

李海波,王鹏飞,李英华. 用于城市径流净化的岸堤漫流技术的植物与基质的组配方式[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):357-360.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.07.122

用于城市径流净化的岸堤漫流技术的植物与基质的组配方式

李海波¹, 王鹏飞², 李英华¹

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁沈阳 110819; 2. 沈阳大学环境学院, 辽宁沈阳 110044)

摘要: 面对越来越严重的城市面源污染问题, 提出岸堤式漫流阻控技术, 其中植物与基质是漫流系统的重要组成部分, 植物与基质的组配是否合理严重影响漫流系统对污水的净化效果。试验通过建立不同的岸堤漫流系统研究不同基质和不同植物组合对漫流系统净化效率和效率稳定性的影响。结果表明, 炉渣、黄土和沙子的混合基质比黄土、棕壤土这种单一基质的净化效率高, 特别是对悬浮固体(SS)、氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、总磷(TP)的去除, 去除率均在 60% 以上; 高羊茅(*Festuca elata* Keng ex E. Alexeev) 比黑麦草(*Lolium perenne* L.) 更适合于漫流系统。高羊茅与混合基质的组合为岸堤漫流系统最优的基质、植物配置方式。

关键词: 城市径流净化; 岸堤漫流系统; 基质; 植物; 去除率; 面源污染

中图分类号: X522

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2015)07-0357-03

点源污染与面源污染是造成水环境污染的两大来源^[1]。目前, 随着点源污染治理力度的加大及治理技术的不断完善, 城市面源污染已成为造成城市水体污染的主要原因^[2], 与点源污染不同, 城市面源污染随降雨的生成而发生, 污染的发生具有随机性和间歇性, 污染源分布广泛、不集中且污染物浓度变化很大^[3]。目前成型的污水生物处理技术对有机物的去除效果很好, 但不能有效去除 N 和 P; 化学方法虽能较好地去除污水中的 N 和 P, 但成本较高且会产生严重的二次污染^[4]; 而岸堤漫流技术作为一种污水生态处理技术, 是地表漫流技术的演变, 在城市面源污染的控制中有很好的应用前景。

岸堤式漫流技术使污水以薄层的形式在地表流动的过程中利用“土壤—微生物—植物”系统, 通过土壤的沉淀、吸附、过滤作用, 根系微生物的生物降解以及植物的吸收作用将污染物去除^[5], 不仅对 N、P 的去除效果好, 而且具有运行经济、操作简便的优点。漫流技术是由土壤基质、植物和微生物共同组成的复合系统, 通过三者之间的一系列物理、化学和生物途径对污染物高效去除, 其中植物和土壤基质是在工程中相对容易调节的 2 个因素。

植物作为漫流系统的重要组成部分, 为微生物提供适宜

生存的场所, 减缓污水沿岸坡流动的速度, 防止污水对地表的冲刷, 同时还能促进污水中悬浮颗粒物沉淀和吸收 N、P 等营养物质。土壤基质在为植物和微生物提供生长介质的同时, 还能通过沉淀、过滤和吸附等作用直接带走污染物^[6-7]。国内外的研究多是从植物的筛选、坡度、水利运行条件等方面探讨地表漫流技术的净化效率, 而本试验则是通过研究不同种类的植物与不同种类的基质组合在相同的外部条件下对污染物的净化效果来探讨漫流技术的净化机理, 从而探求出一种科学、高效的漫流系统构建模式, 并为工程实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验水质

试验在沈阳某大学污水模拟处理二室进行, 根据城市径流污染物的一般浓度, 限于辽宁省沈阳市雨水较少, 为了试验的顺利进行, 在无雨期采用的是人工配制模拟雨水的方式进水, 主要采用城市内河河水添加化学药品配制模拟雨水。河水取自沈阳大学附近的新开河河水, 通过添加化学药品来分别模拟悬浮固体(SS)、化学需氧量(COD)、氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、总磷(TP)含量等指标(表 1)。采用模拟雨水的优点是: 水质稳定且易于控制, 在试验运行过程中可根据不同的试验要求适时调整配水成分, 改变进水的浓度和配比, 以研究不同进水浓度下漫流系统对污染物的去除效果^[8]。

