

人工介质对水源水中藻类去除特性研究

纪荣平^{1,2}, 吕锡武^{1*}, 李先宁¹, 陈非洲³

(1. 东南大学环境科学与工程系, 南京 210096; 2. 扬州大学环境科学与工程学院, 扬州 225009; 3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要:采用人工介质富集微生物净化太湖梅梁湾水源地水体中的藻类。中试结果表明:随着介质密度和水力停留时间的增加,对藻类的去除率有所提高,增加水流速度并未降低对藻类的去除效果。当介质密度为 26.8%、水力停留时间为 5 d 时,人工介质对藻类密度、生物量和叶绿素 a 的去除率分别为 96.3%、88.7%、86.1%,表明人工介质对富营养化水体中藻类有较好地去除效果,同时对透明度和水下光照度也有明显的改善效果。

关键词:人工介质;藻类;水源水;水质改善;叶绿素 a

中图分类号:X524 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2007)01-0075-05

Performance of Artificial Medium for Removal Algae in Source Water

Ji Rong-ping^{1,2}, Lü Xi-wu¹, Li Xian-ning¹, Chen Fei-zhou³

(1. Department of Environmental Science & Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. College of Environmental Science & Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 3. Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Pilot test was made on the removal algae in source water from Meiliang Bay in Taihu Lake through the use of enriched microbes by artificial medium. The results indicate that the algae removal efficiency enhances as the medium density and hydraulic retention time (HRT) increase. However the increasing of flow velocity doesn't reduce the algae removal effect. The removal rates of algae density, biomass, chlorophyll-a are 96.3%, 88.7%, 86.1% respectively when the medium density is 26.8% and HRT is 5d. It is evident that enriched microbes on the artificial medium can effectively remove the algae in the eutrophic lake. The transparency and intensity of illumination under water are improved obviously by artificial medium.

Key words: artificial medium; algae; source water; water quality improvement; Chl-a

在大多数水体中存在着土著微生物进行的自然净化过程,但由于浓度低,生物净化效率很低。在富营养化湖泊中使用人工介质,通过其富集、吸附作用,在介质表面形成生物膜,通过介质上富集的溶藻菌等微生物作用,可去除水体中的藻类。前期的研究发现组合介质的生物量较大,生物活性较高,对水质净化效果较好^[1],因此本实验研究了组合介质对水体中藻类的去除特性,包括介质密度、水力停留时间、水流速度等对藻类去除效果的影响,以期合理选择富营养化水体处理技术提供实用方法指导。

1 材料与方法

1.1 试验装置

试验装置建在太湖梅梁湾的湖边,共 4 格,每格长 6 m,宽 1.2 m,深 1.8 m。由于进水水质波动较大,为确保数据的可比性,介质密度和水力停留时间(HRT)试验在 3 格池内同时进行,HRT 为 7 d 时,介质密度分别为 15.6%、26.8%、38.0%(介质所占体积/水的体积);介质密度为 26.8%时,HRT 分别为

3、5、7 d。中试试验装置工艺流程见图 1。水流速度试验是在组合介质池(1 号)出水处增加 1 台循环泵,将出水回流到反应器的进水处,增加反应器内的水流速度,模拟太湖内的水力流态,考察水流速度对处理效果的影响。设 2 个对照池,1 个对照池(3 号)内有组合介质,无循环泵;另 1 个对照池(4 号)内装循环泵,无组合介质。1 号和 4 号池内水流速度与梅梁湾取水口附近的流速基本一致。

1.2 测定方法

(1)藻类样品的采集、固定、浓缩与计数 取 1 L 混合均匀水样到采样瓶内,立即加入 1.5% 鲁格氏液(Lugol)固定。静置浓缩 48 h 后,用细小虹吸管小心吸取上清液,浓缩至 30 mL,并加数滴福尔马林溶

收稿日期:2005-12-17;修订日期:2006-01-12

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601011-03);江苏省科学技术厅项目(BS2004050);江苏省环境保护专项资金项目(2005-80-7)

