

脉冲变频电磁场对水中藻类的抑制及去除效能

梁文艳^{1,2}, 曲久辉^{1*}, 谌丽斌²

(1. 中国科学院生态环境研究中心 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083)

摘要:研究了脉冲变频电磁场对水华鱼腥藻的抑制及去除效果. 结果显示, 磁场对循环水样表现出很好的杀藻效果, 水样在磁场中累积停留时间为 6 min 时, 杀藻率可以达到 94%, 累积停留时间为 10 min 时, 杀藻率可以达到 96%. 处理后的水样, 藻细胞密度在 120 h 内没有增加, 生长受到抑制, 经磁场处理的循环水样“磁记忆”时间可以达到 120 h. 对于静置于磁场中的水样, 处理 1 h 后, 藻的生长开始受到抑制. 不同的处理方式会产生不同的效果, 对于脉冲变频磁场, 水以运动的形式通过磁场更有利于杀藻.

关键词: 磁场; 脉冲; 变频; 藻类; 抑制; 去除

中图分类号: TU991.2; X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)04-0038-05

Algal Inactivation and Removal by Pulsed Magnetic Field with Varying Frequency

LIANG Wen-yan^{1,2}, QU Jiu-hui¹, CHEN Li-bin²

(1. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Science, Beijing 100085, China; 2. College of Natural Resources & Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The paper studied the algal inactivation and removal by pulsed magnetic field with varying frequency. The results indicated that algae could be inactivated and killed by the magnetic treatment for the circulating water sample. When the accumulated resident time reached 6 minutes, the algae became to die with the mortality of 94%. If the resident time were 10 minutes, the algal mortality would be more than 96%. The treated algae didn't grow within 120 hours, which indicated that the "magnetic memory time" can reach 120 hours. For the static sample in magnetic field, the inhibition effect became to do the work after 1 hour. Different treatment methods brought about different results. It was more propitious to inactivate the algae for circulating sample.

Key words: magnetic treatment; pulsed field; varying frequency; algae; inactivation

在工业生产和一些大型中央空调系统中, 很多时候需要使用循环水系统. 如果不采取措施, 循环水系统中容易出现水垢、腐蚀、细菌和藻类等现象. 其中藻类的生长繁殖不仅污染循环水质, 而且大量藻体还会堵塞滤网和滤料, 藻的光合作用还会使水中溶解氧增加而加剧设备的腐蚀. 为了防止藻类和其它微生物的生长, 人们常向系统中投加化学药剂, 如杀菌灭藻剂来杀死细菌和藻类, 但是化学药剂的使用对环境带来了负面影响, 尤其是一些有毒有害的杀藻剂, 当循环水不加处理排放后, 不可避免地会带来另一种污染.

电子水处理是近几十年兴起的一种新型水处理技术, 它是一种物理处理方法, 利用磁场或电场作用来防止水质结垢和设备受腐蚀, 以及抑制藻类和细菌生长^[1~4]. 虽然到目前为止, 仍不十分清楚磁场作用的机理, 但大量的生产厂商已开始开发并运用这项技术^[5]. 磁场除具有防垢、除垢的功能外, 交变电磁场在特定条件下对细胞的生长具有明显抑制作

用^[6]. 本文主要研究脉冲式变频电磁场对藻类的抑制与去除效能.

1 脉冲变频电磁场

本实验使用直流脉冲变频电磁场对含藻水样进行处理. 它不仅具有普通交变磁场对细胞的抑制作用, 而且脉冲磁场和不断扫描的频率可以使处理效果大大提高. 图 1 是直流脉冲变频电磁场的发生原理. 当接通电源后, 缠绕在水管外壁上的线圈将发生器产生的电磁波感应到水管内水体中. 当强大的直流脉冲电流在高电平转入低电平瞬间, 积聚在感应线圈的能量由于电路的突然关闭, 为了得以释放在线圈两端产生反冲高压, 使水管中感应的电压瞬间猛增, 产生了一个很大的瞬间电流, 从而大大提高了

收稿日期: 2003-09-25; 修订日期: 2003-11-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 2007703); 国家高技术
研究发展计划项目 (2002AA601120)

作者简介: 梁文艳 (1969~), 女, 博士生, 江西南昌人, 主要从事环境
工程水处理和环境化学方面的研究.

