

铝盐净水效果及对沉水植物苦草生长的影响

姬娅婵¹, 魏小飞¹, 吴红飞¹, 甄伟², 李宽意², 关保华², 刘正文^{1, 2, 3}

(1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中科院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;

3. 暨南大学水生生物研究所, 广东 广州 510632)

摘要: 采用室外模拟方法, 研究了不同浓度铝盐(明矾)净水效果及对沉水植物苦草(*Vallisneria natans*)生长的影响。设置了3个不同铝盐浓度处理组: 对照组(无添加)、一次加铝组(15 mg/L)和三次加铝组(45 mg/L)。结果表明: (1)一次加铝组叶绿素 a、反应活性磷、pH、碱度较试验开始时均有下降, 且三次加铝组显著低于一次加铝组; (2)三次加铝组中水体总氮浓度最高; (3)三次加铝组苦草的相对生长率显著低于对照组。本研究说明铝盐的使用能在短期内降低水体污染, 高剂量使用虽能抑制浮游植物的生长, 但同时也会对苦草的生长产生抑制作用, 且使水体水质恶化。

关键词: 铝盐; 净水效果; 苦草

中图分类号: X524, Q16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)02-0075-05

近年来, 我国内陆水域水体富营养化趋势十分严重, 主要湖泊中已有 90% 以上处于中、富营养化状态(金春华等, 2004)。目前, 治理水体富营养化的有效措施分为应急措施和长效措施两类。应急措施主要是物理化学手段, 如人工捞藻(周贝贝等, 2012)、絮凝剂沉降(雷国元等, 2007)、引清稀释(徐贵泉等, 2001; 陆开宏, 1992)等措施; 而长效措施则包括生物调控(赵卫国, 2003)与沉水植物恢复(吴振斌, 2003)等措施。铝盐如明矾等具有良好的凝聚作用被广泛用于饮用水净化和污水处理(周令剑等, 2006; 黄明根, 1998), 近年来越来越多地用于治理湖泊富营养化引起的水华(陆开宏等, 2002)以及改善湖泊水体理化环境(金春华等, 2004)。此外, 在池塘养殖过程中, 明矾对于浊度控制和降低 pH 也很有效果(申屠青春等, 1999)。

沉水植物是浅水湖泊生态系统的重要组成部分和主要的初级生产者之一, 对湖泊生态系统中物质和能量的循环起着重要作用, 沉水植物占优势的湖泊往往水质清澈(刘建康, 1999)。苦草[*Vallisneria natans* (Lour.) Hara] 隶属于水鳖科苦草属, 是一种多年生无茎沉水草本植物(李佩, 2012)。由于具有

较快的繁殖速度(陈开宁等, 2006)、较低的光合补偿点(苏文华等, 2004)及较强的吸附营养盐和其他污染物的能力(Takamura N, 2003), 常被用于富营养化水体的生态修复。

重建沉水植被是浅水富营养化湖泊修复的最终目标之一, 故是否会影响沉水植物的生长是选定合适絮凝剂的重要指标之一。国外学者 Lynette (2010) 等研究了铝盐治理污水时对挺水植物香蒲生长的影响, 国内学者研究了一些重金属离子如 Cr^{3+} 、 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 等对苦草生长的影响(王小平, 2008; 马剑敏, 2008) 以及一些重金属元素对水生植物的影响(何刚, 2008), 但是铝盐对苦草生长影响还未见报道。2012年5-6月, 作者于太湖梅梁湾沿岸进行受控试验, 以苦草为对象, 研究明矾絮凝对水体理化特征和沉水植物生长的影响, 为富营养化湖泊生态修复提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源及处理

苦草和底泥均采自太湖梅梁湾沿岸带沉水植物区, 底泥晒干后用筛网除去较大底栖无脊椎动物和杂质之后混匀。试验用水采自太湖, 用 150 μm 筛网过滤、除去浮游动物和杂质。试验装置为体积 50 L 的聚乙烯塑料桶, 桶内固定放置 8 cm \times 10 cm 的附着生物采集板以种植苦草。铝盐为明矾 [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$], 固体, 添加前用试验桶中的水稀释。

