

阳小兰,张茹春,毛欣,等.白洋淀水体氮磷时空分布与富营养化分析[J].江苏农业科学,2018,46(24):370-373.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.095

白洋淀水体氮磷时空分布与富营养化分析

阳小兰¹,张茹春¹,毛欣²,王瑞君¹,孟赫男¹,刘冬梅³,田学东³,杨永壮³

(1. 河北省科学院地理科学研究所/河北省地理信息开发应用工程技术研究中心,河北石家庄 050011;

2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北石家庄 050006; 3. 河北省安新县环境保护局,河北保定 071600)

摘要:根据白洋淀 8 个典型样点 2012—2014 年连续 3 年水质的实测数据,分析水体中氮、磷的时空分布特征,采用综合营养状态指数法对白洋淀 2012—2014 年水体富营养化现状进行了评价,结合历史数据对白洋淀水体富营养化趋势进行分析。结果表明,空间上各样点水体总氮(TN)、总磷(TP)含量存在明显差异,TN 和 TP 均以南刘庄最高,TN 主要表现为春季、夏季高,秋季低,TP 主要表现为夏季、秋季高,春季略低。综合营养指数评价结果表明,白洋淀水体总体处于轻度富营养化状态,部分区域呈中度富营养化;富营养化程度在夏秋两季较高,春季较低;随着白洋淀的综合整治,水质有了一定改善,富营养化程度整体呈下降趋势。南刘庄属于劣 V 类水体,常年处于中度富营养化状态,有效降低通过府河输入白洋淀的含氮、磷污染物总量是缓解白洋淀水体富营养化的关键。

关键词:白洋淀;水体富营养化;总氮;总磷;时空分布

中图分类号:X52 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)24-0370-04

湖泊(水库)是全球水资源的重要组成部分,具有重要的生态服务功能,不仅包括水产品供给,还承担着缓洪滞蓄、水灌溉和维护生物多样性等重要任务^[1]。但是,随着城市和工农业的快速发展,我国绝大多数湖泊正面临着水体富营养化的威胁或已经富营养化^[2-3],许多大型湖泊,如巢湖、太湖、鄱阳湖等都已经处于富营养或重富营养状态^[4]。湖泊水体富营养化是我国淡水湖泊面临的最主要生态环境问题之一。湖泊富营养化根源在于氮磷等营养盐的过量富集,过高的营养负荷会导致一系列严重的生态后果,如蓝藻水华暴发和生物多样性下降等,严重威胁着湖泊的生态功能和水环境质量^[5-8]。探明湖泊水体氮磷的时空分布特征,明确其富营养程度及污染来源,可为湖泊治理和有效管理提供科学依据。

白洋淀属北方浅水草型湖泊,素有华北明珠之称。研究表明,20 世纪 50—60 年代,白洋淀水质清澈,水产资源丰富。20 世纪 70 年代以后,由于工农业废水及生活污水的大量排放,使白洋淀水质遭受污染,水体富营养化严重^[9-10]。近年来,随着人口的增加,流域内经济的增长,如养殖业和旅游业的大力发展,白洋淀水质进一步恶化,出现了干淀、水质污染和死鱼等问题,水质污染已经成为制约白洋淀湿地生态环境良性循环的瓶颈。面对白洋淀水体污染与富营养化的日趋严重^[11],众多学者就湖泊富营养特征、驱动机制以及应对措施等方面展开了相关研究。胡晓波等采用 TLI 和 TSL_M 方法评价了白洋淀养殖水域营养状态,认为其水质已达到轻度和中

度富营养化^[12]。王瑜等应用修正的卡尔森营养状态指数和优势种评价法对白洋淀的营养状态进行评价,结果表明,白洋淀多数水体处于富营养状态^[13]。门漱石等认为,白洋淀水体富营养化的主要污染源是入淀河流、淀内居民生活及水上娱乐、水产养殖等^[14]。王珺等对流入白洋淀的府河水体及沉积物中氮、磷进行了测试,研究了白洋淀水体富营养化的基本特征及营养盐驱动机制^[15]。陈新永等在对白洋淀水产养殖区富营养化分析的基础上,提出应发展水产健康养殖来控制水体富营养化^[16]。本研究在白洋淀 2012—2014 年逐月水体取样分析的基础上,探讨该湖水体中氮磷的时空分布特征,对其富营养化进行科学评价,并结合历史数据对白洋淀水体富营养化趋势进行了分析。本研究结果可为白洋淀水体富营养化防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