作者简介:纪荣平(1965~),男,博士,副教授,主要研究方向为水处理技术与水污染控制工程。

* 通讯联系人, E-mail: xiwulu@public1.ptt.js.com

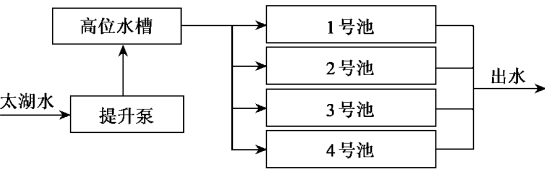


图 1 中试试验装置流程

Fig.1 Schematic diagram of pilot experiment setup

液保存.计数前将样品充分摇匀,然后取 0.1 mL 于 0.1 mL 计数框中,定量计数在 10×40 倍视野下进行,每次计数个体数为 300~500 个.藻类的鉴定参见文献[2].用细胞体积法推算藻类的生物量^[3].

(2)透明度和水下光照强度测定方法 采用透明度盘(又称塞氏盘)测定水体的透明度^[5].采用 ZDS-10W 型数字式水下照度计测定不同深度的水下光照强度.

叶绿素 a 测定方法参见文献[4].

2 结果与讨论

2.1 介质密度对藻类和叶绿素去除效果的影响

2.1.1 对藻类去除效果的影响

图 2 表示介质密度对藻类密度去除率的影响,当 2005-05 进水藻类密度为 8.86×10^7 cells/L 时,出水藻类密度为 $0.97 \times 10^7 \sim 1.99 \times 10^7$ cells/L,去除率分别为 77.6%、79.9%、89.2%.可见,随着介质密度的增加,水中藻类密度下降,说明由于介质密度的提高,介质上所生成的生物量增加,因此在单位体积水量中去除的藻类量增加.图 3 为介质密度对藻类生物量去除率的影响,可见进水藻类生物量较高,达到了 24.5 mg/L,3 种介质密度的出水生物量为 2.5~4.6 mg/L,去除率为 81.2%~89.8%.可见随着介质密度的增加对藻类密度和生物量的去除效果均有明显上升.

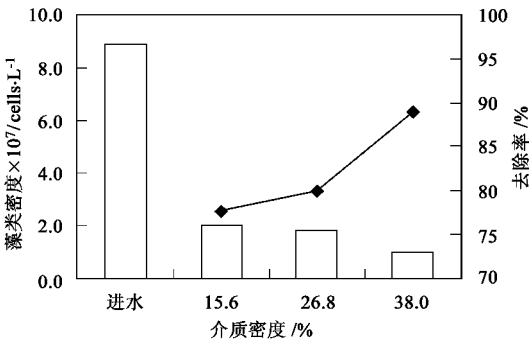


图 2 介质密度对藻类密度去除率的影响

Fig.2 Removal rates of algae density on medium density

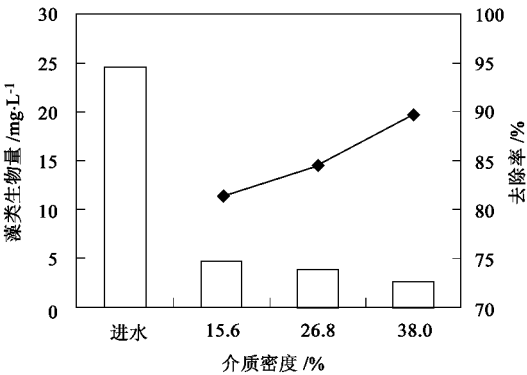


图 3 介质密度对藻类生物量去除率的影响

Fig.3 Removal rates of algae biomass on medium density

表 1 为介质密度对几种藻类密度的去除效果的影响,可见 3 种介质密度对蓝藻的去除率为 10.4%~59.7%;对硅藻的去除率为 5.9%~41.2%;对绿藻的去除率在 83.8%~93.2%之间.肖羽堂等对宁波市梅林水厂生化预处理姚江污染原水的生产实践表明:对绿藻去除率 81%、硅藻 62%,而微囊藻去除率低于 50%^[6],本研究结果与其相近.

