

万 蕾,张翠英,张惠芳,等. 耐寒植物人工湿地污水净化效果的季节变化[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):351-354.

# 耐寒植物人工湿地污水净化效果的季节变化

万 蕾,张翠英,张惠芳,杨杨阳,张 练

(徐州工程学院环境工程学院,江苏徐州 221008)

**摘要:**通过构建耐寒植物人工湿地,研究人工湿地对污水中总氮、总磷及有机质的去除效果,探讨季节变化对污染物去除率的影响。结果表明:西伯利亚鸢尾和花叶麦冬 2 种耐寒植物人工湿地对污染物具有较稳定的去除效果;即使在冬季,2 种湿地植物对污染物的去除率均能达到 30% 以上;不同季节西伯利亚鸢尾湿地对总氮、总磷及有机质的平均去除率均高于花叶麦冬。结果表明,合理选择湿地植物,可以减少运行费用,对于维持人工湿地净化能力的持效性有重要意义,本研究为人工湿地在北方地区的应用及植物选择提供参考。

**关键词:**耐寒植物;人工湿地;净化效果;季节变化

**中图分类号:** X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0351-03

人工湿地污水处理系统是一种低投资、低能耗、效果好的处理与利用污水的系统工程,是在长期应用天然湿地净化功能基础上发展起来的生态处理技术<sup>[1]</sup>。该系统已被大量用来处理生活污水、工业废水、矿山废水、农业废水、垃圾填埋场渗滤液、高速公路暴雨径流和富营养化水体等<sup>[2-6]</sup>。人工湿地在运行时不可避免受到各种因素的影响,如湿地结构类型,水力负荷和污染负荷,植物的生长状况,湿地的地理位置和气温变化,运行方式等,其中气温是一个相当重要的因素。植物是人工湿地的重要组成部分,在系统中起关键作用。植物的生长具有季节性,导致人工湿地的处理效果也呈现季节性,即在植物生长旺盛期湿地处理效果好,而植物枯萎和死亡期处理效果变差。尤其在在我国北方地区,冬季大部分植物死亡或进入休眠期,春季植物生长缓慢,这 2 个季节人工湿地的运行效率相比夏秋季低很多,特别是氮、磷等污染物的去除率偏低,限制了人工湿地工艺在冬季寒冷地区的推广应用<sup>[7-8]</sup>。

通过采取一定措施,在低温下人工湿地对污水仍有较高的处理效果。刘学燕等在冬季低温条件下进行了潜流式人工湿地处理官厅水库微污染地表水的研究,结果表明,通过采用隔离层保护,人工湿地对微污染地表水仍然有较好的净化效果<sup>[9]</sup>。张建等在山东淄博考察了冬季潜流式人工湿地对污染河水的处理效果,采用覆盖地膜保温措施后, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均去除率上升到 67.6%,化学需氧量(COD)平均去除率提高到 46.6%;且床体内污水温度比无地膜覆盖的高 2~6℃;微生物的活性也得到提高<sup>[10]</sup>。但采取保温措施需要消耗人力、物力和财力,并且容易产生二次污染<sup>[11]</sup>。若能筛选具有净化能力的耐寒植物,植物一年四季能正常生长,这样既能保证人工湿地的处理效果,又能避免产生额外的消耗和二次污染。本研究以耐寒西伯利亚鸢尾(*Iris sibirica*)、花叶麦冬(*Ophiopogon japonicus*)为人工湿地的主要植物,探究 2 种植物对污

水处理效果的季节变化,为人工湿地净化能力的持效性提供理论指导与技术支持,为人工湿地在北方地区的应用及植物选择提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

