



# Effect of Illumination Time on Water Treatment Efficiency of Symbiotic Bacteria and Algae

Zhenwei Wang, Wei Zuo<sup>\*</sup>, Jun Zhang, Congcong Tang

School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China

## Email address:

wzwstyle@126.com (Zhenwei Wang), zuoweistar@163.com (Wei Zuo)

<sup>\*</sup>Corresponding author

## To cite this article:

Zhenwei Wang, Wei Zuo, Jun Zhang, Congcong Tang. Effect Of Illumination Time On Water Treatment Efficiency Of Symbiotic Bacteria And Algae. *Science Discovery*. Vol. 5, No. 4, 2017, pp. 301-306. doi: 10.11648/j.sd.20170504.20

**Received:** May 23, 2017; **Accepted:** June 8, 2017; **Published:** June 27, 2017

**Abstract:** Using SBR to study the influence of light time on the effluent quality of the symbiotic system of symbiotic bacteria and algae, so as to get the appropriate operating parameters. In the artificial sewage treatment as the goal, then mixed with two sink pool algae and sewage treatment plant activated sludge system, start algae inter-growth, when HRT was 9h, and the temperature is  $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$  and pH is about 7, the same water and other parameters are fixed. The change of illumination time, examine the effluent quality and sludge properties, so as to obtain the sewage treatment effect of optimized illumination time. The results showed that when the illumination time was 8 hours, the removal efficiency of total nitrogen, total phosphorus and COD was best, and the activity of SBR was better. Considering the light time is 8 hours, the dark state of the domestic sewage treatment is better for 4 hours.

**Keywords:** Algal-Bacterial Symbionts, SBR, Illumination Time

---

## 光照时间对菌藻共生系统水处理效能的影响的研究

王振威, 左薇<sup>\*</sup>, 张军, 唐聪聪

市政环境工程学院, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨市, 中国

## 邮箱

wzwstyle@126.com (王振威), zuoweistar@163.com (左薇)

**摘要:** 本文主要研究了光照时间的变化对菌藻共生SBR系统处理污水效能的影响。以人工配制的生活污水为目标处理物, 将二沉池池壁藻类和污水处理厂活性污泥进行混合, 利用获得的菌藻共生系统对生活污水进行处理。在HRT为9h、温度为 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、pH为7左右、光强为4000lux、进水相同等其他参数不变的情况下, 研究不同的光照时间对污水处理效能的影响, 通过考察出水的水质以及污泥性质, 从而获得最为适宜的光照时间。实验结果表明, 光照时间对COD和氨氮的去除效果最为明显, 当光照时间为8h时, 去除效果显著提高, COD的去除率为91.19%, 氨氮的去除率为91.07%。同时, 光照时间为8小时, 菌藻SBR对总氮、总磷以及COD的去除效果均较好, SVI为70.8, 污泥活性和沉降性均较为良好。

**关键词:** 菌藻共生, SBR, 光照时间

---

# 1. 引言

菌藻共生系统有节约曝气、降低能耗、回收资源、深度脱氮除磷等多种优点，是当今备受关注的新型绿色污水深度处理技术[1]。Su等人对比研究了席藻、衣藻、小球藻和栅藻4种蓝绿藻的污水处理效能，发现以小球藻为代表的绿藻具有最佳的氮磷去除效果，无机氮去除率接近100%，TP去除率为96.9%以上[2]；Van DenHende[3]等人研究无机碳与有机碳比例对藻菌共生系统氮磷处理效能的影响时，发现绿藻-细菌共生系统可实现氮磷的深度处理，其处理效率可达80%。

