ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第10期

Vol.34 No.10

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

中国期刊方阵 双奖期刊 中华人民共和国新闻出版总署

环境科学
(HUANJING KEXUE) ENVIRONMENTAL SCIENCE
第34卷 第10期
2013年10月15日

目 次

南京地区大气气溶胶 $PM_{2.1}$ 中稳定碳同位素组成研究 …… 吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,孙德玲,卢霞,姜文娟(3727)
太原市空气颗粒物中正构烷烃分布特征及来源解析 …… 胡冬梅,彭林,白慧玲,牟玲,韩锋,刘效峰,冀豪栋,张鹏九(3733)
交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究 …… 罗娜娜,赵文吉,晏星,宫兆宁,熊秋林(3741)
公交车燃用生物柴油的颗粒物排放特性 …… 楼狄明,陈峰,胡志远,谭丕强,胡炜(3749)
兰州及其周边区域大气降水 $\delta^{18}O$ 特征及其水汽来源 …… 陈粉丽,张明军,马潜,李小飞,王圣杰,李菲(3755)
天山乌鲁木齐河源1号冰川区气溶胶水溶性离子变化特征及来源分析 …… 岳晓英,李忠勤,张明军,周平,樊晋(3764)
O_3/H_2O_2 氧化苯乙烯气体性能及机制 …… 何觉聪,黄倩茹,叶杞宏,罗雨薇,张再利,樊青娟,魏在山(3772)
马尾松针叶组织稳定硫同位素地球化学特征及来源示踪 …… 关晖,肖化云,朱仁果,郑能建,瞿玲露(3777)
江西省表层土壤和苔藓硫含量及硫同位素组成对比研究 …… 李男,肖化云,陈永忠,周丹,罗笠,吴代赦(3782)
辽河流域非点源污染空间特征遥感解析 …… 王雪蕾,蔡明勇,钟部卿,姚延娟,殷守敬,吴迪(3788)
景观带尺度高寒区水文特征时空变化规律研究 …… 杨永刚,胡晋飞,肖洪浪,邹松兵,尹振良(3797)
金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征 …… 游丽丽,宗海波,张淑芳,尹国宇,李涛,侯立军(3804)
崇明东滩湿地干湿交替过程脲酶活性变化初探 …… 韩建刚,曹雪(3810)
FDA 水解酶分析法表征近海泥滩微生物活性 …… 刘叶,邹立,刘陆,高冬梅(3818)
中国东北主要河流沉积物中多溴二苯醚的含量状况及生态风险分析 …… 聂海峰,成杭新,赵传冬,刘应汉,杨柯,李括,彭敏,刘飞(3825)
深圳大鹏湾海域表层沉积物和生物体中多环芳烃残留及其风险评价 …… 孙闰霞,柯常亮,谷阳光,卢腾腾,杜飞雁,马胜伟,林钦(3832)
PMF 和 PCA/MLR 法解析上海市高架道路地表径流中多环芳烃的来源 …… 边璐,李田,侯娟(3840)
三峡库区蓄水初期大宁河重金属食物链放大特征研究 …… 余杨,王雨春,周怀东,高博,赵高峰(3847)
小型封闭水体环境因子与叶绿素 a 的时空分布及相关性研究 …… 李飞鹏,张海平,陈玲(3854)
太湖氮、磷自净能力的实验与模型模拟 …… 韩涛,翟淑华,胡维平,张红举,李钦钦(3862)
湖泊疏浚方式对内源释放影响的模拟研究 …… 陈超,钟继承,范成新,孔明,余居华(3872)
水体/底泥生物基城市河道富营养化水体修复试验研究 …… 周慧华,宋晓光,吴革,谢鑫源(3879)
底泥调控剂对感潮河涌沉积物中重金属的影响 …… 区凤莊,孙国萍,许玫英(3888)
区域水化学条件对淮南采煤沉陷区水域沉积物磷吸附特征的影响研究 …… 易齐涛,孙鹏飞,谢凯,曲喜杰,王婷婷(3894)
4 种人工湿地填料的 f2 噬菌体吸附特性 …… 陈迪,郑祥,魏源送,杨勇(3904)
稻壳灰对抗生素磺胺的吸附特性研究 …… 纪营雪,王风贺,张帆,张艳红,王国祥,顾中铸(3912)
紫外辐射对腐殖酸化学稳定性影响机制研究 …… 王文东,周礼川,丁真真,王洪平,孙学军(3921)
基于石墨烯载体的铁基材料制备及除砷性能比较 …… 朝木尔乐格,冯流,霍艳霞(3927)
$nTiO_2$ 在水中的分散沉降行为研究 …… 陈金媛,方金凤,魏秀珍(3933)
微生物-铁氧化物交互作用对黄土中砷活化迁移的影响 …… 谢芸芸,陈天虎,周跃飞,谢巧勤(3940)
两性离子在聚偏氟乙烯(PVDF)膜表面接枝改性的研究 …… 周桂花,肖峰,肖萍,王东升,段晋明,石健,臧莉(3945)
化粪池排口处土壤对典型农户生活污水氮素污染物的消减测算研究 …… 周锋,王文林,王国祥,马久远,万寅婧,唐晓燕,梁斌,季斌(3954)
珠江三角洲典型集约化猪场废水污染特征及风险评价 …… 李文英,彭智平,于俊红,黄继川,徐培智,杨少海(3963)
污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响 …… 金树权,周金波,陈若霞,林斌,王德耀(3969)
活性污泥絮体粒径分布与分形维数的影响因素 …… 李振亮,张代钧,卢培利,曾善文,杨永浩(3975)
不同恢复方式对硝化颗粒污泥活性的影响 …… 郭秀丽,高大文,卢健聪(3981)
生物陶粒反应器的氢自养反硝化研究 …… 陈丹,王弘宇,宋敏,杨开,刘晨(3986)
亚高山草甸土壤呼吸的空间异质性研究 …… 严俊霞,李君剑,李洪建,张义辉(3992)
SiB3 模式对作物区 CO_2 通量的模拟研究 …… 张庚军,卢立新,蒋玲梅,蒋磊,Ian Baker(4000)
缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响 …… 徐鹏,江长胜,郝庆菊,祝滔(4009)
典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价:以许昌市为例 …… 闫慧,陈杰,肖军(4017)
苏州、无锡和南通道路灰尘中的多溴联苯醚和多氯联苯 …… 史双昕,董亮,李玲玲,张辉,李斯明,张天野,黄业茹(4024)
废旧汽车拆解区土壤中多环芳烃垂向分布特性 …… 吴彦瑜,胡小英,洪鸿加,彭晓春(4031)
铬污染土壤的稳定化处理及其长期稳定性研究 …… 王旌,罗启仕,张长波,谈亮,李旭(4036)
典型磺胺类抗生素在土柱中的淋溶规律研究 …… 李曼,陈卫平,魏福祥,焦文涛(4042)
3 种金属氧化物纳米材料在不同土壤中运移行为研究 …… 方婧,余博阳(4050)
多孔介质中 NAPLs 流体毛细管指进形态及分形表征 …… 李慧颖,杜晓明,杨宾,伍斌,徐竹,史怡,房吉敦,李发生(4058)
毛竹入侵对常绿阔叶林主要树种的化感作用研究 …… 白尚斌,周国模,王懿祥,梁倩倩,陈娟,程艳艳,沈蕊(4066)
珠江口典型水产养殖区抗生素抗性基因污染的初步研究 …… 梁惜梅,聂湘平,施震(4073)
江苏盐城地区水产品重金属含量与安全评价 …… 刘洋,付强,高军,徐网谷,殷波,曹亚乔,秦卫华(4081)
铜胁迫对不同基因型谷子幼苗基因组 DNA 多态性的影响 …… 张义贤,付亚萍,肖志华,张喜文,李萍(4090)
利用高通量测序对封存 CO_2 泄漏情景下土壤细菌的研究 …… 田地,马欣,李玉娥,查良松,伍洋,邹晓霞,刘爽(4096)
酸性矿山废水区域废矿石中真核生物多样性分析 …… 李思远,郝春博,王丽华,吕铮,张丽娜,刘莹,冯传平(4105)
十溴联苯醚降解菌的特性及功能蛋白初步分析 …… 常晶晶,尹华,秦华明,叶锦韶,彭辉,宋小飞(4112)
硒对水稻吸收积累和转运锰、铁、磷和硒的影响 …… 胡莹,黄益宗,黄艳超,刘云霞,梁建宏(4119)
外源铁对不同番茄品种生理特性、镉积累及化学形态的影响 …… 刘俊,周坤,徐卫红,陈惠,张明中,江玲,杨芸,王崇力,熊治庭(4126)
电子废物排放持久性有毒污染物的控制政策分析 …… 李力,吕永龙,王铁宇(4132)
《环境科学》征稿简则(3926) 《环境科学》征订启事(4057) 信息(3878,3953,3999,4041)

