

# 南水北调中线工程水源头区浮游生物群落研究

施建伟<sup>1</sup>, 朱静亚<sup>2</sup>, 黄进<sup>3</sup>, 李玉英<sup>2</sup>, 王晨溪<sup>2</sup>, 胡兰群<sup>1</sup>, 孙剑辉<sup>4</sup>

(1. 南阳市环境监测站, 南水北调中线水源区水安全河南省协同创新中心, 河南 南阳 473060;

2. 河南省南水北调中线水源区生态安全重点实验室, 南阳师范学院 农业工程学院, 河南 南阳 473061;

3. 南水北调中线渠首环境监测应急中心, 河南浙川 474475; 4. 河南师范大学 环境学院; 黄淮水  
环境与污染防治教育部重点实验室, 河南 新乡 453007)

**摘要:**为掌握南水北调中线工程调水前后水源头区浮游生物群落的分布特征,于2014年7月至2015年5月分别在丹江口水库河南水域丹库和中线干渠南阳段选取6个典型生态采样点进行样品采集,对浮游生物群落进行了连续监测和评价。结果共发现浮游生物132属403种;浮游植物9门44科94属357种,其中硅藻门-绿藻门-蓝藻门比为43.70%-33.61%-11.20%,浮游植物指示种8门21科32属42种,其中中营养型指示种占78.57%;浮游动物4门32科38属46种,浮游动物指示种仅2种;调水前后香农威勒多样性指数( $H'$ )均大于1.0,均值为2.33,调水后 $H'$ 值先降低后增加,最高值达3.33。综合评价认为:库体和干渠水体稳定,为中营养型。

**关键词:**南水北调中线工程;水源头区;浮游生物;生物监测;多样性指数

**中图分类号:**X835

**文献标志码:**A

南水北调中线工程是南水北调工程的重要组成部分,对缓解京津及华北地区水资源短缺,改善受水区生态环境,促进该地区经济和社会的可持续发展具有重要战略意义。中线工程水源区位于豫、鄂、陕三省交界处的汉丹两江并联的丹江口水库,介于东经 $111^{\circ}13'22''\sim 111^{\circ}38'09''$ 和北纬 $32^{\circ}47'35''\sim 33^{\circ}07'24''$ 之间。丹江口水库由汉库和丹库两部分组成,汉库接纳汉江及其支流的上游来水,丹库接纳丹江及老灌河的来水,控制流域 $9.52\text{万 km}^2$ ,始建于1958年,并于1973年竣工,坝加高176 m后蓄水 $290.5\text{亿 m}^3$ ,水库水面面积为 $1050\text{ km}^2$ 。丹江口水库现状总体水质良好,库内水质符合地表水环境质量Ⅱ类标准,能满足各类功能用水的要求,是南水北调中线工程理想的水源地<sup>[1-2]</sup>。丹江口水库独特的自然地理位置,使其水质较好,但丹江口水库及干渠调水过程中水源径流使水质污染的潜在因素和隐患依然存在<sup>[1-11]</sup>。水环境决定了生物的群落特征,而生物个体种群的变化也客观反映水体质量的变化规律<sup>[12-16]</sup>。南水北调中线工程的实施在一定程度上改变了库区的生态环境,并对生物多样性产生一定的影响<sup>[7]</sup>。有文献就南水北调中线水源区的生态环境问题、水资源现状、水土保持、生态环境影响和水生态等方面进行了研究<sup>[1-11]</sup>,但对中线工程调水前后(中线工程于2014年12月12日正式调水)水源头区域水体生物群落的比较研究鲜见。南水北调工程对中国的经济发展和能源持续发展起着至关重要和不可替代的作用,从根本上解决了中国水资源分布不均的问题,南水北调输送的水作为生活用水必须保证其水体的洁净,因此,对水源区进行水质进行常规性监测以确保用水区饮用水安全。本项目组于2014年7月至2015年5月调水前后对水库河南水域和中线干渠南阳段水体浮游生物群落进行了连续监测,旨在为中线水源区和干渠水域生态学研究 and 环境质量演变预测提供基础资料,为中线工程调水后期管理提供科学依据。

