

# 白洋淀湿地入淀水量演变归因分析

袁 勇<sup>1 2 3</sup> , 严登华<sup>2 3</sup> , 王 浩<sup>2 3</sup> , 王 青<sup>2 3 4</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038; 3. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038; 4. 东华大学 环境学院, 上海 201620)

**摘要:** 以白洋淀水文数据为基础, 采用敏感系数法, 分析了气候变化、人工取用水及蒸渗过程改变对入淀水量变化的影响。在研究时段内, 湿地入淀水量、流域降水量及潜在蒸散发量都呈下降趋势, 其中入淀水量下降尤为明显。气候变化、人工取用水及蒸渗过程改变对入淀水量变化的影响分别为 25.1%、57.53% 和 17.4%, 而人类活动整体对入淀水量影响达到了 74.9%, 因此人类活动是入淀水量减少的主要原因。

**关键词:** 气候变化; 人类活动; 白洋淀湿地; 敏感系数法; 归因分析

中图分类号: TV121 文献标识码: B 文章编号: 1000-0860(2013)12-0001-05

## Attributive analysis on evolution of inflow to Baiyangdian Wetland

YUAN Yong<sup>1 2 3</sup> , YAN Denghua<sup>2 3</sup> , WANG Hao<sup>2 3</sup> , WANG Qing<sup>2 3 4</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 4. Environmental Science and Engineering Department, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** Based on the hydrological data of Baiyangdian Wetland, the impacts from the climate change, the artificial water intake, the change of evaporation-seepage process, etc. on the variation of the inflow to Baiyangdian Wetland are analyzed herein with the sensitivity coefficient method. Within the study period of time, all the inflow to the wetland, the precipitation in the basin and the potential evapotranspiration therein show the trends of decline, among which the decline of the inflow to the wetland is quite significant. The impacts from the climate change, the artificial water intake and the change of the evaporation-seepage process on the variation of the inflow to the wetland are 25.1%, 57.53% and 17.4% respectively, moreover, the impact of the integration of all the human activities on the inflow to the wetland reaches to 74.9%, and then the human activities are the main factors of the decline of the inflow to the wetland.

**Key words:** climate change; human activities; Baiyangdian Wetland; sensitivity coefficient method; attributive analysis

## 1 引言

湿地在调节径流、净化水质以及维持生物多样性等方面具有重要作用。近年来, 在气候变化和人类活动影响下, 流域水循环特征发生极大变化, 深刻影响了流域中湿地的水量平衡, 使得湿地面积锐减<sup>[1-2]</sup>。在气候变化和人类活动影响下识别湿地生态水文过程的驱动及演变机理, 已成为湿地研究的

热点和难点<sup>[3]</sup>。

白洋淀湿地位于华北平原最大的淡水湖泊湿地, 该地区水资源匮乏, 干旱灾害频发, 入流量持续减

收稿日期: 2013-04-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973 计划”项目(2010CB951102); “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAC19B03)。

作者简介: 袁 勇(1984—), 男, 贵州赤水人, 博士研究生。

少,造成湿地面积萎缩,甚至出现干淀,水质变差,生物多样性降低等严重生态环境问题<sup>[4]</sup>。据统计,从1919~1965年只发生了一次干淀,而1965~2005年间干淀的频率和持续时间不断增加<sup>[5]</sup>。研究者普遍认为白洋淀湿地萎缩的原因主要由降水减少、改变土地利用/覆被变化、水利开发等人类活动因素造成<sup>[4,6]</sup>。定量识别气候变化和人类活动对白洋淀湿地影响的研究还不完善。

目前,定量分析气候变化和人类活动对流域径流变化的方法主要有以下3种:一是基于Budyko假设的方法(也称为敏感系数法),利用该假设,构建了下垫面参数、潜在蒸散发、降水对径流影响的函数关系<sup>[7]</sup>,计算过程简单,具有一定物理意义。二是弹性系数法,由Schaake首先提出气候弹性系数的概念用以评估气候变化对径流的影响<sup>[8]</sup>,Zheng在2009年提出了改进方法<sup>[9]</sup>。以上两种方法中,如何准确找到突变点成为评价的重要前提。三是采用水文模型进行模拟,但模拟需要大量的数据,并且过多参数的校验带来模型的不确定性,使该方法使用受到限制。

