

# 负荷对渗滤系统控制农业径流污染物的影响

黄磊, 高旭<sup>\*</sup>, 谢伟丹, 陈俊宏, 马晓霞

(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

**摘要:** 为了考察负荷变化对渗滤系统拦截削减农业径流污染物性能的影响, 在重庆市万州高峰镇鹿山河旁建立多级渗滤系统, 开展了农业径流污染物净化效果的试验研究。结果显示, 系统对污染物具有较好的去除效果, 对化学需氧量(COD)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、总氮(TN)和总磷(TP)的平均去除率分别为 35%、73%、37%和 54%。污染物出水浓度随进水负荷的升高而升高, 具有明显的线性关系。单位面积污染物去除负荷与进水负荷近似服从对数关系, 低进水负荷时系统运行稳定, 高进水负荷时系统污染物去除负荷波动较大。随着渗滤系统级数的增加, 污染物出水负荷和去除负荷沿程上均体现出逐渐降低的趋势。渗滤系统沿程污染物负荷的变化兼具滨岸缓冲带、植被过滤带和生物接触氧化池的特点。

**关键词:** 氮, 磷, 负荷, 渗滤系统, 农业径流污染

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.05.008

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-05-0046-06

黄磊, 高旭, 谢伟丹, 等. 负荷对渗滤系统控制农业径流污染物的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 46-51.  
Huang Lei, Gao Xu, Xie Weidan, et al. Impacts of the loading rate on the performance of a multi-stage filtration system removing pollutants in agricultural runoff [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 46-51. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

农业非点源污染主要是指在农业生产活动中, 农田中的土粒、氮素、磷、农药及其他有机或无机污染物质, 经降水或灌溉过程, 通过农田地表径流、农田排水和地下渗漏, 使污染物质进入水体, 造成的水环境污染<sup>[1]</sup>。全球范围来看, 30%~50%的地球表面已受非点源污染的影响, 并且在全世界不同程度退化的 12 亿 hm<sup>2</sup> 耕地中, 约 12% 由农业非点源污染引起<sup>[2]</sup>。中国是世界上化肥生产和消费量最大的国家, 农田中过量的养分负荷被认为是引起农业非点源污染的一个主要来源<sup>[3]</sup>。2004 年, 中国农田化肥氮中约有 129.1 万吨通过淋洗和径流损失进入地表水, 占到总流失量的 26%<sup>[4]</sup>。根据研究统计, 氮素的淋失在南方高降雨地区较高, 水田和旱地的平均淋失率达 6.1% 和 8.2%<sup>[5]</sup>。高化肥淋失量严重威胁中国的地表水体环境, 以中国富营养化较为严重的太湖、滇池和巢湖为例, 非点源污染已经成为入湖全氮和全磷负荷的主要来源<sup>[6]</sup>。每年进入长江和黄河的氮素中, 分别有 92% 和 88% 来自农业<sup>[5]</sup>, 农业非点源的治理形势严峻。

目前, 农业非点源污染的控制措施包括非工程性措施和工程性措施<sup>[7-8]</sup>。非工程性措施主要是指农、林地的耕种和管理措施<sup>[9]</sup>。工程性措施是以径流过程中的污染控

制为主要途径, 通过延长径流停留时间、减缓流速、向地下渗透、物理沉淀过滤和生物净化等技术去除污染物, 包括如滞留池<sup>[10]</sup>、草沟<sup>[11]</sup>、植生滤带<sup>[12]</sup>、生物滤槽<sup>[13]</sup>和人工湿地<sup>[14]</sup>等。一般按其处理方式分为滞留式、渗透式、过滤式和生物式等类型<sup>[8]</sup>。

