

湿地植物对城市雨水径流污染的 净化效能与适应性研究

纪桂霞, 蒙勇翔, 许春蕾, 王学连, 王 蒙, 杨继柏

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘 要: 通过灯芯草、千屈菜、菖蒲、梭鱼草的雨水径流水培试验,研究了湿地植物对城市径流主要污染物 COD、TN、TP 及重金属的净化效能,分析了植物对径流污染物的耐受性和适应性。结果表明:植物对重金属的净化效能良好;千屈菜对 COD 的耐受性及去除率差,当 COD $\geq 1\ 160$ mg/L 会导致其死亡;灯芯草对 pH 值的适应力差,酸雨会严重影响其水处理效果及长势;当 pH <6 时菖蒲和梭鱼草对径流 TP 的处理能力相当;对 TN <20 mg/L 的雨水径流,菖蒲对 TN 的去除效率达 93% 以上优于梭鱼草,且菖蒲对径流 COD 的去除效果及适应性好于其他三种植物,是较适宜的雨水径流湿地植物。

关键词: 城市径流; 径流污染; 污染耐受性; 径流净化; 湿地植物

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)05-0203-04

Study on purification efficiency and adaptability of wetland plants for urban runoff pollution

JI Guixia, MENG Yongxiang, XU Chunlei, WANG Xuelian, WANG Meng, YANG Jibai

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Through hydroponics experiment of *Juncus effusus*, *Lythrum salicaria*, *Acorus calamus* and *Pontederia cordata* with urban runoff, the paper studied the purification efficiency of wetland plant for main pollutants of urban runoff, such as COD, TN, TP and heavy metal and analyzed the tolerance and adaptability of the plants on runoff pollutants. The results showed that the purification efficiency of the plants for heavy metal is satisfactory. The tolerance and removal rate of *Lythrum salicaria* on COD are quite low, the plant will lead to death when COD concentration is beyond 1160 mg/L. *Juncus effusus* has poor adaptability to pH, therefore, the acid rain might exert a severe effect on the treatment efficiency and growth of *Juncus effusus*. The treatment capacity of *Acorus calamus* and *Pontederia cordata* on runoff TP is almost the same when pH values is below 6. When TN in the runoff is less than 20 mg/L, the TN removal efficiency of *Acorus calamus* is higher than 93 % and better than that of *Pontederia cordata*. The COD removal efficiency and adaptability of *Acorus calamus* are also better than those of other three alternatives. So , *Acorus calamus* is a suitable wetland plant for urban runoff.

Key words: urban runoff; runoff pollution; pollution tolerance; runoff perification; wet plant

随着我国城镇化建设的推进和经济的迅速发展,城市雨水的径流量不断增大,城市径流造成的水体面源污染日趋严重。上海市近年的城市雨水径流水质监测数据显示,初期雨水径流主要污染物 COD、SS、TN、TP 的最高浓度分别超过 1 200、1 100、14、4.5 mg/L,重金属 Pb、Zn 等也偶有超标现象^[1];我国北部城市如北京^[2]、天津^[3]等城市雨水径流污

染更为严重,湖南和江西等多地酸雨污染频发。为控制径流污染,实现雨水径流资源化利用,人工湿地^[4-7]作为一种环境友好的生态处理技术在雨水径流净化中倍受青睐。我国上海世博园的园林设计中引入小规模雨水径流人工湿地技术,在城市中心创造出了生态景观湿地。由于人工湿地的水处理及景观效果与湿地植物密切相关,目前人工湿地处理技

