

# The Influence of the Mixed LED Light Wavelengths Treatment on Biogas Slurry Removal by Artificial Algal-Fungal Symbiosis

Yuting Du\*, Shiqing Sun, Jieqiong Fang, Xinan Cui, Dong Shen

Nanhu College, Jiaxing University, Jiaxing Zhejiang  
Email: 30548471@qq.com

Received: Jun. 8<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jun. 26<sup>th</sup>, 2017; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2017

## Abstract

In this work, we selected the technologies involving the co-cultivation of *Scenedesmus obliquus* with *Ganoderma lucidum* cultured in photobioreactor to research the pretreated biogas slurry nutrient removal. The selected light qualities were mixed red light and blue light (red:blue = 8:2, 5:5, 2:8) under difference process time. The results show that the artificial algal-fungal symbiont has significantly higher nutrients removal efficiency ( $P < 0.05$ ) by process time under its treatment, and in the initial time 1 - 4 d, the nutrients removal efficiency was increased dramatically. The red:blue = 5:5 achieved the highest COD ( $80.42\% \pm 6.36\%$ ), TN ( $75.63\% \pm 6.56\%$ ) and TP ( $78.83\% \pm 6.35\%$ ) removal efficiency by the artificial algal-fungal symbiont.

## Keywords

Algal-Fungal Symbiont, Photobioreactor, Biogas Slurry Purification, Nitrogen and Phosphorus Removal

# 混合光质对人工藻菌共生体净化沼液的影响

杜羽亭\*, 孙诗清, 方洁琼, 崔哲楠, 沈 栋

嘉兴学院南湖学院, 浙江 嘉兴  
Email: 30548471@qq.com

收稿日期: 2017年6月8日; 录用日期: 2017年6月26日; 发布日期: 2017年6月29日

\*第一作者。

## 摘要

利用人工小球藻-灵芝菌共生体在光生物反应器系统中,对预处理后的沼液进行了生物净化处理研究。考察了红色光质和蓝色光质的不同混合光质(红光:蓝光比为8:2; 5:5和2:8),在不同受理时间下的沼液净化效果。结果表明,藻菌共生体对主要污染物的去除效果受处理时间影响显著( $P < 0.05$ ),实验启动1~4 d去除效果增加明显。同时,当红光:蓝光为5:5时,沼液中COD、TN和TP去除效果均为最佳,去除率分别达到 $80.42\% \pm 6.36\%$ ,  $75.63\% \pm 6.56\%$ 和 $78.83\% \pm 6.35\%$ 。

## 关键词

藻菌共生体, 光生物反应器, 沼液净化, 脱氮除磷

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着化石能源危机的到来,沼气作为可再生能源逐渐受到重视[1] [2]。厌氧发酵是生产沼气的主要方式,然而该过程除了能产生沼气外还会生成一定数量具有高污染风险的高浓度有机沼液[3]。该沼液如不加以妥善处置势必会对环境造成较严重的二次污染,同时也会对沼气能源产业的健康发展带来极大的制约[4] [5]。微藻是一种增殖速率较快的油料作物,其生长速度远超其他植物,但是微藻本身体积过小,难于从处理后的沼液中加以回收再利用,使得微藻在沼液处理中的应用受到一定的限制。目前研究人员将真菌加入到微藻体系中,形成大颗粒结构的人工藻菌共生体,从而使微藻在处理完沼液后的回收利用成为可能[6] [7] [8]。为此,本文利用自制的光生物反应器,研究了三种混合光质(红光与蓝光比例为8:2、5:5、2:8)对藻菌共生体生长及沼液营养物质去除效果的影响,从而为沼气产业发展过程中沼液的高效生物净化处理提供理论参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 微藻与真菌的培养