渗滤系统是在人工湿地和生物滤槽的基础上衍生出来的面源处理新技术。近年来, 渗滤系统的研究和应用在国内日益受到重视, 广泛应用到污水处理、城市雨水径流净化等诸多领域。Quanrud 等在田间尺度上研究了土壤渗滤处理系统通过生物降解作用对市政废水中有机污染物的削减<sup>[15]</sup>; Sabbah 等在考察间歇渗滤系统处理污水的过程中, 发现日渗滤次数, 水力负荷等运行参数对出水影响较大<sup>[16]</sup>。Barbosa 和 Jacobsen 在半干旱区域构建渗滤塘模型控制公路降雨径流污染的研究中, 认为降雨径流量、土壤特征、污染物负荷等影响了渗滤塘的控制效能<sup>[17]</sup>。Nogaro 等在 1.5mL/min 的水力负荷下的室内试验研究中, 认为污染物入流浓度的 C/N 比影响渗滤系统的去除效能<sup>[18]</sup>。许萍等应用浅层人工土、植物系统净化城区径流, 认为该系统经济有效<sup>[19]</sup>。目前, 有关渗滤系统在水污染控制方面的理论应用研究多以垂直流态的滤柱或水平流态的滤池为试验装置, 考察渗滤系统对城镇污水、城市地表径流、富营养化水体等的净化效果, 并以此作为渗滤系统工程应用的理论依据, 缺乏现场渗滤系统对农业径流污染净化作用的研究案例。农业径流污染多发生在山地和丘陵地形中, 污染大多沿坡地顺势而下, 水质水量变化大。尤其是中国西南山地地区, 农业耕种面积大, 土壤侵蚀严重, 有效控制农业径流污染有其重要的现实意义。

本文根据西南地区山地小城镇农业地表径流污染的特点, 选取当地常见滤料, 针对山地地形设计渗滤系统。

收稿日期: 2010-09-27 修订日期: 2011-05-03

基金项目: 国家科技重大专项 (2009ZX07104-005-004-001); 重庆市科技攻关计划项目 (CSTC2008AB7135)

作者简介: 黄磊 (1984-), 男, 博士研究生, 主要从事水污染控制理论与技术研究。重庆 重庆大学城市建设与环境工程学院, 400045。

Email: panda11@126.com

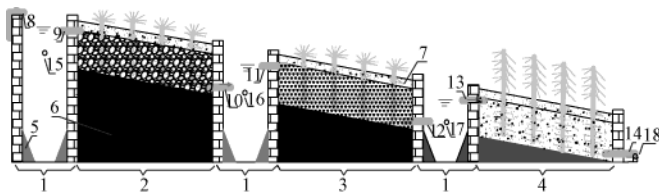
\*通信作者: 高旭 (1971-), 男, 副教授, 博士生导师, 主要从事饮用水源地保护与修复, 水处理热力学研究。重庆 重庆大学城市建设与环境工程学院, 400045。Email: gaouxu@cqu.edu.cn

以 COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN 和 TP 为评价指标，研究了不同进水负荷下渗滤系统的净化效果，总结了不同水力负荷和污染物负荷下的出水污染物浓度和去除负荷的变化规律，以期为西南山地地区渗滤系统的设计与应用提供依据。

### 1 试验设计

#### 1.1 试验装置

试验渗滤系统位于重庆市万州区高峰镇，该镇是典型的西南山地小镇，农业生产落后，雨季径流污染以营养盐污染为主，其中 TN、TP 的含量超过《在地表环境质量标准》（GB3838-2002）V 类标准。



1.沉砂井 2.第一级 3.第二级 4.第三级 5.砂斗 6.基础 7.表层小砾石  
8.系统进水口 9.第一级进水口 10.第一级出水口 11.第二级进水口 12.第二级出水口 13.第三级进水口 14.第三级出水口 15.第一级进水取水口 16.第一级出水取水口 17.第二级出水取水口 18.第三级出水取水口

图 1 多级渗滤系统结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of multi-stage filtration system

试验装置依托当地一条农业径流汇水沟渠，修建于沟渠末端，紧邻当地水源补水河流鹿山河。系统整体为砖混结构，长 6.5 m，宽 0.8 m，坡度 20°。图 1 是渗滤系统的结构示意图，系统设为三级，每级滤料层长 1.5 m，滤层厚 0.45 m，考虑到植物的生长需要，在每级表层覆盖 5 cm 的小砾石（粒径为 5~10 mm）。每级之间通过沉砂井相连，沉砂井可以起到沉砂、消能蓄水和均匀配水的作用。系统底部和四周以水泥墙封闭，并进行防渗处理。选用的滤料和植物具体见表 1。

表 1 滤料与植物

Table 1 Filtering materials and plants

植物	科目	栽种时间	种植密度株/m <sup>2</sup>	滤料	粒径/mm
第一级	空心菜	禾木科	09-09-10 上午	12	砖块 40~60
第二级	空心菜	禾木科	09-09-10 上午	12	卵石 20~40
第三级	美人蕉	美人蕉科	09-09-10 上午	12	砾石 5~10