收稿日期: 2012-03-07

基金项目: 国家水专项(2013ZX07101-014)。

通讯作者: 刘正文。E-mail: zliu@niglas.ac.cn

作者简介: 姬娅婵, 1988年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为浅水湖泊生态修复。E-mail: jiyachan2008@163.com

1.2 试验设置

设置2个试验组和1个对照组。每桶放入10 cm厚的底泥,加入湖水50 L,移栽生长状况良好、叶片完整、株高及湿重基本一致的苦草10株,移栽前称鲜重。

试验组1为一次加铝组,一次性添加明矾15 mg/L;试验组2为三次加铝组,每7 d添加明矾1次,每次添加15 mg/L,共添加45 mg/L。每个处理设4个重复。试验期21 d,在露天条件下进行。为消除露天条件对试验结果的影响,试验桶排列方式见图1。



图1 试验桶放置方式

Fig. 1 The placement of experimental barrels

1.3 指标测定

1.3.1 水体指标测定 种植苦草前和试验期间测定试验桶水体的碱度(AT)、叶绿素a(Chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、反应活性磷(SRP)和pH。试验期间每7 d使用柱状采水器采集水样1 L测定。测定分析方法参考湖泊富营养化调查规范(第二版)(金相灿等,1990)。碱度测定使用酸滴定法,TP采用碱性过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法,SRP采用钼酸铵分光光度法,TN采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,Chla采用丙酮萃取分光光度法,pH使用

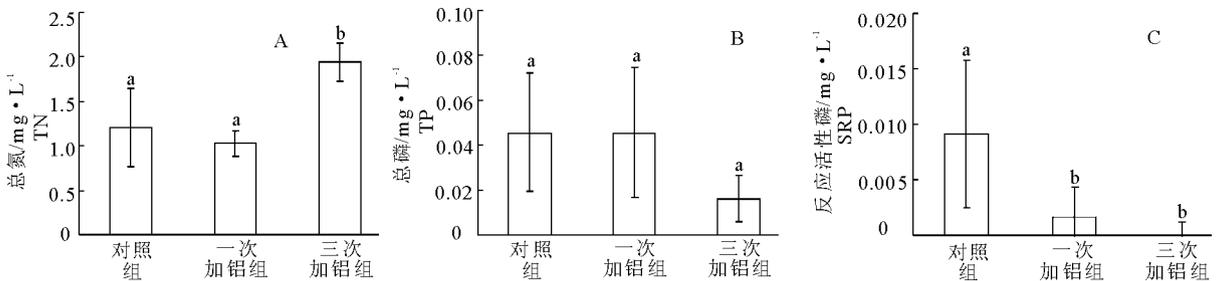


图2 不同处理组总氮、总磷、反应活性磷的比较

Fig. 2 Comparison of TN, TP, SRP in different treatments

对照组与一次加铝组 Chla 差异不显著 ($p > 0.05$),对照组、一次加铝组 Chla 均显著高于三次加铝组 ($p < 0.05$),三次加铝组 Chla 最低(图3A)。pH和碱度均是对照组最高。对照组显著高于一次加铝组 ($p < 0.05$),对照组和一次加铝组均极显著高于三次加铝组 ($p < 0.01$)(图3B,图3C)。

YSI 550 测定。

试验前水体指标测定结果见表1。

表1 试验前水体指标

Tab. 1 The initial data of water indicators

组别	Chla/ μg · L ⁻¹	TN/ mg · L ⁻¹	TP/ mg · L ⁻¹	SRP/ mg · L ⁻¹	pH	AT/ mmol · L ⁻¹
对照组	0.0118	1.9195	0.0320	0.0057	8.6683	1.8721
一次加铝组	0.0107	1.9965	0.0224	0.0057	8.5783	1.8725
三次加铝组	0.0155	2.0333	0.0406	0.0052	8.5858	1.8611

