

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第11期

Vol.38 No.11

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

天津市非道路移动源污染物排放清单开发	张意, Andre Michel, 李东, 张欣, 吴琳, 张衍杰, 马超, 邹超, 毛洪钧 (4447)
基于移动监测和土地利用回归模型的上海市近地面黑碳浓度空间模拟	彭霞, 余倩楠, 龙凌波, 刘敏, 徐茜, 魏宁, 周陶冶 (4454)
鄂东典型工业城市大气 PM ₁₀ 中元素浓度特征和来源分析	占长林, 张家泉, 郑敬茹, 姚瑞珍, 刘红霞, 肖文胜, 刘先利, 曹军骥 (4463)
常州夏秋季 PM _{2.5} 中碳质气溶胶特征及来源	叶招莲, 刘佳澍, 李清, 马帅帅, 许澎 (4469)
徐州市冬季大气细颗粒物水溶性无机离子污染特征及来源解析	范美益, 曹芳, 张园园, 鲍孟盈, 刘晓妍, 张雯淇, 高嵩, 章炎麟 (4478)
南宁市一次污染过程大气颗粒物理化特性及来源	刘慧琳, 陈志明, 李宏姣, 蒋靖坤, 张强, 黄炯丽, 毛敬英, 梁桂云, 杨俊超, 张达标, 莫招育 (4486)
西安市秋冬季不同空气质量下可培养微生物气溶胶浓度和粒径分布	李婉欣, 路瑞, 谢铮胜, 王金龙, 范春兰, 刘鹏霞, 李彦鹏 (4494)
黄渤海海域秋季营养盐及有色溶解有机物分布特征	唐永, 孙语嫣, 石晓勇, 韩秀荣, 苏荣国 (4501)
华东沿海滩涂区表层沉积物重金属含量特征及风险评价	张明, 鲍征宇, 陈国光, 雍太健, 朱意萍, 梁晓红 (4513)
基于地球化学特性的海州湾海洋牧场沉积物重金属研究	李大鹏, 张硕, 张中发, 罗娜, 魏青青, 张瑞, 黄宏 (4525)
尼洋河流域水化学特征及其控制因素	张涛, 蔡五田, 李颖智, 张智印, 耿婷婷, 边超, 赵森, 蔡月梅 (4537)
南亚热带地区水库夏季铁、锰垂直分布特征	杨思远, 赵剑, 余华章, 彭亮, 肖利娟 (4546)
辽河流域地表水中典型抗生素污染特征及生态风险评估	张晓娇, 柏杨巍, 张远, 马淑芹, 郭昌胜, 张莉 (4553)
东太湖渔业养殖对沉积物营养盐的影响	何肖微, 储瑜, 曾巾, 赵大勇, 陆建明, 曹萍, 吴庆龙 (4562)
浑太河不同水生态区营养盐对底栖硅藻的影响及阈值	张莉, 林佳宁, 张远, 王书平, 臧小苗, 张晓娇 (4570)
水环境条件对三峡库区消落带狗牙根根磷养分淹水浸泡释放的影响	肖丽微, 朱波 (4580)
野鸭湖湿地芦苇根际微生物多样性与磷素形态关系	滕泽栋, 李敏, 朱静, 宋明阳 (4589)
人为扰动背景下城市边缘溪流底质硝化-反硝化潜力分析	李如忠, 郑侠, 高苏蒂, 叶舟 (4598)
不同扰动下外源磷在形态磷间的分布规律	蔡顺智, 李大鹏, 唐鑫煜, 李浩冉, 朱伟, 黄勇 (4607)
伊乐藻-高效脱氮微生物协同作用对污染水体氮素脱除机制的影响	王浩, 李正魁, 张一品, 丁帮璟 (4617)
零价铁活化过硫酸钠去除废水中的砷(V)	周孜迈, 邓文娜, 杨艺琳, 孙艳秋, 王悦, 柳听义, 王中良 (4623)
nZVI/AC 复合材料对水中锑的去除	蒋婷, 鲍玥, 李威, 方荣业, 史惠祥 (4632)
流态对生物添加强化硝化效果的影响	于莉芳, 杜倩倩, 张茹, 杨秀玲, 李初, 渭思思, 冯云堂 (4641)
温度对 SBR 生物脱氮效能及胞外聚合物的影响	孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (4648)
温度对间歇曝气 SBR 短程硝化及硝化活性的影响	刘宏, 彭永臻, 卢炯元, 李慧, 南彦斌, 王瑾, 陈永志 (4656)
不同诱导模式下 CAST 工艺的亚硝酸盐型反硝化除磷能力	马娟, 王谨, 俞小军, 张伟, 魏雪芬, 陈永志, 田文清 (4664)