化粪池排口处土壤对典型农户生活污水氮素污染物的消减测算研究

周锋[1],王文林[1,2*],王国祥[1],马久远[1],万寅婧[3],唐晓燕[2],梁斌[2],季斌[4]
(1. 南京师范大学地理科学学院,江苏省环境演变与生态建设重点实验室,南京 210023; 2. 环境保护部南京环境科学研究所,南京 210042; 3. 江苏省环境工程咨询中心,南京 210029; 4. 南通市通州区环境保护局,南通 226300)

摘要: 原位采集太湖流域平原河网地区典型农户化粪池排口处的表层土壤及化粪池出水,人工模拟研究区域的典型降水(夏季 30 mm·次$^{-1}$、冬季 5 mm·次$^{-1}$)、气温(夏季 27℃、冬季 5℃)条件以及排污负荷进行室内模拟土柱实验,测算不同季节、不同天气过程(雨前 7 d、雨天 3 d、雨后 7 d)化粪池排口处土壤对农村生活污水氮素污染物的消减率/增加率,并探讨其消减增加规律. 结果表明,排污口土壤 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率均存在显著的季节性差异($P<0.05$); 夏季 TN 消减率、NO_3^--N增加率在不同天气过程(雨前、雨天、雨后)存在显著差异($P<0.01$),而夏季NH_4^+-N消减率和冬季 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率则无显著差异($P>0.05$); 因此,TN、NH_4^+-N消减率和NO_3^--N增加率均需按季节进行划分,夏季 TN 消减率、NO_3^--N增加率还需按天气过程进行划分,夏季雨前、雨天、雨后分别为 38.5%、-25.0%、46.0% 和 478.1%、913.8%、382.0%,而夏季NH_4^+-N消减率和冬季 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率则无需按天气过程进行划分,分别为 91.5%、50.4%、85.5% 和 276.0%; 夏季雨前、雨天及雨后 TN 消减率与NH_4^+-N消减率不相关,但与NO_3^--N增加率呈显著负相关,冬季土壤中 TN 的稳定蓄积是冬季雨前、雨天及雨后 TN 消减率无显著性差异并保持较高水平的重要原因,且其与NH_4^+-N在土壤中的稳定蓄积密切相关.

关键词:化粪池; 生活污水; 土壤; 氮素; 消减率; 测算
中图分类号: X52 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2013)10-3954-09

Estimate the Abatement Rate of Septic Tank Sewage Outfall Soil on Nitrogen Pollutants of Typical Farmer Household Sewage

ZHOU Feng[1], WANG Wen-lin[1,2], WANG Guo-xiang[1], MA Jiu-yuan[1], WAN Yin-jing[3], TANG Xiao-yan[2], LIANG Bin[2], JI Bin[4]
(1. Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China; 3. Jiangsu Environmental Engineering Consulting Center, Nanjing 210029, China; 4. Tongzhou District Environmental Protection Bureau of Nantong, Nantong 226300, China)

Abstract: The surface soil on sewage outfall and effluent of farmer household septic tank were collected in situ from the typical region of plain river network areas in Taihu Lake Basin, and the typical rainfall (summer 30 mm·times^{-1}, winter 5 mm·times^{-1}), temperature (summer 27℃, winter 5℃) condition and pollutant load were artificial simulated by indoor simulation soil column experiments for estimating nitrogen abatement rate of rural sewage treated by the outfall soil and exploring the abatement rule in different seasons and weather process (7 days before the rain, 3 rainy days, 7 days after the rain). Results showed that: there was the significant difference ($P<0.05$) in abatement/increase rate of outfall soil on nitrogen between summer and winter. The TN abatement rate, NO_3^--N increase rate of summer showed a significant difference ($P<0.01$) among different weather processes, but the NH_4^+-N abatement rate of summer and the TN, NH_4^+-N abatement rate, NO_3^--N increase rate of winter were not significant ($P>0.05$). Therefore, the TN, NH_4^+-N abatement rate, NO_3^--N increase rate need to be divided by seasons, TN abatement rate, NO_3^--N increase rate of summer need to be divided by the weather process, which were 38.5%, -25.0%, 46.0% and 478.1%, 913.8%, 382.0%, before the rain, in rainy day, after the rain, respectively; while the NH_4^+-N abatement rate of summer and the TN, NH_4^+-N abatement rate, NO_3^--N increase rate of winter do not need to be divided by weather process, were 91.7%, 50.4%, 85.5% and 276.0%, respectively. In the summer, the TN abatement rate in different weather processes was not correlated with NH_4^+-N abatement rate, but significantly negative correlated with NO_3^--N increase rate. In the winter, the stable accumulation of TN in soil was an

收稿日期: 2013-01-01; **修订日期**: 2013-02-27
基金项目: 国家国际科技合作项目(2010DFB93700); 环境保护公益性行业科研专项(201309035); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07506-007, 2012ZX07101-008); 环境保护部南京环境科学研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项
作者简介: 周锋(1987~),男,硕士,主要研究方向为水环境治理及生态修复,E-mail: zhoufeng-198704@163.com
* 通讯联系人,E-mail: wangwenlin_jjl@126.com

important reason of the TN abatement rate which had no significant difference and kept a high level among different weather processes, and it was closely related to the stable accumulation of NH_4^+-N in soil.

Key words: septic tank; rural sewage; soil; nitrogen; abatement rate; estimation

目前,农村生活污染源已成为太湖流域氮、磷污染的重要来源[1,2],但其污染现状至今尚不清晰,已成为制约太湖流域环境管理决策、面源污染控制的重要因素. 2008 年开展的全国第一次农村污染源普查,首次对农村生活污水生产量进行了系统监测,得到了以"人体"为排放界限的排污系数[3,4]. 王文林等[5]对太湖流域典型农户生活污水的综合利用及处理情况进行了调查监测,得到了以"农户小环境"为排放界限的排污系数. 上述研究仅得到了未经自然环境要素衰减的净排放,而农村生活污水中富含的污染物在入渗土壤后经地表地下径流汇入地表水体的过程中污染物会出现明显衰减[6,7],其中土壤尤其是营养物质输移、转化行为集中的表层土壤的消减截留起着十分重要的作用[8,9],这一点在沟渠密布的太湖流域农村显得尤为突出[10],太湖流域污染物经过表层土壤渗滤后很容易进入水体. 因此开展表层土壤对污染物的消减测算研究对于估算太湖流域农村生活污水入湖污染负荷具有重要意义. 目前,国内外针对土壤对生活污水中污染物消减的研究主要集中在土壤渗滤处理技术方面,如不同土壤介质[11,12]、污染负荷[13]、温度[14]等因素对污染物去除效果的影响,而基于表层土壤对农村生活污水污染物的消减测算为目的的研究还鲜见报道.

污染物的消减测算研究应遵循排污的客观规律[5],测算工作中将诸如生活污水排放特征、污染负荷、排污口土壤性质、降水、气温等客观条件真实反映能有效提高测算结果的准确性. 由此,本研究以水体富营养化的主要控制性指标氮素为研究对象,依据太湖流域农村生活污水中厕所污水污染负荷贡献率极高[5]及一般通过三格式化粪池排放[15]的现状,原位采集典型农户化粪池排口处的表层土壤及化粪池出水,依托已有排污系数研究成果[5]确定排污负荷,并人工模拟研究地典型降水、气温条件进行室内模拟实验,测算化粪池排口处土壤对农村生活污水氮素污染物的消减率/增加率,并探讨其消减增加规律,以期为太湖流域农村生活污水氮素污染入湖污染负荷测算提供依据.

1　材料与方法

1.1　排污口土壤

表层土壤采自江苏省宜兴市大浦镇浦南中心村(119°55′27″E, 31°18′46″N)农户化粪池排污口附近. 浦南中心村是由大浦村、浦南村、浦北村、汤庄村等村合并而成的中心村,位于江苏省宜兴市东郊 3 km,东临太湖,属鬲太水系的典型河网区,截至 2008 年,全村 930 户,总人口3 055人,人口稠密,大部分农居沿河、路呈带状相对集中分布,该村属我国农村经济高度发达地区[16]. 地区年平均气温 16.0℃,夏季平均气温 26.7℃,冬季平均气温 4.6℃;年降雨量约为1 300 mm,夏季降雨量 550 mm,冬季降雨量 110 mm[17]. 研究区土壤类型为潮土,其基本理化性质如表 1 所示,排污口土壤肥力显著高于非排污口土壤.

