

标准差权重模糊评价法对南水北调中线 水源区水质的评价

庞发虎¹,张乃群¹,李玉英¹,柴彦君²,杜瑞卿¹

(1 南阳师范学院 生命科学与技术学院,河南 南阳 473061;2 华中农业大学 资源与环境学院,湖北 武汉 430070)

【摘要】 【目的】对南水北调中线水源区水营养度做出及时、准确、合理的综合评价,为水资源合理有效地监测、改善和利用服务。【方法】2004-03~2006-08对南水北调中线水源区渠首(S1)、库心(S2)、丹江口水库上游大石桥(S3)3个采样点水体进行了9项理化指标的检测,并应用标准差权重模糊评价法对水质进行综合评价。【结果】南水北调中线水源区9个理化指标在3个采样点上有差异;由标准差权重模糊评价法加权海明距离最小值(在S1、S2和S3 3个采样点分别为0.128 9、0.158 5和0.142 4)可知渠首水质处于中营养状态;库心水质处于贫营养状态;丹江口水库上游大石桥水质处于中营养状态;由叶绿素营养状态指数(44.169)可知南水北调水源区水质处于中营养状态。【结论】目前南水北调中线水源区水质营养状况并不理想,基本处于中营养状态,还有待改善;用标准差权重模糊评价法对水质进行综合评价较单指标评价法更为全面准确。

【关键词】 南水北调中线水源区;理化检测;标准差权重模糊评价法;水营养度

【中图分类号】 X13

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2008)02-0229-06

Evaluation of water quality by standard deviation weight fuzzy assessment on water source area in Middle Line Project of Transferring Water from South to North

PANG Fa-hu¹, ZhANG Nai-qun¹, LI Yu-ying¹, CHAI Yan-jun², DU Rui-qing¹

(1 College of Life Sciences and Tchnology, Nanyang Normal University, Nanyang, Henan 473061, China;

2 College of Resources and Environment Sciences, Huazhong Agriculture University, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract:【Objective】Accurate, prompt and reasonable evaluation of water quality in water source area in Middle Line Project of Transferring Water from South to North can be used to monitor, improve and utilize the water resources effectively.【Method】According to the investigating and monitoring of 9 physico-chemical index at three points in water source area of the Middle Line Project of Transferring Water from South to north in Qushou(S1), Kuxin(S2), Danjiangkou upper reservoir Dashiqiao(S3), water quality was evaluated by using standard deviation weight fuzzy assessment from march 2004 to august 2006.【Result】There were differences of among the different sample sites using physicochemical index monitoring; The weighted haiming distance minimum of standard deviation weight fuzzy assessment in S1, S2, S3 three section were respectively 0.128 9, 0.158 5 and 0.142 4, from these we concluded that Qushow(S1) belongs to middle nutrition status; Kuxin(S2) belongs to deficient nutrition staus; Danjiangkou upper reservoir Dashiqiao(S3) belongs to middle nutrition status; Cholrophyll nutrition status index was 44.169, water quality on water source area of Middle Line Project of Transferring Water form South to Morth belongs to middle

* [收稿日期] 2007-02-14

[基金项目] 河南省自然科学基金项目(0511030700)

[作者简介] 庞发虎(1975—),男,山西运城人,讲师,硕士,主要从事植物生理生态研究。E-mail: pangfahu@163.com

nutrition status.【Conclusion】 Water quality nutrition status is not suitable in sater source area of Middle Line Project of Transferring Water from South to North,belongs to middle nutrition status. Standard deviation weight fuzzy assessment was more accurate and comprehensive and worth applying.