人工湿地长 2.5 m、宽 0.6 m、深 0.5 m,并做好防渗措施。进水端采用多孔隔板与主处理区分隔,防止出现布水不均现象,进水方式采用推流式;在出水端打孔以控制水深,装置示意图见图 1。主处理区填料由粒径 2~3 cm 和 0.2~0.5 cm 的 2 层砾石(各 20 cm 厚)组成。设置 2 个试验组,分别种植耐寒植物西伯利亚鸢尾(以下简称鸢尾)和花叶麦冬(以下简称麦冬),各设 1 个平行样,自然光照,水力停留时间 2 d,水力负荷  $0.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,试验期间植物生长正常。

### 1.2 试验用水

以  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  作为碳源、氮源和磷源模拟污水,并投加少量花园土保证植物生长对微量元素的需求。进水总氮浓度 15~25 mg/L,总磷浓度 1~2 mg/L,有机质浓度 40~100 mg/L。

### 1.3 分析方法

于 2012 年 5 月,启动人工湿地系统,植物开始驯化,待植物正常生长后,7 月正式开始试验,试验周期从 2012 年 7 月至 2013 年 6 月(2013 年 1 月水体完全结冰至 2 月底,停止运行),选取春、夏、秋、冬的代表性月份(4、7、10、12 月)进行分析,每天记录气温变化。在湿地出水端设置采样点取样,采样后即带回实验室测定。总氮的测定采用标准过硫酸钾氧化-紫外分光光度法,总磷的测定采用钼酸铵分光光度法,高锰酸盐指数的测定采用酸性高锰酸钾法。试验结果取相同植物组的均值进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 总氮去除率的季节变化

人工湿地对总氮的去除率随时间及温度的变化见图 2。从图 2 可以看出,试验启动初期,无论是鸢尾湿地还是麦冬湿地对总氮的去除率均较高,分别为 67%、64%,随着试验的进

收稿日期:2013-12-10

基金项目:江苏省高校自然科学基金计划(编号:11KJD610002)。

作者简介:万 蕾(1981—),女,山东烟台人,博士,副教授,主要从事水环境污染防治与生态修复方面的研究。E-mail: hjwanl@163.com。

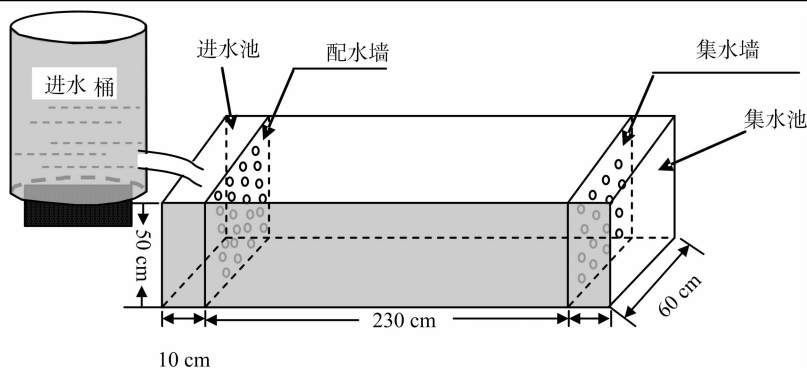


图1 人工湿地试验装置示意

行,去除率有所下降。但到了10月中下旬,平均气温在 $15^{\circ}\text{C}$ 左右,总氮的去除率达到最高水平。从10月底至12月底,总氮的去除率一直维持在较低水平,当气温在 $5^{\circ}\text{C}$ 左右时,2种植物对总氮的去除率保持稳定,在40%左右;当气温降低至 $0^{\circ}\text{C}$ 左右(甚至到最低温 $-6^{\circ}\text{C}$ ),麦冬湿地对总氮的去除能力下降为25%,而鸢尾保持在40%左右。到了春季,随着气

温的升高,2种植物湿地对总氮的去除率呈现波动上升的趋势。由图2还可看出,夏、秋、冬季鸢尾湿地的去除率均高于麦冬,春季2种植物对总氮的去除效果相当。试验期间,麦冬湿地对总氮的去除率:夏季 $\approx$ 春季 $>$ 秋季 $>$ 冬季;鸢尾湿地对总氮的去除率:夏季 $>$ 春季 $>$ 秋季 $>$ 冬季,夏季、春季、秋季去除率相当,平均值分别为58%、55%、53%,冬季为43%。

