

洋河水库富营养化评价及防治对策

李文奇¹, 蔡金榜², 逢 勇², 肖兴富³

(1. 中国水利水电科学研究院水环境研究所, 北京 100038 ; 2. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098 ; 3. 洋河水库管理处, 河北 秦皇岛 066001)

摘要 在分析洋河水库富营养化发展及现状的基础上, 采用营养状态指数法对其营养状况进行综合评价。评价结果表明, 洋河水库富营养化日趋严重, 已经由 1990 年的中营养发展到 2004 年的重度富营养。对富营养化成因进行分析, 结果表明内源污染和外源污染是造成洋河水库富营养化的主要原因, 其中淀粉废水和地表径流是主要的外污染源。最后根据分析结果提出洋河水库富营养化的防治对策。

关键词 洋河水库 水体富营养化 营养状态指数 内源污染 外源污染

中图分类号 X524 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2007)02-0016-04

Eutrophication assessment of Yanghe Reservoir and its control measures

LI Wen-qi¹, CAI Jin-bang², PANG Yong², XIAO Xing-fu³

(1. Department of Water Environment, IWHR, Beijing 100038, China ; 2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ; 3. Management Division of Yanghe Reservoir, Qinhuangdao 066001, China)

Abstract Through analysis of the development and present state of water eutrophication in Yanghe Reservoir, the water eutrophication was evaluated comprehensively by using trophic status indices. The results show that the eutrophication of Yanghe Reservoir becomes serious gradually and it has changed from the mesotrophication in 1990 to severe eutrophication in 2004. The study on the causes of eutrophication shows that internal pollution sources and external pollution sources are the main causes for the eutrophication in Yanghe Reservoir, especially the starch wastewater and surface runoff. According to the analysis, some countermeasures were proposed to control the eutrophication of water body.

Key words Yanghe Reservoir ; eutrophication of water body ; trophic status index ; internal pollution sources ; external pollution sources

洋河水库是秦皇岛市重要的饮用水水源地, 近些年来, 随着经济活动的频繁, 地表径流带入水库的营养盐不断增多, 导致夏季蓝藻大爆发, 水库富营养化日益严重, 影响了水库的饮用水水源功能。因此, 对洋河水库进行富营养化综合评价及成因分析具有重要意义, 可以为洋河水库的富营养化控制提供科学依据。

1 洋河水库基本情况

洋河水库位于秦皇岛市抚宁县大湾子村北, 距抚宁县城 10 km, 于 1962 年建成蓄水, 兴利库容 1.36 亿 m³, 是跨流域调水工程‘引青济秦’的调蓄水

库。水库控制流域面积 755 km², 占洋河全流域面积的 68.6%, 是一座以城市供水为主, 兼顾防洪、灌溉及发电等综合利用的大(II)型水库。水库多年平均蓄水 7500 万 m³, 平均水面面积 13 km², 平均水深 5.7 m。

2 洋河水库富营养化发展及现状

从十几年前开始, 洋河水库就出现了富营养化特征, 其表现为库水水体叶绿素 a、总氮和总磷浓度不断上升, 透明度下降, 夏秋季爆发‘水华’现象。水色已经由建库初期的浅蓝色变成了目前的浅绿色^[1]。

1985 年, 水库‘水华’现象不明显, 主要在暑期末期, 集中在水库的部分水域。1990 年 7 月底至 9

月初,水库的大部分水域爆发‘水华’现象。1992 年 9 月中旬,水位 48.45 m、库容 0.31 亿 m³ 时,水库出现了以鱼腥藻为优势种的藻类爆发性增殖,形成了“水华”,水体散发出‘六六六’农药味道,水质指标急剧下降。1995 年 11 月中旬,当水位 56.98 m、库容 1.47 亿 m³ 时,水库又出现了以颗粒直链藻最窄螺旋变形和微囊藻为优势种的藻类爆发性增殖,水体细胞密度高达 3.67 万个/mL,严重影响了水库功能的发挥^[2]。1999 年,水库水体已达富营养化,“水华”现象出现在 7 月中旬至 9 月中旬的所有水域。

