

新型除藻剂在滇池富营养化水体治理中的应用

和晓荣¹, 孙珮石¹, 王洁¹, 邓辅唐², 吴广², 王奇², 许晓毅¹

(1. 云南大学 环境与湖泊研究院, 云南 昆明 650091; 2 云南今业生态建设集团公司, 云南 昆明 650200)

摘要: 水体富营养化是当今世界面临的最主要的水污染问题之一. 研究采用研制的新型除藻剂对滇池富营养化水体进行除藻扩大试验, 结果表明, 使用新型除藻剂对富营养化水体进行除藻不仅有着良好的除藻性能, 而且成本较低, 每处理 1m³ 含藻污水仅需 0.19 元, 是一种有很好应用前景的水体除藻剂.

关键词: 滇池; 除藻剂; 污水处理

中图分类号: X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2007)03 - 0087 - 04

Application of a New Type of Algaecide to Eutrophic Waterbody Control of Dianchi Lake

HE Xiao-rong¹, SUN Pei-shi¹, WANG Jie¹, DENG Fu-tang²,
WU Guang², WANG Qi², XU Xiao-yi¹

(1. Institute of Environment and Lake, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2 Yunnan Kingyear Ecological Construction Group Company Ltd., Kunming 650200, China)

Abstract: Eutrophication is one of the major problems concerning water pollution in the world. An enlarged test on removal of algae from Dianchi Lake by using a new type algaecide is conducted, showing that the application of the new type of algaecide can not only remove algae from the eutrophic waterbody of Dianchi Lake, but the cost is very low, only 0.19 yuan for the treatment of each cubic meter of water polluted by algae; therefore, it is a kind of waterbody algaecide with excellent application prospect.

Key words: Dianchi Lake; algaecide; wastewater treatment

0 引言

水体富营养化是当今世界面临的最主要的水污染问题之一. 随着现代化城市化和工业的不断发展, 水体富营养化日趋严重, 已成为制约我国国民经济和社会发展的主要因素^[1]. 滇池是我国著名的高原淡水湖泊, 它具有城市生产与饮用水、防洪、旅游、水产养殖、调节气候等多种功能. 20 世纪 80 年代以来, 滇池入湖污染物不断增加, 水质急剧恶化 (属于劣 类水), 富营养化程度加剧, 水华频频暴发, 水体功能受到极大损坏, 已成为昆明市持续发展的制约因素之一, 因此滇池一直是国家重点保护与治理的湖泊^[2].

蓝藻水华尤其是大型湖泊蓝藻水华的治理是当今的世界性难题, 除了降低水体中氮、磷等营养盐水平外, 许多国家对蓝藻水华的治理做了许多尝试, 大体归结为物理、化学和生物方法等^[3]. 其中化学方法主要有混凝法、氧化法、直接杀藻法等. 本研究针对滇池水体富营养化污染严重的现状, 在项目组前期的研究基础上^[4, 5], 采用项目组经过两年多的努力研制成功的新型除藻剂对滇池富营养化水体进行除藻应用研究, 以验证前期的研究结果, 同时为该新型除藻剂的大规模工程化应用奠定必要的工程参数和依据.

收稿日期: 2006 - 12 - 15. 基金项目: 昆明市重点科技计划资助项目 (项目编号: 2002 - 34).

第一作者简介: 和晓荣 (1979 -), 男, 在读硕士研究生. 主要研究方向: 环境污染生物治理技术基础与应用研究.

E - mail: langrenhe@126.com

1 材料和方法

1.1 新型除藻剂

研究采用的新型除藻剂是项目组前期研究的成果,主要由含有 Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Ca^{2+} 4种金属离子的无机化合物按比例混配而成。

1.2 试验设计与方法

水体除藻试验于 2005年 8~11月在滇池湖畔的水塘中进行,历时 85天。试验水塘位于昆明市官渡区六甲乡海埂村,与滇池外海水体有一道防浪堤相隔。清塘后将其分隔成互不渗透的 2个小区,再引入滇池含藻污水,经过 2天混合均匀后即投放新型除藻剂,水塘情况如表 1所示。试验塘里新型除藻剂的投加质量浓度为 30.5 mg/L。投加新型除藻剂时,将金属离子化合物按比例混配并在塑料桶中溶解,然后均匀地撒入试验塘中,同时对水体进行适当的人工搅拌,使之混合均匀。投药第 2天起即采样分析。试验期间定期对各水塘取样检测 pH值、气温、水温、溶解氧、吸光度、叶绿素 a, TN, TP和高锰酸盐指数,观察其变化情况。通过与对照区对比考察新型除藻剂对滇池水的除藻性能。

