

漂浮栽培蕹菜和水葫芦净化猪场污水的研究

林东教¹, 唐淑军¹, 何嘉文², 罗 健¹, 李 岩³, 张杰安¹, 刘士哲¹

(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中心, 广东 东莞 523007; 3 东莞市畜牧科研究所, 广东 东莞 523007)

摘要:利用漂浮栽培方式种植蕹菜和水葫芦, 通过植物根系吸收吸附作用, 去除水体中的 N、P 元素及有机物, 与没有种植植物自然降解的对照比较, 探讨蕹菜和水葫芦对猪场污水的净化效果. 结果表明, 经漂浮栽培蕹菜和水葫芦之后污水的理化性质发生较大变化, 2 种植物都能大量地吸收利用水体中的 N、P 元素, 生长旺盛, 净化效果显著; 在试验的 3 个阶段内污水中总氮的去除率蕹菜分别为 94.47%、60.19%、31.88%; 水葫芦分别为 94.24%、68.65%、55.87%; 总磷去除率蕹菜分别为 28.57%、33.9%、14.39%; 水葫芦分别为 66.52%、53.34%、35.67%; COD_{Cr} 去除率蕹菜分别为 56.40%、24.24%、29.33%; 水葫芦分别为 47.87%、24.02%、46.75%. 蕹菜、水葫芦对 N、P、COD_{Cr} 的去除效果显著高于对照. 不同周期净化效果不同, 这与试验时的气候和植物长势有关.

关键词:漂浮栽培; 猪场污水; 净化; 蕹菜; 水葫芦

中图分类号: S171.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2004)03-0014-04

Purification of piggery wastewater by *Ipomoea aquatica* and *Eichhornia crassipes* in a floating culture system

LIN Dong-jiao¹, TANG Shu-jun¹, HE Jia-wen², LUO Jian¹, LI Yan³, ZHANG Jie-an¹, LIU Shi-zhe¹

(1 Lab of Soilless Culture, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Center for Agricultural Technique of Dongguan City, Dongguan 523007, China;

3 Dongguan Institute of Husbandry Science, Dongguan 523007, China)

Abstract: With floating culture, the study on purification of piggery wastewater with the concentrations of total N(TN), total P(TP) and COD_{Cr} at 30 ~ 130, 10 ~ 50 and 60 ~ 160 mg·L⁻¹, respectively, by *Ipomoea aquatica* and *Eichhornia crassipes* was carried out in greenhouse. The results showed that chemical and physical characteristics of wastewater changed, the purification effects of two plants were very significant and the removal rates of TN in wastewater reached 94.47%, 60.19% and 31.88% by *Ipomoea aquatica*; 94.24%, 68.65% and 55.87% by *Eichhornia crassipes*; the removal rates of TP reached 28.57%, 33.9% and 14.39% by *Ipomoea aquatica*; 66.52%, 53.34% and 35.67% by *Eichhornia crassipes* and the rates of COD_{Cr} reached 56.40%, 24.24%, 29.33% by *Ipomoea aquatica*; 47.87%, 24.02%, 46.75% by *Eichhornia crassipes* after 84 days of cultivation, respectively. The purification effects were related to the weather and the growth of plants.

Key words: floating culture; piggery wastewater; purification; *Ipomoea aquatica*; *Eichhornia crassipes*

规模化养猪场需要大量水冲洗猪舍, 产生的污水对生态环境造成严重污染, 这已成为制约养猪业可持续发展的主要因素. 目前大中型养猪场大都采用“固液分离-厌氧-好氧(氧化塘)”的工艺处理污水,

但污水处理工程设备的投资以及运转费用大, 养猪业主为节约成本而不正常运转污水处理系统, 同时处理系统受污水负荷等因素影响, 排放水难以达到国家规定的标准^[1]. 探讨种植植物处理猪场污水, 为

净化猪场污水提供了新途径,如通过风车草、香根草等植物组成的人工湿地处理污水^[2,3,13,14],不仅可以去除污水中的相当大部分悬浮物(SS)和部分有机物,对猪场污水中N、P的去除亦具有良好的效果。但人工湿地需占用一定面积的土地,在土地供应较紧张的情况下有其局限性。而在水面漂浮种植植物,不需占用土地,有其良好的应用前景,十几年来研究结果表明利用一些水生和旱生植物如水稻、美人蕉、凤眼莲、水花生、水蓊、黑麦草、香根草、毛曼陀罗等漂浮种植净化富营养化水,有较好的净化效果^[5-11,15]。但应用漂浮种植植物处理N、P浓度比生活污水等高的猪场废水,报道较少。本文利用漂浮栽培方式,探讨了蔬菜、水葫芦净化猪场污水的效果。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水样为猪场氧化塘污水,经多次取样测定其pH值为7.0~7.8,总氮(TN)为30~130 mg·L⁻¹,总磷(TP)为10~50 mg·L⁻¹, (NH₃-N)为15~120 mg·L⁻¹,化学需氧量(COD_{Cr})为60~160 mg·L⁻¹。铜(Cu)为0~0.03 mg·L⁻¹,锌(Zn)为0~0.19 mg·L⁻¹。