污水处理厂 CANON 工艺小试	李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (4673)
SBR 加载不同粒径磁性活性炭对其污泥颗粒化进程的影响机制	信欣, 管蕾, 郭俊元, 刘洁, 冯梅, 余婷婷 (4679)
常温下厌氧氨氧化污泥的储存及活性恢复	黄佳路, 王小龙, 高大文 (4687)
同步脱氮除磷好氧颗粒污泥培养过程微生物群落变化	高景峰, 王时杰, 樊晓燕, 潘凯玲, 张丽芳, 张树军, 高永青, 张帅 (4696)
硫酸盐和 Fe(II) EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA 厌氧还原过程特性及微生物群落分析	张玉, 万方, 周集体 (4706)
SBR 系统外加磁场对微生物群落多样性和处理效果的影响	耿淑英, 付伟章, 王静, 郑书联 (4715)
安徽某铁矿排土场废矿石中产酸微生物群落	杜泽瑞, 郝春博, 裴理鑫, 卫朋飞, 张鑫, 鲁艳春 (4725)
典型集雨人饮地区窖水微生物群落多样性及差异解析	杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔 (4733)
表层沉积物中 6:2 氟调醇生物降解对细菌群落结构的影响	王丹, 侯珍, 张琪, 周莹, 卢晓霞 (4747)
外源环烷酸在土壤中的降解过程及对微生物群落结构的影响	刘艳秋, 赵嫣然, 刘梦娇, 樊灏, 黄艺 (4756)
1 株异养硝化-好氧反硝化细菌 DK1 的分离鉴定及其脱氮特性	牟东阳, 靳鹏飞, 彭永臻, 李夕耀, 张琼, 何建中 (4763)
重庆缙云山 4 种典型植被覆盖下汞的释放通量及影响因素	杨光, 孙涛, 安思危, 马明 (4774)
模拟氮沉降对闽江口淡水感潮沼泽湿地 CO ₂ 、CH ₄ 排放通量的短期影响	李冬冬, 仝川, 谭立山, 陈坤龙, 孙东耀, 黄佳芳 (4782)
地膜覆盖对稻-油轮作农田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	石将来, 郝庆菊, 冯迪, 张凯莉, 石孝均, 江长胜 (4790)
西安市公园土壤多环芳烃污染特征、来源及风险评价	周燕, 卢新卫 (4800)
不同沙生灌木下土壤颗粒及重金属空间分布特征	代豫杰, 郭建英, 董智, 李锦荣, 李红丽 (4809)
不同水分梯度下 UV-B 辐射对 2 个稻田土壤碳氮转化的影响	蒋梦蝶, 王秋敏, 徐鹏, 周维, 郭磊, 胡荣桂 (4819)
喀斯特灌丛土壤丛枝菌根真菌群落结构及丰度的影响因子	梁月明, 苏以荣, 何寻阳, 陈香碧, 胡亚军 (4828)
生物炭和草酸活化磷矿粉对镉镍复合污染土壤的应用效果	段然, 胡红青, 付庆灵, 寇长林 (4836)
反复冻融与高温老化对神污染土壤固化稳定化效果的影响	杨洁, 钱赵秋, 王旌 (4844)
皂角苷和柠檬酸联合对污泥中 Cu、Pb 和 Zn 的去除及其稳定性特征	叶涛, 黄丽, 张克强, 张斌, 常红, 刘智杰, 杜连柱 (4850)
针铁矿与胡敏酸的交互作用及其复合物的稳定性	王锐, 朱朝菊, 向文军, 方敦, 杨小洪, 吴少尉, 魏世勇 (4860)
塑胶跑道中有机磷酸酯的含量及健康风险	印红玲, 刘琴, 廖林群, 王震, 罗怡, 邓旭, 丁凌刚, 唐铭 (4868)
农业废物堆肥化中理化参数对 GH6 家族基因影响	陈耀宁, 苟宇, 黎媛萍, 伍艳馨, 陈艳容, 李辉, 刘耀, 汪元南, 张道利, 朱福造, 曾光明 (4874)
F/M 及 HRT 对果蔬垃圾厌氧发酵产氢的影响	李标, 孔晓英, 李连华, 袁振宏, 孙永明, 吕鹏梅 (4882)
环境模型中敏感性分析方法评述	陈卫平, 涂宏志, 彭驰, 侯鹰 (4889)
《环境科学》征稿简则 (4462) 《环境科学》征订启事 (4672) 信息 (4647, 4705, 4789)	