收稿日期:2015-12-28;修回日期:2016-09-21。

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划(2012BAC06B03);国家自然科学基金项目(31400367);河南省科技厅项目(142102310210);河南省教育厅项目(14A180015)。

第1作者简介:施建伟(1965-),男,河南南阳人,高级工程师,主要从事环境监测技术研究,E-mail: nyhbjsjw@126.com。

通信作者:孙剑辉(1957-),男,河南洛阳人,河南师范大学教授,主要从事环境污染控制技术研究,E-mail: sunjh@htu.edu.cn。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

根据中线工程取水口及中线干渠南阳段的地理位置,共设6个采样点,在丹库设丹库库心(S1)、全店(S2)、陶岔(S3),在中线干渠南阳段设镇平县马庄(S4)、卧龙区姜沟(S5)、方城县独树(S6),各采样点位置如表1所示。

调水前于2014年7月在库心和全店采样,2014年10月在库心、全店和陶岔进行采样;调水后于2015年1月、2月和5月分别在6个监测站采样。按照国家环保总局出版的《水和废水监测分析方法》(第四版)规定的标准采集浮游生物定性和定量样品<sup>[16]</sup>。

表1 采样点位置

| 水域 | 编号 | 站名   | 北纬           | 东经            | 特点           |
|----|----|------|--------------|---------------|--------------|
| 丹库 | S1 | 库心   | 32°45'06.16" | 111°34'45.09" | 丹库库心         |
|    | S2 | 全店   | 32°40'36.49" | 111°35'07.85" | 入中线干渠前       |
|    | S3 | 陶岔   | 32°40'11.16" | 111°42'03.31" | 中线取水口坝上100 m |
| 干渠 | S4 | 镇平马庄 | 32°54'25.53" | 112°4'31.43"  | 镇平境内         |
|    | S5 | 卧龙姜沟 | 33°00'10.36" | 112°27'41.18" | 南阳市第一取水口     |
|    | S6 | 方城独树 | 33°19'27.56" | 113°10'33.92" | 中线水出南阳境      |

### 1.2 样品测定

浮游生物定性样品分别用25号和13号浮游生物采集网采集;定量样品用采水器分层采取1000 mL,现场加鲁哥氏液固定。实验室内用Olympus倒置显微镜进行浮游生物鉴定和细胞计数<sup>[16-20]</sup>。

### 1.3 数据分析

采用Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )对丹江口水库及中线干渠南阳段6个采样点的水质进行污染等级评定<sup>[15]</sup>。其评价标准是: $H' > 3$ ,清洁; $2 < H' \leq 3$ 时,轻度污染; $1 < H' \leq 2$ ,中等污染; $0 < H' \leq 1$ ,重度污染。计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (n_i/n) \lg 2(n_i/n),$$

其中 $H'$ 为多样性指数, $n$ 为样品中藻类总个体数, $n_i$ 为样品中 $i$ 种的个体数。

## 2 结果与分析

### 2.1 丹江口水库及中线干渠南阳段浮游植物落结构及水质评价

#### 2.1.1 丹江口水库及中线干渠南阳段浮游植物种类组成

丹江口水库及中线干渠南阳段调水前后浮游植物种类组成和百分组成如图1和图2所示。在丹江口水库及中线干渠南阳段6个监测站共监测到浮游植物9门44科94属357种(含变种),其中硅藻门28属165种(含变种),占浮游植物的43.70%;绿藻门42属120种(含变种),占33.61%;蓝藻门8属40种(含变种),占11.20%。其中常见种类有束丝藻属(*Aphanizomenon Morr*),盘星藻属(*Pediastrum Meyen*),脆杆藻属(*Fragilaria Lyngbye*),直链藻属(*Melosira Agardh*)和啮蚀隐藻属(*Cryptomonas erose*)。