Veena[4]等人对菌藻之间的相互作用类型进行了深入的研究，其研究结果表明，菌藻共生系统表现在两个方面，即协同作用与抑制作用。协同作用是菌藻相互影响的增效作用。藻类对城市生活污水中的氮、磷等营养元素的去除以及对有机物的摄取具有一定的功效，将其与细菌降解污染物的能力有效地结合在一起。藻类能够进行光合作用并释放一定量的氧气，将其供给好氧异养微生物，从而进行生产代谢活动等；而好氧异养微生物也可以通过对有机污染物质的氧化分解供给藻类在光合作用中所需的碳源和营养物质，如二氧化碳、磷化合物以及无机氮等代谢产物，如此循环往复，便形成了菌藻之间互利共生的关系。并以此实现了微生物有效生长和出水水质优化的良性循环。抑制作用即为菌藻之间的相互竞争。在这种竞争的影响下，菌、藻系统的处理效能会出现彼此削弱的现象。菌藻之间相互争夺营养物质，并且可以通过释放抑制剂以及毒素影响另一方的生长，甚至将其致死。当这种抑制作用占据主导时，菌藻系统不仅无法发挥各自的功能，去除水中污染物，同时可能因为抑制作用使得微生物细胞和胞外物质死亡，甚至导致水体愈加恶化，出水水质变差等。

近些年来，为了考察菌藻系统的氮磷处理效果，中国和国外学者从菌藻共生系统的优势藻类筛选、菌藻相互作用机制、系统操作条件优化等方面入手进行了深入研究[5]。现如今所研究的菌藻共生系统依附的反应器多数为氧化塘，但水力停留时间普遍较长。而SBR工艺是现如今一种较为成熟且高效的污水处理工艺，在很多情况下都有所使用。而且，在大多数环境下（包括工业废水在内的污水处理），不需要设置调节池[6]。序批式活性污泥法的一大特点就是污泥容易沉降，污泥容积指数低[7]。因此，轻易不会产生污泥膨胀等不利于污水处理效能的现象；如若采取适当的运维管理方式，污水处理效能更佳，且耐冲击负荷能力较强，出水水质也普遍优于连续式水处理工艺[8]。Valigore等利用SBR培养菌藻混合污泥，在HRT为1.4d时，其COD的处理效率可达77% [9]。Tang等人研究发现，当HRT缩短至原有时长的1/10时，系统中藻类的量浓度由0.726g/L降至0.061g/L，藻类大量流失量，导致氮磷去除效率的显著下降[10]。

为解决菌藻共生系统面临的瓶颈。提高菌藻共生系统水处理效率并减缓藻类流失，沿用SBR工艺。SBR工艺使用范围很广，适合多种不同条件的应用，也是一种高效且成熟的污水处理工艺。将藻类引入SBR反应器中，使活性污泥与藻类协同处理污水，能够弥补SBR在脱氮除磷方面的不足，具有同步脱氮除磷、资源回收、节能降耗等技术

优势，是城镇污水处理引人关注的发展方向，具有研究意义缩短HRT，将水力停留时间设置为12小时。据此研究光照时间等其他因素对菌藻共生系统的影响，以期实现菌藻共生系统在高效污水处理工艺中的稳定生长。

# 2. 实验部分

## 2.1. 筛选藻种

根据文献内容，菌藻共生系统适宜选取小球藻。根据实际情况，选取污水处理厂二沉池中池壁的藻类为实验藻种，采集少许，并进行离心浓缩。弃去上清液后，剩余物质便可用于微藻的富集培养。将经过浓缩处理后的藻类放入投加营养物质的烧杯内并持续搅拌，采用LED灯模拟自然条件，保持黑暗时间与光照时间1:1的比例，每4d换1次水，并密切观察藻类的生长情况，最终获得用于本次实验的藻类。于显微镜下观察富集培养后的藻类，发现主要为栅藻和小球藻。如图1所示。

