

溶氧状况对美人蕉根系特征和畜禽废水处理效果的影响

范子红, 刘超翔, 于鑫, 高春芳

(中国科学院城市环境研究所, 福建 厦门 361021)

摘要:分别采用标准氧化染色法和正立荧光电子显微镜研究了美人蕉在自然、缺氧和好氧3种溶氧条件下的根部径向泌氧(radial oxygen loss, ROL)类型和特征以及不同ROL位置的空隙和泌氧屏障变化,分析溶氧条件对美人蕉浮床系统处理畜禽废水的影响。自然状况下ROL在任何位置都很强,且不随根的部位的变化而变化;缺氧情况下,根尖区域泌氧最强烈,沿根基方向迅速降低;好氧条件下,根部任何位置泌氧都非常微弱。ROL越强对应的根部孔隙越大,泌氧屏障也越厚。水体缺氧时泌氧作用能使水体达到好氧状态。好氧条件下,美人蕉浮床系统对氨氮和总氮的去除率分别达到62.36%和47.90%。并出现硝酸盐氮累积增加的现象。

关键词:美人蕉;径向泌氧;泌氧屏障;污水处理

中图分类号:X703.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2011)01-0124-05

Effects of Oxygenation on Canna Root Characteristics and Treatment of Swine Waster Water

FAN Zi-hong, LIU Chao-xiang, YU Xin, GAO Chun-fang

(Institute of Urban Environment, CAS, Xiamen 361021, Fujian, P. R. China)

Abstract: The patterns and characteristics of radial oxygen loss(ROL) under natural, aerobiotic and anoxic conditions were investigated respectively by the standard oxidized dye (methylene blue agar) method. And the characteristics of pore and oxygen loss barriers were observed by using the front stand fluorescence microscope. Based on these experiments, the effects of oxygenation conditions on treatment of swine waste water controlled by canna floating bed technology were analyzed. ROL is very low in any pot in aerobiotic conditions, and it reaches its peak in root apex zone and declines dramatically along the rhizel in anoxic condition. ROL is high in every pot under natural conditions. Corresponding to the higher ROL, the pore is bigger and the oxygen loss barrier is thicker. ROL makes water aerobiotic. The removal rates of $\text{NH}_3^- \text{N}$ and TN were 62.36% and 47.9% respectively by taking canna floating bed technology, and $\text{NO}_3^+ \text{-N}$ accumulated and increased under aerobiotic condition.

Key words: canna; radial oxygen loss; oxygen loss barrier; wastewater treatment

近年来,生态浮床技术被广泛应用于江河湖泊等水体^[1-4]和农村生产生活废水^[5-6]的治理。作为一种原位修复技术,生态浮床技术在治理水体富营养

化方面具有不可替代的优势。它主要通过植物根部吸附吸收以及微生物协同作用来削减水体中的氮、磷及有机物,既达到净化水质的效果又达到营造水

收稿日期:2010-06-20

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-451)。

作者简介:范子红(1983-),女,博士,主要从事水污染控制理论与技术研究,(E-mail)zhfan@iue.ac.cn。

刘超翔(通讯作者),男,博士,研究员,主要从事生态处理技术研究,(E-mail)cxliu@iue.ac.cn。

上景观的目的。浮床植物可采用高等水生植物或改良的陆生植物,如美人蕉^[7-9]、空心菜^[10-11]等,近几年在这方面的研究和尝试均较多。

植物作为生态浮床的主体可将光合作用产生或从外界摄入的氧气输送至根部,被根系通气组织附近的细胞消耗掉,并向根尖和根系周围扩散。氧气从通气组织向根系周围扩散被称为径向泌氧(Radial Oxygen Loss,ROL)^[12]。一方面ROL使植物根系形成好氧的保护环境,厌氧微生物代谢的有毒产物可以在此好氧微环境中被氧化,从而降低了对植物根系的毒害作用^[12-13]。另一方面ROL在植物根区形成了有氧和缺氧区域共同存在的微环境,为根区的好氧、兼性厌氧和厌氧微生物均提供了适宜的小生境。但是过量的径向泌氧,尤其对于根部成熟区来说,会减少了植物对根尖的供氧,妨碍根系的生长,降低了根系能达到的最大长度^[13-17]。为了防止过量泌氧,植物在根部真皮、上表皮和下表皮层分别形成了完全或部分的“泌氧屏障”以促使根系生长^[18]。

