

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2014.06.037

# 宁夏艾依河水体富营养化生物防治 技术研究与实践

冯 勇

(宁夏银川市水务局, 宁夏 银川 750001)

**摘要:**近年来宁夏艾依河出现了水质富营养化。为了评价艾依河富营养化程度并进行防治,建立水质监测断面,开展了艾依河水质监测、调查评价研究。引进水生植物群落的物种配置技术和空间配置技术,水生植物的布局和造景技术,围隔技术,生物浮岛技术,水生生物的管理技术,集成水体富营养化生物防治技术模式3种,结合景观营造,建设示范区3个。经过三年的示范应用,示范区水体浊度从34.5 NTU降低到9.4 NTU,透明度从30 cm提高到80 cm,总磷降低51.8%、总氮降低39.8%、氨态氮降低60.2%,取得了良好的水质净化与景观效果。

**关键词:**艾依河;富营养化;生物防治

**中图分类号:** X524

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1144(2014)06-0181-07

## Research and Practice on Biological Control Technology for Eutrophication of Ningxia Aiyi River

FENG Yong

(Yinchuan Water Authority of Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750001, China)

**Abstract:** In recent years, eutrophication phenomenon appeared in Ningxia Aiyi River. In order to evaluate the degree of eutrophication of Ningxia Aiyi River and take responding control measures, monitoring sections were established to monitor, investigate and evaluate the water quality. Species and space configuration of aquatic plant communities, layout and landscaping of aquatic plants, enclosure construction, biological floating islands and management of aquatic organisms were introduced, based on which three kinds of biological control measures for eutrophication were integrated. Three demonstration zones were established combining with the landscape construction. After three years, the water turbidity of demonstration area was reduced from 34.5NTU to 9.4NTU, the transparency was increased from 30 cm to 80 cm, total phosphorus was decreased by 51.8%, total nitrogen was decreased by 39.8%, and ammonia nitrogen was decreased by 60.2%. This proved that the control measures achieved good results in water purification and landscape beautification.

**Keywords:** Aiyi River; eutrophication; biological control

### 1 艾依河的基本概况

艾依河是银川市河湖水系连通的关键工程,是集防洪、排水、生态、景观为一体的自治区重点水利工程,河道总长158.5 km,景观河道长70.5 km,跨永宁县、兴庆区、金凤区、贺兰县等6县区,连通贺兰山东麓的6个拦洪库和2个滞洪区,接引10条沟道,控制排水面积11.7万 $\text{hm}^2$ ,沿途连华雁湖、大盐湖、阅海、沙湖等湖泊湿地,形成水面0.33万 $\text{hm}^2$ 。艾

依河的建设,极大的提升了银川市的水环境建设水平,带动了艾依河两岸经济产业带的发展,实现了雨洪水、农田排水、渠道退水、生态水等四水资源的高效利用<sup>[1]</sup>。对改善银川市防洪、排水条件,调控地下水位、美化人居环境,提升城市品位,实现人水和谐、都具有重要的现实意义。

艾依河的主要水源是雨洪水、沟水和渠道弃水,其中农田排水占68.9%。由于农田排水富含氮、磷等营养物质,且河湖换水速度慢,营养物质沉积,随

着艾依河的运行,出现了河湖水体富营养化趋势<sup>[2-6]</sup>。艾依河水体水质一旦出现重度富营养化,必将极大的影响银川市的水环境质量,恶化人居环境,严重影响艾依河经济带的发展,造成社会矛盾<sup>[7-9]</sup>。

## 2 艾依河水质调查监测与评价

根据艾依河河湖形态及进出水特点,在以沟水

作为主要补水入口的四二千沟、二排和以渠道水作为补水入口的宁城闸 3 个补水水源定点设置采样断面,在正源街桥、正源街桥北、良田渡槽、北京路拱桥、西湖南、西湖北、连通湖南、连通湖中、连通湖北 9 个地点设置湖泊水体采样断面。各监测点位置见采样点水系图 1。按季度进行采样调查,在生态补水、洪水期增加水质调查采样监测。不同时段所采样点五项指标监测成果见表 1。



