

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第2期

Vol.38 No.2

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

北京大气颗粒物和重金属铅干沉降通量及季节变化	姚利, 刘进, 潘月鹏, 田世丽, 王振波, 韦霞, 张国忠, 周保华, 王跃思 (423)
海西城市群 PM _{2.5} 中重金属元素的污染特征及健康风险评价	陈衍婷, 杜文娇, 陈进生, 徐玲玲 (429)
峨边地区大气 PM _{2.5} 中汞形态污染及其与碳组分的关系	程娜, 钱冠磊, 段炼, 赵梦飞, 修光利 (438)
泰山夏季 PM _{2.5} 中二元羧酸类 SOA 的分子组成及来源	孟静静, 侯战方, 刘晓迪, 邢继钊 (445)
南京北郊大气 BTEX 变化特征和健康风险评估	张玉欣, 安俊琳, 王健宇, 王俊秀, 师远哲, 刘静达, 梁静舒 (453)
长株潭城市群人为源 VOCs 排放清单及其对环境的影响	尤翔宇, 罗达通, 刘湛, 苏艳蓉 (461)
南京城市交通甲烷排放特征	张雪, 胡凝, 刘寿东, 王淑敏, 高韵秋, 赵佳玉, 张圳, 胡勇博, 李旭辉, 张国君 (469)
2003~2014 年东北三省气溶胶光学厚度变化分析	张宸赫, 赵天良, 王富, 徐祥德, 苏航, 程兴宏, 谭成好 (476)
基于增强回归树的 PM _{2.5} 日均值变化分析: 以常州为例	葛跃, 王明新, 孙向武, 齐今笛 (485)
重庆市燃煤电厂汞排放特征及排放量	张成, 张雅惠, 王永敏, 王定勇, 徐凤, 杨熹, 何秀清 (495)
几种可能来源对广东某地空气中二噁英的影响	付建平, 韩静磊, 于晓巍, 杨艳艳, 尹文华, 冯桂贤, 张素坤, 黄锦琼, 任明忠 (502)
养鸡场空气中抗性基因和条件致病菌污染特征	高敏, 仇天雷, 秦玉成, 王旭明 (510)
百年来滇池沉积物中不同形态氮分布及埋藏特征	吴亚林, 李帅东, 江俊武, 沈胤胤, 黄昌春, 黄涛, 杨浩, 余艳红, 罗玉 (517)
岩溶地下河补给的地表溪流溶解无机碳及其稳定同位素组成的时空变化	李丽, 蒲俊兵, 李建鸿, 张陶 (527)
三峡水库大宁河支流浮游植物演变过程及其驱动因素	张佳磊, 郑丙辉, 刘德富, 王丽婧, 谭纤茹 (535)
分层型水库夏季水质对极端厄尔尼诺事件的响应	邱晓鹏, 黄廷林, 曾明正, 史建超, 曹占辉 (547)
淹水-落干与季节性温度升高耦合过程对消落带沉积物氮矿化影响	林俊杰, 刘丹, 张帅, 于志国, 何立平, 余顺慧 (555)
湖泊水体中铁(III)-草酸络合物驱动有机磷光解释放磷酸根	蒋永参, 彭云霄, 刘广龙, 周易勇, 朱端卫 (563)
高效磷吸附剂 Mg/Al-LDO 的制备及除磷机制	王卫东, 郝瑞霞, 张晓娴, 万京京, 钟丽燕 (572)
改性沸石湿地脱氮除磷效能及机制	吴鹏, 陆爽君, 徐乐中, 梁奇奇, 沈耀良 (580)
几种水陆交错带植物对底质氮磷释放的抑制作用	姚程, 胡小贞, 卢少勇, 耿荣妹 (589)
模拟三峡库区消落带优势植物根系低分子量有机酸对土壤中铅的解吸动力学	何沅洁, 刘江, 江韬, 黄京晶, 成晴, 陈宏 (600)
TiO ₂ /膨润土复合材料对 Hg ²⁺ 的吸附性能研究	唐兴萍, 周雄, 张金洋, 张成, 王定勇 (608)
氨氮及 H ₂ O ₂ 对溴酸盐和消毒副产物控制的影响	王永京, 杜旭, 金萌, 冯思捷, 杨凯, 张明露, 于建伟 (616)
配水管网细菌活性影响因素	王晓丹, 赵新华 (622)
施氏矿物的化学合成及其对含 Cr(VI) 地下水吸附修复	朱立超, 刘元元, 李伟民, 牟海燕, 王婉玉, 石德智, 王涛 (629)
臭氧-混凝耦合工艺污水深度处理特性及其机制	侯瑞, 金鑫, 金鹏康, 王晓昌 (640)
单级和多级 A/O 工艺中氮的去除效果及 N ₂ O 的产生特性	郭昌梓, 张凤燕, 刘富宇, 朱超, 裴立影 (647)
有机碳源作用下厌氧氨氧化系统的脱氮效能	管勇杰, 于德爽, 李津, 齐泮晴, 魏思佳 (654)
完全混合式曝气系统运行特性及微生物群落结构解析	王硕, 徐巧, 张光生, 李激 (665)
颗粒+絮体污泥 CANON 工艺的启动与 SRT 影响研究	孙延芳, 韩晓宇, 张树军, 李星, 曹相生 (672)
游离氨调控对污泥高含固厌氧消化反应器性能的影响	戴晓虎, 何进, 严寒, 李宇, 丁月玲, 董滨, 戴翎翎 (679)
利用卷枝毛霉成球特性高效收获微藻	顾琼, 金文标, 陈远清, 郭仕达, 万超凡 (688)
零价铁对污泥高温厌氧消化过程中四环素抗性基因及第一类整合子的消减影响	魏欣, 薛顺利, 杨帆, 李响, 刘振鸿, 薛罡, 高品 (697)
沈抚新城不同土地利用类型多环芳烃含量、来源及人体健康风险评价	王静, 刘明丽, 张士超, 鲁垠涛, 姚宏 (703)
河南某市驾校地表灰尘多环芳烃组成、来源与健康风险	陈轶楠, 马建华, 段海静, 魏林恒 (711)
外源微生物对植物根系修复十溴联苯醚污染底泥的强化作用	杨雷峰, 尹华, 彭辉, 李跃鹏 (721)
微生物修复油污土壤过程中氮素的变化及菌群生态效应	叶茜琼, 吴蔓莉, 陈凯丽, 李炜, 袁婧 (728)
沼泽红假单胞菌 PSB06 对辣椒根际微生物群落结构的影响	罗路云, 金德才, 左晖, 张卓, 谭新球, 张德咏, 卢向阳, 刘勇 (735)
再生水补水对河道底泥细菌群落组成与功能的影响	邱琰茗, 王广煊, 黄兴如, 郭逍宇 (743)
矿区不同植被复垦模式对土壤细菌群落结构的影响	贺龙, 李艳琴, 李彬春, 李君剑 (752)
稻田土壤固碳功能微生物群落结构和数量特征	刘琼, 魏晓梦, 吴小红, 袁红朝, 王久荣, 李裕元, 葛体达, 吴金水 (760)
不同温度制备的生物炭对土壤有机碳及其组分的影响: 对土壤腐殖物质组成及性质的影响	赵世翔, 于小玲, 李忠徽, 杨艳, 张霞, 王旭东, 张阿凤 (769)
复合菌剂秸秆堆肥对土壤碳氮含量和酶活性的影响	聂文翰, 戚志萍, 冯海玮, 孙玉静, 支月娥, 张进忠, 张丹 (783)
秸秆/生物炭施用对关中地区小麦-玉米轮作系统净增温潜势影响的对比分析	成功, 陈静, 刘晶晶, 张阿凤, 王旭东, 冯浩, 赵英 (792)
1 株氨基高效降解菌的分离鉴定及降解特性	叶杰旭, 林彤晖, 骆煜昊, 陈东之, 陈建孟 (802)
1 株异养反硝化硫细菌的分离鉴定及代谢特性	谭文勃, 马晓丹, 黄聪, 陈川, 王爱杰 (809)
连续施用污泥堆肥土壤剖面中重金属积累迁移特征及对小麦吸收重金属的影响	孙娜, 商和平, 茹淑华, 苏德纯 (815)
施氮对小麦(Ⅵ)吸收、转运和分配的影响	陈玉鹏, 彭琴, 梁东丽, 宋卫卫, 雷凌明, 喻大松 (825)
长期暴露下纳米二氧化钛对典型淡水藻体砷累积与生物转化的影响	李金丽, 王振红, 严雅萌, 黄兵, 罗专溪 (832)
不同热解温度制备的玉米芯生物炭对对硝基苯酚的吸附作用	马锋锋, 赵保卫 (837)
《环境科学》征稿简则(526) 《环境科学》征订启事(720) 信息(678, 696, 844)	