#### 1.2 试验方法及试验水质

试验研究在 2009 年 9—11 月进行，采取间歇式的运行方式，每个周期 24 h，进水 12 h，间歇 12 h。期间系统的水力负荷控制 0.20~0.80 m<sup>3</sup>/h 之间。根据进出水污染物浓度和流量计算污染物去除率、污染物进水负荷和污染物去除负荷，计算方法如下

污染物去除率

$$\eta = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

污染物进水负荷

$$I_L = \frac{C_o \times L \times Q}{V^*} \quad (2)$$

污染物去除负荷

$$R_L = \frac{(C_o - C_e) \times L \times Q}{V^*} \quad (3)$$

系统有效容积

$$V^* = V \times \tau \quad (4)$$

式中，C<sub>o</sub> 为污染物进水质量浓度，mg/L；C<sub>e</sub> 为污染物出水质量浓度，mg/L；Q 为渗滤系统流量，m<sup>3</sup>/d；L 为渗滤系统长度，m；V 为渗滤系统容积，m<sup>3</sup>；τ 为渗滤系统孔隙率，本试验系统为 50%。

本试验设计的处理对象为农业径流污染物。受天气影响较大，不便储存转移。试验实施过程中，根据前期对汇水沟渠内农业径流污染的监测，以鹿山河河水为源水，模拟径流污染。试验期间试验进水水质见表 2。

表 2 试验水质及分析方法

Table 2 Quality of experimental water and analysis methods

分析项目	浓度范围	均值	分析方法
DO	2.87~5.61	4.37	YSI550A 便携式溶氧仪
pH 值	7.34~7.81	7.61	YSI pH100 便携式酸度计
COD	5.39~26.52	13.71	高锰酸盐指数酸性法
TN	1.35~4.44	2.95	碱性过硫酸钾消解，紫外分光光度法
TP	0.09~1.04	0.43	过硫酸钾消解，钼酸铵分光光度法
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.31~1.87	0.90	纳氏试剂比色法

注：DO 为溶解氧，COD 为高锰酸盐指数，TN 为总氮，TP 为总磷，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 为氨氮，下同。

## 2 结果与讨论

### 2.1 系统对主要污染物的净化效果

径流污染与点源污染不同，径流污染发生时，径流污染的水质变化很大。本试验模拟的水质变化在一定程度上体现了径流污染的特点。由图 2 可以看出，在渗滤系统进水的水质变化较大的情况下，系统最终出水中的各污染物浓度及去除率也随之有一定的波动。系统 COD 的出水质量浓度在 3.53~18.19mg/L 之间，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的出水质量浓度在 0.09~0.46mg/L 之间，TN-N 的出水质量浓度在 0.84~2.89mg/L 之间，TP-P 的出水质量浓度在 0.03~0.66mg/L 之间。系统对 COD 的去除率在 21%~50% 之间，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除率在 63%~87% 范围之间，对 TN 的去除率在 18%~48% 范围之间，TP 的去除率在 31%~77% 之间。尽管水质的波动较大，但系统对 COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN 和 TP 的平均去除率分别为 35%、73%、37% 和 54%。由此可见，系统对各污染物均有较好的去除能力，并对水质水量的波动有一定的适应性。

### 2.2 系统各污染物进水负荷与出水浓度的关系

图 3 可以看出，在试验设定的浓度范围内，渗滤系统中 4 种污染物的出水浓度与进水负荷线性拟合关系较好，有较强的线性相关性。除 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 外，其余污染物出水浓度与进水负荷相关系数均大于 0.9。这一结果与 Sharpley<sup>[20]</sup>在进水负荷的中负荷段研究结果一致。

