

Horizontal flow constructed wetland of xulina-water hyacinth combination was used to remove heavy metals

Dong Yan

Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan, 410001, China

Abstract

Plant combination of *H.Verticillata*-*E.Crassipes* were used in constructed wetland in order to purify the swine wastewater to remove heavy metals in irrigation water and to reduce heavy metal accumulation in crops. Experiment is seting up as a horizontal flow constructed wetland(HFCW) with one natural sedimentation cell and two plant cells. The experiment take place in Ansha, Hunan province during April to August,2017. Result shows that the HFCW has a significant removal effect on Cd with removal rates of 69.2% . Purified water meets the standard of national irrigation water quality of farmland. Accumulation of Cd in *E.Crassipe* is stronger than that of *H.Verticillata*. The combination of *H.Verticillata*-*E.Crassipes* in HFCW can be a promising option for phytoremediation to treat Heavy metal in swine wastewater, with the advantages of low cost and easy maintenance.

Keyword

H.Verticillata *E.Crassipes* constructed wetland heavy metal

利用狐尾藻－水葫芦组合水平流人工湿地去除重金属

严冬

湖南农业大学，中国·湖南长沙 410001

摘 要

利用狐尾藻-水葫芦植物组合人工湿地净化安沙某地农田养殖废水，降低农田灌溉水中重金属，减少农田作物重金属富集，实现水质循环。试验设置为一级天然沉降池+两级植物塘串联的水平流人工湿地，进行为期4月的检测。试验结果表明，该人工湿地组合对Cd有明显的去除效果，去除率分别为69.2%，排出水符合农田灌溉水水质标准，水葫芦对Cd的富集能力要强于狐尾藻，采用该植物组合人工湿地可以有效处理养殖废水污染中重金属，经济成本低且易于维护。

关键词

狐尾藻 水葫芦 人工湿地 重金属

1 简介

随着环境质量的恶化和对农艺化学品依赖性的日益增长，土壤重金属污染问题已经成为世界各地关注的重要热点之一，其中作为农业大省湖南目前最严重的问题之一重金属镉对土地的污染治理已经迫在眉睫^[1]。在水资源总量 2/3 的地表水中，污染问题同样严重。根据全国水资源综合规划评价成果，204 个湖泊中常年呈现富营养化状态的湖泊有 68 个，占比达到 33.2%^[2-3]。土壤受到重金属污染后，会危害植物生长。高浓度重金属污染会导致植物叶绿素含量与光合速率下降，种子发芽率降低，生长迟缓，产量降低，叶片黄化，花期推迟，根系受到抑制，严重时植株死亡^[4]。

目前，人工湿地作为新兴的环境修复方式，是具有低成本、高效果和易于维护等优点的方法^[5]。湿地作为地球表

层一类重要的地理综合体，是地表经常过湿或被浅水体（一般深度小于 3m）掩盖的部分，是由水生 -- 湿生生物群和泥炭层或潜育层的土壤等所构成的一个水陆复合生态系统，因此湿地具有缓冲容量大、处理效果好、工艺简单、投资省、运行费用低等特点，非常适合中、小城镇的污水处理。而且湿地还具有巨大的环境调节功能、生物多样性、旅游和科研等价值^[6]。总的来说，人工湿地污水处理系统是一种较好的废水处理方式，特别是它充分发挥资源的生产潜力，防止环境的再污染，获得污水处理与资源化的最佳效益，因此具有较高的环境效益、经济效益及社会效益，比较适合于处理水量不大、水质变化不很大、管理水平不很高的城镇污水，如我国农村中、小城镇的污水处理。

2 材料与方法

2.1 试验地点与设计参数

湖南省长沙县安沙镇位于湖南省中北部，北纬 28° 37'、东经 113° 11'。镇域面积 160 平方公里，总

【作者简介】严冬（1993-），男，中国江苏人，硕士，从事环境生态学研究。

人口5万人,安沙镇是一个典型的养殖废水污染区。示范点的建设面积为2400 m²,人工湿地设计有效水深0.6m,其中天然沉砂池1150 m³,计算容量为690 m³;二号池与三号池拥有同样的设计面积为600 m²,计算容量为360 m³;总计算水容量1410 m³,瞬时最大流量为27.13 m³/h,最短水力停留时间为2.17d,平均流量13.68 m³/h。据调查,该地区底泥镉污染特征为80%悬浮态和20%可溶解态,因此采取工艺为三级人工湿地系统,一级湿地采取自然沉降工艺,即通过底部基质进行物理吸附,二级湿地种植狐尾藻吸附悬浮态