本文以白洋淀湿地入淀水量为研究对象,在分析1960~2003年入淀流量突变点基础上,采用敏感系数法,定量分析气候变化及人类活动对入淀流量的影响,再将人类活动分为人工取用水及蒸渗变化,分别研究其对入淀水量影响。通过以上研究以期对白洋淀湿地水资源调控与管理提供参考。

## 2 研究区概况

白洋淀流域位于华北平原,属海河流域大清河水系,该区域多年平均降水量为500~700 mm,年平均气温7℃,降雨集中降于每年6~9月份。大清河水系分为南、北两支,天然注入湿地的为南支水系,包括潞龙河、唐河、清水河、漕河、瀑河等河流。由于该区域洪涝灾害严重,有“十年九涝”之说,为了治理洪水,从20世纪50年代末开始在流域大量修建水库,疏浚河道,整治白洋淀湿地,包括在1970年开始开凿白沟引河(其水量由新盖房水利枢纽控制),从1974年后,大清河北支水系水量汇入湿地<sup>[10]</sup>。经过以上治理,流域洪涝灾害得到有效控制,但同时也使水库下游地区来水量急剧减少。

## 3 研究方法

### 3.1 数据来源

由于流域内气象站点监测资料不连续,且只到

1986年。为了获得流域降水及蒸发数据,采用国家气象局提供的日尺度气象资料,选取白洋淀流域内及周边共9个气象站点,在统计各个气象站1960~2008年逐年累积降水量及潜在蒸散发量后,采用反距离插值(IDW)方法得到流域平均降水量和平均潜在蒸散发量。对于降水、蒸散发以及入淀水量的研究时段取1960~2008年,而入淀数量变化定量分析研究时段为1960~2003年,主要原因是从2004年,白洋淀湿地开始采取跨流域调水方式补给湿地,而对于外调水从进入流域到汇入湿地之间的水量损失量没有数据,故2003年以后不作为本文研究时段。

天然径流量来源于河北省水利厅2003年编写的《河北省地表水资源评价》及2001~2003年《河北省水资源公报》。为了与其他流域对比及与降水量、潜在蒸散发量进行计算,本文将入淀水量、天然径流量除以汇水面积换算为径流深。

### 3.2 入淀水量突变性分析

目前分析水文变量突变性的方法主要采用Mann-Kendall法(以下简称M-K法)。M-K法是一种非参数统计检验方法,优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,计算比较简便<sup>[11]</sup>。本文采用该方法计算入淀水量突变点。突变点前的时段为基准期,突变点后为人类活动影响期(以下简称影响期)。

### 3.3 入淀水量影响识别

白洋淀湿地位于流域出口,因此其入淀水量反映了径流量的变化。流域径流量的变化主要由气候变化、人类活动、地质运动等因素共同影响。在较短的时期内(如40~50年内),地质运动的影响可以忽略,因此径流量变化影响因素主要为气候变化和人类活动。气候变化中的降水因子是流域径流产生的前提,直接影响径流量大小,而影响温度的因子则影响着流域蒸发这一水量输出过程。人类活动的影响主要由土地利用/土地覆被变化(LUCC)引起:一方面,随着社会经济的发展,以建设用地及耕地面积增加为主要特征的土地利用变化,包括兴建水利工程拦蓄地表径流,必然伴随着人类用水量增加,使得部分径流量进入了社会水循环系统;另一方面,LUCC改变了流域天然产汇流过程,如水土保持措施的实施,改变地表入渗和蒸散发过程。因此,人类活动对径流的影响可以分为人工取用水以及蒸散发、入渗过程的改变(以下简称蒸渗过程改变),而