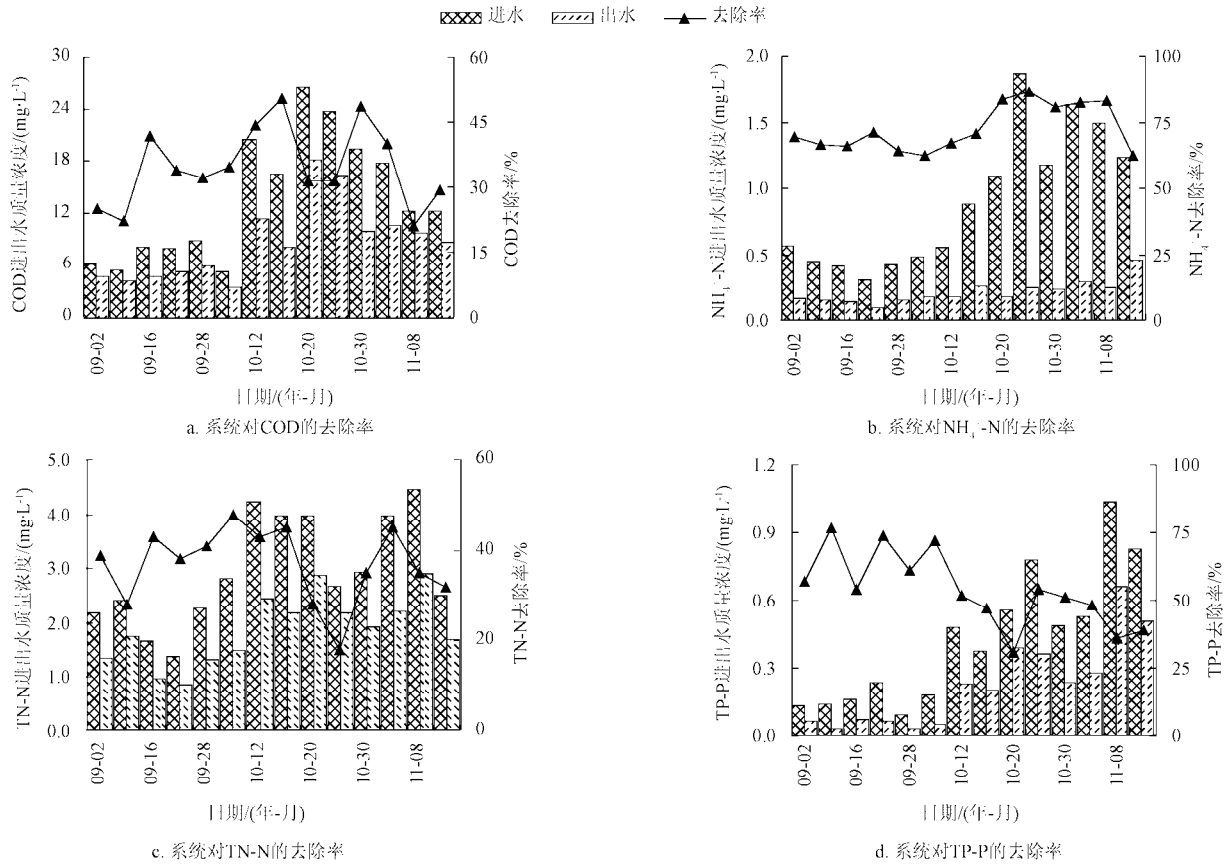


图2 多级渗滤系统对污染物的去除效果

Fig.2 Removal efficiency of pollutants with multi-stage filtration system

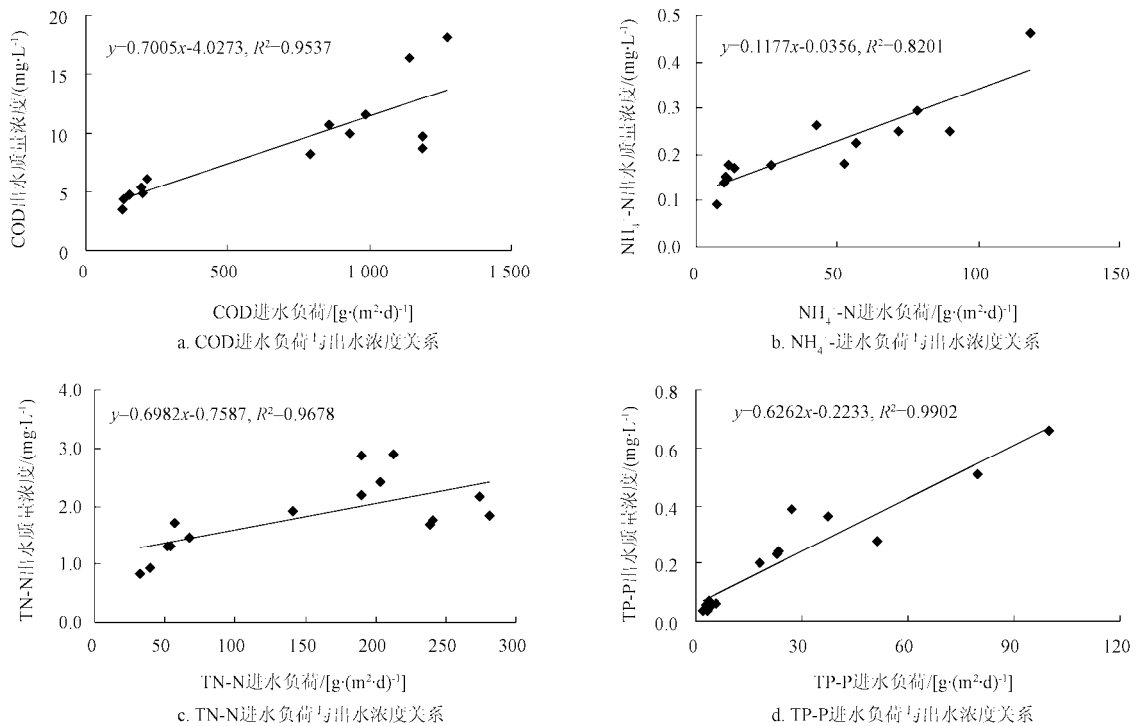


图3 进水负荷与出水浓度关系

Fig.3 Relationships between influent loading and effluent concentration

系统中各污染物进水负荷与出水浓度变化规律不同, 但均表现出出水浓度随着进水负荷的升高而升高, 这符合生物净化的普遍规律<sup>[21]</sup>, 说明渗滤系统对污染物的净化作

用与微生物作用相关。拟合曲线的斜率大小表明系统对该污染物去除的强弱, 即污染物曲线斜率越小, 说明污染物出水浓度越低, 系统对该污染物的去除率越高。从图3中

可以发现，各污染物进水负荷与出水浓度关系拟合曲线中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  斜率最小， $\text{TN-N}$  和  $\text{TP-P}$  斜率相当， $\text{COD}$  斜率最大，说明系统对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  具有较高的去除效果，对  $\text{COD}$  去除效果一般。这也与系统对污染物净化效果曲线一致。

