

我国华北地区湿地生态需水量 研究探讨与应用实例

朱 婧¹ 王利民² 贾凤霞³ 张 微^{1*} 刘建昌¹ 范秀英¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 保定市水利水电勘测设计院, 保定 071000;

3. 北京市顺义区环境保护局, 北京 101300)

摘 要 我国华北地区湿地通常处于缺水状态。当湿地分别为“资源型缺水”和“水质型缺水”时, 目前常用的几种生态需水量估算方法的适用范围是不同的。水量平衡法是较通用的方法; 而水量损失法和最低水位法主要适用于资源型缺水; 物质平衡法和逐年环境改良法则主要应用于污染型缺水的情况。针对不同的情况可以选取相应的估算方法。本文应用不同估算方法, 对河北保定白洋淀湿地和北京顺义杨镇湿地的生态需水量进行了估算, 通过估算结果间的比较, 反映出白洋淀湿地面临的污染问题更严重, 而杨镇湿地更亟需解决的是资源型缺水问题, 使其补偿措施更有针对性, 能更好地协调人与湿地生态环境间的关系。

关键词 湿地 生态需水量 资源型缺水 水质污染 估算方法

中图分类号 X171.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2007)11-0112-07

Calculation methods and case study of wetland ecological water demand in Northern China

Zhu Jing¹ Wang Limin² Jia Fengxia³ Zhang Wei¹ Liu Jianchang¹ Fan Xiuying¹

(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085;

2. Baoding Survey and Design Institute of Water Conservancy, Baoding 071000;

3. Beijing Shunyi Environmental Protection Bureau, Beijing 101300)

Abstract Water shortage and water pollution are two problems of China's wetlands in arid and semi-arid areas. Different estimating methods of ecological water demand should be used appropriately in the two cases. Water quantity balance method can be used in both of the two cases; water-loss quantity method and min water level method are suitable for the situation of water shortage; otherwise, material balance method and environment-changing-better-yearly method are suitable for the situation of water pollution. These methods are used to estimate the ecological water demand of Baiyangdian wetland and Yangzhen wetland. By comparing the results, Baiyangdian wetland was found to have worse pollution problems, and the Yangzhen wetland has to deal with the shortage of water. Suitable managements can well harmonize the relation between the people and wetlands ecosystem.

Key words wetland; ecological water demand; water shortage; water pollution; estimating method

湿地是陆地自然带中生命物质高密度聚集的自然生态系统, 具有巨大的环境功能和环境效益。在我国生态环境脆弱的北方地区, 湿地生态系统严重退化问题已经引起广泛的关注^[1]。这些湿地生态系统近年来面临着不断萎缩、退化、水质污染, 造成了资源型缺水 and 水质型缺水的危机, 迫切需要对生态需水量进行研究和估算, 用以协调人类与湿地生态的关系。近年来, 这方面的研究结果得到了较多的应用^[2~5], 本研究旨在对湿地生态需水量进行方法论上的探讨和实例研究。

1 湿地生态需水量的内涵

湿地生态需水量是为解决湿地生态问题及实现湿地保护管理目标所需要的水量, 也就是指湿地为

基金项目: 国家重点科技攻关课题(96-920-17-01)

收稿日期: 2006-06-05; 修订日期: 2007-08-28

作者简介: 朱婧(1982~), 女, 硕士, 主要从事环境工程、大气和水污染控制研究工作。

* 通讯联系人, E-mail: zhangw@rcees.ac.cn

维持自身发展过程、保证基本生态功能的发挥所需要的水量^[6-8],其内涵与生态建设和服务目标密切相关。一方面,湿地必须维持一定的水量,使之不因退化而走向衰亡;同时,湿地也必须维护一定的水质,以满足生态系统、景观建设和娱乐等功能的需求。湿地的实际状况不同,其首要满足的服务功能也不同。对于资源型缺水的湿地而言,维持水量是其满足其他功能的前提;而对于水质型缺水的湿地而言,环境稀释需水量的满足是其他服务功能的先决条件。针对不同的环境目标,生态需水量的估算方法也有所不同。所以有必要在估算生态需水量之前,对湿地进行生态系统预评价,确定首要环境服务功能,以选择其适合的生态需水量估算方法^[9]。