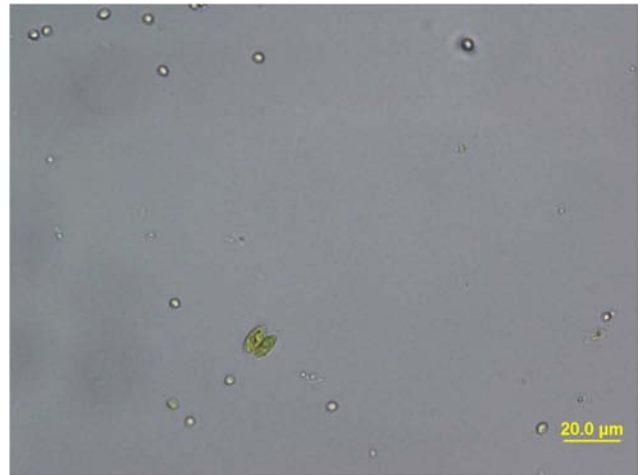


图1 镜检观察到的小球藻和栅藻。

## 2.2. 实验仪器

主要装置和仪器为：分析天平、离心机、马弗炉、紫外分光光度计、溶解氧测定仪、烘箱、pH计等。具体装置及仪器见表1。

表1 装置及仪器。

电子天平	北京赛多利斯仪器系统有限公司
TDL-5-A离心机	上海安亭科学仪器厂
磁力加热搅拌器	金坛市双捷实验仪器厂
ET3150B多功能消解器	上海欧陆科仪有限公司
紫外分光光度计	北京普析通用仪器有限公司
ET1151M型COD测定仪	上海欧陆科仪有限公司
光学显微镜	日本多美公司
pH计	梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司
溶解氧测定仪	厦门隆力德环境技术开发有限公司
SX2-4-10马弗炉	上海嘉展仪器设备有限公司
电热恒温鼓风干燥箱	上海跃进医疗器械厂
JA21001型电子天平	上海精密科学仪器有限公司
LZB-3WB转子流量计	常州市科德热工仪表有限公司
立式压力蒸汽灭菌器	上海博讯实业有限公司医疗设备厂
震荡器	海门市其林贝尔仪器制造有限公司

2.3. 配制模拟生活污水

在本次实验中，菌藻SBR的进水均为实验室配制的生活污水。具体方法如下：在25L水中加入药品并充分搅拌，使其混匀。各组分分别为：葡萄糖6.0g、淀粉6.0g、碳酸氢钠14.0 g、硫酸镁0.3g、磷酸二氢钾1.0g、氯化铵3.0g、氯化钙0.1g。具体水质组成见表2。

表2 实验室配制生活污水组成。

药品名称	质量分数 (%)
葡萄糖	0.24
可溶性淀粉	0.24
碳酸氢钠	0.3
磷酸二氢钾	0.048
硫酸镁	0.04
无水氯化钙	0.004
氯化铵	0.152

本次实验所用的污泥来源于某污水处理厂的活性污泥。实验前进行活化十天。

2.4. 实验方法

使用4个2L的烧杯作为反应器，分别标号1#—4#。反应器的形式为菌藻共生SBR。SBR每天运行2个周期，每次运行十二小时。其中，进水1小时，反应9小时，静置1小时，排水1小时，换水率为60%，反应器的pH应保持在7左右，溶解氧的质量浓度维持在5 mg/L左右。1#—4#反应器每个反应周期的光照时间分别为6、8、10、12小时。经过测量，接种的菌藻生物量为2000 mg/L，每天排泥100ml，藻类的接种体积与活性污泥的接种体积比为1:4。

2.5. 测试方法

具体测试方法见表3。

表3 水质指标测定方法。

水质指标	检测及分析方法
氨氮	纳氏试剂分光光度法
总磷	钼酸铵分光光度法
正磷酸盐	钼酸铵分光光度法
亚硝态氮	N-（1-萘基）-乙二胺光度法
硝态氮	酚二磺酸光度法
COD	重铬酸钾法
总氮	碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法
叶绿素	丙酮分光光度计法
pH	pH计
DO	便携式溶解氧测定仪

3. 结果与讨论

3.1. 光照时间对出水COD的影响

如图2所示，四个反应器对COD的平均去除率分别为86.67%、91.19%、88.46%、87.31%。且随着反应天数的增加，1号反应器逐渐出现了波动。其中，2号反应器对COD的去除效果最好，而且十分稳定，波动较小。

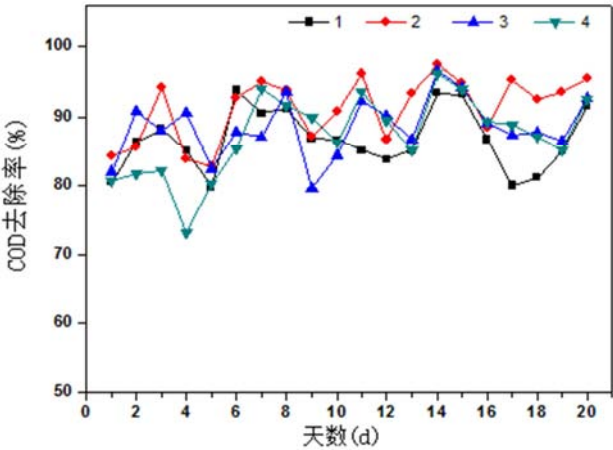


图2 不同光照时间运行条件下COD的去除情况。

从图中可以看出，2号、3号、4号反应器随着光照时间的不断延长，除效果逐渐变差，这可能是由于形成了光抑制，从而影响了藻类正常的代谢。所以，菌藻SBR系统需要适宜的光照时间。

