

南水北调中线水源区水质生态监测(2005年)*

张乃群¹, 李运贤¹, 李玉英¹, 杜敏华¹, 胡兰群²

(1: 南阳师范学院生物系, 南阳 473061)

(2: 南阳市环境保护监测站, 南阳 473000)

摘要:在生态调查基础上从微生物学、理化及叶绿素 a 指标等对南水北调中线水源区进行了生态监测。结果表明, 水源区为寡污型水体, 水体基本处于贫-中营养状态, 水源区指标除 TN 为Ⅲ类水质外, 其它监测指标均符合Ⅰ类水质标准, 是理想的水源地。本研究为建立中线水源区长期生态研究数据信息库及库区生态环境保护政策制定提供科学依据。

关键词:南水北调中线水源区; 微生物菌群; 生态监测; 营养状态指数; 水质评价

Ecological monitoring of water quality on the water source area of the middle-line project of Transferring Water from South to North, 2005

ZHANG Naiqun¹, LI Yunxian¹, LI Yuying¹, DU Minhua¹ & HU Lanqun²

(1: Department of Life Science, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, P. R. China)

(2: Nanyang Environmental Prevention and Supervision Station, Nanyang 473000, P. R. China)

Abstract: Based on the ecological survey, the ecological indexes of microorganisms, physico-chemicals and chlorophyll-a was measured on the water source area of the middle-line project of Transferring Water from South to North, 2005. The result showed that the nutrition type of the water source could be regarded as mesotrophic; Danjiangkou Reservoir is suitable for water source because the indexes except TN belong to the standards of Grade I water. This study would provide scientific information for data bank of long-term ecological research on middle-line project and policy of ecological environmental protection.

Keywords: The water source area of the middle-line project of Transferring Water from South to North; microorganisms; ecological monitoring; trophic state index; water quality

南水北调即从长江向北方引水, 经过有关专家 40 多年的全面论证, 根据地貌、河流水系等自然条件和社会条件, 确立了多线路引水的总体规划, 即西线、中线和东线工程, 并优先建设中线工程。南水北调中线工程将全面有效缓解沿途京、津、冀、豫等省市的用水危机。它不仅可解除汉江流域的洪涝威胁, 而且将改善沿线的生态环境, 支持经济和社会的可持续发展。

中线工程设计年平均调水 $130 - 140 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水量, 总干渠从河南省南阳市淅川县陶岔取水北上到北京玉渊潭, 全长 1399 km, 最后分别调入京、津等城市, 其供水目标主要是为渠道沿线大中城市的居民生活和工农业生产提供安全和洁净的生活用水和工农业用水, 是解决华北水资源危机的一项重大基础设施。因此, 水质的好坏直接关系到其市场前景与工程的成败, 对水源质量的要求既有相对的高标准, 又有长期的稳定性^[1]。本研究在生态调查基础上, 对南水北调中线水源区进行了叶绿素 a 测定、微生物学和理化监测, 以期对中线水源水质做出科学的评价。

1 南水北调中线水源区概况

南水北调中线水源区(丹江口水库)位于豫、鄂、陕三省的交界处, 界于 $111^{\circ}01' - 111^{\circ}18' \text{ E}$, $32^{\circ}55' -$

* 河南省自然科学基金项目(0511030700)资助。2005-10-13 收稿; 2006-01-18 收修改稿。张乃群, 男, 1964 年生, 副教授; E-mail: zhnq@nytc.edu.cn.

33°48' N 之间,面积 $8 \times 10^6 \text{ km}^2$,平均水深为 23m.