前者是主要方面。

### 3.3.1 人类活动对入淀水量影响

根据以上分析,假设人类活动与气候变化对入淀水量影响是相互独立的,可用下式表示

$$\Delta Q_T = \Delta Q_C + \Delta Q_L \quad (1)$$

式中,  $\Delta Q_T$  表示流域径流变化量;  $\Delta Q_C$  表示气候变化引起的径流量变化;  $\Delta Q_L$  表示人类活动引起的径流量变化。

$\Delta Q_T$  可以表示为基准期和影响期的实测平均径流量的差值

$$\Delta Q_T = \bar{Q}_2 - \bar{Q}_1 \quad (2)$$

式中,  $\bar{Q}_2$  为影响期平均实测径流量;  $\bar{Q}_1$  为基准期平均实测径流量变化。

$\Delta Q_C$  在假设人类活动对其不产生影响时,可以用下式求算<sup>[12]</sup>

$$\Delta Q_C = \beta \Delta P - \gamma \Delta PET \quad (3)$$

式中,  $\Delta P$ 、 $\Delta PET$  分别表示突变点前后降水与潜在蒸散发的变化;  $\beta$ 、 $\gamma$  分别是降水和潜在蒸散发的敏感系数,采用下列方程计算<sup>[13]</sup>

$$\beta = (1 + 2x + 3wx^2) / (1 + x + wx^2)^2 \quad (4)$$

$$\gamma = -(1 + 2wx) / (1 + x + wx^2)^2 \quad (5)$$

式中,  $x$  是年均干旱指数(等于  $PET/P$ );  $w$  是与植被类型有关的植物可利用水系数,  $w$  的取值是计算过程的关键,采用以下函数反算<sup>[14]</sup>

$$E/P = (1 + wx) / (1 + wx + 1/x) \quad (6)$$

式中,  $E$  为实际蒸散发量,可根据水量平衡公式采用降水减去天然径流量计算;  $P$  为降水量。基于计算结果,对研究时段内求平均值,最后  $w$  取 2.0。

因此,气候变化与人类活动对入淀水量影响大小为

$$P_c = \Delta Q_C / \Delta Q_T \quad (7)$$

$$P_L = \Delta Q_L / \Delta Q_T \quad (8)$$

式中,  $P_c$ 、 $P_L$  分别表示气候变化和人类活动对入淀水量变化的贡献率,用百分比表示。

### 3.3.2 人工取用水量对入淀水量影响

通过以上分析,将人类活动对径流的影响分为人工取用水量及蒸发渗流的影响

$$\Delta Q_L = \Delta Q_A + \Delta Q_E \quad (9)$$

式中,  $\Delta Q_A$  为人工取用水量变化量;  $\Delta Q_E$  为蒸渗对径流量的影响大小。

由于天然径流量是实测径流量与人工取用水量(包括工农业用水、水利工程蓄水等,在研究时段无外调水)之和,因此人工取用水量可以表示为

$$\Delta Q_A = \Delta Q_{NA} - \Delta Q_T \quad (10)$$

式中,  $\Delta Q_{NA}$  表示天然径流量,是影响期与基准期的差值。

于是,可以评价人工取用水量与蒸渗影响对入淀水量的影响

$$P_A = \Delta Q_A / \Delta Q_T \quad (11)$$

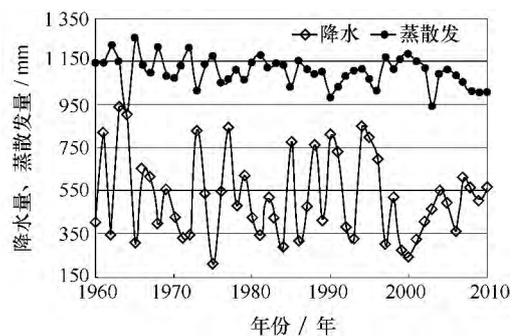
$$P_E = \Delta Q_E / \Delta Q_T \quad (12)$$

