

猪场污水漂浮栽培植物修复系统的组成及 净化效果研究

刘士哲¹, 林东教¹, 何嘉文², 唐淑军¹, 何臻铸²

(1 华南农业大学 无土栽培技术研究室, 广东 广州 510642; 2 东莞市农业技术推广服务中心, 广东 东莞 523007)

摘要: 介绍了 2 种用于猪场污水氧化塘中进行污水净化处理的漂浮栽培植物修复系统的技术原理、特点、系统组成、种植管理技术, 研究了在这个系统中种植美人蕉 *Canna generalis*、风车草 *Cyperus alternifolius*、香根草 *Vetiveria zizanioides*、蕹菜 *Ipomoea aquatica*、细叶萼距花 *Cuphen hyssopifolia*、彩叶草 *Coleus scutellarioides*、金叶木 *Sanchezia nobilis* 和紫杯苋 *Cyathula prostrata* 等几种植物的生长状况以及这些植物对污水中氮、磷的净化效果。结果表明, 这 2 种漂浮植物修复系统具有设施简单、管理方便的特点。这些植物中的美人蕉、香根草、蕹菜、细叶萼距花等在该系统中生长良好并具有很好的水质净化效果和广泛的应用前景。

关键词: 漂浮栽培; 植物修复; 猪场污水; 净化

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X (2005) 01-0046-04

The composition of a floating phytoremediation system and the effects of its purification for piggery wastewater

LIU Shi-zhe¹, LIN Dong-jiao¹, HE Jia-wen², TANG Shu-jun¹, HE Zhen-zu²

(1 College of Resources and Environment, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Dongguan Agricultural Technology Extension Center, Dongguan 523007, China)

Abstract: The technical principles, characteristics, composition and planting techniques of 2 kinds of floating phytoremediation systems made with bamboo and degradable polyfoam plate were described. The growth of *Canna generalis*, *Cyperus alternifolius*, *Vetiveria zizanioides*, *Ipomoea aquatica*, *Cuphen hyssopifolia*, *Coleus scutellarioides*, *Sanchezia nobilis*, *Cyathula prostrata* and the purification effects on N and P in piggery wastewater by these plants cultivated in the systems were also investigated. The results showed that the floating phytoremediation system was simple to install and manage, and durable too. *Canna generalis*, *Vetiveria zizanioides*, *Ipomoea aquatica* and *Cuphen hyssopifolia* had good purification effects on N and P in piggery wastewater. These systems have prospects for a vast range of application in purifying wastewater.

Key words: floating cultivation; phytoremediation; piggery wastewater; purification

许多养猪场污水对周边环境所造成的污染问题, 长期以来均未得到根本的解决^[1~3]。这主要是由于经过固液分离—酸化处理—厌氧发酵—瀑气处理或氧化塘种植植物处理等过程而排出的污水仍含有较高浓度的氮、磷等污染物而呈富营养化状态。许

多养猪场在氧化塘中放养凤眼莲等水生植物或通过建设人工湿地种植植物来吸收富营养化水体中的氮、磷等污染物^[2]。但由于凤眼莲的含水量(w)高达 95% 以上, 而且植株表面被厚厚的腊质层, 难以风干再利用, 同时作为猪饲料的适口性不好, 现大多不经

过处理而直接捞起堆放在塘边,这样就造成了对环境的二次污染。而通过人工湿地种植植物的方法存在着污水流动过程对人工湿地系统孔隙的堵塞等问题^[2,3]。现在也有许多工作者尝试在大水面或生活污水水面上采用飘浮种植的方法来去污^[4~10]。但这些方法存在着设施投资昂贵和只能处理生活污水等低浓度污水的问题。为此,我们设计了 2 种可漂浮在养猪场氧化塘水面的植物修复系统,并在此系统中种植美人蕉、风车草、紫杯苋、彩叶草等观叶(花)植物以及猪的适口性良好的水生蔬菜——蕹菜,取得了良好的去污效果。在整个污水处理过程中不产生任何的二次污染问题。