和离子态镉,三级湿地为水葫芦主要吸收离子态镉。相较其他类型,安沙人工湿地作为表面流人工湿地的设计具有成本低廉、操作简单等优势,湿地利用坡度、水流方向等因素保持运行,能够起到水体污染拦截效果。由于湿地直接服务于农田,灌溉水为上游蓄水池控制,在冬季人工湿地没有进水,所选取的湿地植物狐尾藻、水葫芦会由于没有足够的营养物质导致植物个体逐渐萎缩,覆盖面积减少。直到第二年春季播种时,农田开始灌溉,狐尾藻、水葫芦又会以极快的速度开始生长,发挥其重金属超富集能力。

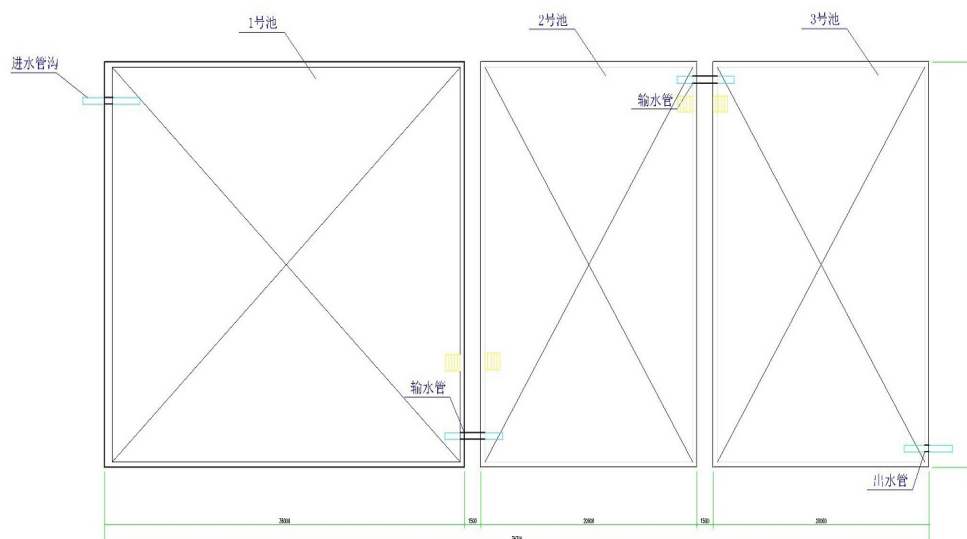


图1 安沙人工湿地平面设计图

2.2 试验方法

2.2.1 采样方法

在不同地点设计不同类型复合型人工湿地。定期对试点中进、出水口水体进行采样。在农田水稻灌浆期进行连续监测。采回的样品立即进行处理,测定分析不同分级塘对重金属去除率,计算人工湿地对重金属污染修复效率。针对人工湿地系统,设置个4采样点位,分别是:1号为进水口、2号为1号池、3号为2号池、4号为3号池,每隔一周采样1次,采集500mL水样,收集于塑料瓶中,加酸处理后置于冰箱中保存。样品按照国家标准方法硝酸解法消解。样品最终由原子吸收光谱—石墨炉法进行鉴定。

2.2.2 消解方法

植物的消解方法:使用国标植物消解三酸法进行消解;用超纯水将试剂定容至50mL,后用定量滤纸进行过滤,将溶液储存于PE瓶中。

水体样品中重金属元素测定方法:提取5mL水样,加入王水5mL与水样在比色管中水浴加热(王水的配置:将纯水、浓盐酸、浓硝酸以4:1:3的比例进行配备),每隔半小时对装有试剂的试管进行摇匀操作,确保充分反应,消解过程持续1.5小时,反应完成后静置冷却,加入5mL盐酸后用超纯水定容至25mL,过滤于PE塑料瓶中保存。