式中,  $P_A$ 、 $P_E$  分别表示人工取用水量变化量及蒸渗影响对入淀水量变化的贡献率,用百分比表示。

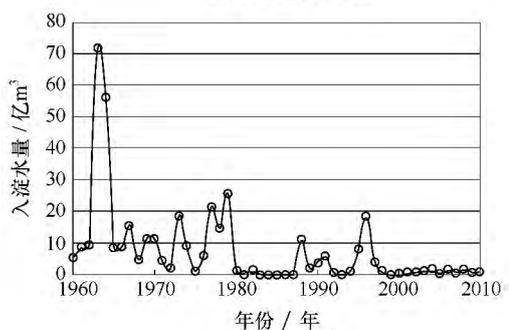
## 4 结果与讨论

### 4.1 入淀水量演变特征分析

图2为1960~2010年水量演变趋势,其中图1(a)表示为降水/蒸发量,图1(b)表示为入淀水量。由图1可知,流域降水、潜在蒸散发及入淀水量都呈减少趋势,对于降水和潜在蒸散发,减少趋势不明显,而对于入淀水量,下降幅度很大。采用M-K法对入淀水量突变点进行了检验(见图2)。由图2可知,通过了 $\alpha = 0.05$ 显著性检验,从1965年开始,入淀水量一直呈现下降趋势,并在1971年发生了突变。比较突变点前后降水量、潜在蒸散发量及入淀水量变化,影响期都比基准期小,特别是入淀水量减少程度最大,从基准期的57.95 mm减少到影响期的16.29 mm。



(a) 降水/蒸散发量



(b) 入淀水量

图1 1960~2010年水量演变趋势

本文计算出的突变点是1971年,而其他研究

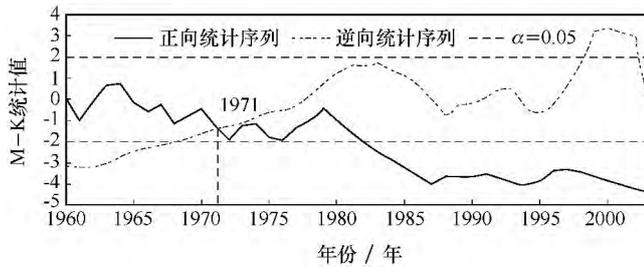


图2 入淀水量 M-K 突变性检验

者计算出湿地上游山区突变点为 1980 年<sup>[15]</sup>。这可能由于文献中的研究区基本无水库，主要受土地利用/覆被变化对径流的影响，而本文入淀水量除了受上游山区影响，特别还有 6 个大型水库(安各庄水库、西大洋水库、王快水库、横山岭水库、龙门水库及口头水库)及其他中小型水库对其产生影响。相关资料表明，为了治理流域水患，湿地上游在 20 世纪 50 年代末开始修建水库，以上 6 大水库建成后由于设计标准过低，又进行了续建，最终在 20 世纪 70 年代初完成，这一时间点与本文突变点接近。

湿地水量变化可以用湿地入流量(降水、地下水入流和地表水入流)和出流量(蒸散发、地下水出流和地表水出流)之间的水量平衡关系进行分析。由于社会经济发展，研究区地下水被过度开采利用，地下水埋深不断增加，从 20 世纪 70 年代初期的大约 4 m，到 80、90 年代的近 10 m，再到 2007 年的 21 m 左右，采用湿地补给地下水<sup>[4]</sup>，因此白洋淀湿地入流就只有降水和地表水。在突变点前，湿地区降水与入淀流量比例为 9.6:1，而突变点后，伴随降水量和入淀水量减少，降水成了主要的补给水源，并且与入淀流量比例变为 31.8:1。湿地补给水源结构的变化势必会造成湿地蓄水量减少。