2 湿地生态需水量的估算方法及适用性评价

2.1 水量平衡的生态需水量(Q_{eco1})

根据湿地水量平衡的原理,湿地所蓄水量由于入流和出流量不尽相同而处在不断变化之中,在没有或较少人为干扰的状态下,湿地水量处于动态平衡中^[10]。

$$(F + R + I + Q_{eco1}) = (O + E + D)$$

$$\text{即: } Q_{eco1} = (O + E + D) - (F + R + I) \quad (1)$$

F 、 O ——地表径流多年平均入流量、出流量(亿 m^3);

R ——湖面多年平均降水量($10^8 m^3$);

I ——地下径流的入渗量^[11]($10^8 m^3$);

E ——多年平均水面蒸发量($10^8 m^3$);

D ——地下渗出量($10^8 m^3$)。

当人为干扰和人为取水量较大时,需将取水量 V ($10^8 m^3$) 计入平衡公式,得到:

$$Q_{eco1} = (O + E + D + V) - (F + R + I) \quad (2)$$

采用水量平衡法估算得到的生态需水量较全面地考虑了湿地蓄水的源和汇,可以认为若能满足该生态需水量的要求,湿地蓄水量将保持平衡,若其水资源的源和汇不发生较大变化,湿地不会面临干涸的威胁。

2.2 物质平衡时的生态需水量(Q_{eco2})^[12]

按湿地的水质平衡,假设湿地的物质总量恒定,则对每一污染物质,输入总量应等于排出总量。假设生态用水经湖泊完全混合后全部排出,则有(式 3~5):

$$Q_{eco2} \times C_{eco} = (Q_{out} + Q_{eco2}) \times C_{out} - Q_{in} \times C_{in} \quad (3)$$

$$Q_{out} \times C_{out} = O \times C_o + D \times C_d + H \times C_h + S \times D_e \quad (4)$$

$$Q_{in} \times C_{in} = R \times C_r + F \times C_f + A \times C_a + G \times C_g \quad (5)$$

C_{out} 、 C_{in} 、 C_{eco} ——湿地的输出、输入、生态用水的浓度(g/m^3);

Q_{out} 、 Q_{in} 、 Q_{eco} ——湿地的输出、输入、生态用水的水量(亿 m^3);

C_r 、 C_f 、 C_a 、 C_g ——湿地降水、入流水体、来自排干系统的农田退水和生产生活废水、地下补给水体的污染物的浓度或含量(g/m^3);

R 、 F 、 A 、 G ——湿地降水、入流水体、来自排干系统的农田退水和生产生活废水、地下补给水体的水量($10^8 m^3$);

C_o 、 C_d ——从湿地排出的水体、湿地渗漏水体的浓度(g/m^3);

C_h ——收获物中污染物的含量(%);

H ——年均的水生植物收获量($10^5 kg$);

S ——水生植物收获面积(km^2);

D_e ——单位面积水生植物降解水中污染物的量^[13]($10^5 kg/km^2$);

O 、 D ——从湿地排出的水体、湿地渗漏水体的水量(亿 m^3)。

事实上,完全混合情况下,湿地各输出水体的浓度应该等于湿地水体浓度(C),式(4)可简化为:

$$Q_{out} \times C_{out} = (O + D) \times C + H \times C_h + S \times D_e \quad (6)$$

同样,物质平衡时的生态需水量估算时,设定有些分量是稳定的,为 Q_{ck} ,即:

$$Q_{ck} = (D \times C_d + H \times C_h + S \times D_e) - (R \times C_r + F \times C_f + G \times C_g) \quad (7)$$

$$Q_{eco2} = (A \times C_a - O \times C_o - Q_{ck}) / (C - C_{eco}) \quad (8)$$

采用物质平衡法估算的生态需水量,综合考虑了湿地水资源的源和汇及其水质情况,使排入与排出湿地的污染物的量平衡。可以认为,如果满足该湿地生态需水量的水量和水质的双重要求,在源和汇的水量水质不发生较大变化的前提下,湿地的水质将保持初始状态,不发生改变。