所用的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*, FACHB-12)购买于中国科学院水生生物研究所,培养基为BG11培养基[9] + 2%麦芽糖 + 0.5%酵母膏, pH = 7.0。培养条件采用白光光质,光照强度为  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ,培养温度为  $25^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,光照周期光暗比为 12 h:12 h,每天人工摇锥形瓶三次,培养至生长对数期。灵芝菌种 *Ganoderma lucidum* (菌种编号: 5.765)购自中国普通微生物菌种保藏中心,培养基为BG11培养基 + 2%麦芽糖 + 0.5%酵母膏, pH = 7.0。培养条件为温度  $28^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ ,转速 160 rpm,培养时间为 72 h。

### 2.2. 藻菌共生体培养

按照斜生栅藻的终浓度为  $4.0 \times 10^8 \text{ cell}/\text{ml}$  与灵芝菌的终浓度为  $1 \times 10^7 \text{ spores}/\text{ml}$  的比例接种于驯化BG11培养基中, pH = 7.0,以2.1中微藻的培养条件进行藻菌共生体的培养,培养4 d。

## 2.3. 沼液的处理效果

### 2.3.1. 光生物反应器系统

自制光生物反应器由一个恒温培养箱、密闭的锥形瓶和内置 10 盏不同光质的 LED 灯管组成。实验过程中, LED 灯管可随意拆换, 控制不同的混合光质; 沼液通入到锥形瓶中锡箔纸密闭, 随时可以从锥形瓶的密封口取出样品。

### 2.3.2. 沼液的预处理

沼液取自浙江省嘉兴市某养猪场, 首先利用玻璃纤维滤纸(GF/C; Whatman, USA)对原沼液进行了过滤, 随后利用紫外线杀菌器对过滤后的沼液进行灭菌 10 min 处理, 并用无菌水稀释 2 倍。其预处理后沼液成分如表 1 所示。

### 2.3.3. 沼液的处理

吸取 400 ml 处理的沼液, 无菌操作接入灭菌过的 1 L 的锥形瓶中, 以 20%的接种量将 2.2 的藻菌共生体进行接种。在三种不同混合光质(红光与蓝光比例为 8:2、5:5、2:8)条件下, 利用 2.3.1 的光生物反应器系统, 在预先设定的培养时间内测定沼液体系中藻菌的比生长速率、日生长量和沼液体系中营养物质(COD, TN, TP)的去除率。

## 2.4. 生物量的测定

玻璃纤维滤纸(GF/C; Whatman, USA)于 105℃烘箱中处理 24 h, 后置于干燥器中冷却至室温, 称重备用。实验期间, 每天定时从光生物反应器中吸取 50 mL 培养液, 用玻璃纤维滤纸过滤, 将过滤后的滤饼与滤纸同时放在 100℃条件下干燥至恒重, 根据过滤前后的质量差值得到其生物量。按照公式(1)和(2)分别可以计算得到生物质日生产量与比生长速率[10]。

$$P = (D_i - D_0) / (t_i - t_0) \quad (1)$$

$$\mu = (\ln D_i - \ln D_0) / t_i \quad (2)$$

其中:  $P$  为生物质日生产量, g/L·d;  $D_i$  是在  $t_i$  (d)时的生物质浓度, g/L;  $D_0$  是在  $t_0$ (d)时的最初生物质浓度, g/L;  $\mu$  为生物质的比生长速率, /d。

## 2.5. 营养物质去除率的测定

采用标准分析方法对过滤后的滤液进行营养物质(COD, TN 和 TP)浓度的测定[11], 营养物质的去除率( $R$ )由公式(3)进行计算得到。

$$R = (1 - C_i / C_0) \times 100\% \quad (3)$$

其中:  $R$  是营养物质(COD、TN 和 TP)的去除效率,  $C_i$  是沼液营养物质的原始浓度, mg/L;  $C_0$  是过滤后沼液营养物质的浓度, mg/L。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 不同混合光质条件下藻菌共生体的生长

在不同混合光质条件下, 菌藻共生体均能在沼液体系中正常生长。但对比其不同混合光质处理结果, 可以看出当红光:蓝光为 5:5 时, 藻菌共生体均达到了最大的比生长速率和日生产量, 分别为  $0.357 \pm 0.07$  /d 和  $0.163 \pm 0.010$  g/L·d (表 2)。