3.2. 光照时间对出水氮类的影响

3.2.1. 光照时间对出水氨氮的影响

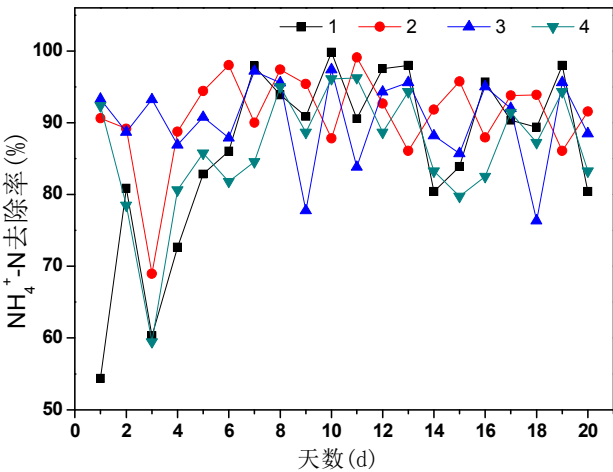


图3 不同光照时间运行条件下氨氮的去除情况。

四个反应器对氨氮的去除效果如图 3 所示，除了3号反应器，其他三组反应器在前期均存在一定的波动，2号反应器大约5天之后逐渐稳定，而4号反应器始终存在较大的波动。四组反应器对氨氮的平均去除率分别为86.18%、90.18%、91.07%、87.53%，其中2号和3号反应器的去除效果较好。在反应后期，3号反应器波动较2号稍大。

3.2.2. 光照时间对出水硝态氮的影响

硝氮的浓度变化如图4所示。其中反应器进水的硝态氮平均浓度为1.53mg/L。在反应初期，四组反应器硝态氮的浓度均较低，从第十天开始，出现了较为明显的波动。四组反应器出水中硝氮的浓度分别为6.98mg/L、4.24mg/L、5.71mg/L和6.03mg/L。1号反应器在整个反应周期内均存在较大的波动，出水中硝态氮的浓度十分不稳定。而2号



和3号反应器除了在第十二天和第十八天出现了较大的波动外,出水中硝态氮的浓度都比较稳定,均在10mg/L以下。可以认为,四组反应器虽然偶有波动,但相差不大,还需考量其他氮类指标以及总氮的去除效果。

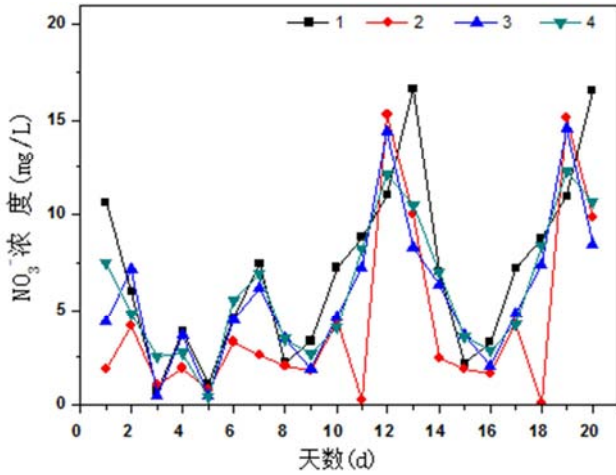


图4 不同光照时间运行条件下硝态氮的浓度变化。

### 3. 2. 3. 光照时间对出水亚硝态氮的影响

图5显示了整个反应周期内出水水质中亚硝态氮的浓度变化。其中,四组反应器中进水的亚硝态氮的浓度为0.06mg/L。而四组反应器出水中亚硝态氮的平均质量浓度分别是0.13689mg/L、0.12168mg/L、0.68445mg/L、0.39546mg/L。其中2号和3号反应器出水中亚硝态氮浓度平稳,没有出现大的波动,均在1mg/L以下,而1号和4号反应器却在第3天和第11天出现了较大的波动。