1.3.2 苦草生长指标测定 试验结束时收获苦草,用湖水清洗测定其鲜重。苦草增长率(GR)计算公式(文明章等,2008):

$$GR = \frac{W_t - W_o}{W_o}$$

式中: W_o 为试验开始时苦草鲜重(g); W_t 为试验结束时苦草鲜重(g)。所有数据使用 SPSS 17.0 进行统计分析,组间差异采用 One-Way ANOVA 中的 LSD 法进行检验, $p < 0.05$ 差异显著, $p < 0.01$ 差异极显著,用平均数在 Microsoft Excel 中作图。

2 结果与分析

2.1 铝盐添加对水体理化指标的影响

三次加铝组 TN 浓度显著高于对照组和一次加铝组 ($p < 0.05$),对照组最低(图2A)。各组间 TP 浓度均不存在显著性差异 ($p > 0.05$),对照组与一次加铝组接近,三次加铝组最低(图2B)。对照组 SRP 浓度最高,且与一次加铝组之间存在显著性差异 ($p < 0.05$),与三次加铝组之间存在极显著性差异 ($p < 0.01$)(图2C)。

2.2 铝盐对苦草生长的影响

3个处理组中苦草表现出不同的生长速率(图4),对照组最高,一次加铝组次之,三次加铝组显著低于对照组 ($p < 0.05$)。一次加铝组的块茎及分株都多于对照组、三次加铝组,但各个处理之间均不具有显著性差异 ($p > 0.05$,图5)。

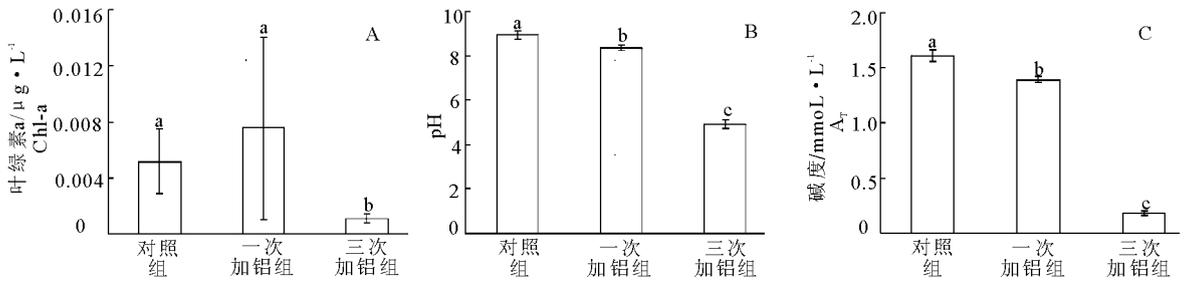


图3 不同处理组叶绿素 a、pH、碱度的比较

Fig. 3 Comparison of Chl-a, pH, AT in different treatments

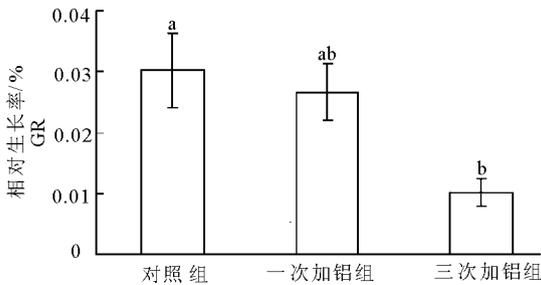


图4 苦草生长率比较

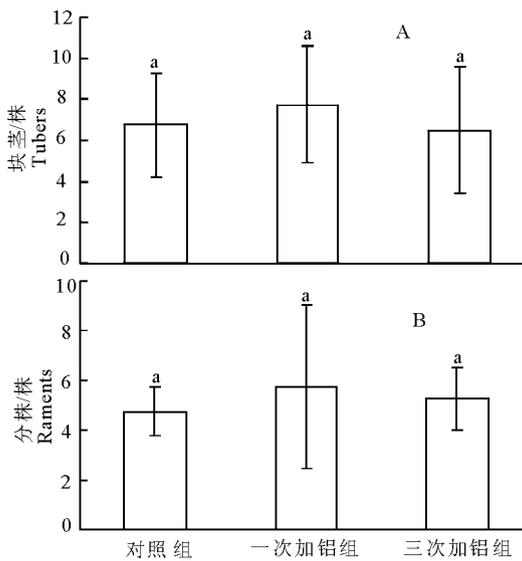
Fig. 4 Relative growth rate of *V. natans*

