

DOI:CNKI:61-1390/S.20110711.1726.024

网络出版时间:2011-07-11 17:26:00

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20110711.1726.024.html>

乌梁素海生态补水量研究

王义民,李五勤,畅建霞,万芳,黄强

(西安理工大学 水利水电学院,陕西 西安 710048)

【摘要】 【目的】分析乌梁素海存在的生态环境问题,确定恢复乌梁素海生态环境的生态补水量。【方法】在分析乌梁素海生态环境存在问题的基础上,应用功能法,依据湖泊蒸发量、渗漏量以及污染物控制需水量,推求了乌梁素海最小生态需水量,根据湖泊水量平衡原理,对乌梁素海的生态补水量进行了计算。【结果】在确定的乌梁素海排水量及排放污染物情况下,使 COD 达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的最小生态需水量分别为 36.31 和 17.41 亿 m^3 ,相应的生态补水量分别为 30.87 和 11.97 亿 m^3 ;使氨氮达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的最小生态需水量分别为 28.1 和 13.31 亿 m^3 ,生态补水量分别为 22.66 和 7.87 亿 m^3 。【结论】恢复乌梁素海生态环境需要大量的水资源,需根据湖泊容积和修复计划分年度补水。

【关键词】 乌梁素海;生态补水量;功能法

【中图分类号】 X820.2;X524

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)08-0224-05

Study on ecological filling water volume of Wuliangsuhai lake

WANG Yi-min, LI Wu-qin, CHANG Jian-xia, WAN Fang, HUANG Qiang

(Institute of Water Resources and Hydroelectric Power, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: 【Objective】 The research is conducted to analyze the ecological problems of Wuliangsuhai, and calculate the ecological water supplement volume for Wuliangsuhai ecological restoration. 【Method】 Based on analyzing the ecological environment problems of Wuliangsuhai, ecological water demand is calculated by applying function method, which mainly include lake evaporation, seepage quantity and water demand for contamination control. According to the lake water balance principle, ecological water supplement for Wuliangsuhai is calculated. 【Result】 In the event of given water discharge and pollution, in order to improve the COD to Ⅳ and Ⅴ class, ecological water demand is respectively $36.31 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $17.41 \times 10^8 \text{ m}^3$, and ecological water supplement is respectively $30.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $11.97 \times 10^8 \text{ m}^3$. In order to improving the NH_3N to Ⅳ and Ⅴ class, ecological water demand is respectively $28.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $13.31 \times 10^8 \text{ m}^3$, and ecological water supplement is respectively $22.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $7.87 \times 10^8 \text{ m}^3$. 【Conclusion】 A large amount of water resources are needed to restore Wuliangsuhai eco-environment, and water should be supplied according to lake volume and restoration plan annually.

Key words: Wuliangsuhai lake; ecological water supplement volume; function method

湖泊生态系统是重要的陆地水生态系统,随着社会用水量的快速增长和工业化的快速发展,

进入湖泊的水量逐渐减少,而污染物不断增加,导致湖泊水位持续下降、水质恶化和生态系统衰退等生

* 【收稿日期】 2011-01-25

【基金项目】 国家重点基础发展研究计划项目(2011CB403306);水利部公益性行业科研专项(201101043,201001012,201101049);教育部科学技术研究重点项目(209125)

【作者简介】 王义民(1972—),男,山西新绛人,副教授,博士,主要从事水资源系统工程研究。E-mail: wangyimin@xaut.edu.cn

态问题。为科学恢复湖泊的生态功能,首先需要计算湖泊的生态需水量和生态补水量。虽然国外早在 20 世纪 40 年代就开始了生态需水的研究,但主要是针对河流,而关于湖泊生态需水的研究较少,且现有的研究多从水文变化与生物多样性、生态系统服务功能等方面进行分析,以研究水位变化的生态效应。在国内对湖泊生态需水的研究尚处于起步阶段,徐志侠等^[1]从入湖生态需水、湖区生态需水和出湖生态需水 3 个方面研究了吞吐型湖泊的最小生态需水;贺新春等^[2]对城市湖泊生态环境需水进行了分析。但对湖泊生态补水的研究较少。由于不同类型湖泊的生态环境及社会、经济特性差异较大,湖泊最小生态需水量的计算方法也有所不同,目前常用的主要有曲线相关法、水量平衡法、最小水位法、功能法等^[3-5]。

