

大浪淀水库营养物质的来源变化特征及对水质的影响

李少华¹ 李兰贵² 赵卫国³ 胡荣花³

(1. 河北工程技术高等专科学校 河北 沧州 061001 ;
2. 大浪淀水库管理处 河北 沧州 061000 ;
3. 沧州市水利局 河北 沧州 061000)

摘要 大浪淀水库营养物质来源于黄河及支流流域的径流、城镇工业废污水排放、生活污水、农田和天然洼地中的营养物质等 ,影响大浪淀水库水质的主要因素是 TN 和 TP。科学调控各种生物之间的配比 ,消耗水体中 N、P 等营养物质 ,使水体的生物链达到平衡 ,水质得到净化。

关键词 大浪淀水库 ;营养物质 ;水质影响

中图分类号 :X524 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2004)06-0049-03

大浪淀水库位于河北省沧州市以南 ,沧县、孟村、南皮三县交界处 ,距沧州市 22 km ,属大 II 型封闭式平原水库 ,主要是以解决沧州市城区生活用水 ,兼顾工农业生产用水的地表水源地。设计库容 1.003 亿 m³ ,蓄水面积 16.89 km² ,主体工程于 1996 年底完成。按照‘河北省引黄入冀工程协议’(每年 11 月至翌年 2 月自山东位山闸 ,通过 350 km 明渠 ,从黄河向水库调水) ,于 1997 年 1 月 19 日开始向库内送水 ,2 月 28 日结束。水库投入运营后 ,因水库内水体营养物质丰富 ,水生动、植物大量滋生繁衍 ,形成水华 ,水质严重恶化 ,部分指标远远超过 GB3838—2002《地表水环境质量标准》规定的 III 类水标准 ,于 1997 年 11 月 7 日被迫停止向市区供水。研究认为 ,影响大浪淀水库水体质量的重要原因之一是营养物质的过剩 ,即富营养化。

1 大浪淀水库营养物质的来源

大浪淀水库营养物质有多种来源和迁移途径 ,总体上可分为外部来源和内部来源。

a. 营养物质的外部来源。由于大浪淀水库的水是通过 350 km 的明渠从黄河调入 ,因此营养物质的外部来源有 :①黄河及支流流域的农田、林区、牧场的径流 ;②黄河源水流经黄土高原携带的黄沙 ;③从黄河到水库途径 350 km 明渠经冲刷后的剩余污物 ;④大、中、小城镇的生活污水和工业污水的直接或间接的排放 ;⑤库区年内的降雨及降尘等。

b. 营养物质的内部来源。大浪淀水库系农田

和天然洼地围堤建成 ,其营养物质的内部来源包括 :①原有农田土壤中的营养物质 ;②农田中剩余秸秆、杂草的腐烂分解 ;③天然洼淀中的污水 ;④水库施工期间的生活污物、排放物 ;⑤水库蓄水后沉淀底泥中营养盐类的回归 ;⑥生物残体的分解 ;⑦各种浮游动物粪便的分解等。

2 大浪淀水库营养物质的变化特征

自 1998 年至 2001 年的每月 5 ~ 10 日 ,在水库供水泵站进水口和进水枢纽各采集一次水样进行水质化验分析。发现大浪淀水库水体中含有 N、P、C、Cu、Mn 等多种营养元素。相关研究表明 ,水生植物在生长和繁衍过程中需要 20 多种元素 ,但需要最多的营养物质还是 C、N 和 P。C 在自然界中量大易得 ,故 N 和 P 是水生植物生长的主要营养物质。

2.1 N 的质量浓度变化特征

经监测 ,大浪淀水库中 NH₃-N、NO₃-N 和 TN 的质量浓度如图 1 ~ 3 所示。NH₃-N 的质量浓度变化范围在 0.06 ~ 1.19 mg/L 之间。其中各年度含量变化范围 :1998 年为 0.11 ~ 1.19 mg/L ;1999 年为 0.17 ~ 0.56 mg/L ;2000 年为 0.12 ~ 0.70 mg/L ;2001 年为 0.06 ~ 0.26 mg/L。从图 1 可见 ,NH₃-N 质量浓度的年度、年际间的变化基本上呈现出规律性变化特征。每年蓄水后的 1 ~ 2 个月出现高峰值 ,然后逐步下降 ,夏季含量最低 ,随后有所回升。年际间呈逐年下降的明显特征。