2.2.3 数据处理

(1) 湿地各处理单元对灌溉水中Cd的去除率:

$$Q = \frac{N_1 - N_{i+1}}{N_1} \times 100\% \quad (1)$$

Q—湿地各处理单元对灌溉水Cd的去除效率(%)

N₁—第一个采样点的灌溉水重金属浓度(mg/L、μg/L)

N_i—第*i*个采样点的灌溉水重金属浓度(mg/L、μg/L)

(2) 湿地各处理单元对湿地系统去除灌溉水中Cd的贡献率:

$$P = \frac{N_1 - N_i}{N_1} \times 100\% \quad (2)$$

P—湿地各处理单元对湿地系统去除灌溉水中Cd的贡献率(%)

N₁—第一个采样点的灌溉水重金属浓度(mg/L、μg/L)

N_i—第*i*个采样点的灌溉水重金属浓度(mg/L、μg/L)

(3) 植物的重金属生物富集系数BCF的计算

$$BCF = \frac{N_i}{N_1} \quad (2)$$

N_i—植物体内富集的重金属总量(mg、μg)

N₁—植物所处水体中之前的重金属总量(mg、μg)

3 结果与讨论

3.1 水体中重金属的去除效果

本章试验中主要通过对两处人工湿地中 Cd 的含量进行监测,通过对监测数据的采集与分析,得出进出水口浓度、各单元贡献率(公式②)、去除率(公式①)并进行进一步分析,对两处人工湿地对农田灌溉水中的重金属去除能力进行评价。由于根据污染类型的不同污染的背景值也会不同,同时也会导致人工湿地的整体性能的不同,所以本章通过数据分析,探明在不同浓度下的污染水体中人工湿地的去除性能。

安沙人工湿地进水口、各个单元 Cd 浓度变化以及 Cd 去除率见图 2、图 3。其中进水口浓度为 $1.078 \mu\text{g/L}$ ~ $3.535 \mu\text{g/L}$, 平均值是 $2.528 \mu\text{g/L}$, 该人工湿地 Cd 污染水平较低, 低于国家农田灌溉水质标准 GB5084-2005 (见表 1)。11 月开始至次年 2 月均为农田枯水期, 进水口 Cd 浓度在 4 月达到最低值; 7 月达到 Cd 浓度峰值 $3.535 \mu\text{g/L}$ 。人工湿地出水口的 Cd 浓度在 $0.196 \mu\text{g/L}$ 至 $0.914 \mu\text{g/L}$ 之间变化 (图 2), 平均值为 $0.601 \mu\text{g/L}$, 相较于进水口平均降低了 76.2%, 人工湿地的在 4 月至 8 月对 Cd 去除率 (图 3) 为 35.5% 至 93.9%, 去除率均值为 63.1%。在 6 月达到最大, 为 93.9%, 在 4 月份最低, 为 35.5% 这可能是因为 4 月为枯水期, 且人工湿地水生植物正处于缓慢生长期, 在 4 月未能达到较好的去除效果; 而 6 月湿地植物狐尾藻与水葫芦激增, 并开始对水体中重金属发挥拦截作用。人工湿地对工业废水中的 Cd 去除率可达 91.9%, 并且在合适的植物选择下, 可以进一步提高去除率。Liu.J 等^[20]的研究显示, 人工湿地在 0.5 mg/L 与 1.0 mg/L 的 Cd 浓度背景下, 去除率均可达到 90% 以上^[20], 结合安沙试验结果, 表明人工湿地拥有对 Cd 污染的强去除效果。

3.2 湿地中水生植物的重金属吸附能力

本节将人工湿地中的水生植物周期性提取出来, 对其生物量和根茎叶各部位中的重金属含量监测, 探求不同种重金属在水生植物中的分布规律, 同时通过计算其 BCF 值 (公式③), 探明不同种水生植物见的重金属修复能力。

