

大伙房水源保护区藻类调查与水质提升对策

朱春玉^{1,2} 郑甜甜¹ 潘思明¹ 刘宏生^{1,3}

(1. 辽宁大学 生命科学院, 辽宁 沈阳 110036; 2. 辽宁水源保护区生态环境保护和民生安全协同创新中心;

3. 辽宁省生物大分子计算模拟与信息处理工程技术研究中心)

摘 要:大伙房水库是沈阳及周边城镇重要的生活水源及工农业用水来源,其水质的好坏至关重要。我们通过网格法均匀布点,对大伙房水库不同水域进行采样,调查浮游藻类的种类和数量。研究发现,大伙房水库已经出现水体富营养化的指示藻类,水质呈现富营养化。氮、磷是引起水库富营养化的主要因素,水体富营养化会导致水生生态系统内物种分布失衡,水质变坏,从而直接影响城市供水水质状况和饮用水安全性。本研究建立了以藻类为依据的大伙房水库水质预警系统,并提出预防水库水体富营养化应对水源保护区内的污染源进行综合治理,严格控制污染物排放的防治措施。

关键词:大伙房水库;富营养化;水质提升对策

中图分类号:X52 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-3291(2016)05-0046-06

一、前 言

近年来随着经济增长及人类的频繁活动,越来越多的湖泊、水库水体开始逐渐从贫营养、中营养向富营养状态转化,湖泊富营养化事件频频发生,水源水库富营养化日益严重。大中型城市附近的水库普遍污染较重,尤其是饮用水水源的污染已经成为人们普遍关注的全球性问题^[1]。据环境保护部2015年发布的《2015 中国环境状况公报》有关数据显示,61个国控重点湖泊(水库)中,劣V类水质断面比例为17.5%,主要污染指标为氨氮、总磷和化学需氧量,大伙房水库综合营养状态指数显示呈现富营养化^[2]。联合国环境规划署的一项水体富营养化调查报告表明,全球大概30%-40%的湖泊和水库发生不同程度的水体富营养化^[3]。美国的Erie湖、Okeechobee湖、City Park湖、Washington湖、Apopka湖^[4-8],希腊西北地区的Pamvotis湖,中国的太湖、巢湖、滇池等都出现不同程度的水体富营养化现象^[9]。基于富营养化对水质、环境以及人类健康的威胁,有必要开展大伙房水库富营养化的研究工作。浮游藻类对水库的水质有重要影响,是水库水体富营养化的主要影响因子。因此,调查水库水体的浮游藻类,摸清浮游藻类与水库水质的关系,便可以根据浮游藻类的变化来判断水库水体污染程度,从而做到提前预测、提早防治,确保水库供水的安全性。鉴于此,我们连续三年对大伙房水库浮游植物群落结构组成、藻类的分布变化进行调查,从生物和环境的角度分析大伙房水库水质、生态系统组成及变化趋势等,探讨浮游藻类分布特征对饮用水安全的影响,从而建立以浮游藻类依据的大伙房水库水质监控预警系统。

收稿日期:2016-07-10

作者简介:朱春玉,女,内蒙古赤峰人,辽宁大学生命科学院副教授。研究方向:微生物学。

刘宏生,男,辽宁沈阳人,辽宁大学生命科学院教授。研究方向:分子微生物学。

基金项目:辽宁大学“辽宁水源保护区生态环境保护和民生安全协同创新中心”研究成果。

二、调查方法

参照《水质采样方案设计技术规范》(HJ 495-2009),选取的监测断面为中断面(浑 37)和坝前断面(浑 7),两个断面分设左、右两条垂线,分别为抚顺取水口和沈阳取水口附近。分别于 2013 年—2015 年的 8 月进行水样采集,定性采样使用 25 号浮游生物网(网孔直径为 0.064mm)在水下缓慢拖动;定量采样使用 1000ml 有机玻璃采水器采集,转入 1000ml 棕色细口玻璃瓶中。水样采集后,立即加入固定液,其中定性采样样本使用 4ml 4% 甲醛溶液固定,定量采样样本使用 15ml 鲁哥氏液固定。定性采样样本用于显微镜观察,鉴定藻类到属;定量采样样本用来估算水库中浮游藻类的密度,采用血球计数板公式计算各采样点藻类密度。