乌梁素海是同纬度最大的自然湿地,在我国北方地区承担着重要的生态屏障作用。同时,乌梁素海也是河套灌区的重要组成部分,它接纳了河套地区 90% 以上的农田排水,经过湖泊的生物生化作用后排入黄河,起到控制河套地区盐碱化、改变水质、调控水量等关键作用。20 世纪 90 年代以来,随着巴彦淖尔市工业化、城镇化进程的加快,乌梁素海在湖泊面积、水质情况等方面发生了巨大的变化,引发了一系列生态环境问题。王效科等^[6]在系统分析乌梁素海水文水循环特征的基础上,对不同保护目标下乌梁素海的生态需水量进行了估算;付新峰等^[7]从生态修复的角度,明确了乌梁素海的生态定位;段晓男等^[8]综合运用生态学、经济学方法,对内蒙古乌梁素海湿地生态系统服务功能进行了价值评价。这些研究为乌梁素海生态需水研究奠定了很好的基础,但是近几年乌梁素海入湖、出湖水量、水质、水位等发生了较大的变化,现有研究成果已不能很好地反映湖泊现状,而且也未涉及到湖泊生态补水情况。为维持和保证湖泊生态系统正常的生态环境功能,本研究利用功能法和水量平衡原理,着重分析了乌梁素海当前面临的生态环境问题,并对其生态需水量和补水量进行推求,以期为乌梁素海的生态治理与修复提供依据。

1 乌梁素海湖泊的形成与现状

乌梁素海是中国的八大淡水湖之一,它位于内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特前旗境内,是由黄河改道

而形成的河迹湖,也是黄河流域最大的湖泊。湖区多年平均气温 7.3℃,年平均降雨量为 217 mm,年蒸发量为 2 400 mm,属于典型的温带大陆性气候。

内蒙古乌梁素海原是古黄河北河河道,清道光三十年(公元 1850 年),北河上部淤塞,下部乌拉山西侧一段留下 2 个河迹湖,后因黄河洪泛、山洪汇聚而成海。清光绪二年以后,河套地区大规模引黄灌溉,大量田间退水入海,促使海域面积不断扩大,解放前夕最大面积达 800 多 km²。进入 20 世纪 70 年代,乌梁素海周边实施围湖造田,湖滨一带多垦为农田,湖区面积逐渐缩小。1977 年总排干沟建成后,灌溉尾水经过各级排水沟汇入乌梁素海,年排水量增加到 3.5 亿 m³。1980 年,乌梁素海至黄河出口疏竣,并建成红圪卜排水站,扬尾水入黄河,总排干沟年排水量达到 5 亿 m³。至此,乌梁素海能够通过排水设施调节湖面水位,使湖水面积较为稳定,一般在 293 km²,湖面海拔 1 018.79 m。

乌梁素海湖泊现状为北宽南窄,入湖主要水源为河套灌区引黄灌溉排水、当地降水和山洪水。根据 2008-04-16 影像解译结果,乌梁素海现状湖面南北长 35~40 km,东西宽 5~10 km,湖面面积 316.41 km²,其中明水区面积约为 107.69 km²,芦苇和沼泽区面积为 208.72 km²(占湖面面积的 66%);湖水深 0.5~3.2 m,水面高程为 1 018.58 m,容积为 3.22 亿 m³^①。乌梁素海现状水域、植被分布见图 1。

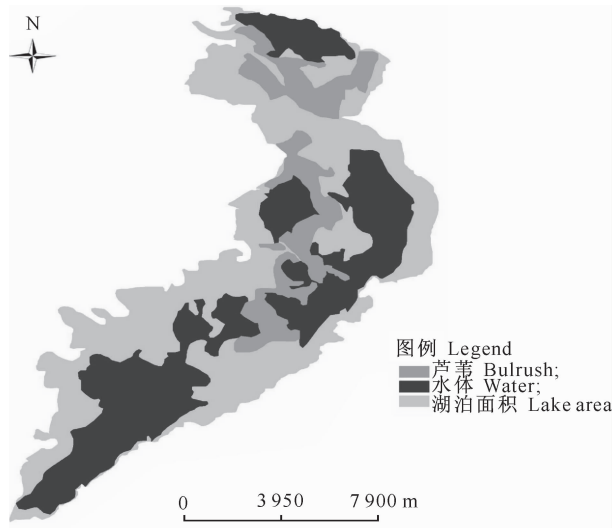


图 1 乌梁素海现状水域、植被的分布状况
Fig. 1 Water area and vegetation distribution of current Wuliangsu lake

