

## 门楼水库水质富营养化现状评价与治理对策\*

李嘉竹, 刘贤赵

(鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 264025)

**摘要:**在对 2004 年门楼水库相关水质指标进行监测的基础上,以叶绿素 a(Chl a)、总磷(TP)、总氮(TN)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)和透明度(SD)等表征富营养化的指标作为评价因子,对门楼水库富营养化进行了现状评价和原因分析。结果表明,整个门楼水库处于中营养状态,总氮的污染分担率达 39.2%,从而得出总氮是引起水库富营养化的主要污染物,而面源污染是造成水库总氮超标的最主要原因。最后提出了治理门楼水库富营养化的对策。

**关键词:**门楼水库;富营养化;总氮;面源

中图分类号:X524

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)03-0167-03

## Status Evaluation of Water Eutrophication in Menlou Reservoir and Its Countermeasures

LI Jia-zhu LIU Xian-zhao

(College of Geography and Planning, Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China)

**Abstract:** Based on the measures of water quality index in Menlou reservoir in 2004, the indexes of chlorophyll a, total phosphorus, total nitrogen, permanganate value and transparency, which were as the tokens of water eutrophication, were used to evaluate and analyze Menlou Reservoir water eutrophication by means of quantitative analysis. The results showed that the entire Menlou reservoir was in the state of medium nutrition, the pollution rate of the total nitrogen shared in 39.2%, thereby the total nitrogen was the most dominating pollutant. Furthermore, the cause of the pollution leading to the reservoir eutrophication had been found, the leading pollution source was surface source pollution. Finally, the countermeasures of controlling Menlou Reservoir eutrophication were put forward.

**Key words:** Menlou Reservoir; eutrophication; total nitrogen; surface source pollution

地表水的富营养化问题已经引起国内外的高度关注。我国 60% 的天然淡水湖库均存在不同程度的富营养化现象<sup>[1]</sup>。严重的富营养化可造成自然水生生态系统结构的破坏,加速水质恶化,使水体丧失其应有的功能<sup>[2]</sup>,严重影响社会经济的发展和居民的生活质量。门楼水库是烟台市最主要的地表水源地,烟台市用水量的 75% 靠门楼水库供应<sup>[3]</sup>。近年来,由于降雨量减少,使入库水位逐年降低(如 1998 年冬季至 2000 年初,市区累积降雨量仅 359 mm,1999 年 3 月 30 日监测门楼水库水位比正常年份下降 3 m 多),加上库区经济的快速发展,水质开始逐年恶化,并有富营养化的趋势,给市区供水带来了很大的问题,水质富营养化成为门楼水库面临的重大生态环境问题。因此,如何治理门楼水库富营养化水体,恢复水体的综合功能,实现水库多功能综合利用的目标和有效提高水库水资源的利用率,是亟待回答和解决的现实问题。该文在充分调查监测库区污染源的基础上,对水库水体富营养化现状进行了评价,并分析其原因,提出了恢复水体综合功能的治理对策,以便为市区经济和城

乡居民生活水平的持续稳定和健康发展提供科学依据。

### 1 门楼水库水质富营养化现状评价

#### 1.1 样品采集与分析

门楼水库位于烟台市福山区门楼镇以西 2 km 处,控制流域面积 1 077 km<sup>2</sup>,是一座兼供水、防洪、灌溉、发电、养殖、参观、旅游为一体的综合性大型水库。水库总库容 1.97 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,兴利库容 1.33 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,蓄水量 7.6 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,水库自然渗漏和蒸发等约 1.52 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,每年对烟台市区供水达 5 × 10<sup>6</sup> ~ 1 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,是烟台市的主要饮用水源地。试验取样点设在门楼水库入口、中上、中心、东南和出口,于 2004 年每月用有机玻璃采水器采样,按国家最新颁布的标准分析方法及《环境监测技术规范》中规定的标准分析方法测定叶绿素 a(Chl a)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)等水质指标。

#### 1.2 评价方法

水库富营养化评价采用国家环境监测总站生字[2001]

\* 收稿日期:2007-06-21

基金项目:国家自然科学基金项目(40101005)

