

# 污水浓度对水培净化系统净化效果的影响

徐晓锋 郭永新 (河南科技大学农学院, 河南洛阳471003)

**摘要** 在植物水培污水净化系统中对污水浓度与氮磷净化效果间的关系进行研究, 蕹菜作为水培植物材料, 对设置5%、10%、20%不同浓度的化粪池出口污水, 分别于第0、2、4、6、8、11 d 测定TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、过滤后总氮(fTN)、总磷(TP)、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P、过滤后总磷(fTP)、COD<sub>G</sub>、过滤后COD(fCOD<sub>G</sub>)。结果表明, TN、TP 的去除率随污水浓度升高而升高, 水培液中TN、TP 浓度随污水浓度升高而降低。适当提高污水浓度有利于提高污水中TN、TP 的去除效率。尽管蕹菜对污水中化学需氧量(COD)的去除没有影响, 适当提高污水浓度也有利于提高COD去除率。污水浓度对铵态氮、磷酸根的去除影响不明显。

**关键词** 植物水培污水净化系统; 总氮; 总磷; 净化; 蕹菜

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 0517 - 6611(2007) 13 - 03983 - 03

## Influence of Wastewater Concentration on Nitrogen and Phosphorus Purifying Effect by Plant-Hydroponic Wastewater Purifying System

XU Xiaofeng (Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003)

**Abstract** In the study on the relation of wastewater concentration and nitrogen and phosphorus purifying effects of plant-hydroponic wastewater system with *Ipomea aquatica* as hydroponic plant, 3 concentrations (5%, 10%, 20%) of cesspool wastewater were set up and the TN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, fTN, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, fTP, COD<sub>G</sub> and fCOD<sub>G</sub> were determined at 0, 2, 4, 6, 8 and 11 day resp. The results showed that the removal rate of TN and TP increase with the increase of wastewater concentration. The concentration of TN and TP in hydroponic solution decreased with the increase of wastewater concentration. Increasing suitably the wastewater concentration could favor to improve TN and TP removal effects. *Ipomea aquatica* had no effect on COD removal in water, but increasing suitably the wastewater concentration also favored to improve COD removal rate. The wastewater concentration hadn't obvious effect on NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P removal.

**Key words** Plant wastewater hydroponic purifying system; Total nitrogen; Total phosphorus; Purifying; *Ipomea aquatica*

在我国很多中小城市和新兴城镇, 污水净化设施还不完善, 往往缺乏污水深度处理设施, 排放污水中氮磷含量较高, 加速了湖泊的富营养化过程<sup>[1]</sup>。植物水培污水净化系统是在表面流人工湿地基础上发展而来的。初期主要用于氧化塘的辅助净化, 以提高氧化塘对氮磷的去除效果<sup>[2-5]</sup>。与人工湿地技术相比, 该技术克服了土地资源需求大的缺点, 而且净化效果也有所提高。植物是植物水培污水净化系统中的重要组分。过去人们在植物选择上偏向于香蒲、芦苇、灯芯草等非可食用植物。这不仅限制了植物品种的选择范围, 而且在很大程度上限制了植物水培污水净化系统的推广。在处理无毒无害污水时, 栽培可食用植物, 并且将其用于饲料生产, 是实现污水资源化的一条重要途径。

蕹菜(*Ipomea aquatica* Forsk) 是南方的一种夏季蔬菜, 生长迅速, 具有良好的营养价值, 在长江以南地区春、夏、秋均可生长, 并且适宜水培。我国历史上就有利用水塘栽培蕹菜的记载。有研究表明, 蕹菜具有与水葫芦类似的对COD的耐受能力。为了探讨以蕹菜栽培构建植物水培污水净化系统对氮磷的去除效果以及在规模化养殖场污水净化与资源化中的应用潜力, 以养殖场污水为水培液对蕹菜进行水培, 笔者研究了污水浓度对水培液净化效果的影响, 旨在为蕹菜水培净化系统的构建提供依据, 并为养殖场污水净化和资源化提供技术依据。

### 1 材料与方

**1.1 水培系统** 在水培过程中, 水培液深度控制在20 cm。采用模拟方法, 使用40 cm深的塑料框进行栽培。为了充分发挥植物的吸收能力, 缩短污水在水培池中的停留时间, 需要在水培前对污水进行发酵处理。在养殖场中, 一般都用化粪池处理污水。化粪池出口流出的污水可以用于水培。该试验所

