

## 南水北调中线水源区富营养化研究

李玉英<sup>1,2</sup> 高宛莉<sup>1</sup> 李家峰<sup>3</sup> 王庆林<sup>1</sup> 梁子安<sup>1</sup> 胡兰群<sup>4</sup> 程序<sup>2</sup>

(1. 南阳师范学院 生命科学与技术学院, 河南 南阳 473061; 2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094;  
3. 南阳市南水北调中线工程办事处, 河南 南阳 473000; 4. 南阳市环境保护监测站, 河南 南阳 473000)

**摘要** 为了给建立南水北调中线水源区长期生态研究数据信息库及生态工程规划提供科学依据,在丹江口水库建立陶岔(渠首)自动监测点,丹江库心、大石桥(入库上游)和汉江库区丹江口坝前监测点,于2004-03—2006-05对南水北调中线水源区微生物菌群、浮游生物与理化指标进行监测。按水样采集标准方法采样,采用污水生物系统法、营养状态指数法和单因子评价法对中线水源区进行富营养化程度评价。在4个监测点共采集到浮游生物94属202种(含变种),未发现水体污染指示种。浮游植物8门67属161种(含变种),占浮游生物种的80%,浮游植物污染指示种21属24种(含变种),-中营养型占浮游植物污染指示种38%;浮游动物27属41种(含变种),占浮游生物种的20%,包括3种浮游动物污染指示种;水源区叶绿素a质量浓度为 $4.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,营养状态指数0.0001;理化检测指标中除总氮(类)外,其他指标均符合Ⅲ类水质标准。中线水源区为寡污型水体,处于中营养状态,符合南水北调调水水质的要求。

**关键词** 中线水源区;南水北调;富营养化;浮游生物;微生物菌群;理化指标

中图分类号 X824

文章编号 1007-4333(2007)05-0041-07

文献标识码 A

## Study on eutrophication in water resource area of the mid-line project of south to north water division

Li Yuying<sup>1,2</sup>, Gao Wanli<sup>1</sup>, Li Jiafeng<sup>3</sup>, Wang Qinglin<sup>1</sup>, Liang Zi'an<sup>1</sup>, Hu Lanqun<sup>4</sup>, Cheng Xu<sup>2</sup>

(1. College of Life Science and Technology, Nanyang Normal University, Nanyang 473061, China;

2. College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

3. Office of the Mid-line Project of South to North Water Division of Nanyang, Nanyang 473000, China;

4. Nanyang Environment Prevention and Supervision Station, Nanyang 473000, China)

**Abstract** Microorganisms, plankton, and physicochemical indexes were monitored at four stations of Qushou, Kuxin, Dashiqiao and Dam to establish the scientific foundation of the databank of the long-term ecological research and the layout of ecological project of the water resource area of the mid-line project of south to north water diversion from March 2004 to May 2006. Water samples were collected using standard methods. Saprobic system, trophic status index, and sole factor method were used to evaluate the trophic status of the water resource area. The samples contained 202 species (varieties), 94 genera of plankton. No hypermesotrophic indicators occurred in this water area. There were 161 species (varieties), 67 genera, and 8 divisions of phytoplankton accounting for 80% plankton, with 24 species (varieties) saprobic indicators, 21 genera with 38% of -mesotrophication. There were also 41 species (varieties), and 27 genera of zooplankton occupying 20% plankton with 3 species (varieties) saprobic indicators. Chla concentration was  $4.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and nutrition status index was 0.0001. The physicochemical indexes except total nitrogen are under the standard of Ⅲ type water. All results showed that the nutrition type of this water area could be regarded as mesotrophy, and Danjiang reservoir is suitable for water resource area.