2.3 逐年环境改良的生态需水量(Q_{eco3})^[12]

该方法采用动态观点(考虑水质达标(C_{std} , g/m^3)所需要的时间(r , a)、湿地的水体总量(Q , $10^8 m^3$)和污染物浓度(C_q , g/m^3)),假设湿地水体污染物质浓度在 r 年后经湖泊完全混合后达到水质标准 C_{st} ,且每年提供的生态需水量(Q_{eco3} , $10^8 m^3$)相同,提供的生态用水经湖泊完全混合后全部排出。

假设第1年提供生态用水(Q_{eco3}),年初和年末湿地水体的污染物浓度分别为 C_0 和 C_{01} (g/m^3),根据物质平衡原理,湿地的污染物减少量为输出量减去输入量:

$$Q \cdot (C_0 - C_{01}) = (Q_{out} + Q_{eco3}) \cdot C_{out} - (Q_{eco3} \cdot C_{eco} + Q_{in} \cdot C_{in}) \quad (9)$$

将(4)和(5)式代入得:

$$Q \cdot (C_0 - C_{01}) = O \cdot C_{01} + D \cdot C_{01} + H \cdot C_h + S \times D_e + Q_{eco3} \cdot C_{out} - (Q_{eco3} \cdot C_{eco} + R \cdot C_r + F \cdot C_f + A \cdot C_a + G \cdot C_g) \quad (10)$$

由上式可得:

$$C_{01} = (Q_{eco3} \cdot C_{eco} + R \cdot C_r + F \cdot C_f + A \cdot C_a + G \cdot C_g - H \cdot C_h - S \times D_e - Q_{eco3} \cdot C_{out} + Q \cdot C_0) / (Q + O + D) \quad (11)$$

此式可以简化为:

$$C_{01} = K_1 + K_2 \cdot C_0 \quad (12)$$

式中:

$$K_1 = (Q_{eco3} \cdot C_{eco} + R \cdot C_r + F \cdot C_f + A \cdot C_a + G \cdot C_g - H \cdot C_h - S \times D_e - Q_{eco3} \cdot C_{out}) / (Q + O + D) \quad (13)$$

$$K_2 = Q / (Q + O + D) \quad (14)$$

同样道理,第2年末湖泊湿地水体的污染物浓度(C_{02} , g/m^3)为:

$$C_{02} = K_1 + K_2 \cdot C_{01} = K_1 + K_1 \cdot K_2 + K_2^2 \cdot C_0 = K_1(1 + K_2) + K_2^2 \cdot C_0$$

因此,得到第 r 年末湖泊湿地水体的污染物浓度(C_{0r} , g/m^3)为:

$$C_{0r} = K_1(1 + K_2 + K_2^2 + \dots + K_2^{(r-1)}) + K_2^r \cdot C_0 \quad (15)$$

如果在 r 年要使水质达标,则有:

$$C_{0r} = C_{std} \quad (16)$$

这样,求解以下方程,可得每年需提供的生态需水(Q_{eco3}):

$$C_{std} = K_1(1 + K_2 + K_2^2 + \dots + K_2^{(r-1)}) + K_2^r \cdot C_0 \quad (17)$$

采用逐年环境改良法估算的生态需水量,在考虑湿地水资源的源和汇及其水质情况的同时,将水质改良作为目标,在规定年内,使排出湿地的污染物的量多于排入量,从而达到使环境逐渐改良并在要求的年份内达到环境标准要求的目的。该方法的应用主要针对于污染情况较严重,使生态系统功能受到影响的湿地。

2.4 水量损失法(Q_{eco4})^[14]

该方法仅考虑生态需水量是补偿蒸发^[15]和渗

漏损失2项,不考虑湿地向河海的泄水量。水量损失法的计算公式为:

$$W = A(E - P) + L \quad (18)$$

W ——生态需水量($10^8 m^3$);

A ——多年平均水面面积($10^2 km^2$);

