

不同水生植物对系统中磷分配的影响

郭万喜¹ 侯文华² 缪静³ 张鹏^{4*}

(1. 北京化工大学化学工程学院, 北京 100029; 2. 中国环境科学研究院湖泊生态创新基地, 北京 100012;
3. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150001; 4. 北京化工大学生命科学与技术学院, 北京 100029)

摘要: 对磷在不同的水生植物系统中的重新分配进行了研究。结果表明,浮水植物(青萍和紫萍)吸收的磷主要来自于上覆水,而沉水植物(黑藻和水花生)吸收的磷直接来自于沉积物。沉积物中的解磷细菌促进了沉积物中的磷向上覆水中释放,从而降低了沉积物中的总磷含量。不同的水生植物处理系统中,沉积物微生物生物量及解磷细菌的数量均有差异,且沉积物的磷含量与解磷菌的数量呈现出一种负相关关系。

关键词: 磷含量; 磷细菌; 微生物生物量; 磷分配

中图分类号: X524

引言

目前,我国湖泊富营养化情况严重,治理富营养化水体的多种措施中,利用水生植物的方法,可以得到良好的净化效果、独特的经济效益并有利于重建和恢复良好的水生生态系统^[1]。

磷是控制湖泊富营养化的关键限制性元素之一^[2],它的存在形式、含量和转化对所在的生态系统生物群落的结构与功能起着重要的作用,因而磷分配在湖泊生态研究中居于重要地位。本文对不同的水生植物对磷在植物-上覆水-沉积物中的分配进行了研究。主要从沉积物中微生物生物量及磷细菌的数量两方面对磷分配结果进行了分析。

1 实验部分

1.1 供试水生植物及沉积物来源

青萍、紫萍、水花生和黑藻的种源取自太湖地区江苏省宜兴市大浦镇境内的湿地系统。取样地点的经度为 31°17.408' N, 纬度为 119°55.101' E。沉积物也取自同一位置的湿地系统,除去湿地中的植被后用柱状采样器采集表层 10 cm 的沉积物。其理化指标见表 1。

表 1 沉积物的理化性质 (pH = 7.1)

Table 1 Some physical and chemical characteristics of the sediment (pH = 7.1)

沉积物	w/ %	沉积物	w/ %
有机质	4.6320	钙	0.5754
氮	0.3012	钾	1.7238
磷	0.0757	锰	0.0375
铁	2.7861		

1.2 微生物培养

将采集的沉积物离心。在上口径、下口径和高分别为 15、10 和 10 cm 的小型塑料桶中装 100 g 经过离心的沉积物,然后加入 500 mL 含磷量为 0.02 mg/L 的 Steinberg 培养液^[3],将其 pH 值调为 6.5。Steinberg 培养液的成分如表 2 所示。在桶内加入一定量的水生植物,在光照培养箱中恒温培养。培养箱中,温度为 26 ~ 28 °C,光照强度为 36 μmol/(m²·s),光照时间为 16 h/d,湿度为 60%。培养过程中,培养液中水分会因挥发和植物吸收而减少,所以每两天补充一次水分。培养 10 d 后,测定该培养系统中微生物生物量含量、解磷细菌的数量及磷的分布情况。

1.3 分析方法

1.3.1 上覆水、沉积物和植物磷含量的测定 采用孔雀绿-磷钼杂多酸分光光度法^[4]测定上覆水中的磷含量。采用欧盟推荐 STM 法^[5]测定沉积物中总磷的含量。植物样品经浓硫酸、硝酸和高氯酸消解后用钼锑抗分光光度法测定其中总磷的含量^[6]。

收稿日期: 2006-02-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2002CB412300)

第一作者: 男, 1983 年生, 硕士生

*通讯联系人

E-mail: zhangpeng@mail.buct.edu.cn

表 2 Steinberg 培养液的配方

Table 2 Composition of The modified Steinberg medium

成分	/ (mg/L)	成分	/ (mg/L)
KNO ₃	350	H ₃ BO ₃	0.12
KH ₂ PO ₄	90	NaMoO ₄	0.044
K ₂ HPO ₄	12.6	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.18
MgSO ₄ · 7H ₂ O	100	FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.76
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	295	Na ₂ EDTA · 2H ₂ O	1.5
MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.18		

