

湖泊富营养化治理成效阶段水环境特征研究^{*}

——以贵阳市饮用水源地红枫湖为例

郭 云^{1,2} 赵宇中^{1#} 龙胜兴³ 李玉麟² 张 波²

(1. 贵州民族大学化学与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵阳市两湖一库环境保护监测站, 贵州 贵阳 551400;
3. 贵阳市环境监测中心站, 贵州 贵阳 550001)

摘要 红枫湖是贵阳市重要的生活饮用水源地, 20 世纪 90 年代末期水体污染严重。从 2008 年开始进行综合治理, 2011 年起进入治理成效阶段。为了对治理成效期的水质状况有全面了解, 为进一步污染治理和生态调控提供科学依据和对策, 利用富营养化指数法和主成分分析方法对 2011—2013 年水体富营养化状态特征进行研究分析。结果表明: (1) 在监测期, 红枫湖始终保持中营养状态不变, 但呈现逐年减弱的趋势, 水质达标率逐年升高。(2) 全湖的综合营养状态指数存在明显的时空异质性。(3) 影响红枫湖水体质量的主控因子为叶绿素 a、pH、透明度、总磷和高锰酸盐指数, 总氮对其影响不显著。(4) 在下一步治理中, 继续加强外源性治理的同时, 须加强水体内源性污染的治理工作, 促进水质进一步好转。

关键词 富营养状态 时空分布 主控因子 红枫湖

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2015.06.011

Study on water environment characteristics in the stage of governance effect of lake eutrophication, taking drinking water sources of Hongfeng Lake in Guiyang as an example GUO Yun^{1,2}, ZHAO Yuzhong¹, LONG Shengxing³, LI Yulin², ZHANG Bo². (1. School of Chemistry & Environmental Science, Guizhou Minzu University, Guiyang Guizhou 550025; 2. Two Lakes and One Reservoir Environmental Protection Monitoring Station in Guiyang, Guiyang Guizhou 551400; 3. Environmental Monitoring Center Station in Guiyang, Guiyang Guizhou 550001)

Abstract: Hongfeng Lake is an important source of drinking water in Guiyang. In the late 1990s, the lake was seriously polluted. The comprehensive treatment on the lake was carried out at the beginning of 2008, and then the lake entered into the stage of governance effect in 2011. In order to understand the water quality status of Hongfeng Lake during governance effectiveness period and provide scientific bases and measures for further pollution control and ecological regulation, the characteristics of eutrophication status in water column between 2011 and 2013 were studied by using eutrophication index method and the principal component analysis method. It was showed that, (1) during the monitoring period, the lake was mesotrophic, but the water quality became better and the qualification rate of water quality increased year by year. (2) The eutrophication index of lake showed an obvious heterogeneity in time and space. (3) The main controlling factors affecting the water quality of Hongfeng Lake were chlorophyll a, pH, transparency, total phosphorus and permanganate index. The influence of total nitrogen on the water quality was not significant. (4) In the next step of governance, both the exogenous governance and the endogenous pollution treatments needed be strengthened for further improving water quality.

Keywords: eutrophication status; spatial and temporal distribution; main controlling factors; Hongfeng Lake

湖泊富营养化是全世界面临的主要水污染问题之一, 我国已成为湖泊富营养化的重灾区, 80% 的湖泊受到污染, 已成为制约我国社会和国民经济持续发展的重大环境问题^[1]。开展湖泊富营养化治理不仅是环境科学研究的热点, 也是确保国民健康和进行生态文明建设的重要措施。消减湖泊水体的氮、

磷以及底泥中有机碳和氮磷负荷是进行湖泊富营养化治理的关键步骤^[2]。在此基础上, 可采取控制外源性营养物质输入、水体营养物质治理、水体藻类治理以及生态系统修复等措施^[3]。但湖泊富营养化的治理在世界范围内都存在反复和成效缓慢的难题。根据国际上的治理经验, 富营养化发生后往往需要

第一作者: 郭 云, 女, 1982 年生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为水质监测、生态修复。[#] 通讯作者。

^{*} 贵州省科技厅项目(黔科合 J 字[2011]2085); 贵阳市 2012 创新人才计划项目(筑科合同[2012HK]209-57 号); 贵阳市社会发展攻关项目(2011 筑科农合同字第 59 号)。

十几年甚至几十年的时间采取措施才能恢复到较低的营养盐水平^[1]。在长期监测与基础研究的前提下,根据不同湖泊水体富营养化状态的时空分布特征,进行富营养化机制分析,分阶段进行科学综合治理是湖泊富营养化治理取得长效的有力保障。