该文通过研究好氧、缺氧和自然状态3种溶氧条件下美人蕉根部ROL方式特性,以及不同ROL位置的孔隙和泌氧屏障随溶氧条件的变化,来考察通氧条件对美人蕉浮床系统对处理畜禽废水的影响,为生态浮床技术的工程应用提供技术参数。

1 试验材料与方法

1.1 试验系统的构建与运行

设计了美人蕉小型浮床系统,采用聚乙烯泡沫为浮床载体,海绵固定,每个浮床种植4株植物,株高分别为35~40 cm。分4个系统平行实验。

好氧系统采用曝气机曝气,曝气时间为6:00—6:30和18:00—18:30,曝气量为10 L/min,保证水体处于好氧状态。缺氧系统预先采用亚硫酸钠消除水中的氧气,使水体溶解氧达到0.07 mg/L,呈缺氧状态;然后在液面上覆盖一层约2 cm厚的液体石蜡以防止大气复氧,保证植物的根系全部深入水下,避免同石蜡的接触。预埋一根带止回夹的橡胶取样管。自然系统初始溶解氧浓度为0.68 mg/L,不曝气不覆盖液体石蜡,其余条件同好氧系统。空白系统不栽种植物,其余条件同自然系统。实验时间为2010年1月至2010年2月,期间日间气温为14~19℃。为减少水分蒸发造成的试验误差,每次取样前采用自来水将桶中水位补充至标记线,补水量为10~15 mL,并使其混合均匀。缺氧系统补水前预先除去水中的氧气。实验所用畜禽废水取自厦门银

祥农牧有限公司,稀释10倍后使用,COD为496.00 mg/L,氨氮为421.50 mg/L,硝态氮为15.00 mg/L,总氮为455.56 mg/L,总磷为73.56 mg/L。试验每个系统中废水量为15 L。

1.2 ROL分布类型测定

根系径向泌氧分布类型采用标准氧化染色(亚甲基蓝琼脂)法^[13]测定。称取0.012 g亚甲基蓝溶于1 L含0.05%琼脂的溶液中,氮吹若干小时去除水中的氧;称取0.13 g低亚硫酸钠($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)溶于该溶液中,还原亚甲基蓝;将无色被还原溶液移入30 mm×200 mm试管中。随机选取新生侧根作为测试对象,将其插入还原性染料溶液中,迅速在液面上倒入一层约2 cm厚液体石蜡以防止空气中的氧气重新进入溶液中。用一个支撑框架将根和茎秆直立放置,防止对茎干的损伤。将容器及其顶部用锡箔纸包好以防止浸入到溶液中的绿色部分发生光合作用将染料氧化掉。将此装置在植物生长环境中放置3 h。拍照观察,ROL分布类型由无色亚甲基蓝被氧化成甲基蓝而形成的蓝色晕轮来指示。其形成的蓝色的强度代表根部释放氧气的程度。拍照要求遵从相同的条件:相同的背景、相同的距离、相同的角度、相同的闪光灯,以避免客观和背景条件的干扰。分析从根尖到成熟区不同位置蓝色的强度。每个样做3次平行测定。

1.3 横剖面准备

将1.2试验的植物侧根紧贴根基切下,培养在Hoagland's营养液中。根据ROL分布类型测试结果,选择3个部位用作根系解剖观察,这3个部位分别是:1)蓝色最深,释放氧气最强的部位;2)蓝色较浅,中等强度释放氧气的部位;3)蓝色最浅,几乎没有氧气释放的部位。采用正立荧光显微镜(日本Nikon,Eclipse 80i)放大5倍观察。

2 试验结果与分析

2.1 不同溶氧状况ROL分布类型

不同植物根部氧气自上(根基)而下(根尖)传输过程中,ROL在不同部位的泌氧量可能不同。图1显示不同氧气条件下美人蕉根部泌氧特征。在自然状态、缺氧和好氧3种条件下,美人蕉ROL分布类型表现出很大的差异。自然状态下美人蕉根系的周围形成了大约等面积的颜色均匀的蓝色晕轮,从根基到根尖几乎没有变化,说明自然状况下ROL分布类型是根部任何位置泌氧能力都较强。缺氧条件下在美人蕉的根尖区域形成大面积蓝色晕轮,沿根基方向迅速减弱,说明美人蕉的根系泌氧由均匀泌氧

转变为根尖强烈泌氧,其余部位几乎不泌氧类型。在好氧条件下沿氧传输方向在整个根上均不泌氧,且根系未被亚甲基蓝染料染色。同时也注意到自然条件下须根根尖区域基本不泌氧,而缺氧条件下根尖区域的须根的任何位置泌氧能力都很强。