* ①黄河水利科学研究院,西安理工大学,黄委会水文局. 乌梁素海水生态系统修复规划报告. 2010.

2 乌梁素海的生态环境问题

2.1 水质恶化

据调查,20 世纪 80 年代排入乌梁素海的总氮平均为 1 086.94 t,总磷 65.747 t,而到 90 年代排入湖中的总氮高达 2 464 t,总磷达 277.9 t,是 80 年代的 2 和 4 倍,并呈逐年上升趋势,水质日益恶化^[9]。特别是每年 2—6 月份,乌梁素海的主要补给水源几乎全是来自上游的工业废水和生活污水,而此时恰好处于枯水期,湖泊稀释自净能力差,所以该时段是乌梁素海水质最差的时期,6 月中旬由于农田排水的补给,水质有所好转,但污染仍十分严重,水质为劣 V 类水。

2.2 水位下降迅速

乌梁素海湖面面积由解放前夕的 800 多 km²,发展到目前已急缩至 316.41 km²。湖泊水位持续下降,由 1978 年以前的 1 020 m 降到现在的 1 018.58 m,最大水深由原来的 4 m 减少到现在的 3.2 m。分析其中原因:一是由于气候变迁,北方降水逐年减少,黄河水量锐减,通过退水渠使黄河水倒流入湖的情况不再存在;二是随着上游灌溉节水工程的实施,整个灌区用水量减少 20%左右,灌区退水进入乌梁素海的水量相应减少了 4.5~3.9 亿 m³;三是乌梁素海地处西北干旱半干旱的过渡地带,湖内芦苇的蒸腾和湖水大量蒸发,损失掉了一定的水量;四是湖泊周围水土流失严重,雨水携带大量冲积物(砂石、卵石)通过沟渠进入乌梁素海,加大了湖泊的淤积程度。

2.3 水生植物过量生长、沼泽化趋势加剧

大量的营养物质和适宜的气候条件,给乌梁素海的沉水植物和挺水植物提供了理想的生长条件,湖区水生植物过量生长,沼泽化趋势加剧。2008-04-16 遥感资料表明,乌梁素海湖区除 66% 的面积为芦苇和沼泽外,其他水体几乎全部被沉水植物充塞,水生植物的腐烂沉积加速了淤积作用。据卫星图片比较分析,近 10 年芦苇区和沼泽地增加了 24 km²,淤积面积增加了 1.1 km²。按此速度演化,乌梁素海将在未来 30~100 年内成为芦苇沼泽地而全部丧失湖泊的功能。

2.4 湖区周围湿地生态系统功能退化

乌梁素海周围有丰富的湿地资源,对污染物拦截和水质净化具有重要作用。随着近年来灌区的不断发展,其湿地生态功能退化,污染物净化和拦截能力下降。

为解决乌梁素海水质恶化、湖体萎缩等生态环境问题,必须对整个湖泊水环境进行修复,如修建污水处理厂、收割沉水植物、建立湿地预处理系统、疏浚底泥等,而进行生态补水即引黄河水入湖,确保湖泊生态系统必需的最小水量是解决生态系统危机的一个有效措施^[8,10-11]。

3 乌梁素海生态补水量的计算

3.1 湖泊生态补水量的计算

湖泊生态补水量是为维持或恢复湖泊生态系统平衡和健康,并使其满足一定水质要求所需要补充进入湖泊的径流量。生态补水量的确定不能只考虑所需水量的多少,同时还应保证湖泊生态系统各项服务功能的正常发挥^[12-15]。本研究依据水量平衡原理探讨了湖泊生态补水量的计算方法。