淹水-落干与季节性温度升高耦合过程对消落带沉积物氮矿化影响

林俊杰^{1,4}, 刘丹², 张帅¹, 于志国³, 何立平¹, 余顺慧¹

(1. 重庆三峡学院, 三峡库区水环境演变与污染防治重庆高校市级重点实验室, 重庆 404100; 2. 重庆三峡职业学院, 农林科技系, 重庆 404100; 3. 南京信息工程大学, 水文气象学院, 南京 210044; 4. 中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 中国科学院水库水环境重点实验室, 重庆 400714)

摘要: 为揭示淹水-落干循环及季节性温度升高耦合过程对三峡支流消落带沉积物氮矿化的影响, 根据野外调查, 选取三峡支流澎溪河上游和下游两个水文断面, 150、160 和 170 m 这 3 个水位高程的沉积物样品, 根据库区水文和气温特征, 进行淹水-落干控温培养, 分析沉积物氮矿化速率和累积量变化。结果表明与低水位高程相比, 高水位高程(170 m)消落带总氮和铵态氮含量相对较低, 而硝态氮含量较高。沉积物净氮矿化累积量和矿化速率均表现为落干期高于淹水期, 且不同水位高程净氮矿化速率均随时间延长而下降。落干期净氮矿化累积量与沉积物总碳含量和碳氮比显著正相关, 而淹水期与之负相关($P < 0.001$)。沉积物净氮矿化速率在落干期对温度升高敏感($Q_{10} > 1$), 而淹水期低水位高程对温度升高不敏感($Q_{10} < 1$)。可见, 冬季淹水期温度升高对氮矿化影响较小, 氮累积且释放缓慢。夏季落干期温度升高加速了氮矿化过程, 增加了二次淹水后无机氮素输入水体和水体富营养化的风险。

关键词: 三峡支流; 氮矿化; 温度升高; 落干期; 淹水期

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)02-0555-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201607236

Effect of Coupling Process of Wetting-Drying Cycles and Seasonal Temperature Increasing on Sediment Nitrogen Minerization in the Water Level Fluctuating Zone

LIN Jun-jie^{1,4}, LIU Dan², ZHANG Shuai¹, YU Zhi-guo³, HE Li-ping¹, YU Shun-hui¹

(1. Key Laboratory of Water Environment Evolution and Pollution Control in Three Gorges Reservoir, Chongqing Three Georges University, Chongqing 404100, China; 2. Department of Agricultural and Forestry Science and Technology, Chongqing Three Gorges Vocation College, Chongqing 404100, China; 3. College of Hydrometeorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 4. Key Laboratory of Reservoir Aquatic Environment, Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China)

Abstract: To reveal the effect of coupling process of wetting-drying and seasonal temperature on sediment nitrogen (N) minerization, surface sediment samples were collected from the water level fluctuating zone (WLFZ) of Pengxi River crossing two hydrological sections. The sediment samples were incubated under drying and submerging conditions at the controlled temperature. The result showed that NO_3^- -N and sand% in the sediment of higher altitude of water level (170 m) were higher than those in low altitudes (150 and 160 m), whereas contents of TN, NH_4^+ -N and clay% and silt% in low altitudes were much higher. Generally, Net N mineralization rate and cumulation were lower in higher altitude of water level during the drying period and submerging period. The ammonification rate decreased rapidly at the initial stage of incubation (0-7 d), and then had no obvious change, and no significant differences among altitudes was observed. The nitrification rate at low altitude decreased with incubation time, while it had only a little change at higher altitude; The nitrification contributed a higher fraction of net N mineralization than ammonification. Net N mineralization rate and its cumulation were significantly higher in the drying period than in the submerging period, while net N mineralization rate decreased with incubation time at all altitudes. Net N mineralization cumulation tended to rise first and then declined at all altitudes of the drying period, whereas it was continuously decreasing at the low water level altitude during the submerging period. Net N nitrogen mineralization rate of the drying period was positively correlate to both the sediment organic matter content and its C:N ratio, while it showed a negative correlation in the submerging period ($P < 0.001$). Net N mineralization was sensitive to temperature increase ($Q_{10} > 1$) in the drying period, while it was insensitive during the submerging period of low altitude ($Q_{10} < 1$). Thus, the

收稿日期: 2016-07-31; 修订日期: 2016-09-07

基金项目: 教育部春晖计划项目(Z2015133); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1601016); 国家自然科学基金青年科学基金项目(41301248); 中国科学院水库水环境重点实验室开放基金项目(RAE2014BA01B); 江苏省高校自然科学基金项目(16KJB170009); 江苏省自然科学基金项目(BK20160950)

作者简介: 林俊杰(1982~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境土壤学, E-mail: ybu_lin@126.com

impact of temperature on Net N mineralization was relatively low in submerging period of winter and N was accumulated with low releasing rate. In contrast to winter, summer exhibited warmer and drying period, this two factors would lead to higher N mineralization rate and further induce the potential risk of eutrophication as N releasing into water body.

Key words: Three Gorges Tributary; net nitrogen mineralization; temperature increasing; the drying period; the submerging period

土壤氮库中 99% 的氮以有机态形式存在, 有机氮在微生物作用下通过氮矿化过程转化为铵态氮 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 和硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 等无机氮才可被大部分植物吸收利用^[1], 而无机氮极易通过淋溶、地表径流、漫滩水位波动和淹水胁迫等作用进入水体, 进而增加水体富营养化等潜在风险^[2]. 氮矿化过程是陆地生态系统氮循环的关键环节^[3], 其主要受土壤 pH 值^[4]、温度和湿度^[5]等非生物因子, 以及土壤根际过程^[6]、土壤微生物^[7]、凋落物输入^[8]等生物因素的影响. 有研究表明, 温度升高加速土壤硝化和净氮矿化速率^[9, 10]. 也有研究表明, 水分是控制氮矿化的关键因素, 土壤净氮矿化速率与水分变化量正相关^[11]. 也有研究认为, 温度和水分共同影响土壤氮矿化, 且水分的影响更大^[12], 适宜的温度和湿度有利于土壤氮素长期矿化^[13].

三峡库区水位 145 ~ 175 m 之间周期性涨落, 淹水-落干过程伴随着季节性温度升高, 冬季淹水消落带浸没于水下, 而随夏季来临消落带进入落干期并暴露于空气中, 使生源要素氧化还原状态^[14, 15]和元素周转速率^[16~18]等发生明显变化. 三峡支流蓄水期水体流速缓慢, 氮素进入水体不易稀释扩散, 对水生生态安全可能带来潜在风险, 因此, 探讨三峡支流消落带淹水-落干与季节性温度升高耦合过程对土壤氮矿化(氨化作用和硝化作用)的影响对控制三峡支流水体富营养化问题具有重要意义. 本文以三峡支流澎溪河消落带沉积物为研究对象, 通过淹水落干控温实验, 分析淹水-落干和温度升高耦合过程对三峡支流消落带沉积物净氮矿化的影响, 旨在为探明三峡支流水体富营养化频发、消落带植被适生性下降等问题提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域与样品采集

由于三峡工程特殊的调蓄水制度, 使库区水位每年 12 月上涨至 175 m, 次年 6 月消落至 145 m, 呈年际周期性涨落. 本研究于 2015 年 6 月, 库区水位最低, 消落带裸露期间, 采样三峡支流澎溪河上游(渠口镇)和下游(双江镇)两个水文断面的 150、160 和 170 m 这 3 个水位高程的沉积物样品(0 ~ 5 cm), 每个采样点由 3 个随机样品组成, 并将两个断

面(图 1)相同高程样品混匀为混合样品用于培养. 采集的原状新鲜土样立即充高纯氮(纯度 > 99.9%)置于保温箱内低温保存, 并带回实验室, 经冻干、剔除植物根系、过筛后用于氮矿化培养实验, 剩余样品用于沉积物基本理化性质的测定.