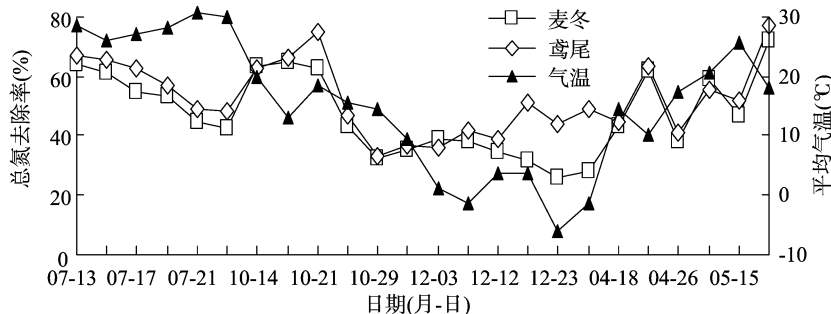


图2 2种植物人工湿地对总氮去除率变化

## 2.2 总磷去除率的季节变化

从图3可以看出,与总氮相同,试验启动初期,无论是鸢尾湿地还是麦冬湿地对总磷的去除率均较高,可以达到93%左右,随着试验的进行,去除率有所下降,麦冬的下降趋势大于鸢尾。到了秋季,虽然气温下降,但2种植物对总磷的去除

率维持在一个较高的水平,整个秋季去除率均保持在81%以上。冬季,麦冬的去除率持续下降,而鸢尾对总磷的去除率维持在50%左右。春季,随着气温的回升,2种湿地对总磷的去除率缓慢升高。总体来说,2种湿地对总磷的去除率:秋季 $>$ 夏季 $>$ 春季 $>$ 冬季。

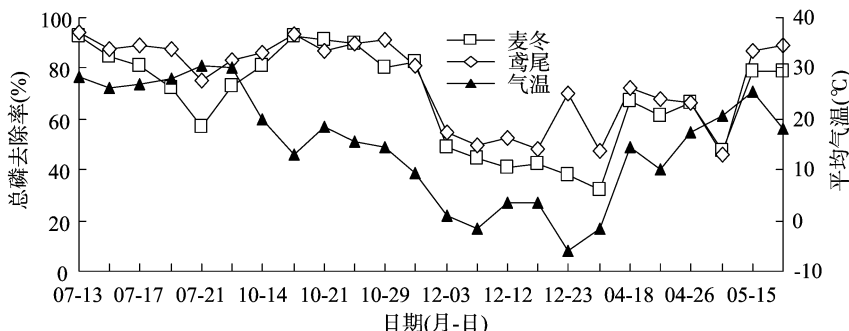


图3 2种植物人工湿地对总磷去除率变化

## 2.3 有机质去除率的季节变化

从图4可以看出,2种植物对有机质的去除能力基本相当,随着温度下降,去除率下降。试验期间去除率均在35%以上,麦冬平均去除率为66%,鸢尾为68%。在12月下旬,由于进水有机质浓度升高,可能由于碳氮比的升高,去除率有所提高。2种植物对有机质的去除率:夏季 $>$ 秋季 $>$ 春季 $>$

冬季。

## 2.4 季节变化对污染物去除率的影响

大量研究表明,水生植物对湿地中污染物的去除有很大影响,有植物的人工湿地对总氮、总磷及有机物的去除效果明显高于无植物湿地<sup>[12-13]</sup>。植物生长受季节变化影响,西伯利亚鸢尾和花叶麦冬属于耐寒植物,在冬季( $-5^{\circ}\text{C}$ 以上)能够

