

再生水补水水体中氮磷对斜生栅藻生长影响的研究

余 娅¹ 汪慧贞¹ 廖日红² 吴晓辉² 顾 华²

(1 北京建筑工程学院, 北京 100044, 2 北京市水利科学研究所水环境研究中心, 北京 100044)

摘要 北京市利用再生水补充景观水体的主要问题是其引发的水华现象, 选取富营养化较严重的西护城河作为研究对象, 观察水体中藻类群落发现, 绿藻中的栅藻为优势种; 调整河水中 N、P 的浓度做藻类增长潜力 (AGP) 试验, 结果表明, 河水中氮磷含量及氮磷比与斜生栅藻 (*Scenedesmus Obliquus*) 的生长有一定的关系。

关键词 再生水 斜生栅藻 富营养化 河水

用再生水补水的景观水体易发生富营养化, 经过调查研究发现, 斜生栅藻 (*Scenedesmus Obliquus*) 是再生水补水水体水华暴发时的一种常见淡水绿藻^[1,2]。藻类的数量以及水中叶绿素 a 的含量是评价水体富营养化的重要参数。藻类生长潜力 (Algal Growth Potential, AGP) 试验能通过监测水体中某一藻类生长潜力状况, 进而有效地预测藻类的增殖, 本研究通过模拟再生水补水的景观水体环境, 对斜生栅藻接种前后的生长变化进行监测, 并对其光密度 (OD)、藻细胞浓度、试验溶液中氮磷浓度进行分析, 探寻再生水中氮磷与斜生栅藻生长之间的关系^[3]。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

藻种: 首都师范大学生命科学院纯种培养的斜生栅藻, 将之接种在 SE 培养基 (NaNO_3 、 $\text{K}_2\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 KH_2PO_4 、 NaCl 、 Fe-EDTA 、 A_5 溶液、土壤提取液) 中, 测定其光密度 (OD) 值、藻细胞计数, 绘制出生长曲线, 确定其对数生长期, 在对数生长期转接藻种, 重复 2~3 次后即作为试验藻种。

试验原水: 取自北京市西护城河河段西便门闸下, 北京市护城河的主要功能是防洪和景观, 采用高碑

(4) 反冲洗时进水阀全开, 扫洗水量偏大, 部分从 V 型槽溢出, 影响冲洗效果。



图 1 改造后滤池反冲洗效果

(5) 滤池集中到一个触摸屏控制, 节省了投资, 缺点是触摸屏损坏或死机不便单池的操作。

(6) 滤池进水、排水闸板阀故障率较高, 经常开启时易发生故障, 大多是闸板滑槽结垢及冬季收缩

变形, 也有气缸进水生锈或密封圈老化漏气的原因。也发生过多个排水闸板框密封条易脱落, 待滤水流失的情况。

(7) 设备、管路维护要求高, 增加了空压机设备, 随着压缩空气管道气密性降低会导致空压机启动频繁, 管内冷凝水要及时排除, 水进入气缸引起阀门故障增多。

6 小结

综上所述, 这是一次成功的改造。V 型滤池自动化程度高, 出水水质好, 滤砂反冲洗彻底, 过滤周期较长。采用 A zurfloor 底模整体浇筑滤板的工艺除了可在新建净水厂应用外, 更值得推广到旧厂改造中去。

○ 通讯处: 350002 福州市杨桥西路 138 号 福州市自来水总公司西区水厂

电话: 13905022586

E-mail: 95071@163.com

收稿日期: 2008-12-11

店深度处理出水作为补水水源。由于河道排污口甚多,水质指标均为劣 V 类水(见表 1),在夏季时易爆发水华,水样用 0.45 μm 微孔纳滤膜过滤后,取滤液作试验原水。

表 1 西便门闸下河水水质指标

水质指标	NH ₃ -N/mg/L	TN/mg/L	TP/mg/L	COD _{Mn} /mg/L
数值	0.3~0.6	10~25	0.2~0.5	7~12

氮磷营养液:用 NaNO₃ 配制含 N 量 5 000 mg/L 的氮营养液,用 K₂HPO₄ 和 KH₂PO₄ 按 SE 培养基中浓度比例配制含磷量 500 mg/L 的磷营养液,在 4 °C 下冷藏备用。

1.2 试验方法

1.2.1 藻种除氮磷

将斜生栅藻放入饥饿 SE 培养基(不含氮磷)中转接培养 2~3 次后,用灭过菌的 15 mg/L 的 NaHCO₃ 溶液洗涤 3~4 次,稀释到需要接种浓度的 100 倍备用。