**Key words** water resource area of the mid-line project; south to north water division; eutrophication; plankton; microorganisms; physicochemical indexes

南水北调中线水源区位于豫、鄂、陕三省交界处 的丹江口水库,是汉、丹两江并联水库,界于东经

收稿日期: 2007-07-27

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(0511030700)

作者简介: 李玉英, 副教授, 博士研究生, E-mail: lyying200508@163.com; 程序, 教授, 博士生导师, 通讯作者, 主要从事农业生态与可持续发展研究, E-mail: chengxu@cau.edu.cn

111°01' ~ 111°18', 北纬 32°55' ~ 33°48' 之间, 处于北亚热带向暖温带的过渡带, 流域面积  $9.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 总库容 408.5 亿 t。中线引水口在丹江口水库的丹江库区下游陶岔处。水源区光热、水资源比较丰富, 区域内森林覆盖率平均为 53.68%, 年日照时数 2 019 h, 年均气温 15.4 °C, 年积温 5 123.3 °C, 年均降雨量 808 mm。丹江口水库独特的地理位置, 使其水质保持较好, 但发生水质污染的因素和隐患依然存在<sup>[1-2]</sup>。随着中线调水系统启动期限 2010 年的邻近, 结合生物学和理化监测手段对水源区水质作出科学评价尤为重要。已有大量研究通过生物资源调查<sup>[3-9]</sup>或水物理化学监测<sup>[1, 6-8]</sup>对湖泊水质进行营养化程度评价, 并对其评价指标量化<sup>[3, 5, 7-10]</sup>。众多研究表明将污染物、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<sup>[7-10]</sup>。浮游生物群落是湖泊主要生物群落, 其种类和数量变化是湖泊水质变化的重要指标, 与水体营养状态密切相关, 在水体生物学监测及评价中占有重要地位<sup>[3-10]</sup>。自丹江口水库建库以来, 对水质的研究与评价主要集中在汉江库区及中下游<sup>[11-17]</sup>。本研究在中线水源区进行, 并侧重于在生态调查基础上从水化学和生物学角度对水质进行综合评价。本研究旨在为中线水源区生物资源的可持续开发利用、流域生态工程建设以及建立中线水源区长期生态研究数据信息库提供科学依据。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域

丹江口水库分丹江和汉江库区, 根据地理位置设丹江库区的中线渠首陶岔自动监测点、丹江库心和丹江入库上游大石桥监测点; 汉江库区丹江口坝前监测点(图 1)。

### 1.2 样品采集与检测

2004 年四季, 2005 年春、夏, 2006 年夏季共 7 次在 4 个监测点采样。按水样采集标准采集微生物、浮游生物、叶绿素 a 和理化检测样, 所采样品均于 24 h 内带回实验室, 参照文献<sup>[10, 18]</sup>处理, 浮游植物和浮游动物种类鉴定参照文献<sup>[19-22]</sup>进行。微生物指标参照文献<sup>[18, 23]</sup>测定。

渠首水质的理化检测由设在陶岔的自动监测仪完成(同时进行人工平行样测定), 其他站(点)的水温、pH、溶解氧、电导率用 CTD (SBE9 型) 在现场测定, 透明度用塞氏盘法测定, 总磷、总氮、5 d 生化需

氧量、化学需氧量、高锰酸盐指数及叶绿素 a 参照文献<sup>[18]</sup>测定。汉江库区水质数据来自国家环境保护总局的全国主要流域重点断面水质自动监测周报。

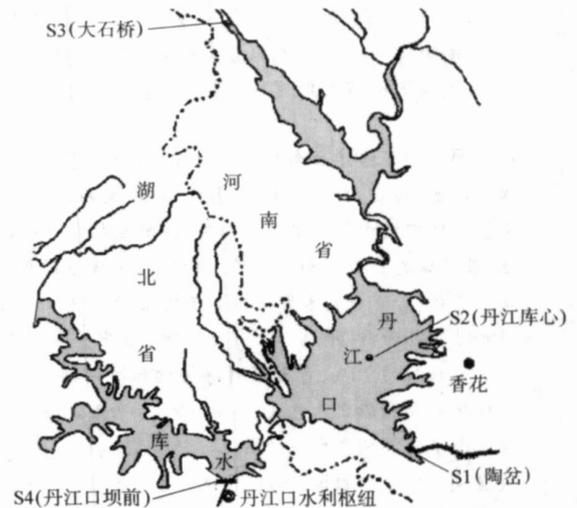


图 1 南水北调中线水源区监测点分布

Fig. 1 Location of sampling stations on the water resource area of the mid-line project of south to north water division