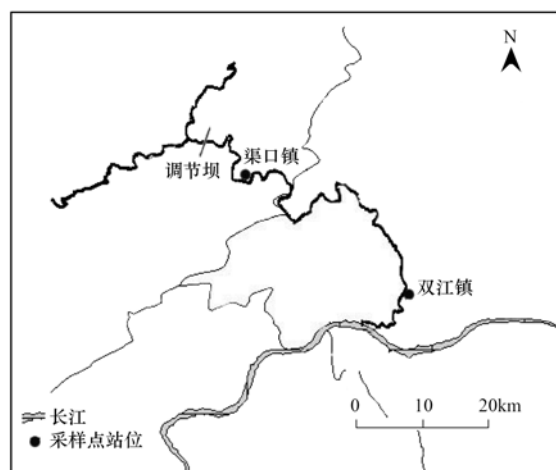


图 1 澎溪河流域采样点站位示意

Fig. 1 Sampling sites in the Pengxi River

1.2 水位涨落及淹水时间

图 2 为 2011 年 7 月到 2016 年 7 月三峡库区万州段水位波动, 150 m 水位高程淹水时间主要集中在 8 月 ~ 次年 6 月, 160 m 水位高程主要淹水时间主要集中在 9 月 ~ 次年 4 月, 170 m 水位高程主要淹水时间集中在 10 月 ~ 次年 1 月, 150、160 及 170 m 水位高程的消落带淹水时间平均为 338、227 和 116 d. 本研究区气温变化见图 2(b), 由 2012 ~ 2015 全年平均气温统计数据显示, 消落带淹水期和落干期无论日均最低温还是最高温均升高约 10℃ 左右.

1.3 沉积物培养

1.3.1 落干实验

称取沉积物样品 10.0 g 于 50 mL 塑料瓶中, 混匀后加去离子水调节含水量至 60% 最大持水量. 为避免厌氧和水分损失, 采用 parafilm 保水透气膜封口, 并扎小孔通气. 分别于 25℃ 和 35℃ 进行恒温培养, 培养期间采用称重法保持水分恒定. 分别于培养 3、7、14、21、28 d 破坏性取样, 样品加入 100 mL $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液振荡 2 h, 过滤离心后取上清

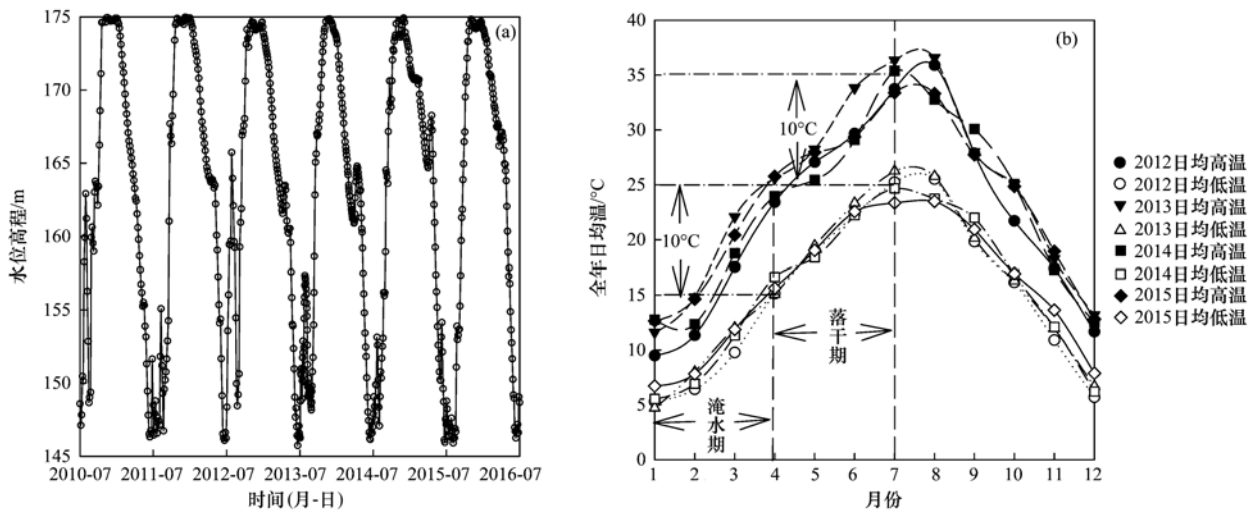


图2 水位年际涨落及气温变化

Fig. 2 Annual change of water level and temperature

液测 NH_4^+-N 及 NO_3^--N 含量。

1.3.2 淹水实验

称取沉积物样品 10.0 g 于 50 mL 塑料瓶中, 缓慢加入 20 mL 去离子水, 所有实验均在手套箱内完成, 辅以高纯氮(99.99%)控制在氧气含量小于 1×10^{-6} , 使培养体系处于厌氧状态。随后拧紧瓶盖, 分别置于 15°C 和 25°C 的恒温培养箱中进行培养。分别在培养 3、7、14、21、28 d 用溶液采样器获取沉积物溶液, 测定 NH_4^+-N 含量(由于厌氧条件无 NO_3^--N 产生且培养后期无变化, 本实验淹水期氮矿化累积仅用 NH_4^+-N 计算)。

1.4 测定方法

pH 值采用 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 浸提法、铵态氮采用靛酚蓝比色法、硝态氮采用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KCl}$ 浸提比色法、沉积物粒径采用比重法、总碳(TC)和总氮(TN)用元素分析仪(意大利 EA3000)。

1.5 计算方法

采用文献[19]中氮矿化量的方法, 公式如下:

$$\text{净氮矿化量} [\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}] = (\text{培养第 } i \text{ 天后的 } \text{NO}_3^--\text{N} + \text{NH}_4^+-\text{N}) - (\text{初始 } \text{NO}_3^--\text{N} + \text{NH}_4^+-\text{N}) \quad (1)$$

$$\text{硝化量} [\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}] = (\text{培养第 } i \text{ 天后的 } \text{NO}_3^--\text{N}) - (\text{初始 } \text{NO}_3^--\text{N}) \quad (2)$$

$$\text{氨化量} [\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}] = (\text{培养第 } i \text{ 天后的 } \text{NH}_4^+-\text{N}) - (\text{初始 } \text{NH}_4^+-\text{N}) \quad (3)$$

采用上述方法获得净氮矿化量、硝化量和氨化量后, 除以对应培养时间 i 天, 得到净氮矿化速率、硝化速率和氨化速率 $[\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}]$ 。

通过测定样品在不同培养温度下, 相同培养时

间土壤氮矿化速率的比值计算其温度敏感性 Q_{10} 值, 公式如下^[20]:

$$Q_{10} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^{10/(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

式中, r_1 、 r_2 分别为培养温度 T_1 、 T_2 时的氮矿化速率 $[\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}]$ 。

1.6 统计方法

利用 Microsoft Excel 2010 数据处理, IBM SPSS Statistic 20 数据统计, SigmaPlot 12.5 进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 消落带沉积物基本理化性质

从表 1 可见, 研究区沉积物总碳含量为 $(14.37 \pm 7.07) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 总氮含量为 $(0.88 \pm 0.17) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 沉积物 NH_4^+-N 含量为 $(6.77 \pm 3.12) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 占总氮的 0.77%。 NO_3^--N 含量为 $(37.03 \pm 12.41) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 占总氮的 4.21%。消落带沉积物 NH_4^+-N 含量在水位高程上分布趋势为 $150 \text{ m} > 160 \text{ m} > 170 \text{ m}$, 且 150 m 与 170 m 高程之间存在显著性差异 ($P < 0.05$), NO_3^--N 含量在高程上的分布趋势为 $170 \text{ m} > 160 \text{ m} > 150 \text{ m}$ ($P < 0.05$), 总氮含量在 150 m 和 160 m 高程显著高于 170 m。砂砾在沉积物粒径组成中占比最高 ($70.57\% \pm 8.35\%$), 其次为粉粒 ($19.62\% \pm 6.32\%$)、黏粒 ($9.81\% \pm 3.13\%$)。

2.2 落干期和淹水期消落带沉积物氮矿化累积量

三峡支流澎溪河消落带沉积物氮矿化累积量 (25°C) 见图 3。从中可知, 落干期氨化累积量随培养时间总体呈下降趋势, 但不同水位高程之间无显著变化 ($P > 0.05$)。相反, 硝化累积量随培养时间

显著增加 ($P < 0.05$),且在低水位高程(150 m 和 160 m)显著大于高水位高程(170 m). 沉积物净氮矿化累积量在不同水位高程之间均表现为: 落干期

> 淹水期,且在落干期,不同水位高程均表现为随培养时间先升高后下降,而淹水期在低水位高程呈下降趋势,在高水位高程与落干期变化一致.