E ——多年平均水面蒸发量(m);

P ——多年平均降雨量(m);

L ——渗漏水量($10^8 m^3$)。

采用水量损失法估算的生态需水量仅以湿地水域范围为考察目标,而把地表和地下径流的补给和地表径流的排出也视为外部因素,因此,水量损失法估算所得的生态需水量指的是湿地水域的生态需水量,在与其他方法估算的生态需水量进行比较时需考虑地表径流和地下径流对湿地蓄水量的影响。

2.5 最小水位法(Q_{eco5})^[9]

为实现湿地的不同生态环境服务功能所需的最低水位是不同的。最小水位法指综合考察湿地所要求满足的多个生态环境功能所需最低水位的最大值 H_{min} 来确定湿地生态系统需水量。

$$Q_{eco5} = H_{min} \times A \quad (19)$$

H_{min} ——湿地所要求满足的多个生态环境功能所需最低水位的最大值(m);

A ——多年平均水面面积($10^2 km^2$)。

采用最小水位法着眼于湿地水量对其环境服务功能的影响,其实质也是对湿地蓄水总量的要求,而不考虑水质的影响,亦不考虑湿地水资源的源与汇的情况。水位法的估算与生态系统的各项服务功能密切相关,在估算之前需对生态系统的各项功能及其规划目标进行评价,确定其主要环境功能,并在此基础上确定需估算的生态需水量的类型和采用的指标^[9]。

2.6 方法适用性评价

上述5种估算生态需水量的方法分别从不同的出发点进行估算,水量平衡法主要从保证湿地水量不减少的角度考虑;物质平衡和逐步改良法则着眼于保证湿地水体水质不恶化或者逐步改善;水量损失法考察的是湿地本身消耗的总水量,自然径流和人工调水补充的水量均可作为其生态需水量的来源;最小水位法则主要着眼于湿地蓄水总量必须满足生态系统服务功能的要求,与考察的角度与之前4种有较大的差别。

在湿地生态需水量的估算过程中,以上5种方法的针对性也并不相同,因此可以根据不同的情况

采用相应的估算方法。

(1)对于资源型缺水和水质型缺水这 2 种情况而言,水量平衡法是较通用的方法,因为保证水资源平衡以遏制生态系统的急剧恶化是所有湿地首先必须达到的目标。

(2)对于缺水导致水域不断缩小,而水质污染较轻微的湿地,如果人为取水量过大,势必导致其生态系统难以为继。在这种情况下,需要加强管理,严格限制水资源的挤占;对于严重缺水的地区,甚至需要通过生态调水来满足生态系统对水的要求。而通过生态需水量的估算,能够明确维持生态系统所需的水量,对水资源合理配置和利用有指导性意义。对于这类“水量优先”的湿地情况,除水量平衡法外,水量损失法和最低水位法也比较适合用来估算最小生态需水量;

(3)对于主要因为污染而导致水质型缺水的湿地生态系统而言,如何保证水质不进一步恶化进而并得到改善是使其实现生态系统服务功能的关键所在。减少污染物的排放以及通过生态调水稀释湿地中的污染物至不危害其中生物体的浓度是解决这一问题的 2 个途径。对于这类“水质优先”的湿地情况,除水量平衡法外,物质平衡法及逐年环境改良法更适用以估算最小生态需水量;

(4)对于水量和水质问题同时存在的湿地,其主要胁迫因子并不明确,可以分别运用“水量优先”和“水质优先”的估算方法得到生态需水量,再通过比较两者最小生态需水量的区别,了解维持该湿地生态系统环境功能的主导因子,从而明确湿地水资源的管理维护措施的着重方向。

综上所述,在估算湿地生态系统的需水量时,必须首先对湿地生态系统的各项限制因子进行考察,确定维持生态系统环境功能的关键因子,为其生态需水量的估算选取合适的方法。

3 应用实例

3.1 白洋淀湿地生态需水量分析

3.1.1 白洋淀湿地基本情况

白洋淀地处北京、天津和石家庄 3 市的三角形中心位置,行政区属于保定市安新、容城、雄县、高阳和沧州市的任丘等 5 个县(市),包括 143 个淀泊,总面积 366 km²,当水位在 8.8 m 时,85.6% 的水域分布于安新境内。白洋淀属于平原半封闭式浅水型湖泊型湿地,不具备多年调剂能力,正常年份水位为