图5 苦草块茎、分株比较

Fig. 5 Comparison of tubers and ramets of *V. natans*

3 讨论

3.1 铝盐净水效果

试验结果表明,铝盐低剂量使用能够去除水体中的藻类及悬浮质,从而降低水体氮、磷和叶绿素 a 的浓度,改善水质,对沉水植物苦草的影响也较小。

试验结束时三次加铝组叶绿素 a 相对于对照组较低,且低于试验初始值。这是由于明矾作为细颗粒物,有较大的比表面积,范德华力作用范围广,吸附能力强,能快速形成沉降,其水解产物更有利于形成新的水解产物 $\text{Al}(\text{OH})_3$,降低水体中浮游生物

量(Sujana et al, 1998)。

三次加铝组水体中的 pH、碱度在试验后第 7 天显著降低,且较其它 2 个处理组低,这是由于三次加铝组水体中浮游植物生物量急剧下降引起的。通常藻类大量吸收 CO_2 引起水体 pH 上升,同时部分藻类对水体中有机酸的吸收和重碳酸盐的利用,也会引起 pH 的升高,但是藻类生物量的下降则会导致 pH 的下降(陈明耀,1995)。其次,藻类的呼吸作用产生的 CO_2 溶于水促进 H^+ 的生成,且硫酸铝是可以水解的化合物,水解的结果形成铝的多聚物和氢氧化物,也能释放出氢离子,引起水体中 pH 的下降(刘春光等,2005;尹澄清等,1989)。有研究报道,蓝藻在 pH 低于 4 或 5 的环境中不能生存,其适宜的 pH 为 7.5 ~ 10.0(Kallas, 1982; Brock, 1973),本试验的结果与该报道吻合。三次加铝组中总氮浓度在试验开始后的前 7 d 降低可能是因为苦草的吸收,而后来增加则是因为苦草受水体营养盐的影响生长缓慢,吸收营养盐能力下降;再有铝盐絮状物会被隐藏在土壤表面增加的有机物质中,这也可能会影响到营养盐的利用(Lynette et al, 2010),而导致水体中总氮浓度呈上升趋势。与总氮浓度相反,铝盐的多次添加显著的降低了水体中的总磷、反应活性磷的浓度。这是因为水中铝浓度的增加就会导致水体中有机物的凝聚作用增加,使有机物浓度减少,同时还将水体中可溶性磷沉淀为 AlPO_4 (王子云等,2005),从而降低藻类的营养元素磷在水中的浓度。本试验结束时各处理的 TP 相对于试验开始时有下降,这与 Smith (2004) 等的研究结果一致。然而该试验中对照组苦草生长良好,可以吸收上覆水和间隙水中的磷,降低沉积物向水体释放磷的速度,使得上覆水中各形态磷浓度保持在较低水平(陈秋敏,2010),而一次加铝组和三次加铝组既种植了苦草还添加了明矾,所以 TP 的浓度也有所下降,或许由于这种下降趋势的一致性,从而导致了各处理组间 TP 不存在显著性差异。