使用污水直接取自于化粪池出口, 未专门设置预处理系统。

**1.2 蕹菜苗的准备及栽种** 蕹菜在人工基质中进行育苗, 长至20 cm后, 选择生长均匀一致的小苗移栽到5 cm厚泡沫板上, 泡沫板直接漂浮在水培液面, 实行漂浮水培。在正式监测前, 应将蕹菜在由污水配置的水培液中预培养1周。

**1.3 试验处理** 设6个污水浓度处理: 5%污水, 并种植蕹菜; 10%污水, 并种植蕹菜; 20%污水, 并种植蕹菜; 5%污水; 10%污水; 20%污水。各处理水培液氮磷和COD浓度见表1。水培试验从7月10日开始, 在水培期间每天补充蒸馏水, 以维持水培液体积的稳定。

污水浓度	TN	TP	fTN	fTP	COD <sub>G</sub>	fCOD <sub>G</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P
5%	7.16	1.71	5.09	1.39	109	56	2.60	1.17
10%	11.28	2.20	8.25	1.75	111	61	5.02	1.49
20%	16.12	4.74	14.41	4.43	118	50	8.94	2.84

注: TN, TP, fTN, fTP, fCOD<sub>G</sub> 分别表示总氮, 总磷, 水溶性总氮, 水溶性总磷, 水溶性COD<sub>G</sub>。

**1.4 取样与分析** 分别在0、2、4、6、8、11 d 抽取水样。分析项目包括总氮(TN)、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、水溶性总氮(fTN)、总磷(TP)、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P、水溶性总磷(fTP)、COD<sub>G</sub>、水溶性COD(fCOD<sub>G</sub>)。取1份水样, 以过硫酸钾消化后, 采用紫外分光光度法测定TN, 采用钼锑抗法测定TP。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度测定采用靛酚兰比色法; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P浓度测定采用钼锑抗比色法; COD<sub>G</sub>浓度测定采用重铬酸钾消化法。取1份水样过滤后, 分别测定fTN、fTP、fCOD<sub>G</sub>。各个项目的测定方法均按照《水与废水监测方法》(第3版)。

$$\text{去除率} = \frac{\text{水培开始时浓度} - \text{取样时浓度}}{\text{水培开始时浓度}} \times 100\% \quad (1)$$

### 2 结果与分析

**2.1 水培液中氮的净化效果** 表2表明, 处理 TN 的去除要快于其他处理。在水培第4天, 处理 TN 浓度已低于处

基金项目 河南科技大学博士启动基金(09001088)。

作者简介 徐晓锋(1969-), 男, 浙江兰溪人, 讲师, 从事土壤生态、污水资源化管理等方面的研究。

收稿日期 2007-02-01

理, 与处理 相同; 在水培第6天, 处理 TN 已下降至 .45 ng/L, 去除率达到91.7%, 此后去除率增加幅度很小。处理 、 TN 浓度和去除率在水培前4d 基本没有变化, 此后TN

浓度逐渐降低, 去除率逐渐升高; 处理 、 对TN 的去除效果不好, 同时观察到有藻类繁殖。这表明蕹菜极大地提高了水培过程中TN 的去除效率。

表2 水培液中TN 浓度及去除率变化

处理	2 d		4 d		6 d		8 d		11 d	
	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %
	4.35	43.11	4.46	41.59	2.92	61.77	2.91	61.96	2.34	69.38
	4.93	56.30	4.71	58.26	2.38	78.88	2.90	74.32	2.52	77.68
	10.93	37.44	4.46	74.47	1.45	91.68	2.06	88.21	1.18	93.23
	7.74	-1.32	7.55	1.13	5.43	28.93	5.89	22.85	5.75	24.77
	10.26	9.03	9.59	14.98	7.02	37.77	7.53	33.23	6.93	38.57
	15.56	10.99	13.66	21.82	9.06	48.16	9.01	48.46	8.08	53.79

表3 表明, 各处理中水溶性TN 去除非常迅速, 经过2d fTN 去除率则在第6天增加至91.2%, 接近最大去除率。的水培, 处理 、 中去除率分别达到62.9%、59.5%、 处理 、 水溶性TN 去除率很低。41.1%。此后处理 、 中fTN 去除率升高缓慢, 而处理 中

表3 水培液中fTN 浓度及去除率变化

处理	2 d		4 d		6 d		8 d		11 d	
	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %
	1.88	62.94	1.92	62.21	1.43	71.86	1.58	69.03	0.87	82.97
	3.34	59.51	2.28	72.40	1.92	76.76	1.86	77.42	1.23	85.07
	8.49	41.06	2.80	80.57	1.27	91.19	1.65	88.57	0.95	93.39
	4.63	8.99	4.61	9.36	4.46	12.41	4.98	2.14	4.65	8.51
	7.90	4.30	6.35	23.08	5.98	27.56	6.40	22.44	6.46	21.64
	12.01	16.65	10.39	27.92	8.48	41.17	8.26	42.66	7.50	47.92