三、问题的发现

(一)大伙房水库水质发生变化

在 2013 年调查中发现,藻类在组成上以蓝藻门为主,共 11 属,绿藻门与硅藻门次之,分别为 10 属和 7 属,另外还包括少量隐藻、裸藻、多甲藻。其中,针杆藻为富营养化指示种,四角藻和小环藻为中营养化指示种,从组成上看水库水体已属富营养化。从数量上看,藻类细胞密度为 540 万个/升—1095 万个/升,平均为 805 万个/升,按此标准大伙房水库已属富营养化^[10]。在 2014 年的水样藻类调查中,藻类细胞密度平均为 430 万个/升,4 个采样点累计发现 5 门、14 属,主要以绿藻门为主,在 7 属左右,硅藻门次之,有 4 属,蓝藻门和甲藻门,各 1 属。发现的藻类中尾裸藻、鱼形裸藻为中污指示种,美丽星杆藻、小胶鞘藻、角甲藻为富营养化指示种,四尾栅藻为中营养化指示种,梅尼小环藻可引起水华。从藻类的密度及种类来看,大伙房水库属于富营养化并有加重趋势。在 2015 年水样藻类调查中,发现 5 个采样点观察到的藻类分别隶属于硅藻、蓝藻、绿藻 3 门,以硅藻门种类最多,有 7 种,其中铜绿微囊藻、新月藻是典型的富营养水体指示藻类,桥弯藻、舟形藻、小环藻、曲壳藻、普通助缝藻、镰形纤维藻是中营养化水体指示藻类,大伙房水库仍属于富营养型水体。



图 1 大伙房水库中检查出的部分藻类图

(左上:栅藻;右上:鱼腥藻;左中:盘星藻;右中:裸藻;下:微囊藻)

(二)藻类的危害

连续 3 年大伙房水库都有监测出水体富营养化指示藻类,说明水库水体确已变差,且富营养化水体对人们的生活、生产以及环境都有重要危害。首先,富营养化会影响水体水质,水的透明度降低,造成溶解

氧的过多或过少,使鱼类大量死亡,影响渔业发展。无机氮的富集,使硝化细菌繁殖,溶解氧进一步消耗,出现反硝化过程,底层将出现腐化污染状态,并逐步向表层发展,直至变为腐化区。在一定条件下富营养化水体可能产生厌氧反应,产生甲烷、硫化氢、氨气等有毒有害气体,造成空气污染,危害人类健康^[11]。

其次,饮用水水体富营养化将直接导致蓝藻大量生长,产生蓝藻毒素。铜绿微囊藻、鱼腥藻、束丝藻、念珠藻等能产生微囊藻毒素,是一类肝毒性环状七肽物质,存于水体中,或富集于鱼类或贝类中通过食物链在人体内积累,威胁人类健康,已发生多起中毒并致人死亡事故^[12]。皮肤接触含藻毒素的水体可引起敏感部位和皮肤过敏,少量喝入可引起急性肠胃炎。藻类毒素是一种肝毒素,是肝癌的强烈促癌剂,长期饮用可能引发肝癌。部分藻类分泌的藻毒素会引起鸟类、牛、羊等动物中毒。另外富营养化水中含有硝酸盐和亚硝酸盐,人畜长期饮用也会中毒致病。

最后,富营养化水中过度繁殖的藻类会极大地增加化学需氧量、生物需氧量和固体悬浮物的浓度,加大水处理难度。如在过滤时藻类会堵塞滤料,氯化消毒时产生三卤甲烷等有毒副产物。藻类代谢产物糖酸等在混凝过程中与混凝剂反应,增加混凝剂用量的同时也降低了处理效果,生成的络合物又会腐蚀管网。

(三)水质发生变化的原因解析

针对大伙房水库水质情况,我们根据其所处地理位置分析了造成水库水质富营养化的原因,有自然因素,也有人为因素,但受人为因素影响比较大。影响藻类分布的自然因素主要有温度、光照、水体的化学性质3个方面,我们在连续三年的同一时间段进行调查,可以忽略温度和光照对水质的影响。水体化学性质变化主要受人为因素影响。目前普遍认为造成水体富营养化的主要因素是氮、磷等营养物质浓度的提高。氮、磷等营养物质的来源既有内源,又有外源。其中,外源包括:

1. 大气氮沉降:工业废气或汽车尾气直接排放至空气中,造成大气中氮、磷化合物含量增加,它们随雨降落汇集到水体中,导致水体富营养化的发生。

2. 城市生活污水、废水排放:日益增长的人口数量加重了生活污水的排放,含磷洗涤剂的使用使排放的生活污水中含有较高含量的磷;此外,生活废水的随意倾倒也会造成水体污染。