7.3 ~ 8.5 m,水位在 6.5 m 时,淀内蓄水总量为 0.52 × 10⁸ m³,水面面积仅为 70 km²,视为干淀。其多年平均水量情况如表 1 所示。

表 1 白洋淀多年平均进出水量及其水质
Table 1 Annual input/output and quality of water in Baiyangdian wetland

项 目		水量 (10 ⁸ m ³)	合计 (10 ⁸ m ³)	BOD (g/m ³)
入湿地水量	入流水体	0.66	1.26	24.7
	湿地降水	0.60		0
出湿地水量	水面蒸发量	0.92		0
	出流水体	0.34	1.87	6.3
	植物耗损水量	0.23		0
	湿地渗漏水量	0.38		6.3

白洋淀是华北地区最大的湿地生态系统,是珍稀鸟类在华北地区中部最理想的栖息地,常见的大型水生植物共 47 种;鱼类 54 种;鸟类 192 种,其中国家 I 级保护鸟类 3 种;野生哺乳动物 14 种,其中国家级保护动物 5 种,不仅是生物多样性的摇篮,而且由于土壤、水、植物和动物之间的相互作用,使其能够发挥很多极其重要的功能。

3.1.2 湿地胁迫因子分析

近几十年来,受水源不足、水位不稳和过度开发等影响,致使白洋淀多次干淀和持续低水位,航道不能行船,污水得不到稀释,淀区湿地萎缩,湿地中喜水植物和芦苇等失去了生长条件,大面积的芦苇变成了湿草甸,湿草甸又变成了干草地。更有甚者,不少地方为排水或引水灌溉,在湿地腹地肆意挖沟修渠、无序围堰,加速了湿地的破碎化和岛屿化,大大降低了其自净能力,切断了湿地植被的天然联系,也切断了栖身湿地鱼类和其他水生动物的洄游通道,妨碍了其繁殖或改变了其季节性的迁徙模式,因而构成了对白洋淀湿地生物多样性的严重影响,也严重影响了淀区人民水产养殖等经济的发展。

同时,白洋淀的水质也不容乐观。保定市环境监测站、蠡县环保局、定州环保局、满城环保局和河北大学等单位采用国家环境保护总局编制的《水和废水监测分析方法》中相应的分析方法对白洋淀流域水质布点监测的结果表明:白洋淀在低于 8.4 m 水位的情况下,环境功能区划为Ⅲ类区的水域实际水质为Ⅳ类,轻度污染;环境功能区划为Ⅳ类区的水域实际水质为劣Ⅴ类,重度污染。白洋淀以有机污

染物为主,高锰酸盐指数、生化需氧量 BOD 和总磷超标严重,尤其是高锰酸盐指数,各观测点超标率达 100%,平均值达到 9.91 mg/L。入流水体的生化需氧量仍然达到 24.66 mg/L,远高于地表水质Ⅲ类标准的 4 mg/L,生物生长的环境持续恶化,对生态系统的维持同样产生了严重的威胁。

可见,威胁白洋淀生态系统的是水量和水质双重因子,因此,在估算其生态需水量时,应对双方面均予以充分的考虑。

3.1.3 白洋淀生态需水量的估算结果与讨论

采用 5 种方法对白洋淀生态需水量进行估算,方法具体步骤见本文第 3 部分。水量平衡法、水量损失法所需数据见表 1;物质平衡法和环境改良法考虑到数据的代表性和可获得性,仅根据 BOD(现状为:6.3 g/m³,环境标准按照功能区划取《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的Ⅲ类标准,为:≤4.0 g/m³),一项进行估算,依据河北省保定市白洋淀流域生态系统综合管理与环境保护项目“王快-西大洋水库综合管理工程”所规划的从王快水库和西大洋水库调水补充白洋淀的需水量,这 2 种方法采用的生态需水的水质均满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的Ⅱ类标准,为 2.0 g/m³,另外,来自湿地周边村落中居民产生的垃圾渗滤液每年排放 BOD 为 8.6 t,湿地芦苇每年降解 BOD 的量为 29.0 t;最低水位法主要考虑了芦苇生长(需水深 0.7 m)、其他水生植物生长(需水深 1.0~1.5 m)、渔业(需水深 1.0~3.0 m)和旅游业(需水深 0.7~2.0 m 以上)等 4 项生态服务功能^[16~18]。估算结果如表 2 所示。