1.3.2 沉积物中的微生物生物量的测定 沉积物中微生物生物量是指单位质量沉积物中所含一种生物或一组生物重量,以 mg/kg 为单位。

将培养 10 d 后的沉积物风干至恒重。称取风干后的沉积物 10 g,加入 50 mL 0.5 mol/L K₂SO₄,振荡 30 min,过滤。然后称取另一份相同的沉积物,放入真空干燥器中。真空干燥器中放置一烧杯,烧杯内装有 50 mL 无酒精 CHCl₃。用真空泵抽至 CHCl₃ 沸腾并保持 2 min,放入恒温培养箱中,25 恒温培养,熏蒸 24 h。熏蒸结束后,用真空泵抽气法除去土壤中 CHCl₃,用 0.5 mol/L K₂SO₄ 提取熏蒸沉积物。用改良费尔恩法测定提取液中的有机碳。沉积物微生物生物量碳以熏蒸和未熏蒸土壤提取液中有机碳的差值乘以换算系数得到,沉积物微生物生物量碳系数为 2.64,单位是 mg/kg^[7]。

1.3.3 磷细菌数目的测定 将培养 10 d 后的沉积物离心,称取离心后的沉积物 5 g 置于 250 mL 无菌三角瓶中,加无菌水 100 mL,10 颗无菌玻璃珠,振荡分散 30 min,加热煮沸 1 min,静置 5 min,取上清液进行稀释至原浓度的 1/10⁵。用无菌移液管分别移取 0.1 mL 稀释到 10⁻⁵ 的上清液涂布于卵黄平板和磷灰石平板上。28 ℃ 倒置培养 3 d,卵黄平板上菌落周围出现透明圈的视为有解有机磷能力的菌株;培养 7 d 后磷灰石平板上菌落周围出现透明圈的视为有解无机磷能力的菌株。分别对分解有机磷和无机磷的菌株进行平板计数^[8]。

2 结果与讨论

2.1 水生植物的总磷含量的变化

在不同的水生植物系统中,研究了水生植物磷含量的变化情况。如图 1 所示,在有水生植物存在的情况下,每种水生植物都从上覆水中吸收了一定量的磷。不同的水生植物吸收水体中磷的能力差别

很大,在 10 d 的培养时间内,加入 4 g 黑藻的模拟水体中,黑藻从上覆水中吸收了 2.1436 mg 的磷;而加入相同重量的水花生的模拟水体中,水花生只从上覆水中吸收了 0.2943 mg 的磷。2 种浮萍吸收磷的能力差别不大,介于黑藻和水花生二者之间。

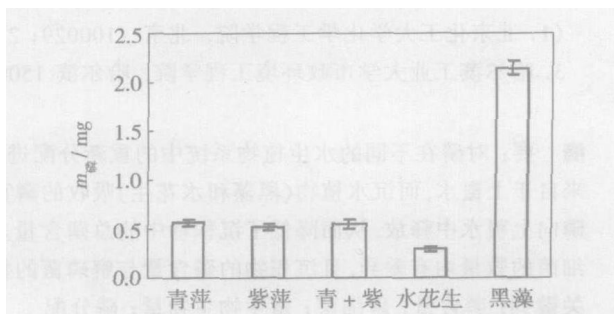


图 1 植物吸收的磷

Fig. 1 Phosphorus absorption of the plants

2.2 上覆水中磷含量的变化

在不同的水生植物系统中,研究了不同的水生植物对上覆水中的总磷、可溶性总磷及可溶性正磷酸盐含量的变化的影响。如图 2 所示,上覆水中磷的含量同培养前加入的磷含量相比都有了明显的增加。但是在有水生植物存在的模拟系统中,上覆水中可溶性正磷酸盐浓度同可溶性总磷浓度都有不同程度的降低。在生长 2 种浮萍的模拟系统中,上覆水中的可溶性正磷酸盐浓度基本上无法测出数值,即原来加入上覆水中的 0.02 mg/L 的可溶性正磷酸盐均被 2 种浮萍植物吸收。由此可见,浮水植物浮萍优先吸收上覆水中的可溶性正磷酸盐,使上覆水中的正磷酸盐含量大大减少。