### 1.3 水质评价标准

**1.3.1 微生物学评价标准** 细菌总数采用污水微生物系统法, 其评价标准是:  $> 10^6 \text{ cfu/mL}$ , 多污带;  $10^5 \sim 10^6 \text{ cfu/mL}$ , -中污带;  $< 10^5 \text{ cfu/mL}$ , -中污带;  $< 10^2 \text{ cfu/mL}$ , 寡污带。《地表水环境质量标准》(GB38382—2002) 规定: Ⅰ类水, 粪大肠菌群数 200/L; Ⅱ类水, 2 000/L; Ⅲ类水, 10 000/L。《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/L。

**1.3.2 浮游植物群落评价标准** 指示性浮游植物群落污染等级划分标准: 蓝藻门  $> 70\%$ , 耐污种大量出现为多污带; 蓝藻门约 60%, 藻类总数较多为 -中污带; 硅藻及绿藻门各约 30% 为 -中污带; 硅藻门  $> 60\%$  为寡污带<sup>[3, 5]</sup>。

**1.3.3 叶绿素 a 评价标准** 用叶绿素 a 质量浓度 ( $\text{mg/m}^3$ ) 评价湖泊富营养化时, 常以营养状态指数 TSI 为评价指标,  $\text{TSI}(\text{Chla}) = 10 \times [6 - (2.04 - 0.68 \ln C)] / \ln 2$ ;  $\text{TSI} < 37$ , 贫营养型;  $37 < \text{TSI} < 53$ , 中营养型;  $\text{TSI} > 53$ , 富营养型<sup>[4]</sup>。

**1.3.4 水理化指标单因子评价标准** 《地表水环境质量标准》(GB38382—2002) 规定 Ⅰ类水质标准: pH 6~9, 溶解氧质量浓度  $> 7.5 \text{ mg/L}$ , 化学需氧量  $< 15 \text{ mg/L}$ , 生化需氧量  $< 3 \text{ mg/L}$ , 铵态氮  $< 0.15$

mg/L,总磷 0.02 mg/L (湖,库 0.01),总氮 0.2 mg/L 等。类标准适用于源头水和国家自然保护区。

Sladeczek 依生化需氧量 (mg/L) 制定的评价标准:寡污带,  $0 < \text{生化需氧量} < 2.5$ ; -中污带,  $2.5 < \text{生化需氧量} < 5$ ; -中污带,  $5 < \text{生化需氧量} < 10$ ;多污带,  $\text{生化需氧量} > 10$ <sup>[8]</sup>。评价湖泊富营养化状态的单项评价标准:贫营养,透明度 1 m,总氮 0.04 ~ 0.08 mg/L,总磷 0.002 ~ 0.005 mg/L;中营养,透明度 < 1 m;富营养,透明度 < 0.5 m<sup>[10]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 水源区微生物菌群时空分布及水质评价

2004—2006 年南水北调中线水源区微生物学监测结果(表 1)显示:4 个监测点微生物菌群结构及丰度有时空变化。所检测样品中,大石桥监测点无论细菌数或大肠菌群数都较高,而丹江库心所有微生物指标则较低,细菌指标均明显低于其他 3 个监测点指标,且大肠菌群及粪大肠菌群均未检出。

表 1 南水北调中线水源区微生物菌群时空分布(2004—2006)

Table 1 Temporal and spatial distribution of microorganisms in the water resource area of the mid-line project of south to north water division during 2004—2006

