

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.06.010

基于季节性 Kendall 检验法的 白石水库水质变化趋势

夏桂敏, 张思瑶

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110000)

摘要:白石水库作为辽西地区重要的供水水库, 对其进行客观的水质评价将有助于水库水资源的保护, 为其科学管理提供依据。以白石水库坝前水质为样本, 采用季节性 Kendall 检验法对总氮、氨氮、溶解氧、高锰酸盐指数等多项水质指标进行趋势性理化分析。结果表明, 白石水库总氮严重超标, 且恶化趋势明显, 对白石水库的水质管理仍需进一步加强。

关键词:白石水库; 总氮; 季节性 Kendall 检验法; 水质; 趋势分析

中图分类号: X522 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)06-1069-06

Water quality variation in the Baishi reservoir based on seasonal Kendall test method

XIA Gui min, ZHANG Si yao

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110000, China)

Abstract: The Baishi reservoir is an important water supply reservoir in the west of Liaoning Province, therefore an objective evaluation of water quality contributes to the protection of water resource and provides the basis for scientific management of reservoir. In this paper, the physical and chemical tendency analysis of the total nitrogen, ammonia nitrogen, dissolved oxygen and permanganate index was conducted based on water samples in the front dam of Baishi reservoir using the seasonal Kendall test method. The results showed that the total nitrogen in the Baishi reservoir exceeds the standard and has a deteriorative trend, so the management of water quality in the Baishi reservoir needs to be further strengthened.

Key words: Baishi reservoir; total nitrogen; seasonal Kendall test method; water quality; trend analysis

辽宁省作为我国最主要的老工业基地之一, 水短缺和水污染尤其突出, 特别是地处辽宁省西部的大凌河流域。2000年水资源评价结果显示, 大凌河流域朝阳市域内人均水资源量仅为 380 m³, 不足全省人均水平的 1/2, 全国人均水平的 1/5, 同时, 流域水质严重污染, 干流水质可达劣Ⅴ类, 各支流也受到不同程度的污染, 严重的水污染问题使得大凌河流域水资源供需矛盾尤为突出。白石水库位于大凌河干流下游, 是流域内最大的水利枢纽工程, 承担朝阳、锦州、阜新等市及部分县城的供水任务。本文进一步优化季节性 Kendall 检验法, 将汛期、非汛期及全年趋势协同分析, 使其更适于白石水库的水质趋势特点, 从而较为准确地反映水质趋势变化情况。

1 概况分析

白石水库坝址位于辽宁西部北票市上园镇大凌河干流上, 2000年12月建成蓄水。水库控制流域面积 17 649 km²,

占大凌河流域总面积的 74%, 防洪设计 500 年一遇, 校核标准 5000 年一遇。水库设计总库容 16 45 亿 m³, 正常库容 10 亿 m³, 是一座以防洪、灌溉、城市供水为主, 兼顾发电、养鱼、观光旅游等综合利用的大Ⅱ型水利枢纽工程, 设计每年向城市供水 2 02 亿 m³, 向农业供水 2.67 亿 m³[1]。

大凌河是辽宁西部最主要河流, 源头分南北两支, 北支发源于河北省平泉县, 南支发源于辽宁省建昌县, 于喀左县城大城子下游汇合; 干流流经朝阳、北票、义县, 于凌海市注入渤海。流域总面积 23 837 km², 其中辽宁省域内面积 20 285 km², 朝阳市域内面积 12 989 km², 占全流域的 54.5%, 占全省的 64%。大凌河主要支流有大凌河西支、第二牯牛河、老虎山河、凉水河、牯牛河、细河等, 其中凉水河、牯牛河直接汇入库区。流域内水资源最主要的补给源为大气降雨, 多年平均降雨量为 450~590 mm, 由南向北递减; 降雨年内分配不均, 汛期降雨量平均占年降雨量的 80% 左右, 50% 集中在 7 月-8 月份; 降雨年际变化较大, 连续枯水年时有发

收稿日期: 2015-01-15 修回日期: 2015-10-20 网络出版时间: 2015-11-30
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151130.2201.052.html>

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项项目(201303125)

作者简介: 夏桂敏(1973), 女, 辽宁普兰店人, 副教授, 博士, 主要从事农业与生态节水理论与技术研究工作。E-mail: 78701384@qq.com.

通讯作者: 张思瑶(1988), 女, 辽宁阜新, 主要从事水资源开发利用与管理方面研究。E-mail: 370113323@qq.com.

