

桃花溪河岸生态建设中植物配置与面源氮磷削减

郭蔚华, 徐灵华, 王 柱

重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045

摘要 采用重庆市常见植物进行现场、盆栽和 PO_4^{3-} 吸附等温试验, 探讨植物配置与面源氮磷削减的关系。结果表明, 河岸生态建设中不同植物配置的面源氮磷去除效果不同, 对泥沙结合态氮磷的去除, “蝴蝶+吉+樟”混栽的去除效果较显著; 植物混栽中, 乔木覆盖率越高, 对泥沙结合态氮磷去除效果越差。对水溶态营养盐的去除, 各盆栽对 NO_3^- 去除效果不显著, 有株盆栽能有效地减少 NO_3^- 流失; 对 PO_4^{3-} 的去除, 各盆栽都具有显著效果; 土壤含水率与 PO_4^{3-} 去除率反相关; 磷的吸附能力, 壤土高于沙土; 植物对土壤磷吸附影响, 吉祥草最显著, 蝴蝶花次之。桃花溪河岸生态建设中应采用“蝴蝶+吉+樟+海”配置, 其布局为蝴蝶花、吉祥草分层种植, 蝴蝶花位于上端, 香樟、海栀子、吉祥草混种。

关键词 植物配置; 面源; 氮磷削减; 桃花溪

中图分类号 X522

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)07-0050-05

The Relationship Between the Plant Disposition and the Reduction of Nitrogen and Phosphorus in the Riparian Ecological Construction of Taohua River in Chongqing

GUO Weihua, XU Linghua, WANG Zhu

Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China

Abstract In order to study the relationship between the plant disposition and the reduction of nitrogen and phosphorus in the riparian ecological construction of Taohua river in Chongqing, the field test, pot experiment and phosphorus adsorption isotherm experiment were carried out. The results show that the different plant dispositions have different effects on the reduction of nitrogen and phosphorus; the combination of *Iris japonica*, *Reineckia carnea* and *Cinnamomum camphora* enjoys higher efficiency for removing particle-bound nitrogen and phosphorus; the higher the tree coverage, the lower the efficiency will be; the pot has no significant effect on the removal of NO_3^- (nitrate), but has effect on the removal of PO_4^{3-} (phosphate), and the pot with plants can prevent the loss of NO_3^- ; the soil water content and the PO_4^{3-} removal efficiency are anti-related; the loam phosphorus adsorption capacity is higher than that of the sand, with that of the *Reineckia carnea* being the highest, followed by that of *Iris japonica*; the combination of *Iris japonica*, *Reineckia carnea*, *Gardenia Ellis var fortuneana* and *Cinnamomum camphora* should be adopted in Taohua river, with the *Iris japonica* being put above the *Reineckia carnea*, and *Gardenia Ellis var fortuneana*, *Cinnamomum camphora* being mixed planted with *Reineckia carnea*.

Keywords plant disposition; non-point source; reduction of nitrogen and phosphorus; Taohua river

桃花溪为重庆市 5 条重要城市内河中最大溪流, 全长 15km。因城市化建设中环境保护滞后, 流域生态环境破坏严重, 水质变黑发臭。为改善流域人居环境, 保障群众身心健康

康, 保护三峡库区水环境安全, 防止雨水径流引起河水的富营养化, 亟需对河岸环境进行生态建设。河岸生态建设利用植物对河道边坡进行植被重建, 恢复河道生态环境, 控制面

收稿日期: 2010-02-02

基金项目: 重庆市科技攻关计划项目 (CSCT, 2006AB7054)

作者简介: 郭蔚华, 副教授, 研究方向为水处理生物技术、水环境微生物等, 电子信箱: gwchhl@yahoo.com.cn

表 4 不同间隔时间内各盆栽对 PO_4^{3-} 的平均去除率
Table 4 The average removal rate of PO_4^{3-} in pot experiment with different time intervals

植 物	PO_4^{3-} 平均去除率/%		
	3d	6d	9d
裸土	56.79	72.79	80.91
麦冬	53.00	73.32	82.19
吉祥草	70.04	80.55	85.59
蝴蝶花	28.39	58.57	59.19
海栀子	75.71	82.62	90.70