图 3 表明在低进水负荷时，各污染物出水浓度数据点分布较为密集，且相对恒定，尤其是  $\text{COD}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{TP-P}$  最为明显。在高进水负荷时，各污染物出水浓度点较为分散，出水表现不稳定。图中的进水负荷与出水浓度关系表达式可以在给定进水负荷和植物种类后计算出出水浓度，结果可用于校核渗滤系统的设计参数。以试验渗滤系统为例，在系统各污染物出水浓度均满足《地表

水环境质量标准》(GB3838-2002)III类标准的条件下，渗滤系统  $\text{COD}$ 、 $\text{TN-N}$  和  $\text{TP-P}$  的单位面积进水负荷需分别满足  $<500$ 、 $<50$  和  $<30 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

### 2.3 污染物去除负荷与进水负荷的关系

不同污染物单位面积去除负荷与进水负荷关系见图 4。图 4 中污染物单位面积去除负荷和进水负荷的关系采用对数曲线拟合。各污染物拟合曲线均接近对数关系，相关系数较高。在低负荷时，单位面积去除负荷随进水负荷升高而升高，到达一定程度后，去除负荷随进水负荷的升高而逐渐趋平缓，达到一个稳定水平，这与人工湿地对污染物的净化结果类似<sup>[22-23]</sup>。