白洋淀地处华北平原中部,地理坐标为 115°38′~116°07′E,38°43′~39°02′N,四周以堤坝为界,东至千里堤,西至西门堤,南至淀南新堤,北至新安北堤,东西长 39.5 km,南北宽 28.5 km。淀内主要由白洋淀、马棚淀、烧车淀、藻杂淀等大小不等的 143 个淀泊和 3 700 条沟壕组成,淀区总面积 366 km²。白洋淀上承九河,下注渤海,地势低洼,是河北省最大的内陆淡水湖泊。

1.2 取样点选择及样品采集

在白洋淀选择代表其典型特征的 8 个样点(图 1):烧车淀(国家级自然保护区核心区)、王家寨(畜禽养殖区)、圈头(养鸭、养鱼区)、采蒲台(静水蓄积区)、光淀和端村(水产养殖区)、枣林庄(出水口)、南刘庄(府河入水口),于 2012—2014 连续 3 年逐月在监测点进行水样采集。

1.3 样品测定

现场测量透明度、水深、pH 值、表层水温度、溶解氧等指

收稿日期:2017-08-16

基金项目:河北省应用基础研究计划重点基础项目(编号:16964212D);中国地质科学院基本科研业务费专项(编号:SK201706);河北省科学院项目(编号:2016020954、2016022577-1、2014055510)。

作者简介:阳小兰(1963—),女,湖南湘乡人,教授级高级工程师,主要从事生态环境变化与孢粉分析研究。E-mail:yx163@126.com。

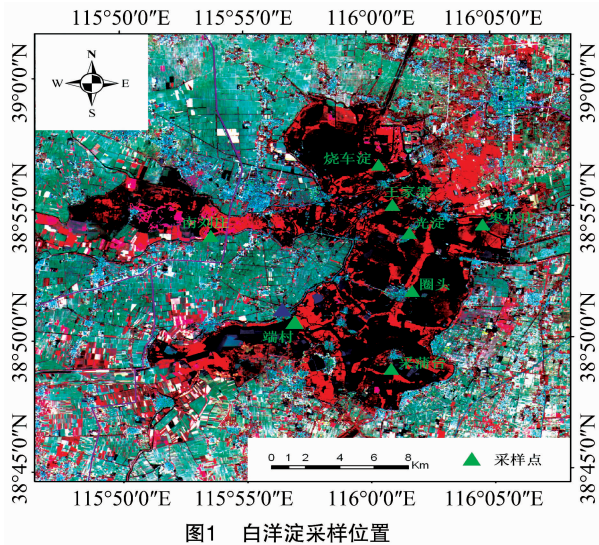


图1 白洋淀采样位置

标,室内分析项目包括总氮、总磷、叶绿素 a、化学耗氧量、高锰酸钾指数等,测试方法参照《水和废水监测分析方法》^[17]:高锰酸盐指数用酸性法(GB/T 11892—1989);总磷用钼锑抗分光光度法(GB/T 11893—1989);总氮的测定用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ636—2012);叶绿素 a 的测定用分光光度法,并用便携式仪器作对照(结果基本一致)。

1.4 富营养化评价方法

目前,我国湖泊水体富营养化评价的基本方法主要有营养状态指数法[卡尔森营养状态指数(TSI)]、营养度指数法和评分法、修正的营养状态指数、综合营养状态指数(TLI)^[18-19]。以上几种方法在实际工作中都被采用,其中评分法受人为因素的干扰较多,影响结果的准确性;营养度指数法计算步骤繁琐且耗时长,不如综合营养指数法简便易行。因此,本研究选取综合营养状态指数法评价湖泊水体富营养化程度^[20-21],评价项目选取了反映水体营养程度的主要指标包括叶绿素 a、总磷、总氮、透明度、高锰酸盐指数 5 项,分别计算各参数的营养状态指数,根据各项参数的营养状态指数,通过公式计算得出综合营养状态指数。为明确说明湖泊水体的富营养程度,根据营养状态指数数值对湖泊水体的富营养化程度进行分级,分级标准见表 1。