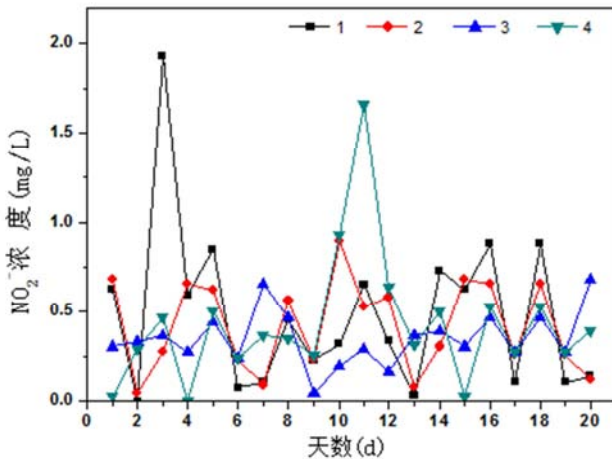


图5 不同光照时间运行条件下亚硝态氮的浓度变化。

### 3. 2. 4. 光照时间对出水总氮的影响

不同光照时间对出水水质中TN的影响如图6所示。1号反应器和4号反应器前期波动较大,一周后才逐渐稳定,且1号反应器对TN的去除效果最差。1号反应器去除效果差是因为光照时间较短,藻类无法获取充足的光能,对氮类物质的转化受到抑制。而且1号和4号反应器前期波动较大,后期的去除效果才逐渐平稳,可见光照时间也影响了

菌藻共生SBR的启动。其他两组反应器在运行期间始终较为稳定只存在较小的波动。四个反应器的平均去除率分别为84.22%、89.72%、88.76%、84.61%。由图可知,2号反应器和3号反应器的出水中TN的去除率较好,且都始终维持在较高的水平。而且,2号反应器的光照时间更短,有利于节约能源。

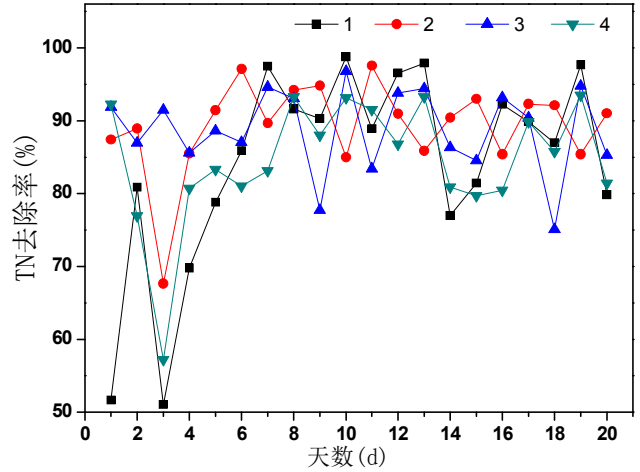


图6 不同光照时间运行条件下总氮的去除情况。

### 3. 3. 光照时间对出水中磷的影响

#### 3. 3. 1. 光照时间对出水中正磷酸根的影响

光照时间对出水正磷酸盐的去除效果如图7所示,4组反应器的平均去除率为65.98%、80.23%、74.96%和67.61%。由此可知,2号菌藻反应器的去除效果明显优于其他三组,这说明其他光照时间8个小时,黑暗4个小时,最适宜菌藻的共生。能够最大化的发挥菌藻共生的作用。而且,1号和4号反应器的处理效果最差,而且在整个反应周期内,1号反应器和4号反应器存在较大的波动。这也表明光照时间过长或者过短,均会影响菌藻系统的处理效能。