红枫湖属于喀斯特高原峡谷型人工深水水库,是贵阳市生活饮用水重要水源地,现在每天向周边地区供应 28 万 t 左右饮用水^[5]。其水环境质量对黔中地区的经济、农业和社会发展具有极其重要的影响^[6]。自 20 世纪 90 年代以来,由于区域经济发展和城市化进程的加快,大量的工业废水和城镇污水难以完全得到控制,加之湖周边农村面源污染及湖面投饵养殖、旅游业直接带来的巨大污染负荷,导致湖泊水质持续恶化,水体富营养化程度日益加重,“蓝藻水华”、“黑潮”等突发性水质恶化事件时有发生^[7],直接威胁着区域供水和生态安全。为了恢复红枫湖生态环境,维持可持续发展和保障广大市民的饮水安全,2008 年开始,设置专门管理机构,对红枫湖进行了综合治理,逐步实施了“五大治理工程”,使红枫湖 2009 年水质恶化趋势得到初步遏制,2010 年有了明显的改善,从 2011 年起进入治理初显成效阶段,成为在湖泊富营养化治理中取得阶段性成果的案例^[8]。由于湖泊的富营养化治理具有长期性和反复性的特征,避免富营养化反复发生、进一步推进治理成效成为红枫湖持续治理的现阶段重要目标。

目前,对于红枫湖治理前和治理初期水环境质量状况的研究^[9-14]较多,但对治理成效阶段水环境质量的研究少。为了对红枫湖治理成效期的水质状况进行全面了解,对 2011—2013 年红枫湖水体富营养化状态的时空分布特征进行全面研究,深入分析了影响红枫湖水体富营养状态的主控因子,结合治理初期(2008—2010 年)的监测数据,探索富营养化变化规律,预测其未来演化趋势。为红枫湖富营养化治理过程中进一步的污染防控和生态调控提供科学依据和对策。

1 材料和方法

1.1 采样点位置

根据红枫湖的水文地理情况、入出湖特点及近十多年来的污染情况,设置了 8 个采样点(见图 1),分别是南湖和北湖的交界处(花鱼洞)、南湖的主要入湖河流汇合处(三岔河)、南湖的主要入湖口(将军湾)、饮用水源取水口(西郊水厂)、原网箱养鱼区域

(后牛)、北湖的主要入湖口(偏山寨)、唯一出湖口(大坝)、原化肥厂区域(腰洞)。采集每个采样点水面下 0.5 m 处水样。

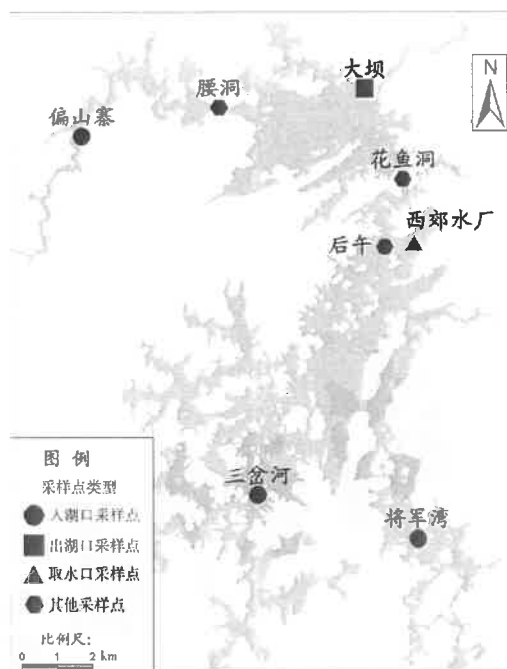


图 1 采样点位置示意图
Fig.1 The sampling sites

1.2 监测时间

2011 年 1 月至 2013 年 12 月对 8 个采样点理化、生物指标每月进行检测,共计 36 次。

1.3 监测指标与实验方法

物理指标:水温用水银温度计现场测定;透明度采用塞氏盘法测量;pH 用 PHS-3D 型精密 pH 计现场测定;溶解氧用 HQ30D 型便携式溶解氧仪测定。

化学指标:高锰酸盐指数采用《水质 高锰酸盐指数的测定》(GB 11892—89)中酸性法测定;氟化物采用《水质 氟化物的测定 离子选择电极法》(GB 7484—87)中离子选择电极法测定^[15];总磷、总氮、氨氮用荷兰 san++ 型流动化学分析仪测定。

生物指标:叶绿素 a 采用改进的反复冻融、丙酮浸提法测定^[16]。

1.4 数据分析和评价

数据处理采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析。利用富营养化指数法对红枫湖富营养现状进行评价。综合营养状态指数以叶绿素 a 作为基准参数,选择总氮、总磷、透明度和高锰酸盐指数对叶绿素 a 进行相关加权综合计算。综合营养状态指数为 0~30,贫营养状态;综合营养状态指数为 30~50,中营养状态;综合营养状态指数为 50~60,轻度富营养

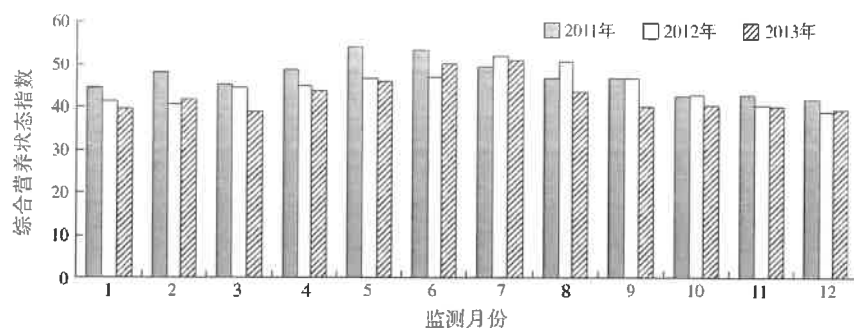


图2 2011—2013年综合营养状态指数时间动态变化
Fig.2 Trophic state index variation in time in 2011-2013