**Table 1.** Characteristics of biogas slurry after pretreatment**表 1.** 沼液预处理后水质特征

指标	预处理后
pH	6.99 ± 0.15
COD/(mg·L <sup>-1</sup> )	1069.27 ± 25.93
TN/(mg·L <sup>-1</sup> )	176.43 ± 15.61
TP/(mg·L <sup>-1</sup> )	10.09 ± 1.31

**Table 2.** Growth rates and daily productivity of algal-fungal symbiosis under the mixed LED light wavelength treatments**表 2.** 不同混合光质处理条件下藻菌共生体的比生长速率与日生产量

混合光质	藻菌共生体	
红光:蓝光	比生长速率/(d)	日生产量/(g/L·d)
Red (8):Blue(2)	0.312 ± 0.06	0.116 ± 0.007
Red (5):Blue(5)	0.337 ± 0.09	0.141 ± 0.005
Red (2):Blue(8)	0.308 ± 0.05	0.112 ± 0.008

### 3.2. 混合光质对沼液中营养物质去除率的影响

不同混合光比例处理条件下,藻菌共生体对沼液主要营养物的去除率结果见表 3。从表 3 可以看出在不同混合光比例处理条件下,藻菌共生体对主要污染物(COD, TN, TP)的去除效果明显。在三种红蓝光比例中,当红光:蓝光为 5:5 时藻类对主要污染物的去除效果显著优于红光:蓝光为 8:2 和 2:8 ( $P < 0.05$ ),此时藻菌共生体均达到了最大的 COD, TN 和 TP 去除效率,分别达到  $80.42\% \pm 6.36\%$ ,  $75.63\% \pm 6.56\%$  和  $78.83\% \pm 6.35\%$ 。

图 1(a)~(c)分别表示了藻菌共生体在三种不同混合光质条件下沼液中 COD, TN 和 TP 去除率随培养时间的变化。从图 1 可以看出,在三种不同混合光比例处理条件下, COD, TN 和 TP 去除率的变化趋势大致相似,其中红光:蓝光为 5:5 时各营养物质的去除效率均处于最佳水平。但从增加幅度来看, COD 的去除率,前 2 d 处于迅速上升期,但在 3~4 d 上升缓慢,以后几乎不增长;对于 TN 和 TP 的去除率,其随着时间的变化规律基本一致,即在 1~4 d 处于上升期,以后上升相对缓慢。数据统计结果表明,沼液中营养物质的去除率受处理时间影响显著( $P < 0.05$ ),实验启动 1~4 d 藻菌共生体对主要污染物的去除效果增加显著,而随着处理时间的延长(5~7 d)营养物质的去除率增幅不明显,因此藻菌共生体处理沼液的时间可设定为 4~5 d。