调水前监测到浮游植物8门32科59属125种(含变种)。调水后浮游植物9门44科84属303种(含变种)。黄藻门和金藻门仅在调水后监测到。调水前蓝藻门-绿藻门-硅藻门的比例为19.78%-35.90%-29.87%,调水后的比例为8.75%-27.65%-54.03%,硅藻种类数量增加。

#### 2.1.2 丹江口水库及中线干渠南阳段浮游植物污染指示种及水质评价

污染指示性浮游植物的种类组成和数量是水体富营养化程度的主要评价标准之一。调水前后浮游植物的污染指示种如图3所示。调水前后共监测出浮游植物指示种8门21科32属42种(含变种),其中os寡营养型浮游植物5属6种,占总指示种的14.29%;am型浮游植物4属4种,占总指示种的9.52%;am, $\beta$ m型浮游植物5属5种,占总指示种的11.90%;am, $\beta$ m,os型浮游植物2属4种,占总指示种的9.52%; $\beta$ m型浮

游植物 7 属 7 种, 占总指示种的 16.67%;  $\beta$ m, os 型浮游植物 11 属 13 种, 占总指示种的 30.95%; ps,  $\alpha$ m 型浮游植物 2 属 2 种, 占总指示种的 4.76%; ps,  $\alpha$ m,  $\beta$ m 型浮游植物 1 属 1 种, 占总指示种的 2.38%. 总体来说, os 寡营养型的比例占 14.28%,  $\alpha$ - $\beta$ m 中营养型占 78.57%, ps 丰富营养型占 7.14%.

