

李慧丽,徐德福,李映雪,等. 紫外辐射增强对人工湿地氮形态及去除的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):350-352.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.12.109

# 紫外辐射增强对人工湿地氮形态及去除的影响

李慧丽, 徐德福, 李映雪, 管益东

(江苏省大气环境监测与污染控制高新技术研究重点实验室/南京信息工程大学, 江苏南京 210044)

**摘要:**通过构建人工湿地,模拟 UV-B 增强 10%、20%,研究人工湿地基质中氮的形态,硝化与反硝化强度及氮去除率的变化。结果表明:UV-B 辐射下,基质的氨态氮、硝态氮含量增加,与对照相比,UV-B 增强 10%、20% 处理下人工湿地基质中平均氨态氮含量分别增加 201%、220%,硝态氮含量也分别增加 26%、52%。UV-B 促进了人工湿地基质的硝化强度,但抑制了反硝化强度;UV-B 增强降低了人工湿地对氮的去除率,其原因可能与 UV-B 增强促进凋落物分解导致氮释放和 UV-B 抑制反硝化强度有关。

**关键词:**紫外辐射;人工湿地;氮形态

**中图分类号:** X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)12-0350-03

人工湿地生态系统是人为建造的用于污水处理的系统,因其具有投资少、能耗低、管理方便、无二次污染、生态效益显著、可美化环境等优点,在国内外得到广泛应用<sup>[1]</sup>。其中表面流人工湿地因建设成本低、运行维护方便而被广泛采用<sup>[2]</sup>。人工湿地脱氮的途径有多种:植物和其他生物吸收作用,微生物氨化、硝化和反硝化作用以及氨气的挥发作用<sup>[3]</sup>,其中,微生物硝化、反硝化作用是湿地氮去除的主要途径,但是其脱氮效果受气候、植物种类、负荷及立地条件等因素的影响<sup>[4-5]</sup>。本研究分析紫外辐射对表面流人工湿地的硝化反硝化强度,探讨紫外辐射对湿地脱氮机制及硝化反硝化的作用,旨在为人工湿地系统在中国的推广应用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

采用长 80 cm、宽 60 cm、高 60 cm 的铁箱模拟表面流人工湿地,用纱网将每个池子垂直隔成 3 个区域,分别在相应的区域种植菖蒲 6 棵、茭白 5 棵、黄花鸢尾 6 棵。同时在每个人工湿地中加入 10 条泥鳅。紫外辐射强度设 3 个处理:对照人

工湿地(自然光)、UV-B 增强 10%、UV-B 增强 20%。UV-B 辐射增强通过在人工湿地上架设 UV-B 紫外灯(40 W,峰值 310 nm,上海华德电光源厂)来供给,并通过调节紫外灯的高度来实现紫外辐射增强 10%、20%。试验污水由人工配制而成,总氮(TN)浓度 13.9~30.0 mg/L,氨态氮浓度 10.9~17.4 mg/L。2014 年 3 月 20 日开始试验,先往每个箱子里加入相同质量的基质,3 月 28 日种植植物,开始放水,人工湿地初建成,4 月 10 日往每个箱子中加入等量的泥鳅,4 月 20 号开紫外灯,开灯时间为 08:00—16:00,阴雨天除外。采用间歇进水,每次加入污水后停留 2 d,分析水质变化。

### 1.2 方法

2014 年 7 月初,对人工湿地每种植物种植区表层(0~10 cm)基质进行取样,一部分基质用于分析硝化强度与反硝化强度;一部分基质经风干,过 2 mm 筛测基质的氨态氮、硝态氮含量。同时在 7 月初取样分析进出水的氨态氮、TN 浓度变化。