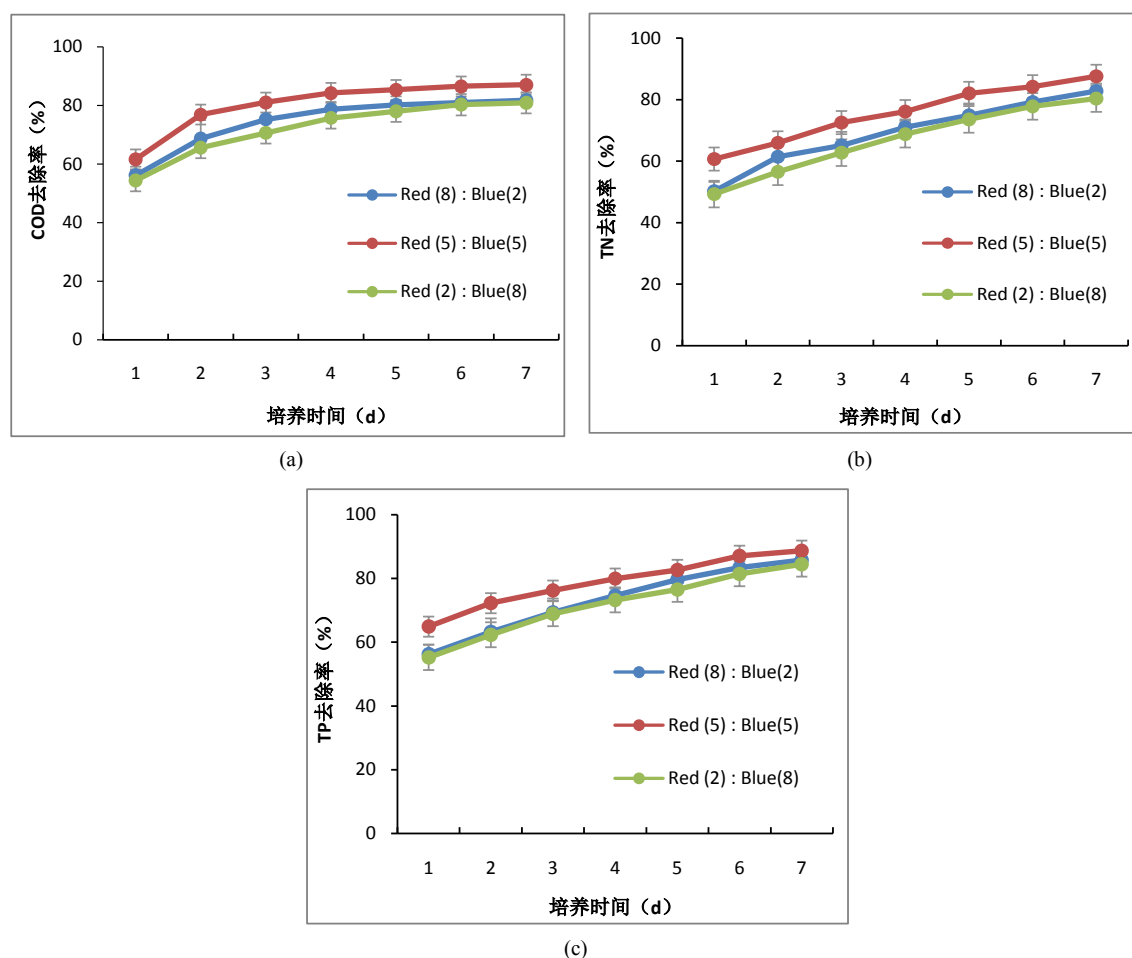
## 4. 结论

在不同混合光质条件下,利用斜生栅藻与灵芝菌共生体对预处理后的沼液进行了生物净化处理,结果发现在红光:蓝光为 5:5 时营养物去除效率最佳,其次是红光:蓝光为 8:2,最差的是红光:蓝光为 2:8,这与 Kim [12]等关于红色与蓝色光质的比例变化会影响微藻光合作用功效的发挥的结论相一致。同时,发现藻菌共生体对沼液中 COD、TN 和 TP 的去除效果受处理时间影响显著,实验启动 1~4 d 营养物质去除效果增加明显,其最高的去除率分别达到  $80.42\% \pm 6.36\%$ ,  $75.63\% \pm 6.56\%$  和  $78.83\% \pm 6.35\%$ 。因此为进一步开发高效的光生物反应器生物净化沼液提供一定的参考数据。

**Table 3.** Mean values  $\pm$  SD of the removal efficiency of biogas slurry nutrient removal under the mixed LED light wavelength treatments**表 3.** 不同混合光质处理条件下藻菌共生体对沼液主要污染物的去除率