考虑生态补水后,任意时段的湖泊水质水量平衡方程式为:

$$dV/dt=(I+R+W+G_1)-(C+E+G_2)。(1)$$

式中: dV/dt 为单位时间内湖泊水体体积变化, I 为地表径流的入湖水量(m³), R 为降雨量(m³), W 为湖泊生态补水量(m³), G_1 为地下径流的入湖水量(m³), C 为地表径流的出湖水量(m³), E 为湖区最小生态需水量(m³), G_2 为地下径流的出湖水量(m³)。

从式(1)可以看出,湖泊水量平衡方程可以分为 3 个部分^[16-17]。第 1 部分为进入湖泊的径流量,包括进入湖体的地表径流量、降雨量、地下径流量及湖泊生态补水量,简称入湖水量;第 2 部分为湖区最小生态需水量 E ,即在维持湖泊生态系统基本功能不严重退化的前提下,湖泊水体所需要消耗的水量;第 3 部分为流出湖泊的径流量,包括地表和地下径流,简称出湖水量,其中湖体渗漏量为流出湖泊的地下径流量。

假设湖体水质达到某一水平时水量变化量为零,则湖泊生态补水量可表示为:

$$W=(C+E+G_2)-(I+R+G_1)。(2)$$

为此,可依据式(2)求出乌梁素海的生态补水量。可以看出,根据水量平衡原理推求湖泊生态补水量的关键是湖区最小生态需水量的计算。

3.2 乌梁素海最小生态需水量的计算

功能法是从维持和保证湖泊水体生态系统正常生态环境功能的角度,对最小生态需水量进行估算的计算方法。湖泊基本功能可分为环境功能、生态功能和生产功能。环境功能需水量主要包括湖泊防

盐化需水量、景观需水量、污染物控制需水量等;生态功能需水量主要指水生生物栖息地需水量、湖泊蒸发量、渗漏量等;生产功能需水量包括航运需水量、水力发电、灌溉等部门的需水量^[18-21]。

对于乌梁素海,近期最主要的生态保护目标是维持湖泊水深和面积,改善水质,满足湖泊基本功能。因此,计算其最小生态需水量时主要考虑了乌

梁素海的蒸发量、渗漏量以及污染物控制需水量。

3.2.1 蒸发渗漏量 据统计分析,乌梁素海年平均蒸发渗漏量为 4.36 亿 m³,由于其地处西北干旱地区,且年平均蒸发量占大部分,约为 3.6 亿 m³,年平均渗漏量为 0.76 亿 m³。表 1 为乌梁素海多年各月平均蒸发渗漏量统计结果^①。

表 1 乌梁素海多年各月平均蒸发渗漏量

Table 1 The mean monthly water evaporation and leakage quantity of Wuliangsuhai lake 万 m³

月份 Month	蒸发渗漏量 Evaporation quantity	月份 Month	蒸发渗漏量 Evaporation quantity	月份 Month	蒸发渗漏量 Evaporation quantity
1	515.62	5	6 732.93	9	3 963.14
2	1 156.10	6	6 857.34	10	2 313.91
3	2 703.26	7	6 827.47	11	1 153.53
4	5 298.59	8	5 468.82	12	609.29

3.2.2 污染物控制需水量 (1)计算模型。乌梁素海的主要补给水源是灌溉退水、工业废水和生活污水,为改善水质,需一定水量来稀释污染物。乌梁素海含量排在前 5 位的污染物分别是总氮、氨氮、化学需氧量(COD)、汞和氯化物,污染负荷比基本在 10%以上,其中 80%以上的来源是氨氮,而氯化物主要对矿化度有影响,故污染物总量控制主要考虑 COD 和氨氮 2 种污染源。