丹江口水库是亚洲最大的人工淡水湖,是汉江、丹江两大水系重要的控制性工程,自 1973 年建成至今,在防洪、发电、灌溉、航运和水产养殖等方面发挥了巨大的综合效益.该区域处于北亚热带向暖温带的过渡带.区域内地形复杂,地势自西北向东南倾斜,北有伏牛山主脉老界岭为屏障,最高海拔处 2212.5 m,海拔最低处 120 m,当地光热、水资源比较丰富,气候温和,四季分明,区域内森林覆盖率平均为 53.68%,年平均气温 15.4℃,极高温 42.6℃,极低气温 -5.2℃,平均降雨量 808 mm,降雨量分布不均,多集中在 7-9 月份,北部、西北部山区雨量大,东部、南部丘陵地区较小,库区地质复杂.丹江口水库实行调水时的正常蓄水位为 170 m,坝顶高程从现在的 162 m,加高至 176.6 m,总库容达 $290.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,比初期增加库容 $116 \times 10^8 \text{ m}^3$,增加有效调节库容 $88 \times 10^8 \text{ m}^3$,增加防洪库容 $33 \times 10^8 \text{ m}^3$.南水北调中线一期工程年调水 $95 \times 10^8 \text{ m}^3$,占丹江口水库水资源总量的 24%,占全流域水资源总量的 16.4%;二期工程年调水 $130 \times 10^8 \text{ m}^3$,占丹江口水库水资源总量的 33.5%,只占全流域水资源总量的 22.4%.丹江口水库控制集水面积 $9.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,控制着汉江 60% 的流域面积,年平均天然径流量 $408.5 \times 10^8 \text{ m}^3$.

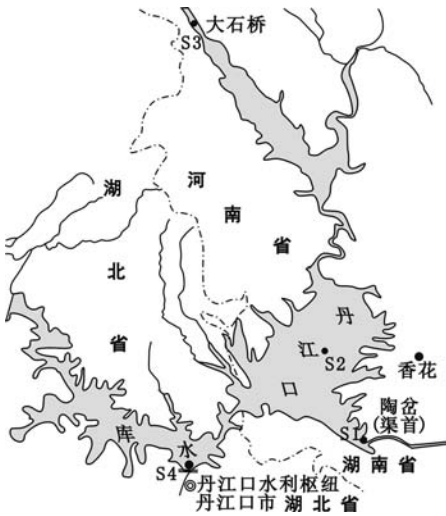


图 1 南水北调中线水源区生态监测点位置

S1: 渠首; S2: 库心; S3: 大石桥; S4: 坝前

Fig. 1 Sampling sites of ecological monitoring in water source area of the middle-line project of transferring water from south to north

丹江口水库因其入库流量大,自净能力强,致使丹江口水库的水质优良.但随着库区周边地区经济的发展,由于自然因素及人为因素使入库干、支流水质发生变化,必将影响丹江口水库的水质.目前影响中线水源水质的主要因素:一是库区生态环境比较脆弱.上游流域区内森林覆盖率低,涵养水源功能不足,如十堰库区森林覆盖率仅为 37.8%.其直接后果是流域区内水土流失比较严重,面积已达 $1.46 \times 10^4 \text{ km}^2$,水库泥沙淤积过快.严重的水土流失,不仅减少了丹江口水库的库容,降低了工程的效益,同时还携带大量有机物、重金属等有害物质进入水库内,污染水体,加剧了水环境的污染.二是上游流域区内的工业企业主要是资源开采和消耗型,技术含量低,治污能力差,是该流域区的主要污染源,库区已受到了汽车制造、机械加工、化工、建材、造纸、食品、采矿、制药等多行业的污染.三是入库干、支流的沿岸城镇

生活污水、工业废水大都未经处理排入水库,据有关统计,库区城、乡和工业企业向丹江口水库年排污水达 10^8 t .加上库区农业生产水平低下,自然资源的掠夺性开发,且不适当使用化肥、农药,使库区局部有富营养化发生趋势和条件^[1-4].

2 材料与方法

2.1 采样点位置

国家环境监测总站授权南阳市环境保护监测站监测中线工程水源区而设的渠首(陶岔)(S1)、库心(小太平洋)(S2)、大石桥(丹江入库上游)(S3)3个水质监测点和丹江口水库大坝前(S4)共4个水样采集点(图1).

2.2 材料

牛肉膏蛋白胨琼脂培养基(培养细菌)、马丁培养基(分离真菌)、高氏1号培养基(培养放线菌)^[5].Zobell“2216E”培养基(培养异养细菌)^[6].乳糖蛋白胨培养液、三倍浓缩乳糖蛋白胨培养液、EC培养基、革兰氏染液等^[7].营养琼脂培养基、EMB均购自哈尔滨海峡医药有限公司.