表 1　研究区表层土壤基本理化性质

Table 1　Basic physicochemical properties of surface soil in the study area

土壤类型	TN /g·kg^{-1}	NH_4^+-N /mg·kg^{-1}	NO_3^--N /mg·kg^{-1}	有机质 /g·kg^{-1}	含水率 /%	孔隙度 /%	颗粒组成/%		
							黏粒 (<0.005 mm)	粉粒 (0.005~0.075 mm)	沙粒 (0.075~2 mm)
排污口土壤	1.61	26.88	70.02	25.57	28.0	46.9	4.1	67.4	28.5
非排污口土壤	0.94	14.84	26.88	11.42	26.4	54.4	5.5	76.6	17.9

1.2　实验设计

2012 年 7 月,在浦南中心村按高、中、低收入水平(根据国家普查办拟订的太湖流域人均年收入水平划分标准:高收入 >9 000 元,7 000 元≤中等收入≤9 000 元,低收入 <7 000元),各选择 1 户农户(农户基本概况见表 2),于其三格式化粪池排口处,使用有机玻璃柱状采样器(Φ100 mm × H 300 mm)原位采集厚度为 20 cm 土壤表层柱状样,土样采集后使用橡胶塞从底部密封土柱(图 1),每户农户采集 6 个共 18 个土柱. 实验分两组进行,模拟研究区典型气候周期(夏季和冬季)的温度及降雨条件,夏季实验组和冬季实验组各 9 个土柱(每组实验从每户农户各取 3 个土柱)分别置于气候箱(RZH-268A)中,具体降雨、温度、排污负荷模拟值及设计

依据详见表 3.

为尽可能模拟夏季和冬季所处的实验环境,自 7 月 4 日开始,每天分 4 次向土柱中添加原位采集的化粪池出水模拟厕所污水排污,根据设计条件分

表 2 监测农户基本概况

Table 2 General information of monitoring households

农户类型	收入水平 /元·(人·a)$^{-1}$	农业收入 /元·(人·a)$^{-1}$	职业构成	常住人口
高收入	10 000 ~ 11 000	≈1 500	自由职业者,公务员	3
中收入	8 000 ~ 8 200	≈3 000	工厂打工	3
低收入	6 300 ~ 6 500	≈4 000	务农	3

表 3 降雨、温度、排污负荷模拟值及设计依据

Table 3 Simulation value of rainfall, temperature, pollution load and design basis

季节	降雨模拟		温度模拟		排污负荷模拟	
	模拟值	设计依据[17]	模拟值	设计依据[17]	模拟值	设计依据[5, 18]
夏季	30 mm·次$^{-1}$ 共 3 次	研究区夏季单次平均雨量约为 30 mm	27℃	研究区夏季平均气温 26.7℃	加化粪池出水 80 mL·d^{-1} 折合 TN:(18.34 ± 0.45) mg	户均厕所排污量:41.8 L·d^{-1} 排污口影响土壤面积:4.0 m^2
冬季	5 mm·次$^{-1}$ 共 3 次	研究区冬季单次平均雨量约为 5 mm	5℃	研究区冬季平均气温 4.6℃	NH_4^+-N:(16.21 ± 0.32) mg NO_3^--N:(1.69 ± 0.09) mg	实验土柱面积:0.007 8 m^2

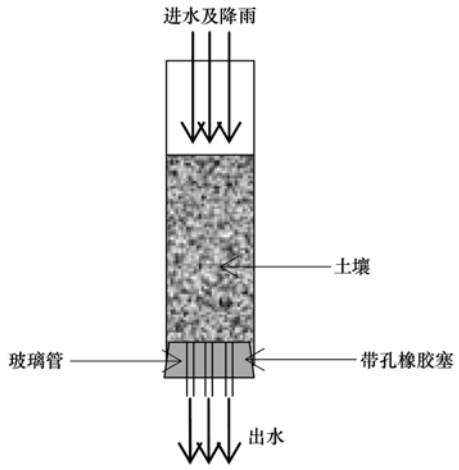

图 1 实验装置示意

Fig. 1 Sketch map of the equipment for experiment

别进行夏季和冬季的土壤排污培养,培养期间每天监测进出水氮素的质量浓度,直至出水氮素质量浓度保持相对恒定后,于 7 月 19 日实验正式开始. 先进行 7 d 无雨排污实验(雨前),而后 7 d 内进行 3 次模拟降雨(降雨用水为自来水,降雨装置采用中国科学院生态环境研究中心环境水化学国家实验室设计的人工降雨模拟装置[19])状态下的排污实验(雨天),降雨停止后继续进行 7 d 排污实验(雨后),实验具体设计过程如表 4.

1.3 采样与分析

用小烧杯置于土柱底部玻璃管出口处收集渗出水,每天模拟排污前采集前一天的渗出水,测定进水(化粪池出水)、渗出水的体积、TN、NH_4^+-N 及 NO_3^--N 质量浓度. 实验开始、雨天开始、雨天结束

表 4 实验设计过程

Table 4 Process of experimental design

实验设计阶段	时间	降雨模拟	温度模拟	排污模拟
土壤排污培养	7 月 4 日 ~ 7 月 18 日	/	夏季 27℃ 冬季 5℃	三格式化粪池出水:每天于 08:00、12:00、16:00、20:00 分别向土柱中均匀添加 20 mL(共 4 次,总计 80 mL·d^{-1})
雨前	7 月 19 日 ~ 8 月 25 日	/		
雨天(7 月 26 日、7 月 29 日、8 月 1 日)	7 月 26 日	夏季 30 mm·次$^{-1}$,冬季 5 mm·次$^{-1}$,每次历时 90 min		
	7 月 27 日、28 日	/		
	7 月 29 日	夏季 30 mm·次$^{-1}$,冬季 5 mm·次$^{-1}$,每次历时 90 min		
	7 月 30 日、31 日	/		
	8 月 1 日	夏季 30 mm·次$^{-1}$,冬季 5 mm·次$^{-1}$,每次历时 90 min		
雨后	8 月 2 日 ~ 8 月 8 日	/		

及实验结束时,采集柱状土壤样品,测定其 TN、NH_4^+-N、NO_3^--N含量及含水率.

水样中 TN、NH_4^+-N 及 NO_3^--N浓度使用连续流动分析仪(SKALAR-SAN^{++},荷兰)测定;土壤中 NH_4^+-N、NO_3^--N含量由 KCl 溶液浸提后[20]经连续流动分析仪(SKALAR-SAN^{++},荷兰)测定,TN 含量由碱性过硫酸钾消解后经紫外分光光度法测定[21],含水率的测定采用烘干称质量法[22].

1.4　数据计算

进水氮素污染物量:

$$Q_{i,k} = c_{i,k} \times V_i \quad (1)$$

式中,$Q_{i,k}$为进水中第 k 种氮素污染物的量(mg);$c_{i,k}$为进水中第 k 种氮素污染物的质量浓度($mg \cdot L^{-1}$);V_i 为进水体积(L).

出水氮素污染物量:

$$Q_{e,k} = c_{e,k} \times V_e \quad (2)$$

式中,$Q_{e,k}$为出水中第 k 种氮素污染物的量(mg);$c_{e,k}$为出水中第 k 种氮素污染物的质量浓度($mg \cdot L^{-1}$);V_e 为出水体积(L).

氮素污染物的消减率/增加率:

$$\eta_k = \pm \frac{Q_{i,k} - Q_{e,k}}{Q_{i,k}} \times 100\% \quad (3)$$

式中,η_k 为经土壤处理后第 k 种氮素污染物的消减率/增加率(取"+"时用于 TN、NH_4^+-N消减率计算,取"-"时用于NO_3^--N增加率计算).

各天气过程(雨前、雨天、雨后)氮素污染物的平均消减率/增加率:

$$\lambda_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \eta_{k,i} \quad (4)$$

式中,λ_k 为第 k 种氮素污染物各天气过程的平均消减率/增加率(%);n 为各天气过程对应的天数.

1.5　数据分析

用 Microsoft Excel 软件进行实验数据统计及图表制作. 用 SPSS 18.0 统计软件对实验数据进行处理和分析,对 TN、NH_4^+-N消减率及NO_3^--N增加率及土壤蓄积量在不同季节(夏季和冬季)、不同天气过程(雨前、雨天及雨后)的差异进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和单样本 t 检验(One-sample t-test),极显著水平设置为 $\alpha = 0.01$、显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$.