目前,水库水草大面积萎缩,水体已经由 1990 年的草藻混合型过渡到以微囊藻为优势种的藻浊型。水库富营养化现象日愈严重,每年夏秋季都有较大规模的以微囊藻为优势种的‘水华’爆发,并产生有毒有害物质,藻类死亡后尸体降解消耗水中大量溶解氧,恶化水体环境,对水生生物生长极为不利,产生令人不快的味道,同时引起供水能力下降,其水质对人体健康构成潜在威胁^[3]。水库水体呈‘藻浊型富营养化状态’,水质属Ⅳ~Ⅴ类水质标准^[4]。

3 洋河水库富营养化综合评价

3.1 评价方法

目前,水库富营养化评价采用较多的有营养物浓度评价、生物指标评价和综合评价 3 种方法,前两种方法偏重于从某一方面进行富营养化评价,评价的结果往往比较片面,而综合评价则是采用多指标进行评价,能够比较全面地反映出水体的营养状况。综合评价主要有特征法、参数法和营养状态指数法。本文采用相关加权营养状态指数法对洋河水库富营养化进行评价。

3.2 评价因子

评价因子选择 Chla、TP、TN、SD、COD_{Mn} 等 5 个浓度参数进行评价。

3.3 评价公式

3.3.1 评价因子营养状态指数计算公式

$$\begin{aligned} T(\text{Chla}) &= 10(2.5 + 1.086\ln\rho(\text{Chla})) \\ T(\text{TP}) &= 10(9.436 + 1.624\ln\rho(\text{TP})) \\ T(\text{TN}) &= 10(5.453 + 1.694\ln\rho(\text{TN})) \\ T(\text{SD}) &= 10(5.118 - 1.94\ln\rho(\text{SD})) \\ T(\text{COD}_{\text{Mn}}) &= 10(0.109 + 2.661\ln\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})) \end{aligned}$$

式中:Chla 单位为 mg/m³,SD 单位为 m,其他指标单位均为 mg/L。

3.3.2 综合营养状态指数计算公式

$$T_{\Sigma} = \sum_{j=1}^m W_j T_j$$

式中: T_{Σ} 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的

营养状态指数的相关权重; T_j 代表第 j 种参数的营养状态指数。

3.3.3 相关权重计算公式

以 Chla 作为基准参数,则第 j 种参数的归一化相关权重计算公式为

$$W_j = r_{ij}^2 / \sum_{j=1}^m r_{ij}^2$$

式中: r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 Chla 的相关系数; m 为评价因子的个数。

3.3.4 湖泊(水库)营养状态分级

采用 0~100 的一系列连续数字对湖泊(水库)营养状态进行分级。

贫营养: $T_{\Sigma} < 30$ 中营养: $30 \leq T_{\Sigma} \leq 50$ 富营养: $T_{\Sigma} > 50$ 轻度富营养: $50 < T_{\Sigma} \leq 60$ 中度富营养: $60 < T_{\Sigma} \leq 70$ 重度富营养: $T_{\Sigma} > 70$ 。在同一营养状态下,指数值越高,其营养程度越严重。

3.4 相关权重的确定

根据洋河水库历年水质监测结果,分别对 TP、TN、SD、COD_{Mn} 与 Chla 进行相关性分析,其分析结果见表 1、图 1。

表 1 洋河水库 Chla 与其他参数的相关关系

参数	Chla	TP	TN	SD	COD _{Mn}
r_{ij}	1	0.81	0.61	-0.77	0.58
r_{ij}^2	1	0.6561	0.3721	0.5929	0.3364
W_j	0.3381	0.2218	0.1258	0.2005	0.1137