图 1 溶氧状况对美人蕉根部 ROL 类型的影响

2.2 根部横剖面特点

结合 2.1 中 ROL 的特点,选取根尖和根基 2 个部位做横剖面观察,图 2 显示了不同 ROL 部位的根部横剖面图的特点。孔隙是通气组织的空腔,孔隙越多越大,表明通气组织越发达。在自然条件下植物的根基比根尖的通气组织要发达,便于根系将氧气从根基输送至根尖。缺氧条件下根系的孔隙均较初始时变大,根系表皮变厚。发达的通气组织是大量径向泌氧的前提,但是过量的径向泌氧会减少植物对根尖的供氧,妨碍根系的生长,因此在根系表皮形成了一定厚度的泌氧屏障以促使根的生长。

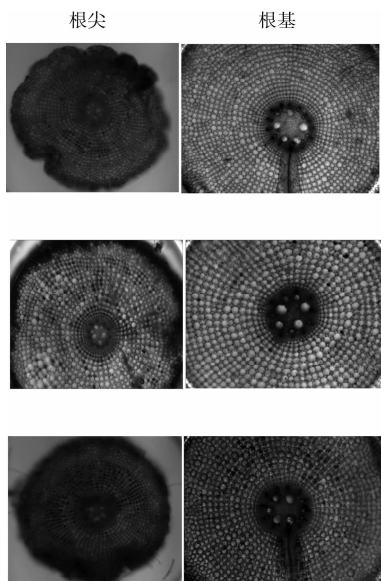


图 2 美人蕉根部横剖面图

泌氧类型的转变是根系为适应外在环境的一种应对。当水体缺氧时美人蕉根系孔径变大,加强对根系的供氧,但是又在将根尖以外的地方形成泌氧屏蔽,一层厚厚的保护层,使有害离子不能进入,促进根系的生长。根尖有氧区域对根尖形成保护区,进入该区域的有毒离子被氧化而降低了对植物的毒害。

研究表明水生或水培植物根系获取氧气的途径是多方面的,包括水中的溶氧、光合作用产生的氧气和直接吸收的氧气、中空或疏松的茎干与叶柄组织所储藏的氧气等^[19-20]。但是自然状态下废水中溶氧是很微弱的,不能满足植物根系生长所需,所以根系从其它途径获取所需氧,如径向泌氧作用。而试验中水中溶氧浓度很高,根系从水体中可获得的氧量增加,所以径向泌氧作用削弱,且发达的须根增大了根系吸收面积。

2.3 溶氧状况对处理畜禽废水的影响

2.3.1 不同溶氧状况畜禽废水中溶解氧浓度

溶解氧浓度采用 WTW Multi 340i 便携式溶解氧探头测定。探头伸入水下 5~8 cm。图 3 反映了不同溶氧条件下美人蕉浮床系统中溶氧浓度的变化状况。好氧系统采用曝气机曝气,使之始终维持好氧状态($> 8 \text{ mg/L}$,第 10 d 前后由于曝气机工作障碍导致溶氧浓度降至约 4 mg/L ,但水体仍是好氧状态)。缺氧系统在隔绝空气的情况下溶解氧浓度随时间增加先保持不变然后不断上升,25 d 之后溶解氧浓度为 0.74 mg/L ,水体已处于好氧状态,由于屏蔽了大气复氧作用,所以水体溶氧增加是由植物根系的泌氧作用产生的。自然状况下溶解氧浓度也逐渐上升,且上升速度和幅度均大于缺氧系统的,25 d 之后升至 3.5 mg/L ,分析原因应该是大气复氧和植物根系泌氧供氧双重作用的效果。从图中可以看出 16 d 之后溶氧浓度上升更快,可能跟水质好转有关。

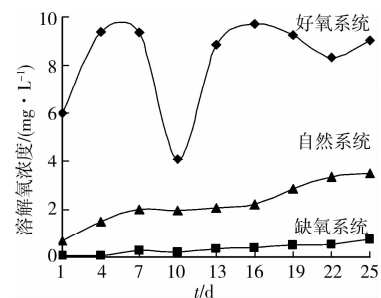


图 3 美人蕉浮床系统溶解氧状况图

2.3.2 不同溶氧状况下畜禽废水的降解

图 4—图 6 显示了不同溶氧状况下美人蕉浮床系统植物和

微生物共同作用下对畜禽废水的降解趋势。好氧条件下,对氨氮和总氮的去除效果最明显,去除率分别达到 62.36% 和 47.90%。好氧条件下氨氮更容易被氧化为硝酸盐氮,在图 4 中表现为硝酸盐氮累积增加的现象。缺氧条件下对氨氮和总氮的去除效果仅为 16% 左右,图 5 中硝酸盐几乎无累积增加。美人蕉对总磷去除效果比较差,3 种通氧条件下去除率无明显差异($P < 0.05$)。在自然状态下对 COD 去除率最高,能达到 60.60%。这说明美人蕉浮床系统更适用于处理氮污染较严重的废水,如畜禽废水和养殖废水等。

