

白洋淀流域生态水文过程演变及其生态系统退化驱动机制研究

王立明, 朱晓春, 韩东辉

(水利部海河水利委员会, 天津 300170)

[摘要] 白洋淀是华北地区最大的天然淡水湖泊湿地和重要的生态功能区,在自然和人为驱动影响下,生态系统呈明显的退化趋势。通过对白洋淀流域生态水文过程演变分析,剖析了其生态系统退化的特征及驱动机制。气候干旱是白洋淀生态系统退化的环境背景条件,而上游水库的截流、水利工程的建设及水资源的开发利用等自然、人为因素的耦合作用,加速了白洋淀生态系统退化的过程。基于白洋淀生态系统退化的特征和驱动机制,从流域生态水文过程演变出发,为湿地的保护提出了措施和建议。

[关键词] 白洋淀;生态水文学;生态环境退化;驱动机制

[中图分类号] X171.4 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)06-0036-05

1 前言

水文条件是湿地类型和湿地过程得以维持的唯一决定性因子,湿地水文情势制约着湿地土壤诸多生物的化学特征,从而影响到湿地生物区系的类型、湿地生态系统结构和功能等^[1]。流域生态水文过程的变化能在较大程度上反映流域内下垫面的变化过程^[2,3]。白洋淀位于河北省中部,是我国北方最具典型和代表性的湖泊和草本沼泽湿地,总面积 366 km² (大沽高程 10.05 m),由 143 个淀泊、3 700 多条沟壕组成,水域面积约占 50%,被誉为“华北之肾”。由于特殊的地理位置,白洋淀在涵养水源、缓洪滞沥、调节区域气候、维持物种多样性等方面发挥着重要作用。2002 年 11 月,白洋淀被河北省政府批准为省级湿地自然保护区。在气候和人类活动的影响下,白洋淀的生态环境受到严重的破坏,生态系统急剧退化,引起了社会各界的高度关注。诸多专家和学者对白洋淀的生态环境保护问题进行了大量的研究,除张军辉,韩美清,张明阳等利

用 3S 技术研究了白洋淀周边地区和流域的生态环境变化外^[4-6],截至当前有关白洋淀流域生态水文方面的研究至今未见报导。

白洋淀流域水文过程近 40 年发生了显著的变化,并严重影响到当前湿地生态水文过程,只有了解和分析流域生态水文过程的演变规律,才能揭示生态环境退化的驱动力及机制,并采取必要的生态水利工程、适应性的管理机制、可行的经济与政策手段,改善白洋淀流域生态水文过程。了解和分析流域生态水文过程的演变规律对白洋淀生态环境的保护与恢复具有重要的科学价值和现实意义。

2 自然概况

2.1 流域概况

白洋淀位于海河流域大清河水系中游,控制大清河中上游地区总面积 31 199 km²,占大清河流域面积的 69.1%,按水系可划分为南支山区、北支山区、南支平原、北支平原 4 个流域单元。自古以来承接大清河河南支赵王河系潞龙河、孝义河、唐河、府河、

[收稿日期] 2009-11-24

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403408);水利部公益性行业科研专项经费项目(20081135)

[作者简介] 王立明(1973-),男,河北涞水县人,高级工程师,研究方向为水资源保护、水生态修复、环境影响评价等;

E-mail:wangliming@hwcc.gov.cn

漕河、界河、瀑河、萍河 8 条河流的来水,由赵王河出水,与北支白沟河系汇合,入大清河,最终汇入海河。

白洋淀流域属暖温带季风性气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨,最低气温为 -30.6°C ,最高气温 43.5°C ,多年平均气温在 $7.3 \sim 12.7^{\circ}\text{C}$,平均年积温在 $2\,993 \sim 4\,409^{\circ}\text{C}$ 。流域内多年平均降水量为 546.2 mm ,多年平均水面蒸发量为 $1\,000 \sim 1\,200\text{ mm}$ 。