2　结果与分析

2.1　进水氮素污染物量

通过对进水(包括污水和雨水)氮素污染物量的测定发现,雨水中氮素含量低(TN 1.96 $mg \cdot L^{-1}$、NH_4^+-N 0.07 $mg \cdot L^{-1}$、NO_3^--N 1.83 $mg \cdot L^{-1}$),并未对进水氮素污染物总量构成显著影响,因此雨水中氮素含量可忽略不计,夏季和冬季实验进水氮素污染物量无显著差异($P > 0.05$),且实验进程中进水氮素污染物量保持稳定(图 2),氮素污染物消减率/增加率的变化实际上反映了出水氮素污染量的变化.

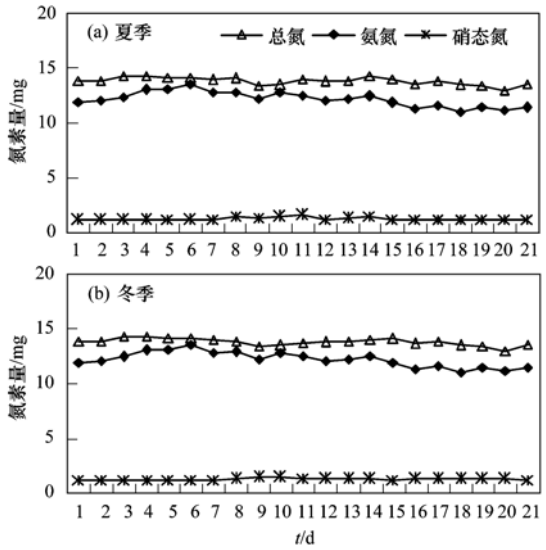

图 2　进水氮素污染物量

Fig. 2　Quality of influent nitrogen pollutants

2.2　雨前氮素污染物消减率/增加率

雨前土壤对氮素污染物的消减增加情况如图 3

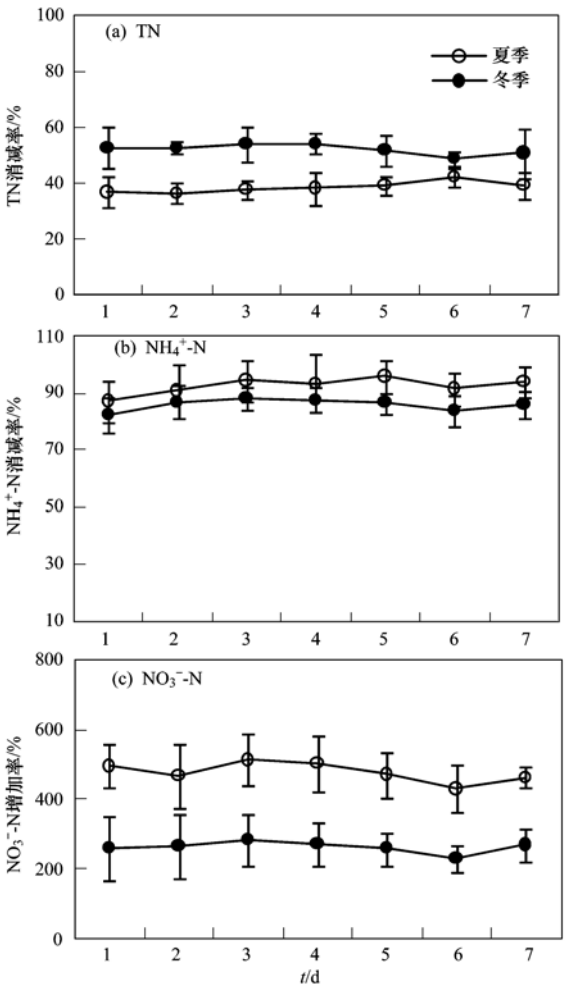

图 3　雨前氮素污染物消减率/增加率变化

Fig. 3　Variation of nitrogen pollutants abatement rate/increase rate before the rain

所示,无论夏季、冬季,雨前 7 d 土壤 TN、NH_4^+-N消减率及NO_3^--N增加率均无显著变化($P>0.05$). 取 7 d 的平均消减率/增加率作为雨前消减率/增加率后对季节因素进行方差分析,结果表明雨前土壤 TN、NH_4^+-N消减率及NO_3^--N增加率季节性差异极为显著,NH_4^+-N消减率表现为夏季(92.8%)>冬季(86.4%)($P<0.01$),NO_3^--N增加率也表现为夏季(478.1%)>冬季(264.2%)($P<0.001$),而 TN 消减率表现为冬季(52.0%)>夏季(38.5%)($P<0.001$).

2.3 雨天及雨后氮素污染物消减率/增加率

雨天及雨后土壤对氮素污染物的消减增加情况如图 4 所示. 取 3 d 降雨天的平均消减率/增加率作为雨天消减率/增加率,对季节因素进行方差分析后发现,雨天土壤 TN、NH_4^+-N消减率及NO_3^--N增加率季节性差异极为显著,NH_4^+-N消减率表现为夏季(89.8%)>冬季(84.4%)($P<0.01$),NO_3^--N增加率也表现为夏季(913.8%)>冬季(284.6%)($P<0.001$),TN 消减率则表现为冬季(48.9%)>夏季(-25.0%)($P<0.001$).

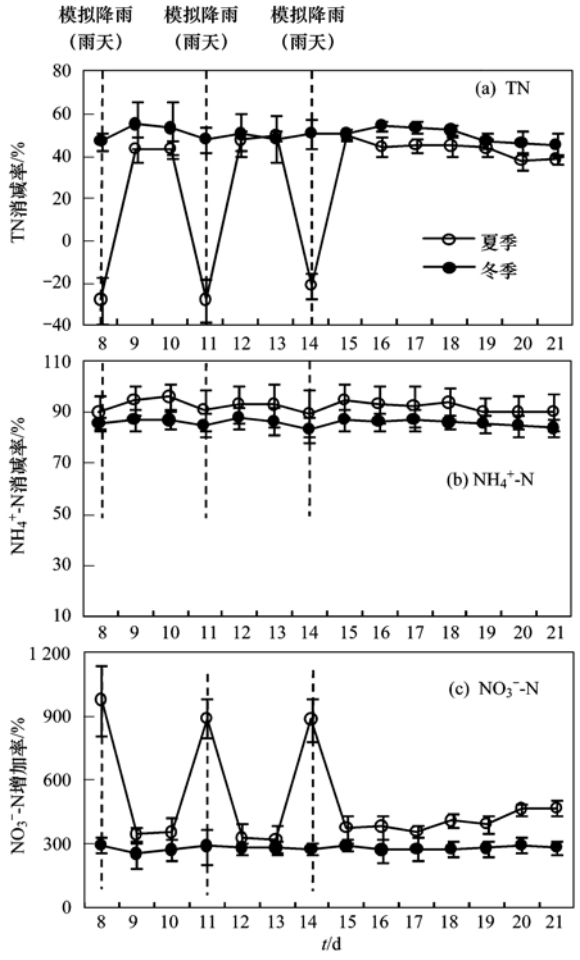

图 4 雨天及雨后氮素污染物消减率/增加率变化

Fig. 4 Variation of nitrogen pollutants abatement rate/increase rate in the rainy day and after the rain

通过对夏季、冬季雨后 1~7 d TN、NH_4^+-N消减率及NO_3^--N增加率与雨前平均水平进行 t 检验后发现,夏季雨后 1~5 d 的 TN 消减率显著高于雨前平均消减率($P<0.05$),NO_3^--N增加率显著低于雨前平均增加率($P<0.05$),6~7 d 则无显著差异,而夏季 NH_4^+-N 消减率、冬季 TN、NH_4^+-N 消减率、NO_3^--N增加率雨后 1~7 d 与雨前平均水平并无显著差异,表明夏季强降雨后 TN 消减率 5 d 内显著提升,NO_3^--N增加率在 5 d 内显著下降,第 6 d 即恢复到雨前平均水平,而夏季强降雨对NH_4^+-N消减率、冬季弱降雨对 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率无显著影响,故此夏季雨后 TN 消减率、NO_3^--N增加率取雨后 5 d 平均值,夏季NH_4^+-N消减率、冬季 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率则取雨后 7 d 平均值.

对季节因素进行方差分析后发现,雨后土壤 TN、NH_4^+-N消减率及NO_3^--N增加率季节性差异显著,NH_4^+-N消减率表现为夏季(91.8%)>冬季(85.6%)($P<0.001$),NO_3^--N增加率也表现为夏季(382.0%)>冬季(279.3%)($P<0.001$),而 TN 消减率则表现为冬季(50.3%)>夏季(46.0%)($P<0.05$).