表 1 模拟雨水中各指标所需要的药品

指标	药品
SS	硅藻土
COD	葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)
TP	磷酸二氢钾(KH_2PO_4)
$\text{NH}_3\text{-N}$	氯化铵(NH_4Cl)

1.2 试验流程

试验主要流程: 配制废水被灌入储水桶, 桶的容积为 10 L, 放置在 1.5 m 高的铁架子上, 桶底设有布水管, 通过出

收稿日期: 2014-06-24

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 51108275); 国家重大专项(编号: 2013ZX07202-007、2014ZX07201-009-04); 教育部新世纪优秀人才支持计划(编号: NECT-11-1012); 辽宁省高校优秀人才支持计划(编号: LJQ2012101); 辽宁省科技计划(编号: 2011229002、2013229012); 贵州省科技重大专项(编号: 2012-6014)。

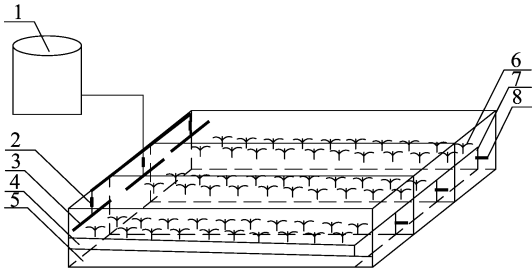
作者简介: 李海波(1974—), 男, 河北承德人, 教授, 博士生导师, 从事污水生态处理原理与技术、水生态修复原理与技术、膜分离技术研究。Tel: (024)83679128; E-mail: lihailbo@mail.neu.edu.cn。

通信作者: 王鹏飞(1988—), 男, 河南新乡人, 硕士研究生。E-mail: 378044141@qq.com。

水阀门的调节均匀地分配到试验主体装置漫流槽中,这样可以灵活模拟实际降雨的水量与水质,反映岸堤漫流系统对污水的控制效果。

1.3 主要设计参数

根据地表漫流系统的要求,结合场地要求以及径流污染的实际特点,设计的漫流槽长 2.4 m、宽 1.6 m、高 60 cm,平均分为 3 个子单元格,每个单元格面积均为 1.44 m²,装置见图 1。每个单元中,漫流坡坡度取 4%,坡长 2 m,水力负荷 L_w 统一取 10 cm/d,投配时间 T 取 8 h/d,投配频率取 5 d/周^[9]。



1—蓄水桶; 2—流量计; 3—布水管; 4—基质层;
5—防渗层; 6—植物; 7—集水槽; 8—出水管

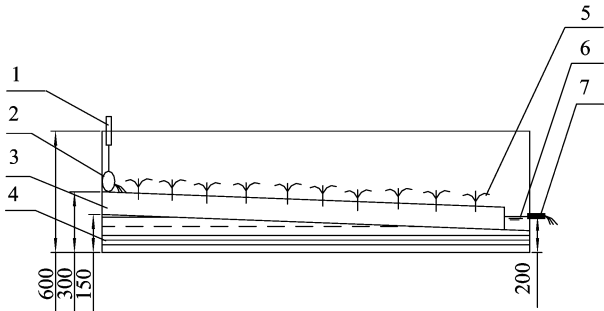
图1 漫流系统装置图示

1.4 植物与基质的选取

1.4.1 植物 黑麦草 (*Lolium perenne* L.) 禾本科黑麦属一年生或多年生草本,具细弱根状茎,秆丛生,高 30~90 cm,具 3~4 节,质软,基部节上生根。高羊茅 (*Festuca elata* Keng ex E. Alexeev) 禾本科羊茅属,秆成疏丛,直立,粗糙;茎圆形,直立,粗壮,簇生;根系深,耐贫瘠土壤。本试验的 2 种植物事先进行选种、栽培以及耐污试验后,移植到漫流试验装置中进行试验。