2.2 白洋淀概况

白洋淀地处东经 $115^{\circ}38' \sim 116^{\circ}07'$,北纬 $38^{\circ}43' \sim 39^{\circ}02'$,四周以堤为界,总面积 366 km^2 ,由白洋淀、马棚淀等 143 个大小不等的淀泊和 3 700 多条沟壕组成,构成淀中有淀,沟壕相连,芦苇沼泽、台田、浅滩湖滨带与水面相间分布的特殊地貌。白洋淀是一个水陆相间的平原湖泊,其中苇田、园田及村庄等陆地面积约占淀区面积的 46.95% ,水面约占 53.05% 。在水域范围,沟壕水面占 7.4% ,泊淀面积约占 41.1% 。水位低时,各淀之间轮廓分明,有沟壕相通,水位高时各淀连成一体。

3 流域生态水文特征及演变

3.1 自然降水量

白洋淀流域内多年平均降水量为 546.2 mm (1956—2005 年系列),折合水量 $169.9 \times 10^8\text{ m}^3$,多年平均地表水资源量 $23.68 \times 10^8\text{ m}^3$ 。白洋淀流域降水存在年内分配不均,年际变化大的特点。 80% 的降水产生在 6—8 月,尤其集中在 7 月下旬到 8 月上旬的几次较大的暴雨过程。最大降水量 962.1 mm (1956 年),最小降水量 292.5 mm (1965 年),两者相差 3.3 倍。20 世纪 50 年代至 90 年代年均降水量分别为 669.0 mm , 586.0 mm , 541.0 mm , 522.5 mm , 514.8 mm , 2000—2005 年平均降水量为 464.7 mm ,降水量呈现明显的下降趋势 (见图 1)。

3.2 自然状态下入淀水量

白洋淀流域上游山区王快等大型水库于 1958 年开工建设,1960 年相继投入运行。1960 年以前入淀水量基本能够反映自然状态下地表径流入淀的水量。1952—1959 年白洋淀年均入淀水量 $19.27 \times 10^8\text{ m}^3$,其中 8 月、9 月平均入淀水量 $14.13 \times 10^8\text{ m}^3$,占全年入淀总量的 73.3% (见图 2)。流域内每年 5—6 月份降水量稀少,蒸发量大,同时是农业灌溉用水的高峰期,全年入淀水量最少,入淀水量

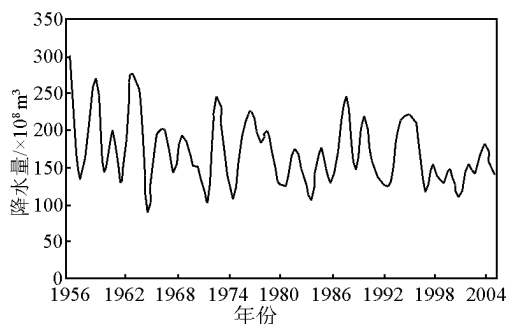


图 1 白洋淀流域多年降水量变化趋势

Fig. 1 Annual precipitation change in Baiyangdian Lake basin

平均只有 $0.17 \times 10^8\text{ m}^3$ 。1954 年、1958 年、1959 年中 5—7 月的入淀水量为 0。1957 年流域内平均降水量为 450.4 mm ,属于偏枯年份,降水相对分散,自 12 月至 1958 年 7 月,连续 8 个月无水入淀。