4.2 土地利用变化对天然径流量影响

利用式(1)~式(8)计算了气候变化及人类活动分别对入淀水量的影响(见表 1)。在研究时段内，平均入淀水量在影响期较基准期减少了 41.65 mm(约 12.99 亿 m<sup>3</sup>)，而气候变化和人类活动造成的天然径流量变化分别为 -10.44 mm 和 -31.21 mm。因此，气候变化和人类活动对天然径流量的影响率分别为 25.1% 和 74.9%。有研究表明，在白洋淀湿地上游山区，气候变化和人类活动对径流变化的贡献率大约为 40% 和 60%<sup>[9]</sup>，由于其研究区在山区，且位于水库上游，因此人类活动主要为土地利用变化。

表 1 气候变化和人类活动对入淀水量影响

$\Delta Q_T / \text{mm}$	$\Delta Q_C / \text{mm}$	$\Delta Q_L / \text{mm}$	$\Delta P / \text{mm}$	$\Delta PET / \text{mm}$	$\beta$	$\gamma$	$P_C / \%$	$P_L / \%$
-41.65	-10.44	-31.21	-47.83	-14.55	0.24	-0.08	25.1	74.9

4.3 人工取用水对入淀水量影响

人类活动对入淀水量影响  $\Delta Q_L$  为负值时，表示人类活动减少了入淀水量，其为正值时，表明存在大量外调水情况，本文研究时段没有外调水，人工取用水包括了工农业及城镇生活用水、水利工程蓄水。随着社会经济的发展，人类取用水量会增加，作为一部分的  $\Delta Q_A$  为正值，也表示减少了入淀水量，为了与  $\Delta Q_L$  一致，取负值。即在减少入淀水量情况下， $\Delta Q_A$  为负，否则为正值。

表 2 为人工取用水对入淀水量影响。由表 2 可知，人工取用水量及蒸渗量对入淀水量变化的影响分别为 17.4% 和 57.5%，这表明人工取用水是湿地入淀水量减少的最主要因素，在如此大的影响下，想要通过流域内调节以保证入淀水量将变得很困难。有资料表明，白洋淀湿地从 20 世纪 90 年代末期开始，基本无天然入淀水量，从 2004 年开始，要靠跨流域调水来满足<sup>[16]</sup>。

表 2 人工取用水对入淀水量影响

$\Delta Q_T / \text{mm}$	$\Delta Q_L / \text{mm}$	$\Delta Q_A / \text{mm}$	$\Delta Q_E / \text{mm}$	$P_A / \%$	$P_E / \%$
-41.65	-31.21	-23.96	-7.25	57.5	17.4

5 结 论

白洋淀湿地在气候变化和人类活动的影响下，入淀水量急剧减少，从而造成湿地面积萎缩、生物多样性降低等一系列生态环境问题。定量识别这两个因素对入流量的影响，对于湿地水资源的调控及保护有重要意义。本文采用的敏感系数法分析气候变化和土地利用变化对天然径流量的影响，方法简单，参数少，具有一定参考价值。

参考文献:

[1] Ralph T J, Hesse P P. Downstream hydrogeomorphic changes along the Macquarie River, southeastern Australia, leading to channel breakdown and floodplain wetlands [J]. *Geomorphology*, 2010, 118: 48-64.  
 [2] Van Eerden M R, Lenselink G, Zijlstra M. Long-term changes in wetland area and composition in The Netherlands affecting the carrying capacity for wintering waterbirds [J]. *Ardea*, 2010, 98(3): 265-282.

(下转第 23 页)

邯郸是一座具有悠久历史的古城，“赵文化”的发源地，成语典故之乡。在滏阳河两岸设置适量的、体现邯郸文化特色的、小体量的雕塑、园林小品，以弘扬邯郸“赵文化”。但在城市发展漫长的时间内，城市水岸空间的历史文脉的延续和保护易被忽视，形成文化断层。此次规划注意到这方面的欠缺，从纯粹的建构实体逐渐往文化载体方向倾斜。