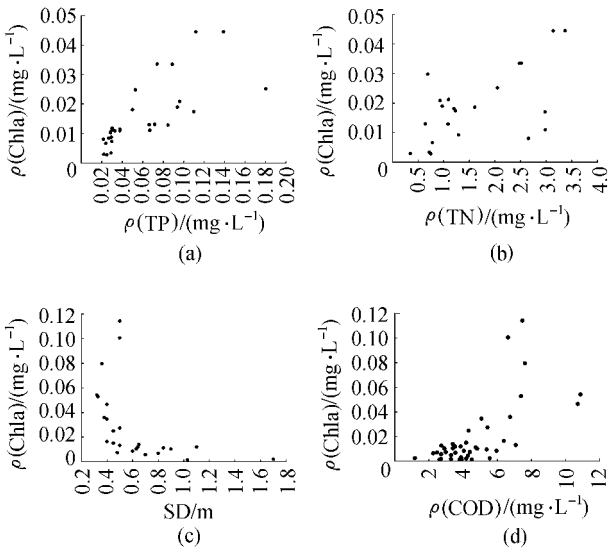


图 1 洋河水库水体 Chla 与 TP、TN、SD、COD_{Mn} 的关系

相关分析结果表明,洋河水库水体中的 Chla 与 TN、TP、COD_{Mn} 都呈正相关,其中与总磷的相关性比较显著,因为磷是洋河水库富营养化的限制性营养盐;Chla 与透明度 SD 呈显著的负相关。因此,在综合评价中,Chla、TP、SD 所占的权重比较大,而 TN、COD_{Mn} 的权重比较小。

3.5 评价结果及分析

洋河水库每年 8 月份都要爆发“水华”,是一年水质最恶劣的时期,对此时水库富营养化的评价能够很好说明水库水体富营养化的发展情况,因此,根据 1990 年、1999 年、2000 年和 2004 年水库 8 月份水质监测结果(表 2)对水库进行富营养化综合评价,其评价结果见表 3。

表 2 洋河水库水质监测数据

日期	$\rho(\text{Chla})/(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	SD/ m	$\rho(\text{COD})_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
1990-08	3.35	0.029	0.72	1.65	2.30
1999-08	33.54	0.073	2.52	0.52	5.54
2000-08	44.47	0.139	3.14	0.39	5.51
2004-08	96.91	0.147	3.53	0.20	6.08

表 3 洋河水库营养状况综合评价结果

日期	单因子营养状态指数 T_j					综合营养状态指数 T_{Σ}	营养状态
	Chla	TP	TN	SD	COD_{Mn}		
1990-08	38.13	36.86	48.97	41.46	23.25	38.18	中营养
1999-08	63.15	51.86	70.19	63.87	46.65	59.79	轻度富营养
2000-08	66.21	62.31	73.91	69.45	46.50	64.72	中度富营养
2004-08	74.67	63.22	75.90	82.40	49.12	70.92	重度富营养

从表 3 可以看出,①水库富营养化日益严重,已经由 1990 年的中营养化发展到 2004 年的重度富营养化,这与野外观察的结果基本一致,说明该评价结论符合实际情况;②在 5 个评价因子中,除 2004 年外,总氮的营养状态指数都是最高的,说明水库氮污染比较严重,同时也说明水库的营养状态是磷控制型的;③ COD_{Mn} 的营养状态指数最低,因为 COD_{Mn} 与 Chla 的相关性不显著,水库“水华”的爆发对 COD_{Mn} 的影响不大。

4 洋河水库富营养化成因分析

洋河水库富营养化主要表现为水体中营养物浓度过高,从表 2 可以看出近 10 年来水库总氮、总磷浓度大幅度上升,2004 年 8 月份水库总氮、总磷浓度分别是 1990 年 8 月份的 4.9 倍和 5.1 倍。洋河水库营养物的来源主要为内源和外源两类。

4.1 内源污染

洋河水库水量输入主要有地表径流、库面降水、桃林口水库引水以及农田灌溉回归水等几种途径,而水量输出则有城市供水、农田灌溉和水面蒸发等几种形式。对水库水质多年的监测结果表明,出库水的氮磷浓度明显低于入库水的氮磷浓度,因此造成氮磷在底泥中积累。

以 2004 年为例,入库水量为 9 557 万 m^3 ,而出库水量为 6 758 万 m^3 ,入库水量是出库水量的 1.41 倍;总磷、总氮的输入量分别为 27.646 t/a 和 526.285 t/a,

而总磷、总氮的输出量分别为 5.819 t/a 和 117.678 t/a,由此可见,2004 年约有 21.827 t 磷和 408.607 t 氮在水库内累积下来。