**1.2.1 硝化强度测定**<sup>[6]</sup> 硝化培养液配制方法:0.2 mg/L 磷酸二氢钾溶液、0.2 mg/L 磷酸氢二钾溶液、0.05 mg/L 硫酸铵溶液,按体积比 3:7:30 配制,用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 或 NaOH 稀溶液调至培养液 pH 值为 7.2。分别称取 10 g 基质置于 150 mL 三角瓶中(每个样品取 3 个平行样),加入 100 mL 硝化培养液,用脱脂棉塞住瓶口,置于 20 ℃ 水浴恒温振荡器中,基质硝化作用计算公式如下:

$$W_1 = (C_2 - C_1) \times (V_1 + V_2) \times k / (t \times m) \quad (1)$$

式中:W<sub>1</sub> 为单位时间内单位质量土壤所产生的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,

收稿日期:2014-12-12

基金项目:江苏省自然科学基金(编号:BK20141477);江苏省农业气象重点实验室开放基金(编号:KYQ1206)。

作者简介:李慧丽(1987—),女,河南商丘人,硕士研究生,主要从事污染水体生态修复研究。E-mail:lihuili\_1124@163.com。

通信作者:徐德福,博士,教授,主要从事人工湿地污水净化研究。

E-mail: defuxu1@163.com

[19]李红艳,杨晓晖,蒋凤玲,等. 我国干旱区草场种子库研究进展[J]. 河北林果研究,2005,20(2):124-127.

[20]刘旭,程瑞梅,肖文发. 土壤种子库研究进展[J]. 世界林业研究,2008,21(1):27-33.

[21]Falinska K. Seed bank dynamics in abandoned meadows during a 20-year period in the Białowieża National Park [J]. Journal of Ecology, 1999, 87(3):461-475.

[22]吕正文. 青藏高原东缘弃耕地的土壤种子库及其与地上植被关

系的研究[D]. 兰州:兰州大学,2008:35.

[23]张智婷,宋新章,肖文发,等. 长白山森林不同演替阶段采伐林隙土壤种子库特征[J]. 应用生态学报,2009,20(6):1293-1298.

[24]罗辉,王克勤. 元谋干热河谷山地植被修复区土壤种子库研究[J]. 中国水土保持科学,2006,4(1):87-91.

[25]周先叶,李鸣光,王伯荪,等. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替不同阶段土壤种子库的研究[J]. 植物生态学报,2000,24(2):222-230.

$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ ;  $C_1$  为初始溶液中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  质量浓度,  $\text{mg}/\text{L}$ ;  $C_2$  为 24 h 后溶液中  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  质量浓度,  $\text{mg}/\text{L}$ ;  $t$  为培养时间,  $\text{h}$ ;  $V_1$  为培养液体积,  $\text{L}$ ;  $V_2$  为土壤样品中水分体积,  $\text{L}$ ;  $m$  为样品质量,  $\text{g}$ ;  $k$  为水分系数。

该方法培养时间较短,不足以引起硝化细菌大量繁殖,通过振荡培养液防止厌氧环境出现以抑制反硝化过程,从而可以用来估测基质硝化作用潜力。

**1.2.2 反硝化强度测定**<sup>[6]</sup> 反硝化培养液配制方法: 0.2 mg/L 磷酸二氢钾溶液、0.2 mg/L 磷酸氢二钾溶液、0.03 mg/L 硝酸钾溶液、0.07 mg/L 葡萄糖,按体积比 3:7:30:10 配制。C:N 比约为 4:1,用  $\text{H}_2\text{SO}_4$  或  $\text{NaOH}$  稀溶液调至培养液 pH 值为 7.2。分别称取 10 g 基质置于 150 mL 三角瓶中(每个样品取 3 个平行样),加入 100 mL 反硝化液体培养液,用橡皮塞密封,置于 20 °C 恒温培养箱内培养 72 h,每隔 24 h 取 10 mL 悬浮液过滤,分析滤液中的硝态氮含量,每次取样后加 10 mL 反硝化培养液补足。用培养前后硝态氮浓度变化来计算基质反硝化作用的潜力,计算公式如下:

$$W_2 = (C_1 - C_2) \times (V_1 + V_2) \times k / (t \times m) \quad (2)$$

式中:  $W_2$  为单位时间内单位质量土壤所产生的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。