表1 湖泊水体的营养指数分级

营养级别	营养状态指数 TLI
贫营养	<30
中营养	30≤TLI≤50
轻度富营养	50<TLI≤60
中度富营养	60<TLI≤70
重度富营养	>70

2 结果与分析

2.1 白洋淀水体 TN、TP 分布特征

2.1.1 白洋淀 TN 空间分布 根据 2012—2014 年 8 个监测点的 TN 平均值(图 2、表 2)可以看出,TN 含量由大到小依次为:2012 年南刘庄>王家寨>圈头>端村>烧车淀>采蒲台>光淀>枣林庄;2013 年南刘庄>烧车淀>王家寨>光淀>端村>圈头>采蒲台>枣林庄;2014 年南刘庄>烧车淀>端村

>王家寨>圈头>采蒲台>光淀>枣林庄。TN 在空间分布上差异较大,最大值分布在南刘庄,3 年中 TN 含量远远超出了地表水Ⅳ类标准值(≤ 1.5 mg/L),2014 年最大值为 27.79 mg/L,超出标准 17.53 倍;依据地表水环境质量标准基本项目标准限值,其他各样点 TN 浓度均超过了《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[22]的Ⅲ类水标准,50% 以上水域劣于Ⅴ类。

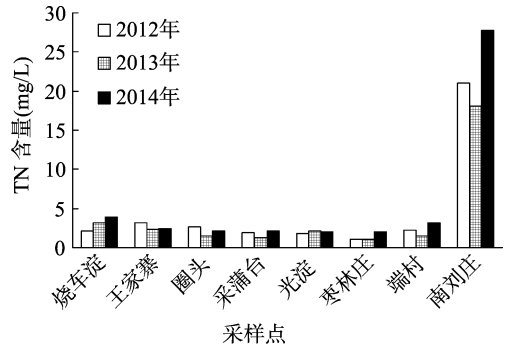


图2 2012—2014 年白洋淀不同采样点 TN 含量变化

表2 2012—2014 年白洋淀不同采样点 TN 含量及水质等级

采样点	2012 年		2013 年		2014 年	
	TN (mg/L)	水质 分级	TN (mg/L)	水质 分级	TN (mg/L)	水质 分级
烧车淀	2.11	劣Ⅴ	3.15	劣Ⅴ	3.87	劣Ⅴ
王家寨	3.13	劣Ⅴ	2.27	劣Ⅴ	2.46	劣Ⅴ
圈头	2.67	劣Ⅴ	1.44	Ⅳ	2.15	劣Ⅴ
采蒲台	1.95	Ⅴ	1.23	Ⅳ	2.12	劣Ⅴ
光淀	1.76	Ⅴ	2.13	劣Ⅴ	2.05	劣Ⅴ
枣林庄	1.07	Ⅳ	1.06	Ⅳ	1.99	Ⅴ
端村	2.22	劣Ⅴ	1.49	Ⅳ	3.19	劣Ⅴ
南刘庄	21.06	劣Ⅴ	18.01	劣Ⅴ	27.79	劣Ⅴ

2.1.2 白洋淀 TP 空间分布 地表水环境质量标准中Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类 TP 的浓度限值分别为 ≤ 0.05 、0.1、0.2 mg/L。根据 2012—2014 年 8 个监测点的 TP 平均值(图 3、表 3)可以看出,TP 含量由大到小依次为:2012 年南刘庄>端村>圈头>采蒲台>王家寨>烧车淀>光淀、枣林庄;2013 年南刘庄>端村>烧车淀、圈头、采蒲台、光淀>王家寨>枣林庄;2014 年南刘庄>端村>王家寨>圈头>烧车淀>采蒲台>光淀>枣林庄。TP 含量最高点仍分布在南刘庄,3 年中 TP 指标处于严重超标状态,2014 年最大值为 1.34 mg/L,超出标准 12.4 倍(Ⅳ类标准 ≤ 0.1 mg/L);其次为端村,2014 年最大值为 0.23 mg/L,超出标准 3.6 倍(Ⅲ类标准 ≤ 0.05 mg/L)。白洋淀 TP 污染程度好于 TN,3 年中枣林庄水质达到Ⅲ类水标准,2013 年达到了Ⅰ类水标准,而南刘庄、端村污染严重,为Ⅴ类或劣于Ⅴ类。

2.2 白洋淀水体 TN、TP 的季节分布

季节变化以季度算术平均值进行比较,春季为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季因有些区域结冰,不参与比较。

对比不同季节水体中 TN 的含量(图 4),总的趋势是春季>夏季>秋季,2014 年则相反(图 4)。TP 含量夏季高于春季、秋季 2 个季节,变化趋势为夏季>秋季>春季,2013 年为

