

## 北京市南水北调调蓄库池工程 水质保障生物操控

项目位置：大宁调蓄水库、团城湖调节池和亦庄调节池

项目规模：1129万立方米（总水量）

实施时间：2016-2018年

### 14.1 项目基本情况

#### 14.1.1 项目情况

本项目实施地点为北京市南水北调来水在京进行调蓄的“两池一库”——大宁调蓄水库、团城湖调节池和亦庄调节池。目前，三座调蓄库池正在发挥着调蓄输导、优化配置南水北调水源的重要作用。大宁调蓄水库为自然沙质库底和边坡、库容1000万 $\text{m}^3$ ，水面面积为630万 $\text{m}^2$ 、团城湖调节池和亦庄调节池全部为人工混凝土构筑，池容分别为127万 $\text{m}^3$ 和52万 $\text{m}^3$ ，水面面积分别为33万 $\text{m}^2$ 和12.4万 $\text{m}^2$ 北京市南水北调工程分布如图1所示。

#### 14.1.2 气象与水文地质条件

##### 1.2.1 大宁调蓄水库

大宁调蓄水库位于房山区，地处华北平原与太行山交界地带，介于北纬 $39^{\circ}30' \sim 39^{\circ}55'$ ，东经

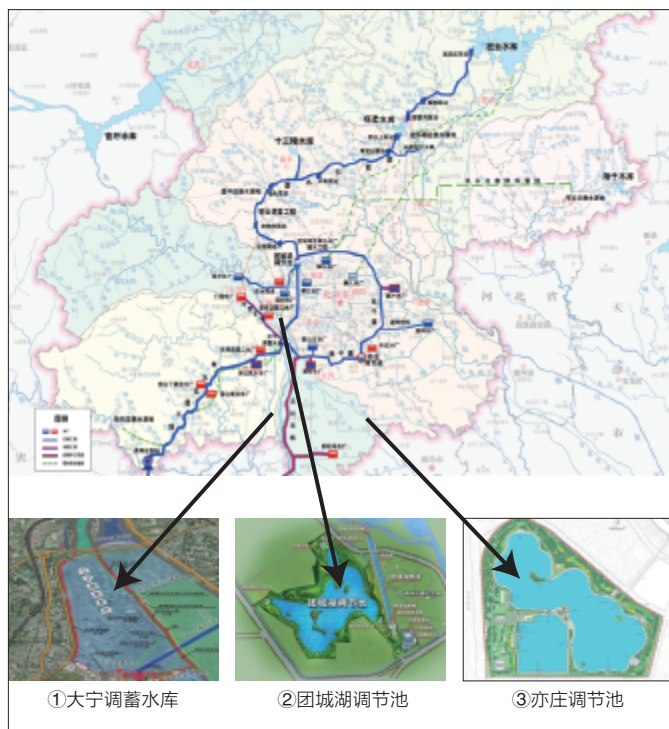


图1 北京市南水北调工程分布图

115°25′~116°15′，北邻门头沟，南与河北省涿州市接壤，东部和东北部同大兴县、丰台区毗连，西邻河北省涞水县。全区总面积2019km<sup>2</sup>，东西长约71km，南北宽约45km，其中西北部为山区，东南部为平原，山区占全区总面积的65.3%，平原占34.7%，境内交通发达，有京广铁路、京原铁路、京石高速、六环路等放射性交通干线经过，是首都的西南门户。

水库所在地区房山区气候属北温带大陆性季风气候，夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥，春季干旱多风，秋季秋高气爽而短促。主要参数指标年平均气温11.6℃，最低日平均温度-15.9℃。全年主导风向N，冬季主导风向NNW，冬季室外平均风速2.8m/s，冬季主导风向平均风速4.8m/s。冬季日照率67%，最大冻土深度85cm，年平均降雨量630mm。

水库所在房山区的河流分属海河流域的大清河、永定河水系，境内水系可分为大石河水系、拒马河水系和小清河水系。房山区境内有河流13条，河流流域面积2019km<sup>2</sup>。其中大石河流域面积最大，流经霞云岭、佛子庄、河北镇、青龙湖、阎村、窦店、石楼、琉璃河等9个乡镇、100多个村庄，流程108km，流域面积1243.4km<sup>2</sup>。主要河流中，仅大石河发源于境内，永定河、拒马河、小清河均发源于境外，为过境河流。永定河、小清河的流向由北至南，大石河、拒马河的流向由西北流向至东南。由于永定河多年干枯，小清河上游也被截断，仅有小哑叭河在雨季有少量径流，大宁水库滞洪利用频率极低。北京市将大宁水库作为南水北调调蓄水库，赋予它新的使命，同时保留它原有的滞洪功能。