术应用中经常遇到植物选择不当,水处理效果不理想,植物生长不良甚至死亡,景观效果差等诸多问题,因此,能否筛选出净化效果好、耐污能力强、景观效果好、适于城市雨水径流污染特点的湿地植物,是提高人工湿地径流处理效果的关键。在人工湿地植物^[8-11]的研究和应用中,芦苇、香蒲、菖蒲、水葱、美人蕉、三棱草等在城镇的污、废水处理中有着较好的净化效果和景观功能。本试验根据城市径流有机污染、悬浮固体污染、氮、磷及重金属污染较严重的特点,以及雨水径流水质波动性大,初期径流冲击负荷高,径流量随雨强变化大等特征,从大量的水生植物中选择了灯芯草、千屈菜、菖蒲、梭鱼草 4 种耐污及景观效果较好的湿地植物,进行雨水径流水培湿地植物试验,研究湿地植物对城市雨水径流污染的适应性和净化效能,以期从中筛选出更适于处理雨水径流的植株,为径流污染的人工湿地处理实际工程应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用雨水径流取自上海理工大学校门外军工路面上的一处雨水口,为研究湿地植物对各污染物的适应性和耐受性,人为控制径流水样水质变动范围分别为 COD 80 ~ 1 160 mg/L, TN 3 ~ 30 mg/L, TP 0.4 ~ 5 mg/L, pH 4.5 ~ 7.7。

试验用植物灯芯草、千屈菜、菖蒲、梭鱼草由上海艾德利园林公司提供。

1.2 试验方法

试验在上海理工大学城建楼顶天台进行。选择长势良好、大小均匀及等重的上述 4 种植物植株作为试验对象,将植株植入高 18 cm, 直径 20 cm 的圆桶内并固定。为防止湿地中土壤及填料对净化效果的影响,试验采用上述径流水样进行植物水培,并尽量保持通风和日照条件一致。试验开始后定期对圆桶中的水培液水质进行测定,监测影响植物生长的主要水质指标 COD、TN、TP、pH 及重金属,各项水质指标均采用国家标准方法测定^[12]。为确保测试结果准确,每种植株均采用两个相同的实验平行进行。

2 试验结果与分析

2.1 湿地植物对径流污染物 TN 的处理效能和适应性分析

采用不同总氮浓度(3 ~ 30 mg/L)的径流水样水培植物,径流水样的其他水质指标保持一致,在植

物水培的第 7 天,灯芯草、千屈菜、菖蒲、梭鱼草对总氮的去除率几乎同时达到稳定,分别测定第 7 天植物水培液的 TN 浓度,计算 TN 的去除率并比较各植物的长势,以判定植物对 TN 的处理效果和对径流 TN 的适应性。试验结果见图 1 所示。

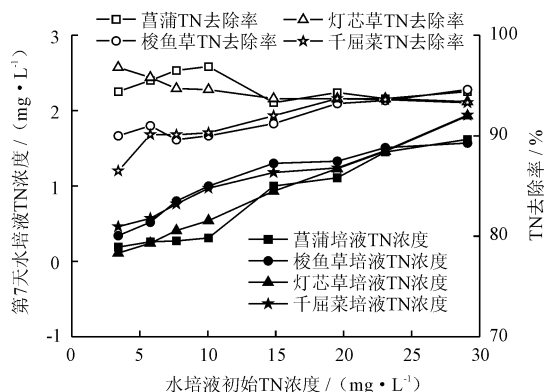


图1 植物对雨水径流不同初始 TN 浓度的去除效果图

由图 1 可见,随着雨水径流初始 TN 浓度的升高,梭鱼草、千屈菜对 TN 去除率总体呈现逐渐增大的趋势,其 TN 去除率的变化范围分别约为 90% ~ 95%、87% ~ 94%,且梭鱼草、千屈菜在径流初始 TN 浓度大于 20mg/L 时,对 TN 的去除达到较好的效果。随着雨水径流初始 TN 浓度的升高,菖蒲对 TN 去除率呈现先增后降的变化趋势,而灯芯草对 TN 的去除率却逐渐减少。菖蒲和灯芯草对 TN 的去除效率变化范围均约为 93% ~ 97%,优于梭鱼草、千屈菜。菖蒲、灯芯草在径流初始 TN 浓度小于 20 mg/L 时对 TN 的去除达到更好效果,菖蒲在 TN 10 mg/L 时达到 97% 去除率,灯芯草在 TN 3.4 mg/L 时达到 97% 去除率。资料显示^[11],上海径流水质 TN 浓度不超过 20 mg/L,这表明菖蒲、灯芯草对低氮(TN < 20 mg/L)的径流水质有更好的 TN 去除率和适应性。