Key words: water source area of Middle Line Project of Transferring Water from South to North; physicochemical monitoring;standard deviation weight fuzzy assessment;water nutrition status

南水北调工程包括西线、中线和东线工程,是我国水资源调整的一项重大战略性基础工程。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,是亚洲最大的人工淡水湖 ,控制流域面积 9.5 万 km²,总库容量达 408.5×10⁸ t^[1]。取水源头在河南省南阳市境内,包括西峡、淅川和内乡 3 个县(图 1)。丹江口水库的入库河流水量大,水质较好。但随着库区周围地区经济的不断发展,自然和人为因素使入库干、支流水质发生变化,必将影响丹江口水库的水质^[1]。南北水调中线水源区的水质状况,不仅关系到该水源区居民生活用水和工农业用水,而且影响到下游以及京、津地区居民生活用水和工农业用水。因此,及时、准确、科学地对该水源区水质进行监测、分析研究及合理评价具有重要的现实意义。同时,采用新的研究手段对该水源区水质进行科学合理的评价,在学术上也有一定的交流价值。

为详细的资料,为进一步研究该地区水质状况奠定了基础。但已有的研究主要围绕水资源的浮游植物、微生物菌群状况对水质的影响,缺少以水质理化指标的综合性对水质进行评价研究;在研究方法上,也主要是依据单一理化指标逐一分析,未进行多指标综合性评价。

水体的富营养化指 N、P 等营养物大量进入水体,使得水体中藻类等浮游生物旺盛增殖,从而破坏了水体的生态平衡,使水体失去原有的价值。在自然条件下,贫营养化水体转化为富营养化水体的过程极其缓慢。但在人为因素的干扰下,此过程可能变得很迅速^[5]。对水质营养程度的评判,往往采用多个指标,多个级别标准来衡量,而每项指标实测值与水质营养程度标准分类级别的指标值相比,表现参差不齐。如果仅从某一两项指标来确定水质营养程度,既不全面也不科学,应该采用多指标综合评价法,对水质做出客观的评价,才比较科学合理。本研究在前人研究的基础上,于 2004-03~2006-08 对南水北调中线水源区水质的多项理化指标进行监测,并采用标准差权重模糊评价法对丹江口水库水质营养程度进行了综合评价,旨在为南水北调中线工程水源环境的保护、持续发展规划、科学研究提供一定的依据,同时为建立水源区生态监测机制提供基础资料。

1 研究方法

1.1 采样点的布设

国家环境监测总站授权河南南阳市环境保护监测站监测在南水北调中线水源区设置的 S1、S2 和 S3 3 个水质监测点,S1、S2 和 S3 依次为渠首(陶岔)、库心(小太平洋)和丹江入库上游(大石桥)(图 1)。

1.2 水样的采集与理化指标的测定

2004-03~2006-08 分季节在 S1、S2、S3 3 个水质监测点分别进行水样采集。春季为:3~5 月,夏季为:6~8 月,秋季为:9~11 月,冬季为:12~2 月,各月中旬测 1 次,每个采样点每次取 20 个水样进行测定,取平均值作为月测量值,然后再按季求各指标月平均值作为季值。水温(T)、pH、溶解氧(DO),在 S1 水质监测点由设在渠首的自动监测仪测定(同时



图 1 南北水调中线水源区采样点的布设位置
S1. 渠首;S2. 库心;S3. 大石桥
Fig.1 Location of the sampling sites of water source area of the Middle line Project of Rtasferring Water from South to Worth
S1. Qushou;S2. Kuxin;S3. Dashiqiao
近年来,张乃群等^[2]、李玉英等^[3]、李运贤等^[4]对该水源区水质进行了长期的调查研究,取得了较

进行人工平行样测定),其他两个水质监测点采用便携式仪器测定。透明度(SD)采用塞氏盘法测定^[6]。总磷(TP)、总氮(TN)、生物耗氧量(BOD)、化学耗氧量(COD)参照《水和废水监测分析方法》测定^[6]。

叶绿素含量(Chl)采用分光光度法测定。具体方法为:采集水样 0.5 L,低温避光保存,用 0.45 μm 孔径的醋酸纤维滤膜,抽滤后,将滤膜剪碎,放入研钵,加入少许碳酸镁和 10 mL 体积分数 90% 的丙酮研磨(其中 6 mL 左右用于研磨,其余用于润洗),倒入离心管,混匀保存 10 h,离心(3 000 r/min, 10 min),取上清液,用体积分数 90% 丙酮定容至 10 mL。用 SP-200 型分光光度计测定上清液的吸光度,采用联合国科教文组织(1996)推荐的公式计算 Chl 含量^[7]。