表4 表明, 处理 、 对水中氨氮去除效率很高, 其中处理 、 在水培2d 时氨氮去除率分别达87.0%、76.3%, 而处理 氨氮去除率为30.3%。处理 、 对氨氮去除需要较长的时间, 其中处理 、 在水培初期氨氮去除率均

为负。随着水培时间的增加, 各处理氨氮去除率不断提高。研究表明, 蕹菜处理有利于水培液中氨氮的快速去除, 去除效率较高。

表4 水培液中氨氮浓度及去除率变化

处理	2 d		4 d		6 d		8 d		11 d	
	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %
	0.34	86.95	0.25	90.42	0.38	85.38	0.28	89.08	0.17	93.48
	1.19	76.29	0.33	93.40	0.42	91.73	0.37	92.62	0.14	97.25
	6.23	30.27	1.03	88.53	0.24	97.29	0.23	97.47	0.14	98.43
	2.31	11.07	0.79	69.59	0.50	80.72	0.46	82.42	0.74	71.33
	5.22	-3.85	3.06	39.07	0.66	86.86	0.62	87.75	0.99	80.31
	9.93	-11.14	8.16	8.62	5.88	34.14	5.54	38.02	0.72	91.98

2.2 水培液中磷的净化效果 表5 表明, 在水培6d 时, 处理 、 、 TP 去除率达到最大。水培液中TP 浓度随水培液浓度的增加而降低; TP 去除率随水培液浓度的增加而升高。处

理 、 对TP 去除效果极差, 其中处理 的TP 去除率为-55.4%。

表5 水培液中TP 浓度及去除率变化

处理	2 d		4 d		6 d		8 d		11 d	
	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %	浓度 ng/L	去除率 %
	1.38	19.27	0.72	57.59	0.41	75.78	0.39	77.11	0.36	78.72
	1.12	49.00	0.65	70.17	0.27	87.80	0.27	87.64	0.26	88.22
	2.38	49.77	0.71	85.10	0.11	97.58	0.22	95.31	0.24	94.97
	2.36	-38.55	2.36	-38.37	2.40	-40.32	2.63	-54.34	2.65	-55.42
	1.91	12.93	1.95	11.40	1.86	15.10	1.81	17.59	1.98	9.74
	3.39	28.49	3.28	30.77	3.20	32.45	3.79	19.98	4.04	14.64

表6 表明, fTP 的去除动态与TP 一致, 但其去除率要比 TP 高, 说明蕹菜对TP 的去除具有积极的作用。

表6 水培液中fTP 浓度及去除率变化动态

处理	2 d		4 d		6 d		8 d		11 d	
	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %
	1.12	19.46	0.35	74.92	0.17	87.52	0.09	93.34	0.13	90.61
	0.84	51.81	0.19	89.15	0.13	92.49	0.10	94.51	0.11	93.68
	2.50	43.64	0.43	90.26	0.13	97.15	0.06	98.64	0.10	97.64
	2.22	-60.23	2.27	-63.67	2.13	-53.74	2.10	-51.76	2.06	-48.45
	1.63	6.71	1.56	10.91	1.49	14.79	1.49	14.79	1.56	10.59
	4.20	5.13	3.77	14.85	3.52	20.64	3.53	20.31	3.50	20.93

表7 表明,磷酸根是蔬菜可以直接利用的磷素。在蔬菜各处理中,在水培第6 天达到最大去除率,但水培液浓度对去

除率及处理后水中磷酸根浓度影响不明显。处理 、 、 对磷酸根的去除效果极差,其中处理 、 甚至为负去除率。

表7 水培液中磷酸根浓度及去除率变化

处理	2 d		4 d		6 d		8 d		11 d	
	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %
	1.11	5.10	0.26	78.08	0.12	90.06	0.07	94.35	0.12	89.40
	0.71	52.43	0.11	92.83	0.04	97.15	0.05	96.73	0.09	93.87
	2.07	27.24	0.37	86.81	0.07	97.62	0.03	98.80	0.10	96.56
	2.03	-72.61	1.90	-61.84	1.83	-55.47	1.95	-66.31	1.96	-66.57
	1.40	6.39	1.38	7.24	1.26	15.53	1.38	7.55	1.46	2.31
	2.87	-1.01	2.91	-2.37	2.30	18.97	2.71	4.60	2.96	-4.19