### 1.2.2 团城湖调节池

团城湖调节池位于海淀区，隶属于北京市，位于北京城区西部和西北部，东与西城区、朝阳区相邻，南与丰台区毗连，西与石景山区、门头沟区交界，北与昌平区接壤。面积430.8km<sup>2</sup>，边界线长约146.2km，南北长约30km，东西最宽处29km，约占北京市总面积的2.6%。区境介于北纬39°53′~40°09′，东经116°03′~116°23′之间。海淀区地处华北平原的北部边缘地带，系古代永定河冲积的一部分。兼有山地平原，地势西高东低，西部为海拔100m以上的山地，面积约为66km<sup>2</sup>，占总面积的15%左右；东部和南部为海拔50m左右的平原，面积约

360km<sup>2</sup>，占总面积的85%左右。西部山区统称西山，属太行山余脉，有大小山峰67座，其中海拔600米以上的18座，整个山势呈南北走向，仅黄道岭处向东稍有延伸至百望山，呈东西走向，将海淀区分为两部分，习惯上以此山为界，山之南称为山前，山之北称为山后。温泉、冷泉、韩家川以南及香山、青龙山一带，山势低缓，属低山丘陵，一般海拔200~600m。平原残丘有玉泉山、万寿山、田村山等，海淀区平原属华北平原北部边缘，分两部分：百望山以南称山前平原区，百望山以北称山后平原区。山前、山后从气候、降雨、到水资源赋存情况都有明显差异，山区周边与平原之间，有宽1~2km过渡地带；过渡地带东部是海淀区主要平原区，山前平原区由永定河洪冲积扇和清河洪冲积扇组成。山后平原区，主要由南沙河数个冲洪积扇和南口冲洪积扇共同构成。

团城湖调节池地处暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候区，四季分明，春季风大干旱多，夏季炎热雨集中，秋季风小光照足，冬季寒冷雨雪少。春、秋季节短，冬、夏季节长。海淀区1月份最冷，月平均气温为4.1℃，常年极端最低气温在-11℃~-19℃之间，气温有明显日变化，最高气温一般出现于下午15时至16时，最低气温出现于日出前后，最低气温出现时间因季节而稍有差异。降水量受季风气候影响，年季变化很大，多集中在夏季，年平均降水日数为66.8天，降雪日数为9天~10天，积雪日数为11天左右。夏季多吹偏南风，春秋冬季盛行偏北风，有明显日变化，白天北风转南风，晚间南风转北风，每年3月~5月是大风集中季节，最大风速是33m/s，大风多出现于12月和第二年1月、3月、4月。海淀区年平均日照时数为2444.9小时，日照百分率为60%，日照时数5月份最多，1月份最少。春季蒸发量最大，冬季最小，蒸发量白天大于夜间，平原大于山区，年平均蒸发量为1900.4mm。

团城湖调节池位于的海淀区水域面积在北京近郊区居第一位，历史上湖、泉众多，河流交错，是金中都、元大都重要地表水源地。至明清，玉泉水系成为北京城唯一的地表水源地，南长河则是向京城输水的重要通道。中华人民共和国建立后，开挖永定河引水渠和京密引水渠，把官厅、密云两大水库之水引入玉渊潭、昆明湖，海淀区历史上名泉众多，随着时代发展，很多于20世纪70年代断流干涸，如玉泉、万泉、双清泉、黑龙潭泉、温泉等。京密引水渠和永定河引水渠通水后，每年向海淀区供水0.6~0.8亿

m<sup>3</sup>，最多年供水达1亿m<sup>3</sup>。北沙河与莲花河多年平均总入境水量为0.26亿m<sup>3</sup>。地下水占海淀区多年平均用水量的80%。2016年，海淀区河流长度204.7km；水资源总量1.6亿m<sup>3</sup>。全年总用水量3.3亿m<sup>3</sup>，比2015年减少5.2%，其中生活用水2.8亿m<sup>3</sup>，比2015年增长5.4%。