**1.2.3 氨态氮、硝态氮的测定** 取 10 g 风干基质样,加入 50 mL 2 mol/L KCl 振荡提取 30 min,分别采用水杨酸-次氯酸盐比色法和紫外分光光度法<sup>[7]</sup>测定氨态氮、硝态氮含量。

**1.2.4 水样中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 测定** 分别采用水杨酸-次氯酸盐比色法和用过硫酸钾氧化-紫外分光光度计法<sup>[7]</sup>测定水样中氨态氮、TN 含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 UV-B 对人工湿地基质中氨态氮、硝态氮含量的影响

从图 1 可以看出,不同处理下氨态氮含量变化趋势为: UV-B 增强 20% 处理 > UV-B 增强 10% 处理 > 对照(CK) 处理。与对照(CK)相比,UV-B 增强 10%、20% 处理,菖蒲种植区域氨态氮含量分别增加 64%、81%;茭白和美人蕉种植区域氨态氮含量分别增加 370%、404%;鸢尾种植区域氨态氮含量分别增加 302%、311%。在紫外辐射增强下,硝态氮含量与氨态氮含量变化趋势相同。与对照(CK)相比,UV-B 增强 10%、20% 处理下菖蒲种植区域硝态氮含量分别增加 37%、91%;茭白和美人蕉种植区域硝态氮含量分别增加 25%、49%;鸢尾种植区域硝态氮含量分别增加 18%、23%。与对照(CK)相比,UV-B 增强 10%、20% 处理基质中平均氨态氮(3 种植物种植区氨态氮的平均值)分别增加 201%、220%;平均硝态氮含量分别增加 26%、52%。

UV-B 辐射可以直接或间接地影响凋落物分解。直接作用是指凋落物分解过程中受到的 UV-B 辐射会对木质素产生光降解作用或者改变生物分解者的群落组成、数量、活性,进而影响到凋落物的分解。间接作用是指植物生长期间受到的 UV-B 辐射会改变叶片的化学成分,进而影响到叶片凋落后的分解过程<sup>[8]</sup>。郭宝华等发现,增强的 UV-B 辐射显著增加了杜英凋落叶中的氮含量<sup>[9]</sup>。张慧玲等发现,UV-B 辐射可以加快杉木凋落叶的分解,促进植物对氮的释放<sup>[10]</sup>。

宋新章等发现,增强的 UV-B 辐射使青冈凋落叶中的氮含量显著增加<sup>[11]</sup>。李元等发现,UV-B 辐射环境下生长的春小麦叶片化学成分发生显著改变<sup>[12-13]</sup>,加快了凋落叶的分解<sup>[14]</sup>。本试验中,由于紫外灯的照射,5 月中旬,UV-B 增强 20% 的人工湿地中茭白死亡;6 月中旬,UV-B 增强 10% 的人工湿地中茭白死亡。因此,在紫外辐射增强下基质中氨态氮、硝态氮含量的增加可能与 UV-B 辐射有利于凋落叶分解,从而导致凋落物中氮释放,引起氨态氮、硝态氮含量增加有关。为了使本试验继续进行,5 月初分别在不同处理下原茭白种植区内各补种 3 棵美人蕉,形成茭白+美人蕉种植区。