1.4.2 基质 棕壤土(经过 2 mm 筛子筛选);黄土(经过 2 mm 筛子筛选);黄土、细沙和炉渣(经过 2 mm 筛子筛选) 6:3:1 混合^[10]。铺设方法:在基质的最下层是防渗层,采用

渗透性小的黏土,防渗层高 10 cm,逐层铺设,即铺 2 cm 压实后进行水旱,然后再铺 2 cm,再水旱,直到 10 cm。这样铺设后,经过测试,土壤渗透系数 $K=0.46$ cm/h,符合地表漫流系统的要求。然后将 3 种上层基质分别布置在 3 个单元格中(图 2)。



1—流量计; 2—布水管; 3—基质层; 4—防渗层;
5—植物; 6—集水槽; 7—出水管

图2 漫流装置正视图示

1.5 试验运行

根据所选植物的种类,试验分 2 个阶段,即第 1 阶段在 3 种基质上种植黑麦草,第 2 阶段在 3 种基质上种植高羊茅。种植植物后,每天以清水布水运行,运行 2 周后,植物长势良好,出水中不再有大量土粒冲出,系统稳定,然后开始试验^[11]。在每个试验阶段,每天试验开始前用蒸馏水浇灌储水桶,落干后再灌入人工污水正式开始运行。储水桶中灌入人工污水后,打开控制开关,水在重力作用下缓慢均匀地流入漫流槽。每天 08:00 开始布水,16:00 停止布水,11:00 和 15:00 取 2 次样,连续共取 4 d,即每个阶段取 8 个样。

1.6 测定项目与方法

根据雨水径流污染的普遍特征,选用的水质分析指标包括悬浮固体含量、化学需氧量、氨态氮含量和总磷含量。以上指标根据文献[10]规定的方法进行测定,结果见表 2。

表 2 模拟雨水水质指标及分析方法^[10]

测定指标	分析方法	分析仪器	最低检出限 (mg/L)
SS 含量	0.45 μm 滤膜过滤,103~105 ℃烘干,称质量	ATL-223-1 型电子天平、精宏 XMTD-8222 型烘箱	0.100
COD	微回流比色法	哈希 DR890 光度计	1.000
TP 含量	钼酸铵分光光度法	UV-1700 型紫外分光光度计	0.050
NH ₃ -N 含量	纳氏试剂分光光度法	UV-1700 型紫外分光光度计	0.025

2 结果与分析

2.1 SS 的净化效果

在种植黑麦草时,混合基质、黄土基质、棕壤土基质对 SS 的平均去除率分别为 74.02%、70.95%、70.25%;在种植高羊茅时,混合基质、黄土基质、棕壤土基质对 SS 的平均去除率分别为 73.15%、64.58%、56.13%(图 3)。排除植物的影响只看基质,3 种基质对 SS 的去除效果由好到差依次为混合基质、黄土基质、棕壤土基质。取样时发现,混合基质的出水明显好于其他 2 种基质,混合基质出水清澈,黄土和黑土基质的出水较混浊。这主要是因为炉渣的加入,有利于对颗粒的吸附,又由于黄土的黏性好于黑土,所以黑土颗粒更容易被冲刷出来。排除基质的影响只看植物,就平均去除率来看,高羊茅

对 SS 的去除效果优于黑麦草,但是由图 3 可知,高羊茅的去除效果变化较大,没有黑麦草稳定,这是由于在移植高羊茅后未能等到系统完全稳定就开始试验造成的,若能运行一段时间,其稳定性会提高。在本试验过程中还发现,硅藻土的去除主要发生在系统前端,前端有明显的硅藻土堆积现象,即在漫流系统下,污水中的 SS 在短距离流动后就能被有效去除,其去除率和坡长有关,即坡长越大,去除率越好^[12]。