1.3 标准差权重模糊评价法

标准差权重模糊评价法是笔者在前人基础上建立的一种新方法。

1.3.1 实测值矩阵与标准值矩阵的建立 设有 n (本研究中 $n=3$) 个湖泊或水库,每个湖泊有 m (本研究中 $m=6$) 个评价指标,则有 $n \times m$ 阶的实测指

$$\mathbf{E}_{t \times m} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1m} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ e_{t1} & e_{t2} & \cdots & e_{tm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \frac{1}{t-1} & \frac{1}{t-1} & \cdots & \frac{1}{t-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & 1 & \vdots & 1 \end{bmatrix} = (e_{ij})。 \quad (4)$$

计算 j 对象(湖泊或水库) i 指标实测值与相应各个级别划分组限值差的绝对值,例如与 h 级别的绝对值 $M_h = |C_{ji} - S_{hi}|$ 最小,那么实测值隶属度

$$f_{ji} = e_{hi} + \frac{C_{ji} - S_{hi}}{S_{hi} + |C_{ji} - S_{hi}|} \times \frac{1}{t-1}。 \quad (5)$$

利用式(5)将式(1)转化为实测值隶属度矩阵:

$$\mathbf{F}_{n \times m} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots & f_{nm} \end{bmatrix} = (f_{ji})。 \quad (6)$$

1.3.3 各指标权重系数的确立 对式(2)求解,首先对各指标值标准化处理,然后求其标准差,再按各指标的标准差占 m 个指标标准差之和的比例作为各指标的权重系数向量^[8],计算公式如下:

$$d_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^t (S_{ji} - \bar{S}_i)^2}{t-1}}; \bar{S}_i = \frac{\sum_{j=1}^t S_{ji}}{t};$$

$$\omega_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^m d_i} (i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, t)。 \quad (7)$$

标值矩阵为:

$$\mathbf{C}_{n \times m} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1m} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nm} \end{bmatrix}。 \quad (1)$$

若有 t (本研究中 $t=5$) 个级别评价标准,则有 $t \times m$ 阶的标准值矩阵:

$$\mathbf{S}_{t \times m} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1m} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{t1} & S_{t2} & \cdots & S_{tm} \end{bmatrix}。 \quad (2)$$

式中: S_{ij} 为 j 指标 i 级别的划分组限值。

1.3.2 隶属度矩阵的建立 若规定 1 级和 t 级湖泊富营养化标准浓度的隶属度分别为 0 和 1,则用下面的线性内插公式计算标准隶属度:

$$e_{ij} = \frac{i-1}{t-1}, j=1, 2, \cdots, m; i=1, 2, \cdots, t。 \quad (3)$$

式中: j 为指标, i 为级别, e_{ij} 为第 j 指标第 i 级别的隶属度。

得到的式(2)相应标准值隶属度矩阵为:

式中: d_i 为 i 指标的标准差, S_{ji} 为 i 指标 j 级别的划分组限值, $\bar{S}_i$ 为 t 个级别 S_{ji} 的平均值, ω_i 为 i 指标的权重系数,即标准差权重系数。

1.3.4 评价对象与各个评价标准加权海明距离的确立 实测值隶属度矩阵式(6)与标准值隶属度矩阵式(4)之间加权海明距离可用下式计算^[9-10], n 个研究对象中第 j 对象的 t 个加权海明距离分别为:

$$D_{j1} = \sum_{i=1}^m \omega_i |e_{1i} - f_{ji}|, D_{j2} = \sum_{i=1}^m \omega_i |e_{2i} - f_{ji}|, \cdots,$$

$$D_{jt} = \sum_{i=1}^m \omega_i |e_{ti} - f_{ji}|。 \quad (8)$$

如果在 $D_{j1}, D_{j2}, \cdots, D_{jt}$ 中, D_{jh} 的值最小,则说明 j 对象属于 h 级别标准($j=1, 2, \cdots, n$)。