表 1 介质密度对藻类密度的去除效果的影响

Table 1 Removal effects of algae density on different medium density

项 目	进水	介质密度/%		
		15.6	26.8	38.0
蓝藻密度/cells·L ⁻¹	5.4×10^6	4.8×10^6	3.4×10^6	2.2×10^6
蓝藻去除率/%		10.4	37.3	59.7
硅藻密度/cells·L ⁻¹	2.1×10^6	1.9×10^6	1.2×10^6	1.2×10^6
硅藻去除率/%		5.9	41.2	41.2
绿藻密度/cells·L ⁻¹	8.1×10^7	1.3×10^7	1.2×10^7	5.5×10^6
绿藻去除率/%		83.8	85.1	93.2

2.1.2 对叶绿素去除效果的影响

图 4 为介质密度对 Chl-a 去除效果的影响,可见当进水 Chl-a 浓度为 $46.37 \mu\text{g/L} \pm 29.4 \mu\text{g/L}$ 时,3 种介质密度的出水 Chl-a 浓度分别 $14.66 \mu\text{g/L} \pm 12.0 \mu\text{g/L}$ 、 $13.26 \mu\text{g/L} \pm 2.8 \mu\text{g/L}$ 和 $11.51 \mu\text{g/L} \pm 2.2 \mu\text{g/L}$,去除率分别为 68.4%、71.5% 和 75.2%.随着介质密度的增加,对 Chl-a 的去除率有所提高.

2.2 HRT 对藻类和叶绿素去除效果的影响

2.2.1 对藻类去除效果的影响

图 5 和图 6 分别为 HRT 对藻类密度和藻类生物量去除效果的影响,可见当 HRT 从 3 d 增加到 5 d 时,对藻类的密度、生物量的去除率均有明显增加;当 HRT 从 5 d 增加到 7 d 时,对藻类的密度、生物量的去除率反而下降.这主要与反应器内的流态有关,通过对液龄分布函数曲线的计算可知,本装置的平

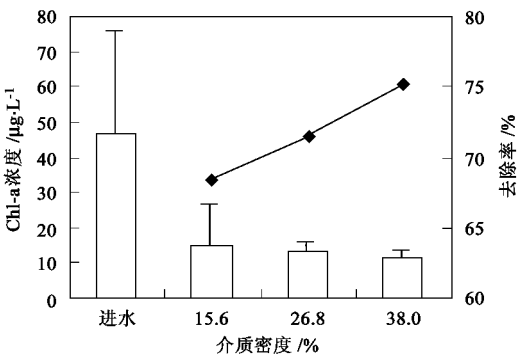


图 4 介质密度对 Chl-a 去除率的影响

Fig.4 Removal rates of Chl-a on different medium density

均停留时间为 7.3 d, 与理论停留时间 7 d 接近, 但最大值出现在 5.2 d 处, 纵向扩散系数 $D = 1.59 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{h}$, 即在推流反应过程中还存在着一定的纵向混合扩散作用^[8].

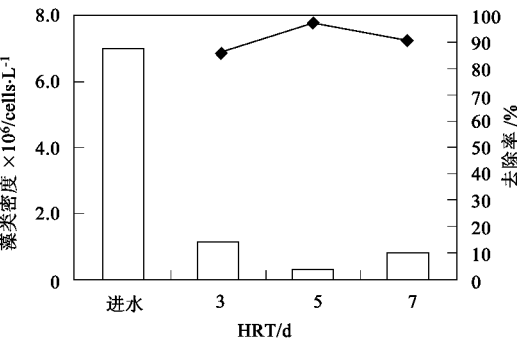


图 5 HRT 对藻类密度去除效果的影响

Fig.5 Removal effects of algae density on different HRT

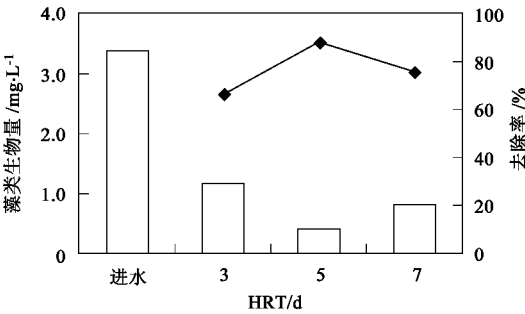


图 6 HRT 对藻类生物量去除效果的影响

Fig.6 Removal effects of algae biomass on different HRT

表 2 为 HRT 对几种藻类的去除效果的影响, 可见对蓝藻的去除率较高, 大于 90%; 对硅藻的去除率较低, 小于 50%; 对绿藻的去除率在 31.3% ~ 85.7% 之间. 季民等采用生物接触氧化法处理引滦原水试验表明: 对藻类的去除率为 12.4% ~ 85.4%,

对蓝藻的去除率最高, 硅藻次之, 绿藻去除率最低^[7]. 对藻类去除率出现差异的原因与进水中藻类的种类有关, 5 月份进水中以绿藻为主, 占 91.2%, 蓝藻、硅藻和其他藻类只占 8.8%; 7 月份以蓝藻为主, 占 88.5%, 硅藻、绿藻只占 11.5%. 可见人工介质对优势藻类有较好的去除效果.