供试植物为蔬菜 *Ipomoea aquatica* 和水葫芦 *Eichhornia crassipes*, 蔬菜是喜温、喜湿、耐肥、适应性强的植物,也是营养价值高的蔬菜;水葫芦为多年生漂浮植物,耐热耐肥,以夏季生长最旺盛,在富营养化水体中生长快,可作青饲料。

1.2 方法

试验在东莞市某猪场氧化塘边搭建的塑料大棚内进行,盛水容器为 $l = 55.5$ cm、 $b = 45.5$ cm、 $h =$

45.5 cm 塑料箱,盛液 80 L,以 $l = 50.0$ cm、 $b = 37.5$ cm、 $h = 5.0$ cm,有 6 个均匀定植孔的聚乙烯泡沫板定植植物 6 株,漂浮于水面。设种植水葫芦、蔬菜和以覆有泡沫板但不种植植物为对照共 3 个处理,每个处理重复 3 次;供试水样 28 d 更换 1 次,试验期间共换水 3 次,为 3 个阶段,于 2002 年 9 月 28 日定植植株,每 7 d 取样测定水质,每次测定时取样 100 mL,取样时搅动多次使种植箱内的水均匀,84 d 时收获,对植株生物量进行测定。

水样测定项目为:总氮(TN),碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法;氨氮(NH₃-N),纳氏-试剂光度法;总磷(TP),过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法;pH值,膜电极法;化学需氧量(COD_{Cr}),重铬酸钾法^[12]。

2 结果与分析

2.1 蔬菜和水葫芦在污水漂浮栽培系统中的生长状况

供试的蔬菜和水葫芦在漂浮栽培系统中均能正常生长,生长 84 d 后,蔬菜每箱平均鲜质量为 198.67 g,水葫芦为 1 085.00 g,净增干质量分别为 20.79 和 9.57 g,2 种植物含水量(w)差异较大,蔬菜收获时的含水量(w)为 87.19%,比水葫芦的低 12.17%。从干质量来看,蔬菜的干质量(25.45 g)比水葫芦(17.82 g)高,即蔬菜的干物质累积较多。

2.2 蔬菜和水葫芦在 3 个阶段对 TN 和 TP 的去除效果

从表 1 可得出,2 种植物都能大量吸收利用污水中的 N、P 元素,效果极显著;TN 的去除率在 3 个阶段中蔬菜分别为 94.47%、60.19% 和 31.88%;水葫

表 1 蔬菜和水葫芦在不同阶段对污水 TN、TP 的去除效果¹⁾

Tab. 1 The removal of TN and TP by *Ipomoea aquatica* and *Eichhornia crassipes* in different tested periods

测定时间 test periods	处理 treatments	起始值 initial value		28 d 后 after 28 days		去除率	
		/(mg·L ⁻¹)		/(mg·L ⁻¹)		removal rates /%	
		N	P	N	P	N	P
第 1 阶段	对照 control	32.09	11.47	20.99 ± 0.81a	9.48 ± 0.22a	34.58 ± 2.53b	13.67 ± 1.91c
	1st 蔬菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	32.09	11.47	1.77 ± 0.40b	8.19 ± 0.29a	94.47 ± 1.25a	28.57 ± 2.55b
	水葫芦 <i>Eichhornia crassipes</i>	32.09	11.47	1.85 ± 0.27b	3.84 ± 0.59b	94.24 ± 0.85a	66.52 ± 5.17a
第 2 阶段	对照 control	74.59	20.65	52.31 ± 1.54a	18.00 ± 0.71a	29.86 ± 2.07b	12.83 ± 3.43c
	2nd 蔬菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	74.59	20.65	29.69 ± 5.19b	13.65 ± 1.27b	60.19 ± 6.96a	33.90 ± 6.16b
	水葫芦 <i>Eichhornia crassipes</i>	74.59	20.65	23.38 ± 5.18b	9.64 ± 0.72c	68.65 ± 6.93a	53.34 ± 3.50a
第 3 阶段	对照 control	87.68	25.35	70.60 ± 4.31a	24.75 ± 1.79a	19.45 ± 4.91c	8.03 ± 1.64c
	3rd 蔬菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	87.68	25.35	59.73 ± 10.34a	21.70 ± 2.15a	31.88 ± 1.80b	14.39 ± 0.47b
	水葫芦 <i>Eichhornia crassipes</i>	87.68	25.35	38.78 ± 2.83b	16.31 ± 1.05b	55.87 ± 3.23a	35.67 ± 4.14a