3.2 铝盐对苦草生长的抑制及其机理

David 等(1971)研究发现,铝和铜可以影响植物细胞壁和叶绿体的结构,铝在植物细胞内可以形成稳定的铝磷酸盐络合物,从而干扰磷酸盐的代谢,对植物的正常生长产生一定的影响;此外,水体中铝的浓度升高时,会形成 Ca-Fe-Al 磷酸盐的沉淀,降低水体钙磷的浓度,从而影响细胞对磷和钙的吸收。铝的存在,不仅能与植物细胞中的蛋白质、脂质、糖类结合,还能与植物细胞内的有机酸、三磷酸腺苷及脱氧核糖核酸等主要的生长分子发生螯合,严重地干扰植物细胞内离子的正常代谢,从而引起一系列代谢紊乱,影响各种生理生化过程的正常进行,出现细胞、组织伤害的综合症状,从而抑制植物的生长(王志颖等,2010;崔蕴霞,1998)。本试验中三次加铝组单株苦草生物量相对较低,苦草生物量相对增长率显著低于对照组。这主要是由于明矾的高剂量使用,导致水体 pH 下降,从而增加了铝对植物的毒害,这种毒害主要是因为铝阻止了植物对磷、钙、镁等的吸收消化,使这些营养素的含量长期处于平衡水平之下。在根尖的细胞内,交换性铝会优先与核酸中 DNA 内的磷酸基团结合,使 DNA 结构中的双键不能正常打开,相应增加了 DNA 的稳定性,降低了染色质模板的活性,从而阻止了 DNA 转录为 RNA 的过程,致使细胞不能分裂,对植物生长产生不利影响(尹澄清等,1989;崔蕴霞,1998)。三次加铝组中苦草叶片发黄,根呈桔黄色,与赖婷婷(2007)等研究明矾对水稻影响试验结果相符。

试验结果表明,高剂量使用铝盐不仅不能改善水质,还将对沉水植物苦草的生长产生负面影响,建议在湖泊生态修复中使用铝盐需谨慎。

参考文献

陈开宇,兰策介,史龙新. 2006. 苦草繁殖生态学研究[J]. 植物生态学报, 30(3):487-495.

崔蕴霞,肖锦. 1998. 铝盐絮凝剂及其环境效应[J]. 环境污染与防治, 20(3): 39-41.

陈秋敏,王国祥,葛绪广,等. 2010. 沉水植物苦草对上覆水各形态磷浓度的影响[J]. 水资源保护, 26(4): 49-52.

陈明耀. 1995. 生物饵料培养[M]. 北京:中国农业出版社:56-57.

何刚,耿晨光,罗睿. 2008. 重金属污染的治理及重金属对水生植物的影响[J]. 贵州农业科学, 36(3):147-150.

黄明根. 1998. 明矾除氨对水质的影响[J]. 中国医院药学杂志, 18(1):43-44.

金相灿,屠清瑛. 1990. 湖泊富营养化调查规范:第二版[M].

北京:中国环境科学出版社.

金春华,陆开宏,王扬才. 2004. 改性明矾浆和滤食性动物控制月湖的蓝藻水华[J]. 宁波大学理工学报, 17(2):147-151.

雷国元,张晓晴,王丹鹭. 2007. 聚合铝盐混凝剂混凝除藻机理与强化除藻措施[J]. 水资源保护, 23(5):50-54.

陆开宏. 1992. 杭州西湖引流冲污前后浮游藻类变化及防治富营养化效果评价[J]. 应用生态学报, 3(3):266-272.

刘建康. 1999. 揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜[J]. 长江流域资源与环境, 8(3):312-319.

李佩. 2012. 水体营养水平及附着藻类对苦草生长的影响[J]. 渔业现代化, 39(1):11-17.

刘春光,金相灿,孙凌,等. 2005. pH 值对淡水藻类生长和种类变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 24(2):294-298.

赖婷婷,李燕,苏小姿,等. 2007. 明矾对 4 种植物种子萌发影响的研究[J]. 生物学通报, 42(11):46-48.

陆开宏,晏维金,苏尚安. 2002. 富营养化水体治理与修复的环境生态工程——利用明矾浆和鱼类控制桥墩水库蓝藻水华[J]. 环境科学学报, 22(6):732-737.

马剑敏,靳同霞,成水平. 2008. Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 及其复合胁迫对苦草的毒害[J]. 环境科学与技术, 31(6):78-81.

申屠青春,董双林,张兆琪,等. 1999. 池塘养殖生态系水质调控技术研究综述[J]. 水利渔业, 19(6):39-42.

苏文华,张光飞,张云孙. 2004. 5 种沉水植物的光合特征[J]. 水生生物学报, 28(4):391-395.