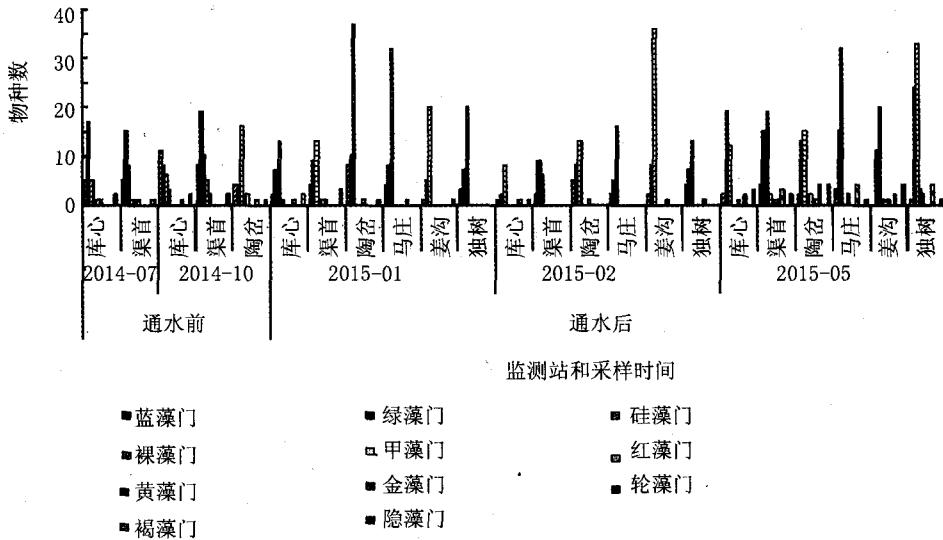


图1 丹江口水库及南阳段中线干渠调水前后浮游植物种类组成动态变化

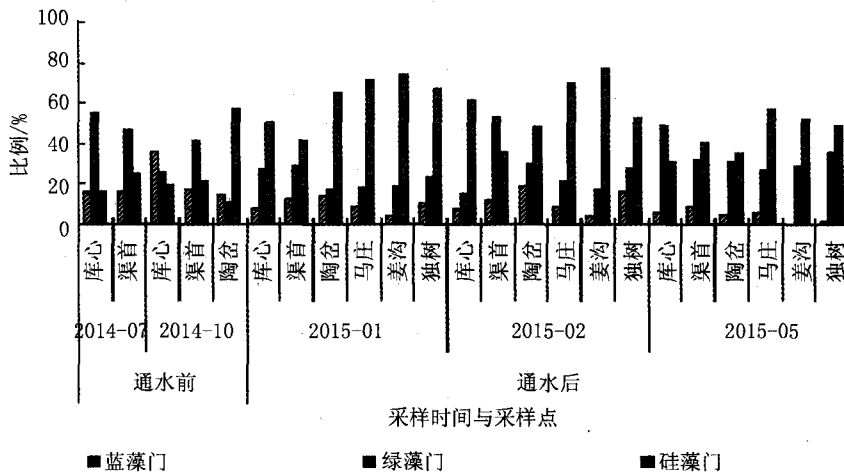


图2 丹江口水库及中线干渠南阳段调水前后浮游植物组成百分比

调水前在丹江口水库库体监测的浮游植物指示种共 6 门 14 科 17 属 21 种(含变种); os 寡营养型的比例占 4.76%;  $\alpha$ - $\beta$ m 中富营养型的比例占 90.48%; ps 丰富营养型的比例占 4.76%. 调水后在库体和 中线干渠南阳段共监测到浮游植物指示种 8 门 21 科 24 属 34 种(含变种),  $\beta$ -m 型的含量最多; os 寡营养型的比例占 14.71%;  $\alpha$ - $\beta$  中富营养型占 83.33%; ps 丰富营养型占 5.56%.

## 2.2 丹江口水库及中线干渠南阳段浮游动物种类组成及水质评价

调水前后丹江口水库及中线干渠南阳段内浮游动物组成如图 4 所示. 共监测到浮游动物 4 类, 原生动物门、担轮动物门、枝角类、桡足类共 32 科 38 属 46 种, 其中以原生动物最多为 15 属 21 种, 占 45.65%; 担轮动物 12 属 14 种, 占 30.43%; 枝角类 4 属 4 种, 占 8.70%; 桡足类 7 属 7 种, 占 15.22%. 2014 年 7 月份监测到有担轮动物和桡足类, 10 月份只监测到担轮动物, 2015 年 1 月监测到全部 4 类浮游动物, 其中原生动物门监测到 10 种, 2 月份监测到原生动物门, 担轮动物和枝角类, 5 月份监测到 4 类浮游动物, 数量均增加, 调水后浮游动物数量种类增加. 仅在 1 月份监测到浮游动物指示种为  $\beta$ -中污型指示种, 全店有 2 属 2 种, 放射太阳虫(*Actinophrys sol* Ehrenberg) 和沟渠异足猛水蚤(*Canthocamptus staphylinus* Jurine); 陶岔、姜沟和独树

仅监测到沟渠异足猛水蚤(*Canthocamptus staphylinus* Jurine).