2.4 氮素污染物消减率/增加率测算结果

综上可知,土壤 TN、NH_4^+-N消减率和NO_3^--N增加率均存在显著的季节性差异(表 5),NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率均表现为夏季>冬季,TN 消减率表现为冬季>夏季. 而各消减率/增加率在不同天气过程(雨前、雨天、雨后)的差异性分析结果(图 5)显示,夏季土壤 TN 消减率、NO_3^--N增加率存在显著差异,TN 消减率表现为雨后>雨前>雨天($P<0.01$),NO_3^--N增加率表现为雨天>雨前>雨后($P<0.01$);而夏季NH_4^+-N消减率和冬季 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率均无显著差异($P>$

表 5 季节对氮素污染物消减率影响的方差分析[1)]

Table 5 ANOVA of the influence of season on nitrogen pollutants abatement rate/increase rate

天气过程	P 值		
	TN 消减率	NH_4^+-N消减率	NO_3^--N增加率
雨前	***	**	***
雨天	***	**	***
雨后	*	***	***

1) * 为 $P<0.05$,** 为 $P<0.01$,*** 为 $P<0.001$

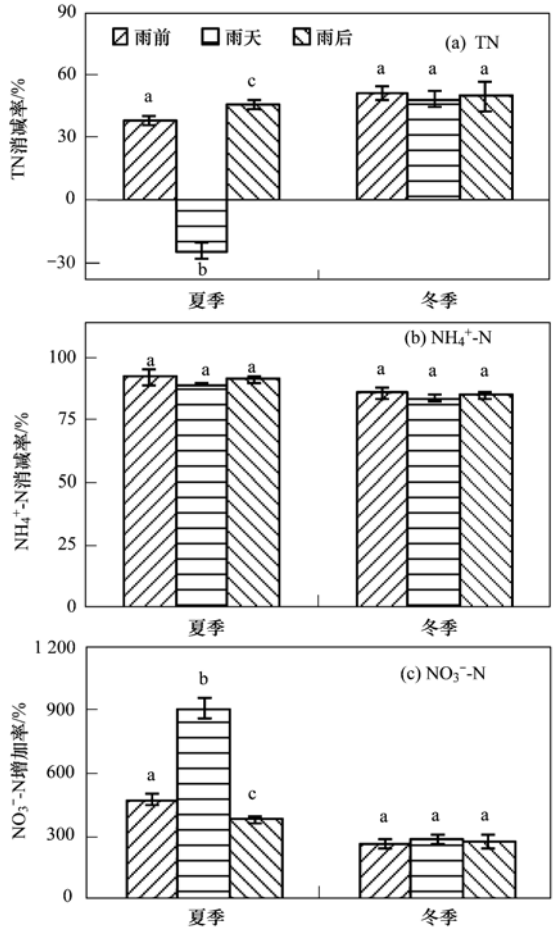

图 5　不同天气过程氮素污染物消减率/增加率差异性分析

Fig. 5　Significant difference analysis of nitrogen pollutants abatement rate/increase rate in different weather processes

0.05).

综上所述,TN、NH_4^+-N消减率和NO_3^--N增加率均需按季节进行划分;夏季 TN 消减率、NO_3^--N增加率需按天气过程进行划分,而夏季NH_4^+-N消减率和冬季 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率则无需按天气过程进行划分,可取 3 个过程的均值作为统一值,得到不同季节、不同天气过程土壤 TN、NH_4^+-N消减率和NO_3^--N增加率如表 6 所示.

3　讨论

3.1　季节因素对氮素污染物消减率/增加率的影响

夏季气温高,土壤中硝化反应速率高,大部分NH_4^+-N在硝化作用下转化为NO_3^--N,冬季则反之[23, 24]. 雨前夏季NO_3^--N增加率(478.1%)显著高于冬季(264.2%)($P<0.01$),表明化粪池污水经排污口土壤渗滤后出水NO_3^--N量夏季显著高于冬季. 冬季雨天实验开始前土壤中NH_4^+-N含量较实验开始时增加了 40.7%,而夏季则无显著差异[图 6(b)],表明冬季排污口土壤对NH_4^+-N吸附能力显著强于夏季,这与孙大志等[25]的研究结果温度越低土壤对氨氮的吸附能力越强结论一致. 雨前NH_4^+-N消减率夏季(92.8%)与冬季(86.4%)均较高,夏季NH_4^+-N消减主要通过土壤中的硝化作用,而冬季主要受土壤中的硝化及吸附作用共同影响,此外,雨前NH_4^+-N消减率夏季显著高于冬季($P<0.01$)则可能

表 6　氮素污染物的消减率/增加率测算结果/%

Table 6　Estimation results of nitrogen pollutants abatement rate/increase rate/%

项目	夏季			冬季		
	雨前	雨天	雨后	雨前	雨天	雨后
TN 消减率	38.5	−25.0	46.0		50.4	
NH_4^+-N消减率		91.5			85.5	
NO_3^--N增加率	478.1	913.8	382.0		276.0	

与夏季氨挥发速率较快[26, 27]有关. 雨前 TN 消减率夏季(38.5%)显著低于冬季(52.0%)($P<0.01$)主要是由于夏季进水中NH_4^+-N多经硝化作用转化为NO_3^--N,而冬季部分NH_4^+-N被土壤直接吸附从而导致出水 TN 含量下降.

在雨前NO_3^--N增加率夏季显著高于冬季的情况下,夏季强降雨冲刷使得土壤中蓄积的NO_3^--N大量流失[28],而冬季弱降雨对土壤中NO_3^--N的冲刷效果不明显,夏季降雨后,土壤中NO_3^--N含量较降雨前下降了 25.0%,而冬季降雨后,土壤中NO_3^--N无显著变化[图 6(c)],因而雨天NO_3^--N增加率夏季(913.8%)显著高于冬季(284.6%)($P<0.01$),这也是导致雨天 TN 消减率夏季(−25.0%)显著低于冬季(48.9%)($P<0.01$)的重要原因.

在雨后NH_4^+-N消减率夏季显著高于冬季的情况下,雨后NO_3^--N增加率夏季(382.0%)显著高于冬季(279.3%),这与冬季雨后进水中部分NH_4^+-N被土壤蓄积有关,结果表明冬季雨后土壤中NH_4^+-N含量增量显著高于夏季[图 6(b)],因而经硝化作用转化为NO_3^--N排出量显著低于夏季,这也是雨后 TN 消减率夏季(46.0%)显著低于冬季(50.3%)($P<0.05$)的重要原因.

3.2　不同天气过程氮素污染物消减率/增加率差异

研究发现,无论夏季、冬季,雨前、雨天及雨后

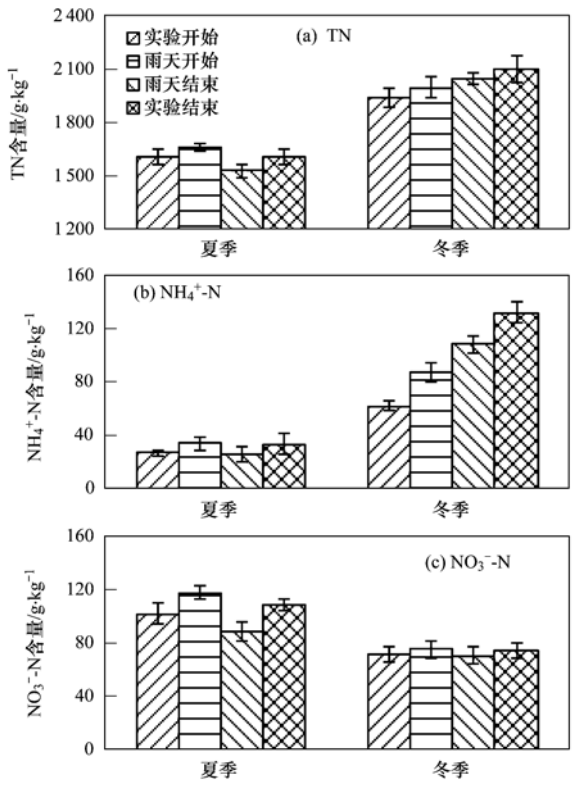

图 6 土壤中氮素污染物含量的变化

Fig. 6 Variation of nitrogen pollutant contents in soils

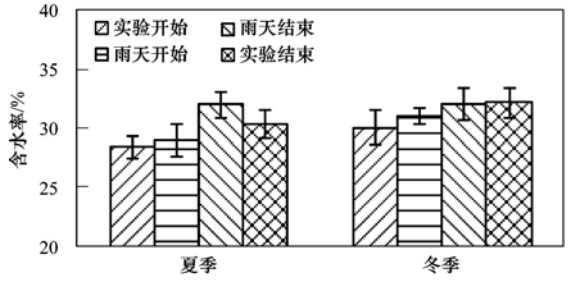

图 7 土壤含水率变化

Fig. 7 Variation of moisture content in soils

NH_4^+-N消减率均无显著差异($P>0.05$),且均保持较高去除率(超过 85%),这也与刘忠翰[11]发现城市纳污河道水体中的NH_4^+-N在水稻土、紫色土及红壤(自然下渗)中的去除率分别为 96.3%、83.9%、91.6%的结果相似. 夏季NH_4^+-N消减主要通过土壤中的硝化作用及氨挥发作用共同影响,由于NH_4^+-N在土壤中赋存量很低,强降雨对其冲刷作用有限,而冬季NH_4^+-N主要受土壤中的硝化及吸附作用共同影响,进水中NH_4^+-N被持续吸附赋存在土壤中,但由于雨量较小并无显著的冲刷现象,因此冬季、夏季出水NH_4^+-N含量均较低.