1.2.3 亦庄调节池

亦庄调节池位于北京亦庄经济开发区，处于北京东南部，距离天安门16.5km，总面积46.8km<sup>2</sup>，为永定河冲洪积扇中下部，属永定河冲洪积一级阶地低位平原地貌类型，地势西北高，东南低，地面高程为30~32m，地面坡度0.8%左右，由西北向东南缓慢倾斜，地面平坦。由于受人为活动的强烈影响，地表形状发生了很大的变化，原始的地表自然形态已不复存在。该区表层土岩性为砂土、粘土、砂粘等，厚度为10m左右，地表渗透性不大，渗入率10%左右，深层地下水较浅层地下水防护条件好。地质状况优良，基层系古代寒武系石灰岩，基地地质构造稳定，基岩面起伏平稳，无断裂带。

亦庄调节池位于北京市亦庄经济开发区，所处区域属欧亚大陆东部中纬度地带，大陆性季风气候明显。多年平

均降雨量为544mm（1956~2000年）。多年平均水面蒸发量为1100mm左右，降水绝大部分集中在汛期6~9月，占全年的80%左右，流域内气温日变化及年内变化较大，多年平均气温12℃，冬季的1月平均气温零下4.5℃，夏季7月平均气温为25.8℃，多年平均日照总数为2730小时左右。全年无霜期为215天。多年平均风速2.2m/s，盛行西北风和东南风。

北京亦庄经济开发区河流分属永定河，北运河两大水系，这些河流在本区境内又分为七个流域。目前除凉水河、新风河、凤河有过境污水外，其他河流都基本干枯无水。各河流的总长度为153.8km，控制流域面积1039.97km<sup>2</sup>，其中永定河为国家一级河流，凉水河为北京市管河流。

14.2 技术基本原理

水生生物操纵亦指以改善水质为目的的控制有机体自然种群的水生生物群落管理。生物操纵类似于下行效应、营养级串联效应或食物网操纵，这些词涉及初级、次级或更高级水体消费者的操纵及其对群落结构的影响。生物操纵一般区分为两类：经典生物操纵与非经典生物操纵。