1.2.2 测试方法

OD 值用 Cary50 分光光度计(663 nm);藻细胞用显微镜,0.1 CC 计数框,视野计数法计数,每组计数两次,10 个视野/次;总氮、总磷分别都用过硫酸氧化,紫外 cary50 紫外分光光度计测定;叶绿素 a:取定量试验液,用 0.45 μm 微孔滤膜抽滤,放入冰箱冷冻干燥>6 h 后,取出研磨,用 90% 的丙酮萃取于离心管中,用 GL-20B 高速冷冻离心机离心(6 000 r/min),15 min 之后倒出上清液,定容、以 90% 的丙酮作为空白比色^[4]。

1.3 试验设计

将 5 个 250 mL 的锥形瓶洗净灭菌,编号 A、B、C、D、E,分别做再生水、N 盐、P 盐三组实验,保持培养箱的温度在(25±1) °C,光照强度 4 000 lux,光暗比为 12 h:12 h。为减少光照不均匀性,每隔 4 h 转换一次瓶子的位置,振荡。监测时间为每天上午 10:00。在 A 中加入 100 mL 原水,B、C、D、E 4 个锥形瓶中加入 100 mL 饥饿 SE 培养基,根据表 2,再分别添加氮或磷营养液,配置 4 组不同的试验液(每组设 3 个平行样),与原水进行比较。

根据表 3 添加不同浓度的氮磷营养液做 A GP 试验。

表 2 AGP 试验培养基配方

组别		N/mg/L	P/mg/L
A	试验原水	15	0.25
B	无 N、P 培养基	0	0
C	无 N、P 培养基+ N+ P	15	0.25
D	无 N、P 培养基+ N	15	0
E	无 N、P 培养基+ P	0	0.25

表 3 AGP 试验培养基配方

组别	A1	B1	C1	D1	E1
N/mg/L	5	10	15	20	25
P/mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
组别	A2	B2	C2	D2	E2
P/mg/L	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
N/mg/L	25	25	25	25	25

2 试验结果与讨论

2.1 斜生栅藻的生长曲线

斜生栅藻的生长曲线包括延滞期、对数生长期、稳定期和衰亡期,图 1 显示的是斜生栅藻在对数生长期的状况,回归后得到 logistic 方程,见式(1)和式(2)。可以看出,其藻细胞密度变化和吸光度变化基本上是一致的,但是吸光度的对数相关性比较好,原因可能有两个,一是死亡的藻细胞在显微镜下不容易分辨,二是藻细胞计数采用显微镜视野计数法,肉眼观察和计数容易产生误差。

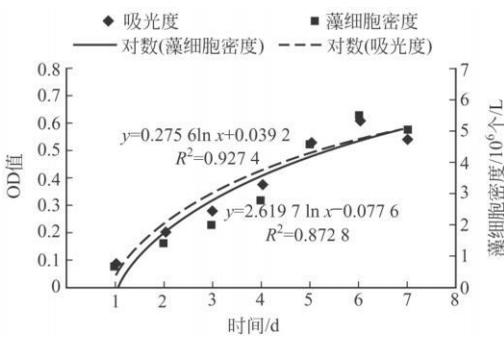


图 1 斜生栅藻对数生长期曲线

$$y_{OD} = 0.2756 \ln x + 0.0392 \quad (R^2 = 0.9274) \quad (1)$$

$$y_{cell} = 2.6197 \ln x - 0.0776 \quad (R^2 = 0.8728) \quad (2)$$

式中 y_{OD} —— 光密度值;
 y_{cell} —— 藻细胞密度, $\times 10^6$ 个/L;
 x —— 进入对数生长期后生长的天数, d。

2.2 再生水中斜生栅藻增长潜力分析

从图 2 和图 3 中都可以看出,藻细胞浓度和叶绿素 a 含量均与吸光度 OD 值线性相关,OD 值、藻细胞浓度及叶绿素 a 含量。均能反映斜生栅藻的生长潜力情况。

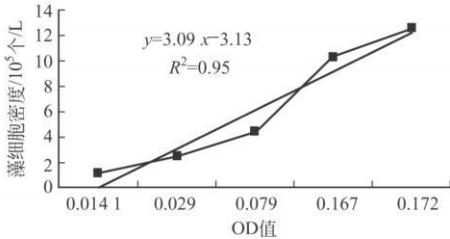


图 2 藻细胞浓度随吸光度 OD 值的变化

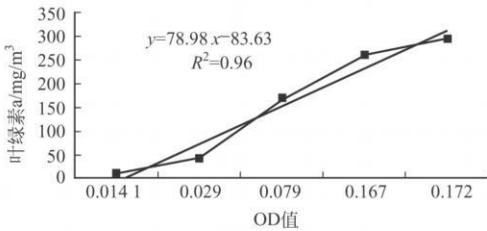


图 3 叶绿素 a 含量随吸光度 OD 值的变化

图 2 和图 3 比较得知叶绿素 a 与 OD 值间的相关性更好($R^2=0.96 > 0.95$),这是因为叶绿素 a 的含量不仅与藻细胞的个数有关系,并且与藻细胞个体的大小有关系。