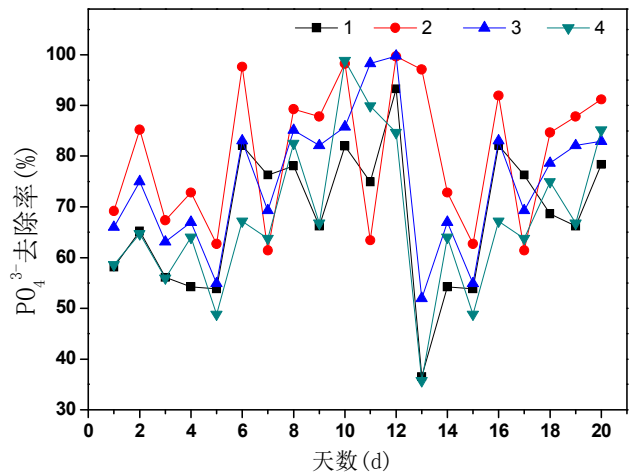


图7 不同光照时间运行条件下正磷酸根的去除情况。

3.3.2. 光照时间对出水中总磷的影响

光照时间对出水总磷的去除效果如图8所示，4组反应器的平均去除率为61.35%、78.61%、72.16%和67.08%。可以明显看出，总磷的去除效果与正磷酸根的去除效果基本一致。由图可知，2号菌藻反应器的去除效果明显优于其他三组，这说明其处于黑暗4个小时、光照时间为8个小时，最适宜菌藻的共生，并且能够最大化的发挥菌藻共生的作用。而1号和4号反应器的处理效果最差，尤其是在中后期，处理效果明显弱于2号和3号。且存在较大的波动。

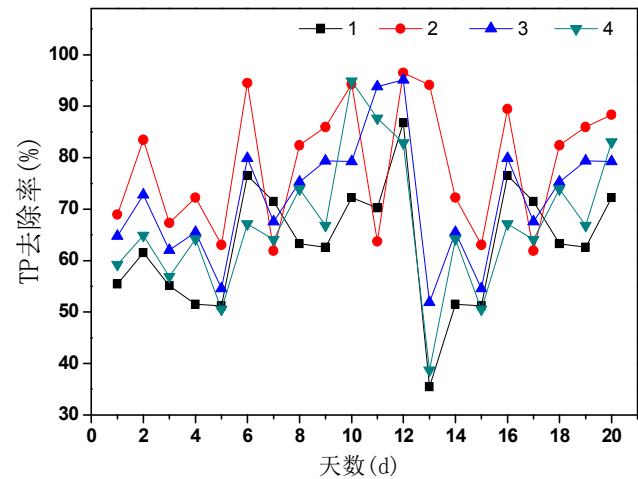


图8 不同光照时间运行条件下总磷的去除情况。

3.4. 不同光照时间下悬浮固体含量的变化

光照时间的不同对各反应器中悬浮固体含量的影响如图9所示，四组反应器的MLSS平均浓度分别是1805mg/L、2174mg/L、2023mg/L和1993mg/L。由此可知，四组反应器的悬浮固体含量虽较为接近，但是2号反应器中悬浮固体的含量最高，且始终较为稳定。而1号则波动过大，且基本在2000mg/L 以下。因此在本实验中污泥活性保持较好。根据污泥沉降比（SV）的数据可以看出，污泥均无较大程度的膨胀。藻类生长过程是悬浮状态，菌藻共生体没有发生污泥膨胀的情况就可以确定共生体可以稳定地存在不会相互影响。

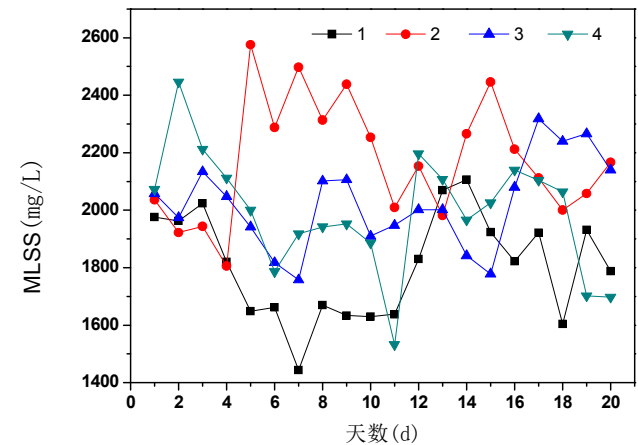


图9 不同光照时间运行条件下悬浮固体含量的变化。

4. 结论

对于菌藻共生SBR，在一个完整的反应周期内，光照时间为8h，黑暗状态为4小时，即2号反应器的COD去除效果最为明显；光照时间为10个小时的3号反应器次之。而光照时间过长或者过短都不利于菌藻共生系统对COD的去除[11]。应将菌藻SBR的光照时间定为8小时。