2.2 湿地植物对径流污染物 TP 的处理效能和适应性分析

采用不同总磷浓度(0.4 ~ 5 mg/L)的径流水样水培植物,径流水样其他水质指标保持一致,在植物水培的第 7 天,灯芯草、千屈菜、菖蒲、梭鱼草对总磷的去除率基本达到稳定,分别测定第 7 天植物径流水培液 TP 浓度,计算 TP 的去除率并比较各植物的长势,以判定植物对 TP 的处理效果和对 TP 的适应性。试验结果见图 2 所示。

由图 2 可知,随着雨水径流初始 TP 浓度的升高,4 种湿地植物对 TP 的去除率均呈现逐渐增大的

趋势,菖蒲、梭鱼草、灯芯草、千屈菜对 TP 去除率的变化范围分别约为 70% ~ 89%、74% ~ 91%、80% ~ 88%、82% ~ 89%,且均在径流初始 TP 浓度约 4.0 mg/L 时,对 TP 去除率达到最高分别约为 89%、91%、88%、89%,4 种植物对磷的最高去除率相差不大,且长势良好。菖蒲、梭鱼草在径流初始 TP 浓度较低时,对 TP 去除效果稍差,而灯芯草、千屈菜对 TP 去除率较稳定,均能达到 80% 及以上,因此,灯芯草、千屈菜对径流 TP 变化的适应性较强。

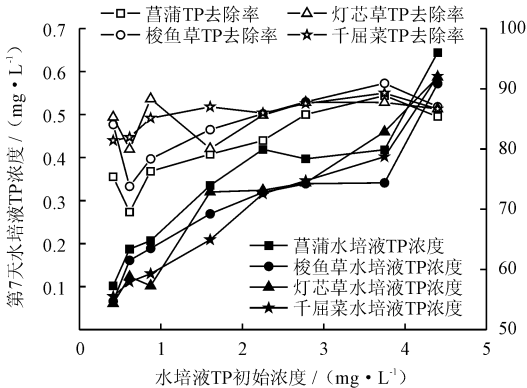


图2 植物对雨水径流不同初始 TP 浓度的去除效果图

2.3 湿地植物对径流污染物 COD 的处理效能和适应性分析

采用不同 COD 浓度 (80 ~ 1 1600 mg/L) 的径流水样水培植物,径流水样其他水质指标保持一致,在植物水培的第 7 天,灯芯草、千屈菜、菖蒲、梭鱼草对 COD 的去除率基本达到稳定,分别测定第 7 天植物径流水培液的 COD 浓度,计算 COD 的去除率并比较各植物的长势,以判定植物对 COD 的处理效能及适应性。试验结果见图 3 所示。

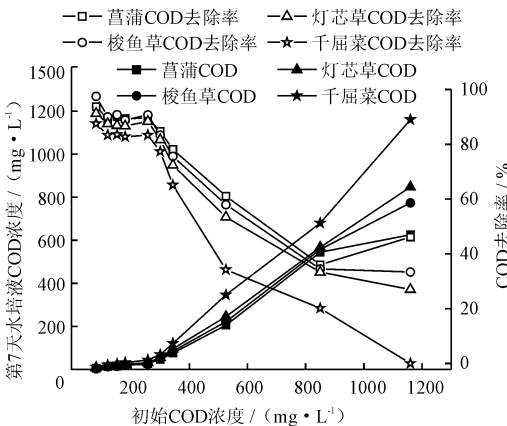


图3 植物对雨水径流不同初始 COD 浓度的去除效果图

从图中可以看出,随着径流初始 COD 浓度的升高,植物对 COD 的去除率逐渐减小,菖蒲、梭鱼草、

灯芯草、千屈菜对 COD 去除率的变动范围分别约为 94% ~ 46%、98% ~ 33%、91% ~ 27%、88% ~ 0。在径流初始 COD 浓度为 1 160 mg/L 时,千屈菜由于耐有机污染能力差而导致死亡,其他植物长势良好。其中,菖蒲耐 COD 污染能力最强,其次为梭鱼草,灯芯草耐 COD 污染能力较差。因此,千屈菜不能用作初期径流 COD 较高且波动较大的城市雨水径流湿地植物。