生,丰、枯水年比值一般可达 3 5 倍。

白石水库入库水源主要有大凌河干流及其一级支流—凉水河和忙牛河。水质监测结果表明,大凌河流域水质污染、水环境状况不容乐观。其主要污染源大致可分为三类:一是水土流失造成的非点源污染。大凌河是我国最主要的多泥沙河流之一,汛期大量的泥沙随洪水下泄造成土壤中的氮、磷等养分随流进入大凌河,对水质造成污染;二是农业生产造成的非点源污染。水库上游为朝阳市的农业主产区,化肥和农药残积物、农村及城镇垃圾和污水的直接排放,形成了比较严重的面源污染;三是城市生活及工业排污造成的点源污染。凌源、建平、喀左、北票等县城和朝阳市均分布在水库上游一级支流和干流岸边。2009 年之前,城市生产、生活污水基本是无处理直接排入河道造成点源污染,直到 2010 年才逐步建设污水处理厂,形成较为系统的污水处理模式,对点源污染加以控制。

2 研究方法

造成水质污染的成因是多方面的,因此可以把反映水质好坏的水质参数作为研究的随机变量进行水质变化趋势分析,从而掌握水质随时间的变化规律,分析其变化趋向。水库流量具有年度周期性,并与水质参数指标浓度大小密切相关,所以汛期和非汛期的水质资料不宜放在一起进行比较,而季节性 Kendall 检验法能够避免季节产生的影响^[2-3]。

季节性 Kendall 检验法是一种仅考虑数值的相对排列顺序而不考虑其大小的非参数检验方法,故能最低限度的避免漏测值等奇异值对水质趋势分析造成的影响。同时季节性 Kendall 检验法可以适用于非正态分布的水质数据,所以避免了对数据进行预先转换计算所产生的误差^[4-5]。另外,此方法在序列长度上较为宽松,若保证一年内数据完整,则对于具有 3 年以上数据的标准正态分布表就可适用^[6]。

季节性 Kendall 检验法的基本思路是分别计算各月、季的 Mann Kendall 检验统计量 S 及方差 $Var(S)$,再相加计算总统计量,最终求出 Kendall 检验统计量 τ 和 α 显著性水平。该检验的原理是按月、季将水质资料分类进行比较,仅比较前后值的大小:后者大记为正,前者大记为负;正多则为上升趋势,负多则为下降趋势,若各占一半,则表示不存在明显趋势^[7-8]。

本文根据朝阳地区水文特征,结合白石水库水质特点优化季节性 Kendall 检验法,将水质参数样本系列划分为全年、汛期、非汛期三类,以白石水库坝前水质为分析样本分别对总氮、氨氮、溶解氧、高锰酸盐指数等九项水质指标进行趋势性分析,进而研究造成其污染的主要成因。

3 采样与检测

3.1 采样

白石水库水质采样化验单位为朝阳水环境监测中心,该监测中心是国家级计量认证单位。在水质化验过程中,通过采用测定程序空白值、加标回收率、平行测定等质量控制手段和对化验室仪器设备及相关人员的全过程质量管理,建立完善的质量保证体系,从而确保所得数据具有较高的准确程度。

采样位置在白石水库坝前断面,每月月初依据《地表水环境质量标准》(GB 3838 2002)要求根据所需测定项目样品的保存方法对水样进行采集、保存、备检。

3.2 主要仪器

采样容器:聚乙烯塑料桶和无菌瓶。

分析仪器:锥形瓶的玻璃回流装置、恒温培养箱、723 型紫外分光光度计、ICS 90A 离子色谱。

3.3 试验项目及数据的选择

在确定趋势分析的因子时应选择数据较为完整可靠、监测序列较长,且在判断水质污染有重要作用的指标。白石水库规划水质目标为 0 类水质,水质现状监测表明,如不计总氮基本稳定在 0 类水质水平,计入总氮则为劣 0 类。考虑各指标对白石水库水质污染的影响程度以及水质指标间的相互作用,本文确定将溶解氧、总氮、氨氮、高锰酸盐指数、总磷、硝酸盐氮、COD、BOD 以及亚硝酸盐氮作为分析因子。

采用季节性 Kendall 检验法进行水质趋势分析时,水质序列长度对趋势分析结果有很大影响,序列过短无法准确判断是否存在趋势,序列过长会导致趋势的掩盖或抵消,一般以 5~8 a 为宜。因此,经比较分析本文采用 2006 年—2013 年逐月监测数据进行水质趋势分析。

3.4 试验方法与依据

本文试验方法均依照《地表水饮用标准》(GB 3838—2002)所述,见表 1。

表 1 主要试验方法与依据

Tab. 1 The main experimental methods and basis

实验项目	标准依据	使用方法
总氮	GB 11894—89	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
氨氮	HJ 535—2009	纳氏试剂分光光度法
溶解氧	GB 7489—87	碘量法
高锰酸盐指数	GB 11892—89	高锰酸钾法
总磷	GB 11893—89	钼酸铵分光光度法
硝酸盐氮	GB 7480—87	酚二磺酸分光光度法
COD	GB 11914—89	重铬酸钾法
BOD ₅	GB 7488—87	稀释与接种法
亚硝酸盐氮	GB 7493—87	分光光度法

4 季节性 Kendall 检验的数学模型的构建

零假设 H_0 是与时间独立的随机变量, 且全年各月水质资料的概率分布相同^[9-10]。设 n 年 P 月的监测资料序列 X 为

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \dots & \dots & \vdots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $X_{11}, X_{22}, \dots, X_{np}$ 为每月水质监测值的平均值。

(1) 对于 P 月中第 i ($i < P$) 月的情况。

历年第 i 月水质序列值相比较 (后面与前面序列值之差) 的正负号之和 S_i 为

$$S_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_{ij} - x_{ik}) \quad (1 \leq k < j \leq n) \quad (2)$$

$$\text{其中, } \text{sgn}(x_{ij} - x_{ik}) = \begin{cases} 1 & x_{ij} > x_{ik} \\ 0 & x_{ij} = x_{ik} \\ -1 & x_{ij} < x_{ik} \end{cases} \quad (3)$$