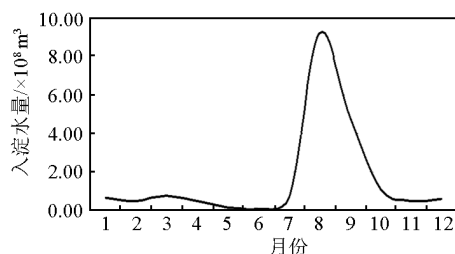


图 2 自然状态下各月入淀水量变化趋势

Fig. 2 Water inflow change of Baiyangdian Lake in natural

3.3 生态水文特征的演变

3.3.1 流域水文格局变化

1958 年以后,特别是 1963 年发生特大洪水灾害后,在“上蓄、中疏、下导、适当地滞”的防洪原则指导下,白洋淀流域上游山区陆续修建了大、中、小型水库 134 座,总库容达到 $36.2 \times 10^8\text{ m}^3$,超过了流域多年平均径流量 $23.66 \times 10^8\text{ m}^3$ (1956—2005 年系列),南支赵王河系山区水库控制面积为 $10\,187.7\text{ km}^2$,占南支山区面积的 88.3% [7]。

1970 年,白洋淀出口兴建了枣林庄水利枢纽,新辟赵王新河、赵王新渠增加了白洋淀洪水的下泄通道。为疏导白洋淀以下的大清河中下游洪水,1969 年扩挖独流减河,在进口兴建了进洪新闸。新辟白沟引河将北支白沟河部分洪水引入白洋淀。

20 世纪 70 年代末期,水利工程完全改变了白洋淀流域水资源空间分布格局,自古以来由白洋淀自然调节的洪沥水改由上游山区水库调配,白洋淀水

体自然泄流由枣林庄枢纽工程人工控制,上游平原河道防洪堤防加固使洪水失去了大水泛滥小水归槽的天然特性,下游河道的扩建大大缩短了流域洪水滞留周期。白洋淀流域天然径流几乎完全处于人工调配之下,白洋淀由天然过水型湖泊转变为人工调蓄型湖泊。

3.3.2 入出淀水量变化

20世纪70年代以后,白洋淀入淀水量呈明显的减少趋势,80年代平均入淀水量 $2.37 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅为50年代的13.3%,其中1984—1986年3年间无水入淀。90年代,在各级党和政府的重视下,上游水库多次补水入淀,平均入淀水量增加到 $3.23 \times 10^8 \text{ m}^3$ (不考虑“96·8”洪水入淀水量)(见图3)。2000年以后,白洋淀自然入淀水量降至 $0.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前,白洋淀9条入淀河流除府河常年有保定市城市污水入淀外,其他河流仅在汛期有少量径流入淀,大部分时间完全处在干涸状态。来水量最为丰富的潞龙河平原地区河段常年干涸,植被稀少,河道滩地严重沙化,生态环境恶化。

随着入淀水量减少,白洋淀出淀水量也明显减少。除1981—1987年白洋淀无水外,1999年至今已10余年无水出淀,下游大清河干流大部分河段完全干涸。白洋淀已退化成为一个内陆湖泊。

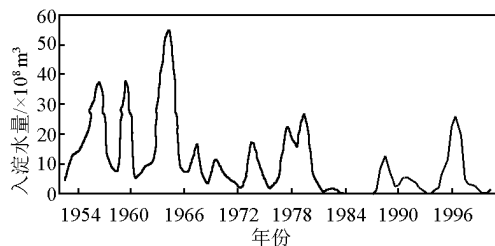


图3 白洋淀入淀水量变化趋势
Fig. 3 Change of annual water inflow of Baiyangdian Lake

3.3.3 水文周期变化

1997年以后,为维持白洋淀基本生态用水,先后17次人工由上游水库向白洋淀补水,3次依靠外流域调水,入淀水量 $9.34 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于为减少补水中途水量的损失,人工补水选择春季或冬季进行,原有的入淀水量自然周期完全消失(见图4)。