以上运算采用 MATLAB7.0 软件编程计算。

2 结果与分析

2.1 南水北调中线水源 3 个采样点水质区理化指标的检测结果

南水北调中线水源区 3 个采样点 9 个水质理化指标的检测结果见表 1。

表 1 南水北调中线水源区 3 个采样点水质理化指标的测定结果

Table 1 Result of water quality of physiccechemical monitoring at three points in water source area of the Middle Line Project of Transferring Water from South to North

采样点 Sampling point	采样时间 Sampling time	温度/℃ T	pH	溶解氧/ (mg·L ⁻¹) DO	透明度/m SD	总氮/ (mg·L ⁻¹) TN	总磷/ (mg·L ⁻¹) TP	化学耗氧量/ (mg·L ⁻¹) COD	生物耗氧量/ (mg·L ⁻¹) BOD	叶绿素含量/ (mg·L ⁻¹) Chl
S1	春季 Spring	10.2	6.91	8.37	1.40	0.835	0.000	10.0	2.00	0.006
	夏季 Summer	23.0	7.32	8.15	1.50	0.827	0.000	10.0	2.00	0.007
	秋季 Autumn	27.4	7.50	7.67	0.90	0.717	0.005	12.6	2.34	0.005
	冬季 Winter	18.6	8.33	8.12	2.50	0.709	0.005	17.9	4.10	0.002
	年均值 Average	19.8	7.52	8.08	1.575	0.772	0.002 5	12.63	2.61	0.005
S2	春季 Spring	10.0	6.94	8.74	3.77	0.714	0.000	10.00	2.00	0.004
	夏季 Summer	22.0	7.32	8.49	2.10	0.726	0.000	10.00	2.00	0.005
	秋季 Autumn	27.0	8.47	7.02	2.65	0.637	0.005	11.00	2.27	0.002
	冬季 Winter	19.6	8.29	8.24	3.00	0.614	0.005	10.00	2.00	0.001
	年均值 Average	19.65	7.76	8.12	2.88	0.555	0.002 5	10.25	2.07	0.003
S3	春季 Spring	17.0	8.35	7.06	1.50	0.872	0.001	20.0	3.99	0.005
	夏季 Summer	22.0	7.70	7.85	1.60	0.856	0.001	18.0	3.24	0.007
	秋季 Autumn	21.0	8.34	6.78	1.00	0.805	0.006	15.4	3.54	0.003
	冬季 Winter	18.5	7.53	7.69	2.80	0.750	0.006	16.4	4.0	0.001
	年均值 Average	19.63	7.98	7.35	1.725	0.758	0.003 5	17.45	3.693	0.004

2.2 采用标准差权重模糊评价法对水源区水质评价的结果

TN、TP、COD、BOD 和 Chl)年均值组成的实测值矩阵为：

3 个水质监测点 (S1、S2、S3)、6 项指标 (SD、

$$\mathbf{C}_{3\times 6}=\begin{bmatrix}1.575 & 0.772 & 0.002\ 5 & 12.63 & 2.61 & 0.005 \\ 2.88 & 0.555 & 0.002\ 5 & 10.25 & 2.07 & 0.003 \\ 1.725 & 0.758 & 0.003\ 5 & 17.45 & 3.693 & 0.004\end{bmatrix}。$$

(9)

根据参考文献[11],湖泊(水库)的营养度评价 分级标准见表 2。

表 2 6 个指标的营养度评价分级标准

Table 2 Nutrition status graduation standard of 6 indicators

营养度评价级别 Nutrition status evaluating rank	评价指标 Evaluating indicator					
	透明度/m SD	总氮/(mg·L ⁻¹) TN	总磷/(mg·L ⁻¹) TP	化学耗氧量/ (mg·L ⁻¹) COD	生物耗氧量/ (mg·L ⁻¹) BOD	叶绿素含量/ (mg·L ⁻¹) Chl
极贫 Extremely poor	14.00	0.04	0.003	1.0	0.5	0.001 0
贫 Poor	3.00	0.24	0.020	3.0	1.5	0.001 6
中 Middle	1.00	0.77	0.070	6.3	3.0	0.010 0
富 Rich	0.22	4.50	0.40	20.0	10.0	0.160 0
极富 Extremely rich	0.08	15.00	1.500	40.0	20.0	1.000 0