从图 4 中可以看出, C 组与试验原水 A 中,斜生栅藻的生长趋势基本一致,而 B、D、E 三组培养基中的斜生栅藻明显受抑制。B 组与 D 组的比较说明在没有 P 的条件下,培养基中加或不加 N 对斜生栅藻的生长基本没有影响。B 组与 E 组的比较说明在没有 N 的条件下,在培养基中加 P 对斜生栅藻的生长起一定促进作用。

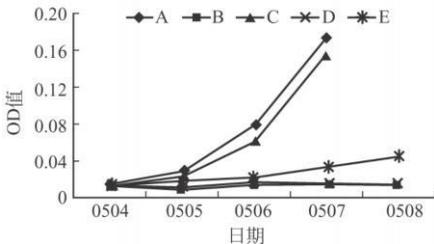


图 4 斜生栅藻在五中试验液下 OD 值的变化

2.3 氮磷对斜生栅藻生长的影响

2.3.1 氮对斜生栅藻生长的影响

McCarthy 等人在 1977 年指出浮游植物利用各种形式氮的优先顺序为氨氮>有机氮>硝酸盐>亚硝酸盐,藻类摄取水中的氨氮,通过光合作用合成细胞所需要的氨基酸等物质^[5,6]。本次试验原水是再生水补水的护城河河水,经过滤后监测发现氨氮较低(0.558 mg/L),硝酸氮较高(13.0 mg/L)。但试验结果显示,河水原水中斜生栅藻依然增殖很快,说明斜生栅藻能利用水中的硝酸盐氮合成自身需要的有机氮。

从图 5 中可以看出,在 P 充足的条件下, $N \leq 15$ mg/L 时,斜生栅藻生长良好,并且在 $N = 10$ mg/L 时增值最快,当 $N \geq 20$ mg/L 时,斜生栅藻的生长明显受抑制。

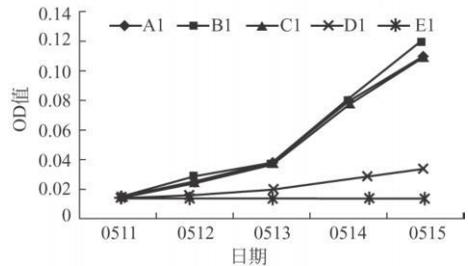


图 5 不同氮盐浓度下斜生栅藻的生长情况

从图 6 中可以看出,试验初期水中总氮浓度较高,藻的比增长率随时间增长,氮浓度下降较快,随后,随着氮浓度的下降,比增长率下降,这说明斜生栅藻的生长需要消耗水体中的氮。并且氮的浓度大小影响了斜生栅藻增殖的快慢。

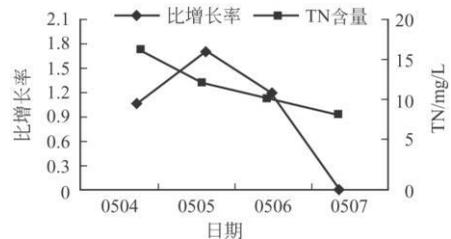


图 6 A 组中斜生栅藻比增长率和 TN 变化

2.3.2 磷对斜生栅藻生长的影响

从图 7 中可以看出,在 N 充足的条件下, $P = 0.05$ mg/L 时,斜生栅藻基本不生长, $P \leq 0.3$ mg/L 时,斜生栅藻生长潜力较大,且在 $P = 0.2$ mg/L 时生长潜力最大。

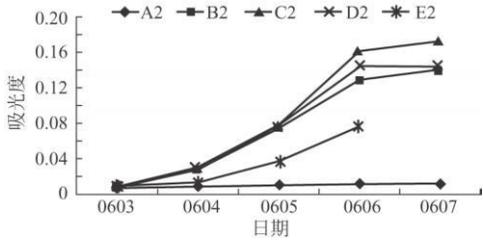


图7 不同磷盐浓度下斜生栅藻的生长情况

从图8中可以看出,当 $P \geq 0.1 \text{ mg/L}$ 时,斜生栅藻的比增长率是逐渐增大的,当 $P < 0.1 \text{ mg/L}$ 时,随着TP浓度的减小,比增长率逐渐降低。说明在磷充足的时候 ($\geq 0.1 \text{ mg/L}$),藻吸收水中的磷,一部分用于转化成高能有机化合物ATP的形式储存能量,一部分用于合成细胞核酸以繁殖藻细胞^[7],只要磷充足,这种转化和繁殖过程就不会间断,所以藻细胞的比增长率不断上升。当磷不足 ($< 0.1 \text{ mg/L}$) 时,藻类合成细胞核酸的条件受到限制,但由于细胞内储存的ATP释放的磷源可以合成少量的核酸,所以藻细胞比增长率开始下降,直到将水体中的磷消耗尽之后停止生长^[7]。