第 i 月差值数据组的个数 m_i 为

$$m_i = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n |\text{sgn}(x_{ij} - x_{ik})| = \frac{n_i(n_i-1)}{2} \quad (4)$$

式中: n_i 为第 i 月水质序列中非漏测值的个数。

在零假设下, 随机序列 S_i ($i = 1, 2, \dots, P$) 近似服从正态分布, 则 S_i 的均值和方差分别为

$$E(S_i) = 0; \text{var}(S_i) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

其中, 当 n_i 个非漏测值中有 t 个数相同时, 方差 $\text{var}(S_i)$ 为

$$\text{var}(S_i) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (6)$$

(2) 对于 P 月的总体情况。

令 $S = \sum_{i=1}^P S_i, m = \sum_{i=1}^P m_i$ 在零假设下, P 月 S 的均值和方差分别为

$$E(S) = \sum_{i=1}^P E(S_i) = 0; \text{var}(S) = \sum_{i=1}^P \text{var}(S_i) +$$

$$\sum_{i=1}^P \sum_{h=1, h \neq i}^P \text{cov}(S_i, S_h) \quad (7)$$

式中, S_i 和 S_h ($i \neq h$) 都是独立的随机变量的函数, 即 $S_i = f(X_h)$ 。其中 X_i 为 i 月历年的水质序列, X_h 为 h 月历年的水质序列, 且 $X_i \cap X_h = \emptyset$; 由于 X_i 和 X_h 中分别是 i 月和 h 月的水质数据, 并且监测资料序列 X 中的所有元素都是独立的, 因此, 协方差 $\text{cov}(S_i, S_h) = 0$ 。将其代入式(7)中, 则:

$$\text{var}(S) = \sum_{i=1}^P \frac{n_i(n_i-1)(2n_i+5)}{18} \quad (8)$$

其中, 当 n 年水质序列中有 t 个数相同时, 方差 $\text{var}(S)$ 为

$$\text{var}(S) = \sum_{i=1}^P \frac{n_i(n_i-1)(2n_i+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (9)$$

经研究, 当 $n > 10$ 时, S 也服从正态分布, 并且标准方差 Z 为:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (10)$$

(3) 趋势检验。

季节性 Kendall 检验统计量 $\tau = S/m$ 。由此, 在双尾趋势检验中, 对于给定的趋势检验显著性水平 α , 若 $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$, 则零假设成立。Fn 为标准正态分布函数, 其中 $\text{Fn}(Z_{\alpha/2}) = \alpha/2$ 。即:

$$\text{Fn} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{|Z|}^{\infty} \exp\left[-\frac{1}{2}t^2\right] dt; \alpha = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{|Z|}^{\infty} \exp\left[-\frac{1}{2}t^2\right] dt \quad (11)$$

通常, 显著性水平 α 临界值为 0.1 和 0.01。当 $\alpha \leq 0.01$ 时, 说明检验是高度显著的; 当 $0.01 < \alpha \leq 0.1$ 时, 说明检验是显著的。若计算结果满足上述条件, 当 $\tau > 0$ 时, 说明水质序列呈上升趋势; 当 $\tau < 0$ 时, 说明水质序列呈下降趋势; 当 $\tau = 0$ 时, 说明无趋势^[11-12]。

虽然季节性 Kendall 检验法是将历年相同月(季)间的水质资料进行相应地比较, 避免了季节性的影响, 但综合考虑白石水库所处辖区朝阳市具有降雨年季变化大的特点, 本文分别处理汛期和非汛期以及全年的水质资料, 使得水质变化趋势分析结果更为合理。

$$P = \begin{cases} 1-12 \text{ 月} & \text{全年} \\ 5, 6, 7, 8, 9 \text{ 月} & \text{汛期} \\ 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12 \text{ 月} & \text{非汛期} \end{cases} \quad (12)$$

5 结果与分析

5.1 季节性 Kendall 检验法数据分析

采用上述构建的季节性 Kendall 检验法数学模型对总氮、氨氮、溶解氧及高锰酸盐指数等 9 项水质指标分全年、汛期、非汛期三个系列进行分析, 结果如下。

从表 2 全年系列分析可见, BOD、亚硝酸盐氮为显著水平, 呈下降趋势, 总磷、COD 不显著; 氨氮、总氮、溶解氧、高锰酸盐指数和硝酸盐氮均为极显著水平, 其中高锰酸盐指数和硝酸盐氮呈上升趋势, 其余 3 项呈下降趋势。

从表 3 汛期系列分析可见, 只有溶解氧和高锰酸盐指数为显著和极显著水平, 呈下降趋势, 其余 7 项指标不显著。

从表 4 非汛期系列分析可见, 总氮、溶解氧、高锰酸盐指数和硝酸盐氮为极显著水平, 其中总氮和硝酸盐氮呈上升趋势; 溶解氧和高锰酸盐指数呈下降趋势; 氨氮、总磷和亚硝酸盐氮为显著水平, 只有总磷呈上升趋势, 其余 2 项呈下降趋势; COD、BOD 不显著。