污染物控制需水量可直接从黄河引水。根据物质平衡原理,如果要保持输入的污染物总量与输出量相同,则有:

$$WO \cdot P_o = WI \cdot P_i + WE \cdot P_E. \quad (3)$$

式中:WO、WI 分别为湖泊出湖、入湖水量,m³;P_o、P_i 分别为出湖、入湖水的污染物质量浓度,mg/L;WE 为污染物控制需水量,m³;P_E 为引入黄河水中的污染物背景质量浓度,mg/L。其中:

$$WI \cdot P_i = R \cdot P_R + F \cdot P_F + T \cdot P_T. \quad (4)$$

式中:R、P_R 分别为湖面降雨量(m³)及其污染物质量浓度(mg/L),F、P_F 分别为洪水入湖水量(m³)及其污染物质量浓度(mg/L),T 和 P_T 分别为来自排干系统的农田退水量与生产生活废水量之和(m³)及其污染物质量浓度(mg/L)。

假设提供的生态补水经湖泊混合后全部排出,且排出水和漏渗水中的污染物质量浓度与湖泊水体一致,则有:

$$WO \cdot P_o = (C + WE + EG) \cdot P_o. \quad (5)$$

式中:C 为湖泊排入黄河的水量,m³;EG 为蒸发渗漏量,m³。经过整理可得:

$$(P_o - P_E) \cdot WE = R \cdot P_R + F \cdot P_F + T \cdot P_T - (C + EG) \cdot P_o. \quad (6)$$

从式(6)便可求得湖泊污染物控制需水量 WE。

(2)乌梁素海污染物控制需水量计算。乌梁素海处于干旱少雨地区,降雨量 R 较少,平均每年约为 0.65 亿 m³。山洪的补给来自北、东两岸的山谷洪水,主要有余太河、哈拉乌苏等 8 条干谷,洪水入湖水量 F 平均每年约为 0.53 亿 m³。雨水和洪水中的 COD 为 65 mg/L,氨氮为 2.3 mg/L。

来自排干系统的农田退水量和生产生活废水量 T 取 1995—2005 年的多年平均值,为 5.57 亿 m³,其中污染物 COD 为 75.1 mg/L,氨氮为 3.22 mg/L。目前,乌梁素海年均排入黄河的水量 C(即地表径流的出湖水量)为 1.49 亿 m³。按照水功能区管理要求,退水渠入黄口所处的乌拉特前旗排污控制区上段的巴彦淖尔市农业用水区来水水质应为Ⅲ类,故取上游背景断面沙圪堵渡口的 COD 为 20 mg/L,氨氮为 1.0 mg/L。从式(6)可以看出,乌梁素海生态保护目标不同,即水体要达到的水质标准不同,所需的污染物控制需水量也不同,本研究分别计算了乌梁素海Ⅳ类和Ⅴ类水标准下的需水量。参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的湖泊水库水质标准,Ⅳ类水 COD 和氨氮的水质目标分别取 30 和 1.5 mg/L,Ⅴ类水标准分别取 40 和 2.0 mg/L。

依据式(6)计算可以得到,在上述乌梁素海排水量及排放污染物情况下,使 COD 达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的污染物控制需水量分别为 31.95 和 13.05 亿 m³;使氨氮达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的污染物控制需水量分别为 23.74 和 8.95 亿 m³。

3.2.3 乌梁素海最小生态需水量 乌梁素海最小

* ①黄河水利科学研究院,西安理工大学,黄委会水文局. 乌梁素海水生态系统修复规划报告. 2010.

生态需水量为蒸发渗漏量与污染物控制需水量之和。通过计算可知,使乌梁素海 COD 达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的最小生态需水量分别为 36.31 和 17.41 亿 m^3 ;使氨氮达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的最小生态需水量分别为 28.1 和 13.31 亿 m^3 。

3.3 乌梁素海生态补水量

按照式(2),乌梁素海地表径流的入湖水量 I 主要为山洪和灌区退水,其值分别为 0.53 和 5.57 亿 m^3 ;降雨量 R 为 0.65 亿 m^3 ,地表径流的出湖水量 C 为 1.49 亿 m^3 ,地下径流的入湖水量 G_1 主要来自东岸的泉水,年平均约为 0.18 亿 m^3 ,地下径流的出湖水量 G_2 采用渗漏量,在最小生态需水量中已计入,则结合上述计算获得的乌梁素海最小生态需水量,可以求出使乌梁素海 COD 达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的生态补水量分别为 30.87 和 11.97 亿 m^3 ;使氨氮达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的生态补水量分别为 22.66 和 7.87 亿 m^3 。该补水量可根据湖泊容积和修复计划分年度补水。