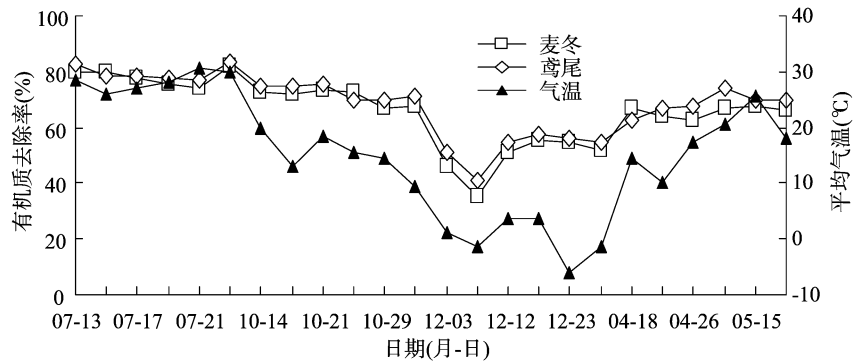


图4 2种植物人工湿地对有机质去除率变化

安全过冬,一年四季均能发挥较好的净化效果。人工湿地系统对总氮的去除主要通过植物的吸收以及细菌的硝化和反硝化作用<sup>[14]</sup>,虽然植物的吸收只占一小部分<sup>[15]</sup>,但湿地植物的生长状况对总氮的去除具有决定作用。夏季,鸢尾、麦冬对总氮的去除率分别为 58%、53%,冬季为 43%、33%,去除率分别下降了 25.9%、37.7%。平均气温降到 10℃以下时,麦冬的去除率明显下降。通过分析气温与总氮去除率的相关性发现,麦冬与气温的相关性高于鸢尾,说明鸢尾的净化能力受季节变化影响较小。经单因素方差分析(*F* 检验),鸢尾对总氮的去除效果受季节影响差异不显著(*P* > 0.05)。人工湿地对磷的去除主要靠基质的吸附作用<sup>[16]</sup>,气温在 10℃以上时,气温变化及不同的植物对总磷的去除率影响较小;气温在 10℃以下时,总磷的去除率明显下降,但 12 月仍能保持最低去除率在 30%以上。说明植物对磷具有一定的摄取作用,而且水温降低,使水的流动性减缓及微生物活性减弱,可能影响基质的吸附效果。人工湿地对有机质的去除,主要靠填料吸附、微生物分解吸收、植物吸收等相互作用来完成。当气温在 10℃以上时,2 种植物对有机质的去除率均在 64%以上,气温降到 5℃以下时,有机质的去除率明显下降,但 12 月仍能

保持最低去除率在 35%以上。雒维国等的研究结果表明,温度高于 4℃,NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的硝化作用增加,湿地脱氮效果增强;温度高于 8℃,微生物对有机物的分解利用加快,COD 去除率上升;总磷和悬浮物(suspended solid,SS)的去除效果受温度影响较小<sup>[17]</sup>。本研究结果与其相近,但总磷的去除效果与温度的关系有待进一步研究。综上所述,气温在 10℃以下时,植物的净化能力受到影响,气温在 5℃以下时,影响较为明显。

2.5 不同植物对污染物去除效果比较

不同种类湿地植物对人工湿地系统的污水净化效果存在一定差异。人工湿地净化效果与水流条件、水力负荷、污染负荷及基质种类等都有很大关系,不同植物的净化效果难于比较。本研究采用的 2 种植物对湿地进水的总氮、总磷及有机质均有较好的去除作用,试验期间,鸢尾对总氮、总磷、有机质的平均去除率分别为 53%、75%、68%;麦冬对总氮、总磷、有机质的平均去除率分别为 47%、68%、66%。不同季节鸢尾湿地对总氮、总磷及有机质的平均去除率均高于麦冬(表 1),经单因素方差分析(*F* 检验),冬季麦冬和鸢尾对总氮、总磷的去除率差异显著(*P* < 0.05),其他季节差异不显著。