表 2 HRT 对藻类密度的去除效果的影响

项 目	进水	HRT/d		
		3	5	7
蓝藻密度/cells·L ⁻¹	6.2×10 ⁶	4.5×10 ⁵	7.2×10 ⁴	3.0×10 ⁴
蓝藻去除率/%		92.8	99.9	99.5
硅藻密度/cells·L ⁻¹	3.3×10 ⁵	2.9×10 ⁵	1.7×10 ⁵	3.9×10 ⁵
硅藻去除率/%		11.7	48.1	-18.2
绿藻密度/cells·L ⁻¹	4.8×10 ⁵	2.2×10 ⁵	6.9×10 ⁴	3.3×10 ⁵
绿藻去除率/%		53.6	85.7	31.3

2.2.2 对叶绿素去除效果的影响

图 7 为 HRT 对 Chl-a 去除效果的影响, 当 2005-06 ~ 2005-07 进水 Chl-a 为 $60.03 \mu\text{g/L} \pm 37.9 \mu\text{g/L}$ 时, 出水 Chl-a 浓度分别为 $21.84 \mu\text{g/L} \pm 10.5 \mu\text{g/L}$ 、 $8.32 \mu\text{g/L} \pm 2.1 \mu\text{g/L}$ 和 $5.8 \mu\text{g/L} \pm 2.7 \mu\text{g/L}$, 去除率分别为 63.6%、86.1% 和 90.33%, 可见随着 HRT 的增加, 对 Chl-a 的去除率明显增加.

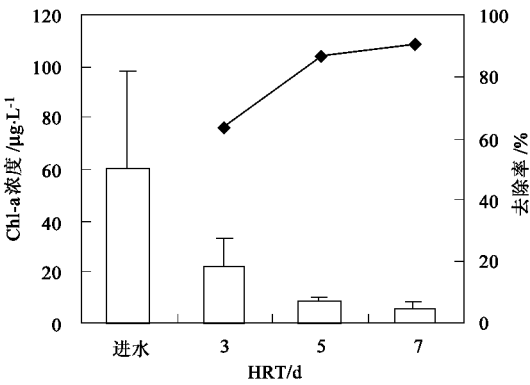


图 7 HRT 对 Chl-a 去除效果的影响

Fig.7 Removal effect of Chl-a on different HRT

2.3 水流速度对 Chl-a 去除效果的影响

2005-07 ~ 2005-08 当进水 Chl-a 为 $55.9 \mu\text{g/L} \pm 40.5 \mu\text{g/L}$, 介质密度为 26.8%, HRT 为 7 d 时, 1 号和 3 号池出水浓度分别为 $7.6 \mu\text{g/L} \pm 2.9 \mu\text{g/L}$ 、 $11.2 \mu\text{g/L} \pm 4.0 \mu\text{g/L}$, 去除率分别为 86.4%、79.9%, 而对对照池(4 号)出水浓度有所升高, 去除率为 -34.4%, 这主要是由于采用下进水/上出水的流动方式, 藻类进入处理装置后易在池表面富集的缘故. 图 8 表示水流速度对 Chl-a 去除效果的影响, 可见增加水流

速度对 Chl-a 的去除效果有所升高,由于增加水流速度后,增加了藻类与介质的接触机会,藻类易被吸附在介质表面而被溶藻菌等微生物去除.人工介质对藻类的去除途径是利用人工介质较大的比表面积对藻类进行吸附、网捕、附着,附着在介质表面的藻类被介质上富集的溶藻菌通过释放胞外酶进行溶藻,介质上富集的原生动物和后生动物等捕食也是藻类去除途径之一[8].