监测数据表明高锰酸盐指数、氨氮符合 0 类水质标准, 且有下降趋势; 总氮指标一直超出劣 0 类水质标准, 且有上升变化趋势, 其余 6 项指标宏观变化虽有上升和下降趋势但基本满足 0 类水质标准。因此有必要对总氮作进一步分析。

5.2 总氮浓度变化趋势及成因分析

5.2.1 总氮浓度变化趋势

总氮浓度趋势分析见图 1, 由图可知, 白石水库总氮水质类别超出水质目标, 甚至达到劣 0 类水质, 污染最为严重。多年总氮浓度均值约为 2.89 mg/L, 高于 0 类水质含量值。总氮全年呈高度显著上升趋势, 汛期无明显变化趋势, 非汛期呈显著上升趋势。总氮含量从 2012 年开始大幅度升高, 在 2013 年 4 月出现最高值, 极大值多分布在非汛期。

由常规分析可知, 总氮中硝酸盐氮所占比例平均约为 71.4%。从整体上看, 总氮的增长主要是硝酸盐氮含量升高引起的。再者, 水中氨氮、溶解氧显著下降, COD 无明显变化

表 2 季节性 Kendall 检验法分析结果(全年)

Tab. 2 Results based on the seasonal Kendall test method (whole year)

	氨氮	总氮	溶解氧	高锰酸盐指数	总磷	硝酸盐氮	COD	BOD	亚硝酸盐氮
显著性水平 α	0.009**	0.007**	0**	0**	0.388	0**	0.670	0.045*	0.029*
水质序列趋势 τ	-0.225↓	0.235↑	-0.429↓	-0.419↓	—	0.324↑	—	-0.167↓	-0.319↓
检测结果	极显著下降	极显著上升	极显著下降	极显著下降	—	极显著上升	—	显著下降	显著下降

注: 当 $0.01 < \alpha \leq 0.1$ 时, * 表示显著; 当 $\alpha \leq 0.01$ 时, ** 表示极显著。当 $\tau > 0$ 时, 水质序列呈上升趋势。当 $\tau < 0$ 时, 水质序列呈下降趋势; 当 $\tau = 0$ 时, 看不到变化趋势。

表 3 季节性 Kendall 检验法分析结果(汛期)

Tab. 3 Results based on the seasonal Kendall test method (flood season)

	氨氮	总氮	溶解氧	高锰酸盐指数	总磷	硝酸盐氮	COD	BOD	亚硝酸盐氮
显著性水平 α	0.182	0.506	0.014*	0.002**	0.346	0.135	0.582	0.192	0.219
水质序列趋势 τ	—	—	-0.321↓	-0.393↓	—	—	—	—	—
检测结果	—	—	显著下降	极显著下降	—	—	—	—	—

注: 当 $0.01 < \alpha \leq 0.1$ 时, * 表示显著; 当 $\alpha \leq 0.01$ 时, ** 表示极显著。当 $\tau > 0$ 时, 水质序列呈上升趋势。当 $\tau < 0$ 时, 水质序列呈下降趋势; 当 $\tau = 0$ 时, 看不到变化趋势。

表 4 季节性 Kendall 检验法分析结果(非汛期)

Tab. 4 Results based on the seasonal Kendall test method (non flood season)

	氨氮	总氮	溶解氧	高锰酸盐指数	总磷	硝酸盐氮	COD	BOD	亚硝酸盐氮
显著性水平 α	0.023*	0.003**	0**	0**	0.070*	0**	1.00	0.142	0.090*
水质序列趋势 τ	-0.263↓	0.349↑	-0.514↓	-0.440↓	0.211↑	0.413↑	—	—	-0.333↓
检测结果	显著下降	极显著上升	极显著下降	极显著下降	显著上升	极显著上升	—	—	显著下降

注: 当 $0.01 < \alpha \leq 0.1$ 时, * 表示显著; 当 $\alpha \leq 0.01$ 时, ** 表示极显著。当 $\tau > 0$ 时, 水质序列呈上升趋势。当 $\tau < 0$ 时, 水质序列呈下降趋势; 当 $\tau = 0$ 时, 看不到变化趋势。

趋势,是由于 COD 中的含氮有机物在厌氧条件下分解成氨氮的能力较有氧条件有所削弱,致使水中氨氮浓度显著下降,而有机氮含量逐步升高,这也可能是总氮升高的原因之一。

由朝阳市水资源公报可知,2010 年、2011 年、2012 年为相对丰水年,2007 年为相对偏丰水年,2013 年为相对偏枯水年,其余年份为相对枯水年。丰水年,汛期总氮浓度变化不很明显,进入非汛期后总氮浓度显著增加,总体呈显著上升趋势。枯水年,总氮浓度较为稳定。这是由于丰水年进入非汛期后有更多的氮类污染物进入水体,反映出了非点源污染物的影响。总氮浓度在 2006 年、2012 年和 2013 年季节间变异较大,非汛期明显大于汛期浓度,反映出了基流总氮浓度增加的影响,见图 1。