表 1 消落带沉积物基本理化性质¹⁾

Table 1 Physicochemical properties of the sediments in the water level fluctuating zone										
水位高程 /m	总碳 /g·kg ⁻¹	总氮 /mg·kg ⁻¹	C: N	pH	铵态氮 /mg·kg ⁻¹	硝态氮 /mg·kg ⁻¹	黏粒/%	粉粒/%	砂砾/%	
150	19.16 ± 0.27a	960 ± 12a	20:1	7.27 ± 0.28a	9.64 ± 0.71 a	22.46 ± 1.57a	10.68 ± 2.05a	24.10 ± 1.51a	65.22 ± 1.08a	
160	18.97 ± 0.32a	1 010 ± 11a	19:1	7.00 ± 0.20a	6.55 ± 2.14ab	33.36 ± 0.97b	11.23 ± 0.68a	23.27 ± 0.19 a	65.50 ± 0.73 a	
170	4.98 ± 0.68b	650 ± 50b	8:1	7.10 ± 0.20a	4.13 ± 0.53b	55.18 ± 0.49c	7.50 ± 2.08a	11.50 ± 1.19b	81.00 ± 3.13b	
均值	14.37 ± 7.07	880 ± 170	15:1	7.12 ± 0.36	6.77 ± 3.12	37.03 ± 12.41	9.81 ± 3.13	19.62 ± 6.32	70.57 ± 8.35	

1) 同一列不同字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著

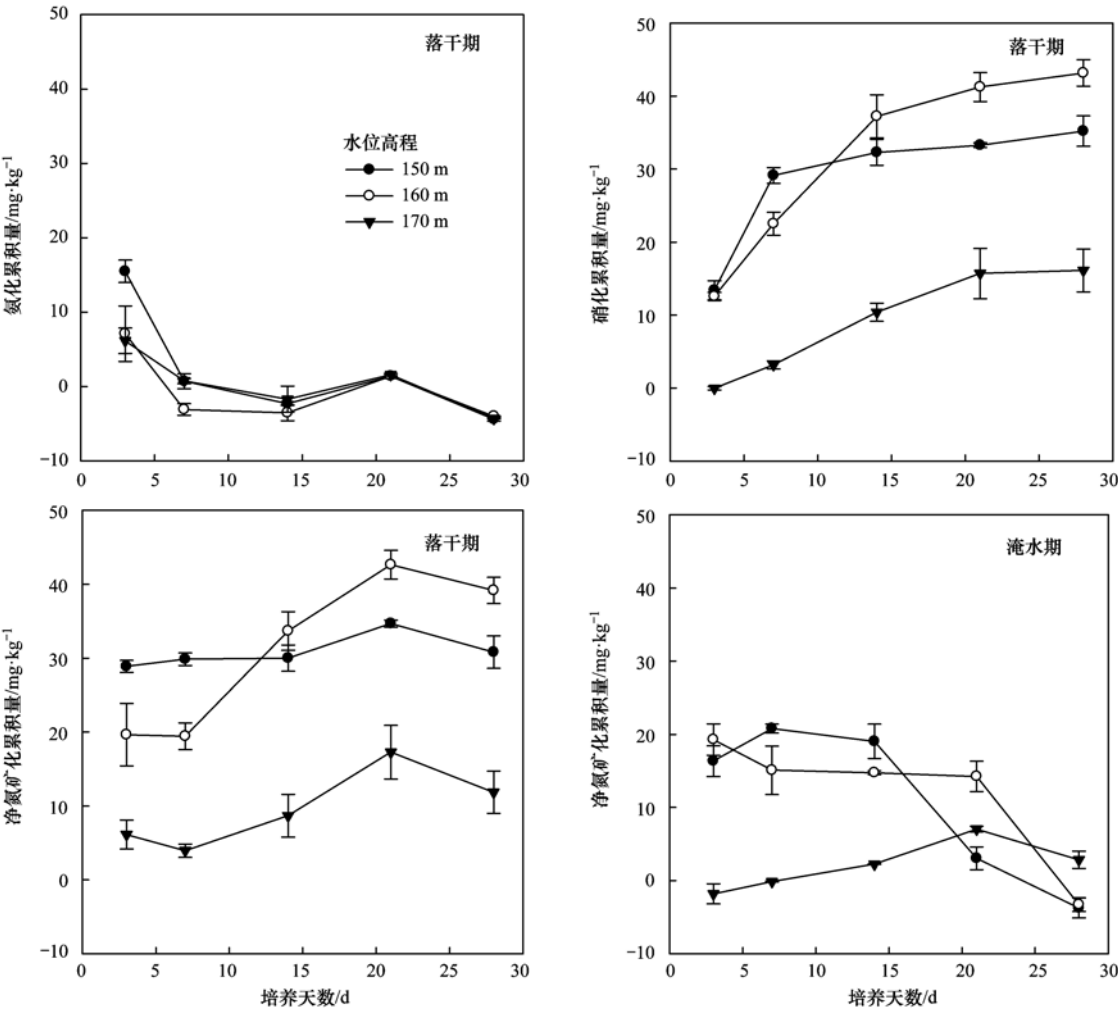


图 3 落干期和淹水期消落带沉积物氮矿化累积量

Fig. 3 N mineralization cumulation of sediment in the water level fluctuating zone during the drying and submerging periods

2.3 落干期和淹水期消落带沉积物净氮矿化速率变化

三峡支流澎溪河消落带沉积物落干期和淹水期净氮矿化速率变化(25℃)见图 4. 从中可知,不同水位高程沉积物氨化速率培养初期(0~7 d)均下降较快,之后无显著变化. 而低水位高程(150 m 和

160 m)沉积物硝化速率随培养时间呈下降趋势,而高水位高程(170 m)沉积物硝化速率无显著变化. 落干期和淹水期不同水位高程沉积物净氮矿化速率均随培养时间延长呈下降趋势,低水位高程(150 m 和 160 m)下降较快,高水位高程(170 m)下降缓慢,且低水位高程净氮矿化速率显著大于高水位高程