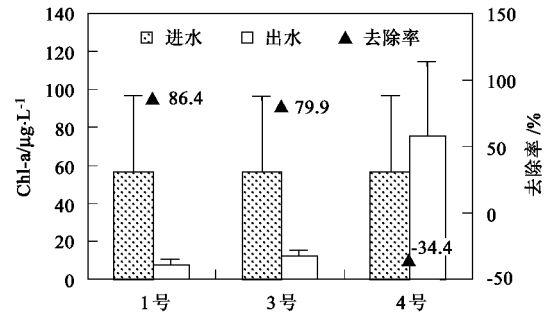


图 8 水流速度对 Chl-a 去除效果的影响

Fig.8 Removal effect of Chl-a on different velocity of water

2.4 人工介质对透明度和水下光照度的改善效果

图 9 为人工介质对透明度的改善效果,装置内水质清澈,透明度为 54 ~ 180 cm,对照池内的透明度为 33 ~ 151 cm,比人工介质池内的透明度低,而湖水水质浑浊,透明度仅有 10 ~ 55 cm,可见人工介质对透明度的改善效果十分明显.

富营养化湖泊中水下光照严重不足,水下相对光照度(水下光照度与水面上光照度之比)大于 5% 的水层厚度仅为 0.5 m 左右,而人工介质池内水下相对光照度大于 5% 的水层厚度提高到 0.9 m 左右,池底光照度为水面光照度的 0.6%(图 10),对照池水下相对光照度大于 5% 的水层厚度为 0.7 m 左右,池底光照度仅为水面光照度的 0.24%,水下光照严重不足成了湖里沉水植物生存的主要限制因素.人工介质可明显改善水体的透明度和水下光照度,为水生植物(特别是沉水植物)的生态恢复提供了必要的前提条件.

2.5 人工介质对 Chl-a 的长期去除效果

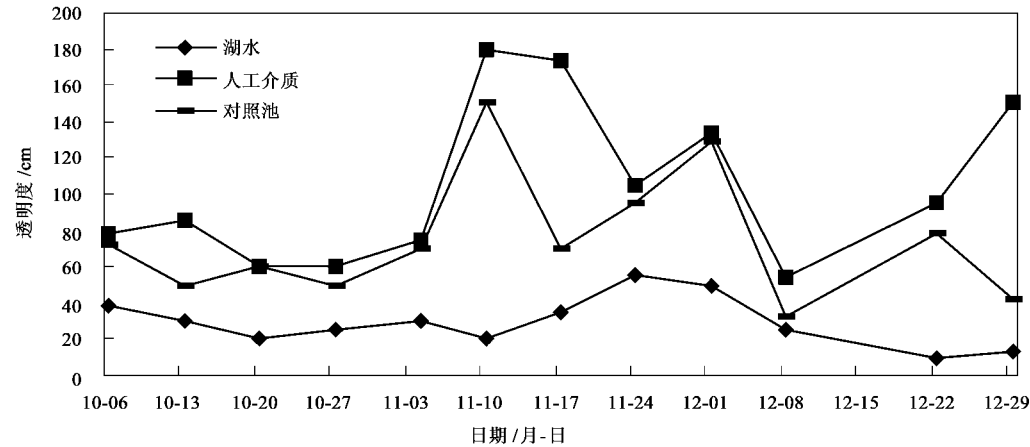


图 9 人工介质对透明度的改善效果

Fig.9 Improvement effect of transparency for artificial medium

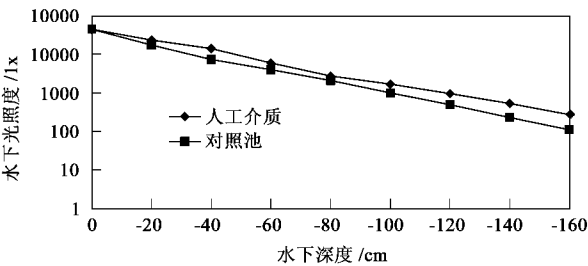


图 10 人工介质对水下光照度的改善效果

Fig.10 Improvement effect of intensity of illumination under water for artificial medium