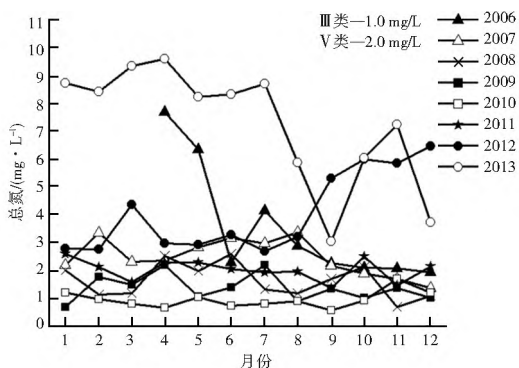


图 1 总氮趋势分析

Fig. 1 The trend analysis diagram of total nitrogen

5.2.2 总氮浓度与蓄水量的关系

总氮与蓄水量趋势分析见图 2, 由图可知, 遇丰水年时, 汛期总氮浓度随蓄水量的增大而减小, 非汛期总氮浓度随蓄水量增大而增大。遇枯水年时, 汛期及非汛期总氮浓度均随

蓄水量增大而减小。非汛期水体主要来源为河流的补给, 总氮浓度随蓄水量增大而增大说明上游河流补给水源污染物浓度大于水库自身污染程度, 当蓄水量增大时污染物富集作用增加, 使得污染程度加剧。而汛期降雨量较非汛期有很大程度增加, 对污染物起到较大的稀释作用。总氮浓度随蓄水量的增大而减小说明上游河流补给中携带的氮类污染物在进入水体时通过降雨稀释小于水库自身污染程度, 这也反映出了随降雨进入水体的非点源污染物浓度小于上游河流补给的污染物浓度, 说明白石水库总氮污染主要来源于上游河流补给。

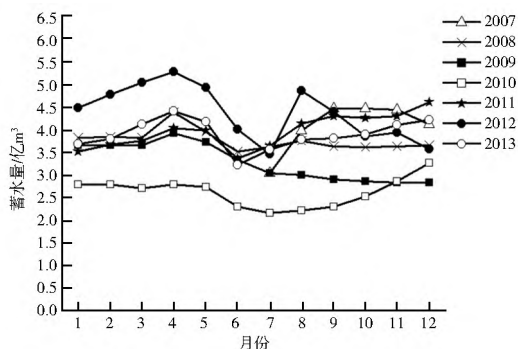


图 2 蓄水量趋势分析

Fig. 2 The trend analysis diagram of storage capacity

5.2.3 总氮浓度与其它水质指标的关系

白石水库氨氮趋势分析见图 3, 由图可知, 氨氮在 2011 年之前介于 Ⅲ 类与 Ⅳ 类水质之间, 2011 年开始达到预期水质目标, 水质有转好趋势。全年氨氮量有明显的下降趋势, 汛期由于溶解氧下降以及上游氨氮携带入库量增加的双重作用, 无明显的趋势变化, 而非汛期有较为明显的下降趋势。

作为反映点源污染的水质指标,氨氮的下降进一步说明总氮浓度的增加与点源污染关系不大。

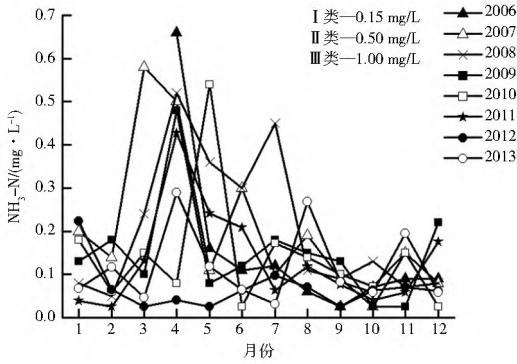


图3 氨氮趋势分析

Fig. 3 The trend analysis diagram of ammonia nitrogen

白石水库溶解氧趋势分析见图4,由图可知,溶解氧基本符合水质目标,但总体呈显著下降趋势。非汛期水温较低,溶解氧含量较高,相对汛期下降趋势较为明显。氮、磷产生的富营养化会导致溶解氧的下降,这也与总氮浓度的逐年上升相符。在总氮浓度显著升高的大趋势下,2010年、2012年总氮浓度相对较低,作为丰水年,降雨量的增加对总氮浓度起到稀释作用,这表明降雨携带的含氮类非点源污染物浓度小于水库自身的总氮浓度。而降雨量的增加使得水库溶解氧含量有所增大,这也是导致2010年、2012年溶解氧与总氮浓度呈正相关的主要原因。

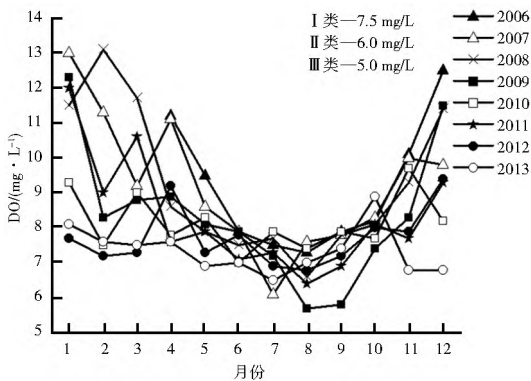


图4 溶解氧趋势分析

Fig. 4 The trend analysis diagram of dissolved oxygen

白石水库硝酸盐氮趋势分析见图5,由图可知,硝酸盐氮含量小于标准限值,符合地表水饮用标准,但总体上呈高度

显著上升趋势,在汛期无明显趋势,非汛期呈高度显著上升趋势。从2012年开始硝酸盐氮含量显著升高,在2013年4月出现最高值,曲线与总氮浓度趋势变化相吻合,与相关性分析相一致,也进一步说明了硝酸盐氮对总氮浓度的增加起主要贡献作用。