3. 工业废水:一些违规企业将没有处理或经简单处理的污水直接排放到江河、湖泊,造成水体中氮、磷等营养物质的大量积累,形成富营养化;另外,有些工业废水中含有有毒有害物质,排放后会威胁水体中生物生长,破坏水生生态环境。

4. 化肥施加:农业生产中大量使用的化肥是水体富营养化的主要面污染源。化肥的主要成分是氮、磷,它们残留在土壤中造成土壤板结,或在降雨或灌溉时发生流失。磷以颗粒态形式溶解或吸附于土壤上,并随土壤运动下渗到亚表面流中,最后汇入江、河、湖泊或海湾。氮以其较强的渗透能力直接下渗到地下水中。氮、磷被土壤吸附和解吸过程中,部分溶于水,部分则继续维持吸附状态,并随土壤颗粒运动沉积下来,成为水底沉积物的一部分,作为底层污染物在适当的条件下通过再悬浮、溶解的方式回到水体中,造成水源的二次污染^{[13][14]}。

5. 牲畜粪便:饲养的禽、畜的排泄物含有大量营养物质和细菌,易经由地表径流、亚表面流流入水体。

6. 矿物燃料的燃烧:矿物燃料燃烧过程产生的氮化合物可以直接进入水体,或存在土壤中,经地表冲刷间接进入水体,污染水源。

它们经面源污染危害水体或产生氮化合物直接进入水体,污染因子包括氮、油、挥发酚、磷等^[15],这些污染源进入天然水体后,使其营养物质增多,促使蓝藻和红藻自养型生物恶性繁殖,抑制其他藻类生长,使其种类逐渐减少。死亡后的藻类及其他浮游生物不仅被需氧微生物分解,使水中溶解氧减少,还能被厌氧微生物分解,产生硫化氢等气体,不断使水质恶化,鱼类和其他水生生物因此而大量死亡。同时,藻类及其他浮游生物的残体在腐化过程中,又释放出大量的氮、磷等营养物质,供给新一代藻类等生物,造成恶性循环。

四、问题的解决

(一)建立水库水质预警系统

根据藻类调查结果,结合指示生物法[16],我们初步建立了大伙房水库水质预警系统,依据藻类的种群结构和污染指示种对水库的营养型进行快速评价。

藻类调查采样方法参照《水质采样方案设计技术规定》(HJ 495-2009)进行,利用调查结果中指示藻类种类(如表1所示),同时结合藻类的密度进行水质的综合评价(如表2所示)。此外,浮游植物生长过程中叶绿素a含量与TP(总磷)有关,当叶绿素a浓度大于10ug/L时,水体呈现富营养化状态。氮、磷作为直接影响因子,含氮量大于0.2~0.3mg/L,含磷量大于0.01mg/L,指示水体富营养化。

表1 大伙房水库水质预警系统污染指示种类概括

水体营养类型	污染指示藻类	
中度污染型	纯脆杆藻 <i>Fragilaria</i>	普通等片藻 <i>Diatoma vulgare</i>
	银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i>	窝形席藻 <i>Phormidiumfoveolarum</i>
	蜂巢席藻 <i>Phormidiumfavosum</i>	绿色裸藻 <i>Euglena viridis</i>
富营养型	美丽星杆藻 <i>Asterionella formosa</i> Hassall	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>
	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i> (Ehr.)Ralfs	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>
	水溪绿球藻 <i>Chlorococum nifusionum</i>	中华尖头藻 <i>Merismopedia sinica</i>
	水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i> (Wittr).Kirchner	水华鱼腥藻 <i>Anabaena aquae</i>
中-富营养型	角甲藻 <i>Ceratium hirundinella</i>	小胶鞘藻 <i>Phormidium tenue</i>
	两栖颤藻 <i>Oscillatoriaamphibian</i>	尖针杆藻 <i>Synedra acusvar</i>
	中营养型	
中营养型	点形粘球藻 <i>Gloeocapsa punctata</i> Näg	束缚色球藻 <i>Chroococcus tenax</i>
	双头辐节藻 <i>Stauroneis?smithii</i> Grun	大羽纹藻 <i>Pinnularia major</i>
	披针曲壳藻 <i>Achnanthes lanceolata</i>	箱形桥弯藻 <i>Cymbella cistula</i>
	喙头舟形藻 <i>Navicula rhynchocephala</i>	肥壮蹄形藻 <i>Kirchneriella obesa</i>
	四刺顶棘藻 <i>Chodatella quadriseta</i>	针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i>
	镰形纤维藻 <i>Ankistrodesmus falcatus</i>	微小色球藻 <i>Chroococcus minutus</i>
	普通助缝藻 <i>Frustulia vulgaris</i> Thwai	四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>
	轻-中营养型	
	普通水绵 <i>Spirogyra communis</i> (Hass.)Kütz	二角盘星藻 <i>Pediastrum duplex</i>
	集星藻 <i>Actinastrum hantzschu</i> Lag	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>
	具星小环藻 <i>Cyclotella stelligera</i> Cl. et Grun	