监测点	采样日期	细菌总数/(cfu/mL)	大肠菌群数/(1/L)	粪大肠菌群数/(1/L)	异养菌数/(cfu/mL)
陶岔	2004-03	380	70	70	
	2004-05	4 400	920	350	
	2004-09	190	35	9	
	2004-11	12 000	8		
	2005-03	221	8	2	
	2005-05	150	17	13	3
	2006-05	670	360	340	120
丹江库心	2004-03	89	<2	<2	
	2004-05	8	<2	<2	
	2004-09	13	<2	<2	
	2004-11	50	<2	<2	
	2005-03	5	<2	<2	
	2005-05	72	<2	<2	2
	2006-05	89	<2	<2	12
大石桥	2004-05	420	290	240	
	2004-09	4 600	920	5	
	2004-11	450	49	<2	
	2005-05	610	70	20	3
	2006-05		2 400	2 400	
丹江口坝前	2005-05	680	130	20	14
	2006-05	590			100

依据水质的微生物学评价标准,表 1 数据表明,丹江库心的细菌、大肠菌群和粪大肠菌群指标均符合生活饮用水标准,各监测点微生物学指标均符合地表水 Ⅲ类水质标准。异养细菌在维持水域生态系统的多样性和稳定性,污染物降解和水环境修复等方面起着重要作用,但水环境中异养细菌丰度与水质标准之间的关系尚未有定论。

### 2.2 水源区浮游植物种类及水质评价

2.2.1 浮游植物种类组成 于 2004-03—2006-05 在南水北调中线水源区 4 个监测点共采集浮游植物

8 门 67 属 161 种(含变种),其中硅藻 19 属 63 种(含变种),占 39%;绿藻门 21 属 45 种(含变种),占 28%;蓝藻门 14 属 33 种,占 20%;裸藻门 2 属 5 种,占 5%;金藻门 1 属 5 种(含变种),占 3%;黄藻门 4 属 4 种,占 2%;甲藻门 2 属 2 种,占 1%(图 2)。各监测站浮游植物种类不一,以陶岔监测点较多;一年中夏季种类较多,春、冬季较少。

中线水源区盘星藻、直链藻、甲藻、颤藻等种类常年出现,几乎分布在整个水源区,但各监测点之间的优势种群不完全一致:大石桥和丹江库心监测点,

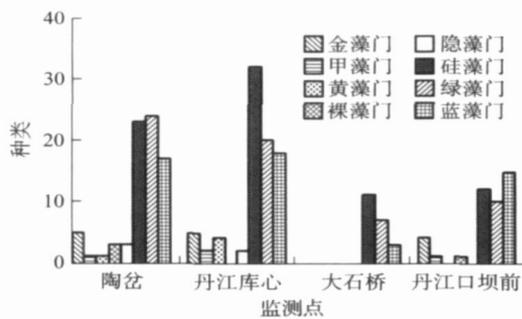


图2 南水北调中线水源区浮游植物组成

Fig. 2 Species composition of phytoplankton in the water resource area of the mid-line project of south to north water division

为硅藻-绿藻-蓝藻型,比例分别为52%、33%、14%和41%、26%、23%,其中硅藻以直链藻占优势;大石桥监测点未发现甲藻、金藻、黄藻、裸藻和隐藻,其他3个监测点这5门藻类也较少。丹江口坝前为蓝藻-硅藻-绿藻型,比例分别为38%、31%、26%;陶岔监测点为绿藻-硅藻-蓝藻型,比例分别为33%、32%、24%,其中绿藻以盘星藻占绝对优势。分析结果表明,大石桥监测点浮游植物群落呈河流型生物特征,其他3个监测点呈湖泊型生物特征。