1 漂浮栽培植物修复系统

1.1 技术原理及特点

本系统的原理是在利用竹子或可降解的泡沫塑料板等做成的、能漂浮在水面上且可承受一定质量的浮床上种植植物,让根系伸入污水中吸收养猪场污水中的水分、氮、磷以及其他营养元素来满足植物生长需要,通过收获植物而把污水中的氮、磷等污染物去除。经过多年研究及应用表明,该系统具有以下显著特点:(1)设施简单、投资少、建造易,不占用土地,后续生产资料投资少。由于采用轻质的材料作浮床,直接在污水水面上种植,因而无需占用土地,设施结构简单、施工容易,投资少。这是人工湿地等其他方法所没有的优点。(2)管理方便。由于漂浮种植于水面,因而不需浇水、施肥、除杂草等工作,病虫害亦较少发生,只需定期进行植株的收获和分苗以及少量的防病防虫等工作即可。(3)适种的范围较广。通过改变定植杯在浮床中的密度,可种植大株型的如美人蕉、风车草等植物,亦可种植小株型的如星花、紫杯苋、彩叶草等观赏植物,同时也可种植如蕹菜、牧草等,以供作青饲料。(4)去污效果良好,适用范围广泛。该系统在选择合适的植物种类时,对污水中采用常规方法难以处理的氮、磷的吸收去除能力较强。它不仅适用于污染物含量高的猪场等畜牧业污水治理,而且也适用于污染物浓度较低的生活污水的治理。通常情况下该系统中生长的植物不需人为另外施肥,利用水体中的氮、磷等营养物质即可满足植物的生长需要。

1.2 漂浮栽培修复系统的组成

根据所用材料的不同分为竹制材料和泡沫塑料材料制成的 2 种系统。

1.2.1 竹制漂浮栽培植物修复系统 该系统主要

包括固定栽培系统的桩柱、漂浮栽培床和定植杯 3 部分。所用的竹子或竹片首先要进行防腐处理,具体的方法为:用沥青油将其表面全部涂布,待沥青油干后即可使用。

(1) 固定栽培床的桩柱:其作用在于固定漂浮栽培床,防止栽培床在氧化塘中四处飘荡。桩柱可用 d 为 100~150 mm 的大竹子做成,根据栽培床的大小,在四周将竹子打入氧化塘塘底中,以便固定栽培床。

(2) 漂浮栽培床:选用 d 为 100~120 mm 的竹子做成一个四方形的框架。在长短边交错的每个位置钻出 3 个 d 为 3 mm 的小孔,将预先削好的竹钉打入,将长短边竹筒固定起来。另外,取宽度为 30~40 mm 的竹片,根据定植杯口径的大小和种植植物所需的密度要求以及框架的大小,将每一竹片交接处也用竹钉固定成一个网格。在使用时,将做好的竹制网格放入竹框中,并用塑料绳将竹框和网格稍加捆扎即可。种植时将已定植好幼苗的定植杯放入竹制网格的网眼中即可。

(3) 定植杯:采用上口口径 d 为 150 mm、下口径 d 为 120 mm、 h 为 100 mm 的塑料杯作为定植杯,在杯的上口有一 8 mm 的唇,可将定植杯卡在网格中,底部有 d 为 10 mm 圆孔以便让根系从中伸出。

1.2.2 泡沫塑料板漂浮栽培植物修复系统 该系统由固定栽培床的桩柱、漂浮栽培床和定植杯这 3 部分组成。固定栽培床的桩柱和定植杯同 1.2.1。漂浮栽培床采用 δ 为 50 mm 的可降解聚苯乙烯泡沫塑料板做成。塑料板选用 $l \times b \times h = (1.50 \sim 2.00) \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 0.05 \text{ m}$ 的规格。在塑料板上可根据种植密度在板上钻出定植杯孔,并在离开定植板长边约 15 cm 处钻出 d 为 40 mm 的小孔,用以捆扎塑料绳或麻绳以固定栽培床。

1.3 漂浮栽培植物修复系统的管理

1.3.1 设施的 安装与使用 根据栽培床的长度和宽度,在要修复的氧化塘中先打入固定栽培床的桩柱,在桩柱两端先绑好固定栽培床的塑料绳或麻绳,然后逐块放入浮床,用绳子把浮床捆扎固定在桩柱上,然后将定植了小苗的定植杯放入栽培床的定植孔或网格中。

1.3.2 苗期的管理 为提高植物的成活率,可对种植前的小苗进行集中培养。小苗移植入定植杯后集中在一个不漏水的槽中,加入营养液,待新根长出后再移入浮床中。阳光强烈时可在幼苗上加盖遮阳网。

1.3.3 植株收获及分苗 待栽培床上植株长得较

大时(一般为生长 2~3 个月)就要进行收获和分苗以提高去污能力和获得另外的种苗。收获时将伸出定植杯外的根系全部剪除然后把植株整株从定植杯中取出,并沿定植杯上口部剪下地上部,收集后统一处理。剪除地上部和大部分根系的植株,如分蘖较多可将它们用手掰开或用刀切开进行分苗。一般地,每个定植杯可再分为 4~6 株苗,分出的苗取 1~2 株放回定植杯后再定植到浮床中,其余的可重新定植在营养钵中,待缓苗并长出新根之后即可出售给绿化公司作为绿化苗木使用。