表2 湖(库)营养类型浮游植物一般标准

营养类型	极贫	贫	贫-中	中	中-富	富	重富	严重富	异常富
浮游植物数量(万个/升)	<5	10	30	60	100	200	1000	>1000	>1000
优势种群	-	-	隐藻	甲藻	硅藻	硅蓝	蓝绿	绿裸	异常生物
评分	0	20	40	50	60	70	80	90	100

(二)防治措施

对水体富营养化的防治是处理水污染课题中最为烦琐和困难的,这是由于水体富营养化污染源的复杂性。既有天然源,又有人为源;既有外源性,又有内源性;其次,对氮、磷营养物质的去除难度大,二级生化处理方法通常只能去除 30~50%的氮、磷。影响大伙房水库水体的污染源多为人为源、外源,所以重点针对外源性污染进行预防防治,同时兼以内源性治理。

控制外源性营养物质的输入。外源性营养物质包括城市生活污水、工业废水、化肥施用、牲畜粪便、矿物燃烧等带来的氮、磷营养盐类,是水库水体富营养化的直接原因。针对大伙房水库水体防治,可对工、农业及生活废水脱氮除磷,对流入水库的水源截污净化,禁用含磷洗涤剂,推广新型复合肥等,同时发展生态农业,减少面污染源。

减少内源性营养物质负荷。内源性营养物质主要是水体及底泥中的营养盐。营养物质进入水体后的时空分布是十分复杂的。如氮、磷元素可被水生生物吸收利用;或以可溶性盐类溶于水中;或经过复杂的理化反应和生物作用逐渐沉积在底泥中;或从底泥中释放入水,在治理时应视情况而定。治理方法有:

1. 工程性手段。定期清除底泥沉积物,消除内源营养物质,或注水稀释,对排污口进行截污、分流,必要时可机械收草藻或在底泥表面敷设塑料除去营养盐,缓解富营养化程度,但成本较高,操作不方便。此外利用化学方法的水体深层曝气、营养物钝化也可达到减少内源性营养物质的目的。为减少水体中磷的含量,可投加铝盐,使其与无机颗粒磷产生沉淀,除此之外,铁盐(氯盐或铝盐)、硫酸铝铁、泥土颗粒、石灰泥和钙盐也都是相当有效的营养物钝化剂。

2. 生物性方法。利用微生物加速水中污染物的分解,起到水质净化的作用,如硝化细菌、氮循环细菌。聚磷细菌对有机物的矿化分解,氮素的气化,磷盐的沉降和固定等有重要作用。

利用大型水生植物如凤眼莲、芦苇、狭叶香蒲、加拿大海罗地、多穗尾藻、丽藻、破铜钱等吸收利用氮、磷元素进行代谢活动以去除水体中氮、磷营养物质^{[17][18]}。可根据大伙房水库的气候条件和污染物的性质进行适宜的选栽。此防治方法的特点是以大型水生植物为主体,植物和根区微生物共生的协同效应净化污水,包括植物直接吸收、微生物转化、物理吸附和沉降。其优点是水生植物生长快,回收后经处理可作为燃料、饲料,或经发酵产生沼气。目前这是国内外治理湖泊水体富营养化的重要手段。

利用水生动物起到净化水质作用。根据大伙房水库的特定环境投放合适的水生动物。如滤食性鱼类鲢、鳙鱼,可滤食水中浮游植物而有效控制藻类疯长^[19];底栖动物螺、蚌等可过滤悬浮物质,食取生物碎屑,其分泌物有絮凝作用,另外螺有刮食着生藻类的能力;虾和一些浮游动物可摄食藻类、有机碎屑等。

3. 生态修复。生态学方法即从生态系统结构和功能进行调整。湖泊生态修复包括微生物修复和水生生物修复两大类,只有两者相辅相成,才能取得良好的治理效果。国外研究表明,湿地过滤带对污染源有很好的治理效果,其机制是利用湿地植物根系的吸附、过滤、氧化还原及微生物降解等作用净化污水^[20]。