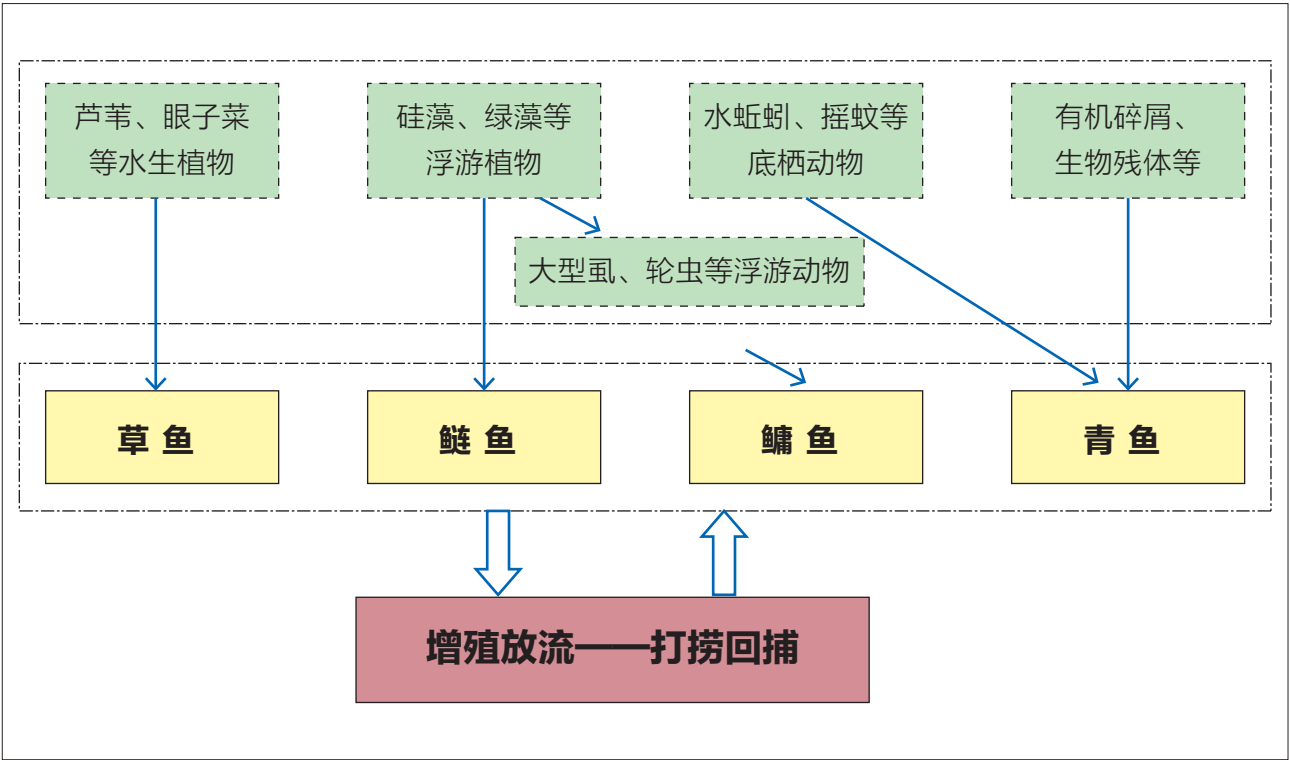


图2 水生生物操控技术原理

14.3 实际需求分析

截止2018年底，南水北调中线工程通水进京接近5年，累计将丹江口水库的水源输送至北京超过40亿m³，主要水质指标一直稳定保持在地表水Ⅱ类。但是，水体中的藻类个别时间段爆发生长后沉积、高锰酸盐指数长时间偏高、调蓄库池生物多样性下降等情况时有发生。因此，探寻实施水生生物操控技术，实现南水北调水体的生态平衡、提高水体的生物多样性，通过水生生态系统自身的良性循环，吸收消纳水体中的有害物质，保持水体优良的水质指标，在水环境质量角度，保障南水北调中线工程的持续运行。

14.4 技术示范实施

对三座调蓄库池的鱼产力进行估算，湖泊水库鱼产力的估算主要有3种方式：一是根据生物或非生物因素和鱼产量相关方程式推算；二是根据能量流中的转化原理，估算饵料基础可能提供多少鱼产量；三是根据环境因素的综合作出水体的渔业分类。目前，国内多运用第二种方法即利

用浮游生物生物量估算湖泊水库鲢鳙鱼的鱼产力。

2017年大宁调蓄水库浮游植物平均生物量为0.33mg/L，浮游动物年平均生物量为0.498mg/L，可估算出以浮游植物为食的鲢鱼鱼产力为1.394t，以浮游动物为食的鳙鱼鱼产力为7.011t，有机碎屑提供的鱼产力为4.203t，总体2017年的鱼产力为12.608t，即25216斤。

2017年亦庄调节池的浮游植物平均生物量为0.42mg/L，浮游动物年平均生物量为0.104mg/L，可估算出以浮游植物为食的鲢鱼鱼产力为0.053t，以浮游动物为食的鳙鱼鱼产力为0.044t，有机碎屑提供的鱼产力为0.0485t，总体2017年亦庄调节池的鱼产力为0.1455t，即291斤。

2017年团城湖调节池的浮游植物平均生物量为1.145mg/L，浮游动物年平均生物量为2.094mg/L，可估算出以浮游植物为食的鲢鱼鱼产力为0.349t，以浮游动物为食的鳙鱼鱼产力为2.128t，有机碎屑提供的鱼产力为1.239t，总体2017年团城湖调节池的鱼产力为3.716t，即7432斤。汇总见表1。

表1 基于浮游生物量的鲢鳙鱼鱼产力估算统计表

| 地点     | 浮游植物生物量 (mg/L) | 鲢鱼鱼产力 (t) | 浮游动物生物量 (mg/L) | 鳙鱼鱼产力(t) | 合计 (t) |
|--------|----------------|-----------|----------------|----------|--------|
| 大宁调蓄水库 | 0.33           | 1.394     | 0.498          | 7.011    | 8.405  |
| 亦庄调节池  | 0.42           | 0.053     | 0.104          | 0.044    | 0.097  |
| 团城湖调节池 | 1.145          | 0.349     | 2.094          | 2.128    | 2.477  |
| 丹江口水库  | 3.39           | 9112      | 1.86           | 16665    | 25777  |