2.2 COD 的净化效果

在种植黑麦草时,混合基质、黄土基质、棕壤土基质对 COD 的平均去除率为 20.96%、21.34%、29.33%;在种植高羊茅时,混合基质、黄土基质、棕壤土基质对 COD 的平均去除率为 34.88%、29.98%、29.55%(图 4)。当种植黑麦草时,3 种基质对 COD 的去除效果由好到差依次为黑土基质、黄土基质、

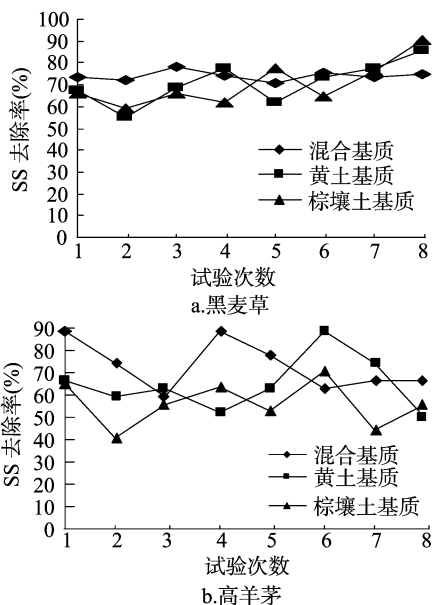


图3 不同基质不同植物对 SS 的净化效果

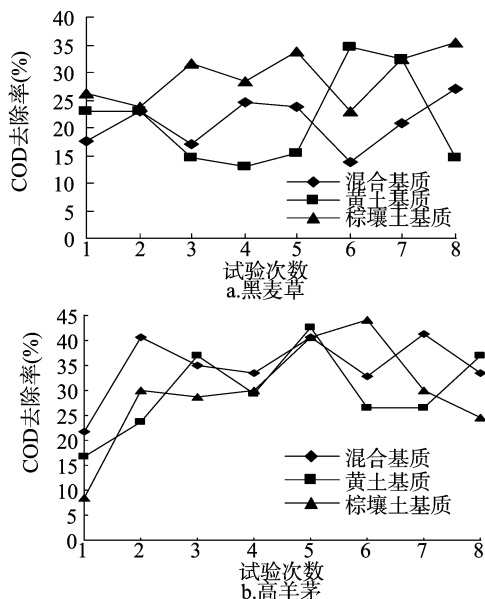
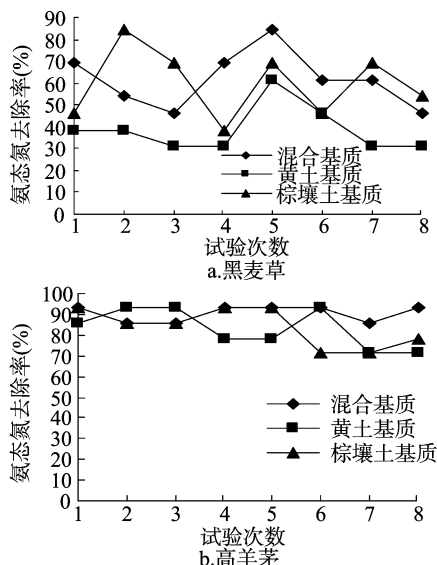


图4 不同基质不同植物对 COD 的净化效果

混合基质;当种植植物为高羊茅时,3 种基质对 COD 的去除效果由好到差依次为混合基质、黄土基质、黑土基质。两种情况下出现了不一致的结果,因为 COD 的去除主要还是靠微生物的降解,黑麦草是在漫流槽内种植的,黑土中含有丰富的腐殖质,更有利于植物生长,黑土基质中的黑麦草稠密度明显大于黄土基质和混合基质,因而根系更发达,更有利于微生物生长繁殖,所以去除效果最佳;然而,在移植高羊茅以后,人工移植的结果造成三者中植物的稠密度几乎相同,此时微生物降解作用几乎一致,有研究表明,有机物会有一部分附着在悬浮颗粒的表面,混合基质更有利于悬浮颗粒的去除,因而造成对有机物的去除率更高一些。但是,不管哪种组合对 COD 的去除率基本保持在 30% 左右,相差不大,即本系统对 COD 的去除效果不是很好,这与植物还处在生长期又很关系,如果系统能够长时间运行之后,对 COD 的去除效果会有所提高。