状态;综合营养状态指数为60~70,中度富营养状态;综合营养状态指数为70~100,重度富营养状态^[17-18]。同时,利用主成分分析方法从多个变量指标中选择出少数能反映原有的大部分信息的综合变量指标来代替原来较多指标。在此基础上,根据各因子方差贡献率和因子载荷量来提取影响水体富营养化的主控因子。主成分分析前对数据进行标准化检验。

水质的评价标准参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),水质的达标情况参照《贵州省地面水域环境功能区划类规定》(黔府发[1994]22号)。

2 结果与讨论

2.1 红枫湖富营养化状态时空动态变化特征

从图2可见,在时间分布上,红枫湖全湖的综合营养状态指数季节变化显著。从季节分布来看,3年均呈现相同的变化趋势,均是夏季(6—8月)最高,冬季(12月至次年2月)最低,且各个季节的综合营养状态指数季节均值是逐年递减的:2011年,夏季(49.8)>春季(3—5月,47.1)>秋季(9—11月,44.8)>冬季(43.0);2012年,夏季(49.7)>春季(46.6)>秋季(43.4)>冬季(40.3);2013年,夏季(48.1)>春季(42.8)>秋季(40.2)>冬季(40.0)。这是由于随着温度的逐渐升高,植物的光合作用增强,在适合的水温和营养物质条件下,水生植物和藻类迅速繁殖,从而使水体的富营养化程度增强。3年中的秋冬两季,综合营养状态指数较低,富营养化程度不明显,这和水温低、光照弱、营养物质循环减慢、不利于藻类的生长繁殖、叶绿素含量低有关,这与已有研究结果一致^{[19]、[20]9811-9812}。从年份上看,2011—2013年红枫湖综合营养状态指数年均值分别为45.7、44.6、42.4。总体而言,红枫湖在这3年期间均处于中营养状态。但在同一营养状态下,综

合营养状态指数越低,其营养程度越弱,由此可见,水体的营养状况是在逐年降低,水质逐年好转。同时还可见,2013年有9次的综合营养状态指数低于2012年,2012年有9次低于2011年,这也充分说明,水质有逐渐变好的趋势。

2011—2013年各采样点综合营养状态指数时空动态变化见图3,各采样点综合营养状态指数年均值变化见图4。

在空间分布上,各采样点综合营养状态指数变化也较大,在33.8~59.4波动。各采样点2011年综合营养状态指数年均值依次为三岔河>将军湾>后午>西郊水厂>偏山寨>花鱼洞>腰洞>大坝;2012年综合营养状态指数年均值依次为三岔河>将军湾>偏山寨>后午>腰洞>西郊水厂>花鱼洞>大坝;2013年综合营养状态指数年均值依次为三岔河>后午>将军湾>西郊水厂>花鱼洞>偏山寨>腰洞>大坝。在3年的监测时期,南湖的综合营养状态指数整体高于北湖。三岔河、将军湾、偏山寨这3个人湖口中三岔河的综合营养状态指数最高,2011—2013年综合营养状态指数年均值分别达到51.8、47.8和46.9。2011年,三岔河综合营养状态指数有8个月(1、4、9、10月除外)均超过50,处于轻度富营养状态,轻度富营养状态率占整个监测时段的66.7%;2012年3、4、6、8月和2013年6月,三岔河综合营养状态指数均超过50,说明该点污染程度一直较严重。这是由于三岔河是后六河、麻线河和羊昌河3条河流进入红枫湖南湖的交汇处,其中羊昌河是三岔河的重要营养盐供应源,将平坝县城里一个较严重的化工有限公司点源污染源堆积的磷矿石经淋溶产生的大量污水带入湖库,造成三岔河全年营养盐较高,富营养化程度严重。