4 白洋淀生态系统退化驱动力分析

4.1 流域气候变化

流域气候等自然地理要素的演变,对生态水文动态有着深远而重要的影响^[8]。20世纪下半叶,尤

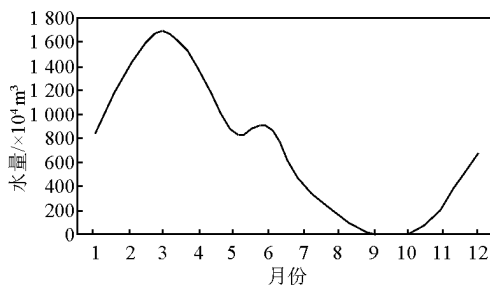


图4 2000年以后白洋淀人工补水时间和水量
Fig. 4 Time and quantity of artificial transfer water to Baiyangdian Lake after 2000

其是80年代以后,华北地区气候呈明显的暖干的趋势,90年代的平均气温比60年代上升了 $1.0 \sim 2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[9]。白洋淀流域自60年代以后,温度呈上升趋势。1980年以后,气温明显高于多年平均温度。1996—2000年的平均温度比1961—1965年的平均温度高 $1.13 \text{ }^\circ\text{C}$ 。气候条件决定了流域的潜在蒸发能力,气温升高引起降水、蒸发、土壤温度和地表径流等水文要素发生变化,从而影响降水与地表径流的关系。流域内90年代的蒸发量比60年代增加了 270.15 mm ,增加了 21.6% ;2001—2003年的蒸发比60年代的蒸发量增加了 348 mm ,增加幅度达到 27.8% ^[10]。以白洋淀支流潞龙河上游的横山岭水库为例,80年代气温升高 $0.45 \text{ }^\circ\text{C}$,降水减少 14% ,入库径流减少了 47% ;90年代气温升高了 $1.19 \text{ }^\circ\text{C}$,降水减少 5% ,入库径流减少了 36% ^[11]。

流域气候变化导致地表天然径流量逐步减少(见图5)。2001—2005年,白洋淀流域天然径流量减少到 $8.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,平原地区只有 $0.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

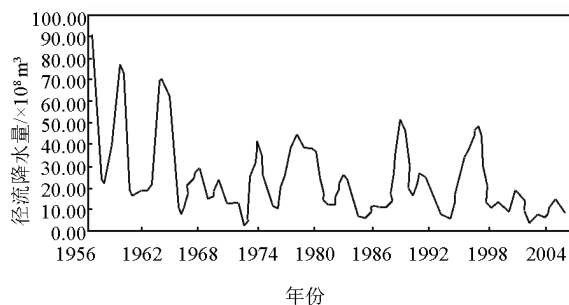


图5 白洋淀流域地表天然径流量变化趋势
Fig. 5 The annual runoff variation in Baiyangdian Lake Basin

4.2 流域水循环变化

人类的工农业生产以及生活用水在自然水循环的框架内,形成了由取水—输水—用水—排水—回

归 5 个基本环节构成的人工侧支循环。人工侧支水循环所消耗的水资源量,导致陆地水循环的垂向水量加大,以农业灌溉用水增大最为显著^[12]。

1949 年前后,白洋淀流域内农业生产以雨养农业为主,由于灌溉技术水平落后,年农业灌溉用水量约 $0.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,小麦每公顷产量在 380 ~ 450 kg,玉米每公顷产量在 500 ~ 600 kg。在山区大规模建设水库的同时,农田水利工程也有了较大的发展,先后在南支水系修建了沙河、唐河大型灌区,北支水系修建了易水灌区,扩建了南、北拒马河的房涑涿灌区及从淀区直接引水的白洋淀灌区。20 世纪 60 年代末期,新建灌区总面积达到 292 500 hm^2 ,约占流域农田总面积的 32%,有效灌溉面积达到 178 800 hm^2 。1956—1988 年,农业引用地表水总量 $201.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均年引水量 $6.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1956 年平原地区农业引用地表水量仅 $0.14 \times 10^8 \text{ m}^3$,到 20 世纪 70 年代,最高引水量达 $11.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,是 1956 年的 80 倍。