作者简介:李嘉竹(1983-),女,山东济南人,硕士,主要从事水文与水资源研究。

通信作者:刘贤赵(1970-),男,湖南隆回人,教授,硕士生导师,主要从事区域水资源及利用研究。E-mail: xianzhao@ludong.edu.cn

090 号文中湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定对上述所测指标进行评价。综合营养状态指数计算公式为

$$TLL_{\text{综}} = \sum_{j=1}^m w(j) \cdot TLI(j) \quad (1)$$

式中:  $TLL_{\text{综}}$ ——综合营养状态指数;  $w(j)$ ——第  $j$  种参数的营养状态指数的相关权重(表 1);  $TLI(j)$ ——第  $j$  种参数的营养状态指数。

表 1 门楼水库富营养化指标相关权重

项目	Chl a	TP	TN	SD	COD <sub>Mn</sub>
权重	0.2663	0.1879	0.1790	0.1834	0.1834

各种营养状态指数的计算公式为

$$TLI(\text{Chl a}) = 10(2.5 + 1.086 \ln \text{Chl a}) \quad (2)$$

表 2 水库营养状态分级标准

项目	$TLI_{\text{综}} < 30$	$30 \leq TLI_{\text{综}} \leq 50$	$TLI_{\text{综}} > 50$	$50 < TLI_{\text{综}} \leq 60$	$60 < TLI_{\text{综}} \leq 70$	$TLI_{\text{综}} > 70$
级 别	贫营养	中营养	富营养	轻度富营养	中度富营养	重度富营养

表 3 2004 年门楼水库富营养化评价结果

水库测点	Chl a/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )	SD/ (m)	COD <sub>Mn</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	$TLI_{\text{综}}$	营养状态
水库入口	2.807	0.018	8.78	2.29	3.10	43.62	中营养
水库中上	1.907	0.017	8.80	2.50	3.05	41.95	中营养
水库中心	1.022	0.015	8.53	2.53	2.99	39.53	中营养
水库东南	1.112	0.016	8.66	2.45	3.00	40.14	中营养
水库出口	1.845	0.016	8.55	2.42	2.99	41.60	中营养
平均值	2.807	0.018	8.78	2.29	3.10	41.57	中营养
污染分 担率/%	19.86	12.48	39.23	14.95	13.48		

## 2 门楼水库总氮变化趋势及其超标原因分析

### 2.1 总氮变化趋势

图 1 是 2000-2004 年门楼水库水体总氮变化趋势图。由图 1 可以看出,自 2001 年以来总氮出现升高趋势,其主要原因是自 2001 年以来降雨量较往年增加,且丰水期降雨比较集中,水库汇水区域内面源氮、磷流失,库区周围进入水库含氮物质增加,造成总氮超标。其次是,在 1 a 内,水库水体总氮还具有明显的季节性变化,2004 年枯水期总氮含量最高,达 10.67 mg/L,平水期最低,仅 6.82 mg/L,丰水期居中,为 8.85 mg/L。

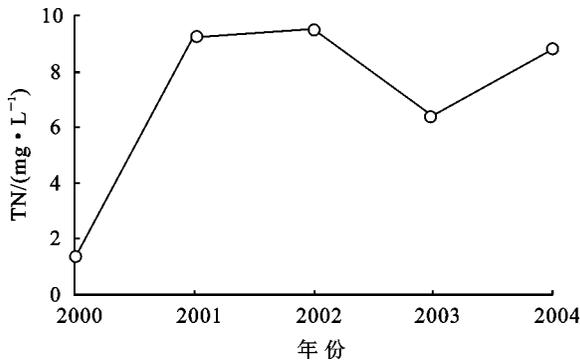


图 1 2000-2004 年门楼水库总氮变化

$$TLI(\text{TP}) = 10(9.436 + 1.624 \ln \text{TP}) \quad (3)$$

$$TLI(\text{TN}) = 10(5.453 + 1.694 \ln \text{TN}) \quad (4)$$

$$TLI(\text{SD}) = 10(5.581 - 1.94 \ln \text{SD}) \quad (5)$$

$$TLI(\text{COD}_{\text{Mn}}) = 10(0.109 + 2.66 \ln \text{COD}_{\text{Mn}}) \quad (6)$$

水库营养状态分级列于表 2。

### 1.3 评价结果

表 3 可知,门楼水库 5 个监测点均处于中营养状态。从各项指标的污染分担率看,2004 年总氮的污染分担率最高为 39.23%,其次是叶绿素 a,污染分担率为 19.86%,总磷的污染分担率最小,仅为 12.48%。根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002),总氮超 V 标准 4 倍多,总磷却满足 II 标准。可见总氮超标是造成门楼水库水质营养化的主要原因,控制水库无机氮入库量是控制水库富营养化的关键。