唯一出湖口——大坝的综合营养状态指数最低,2011—2013年综合营养状态指数年均值分别为

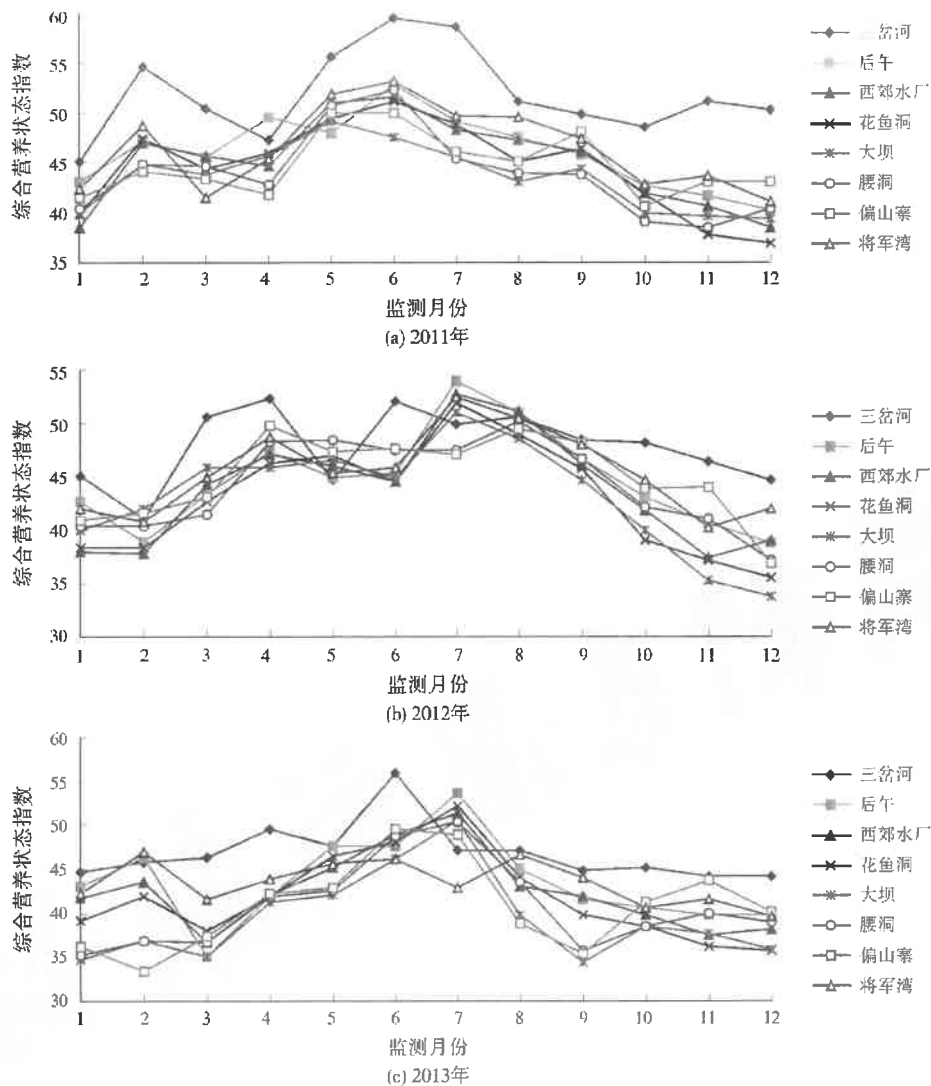


图 3 2011—2013 年各采样点综合营养状态指数时空动态变化

Fig.3 Trophic state index variation of every sample site in time and space in 2011-2013

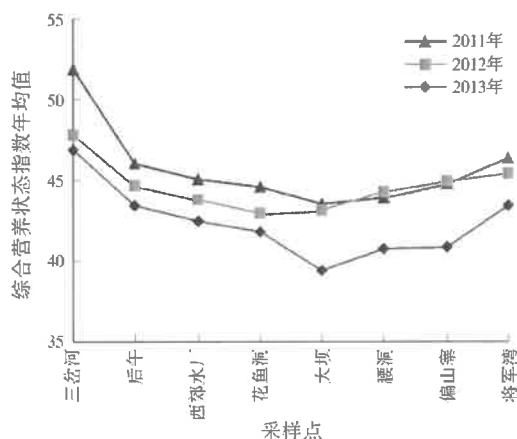


图 4 2011—2013 年各采样点综合营养状态指数年均值变化

Fig.4 Annual trophic state index variation of every sample site in 2011-2013

43.5、43.2 和 39.4,均处于中营养状态。其中,2012

年有 4 个月、2013 年有 8 个月的综合营养状态指数低于 40,2012 年 12 月的综合营养状态指数最低,为 33.8,是整个监测时段的最低值。这是因为此点是红枫湖的唯一出湖口,大量污染物经过上中游的稀释以及沉积作用后浓度逐渐降低。

由图 4 可见,2013 年所有采样点的综合营养状态指数年均值均低于 2011、2012 年,这也说明水质正在逐步好转。

从整个流域监测点位上的时空变化结果来看,外源性污染高于内源性污染的现象依然存在。

2.2 现阶段影响水质富营养状况的主控因子分析

2.2.1 监测指标间的主成分分析

采用主成分分析方法,将原始监测数据标准化后求出相关系数矩阵,用 SPSS 16.0 软件分别对每次采集的 10 个理化和生物指标的相关系数矩阵和

特征值进行计算,根据特征值、方差贡献率、累计贡献率来提取影响红枫湖水体富营养化的主控因子。

根据特征值大于1的提取原则,前3个主成分能基本包含10个指标的所有信息(见表1)。从表2可见,主成分1反应的信息量最大,与其密切相关的是叶绿素a、pH、透明度、总磷和高锰酸盐指数,因子载荷量分别为0.808、0.778、-0.689、0.630、0.514;与主成分2相关联较大的是水温、高锰酸盐指数、溶解氧;与主成分3相关联较大的是总氮、氟化物、透明度。根据表1中方差贡献率,主成分1的贡献率达到32.757%,包含的信息最多,其重要性大于主成分2、主成分3。因此,该水体的富营养状况主要是由主成分1的相关因子决定。

表1 主成分的特征值和贡献率
Table 1 Eigen values and contribution rates of principal components