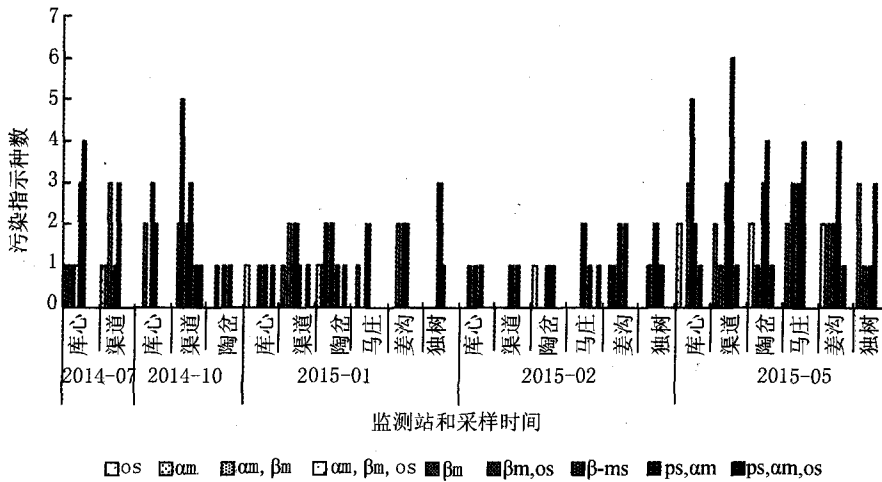


图3 丹江口水库及中线干渠南阳段调水前后浮游植物指示种组成

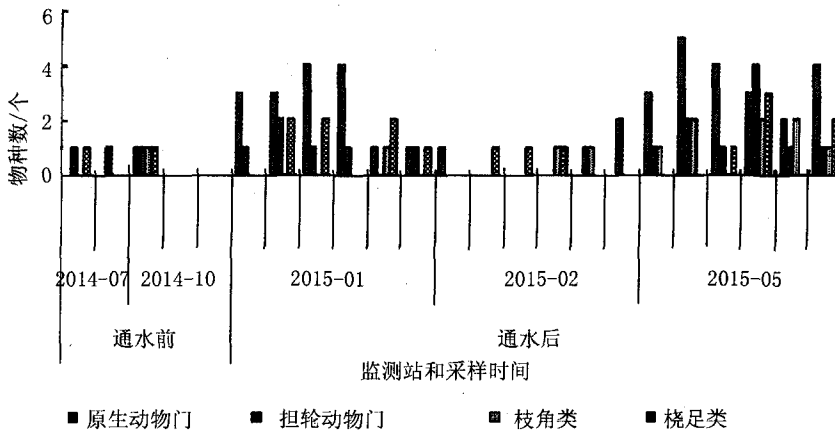


图4 丹江口水库调水前后浮游动物种类组成动态变化

### 2.3 丹江口水库及中线干渠南阳段浮游生物多样性指数

丹江口水库及中线干渠南阳段调水前后浮游生物多样性指数( $H'$ )如图 5 所示. 所有站点多样性指数平均为 2.01, 调水前库体多样性指数均值为 2.14, 调水后多样性指数先降低后增加, 调水后 2 月份的  $H'$  值最低(均值为 1.52, 最低为 1.38), 到 5 月份后各监测站  $H'$  值均有所上升, 均值为 2.33, 最高达 3.33. 结果表明, 库体和干渠水质稳定, 且调水后水质有所提高. 其原因可能是调水后加强了水源区和干渠走廊生态保护措施, 水质渐好; 此外, 可能与季节性气候有关.

## 3 讨论

调水前后对南水北调丹江口水库及中线干渠南阳段的浮游生物调查显示, 丹江口水库及中线干渠南阳段共鉴定浮游生物 132 属 403 种(含变种). 浮游植物 9 门 44 科 94 属 357 种(含变种), 占浮游生物的 88.59%, 其中蓝藻-绿藻-硅藻比例为 11.20%-33.61%-43.70%; 浮游植物指示种为 8 门 21 科 32 属 42 种(含变种), 其中, os 寡营养型的比例占 14.28%,  $\alpha$ - $\beta$  中营养型占 78.57%, ps 重富营养型占 7.14%. 浮游动物有 4 类 32 科 38 属 46 种, 占浮游生物 11.41%, 其中原生动动物门 21 种, 占 45.65%; 担轮动物 14 种, 占 30.43%; 桡足类 7 种占 15.22%; 枝角类 4 种占 8.70%; 浮游动物共监测到 2 种浮游指示种, 均为  $\beta$ -中营养型. 采样点水体中多样性指数( $H'$ )均大于 1, 调水后先降低后升高, 最高达 3.33. 综合评价认为: 丹江口水库及中线干渠南阳段水体为  $\beta$ -中营养型.