对大宁调蓄水库、亦庄调节池和团城湖调节池近年来的捕捞及放流鱼类情况进行统计，如表2所示。

表2 两池一库投放及捕捞鱼类统计表

| 两池一库 | 年度   | 次数    | 白鲢    | 花鲢   | 青鱼   | 草鱼   | 鲤鱼 | 鲫鱼 | 其他鱼 | 合计 (斤) |
|------|------|-------|-------|------|------|------|----|----|-----|--------|
| 大宁水库 | 2014 | 第一次放鱼 | 7700  | 2300 | 1000 | -    | -  | -  | -   | 11000  |
|      |      | 第二次放鱼 | 7700  | 2300 | -    | 1000 | -  | -  | -   | 11000  |
|      | 2016 | 第一次放鱼 | 7200  | 2800 | -    | 1000 | -  | -  | -   | 11000  |
|      |      | 第二次放鱼 | 7200  | 2800 | 1000 | 1000 | -  | -  | -   | 12000  |
|      | 2017 | 第一次放鱼 | 18072 | 2000 | -    | -    | -  | -  | -   | 20072  |
|      |      | 第二次放鱼 | 22000 | 8000 | 2000 | 2000 | -  | -  | -   | 34000  |
|      |      | 第一次捕鱼 | 4149  | 3738 | -    | 290  | 92 | 9  | -   | 8424   |
|      |      | 第二次捕鱼 | 1665  | 3155 | -    | 96   | 11 | 27 | -   | 4974   |

| 两池一库   | 年度   | 次数    | 白鲢   | 花鲢   | 青鱼 | 草鱼   | 鲤鱼   | 鲫鱼   | 其他鱼 | 合计（斤） |
|--------|------|-------|------|------|----|------|------|------|-----|-------|
| 亦庄调节池  | 2016 | 第一次放鱼 | -    | -    | -  | -    | 1488 |      | -   | 1488  |
|        |      | 第二次放鱼 | 1488 | 1488 | -  | 1488 | -    | 1488 | -   | 5952  |
|        | 2017 | 第一次放鱼 | 2914 | 1292 | -  | -    | -    | -    | -   | 4206  |
|        |      | 第二次放鱼 | 2820 | 1500 | -  | -    | -    | -    | -   | 4320  |
|        |      | 第一次捕鱼 | -    | 0.4  | -  | -    | 22   | 16   | -   | 38.4  |
|        |      | 第二次捕鱼 | 240  | 80   | -  | -    | -    | 47   | -   | 367   |
| 团城湖调节池 | 2014 | 放鱼    | 3000 | 7000 | -  | 4725 | -    | 3000 |     | 17725 |
|        | 2015 | 第一次放鱼 | 2400 | 4000 | -  | -    | 2400 |      | -   | 8800  |
|        |      | 第二次放鱼 | 2400 | 4000 | -  | -    | 2400 |      | -   | 8800  |

根据以往投放统计数据可以计算回捕率，大宁调蓄水库2017年共投放鲢鱼约4万斤，捕捞约6000斤，回捕率为15%，2017年共投放鳙鱼约10000斤捕捞约7000斤，回捕率为70%，鲢鱼起水均重在2kg，鳙鱼的起水均重在4kg，投放鱼苗的重量按250g/尾，计算可得大宁调蓄水库2018年合理投放鲢鱼量为18600尾，约4650斤，鳙鱼为10000尾，约2500斤。

亦庄调节池2017年上半年第一次放鱼，因时间较晚水温已高，导致投放的鱼苗存活率很低，在进入亦庄调节池一周时间内几乎全部死亡，第二次放鱼吸取上半年教训，

存活率可达99%，根据放鱼及捕鱼量，得出回捕率，鲢鱼起水均重为1kg，鳙鱼起水均重为1kg，计算得亦庄调节池2018年合理投放鲢鱼量为2500尾，约640斤，鳙鱼合理投放量为3320尾，830斤。

团城湖调节池2017年未进行投放及捕捞工作，按照一般水库回捕率计算，鲢鱼10%，鳙鱼20%，鲢的起水规格为1.5kg，鳙的起水规格为3kg，计算可得团城湖调节池合理投放鲢鱼量为9300尾，约2325斤，鳙鱼合理投放量为14000尾，约3500斤，见表3所示。

表3 基于浮游生物的鲢、鳙鱼2018年投放估算量

| 合理投放估算 | 鲢鱼（斤） | 鲢鱼（尾） | 鳙鱼（斤） | 鳙鱼（尾） |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 大宁调蓄水库 | 4650  | 18600 | 2500  | 10000 |
| 亦庄调节池  | 640   | 2500  | 830   | 3320  |
| 团城湖调节池 | 2325  | 9300  | 3500  | 14000 |

根据以往的投放经验确定投放鱼苗的时间以及捕捞成鱼的方式，根据咨询渔业专家及以往的经验，在投放鱼苗时，水库水温不易过高，北京地区适宜4月末至5月初期间及10月初期间投放鱼苗，鱼苗的成活率最佳。在捕捞成鱼时，应采用网目内径16cm的大网眼渔网捕捞，目标鱼类为3龄及以上成鱼，捕捞量不宜过大，会造成水库鱼产力的消减。