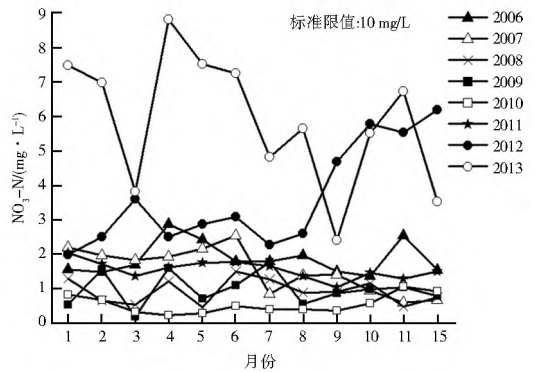


图5 硝酸盐氮趋势分析

Fig. 5 The trend analysis diagram of nitrate nitrogen

总氮浓度与其它水质指标的 Spearman 相关系数分析见表5,由表可知,白石水库总氮浓度与硝酸盐氮的相关系数最大,与高锰酸盐指数、BOD、亚硝酸盐氮无显著相关性,表明总氮浓度的增加主要是受硝酸盐氮增加的影响,与常规分析结论相一致。除硝态氮外,早年的氨氮对总氮变化产生一定影响,近年来溶解氧也对总氮的增加起积极作用。

氮污染对水质的影响是极大的。在正常情况下,氧在水中有一定的溶解度。这部分氧不仅为水生生物提供了所必需的生存条件,而且通过氧参与水中的氧化还原反应,使污染物得以快速地转化降解,这也是天然水体具有自我净化能力的重要原因。如果大量排放氮、磷、钾,会使水中的有机物在降解过程中释放出营养元素,从而导致水中藻类大面积繁殖,植物肆意生长,以至于水体通气不良,溶解氧快速下降,出现缺氧层或无氧区。最终造成水生植物、鱼类等因缺氧大量死亡,形成“死水”,甚至恶化成为沼泽,这就导致了水体的富营养化。富营养化的水体发黑、有严重的腥臭味、水中细菌多,这种水质差的水不适合直接利用。

氮污染主要来源可分为内部源和外部源。内部源主要是湖库内生物体的死亡分解及营养盐的回归。外部源主要是生活污水、工业废水等点源污染以及农业面源和大气降雨

表5 总氮浓度与其它水质指标的相关分析

Tab. 5 The correlation analysis between total nitrogen and other water quality indexes

	氨氮	溶解氧	高锰酸盐指数	总磷	硝酸盐氮	COD	BOD	亚硝酸盐氮
2006	-0.62*	0.26	-0.27	-0.65*	-0.52*	0.36	-0.35	0.35
2007	0.38	-0.22	0.32	0.34	0.53*	0.19	-0.31	0.33
2008	0.64*	-0.38	0.05	-0.07	0.68*	-0.52*	0.03	0.08
2009	0.34	0.05	-0.36	-0.49	0.69*	0.15	-0.47	0.08
2010	0.26	0.54*	-0.30	0.34	0.71**	—	0.33	—
2011	0.00	0.48	0.23	0.33	0.69*	—	-0.30	—
2012	-0.36	0.57*	-0.25	0.51*	0.95**	—	0.06	—
2013	-0.05	0.30	-0.38	-0.01	0.54*	0.35	0.44	—

注: * 表示相关, ** 表示显著相关。

等面源污染。白石水库附近没有工业和生活污染源向库内直接排放,所以外部源主要来自上游入库水、大气降雨以及农业面源污染等。其中,非汛期主要是大凌河干流等上游入库水携带的非点源污染,汛期除此污染来源外还有以水土流失为主的非点源污染。

大凌河由于入河污染物总量大、径流量小、径流量相对变化大造成其水质严重污染^[1]。由上文分析可知,大凌河作为白石水库的主要水源,同时也是其主要的污染来源。所以对白石水库的污染防治应从控制大凌河污染着手,提出以下建议。

(1) 在汛期,入库河流的悬浮物(泥沙等)浓度高达几万至几十万 mg/L(非汛期达十几至几十 mg/L),耗氧性有机物和氮、磷等污染物浓度也较正常值大幅度升高,大凌河水土流失对白石水库形成明显的非点源污染。对此应当大力开展山岭丘陵的植树造林和封山育林,积极推进坡地、河滩的退耕还林还草,增加朝阳地区的植被覆盖率,改善大凌河流域的生态功能,以减少对白石水库产生的此类污染^[4]。

(2) 作为朝阳市的农业主产区,水库上游大凌河流域周边农药、农业含氮肥料的使用和流失,也是造成氮污染的原因之一。所以应大力推广测土配方施肥技术,鼓励农民合理施用农药、化肥。

(3) 针对大凌河上游城市生活、工业排污所造成的点源污染,应进一步提高城市污水处理率,严格控制入河排污标准,使农业、工业及生活排污所产生的氮、磷污染降到最低^[5]。