表 2 不同方法估算的白洋淀最小生态需水量
Table 2 Baiyangdian wetland's minimum ecological water demand estimated by different methods

序号	方法	生态需水量(10 ⁸ m ³)
1	水量平衡法	0.61
2	水量损失法	0.73
3	最低水位法	1.22
4	物质平衡法	3.14
5	逐年环境改良法	5.01(1年);4.58(10年)

从理论上而言,白洋淀的最小生态需水量应是能满足水质、水量等多方面需求的水量。但由以上的结果可以看到,水量平衡法估算所得的生态需水量仅为 0.61 × 10⁸ m³,反映水资源型短缺问题的水

量损失法和最低水位法分别的估算结果都远远低于反映水污染性短缺问题的物质平衡法和逐年环境改良法的估算结果,这说明,限制白洋淀生态系统服务功能的关键因素并不是水量问题,而是污染问题,因此白洋淀水资源管理应着重于处理水质污染的问题。

为维持白洋淀的现有水质水平,需要提供 3.21 × 10⁸ m³ 生态用水,而要使白洋淀水质在 1 年内达到环境功能区划所要求的标准,需要 5.01 × 10⁸ m³ 生态用水,即使是将达标的期限放宽到 10 年,也需要 4.58 × 10⁸ m³ 生态用水,这在目前而言是不可行的。所以,对于白洋淀的管理而言,除了统筹水的利用外,还应加大水质管理力度,切实治理排入淀区的污水,尤其是入淀河流的水质及白洋淀中水村居民的生活废水、垃圾渗滤水等,减少排入湿地的污染物水平,就能降低保护白洋淀环境的生态需水量,从而实现白洋淀水质的稳定和恢复。

3.2 北京顺义杨镇湿地生态需水量分析

3.2.1 杨镇湿地概况

北京顺义杨镇湿地原为蔡家河上调蓄洪水的水库,今年由于上游来水减少,逐步发展成为库塘型湿地,具有一定的动植物资源。大量芦苇、香蒲和水葱等湿地植物大量生长,为水禽的栖息繁殖提供了更大的空间,使其成为一块具有特殊保护意义的湿地。

3.2.2 杨镇湿地胁迫因子分析

近年来汉石桥湿地正面临着迅速退化的威胁。自 1999 年以来,由于连年干旱,湿地上游的 2 条河流已基本断流,湿地特征植物得以生长的区域以及水面面积比以前都有大幅度的缩减。2003 年的调查资料表明,湿地水面面积缩减到约 33 hm²,仅为 1996 年水面的 1/5(1996 年水面面积为 164 hm²)。湿地边缘,尤其是北部和西南部,正逐渐向旱地转变。这一地区内也由于干旱而导致了植物种群的变化,水生植物逐渐减少,旱生植物逐渐侵入,而且寄生植物的蔓延对所有植物的生长有所影响。由于近年来的持续干旱,在考虑年平均进出水量时主要考虑了干旱年份的水量值(表 3)。

在湿地内设立 5 个监测点,入湿地河流排放口设立 3 个监测点,选用《地表水环境质量标准》中规定的方法对湿地水质进行监测分析。结果表明,由各项污染物指标除氨氮外,大部分指标都超过了应执行的地表水Ⅳ类标准。其中 COD 的超标率为 80%,各采样点平均值达 50.8 mg/L,超标 1.69 倍。