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.276	32.757	32.757
2	2.432	24.319	57.076
3	1.795	17.952	75.028
4	0.860	8.601	83.629
5	0.740	7.404	91.033
6	0.382	3.816	94.849
7	0.273	2.728	97.577
8	0.120	1.201	98.778
9	0.080	0.799	99.577
10	0.042	0.423	100.000

表2 因子载荷量
Table 2 Initial loading values of principal components

项目	主成分1	主成分2	主成分3
叶绿素a	0.808	-0.359	-0.355
pH	0.778	0.025	0.365
透明度	-0.689	0.352	0.531
总磷	0.630	0.027	0.044
水温	0.186	0.909	0.057
高锰酸盐指数	0.514	-0.647	0.303
氨氮	0.235	0.484	0.195
溶解氧	0.107	0.549	-0.193
总氮	-0.018	0.144	0.897
氟化物	-0.046	0.484	-0.844

结合表1和表2表明,影响红枫湖水体富营养化的主控因子是与主成分1密切相关的叶绿素a、pH、透明度、总磷和高锰酸盐指数。除透明度外,其他因子全为正向主控因子。高锰酸盐指数是反映水体受工农业以及生活有机物污染的重要指标,而叶绿素a、pH、透明度和水体中浮游生物的繁殖、衰亡都很大关系,是生物活动的直观反映。叶绿素a能直接反映浮游藻类生物量的高低,是评价富营养化水平的基准因子^[21]。在水体综合营养状态指数的

计算中,是以叶绿素a为核心,这也决定了水体富营养化程度与叶绿素a的直接正相关。pH通过直接影响藻类的增殖而间接影响水体的富营养化程度。大量繁殖的藻类,进行光合作用后,会吸收水中大量的CO₂,使碳酸盐的解离平衡转移,促使pH上升。同时,pH的增高又会促进藻类的大量生长,在其他条件合适的情况下,会使水体暴发“藻类水华”,形成富营养化。富营养化水域水质pH一般为中性至弱碱性^[22],红枫湖在监测时段pH始终为7.1~8.9,偏碱性,具备富营养化形成的条件。透明度是描述湖泊光学的一个重要参数,同时也是评价湖泊富营养化的一个重要指标,是反向主控因子。透明度通过受水体中悬浮物和浮游藻类的影响来反映水体的清澈程度和富营养化程度。悬浮物和浮游藻类越多,透明度越低,富营养化程度越严重,这是因为藻类的大量增殖一方面可以增强对光的吸收和散射,阻碍光线在水体中传播;另一方面可以增加光的衰减,降低水体透明度^[23]。这说明,红枫湖水体的富营养状况主要是水生生物(主要是藻类)和有机物共同作用的结果。

对于营养盐因子,总磷成为影响红枫湖富营养化状况的主控因子,总氮和氨氮却不是。这和学者对阿哈水库^{[20]9812-9813}和千岛湖^[24]的研究结果是一致的。当氮磷比大于16时,磷是限制因子;小于16时,氮是限制性因子^[25-26]。监测的3年中,红枫湖氮磷比分别为32.4、41.6、49.0,说明红枫湖的限制性因子是磷,这和主成分分析的研究结果(总磷是主控因子)一致。而研究结果显示,氮不再是红枫湖主控因子,可能是由于该湖近年来氮营养盐含量较高,水体中氮含量过剩造成的。2011—2013年,总氮为1.5 mg/L左右,达到GB 3838—2002中Ⅳ类限值,氨氮为1.0 mg/L左右,达到GB 3838—2002中Ⅲ类限值,含量相对富足。研究表明,当磷作为红枫湖富营养化的限制性因子时,其水体磷的阈值为0.025 mg/L,超过此阈值,即有可能引起藻类暴增,发生水体富营养化^[27]。2011—2013年,红枫湖的总磷为0.03 mg/L左右,超过阈值,具有水体富营养的风险。

2.2.2 综合营养状态指数与监测指标间的相关性分析

综合营养状态指数是反映水体富营养化、水体质量的基本指标,本研究将其与10个监测指标进行相关性分析,结果见表3。综合营养状态指数与叶绿素a、高锰酸盐指数、透明度、总磷和pH间的拟合

表 3 综合营养状态指数与监测指标间的相关性分析¹⁾
Table 3 The correlation analysis between trophic state index and water quality factors

项目	透明度	水温	溶解氧	pH	高锰酸盐指数	氨氮	总氮	总磷	氟化物	叶绿素 a	综合营养状态指数
透明度	1.000										
水温	-0.167**	1.000									
溶解氧	-0.372*	-0.422*	1.000								
pH	-0.294	0.146	0.517**	1.000							
高锰酸盐指数	-0.370*	0.607**	0.036	0.429*	1.000						
氨氮	-0.019	-0.202	0.229	0.149	-0.131	1.000					
总氮	0.197**	-0.063	-0.084	0.196	0.131	0.176	1.000				
总磷	-0.355*	0.065	0.277	0.361*	0.198	0.036	0.091	1.000			
氟化物	-0.228	-0.475**	0.392*	-0.362*	-0.580**	0.055	-0.634**	-0.024	1.000		
叶绿素 a	-0.845**	0.448**	0.438**	0.434**	0.541**	-0.047	-0.321	0.472**	0.107	1.000	
综合营养状态指数	-0.589**	0.331	0.361*	0.496**	0.525**	0.085	-0.036	0.544**	-0.138	0.668**	1.000