不同水分梯度下 UV-B 辐射对 2 个稻田土壤碳氮转化的影响

蒋梦蝶^{1,2}, 王秋敏^{1,2}, 徐鹏¹, 周维¹, 邬磊¹, 胡荣桂^{1,3*}

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 湖北省襄阳市环境保护监测站, 襄阳 441000; 3. 华中农业大学环境生态中心, 武汉 430070)

摘要: UV-B 辐射对土壤碳氮转化的影响与土壤物理化学性质有关, 为明确土壤水分状态对 UV-B 辐射的影响, 以有机质含量不同的两个水稻土(有机质含量低的记为 L, 高的记为 H)为研究材料, 在室内研究了含水量为 25% (W1)、50% (W2) 和 100% (W3) 时, UV-B 辐射对土壤总有机碳(TOC)、可溶性有机碳(DOC)、铵态氮(NH_4^+ -N)、硝态氮(NO_3^- -N)以及累积净矿化氮量的影响。结果表明: 120 h 后, 与避光(对照, CK)相比, UV-B 辐射显著降低了土壤 TOC 的含量($P < 0.05$); UV-B 辐射下, 水分从低到高, L 土壤的 TOC 分别降低了 9.9%、4.5% 和 6.3%, H 土壤降低了 10.9%、5.6% 和 6.3%。但与对照相比, UV-B 辐射却促使土壤 DOC 增加; 且在 UV-B 辐射下水分为 100% 的处理中, 土壤 DOC 含量高于 25% 和 50% 的处理, 120 h 时, L 土壤的 DOC 分别增加了 21.5% (W1)、9.4% (W2) 和 26.3% (W3), H 土壤分别降低了 26.7% (W1)、14.2% (W2) 和 33.8% (W3)。与对照相比, UV-B 辐射使 NH_4^+ -N 含量有所下降; 且在 UV-B 辐射中, NH_4^+ -N 含量的变化幅度在不同水分条件下的整体表现为 $W1 < W2 < W3$ 。较对照处理, UV-B 辐射促进 NO_3^- -N 的累积, NO_3^- -N 变化幅度在不同水分条件下的表现为: $W1 < W3 < W2$ 。24 h 后与对照相比, UV-B 辐射对土壤累积净矿化氮量有显著影响($P < 0.05$), 且 UV-B 辐射下累积净矿化氮量在不同水分之间差异显著($P < 0.05$)。这表明光降解在土壤有机质的稳定中扮演着重要角色, UV-B 辐射会加速土壤有机碳的损失, 影响土壤矿质态氮的转化, 且水分不同, UV-B 辐射对土壤碳氮转化的影响存在一定差异。

关键词: UV-B 辐射; 水分; TOC; DOC; 矿质态氮

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)11-4819-09 DOI: 10.13227/j.hjks.201704022