1) 同一测定时间同列数据后具有相同字母的表示差异不显著(DMRT法, $P > 0.05$)

芦分别为 94.24%、68.65% 和 55.87%；TP 去除率 3 个阶段菹菜分别为 28.57%、33.9% 和 14.39%；水葫芦分别为 66.52%、53.34% 和 35.67%；在 3 个不同的阶段，菹菜和水葫芦对污水 TN 和 TP 去除效果有较大的变化，即第 2、第 3 阶段 2 种植物对 TN 和 TP 去除率均比第 1 阶段低，这与第 2 和第 3 阶段的水体 TN、TP 浓度远比第 1 阶段的高，以及温度下降，植物生长速度减缓，对污水中的 N、P 吸收减少等有关。

2.3 菹菜和水葫芦在 3 个阶段对污水 NH₃-N 的去除效果

由表 2 可知，NH₃-N 在好氧的硝化细菌作用下可以转化为 NO₃-N，例如对照 NH₃-N 自然降解率在第 1

阶段即可达 98%，与种植植物处理的无差异，这主要是因为这个时期温度较高，微生物活性高，硝化作用强，但随着温度的下降，微生物作用减弱，自然降解率下降；水葫芦在 3 个不同阶段 NH₃-N 去除率都在 90% 以上，菹菜在第 2、第 3 阶段 NH₃-N 去除率比对照还低，这可能与水体硝化菌活性及氧化还原电位下降，NH₃-N 转化减少，以及菹菜对 NH₃-N 吸收减少有关。

2.4 菹菜和水葫芦在 3 个阶段对 COD_{Cr} 的去除效果

在第 1 阶段，各处理对污水 COD_{Cr} 的去除效果无差异，COD_{Cr} 去除率均在 60% 左右，COD_{Cr} 在自然条件

表 2 菹菜和水葫芦在不同阶段对污水 NH₃-N 和 COD_{Cr} 的去除效果¹⁾

Tab. 2 The removal of NH₃-N and COD_{Cr} by *Ipomoea aquatica* and *Eichhornia crassipes* in different tested periods

测定时间 test periods	处理 treatments	起始值 initial value		28 d 后 after 28 days		去除率	
		/(mg·L ⁻¹)		/(mg·L ⁻¹)		removal rates /%	
		NH ₃ -N	COD _{Cr}	NH ₃ -N	COD _{Cr}	NH ₃ -N	COD _{Cr}
第 1 阶段	对照 control	21.02	57.40	0.43 ± 0.05c	25.64 ± 2.21b	98.04 ± 0.23a	55.34 ± 4.72a
	1st 菹菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	21.02	57.40	0.54 ± 0.10b	25.05 ± 2.37b	97.53 ± 0.48a	56.40 ± 5.06a
	水葫芦 <i>Eichhornia crassipes</i>	21.02	57.40	0.81 ± 0.04a	29.93 ± 3.70a	96.30 ± 0.19a	47.87 ± 7.90a
第 2 阶段	对照 control	77.63	74.26	22.99 ± 7.49b	68.69 ± 4.76a	70.39 ± 9.65b	12.73 ± 0.04b
	2nd 菹菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	77.63	74.26	53.78 ± 3.18a	56.26 ± 3.17b	30.72 ± 6.98c	24.24 ± 4.27a
	水葫芦 <i>Eichhornia crassipes</i>	77.63	74.26	5.87 ± 1.11c	62.66 ± 7.66ab	92.43 ± 1.43a	24.02 ± 0.85a
第 3 阶段	对照 control	78.96	124.32	27.63 ± 0.32b	97.08 ± 12.41a	65.01 ± 0.32b	21.91 ± 5.78c
	3rd 菹菜 <i>Ipomoea aquatica</i>	78.96	124.32	38.83 ± 3.28a	87.86 ± 13.94ab	54.62 ± 3.28c	29.33 ± 0.54b
	水葫芦 <i>Eichhornia crassipes</i>	78.96	124.32	2.37 ± 0.86c	66.20 ± 6.82b	96.99 ± 0.86a	46.75 ± 10.97a

1) 同一测定时间同列数据后具有相同字母的表示差异不显著 (DMRT 法, $P > 0.05$)