**2.2.2 浮游植物污染指示种及水质评价** 浮游植物是水生态系统生物资源的重要部分,也是反映水体富营养化程度的主要指标,藻类的种群结构和污染指示种是湖泊营养型评价的重要参数。本研究浮游植物监测结果(表2)显示,在中线水源区共检出浮游植物污染指示种21属24种,未检出水体重污染指示种。贫营养型浮游植物6属7种,分别占丹江口坝前和丹江库心监测点浮游植物污染指示种的50%和45%;-中营养型浮游植物7属9种(含变种),分别占大石桥和陶岔监测点浮游植物污染指示种的55%和40%;--中富营养型浮游植物3属3种;-富营养型浮游植物5属5种,其中在陶岔监测点发现--中富营养型2种、-富营养型4种(表2)<sup>[9,18,24]</sup>。根据詹玉涛等<sup>[3]</sup>和郭沛涌等<sup>[5]</sup>利用指示性浮游植物群落划分污染等级的标准,南水北调中线水源区水体为-中污型水体。陶岔监测点位于渠首闸内侧,目前尚未启动调水系统,其浮游植物种类组成与其他3个监测点有很大差异,61%的污染指示种在该监测点出现。

**2.2.3 水源区叶绿素a及水质评价** 叶绿素a是反映水体富营养化程度的一个重要参数。中线水源区4个监测点的叶绿素a质量浓度年间差异较小,

均值为 $4.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,营养状态指数为0.0001,表明该水域藻类生物量较低,根据TSI判定标准<sup>[4]</sup>,中线水源区水体处于贫营养状态。

### 2.3 水源区浮游动物种类组成及水质评价

在水源区采集到浮游动物4类:原生动动物、轮虫、枝角类和桡足类,共27属41种(含变种),其中原生动物占49%,枝角类占24%,轮虫类占20%,桡足类占7%(图3)。辐射变形虫(*Amoeba radiosa* Ehrenberg)、螺形龟甲轮虫(*Keratella oochlearis* (Gosse))、沟渠异足猛水蚤(*Canthocamptus staphylinus* (Jurine))在各监测点均检测到,为水源区浮游动物的优势种。各监测点浮游动物以陶岔监测点种类最多,占总种类的71%。该水域共检出剪形臂尾轮虫(*Brachionus forficula* Wierzejskis)、沟渠异足猛水蚤(*Canthocamptus staphylinus* (Jurine)) and 脆弱象鼻虫(*Bosmina fatalis* Burckharde)3种污染指示种,仅占检出浮游动物的7%,前2种为-中污染种,而第3种为贫污染指示种<sup>[18,24]</sup>,并且都在陶岔监测点出现。

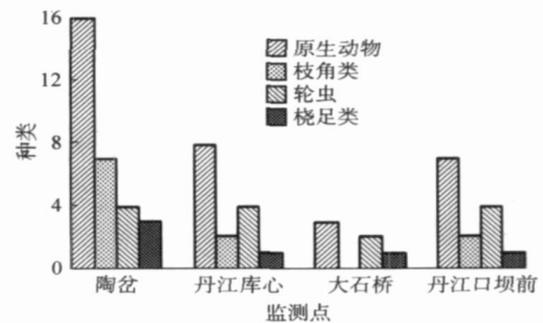


图3 南水北调中线水源区浮游动物组成

Fig. 3 Species composition of zooplankton in the water resource area of mid-line project of south to north water division

### 2.4 水源区水质理化特性及水质评价

根据《地表水环境质量标准》(GB38382—2002),2004—2006年南水北调中线水源区理化指标除总氮符合Ⅲ类水质标准(1.0)外,其他监测指标均符合Ⅱ类水质标准,这些指标季节间和年间差异不显著。3年间7次检测结果显示水源区水质是稳定的(表3)。尽管大石桥监测点生化需氧量稍高,但经过水域生态系统的自净,陶岔、丹江库心的生化需氧量均小于 $2.5 \text{ mg}/\text{L}$ ,透明度几乎都大于1m,根据Sladeczek的生化需氧量评价标准<sup>[8]</sup>及金相灿等<sup>[10]</sup>的单因子评价标准,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浮游植物污染指示种组成

Table 2 Generic composition of saprobic indicators of phytoplankton in the water resource area of the mid-line project of south to north water division