夏季雨前、雨天及雨后NO_3^--N增加率表现为雨天>雨前>雨后($P<0.01$),除雨天由于强降雨冲刷导致NO_3^--N增加率最高外,夏季雨后NO_3^--N增加率显著低于雨前($P<0.01$),这与暴雨冲刷后土壤对NO_3^--N蓄积能力增强有关,夏季雨后土壤中NO_3^--N量较雨天上升了 22.7%(图 6c),此外,夏季强降雨提升了土壤含水率(较雨前上升了 10.3%)(图 7),抑制了土壤的呼吸,导致反硝化作用增强也是NO_3^--N出水含量下降的重要因素. 马宏瑞等[29]研究发现土壤在高温高湿、NO_3^--N浓度满足(大于 25 mg·kg^{-1})的情况下,反硝化作用十分强烈,王连峰等[30]的研究也表明淹水处理的土壤反硝化细菌的反硝化能力显著提高. 这也是导致夏季雨前、雨天及雨后 TN 消减率表现为雨后>雨前>雨天($P<0.01$)的重要原因,通过对夏季雨前、雨天及雨后 TN 消减率与NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率做相关性分析(图 8)后发现,夏季 TN 消减率与NH_4^+-N消减率不相关,但与NO_3^--N增加率呈显著负相关($P<0.01$). 值得注意的是,夏季雨后随着土壤对NO_3^--N蓄积能力的降低及土壤逐渐变干(含水率下降)导致反硝化作用的减弱,NO_3^--N增加率逐渐上升,雨后第 6 d 与雨前相比无显著差异($P>0.05$),TN 消减率也表现出同一趋势.

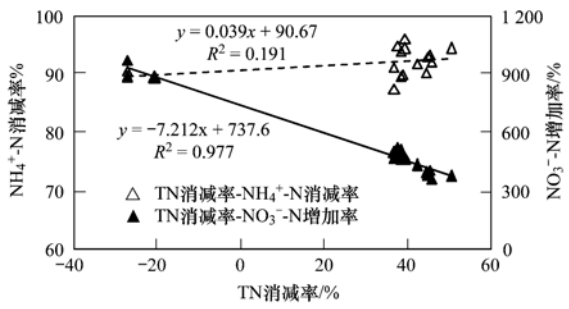

图 8 夏季 TN 消减率与NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率相关性

Fig. 8 Correlation between TN abatement rate and NH_4^+-N abatement rate, NO_3^--N increase rate in the summer

冬季雨前、雨天及雨后 TN 消减率无显著性差异,表明冬季弱降雨对 TN 消减率无显著影响,而土壤中 TN 的稳定蓄积(雨前、雨天、雨后土壤中 TN 的蓄积量分别为 56.7、50.2、53.5 mg·kg^{-1})则可能是 TN 消减率无显著性差异并保持较高水平的重要原因,而 TN 在土壤中的稳定蓄积则与NH_4^+-N的稳定蓄积密切相关. 经相关性分析发现,冬季雨前、雨天及雨后土壤 TN 蓄积量与NH_4^+-N蓄积量呈显著正相关($R^2=0.736$, $n=9$).

3.3 氮素污染物消减率/增加率测算

化粪池排口处土壤对太湖流域农村生活污水氮

素污染物消减率/增加率的测算,受到生活污水排放特征、污染负荷、排污口土壤性质、降水、气温等多个因素的影响. 本研究根据所得结果,把不同季节、不同天气过程(雨前、雨天、雨后)TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率进行了划分(表 6),提高了测算工作的可操作性及准确率,例如可根据研究地夏季、冬季天气、降水情况确定与之对应的氮污染物消减率并各赋予 50% 的权重计算全年平均消减率.

本研究仅考虑了夏季高温强降雨和冬季低温弱降雨两种典型气候条件下化粪池排口处土壤对氮素污染物消减增加情况,实际上冬季氮素污染物特别是NH_4^+-N在土壤中存在持续蓄积的过程,因此春初的较强降雨将会造成土壤中污染物的瞬时大量释放[31],而秋季气温骤降也会对氮素在土壤中的迁移转化造成影响,因此还需在今后的研究中综合考虑季节因素对污染物消减率的连续影响. 此外,由于土壤类型、污染负荷等均会对测算结果造成影响,本研究仅能为太湖流域典型区域、典型气候条件下排污口土壤对农村生活污水氮素污染物的消减测算提供依据,而针对不同区域的氮素污染物消减测算工作还有待进一步开展.

4　结论

(1)化粪池排口处土壤 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率均存在显著的季节性差异;夏季 TN 消减率、NO_3^--N增加率在不同的天气过程存在显著差异,而夏季NH_4^+-N消减率和冬季 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率均无显著差异. 因此,TN、NH_4^+-N消减率和NO_3^--N增加率均需按季节进行划分;夏季 TN 消减率、NO_3^--N增加率需按天气过程进行划分,而夏季NH_4^+-N消减率和冬季 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率则无需按天气过程进行划分.

(2)夏季雨前、雨天、雨后排污口土壤 TN 消减率和NO_3^--N增加率分别为 38.5%、-25.0%、46.0%和 478.1%、913.8%、382.0%,NH_4^+-N消减率为 91.5%;冬季排污口土壤 TN、NH_4^+-N消减率和NO_3^--N增加率分别为 50.4%、85.5% 和 276.0%.

(3)夏季强降雨后 TN 消减率 5 d 内显著提升,NO_3^--N增加率 5 d 内显著降低,第 6 d 均恢复到雨前平均水平,而夏季强降雨对NH_4^+-N消减率、冬季弱降雨对 TN、NH_4^+-N消减率、NO_3^--N增加率无显著影响.

(4)夏季雨前、雨天及雨后 TN 消减率与NH_4^+-N消减率不相关,但与NO_3^--N增加率呈显著负相关,冬季土壤中 TN 的稳定蓄积是冬季雨前、雨天及雨后 TN 消减率无显著性差异并保持较高水平的重要原因,且其与NH_4^+-N在土壤中的稳定蓄积密切相关.

参考文献:

[1] 金相灿. 中国湖泊环境[M]. (第三册). 北京: 海洋出版社, 1995. 283-317.

[2] 杨林章, 王德建, 夏立忠. 太湖地区农业面源污染特征及控制途径[J]. 中国水利, 2004, (20): 29-30.

[3] 尹微琴, 王小治, 王爱礼, 等. 太湖流域农村生活污水污染物排放系数研究——以昆山为例[J]. 农业环境科学学报, 2010, **29**(7): 1369-1373.

[4] 张玉华, 刘东生, 徐哲, 等. 重点流域农村生活源产排污系数监测方法研究与实践[J]. 农业环境科学学报, 2010, **29**(4): 785-789.

[5] 王文林, 胡孟春, 唐晓燕. 太湖流域农村生活污水产排污系数测算[J]. 生态与农村环境学报, 2010, **26**(6): 616-621.

[6] Tim U S, Jolly R. Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using Integrated geographic information systems and hydrologic/water quality model[J]. Journal of Environmental Quality, 1994, **23**(1): 25-35.

[7] 贺缠生, 傅伯杰, 陈利顶. 非点源污染的管理及控制[J]. 环境科学, 1998, **19**(5): 87-91, 96.