注：¹⁾ * 表示极显著相关($P<0.01$)；* 表示显著相关($P<0.05$)。

曲线见图 5,其线性回归方程分别为:

$$y=0.415x_1+39.066,R=0.668,P<0.01 \quad (1)$$

$$y=-5.048 \ 2x_2+53.067,R=-0.589,P<0.01 \quad (2)$$

$$y=252.97x_3+36.179,R=0.544,P<0.01 \quad (3)$$

$$y=3.780 \ 2x_4+33.497,R=0.525,P<0.01 \quad (4)$$

$$y=6.086 \ 4x_5-4.809,R=0.496,P<0.01 \quad (5)$$

式中: y 为综合营养状态指数; x_1 为叶绿素 a 质量浓度, mg/m^3 ; x_2 为透明度, m ; x_3 、 x_4 分别为总磷、高锰酸盐指数, mg/L ; x_5 为 pH。

综合营养状态指数与叶绿素 a、总磷、高锰酸盐指数、pH 在整个监测时段呈极显著正相关,与透明度呈极显著负相关。表 3 同样表明,叶绿素 a、透明度、总磷、高锰酸盐指数、pH 这 5 个因子对综合营养状态指数的变化影响最大,是决定红枫湖水体富营养化、水体质量的主控因子。

2.3 红枫湖水环境质量演变趋势

为进一步探讨红枫湖水环境变化趋势和治理阶段取得的成效,将 2011—2013 年的监测结果与以前监测数据进行对比分析。根据资料显示,在 20 世纪 90 年代初期,红枫湖水体处于贫营养状态,处于 GB 3838—2002 中Ⅲ类水质状态;在 2003—2005 年,随着该湖底质的恶化,水质等级也转变为 GB 3838—2002 中Ⅳ类、Ⅴ类,水体营养状态也由贫营养向中营养状态转变;到 2007 年,水质恶化现象严重,富营养化程度加剧,整个水库呈 GB 3838—2002 中Ⅴ类或劣Ⅴ类,处于严重污染状态²⁸⁾,水质达标率仅为 4.2%。从 2008 年开始,主管部门实施了工业污染、城镇生活污水、农业农村面源污染、生

态修复、生物净化 5 大治理工程,红枫湖的综合营养状态指数年均值总体呈下降趋势,水质发生了明显好转(见表 4)。

表 4 近几年红枫湖年综合营养状态指数变化、水质类别及达标率¹⁾

Table 4 Trophic state index variation, water quality classification and qualification rate of Hongfeng Lake in recent few years

年份	综合营养状态指数年均值	水质类别	达标率/%
2007	58.7	V	4.2
2008	54.0	IV	33.0
2009	48.6	IV	14.6
2010	44.9	III	53.1
2011	46.9	III	40.7
2012	44.6	III	63.9
2013	42.8	III	70.1

注：¹⁾数据来源于贵州省环境监测中心站和贵阳市两湖一库环境保护监测站。

针对综合营养状态指数,从治理初期至今,红枫湖营养状态呈现逐渐好转的趋势。开始实施治理的 2008、2009 年,综合营养状态指数年均值较高,处于富营养或接近富营养状态,水质类别达到 GB 3838—2002 中Ⅳ类,达标率较低,可能是由于这两年是实施治理的初期阶段,各种治理工程还未全面开展,各种污染源还未得到有效控制。而在实施全面治理的 2010—2013 年,虽水质整体处于 GB 3838—2002 中Ⅲ类、中营养状态,但综合营养状态指数年均值逐年下降,达标率明显提高,水质明显好转。但 2011 年除外,其综合营养状态指数年均值反弹,综合考虑可能主要是由于 2011 年全年降水量减少,水位下降,外来水源减少造成的,其中 2011 年 1—7 月贵阳市平均降水量为 387.1 mm,是贵阳市有气象记录(即