据 2004 年洋河水库底泥分布的测量结果(图 2)可知,水库底泥厚度在 0.1 ~ 1.75 m 之间,平均厚度为 0.96 m,其中主要是上层淤泥参与和水库水的物质交换过程,使底泥中的氮、磷释放到水体中,成为较大的内源污染。根据文献[5]底泥氮磷含量监测结果,计算洋河水库底泥中沉积的氮、磷总量分别为 6 293 t 和 1 903 t。根据洋河水库底泥氮磷释放室内模拟试验,即可估算出水库底泥每年向水体释放的总氮、总磷量分别为 222.886 t 和 6.826 t。

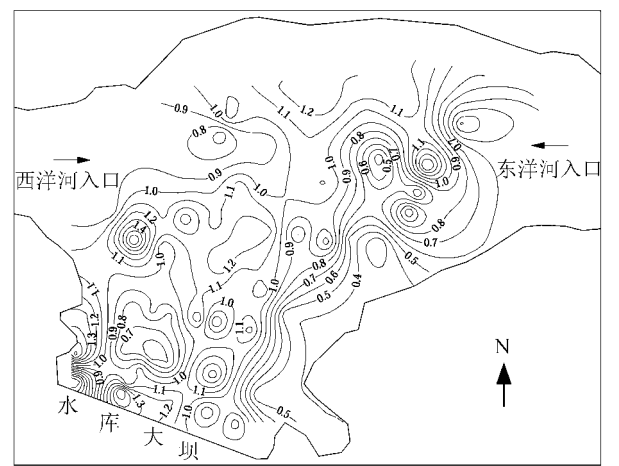


图 2 洋河水库底泥分布示意图

4.2 外污染源

洋河水库上游地处山区,基本上没有明显的工业点源污染,营养物的主要来源为地表径流和西洋河上游淀粉废水的直接排放等[6]。

4.2.1 地表径流

洋河水库流域内有两条干流 东洋河和西洋河。东洋河发源于青龙县界岭下,流域面积 306 km^2 ,西洋河发源于卢龙县北部的冯家沟,流域面积 343 km^2 ,两河之间有麻姑营河等季节性河流直接汇入洋河水库[7],其平面位置见图 3。2004 年,在西洋河富贵庄站、麻姑营河麻姑营站和东洋河北寨站对入库营养盐进行监测,根据监测结果计算出的入库营养盐数量见表 4。

表 4 2004 年各河流径流量和入库营养盐量

河流	径流量/ (万 $\text{m}^3\cdot\text{a}^{-1}$)	TP/ ($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)	TN/ ($\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$)
西洋河	2 746.11	4.720	130.374
东洋河	3 543.04	3.394	292.755
麻姑营河	221.59	0.132	23.156
合 计	6 510.74	8.246	446.285

4.2.2 淀粉废水

洋河水库的西洋河上游是种植和加工白薯比较

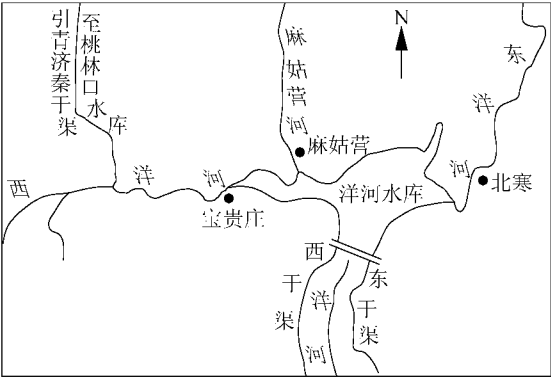


图3 洋河水库流域示意图

集中的区域,每年9月末至11月上旬,农民利用简陋的粉碎装置,在田间地头、户院把白薯粉碎、过滤加工成淀粉,此时产生大量含高浓度营养盐的废水,汇集河道后流入洋河水库^[5]。2003年和2004年分别在西洋河富贵庄断面对淀粉废水进行监测,根据监测结果计算的入库淀粉废水量和营养盐量见表5。

表5 富贵庄淀粉废水入库情况

年份	监测 天数	入库淀粉废水/ (万 m ³ ·a ⁻¹)	TP/ (t·a ⁻¹)	TN/ (t·a ⁻¹)
2003	38	234	12.2	47.4
2004	55	358	19.4	80.0