由表 2 得到的标准值矩阵为：

$$\mathbf{S}_{5\times 6}=\begin{bmatrix}14.00 & 0.04 & 0.003 & 1.0 & 0.5 & 0.001\ 0 \\ 3.00 & 0.24 & 0.020 & 3.0 & 1.5 & 0.001\ 6 \\ 1.00 & 0.77 & 0.770 & 6.3 & 3.0 & 0.010\ 0 \\ 0.22 & 4.50 & 0.400 & 20.0 & 10.0 & 0.160\ 0 \\ 0.08 & 15.00 & 1.500 & 40.0 & 20.0 & 1.000\ 0\end{bmatrix}。$$

(10)

利用线性内插公式(3)计算矩阵 $\mathbf{S}_{5\times 6}$ 的标准值隶属 度矩阵为：

$$\mathbf{E}_{5\times 6}=\begin{bmatrix}0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \\ 0.75 & 0.75 & 0.75 & 0.75 & 0.75 & 0.75 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00\end{bmatrix}。$$

(11)

利用线性内插公式(5) 计算矩阵 $C_{3\times 6}$ 的实测值隶属度矩阵为：

$$F_{5\times 6} = \begin{bmatrix} 0.591\ 3 & 0.500\ 6 & -0.035\ 7 & 0.625\ 3 & 0.471\ 2 & 0.420\ 0 \\ 0.240\ 4 & 0.445\ 4 & -0.035\ 7 & 0.596\ 3 & 0.318\ 8 & 0.366\ 7 \\ 0.605\ 1 & 0.496\ 2 & 0.035\ 7 & 0.721\ 7 & 0.546\ 9 & 0.400\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

利用式(7)对矩阵 $S_{5\times 6}$ 进行运算,求权重系数向量：

$W = [0.189\ 9 \quad 0.182\ 2 \quad 0.136\ 3 \quad 0.136\ 5 \quad 0.137\ 4 \quad 0.217\ 7]$ 。(13)

利用式(8),对公式(11)、(12)和(13)进行运算可知：

S1 采样点 5 个营养度评价级别加权海明距离形成的矩阵为： $D1 = [0.449\ 9 \quad 0.268\ 0 \quad 0.128\ 9 \quad 0.309\ 8 \quad 0.559\ 8]$ ；

S2 采样点为： $D2 = [0.336\ 7 \quad 0.158\ 5 \quad 0.199\ 3 \quad 0.423\ 0 \quad 0.673\ 0]$ ；

S3 采样点为： $D3 = [0.470\ 9 \quad 0.279\ 3 \quad 0.142\ 4 \quad 0.279\ 1 \quad 0.529\ 1]$ 。

根据上面的 $D1$ 、 $D2$ 、 $D3$ 可知,S1、S2、S3 3 个采样点在 5 个营养度评价级别上的加权海明距离(表 3)。

表 3 南水北调中线水源区 3 个采样点 5 个营养度评价级别的加权海明距离

Table 3 Hamming distance between 3 sampling point and 5 nutrition status rank of water source area

采样点 Sampling point	加权海明距离 Distance	营养度评价级别 Natrition status evaluation rand				
		极贫 Extremely poor	贫 Poor	中 Middle	富 Rich	极富 Extremely rich
S1	D1	0.449 9	0.268 0	0.128 9	0.309 8	0.559 8
S2	D2	0.336 7	0.158 5	0.199 3	0.423 0	0.673 0
S3	D3	0.470 9	0.279 3	0.142 4	0.279 1	0.529 1

从表 3 可以看出,S1 点水质处于中营养状态,S2 点水质处于贫营养状态,S3 点水质处于中营养状态。这与 S1 点水质中大部分指标处于中营养状态,S2 点水质中大部分指标处于贫营养状态,S3 点水质中大部分指标处于中营养状态的实际情况相符(表 1 和表 2)。S1 点位于渠首,受周围环境影响大,故水质低于处于库心的 S2 点;S2 点位于库心受周围环境影响小,水质较优;S3 点位于丹江水库上游,受生活污染和工业污染较大,其加权海明距离最小值(0.142 4)较 S1 点(0.128 9)大,所以水质营养度较高。