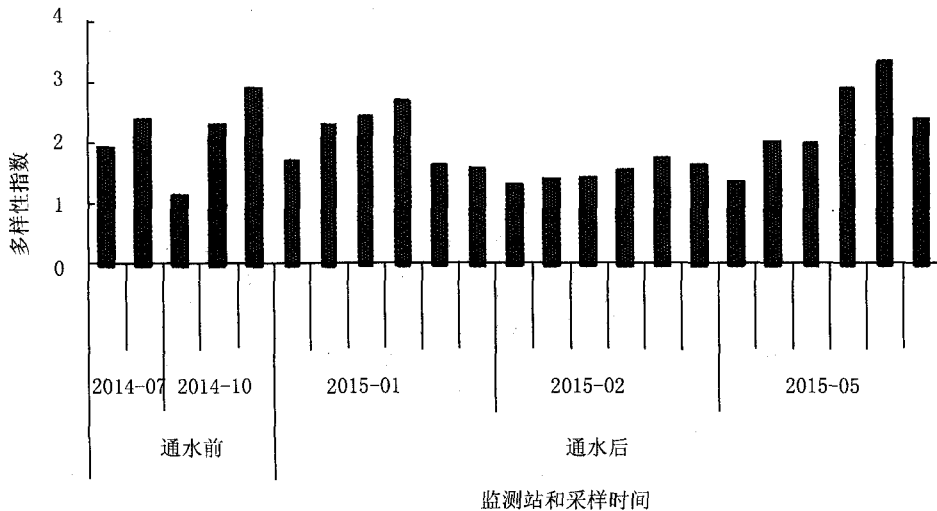


图5 香农-威勒 (Shannon-Weiner) 多样性指数动态

文献[4]调查结果显示丹江口库内水质符合地表水环境质量Ⅱ类标准,本研究对调水前后的水质进行理化监测符合国家Ⅰ类标准(除总氮含量较高,个别月份的氨氮和总磷含量较高),对水质进行富营养化状态评价发现调水前后的水质均为中营养,根据指示性浮游植物群落划分污染等级的标准,通水前为 $\beta$ -中污带,调水后为寡污带,调水前后的污染指示种均是 $\alpha$ - $\beta$ 中营养型,调水后硅藻比例明显增加.文献[7]调查结果显示丹江口水库的浮游植物优势种数量各季节差异显著,与本研究调水后硅藻门比例明显增加的结论相符.文献[7]丹江库区各采样点浮游植物平均生物量为12.2 mg/L,变动范围为4.11~25.2 mg/L,本研究调查结果为0.689~34.53 mg/L,调水后浮游生物的生物量有所下降.调水后的生物多样性指数先减少后增加,这与水体流动性和取样时间有一定关系.综合评价调水后水质有所好转.文献[11]调查中线水源区生态环境趋向调水后有变好态势,与本研究结论相符.调水后水质有所改变的原因一方面是由于调水,改变了库体原有水的流向,且显著增加了库体面积和水量,水体含氧量等一些理化指标的改变;另一方面是政府对南水北调工程水体保护的重视和人民环保意识的提高,使南水北调水质得到改善.