* 通讯作者

电磁场能量的传递效率.利用电磁场能量进行水处理是一个相当复杂的过程,在整个处理过程中,伴随着各种物理反应、化学反应、电化学反应和生物反应.通过实验证明,各种在水中产生的反应和作用都不是在同一频率的磁场驱动下产生,而是分别对应于某种频率的作用下进行有效的反应.为了使水体中更有效地发生各种物理反应、化学反应、电化学反应和生物反应,除获得足够的能量外,还需要使发生的脉冲电磁波产生持续的频率变化,即变频.因此采用直流脉冲变频电磁场,即具有交流感应性能,又具有直流电场阴阳极的电离作用,还具有脉冲波冲击功能,以及不断变化的变频作用.这样在水处理的复杂过程中,使电磁场能量能以多种形式有效地参与各种物理、化学和生物的反应,从而提高水处理效果.当水通过高频电磁场时,水分子作为偶极子被不断极化而产生扭曲、变形、反转、振动,且与外加电磁场共振使其他分子运动加强,使原来缔合形成的各种综合链状、团状大分子(H_2O)_n解离成单个水分子,最后形成比较稳定的双水分子(H_2O)₂,增强了水的活性,改变了水分子与其它离子的结合状态,从而能更有效地破坏细胞壁和细胞膜^[7].

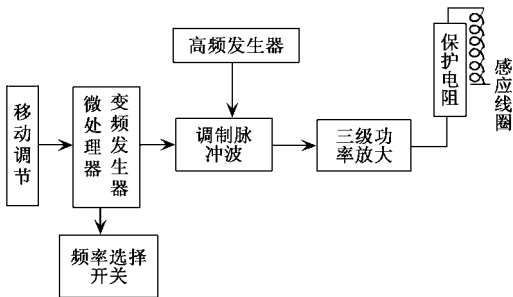


图1 脉冲变频电磁场发生原理

Fig.1 The production principle for pulsed magnetic field with varying frequency

2 实验材料和方法

2.1 藻种

实验中使用的水华鱼腥藻(*Anabaena flos-aquae*),购自中科院武汉水生生物研究所.藻体为丝状,是淡水湖泊中常见的藻种.采用SE培养基,在30℃,2000lx连续光照下进行培养.

2.2 实验装置

变频电磁场除藻的实验装置可见图2.实验时将线圈缠绕于管径为2cm镀锌水管上,在水管内形成一个电磁场.其中水处理器的的工作电压为12V,输出功率为20W.变频方式为在固定时间内对频率进

行扫描.扫频范围为中频至高频,即800Hz~60kHz,扫频周期为1.0s.空管时管中所形成扫频磁场的磁感应强度B为0.002~0.01T.

2.3 实验方法

实验前,将培养至对数增长期的水华鱼腥藻接种于新鲜培养液中,然后置于培养箱中培养,使藻处于很好的活性状态,24h后开始实验.

实验中水样采取2种方式进行处理,一种是水样的循环处理,另一种是将水样静置于磁场中直接处理.对于循环处理,可按图2方式将水样放入系统中,开启计量泵,使水样在系统中循环,在磁场中累计停留时间为2、4、6、8、10min,处理后的水样倒入三角瓶中,置于培养箱中进行培养.对处理后的水样测定0、24、48、72、120h的光密度和细胞密度,并观察藻的生长和死亡状况,计算杀藻率.控制样品也同样放入系统中循环,但关闭磁场进行处理.每个实验重复3次.