Effects of UV-B Radiation on Soil Carbon and Nitrogen Transformation under Different Soil Moisture Contents from Two Paddy Fields

JIANG Meng-die¹, WANG Qiu-min^{1,2}, XU Peng¹, ZHOU Wei¹, WU Lei¹, HU Rong-gui^{1,3*}

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Xiangyang Environmental Monitoring Station, Xiangyang 441000, China; 3. Ecological Environment Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Carbon and nitrogen in soils play an important role in the global carbon and nitrogen cycle. The enhancement of ultraviolet radiation (predominantly UV-B) resulting from the depletion of stratospheric ozone has raised significant concern. The effects of UV-B radiation on soil carbon and nitrogen transformation is connected directly to the physical and chemical properties of the soil. In order to clearly understand the effects of soil moisture on UV-B radiation, this study collected soil samples from two paddy fields with different levels of organic matter in a subtropical region of China. The response of the total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC), ammonia nitrogen (NH_4^+ -N), nitrate nitrogen (NO_3^- -N) and cumulative net nitrogen mineralization to UV-B radiation under three different moisture gradients ($W1 = 25\%$, $W2 = 50\%$, and $W3 = 100\%$) were monitored in laboratory for 120 h. After this period, the results were compared with a control treatment (CK) and it was found that: the TOC content had significantly decreased under UV-B radiation ($p < 0.05$). From low to high moisture content ($W1$, $W2$ and $W3$), the TOC decreased by 9.9%, 4.5% and 6.3%, respectively for soil with low organic matter (L), and by 10.9%, 5.6% and 6.3%, respectively for soil with high organic matter (H), under UV-B radiation. However, UV-B radiation was found to enhance the DOC content in the soil compared with the CK. Furthermore, the DOC for soil moisture contents under 100% ($W3$) was higher than for other moisture contents ($W1$, $W2$). The measured DOC increased by 21.5% ($W1$), 9.4% ($W2$), and 26.3% ($W3$) for soil with L. In addition, the measured DOC increased by 26.7% ($W1$), 14.2% ($W2$) and 33.8% ($W3$) for soil with H under UV-B radiation after 120 h. Compared with control treatment (CK), UV-B radiation decreased the NH_4^+ -N content significantly, but there was an increased NO_3^- -N content. The decrease of the NH_4^+ -N content was largest for $W3$ and smallest for $W1$. The increase in NO_3^- -N content was largest for $W2$ and smallest for $W1$ for the two soil samples under UV-B radiation. UV-B radiation demonstrated an obvious effect on the cumulative net

收稿日期: 2017-04-04; 修订日期: 2017-05-27

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2012CB417100); 中央高校基本科研业务费专项(2662016PY098)

作者简介: 蒋梦蝶(1993~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为农田土壤碳氮循环, E-mail: SJmengdie@163.com

* 通信作者, E-mail: rgheu@mail.hzau.edu.cn

nitrogen mineralization ($p < 0.05$) after 24 h compared with the CK and the effect of different soil moisture treatment was also significant ($p < 0.05$). Overall, light degradation played a major role in the stabilization of soil organic matter, soil moisture, and UV-B radiation could accelerate the loss of soil organic carbon and has a major impact on the transformation of mineral nitrogen in the soil. Therefore, in agricultural production systems, completely bare surfaces should be avoided. For example, paddy rice-upland crop rotation systems could reduce the use of fallow periods.

Key words: UV-B radiation; soil moisture; total organic carbon (TOC); dissolved organic carbon (DOC); mineral nitrogen

土壤碳氮循环是全球碳氮循环的重要环节,土壤碳库的微小变化就能对整个大气 CO_2 的含量甚至全球的碳平衡产生重大影响^[1]. 土壤有机碳(TOC)不仅在提高土壤持水量、渗透势以及优化土壤团聚体结构等方面发挥着重要作用,更是反映土壤质量或土壤健康的一个重要指标^[2]. 土壤水溶性有机碳(DOC)可进入相邻圈层,是土壤圈层与水圈、岩石圈、生物圈和大气圈等之间发生物质交换的重要形态^[3]. 土壤中的有效氮主要以铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)和硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)形式存在,其含量变化对植物生产力和土壤氮素的迁移转化过程有重要影响^[4],且有机态氮一般不能直接被植物吸收,必须经矿化作用形成无机态的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,才能供植物吸收利用^[5].