4.3 结果分析

2004年洋河水库污染源统计如下:①在外源污染中(表6),入库总磷、总氮量分别为27.646t和526.285t,其中淀粉废水入库总磷含量占全年入库总磷量的70.17%,东洋河地表径流入库总氮量占全年入库总氮量的55.63%。②底泥年释放总磷、总氮量分别为6.826t和222.886t,分别是外源污染的24.69%和42.35%。

表6 2004年流入洋河水库外源污染统计

外源污染	TP		TN	
	入库总量/ (t·a ⁻¹)	占入库总量 百分比/%	入库总量/ (t·a ⁻¹)	占入库总量 百分比/%
西洋河	4.720	17.07	130.374	24.77
东洋河	3.394	12.28	292.755	55.63
麻姑营河	0.132	0.48	23.156	4.40
淀粉废水	19.400	70.17	80.000	15.20
合计	27.646	100.00	526.285	100.00

5 洋河水库富营养化防治对策

5.1 控制外污染源

a. 采取工程措施消减淀粉污水入库负荷。在近期内难以实现流域内的农产品种植结构的调整及改革淀粉加工方式和工艺的条件下,在上游干支流河道上构筑临时拦截坝,利用河道容积拦蓄淀粉水,发挥其氧化塘作用,经过秋、冬、春3个季节,降解了污染物。经对截流淀粉污水的降解效果监测实验知道,污

染物浓度经过秋、冬、春3个季节的自然降解,氮、磷和COD含量可分别降低75%、43%和77%左右。

b. 构筑人工廊道、湿地净化流经西洋河河道下游的污水。利用西洋河下游(富贵庄处)的滩地构筑人工湿地、生物廊道,对流入水库之前的污水做进一步净化处理。根据中试规模实验结果^[7]和国内外同类工程的实践经验,氮、磷和COD含量可分别降低70%、45%和80%左右。

c. 村落暴雨径流污染物控制。村镇街道上经秋、冬、春3季,堆积了大量动物粪便、杂草和生活垃圾。雨季暴雨径流将其全部带入水库,促进了水库富营养化进程。因此,控制流域村落暴雨径流污染物浓度,有着重要的意义。利用村内外的坑塘沟渠系统拦蓄暴雨径流,沉淀、降解污染物,减少向河道的排放量。

推广农家沼气池建设工程,消化生活垃圾变废为宝,减少垃圾排放量。8m³的发酵池可处理4口人之家的全部生活垃圾,且每天可产生2.4m³的沼气。

d. 东洋河流域非点源污染控制。东洋河两岸农田的高强度施用化肥及水土流失是造成氮、磷被冲入河流的主要原因。推广精准化科学施肥,因地、作物、季节科学配肥合理实施,避免田间肥料的流失浪费。强化两岸边坡植被恢复,特别是岸边植物带的恢复,对于拦截、缓冲对河流的污染可起到重要作用。

5.2 水库内大型水生植物恢复

洋河水库水体属“藻浊型”水体,大型水生植物种类、生物量稀少,对于水体中污染物的转化、水体生态系统的平衡和抑制藻类的爆发极为不利。通过在近岸带实施生态恢复工程,实现近岸带植物群落配置的连续性,为水生动物创造良好的生存环境。

参考文献:

[1] 李凤彬. 洋河水库富营养化发生及对策研究[J]. 河北水利水电技术,1997(1): 37-39.
[2] 李凤彬,康瑾瑜. 洋河水库富营养化防治对策[J]. 辽宁城乡环境科技,2001,21(3): 12-14.
[3] 李凤彬. 洋河水库富营养化的现状和对策探讨[J]. 给水排水,2003,29(8): 16-19.
[4] 董哲仁,周怀东,李文奇. 受损水体修复的生态工程研究与示范[J]. 中国水利,2004(22): 64-66.
[5] 李凤彬,代礼,肖勇,等. 洋河水库底泥对富营养化影响的研究[J]. 水资源保护,2003(3): 31-34.
[6] 戴礼,李凤彬. 洋河水库富营养化污染负荷分析及治理对策[J]. 水科学与工程,2004(6): 39-40.
[7] 王庆平,张俊栋. 秦皇岛市水文手册[R]. 地质矿产部河北地质勘测局测绘院,1999: 3-4.

(收稿日期:2005-07-08 编辑:高渭文)