2.3 水培液中COD 的去除效果 表8、9 表明,蔬菜各处理间在水培液中COD 和fCOD 去除效果上不存在差异。各处理COD 的去除率均随水培液浓度的升高而增加,水培液浓度对

fCOD 去除效果的影响无规律。这表明蔬菜不存在促进好氧物质去除的效果。

表8 水培液中COD 浓度及去除率变化

处理	2 d		4 d		6 d		8 d		11 d	
	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %
	104.61	1.44	100.00	5.78	74.97	29.36	74.35	29.95	76.76	27.68
	103.11	6.81	84.31	23.81	72.65	34.34	75.65	31.64	65.35	40.94
	79.08	33.15	85.31	27.89	49.77	57.93	56.30	52.41	52.51	55.61
	102.86	3.09	108.84	-2.55	77.30	27.18	79.94	24.68	79.61	25.00
	114.82	-3.77	115.82	-4.67	81.45	26.39	88.98	19.59	78.12	29.40
	112.33	5.04	94.40	20.20	61.18	48.29	68.30	42.26	62.37	47.27

表9 水培液中fCOD 浓度及去除率变化

处理	2 d		4 d		6 d		8 d		11 d	
	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %	浓度 mg/L	去除率 %
	52.43	7.38	48.85	13.70	42.63	24.69	45.07	20.37	36.83	34.94
	60.10	0.79	56.11	7.38	48.15	20.53	49.41	18.45	46.38	23.45
	40.77	19.31	40.18	20.47	30.75	39.14	30.19	40.25	31.88	36.89
	49.74	12.13	58.14	-2.72	51.99	8.15	54.09	4.44	44.76	20.92
	59.62	1.60	63.45	-4.73	58.07	4.15	58.70	3.11	53.26	12.10
	45.86	9.22	49.61	1.80	45.98	8.99	48.43	4.15	52.17	-3.27

### 3 讨论

植物水培净化系统中,植物对水培液中氮磷的直接吸收是水培液中氮磷净化的重要机制<sup>[6]</sup>。影响植物生长的因素,均有可能影响该系统对污水的净化效果。在污水水培处理中,输入水培系统的氮磷往往伴随着其中耗氧物质的增加而增加。协调耗氧物质浓度和氮磷营养物质浓度,是污水水培成功的关键。研究表明,在蔬菜水培时,TN、TP 去除率随污水浓度的增加而增加。这可能是由于该试验所选择的COD 浓度未超出蔬菜生长范围,可为微生物分解的有机物比例较大。蔬菜在不同污水浓度处理下对水培液中可利用氮磷养

分的吸收能力都很强。水培处理后,不同浓度水培液中TN、TP 浓度接近,可能是由于微生物在低浓度下对有机物的分解效率较低。在浓度较高的水培液中,由于通过有机质分解得到的养分较多,所以可以促进植物的生长。降低水培液中污水的浓度虽然可以有利于水培植物根系的生长,但由于植物得不到足够的氮磷营养而限制其生长,使得最终的净化效率反而较低。因此,应根据水培植物的特点,选择适当的水培浓度,从而提高净化系统的净化效率。

有研究认为,水培植物对水中COD 的去除有积极的促进

(下转第4005 页)

(上接第3985页)

作用<sup>[7]</sup>。但该试验表明, 水培植物对水培液中 COD 的去除作用很弱。这很可能是由于植物根系只是提供了一个微生物附着的场所, 而根系本身对微生物提供的氧较少。在浅水水培时, 溶解氧可以通过水气界面得到有效补偿, 从而使作物根系提供的微量氧难以得到体现。所以, 在水培前, 对污水采用适当预处理措施是必要的。这有利于污水中有机质最大限度地分解, 可以降低有机耗氧物质的浓度, 同时可以增加植物可吸收利用的氮磷营养物质含量。在今后的植物水培技术研究中, 应对污水的预处理技术引起足够的重视。

## 参考文献

- [1] 夏立忠, 杨林章. 太湖流域非点源污染研究与控制[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(1): 46 - 49.
- [2] 徐晓锋, 史龙新, 许海, 等. 水培经济植物对污水中磷的吸收利用及去除效果[J]. 生态学杂志, 2006, 25(4): 383 - 388.
- [3] 徐晓锋, 周小平, 杨林章, 等. 小葱在污水净化及资源化中的应用效果研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(10): 138 - 140.
- [4] 徐晓锋, 杨林章, 许海, 等. 污水资源化研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(4): 735 - 737.
- [5] 崔理华, 朱夕珍, 马梅. 化粪池出水人工快滤与水培蔬菜复合处理系统的研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(1): 43 - 45.
- [6] 徐晓锋, 杨林章, 许海, 等. 黑麦草水培系统对化粪池粪污滤液中氮磷净化效果[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1815 - 1819.
- [7] 李芳柏, 吴启堂. 漂浮栽培美人蕉、蕹菜等植物处理化粪池废水[J]. 农村生态环境, 1997, 13(1): 25 - 28.