试验期间,昆明地区气温 20~24,平均约 22,大部分时间(70%以上)为阴雨天气。滇池水体的水质指标:pH值为 8.16,溶解氧为 4.70 mg/L,吸光度为 0.051,叶绿素 a为 0.106 mg/L,总氮为 4.99 mg/L,总磷为 0.498 mg/L,高锰酸盐指数为 14.6 mg/L,水体含有大量蓝藻水华,属于劣 类污染水体。

1.3 检测方法

1) pH值和气温:用 Orion(奥立龙) 828型 pH测试仪测定;

2) 溶解氧(DO)和水温:用 JPSI-605型 DO分析仪检测;

3) 吸光度(A):用 VIS-7220分光光度计在 $\lambda=650\text{nm}$ 下测定;

4) 总氮、总磷、高锰酸盐指数与叶绿素 a:由昆明市环境监测中心按相关标准方法检测。

表 1 试验水塘情况

Tab 1 Instance of the tested cools

水塘	投加的药剂	水量 / m^3	水面积 / m^2	平均水深 /m
对照塘	-	300	378	1.06
试验塘	新型除藻剂	268	261	1.1

注:对照塘内不投加任何药剂与材料

2 结果与讨论

2.1 新型除藻剂的除藻性能分析

2.1.1 叶绿素 a 的去除效果

叶绿素 a 是水体含藻量的代表性指标。试验期间试验塘水体叶绿素 a 的浓度变化及其去除率如图 1、2 所示。

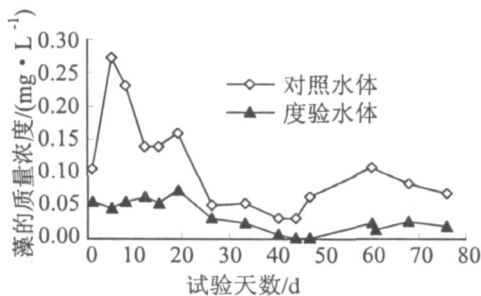


图1 叶绿素a的变化曲线

Fig.1 Curves of Chl-a during the test

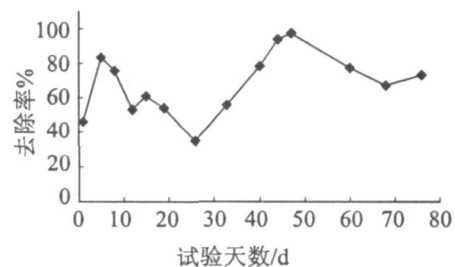


图2 叶绿素a的去除率曲线

Fig.2 Curve of removal efficiency on Chl-a

由图 1可知,试验期间对照塘与试验塘水体叶绿素 a 都随时间呈下降趋势。但是,由于投加了新型除藻剂,试验塘的藻含量明显低于对照塘。图 2表明,投药后第 5天,叶绿素 a 的去除率迅速达到 83.21%。此后由于持续下雨、有相临鱼池水的渗入以及蓝藻对药剂的抗性等原因,导致试验塘中有效金属离子浓度降低,叶绿素 a 去除率出现了波动下降的情况。当分别于第 42天、第 60天两次补加新型除藻剂后,叶绿素 a 的去除率有所回升,试验 76天后除藻率达到 72.86%。尽管试验过程受到了较大干扰,但新型除藻剂对叶

绿素 a 的去除率仍然能保持在 70% 左右,最高时能达到 96.92%,表明新型除藻剂对滇池富营养化水体具有良好除藻的性能。

2.1.2 总氮、总磷与高锰酸盐指数的去除效果

总氮、总磷与高锰酸盐指数等是富营养化水体主要的污染物,新型除藻剂在对滇池水体有效除藻的同时还能对总氮、总磷和高锰酸盐指数有一定的去除效果,去除率变化情况如图 3~5 所示。而总氮、总磷与高锰酸盐指数等污染物的消减则制约了富营养化水体中藻类的生长与繁殖,达到间接除藻的效果。