NO₃-N 的质量浓度变化范围在 0.08 ~ 2.83 mg/L

作者简介 李少华(1955—)男 ,河北沧州人 ,教授 ,主要从事水资源保护及节水灌溉研究。

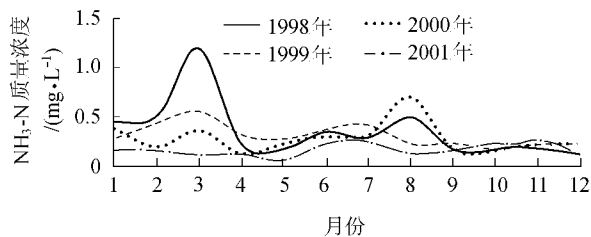


图1 大浪淀水库 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度变化曲线

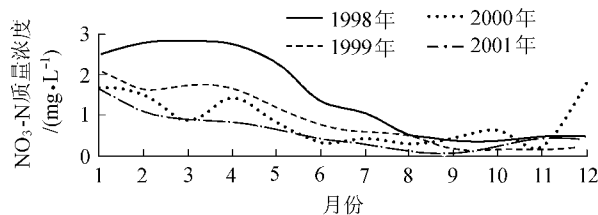


图2 大浪淀水库 $\text{NO}_3\text{-N}$ 质量浓度变化曲线

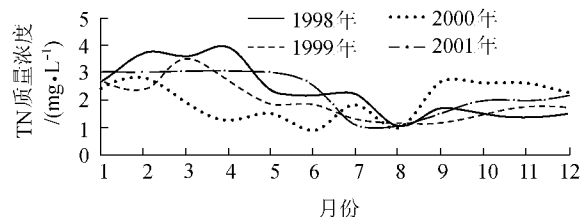


图3 大浪淀水库 TN 质量浓度变化曲线

之间。其中各年度质量浓度变化范围:1998 年为 $0.38 \sim 2.83 \text{ mg/L}$;1999 年为 $0.16 \sim 2.09 \text{ mg/L}$;2000 年为 $0.22 \sim 1.76 \text{ mg/L}$;2001 年为 $0.08 \sim 1.67 \text{ mg/L}$ 。从图 2 清楚地看到, $\text{NO}_3\text{-N}$ 质量浓度年度内变化规律很强,每年蓄水后,冬、春季含量较高,夏、秋季节明显降低,年际间呈逐年降低的显著特征。

TN 质量浓度的变化范围在 $0.87 \sim 3.95 \text{ mg/L}$ 之间。其中各年度质量浓度变化范围:1998 年为 $1.04 \sim 3.95 \text{ mg/L}$;1999 年为 $1.17 \sim 3.58 \text{ mg/L}$;2000 年为 $0.80 \sim 2.66 \text{ mg/L}$;2001 年为 $1.09 \sim 3.05 \text{ mg/L}$ 。从图 3 看出,TN 质量浓度年度内呈显著的季节性变化特征,每年蓄水结束后的春季含量最高,夏、秋较低,冬季反弹,年际间没有规律性的变化特征。

2.2 P 的质量浓度变化特征

大浪淀水库 TP 质量浓度变化曲线见图 4。TP 的质量浓度变化范围在 $0.01 \sim 0.08 \text{ mg/L}$ 之间。其中各年度质量浓度变化范围为:1998 年 $0.01 \sim 0.05 \text{ mg/L}$;1999 年 $0.01 \sim 0.05 \text{ mg/L}$;2000 年 $0.02 \sim 0.08 \text{ mg/L}$;2001 年 $0.01 \sim 0.04 \text{ mg/L}$ 。各年度质量浓度的平均值为:1998 年 0.033 mg/L ;1999 年 0.026 mg/L ;2000 年 0.044 mg/L ;2001 年 0.029 mg/L ;4 年平均值 0.033 mg/L 。由图 4 可见,TP 质量浓度年度年际间没有明显的变化特征。但在 1998 年 7 月和 2000 年 8 月两次较大降雨过程后,均出现了峰值。尤其是 2000 年 8 月的降雨后,使 TP 质量浓度

达到最高值 0.08 mg/L ,这说明较大的降雨过程对大浪淀水库中 TP 的变化有较大的影响。

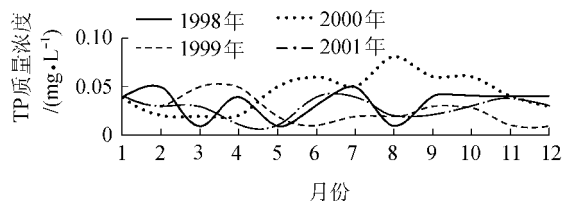


图4 大浪淀水库 TP 质量浓度变化曲线

2.3 N 和 P 的比值及限制性营养盐类的确定

水体中 N 和 P 的比值是影响藻类生长的重要指标,N 和 P 是水生植物生长所必需的主要营养盐类。文献 [1] 表明,当被水生植物吸收的 P 质量浓度小于 0.005 mg/L 时,P 可能是制约水生植物生长的限制因子;当被水生植物吸收的 N 质量浓度小于 0.02 mg/L 时,N 可能是制约水生植物生长的限制因子;当 N 和 P 的含量都小于上述标准时,N 和 P 都可能是限制水生植物生长的因子;当 N 和 P 的含量都大于上述标准时,则可用 N 和 P 的比值来确定水生植物生长的限制因子。