支漳河中华大街至高速南连接线段，北岸在中华大街与支漳河交汇处局部开挖扩充河道，形成开放的大水面，与恰似漂浮在水面上的环行栈道形成强烈的视差，表达太极双鱼的寓意。此岸区以现代标志性雕塑为中心，与南岸水上特色人文景观“邯郸水上风情”长廊相呼应，体现发展中的邯郸生机勃勃、积极向上的精神。南岸沿河设置酒吧、茶座、烧烤等休闲娱乐空间，开辟了“邯郸水上风情”长廊，人们在欣赏水景的同时品尝各种风味的小吃，为邯郸市增加了一处水上特色人文景观，让市民的生活行为和水岸空间形成一种互动。这对于使用者空间行为特征的延续和文化多元性的保护来说是非常有价值性和思想性的。

#### 4 结 语

水岸景观作为城市中最具生命力的景观形态，

其生态规划不仅限于“以水造景”和“借水为景”的视觉景观作用，更为重要的是在水景观系统的更新中，不但考虑到景观、雨洪，还将物理、生物、生态的方法都纳入规划和设计中，体现因水而连接的物质生态作用和文化生态作用，衍生为具有生态作用和多元文化表象的景观元素，通过水系统对整个城市环境系统进行整体“可持续”改观，使其真正成为城市的“绿道”、“蓝厅”，为创建良好的城市生态环境发挥作用。

#### 参考文献:

- [1] 刘滨谊. 城市滨水区景观规划设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 2006.
- [2] 刘滨谊. 现代景观规划设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 1999.
- [3] 单庆, 王昕. 城市堤岸景观设计[J]. 南昌水专学报, 2003, 22(1): 53-57.
- [4] 李鹏宇. 基于生态理念的城市水系景观研究: 以南京为例[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [5] 韩凌云. 苏州市水岸带景观格局演变研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [6] 李洪远, 等. 海河综合开发改造与多功能生态堤岸建设[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 26-27.

(责任编辑 陈小敏)

(上接第4页)

- [3] 吕宪国, 刘晓辉. 中国湿地研究进展: 献给中国科学院东北地理与农业生态研究所建所50周年[J]. 地理科学, 2008, 28(3): 301-308.
- [4] 高彦春, 王晗, 龙笛. 白洋淀流域水文条件变化和面临的生态环境问题[J]. 资源科学, 2009, 31(9): 1506-1513.
- [5] 白德斌, 宁振平. 白洋淀干淀原因浅析[J]. 中国防汛抗旱, 2007(2): 46-48.
- [6] 庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等. 近33年白洋淀景观动态变化[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 839-848.
- [7] Wang W, Shao Q, Yang T, et al. Quantitative assessment of the impact of climate variability and human activities on runoff changes: a case study in four catchments of the Haihe River Basin, China[J]. Hydrological Processes, 2013, 27: 1158-1174.
- [8] Schaake J C. From climate to flow[M]. New York: Wiley-Interscience, 1990: 177-206.
- [9] Zheng H, Zhang L, Zhu R, et al. Responses of streamflow to climate and land surface change in the headwaters of the Yellow River Basin[J]. Water Resources Research, 2009, 45: W19A.
- [10] 刘克岩, 张鲁, 张光辉, 等. 人类活动对华北白洋淀流域径流影响的识别研究[J]. 水文, 2007, 27(6): 6-10.
- [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.

- [12] Zhang X, Zhang L, Zhao J, et al. Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China[J]. Water Resources Research, 2008, 44(7): W7A.
- [13] Li L J, Zhang L, Wang H, et al. Assessing the impact of climate variability and human activities on streamflow from the Wuding River basin in China[J]. Hydrological Processes, 2007, 21(25): 3485-3491.
- [14] Zhang L, Dawes W R, Walker G R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale[J]. Water Resources Research, 2001, 37(3): 701-708.
- [15] 胡珊珊, 郑红星, 刘昌明, 等. 气候变化和人类活动对白洋淀上游水源区径流的影响[J]. 地理学报, 2012, 67(1): 62-70.
- [16] 程朝立, 赵军庆, 韩晓东. 白洋淀湿地近10年水质水量变化规律分析[J]. 海河水利, 2011(3): 10-11.

(责任编辑 郭利娜)