吴振斌,邱东茹,贺锋,等. 2003. 沉水植物重建对富营养水体氮磷营养水平的影响[J]. 应用生态学报, 14(8):1351-1355.

文明章,李宽意,王传海. 2008. 水体的营养水平对苦草(*Valisneria spiralis*)生长的影响[J]. 环境科学研究, 21(1):74-77.

王子云,詹秀环. 2005. 铝的污染与危害[J]. 周口师范学院学报, 21(2):65-67.

王志颖,刘鹏,李锦山,等. 2010. 铝胁迫对油菜生长及叶绿素荧光参数、代谢酶的影响[J]. 浙江师范大学学报, 33(4):452-458.

徐贵泉,褚君达. 2001. 上海市引清调水改善水环境探讨[J]. 水资源保护, (3):26-30.

尹澄清,兰智文,金维根. 1989. 围隔中水华控制试验[J]. 环境科学学报, 9(1):95-99.

周贝贝,王国祥,杨飞,等. 2012. 人工打捞对铜绿微囊藻生长影响的模拟试验[J]. 生态与农村环境学报, 28(3):260-265.

赵卫国,胡荣花,李少华. 2003. 利用生物调控技术对大浪淀水库水生生态系统的修复[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 12(4):15-17.

- 周令剑,王洪昌,冀琳彦. 2006. 我国絮凝剂的研究现状及前景展望[J]. 水资源与水工程学报,17(2):39-42.
- Brock T D. 1973. Lower pH limit for the existence of blue-green algae: evolutionary and ecological implication[J]. Science, 179(72):179-480.
- David T Clark, John Sanderson. 1971. Inhibition of the Uptake and Long-Distance Transport of Calcium by *Aluminium* and Other *Polyvalent Cations*[J]. Journal of Experimental Botany,22(4):837-851.
- Kallas T. 1982. Rapid transient growth at low pH in the *Cyanobacterium Synechococcus* sp[J]. Bacteriol,149(1):237.
- Lynette M, Malecki-Brown, John R White, et al. 2010. Alum application to improve water quality in a municipal wastewater treatment wetland: Effects on macrophyte growth and nutrient uptake[J]. Chemosphere,79:186-192.
- Sujana M G, Thakur R S, Rao S B. 1998. Removal of Fluoride from Aqueous Solution by Using Alum Sludge[J]. Journal of Colloid and Interface Science,206:94-101.
- Smith D R, Moore P A, Griffis C L, et al. 2001. Effects of alum and aluminum chloride on phosphorus runoff from swine manure[J]. Journal of Environmental Quality,30(3):992-998.
- Takamura N, Kadono Y, Fukushima M, et al. 2003. Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes[J]. Ecological Research. 18(4):381-395.

(责任编辑 张俊友)

The Effect of Aluminum on Water Purification and the Growth of Submerged Macrophyte *Vallisneria natans*

JI Ya-chan¹, WEI Xiao-fei¹, WU Hong-fei¹, ZHEN Wei², LI Kuan-yi², GUAN Bao-hua², LIU Zheng-wen^{1,2,3}

(1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P. R. China;

2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, P. R. China;

3. Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, P. R. China)

Abstract: With the method of outdoor simulation, this paper studies the effect of different concentration of aluminum salt on water purification and growth of *Vallisneria natans*. We set up three treatment groups of different concentration aluminum salt. There are control group (no addition), one addition group (15 mg/L) and three additions (45 mg/L). The results shows that: (1) The chlorophyll-a, SRP, pH, and alkalinity that in the water with one addition group decrease at the beginning of the test, and are significantly lower in the three additions group; (2) The total nitrogen is the highest in the three additions group; (3) The biomass of *V. natans* in the three additions group is lower than that in the control group and one addition group. The study indicates that the use of aluminum salt can reduce the water pollution, and high dose of Al inhibits the growth of phytoplankton, but also reduces the growth of *Vallisneria natans* and deteriorates the water quality.

Key words: aluminum salt; water purification; *Vallisneria natans*