试验期间(2004-04 ~ 2005-01)原水 Chl-a 为 4.35 ~ 266.1 $\mu\text{g}/\text{L}$,平均值为 31.4 $\mu\text{g}/\text{L} \pm 41.8 \mu\text{g}/\text{L}$,人工介质出水为 1.75 $\mu\text{g}/\text{L}$ ~ 142.3 $\mu\text{g}/\text{L}$,平均值为 11.5 $\mu\text{g}/\text{L} \pm 21.9 \mu\text{g}/\text{L}$,人工介质对 Chl-a 的平均去除率达到了 63.4%(图 11),蓝藻“水华”暴发期间(08-04 ~ 08-18),对 Chl-a 的去除率较低,出水 Chl-a 浓度较高,为 23.4 ~ 142.3 $\mu\text{g}/\text{L}$,除“水华”暴发期外其余时间对 Chl-a 的去除率较高,为 50% ~ 80%,出水 Chl-a 均小于 20 $\mu\text{g}/\text{L}$.可见人工介质对藻类有较好的去除效果.

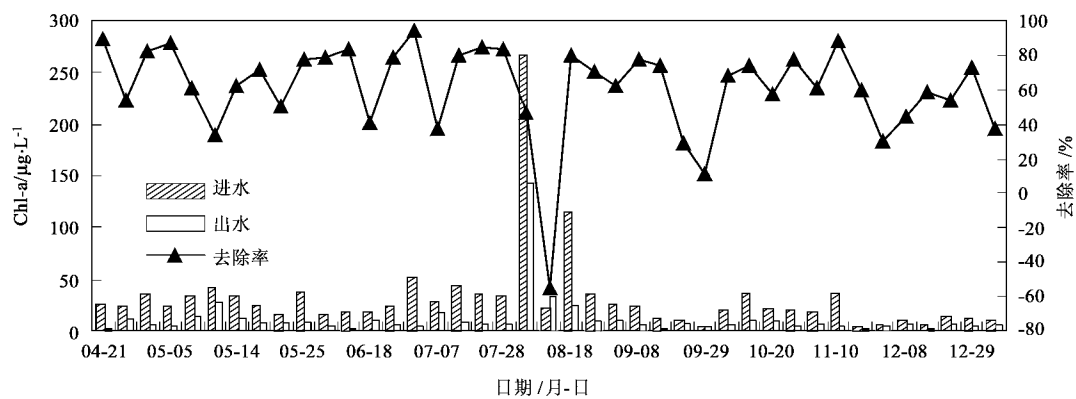


图 11 人工介质对 Chl-a 的去除效果

Fig.11 Removal effect of Chl-a for artificial medium

3 结论

- (1)通过人工介质富集微生物的方法可去除水源水中的藻类,明显改善富营养化水体水质.
- (2)随着介质密度的增加,对藻类的密度、生物量、Chl-a 以及蓝藻、硅藻、绿藻的去除率均有所提高.
- (3)HRT 从 3 d 增加到 5 d 时,对藻类的密度、生物量和 Chl-a 的去除率明显增加;HRT 从 5 d 增加到 7 d 时,去除率增加不明显.
- (4)增加水流速度并没有降低对太湖梅梁湾水体中 Chl-a 的去除效果,说明沉淀作用并不是去除水体中藻类的主要途径.
- (5)人工介质可明显改善水体的透明度和水下光照度,为沉水植物的生态恢复提供了必要的前

提条件.

参考文献:

[1] 纪荣平,吕锡武,李先宁,等.三种人工介质对太湖水质的改善效果[J].中国给水排水,2005,21(6):4~7.

[2] 胡鸿钧,李尧英,魏印心,等.中国淡水藻类[M].上海:上海科学技术出版社,1979.35~123.

[3] 黄祥飞,陈伟民,蔡启铭.湖泊生态调查观测与分析[M].北京:中国标准出版社,2000.114~118.

[4] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].(第四版).北京:中国环境科学出版社,2002.670~671.

[5] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].(第二版).北京:中国环境科学出版社,1990.142.

[6] 肖羽堂,许建华,姚江.饮用水源生化工艺除污染总结[J].中国给水排水,1998,14(2):8~11.

[7] 季民,吴昌敏,贾霞珍,等.生物接触氧化法对引滦水中藻类的去除[J].中国给水排水,2003,19(8):56~58.

[8] 纪荣平.人工介质对太湖水源水质改善效果及机理研究[D].南京:东南大学土木工程学院,2005.