2005 年,白洋淀流域内耕地面积达到 914 100 hm^2 ,有效灌溉面积 786 700 hm^2 。农业作为用水大户,用水总量达到 $30.52 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中地下水 $27.51 \times 10^8 \text{ m}^3$),占流域用水总量的 80%;引用地表水 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$,占地表水资源量的 38.2%。粮食每公顷产量增至 11 490 kg 以上,比 1949 前后提高了 11 倍。

根据中科院遥感所的监测^[13],2003—2005 年白洋淀流域内陆面平原平均蒸发总量已达到 647 mm,比平均降水量多 170 mm(见表 1)。流域内农田平均蒸发量达到 715 mm,比 3 年平均降水量增加 220 mm 以上。

表 1 白洋淀流域陆面蒸发水资源消耗量

Table 1 Surface water resources consumption in Baiyangdian Lake Basin mm

分类	年份	山区	平原
降雨	2003	487	431
	2004	602	538
	2005	443	461
	平均	510	477
	蒸发量	2003	521
	2004	479	618
	2005	459	628
	平均	486	647
	差值	2003	-34
	2004	123	-80
	2005	-16	-167
	平均	24	-170

工农业生产大量的用水需求,导致白洋淀流域

内地下水不断超采。20 世纪 70 年代,普遍开始打井开采地下水,平均年开采量为 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$,90 年代平均开采量增加到 $26 \times 10^8 \text{ m}^3$,2000 年以后平均开采量达到 $36.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,是 50 年代的 5 倍。地下水的不断超采,造成地下水位持续下降。2006 年平原地区地下水位已下降到 19.97 m,比 60 年代下降了 17 m。

气候条件决定了流域的潜在蒸发能力,而流域下垫面的变化则会直接影响实际蒸发量。白洋淀流域内以旱田耕作为主的农业生态系统开发已有上千年的历史,平原地区大部分自然植被早已被蚕食开垦。20 世纪 50 至 60 年代的水库、机井等水利工程建设支撑了农业生态系统的发展,使农业灌溉水量大大增加。土地利用强度的改变,促进了流域实际蒸发量的上升和地下水位的下降,使地表回归水量减少,从而改变了原有的自然水循环的关系,改变了地表水和地下水的转化路径。

4.3 白洋淀的水文特性

白洋淀是一个浅碟状的天然平原洼淀,水面宽阔,平均水深 2 ~ 3 m,水域一般分布在高程 7.5 m(大沽高程)以下。淀区水位在 6.5 m 时,蓄水量为 $0.49 \times 10^8 \text{ m}^3$;水位达到 8.0 m 时,蓄水量仅为 $2.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。淀区内多年平均降水量为 523 mm,天然蒸发量(包括苇田蒸发量)1 102 mm,平均侧渗量为 $0.61 \times 10^8 \text{ m}^3$,蒸发和侧渗总量 $1.56 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[14]。白洋淀自身的水文特性是蓄水少,蒸发渗漏量大,水量调节能力较低,无法进行丰枯调剂,遇到枯水年得不到足够的水量补充,次年必然造成干淀。在气候变化和大规模人类活动因素的耦合作用下,白洋淀自身的脆弱性加速了其生态系统退化的进程。

5 保护措施与建议

白洋淀因水而生,水是白洋淀的灵魂。基于生态过程的水源补给是维持白洋淀生态结构和功能稳定的基础,然而气候变化和流域经济社会的发展是白洋淀生态保护无法回避的事实。在科学论证的基础上,通过对水资源合理调配和管理,建立长效的生态用水机制,是解决白洋淀生态问题的根本措施。

5.1 生态用水政策保障

根据白洋淀流域河流的水文规律特点,科学的确定不同水平年的生态流量,纳入到流域水资源综合规划中,给生态用水以应有的地位;明确流域内不同水平年河道外耗水的合理控制水平,在水资源配