混合光质 红光:蓝光	藻菌共生体		
	COD 去除率/%	TN 去除率/%	TP 去除率/%
Red (8):Blue (2)	74.58 <sup>b</sup> $\pm$ 6.93	69.28 <sup>b</sup> $\pm$ 6.02	73.21 <sup>b</sup> $\pm$ 5.38
Red (5):Blue (5)	80.42 <sup>a</sup> $\pm$ 6.36	75.63 <sup>a</sup> $\pm$ 6.56	78.83 <sup>a</sup> $\pm$ 6.35
Red (2):Blue (8)	72.23 <sup>b</sup> $\pm$ 7.44	67.02 <sup>b</sup> $\pm$ 5.74	71.77 <sup>b</sup> $\pm$ 6.19

注: 不同字母表示在相同培养方式下去除率差异显著( $P < 0.05$ )。



**Figure 1.** Nutrient removal efficiency at algal-fungal symbiosis under mixed LED light wavelength treatments  
**图 1.** 不同混合光质条件下沼液营养物质去除率随培养时间的变化图

## 基金项目

2017 年浙江省大学生科技创新项目(011), 2016 年嘉兴学院重点 SRT 项目(851716087)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] Santosh, Y., Sreekrishnan, T.R., Kohli, S., *et al.* (2004) Enhancement of Biogas Production from Solid Substrates Using Different Techniques: A Review. *Bioresource Technology*, **95**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.010>

- [2] Demirbas, M.F., Balat, M. and Balat, H. (2011) Biowastes-to-Biofuels. *Energy Conversion and Management*, **52**, 1815-1828. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.10.041>
- [3] Holm-Nielsen, J.B., Alseadi, T. and Oleskowicz-Popple, P. (2009) The Future of Anaerobic Digestion and Biogas Utilization. *Bioresource Technology*, **100**, 5478-5484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>
- [4] Chinnasamy, S., Bhatnagar, A., Hunt, R.W., et al. (2010) Microalgae Cultivation in a Wastewater Dominated by Carpet Mill Effluents for Biofuel Applications. *Bioresource Technology*, **101**, 3097-3105. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.026>
- [5] Jeong, H., Lee, J. and Cha, M. (2013) Energy Efficient Growth Control of Microalgae Using Photobiological Methods. *Renewable Energy*, **54**, 161-165. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.08.030>
- [6] Zhou, W.G., Cheng, Y.L., Li, Y., et al. (2012) Novel Fungal Pelletization-Assisted Technology for Algae Harvesting and Wastewater Treatment. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **167**, 214-228. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9667-y>
- [7] Wrede, D., Taha, M., Miranda, A.F., et al. (2014) Co-Cultivation of Fungal and Microalgal Cells as an Efficient System for Harvesting Microalgal Cells, Lipid Production and Wastewater Treatment. *PLoS ONE*, **9**, Article ID: 113497. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113497>
- [8] Muradov, N., Taha, M., Miranda, A.F., et al. (2015) Fungal-Assisted Algal Flocculation: Application in Wastewater Treatment and Biofuel Production. *Biotechnology for Biofuels*, **8**, 24. <https://doi.org/10.1186/s13068-015-0210-6>
- [9] Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J.B., et al. (1979) Generic Assignments, Strain Histories and Properties of Pure Culture of Cyanobacteria. *The Journal of General and Applied Microbiology*, **111**, 1-61. <https://doi.org/10.1099/00221287-111-1-1>
- [10] Li, Y.C., Zhou, W.G., Bing, H., et al. (2011) Integration of Algae Cultivation as Biodiesel Production Feedstock with Municipal Wastewater Treatment: Strains Screening and Significance Evaluation of Environmental Factors. *Bioresource Technology*, **102**, 10861-10867. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.064>
- [11] APHA, AWWA, WEF, et al. (1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington DC, 100-246.
- [12] Kim, T.H., Lee, Y., Han, S.H., et al. (2013) The Effects of Wavelength and Wavelength Mixing Ratios on Microalgae Growth and Nitrogen, Phosphorus Removal Using *Scenedesmus* sp. for Wastewater Treatment. *Bioresource Technology*, **130**, 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.134>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjctet@hanspub.org](mailto:hjctet@hanspub.org)