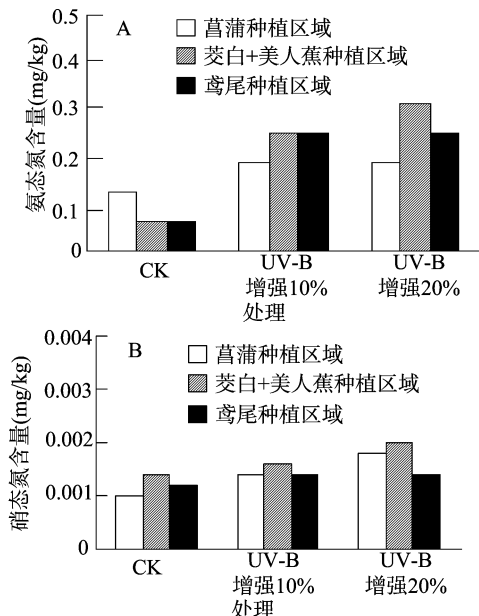


图1 不同处理下人工湿地基质中氨态氮(A)、硝态氮(B)含量

### 2.2 UV-B 对人工湿地基质中硝化强度的影响

从图 2 可以看出,不同处理下人工湿地基质中硝化强度大小依次为: UV-B 增强 20% 处理 > UV-B 增强 10% 处理 > 对照(CK) 处理。UV-B 增强促进了 3 种植物种植区的硝化强度,其中茭白+美人蕉种植区域人工湿地基质硝化强度变化最大,与对照(CK)相比,UV-B 增强 10%、20% 处理下茭白+美人蕉种植区域人工湿地基质硝化强度分别增加了 137%、221%。与对照(CK)相比,UV-B 增强 10%、20% 处理下人工湿地基质中平均硝化强度(3 种植物种植区硝化强度的平均值)分别增加了 75%、115%。在 UV-B 增强条件

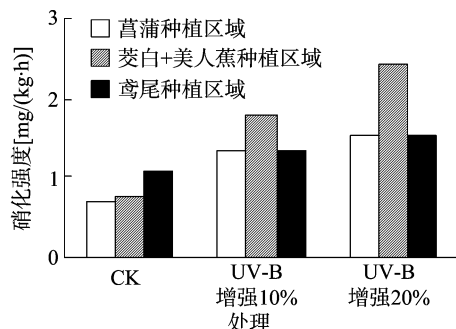


图2 不同处理下人工湿地基质中硝化强度

下,基质中氨态氮含量增加,有利于硝化作用的进行,从而导致硝化强度增强,不同处理下人工湿地基质中硝态氮含量的增加也与硝化强度增加有关。

### 2.3 UV-B 对人工湿地基质中反硝化强度的影响

从图 3 可以看出,不同处理下人工湿地基质中反硝化强度大小为:对照(CK)处理 > UV-B 增强 10% 处理,UV-B 增强 10% 与 UV-B 增强 20% 处理间反硝化强度差别不明显。与对照(CK)相比,UV-B 增强 10%、20% 处理下,人工湿地基质中平均反硝化强度分别减小了 26%、19%。UV-B 辐射对植物根际微生物活性也有间接影响。植物根际微生物活性对矿物、有机物的转化、分解极其重要,因此其种群数量直接影响土壤中有机的分解以及植物对营养元素的吸收利用<sup>[15]</sup>。李元等发现,UV-B 辐射增加显著降低土壤细菌总数以及放线菌、真菌数量<sup>[16]</sup>。祖艳群等发现,UV-B 辐射导致土壤细菌、真菌、放线菌数量下降<sup>[17]</sup>。本研究结果表明,紫外辐射下不同处理下人工湿地基质中反硝化强度减小可能与 UV-B 增强下,反硝化细菌数量减小有关。不同紫外辐射增强处理下,基质反硝化强度变化不明显,其原因有待进一步研究。

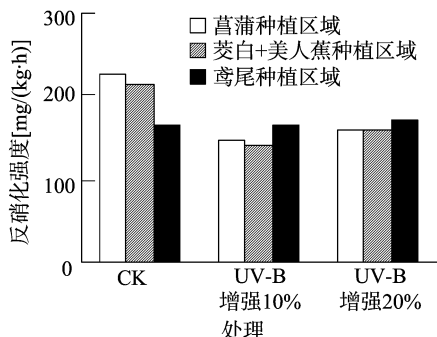


图3 不同处理下人工湿地基质中反硝化强度

### 2.4 UV-B 对人工湿地去除氮能力的影响

从图 4 可以看出,UV-B 对人工湿地总氮的去除率大小依次为:对照(CK)处理 > UV-B 增强 10% 处理 > UV-B 增强 20% 处理。与对照(CK)相比,UV-B 增强 10%、20% 的处理下水中总氮去除率分别降低了 13%、23%。总氮去除率的下降可能与 UV-B 辐射抑制了反硝化强度有关。氨态氮去除率与总氮去除率变化趋势相同,与对照(CK)相比,UV-B 增强 10%、20% 的处理下水中氨态氮去除率分别降低了 12%、24%。氨态氮去除率的下降可能与 UV-B 增强促进凋落物分解氮释放有关。