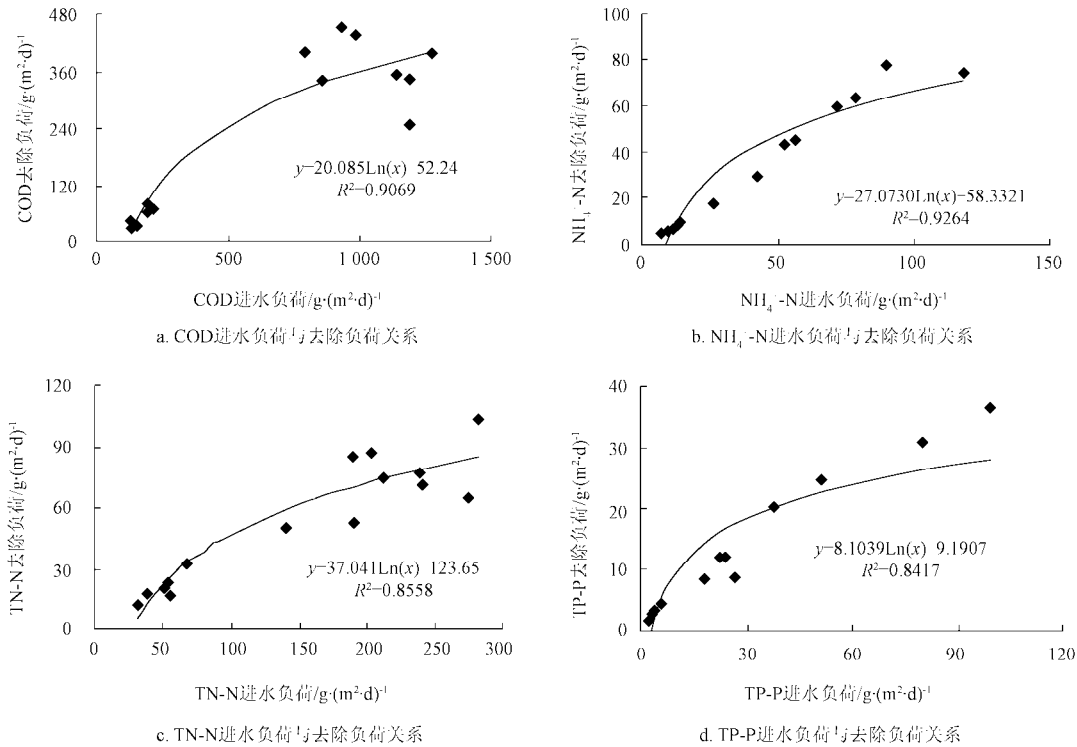


图 4 进水负荷与去除负荷关系

Fig.4 Relationships between influent loading and removal loading

从图 4 中可以看出，在低进水负荷下，各污染物去除负荷数据点分布比较集中，但是在高进水负荷下，各污染物去除负荷点比较分散，这和污染物进水负荷与出水浓度的变化关系一致。各污染物在低进水负荷时，去除负荷变化规律性较好，运行比较稳定，但是在高进水负荷下，污染物去除负荷存在一定波动。特别是  $\text{COD}$ ，在进水负荷高于  $750 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  的情况下，去除负荷变化较大。图中竖直线的位置近似表明系统能够稳定去除  $\text{COD}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{TN-N}$  和  $\text{TP-P}$  的进水负荷，分别为  $500\sim 1000$ 、 $50\sim 100$ 、 $150\sim 200$  和  $30\sim 60 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。在该进水负荷范围下限，系统污染物出水浓度基本能够满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)III类标准；在该进水负荷范围上限，系统污染物出水浓度基本能够满足《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)IV类标准。

### 2.4 系统沿程污染物出水及去除负荷

由图 5 知，系统各级污染物去除负荷呈现逐渐降低

的趋势， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{TN}$  和  $\text{TP}$  去除负荷沿程基本为成倍递减。与之相比， $\text{COD}$  最后一级污染物去除负荷与第二级相差不大。由图 6 可以发现，渗滤系统沿程各级污染物出水负荷逐渐降低，出水浓度在最后一级达到最小值。随着渗滤系统的级数增加，污染物的去除效率逐渐升高。该试验结论与黄沈发等<sup>[24]</sup>滨岸缓冲带对面源污染物的净化效果及李怀恩等<sup>[12]</sup>植被过滤带对地表径流中污染物的净化效果中污染物去除率沿长度变化的结论一致。系统中  $\text{COD}$  出水负荷沿程线性递减，没有出现明显平缓的趋势。系统中各级  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{TN-N}$  和  $\text{TP-P}$  出水负荷的降低并不随着级数的增加而线性递减，而是呈现逐渐平缓的趋势，该试验结果与张伟等<sup>[25]</sup>多级串联式生物接触氧化池级数优化设计的研究中，污染物去除率沿程变化的结论一致。因此渗滤系统中污染物出水负荷的变化兼具滨岸缓冲带、植被过滤带和生物接触氧化池的特点。