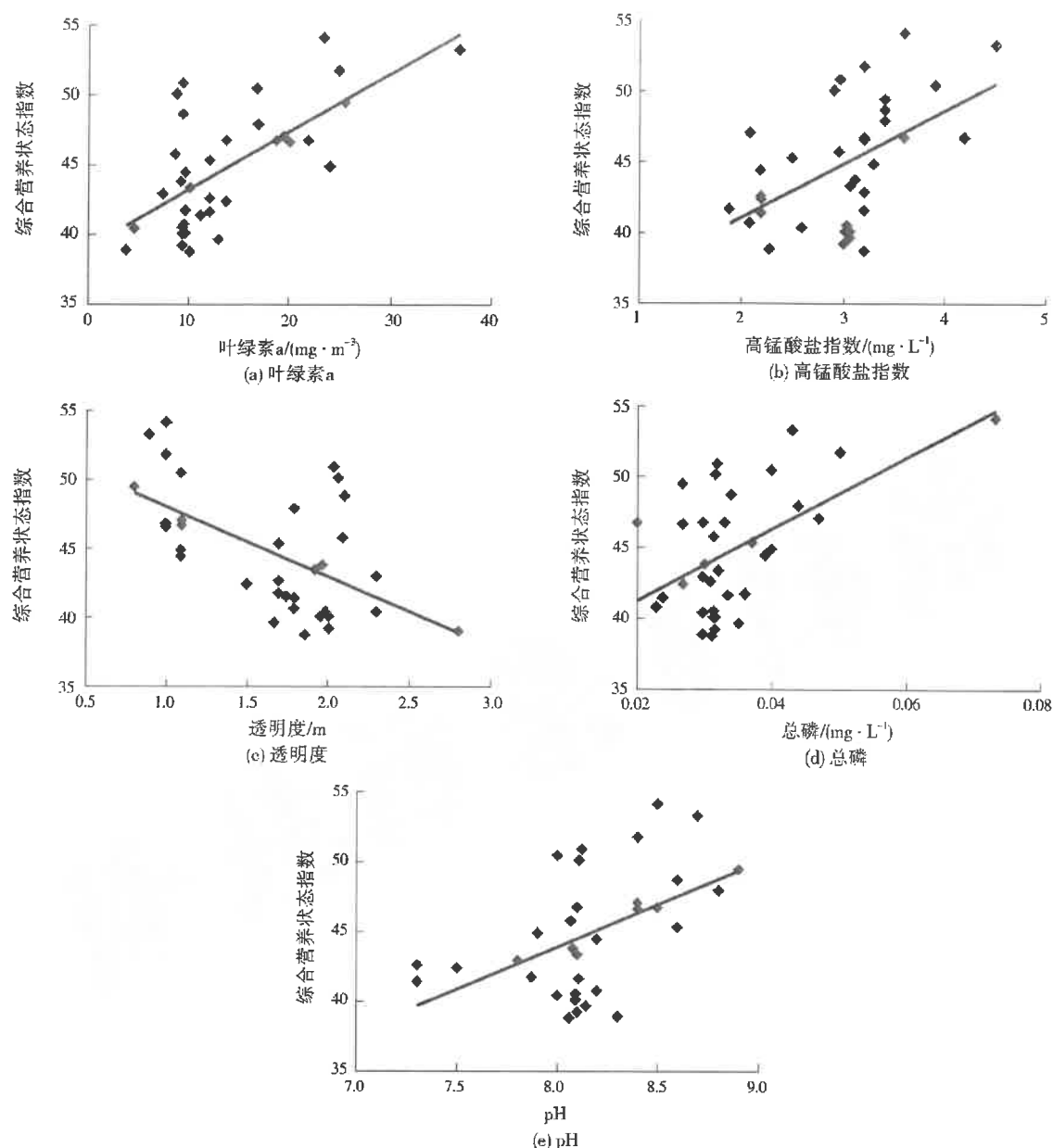


图5 综合营养状态指数与叶绿素 a、高锰酸盐指数、透明度、总磷和 pH 间的拟合曲线

Fig.5 Correlations between chlorophyll a, the potassium permanganate index, transparency, the total phosphorus and pH

1961 年)以来最少年份,较常年偏少 48.9%,水位比 2010 年下降 30 cm。

总体趋势看来,2007—2013 年红枫湖的水环境质量呈现逐渐变好的趋势,富营养状况逐渐得到遏制,但均处于中营养状态,水质也逐渐转为 GB 3838—2002 中Ⅲ类,但好转的速度较慢。

3 结论与对策

3.1 现阶段富营养化特征

2011—2013 年,红枫湖的综合营养状态指数存在时空异质性,始终保持中营养状态不变,但呈现逐

年减弱的趋势。影响红枫湖水体富营养化的主控因子是叶绿素 a、pH、透明度、总磷和高锰酸盐指数。综合以前的研究结果表明,与治理前及治理初期相比,水质发生了明显好转,水质类别也从 GB 3838—2002 中 V 类转为Ⅲ类。3 年来的水环境质量呈现逐渐变好的演变趋势,富营养状况逐渐得到遏制,水质达标率逐年升高。实施综合治理的各种治理工程使各种污染源得到有效控制。但随着进入治理成效阶段,水质好转的速度较慢。这与内源性污染物还持续存在以及底泥中污染物的净化速度较慢有关。

3.2 现阶段富营养化治理对策

在红枫湖的前期治理中,通过取缔网箱养鱼、弱化旅游业、更新重建企业排污设施等治理措施进行流域污染控制,成功地降低了湖泊的富营养水平,取得了较好的成效。同时,采取了一些湿地建设、生态浮床等生态修复手段,局部控制了富营养化。随着治理阶段的不同,富营养化水平的时空状态都发生了相应的变换,必须根据时空监控信息进行必要的治理措施调整,才能在治理过程中避免营养化反复的情况出现。

3.2.1 外源性污染控制仍需加强

从整个流域监测地点看,红枫湖各入湖口的污染浓度大于出湖口(大坝)的污染,外源性的污染高于内源性污染的现象依然存在。从现阶段富营养化水平的时空状态看,严格控制污染源入湖,消减氮磷的入库量,仍然是治理重点,需要持之以恒的进行综合管理和严格执法。特别是外源污染最高点三岔河流入的3条河流——后六河、麻线河和羊昌河流域的外源污染的控制。