表 3 杨镇湿地干旱年平均进出水量

Table 3 Annual input and output of water in Yangzhen wetland in arid year

项 目	水量 (10^4 m^3)	合计 (10^4 m^3)	COD (mg/L)
入湿地水量			
入流水体	119.2	266.64	101.1/30
湿地降水	77.3		0
地下侧向 径流补给	70.1		14.2
出湿地水量			
水面蒸发量	181.6		0
出流水体	0	363.16	0
植物耗损水量	92.9		0
湿地渗漏水量	88.7		50.8

水质监测结果表明:主要污染源来源于入湿地河流贾家河,除抽取地下水外,它是湿地惟一的入流河流,目前实际为附近企业和居民的排污河,COD 值为 101.1 mg/L ,导致杨镇湿地自净能力严重不足。目前拟在贾家河口兴建一座污水处理厂,处理水量为每天 $5\,500 \text{ m}^3$,污水经处理后,COD 可达《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) IV 类标准 ($\leq 30 \text{ mg/L}$),将使湿地环境得到较大的改善。

由以上分析同样可以看出,杨镇湿地也受到水质和水量双重问题的困扰。可通过不同生态需水量估算方法找到其生态系统受限制的关键因子。

3.2.3 杨镇湿地生态需水量的估算结果与讨论

同样采用 5 种方法对杨镇湿地生态需水量进行估算,方法具体步骤见本文第 3 部分。水量平衡法、水量损失法所需数据见表 3,物质平衡法和环境改良法考虑到数据的代表性和可获得性,仅根据 COD (现状为: 50.8 g/m^3 ,环境标准按照功能区划取《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 的 IV 类标准,为 $\leq 30 \text{ mg/L}$) 一项进行估算,依据当前杨镇湿地通过提取地下水维持湿地蓄水量的情况,这 2 种方法采用的生态需水的水质均采用当地地下水监测的 COD 值为: 14.2 mg/L ,另外,湿地芦苇每年降解 COD 的量为 42.2 t ,考虑到估算结果的现实性和将来的运用性,采用入流水体的 COD 值分别从污水处理厂运营前和运营后两方面进行考虑,即分别为 101.1 mg/L 和 30 mg/L ;由于杨镇湿地功能比较简单,最低水位法主要考虑了芦苇生长(需水深 0.7 m)、其他水生植物生长(需水深 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$)等 2 项生态服务功能^[16,17]。各项水量均按照干旱年份

水量予以考虑。估算结果如表 4 所示。

表 4 不同的方法估算的杨镇湿地最小生态需水量

Table 4 Yangzhen wetland's minimum ecological water demand estimated by different methods

序 号	方 法	生态需水量 (10^4 m^3)	
1	水量平衡法	96.52	
2	水量损失法	285.82	
3	最低水位法	183.67	
4	物质平衡法	污水处理前	污水处理后
		124.87	-88.69(即系统能自净)
5	逐年环境改良法	581.89(1 年);	258.40(1 年);
		280.57(10 年)	0(5 年)

由表 4 可知,水量损失法和最低水位法均从湿地本身不同服务功能对水量的需求方面予以考虑,未包括流入湿地的河流水量 ($189.30 \times 10^4 \text{ m}^3$),导致估算所得的生态需水量偏大。要达到保持水量平衡的目标,杨镇湿地缺少生态用水 $96.52 \times 10^4 \text{ m}^3$;而平衡法和逐年环境改良法的估算结果可以看出,在不对排入湿地的水体处理之前,要保持杨镇湿地目前的环境水平,需要提供 $124.87 \times 10^4 \text{ m}^3$ 生态用水,要使之在 10 年之内达标需要的生态用水量是 $280.57 \times 10^4 \text{ m}^3$;但在污水处理厂发挥作用之后,入流水体带来的污染物量减少,在地下较干净水源的补给作用下,不需要生态补水系统也能发挥自净作用,在 5 年内恢复并达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) IV 类标准的要求,这说明,限制杨镇湿地生态服务功能的最大因素是水量不足,但水质污染情况也不容忽视,必须切实落实污水处理厂的建设和运营,并在其建成投产前采取合理的措施遏制湿地水体的污染。