2.3 样品采集

2005年5月上旬在4个水样采集点分两路同时进行.采柱状混合样,按0.5、1、2、3、4m等分层采样,每层各取水样1L,置同一容器混合,充分摇匀后取1L.每次均采平行样3个,按水样采集标准采集无菌水样、

叶绿素 a 样和理化检测样. 所有样品均于 24 h 内带回实验室处理.

2.4 样品检测

2.4.1 理化监测 水温(T)、pH、EC 和 DO 用 CTD(SBE9 型)在现场直接测定,SD 采用塞氏盘法测定,其它各项化学指标的检测主要依据《水和废水监测分析方法》(第四版)中的方法进行^[8].

2.4.2 微生物学监测 细菌、真菌、放线菌和异养细菌丰度测定采用平板记数法,用微量加样器取 0.1 ml 水样在对应培养皿上用涂布法接种(做平行样),分别按各种微生物培养要求培养,计数. 总大肠菌群数和粪大肠菌群数采用 MPN 法^[7].

2.4.3 叶绿素 a 测定 采用分光光度法. 在采集水样后加入饱和碳酸镁,用醋酸纤维滤膜过滤、热乙醇萃取,用 SP-200 型分光光度计测定萃取液的吸光度,采用联合国科教文组织推荐的公式,计算 Chla 含量^[7,9].

2.4.4 细菌总数测定 采用污水生物系统法^[7,8],评价标准是:细菌总数 $>10^6$ CFU/ml,多污带;细菌总数为 $10^5 - 10^6$ CFU/ml, α -中污带;细菌总数 $<10^5$ CFU/ml, β -中污带;细菌总数 $<10^2$ CFU/ml,寡污带.《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85)规定:细菌总数 ≤ 100 CFU/ml,总大肠菌群数 ≤ 3 个/L.《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)规定:I类水,粪大肠菌群数 ≤ 200 个/L;II类水,粪大肠菌群数 ≤ 2000 个/L;III类水,粪大肠菌群数 ≤ 10000 个/L.

3 结果

3.1 南水北调中线水源区微生物菌群的丰度和分布

2005年5月对渠首(陶岔)、库心(小太平洋)、大石桥和丹江口水库大坝前4个监测点的微生物菌群进行了调查(表1),结果表明,4个采样点的微生物菌群的丰度是有显著差异,且在同一个样点,各微生物丰度也是不同的.在所检测的微生物中,小太平洋的几项指标均明显低于其它3个采样点各项指标,且大肠菌群及粪大肠菌群均未被检出.根据以上标准,小太平洋水中细菌、大肠菌群和粪大肠菌群指标均符合生活饮用水标准及地表水I类水质标准,其它3个样点也都符合地表水I类水质标准.目前尚未见有对水环境中真菌、放线菌和异养细菌丰度的标准(如果参照细菌总数的标准来评价,各样点均符合地表水I类水质标准).

表1 南水北调中线水源区微生物的丰度和分布

Tab.1 Abundance and distribution of bacteria on the water source area of the middle-line project of Transferring Water from South to North

采样点	S1(渠首)	S2(库心)	S3(大石桥)	S4(坝前)
细菌(CFU/ml)	154	72	610	682
真菌(CFU/ml)	103	28	601	593
放线菌(CFU/ml)	51	6	62	110
异养菌(CFU/ml)	3	2	3	14
大肠菌群(ind./L)	170	<20	70	130
粪大肠菌群(ind./L)	130	<20	20	20

3.2 南水北调中线水源区理化检测指标

根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)规定I类标准(与本研究相关的几项):pH值,6-9;DO ≥ 7.5 ;COD ≤ 15 ;BOD₅ ≤ 3 ;NH₃-N ≤ 0.15 ;TP ≤ 0.02 (湖、库0.01);TN ≤ 0.2 ,符合I类标准的水主要适用于源头水、国家自然保护区.从理化指标看南水北调中线水源区水除TN指标符合III类水质标准(≤ 1.0)外,其它监测指标均符合I类水质标准(表2).