表 1 不同季节鸢尾和麦冬对污染物去除率的比较

污染物	去除率(%)											
	夏季			秋季			冬季			春季		
	鸢尾	麦冬	鸢尾提高率	鸢尾	麦冬	鸢尾提高率	鸢尾	麦冬	鸢尾提高率	鸢尾	麦冬	鸢尾提高率
总氮	58.32	53.37	9.3 *	53.40	50.11	6.6 *	43.50	32.81	32.6 **	55.46	53.36	3.9 *
总磷	86.05	76.80	12.0 *	88.03	86.23	2.1 *	53.67	41.07	30.1 **	71.36	66.58	7.1 *
有机质	79.48	78.32	1.5 *	72.59	71.08	2.1 *	52.48	49.03	7.0 *	68.51	65.60	4.4 *

注: \* 表示差异显著(*P* < 0.05), \*\* 表示差异极显著(*P* < 0.01)。

3 结论与讨论

试验期间,2 种耐寒植物人工湿地对污染物具有较稳定的去除效果。麦冬湿地对总氮的去除率:夏季 ≈ 春季 > 秋季 > 冬季,鸢尾湿地:夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季;2 种湿地对总磷的去除率:秋季 > 夏季 > 春季 > 冬季;2 种湿地对有机质的去除率:夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。

污染物的去除效果受季节变化的影响,气温降低,去除率下降。在冬季,2 种湿地植物均能保持较高的净化效率,对污染物的去除率均能达到 30%以上。气温在 10℃以下时,植物的净化能力受到影响,气温在 5℃以下时,影响明显。

鸢尾的净化能力受季节变化影响比麦冬小,可作为人工

湿地低温运行的选择物种。不同季节鸢尾湿地对总氮、总磷及有机质的平均去除率均高于麦冬,尤其在冬季,鸢尾对总氮、总磷的净化能力明显高于麦冬,具有显著差异。

人工湿地在低温条件的运行,应从湿地本身的组成、结构进行优化,如改变运行方式、选用优质填料、选用耐寒植物等,而不能一味增加湿地外部的处理措施,从而降低湿地的价值,影响人工湿地的推广应用。

参考文献:

[1] 徐新华,吴忠标. 环境保护与可持续发展[M]. 北京:化学工业出版社,2000.  
[2] 谢 龙,汪德耀. 花叶芦竹潜流人工湿地处理生活污水的研究

王光野,曹高品,丁 娇,等. 盐碱混合胁迫对灰绿藜丙二醛积累的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):354-355.

# 盐碱混合胁迫对灰绿藜丙二醛积累的影响

王光野<sup>1</sup>, 曹高品<sup>2</sup>, 丁 娇<sup>1</sup>, 魏 健<sup>1</sup>

(1. 长春师范大学生命科学学院, 吉林长春 130032; 2. 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

**摘要:**模拟6种天然盐碱生态条件对灰绿藜(*Chenopodium glaucum* L.)幼苗进行处理,测定处理后灰绿藜叶片丙二醛(MDA)含量的变化,分析盐碱混合胁迫对灰绿藜的影响。结果表明:同一时间内随着盐碱混合胁迫浓度的增大,灰绿藜叶片中的MDA含量均呈现出先升高后下降的趋势,且在混合浓度为250 mmol/L时丙二醛含量达到最大。

**关键词:**盐碱胁迫;灰绿藜;MDA

**中图分类号:** Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)09-0354-02

灰绿藜(*Chenopodium glaucum* L.)为藜科一年生草本植物,分布广泛,具有重要的经济价值和生态价值。盐碱地种植灰绿藜可明显改良土壤性质,具有降低土壤含盐量和增加土壤有机质等作用,是改良盐碱土的一种潜在经济盐生植物<sup>[1-2]</sup>。植物在逆境下会通过各种途径产生活性氧<sup>[3]</sup>,活性氧往往引起膜脂过氧化作用。丙二醛(MDA)是膜脂氧化的最主要的产物之一,可以通过测定其含量反映植物遭受逆境伤害的程度以及植物的抗逆性。目前,MDA含量的测定常采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法。用该方法测定时,MDA在酸性及高温条件下,可以与2-硫代巴比妥酸(TBA)反应生成红棕色的三甲川,该物质最大吸收波长为532 nm。但是测定