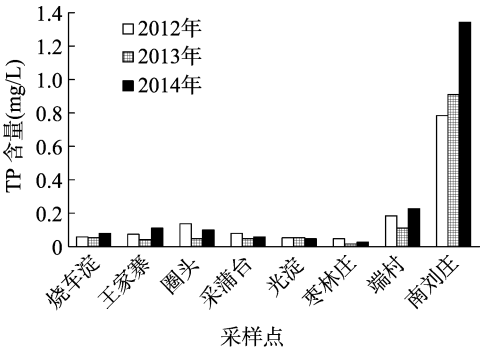


图3 2012—2014 年白洋淀不同采样点 TP 含量变化

春季 > 夏季 > 秋季 (图 5)。

2.3 水质富营养化评价

白洋淀水体 2012—2014 年营养状态评价结果见表 4。从表 4 可以看出,在监测的 8 个样点中,南刘庄 3 年均为“中度富营养”,且综合营养状态指数呈逐年下降的趋势;枣林庄

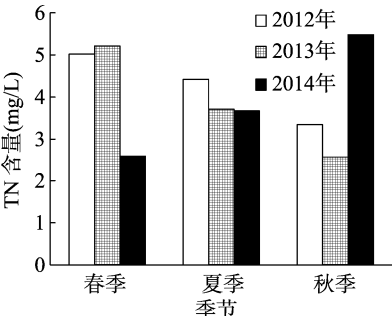


图4 白洋淀水体中不同季节的 TN 含量比较

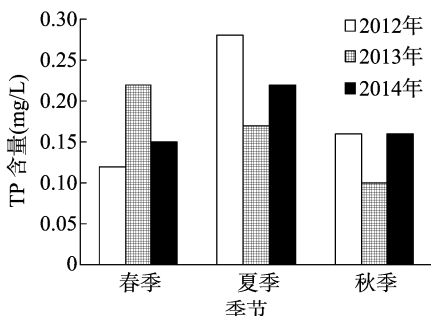


图5 白洋淀水体中不同季节的 TP 含量比较

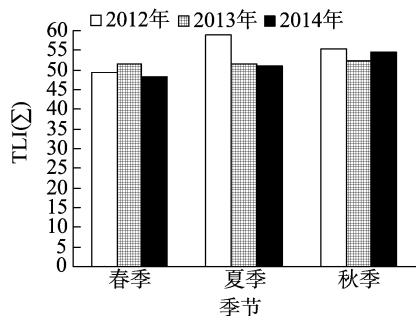


图6 白洋淀富营养化综合指数不同季节比较

表 4 2012—2014 年白洋淀不同采样点水体富营养化评价结果

采样点	2012 年		2013 年		2014 年	
	综合营养状态指数	营养状态级别	综合营养状态指数	营养状态级别	综合营养状态指数	营养状态级别
烧车淀	55.22	轻度富营养	50.38	轻度富营养	50.27	轻度富营养
王家寨	52.40	轻度富营养	51.17	轻度富营养	50.81	轻度富营养
圈 头	58.43	轻度富营养	50.38	轻度富营养	51.40	轻度富营养
采蒲台	54.03	轻度富营养	50.18	轻度富营养	48.36	中营养
光 淀	50.30	轻度富营养	50.79	轻度富营养	50.11	轻度富营养
枣林庄	46.36	中营养	41.70	中营养	43.79	中营养
端 村	59.03	轻度富营养	54.65	轻度富营养	56.10	轻度富营养
南刘庄	68.88	中度富营养	68.35	中度富营养	65.61	中度富营养

3 讨论

3.1 白洋淀水体 TN、TP 时空异特征

白洋淀氮、磷营养盐在空间上具有明显差异,在 8 个监测点中,2012—2014 年内氮、磷平均浓度在南刘庄、圈头、端村、王家寨区域含量相对较高,尤其是南刘庄。南刘庄为污水河流入口,接受来自府河排放的污水和安新县的工业及生活污水,虽然有部分污染物随着水体流动稀释、降解和沉淀,但由于污染物浓度大,到达入淀口时污染物浓度还是远远超过水体功能要求。圈头、端村为养鱼区,在水体中投放的饵料含大量氮和磷,其中少量被鱼食用,大部分剩余物沉积水体,是严重污染源。王家寨为畜禽养殖区,是最大的纯水村,村内建有大型生态旅游景区,旅游客流量巨大,配套的餐饮服务行业也