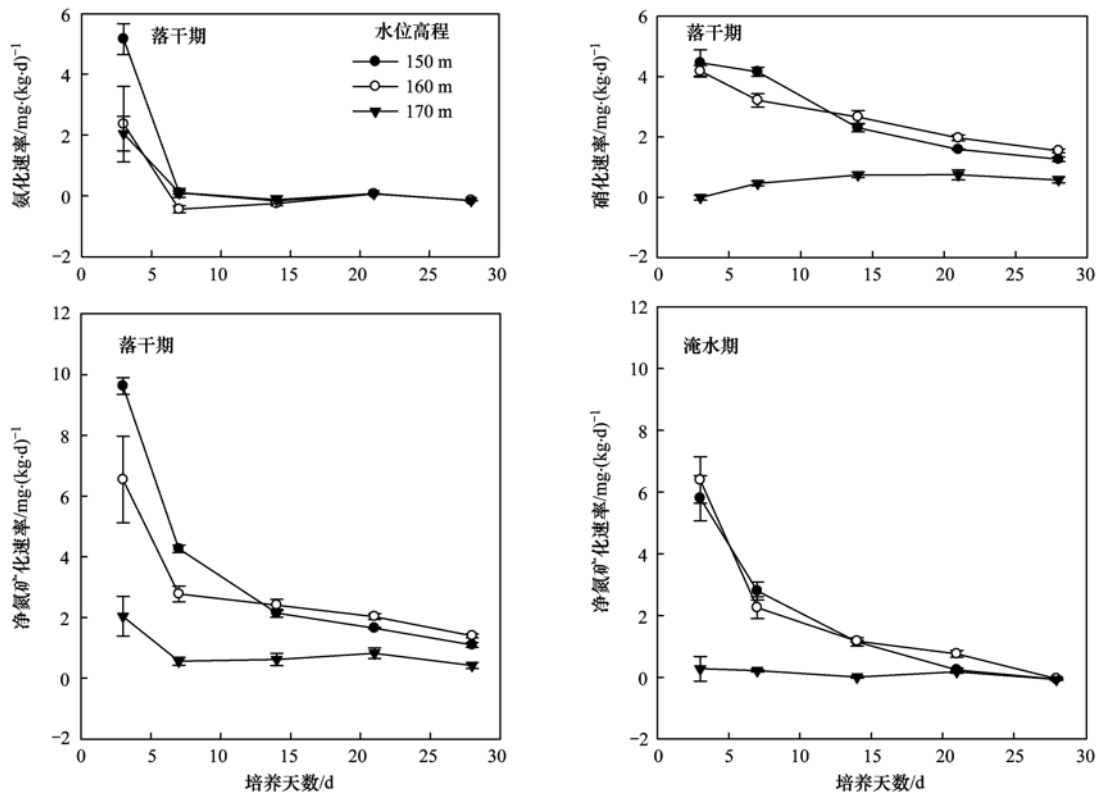


图4 落干期和淹水期消落带沉积物净氮矿化速率

Fig. 4 Net nitrogen mineralization rate of sediment in the water level fluctuating zone during the drying and submerging periods

($P < 0.05$). 与淹水期相比,落干期沉积物净氮矿化速率更快.

2.4 落干期和淹水期净氮矿化与沉积物总碳、碳氮比的关系

三峡支流澎溪河消落带沉积物培养 28 d 的净氮矿化累积量 (25°C) 与沉积物 C:N、TC 含量的线性回归分析见图 5. 从中可知,落干期和淹水期沉积物 C:N 和 TC 含量变化对氮矿化过程影响显著. 落干期沉积物净氮矿化累积量随沉积物 TC 含量和 C:N 的增加而显著增加 ($P < 0.001$). 而淹水期沉积物净氮矿化累积量变化趋势与落干期相反,随沉积物 C:N 和 TC 含量增加而下降 ($P < 0.001$).

2.5 温度升高对消落带沉积物净氮矿化的影响

沉积物氮矿化的温度系数 (Q_{10}) 可作为不同基质氮矿化对温度升高响应的敏感系数^[20]. 为探究不同水位高程消落带沉积物净氮矿化速率对温度升高的响应,采用公式(4)计算了净氮矿化速率的温度敏感性 Q_{10} ,由图 6 可知,落干期不同水位高程沉积物净氮矿化速率的温度敏感性 (Q_{10}) 均大于 1,且表现为 170 m 大于 150 和 160 m. 而淹水期 150 和 160 m 水位高程沉积物净氮矿化速率 Q_{10} 小于 1,而 170 m 水位高程 Q_{10} 大于 1.

3 讨论

澎溪河消落带沉积物 TC、TN、C:N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量随水位高程变化差异显著(表 1),其中,TC、TN、C:N 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 随水位高程降低而增加,而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量随水位高程降低而降低. 可能因为,一方面,低水位高程淹水胁迫时间较长(150 m, 平均淹水时间 338 d),缺氧条件下 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 无法向 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 转化,且 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 带正电荷易被沉积物吸附,不易流失,因此 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 累积,浓度呈上升趋势^[21]. 另一方面,高水位高程淹水时间较短(170 m, 平均淹水时间 116 d), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在落干条件下易通过 NH_3 的形式挥发而损失^[22-24]. 对于沉积物中的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,因其带负电荷且溶于水使其更易进入水体^[25],而低水位高程消落带淹水历时更长^[26],因此,通过矿化产生的硝态氮易于进入水体,表现为低水位高程沉积物 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量更低. 另外,高水位高程淹水时间较短,与低水位高程相比,植被适生性相对较好,植被生长茂盛,如狗牙根,高度、密度和单位面积生物量均显著高于 150 m 和 160 m 水位高程,这可能与沉积物硝态氮分布有一定的内在联系. 可见,落干期有利于消落带植被残体快速降解,淹水后重新进