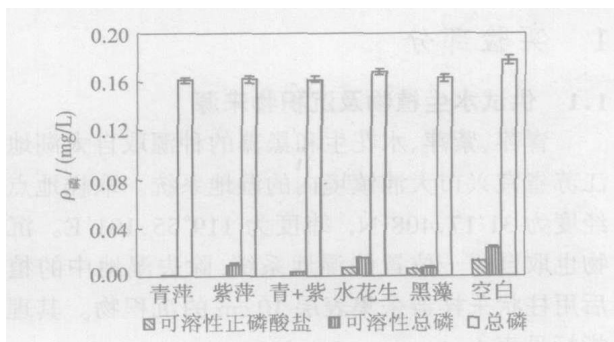


图 2 上覆水中磷含量

Fig. 2 Phosphorus content of overlay water

2.3 沉积物中磷含量、生物量及磷细菌数量的变化

2.3.1 沉积物中磷含量的变化 沉积物和上覆水中的磷的分配主要与二者之间的浓度差有关系。当上覆水中磷的浓度高时,上覆水中的磷向沉积物中

迁移的量要大于沉积物向上覆水中迁移的量,从而引起沉积物含磷量的升高。反之则由于沉积物向上覆水中迁移的量相对较大,引起沉积物中含磷量的减少和上覆水中磷浓度的增加。在不同的水生植物系统中,研究了沉积物的总磷含量的变化。如图 3 所示,在没有水生植物存在的情况下,沉积物向上覆水迁移的量要大于上覆水向沉积物中迁移的量,从而发生了磷在上覆水与沉积物之间的重新分配。有水生植物存在的情况下,由于植物对磷营养的吸收,使沉积物中磷的含量同空白相比有一定的减少。特别是在生长有沉水植物黑藻的模拟水体中沉积物的磷的含量减少的最多。在生长有黑藻的模拟水体中上覆水磷的总含量同空白相比没有大幅度的降低,500 mL 上覆水总磷含量仅降低了 0.00715 mg,但是沉积物中磷的含量却降低的很明显,100 g 沉积物的总磷含量同对照相比降低了 2.72 mg。这说明了沉水植物黑藻吸收的磷直接来自于沉积物。

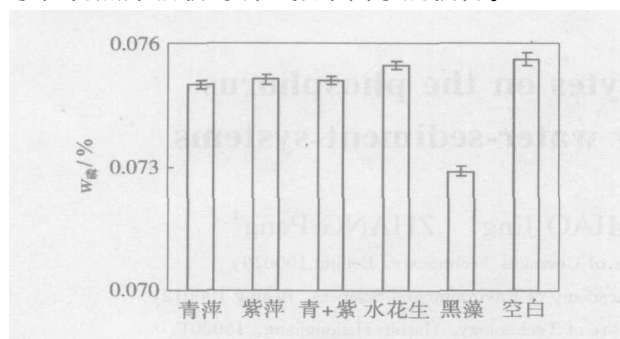


图 3 沉积物中磷含量

Fig. 3 Phosphorus content of sediments

2.3.2 沉积物微生物生物量及解磷细菌数量的变化 在不同的水生植物系统中,研究了不同的水生植物对沉积物中的微生物生物量及解磷细菌数量的变化的影响。如图 4 所示,有水生植物生长的沉积物的微生物生物量含量要高于无水生植物的生物量含量。与空白培养系统相比,其中,培养青萍、黑藻

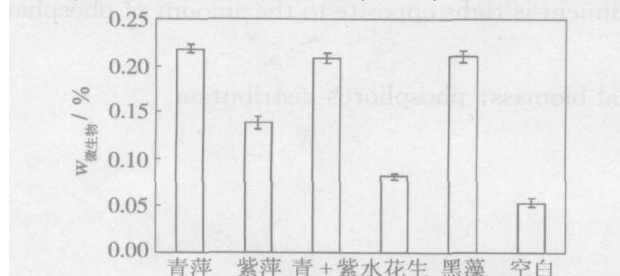


图 4 沉积物中微生物生物量

Fig. 4 Microbial biomass of sediments

系统的底泥生物量含量增长的最多,紫萍次之。藻系统中的底泥生物量与空白相比增加了 1.561 g/kg。而水花生系统的底泥生物量含量增加仅增加了 0.276 g/kg。由此可以看出不同的水生植物对沉积物的生物量影响是有差异的。

如图 5 所示,沉积物中磷细菌的数量在不同的植物处理系统中也是不同的。同对照相比有植物生长的模拟水体的沉积物中磷细菌的数量明显地增长。生长有浮萍和黑藻的模拟水体中的沉积物中磷细菌的数目增长相对较快。磷细菌在水体可溶性磷含量减少时通过扩大其种群的数量来分解沉积物中不可溶性的磷来供植物等对可溶性磷的需求。且沉积物中的微生物生物量与解磷细菌数量之间有一定正相关性,沉积物的磷含量与解磷菌的数量呈现一种负相关关系,且上覆水中的磷含量与解磷菌数量为正相关关系,这与东野脉兴等^[9]在对云南滇池微生物对磷循环与沉积作用的实验研究中所得到的结果相一致。这证明了微生物对磷在植物-上覆水-沉积物中重新分配所起到的重要作用。