采用Sladeczek的划分标准^[8],依据BOD₅(mg/L)大小,将水体划分为4级:寡污带,0 < BOD₅ ≤ 2.5 ; β -中污带,2.5 < BOD₅ ≤ 5 ; α -中污带,5 < BOD₅ ≤ 10 ;多污带, BOD₅ > 10.刘俊等的单项评价标准^[10]:SD为8-15;TN为0.04-0.08;TP为0.002-0.005,水体为贫营养状态.根据以上评价标准,结合本次监测结果,渠首、小太平洋、大石桥三个样点的BOD₅均小于2.5,因此中线水源区为寡污型水体,水体为贫-中营养状态.

表2 南水北调中线水源区理化指标测定结果

Tab. 2 The result of physicochemical monitoring on the water source area of the middle-line project of Transferring Water from South to North*

采样点	S1(渠首)	S2(库心)	S3(大石桥)	S4(坝前)
T(°C)	20.5	20.3	18	20
pH	8.21	8.36	8.33	8.1
SD(m)	1.5	10	—	—
EC(μs/cm)	320	320	—	—
DO(mg/L)	8.93	9.32	8.88	—
NH ₃ ⁻ -N(mg/L)	0.093	0.062	0.214	—
TN(mg/L)	0.757	0.567	—	—
TP(mg/L)	0.005	0.005	—	—
COD(mg/L)	<10	<10	<10	—
BOD ₅ (mg/L)	<2	2.26	<2	—

* “—”表示未测。

3.3 南水北调中线水源区叶绿素 a 含量

叶绿素 a 存在于所有的藻类中,其含量常用于估测浮游植物的生物量和生态系统的生产力,也是反映水体富营养化程度的一个重要参数,一般认为在浮游植物的细胞总数大于 10^3 ind./ml 或叶绿素含量大于 10 mg/m^3 ,就可以认为水体已经富营养化了^[11]。

表3 南水北调中线水源区各监测点叶绿素 a 含量及营养状态指数

Tab. 3 The Chlorophyll-a content and trophic state index in different sampling sites in water source area of the middle-line project of Transferring Water from South to North

采样点	S1(渠首)	S2(库心)	S3(大石桥)	S4(坝前)
叶绿素 a 含量(mg/m^3)	0.005	0.003	0.004	0.005
营养状态指数(TSI)	-21.4092	-26.4206	-23.5983	-21.4092

利用叶绿素 a 浓度来评价湖泊富营养化常采用营养状态指数 TSI,计算公式如下:

$$\text{TSI}(\text{Chla}) = 10[6 - (2.04 - 0.68 \ln \text{Chla}) / \ln 2]$$

式中,Chla 为叶绿素 a 含量(mg/m^3)。利用 TSI 评价水库营养状态的评价标准: $\text{TSI} \leq 37$, 贫营养型; $37 < \text{TSI} \leq 53$, 中营养型; $\text{TSI} > 53$, 富营养型^[12-14]。本次检测中,渠首和丹江口水库坝前 Chla 皆为 0.005,大石桥的为 0.004,库心的最低为 0.003,其 4 个检测点 Chla 平均值为 0.00425,计算 TSI(Chla)为 -23.0036(表 3),由此可知水源区水体处于贫营养状态。各样点的 Chla 值大小与各样点其它生物指标^[15,16](异养细菌数、浮游植物量等)基本一致。

4 结论与建议

综合本次微生物监测、理化指标和叶绿素 a 含量测定结果,南水北调中线工程水源区应为寡污型水体,水体基本处于贫-中营养状态,水源区水质除 TN 指标为 III 类水质标准外,其它监测指标均符合 I 类水质标准,是理想的水源地。2000 年对丹江口水库库区理化监测结果,水库水体为中营养状态,除总磷外,库区水质达到 II 类水质标准,符合集中式生活饮用水水源地一级保护区目标要求。与中线水源区的 2004 年同期理化监测相对比,水源区水质稳定,且渠首水质细菌学检测指标已降低^[15]。得益于中线水源区各级政府采取积极的生态措施和中欧环境管理合作计划“南水北调中线工程水源地生态环境保护”项目实施^[17,18]。

在水环境中,许多化合物和潜在的污染物质所产生的有害生物效应浓度往往是现有的分析手段无法测出的。它们常以混合状态存在于水体中,且相互作用产生综合污染。因此,必须将污染物、水相、生物诸因素

综合在一起,才能提供有效的水环境管理信息.据此,在生态调查基础上从物理学、化学、生物学角度综合评价南水北调中线水源水质才是科学的,且通过水生生物资源的调查,将为可持续开发和保护水产生物资源及制定水源保护措施提供科学依据.