图 1 艾依河水系水质监测断面布置示意图

表 1 不同时段采样点水质监测成果

采样点	采样时间	Chl. a/( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TN/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TP/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	COD <sub>M</sub> /( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	SD/m
正源街桥	2012 年 09 月	6.416	1.106	0.034	5.800	0.580
	2012 年 11 月	14.112	2.463	0.068	5.100	0.700
	2013 年 03 月	16.050	1.489	0.079	7.600	0.680
	2013 年 05 月	9.360	2.370	0.047	5.450	0.650
	2013 年 07 月	5.040	2.860	0.069	5.710	0.400
	2013 年 10 月	9.330	2.600	0.096	5.200	0.640
	均 值	10.050	2.150	0.070	5.810	0.610
正源街桥北	2012 年 09 月	7.211	0.407	0.024	5.100	0.650
	2012 年 11 月	14.338	2.280	0.038	4.900	0.700
	2013 年 03 月	11.560	1.198	0.042	6.000	0.750
	2013 年 05 月	9.580	2.290	0.043	6.570	0.620
	2013 年 07 月	5.659	2.830	0.089	6.200	0.400
	2013 年 10 月	10.260	2.763	0.072	6.600	0.520
	均 值	9.770	1.960	0.050	5.900	0.610
良田渡槽	2012 年 09 月	15.421	0.798	0.090	5.700	0.620
	2012 年 11 月	6.397	2.205	0.033	3.200	0.680
	2013 年 03 月	12.420	1.639	0.036	6.000	0.720
	2013 年 05 月	10.260	1.760	0.035	4.750	0.670
	2013 年 7 月	11.867	2.347	0.091	8.900	0.400
	2013 年 10 月	9.880	1.740	0.020	6.000	0.530
	均 值	11.040	1.750	0.050	5.760	0.600
北京路拱桥	2012 年 09 月	10.033	4.753	0.075	4.000	0.660
	2012 年 11 月	7.104	6.652	0.048	3.500	1.100
	2013 年 03 月	5.950	2.763	0.106	6.200	0.750
	2013 年 05 月	8.540	8.470	0.067	6.670	0.500
	2013 年 07 月	13.419	5.586	0.089	6.500	0.500
	2013 年 10 月	6.700	4.680	0.055	6.500	0.540
	均 值	8.620	5.480	0.070	5.560	0.680
西湖南	2012 年 09 月	16.653	2.988	0.054	5.600	0.830
	2012 年 11 月	8.841	4.320	0.018	4.300	1.200
	2013 年 03 月	3.300	1.431	0.005	3.200	0.930
	2013 年 05 月	8.620	2.030	0.058	5.870	0.590
	2013 年 07 月	17.460	3.105	0.091	7.060	0.250
	2013 年 10 月	4.300	2.120	0.049	5.970	0.610
	均 值	9.860	2.670	0.050	5.330	0.740
西湖北	2012 年 09 月	8.593	3.096	0.059	5.800	0.910
	2012 年 11 月	10.741	4.800	0.053	3.600	1.300
	2013 年 03 月	3.170	1.414	0.005	3.100	1.100
	2013 年 05 月	9.570	2.010	0.055	5.990	0.570
	2013 年 07 月	9.751	2.871	0.077	6.340	0.300
	2013 年 10 月	4.600	2.140	0.047	5.000	0.660
	均 值	7.740	2.720	0.050	4.970	0.810