表 5 Langmuir 等温吸附方程
Table 5 Langmuir adsorption isotherm

植物	土壤类型	Langmuir 方程	相关系数 R^2	理论最大吸磷量 $Q_m/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	k
—	壤土	$C/Q=0.007C+0.063$	0.993	142.86	2267.57
麦冬	沙土	$C/Q=0.010C+0.155$	0.786	100.00	645.16
吉祥草	壤土	$C/Q=0.005C+0.013$	0.966	200.00	15384.62
海栀子	壤土	$C/Q=0.007C+0.099$	0.984	142.86	1443.00
蝴蝶花	壤土	$C/Q=0.006C+0.095$	0.855	166.67	1754.39

中氮磷的含量。麦冬则因其种植土为沙土,在土壤对磷的吸附等温试验中,沙土对磷的最大吸附量低于壤土,且沙土透气透水性强,好氧微生物占优势,有机物易被迅速分解,积累少,养分易被淋失,因而其去除效果较弱。

对单独种植蝴蝶花的坡地和“蝴+榆”配置进行比较,“蝴+榆”对 TP 的去除率(54.07%)低于单独种植蝴蝶花的坡地(75.05%)。盆栽试验中,蝴蝶花渗透速度较快,因而蝴蝶花能够增加土壤的渗透性和透气性,使现场试验中榔榆落叶易于被氧化而淋失,因此,“蝴+榆”对 TP 的去除效果下降,但对 TN 去除率没有明显下降,这是因为氮主要以泥沙结合态的形式存在^[17],而试验坡地的宽度和坡度是影响泥沙结合态氮去除的因素之一,宽度越大,坡度越小,径流的水力停留时间越长,对泥沙结合态氮的去除效果越好。“蝴+榆”的坡地宽度为 10.5m,大于单独种植蝴蝶花坡地的宽度 7.3m。坡度上,“蝴+榆”的坡度(11°)小于单独种植蝴蝶花的坡度(23°),因而能够有效地拦截氮的流失。

在“吉+樟”与“蝴+吉+樟”配置中,后者对 TP 的去除效果明显高于前者,这是因为蝴蝶花对 TP 有较好的去除率。同时,位于上端的蝴蝶花增加了径流的渗透率,使位于下端的吉祥草能够充分吸收渗流水中的水溶态营养盐。因此,“蝴+吉+樟”配置能够充分利用蝴蝶花、吉祥草分别对泥沙态和水溶态营养盐高效去除,达到控制面源污染的目的。

3.2 植物配置比例与面源氮磷削减的关系

植物混栽中,乔木覆盖率越高,其对面源氮磷的去除效果越差,当乔木覆盖率 $\leq 40\%$ 时,其去除效果较好。这是因为乔木覆盖率低时,单位土壤面积上草本植物的密度大于灌木和乔木的,增加了对面源氮磷的拦截和吸附作用,而乔木覆

土的理论最大吸磷量为 142.86~200 $\mu\text{g/g}$,大于沙土的理论最大吸磷量 100 $\mu\text{g/g}$ 。在植物对土壤的磷吸附能力影响上,栽有植物的土壤的理论最大吸磷量大于无植物栽种的土壤,尤其是吉祥草,其理论最大吸磷量达到 200 $\mu\text{g/g}$,其次蝴蝶花的最大吸磷量为 166.67 $\mu\text{g/g}$ 。

3 讨论

3.1 植物组合与面源氮磷削减的关系

现场试验中,肾蕨对 TN、TP 去除效果不显著,这是因为肾蕨在干燥或雨后积水条件下叶片容易枯黄脱落,尤其是入秋后,叶片更容易脱落。脱落的叶片被土壤分解,增加了径流