表 3 2012—2014 年白洋淀不同采样点 TP 含量及水质等级

采样点	2012 年		2013 年		2014 年	
	TP (mg/L)	水质 分级	TP (mg/L)	水质 分级	TP (mg/L)	水质 分级
烧车淀	0.06	Ⅳ	0.05	Ⅲ	0.08	Ⅳ
王家寨	0.07	Ⅳ	0.04	Ⅲ	0.11	V
圈 头	0.14	V	0.05	Ⅲ	0.10	Ⅳ
采蒲台	0.08	Ⅳ	0.05	Ⅲ	0.06	Ⅳ
光 淀	0.05	Ⅲ	0.05	Ⅲ	0.05	Ⅱ
枣林庄	0.05	Ⅲ	0.01	I	0.03	Ⅲ
端 村	0.18	V	0.11	V	0.23	劣 V
南刘庄	0.78	劣 V	0.91	劣 V	1.34	劣 V

3 年均为“中营养”;其他 6 个采样点均处于轻度富营养状态。整个淀区的富营养化程度趋势由西向东逐渐减弱。

从各季节综合营养指数来看,2012—2014 年间除 2012、2014 年春季为中营养外,其他季节都为轻度富营养 (图 6)。

是主要污染源。枣林庄为白洋淀出水口,相对于其他各点,水质较好。

从营养盐的季节变化来看,总体上 TN 含量春季、夏季较高,秋季较低,TP 夏季明显高于秋季、春季。造成营养盐含量季节变化的主要原因,可能与农业面源污染和湖区围网养殖有关。春季是农耕季节,TN 含量高主要与化肥的大量使用有关;夏季是水产养殖高峰期,在水体中投放的饵料含大量氮和磷,其中少量被鱼食用,大部分剩余物沉积水体,成为严重污染源,另外原因可能由于夏季降水较多,地表径流也随之增大,白洋淀周围村庄以及主要入湖河流域的面源污染中的营养要素随着地表径流进入水体,使水体营养盐浓度升高。到秋末投饵量显著减少,营养盐氮磷含量逐渐降低。总体来说,夏季的水质最差。

3.2 白洋淀总体营养状态趋势分析

据前人研究,白洋淀在 20 世纪 50 年代前一直处于自然循环状态,水域辽阔,物产丰富,水质均未受污染;自 1988 年至 1994 年 6 月,污染程度近似逐年递增,至 1994 年已全部达轻污染程度,部分水域达到重污染、严重污染程度^[10]。近几年来,由于白洋淀的综合治理,以及多次补水,水质得到了改善^[23]。

从图 7 可以看出,白洋淀总体富营养状态呈下降趋势:2006—2011 年,除 2009 年为轻度富营养化外,其他年份都是中度富营养,2012—2015 年,富营养状况明显好转,呈轻度富营养,2013 年最低,综合营养指数为 51.7。

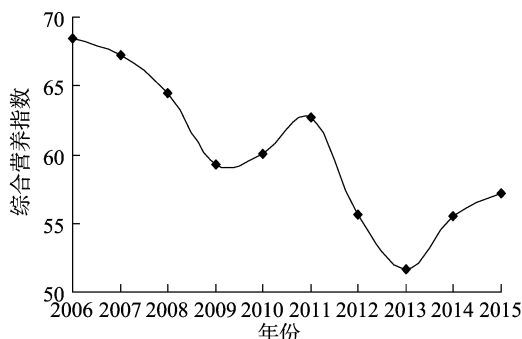


图7 白洋淀综合营养指数变化趋势

4 结论与建议

白洋淀水体中 TN 含量大多春季 > 夏季 > 秋季, TP 含量大多夏季 > 秋季 > 春季, 水体中 TN、TP 主要来源于生活源污染和养殖业。生活源主要包括淀中村生活废水、垃圾及淀区旅游产生的生活源。白洋淀区及周边共有 12 个乡镇, 总人口 12.6 万人, 淀边村和纯水村污水管网和污水处理设施建设滞后, 大量生活废水直接排入淀中, 同时, 生活垃圾等长期岸边堆放, 成为对白洋淀水质的主要污染源。对白洋淀内水产养殖、家禽养殖等重污染产业进行调整、整治是当务之急。水产养殖结构调整主要是将淀区内的水产养殖方式由投饵养殖向生态养殖方向转变, 压缩淀内人工水产养殖面积, 恢复鱼类的自然生态养殖; 将淀区内鸭养殖进行搬迁, 逐年缩小鸭养殖面积, 最终达到彻底清理鸭养殖, 恢复养殖水体自净能力的效果。