1.3.4 病虫害防治 在植物生长过程中要及时进行病虫害的防治工作。

2 适宜种植的种类及净化效果

2.1 几种植物在猪场氧化塘水面漂浮栽培的生长状况

本试验在上述飘浮栽培系统中分别种植了美人蕉 *Canna generalis*、风车草 *Cyperus alternifolius*、香根草 *Vetiveria zizanioides*、薹菜 *Ipomoea aquatica*、细叶萼距花 *Cuphen hyssopifolia*、彩叶草 *Coleus scutellarioides*、金叶木 *Sanchezia nobilis* 和紫杯苋 *Cyathula prostrate* 8 种植物,通过定植和收获时的生物量变化以及分析测定这些植物体内氮、磷的含量^[1]来评价它们对污水中氮、磷等污染物的吸收去除效果。

从 2002 年 8 月 10 日定植至 10 月 26 日收获的 75 d 中,美人蕉、风车草和薹菜生长旺盛,没有出现任何营养失调症状;香根草生长茂盛但出现少量叶片黄化现象。同时,在一个 1.5 m² 的泡沫板面积内,美人蕉、风车草、薹菜和香根草生长整齐,所定植的每一杯都能生长茂盛;细叶萼距花生长特别良好,开花持久;金叶木生长缓慢,出现挫顶现象,彩叶草和紫杯苋生长缓慢,而且同一板出现一半以上死株,这可能主要是因为 8~10 月的阳光太强,气温高,同时猪场氧化塘水营养成分不平衡。

从表 1 可知,美人蕉、风车草和香根草单株(丛)生物量增长较大,分别达 2 292、1 704 和 1 578 g,在 75 d 中分别增长约 9.39、12.59 和 18.85 倍;薹菜相对前三者鲜质量增长较少,为 585 g,但每株在 75 d 中增长 27.43 倍,同时因在相同面积内种植的株数多,单位面积中生物量增加也很大;单位面积内生物量增加依次为美人蕉 30 541.44 g/m²、风车草 22 725.00 g/m²,香根草为 19 991.60 g/m² 和薹菜为 13 657.70 g/m²;细叶萼距花生物量增加较小,由于本身属于小生物量植物,但其在此水体中生长优良,开花持久,可作为美化景观搭配品种。总体上来说,本试验所选用的这 8 种植物中美人蕉、风车草、香根草和细叶萼距花较适宜于高浓度污水中生长,而彩叶草、紫杯苋和金叶木的生长较差。

表 1 不同植物在猪场污水水面漂浮栽培生物量的变化(鲜质量)

Tab. 1 Changes of biomass of different plants in the floating phytoremediation system on piggery wastewater n=3				
植物 plant	定植时 at transplanting /(g·株 ⁻¹)	收获时 at harvesting /(g·株 ⁻¹)	增加量 increase /(g·株 ⁻¹)	增加量 increase /(g·m ⁻²)
美人蕉 <i>Canna generalis</i>	244.17±20.10	2 536.34±240.73	2 292.17	30 541.44
风车草 <i>Cyperus alternifolius</i>	135.42±3.10	1 839.77±194.18	1 704.35	22 725.00
香根草 <i>Vetiveria zizanioides</i>	83.75±6.67	1 662.01±149.89	1 578.26	19 991.60
薹菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	21.33±2.27	607.67±77.53	585.33	13 657.70
细叶萼距花 <i>Cuphen hyssopifolia</i>	34.58±4.87	278.33±37.14	243.75	4 875.00
彩叶草 <i>Coleus scutellarioides</i>	24.45±3.29	175.00±48.61	150.55	1 505.50
金叶木 <i>Sanchezia nobilis</i>	53.80±4.75	116.67±21.60	62.86	1 508.64
紫杯苋 <i>Cyathula prostrata</i>	23.69±3.69	81.67±7.36	57.98	773.07

2.2 几种植物在飘浮种植系统中的净化效果

表 2 的结果表明,从 N 的吸收速率来看,不同的植物间差异显著,以鲜质量计,8 种植物以美人蕉的 N 吸收速率最低,为 15.32 mg·kg⁻¹·d⁻¹,依次为风车草、香根草、彩叶草和薹菜,细叶萼距花、金叶木和紫杯苋吸收速率最大。但从 N 吸收量来看,香根草、美人蕉和薹菜吸收量较大,其余相对较小,表明香根

草、美人蕉、风车草和薹菜净化能力最好,可用来净化猪场废水。

表 2 的结果还表明,供试的 8 种植物,无论是磷的吸收量还是吸收速率,都存在着植物间的显著差异。8 种植物磷吸收速率以香根草最高,为 11.73 mg·kg⁻¹·d⁻¹,彩叶草最低。但从磷吸收量来看,香根草、美人蕉、风车草和薹菜单株的吸收量和单位面