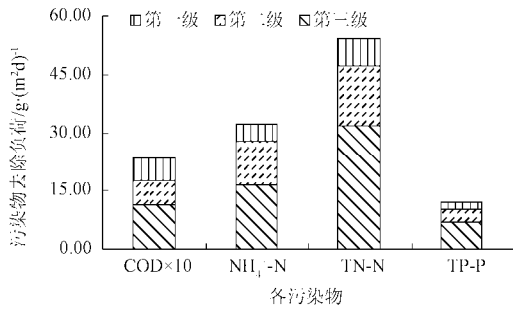


图5 系统沿程污染物去除负荷

Fig.5 Removal loading of pollutants along the system

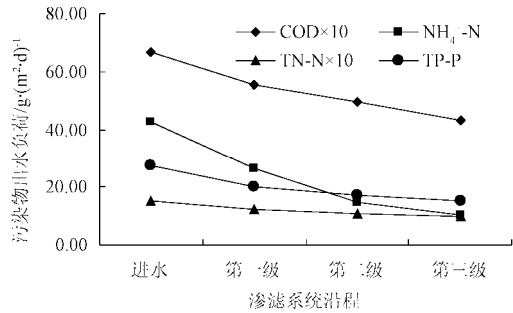


图6 系统沿程污染物出水负荷

Fig.6 Effluent loading along the system

### 3 结论

1) 在渗滤系统控制农业径流污染物的试验中, 系统对污染物具有较好的去除效果, 对 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和 TP 的平均去除率分别为 35%、73%、37% 和 54%。渗滤系统对进水水质水量变化有较好的适应性。

2) 渗滤系统污染物出水浓度与进水负荷具有明显的线性关系。单位面积污染物去除负荷与进水负荷近似服从对数关系。系统能够稳定去除 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN-N 和 TP-P 的进水负荷分别为 500~1 000、50~100、150~200 和 30~60  $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

3) 随着渗滤系统级数的增加, 各污染物的出水负荷和去除负荷均表现出逐渐降低的趋势。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和 TP 去除负荷沿程成倍递减, 出水负荷逐渐趋平。COD 去除负荷最后一级与第二级相差不大, 出水负荷沿程线性递减, 未出现明显平缓的趋势。渗滤系统中污染物沿程出水负荷的变化兼具滨岸缓冲带、植被过滤带和生物接触氧化池的特点。

#### [参 考 文 献]

[1] US EPA. National Water Quality Inventory: Report to Congress Executive Summary[R]. Washington D. C: US EPA, 1995.

[2] Corwin D L, Loague K, Ellsworth H T R. GIS-based modeling of non-point source pollutants in the vadose zone[J]. Soil and Water Conservation, 1998, 53(1): 34-38.

[3] Yan W J, Yin C Q, Zhang S. Nutrient budgets and biogeochemistry in an experimental agricultural watershed in Southeastern China[J]. Biogeochemistry, 1999, 45(1): 1-19.

[4] 朱兆良. 合理使用化肥充分利用有机氮发展环境友好的施肥体系[J]. 中国科学院院刊, 2003, 18(2): 89-93.  
Zhu Zhaoliang. Fertilizer management strategies for the harmonization of agriculture development with environment protection[J]. Bulletin of the Chinese academy of sciences, 2003, 18(2): 89-93. (in Chinese with English abstract)

[5] 朱兆良, David Norse, 孙波, 等. 中国农业面源污染控制对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.

[6] 李贵宝, 尹澄清, 周怀东. 中国“三湖”的水环境问题和防治对策与管理[J]. 水问题论坛, 2001(3): 36-39.  
Li Guibao, Yin Chengqing, Zhou Huaidong. Water environmental problems and policy and management for controlling on “three lakes” in China [J]. Water Forum, 2001(3): 36-39. (in Chinese with English abstract)

[7] Anbumozhi V, Radhakrishnan J, Yamaji E. Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations[J]. Ecological Engineering, 2005, 24(5): 517-523.

[8] 金可礼, 陈俊, 龚利民. 最佳管理措施及其在非点源污染控制中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(1): 37-40; 109-121.  
Jin Keli, Chen Jun, Gong Limin. Best management practices and application of non-point sources pollution control[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2007, 18(1): 37-40; 109-121. (in Chinese with English abstract)

[9] 仓恒瑾, 许炼峰, 李志安, 等. 农业非点源污染控制中的最佳管理措施及其发展趋势[J]. 生态科学, 2005, 24(2): 173-177.  
Cang Hengjin, Xu Lianfeng, Li Zhian, et al. Using best management practices to control agricultural non-point source pollution[J]. Ecological Science, 2005, 24(2): 173-177. (in Chinese with English abstract)

[10] 林镇洋, 邱逸文著. 生态工法概论[M]. 台湾: 明文书局, 2004.

[11] 陈洪波, 王业耀. 国外最佳管理措施在农业非点源污染防治中的应用[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(4): 279-282.  
Chen Hongbo, Wang Yeyao. Best management practices for controlling non-point source pollution[J]. Environmental Pollution and Control, 2006, 28(4): 279-282. (in Chinese with English abstract)

[12] 李怀恩, 邓娜, 杨寅群, 等. 植被过滤带对地表径流中污染物的净化效果[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 81-86.  
Li Huaien, Deng Na, Yang Yinqun, et al. Clarification efficiency of vegetative filter strips to several pollutants in surface runoff[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(7): 81-86. (in Chinese with English abstract)

[13] Martin C, RuPerd Y, Legret M. Urban stormwater drainage management: The Development of a multiteria decision aid approach for best management Practices[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 181(1): 338-349.