对于 Cd, 两种水生植物在 4 月份拥有较高的 BCF, 而各部位的 Cd 富集量并未与其他月份有太大差别, 这说明 4 月时由于水体中的整体 Cd 浓度较低, 同时水生植物处于生长期, 覆盖度不高, 反而拥有高的 BCF。在 5 月份随着水体中 Cd 浓度上升, 两种植物的 BCF 均有不同程度降低, 直到 5 月水葫芦出现 BCF 峰值, 狐尾藻在 6 月出现峰值, 这可能是两种植物的生物量达到最高值的时间点不同, 同时水体中的 Cd 浓度不断上升所导致的。对于 Pb 的富集, 狐尾藻表现出相对其他重金属较低的 BCF, 所有月份均低于 150, 水葫芦则拥有更强的富集 Pb 能力。对于 Zn, 两种植物都表现出强富集性, 在 4 月都出现高于 2000 的 BCF 值, 在随后的月份逐渐降低, 这可能是由于两种植物在 4 月均处于生长期, Zn 可以作为促进植物生长的元素进入植物体内, 在之后植物的生物量逐渐饱和, 导致对 Zn 的富集也逐渐降低。对于 Cu, 水葫芦拥有很强的富集能力, 均值为

3908.062, 狐尾藻则稍弱一些, 达到 734.478。从两种植物本身来进行分析可以得出结论, 狐尾藻与水葫芦都没有出现重金属富集异位, 两者都呈现出浓度根 > 茎 > 叶的趋势, 其中茎和叶的富集量差别不大, 根部有着最大的富集量。可以得出结论, 狐尾藻富集 Zn 的能力比水葫芦强, 但是水葫芦富集 Cd, Pb, Cu 的能力均强于狐尾藻, 对 Cu 的 BCF 为狐尾藻的三倍以上。

3.3 人工湿地各单元贡献率

三个人工湿地单元中, 二号池与三号池植物塘对吸附 Cd 的贡献率要强于一号天然沉降池, 这表明植物对 Cd 的吸附固定起到促进作用, 要优于非植物塘。特定植物可以对特定重金属污染的去除起到促进效果, 寻找可以促进针对重金属污染固定的水生植物也是在设计人工湿地过程中需要考虑的重要部分。

3.4 湿地植物的去向

人工湿地可以对水体中的多种污染物起到拦截作用, 而湿地中的植物能够起到关键的作用, 对植物进行收割可以使植物保持生长, 提高人工湿地的重金属拦截能力, 同时也可以创造一定的经济价值, 所以为湿地植物寻找一个出口是十分有必要的。目前可行的方向有以下几点: ①通过利用水生植物基质化处理, 作为有机肥投入农田, 已有研究表明, 其效果强于一般的有机肥料。②利用水生植物作为饲料添加物喂养鱼类, 由于植物中的 Zn 含量超出《饲料添加剂安全使用规范》(2017 版) 规定, 所以要注意投加量。③利用湿地植物制备生物炭, 这种方法目前是最合适的处理方法, 可以得到生物炭的同时, 留住燃烧过程中逸散的重金属, 经济效益显著。

4 结论与展望

安沙镇人工湿地对于 Cd 有很好的去除效果, 去除率分别为 69.2%。其中的两种水生植物狐尾藻与水葫芦都是对于四种重金属都展现出其高富集性。对于 Cd, 水葫芦是相对狐尾藻更强的富集植物, 且益于安沙镇当地的养殖废水污染。人工湿地中的植物是如何作用于水体, 促进 Cd 的固定, 已经进出水口重金属浓度的具体关系, 则需要更进一步的研究。

参考文献

- [1] 李晓丽, 王伟. 人工湿地在污水处理中的应用现状与发展趋势[J]. 环境科学研究, 2021, 34(5): 456-462.
- [2] 赵强, 李娜. 人工湿地对重金属污染的修复效果研究[J]. 环境科学, 2019, 40(6): 521-527.
- [3] 陈峰, 高洁. 基于人工湿地的农村生活污水处理技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(2): 178-185.
- [4] 张伟, 陈刚. 人工湿地系统中氮磷去除机制与优化设计研究进展[J]. 生态环境学报, 2022, 31(3): 234-241.
- [5] 刘明, 王丽. 不同植物配置对人工湿地污水净化效果的影响[J]. 水处理技术, 2020, 46(4): 312-318.
- [6] 王磊, 陈曦. 人工湿地中微生物群落结构及其在污染物去除中的作用[J]. 环境工程学报, 2022, 16(7): 603-610.