### 参 考 文 献

- [1] 封光寅,胡家庆,陈学谦,等.南水北调中线水源区水质状况及防治对策[J].中国水利,2005(8):48-50.
- [2] 张家玉,罗莉,李春生,等.南水北调中线工程对汉江中下游生态环境影响研究[J].环境科学与技术,2000,90:32-89.
- [3] 樊万选.南水北调中线水源区污染防治与生态环境保护研究[J].环境保护,2006(2):64-68.
- [4] 刘辉.丹江口库区及上游水质状况与监测工作建议[J].人民长江,2012,12:20-22.
- [5] 邓义祥,张爱军.藻类在水体污染监测中的运用[J].资源开发与市场,1998,14(5):197-198.
- [6] 顾咏洁,吕亚红.苏州河沉积物中硅藻的垂直分布与水质变化[J].生态学报,2006,26(11):3618-3622.
- [7] 包洪福.南水北调中线工程对丹江口库区生物多样性的影响分析[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.
- [8] 李玉英,高宛莉,李家峰,等.南水北调中线水源区富营养化研究[J].中国农业大学学报,2007,12(5):41-47.
- [9] 胡兰群,冯精兰,李怡帆,等.南水北调中线工程水源区丹江口水库生物监测试点研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2014,42(3):100-105.
- [10] 申恒伦,徐耀阳,王岚,等.丹江口水库浮游植物时空动态及影响因素[J].植物科学学报,2011,29(6):683-690.
- [11] 刘远书,高文文,侯坤,等.南水北调中线水源区生态环境变化分析研究[J].长江流域资源与环境,2015,(3):440-446.
- [12] 高世荣,潘力军,孙凤英,等.用水生生物评价环境水体的污染和富营养化[J].环境科学与管理,2006,31(6):174-176.
- [13] 詹玉涛,杨昌述,范正年.釜溪河浮游植物分布及其与水质污染的相关性研究[J].中国环境科学,1991,11(1):29-33.
- [14] 郭冲涌,林育真,李玉仙.东平湖浮游植物与水质评价[J].海洋湖沼通报,1997(4):37-42.
- [15] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].2版.北京:中国环境科学出版社,1990:240-310.
- [16] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002:610-631.
- [17] 胡鸿钧,魏印心.中国淡水藻类-系统、分类及生态[M].北京:科学出版社,2006.

- [18] 韩茂森. 淡水浮游生物图谱[M]. 北京:农业出版社,1980.
- [19] 日本生态学会环境问题专门委员会. 环境和指示生物(水域分册)[M]. 北京:中国环境科学出版社,1987.
- [20] 周凤霞,陈剑虹. 淡水微型生物图谱[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

## Study on Plankton Community in the Water Source Area of the Mid-Line Project of South-to-North Water Diversion

SHI Jianwei<sup>1</sup>, ZHU Jingya<sup>2</sup>, HUANG Jin<sup>3</sup>, LI Yuying<sup>2</sup>,  
WANG Chenxi<sup>2</sup>, HU Lanqun<sup>1</sup>, SUN Jianhui<sup>4</sup>

(1. Environment Monitoring Station of Nanyang, Collaborative Innovation Center of Water Security for Water Source Region of Mid-line Project of South-to-North Water Diversion of Henan Province, Nanyang 473000, China;

2. Key Laboratory of Ecological Security for Water Source Region of Mid-line Project of South-to-North Water Diversion of Henan Province; College of Agricultural Engineering, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China;

3. Emergency Centre for Environmental Monitoring of Mid-line Project of South to North Water Diversion, Nanyang 474475, China;

4. College of Environment; Key Laboratory of Yellow River and Huai River Water Environment and Pollution Control, Ministry of Education, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

**Abstract:** During the duration of 2014-07—2015-05, prior to and after the start-up of the mid-line project of south-north water diversion, six stations of plankton samples were continuously monitored and evaluated to understand the dynamic changes of the plankton community structure in the water source area, so as to provide scientific basis for the water quality protection and engineering management of the mid-line project. Diversity index of Shannon-Weiner ( $H'$ ) was used to evaluate the trophic status of water quality. There were 357 species (varieties), 94 genera and 9 divisions including 42 species (varieties), 32 genera saprobic indicators. Samples also contained 46 species (varieties) and 38 genera of zooplankton, with merely 2 species of saprobic indicators included. Prior to the mid-line project,  $H'$  values were above 1.00 in all stations with mean value at 2.33, which went down and then up after the start-up of the mid-line project, reaching a maximum value of 3.33. Comprehensive data analysis indicated that the water system within the main canal and the reservoir body was stable, where the nutrition type was regarded as mesotrophy.

**Keywords:** the Mid-line Project of South-North Water Diversion; water source area; plankton; biological monitoring; diversity index of Shannon-Weiner