盖率高不仅减少单位面积内草本植物的数量,而且乔木落叶易于增加径流中氮磷含量。

虽然乔木对面源氮磷的削减起负作用,但它在河岸生态建设中又是必需的。草本植物由于其根系较浅,只能对表层土壤起加固作用,而乔木和灌木能够对深层土壤起加固作用,因此,草、灌、乔的合理搭配能增强土壤不同深度的抗剪强度,防止水土流失。同时,草、灌、乔的合理搭配还能够增加植被的垂直分层,便于不同生物栖息,为其提供生存环境,从而有利于河岸生态系统的恢复。所以在桃花溪河岸生态建设中,可以采用“蝴+吉+栀+樟”配置,其布局为蝴蝶花、吉祥草分层种植,蝴蝶花位于上端,香樟、海栀子、吉祥草混种,但香樟、海栀子覆盖率尚需研究。“蝴+吉+栀+樟”配置可以充分利用各种植物的功能,既达到控制面源氮磷的目的,又有利于河岸的稳定和河岸生态系统的恢复。

3.3 土壤与面源氮磷削减的关系

盆栽试验中,对比裸土,有株盆栽能够有效地减少 NO_3^- 在渗透过程中被解析出来,这是因为 NO_3^- 是植物可直接吸收利用的有效态氮,植物自身生长需求及植物根系可为微生物提供栖息地,并且植物根系在土壤中形成网络并分泌分解胶结产物,吸收坡面土壤养分,有助于微生物的大量繁殖,故 NO_3^- 可被植物和微生物所吸收来减少其淋溶流失。

在对 PO_4^{3-} 的去除上,土壤起着关键作用,这是因为 PO_4^{3-} 可以与土壤中的 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等生成各种难溶性磷酸盐或被铁铝氧化物、黏土矿物、石灰性物质以及有机物质所吸附,因此,各盆栽对渗出水中的 PO_4^{3-} 有着显著的去除效果。同时,土壤含水率的减少使土壤微粒增多、表面积增大,因而,含水率可影响土壤对 PO_4^{3-} 的吸附。土壤对磷的吸附等温试验中,栽

有植物的土壤的理论最大吸磷量大于无植物栽种的土壤,这是因为植物除了吸收 PO_4^{3-} 外,还能够通过落叶增加土壤的有机质含量,改善土壤结构。而土壤中的有机质(腐殖质)能和铁、铝形成有机无机复合体,并提供无机磷吸附位点,从而增强土壤对磷的吸附能力^[18]。

4 结论

1) 河岸生态建设中不同植物配置的面源氮磷去除效果不同。对泥沙结合态氮磷的去除,“蝴蝶+吉+樟”混栽的去除效果较显著,TN、TP 去除率分别为 64.79%、75.83%;植物混栽中,不同乔木覆盖率对泥沙结合态氮磷去除效果的差异显著,乔木覆盖率越高,其去除效果越差,当覆盖率 $\leq 40\%$ 时,其去除效果较好。对水溶态营养盐的去除,各盆栽间的营养液对 NO_3^- 去除效果不显著;与裸土比较,有株盆栽能有效减少 NO_3^- 流失;对 PO_4^{3-} 的去除,各盆栽具有显著效果,且间隔 9d 时,海栀子、吉祥草去除效果最显著;土壤含水率与 PO_4^{3-} 去除率反相关;磷的吸附能力壤土高于沙土;植物对土壤磷吸附影响,吉祥草最显著,蝴蝶花其次。

2) 桃花溪河岸生态建设中应采用“蝴蝶+吉+栀+樟”配置控制面源氮磷,其布局为蝴蝶花、吉祥草分层种植,蝴蝶花位于上端,香樟、海栀子、吉祥草混种,但香樟、海栀子覆盖率尚需研究。

参考文献 (References)