对于水样直接静置于磁场的实验,将含藻水样注入磁场中静置处理,时间为10、60、180min,处理后的水样放入培养箱中培养,测定0、24、48、72、120h的光密度值.控制样放在远离电磁场的地方,然后与处理水样一起放入培养箱中培养.每个实验重复3次.

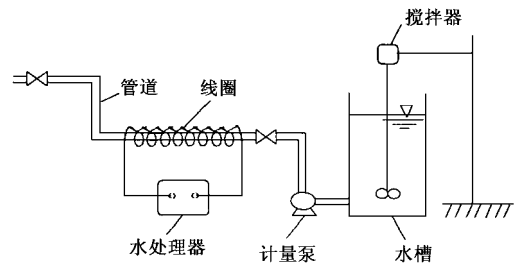


图2 脉冲变频电磁场灭藻试验系统

Fig.2 The test system for algal inactivation by pulsed magnetic field with varying frequency

2.4 藻细胞密度计数方法

藻细胞密度采用0.1mL浮游植物计数板进行计数,计算公式如下:

$$N = \frac{A}{B \times C} \cdot \frac{D}{E} \cdot F$$

式中, N 为每 L 水样中藻细胞的个数; A 为计数框面积(m^2); B 为一个视野的面积(m^2); C 为计数时的视野数(个); D 为 1 L 水浓缩后体积(mL); E 为计数框的容积(m^2); F 为每片所测藻类数.

2.5 含藻溶液光密度值的测定

用紫外分光光度计对藻溶液进行扫描,测得最大吸收峰为 685 nm,因此用 685 nm 测定藻液的光密度值。

2.6 杀藻率

杀藻率是指原水中藻细胞被杀死的比率,用下式进行计算:

$$\text{杀藻率} = \frac{\text{原水中藻细胞密度} - \text{处理后藻细胞密度}}{\text{原水中藻细胞密度}}$$

3 实验结果与讨论

3.1 磁场对循环水样的处理效果

3.1.1 停留时间对藻类抑制与去除效果的影响

图 3 是在磁场中不同累积停留时间的循环水样处理后光密度值随培养时间的变化。从图 3 可以看出,不同的停留时间对藻类的抑制作用明显不同。在磁场中停留时间为 2 min 的水样,水华鱼腥藻细胞生

长正常,生长趋势与控制样基本一致,表明在磁场中停留 2 min 对藻细胞生长没有明显的抑制作用。停留时间为 4 min 的处理水样,培养 24 h 后的光密度值已低于控制样,虽然藻细胞还处于生长中,但明显受到磁场处理的影响。而对于停留时间为 6、8 和 10 min 的水样,处理前的光密度值为 0.063 ~ 0.071,培养 24 h 后的光密度值已显著下降,48 h 后光密度继续下降,降为 0.025 ~ 0.040,部分藻细胞已死亡,光密度是由剩余的细胞和破裂的细胞碎片所引起。不同的作用时间表现了明显的差异,这是由于磁场对生物机体的作用,往往需要作用一段时间才能表现出来,因为只有积累物理量中的大多数,机体才能发生明显的生物效应,而且有时磁场产生的生物效应比较微小,这些微小效应也需要一段时间积累才能显示^[8]。所以 4 ~ 6 min 的磁场作用,使鱼腥藻的生长开始受到抑制,而作用 8 ~ 10 min,已使藻细胞受到损伤而死亡。