2017年大宁调蓄水库的鳙鱼鱼产力相比鲢鱼鱼产力高，但实际的渔获量鳙鱼和鲢鱼的比值约为1.2:1，低于所

估算的鱼产力比值，所以应在2018年投放时适当增加鳙鱼的投放数量，且鱼产力以及投放量的估值只是基于浮游植物和浮游动物的量进行估算，投放时应考虑到有机碎屑的鱼产量，投放量要多于基于浮游生物的估算量，结合以往经验数据，2018年大宁调蓄水库分别在4月份（第一次）和10月份（第二次）进行投放鱼苗工作，全年共投放白鲢29600斤，花鲢7200斤。同时，2018年还进行了两次捕捞成鱼的工作，从图3可以看出，捕捞到的鳙鱼的个头大，说明对浮游动物的利用率很高。





图3 大宁调蓄水库捕鱼图片

根据统计结果，2017年亦庄调节池的渔获量约367斤，和所估算鱼产力291斤比较相符，亦庄调节池浮游生物量小，池容小也是造成鱼产力低的一个重要因素，亦庄调节池2017年高锰酸盐指数和总有机碳的含量较高，在2018年期间未进行投放及捕捞鱼类工作。



图4 团城湖调节池投鱼图片

根据浮游生物鱼产力以及投放量估算，团城湖调节池鳊鱼产力占据较大比例，投放估算值鳊鱼所占比例较大，但团城湖调节池藻类数量也较高，鲢鱼主要滤食浮游植物，所以团城湖调节池2018年投放鱼苗时鲢鱼做了提高，共投放18000斤鱼，其中15000斤鲢鱼，3000斤花鲢，同年进行捕捞鱼类一次，如图4所示。实际投放及捕捞统计量见表4所指示。

表4 “两池一库” 2018年实际投放捕捞量

| 两池一库   | 时间       | 次数    | 白鲢    | 花鲢   | 青鱼  | 草鱼   | 鲤鱼   | 鲫鱼 | 其他鱼  | 合计（斤）  |
|--------|----------|-------|-------|------|-----|------|------|----|------|--------|
| 大宁调蓄水库 | 2018     | 第一次放鱼 | 17800 | 4300 | 630 | 630  | —    | —  | 640  | 24000  |
|        |          | 第二次放鱼 | 11800 | 2900 | 410 | 410  | —    | —  | 480  | 16000  |
|        |          | 第一次捕鱼 | 1483  | 1367 | —   | 95   | 38   | —  | 37   | 3020   |
|        |          | 第二次捕鱼 | 1407  | 1318 | —   | 75.5 | 46.8 | —  | 61.6 | 2908.9 |
| 亦庄调节池  | 无投放及捕捞作业 |       |       |      |     |      |      |    |      |        |
| 团城湖调节池 | 2018     | 放鱼    | 15000 | 3000 | —   | —    | —    | —  | —    | 18000  |
|        |          | 捕鱼    | 720   | 280  | —   | —    | —    | —  | —    | 1000   |

## 14.5 项目效果

总体来看，大宁调蓄水库的水质相比较亦庄调节池和团城湖调节池的水质较好，分析认为大宁调蓄水库池体深，库容大，底泥丰富，生态结构相对丰富，而亦庄调节池和团城湖调节池池容较小，底部主要为硬砌结构，且都未完全启用，水体存放周期长，流动性小，会导致水体的不稳定性。基于各个调蓄库池的浮游生物量计算鱼产力以及合理投放量的估算，对下一年度的投放量进行估算，大宁调蓄水库投放鲢鱼估算量24000斤，鳙鱼1625斤；亦庄调节池投放鲢鱼估算量3800斤，鳙鱼210斤；团城湖调节池鲢鱼投放量估算值为22600斤，鳙鱼480斤，考虑到有机碎屑所产生的鱼产力，实际投放量应大于基于浮游生物所估算的投放量，且根据鱼类解析数据，团头鲂和鲤鱼的氮、磷含量较高，对水体的去除率较高，可以适量投放。

三座调蓄水库的水质监测情况表明水质都在稳定的基础上慢慢提升，进行投放及捕捞鱼类对调蓄水库的水质净化作用是有效果的，但其净化过程是一个长期过程，并不能立竿见影，所以还需要持续对调蓄水库的水质及生态情况进行监测。