利用叶绿素含量(Chl)评价湖泊富营养化常采用营养状态指数 TSI,其计算公式：

$$TSI = 10 \times [6 - (2.04 - 0.68 \ln Chl) / \ln 2]$$
。

式中:Chl 为叶绿素含量(mg/m³)。

利用 TSI 评价水质营养状态的评价标准为：TSI≤37,水质贫营养型;37<TSI≤53,水质中营养型;TSI>53,水质富营养型^[12-14]。本研究中,渠首 S1 点叶绿素平均含量为 0.005 mg/L,大石桥 S3 点为 0.004 mg/L,库心 S2 点的最低,为 0.003 mg/L,3 个水质监测点 Chl 含量平均值为 0.004 mg/L,计算得 TSI 为 44.169,可知南水北调中线水源区水质处于中营养状态。以上研究表明,对水质营养状态的评价,应采用多项指标综合评价比较准确。

从分析方法来看,由于各指标值所表示的水质营养状况参差不齐,而且受季节的影响,采用单指标逐一分析,要准确确定水质的营养状态是比较困难的,

但是利用标准差权重模糊评价法可以克服单指标的不足。标准差权重模糊评价法既包含了多指标较丰富的信息,又具有科学合理的数学运算方法,方法简便易行,所得结果也比较全面、准确地反映了实际的水质营养状态,且与水质实际营养状态相符很好。

3 讨 论

目前,影响南水北调中线水源区水质的因素主要有:(1)库区生态环境比较脆弱,生态环境质量有待提高;(2)上游流域区内森林覆盖率低,涵养水源功能不足;(3)上游流域区内的工业企业主要为资源开采型和资源消耗型,技术含量低,治污能力差,是该流域区的主要污染源;(4)入库干、支流的沿岸城镇生活污水、工业废水大部分未经处理排入水库,加上库区农业生产水平低下,自然资源被掠夺性开发,且化肥、农药不适当使用,使库区局部有富营养化发生的趋势和条件。

水体的富营养化程度与营养物质、气候条件、生物组成、环境条件、水库调度方式等因素密切相关^[15]。由本研究结果可知,南水北调中线水源区生态系统自净能力较强,水质富营养化程度居中。但是要保证京、津等供水区居民安全用水及工农业生产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,对将建成的渠道进行生态景观廊道布

局设计是关键;另外水源地的豫、鄂、陕三省及沿渠省市应协调共管,建立一套完善的水污染防治体系,有效地防治水质污染和水体富营养化发生,确保南水北调中线水源区生态系统持续健康发展。

4 结 论

丹江口水库作为南水北调中线工程重要的水资源之一,其水质好坏及营养度高低对本地区经济、人民生活健康以及京、津等供水区居民健康、工农业发展均具有重要意义。由本研究的结果可知:

(1)上游水源污染比较严重,水质的多项理化指标值均比较高,水质处于中营养状态。

(2)水库自净能力较好,库心水质较好,处于贫营养状态。渠首受周围环境的影响大,水质处于中营养状态。

(3)标准差权重模糊评价法优于单指标评价法。

[参考文献]

[1] 徐 黎,李光华.南水北调中线工程源头生态环境的综合治理[J].华北水利水电学院学报,2003,24(2):74-77.
Xu L,Li G H. Ecological environment comprehensive treatment in the Mid-Line Project of South to North Water Diversion [J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power,2003,24(2):74-77. (in Chinese)

[2] 张乃群,杜敏华,庞振凌,等.南水北调中线水源区浮游植物及水质评价[J].河南师范大学学报:自然科学版,2006,34(1):179-182.
Zhang N Q,Du M H,Pang Z L,et al. Investigation of phytoplankton and evaluation of water quality in the water source area of Middle Line Project of Transferring Water from South to North [J]. Journal of Henan Normal University: Natural Science Edition,2006,34(1):179-182. (in Chinese)