[8] Sharpley A N. Depth of surface soil-runoff interaction as affected by rainfall, soil slope, and management[J]. Soil Science Society of America Journal, 1985, **49**(4): 1010-1015.

[9] 李勇, 王超, 汤红亮. 小流域坡地表土层营养物质输运规律研究进展[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, **32**(6): 627-631.

[10] 张毅敏, 张永春, 左玉辉. 前置库技术在太湖流域面源污染控制中的应用探讨[J]. 环境污染与防治, 2003, **25**(6): 342-344.

[11] 刘忠翰. 三种土壤污水土地处理去除有机物和氮的效果比较[A]. 见: 中国地壤学会第十次全国会员代表大会暨第五届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会[C]. 沈阳: 中国土壤学会, 2004. 489-492.

[12] 杨健, 严群, 吴一蘩, 等. 不同填料渗滤系统净化生活污水的效果比较[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2009, **37**(11): 1502-1507.

[13] 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, 1998, **27**(2): 448-458.

[14] Mæhlum T, Stålnacke P. Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: Effects of temperature, seasons, loading rates and input concentrations[J]. Water Science and Technology, 1999, **40**(3): 273-281.

[15] 王玉华, 方颖, 焦隽. 江苏农村"三格式"化粪池污水处理效

果评价[J]. 生态与农村环境学报, 2008, **24**(2): 80-83.
[16] 宜兴市统计局. 宜兴统计年鉴 2011[M]. 宜兴: 宜兴市统计局, 2011.
[17] 宜兴市气象局. 2011 年宜兴市气象要素表[EB/OL]. http://www.yxqx.gov.cn/shownews.do? p = ShowGk&gkid =43,2012-01-13.
[18] 田媛, 杨昕, 花伟军, 等. 城市周边生活污水排放对绿地土壤环境质量的影响[J]. 生态学报, 2008, **28**(2): 742-748.
[19] 单保庆, 尹澄清, 白颖, 等. 小流域磷污染物非点源输出的人工降雨模拟研究[J]. 环境科学学报, 2000, **20**(1): 33-37.
[20] 赵瑞芬, 于志勇, 程滨, 等. 不同前处理条件对土壤 NO_3-N、NH_4-N 含量影响的研究[J]. 中国农学通报, 2009, **25**(10): 174-177.
[21] 钱君龙, 张连弟, 乐美麟. 过硫酸盐消化法测定土壤全氮全磷[J]. 土壤, 1990, **22**(5): 258-262.
[22] 李子忠, 郑茹梅, 龚元石, 等. 时域反射仪对水分非均匀分布土壤含水率的测定[J]. 农业工程学报, 2010, **26**(11): 19-23.
[23] Fernandez-Polanco F, Villaverde S, Garcia P A. Temperature effect on nitrifying bacteria activity in biofilters: activation and free ammonia inhibition[J]. Water Science and Technology, 1994, **30**(11): 121-130.
[24] Randall C W, Buth D. Nitrite build-up in activated sludge resulting from temperature effects[J]. Water Pollution Control Federation, 1984, **56**(9): 1039-1044.
[25] 孙大志, 李绪谦, 潘晓峰. 氨氮在土壤中的吸附/解吸动力学行为的研究[J]. 环境科学与技术, 2007, **30**(8): 16-18, 111.
[26] Huijsmans J F M, Hol J M G, Vermeulen G D. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land[J]. Atmospheric Environment, 2003, **37**(26): 3669-3680.
[27] Van Der Stelt B, Temminghoff E J M, Van Vliet P C J, *et al*. Volatilization of ammonia from manure as affected by manure additives, temperature and mixing[J]. Bioresource Technology, 2007, **98**(18): 3449-3455.
[28] 蒋锐, 朱波, 唐家良, 等. 紫色丘陵区小流域典型降雨径流氮磷流失特征[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(4): 1353-1358.
[29] 马宏瑞, 吴守仁, 黄森. 温度和水分对土娄土反硝化的影响[J]. 西北农业大学学报, 1997, **25**(2): 25-29.
[30] 王连峰, 蔡祖聪. 水分和温度对旱地红壤硝化活力和反硝化活力的影响[J]. 土壤, 2004, **36**(5): 543-546, 560.
[31] 王勇. 土壤污染物在径流作用下进入水体的负荷研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 34 No. 10

Oct. 15, 2013

CONTENTS

Stable Carbon Isotopic Composition in $PM_{2.1}$ in Nanjing Region ····· WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, *et al.* (3727)

Distribution and Source Apportionment of *n*-Alkanes in Atmospheric Particle in Taiyuan, China ····· HU Dong-mei, PENG Lin, BAI Hui-ling, *et al.* (3733)

Study on Influence of Traffic and Meteorological Factors on Inhalable Particle Matters of Different Size ····· LUO Na-na, ZHAO Wen-ji, YAN Xing, *et al.* (3741)

Particle Emission Characteristics of Diesel Bus Fueled with Bio-diesel ····· LOU Di-ming, CHEN Feng, HU Zhi-yuan, *et al.* (3749)

Characteristics of $\delta^{18}O$ in Precipitation and Water Vapor Sources in Lanzhou City and Its Surrounding Area ····· CHEN Fen-li, ZHANG Ming-jun, MA Qian, *et al.* (3755)

Characteristics and Sources of Soluble Ions in Aerosols from Glacier No. 1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan Mountains, China ····· YUE Xiao-ying, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun, *et al.* (3764)

Mechanism and Performance of Styrene Oxidation by O_3/H_2O_2 ····· HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, YE Qi-hong, *et al.* (3772)

Sulfur Isotopic Signatures in Leaves of *Pinus massoniana* Lamb. and Source Apportionment ····· GUAN Hui, XIAO Hua-yun, ZHU Ren-guo, *et al.* (3777)

Comparisons of Sulfur Contents and Isotopes Between Mosses and Surface Soils in Jiangxi Province ····· LI Nan, XIAO Hua-yun, CHEN Yong-zhong, *et al.* (3782)

Research on Spatial Characteristic of Non-point Source Pollution in Liaohe River Basin ····· WANG Xue-lei, CAI Ming-yong, ZHONG Bu-qing, *et al.* (3788)

Spatial and Temporal Variations of Hydrological Characteristic on the Landscape Zone Scale in Alpine Cold Region ····· YANG Yong-gang, HU Jin-fei, XIAO Hong-lang, *et al.* (3797)

Distribution of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of Jinpu Bay ····· YOU Li-li, ZONG Hai-bo, ZHANG Shu-fang, *et al.* (3804)

Effects of Drying-Rewetting Alternation on Urease Activity in Chongming East Intertidal Flat: Results of a Simulation Study ····· HAN Jian-gang, CAO Xue (3810)

Characterization of Microbial Activities in Marine Mudflat Sediment Using FDA Hydrolase Analysis ····· LIU Ye, ZOU Li, LIU Lu, *et al.* (3818)

Analysis of Ecological Risk and the Content Situation of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments from Northeast China River Basin ····· NIE Hai-feng, CHENG Hang-xin, ZHAO Chuan-dong, *et al.* (3825)

Residues and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments and Marine Organisms from Dapeng Bay, Shenzhen ····· SUN Run-xia, KE Chang-liang, GU Yang-guang, *et al.* (3832)

Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using Two Mathematical Models for Runoff of the Shanghai Elevated Inner Highway, China ····· BIAN Lu, LI Tian, HOU Juan (3840)

Biomagnification of Heavy Metals in the Aquatic Food Chain in Daning River of the Three Gorges Reservoir During Initial Impoundment ····· YU Yang, WANG Yu-chun, ZHOU Huai-dong, *et al.* (3847)

Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Chlorophyll-a and Their Correlation Analysis in a Small Enclosed Lake ····· LI Fei-peng, ZHANG Hai-ping, CHEN Ling (3854)

Experiment and Model Simulation of Self-Purification Capacity of Nitrogen and Phosphorus in Lake Taihu ····· HAN Tao, ZHAI Shu-hua, HU Wei-ping, *et al.* (3862)

Simulation Research on the Release of Internal Nutrients Affected by Different Dredging Methods in Lake ····· CHEN Chao, ZHONG Ji-cheng, FAN Cheng-xin, *et al.* (3872)

Research of Urban Eutrophic Water Repair by Water/Sediment Biological Bases ····· ZHOU Hui-hua, SONG Xiao-guang, WU Ge, *et al.* (3879)

Effects of Regulatory Agent on the Heavy Metal Stability in Tidal Sediments ····· OU Feng-zhuang, SUN Guo-ping, XU Mei-ying (3888)