浮游植物污染指示种种类	监测点和采样时间												指示等级
	S1				S2				S3		S4		
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T3	T4		
金藻门 <i>Chrysophyta</i> (Chr)													
花环锥囊藻 <i>Dinobryon sertularia</i>	+						+				+		os
甲藻门 <i>Dinophyta</i> (Din)													
飞燕角甲藻 <i>Ceratium hirundinella</i>	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	os
隐藻门 <i>Cryptophyta</i> (Chr)													
卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	+												-ms
丝藻 <i>Ulothrix</i> sp.	+												-ms
金团藻 <i>Volvox aureus</i> Her				+	+			+					os
硅藻门 <i>Bacillariophyta</i> (Bac)													
长刺根管藻 <i>Rhizolenia longiseta</i> Zacharias						+							-ms
美丽双菱藻 <i>Suriella elegans</i>											+		os
柔弱双菱藻 <i>Suriella tenera</i>						+					+		os
尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>			+			+			+	+			-ms
尺骨针杆藻 <i>Synedra ulna</i>						+			+	+			-ms
中型膜孔平板藻 <i>Tabellaria fenestrata</i>						+			+	+		+	os
绿藻门 <i>Chlorophyta</i> (Chl)													
衣藻 <i>Chlamydomonas</i>	+												-ms
普通小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i> Beij										+			-ms
库津新月藻 <i>Closterium kuetzingii</i>	+												os
格孔单突盘星藻 <i>Pediastrum simplex</i> var. <i>clathratum</i>		+	+	+		+	+	+	+	+			-ms
斯氏盘星藻 <i>Pediastrum sturmii</i>	+	+		+					+	+			-ms
甲栅藻 <i>Scenedesmus armatus</i>	+									+			-ms
斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>										+			-ms
球囊藻 <i>Sphaerocystis Schroeteri</i>													-ms
蓝藻门 <i>Cyanophyta</i> (Cya)													
鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.	+												-ms
纳氏腔球藻 <i>Coelosphaerium naegelianum</i>	+									+			-ms
克氏微囊藻 <i>Microcystis grevillei</i> Hass		+				+	+	+			+		-ms
小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>		+	+	+		+				+	+	+	-ms
细小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>		+	+					+					-ms

注：S1, 陶窑; S2, 丹江库心; S3, 大石桥; S4, 丹江口坝前。T1, 2004 年全年; T2, 2005-03; T3, 2005-05; T4, 2006-05。os, 贫营养型; -ms, -中营养型; -ms, -中富营养型; -ms, -富营养型。“+”出现。

### 3 结论与讨论

1) 2004—2006 年对南水北调中线水源区进行富营养化监测, 共鉴定浮游生物 94 属 202 种(含变种), 未发现水体富营养化指示种。浮游植物 8 门 67

属 161 种(含变种), 占浮游生物种的 80%, 其中硅藻占浮游植物种的 39%, 浮游植物污染指示种 21 属 24 种(含变种), -中营养型浮游植物占污染指示种的 38%。浮游动物 27 属 41 种(含变种), 占浮游生物种的 20%, 原生动物占浮游动物种的 49%, 有

表3 南水北调中线水源区水质理化指标检测结果(2004—2006)

Table 3 Physicochemical indexes monitored on the water resource area of the mid-line project of south to north water division during 2004—2006