### 2.2 总氮超标原因分析

造成门楼水库总氮含量超标的原因较多。根据水库中氮磷等富营养物质来源的不同,可分为外部源和内部源。内部源主要来源于水库内部,包括底泥的营养盐回归及生物体的死亡分解以及悬浮物和大量浮游生物等。门楼水库水体较浅,阳光穿透性好,水体含氧丰富,加上水库水体更新速度慢,富含营养盐的底质可使水体的高浓度的氮磷维持相当长的时间,有可能导致水库总氮含量超标。

外部源主要包括来自食品、原料加工、肥料、皮革等城镇工业废水和生活污水的点源以及农业区的牲畜饲养圈、粪肥渗漏、农业生产所用农药、化肥和作坊污水的地表径流非点源以及库区的降雨、降尘等。由表 4 可看出,外部源中的面源污染是造成水库总氮严重超标的最主要原因。

表 4 2004 年门楼水库库区主要污染物排放量和入库量

项目	COD/(t·a <sup>-1</sup> )	氨氮/(t·a <sup>-1</sup> )	总氮/(t·a <sup>-1</sup> )
点源	1570.5(1267.2)	137.8(108.3)	246.5(187.1)
面源	2137.2(758.6)	799.8(239.9)	5467.3(2004.8)
合计	3707.7(2025.8)	937.6(348.2)	5713.8(2191.9)

注:括号内数据为库区污染物入库量。

#### 2.2.1 农业面源氮肥流失严重

门楼水库地处农业区,库区内多丘陵,土壤含水性能差,农业生产所用土地比例较大,实有耕地面积占库区面积的 25.4%,加之农村耕地多为梯田,化肥施用面广量大,从而造成农用氮肥大量流失。据统计,库区周围的 1.65×10<sup>3</sup> hm<sup>2</sup> 耕地中,1996-1998 年化肥使用强度分别为 1 260,1 286,1 346 kg/hm<sup>2</sup>,呈逐年上升趋势。2004 年化肥施用量为 2 710 t,氮肥施用量一般约占化肥总用量的 60%,氮肥流失率约占氮肥用量的 70%,而流失的氮肥大多以硝酸盐形态存在,待降雨期间随径流进入水库。据此推算,库区仅 2004 年化肥流失总氮入库量约 1 138.2 t,占入库总氮量的 51.9%,是造成水库总氮、总磷营养物质超标的主要污染源,从而引起水库水质向富营养化转化。

### 2.2.2 牲畜饲养污染

门楼水库库区是烟台市重要的农业区,区内牲畜饲养数量巨大,且以家庭散养方式为主。据统计,2004 年区内养殖大牲畜 4.845 5 万头,羊、兔、家禽计 69.485 3 万头。区内禽畜养殖业总氮入库量达 623.5 t,占入库总氮量的 28.45%,是总氮超标的重要原因之一。

### 2.2.3 库区生活点源污水排放

门楼水库库区主要在栖霞市境内,栖霞城区生活污水大多未经处理,直接排放进入水库水体。据报道,在自然条件下,1 kg 污水可产生 110 mg 硝酸盐氮<sup>[4]</sup>。若按此系数估算,栖霞库区范围内共居住非农业人口  $12.15 \times 10^4$  人(2004 年),按人均排放生活污水 5 L/d 计,共产生污水  $2.217 4 \times 10^5$  t/a,可产生硝酸盐氮 2 439.1 t/a。污水由各家单独排放或渗入地下,或就近排入沟渠,在雨季尤其是暴雨期间,随地表漫流或经河道汇入库中,也是造成总氮超标的原因之一。

## 3 治理门楼水库富营养化的对策与建议

污染的本质是资源的浪费,富营养化作为一种污染也不例外,它是氮磷等营养物质在流域环境中的浪费。因此,在水库富营养化的防治上,应着眼于营养物质浪费问题的解决,从上游周边地区到水库水体做到物尽其用。即优先考虑总氮的充分利用,入库总氮的控制和出库总氮的携出。

### 3.1 强化环保意识,加强面源削减

针对门楼水库面源污染严重的现实,应强化库区居民的环保意识,加强政策和舆论宣传,增强水资源保护的责任心和紧迫感。①在政府的引导下,积极推行生态农业建设,禁止化肥、农药的过量使用,大力推广有机肥料,鼓励使用生物农药,最大限度地减少化肥、农药的入库量,以改善生态环境,实现农业可持续发展,把生态农业建设与农村经济发展紧密结合起来,正确处理长远与当前、经济与生态的关系,最终实现生态效益、经济效益和社会效益的统一。②合理调整库区分散养殖与集中养殖的比例,逐步以集中养殖取代分散养殖,从而对粪污进行集中处理。同时研究开发禽畜粪便综合利用技术,使污染变资源。