6 结论

(1) 由本文可知,白石水库趋势分析结果符合常规统计量的变化规律,并且能够直观量化其变化趋势,说明采用季节性 Kendall 数学模型进行白石水库水质变化趋势分析是适用的。特别是本文把水质参数样本系列划分为全年、汛期、非汛期三个系列,对揭示水库水质污染的季节变化规律更为精确。

(2) 总氮是造成水库水质长期停滞在Ⅱ类的唯一因素,且分析表明其仍处于显著上升趋势,这说明在未来可预见的时期内水库水质不但很难实现规划水质目标,还存在进一步恶化的可能。同时也说明过去所实施的一系列水质污染防治措施并未产生明显效果。

(3) 总氮上升最显著的是非汛期,主要成因是上游流域的面源污染和水土流失,空间上主要来源于大凌河干流朝阳市域内。今后必须针对总氮和占总氮比例最大的硝酸盐氮进行专门研究,采取具有针对性的防治措施,研究治理、实施科学水质管理。

参考文献(References):

- [1] 杨喜兰,王心,朱兴广.影响白石水库水质的主要环境问题及防治措施[J].水土保持应用技术,2007(5):37-39.(YANG Xilan, WANG Xin, ZHU Xingguang. The main environmental problems affecting the water quality of Baishi reservoir and the prevention measures[J]. Technology of Soil and Water Conservation, 2007(5): 37-39. (in Chinese))
- [2] 张庆强.季节性 Kendall 检验在天津地表水功能区水质趋势分析中的应用研究[J].安徽农业科学,2013,41(21):9016-9017.

(ZHANG Qing jiang. Studying of the seasonal Kendall test method applying in the water quality trend analysis of Tiarr jin surface water function areas [J]. Anhui Agricultural Science, 2013, 9 (21): 9016-9017. (in Chinese))

- [3] 罗文辉,张士君,柳慧勇.汉江中下游干流的水质变化趋势分析及污染防治对策[J].水利水电快报,2006,27(20):8-10.(LUO Wenhui, ZHANG Shi jun, LIU Hui yong. Water quality change trend analysis and pollution control countermeasures for the middle and lower reaches of Han River trunk stream [J]. Water Conservancy and Hydropower Express, 2006, 27 (20): 8-10. (in Chinese))
- [4] 滕昱.季节性 Kendall 检验法在水质趋势分析中的应用[J].东北水利水电,2012(11):60-61.(TENG yu. Application of the seasonal Kendall test method in water quality trend analysis [J]. Northeast Water Conservancy and Hydropower, 2012 (11): 60-61. (in Chinese))
- [5] 吴师,王嵩嵘.安徽省地表水水质变化趋势分析[J].水资源保护,2006,22(5):74-77.(WU Shi, WANG Song rong. Analysis of the surface water quality change trend in Anhui Province [J]. Water Resources Protection, 2006, 22 (5): 74-77. (in Chinese))
- [6] 胡国华,武洪涛,张震宇.黄河小浪底水库水质趋势分析[J].地域研究与开发,2003,22(4):85-87.(HU Guo hua, WU Hong tao, ZHANG Zhen yu. Trend analysis on water quality of Xiaolangdi reservoir of Yellow River [J]. Geographical Research and Development, 2003, 22 (4): 85-87. (in Chinese))
- [7] 郭立峰,郭勇,罗阳,等.季节性 Kendall 检验法在滦河干流水质分析中的应用[J].水资源保护,2014,30(5):60-67.(GUO Lipe ng, GUO yong, LUO yang et al. Application of the seasonal Kendall test method in Luan River water quality analysis [J]. Water Resources Protection, 2014, 30 (5): 60-67. (in Chinese))
- [8] 彭柯,董晓刚,张晓范,等.季节性 Kendall 检验分析湘江长沙段水质变化趋势[J].中国环境监测,2014,30(1):82-85.(PENG ke, DONG Xiaogang, ZHANG Xiaofan et al. Analysis of water quality variation trend at Changsha section of Xiang River by the seasonal Kendall test method [J]. China Environmental Monitoring, 2014, 30 (1): 82-85. (in Chinese))
- [9] 叶守泽,詹道江.工程水文学[M].北京:中国水利电力出版社,2000.(YE Shouze, ZHAN Daojiang. Engineering Hydrology [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2000. (in Chinese))
- [10] 李怡庭,翁建华.黄河干流重点河段水质变化趋势分析及水质管理对策探讨[J].水文,2003,23(5):16-19.(LI Yiting, WENG Jianhua. Water quality trend analysis of key section in the Yellow River trunk and some measures for quality management [J]. Hydrology, 2003, 23 (5): 16-19. (in Chinese))
- [11] 孙松.季节性 Kendall 检验法在黄坛水库水质趋势分析中的应用[J].环境研究与监测,2011(2):53-55.(SUN Song. Application of the seasonal Kendall test method in the trend analysis of Huangtan reservoir water quality [J]. Environmental Research and Monitoring, 2011 (2): 53-55. (in Chinese))
- [12] 李仁杰,王宇,张凤华.应用季节性 Kendall 检验法分析卫河干流水质变化趋势[J].河南水利与南水北调,2013(2):5-6.(LI Renjie, WANG Yu, ZHANG Fenghua. Analysis of Wei River trunk stream water quality change trend in the seasonal Kendall test method [J]. Henan Water Conservancy and South to North Water Transfers, 2013 (2): 5-6 (in Chinese))