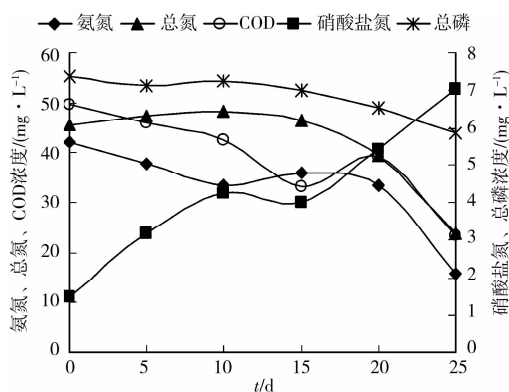


图 4 好氧系统畜禽废水降解趋势

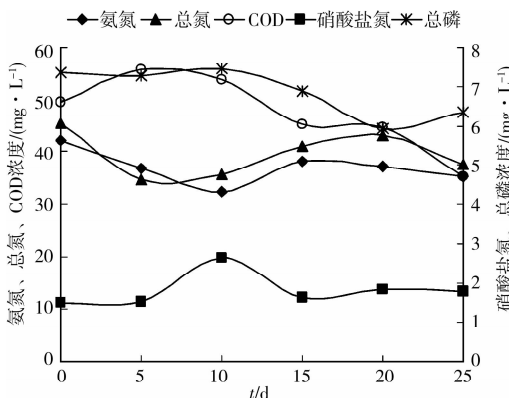


图 5 缺氧系统畜禽废水降解趋势

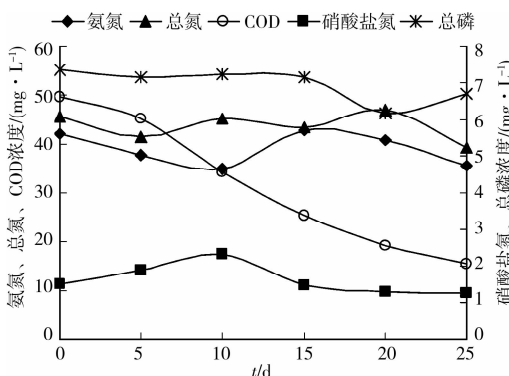


图 6 然状况下畜禽废水降解趋势

3 结论

1) 不同溶氧条件下,美人蕉根系泌氧类型会发生变化。美人蕉在自然状况根系径向泌氧类型为均匀强泌氧,泌氧强度不随根部位置的变化而变化;缺氧时根尖强烈泌氧,其余部位几乎不泌氧;好氧时不泌氧。

2) 植物的根基比根尖的通气组织要发达,便于根系将氧气从根基输送至根尖;当水体缺氧时美人蕉根系孔径变大,加强对根系的供氧。

3) 根系泌氧作用能使缺氧的水体逐渐恢复到好氧状态。好氧条件下,美人蕉浮床系统对氨氮和总氮的去除率分别达到 62.36% 和 47.90%,并出现硝酸盐氮累积增加的现象。

参考文献:

- [1] 周晓红, 王国祥, 冯冰冰, 等. 3 种景观植物对城市河道污染水体的净化效果[J]. 环境科学研究, 2009, 22(1):108-113.
ZHOU XIAO-HONG, WANG GUO-XIANG, FENG BING-BING, et al. Purification effect of nitrogen and phosphorus in polluted water of urban rivers by three landscape plants [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(1):108-113.
- [2] 黄廷林, 宋李桐, 钟建红, 等. 人工浮床净化城市景观水体的试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2007, 39(1):31-33.
HUANG TING-LIN, SONG LI-TONG, ZHONG JIAN-HONG, et al. Study on the urban scenic water purification by floating beds [J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech: Natural Science Edition, 2007, 39(1):31-33.
- [3] 罗固源, 吴松, 肖华, 等. 风车草泡板型浮岛在污染河水中的脱氮试验[J]. 重庆大学学报, 2008, 31(10):1170-1173.
LUO GU-YUAN, WU SONG, XIAO HUA, et al. Analysis of cyperus alternifolius foam floating islands on nitrogen removal in polluted rivers [J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(10):1170-1173.
- [4] 严以新, 操家顺, 李欲如. 冬-春季节浮床技术净化重污染河水的动态试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2006, 34(2):119-122.
YAN YI-XIN, CAO JIA-SHUN, LI YU-RU. Dynamic pilot study on purification of heavily polluted river water with floating bed technology in winter-spring [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(2):119-122.
- [5] 张增胜, 徐功娣, 陈季华, 等. 生物净化槽/强化生态浮床工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水, 2009, 25