续表 1

采样点	采样时间	Chl. a/( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TN/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	TP/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	COD <sub>Mn</sub> /( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	SD/m
连通湖南	2012年09月	31.778	1.006	0.063	6.500	0.620
	2012年11月	7.303	3.338	0.168	3.800	0.720
	2013年03月	2.400	1.756	0.015	4.000	0.720
	2013年05月	10.450	1.970	0.042	6.240	0.580
	2013年07月	8.660	3.088	0.106	6.000	0.200
	2013年10月	4.900	2.160	0.033	6.540	0.480
	均值	10.920	2.220	0.070	5.510	0.550
连通湖中	2012年09月	27.340	1.753	0.078	7.000	0.640
	2012年11月	11.470	2.538	0.038	4.900	0.650
	2013年03月	2.130	2.821	0.026	4.100	0.740
	2013年05月	11.020	1.890	0.040	6.850	0.600
	2013年07月	12.531	2.613	0.074	8.550	0.250
	2013年10月	5.220	2.130	0.040	6.980	0.420
	均值	11.620	2.290	0.050	6.400	0.550
连通湖北	2012年09月	28.713	1.414	0.115	7.700	0.600
	2012年11月	18.895	2.455	0.053	6.500	0.630
	2013年03月	2.760	1.897	0.005	4.400	0.700
	2013年05月	16.570	1.850	0.040	7.470	0.580
	2013年07月	17.399	2.747	0.117	9.890	0.250
	2013年10月	9.560	3.300	0.048	8.520	0.510
	均值	15.650	2.280	0.060	7.410	0.550
四二千沟	2012年09月	8.932	6.342	0.044	3.200	0.500
	2012年11月	2.690	14.678	0.058	2.900	0.500
	2013年03月	2.530	6.259	0.336	6.000	0.450
	2013年05月	8.780	9.020	0.072	5.270	0.470
	2013年07月	6.359	8.159	0.114	7.100	0.500
	2013年10月	6.890	7.330	0.063	7.000	0.420
	均值	6.030	8.630	0.110	5.250	0.470
二排	2012年09月	5.598	1.464	0.130	4.300	0.500
	2012年11月	7.245	2.605	0.103	9.600	0.700
	2013年03月	32.960	2.114	0.186	8.200	0.330
	2013年05月	6.210	3.550	0.160	3.890	0.520
	2013年07月	4.354	3.413	0.094	5.400	0.500
	2013年10月	9.760	3.140	0.110	7.500	0.450
	均值	11.020	2.710	0.130	6.480	0.500

艾依河补水沟道水源:叶绿素 a 含量为  $2.53 \text{ mg/m}^3 \sim 32.96 \text{ mg/m}^3$ ;各样点总氮(TN)平均达到  $2.65 \text{ mg/L}$  以上,超过国家地表水 V 类水总氮标准;各样点总磷 TP 含量为  $0.044 \text{ mg/L} \sim 0.336 \text{ mg/L}$ ,春夏高于秋冬,其中 TP 大于  $0.2 \text{ mg/L}$  占 6%,TP 小于  $0.2 \text{ mg/L}$  占 94%;高锰酸盐指数 COD<sub>Mn</sub> 为  $2.9 \text{ mg/L} \sim 9.6 \text{ mg/L}$ ,春夏高于秋冬季,沟道水源 COD<sub>Mn</sub> 全部小于  $10 \text{ mg/L}$ ,达到地表水环境质量标准 IV 类;沟道水源透明度 SD 为  $0.33 \text{ m} \sim 0.70 \text{ m}$ ,冬季高于春夏

秋季,季节变化差异较大。

河湖水体:叶绿素 a 含量为  $2.13 \text{ mg/m}^3 \sim 31.778 \text{ mg/m}^3$ ;COD<sub>Mn</sub> 为  $3.1 \text{ mg/L} \sim 9.89 \text{ mg/L}$ ,夏秋季高于春夏季,COD<sub>Mn</sub> 全部小于  $10 \text{ mg/L}$ ,达到地表水环境质量标准 IV 类;SD 为  $0.25 \text{ m} \sim 1.30 \text{ m}$ ,冬季高于春夏秋季;河湖水体 TP 含量为  $0.005 \text{ mg/L} \sim 0.168 \text{ mg/L}$ ,夏秋季高于冬春季;河湖水体总氮(TN)大于  $2 \text{ mg/L}$  占 63.9%,TN 小于  $2 \text{ mg/L}$  占 36.1%,其中第一季度和第二季度各样点平均值接近  $2 \text{ mg/L}$ 。