2.3.1 N 与 P 的比值

计算 N 与 P 的比值是确定水生植物生长限制性营养因子的重要步骤,大浪淀水库水体 N 和 P 的比值见表 1。

2.3.2 限制性营养因子的确定

藻类体内所含 C、N、P 的原子比为 $106:16:1$,与 N 和 P 的原子比相对应的质量比为 $7.2:1$,当 $\text{N:P} < 7:1$ 时,N 为限制性因子;当 $\text{N:P} > 7:1$ 时,则 P 为限制性因子 [2]。由表 1 可见,最大比值为 $359:1$,最小比值为 $12.1:1$,比值均远远大于 $7:1$,故 P 是水生植物生长的限制性因子。

3 N 和 P 对水质的影响

3.1 水质评价

根据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》、GB5749—1985《生活饮用水卫生标准》和 SL63—94《地表水资源质量标准》等标准,采用全国《重点城市主要供水水源地水资源质量状况评价》中的水质指数 (WQI) 法,对大浪淀水库水质进行评价,评价结果见表 2。

3.2 N 和 P 对水质的影响分析

大浪淀水库在 1998~2001 年中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 TN 质量浓度分别为 $0.06 \sim 1.19 \text{ mg/L}$ 、 $0.08 \sim 2.83 \text{ mg/L}$ 和 $0.87 \sim 3.95 \text{ mg/L}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 质量浓度全部符合国家 I、II、III 类水质标准 ($\leq 10 \text{ mg/L}$) 的要求, $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度超过国家 I、II、III 类水质标准 ($\leq 0.5 \text{ mg/L}$) 的只有 3 个月,其余月份符合要求,但 TN 超标严重。为此,影响大浪淀水库水质变化的因

表 1 1998 ~ 2001 年大浪淀水库 N、P 质量浓度及比值

月份	1998 年			1999 年			2000 年			2001 年		
	TN/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	TN/TP	TN/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	TN/TP	TN/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	TN/TP	TN/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	TN/TP
1	2.66	0.04	66.5	2.72	0.04	68.0	2.42	0.04	60.5	3.04	0.04	76.0
2	3.73	0.05	74.6	2.37	0.03	79.0	2.84	0.02	142.0	3.01	0.03	100.3
3	3.59	0.01	359.0	3.58	0.05	71.6	1.86	0.02	93.0	3.10	0.03	103.3
4	3.95	0.04	98.7	2.73	0.05	54.6	1.23	0.02	61.5	3.05	0.01	305.0
5	2.37	0.01	237.0	1.84	0.02	92.0	1.52	0.05	30.4	3.03	0.01	303.0
6	2.17	0.03	72.3	1.86	0.01	186.0	0.87	0.06	14.5	2.58	0.04	72.0
7	2.22	0.05	44.4	1.31	0.02	65.5	1.83	0.05	36.6	1.09	0.04	27.3
8	1.04	0.01	104.0	1.18	0.02	59.0	0.97	0.08	12.1	1.22	0.02	61.0
9	1.69	0.04	42.3	1.17	0.02	58.5	2.66	0.06	44.3	1.52	0.03	50.7
10	1.49	0.04	37.3	1.47	0.03	49.0	2.63	0.06	43.8	1.99	0.03	66.3
11	1.34	0.04	33.5	1.73	0.01	173.0	2.62	0.04	65.5	1.97	0.04	49.3
12	1.49	0.04	37.3	1.73	0.01	173.0	2.24	0.03	74.7	2.16	0.03	72.0
平均	2.31	0.033	70.0	1.97	0.026	75.8	1.97	0.044	44.80	44.8	0.029	80.7