红枫湖富营养化限制性因子是磷而不是氮,说明总磷的控制将是现阶段的重点。目前,在工业污染源得到有效控制后,红枫湖流域污染来源主要是流域内农村生活污染和农业面源污染。在外源污染控制方面,需重视对农村生活污水的集中处理,以及对湖泊周边农耕区做好“退耕”工作,在流域范围内进行生态农业、休闲农业的发展和改造,逐步解决农业污染问题。

3.2.2 内源性污染治理成为本阶段主要工作

红枫湖属于高原深水喀斯特型水库,具有水流缓慢、储水量大、水力停留时间长等特点。流域内大量外源性污染物进入湖区后,由于水流变缓,容易造成大量污染物沉积。所以,现阶段的水环境监测除了日常监测外,还应加强进行湖泊沉积物-水界面的环境监测。湖泊沉积物-水界面及其附近发生着复杂的物理、化学和生物作用,进行着频繁的物质交换。这种作用可能使已沉积的污染物回到上覆水体,形成二次污染。在气候、水文环境发生变化时,存在着暴发“水华”的危险。

因此,在现阶段的治理中应该将污染物的沉积带来的内源性污染治理作为工作重点:(1)进行富含氮、磷沉积物的疏浚工作,清除库区内源污染。(2)利用生态学原理和技术进行生态修复。继续加强湖泊水生生态系统的修复,利用沉水植物种植、生态浮床安置等措施消减内源污染;特别是加强湖边周围

人工湿地的建设,利用湿地生态系统消减湖泊污染负荷。

湖泊的富营养化治理是一个长期而复杂的系统工程,需要坚持不懈地开展“制度管理”与“科技攻关”相结合的方针,抓住目前治理取得成效的关键时期,加大保护治理力度,促进水质的全面好转。

参考文献:

- [1] 金相灿.治理湖泊,要从水质转向水生态[J].环境与生活,2013,15(1):51.
- [2] 李彬.富营养化湖泊系统藻类水华与硝化细菌种群作用关系的研究[D].武汉:华中农业大学,2011.
- [3] 金相灿.湖泊富营养化研究中的主要科学问题——代“湖泊富营养化研究”专栏序言[J].环境科学学报,2008,20(1):21-23.
- [4] 朱广伟.太湖富营养化现状及原因分析[J].湖泊科学,2008,20(1):21-26.
- [5] 夏品华,林陶,李存雄,等.贵州高原红枫湖水库季节性分层的水环境质量响应[J].中国环境科学,2011,31(9):1477-1485.
- [6] 夏品华.红枫湖水库富营养化现状及其控制对策[J].安徽农业科学,2011,39(13):8010-8011.
- [7] 王叁,龙胜兴,李荔,等.红枫湖水库叶绿素a分布特征与相关因子研究[J].安徽农业科学,2010,38(2):895-897.
- [8] 濮培民,马永兵,李正魁,等.同步实现西部振兴经济与保护环境的对策——红枫湖水质生态修复工程的启示[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(2):9-16.
- [9] 廖国华,钟晓,庞增铨.红枫湖、百花湖水污染趋势分析及控制对策[J].地球与环境,2004,32(4):49-52.
- [10] 陈作州,陈豫,晏妮,等.红枫湖水库浮游植物演变(1980—2006年)和富营养化趋势研究[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2007,25(3):5-10.
- [11] 吴红,严军.红枫湖特征污染物变化趋势分析[J].中国环境监测,2009,25(3):90-93.
- [12] 冯业强,夏品华,张明时.贵州红枫湖水库富营养化和蓝藻水华分析[J].安徽农业科学,2011,39(11):6733-6734.
- [13] 陈美香,龙胜兴,支崇远.贵州省红枫湖水库水体富营养化与浮游植物多样性研究[J].安徽农业科学,2011,39(24):14782-14785.
- [14] 黄凯丰,罗朝梦.红枫湖水库的污染现状及治理对策[J].安徽农业科学,2011,39(9):5362-5363.
- [15] 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.
- [16] 林少君,贺立静,黄沛生,等.浮游植物中叶绿素a提取方法的比较与改进[J].生态科学,2005,24(1):9-11.
- [17] 王明翠,刘雪芹,张建辉.湖泊富营养化评价方法及分级标准[J].中国环境监测,2002,18(5):47-49.
- [18] 高振美,张波,商景阁,等.太湖流域小型水源性湖泊氮、磷时空分布及营养状态评价[J].环境污染与防治,2012,34(1):9-14.
- [19] 翁笑艳.山仔水库叶绿素a与环境因子的相关分析及富营养化评价[J].干旱环境监测,2006,20(2):73-78.
- [20] 薛飞,夏品华,林陶,等.喀斯特深水水库叶绿素a与环境影响因素关系的研究——以阿哈水库为例[J].安徽农业科学,2011,39(16).
- [21] 彭祥捷,黄继国,赵勇胜,等.长春南湖营养盐与叶绿素a的分布与富营养化评价[J].环境污染与防治,2010,32(9):50-54.

(下转第68页)