不同时期水质监测表明,沟道水源和河湖的总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)达到地表水质量标准Ⅳ类。沟道水源总氮(TN)均大于 2 mg/L,河湖总氮(TN)大于 2 mg/L 占 63.9%、TN 小于 2 mg/L 占 36.1%。总体上河湖水体为 V 类到略低于 V 类间;沟道来水为劣 V 类。

依据国家环境监测总站《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》,选择湖泊富营养化状况评价指标为叶绿素 a(chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)等 5 项指标做为评价因子<sup>[4,10]</sup>。

营养状态指数为:

$$TLI(chla) = 10(2.5 + 1.086\lnchl)$$

$$TLI(TP) = 10(9.436 + 1.624\lnTP)$$

$$TLI(TN) = 10(5.453 + 1.694\lnTN)$$

$$TLI(SD) = 10(5.118 - 1.940\lnSD)$$

$$TLI(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661\lnCOD_{Mn})$$

采用相关加权综合营养状态指数法进行评价<sup>[6]</sup>:

$$TLI(\Sigma) = \sum W_j TLI(j)$$

$$W_j = r_{ij}^2 / \sum r_{ij}^2 TLI(\Sigma)$$

TLI(j):第 j 种参数的营养状态指数;

W<sub>j</sub>:第 j 种参数的营养状态指数的相关权重。

根据中国湖泊(水库)的 chla 与其他参数见的相关关系 r<sub>ij</sub>及 r<sub>ij</sub><sup>2</sup>见表 2。

表 2 中国湖泊(水库)部分参数与 chla 的相关关系 r<sub>ij</sub>及 r<sub>ij</sub><sup>2</sup>值

参数	chla	TP	TN	SD	COD <sub>Mn</sub>
r <sub>ij</sub>	1.00	0.84	0.82	-0.83	0.83
r <sub>ij</sub> <sup>2</sup>	1.0000	0.7056	0.6724	0.6889	0.6889

计算叶绿素(chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)5 项指标的权重分别为 27%、19%、18%、18%、18%。

所采样点的 TLI(Σ)的总平均值为 53.76 ± 2.95,属于轻度富营养化(50 < TLI(Σ) < 60)为轻度富营养化,表明艾依河补水、河湖水体已趋向轻度富营养化,根据单项指标比较,主要污染指标为总氮(TN)。

## 3 富营养化生物防治技术集成试验

### 3.1 水生植物群落的物种配置技术

根据区域水生植物的特点,选择挺水植物群落

为芦苇、水葱、香蒲、荷花和水生鸢尾组成的以芦苇为先锋种和建群种的植物群落<sup>[11]</sup>。挺水植物在开始引种阶段采用直种或盆(缸、筐)栽技术,在植物生长较为茂盛时再引入浅水中进行栽培<sup>[12]</sup>。

浮水植物群落为凤眼莲和睡莲组成的以凤眼莲为先锋种和建群种的植物群落。浮水植物在开始引种阶段采用直种或盆(缸、筐)栽技术,对于凤眼莲,用金属网控制其生长范围,防止过渡“疯长”。

沉水植物为狐尾藻、伊乐藻、菹草和金鱼藻组成的以伊乐藻为先锋种和建群种的植物群落。沉水植物,在最适应的生长阶段进行引种栽培,以提高其存活率。

在水生生态系统构建初期,首先引入每个群落中的先锋种或者建群种,然后再慢慢引入别的水生植物,以保证水生植物能够成活。其中主要的三种水生植物栽培方式为:

芦苇:种植后,重点是调控河道水位和驱赶啃食苇芽的鱼类。若水位高,水钻入苇芯,会导致苇芽淹死。

睡莲:在河道浅水区直种,水深在 0.6 m 左右使用盆(缸、筐)栽技术,在植物生长较为茂盛时从盆(缸、筐)中移出原位直种到河中。

狐尾藻:采用扦插法种植,4 月底是最适应引种栽时段,可提高其存活率。

### 3.2 水生植物群落的空间配置技术

水生植物空间配置一般沿浅岸到湖心方向依次是挺水植物群落、浮水植物群落和沉水植物群落。具体配置时,一是要考虑湖水的深浅情况,二是要考虑浮水、沉水植物群落造景时,避免挺水植物遮挡景观,错落有致。考虑水生植物在时间上的节律配比,保证所建水生植物群落具有较强的生态环境功能和周年连续性,同时形成生长期和净化功能的季节交替互补。在艾依河水生生态系统中,比较耐寒的有香蒲、睡莲、伊乐藻和菹草,喜温的有芦苇、水葱、荷花、凤眼莲和金鱼藻。

### 3.3 水生植物的布局 and 造景技术

在配置水生植物的构图上,结合水生植物自身的生长特性和观赏期,以及观赏部位(如观叶、观花等),考虑色彩的调和,四季呈现色彩变化,充满韵律感。芦苇茎秆直立,株高 1 m ~ 3 m,种在岸边的浅水地带。水葱秆高 1 m ~ 2 m,少量地分布在岸边和浅水区。菹蒲秆高 1 m ~ 2 m,分布在岸边和浅水区。茭白秆高 1 m ~ 3 m,分布在岸边和浅水区。香蒲高 1.5 m ~ 2.5 m,种植在岸边清水地带。荷花采

取成片栽培,且不宜和其它水生植物混栽。水生鸢尾种植在湖滨带,面积不宜过大。睡莲高 1 m~2 m,种植面积不宜过大。荇菜水深在 0.6 m~0.8 m 左右种植,种植时间 5 月—6 月。狐尾藻、菹草种植在深水区,分开种植,在 4 月底最适应的生长阶段进行引种栽培。

### 3.4 围隔技术

围隔具有生态保护膜、过滤、导流、生物工程框架和限定湖水滞留时间等作用,同时围隔内部湖水的动力扰动小,水体浊度低,有利于水生植物的恢复<sup>[13]</sup>。

### 3.5 生物浮岛技术

人工浮岛是一种可为多种植物提供生境的飘浮结构,由人工浮岛平台、植物和固定系统组成,能随水位上下左右移动,形成一个水面浮岛<sup>[14]</sup>,对水体 N、P 营养盐起到很好的净化作用。陆生植物浮岛上种植后,能形成较大生物量,特别是发达的根系释放出的分泌物能加速污染物分解;可创造一定的经济效益和美化水体的水面景观;造价低、浮岛制作材料来源广、结构组装方便、刚柔兼备,具有较强抗风浪能力,浮岛可移动拼装。

### 3.6 水生生物的管理

防止水生植物发生病虫害。出现虫害,要及时喷洒农药控制其虫害;水生植物要定期收割,防止其死亡后沉积水底,造成二次污染。收割的面积不宜过大,不能造成水草毁灭性破坏,以维持水生生态系统平衡;各种鱼类要定期捕捞,一般每年捕捞一次,

控制好鱼的数量。

## 4 水生植物、动物配置

### 4.1 水生动物选择原则

选择的水生动物要适宜北方大型浅水人工湖泊的自然条件,可在当地成活,具有较强的水体净化能力;具有较宽的生态位和适宜的生活习性,能够与水生植物构成适合的食物链,具有一定的景观效果,水生动物可以与水生植物构成协调的水景;易放养,生长力强,但是不能大量繁殖,甚至失控<sup>[15]</sup>。