### 3.2 加强水资源调度管理

建立一个统管水源、供水、用水、排水、水质控制的区域性权威管理机构,加强水库交换水体的调度能力。水库调度运行时,要尽可能以高水位为主,低水位时,营养物质浓度较高,此时应调入清洁水,以维持水库较高水位。这样,一方面有利于营养盐的稀释,另一方面加强了水库水体的流动性,降低了库底的光照强度,有利于抑制藻类的增殖,从而使水库经济、社会和环境综合效益达到最佳。

### 3.3 加强“一个中心区域”和“两个重点部位”的建设

“一个中心区域”是指在门楼水库的周边地区采取 5 项措施:一是对位于门楼水库南侧内岛的  $93.3 \text{ hm}^2$  荒山丘进行科学规划,植树种草,实行多层次立体绿化,防治水土流失。二是加强林地保护,提高水库上游林木覆盖率,增强保持水土和涵养水源的能力,使库区林木覆盖率提高到 50%。三是兴修水利基础设施,增加灌溉面积,提高库水的利用率。

四是严把新上项目审批关,杜绝库区范围新污染源的产生。

五是建立栖霞污水处理厂,对城区污水进行集中处理,削减入库污染物。2004 年,仅栖霞市重点源废水排放量就达  $5.0 \times 10^5$  t,排入门楼水库的生活污水主要来自栖霞城区。随着经济的发展和城市化进程的加快,栖霞城区生活污水和工业废水的日排放量达  $3 \times 10^4$  t 以上,排放量还将日趋增多。

“两个重点部位”是指农业高新区和卫家疃生态示范村建设。目的是通过局部生态环境的改善,促进整个门楼水库生态功能区环境质量的提高。其措施是加快基础设施建设,完成农业高新区“十”字形道路框架及落户企业的田间道路修筑,并配套完成两侧排水沟建设和绿化带修建,使农业高新区的载体功能不断加强。建立高标准生态示范村,发展大樱桃、葡萄、梨等果品基地,建立绿色无污染生产基地。

### 3.4 严格控制流入水库水体中的营养物质氮、磷的负荷量

以保护门楼水库饮用水源地水质为目标,加强监测和水环境影响评价,对污染源实行总量控制。实行计划、节约用水,统一调配、分质供水。已有研究表明,磷对水体富营养化的作用远大于氮,磷的含量较低时就可以引起富营养化作用<sup>[5]</sup>。尽管门楼水库磷的浓度还不高,但水体富营养化的关键不是水质营养物质的浓度,而是不断流入水体的营养物质氮、磷的负荷量。因此,一定要搞好库区内现有污染源的管理,控制新污染源的产生,特别是含磷污水的排放量。

### 3.5 探索利用生物性治理措施

生物性措施是指利用水生生物(藻类、各种高等水生植物)吸收利用氮、磷元素的代谢活动去除水体中氮、磷营养物质从而达到恢复水体应有功能的方法。结合门楼水库浅水区域较多的特点,可重点搞好浅水区生态恢复工作。①投放鱼苗改善水质。采用人工放苗、不投饵料、不施肥的粗放型养殖方式,加强对底层沉淀物的利用,有效保护鱼类资源在鱼类最快生长期内让其尽量生长,以充分利用浮游植物资源,提高水质。②培植大型高等水生植物。针对水库水草面积萎缩的状况,利用 5-6 月水库低水位期在库北种植速生、生活周期长、饵料价值高且耐污的大型水生植物,以便在汛期来水后生长起来,有效吸收水体中 N、P 营养物质,提高水体透明度。这就要求水库的水利调度在调整水位方面能够满足水生植物的生长特性,水生植物长成后而未达到一定规模前禁止各种捕捞以利其增殖。

### 3.6 疏浚底泥

由于水库内生物和底泥对氮、磷的释放,水库的富营养化状况会出现反复波动。门楼水库库区以丘陵、坡地为主,降雨月份集中,水库的污染底泥较厚。所以应加强水库内源污染的研究,对污染底泥存在的危害性及分布进行调查和分析,确定是否对污染底泥进行疏浚和处置。底泥氮磷释放在营养物质污染负荷比例中最小,但在干旱年其底泥的释放足以致使水库富营养化。因此,在外源污染控制后,就应着手控制底泥氮磷释放的方法。