(下转第 1079 页)

- uation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 34(10): 15. (in Chinese))
- [4] 王文强. 综合指数法在地下水水质评价中的应用[J]. 水利科技与经济, 2008(14): 54-55. (WANG Wen qiang. Application of aggregative index number method in groundwater quality evaluation[J]. Water conservancy science and technology and economy, 2008(14): 54-55. (in Chinese))
- [5] 陈守煜, 赵瑛琪. 模糊模式识别理论模型与水质评价[J]. 水利学报, 1991(6): 35-40. (CHEN Shou yu, ZHAO Ying qi. variable fuzzy sets mode and water quality evaluation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991(6): 35-40. (in Chinese))
- [6] 燕敏飞, 彭勇, 王国利. 基于熵权重的可变模糊理论在大连市地下水水质评价中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(3): 58-61. (YAN Min fei, PENG Yong, WANG Guo li. Application of variable fuzzy sets model based on entropy weight in groundwater quality assessment of dalian[J]. South to North water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(3): 58-61. (in Chinese))
- [7] 孟宪萌, 胡和平. 基于熵权的集对分析模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2009, 40(3): 257-262. (MENG Xian meng, HU He ping. Application of set pair analysis model based on entropy weight to comprehensive evaluation of water quality[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(3): 257-262. (in Chinese))
- [8] 张先起, 梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1057-1061. (ZHANG Xian qi, LIANG Chuan. Application of fuzzy matter element model based on coefficients of entropy in comprehensive evaluation of water quality [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(9): 1057-1061. (in Chinese))
- [9] 崔祥琨, 杨小芳. 灰色关联评价在矿区地下水水质分析中的应用[J]. 地下水, 2009, 141(31): 13-14, 43. (CUI Xiang Kun, YANG Xiao fang. Application of evaluation of gray correlation to analysis of the groundwater quality in the mining area[J]. Ground water, 2009, 141(31): 13-14, 43. (in Chinese))
- [10] 陈守煜. 可变模糊集理论与模型及其应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2009. (CHEN Shou yu. Theory and model of variable fuzzy sets and its application[M]. DaLian: DaLian university of thchnology press, 2009. (in Chinese))
- [11] 吕素冰, 许士国, 陈守煜. 水资源效益综合评价的可变模糊决策理论及应用[J]. 大连理工大学学报, 2011, 51(2): 269-273. (LU Su bing, XU Shi guo, CHEN Shou yu. Theory and application of variable fuzzy decision making in comprehensive benefit evaluation of water resources[J]. Journal of dalian university of technology, 2011, 51(2): 269-273. (in Chinese))
- [12] 谢志高, 习树峰, 葛萌. 可变模糊模型在水库水质评价中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(2): 50-53. (XIE Zhi gao, XI Shu feng, GE Meng. Application of variable fuzzy model in evaluation of reservoir water quality[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(2): 50-53. (in Chinese))
- [13] 刘扬, 杨玉楠, 王勇. 层次分析法在我国小城镇分散型生活污水处理技术综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2008, 39(9): 1146-1150. (LIU Yang, YANG Yu nan, WANG Yong. Application of analytic hierarchy process in comprehensive evaluation of decentralized domestic waste water treatment in small town[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(9): 1146-1150. (in Chinese))
- [14] 周林飞, 许士国, 孙万光. 基于压力-状态-响应模型的扎龙湿地健康水循环评价研究[J]. 水科学进展, 2008, 19(2): 206-213. (ZHOU Lin fei, XU Shi guo, SUN Wang guang. Healthy water circulation assessment of Zhalong wetland based on PSR model[J]. Advance in Water Science, 2008, 19(2): 206-213. (in Chinese))
- [15] 孟庆生. 信息论[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1989. (MENG Qing Sheng. Theory of information[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1989. (in Chinese))

(上接第 1074 页)

- [13] 薛瑞, 赵丽娜. 白石水库水质污染状况与防治对策[J]. 辽宁城乡环境科技, 2004, 24(3): 3-5. (XUE Rui, ZHAO Li na. The pollution of Baishi reservoir water quality and prevention countermeasures[J]. Liaoning Urban and Rural Environmental Science & Technology, 2004, 24(3): 3-5. (in Chinese))
- [14] 李文赞, 李叙勇, 王晓学. 20年来密云水库主要入库氮变化趋势和影响因素[J]. 环境科学学报, 2013, 33(11): 3047-3052. (LI Wen zan, LI Xu yong, WANG Xi xue. Trends and major influencing factors of the Total nitrogen concentration in the main rivers flowing into the Miyun reservoir in recent 20 years[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013(11): 3047-3052. (in Chinese))
- [15] 李福明, 李宁, 傅金祥, 等. 白石水库水质现状与评价分析[J]. 沈阳建筑工程学院学报: 自然科学版, 2004, 20(2): 139-142. (LI Fu ming, LI Ning, FU Jin xiang et al. Baishi reservoir water quality present situation and evaluation analysis[J]. Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering Institute: natural science edition, 2004, 20(2): 139-142. (in Chinese))