根据近 3 年的连续监测及近 10 年来水质历史数据, 运用综合营养指数法对白洋淀各监测点及整体的富营养化程度进行了评价, 整体而言白洋淀处于轻度富营养化状态, 部分区域呈中度富营养化。富营养化程度在夏秋两季较高, 春季较低。随着白洋淀的综合整治, 水质有了一定改善, 富营养化程度整体呈下降趋势。

根据近 3 年的连续监测, 对白洋淀氮、磷的时空分布特征进行了分析和研究, 结果表明, 南刘庄氮、磷绝对浓度严重超标, 属于劣 V 类水体, 常年处于中度富营养化状态。据研究, 南刘庄 20 世纪 50 年代尚好, 处于未污染状态, 20 世纪 70 年代以来一直处于重度污染, 近几年虽得到改善, 但仍是中度富营养状态^[10]。南刘庄位于白洋淀东部, 接受府河污水, 历年来污染严重, 降低通过府河输入白洋淀的含氮、磷污染物总量

是缓解白洋淀水体富营养化的关键。

参考文献:

- [1] Tockner K, Stanford J A. Riverine flood plains: present state and future trends[J]. Environmental Conservation, 2002, 9(3): 308 - 330.
- [2] 曹建廷, 王苏民. 长江中下游地区湖泊资源可持续利用[J]. 人民长江, 2000, 31(7): 41 - 43.
- [3] 吴 锋, 战金艳, 邓祥征, 等. 中国湖泊富营养化影响因素研究——基于中国 22 个湖泊实证分析[J]. 生态环境学报, 2012, 21(1): 94 - 100.
- [4] 秦伯强, 高 光, 朱广伟, 等. 湖泊富营养化及其生态系统响应[J]. 科学通报, 2013(10): 855 - 864.
- [5] Carpenter S R. Eutrophication of aquatic ecosystems: bistability and soil phosphorus[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(29): 10002 - 10005.
- [6] 马 蕊, 林 英, 牛翠娟. 淡水水域富营养化及其治理[J]. 生物学通报, 2003, 38(11): 5 - 9.
- [7] 程丽巍, 许 海, 陈铭达, 等. 水体富营养化成因及其防治措施研究进展[J]. 环境保护科学, 2007, 33(1): 18 - 21, 38.
- [8] 成小英, 李世杰. 长江中下游典型湖泊富营养化演变过程及其特征分析[J]. 科学通报, 2006, 51(7): 848 - 855.
- [9] 颜炳池. 浅析白洋淀污染的成因及对策[J]. 黑龙江科技信息, 2014(10): 167.
- [10] 朱宣清, 弓 冉, 穆仲义, 等. 白洋淀环境演变及其预测[M]. 西安: 西安地图出版社, 1994: 1 - 27.
- [11] 杨丽伟, 陈诗越. 白洋淀水环境质量评价[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(3): 457 - 462.
- [12] 胡晓波, 陈新永, 田在锋, 等. 白洋淀水产养殖区水体富营养化评价及防治对策[J]. 环境科技, 2010, 23(增刊1): 1 - 3.
- [13] 王 瑜, 刘录三, 舒俭民, 等. 白洋淀浮游植物群落结构与水质评价[J]. 湖泊科学, 2011, 23(4): 575 - 580.
- [14] 门漱石, 崔秀丽, 赵 芳. 白洋淀富营养化成因分析[J]. 环境科学, 1995, 16(增刊1): 35 - 36.
- [15] 王 珺, 裴元生, 杨志峰. 营养盐对白洋淀草型富营养化的驱动与限制[J]. 中国环境科学, 2010, 30(增刊1): 7 - 13.
- [16] 陈新永, 胡晓波, 田在锋, 等. 白洋淀水产养殖污染分析及可持续发展建议[J]. 河北渔业, 2010(4): 37 - 39.
- [17] 国家环境保护总局. 水和废水水质监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 223 - 671.
- [18] 荆红卫, 华 蕾, 孙成华, 等. 北京城市湖泊富营养化评价与分析[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 357 - 363.
- [19] 陈瑞庭, 谢志勇. 磁湖富营养化评价[J]. 黄石高等专科学校学报, 2004, 20(4): 61 - 63.
- [20] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47 - 49.
- [21] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 286 - 302.
- [22] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [23] 王朝华, 崔慧敏. 白洋淀水质综合评价[J]. 河北水利科技, 1995, 16(2): 46 - 51.