下也会降解，并受水体温度、微生物活性等的影响，温度高，微生物活性强，COD_{Cr} 降解快；而在第 2、第 3 阶段，菹菜和水葫芦处理对污水 COD_{Cr} 的去除效果显著高于对照，去除率水葫芦分别为 24.02% 和 46.75%；菹菜分别为 24.24% 和 29.33%；从表 2 亦可看出，各个处理在不同阶段对 COD_{Cr} 的去除率有差异，这与 TN、TP、NH₃-N 的去除情况相似。

3 讨论与结论

本研究表明菹菜和水葫芦均可以在高 N、P 浓度的猪场污水中生长，且具有较好的去污效果。菹菜作为一种经济作物，在无重金属污染的猪场污水中生长，既是很好的青饲料，亦可作供人食用的蔬菜，而且生长周期长，一次种植之后可多次收获，免去反复种植的麻烦；水葫芦亦可作为猪的青饲料，但适口性较差，不过，与菹菜或其他饲料配合使用，也可以得到

较好的后续处理，因而利用漂浮栽培方式，种植菹菜和水葫芦净化猪场污水是可行的，不仅能有效去污，而且可利用性强，可成为末端猪场污水净化新途径。

不同阶段菹菜和水葫芦对猪场污水的净化效果有差异，这与它们的生长状况有关，也与气候、污水有机质、N、P 含量等有关，是漂浮植物、微生物、水体以及植物根区生理生态特性相互作用的结果，今后有必要深入探讨这种互动与去污效果的关系。每种植物有其适宜的生长季节，及对水体有机质、N、P 浓度等的适应范围，因而有必要探讨周年种植的植物种类对气候及水体的适应性及品种搭配问题。

参考文献：

- [1] 廖新佛. 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. 42-58.
- [2] 廖新佛, 骆世明. 人工湿地对猪场废水有机物处理效果

- 的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 113 - 117.
- [3] 廖新伟, 骆世明. 香根草和风车草人工湿地对猪场废水氮磷处理效果的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 719 - 722.
- [4] 宋祥甫, 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.
- [5] 李芳柏, 吴启堂. 无土栽培美人蕉等植物处理生活污水的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(1): 88 - 92.
- [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] 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.
- [8] 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.
- [9] 戴全裕, 蒋兴昌. 水雍菜对啤酒饮食废水净化与资源化研究[J]. 环境科学学报, 1996, 16(2): 249 - 251.
- [10] 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.
- [11] 唐淑军, 刘士哲, 林东教, 等. 漂浮栽培观赏植物净化富营养化水体的研究[A]. 何少先. 环境保护与环境工程[C]. 西安: 陕西人民教育出版社, 2002. 187 - 193.
- [12] 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. 246 - 285, 354 - 357.
- [13] MITSCH W J, HONE A J, NAIRN R W. Nitrogen and phosphorus retention in wetlands-ecological approaches to solving excess nutrient problems[J]. Ecol Engin, 2000, (14): 1 - 7.
- [14] STECHER M C, WEAVER R W. Effects of umbrella palms and wastewater depth on wastewater treatment in a subsurface flow constructed wetland[J]. Environmental Technology, 2003, 24(4): 471 - 478.
- [15] VAILLANT N, MONNET F, SALLANON H, et al. Treatment of domestic wastewater by an hydroponic NFT system[J]. Chemosphere, 2003, 50(1): 121 - 129.

【责任编辑 周志红】

欢迎订阅 2004 年《华南农业大学学报》

《华南农业大学学报》是华南农业大学主办的综合性农业科学学术刊物。本刊主要报道农业各学科的科研学术论文、研究简报、文献综述等,分为农学、植物保护、生物学、动物科学与医学、农业工程与食品科学、基础科学、综述、简报等栏目。本刊附英文目录和英文摘要。读者对象是农业院校师生、农业科研人员和有关部门的专业干部。

本刊为《中国科学引文数据库》、《中国科技论文统计源(中国科技核心期刊)》及《中国学术期刊综合评价数据库》固定刊源,并排列在中国科学引文数据库被引频次最高的中国科技期刊 500 名以内。被《中文核心期刊要目总览》确认为综合性农业科学核心期刊、植物保护类核心期刊。为美国《化学文摘》、英国《CABI》、英国《动物学记录》、《中国生物学文摘》及国内所有农业文摘期刊等国内外多家著名文摘固定刊源。

国内外公开发行、季刊、大 16 开。每期 124 页,定价 5.00 元,全年 20.00 元、自办发行,参加全国非邮发报刊联合征订发行。

订阅办法:订阅款邮汇至:510642 广州 五山 华南农业大学学报编辑部。

《华南农业大学学报》编辑部