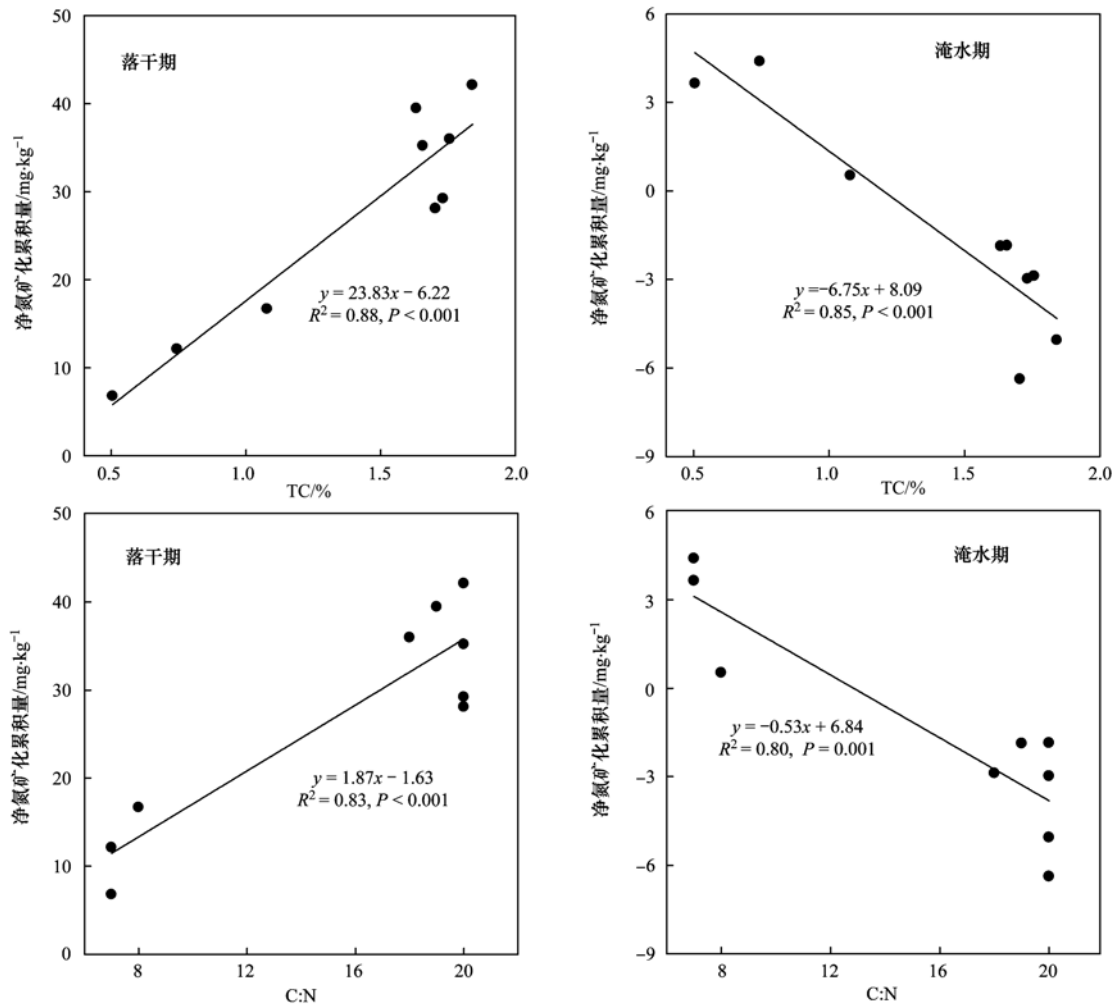


图5 净氮矿化累积量与沉积物总碳和碳氮比之间的关系

Fig. 5 Relationships of net mineralized nitrogen with TC and C/N ratio

入水体,而高水位高程落干期较长,淹水期较短,低水位与之相反,可能是导致低水位高程的 TC、TN 和 C:N 相对较高的主要原因。

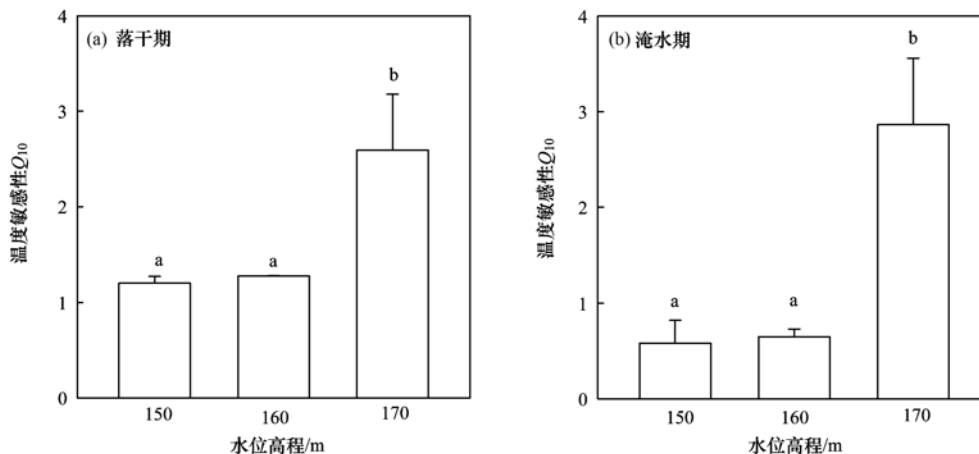
落干期沉积物氮化累积量总体呈下降趋势,而硝化累积量呈上升趋势,可能为氨化过程产生的铵态氮作为硝化作用反应底物进一步转化成硝态氮所致(图3)。与低水位高程相比,高水位高程沉积物落干期氮矿化速率更快,氮可利用性更高,在重新淹水后有大量进入水体造成水体富营养化的潜在风险。可见,不同程度的“落干-淹水”循环过程,使消落带沉积物 C、N 矿化及含量分布存在明显差异。短期培养过程中沉积物氮矿化主要来自易分解氮库,这部分氮库受沉积物团聚体等物理化学保护作用较弱,被优先分解矿化,而沉积物中难分解氮库组分受沉积物团聚体等物理化学保护作用较强,难于分解矿化^[28,29]。沉积物硝化速率和氨化速率不同水位高程消落带均表现为培养期间下降较快,后期趋势平缓,而净氮矿化速率在培养前期快速下降受氨

化速率的影响较大(图4)。氨化速率和净氮矿化速率在高程上表现为:150 m 和 160 m 高程显著大于 170 m 高程,可能为低水位高程失去淹水保护后,暴露于空气中,硝化速率相对加快,而高水位高程无明显变化所致。

淹水期净氮矿化累积和矿化速率总体变化趋势一致,表现为培养前期快速下降,后期趋于稳定(图3和图4),这与周吉利等^[30]的研究结果一致。淹水培养初期,厌氧微生物迅速繁殖并将沉积物中有机氮分解为铵态氮,低水位高程沉积物底物相对充足(比高水位高程 C、N 和 C:N 更高)使其氮矿化速率更快。另外,随着培养时间延长厌氧微生物增殖速度减缓,使净氮矿化速率减缓。李建兵等^[31]研究表明,盐分累积效应(铵态氮)可能对微生物的生长具有抑制作用,使淹水培养氮矿化速率趋于稳定。沉积物的 NH₄⁺ 利用 Fe³⁺ 和 Al³⁺ 等电子受体发生厌氧氨氧化作用转化为 N₂,使 NH₄⁺ 减少,表现为净氮矿化速率下降。金相灿等^[32]研究表明,微生物可能以铵态氮为氮

源来合成自身组分,从而使体系中的无机氮转化为有机氮(微生物量氮),使净氮矿化速率下降。淹水胁迫使低水位高程消落带沉积物氮矿化速率降低且对温度升高不敏感($Q_{10} < 1$),对氮素有一定固持作用,但

在落干期不同水位高程消落带沉积物氮素均加速矿化且对温度升高更加敏感($Q_{10} > 1$,图6),这可能导致氮素在消落带重新淹水加速后大量进入水体,进一步增加三峡支流水体富营养化的风险。



不同字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著

图6 落干期和淹水期沉积物净氮矿化的温度敏感性

Fig. 6 Temperature sensitivity of net nitrogen mineralization of sediment in drying and submerging periods

4 结论

淹水过程降低了三峡支流消落带沉积物氮矿化速率和低水位高程氮矿化对温度升高的敏感性,而随后的落干过程和季节性温度升高加速了氮矿化过程,从而增加了氮素在淹水重新加湿过程中大量进入水体的风险。可见,淹水-落干循环过程是控制三峡支流沉积物氮素转化和进入水体的关键因素,对解决三峡支流消落带植被适生性下降和落干期水体富营养化频发等问题至关重要,在未来的工作中仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] Schulten H R, Schnitzer M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, **26** (1): 1-15.
- [2] Goodridge B M, Melack J M. Temporal evolution and variability of dissolved inorganic nitrogen in beach pore water revealed using radon residence times[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **48** (24): 14211-14218.
- [3] Mooshammer M, Wanek W, Hämmerle I, et al. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling [J]. *Nature Communications*, 2014, **5**: 3694.
- [4] Sun S H, Liu J J, Chang S X. Temperature sensitivity of soil carbon and nitrogen mineralization: impacts of nitrogen species and land use type[J]. *Plant and Soil*, 2013, **372** (1-2): 597-608.
- [5] Guntiñas M E, Leirós M C, Trasar-Cepeda C, et al. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: a laboratory study[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2012,

48: 73-80.

- [6] Zhu B, Gutknecht J L M, Herman D J, et al. Rhizosphere priming effects on soil carbon and nitrogen mineralization [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, **76**: 183-192.
- [7] Abera G, Wolde-Meskel E, Bakken L R. Carbon and nitrogen mineralization dynamics in different soils of the tropics amended with legume residues and contrasting soil moisture contents [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, **48** (1): 51-66.
- [8] Mueller K E, Hobbie S E, Oleksyn J, et al. Do evergreen and deciduous trees have different effects on net N mineralization in soil? [J]. *Ecology*, 2012, **93** (6): 1463-1472.
- [9] 赵琦齐, 沈玉娟, 李平, 等. 温度对太湖湖滨带不同水分梯度土壤氮矿化的影响 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2011, **35** (6): 147-150.
- Zhao Q Q, Shen Y J, Li P, et al. Responses of soil nitrogen mineralization to temperature along soil moisture gradients in the riparian zone of Taihu Lake [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2011, **35** (6): 147-150.
- [10] 林俊杰, 张帅, 刘丹, 等. 季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响 [J]. *环境科学*, 2016, **37** (2): 697-702.
- Lin J J, Zhang S, Liu D, et al. Effect of seasonal temperature increasing on nitrogen mineralization in soil of the water level fluctuating zone of Three Gorge tributary during the dry period [J]. *Environmental Science*, 2016, **37** (2): 697-702.
- [11] Jin V L, Haney R L, Fay P A, et al. Soil type and moisture regime control microbial C and N mineralization in grassland soils more than atmospheric CO₂-induced changes in litter quality [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, **58**: 172-180.
- [12] 李铭, 朱利川, 张全发, 等. 不同土地利用类型对丹江口库区土壤氮矿化的影响 [J]. *植物生态学报*, 2012, **36** (6): 530-538.
- Li M, Zhu L C, Zhang Q F, et al. Impacts of different land use types on soil nitrogen mineralization in Danjiangkou Reservoir