Impact of Regional Water Chemistry on the Phosphorus Isothermal Adsorption of the Sediments in Three Subsidence Waters of the Huainan Mine Areas ····· YI Qi-tao, SUN Peng-fei, XIE Kai, *et al.* (3894)

Adsorption Characteristics of f2 Bacteriophages by Four Substrates in Constructed Wetland ····· CHEN Di, ZHENG Xiang, WEI Yuan-song, *et al.* (3904)

Adsorption Characteristics of the Antibiotic Sulfanilamide onto Rice Husk Ash ····· JI Ying-xue, WANG Feng-he, ZHANG Fan, *et al.* (3912)

Study on the Stability Variation Mechanism of Humic Acid Water Solution After Radiated by the UV Light ····· WANG Wen-dong, ZHOU Li-chuan, DING Zhen-zhen, *et al.* (3921)

Comparison of As Removal Performance by Graphene/Iron-Based Material ····· Chaomuerlege, FENG Liu, HUO Yan-xia (3927)

Studies on the Dispersion and Deposition Behavior of Nano-TiO_2 in Aquatic System ····· CHEN Jin-yuan, FANG Jin-feng, WEI Xiu-zhen (3933)

Effect of the Interaction of Microorganisms and Iron Oxides on Arsenic Releasing into Groundwater in Chinese Loess ····· XIE Yun-yun, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, *et al.* (3940)

Surface Modification of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Membrane by Using the Zwitterionic Substance ····· ZHOU Gui-hua, XIAO Feng, XIAO Ping, *et al.* (3945)

Estimate the Abatement Rate of Septic Tank Sewage Outfall Soil on Nitrogen Pollutants of Typical Farmer Household Sewage ····· ZHOU Feng, WANG Wen-lin, WANG Guo-xiang, *et al.* (3954)

Wastewater Pollution Characteristics from Typical Intensive Pig Farms in the Pearl River Delta and Its Ecological Risk Assessment ····· LI Wen-ying, PENG Zhi-ping, YU Jun-hong, *et al.* (3963)

Effects of Sludge Compost Used as Lawn Medium on Lawn Growth and Soil and Water Environment ····· JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, CHEN Ruo-xia, *et al.* (3969)

Influencing Factors of Floc Size Distribution and Fractal Dimension of Activated Sludge ····· LI Zhen-liang, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li, *et al.* (3975)

Influence of Different Recovery Methods on the Activity of Nitrification Granular Sludge ····· GUO Xiu-li, GAO Da-wen, LU Jian-cong (3981)

Study on Hydrogen Autotrophic Denitrification of Bio-ceramic Reactor ····· CHEN Dan, WANG Hong-yu, SONG Min, *et al.* (3986)

Studies on Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow ····· YAN Jun-xia, LI Jun-jian, LI Hong-jian, *et al.* (3992)

Modeling of CO_2 Fluxes at Cropland by Using SiB3 Model ····· ZHANG Geng-jun, LU Li-xin, JIANG Ling-mei, *et al.* (4000)

Effects of the Different Land Use on Soil Labile Organic Matter and Carbon Management Index in Junyun Mountain ····· XU Peng, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, *et al.* (4009)

Heavy Metal Content in Street Dust and Environmental Risk Assessment of Agricultural City: A Case Study of Xuchang City ····· YAN Hui, CHEN Jie, XIAO Jun (4017)

Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Road Dust from Suzhou, Wuxi and Nantong ····· SHI Shuang-xin, DONG Liang, LI Ling-ling, *et al.* (4024)

Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Abandoned Vehicles Dismantling Area Soil ····· WU Yan-yu, HU Xiao-ying, HONG Hong-jia, *et al.* (4031)

Stabilization and Long-term Effect of Chromium Contaminated Soil ····· WANG Jing, LUO Qi-shi, ZHANG Chang-bo, *et al.* (4036)

Leaching Characteristics of Sulfadiazine and Sulfamethoxazole in Soil Column ····· LI Man, CHEN Wei-ping, WEI Fu-xiang, *et al.* (4042)

Transport Behaviors of Metal Oxide Nanomaterials in Various Soils ····· FANG Jing, YU Bo-yang (4050)

Fractal Characteristics of Capillary Finger Flow for NAPLs Infiltrated in Porous Media ····· LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, *et al.* (4058)

Allelopathic Potential of *Phyllostachys edulis* on Two Dominant Tree Species of Evergreen Broad-leaved Forest in Its Invasive Process ····· BAI Shang-bin, ZHOU Guo-mo, WANG Yi-xiang, *et al.* (4066)

Preliminary Studies on the Occurrence of Antibiotic Resistance Genes in Typical Aquaculture Area of the Pearl River Estuary ····· LIANG Xi-mei, NIE Xiang-ping, SHI Zhen (4073)

Concentrations and Safety Evaluation of Heavy Metals in Aquatic Products of Yancheng, Jiangsu Province ····· LIU Yang, FU Qiang, GAO Jun, *et al.* (4081)

Effects of Cu^{2+} Stress on DNA Polymorphism of Genome in Foxtail Millet of Different Genotypes ····· ZHANG Yi-xian, FU Ya-ping, XIAO Zhi-hua, *et al.* (4090)

Research on Soil Bacteria Under the Impact of Sealed CO_2 Leakage by High-throughput Sequencing Technology ····· TIAN Di, MA Xin, LI Yu-e, *et al.* (4096)

Microeukaryotic Biodiversity in the Waste Ore Samples Surrounding an Acid Mine Drainage Lake ····· LI Si-yuan, HAO Chun-bo, WANG Li-hua, *et al.* (4105)

Characteristics and Functional Protein Analysis of an Effective Decabromodiphenyl Ether-Degrading Strain ····· CHANG Jing-jing, YIN Hua, QIN Hua-ming, *et al.* (4112)

Effect of Selenium on the Uptake and Translocation of Manganese, Iron, Phosphorus and Selenium in Rice (*Oryza sativa* L.) ····· HU Ying, HUANG Yi-zong, HUANG Yan-chao, *et al.* (4119)

Effect of Exogenous Iron on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium, and Physiological Characterization in Different Varieties of Tomato ····· LIU Jun, ZHOU Kun, XU Wei-hong, *et al.* (4126)

Analysis of Control Policy for Persistent Toxic Substances from Electronic Wastes in China ····· LI Li, LÜ Yong-long, WANG Tie-yu (4132)

《环境科学》第 6 届编辑委员会

主　编：欧阳自远

副主编：赵景柱　郝吉明　田　刚

编　委：（按姓氏笔画排序）

万国江　王华聪　王凯军　王绪绪　田　刚　田　静　史培军

朱永官　刘志培　汤鸿霄　陈吉宁　孟　伟　周宗灿　林金明

欧阳自远　赵景柱　姜　林　郝郑平　郝吉明　聂永丰　黄　霞

黄　耀　鲍　强　潘　纲　潘　涛　魏复盛

环 境 科 学

（HUANJING KEXUE）

（月刊　1976 年 8 月创刊）

2013 年 10 月 15 日　34 卷　第 10 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 34　No. 10　Oct. 15，2013

主　　管	中国科学院	**Superintended** by	Chinese Academy of Sciences
主　　办	中国科学院生态环境研究中心	**Sponsored** by	Research Center for Eco-Environmental Sciences，Chinese Academy of Sciences
协　　办	（以参加先后为序） 北京市环境保护科学研究院 清 华 大 学 环 境 学 院	**Co-Sponsored** by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment，Tsinghua University
主　　编	欧 阳 自 远	**Editor-in -Chief**	OUYANG Zi-yuan
编　　辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱（海淀区双清路 18 号，邮政编码：100085） 电话：010-62941102，010-62849343 传真：010-62849343 E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn http：//www. hjkx. ac. cn	**Edited** by	The Editorial Board of Environmental Science（HUANJING KEXUE） P. O. Box 2871，Beijing 100085，China Tel：010-62941102，010-62849343；Fax：010-62849343 E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn http：//www. hjkx. ac. cn
出　　版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717	**Published** by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street， Beijing　100717，China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	**Printed** by	Beijing Bei Lin Printing House
发　　行	科 学 出 版 社 电话：010-64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com	**Distributed** by	Science Press Tel：010-64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com
订　购　处	全国各地邮电局	**Domestic**	All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 （北京 399 信箱）	**Foreign**	China International Book Trading Corporation（Guoji Shudian），P. O. Box 399，Beijing 100044，China

中国标准刊号：ISSN 0250-3301 / CN 11-1895/X　　**国内邮发代号**：2-821

国 内 定 价：90.00 元　　**国外发行代号**：M 205

国 内 外 公 开 发 行