表 2 1998 ~ 2001 年 WQI 值及水质分类

月份	1998 年		1999 年		2000 年		2001 年	
	WQI 值	水质 类别	WQI 值	水质 类别	WQI 值	水质 类别	WQI 值	水质 类别
1	31.7	Ⅱ	37.9	Ⅱ	35.1	Ⅱ	30.2	Ⅱ
2	33.2	Ⅱ	41.3	Ⅲ	36.9	Ⅱ	35.0	Ⅱ
3	47.2	Ⅲ	42.1	Ⅲ	36.0	Ⅱ	22.5	Ⅱ
4	38.3	Ⅱ	42.3	Ⅲ	40.0	Ⅱ	27.1	Ⅱ
5	30.5	Ⅱ	39.8	Ⅱ	36.5	Ⅱ	23.6	Ⅱ
6	43.6	Ⅲ	41.2	Ⅲ	35.5	Ⅱ	36.1	Ⅱ
7	30.7	Ⅱ	41.0	Ⅲ	46.2	Ⅲ	32.7	Ⅱ
8	37.8	Ⅱ	41.7	Ⅲ	54.5	Ⅲ	25.0	Ⅱ
9	40.8	Ⅲ	42.1	Ⅲ	40.0	Ⅱ	31.1	Ⅱ
10	46.1	Ⅲ	45.3	Ⅲ	42.3	Ⅲ	30.8	Ⅱ
11	32.6	Ⅱ	42.4	Ⅲ	39.8	Ⅱ	38.6	Ⅱ
12	43.4	Ⅲ	39.4	Ⅱ	36.3	Ⅱ	32.6	Ⅱ

素主要是 TN 和 TP。

经过几年的蓄水 ,使大浪淀水库水体中积累了大量的氮 ,冬季各种生物的残体、粪便沉淀水底 ,经腐烂和细菌的分解 ,将有机氮转化为无机氮释放到水体中 ,使氮含量升高 ,水体质量差。随着气温的升高 ,光合作用增强 ,使生物开始大量繁衍生长 ,尤其是作为生产者 的水生植物 ,需吸收一定量的氮作为自身营养物质 ,使水体中 TN 含量夏季迅速降低 ,水体质量提高。随着水温的逐步降低 ,生物衰败 ,尸体降解 ,又释放出一定量的氮进入水体 ,TN 含量在秋末冬初又有提升 ,水体质量下降。

磷既是构成生物体的主要元素 ,又是影响水质的重要因子。水体中含有机磷和无机磷化合物 ,不溶性磷化物沉淀于水底 ,可溶性磷化物在细菌的氧化分解作用下 ,转化为无机磷 ,经藻类的吸收 ,合成新的有机体并逐步转移到高营养级生物体内 ,使水体质量得到提高。部分生物残体、粪便沉淀水底后 ,经细菌的分解产生可溶性磷又释放于水体中 ,使水体质量下降。

N 和 P 是构成生物体的基本物质 ,N、P 比例适宜 ,营养盐类充分 ,光合作用强 ,则生物量就大 ,反之

则小。由于 P 是大浪淀水库水生植物生长的限制性因子 ,P 质量浓度的变化直接影响到生物量的变化 ,从而影响到水体质量的变化。1997 年初水库蓄水后 ,水体中大量的 N、P 元素促进了浮游植物的发展 ,浮游植物吸收 N、P 等物质后大量繁衍、生长 ,由于小型浮游动物和底栖动物从个体和数量上没有形成优势种群 ,不能消耗过多的浮游植物 ,使各种藻类生长过盛 ,形成水华 ,使水质超过国家规定的Ⅲ类水标准(个别月份已达Ⅴ类水质) ,被迫停止向市区供水。随着小型浮游动物和底栖动物优势种群的形成及 1998 年春季投放了适量的鲢鱼 ,消耗了大量的浮游植物 ,控制了水华的再度发生 ,水体质量有了较大改善 ,使 1998 年有 7 个月为Ⅱ类水质 ,有 5 个月为Ⅲ类水质(表 2)。由于 1999 年小型浮游动物和底栖动物无限制生长 ,消耗了过量的浮游植物 ,使 N、P 等营养物质不能合理地 被吸收 ,质量浓度升高 ,水质下降 ,导致 1999 年Ⅲ类水质由 1998 年的 5 个月增至 9 个月。为有效控制小型浮游动物和底栖动物过量生长 ,经科研人员研究决定 ,于 1999 年秋末投放了适量的鳙鱼、鲤鱼等鱼类 ,用于合理的消耗小型浮游动物和底栖动物、培植浮游植物、吸收 N、P 等营养物质 ,使水体中的生物链达到平衡 ,水质得到净化。经过该技术的实施 ,2000 年Ⅲ类水质由 1999 年的 9 个月降至 3 个月 ,2001 年全部为Ⅱ类水质。由此可见 ,科学调控各种生物之间的配比 ,是消耗水体 N、P 等营养物质 ,提高水质的有效措施。

参加本课题研究的人员有左桂林 ,牛建辉等。

参考文献：

[1] 金相灿.中国湖泊富营养化[M]. 北京 :中国环境科学出版社 ,1990.35 ~ 39.
[2] 黄玉瑶.内陆水域污染生态学[M]. 北京 :科学出版社 ,2001.10 ~ 17. (收稿日期 2003-04-04 编辑 舒 建)