- Area, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, **36**(6): 530-538.
- [13] 葛晓敏, 王瑞华, 唐罗忠, 等. 不同温湿度条件下杨树人工林土壤氮矿化特征研究[J]. 中国农学通报, 2015, **31**(10): 208-213.
- Ge X M, Wang R H, Tang L Z, *et al.* Study on the effects of temperature and moisture on nitrogen mineralization of soil in poplar plantations[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, **31**(10): 208-213.
- [14] 马利民, 张明, 滕衍行, 等. 三峡库区消落区周期性干湿交替环境对土壤磷释放的影响[J]. 环境科学, 2008, **29**(4): 1035-1039.
- Ma L M, Zhang M, Teng Y H, *et al.* Characteristics of phosphorous release from soil in periodic alternately waterlogged and drained environments at WFZ of the Three Gorges Reservoir[J]. Environmental Science, 2008, **29**(4): 1035-1039.
- [15] 王建超, 朱波, 汪涛, 等. 三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验[J]. 环境科学, 2012, **33**(4): 1144-1151.
- Wang J C, Zhu B, Wang T, *et al.* Nitrogen and phosphorus release from herbaceous vegetation under simulated inundation experiment of water-level fluctuation zone in the Three Gorges Reservoir Area[J]. Environmental Science, 2012, **33**(4): 1144-1151.
- [16] 胥焘, 王飞, 郭强, 等. 三峡库区香溪河消落带及库岸土壤重金属迁移特征及来源分析[J]. 环境科学, 2014, **35**(4): 1502-1508.
- Xu T, Wang F, Guo Q, *et al.* Transfer characteristic and source identification of soil heavy metals from water-level-fluctuating zone along Xiangxi River, Three-Gorges Reservoir Area[J]. Environmental Science, 2014, **35**(4): 1502-1508.
- [17] 吉芳英, 王图锦, 胡学斌, 等. 三峡库区消落区水体-沉积物重金属迁移转化特征[J]. 环境科学, 2009, **30**(12): 3481-3487.
- Ji F Y, Wang T J, Hu X B, *et al.* Movement and transformation of heavy metals in water-sediment in water-level-fluctuating zone of Three Gorges reservoir area[J]. Environmental Science, 2009, **30**(12): 3481-3487.
- [18] Ye C, Li S Y, Zhang Y L, *et al.* Assessing soil heavy metal pollution in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, **191**(1-3): 366-372.
- [19] 王士超, 周建斌, 陈竹君, 等. 温度对不同年限日光温室土壤氮素矿化特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, **21**(1): 121-127.
- Wang S C, Zhou J B, Chen Z J, *et al.* Effects of temperature on soil nitrogen mineralization in solar greenhouses with different cultivation years[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, **21**(1): 121-127.
- [20] 高俊琴, 欧阳华, 张锋, 等. 若尔盖高寒湿地土壤氮矿化对温度和湿度的响应[J]. 湿地科学, 2008, **6**(2): 229-234.
- Gao J Q, Ouyang H, Zhang F, *et al.* The response of soil nitrogen mineralization to soil temperature and soil moisture in Zoige Alpine Wetland[J]. Wetland Science, 2008, **6**(2): 229-234.
- [21] 周涛, 李正魁, 冯露露. 氨氮和硝氮在太湖水华自维持中的不同作用[J]. 中国环境科学, 2013, **33**(2): 305-311.
- Zhou T, Li Z K, Feng L L. The different roles of ammonium and nitrate in the bloom self-maintenance of Lake Taihu[J]. China Environmental Science, 2013, **33**(2): 305-311.
- [22] Berendse F. Implications of increased litter production for plant biodiversity[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1999, **14**(1): 4-5.
- [23] Evans C A, Miller E K, Friedland A J. Nitrogen mineralization associated with birch and fir under different soil moisture regimes[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1998, **28**(12): 1890-1898.
- [24] 曹兵, 贺发云, 徐秋明, 等. 南京郊区番茄地中氮肥的气态氮损失[J]. 土壤学报, 2006, **43**(1): 62-68.
- Cao B, He F Y, Xu Q M, *et al.* Gaseous losses from n fertilizers applied to a tomato field in Nanjing suburbs[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, **43**(1): 62-68.
- [25] Shang F Z, Yang P L, Li Y K, *et al.* Effects of different chemical nitrogenous fertilizer application rates on soil nitrogen leaching and accumulation in deep vadose zone[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, **28**(7): 103-110.
- [26] Tang Q, Bao Y H, He X B, *et al.* Sedimentation and associated trace metal enrichment in the riparian zone of the Three Gorges Reservoir, China[J]. Science of the Total Environment, 2014, **479-480**: 258-266.
- [27] Bloom A J. The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2015, **25**: 10-16.
- [28] Yamashita T, Flessa H, John B, *et al.* Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: effect of land use[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, **38**(11): 3222-3234.
- [29] 于维水, 卢昌艾, 李桂花, 等. 不同施肥制度下中国东部典型土壤易分解与耐分解氮的组分特征[J]. 中国农业科学, 2015, **48**(15): 3005-3014.
- Yu W S, Lu C A, Li G H, *et al.* Component characteristics of soil labile and recalcitrant nitrogen under different long-term fertilization systems in east China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, **48**(15): 3005-3014.
- [30] 周吉利, 邹刚华, 彭佩钦, 等. 中亚热带典型红壤区土壤氮矿化动力学参数估算[J]. 农业现代化研究, 2015, **36**(4): 702-707.
- Zhou J L, Zou G H, Peng P Q, *et al.* Estimating the kinetic parameters of soil organic nitrogen mineralization for various land use types in a typical hilly red-soil region in subtropical central China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2015, **36**(4): 702-707.
- [31] 李建兵, 黄冠华. 盐分对粉壤土氮转化的影响[J]. 环境科学研究, 2008, **21**(5): 98-103.
- Li J B, Huang G H. Pilot study of salinity (NaCl) affecting nitrogen transformation in silt loam soil[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, **21**(5): 98-103.
- [32] 金相灿, 崔哲, 王圣瑞. 连续淹水培养条件下沉积物和土壤的氮素矿化过程[J]. 土壤通报, 2006, **37**(5): 909-915.
- Jin X C, Cui Z, Wang S R. Nitrogen mineralization processes of sediments and soil under continuously waterlogged incubation conditions[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, **37**(5): 909-915.

