ecological water storage and ecological water requirement of marsh[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(4):427-436.
- [20] 毛旭锋, 崔丽娟, 李胜男, 等. 乌梁素海水体营养盐削减的空间变化规律研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(11):116-119.
- [21] 莫日根, 童伟, 段瑞琴, 等. 乌梁素海生态环境存在的问题和治理措施[J]. *北方环境*, 2012, 24(4):18-25.
- [22] 李兴, 张树礼, 李畅游, 等. 乌梁素海浮游植物群落特征分析[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(11):1 865-1 869.
- [23] PAUL K. Wetland restoration: the potential for assembly rules in the service of conservation[J]. *Wetlands*, 1999, 19(4):716-732.
- [24] 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分析[J]. *生态学报*, 2008, 28(9):4 501-4 507.

Calculating Ecological Demand of Upland Wetlands for Water Using the Ecological-Water-Level Difference Method: Taking Wuliangsuhai Wetland as an Example

ZHAO Xiaoyu^{1,2}, YANG Peiling^{1*}, REN Shumei¹, ZHANG Zhenlin³

(1.China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2.The Second Water Conservancy And Hydropower Survey & Design Institute Of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China; 3.Hebei Water Affairs Group, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: 【Objective】 The purpose of this work is to present an improved method to calculate ecological demand of high-altitude wetlands for water. 【Method】 We took Wuliangsuhai Wetland as an demonstrative example and used the ecological water-level difference method to overcome the problems of non-sensitivity and low accuracy faced by other methods used previously to calculate ecological demands of wetlands for water. 【Result】 ①The minimum and proper coefficients of the water-level difference calculated for the Wuliangsuhai wetland were 0.786 and 1.213 respectively; the minimum and proper ecological water demands of the wetland were 56.45 million cubic meters and 75.80 million cubic meters respectively. ②The water available for ecological use in Wuliangsuhai was 46.8~68.5 million cubic meters. 【Conclusion】 The improved ecological water-level difference method proposed in this paper can be used to help design decontamination of wetlands, and is capable of calculating ecological water demands of wetlands, especially high-altitude wetlands similar to the Wuliangsuhai wetland. **Key words:** Wuliangsuhai; ecological water difference method; ecological water requirement; ecological water supplement

责任编辑:白芳芳