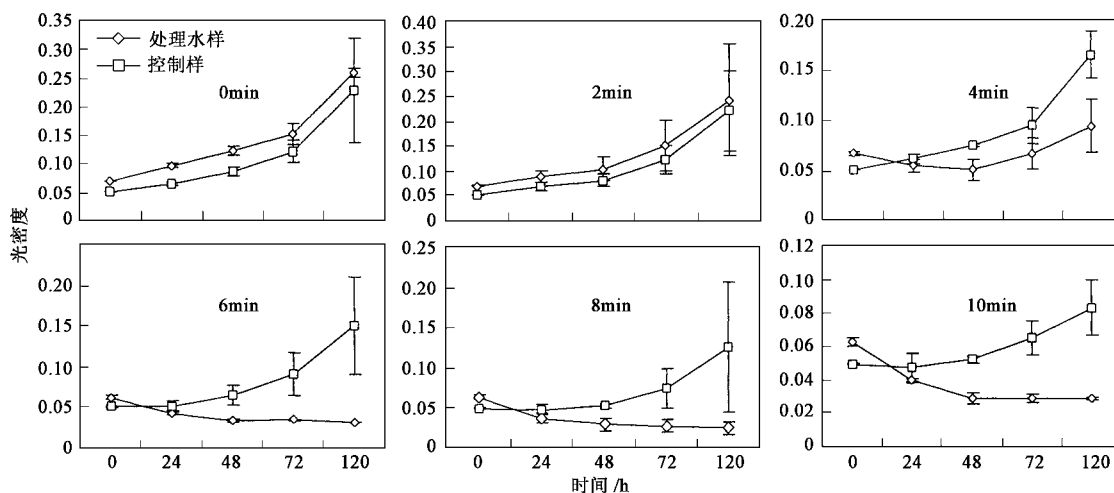


图 3 循环处理水样光密度随培养时间的变化

Fig. 3 The change of absorbance value for treated sample and control sample along with incubation time

在磁场中停留 8 min 和 10 min 的水样,培养 24 h 后的溶液已变为浅黄色,大量细胞死亡并破碎,在显微镜下观察,剩下的细胞长度也明显减少。由于藻细胞含有叶绿素,而具有自发荧光的特性,在荧光显微镜绿色光(激发波长为 546 nm)下,活性细胞可以发出红色荧光,而死亡细胞将不发荧光,因此用荧光显微镜对处理前后的藻细胞进行观察。水样处理前,藻细胞发出非常明亮的红色(见图 4),对于一条藻细胞,其发光均匀而连续。而水样处理后,对于一条藻细胞,所发出的荧光表现出了不连续的状态,从图 5



图 4 水样处理前显微镜下所观察的藻细胞

Fig. 4 The algal cell under the microscope before treatment

中可以看出,有的细胞在明场下还能观察到,但在荧光场下已观察不到,表明这样的细胞已经失去活性.

磁场对藻细胞的杀死率可见表 1. 实验结果显示,停留时间 6、8 和 10 min 的处理水样,24h 后藻细胞密度呈现 2 个数量级的减少,原水藻细胞密度为 10^9 个/L,处理后的密度降为 10^7 个/L,48h 后细胞密度继续下降,并达到稳定. 停留时间为 6 min 时的杀藻率在 48h 后可以达到 94%,停留时间 8 和 10 min 的水样,48h 后的杀藻率可以达到 96%. 结果说明循环水样在磁场中累积停留时间达到一定时,磁场对水样表现出很好的杀藻效果.

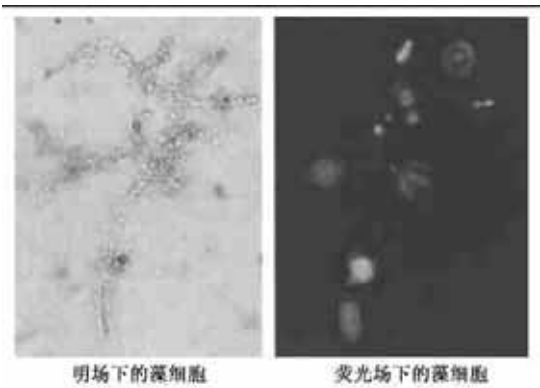


图 5 水样处理后显微镜下所观察的藻细胞

Fig. 5 The algal cell under the microscope after treatment

表 1 循环水样处理后的藻细胞密度变化值 ($\times 10^8$ 个/L) 和杀藻率¹⁾
Table 1 The algal cell density ($\times 10^8$ /L) after treatment and the algal mortality