4 结 语

(1)乌梁素海的补给水源主要是来自灌溉退水、上游的工业废水和生活污水,湖泊稀释自净能力差,污染严重。由于气候变化及灌区节水工程的实施,湖泊水位下降迅速。同时,水生植物过量生长,沼泽化趋势加剧,湿地生态功能退化。进行生态补水即引黄河水入湖,确保湖泊生态系统必需的最小生态需水量是解决乌梁素海生态系统危机的关键。

(2)近期乌梁素海最主要的生态保护目标是维持湖泊水深和面积,改善水质,因此其最小生态需水量主要包括湖泊蒸发量、渗漏量以及污染物控制需水量。根据物质平衡原理计算结果表明,乌梁素海 COD 达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的最小生态需水量分别为 36.31 和 17.41 亿 m^3 ,氨氮达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的最小生态需水量分别为 28.1 和 13.31 亿 m^3 。

(3)依据水量平衡原理计算表明,在确定的乌梁素海排水量及排放污染物情况下,使湖泊 COD 达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的生态补水量分别为 30.87 和 11.97 亿 m^3 ;使氨氮达到Ⅳ类和Ⅴ类水标准的生态补水量分别为 22.66 和 7.87 亿 m^3 。

[参考文献]

[1] 徐志侠,王 浩,唐克旺,等.吞吐型湖泊最小生态需水研究[J].资源科学,2005,27(3):140-144.

- Xu Z X, Wang H, Tang K W, et al. Minimum ecological water requirements for lakes taking in-sending out water [J]. Resources Science, 2005, 27(3): 140-144. (in Chinese)
- [2] 贺新春,郑江丽,邵东国,等.城市湖泊生态环境需水研究[J].长江科学院院报,2008,25(6):38-42.
He X C, Zheng J L, Shao D G, et al. Research of eco-environmental water demand of urban lake [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(6): 38-42. (in Chinese)
- [3] Beletsky D, Schwab D J. Modeling circulation and thermal structure in Lake Michigan: Annual cycle and interannual variability [J]. Journal of Geophys Res, 2001, 106: 19745-19771.
- [4] 孙 刚,盛连喜.湖泊富营养化治理的生态工程[J].应用生态学报,2001,12(4):590-592.
Sun G, Sheng L X. Ecological engineering for eutrophication control in lake [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(4): 590-592. (in Chinese)
- [5] 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.
Li J L, Zhao H B, Liu C, et al. Effects of wetlands changes on eco-environmental water requirement in Liaohe Delta [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2): 129-134. (in Chinese)
- [6] 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.
Wang X K, Zhao T Q, Ouyang Z Y, et al. Researches on ecological water demand of Wuliangsuhai lake [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(10): 2124-2129. (in Chinese)
- [7] 付新峰,谷晓伟,刘晓岩,等.乌梁素海生态功能定位初步分析[J].人民黄河,2008,30(10):61-62.
Fu X F, Gu X W, Liu X Y, et al. Analysis of ecology functional orientation of Wuliangsuhai lake [J]. Yellow River, 2008, 30(10): 61-62. (in Chinese)
- [8] 段晓男,王效科,欧阳志云.乌梁素海湿地生态系统服务功能及价值评估[J].资源科学,2005,27(2):110-115.
Duan X N, Wang X K, Ouyang Z Y. Evaluation of wetland ecosystem services in Wuliangsuhai [J]. Resources Science, 2005, 27(2): 110-115. (in Chinese)
- [9] 李 哲.乌梁素海湿地自然保护区的污染治理问题应引起重视[J].内蒙古环境科学,2007,19(1):71-73.
Li Z. The pollution treatment problems of Wuliangsuhai wetland nature reserve [J]. Inner Mongolia Environmental Protection, 2007, 19(1): 71-73. (in Chinese)
- [10] 厚福祥,邓 芳.内蒙古乌梁素海生态恢复工程试验与资源利用[J].东北林业大学学报,2005,33(6):64-66.
Hou F X, Deng F. Ecological restoration project and resources utilization for Wuliangsuhai lake in Inner Mongolia [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2005, 33(6): 64-66. (in Chinese)