[3] 李玉英,张乃群,胡兰群,等.南水北调中线工程水源区微生物菌群研究[J].水利渔业,2006,26(4):57-59.
Li Y Y,Zhang N Q,Hu N Q,et al. Reasearch on microflora of the Middle Line Project for Transferring Water from South to North [J]. Reservoir Fisheries,2006,26(4):57-59. (in Chinese)

[4] 李运贤,张乃群,李玉英,等.南水北调中线水源区浮游植物[J].湖泊科学,2005,17(3):219-225.
Li Y X,Zhang N Q,Li Y Y,et al. Study on phytoplankton and evaluation of water quality in water source area of Middle Line Project of Transferring Water from South to North [J]. Journal of Lake Science,2005,17(3):219-225. (in Chinese)

[5] 徐炎华.环境保护概论[M].北京:中国水利水电出版社,2004:77-80.
Xu Y H. Introduction to eniverment protection[M]. Beijing: China Water Power Press,2004:77-80. (in Chinese)

[6] 国家环境保护总局,水和废水监测分析方法编委会.水和废水监

测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002:56-58.
General Adminisraion of Eniverment Protection,The Editorial Committee of Water and Exhausted Water Monitoring Analysis Method. Water and exhausted water monitoring analysis method [M]. 4th ed . Beijing:China Environmental Science Press,2002:56-58. (in Chinese)

[7] 国家环境保护总局.地表水环境质量标准(GB 3838—2002)[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
General Adminisraion of Eniverment Protection. Surface water environment quality standard(GB 3838—2002)[M]. Beijing: China Environmental Science Press,2002. (in Chinese)

[8] 杜瑞卿,王庆林,庞发虎,等.双重标准差法在昆虫科阶元分类学上的应用[J].昆虫学报,2006,49(5):882-886.
Du R Q,Wang Q L,Pang F H,et al. Use of double standard deviation at family level of insect taxonomy [J]. Acta Entomologica Sinica,2006,49(5):882-886. (in Chinese)

[9] 胡著邦,徐建民,全为民.模糊评价法在湖泊富营养化评价中的应用[J].农业环境保护,2002,21(6):535-536.
Hu Z B,Xu J M,Quan W M. Application of fuzzy evaluation method on assessing lake eutrophication [J]. Agriculture En-viroonmental Protection,2002,21(6):535-536. (in Chinese)

[10] 李祚泳,张辉军,邓新民,等.湖泊营养状态的 Hamming 贴近度评价法[J].环境科学研究,1993,16(1):11-15.
Li Z Y,Zhang H J,Deng X M,et al. Method of hamming closeness evaluation to lake nutrition status[J]. Research of Environmenal Sciences,1993,16(1):11-15. (in Chinese)

[11] 李祚泳,丁 晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2004:83-86.
Li Z Y,Ding J,Peng L H. Princile and method on evaluation eniverment quality [M]. Beijing: Chemical Industry Press,2004:83-86. (in Chinese)

[12] 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[J].云南环境科学,2000(2):42-44.
Liu J,Chen H. Evolving in aquatic ecosystem and analysis of the eutrophic state in Xingyun Lake [J]. Yunnan Environment Science,2000(2):42-44. (in Chinese)

[13] 王立武.分层型水库浮游生物的研究[J].水电站设计,1999(3):63-70.
Wang L W. Research on picoplankton in chilled-water reservoir [J]. Design of Hydroelectric Power Station,1999(3):63-70. (in Chinese)

[14] 崔文连,王 勇.崂山水库叶绿素 A 含量与富营养化程度探讨[J].山东环境,1999(3):50-51.
Cui W L,Wang Y. Discussed on chl-a content and eutrophication degree on Laoshan Reservoir [J]. Shandong Environment,1999(3):50-51. (in Chinese)

[15] 舒金华.我国湖泊富营养化程度评价方法的探讨[J].环境污染与防治,1990,12(5):2-6.
Shu J H. Discussion about methods of assessment for water entrophication in China[J]. Environmental Pollution and Control,1990,12(5):2-6. (in Chinese)