2.3 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的净化效果

在种植黑麦草时,混合基质、黄土基质、棕壤土基质对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率为 61.53%、38.45%、59.61%;在种植高羊茅时,混合基质、黄土基质、棕壤土基质对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率为 90.18%、83.04%、83.93% (图 5)。排除植物的影响只看基质,对氨态氮去除效果最好的都是混合基质;排除基质的影响只看植物,高羊茅对氨态氮的去除效果最好,能达到 85% 左右,明显好于黑麦草。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除是挥发、植物吸收、土壤基质吸附和微生物的硝化与反硝化作用的结果。总体上看,漫流系统具有一定的抗氨态氮负荷冲击的能力。

图5 不同基质不同植物对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的净化效果

2.4 TP 的净化效果

在种植黑麦草时,混合基质、黄土基质、棕壤土基质对 TP 的平均去除率为 64.60%、54.68%、60.41%;在种植高羊茅时,混合基质、黄土基质、棕壤土基质对 TP 的平均去除率为 66.09%、58.55%、57.89% (图 6)。排除植物的影响只看基

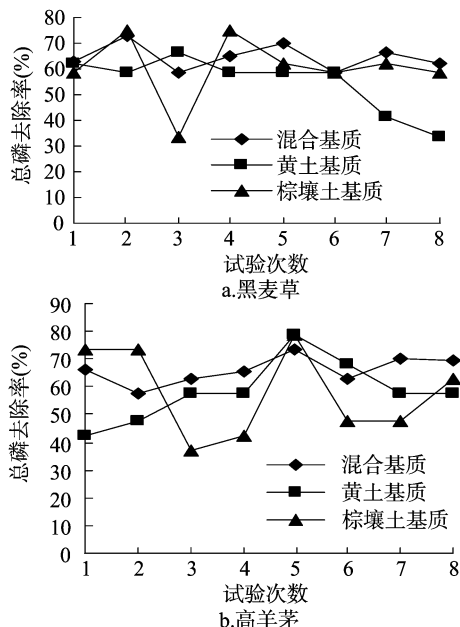


图6 不同基质不同植物对 TP 的净化效果

孙 干,裴宗平,涂永成,等. 不同抗旱技术组合对矿区油松的抗旱效果[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):360-363.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.07.123

不同抗旱技术组合对矿区油松的抗旱效果

孙 干,裴宗平,涂永成,孔 静,张 鑫

(江苏省资源环境信息工程重点实验室/中国矿业大学环境与测绘学院,江苏徐州 221116)

摘要:以 60 cm 高的油松幼苗为试验树种,在山西省忻州市窑矿某废弃煤矸石山进行野外栽种试验。选择保水剂、有机肥、植物生长调节剂(GGR)、菌根剂作为抗旱材料,设计 8 种不同的抗旱技术组合,研究各抗旱技术组合下油松叶片相对水含量、叶片水分饱和亏、叶片相对电导率、叶绿素含量、丙二醛含量、过氧化氢酶活性、油松存活率以及油松株高生长量等指标;对单指标进行对比分析,再运用隶属函数法对 8 种技术组合的抗旱性进行综合评价。结果表明:8 种技术组合抗旱性从强到弱依次为 8#>2#>3#>4#>5#>6#>7#>1#;即自然条件下,8#-保水剂+GGR+菌根+有机肥抗旱技术组合的抗旱效果最好。

关键词:油松;抗旱技术;隶属函数法;抗旱能力

中图分类号:X171.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)07-0360-04

矿产资源是我国社会发展的重要支柱,开发矿产资源的同时,矿山生态环境、土壤基质、土壤结构、地下水、生物多样性等会遭到严重破坏^[1-2]。应当在生态学理论的基础上,结合工程绿化技术、土壤改良技术、矿山边坡稳固技术,对