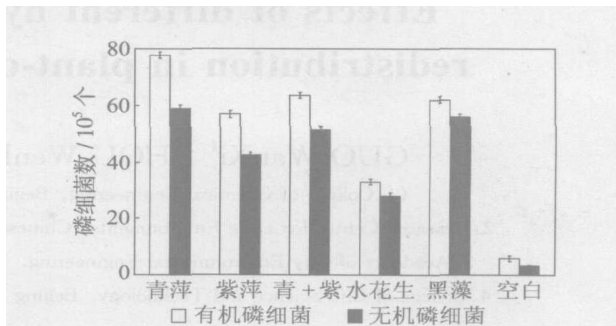


图 5 不同植物对磷细菌数目的影响

Fig. 5 Effects of different plant systems on phosphate bacteria number of sediments

3 结束语

磷在水体各相中的迁移是一个动态的过程,在一定的时间内构成了磷在水体各项之间的重新分配。本文中由于沉积物相对于模拟水体磷的含量很高,磷的迁移主要以沉积物向上覆水迁移为主。在有植物存在的情况下,沉积物中的磷含量同没有植物的相比都有一定的降低,特别是在生长有沉水植物黑藻的模拟水体中这种降低表现的更加明显。在生长有植物的情况下,上覆水中的磷含量有一定的降低,特别是生长有浮水植物浮萍的水体中,原来加入的可溶性磷主要被浮萍吸收。

沉积物中的解磷细菌促进了沉积物中的磷向上

覆水中释放,从而降低了沉积物中的总磷含量。不同的水生植物处理系统中,沉积物微生物生物量及解磷细菌的数量均有差异。且本文中沉积物微生物生物量与解磷细菌数量之间有一定正相关性,而沉积物的磷含量与解磷菌的数量呈现出一种负相关关系。这也从微观的角度解释了不同的水生植物处理系统中,沉积物中的总磷含量之间有差异的原因。

参考文献:

- [1] 朱斌,陈飞星,陈增奇. 利用水生植物净化富营养化水体的研究进展[J]. 上海环境科学, 2002, 21(9): 564 - 576.
- [2] 高丽,周健民. 磷在富营养化湖泊沉积物-水界面的循环[J]. 土壤通报, 2004, 35(4): 512 - 515.
- [3] CLEUVERS M, RATTE H T. Phytotoxicity of coloured substances: is *Lemna Duckweed* an alternative to the algal growth inhibition test? [J]. *Chemosphere*, 2002, 49: 9 - 15.
- [4] 国家环境保护总局. 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.
- [5] JIMENEX C F. Effects of Equex STM and equilibration time on the pre-freeze and postthaw motility of equine epididymal spermatozoa [J]. *Theriogenology*, 1987, 28(6): 773 - 782.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2001: 268 - 270.
- [7] 曹慧,杨浩,孙波,等. 不同种植时间菜园土壤微生物生物量和酶活性变化特征[J]. 土壤, 2002, 34(4): 197 - 200.
- [8] 林启美,赵小蓉,孙炎鑫,等. 四种不同生态系统的土壤解磷细菌数量及种群分布[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 34 - 37.
- [9] 东野脉兴,樊竹青,张灼,等. 云南滇池微生物对磷循环与沉积作用的实验研究[J]. 化工矿产地质, 2003, 25(2): 65 - 75.

Effects of different hydrophytes on the phosphorus redistribution in plant-overlay water-sediment systems

GUO WanXi¹ HOU WenHua² MIAO Jing³ ZHANG Peng⁴

(1. College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

2. Research Center for Lake Environments, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012;

3. Academy of City Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang, 150001;

4. College of Life Science and Technology, Beijing University of Chemical and Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Phosphorous is a key nutritious element that affects waterbody eutrophication. Phosphorus redistribution in plant-overlay water-sediment system with different hydrophytes has been studied. Results showed that phosphorous absorbed by *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza* came from overlay water, while phosphorous absorbed by *Hydrilla verticillata* and *Alternanthera philoxeroides* came mainly from sediment. Phosphate bacteria in sediment accelerates phosphorous release into overlay water, resulting in the reduction of phosphorus content in the sediment. In different hydrophytes environment, there are different amount of the microbial biomass and phosphate bacteria. Phosphorus content in the sediment is right opposite to the amount of phosphate bacteria.

Key words: phosphorus content; phosphate bacteria; microbial biomass; phosphorus distribution