结合银川当地条件,在艾依河水体中投放一定量的鱼、虾、蟹、蚌,构建和谐的水生态系统。鱼类按对水体的影响贡献大小依次放养鲤鱼、草鱼、鲫鱼、鲢鱼、鳙鱼。

### 4.2 投放鱼类注意事项

投放的鱼种不宜过小,过小的鱼种生存能力弱。投放的鱼种也不宜过大,大鱼种的活动范围很大,会对刚刚建立的水生生态系统造成破坏,尤其是对水生植物的正常生长造成影响。投放鱼种的时间最好是在水生植物生长两个月后,这时水生生态系统的平衡已经建立起来。投放鱼种应该分批分量进行,不宜一次投完,时间间隔最好是半个月。

### 4.3 水生植物与动物的配置数量关系

根据艾依河水生动物,水生植物固氮、固磷、净化水体的特点,筛选出的水生植物、动物,按照表 3 的数量关系进行配置,可保证水体富营养化控制在 IV 类水质标准。

表 3 水生动物、植物配置数量关系

水生植物	芦苇	水葱	香蒲	荷花	水生鸢尾	凤眼莲	睡莲	伊乐藻	菹草	金鱼藻	合计
种植密度/(m <sup>2</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	166.5	30	30	49.5	39	300	100.5	88.5	88.5	88.5	981
水生动物	草鱼	鲢鱼	鲫鱼	鲤鱼							合计
投放密度/(尾·hm <sup>-2</sup> )	1005	660	660	1005							3330

## 5 富营养化防治技术示范区建设

(1) 艾依河大盐湖试验示范区:在艾依河大盐湖水域,建立示范区 1.2 hm<sup>2</sup>。依据环境状况与景观配置需要,采用水生植物群落的物种配置技术+水生植物群落的空间配置技术+水生植物的布局和造景技术+围隔技术<sup>[16-17]</sup>,对示范区进行了治理。修复湖滨沿岸带,在湖滨带的岸坡、浅水区、深水区种植、增植各种水生植物;利用水位控制建筑物调节水域水位,采用多项水生生态系统的维护技术加强管理,使水生植被覆盖率达到湖面面积的 60%,恢

复生物多样性,利用多种水生生物促进湖泊生态系统的自我调控和相对稳定性,取得了良好的试验示范效果。

(2) 艾依河森林公园试验示范区:在森林公园水域建立示范区 2 000 m<sup>2</sup>。采用水生植物群落的物种配置技术+水生植物群落的空间配置技术+水生植物的布局和造景技术+生物浮岛技术+基底改造技术+水体水生生态系统的维护技术模式,对示范区进行了治理。在岸坡、浅水区利用筐栽、缸栽各种水生植物,建设 100 m<sup>2</sup> 生物浮岛 2 个;建设示范区增氧设施,增加底部水体的溶解氧,减小底泥污染负

荷,创造水生动物的优良生存环境。采用以生态浮岛为主的原位强化净化措施,改善了试验区局部水域水质,为生态重建创造了合适的水质条件。由于该区域禁鱼,鱼的数量、密度较大,使得栽植的浅水区植物部分被鱼啃食。

(3) 艾依河北京路试验示范区:在艾依河北京路陶然水岸西侧的河弯段建立了面积为3 000 m<sup>2</sup>围拦试验示范区。采用水生植物群落的物种配置技术+水生植物群落的空间配置技术+水生植物的布局和造景技术+生物浮岛技术+基底改造技术+围隔技术+水体水生生态系统的维护技术治理模式,在试验示范区围拦内种植芦苇、狭叶香蒲、菖蒲,放置1处75 m<sup>2</sup>生物浮岛,按比例搭配放养鲢鱼、鳊鱼,在外缘配置荇菜、睡莲、狐尾藻、菹草等,建立和恢复了挺水植物、浮叶植物和沉水植物群丛;建造了人工浮岛工程。人工浮岛中的植物主要有美人蕉、千屈菜。示范区水生植物种类从生态重建前的3科3种上升至14科21种,水草覆盖度达到30%~40%。浮岛工程建成后,其植物生长较好,并形成景观效果。

通过3 a试验示范与应用,在艾依河景观湖泊水体种植湿生植物千屈菜1种,挺水植物芦苇、菖蒲、茭白、荷花、香蒲、鸢尾等6种,漂浮植物槐叶萍1种,浮叶植物荇菜、睡莲等2种,沉水植物狐尾藻1种,各类植物种植3万株,种植面积17 000 m<sup>2</sup>。