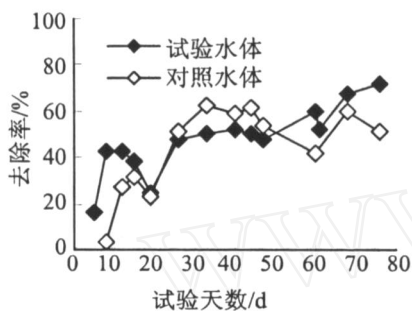


图3 总氮的去除率曲线
Fig.3 Curves of removal efficiency on TN

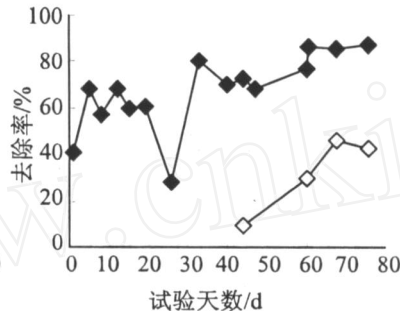


图4 总磷的去除率曲线
Fig.4 Curves of removal efficiency on TP

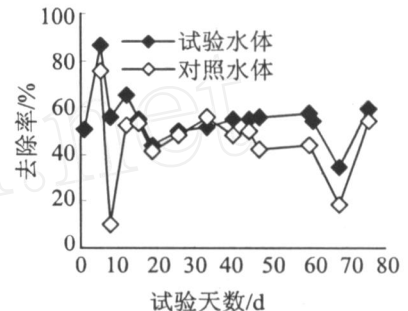


图5 高锰酸盐指数去除率曲线
Fig.5 Curves of removal efficiency on CODMn

由图 3 可见,新型除藻剂投药 5 天后试验塘水中的总氮浓度迅速降低,去除率上升达到 42.89%。此后再一段时间由于持续下雨和有相临鱼池水的渗入,出现了试验塘水体中总氮浓度略高于对照塘的情况。后经追加投放除藻剂后,第 76 天时试验水塘中的总氮去除率恢复为 71.54%。图 4 显示,投药 5 天后试验水塘中的总磷去除率迅速达到 68.67%,76 天时去除率达到 87.55%。整个试验期间试验水塘的总磷去除率基本保持在 60% 以上。图 5 中的曲线表明,在试验初期的 1~12 天,试验水塘中的高锰酸盐指数去除率较高,达到了 65.07%。此后便略有下降,虽经追加投放除藻剂,但之后高锰酸盐指数的去除率也仅恢复到 58.90% 左右。从现场观察和分析后认为,高锰酸盐指数去除率不高可能与水体中存在藻类残体、浮萍等有机体有关。此外,持续下雨和相临鱼池水渗入的影响也应考虑。

初步分析认为,新型除藻剂可能通过以下 3 个途径达到水体除氮、除磷和除有机物之目的。新型除藻剂中起絮凝作用的金属离子在水溶液中首先形成水合离子,通过水合离子的酸性解离生成氢氧化物或羟基络离子,在水体 pH 值在 6~8、溶解氧量较低的环境条件下,氢氧化物或羟基络离子通过吸附脱稳和卷扫沉淀作用与水中带负电荷的含氮、磷和有机物的胶体形成沉淀进入底泥,从而将水中的氮、磷和有机物去除;水中可溶态磷易与铁、铝、钙离子等形成难溶性的沉淀物;由于新型除藻剂有利于水生系统的恢复,因此水生生物对氮、磷及有机物有一定的吸收作用。

2.1.3 水生生态系统的恢复与重建

试验中期观察到,试验塘水体中水生植物的优势种为分布于深水区有狐尾藻 (*Myriophyllum Spicatum*),浅水区有少量喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*)与禾本科植物零星分布,水中有一些鱼、虾等游动。从构成一个生态系统的诸要素可以看出,试验水塘已初步建立起了一个较为完整的水生生态系统,说明新型除藻剂能够在对水体有效除藻的同时有助于水生生态系统恢复与重建。反之,水生生态系统的建立加快了富营养化水体中藻类的消亡,有助于水体除藻过程。此外,现场观测结果表明,试验期间投加新型除藻剂后水中非目标生物的生理、行为未发生明显的异常或死亡等现象,说明在该投加浓度下新型除藻剂对水生生物比较安全,充分验证了项目组前期的研究成果^[6]。

2.2 问题讨论

2.2.1 金属离子浓度随时间的变化情况

现场观察得知,试验 28 天后试验塘水面有少量藻和浮萍等浮水植物重现,于是对水中金属离子浓度进行检测以确定水中金属离子浓度是否低于设计的有效浓度。由原子吸收光谱仪对水体中 Cu, Fe, Al 浓度的检测分析结果如图 6~8 所示。