从检测结果可知,水源区水体富营养化程度较低.但是要确保京、津等受水区居民生活、工农业生产健康发展和库区经济持续发展,对丹江口水库各干流和建设中的调水渠道进行流域生态工程规划已是当务之事,其中加快主、干流及库区生态林、生态农业、生态工业的建设和对将建成的渠道进行生态景观廊道布局设计是关键.

水源区生态治理的基本思路:一是大力开展生态林建设.在区域内,要积极封山育林,保护现有的森林植被.二是有计划地开展流域综合治理,加快小流域治理的步伐,建立完整的水土保持综合防护体系.三是改造区域内落后的农业生产方式.生态环境建设是保护和提高水源区水质的根本措施,同时保证并提高水源区流域内人口的经济收入和生活水平,是各种生态环境建设措施得以落实的基础.四是规划建设一定规模的生态环境保护区.

总之,水源区及沿渠省市应协调共管,并建立一套完善的水污染防治体系,以控制污染源为主的营养化防治措施,充分发挥水利工程调度优势,以便有效防治水质污染和水体富营养化的发生,保证中线水域生态系统持续健康,确保调水的水质,以实现社会、经济、生态协调可持续发展.

5 参考文献

- [1] 张修真. 南水北调——中国可持续发展的支撑工程. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [2] 刘占朝. 南水北调(中线)河南浙川水源区植被建设模式. 水土保持学报,2002,16(10):102-104.
- [3] 徐黎,李兴华. 南水北调中线工程源头生态环境的综合治理. 华北水利水电学院学报,2003,24(2):74-76.
- [4] 潘晓斌,卢鸿琦. 十堰市废污水排放量对丹江口水库的影响及对策. 水资源保护,2003(3):22-24.
- [5] 沈萍,范秀容,李广武. 微生物学实验. 北京:高等教育出版社,2003.
- [6] 焦俊鹏,章守宇,杨红等. 杭州湾粪大肠杆菌和异养细菌的分布特征及其环境因子. 上海水产大学学报,2000,9(3):209-213.
- [7] 国家环境保护总局,水和废水监测分析方法编委会编. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [8] 苏传东,王玉志. 马踏湖水生生物初步调查与水质污染评价. 海洋湖沼通报,1998(4):15-22.
- [9] 陈宇伟,高锡云. 浮游植物叶绿素a含量测定方法的比较测定. 湖泊科学,2000,12(2):185-188.
- [10] 刘俊,陈红. 星云湖水生生态系统变迁及富营养化的变化分析. 云南环境科学,2000,19(2):42-44.
- [11] 崔文连,王勇. 崂山水库叶绿素a含量与富营养化程度探讨. 山东环境,1999,(3):50-51.
- [12] Roman A D, Ekelund N G. The efficiency of seven diversity and one similarity indices based on phytoplankton data for assessing the level of eutrophication in lakes in central Sweden. *Sci Total Environ*, 2000,234:15-23.
- [13] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第2版). 北京:中国环境科学出版社,1990:299-301.
- [14] 吕唤春,王飞儿,陈英旭等. 千岛湖水体叶绿素a与相关环境因子的多元分析. 应用生态学报,2003,14(8):1347-1350.
- [15] 李玉英,王庆林,梁子安等. 丹江口水库的细菌和浮游生物监测及评价. 水利渔业,2005,25(3):56-57.
- [16] 李运贤,张乃群,李玉英等. 南水北调中线水源区浮游植物研究. 湖泊科学,2005,17(3):219-225.
- [17] 韩建秀,白乐宁. 南水北调中线工程南阳区域水环境保护. 南阳师范学院学报,2005,4(3):66-69.
- [18] 周旗,张宏伟. 南水北调中线工程水源区水质治理与保护的生态措施. 信阳师范学院学报(自然科学版),2005,18(2):182-184.