CONTENTS

Atmospheric Dry Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Particulate Matter and Lead in Urban Beijing	YAO Li, LIU Jin, PAN Yue-peng, <i>et al.</i> (423)
Pollution Characteristics of Heavy Metals in PM _{2.5} and Their Human Health Risks Among the Coastal City Group Along Western Taiwan Straits Region, China	CHEN Yan-ting, DU Wen-jiao, CHEN Jin-sheng, <i>et al.</i> (429)
Correlation of Speciated Mercury with Carbonaceous Components in Atmospheric PM _{2.5} in Shengsi Region	CHENG Na, QIAN Guan-lei, DUAN Lian, <i>et al.</i> (438)
Compositions and Sources of Summertime Dicarboxylic Acids and Related SOA in PM _{2.5} from Mt. Taishan	MENG Jing-jing, HOU Zhan-fang, LIU Xiao-di, <i>et al.</i> (445)
Variation Characteristics and Health Risk Assessment of BTEX in the Atmosphere of Northern Suburb of Nanjing	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, WANG Jian-yu, <i>et al.</i> (453)
Inventory and Environmental Impact of VOCs Emission from Anthropogenic Source in Chang-Zhu-Tan Region	YOU Xiang-yu, LUO Da-tong, LIU Zhan, <i>et al.</i> (461)
Characteristics of Methane Emission from Urban Traffic in Nanjing	ZHANG Xue, HU Ning, LIU Shou-dong, <i>et al.</i> (469)
Variations in Aerosol Optical Depth over Three Northeastern Provinces of China, in 2003-2014	ZHANG Chen-he, ZHAO Tian-liang, WANG Fu, <i>et al.</i> (476)
Variation Analysis of Daily PM _{2.5} Concentrations Based on Boosted Regression Tree: A Case Study in Changzhou	GE Yue, WANG Ming-xin, SUN Xiang-wu, <i>et al.</i> (485)
Characteristics of Mercury Emissions from Coal-fired Power Plants in Chongqing	ZHANG Cheng, ZHANG Ya-hui, WANG Yong-min, <i>et al.</i> (495)
Possible Sources of PCDD/Fs in Atmosphere of a Certain District in Guangdong	FU Jian-ping, HAN Jing-lei, YU Xiao-wei, <i>et al.</i> (502)
Sources and Pollution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes and Conditional Pathogenic Bacteria in Concentrated Poultry Feeding Operations	GAO Min, QIU Tian-lei, QIN Yu-cheng, <i>et al.</i> (510)
Distribution and Burial Characteristics of Nitrogen Forms in Sediment of Dianchi Lake During Last Century	WU Ya-lin, LI Shuai-dong, JIANG Jun-wu, <i>et al.</i> (517)
Temporal and Spatial Variations of Dissolved Inorganic Carbon and Its Stable Isotopic Composition in the Surface Stream of Karst Groundwater Recharge	LI Li, PU Jun-bing, LI Jian-hong, <i>et al.</i> (527)
Succession Pattern of Phytoplankton of Daning River in the Three Gorges Reservoir and Its Driving Factors	ZHANG Jia-lei, ZHENG Bing-hui, LIU De-fu, <i>et al.</i> (535)
Response of the Water Quality of a Stratified Reservoir to an Extreme El Niño Event During Summer	QIU Xiao-peng, HUANG Ting-lin, ZENG Ming-zheng, <i>et al.</i> (547)
Effect of Coupling Process of Wetting-Drying Cycles and Seasonal Temperature Increasing on Sediment Nitrogen Minerization in the Water Level Fluctuating Zone	LIN Jun-jie, LIU Dan, ZHANG Shuai, <i>et al.</i> (555)
Photo-induced Phosphate Release from Organic Phosphorus Decomposition Driven by Fe(III)-oxalate Complex in Lake Water	JIANG Yong-can, PENG Yun-xiao, LIU Guang-long, <i>et al.</i> (563)
Preparation and Phosphorus Removal Mechanism of Highly Efficient Phosphorus Adsorbent Mg/Al-LDO	WANG Wei-dong, HAO Rui-xia, ZHANG Xiao-xian, <i>et al.</i> (572)
Efficiency and Mechanism of Nitrogen and Phosphorus Removal in Modified Zeolite Wetland	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Le-zhong, <i>et al.</i> (580)
Repression of Nitrogen and Phosphorus Release from Lakeshore Sediment by Five Littoral-zone Plants	YAO Cheng, HU Xiao-zhen, LU Shao-yong, <i>et al.</i> (589)
Simulated Desorption Kinetics of Lead by the Dominant Plant Roots Released Low Molecular Weight Organic Acids from the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	HE Yuan-jie, LIU Jiang, JIANG Tao, <i>et al.</i> (600)
Experimental Research of Hg ²⁺ Removal by TiO ₂ /Bentonite Composite	TANG Xing-ping, ZHOU Xiong, ZHANG Jin-yang, <i>et al.</i> (608)
Impact of Ammonia and H ₂ O ₂ on Bromate and Disinfection By-products Control	WANG Yong-jing, DU Xu, JIN Meng, <i>et al.</i> (616)
Influencing Factors of Bacterial Activity in Water Distribution Networks	WANG Xiao-dan, ZHAO Xin-hua, <i>et al.</i> (622)
Adsorptive Remediation of Cr(VI) Contaminated Groundwater with Chemically Synthesized Schwertmannite	ZHU Li-chao, LIU Yuan-yuan, LI Wei-min, <i>et al.</i> (629)
Characteristics and Mechanism of Hybrid Ozonation-Coagulation Process in Wastewater Reclamation	HOU Rui, JIN Xin, JIN Peng-kang, <i>et al.</i> (640)
Nitrogen Removal Effect and Conversion Characteristics of Nitrous Oxide in Single-stage and Multi-stage A/O Processes	GUO Chang-zi, ZHANG Feng-yan, LIU Fu-yu, <i>et al.</i> (647)
Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX with Different Organic Carbon Sources	GUAN Yong-jie, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (654)
Operational Performance and Microbial Community Structure in a Completely Mixed Aeration System	WANG Shuo, XU Qiao, ZHANG Guang-sheng, <i>et al.</i> (665)
Start-up of Combined Floc-granule CANON Process and the Effects of SRT on Reactor Performance	SUN Yan-fang, HAN Xiao-yu, ZHANG Shun-jun, <i>et al.</i> (672)
Effects of Free Ammonia Regulation on the Performance of High Solid Anaerobic Digesters with Dewatered Sludge	DAI Xiao-hu, HE Jin, YAN Han, <i>et al.</i> (679)
Highly Efficient Bioflocculation of Microalgae Using <i>Mucor circinelloides</i>	GU Qiong, JIN Wen-biao, CHEN Yuan-qing, <i>et al.</i> (688)
Effect of Zero Valent Iron on the Decline of Tetracycline Resistance Genes and Class 1 Integrons During Thermophilic Anaerobic Digestion of Sludge	WEI Xin, XUE Shun-li, YANG Fan, <i>et al.</i> (697)
Concentration, Sources and Ecological Risks of PAHs of Different Land Use Types in Shenfu New City	WANG Jing, LIU Ming-li, ZHANG Shi-chao, <i>et al.</i> (703)
Compositions, Sources and Health Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Dusts from Driving-schools in a City of Henan Province, China	CHEN Yi-nan, MA Jian-hua, DUAN Hai-jing, <i>et al.</i> (711)
Remediation of Decabromodiphenyl Ether Contaminated Sediment Through Plant Roots Enhanced by Exogenous Microbes	YANG Lei-feng, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (721)
Impacts of Bioremediation on Microbial Communities and Different Forms of Nitrogen in Petroleum Contaminated Soil	YE Xi-qiong, WU Man-li, CHEN Kai-li, <i>et al.</i> (728)
Effects of <i>Rhodopseudomonas palustris</i> PSB06 on Pepper Rhizosphere Microbial Community Structure	LUO Lu-yun, JIN De-cai, ZUO Hui, <i>et al.</i> (735)
Effect of Reclaimed Water on Bacterial Community Composition and Function in Urban River Sediment	DI Yan-ming, WANG Guang-xuan, HUANG Xing-ru, <i>et al.</i> (743)
Effects of Different Vegetation Types and Reclamation Years on Soil Bacterial Community Structure in Reclaimed Mine Areas	HE Long, LI Yan-qin, LI Bin-chun, <i>et al.</i> (752)
Characteristic of Abundances and Diversity of Carbon Dioxide Fixation Microbes in Paddy Soils	LIU Qiong, WEI Xiao-meng, WU Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Effects of Biochar Pyrolyzed at Varying Temperatures on Soil Organic Carbon and Its Components: Influence on the Composition and Properties of Humic Substances	ZHAO Shi-xiang, YU Xiao-ling, LI Zhong-hui, <i>et al.</i> (769)
Straw Composts with Composite Inoculants and Their Effects on Soil Carbon and Nitrogen Contents and Enzyme Activity	NIE Wen-han, QI Zhi-ping, FENG Hai-wei, <i>et al.</i> (783)
Comparative Analysis on Effect of Wheat Straw and Its Biochar Amendment on Net Global Warming Potential Under Wheat-Maize Rotation Ecosystem in the Guanzhong Plain	CHENG Gong, CHEN Jing, LIU Jing-jing, <i>et al.</i> (792)
Isolation and Identification of a Chlorobenzene-degrading Bacterium and Its Degradation Characteristics	YE Jie-xu, LIN Tong-hui, LUO Yu-hao, <i>et al.</i> (802)
Isolation, Identification and Metabolic Characteristics of a Heterotrophic Denitrifying Sulfur Bacterial Strain	TAN Wen-bo, MA Xiao-dan, HUANG Cong, <i>et al.</i> (809)
Effects of Continuous Application of Sewage Sludge Compost on Heavy Metals Accumulation and Mobility Characteristics in Soil Profile and on Heavy Metals Uptake of Wheat	SUN Na, SHANG He-ping, RU Shu-hua, <i>et al.</i> (815)
Effects of Nitrogen Application on Selenium Uptake, Translocation and Distribution in Winter Wheat	CHEN Yu-peng, PENG Qin, LIANG Dong-li, <i>et al.</i> (825)
Accumulation and Biotransformation in Typical Freshwater Algae Species Influenced by Titanium Dioxide Nanoparticles Under Long-term Exposure	LI Jin-li, WANG Zhen-hong, YAN Ya-meng, <i>et al.</i> (832)
Sorption of <i>p</i> -Nitrophenol by Biochars of Corn cob Prepared at Different Pyrolysis Temperatures	MA Feng-feng, ZHAO Bao-wei, <i>et al.</i> (837)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2017年2月15日 第38卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 38 No. 2 Feb. 15, 2017

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	北京宝昌彩色印刷有限公司	Printed	by	Beijing Baochang Color Printing Co., Ltd.
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 140.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人

ISSN 0250-3301



9 770250 330172