植物组织中MDA时受多种物质的干扰,其中最主要的是可溶性糖,糖与TBA显色反应产物的最大吸收波长为450 nm,但在532 nm处也有吸收。本试验旨在研究不同盐碱混合浓度下灰绿藜丙二醛积累的变化,进而了解植物的耐盐机制,对于改善盐碱土壤环境和充分利用土地资源具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

同龄野生灰绿藜幼苗,采自长春师范大学,原位土壤移栽,光照培养室培养,每盆10株。

### 1.2 方法

**1.2.1 盐碱混合胁迫条件模拟** 根据东北盐碱化草原的盐分组成复杂多变的特点<sup>[4]</sup>,以及灰绿藜对盐碱浓度的可能耐受阈值<sup>[5]</sup>,按不同比例混合,以碱性盐比例逐步增大的顺序分成对照组和A、B、C、D、E、F等6个试验组,试验组胁迫溶液浓度分别为50、100、150、200、250、300 mmol/L(表1),每组3个重复。

**1.2.2 胁迫处理** 试验组盐碱混合溶液于17:00到次日07:00分3次进行透灌,对照组用蒸馏水进行透灌,每2 d浇

[J]. 中国给水排水,2009,25(5):89-91.

[3]赵 兰,辜夕容,邢新婷. 3种植物对人工模拟三峡库区富营养化水体的净化研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2010,32(7):113-118.

[4]籍国东,孙铁珩,李 顺. 人工湿地及其在工业废水处理中的应用[J]. 应用生态学报,2002,13(2):224-228.

[5]颜明娟,方志坚,翁伯琦,等. 应用人工湿地的技术对净化奶牛场废水的研究[J]. 生态环境学报,2012,21(12):1992-1997.

[6]刘 倩,谢 冰,胡 冲,等. 陈垃圾反应床+芦苇人工湿地处理垃圾渗滤液[J]. 环境工程学报,2012,6(4):1108-1112.

[7]陈永华,吴晓芙,陈明利,等. 人工湿地污水处理系统冬季植物的筛选与评价[J]. 环境科学,2010,31(8):1789-1794.

[8]Werker A G, Dougherty J M, Mchenry J L, et al. Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates[J]. Ecological Engineering,2002,19(1):1-11.

[9]刘学燕,代明利,刘培斌. 人工湿地在我国北方地区冬季应用的研究[J]. 农业环境科学学报,2004,23(6):1077-1081.

[10]张 建,邵文生,何 苗,等. 潜流人工湿地处理污染河水冬季运行

及升温强化处理研究[J]. 环境科学,2006,27(8):1560-1564.

[11]申 欢,胡洪营,潘永宝. 潜流式人工湿地冬季运行的强化措施研究[J]. 中国给水排水,2007,23(5):44-46.

[12]李志杰. 人工湿地净化微污染水体研究[D]. 天津:天津大学,2012.

[13]Yousefi Z, Mohseni - Bandpei A. Nitrogen and phosphorus removal from wastewater by subsurface wetlands planted with *Iris pseudacorus* [J]. Ecological Engineering,2010,36(6):777-782.

[14]安树青. 湿地生态工程[M]. 北京:化学工业出版社,2003.

[15]Drizo A, Frost C A, Smith K A, et al. Phosphate and ammonium removal by constructed wetlandswith horizontal subsurface flow, using shale as a substrate[J]. Water Science and Technology,1997,35(5):95-102.

[16]Cooper P F. A review of the design and performance of vertical - flow and hybrid reed bed treatment systems[J]. Water Science and Technology,1999,40(3):1-9.

[17]雒维国,王世和,黄 娟,等. 潜流型人工湿地冬季污水净化效果[J]. 中国环境科学,2006,26(S1):32-35.