累积停留 时间/min	培养时间/h									
	0		24		48		72		120	
	细胞密度	杀藻率/%	细胞密度	杀藻率/%	细胞密度	杀藻率/%	细胞密度	杀藻率/%	细胞密度	杀藻率/%
6	11 $\pm$ 0.01	0.90 $\pm$ 0.90	92 $\pm$ 8.2	0.64 $\pm$ 0.11	94 $\pm$ 1.0	0.76 $\pm$ 0.21	93 $\pm$ 1.9	0.49 $\pm$ 0.10	96 $\pm$ 0.1	
8	11 $\pm$ 0.01	0.83 $\pm$ 0.32	93 $\pm$ 2.9	0.50 $\pm$ 0.20	96 $\pm$ 1.8	0.44 $\pm$ 0.17	96 $\pm$ 1.6	0.45 $\pm$ 0.24	96 $\pm$ 2.2	
10	11 $\pm$ 0.01	0.90 $\pm$ 0.01	92 $\pm$ 0.1	0.46 $\pm$ 0.23	96 $\pm$ 0.2	0.47 $\pm$ 0.23	96 $\pm$ 0.1	0.59 $\pm$ 0.12	95 $\pm$ 1.1	

1) 表中所列数据为 3 次实验 $\bar{X} \pm SE$

3. 1. 2 水样的“磁记忆”效果

在磁场作用下,水溶液的性质会发生许多改变,如水分子集聚程度的减少,即水分子的活化、化学键角度的改变、UV 和荧光光谱的改变、自由基的生成、水-离子胶合体半径的减少、胶体势能 ξ 电位的改变、金属离子表面积的减少和水合作用能力的增加、气体在水溶液中的溶解与传递的促进等^[8]. 这些性质的改变在磁场作用消除后,仍能持续一段时间,人们常将这种现象称为水的“磁记忆”效果. 根据磁场处理条件的不同,磁记忆的时间可从几 h 到几天^[9].

循环水样经脉冲变频磁场处理后,藻细胞密度在 24h 后下降,到 48h 达到稳定,从 48h 到 120h,虽然水样中还有 10^7 个/L 的活性藻细胞存在,但细胞密度并没有随时间而上升,藻细胞的生长受到了强烈抑制,不能进行正常的分裂繁殖,当然水样中的藻细胞也没有继续死亡. Colic 认为水溶液的“磁记忆”是由气/液表面性质的改变所引起的,在磁场作用消除后,正是气/液表面性质的逐步“松弛”使水保持了“记忆”效果^[10], Rai 认为“磁记忆”的原因来源于磁场作用下水分子结构的改变,磁场使氢键长度变小而产生了记忆效果^[11]. 虽然并不十分清楚水的“磁记忆”机理,但在脉冲磁场中停留 6 至 10 min 的水

样,能保持近 120h 的“磁记忆”效果.

3. 2 磁场对静置水样的处理效果

图 6 是磁场对静置水样的处理结果. 从图 6 可以看出,静置处理 10 min 的水样,藻的生长速度比控制样快,培养 120h 后的光密度值超过控制样近 1/3,而处理 60 min 和 180 min 的水样,藻的生长受到一定的抑制,培养 120h 后藻的光密度值比控制样低. 磁场对静置于其中的水样的处理效果与循环水样明显不同. 利用磁场除垢的研究表明,水的磁化必须具备 2 个条件,一是足够强的磁场,二是水以一定的流速经过有效磁场^[4]. 当水以一定流速经过磁场时,所形成的洛伦兹力会对细胞结构产生影响. 在磁场作用下,细胞壁的通透性加强,溶液中的少量 Ca^{2+} 进入细胞内,刺激酶活性,加速细胞的生长,而磁场的长时间作用,使水中的大量离子和磁化产生的其它物质进入细胞而对细胞产生抑制作用,甚至杀死细胞^[12]. 交变磁场方向的不断改变对静置水样也能产生洛伦兹力,但作用效果与运动水样不同. 对运动水样,磁场作用表现的抑制作用更为显著,而对静置水样,同样 10 min 的处理却产生了刺激作用,只有长时间作用才表现出对细胞的抑制作用. 由此可见不同的处理方式会产生截然不同的效果,也说明磁场对生物的刺激和抑制与作用方式有关. 因此对于脉冲

变频磁场,水以运动的形式通过磁场更有利于杀藻.