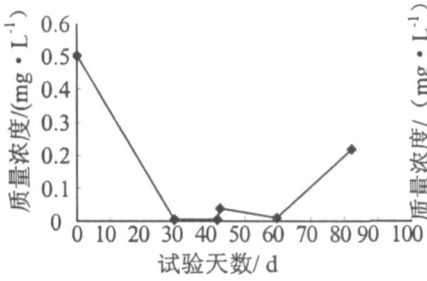


图6 总铜的变化曲线
Fig.6 Curve of Cu during the test

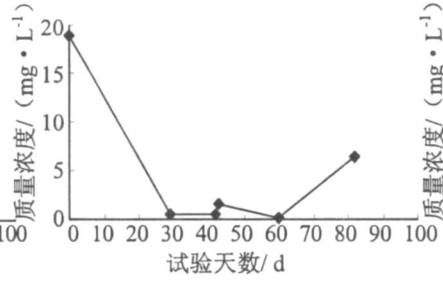


图7 总铁的变化曲线
Fig.7 Curve of Fe during the test

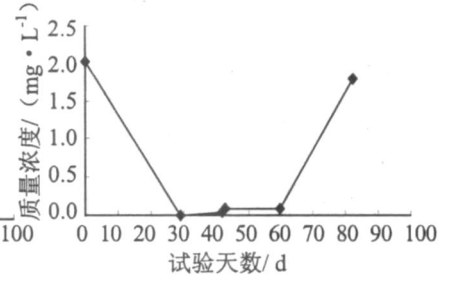


图8 总铝的变化曲线
Fig.8 Curve of Al during the test

由图 6~8可知,试验第 29天水中总铜、总铁和总铝浓度迅速降低,下降率分别达 98.67%,97.05%,99.46%。究其原因,一是金属离子与藻体作用,发生转化与迁移而离开了水相;二是渗水与持续下雨使水中金属离子浓度降低。当分别于第 42天、第 60天两次补加新型除藻剂后,水中金属离子浓度有所回升。试验水体中除藻剂的浓度远低于其有效浓度则会直接影响其除藻效果。

尽管投加新型除藻剂较长时间后由于温度、光照、pH值、Eh等环境因素的变化可能使底泥里的金属与氮、磷及有机质等污染物重新释放出来,因而存在潜在的二次污染。但由图 6,7可以看出,投加新型除藻剂 42天后试验塘水中铜的质量浓度由试验开始时的 0.505 mg/L降至 0.0034 mg/L,远低于地面水环境质量标准 (GB - 3838—2002) 类水标准限值 0.01 mg/L (GB - 3838—2002)。而铁的质量浓度由 19 mg/L降至 0.55 mg/L,明显低于集中式地表水饮用水源地补充项目标准限值 0.3 mg/L (GB - 3838—2002)。因此藻类沉入底泥后的污染物质的二次释放不会影响水体的使用功能。但是,当分别于第 42天和 60天追加投放新型除藻剂后水中金属浓度有所上升。

2.2.2 金属离子的物料衡算

试验第 82天对试验水体的上覆水、底质和狐尾藻 *Myriophyllum Spicatum* (试验塘中的优势种植物)中含铜、铁量进行检测,结果如图 9,10所示。图 9显示,总铜在各项中所占比例分别为:上覆水 24.27%、底质 6.29%、狐尾藻 0.0067%,其余 69.34%为其它水生生物吸收与吸附。由图 10可见,大部分铁已转入底质中,约占 70%,这验证了铁离子是通过絮凝沉淀发挥其除藻作用的。其次为上覆水、狐尾藻,其它水生生物吸收或吸附的量不多,为 11.39%。

3 技术经济概要分析

本扩大试验研究结果表明,应用项目组研制的新型除藻剂对滇池富营养化污染水体进行除藻的效果显著,同时对总氮、总磷、高锰酸盐指数也具有一定的去除效果,而且具有见效快、药效持续时间长、对水生生物安全和投药方法简单等特点。因此应用新型除藻剂对富营养化水体进行除藻在工程技术上是可行的。

在工程技术可行的前提下,再来考虑投放新型除藻剂的成本问题,在实际工程应用中要采用工业级试剂。工业级化学试剂 CuSO_4 的市场价格为 9.50元/kg, FeSO_4 市场价格为 3.80元/kg, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 市场价格为 11.60元/kg, CaO 市场价格为 7.60元/kg 依据本扩大试验条件进行测算,结果表明,处理 1 m^3 含藻污水需要新型除藻剂 35.16 g,其成本仅为 0.19元。对于水深 1m的 1 hm^2 水面含藻水体,水量为 $1\ 0005\text{ m}^3$,折算处理药剂成本为 1 900.95元。