## 6 防治效果

经过项目的实施,北京路示范区的围拦内水体的TN、TP、COD<sub>Mn</sub>均值分别由试验前的2.48 mg/L、0.094 mg/L、6.08 mg/L降低到1.91 mg/L、0.072 mg/L、4.68 mg/L,分别比试验示范围拦外湖泊水体(对照区)下降30.0%、22.6%、11.5%。北京路试验区内较实验区外总磷降低51.8%、总氮降低39.8%、氨态氮降低60.2%。水体透明度(SD)平均值也有较大幅度提高,平均从0.36 m提高至0.61 m;水体的TN、TP分别下降至2.0 mg/L、0.08 mg/L以下。从水体营养盐与透明度方面看,有利于水体向沉水植物占优势的稳定清水状态转换。

森林公园试验区浮岛围隔区内营养盐的浓度被有效消减,浊度从34.5 NTU降低到9.4 NTU。工程区内透明度达到80 cm,而试验围隔外为30 cm~40 cm,人工浮岛工程在短时间内较显著改善了试验区内的水环境。

大盐湖示范区进水口处总氮和总磷分别为2.158 mg/L、0.121 mg/L,出水口处良田渡槽前水域总氮和总磷分别为0.857 mg/L、0.032 mg/L,出水口处总氮、总磷浓度均远低于进水口处。

示范区运行效果表明,艾依河水体富营养化生物防治,集成的三种技术模式具有显著的富营养化防治效果,能够有效降低水体中的总磷、总氮、氨氮,技术具有一定的推广价值。

## 参考文献:

- [1] 马海峰,孙淑华,周志轩.基于水量水质双控制的艾依河补水机制研究[J].中国农村水利水电,2014,(3):16-19.
- [2] 王学明,王正良,薛 岷.爱依河水环境保护及防治措施的探讨[J].宁夏农林科技,2009,(4):48-50.
- [3] 黄国峰,雍 杰.农业种植对爱依河水体富营养化影响的探讨[J].宁夏农林科技,2011,(1):61.
- [4] 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.
- [5] 王 俊,姜建祥,吕耀坤,等.吉林省湖库富营养化评价[J].东北师大学报:自然科学版,1994,(2):90-92.
- [6] 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.
- [7] 闫兴富,周立彪,王 兵,等.宁夏爱依河灌区水资源利用与保护研究[J].人民黄河,2010,32(11):78-80.
- [8] 陈 斌,刘文纬,陈宗永.南湖富营养化主要控制因子分析[J].环境科学研究,1999,12(5):31-35.
- [9] 陈水勇,吕一锋.水体富营养化的形成、危害和防治[J].环境科学与技术,1999,(2):11-15.
- [10] 王学明.艾依河水利联合调度技术研究[J].中国水利,2011,(14):66-67.
- [11] 陈洪达.武汉东湖水生维管束植物群落的结构与动态[J].海洋与湖沼,1980,11(3):275-284.
- [12] 夏邦天,郑广宏,徐杭军,等.城市景观水体治理技术研究进展[J].环境科学与技术,2008,31(6):67-72.
- [13] 刘建康,谢 平.用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J].生态科学,2004,22(3):193-198.
- [14] 刘士哲,林东教,唐淑军,等.利用漂浮植物修复系统栽培风车草、彩叶草和茉莉净化富营养化污水的研究[J].应用生态学报,2004,15(7):1261-1265.
- [15] 陈洪达.养鱼对武汉东湖生态系统的影响[J].水生生物学报,1989,13(4):359-368.
- [16] 李文朝.浅型富营养湖泊的生态恢复——五里湖水生植被重建试验[J].湖泊科学,1998,8(增刊):1-10.
- [17] 秦伯强.长江中下游湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J].湖泊科学,2002,14(3):193-202.