置决策中对白洋淀生态用水予以考虑,优先保证最小生态需水量;抓紧制定流域内地区间的分水协议,从政策和法规的层面上得到保障。

5.2 生态用水工程保障

根据南水北调工程总体规划,白洋淀流域保定市配置长江水量为 $11.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。南水北调工程按市场经济原则运作,以城市供水为主,原则上不向生态供水。但是通过白洋淀流域水资源配置调整和城市污水再生利用,间接改善白洋淀及上游地区河流生态用水情况。大约 60% 的调水量可以转换为城市污水后进行再利用,因此保定市的城市污水处理至关重要,污水再生利用是缓解白洋淀生态用水状况的最经济和最有效的途径。

5.3 雨洪资源利用

海河流域各河系入海水量在时间和规模上有较大差异,在保障防洪的安全前提下,利用海河流域平原地区网状河渠系统,实现各河系间中小洪水及地表径流的联合调度,是解决白洋淀生态用水问题的一项有效措施。结合经济社会发展与河道生态需求,制定海河流域各河系之间的雨洪资源统一调度方案,建立白洋淀生态补水用水的长效机制,逐步恢复原有生态水文周期。

目前,引岳济淀工程已经实现了漳卫河水系与大清河水系的连通,引黄济淀工程实现了漳卫河水系、子牙河及大清河水系的连通,工程已具备一定的连通通水条件,基本形成了南北互济互补的地表水供水体系,经过进一步的建设完善,使流域范围内调配雨洪资源为白洋淀生态补水成为可能。

5.4 生态用水的补偿机制

水资源短缺造成的白洋淀自身和流域的生态问题同时并存,涉及到流域上下游山西、北京和河北三个省市的不同部门,如何在公平的原则下处理好利益相关者之间的关系,是白洋淀生态保护工作所面

临的最大困难。因此,必须在流域层面上建立生态补偿机制,调整利益相关主体的环境利益与经济利益的关系,促进和保障白洋淀生态保护与修复工作顺利开展和持续有效的进行。

参考文献

- [1] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986
- [2] 严登华,何岩,邓伟,等.生态水文学研究进展[J].地理科学,2001,21(5):468-472
- [3] 夏军,丰华丽,谈戈,等.生态水文学概念、框架和体系[J].灌溉排水学报,2003,22(1):4-10
- [4] 张军辉,尹君,赵建利,等.基于遥感的环白洋淀地区土地利用动态变化研究[J].河北遥感,2007,(4):10-14
- [5] 韩美清,王路光,王靖飞,等.基于GIS的白洋淀流域生态环境评价[J].中国生态农业学报,2007,15(3):169-171
- [6] 张明阳,王克林,何萍,等.白洋淀流域景观空间格局变化研究[J].资源科学,2005,27(2):134-140
- [7] 顾建清,穆仲义.水资源开发利用对白洋淀生态环境的影响[J].河北省科学院学报,1994,(1):29-34
- [8] Robert Backhaus, Michael Bock, Stefan Weiers. The spatial dimension of landscape sustainability [J]. Environment, Development and Sustainability, 2002, 4(3):237-251
- [9] 韦志刚,董文杰,范丽军.80年代以来华北地区气候和水量变化的分析研究[J].高原气象,1999,18(4):525-534
- [10] 刘春兰,谢高地,肖玉.气候变化对白洋淀湿地的影响[J].长江流域资源与环境,2007,16(2):245-250
- [11] 刘春霖,刘志雨,谢正辉.近50年海河流域径流的变化趋势研究[J].应用气象学报,2004,15(4):385-393
- [12] 王浩,王成明,王建华,等.二元年径流演化模式及其在无定河流域的应用[J].中国科学(E辑),2004,34(A01):42-48
- [13] 中国科学院遥感应用所.海河流域遥感监测ET数据生产结果[R].北京:中国科学院遥感应用所,2007
- [14] 赵晓辉,孙中孚.白洋淀干淀原因分析[J].河北水利,2006,(11):32

(下转 47 页)