积的吸收量均较大, 其余的 4 种植物相对较小, 这表明美人蕉、香根草、风车草和蕹菜对水体全磷的净化能力较好, 可作为净化猪场废水的较好植物, 而其余的 4 种植物可作为植物修复系统美化点缀之用。

表 2 漂浮植物修复系统中植株 N、P 吸收量和吸收速率

Tab. 2 The N and P absorption amounts and speeds of different plants in the floating phytoremediation system n=3								
植物 plant	单株吸收量		单位面积吸收量		吸收速率			
	amount absorbed per plant		amount absorbed per square meter		absorption speed			
	/mg		/(g·m ⁻²)		/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)			
	N	P	N	P	N	P		
香根草 <i>Vetiveria zizanioides</i>	1 943.64±23.42	281.85±8.23	69.97±3.68	13.53±1.31	68.00	11.73		
美人蕉 <i>Canna generalis</i>	1 821.66±18.42	353.46±4.88	58.29±6.74	16.97±3.22	19.43	6.66		
风车草 <i>Cyperus alternifolius</i>	1 145.58±12.40	282.32±6.93	54.99±5.81	10.16±2.49	61.71	9.65		
蕹菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	1 175.55±13.73	211.57±4.66	52.90±4.93	9.52±2.33	49.64	9.53		
细叶萹距花 <i>Cuphen hyssopifolia</i>	597.62±7.32	49.84±5.39	26.89±2.24	2.24±0.68	65.58	7.29		
金叶木 <i>Sanchezia nobilis</i>	521.60±13.68	59.78±6.82	93.89±12.45	1.44±0.36	61.42	8.00		
彩叶草 <i>Coleus scutellarioides</i>	347.23±4.66	44.01±3.94	69.45±4.48	0.88±0.20	28.65	4.50		
紫杯苋 <i>Cyathula prostrata</i>	248.08±6.48	32.36±4.33	44.65±7.46	0.65±0.34	54.59	9.85		

3 结语

水体中的氮和磷等污染物的去除是非常麻烦的。在自然状态下氮的去除可通过氨的挥发、硝态氮的反硝化作用或者通过水体中的颗粒吸附而从水体中去除, 而磷的去除只有通过颗粒的吸附沉降或微生物的吸收而去除^[1], 但这种去除往往不是将氮和磷从水体中去除, 而是转换成另外一种形态存在于水体中而已。目前还没有一种简单的方法可以把磷从水体中根本性地去除, 而采用化学和物理等工艺去除水体中的氮和磷, 需耗费大量的投资和设备, 非常不经济。本研究设计的漂浮种植植物修复系统为猪场污水或富营养化生活污水污染物的去除提供了一种投资少、效率高、管理方便的路子。它适合我国国情, 既可净化水质、恢复水生态环境, 又可美化水域景观, 是营造水上花园的新途径。但在植物种类筛选、植物收获后的后续资源化处理技术和植物的去污机制等方面还有待于深入探讨。

参考文献:

[1] 杨丹菁, 靖元孝, 陈兆平, 等. 水翁对富营养化水体氮磷去除效果及规律研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21 (5): 637—639.

[2] 廖新伟. 规模化猪场用水与废水处理技术[M]. 北京:

中国农业出版社, 1999. 50—53, 107—110.

[3] AYZAZ S C, SAYGIN O. Hydroponic tertiary treatment [J]. Wat Res. 1996, 30(5): 1 295—1 298.

[4] 马立珊, 骆永明, 吴龙华, 等. 浮床香根草对富营养化水体氮磷去除动态及效率的初步研究[J]. 土壤, 2000, (2): 99—101.

[5] 由文辉, 刘淑媛, 钱晓燕, 等. 水生经济植物净化受污染水体研究[J]. 华东师范大学学报, 2000, (1): 99—102.

[6] 李止正, 黄国宏, 倪晋山. 太湖水面无土栽培高等陆生植物研究[J]. 植物学报, 1991, 33(8): 614—620.

[7] 李芳柏, 吴启堂. 无土栽培美人蕉等植物处理生活废水的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1): 88—92.

[8] 宋祥浦, 邹国燕, 吴伟明, 等. 浮床水稻对富营养化水中氮磷的去除效果及规律研究[J]. 环境科学学报, 1998, 18(5): 389—494.

[9] 陈毓华, 汪俊三, 梁明易, 等. 华南地区 11 种水生维管束植物净化城镇污水效益评价[J]. 农村生态环境, 1995, 11(1): 26—29.

[10] 金送笛, 李永函, 倪彩虹, 等. 菹草(*Potamogeton oripus*) 对水中氮磷的吸收及若干影响因素[J]. 生态学报, 1994, (2): 168—172.

[11] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 第 3 版. 北京: 中国环境出版社, 1997. 585—589.

【责任编辑 周志红】