四组反应器对于氨氮的去除效果均在85%以上，其中，3号反应器的去除率最高，2号次之。由此可见，光照时间为8小时或者10小时都有利于提高菌藻共生系统对氨氮的去除，且二者的去除效率较为接近，从节约能源的角度来讲，选择光照时间为8小时更为适宜。对于总氮，2号反应器的去除效果最佳。

光照时间对磷去除效果的影响也较大，不论是总磷还是正磷酸根，均是2号反应器的去除效果较为突出。说明光照时间为8小时跟利于藻类的生长，过长时间的光照可能对藻类的生长繁殖起到了抑制作用，而过短时间的光照导致藻类吸收光能不足，从而降低了藻类的生长活性。

对比四组反应器的悬浮固体浓度可知，首先，四组反应的生物活性均较为良好，没有出现过大的波动；其次，第二组和第三组的MLSS最高，而且在反应后期没有出现污泥老化的现象。说明适宜的光照时间更利于菌藻的结合与生长。四组反应器在整个反应周期内均保持了良好的沉降性能。所以当光照时间为8小时，最适合污泥与藻类的生长。

致谢

感谢政府间国际科技创新合作重点专项中德合作项目资助（2016YFE0123400），同时感谢城市水资源与水环境国家重点实验室自主课题（2017DX02）的支持。

参考文献

[1] 巫小丹, 阮榕生, 王辉等. 菌藻共生系统处理废水研究现状及发展前景[J]. 环境工程, 2014, 32(3): 34-37.

[2] YanyanSu, ArturMennerichBrigitteUrban. Comparison of nutrient removal capacity and biomass settleability of four high-potential microalgalspecies[J]. Bioresource Technology, 2012, (124): 157-162.

[3] SofieVan, DenHende, ErwanCarréElodieCocaud, VeerleBeelen, NicoBoon, HanVervaeren. Treatment of industrial wastewaters by microalgal bacterial flocsin sequencing batch reactors[J]. Bioresource Technology, 2014, (161): 245-254.

[4] Sofie Van, Den Hende, Erwan Carré, Elodie Cocaud, Veerle Beelen, Nico Boon, Han Vervaeren. Treatment of industrial wastewaters by microalgal bacterial flocsin sequencing batch reactors[J]. Bioresource Technology, 2014, (161): 245-254.

- [5] N. C. Boeleea, H. Temmink, M. Janssen, C. J. N. Buisman, R. H. Wijffels. Balancing the organic load and light supply in symbiotic microalgal-bacterial biofilm reactors treating synthetic municipal wastewater[J]. *Ecological Engineering*, 2014, (64): 213-221.
- [6] 乔春, 汤金如, 沈希光. SBR 工艺污水处理技术[J]. *安阳学院学报*, 2009(4): 44-47.
- [7] 王凯军, 宋英豪. SBR工艺的发展类型及其应用特性[J]. *中国给水排水*, 2002, 18(7): 23-26.
- [8] And S M, Mataalvarez J. Utilization of SBR Technology for Wastewater Treatment: An Overview[J]. *Ind.eng.chem.res.*, 2002, 41(23): 5539-5553.
- [9] Julia M Valigore, Peter A Gostomski, David G. et al. Effects of hydraulic and solids retention times on productivity and settleability of microbial (microalgal-bacterial) biomass grown on primary treated waste-water as a biofuel feedstock[J]. *water research*, 2012, 46: 2957-2964.
- [10] XU Meng, LI Ping, TANG Tianyu. Roles of SRT and HRT of an algal membrane bio-reactor system with a tanks-in-series configuration for secondary wastewater effluent polishing [J]. *Ecological Engineering*, 2015, (85): 257-264.
- [11] 潘辉, 熊振湖, 金勇威. 光照对固定化菌藻反应器脱氮除磷效率的影响[J]. *水资源保护*, 2006, 22(5): 63-64.