杨镇湿地目前是采用抽取地下水的方法保持湿地水量,然而过度开采地下水将会带来地面下陷等严重的环境后果,所以,必须首先加强水资源的利用,保持足够的达标水量供应,杨镇湿地的污染问题也将随之得到改善。

4 结 论

湿地生态需水量的内涵与湿地的生态建设和服务目标密切相关,不同的估算方法所体现的内涵和所要达到的服务目标是不同的。本文分析了 5 种湿地生态需水量的估算方法及其面对“资源型缺水”和“水质型缺水”不同情况时的适用性,并通过对河

北保定白洋淀湿地和北京顺义杨镇湿地生态需水量的具体估算结果比较,揭示出湿地的生态缺水的性质,为如何解决湿地的生态缺水问题提出了有效的途径。

在5种估算方法中,水量平衡法是较通用的方法,对于2种性质的缺水都是必须首先以保证水量不减少为前提;而水量损失法和最低水位法主要适用于资源型缺水;物质平衡法和逐年环境改良法则主要应用于污染型缺水的情况。

对于白洋淀湿地这类水质和水量都面临威胁的湿地,通过不同估算方法的比较发现,污染是其最主要的限制因子,为“水质型缺水”,因此在统筹水的利用的同时,必须重视入淀水体的水质问题,才能双管齐下地满足白洋淀湿地的生态服务功能。而杨镇湿地的主要问题则是“资源型缺水”,在保证输入水体达标的前提下,如能提供足够的水量,则湿地的干旱萎缩和水质恶化问题都将得到缓解。

参考文献

- [1] 王芳,梁瑞驹,杨小柳,等.中国西北地区生态需水研究(1)——干旱半干旱地区生态需水理论分析.自然资源学报,2002,17(1):1~8
- [2] 杨志峰,崔保山,刘静玲,等.生态环境需水量理论方法与实践.北京:科学出版社,2003
- [3] 张远,杨志峰.黄淮海地区林地最小生态需水量研究.水土保持学报,2002,16(2):72~75
- [4] 王芳,王浩,陈敏建.中国西北地区生态需水研究(2)——给予遥感和地理信息系统技术的区域生态需水量计算及分析.自然资源学报,2002,17(2):129~137
- [5] 王让会,卢新民,宋郁东,等.西部干旱区生态需水的规律及特点——以塔里木河下游绿色走廊为例.应用生态学报,2003,14(4):520~524
- [6] 崔丽娟,鲍达明,肖红,等.湿地生态用水计算方法探讨与应用实例.水土保持学报,2005,19(2):147~151
- [7] 栗晓玲,康绍忠.生态需水的概念及其计算方法.水科学进展,2003,14(6):740~744
- [8] 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):633~636
- [9] 刘静玲,杨志峰.湖泊生态环境需水量计算方法研究.自然资源学报,2002,17(5):604~609
- [10] Wetzel R. G. Plant and water in and adjacent to Lakes. Baird A. J., Wilby R. L. Eco-hydrology. London and New York: University of Cambridge Press,1995
- [11] 沈振荣,张瑜芳,杨诗秀.水资源科学实验研究——大气水、地表水、土壤水、地下水相互转化关系.北京:中国科学技术出版社,1992
- [12] 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.生态学报,2004,24(10):2124~2129
- [13] 李建国,李贵宝,刘芳,等.白洋淀芦苇资源及其生态功能与利用.南水北调与水利科技,2004,2(5):37~40
- [14] 卞戈亚,周明耀,朱春龙.生态需水量计算方法研究现状及展望.水资源保护,2003,(6):46~49
- [15] 李丽娟,郑红星.海滦河流域河流系统生态环境需水量计算.海河水利,2003,(1):6~8
- [16] 王浩,陈敏建,唐克旺.水生态环境价值和保护对策.北京:清华大学出版社,2004
- [17] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等.中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价.自然资源学报,2003,18(4):55~57
- [18] 李建国,李贵宝,王殿武,等.白洋淀实地生态系统服务功能与价值估算的研究.南水北调与水利科技,2005,3(3):18~21