监测点	采样日期	水温/ pH	透明 度/ m	电导率/ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	(溶解氧)/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	(铵态氮)/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	(总氮)/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	(总磷)/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	化学需氧 量/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	生化需氧 量/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	高锰酸盐指 数/ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	
陶岔	2004-03	10.2	6.91	1.4	278	8.37	0.835	0	<10.0	<2.00		
	2004-05	23.0	7.32	1.5	358	8.15	0.827	0	<10.0	<2.00		
	2004-09	27.4	7.50	0.9	256	7.67	0.717	0.005	12.6	2.34		
	2004-11	18.6	8.33	2.5	210	8.12	0.709	0.005	17.9	4.10		
	2005-03		8.14			11.30	0.020	0.613	0.050	2.07	1.70	
	2005-05	20.5	8.10	1.5	320	8.93	0.093	0.757	0.005	<10.0	<2.00	2.94
	2006-05	19.0	8.07		266	8.67	0.424	0.618	0.005	12.2	<2.00	
丹江库心	2004-03	10.0	6.94	3.77	313	8.74	0.714	0	<10.0	<2.00		
	2004-05	22.0	7.32	2.1	314	8.49	0.726	0	<10.0	<2.00		
	2004-09	27.0	8.47	2.65	252	7.02	0.637	0.005	11.0	2.27		
	2004-11	19.6	8.29	3	200	8.24	0.614	0.005	10.0	2.00		
	2005-03		8.09			12.50	0.020				1.70	
	2005-05	20.3	8.36	10	320	9.32	0.062	0.567	0.005	<10.0	2.26	1.60
	2006-05	19.0	8.52		263	10.20	0.257	1.150	0.005	12.4	<2.00	
大石桥	2004-03	17.0	8.35			7.06			20.0	3.99		
	2004-05	22.0	7.70			7.85			18.0	3.24		
	2004-09	21.0	8.34			6.78			15.4	3.54		
	2004-11	18.5	7.53			7.69			16.4	4.00		
	2005-03						0.231		12.3	2.58		
	2005-05	18.0	8.33			8.88	0.214		<10.0	<2.00		
	2006-05	16.0	7.96		254	7.16	0.025	0.418	0.050	19.6	3.08	
丹江口坝前	2004-03		7.79			10.00	0.120				2.00	
	2004-05		7.22			10.30	0.110				2.00	
	2004-09		8.40			7.38	0.080				1.50	
	2004-11		8.35			10.50	0.080				2.00	
	2005-03		8.16			12.30	0.080				1.80	
	2005-05	20.0	8.10			8.65	0.060				2.00	
	2006-05	21.0	7.90			10.00	0.110				1.90	

3种浮游动物污染指示种。水源区叶绿素 a 质量浓度  $4.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 营养状态指数 0.000 1。理化检测指标中除总氮外, 其他均符合 Ⅲ类水质标准。综合评价中线水源区为寡污型水体, 处于中营养状态, 符合南水北调调水水质的要求。

2) 绿藻和蓝藻数量多, 甲藻、黄藻和金藻反之, 常是污染的象征; 而绿藻和蓝藻数量下降, 甲藻、黄藻和金藻数量增加, 则反映水质的好转。在严重污染地区浮游动物中枝角类和桡足类种类和数量往往减少<sup>[18]</sup>。浮游动物一般滤食浮游植物, 因而浮游动物的数量及生物量随着浮游植物而变化, 但同时二者之间的关系也受细菌、腐屑量和鱼类的食性影响<sup>[7]</sup>。本研究在汉江和丹江 2 个库区有代表性位置

设置的 4 个监测点的微生物卫生学检测结果显示, 近岸渠首和丹江口坝前以及丹江入库上游的大肠菌群和粪大肠菌群数皆高且不受采样时间影响, 但丹江库心 3 年均未检出; 因此, 可通过控制和减少人、禽、畜粪便向库区及支流排入减少水质污染。与在该水域相关研究<sup>[11-17]</sup>相比, 生物种类组成及所占比例存在差异, 可能与调查目的、生态环境条件和采样方法及时间有关。丹江口水库蓄水前(1958 年)浮游植物种类组成为硅藻型, 呈现河流型生物特征<sup>[12]</sup>。1987 年调查结果显示坝前为绿藻-蓝藻-硅藻型, 水域生物呈现湖泊型特征<sup>[13]</sup>。1993 年调查结果显示各点皆以硅藻占绝对优势, 坝前为硅藻-蓝藻-甲藻型, 结合理化特性, 综合评价水质为贫-中营