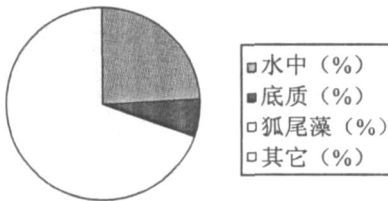


图9 试验水体Cu含量的分布
Fig.9 Distribution of Cu during the test

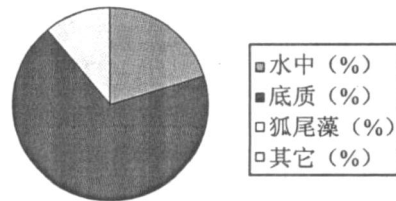


图10 试验水体Fe含量的分布
Fig.10 Distribution of Fe during the test

(下转第 95 页)

理空间分析内容和主要特征的分析,提出了相应的数字湖泊区域管理系统专业模型与地理空间数据结合的建模方式.同时对湖泊区域数字地形多尺度空间数据表达问题进行了探讨,分析并提出了数字高程模型的多尺度表达的方法和湖泊区域不同尺度空间数据的组织模式.通过这些问题的研究和解决,以期数字湖泊系统的研究和开发实施提供理论技术支持.

参考文献:

- [1] 金腊华,徐峰俊.水环境数值模拟与可视化技术[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [2] Daene CM, Ximing CL. GIS and Water Resources Management: Models an Object-oriented Method[J]. Environmental Modelling & Software, 2002, 17(5): 413 - 425.
- [3] Goodchild M F. A Spatial Analysis Perspective of Geographical Information System[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1987(4): 327 - 334.
- [4] Zhou Qiming, Yang Xihua, Melville, et al. GIS Networks Model for Floodplain Water Resource Management[C]. Proceedings of GIS AM/EM ASIA '97 & Geo-Infomatics, Taipei, Taiwan, 1997, 26 - 29: 821 - 830.
- [5] Makarovic B. Progressive Sampling for DEMs[J]. IIC Journal, 1973, 4: 397 - 416.
- [6] 姚圣华,方源敏.利用凸壳建 TN 的算法研究[J].昆明理工大学学报:理工版,2006,31(2): 8 - 13.

(上接第 90 页)

4 结论

采用由含 Cu^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Ca^{2+} 4 种金属离子的无机化合物按比例混配而成的新型除藻剂,对滇池富营养化水体进行除藻净化扩大试验.研究结果表明,应用新型除藻剂对滇池富营养化水体进行工程规模除藻净化是可行的.按常规方法向污染水体中投加新型除藻剂,在 5~8 天后即可获得较好的除藻净化效果.扩大试验期间,试验水体中藻类去除率大多保持在 70% 以上,最高可达 96.92%,能够达到迅速、持久、安全地从富营养化水体中去除蓝藻水华的目的.

与此同时新型除藻剂对污染水体中的总氮、总磷、高锰酸盐指数也具有一定的去除效果,投药 76 天后去除率都能达到 60%~90%;而且还可使水体澄清,改善水体的感观状况,有助于水生生态系统的恢复与重建.相反,这些污染物的去除与生态系统的恢复又促进了水体除藻过程.

由于自然系统的复杂与多变,水中金属离子浓度可能会低于新型除藻剂的设计浓度,使水体出现藻量反弹的情况.此时可以适量补投新型除藻以达到良好的除藻效果.

使用本研究的新除藻剂对富营养化水体进行除藻净化,不仅效果显著、方法简单、对水生生物安全,而且成本较低,每处理 1 m^3 含藻污水仅需 0.19 元,是一种有着很好应用前景的水体除藻剂.

参考文献:

- [1] 徐旌. “富营养化湖泊治理及湖泊管理昆明国际研讨会”综述[J].云南地理环境研究,2002,14(2): 94 - 98.
- [2] 黄永泰.滇池污染状况及其治理[J].环境污染与防治,1999,21(4): 28 - 31.
- [3] 李小平.美国湖泊富营养化的研究与治理[J].自然杂志,2002,24(2): 63 - 68.
- [4] 孙珮石,许晓毅,毕晓伊,等.滇池水体除藻材料的除藻作用试验研究[J].安全与环境学报,2004,4(6): 3 - 6.
- [5] 孙珮石,许晓毅,刘竹仙,等.滇池富营养化水体新型除藻材料的试验研究[J].环境科学与技术,2004,27(5): 65 - 66.
- [6] 孙学习.新型湖泊除藻剂对滇池富营养化水体的应用基础研究[D].昆明:昆明理工大学,2005.