2.4 湿地植物对酸雨径流的适应性分析

采用不同 pH 4.5 ~ 7.7 的径流水样水培植物,为防止径流其他污染物对植物生长的影响,水样水质指标 COD 160 mg/L、TP 1.35 mg/L、TN 5.00 mg/L 控制在植物较适宜范围且保持不变。在水培植物的第 7 天,菖蒲、梭鱼草、灯芯草、千屈菜对各污染物的去除率基本达到稳定,分别测定第 7 天植物径流水培液的水质指标 COD、TN、TP 浓度,分别计算其去除率并比较各植物的长势,以判定植物对 pH 的适应性及耐受性。试验结果见图 4 ~ 6 所示。

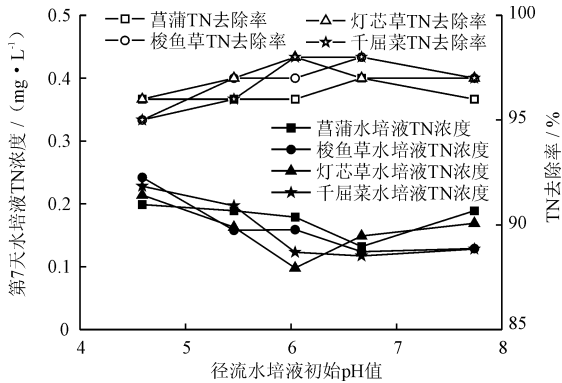


图4 植物对 TN 去除效果随 pH 的变化

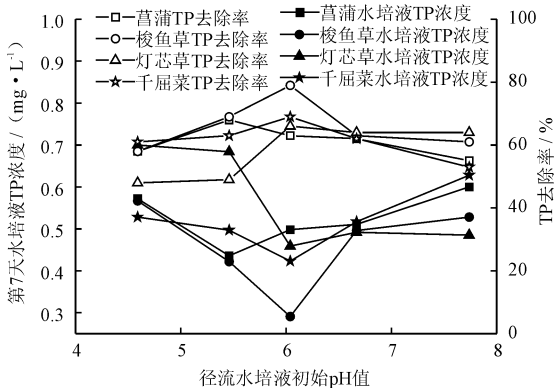


图5 植物对 TP 去除效果随 pH 的变化

图 4 ~ 6 显示,在径流水质由酸性到碱性的变化过程中,菖蒲、梭鱼草、灯芯草、千屈菜对 TN 的去除效率变动范围分别约为 95% ~ 97%、95% ~ 96%、96% ~ 97%、95% ~ 98%,植物对 TN 的去除效果受

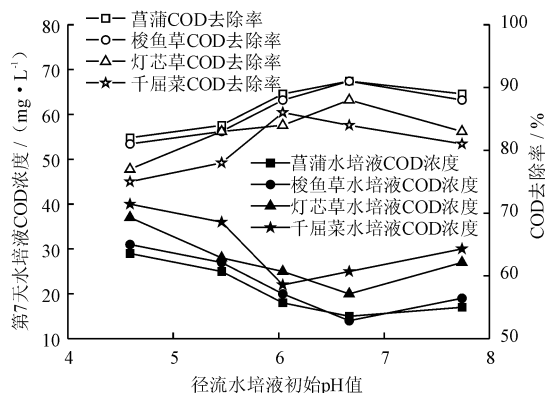


图6 植物对 COD 去除效果随 pH 的变化

pH 影响不大,且各植物对 TN 的去除率相差不大,均能达到很好的净化效果。菖蒲、梭鱼草、灯芯草、千屈菜对 TP 的去除存在着最佳的 pH 值范围,分别约为 5.5~6.0、5.5~6.0、6.0~7.0、6.0~7.0。在 pH < 6 的酸性条件下,梭鱼草对 TP 的去除效果最好,其次为菖蒲、千屈菜,灯芯草不适于酸雨水质而导致对 TP 的去除效果最差且长势不良。菖蒲、梭鱼草、灯芯草、千屈菜对 COD 的去除也存在最适宜的 pH 值范围,分别约为 6.0~7.7、6.0~7.7、6.7~7.7、6.0~7.0。在 pH < 6 的酸雨条件下,菖蒲对 COD 的去除效果最好,其次为梭鱼草,灯芯草不适于酸雨条件而导致对 COD 的去除效果较差,千屈菜对 COD 去除效果最差。