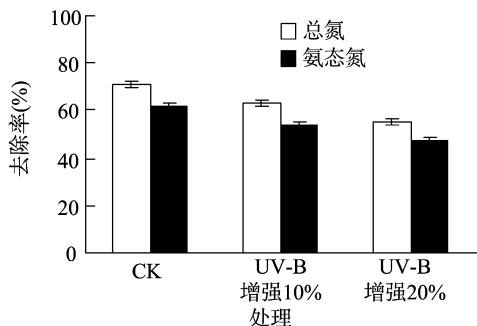


图4 不同处理下人工湿地基质水中总氮、氨态氮去除率

## 3 结论

本研究结果表明,UV-B 辐射增强影响了人工湿地植物的生长,促进凋落物分解,增加基质中氨态氮、硝态氮含量。UV-B 辐射提高了人工湿地基质的硝化强度,但抑制人工湿地的反硝化强度。在 UV-B 辐射增强下,人工湿地氮的去除率下降可能与 UV-B 促进人工湿地中凋落物的分解和抑制反硝化强度有关。

### 参考文献:

- [1] Ruiz A M, Maerz J C, Davis A K, et al. Patterns of development and abnormalities among tadpoles in a constructed wetland receiving treated wastewater[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(13): 4862-4868.
- [2] Huang J, Reneau Jr R B, Hagedorn C. Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater[J]. Water Research, 2000, 34(9): 2582-2588.
- [3] Matheson F E, Sukias J P. Nitrate removal processes in a constructed wetland treating drainage from dairy pasture[J]. Ecological Engineering, 2010, 36(10): 1260-1265.
- [4] Pei Y, Yang Z, Tian B. Nitrate removal by microbial enhancement in a riparian wetland[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14): 5712-5718.
- [5] 王晓娟, 张荣社. 人工湿地微生物硝化和反硝化强度对比研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(2): 225-229.
- [6] 郑仁宏, 邓仕槐, 李远伟, 等. 表面流人工湿地硝化和反硝化强度研究[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(1): 37-43.
- [7] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 3 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [8] Pancotto V A, Sala O E, Robson T M, et al. Direct and indirect effects of solar ultraviolet-B radiation on long-term decomposition[J]. Global Change Biology, 2005, 11: 1982-1989.
- [9] 郭宝华, 卜涛, 王志坤, 等. UV-B 辐射对杜英凋落叶化学组成及其分解的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2314-2319.
- [10] 张慧玲, 宋新章, 张智婷, 等. UV-B 辐射对杉木凋落叶分解的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 845-850.
- [11] 宋新章, 卜涛, 张水奎, 等. UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(6): 2355-2360.
- [12] 李元, 王勋陵. UV-B 辐射对麦田生态系统氮磷累积和循环的影响[J]. 农业环境保护, 2000, 19(3): 129-132.
- [13] 李元, 王勋陵, 胡之德. 增强的 UV-B 辐射对麦田生态系统 Mg 和 Zn 累积和循环的影响[J]. 生态学杂志, 2001, 20(1): 26-29.
- [14] 李元, 王勋陵, 祖艳群. 增强的 UV-B 辐射对春小麦植株化学成分、真菌定殖和分解的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 223-225.
- [15] 王敬国. 微生物与根际中物质的循环(综述)[J]. 北京农业大学学报, 1993, 19(4): 98-105.
- [16] 李元, 杨济龙, 王勋陵, 等. 紫外辐射增加对春小麦根际土壤微生物种群数量的影响[J]. 中国环境科学, 1999, 19(2): 157-160.
- [17] 祖艳群, 魏兰芳, 杨济龙, 等. 紫外辐射增加对 40 个割手密无性系土壤微生物种群数量动态和多样性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1): 6-11.