[14] Kem J, Idler C. Treatment of domestic and agricultural wastewater by reed bed systems[J]. Ecological Engineering, 1999, 12(1/2): 13-25.

- [15] Quanrud D M, Hafer J, Karp iscak M M, et al. Fate of organics during soil2aquifer treatment: sustainability of removals in the field[J]. *Water Research*, 2003, 37(14): 3401–3411.
- [16] Sabbah I, Ghattas B, Hayeek A, et al. Intermittent sand filtration for wastewater treatment in rural areas of the Middle-East-apilot study[J]. *Water Science and technology*, 2003, 48(11/12): 147–152.
- [17] Barbosa A E, Hvitved J T. Infiltration pond design for highway runoff treatment in semiarid climates [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2001, 127(11): 1014–1022.
- [18] Nogaro G, Mermillod B F, Montuelle B, et al. Influence of a stormwater sediment deposit on microbial and biogeochemical processes in infiltration porous media[J]. *Science of the Ttotal Eenvironment*, 2007, 377(2/3): 93–97.
- [19] 许萍, 李俊奇, 郭靖, 等. 北京城区雨水人工土植物系统水质净化研究[J]. *北京建筑工程学院学报*, 2005, 21(4): 45–50. Xu Ping, Li Junqi, Guo Jing, et al. Research on removal of pollutants from stormwater using artificial soil and plant system by experimentation in Beijing [J]. *Journal of Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture*, 2005, 21(4): 45–50. (in Chinese with English abstract)
- [20] Sharpley A. Identifying sites vulnerable to phosphorus loss in agricultural runoff[J]. *Journal of environmental quality*, 1995, 24(5): 947–951.
- [21] 张荣社, 李广贺, 周琪, 等. 潜流人工湿地负荷变化对脱氮效果的影响研究[J]. *环境科学*, 2006, 27(2): 253–256. Zhang Rongshe, Li Guanghe, Zhou Qi, et al. Relationships between loading rates and nitrogen removal effectiveness in subsurface constructed wetlands[J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2006, 27(2): 253–256. (in Chinese with English abstract)
- [22] Kadlec R H, Knight R L. *Treatment Wetlands*[M]. Boca Raton: CRC Press, 1996.
- [23] Tanner C C, Sukias J P S, Upsdell M P. Relationships between loading rates and pollutant removal during maturation of gravel-bed constructed wetlands[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998b, 27(2): 448–458.
- [24] 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): 722–728. Huang Shenfa, Wu Jianqiang, Tang Hao, et al. Study of clarification for riparian-buffer to non-point pollution [J]. *Advances in Water Science*, 2008, 19(5): 722–728. (in Chinese with English abstract)
- [25] 张伟, 刘振鸿. 多级串联式生物接触氧化池的优化设计[J]. *中国纺织大学学报*, 2000, 26(5): 37–39. Zhang Wei, Liu Zhenhong. Optimal design of series biological contact oxidation system[J]. *Journal of China Textile University*, 2000, 26(5): 37–39. (in Chinese with English abstract)

## Impacts of the loading rate on the performance of a multi-stage filtration system removing pollutants in agricultural runoff

Huang Lei, Gao Xu<sup>\*</sup>, Xie Weidan, Chen Junhong, Ma Xiaoxia

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

**Abstract:** A multi-stage filtration system was built to indicate the impact of the loading rate on its performance in removing pollutants in agricultural runoff, which was located next to Lushan river in Gaofeng Town of Chongqing . The system was adaptive to variation of inflow quality and quantity. The average removal rates of chemical oxygen demand (COD), ammonia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) were 35%, 73%, 37% and 54%, respectively. The effluent concentration increased with the increase of influent loading linearly. There was a significant logarithmic correlation between removal loading per unit area of the system and influent loading. The system was stable at low influent loading, but at high influent loading, the removal rate varied more. The removal loading and the effluent loading decreased steadily with the increase of the stages. Characteristics of clarification, vegetative filter strips and biological contact oxidation pond were combined in the filtration system.

**Key word:** nitrogen, phosphorus, loads, multi-stage filtration system, agricultural runoff