试验过程中,对第 7 天植物水培液的 Pb、Zn 等重金属进行测定,发现重金属均超出了原子吸收分光光度计的检测下限,未能测到,表明各植物对重金属有很好的适应性和净化效能。

3 结 语

(1) 菖蒲、梭鱼草、灯芯草、千屈菜对径流重金属都有很好的适应性和净化效能。

(2) 菖蒲对城市雨水径流 COD 的处理效果好,耐冲击负荷能力强,其次依次为梭鱼草、灯芯草。千屈菜对径流 COD 的耐受性和净化效果差,在径流水质 COD 浓度为 1 160 mg/L 时就会导致其死亡,因此,不宜作为处理有机负荷波动较大的城市雨水径流湿地植物。

(3) 菖蒲和梭鱼草在 pH < 6 时对 COD、TN、TP 仍有很好的处理效果且长势良好。灯芯草对 pH 值的适应能力差,酸雨会严重影响其水处理效果及长势,因此,灯芯草不适用作酸雨地区径流湿地植物。

(4) 在 pH 4.6~5.5 的酸雨条件下,菖蒲、梭鱼

草对径流 TP 的去除率分别为 58%~68%、58%~69%,两者对 TP 处理效率相差不大。当 pH > 6 时梭鱼草对径流 TP 的去除效果略优于菖蒲。

(5) 菖蒲在径流水质 TN < 20 mg/L 时,其对 TN 的去除率约为 93%~97%,而梭鱼草对 TN 的去除率约为 90%~91%,通常上海城市雨水径流水质 TN < 20 mg/L,因此,菖蒲较梭鱼草更适合用于上海雨水径流湿地植物。

经过上述分析可知,城市雨水径流人工湿地处理工程中,应根据当地径流的水质污染特点,选择适宜的湿地植物,以避免植物耐污及适应性差所导致的生长不良甚至死亡等问题,以便取得很好的净化效能和景观效果。

参考文献:

- [1] 吴玲倩. 城市区域径流水质监测及新型复合渗蓄处理技术研究[D]. 上海:上海理工大学,2012.
- [2] 张亚东,车伍,刘燕,等. 北京城区道路雨水径流污染指标相关性分析[J]. 城市环境与城市生态,2003,16(6): 182-184.
- [3] 张娜,赵乐军,李铁龙,等. 天津城区道路雨水径流水质监测及污染特征分析[J]. 生态环境学报,2009,18(6): 2127-2131.
- [4] 王中华,项学敏,周集体. 人工湿地污水处理技术及其在我国中小城镇的应用[J]. 工业水处理,2009,29(12): 1-4.
- [5] 王淑君,黄章富. 论人工湿地污水处理技术的研究与应用[J]. 现代农业科技,2009,(7): 239-241.
- [6] Marcos Vinícius Teles Gomes, Roberto Rodrigues de Souza, Vinícius Silva Teles, et al. Phytoremediation of water contaminated with mercury using *Typha domingensis* in constructed wetland [J]. Chemosphere, 2014, 103(5): 228-233.
- [7] 卢观彬,邓荣森,肖海文,等. 暴雨径流人工湿地处理新技术[J]. 市政技术,2007,25(4): 275-278.
- [8] 周守标,王春景,杨海军,等. 菰和菖蒲在污水中的生长特性及其净化效果比较[J]. 应用与环境生物学报,2007,13(4): 454-457.
- [9] 钱鸣飞,李勇,黄勇. 芦苇和香蒲人工湿地系统净化微污染河水效果比较[J]. 工业用水与废水,2008,39(6): 55-58.
- [10] 鞠瑾,张志扬,唐运平,等. 不同植物湿地系统对高盐再生水的除氮能力比较[J]. 中国给水排水,2006,22(19): 56-58.
- [11] 任珺,陶玲,杨倩. 芦苇、菖蒲和水葱对水体中 Pb^{2+} 富集能力的研究[J]. 湿地科学,2009,7(3): 255-260.
- [12] 国家环境保护总局编委. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版(增补版). 北京:中国环境科学出版社,2007.