养型<sup>[11]</sup>。本研究结果显示,中线水源区浮游硅藻占浮游植物的 31%~52%,浮游生物污染指示种大多集中在近岸监测点。20 世纪 3 次丹江口水库浮游生物调查资料及本研究结果显示,丹江口水库浮游生物资源种类组成随着时间变迁而改变。张家波等预测,中线调水工程启动后,由于生境多样化,将会使水源区浮游生物和中下游底栖生物增加<sup>[14]</sup>。

3)按照南水北调工程“先节水后调水、先治污后通水、先环保后用水”的原则,中线调水的前提条件是:水源区丹江口水库水质必须满足国家地表水环境质量标准Ⅲ类要求。2000 年理化监测结果显示,丹江口水库水体为中营养状态,除总磷外,库区水质各项指标均满足Ⅲ、Ⅳ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<sup>[11]</sup>。本研究的 3 年理化监测结果显示,总磷指标已好转,但总氮超标(达Ⅳ类),其他监测因子均达Ⅲ、Ⅳ类水质标准,整个水域生态系统自净能力比较强,富营养化程度较低,因此综合评价水源区水质是稳定的。中线水源区总氮指标近年超标,与工农业生产排污和城市生活污水排放有关。

4)针对南水北调中线水源区水质现状,要确保水源区水质长期稳定和库区经济持续发展,对丹江口水库各干流进行流域生态工程规划已是当务之急,中线水源区应逐渐优化流域内的产业结构,推广生态农业、林业、旅游、工业,治理点面源污染,削减水体营养负荷,把营养物质的输入控制在水域生态系统自净能力范围内,以实现中线水源区水资源的可持续开发利用。

### 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] 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
- [3] 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
- [4] 高玉荣.北京四海浮游藻类叶绿素浓度与水体营养水平的研究[J].水生生物学报,1992,16(3):237-244
- [5] 郭沛涌,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
- [6] 张光生,王明星,叶亚新,等.太湖富营养化现状及其生态防治对策[J].中国农学通报,2005,20(3):235-257
- [7] 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
- [8] 舒金华.我国主要湖泊富营养化程度的评价[J].海洋与湖沼,1993,24(6):616-620
- [9] 况琪军,马沛明,胡征宇,等.湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J].安全与环境学报,2005,5(2):87-91
- [10] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].第2版.北京:中国环境科学出版社,1990
- [11] 韩德举,彭建华,简东,等.丹江口水库的饵料生物资源及水体营养状态评价[J].湖泊科学,1997,9(1):62-676
- [12] 波鲁茨基 EB,伍献文,白国栋,等.丹江口水库库区水生生物调查和渔业利用意见[J].水生生物学集刊,1959(1):33-5
- [13] 杨广,杨干荣,刘金兰.丹江口水库浮游生物资源调查[J].湖北农学院学报,1996,16(1):38-42
- [14] 张家波,余秋梅,王明学.南水北调中线工程对丹江口水库及汉江中下游生态环境和鱼类饵料生物影响的预测[J].水利渔业,1998(1):3-5
- [15] 况琪军,谭渝云,万登榜,等.汉江中下游江段藻类现状调查及水华成因分析[J].长江流域资源与环境,2000,9(1):63-70
- [16] 向贤芬,陈受忠,曹文宣.汉江中下游春季浮游甲壳动物群落结构的时空差异[J].长江流域资源与环境,2004,7(3):187-192
- [17] 李修峰,黄道明,谢文星,等.汉江中游秋季浮游动物的初步研究[J].水利渔业,2006,26(2):56-59
- [18] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].第4版.北京:中国环境科学出版社,2002
- [19] 韩茂森.淡水浮游生物图谱[M].北京:农业出版社,1980
- [20] 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
- [21] 蒋燮治,堵南山.中国动物志-淡水枝角类[M].北京:科学出版社,1979
- [22] 沈嘉瑞.中国动物志-淡水桡足类[M].北京:科学出版社,1979
- [23] 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[J].上海水产大学学报,2000(3):209-213
- [24] 日本生态学会环境问题专门委员会.环境和指示生物(水域)[M].北京:中国环境科学出版社,1987