参考文献

- [1]马经安,李红清. 浅谈国内外江河湖库水体富营养化状况[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 11(6): 575-578.
- [2]中华人民共和国环境保护部. 2015 年中国环境状况公报[EB/OL]. <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20160602/739075-12.shtml>.
- [3]苏玲. 水体富营养化[J]. 世界环境, 1994, 42(1): 23-26.
- [4]REUTTER J M. Lake Erie: Phosphorus and Eutrophication[M]. Columbus: Ohio Sea Grant College Program, 1989.
- [5]SCHELSKE P C. Assessment of nutrient effects and nutrient limitation in Lake Okeechobee[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1989, Vol. 25, No. 6, pp. 1119-1130.
- [6]RULEY J E, RUSCH K A. An assessment of long-term post-restoration water quality trends in a shallow, subtropical, urban hypereutrophic lake[J]. Ecological Engineering, 2002, Vol. 19, No. 4, pp. 265-280.

- [7]WELCH F B, CROOKE G D. Lakes[M]. //JORDAN W R, ABER J D, GILPIN M E, et al. Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research. Cambridge: Cambridge Univ Press, 1987, pp.109-129.
- [8]SCHELSKE C L, COVENEY M F, ALDRIDGE F J, et al. Wind or nutrients: historic development of hypereutrophy in Lake Apopka, Florida[J]. Arch Hydrobiol Special Issues Advances in Limnology, 2000, Vol.55, pp.543-563.
- [9]孙向辉, 李力. 水体富营养化及其植物修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(18): 5902-5905.
- [10]赵健, 张力, 刘宏生. 大伙房水库的浮游植物分布情况调查研究[EB/OL]. 中国科技论文.
- [11]归显扬. 水体富营养化及其防治对策研究[J]. 广州化工, 2012, 40(13): 12-13.
- [12]梁丽丽, 弓爱君, 曹艳秋, 等. 水体中微囊藻毒素的检测方法研究进展[J]. 化学与生物工程, 2009, 26(12): 12-16.
- [13]白雪. 水体富营养化原因及治理方法[J]. 科技信息, 2012, 10: 107.
- [14]唐以剑. 水体中重金属元素的迁移与转化[J]. 环境保护, 1980, 2(5): 90-93.
- [15]温树影. 大伙房水库水体富营养化现状分析及对策研究[J]. 水土保持应用技术, 2015, 1: 31-32.
- [16]王亚尼, 周序协, 张桂蓉. 大茶湖浮游藻类调查与水质初步评价[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(3): 18-123.
- [17]陈火君, 朱凤榕, 李舒. 水库水体富营养化及其防治浅析[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(07): 97-98, 108.
- [18]雷泽湘, 谢贻发, 徐德兰等. 大型水生植物对富营养化湖水净化效果的试验研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 553-554.
- [19]陈少莲. 鱼类及其在水体的物质循环中的作用[A]. 刘建康. 东湖生态学研究(一) [C]. 北京: 科学出版社, 1990, 292-378.
- [20]成水平, 吴振斌, 况琪军. 人工湿地植物研究[J]. 湖泊科学, 2002, 14(2): 179-183.

Algae Investigation and Water Quality Improvement in Dahuofang Water Source Protection Area

ZHU ChunYu^{1,2} ZHENG Tiantian¹ PAN Siming¹ LIU Hongsheng^{1,3}

(1. School of Life Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036, China;

2. Collaborative Innovation Center of Eco Environmental Protection and Livelihood Security,

Water Source Protection Area of Liaoning Province, Shenyang 110036, China;

3. Research Center of Computational Simulation and Information Processing Technology of

Biological Macromolecules in Liaoning Province, Shenyang 110036, China)

Abstract: Dahuofang reservoir is an important source of domestic water and industrial and agricultural water in Shenyang and its surrounding towns; the water quality is very important. We collect water samples in different area of Dahuofang reservoir through grid method to investigate the quantity and quality of planktonic algae. The study shows that the indicator algae of water eutrophication is found in Dahuofang reservoir, and the water is eutrophic. Nitrogen and phosphor are the main factors that make the reservoir eutrophication, and reservoir eutrophication would cause imbalance of species distribution in water ecosystem, and deteriorate the water quality, thus affect the quality of urban water supply and the safety of drinking water. In this research, we establish the early warning system of water quality of Dahuofang reservoir based on algae, and propose that to prevent the reservoir eutrophication we should comprehensively control the pollution sources and limit the emission of pollution into reservoir.

Key Words: Dahuofang reservoir; eutrophication; prevention measures of water quality

【责任编辑 至 仁】