矿山废弃地严重受损的生态环境进行恢复,实现矿山废弃地的生态复垦与可持续利用^[3-4]。如何有效提高植物抗旱性是干旱地区矿山生态修复面临的关键问题。本研究以山西省大同市当地植被修复常用树种油松作为供试植物,进行 8 种不同技术组合处理,在自然条件下,观察植株的生长状况,测定植株的保存率、株高生长量、叶片相对水含量、叶片水分饱和亏、叶片相对电导率、叶绿素含量、丙二醛含量、过氧化氢酶活性等指标,研究不同抗旱技术组合的抗旱效果,旨在为干旱矿区生态修复提供理论依据。

收稿日期:2014-12-30

基金项目:山西省“十二五”科技重大专项(编号:20121101008)。

作者简介:孙 干(1991—),男,山东鱼台人,硕士研究生,主要从事矿山生态修复研究。E-mail:1017258079@qq.com。

通信作者:裴宗平,博士,教授,硕士生导师,主要从事矿区生态修复、环境规划、地下水污染治理等研究。E-mail:peizp689@163.com。

质,对氨态氮去除效果最好的都是混合基质;排除基质的影响只看植物,2 种植物对总磷的去除效果几乎相同,高羊茅稍好于黑麦草。这主要是因为磷的去除主要还是靠土壤基质的吸附作用,混合基质中炉渣的加入促进了这种吸附作用。

3 结论

本试验采用室内模拟的方式研究岸堤漫流系统中不同植物与基质的配置方式对污水净化的效果,结果显示,3 种基质对污染物的整体去除效果依次为混合基质>棕壤土基质>黄土基质;2 种植物对污染物的整体去除效果依次为高羊茅>黑麦草。岸堤漫流系统对 SS、NH₃-N、TP 有较好的去除效果,去除率均在 60% 以上,对 COD 的去除率仅达到 30% 左右。岸堤式漫流系统可以应用于城市面源污染的控制中,特别是对 SS 的去除效果较好。混合基质较单一基质对污染物的去除效果更好。

参考文献:

- [1]倪艳芳. 城市面源污染的特征及其控制的研究进展[J]. 环境科学与管理,2008,33(2):53-57.
- [2]尹澄清. 城市面源污染问题:我国城市化进程的新挑战——代“城市面源污染研究”专栏序言[J]. 环境科学学报,2006,26

(7):1053-1056.

- [3]赵建伟,单保庆,尹澄清. 城市面源污染控制工程技术的应用及进展[J]. 中国给水排水,2007,23(12):1-5.
- [4]徐德福,李映雪. 用于污水处理的人工湿地的基质、植物及其配置[J]. 湿地科学,2007,5(1):32-38.
- [5]孙 敏,阮晓红,曾 扬. 地表漫流系统处理污染河水工程设计探讨[J]. 给水排水,2006,32(4):25-27.
- [6]魏 成,刘 平,秦 晶. 不同基质和不同植物对人工湿地净化效率的影响[J]. 生态学报,2008,28(8):3691-3697.
- [7]陈开宁,陈小峰,陈伟民,等. 不同基质对四种沉水植物生长的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(8):1511-1516.
- [8]肖海文. 城市径流特征与人工湿地处理技术研究[D]. 重庆:重庆大学,2010:78-79.
- [9]孙 敏,阮晓红,张旭东,等. 地表漫流系统处理污染新沂河水的中试研究[J]. 中国给水排水,2006,22(9):46-49.
- [10]魏复盛. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [11]Taebi A, Droste R L. Performance of an overland flow system for advanced treatment of wastewater plant effluent[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 88(4):688-696.
- [12]张旭东. 地表漫流系统处理污染河水的试验研究[D]. 南京:河海大学,2005:38-43.