### 3.7 开展水库富营养化模拟预测研究

在查明门楼水库富营养化成因的基础上,进一步探索富

盐度是控制芦苇生长的一项重要环境因子,由于驯化和对生境的适应,芦苇对盐度的耐受性有所不同,已报道的最大耐受极限有英国的 1.2%,纽约的 2.9%,红海岸的 4.0%<sup>[11]</sup>。盐度在 2% 以上时可以抑制芦苇种子萌芽,降低到 1% 以下时则不会影响种子的萌发。

#### 4 结 论

(1) 由于环境因子的影响,黄河三角洲湿地芦苇生物量较低,且样地间差异显著,地上生物量介于 56.04~ 1 668.45 g/m<sup>2</sup>,地下和地上生物量之比介于 1.25~ 2.37。

(2) 在影响芦苇生物量的多种限制因素中,最显著的是盐度,地上和地下生物量随土壤盐度的增加而减少。由于生长受到土壤盐度的抑制,芦苇的形态和群落结构特征(株高、茎粗和植株密度等)发生改变,从而影响生物量。

(3) 水深是最主要的促进因子,地上生物量随着水深的增加而增加,而地下与地上生物量的比值则随着水深的增加而减少,这主要是由于水深改变了芦苇群落的结构(群落密度)和植株的形态特征(株高、茎粗)。

(4) 半闭流状态的水体中营养物质含量高,N 含量对芦苇的生长有促进作用。由于新生土壤肥力低,水体中的营养物质是芦苇主要的营养源。N 含量越高,芦苇植株累积的干物质就越多。

(5) 在黄河三角洲,土壤有机质含量低,对芦苇生物量影响不显著。

#### 参考文献:

[1] Chambers R M, Meyerson L A, Saltonstall K. Expansion of *Phragmites australis* into tidal wetlands of North America[J]. Aquatic Botany, 1999, 64: 261-273.  
 [2] Haslam S M. Biological flora of the British Isles. *Phragmites communis* Trin[J]. Journal of Ecology, 1972, 60: 585-610.

[3] Mauchamp A, Blanch S, Grillas P. Effect of submergence on the growth of *Phragmites australis* seeding[J]. Aquatic Botany, 2001, 69: 147-164.  
 [4] 邵成,陈中林,董厚德. 辽河河口湿地芦苇的生长及生物量研究[J]. 辽宁大学学报: 自然科学版, 1995, 22(1): 89-94.  
 [5] Westlake D F. The primary productivity of water plants[C]//Symoens J J, Hooper S S, Compere P. Studies on aquatic vascular plants. Brussels: Royal Botanical Society Belgium, 1982: 165-180.  
 [6] 段晓男,王晓科,欧阳志云,等. 乌梁素海野生芦苇群落生物量及影响因子分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 246-251.  
 [7] Tschamntke T. Insects on common reed (*Phragmites australis*) community structure and the impact of herbivory on shoot growth[J]. Aquatic Botany, 1999, 64: 399-410.  
 [8] Vretare V, Weisner S E B, Strand J A, et al. Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth[J]. Aquatic Botany, 2001, 69: 127-145.  
 [9] Van Der Putten W H, Peters B A M, Van Der Berg M S. Effects of litter on substrate conditions and growth of emergent macrophytes[J]. New Phytologist, 1997, 135: 527-537.  
 [10] 吴志芬,赵善伦,张学雷. 黄河三角洲盐生植被与土壤盐分的相关性研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 184-193.

(上接第 169 页)

营养化发生的机理,建立富营养化趋势预测模型,为门楼水库富营养化治理及时准确地提供科学依据。

#### 参考文献:

[1] 王蕾,杨敏,郭志海. 密云水库水质变化规律初探[J]. 中国给水排水, 2006(13): 45-48.  
 [2] 陈水勇,吴振明,俞伟波. 水体富营养化的形成、危害和

影响[J]. 环境科学与技术, 1999(2): 11-15.  
 [3] 黄昕,刘帮玉. 烟台市区水资源供需矛盾及对策[J]. 水资源保护, 2002(1): 55-57.  
 [4] 张智,林艳,梁健. 水体富营养化及其治理措施[J]. 重庆环境科学, 2002, 2(4): 52-54.  
 [5] 陈英旭. 环境学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001: 118-119.