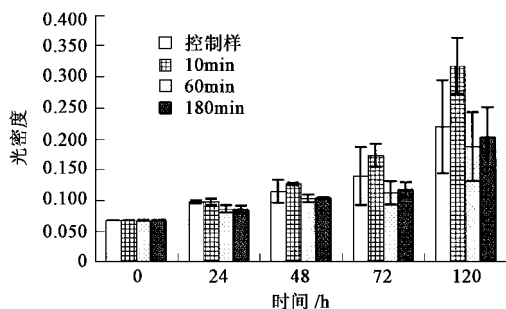


图 6 静置于磁场中水样处理结果

Fig. 6 The result of static sample in magnetic field

4 结论

通过脉冲变频电磁场对藻类作用效果的研究,显示脉冲变频电磁场对循环水样能表现出较好的杀藻效果,当循环水样在磁场中累积停留时间为 6 min 时,水样的藻细胞密度在 24h 后呈现下降趋势,48h 后的杀藻率可以达到 94%,当停留时间为 10 min 时,48h 后的杀藻率可以达到 96%.而且经磁场处理后的藻细胞生长受到抑制,在 120h 内细胞密度没有增加,水的“磁记忆”效果可以达到 120h.对静置于磁场中的处理水样,短时间处理有可能刺激藻细胞生长,而处理 1h 后才能使藻的生长受到一定抑制,表明不同的处理方式会产生不同的效果.对于脉冲变频磁场,水以运动的形式通过磁场更有利于杀藻.利用磁场进行水处理是一个非常复杂的过程,包含

了各种物理、化学、生物的变化,其作用机理和水样的磁“记忆”效果都还有待于进一步研究.

参考文献:

- [1] 吴星五, 高廷耀, 李国建. 电化学法水处理新技术——杀菌灭藻[J]. 环境科学学报, 2000, 20(suppl): 75~79.
- [2] 刘梅, 胡征宇, 谢作明. 电子灭藻机除藻效果试验[J]. 中国给水排水, 1999, 15(3): 59~60.
- [3] 李建宏, 翁永萍, 陈正林, 华菁, 蒲传, 邓鑫. 电子水处理杀菌灭藻效果的研究[J]. 工业水处理, 1998, 18(1): 26~27.
- [4] 杨立. 高能磁通技术及其在工业循环水系统中的应用[J]. 工业水处理, 2001, 21(6): 45~46.
- [5] Baker J S, Judd S J. Magnetic amelioration of scale formation[J]. Water Research, 1996, 30(2): 247~260.
- [6] Pothakamury U R, Barbosa-Cónovas G V, Swanson B G. Magnetic-field inactivation of microorganisms and generation of biological changes[J]. Food Technology, 1993, 12: 85~93.
- [7] 崔凤磊. 高频电场磁化水在防垢、杀菌方面的研究[J]. 工业水处理, 1997, 17(6): 20~21.
- [8] 刘普和. 物理因子的生物效应[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 148.
- [9] Barrett R A, Parsons S A. The influence of magnetic fields on calcium carbonate precipitation[J]. Water Research, 1998, 32(3): 609~612.
- [10] Colic M, Morse D. The elusive mechanism of the magnetic 'memory' of water[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1999, 154: 167~174.
- [11] Rai S, Singh N N, Mishra R N. Magnetic restructuring of water[J]. Medical & Biological Engineering & Computing, 1995, 33: 614~617.
- [12] Goldworthy A, Whitney H, Morris E. Biological effects of physically conditioned water[J]. Water Research, 1999, 33(7): 1618~1626.