- [1] 汪洋,周明耀,赵瑞龙,等. 城镇河道生态护坡技术的研究现状与展望[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 88-92.
Wang Yang, Zhou Mingyao, Zhao Ruilong, et al. *Science of Soil and Water Conservation*, 2005, 3(1): 88-92.
- [2] 刘秀峰,唐成斌. 高等级公路生物护坡工程模式设计[J]. 四川草原, 2001(1): 40-43.
Liu Xiufeng, Tang Chengbin. *Journal of Sichuan Grassland*, 2001(1): 40-43.
- [3] 蔡婧,李小平,陈小华. 河道生态护坡对地表径流的污染控制[J]. 环境科学学报, 2008, 28(7): 1326-1334.
Cai Jing, Li Xiaoping, Chen Xiaohua. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(7): 1326-1334.
- [4] 刘明辉,陶宇君. 生态护坡在城市河道防护工程中的应用[J]. 江苏水利, 2008(5): 42-44.
Liu Minghui, Tao Yujun. *Jiangsu Water Resources*, 2008(5): 42-44.
- [5] 李海东,林杰,张金池,等. 生态护坡技术在河道边坡水土保持中的应用[J]. 南京林业大学学报, 2008, 32(1): 119-123.
Li Haidong, Linjie, Zhang Jinchi, et al. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2008, 32(1): 119-123.
- [6] 兰海东,杨宝中,曾玲玲. 浅议生态防护在城市河道中的应用[J]. 水土保持研究, 2008, 15(2): 203-205.
Lan Haidong, Yang Baozhong, Zeng Lingling. *Research of Soil and Water Conservation*, 2008, 15(2): 203-205.
- [7] 陈小华,李小平. 农业流域的河流生态护坡技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(S1): 140-145.
Chen Xiaohua, Li Xiaoping. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006 (S1), 25: 140-145.
- [8] 朱力,吴展,袁郑棋. 生态植被护坡作用机理研究[J]. 土工基础, 2009, 23(1): 46-49.
Zhu Li, Wu Zhan, Yuan Zhengqi. *Soil Engineering and Foundation*, 2009, 23(1): 46-49.

- 2009, 23(1): 46-49.
- [9] 吴健,王敏,吴建强,等. 滨岸缓冲带植物群落优化配置试验研究[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(4): 42-45.
Wu Jian, Wang Min, Wu Jiangqiang, et al. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(4): 42-45.
- [10] 叶志敏,尹璇. 滨岸缓冲带削减非点源污染试验研究[J]. 科技咨询, 2006(28): 250-251.
Ye Zhimin, Yin Xuan. *Science & Technology Information*, 2006(28): 250-251.
- [11] 唐浩,黄沈发,王敏,等. 不同草皮缓冲带对径流污染物的去除效果试验研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(2): 109-112.
Tang Hao, Huang Shenfa, Wang Min, et al. *Environmental Science & Technology*, 2009, 32(2): 109-112.
- [12] 黄沈发,吴建强,唐浩,等. 滨岸缓冲带对面源污染物的净化效果研究[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 722-727.
Huang Shenfa, Wu Jiangqiang, Tang Hao, et al. *Advances in Water Science*, 2008, 19(5): 722-727.
- [13] 阮礼惠,徐礼根. 地被植物图谱[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
Ruan Jihui, Xu Ligen. *Ground coverplants atlas* [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007.
- [14] 董淑英. 花木宜忌大全[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
Dong Shuyan. *Flowers taboo*[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [15] 郭胜利,党廷辉,刘守赞,等. 磷素吸附特性演变及其与土壤磷素形态、土壤有机碳含量的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 33-39.
Guo Shengli, Dang Tinghui, Liu Shouzan, et al. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 33-39.
- [16] 阳春,郑向勇,严立,等. 几种土壤改良材料磷氮吸附和硝化作用特性的研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 2013-2017.
Yang Chun, Zheng Xiangyong, Yan Li, et al. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(5): 2013-2017.
- [17] 关连珠. 普通土壤学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
Guan Lianzhu. *General pedology* [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2007.
- [18] 徐铁群,熊慧欣,赵秀兰. 底泥磷的吸附与释放研究进展[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(11): 147-149.
Xu Yiqun, Xiong Huixin, Zhao Xiulan. *Chongqing Environmental Science*, 2003, 25(11): 147-149.

(责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·



“中国工程热物理学会 燃烧学学术年会”征文

由中国工程热物理学会主办的“中国工程热物理学会燃烧学学术年会”将于 2010 年 12 月 3-6 日在广州市举行。会议面向能源、动力、环境、石油、化工、冶金、航空、航天、核能和水利等相关领域征稿。

经学术会议评审出的优秀论文,将推荐在《工程热物理学报》上发表。全文截稿日期:2010 年 6 月 1 日。

联系方式:北京市北四环西路 11 号(100190) 中国工程热物理学会秘书处;电子信箱:CSET@mail.etp.ac.cn。