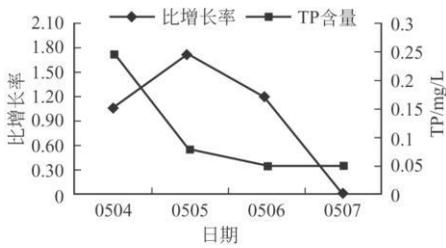


图8 A组中斜生栅藻比增长率和TP变化

以上分析表明,当 $N \geq 20 \text{ mg/L}$ 且 $P \geq 0.4 \text{ mg/L}$ 时,生长潜力都不大,这说明在再生水补水水体中,并不是N和P浓度越高,斜生栅藻的增长速度就越快。

2.3.3 氮磷比对斜生栅藻生长的影响

对培养液中的氮磷比作分析,结果如图9。再生水中 $N:P = 40 \sim 50:1$ 时,藻类几乎不生长, $N:P < 40$ 时,明显看到藻类生长,其中 $N:P = 12.5:1$ 时,藻类增长最快。从系列 $N:P$ 来看,低氮磷比比高氮磷比对藻类生长更有利。

3 结论

- (1) 斜生栅藻在再生水补水水体中生长迅速,符合单一种群的增长模式,符合 logistic 方程^[8]。
- (2) 在再生水补水水体中,斜生栅藻密度、叶绿

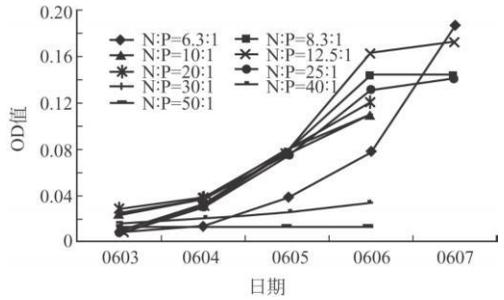


图9 N/P 比对斜生栅藻增长的影响

素 a 与光密度值存在相关性,可通过光密度测定来确定水体中的藻细胞密度及叶绿素 a 含量。

(3) 在 P 充足的条件下, $N \leq 15 \text{ mg/L}$ 时,斜生栅藻生长良好,并且在 $N = 10 \text{ mg/L}$ 时增殖最快;当 $N \geq 20 \text{ mg/L}$ 时,斜生栅藻的生长受到抑制,当 $N = 25 \text{ mg/L}$ 时,斜生栅藻几乎不生长。目前用再生水补水的城市河湖中氮含量较大, P 达到 0.2 mg/L 时藻类生长也达到最大速率。

(4) 氮磷比是斜生栅藻增长潜力的主要影响因素,当 $N:P = 12.5:1$ 时,其增长速率最大,低氮磷比比高氮磷比对藻类生长的促进作用要大。

参考文献

- 1 付春平,钟成华,邓春光. 水体富营养化成因分析. 重庆建筑大学学报, 2005, (1): 128~ 129
- 2 刘莉,郑兴灿,廖飞凤,等. TP 浓度和季节变化对再生水水体中藻类生长的影响. 中国给水排水, 2007(21): 102~ 104
- 3 金相灿,屠清瑛等. 湖泊富营养化调查规范. 第2版. 北京: 中国环境科学出版社, 1987
- 4 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002, 697~ 699
- 5 McCarthy J J, Taylor W R, Taft J L. Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay. I. Nutrient availability and phytoplankton preferences. Limnology and Oceanography, 1977, 22(6): 996~ 1011
- 6 何少林. 高效藻类塘处理农村生活污水氮磷去除机理及工艺研究, 2006(3): 72~ 73
- 7 Martinez M E, Sanchez S, Jimenez J M, et al. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga Scenedesmus obliquus. Bioresource technology, 2000, 67: 233~ 240
- 8 马沛明. 利用着生藻类去除 N、P 营养物质的研究, 2005: 36~ 37

& E-mail: yya1984@gmail.com

收稿日期: 2008-12-29