- (9):9-11.
ZHANG ZENG-SHENG, XU GONG-DI, CHEN JI-HUA, et al. Biological purification tank/enhanced ecological floating rafts process for treatment of rural domestic sewage [J]. *China Water & Wastewater*, 2009, 25(9):9-11.
- [6] 张志勇,冯明雷,杨林章,等.人工模拟污水净化系统去除生活污水氮、磷效果的比较研究[J].*土壤学报*,2008,45(3):466-474.
ZHANG ZHI-YONG, FENG MING-LEI, YANG LIN-ZHANG, et al. Comparative study on efficiency of simulated constructed wetlands removing nitrogen and phosphorus from domestic sewage [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(3):466-474.
- [7] 罗固源,郑剑峰,许晓毅,等.4种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[J].*环境科学学报*,2009,29(2):285-290.
LUO GU-YUAN, ZHENG JIAN-FENG, XU XIAO-YI, et al. Comparison of the growth characteristics and nutrient up take of four kinds of plants cultivated on a floating bed [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(2):285-290.
- [8] 孙连鹏,刘阳,冯晨,等.不同季节浮床美人蕉对水体氮素等污染物的去除[J].*中山大学学报:自然科学版*,2008,47(2):127-130.
SUN LIAN-PENG, LIU YANG, FENG CHEN, et al. Removal of nitrogen from water bodies by canna floating bed in different seasons [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2008, 47(2):127-130.
- [9] LIANPENG SUNA, YANG LIU, HUI JIN. Nitrogen removal from polluted river by enhanced floating bed grown canna [J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35: 135-140.
- [10] SONG HAI-LIANG, LI XIAN-NING, LU XI-WU, et al. Investigation of microcystin removal from eutrophic surface water by aquatic vegetable bed [J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35:1589-1598.
- [11] 刘佳,刘永立,叶庆富,等.水生植物对水体中氮、磷的吸收与抑藻效应的研究[J].*核农学报*,2007,21(4):393-396
LIU JIA, LIU YONG-LI, YE QING-FU, et al. Study on the removal of nitrogen, phosphorus and inhibiting effect of algae growth by aquatic plants [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2007, 21(4):393-396.
- [12] BINZER T, BORUM J, PEDEREN O. Flow velocity affects internal oxygen conditions in the seagrass *Cymodocea nodosa* [J]. *Aquatic Botany*, 2005, 83: 239-247.
- [13] N PI, N F Y TAN, Y WUA, et al. Root anatomy and spatial pattern of radial oxygen loss of eight true mangrove species [J]. *Aquatic Botany*, 2009, 90: 222-230.
- [14] ARMSTRONG J, ARMSTRONG W, BECKETT P M. *Phragmites australis*: Venture-and humidity-induced convections enhance rhizome aeration and rhizosphere oxidation [J]. *New Phytology*, 1992, 120: 197-207.
- [15] ARMSTRONG W, BECKETT PM. Internal aeration and the development of stellar anoxia in submerged roots: A multishelled mathematical model combining axial diffusion of oxygen in the cortex with radial losses to the stele, the wall layers and the rhizosphere [J]. *New Phytology*, 1987, 105: 221-245.
- [16] ARMSTRONG J, ARMSTRONG W. *Phragmites australis* -A preliminary study of soil-oxidizing sites and internal gas transport pathways [J]. *New Phytology*, 1988, 108: 373-382.
- [17] JACKSON M B, ARMSTRONG W. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence [J]. *Plant Biology*, 1999, 1: 274-287.
- [18] SORRELL B K. Effect of external oxygen demand on radial oxygen loss by *Juncus* roots in titanium citrate solutions [J]. *Plant Cell Environment*, 1999, 22: 1587-1593.
- [19] Root. 水培植物根系的三大获氧途径 [EB/OL]. [2004-8-18]. <http://flower.zwkf.net/Article.asp?id=1422>.
- [20] 根系的吸收功能. [EB/OL] [2009-12-20]. <http://www.yubest.com/jjbst/Html/?893.html>