研究土壤生态系统碳氮循环特点及其影响因素对土壤固碳和提高土壤肥力具有重要意义. 近年来,已有不少学者研究了土壤水分含量、土壤质地、外加氮源以及温度等对土壤碳氮转化的影响,认识到降水量、温度及其它影响因子综合影响土壤 TOC 含量. 施肥^[6]、淹水^[7]等则可提高土壤有机碳的含量,或促进土壤 DOC 的溶出,从而提高土壤有机碳的矿化量. 土壤含水量和外源氮添加均能促进土壤氮矿化,增加土壤矿质氮的含量^[8].

20 世纪以来,随着臭氧层变薄以及臭氧空洞的出现使到达地表的 UV-B (中波紫外线, Ultraviolet-B) 辐射增强. 因为大部分土壤表面都会暴露在太阳光下,土壤表面发生的光解反应是对碳氮有重要影响且不容忽视的过程. 大量研究表明,UV-B 辐射的持续增强以及由此带来了一系列的气候变化,对农业生态系统以及生物生长有重要影响^[9]. 关于 UV-B 辐射增强对凋落物分解^[10]和作物生长^[11]的影响进行了多方面的研究,但 UV-B 辐射增强对土壤生态过程,特别是土壤碳氮转化方面的研究并未引起足够的重视. 且多研究单一因素对土壤碳氮转化的影响^[12],对 UV-B 辐射与土壤水分、土壤质地等的复合作用效果仍然不清楚. 因此,在土壤水分含量发生改变时,UV-B 辐射对土壤碳氮转化的影响还需深入研究. 本文以两个母质相同有机质含量不同

的水稻土为研究材料,采用室内恒温培养的方法探讨了在不同水分下,土壤碳氮随 UV-B 辐射的变化规律,旨在了解气候变化以及农业管理措施对土壤碳库和氮库的影响,以期人为调控土壤肥力、提高氮素利用率,降低环境对土壤的负面影响提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的两土样均采自湖北省黄石市阳新县白沙镇土库村(115°04'E, 29°56'N)水稻田表层(0~15 cm),该地属于北亚热带气候区,土壤母质为第四纪红色黏土. 年均气温 16.8℃, 年均降雨量 1 389.6 mm, 年均日照时间 1 897.1 h, 无霜期 263 d. 采样田块历史上一直种植水稻,近 10 多年来主要种植一季中稻,采样时各土样均按 S 形线路随机选取 5 个采样点进行采集,将采集好的土样带回室内,去除石砾、碎屑以及植物根系后混合均匀,取一部分用于测定含水量,剩余土壤风干后过 1 mm 和 0.149 mm 筛分别用于土壤基本理化性质测定以及室内辐照试验. 土壤有机质含量分别为 $38.29 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $58.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤全氮量分别为 $1.44 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.97 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤容重分别为 $1.66 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $1.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、土壤 pH 分别为 5.63 和 6.46 以及土壤含水量分别为 17.61% 和 23.68%.

1.2 试验方法

本试验主要在一个自制的玻璃箱体(图 1)中进行,4 盏 UV-B 灯管(K5B40H, 江阴市申星紫外线灯管厂)作为人工光源固定在箱体顶部,实测紫外强度约为 1.54 W/m^2 ,反应箱内温度维持在 $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$,箱的四周均用铝箔和黑色墙纸包裹好,防止其它杂质光线射入箱体. 试验时分别称取 15 g 土壤平铺于直径为 10 cm 的高温灭菌的玻璃培养皿中,土层厚度为 2 mm 左右,利用破坏性采样法,每个土样各 60 个培养皿. 按 25%、50% 和 100% (分别记为 W1、W2 和 W3)的质量分数加入去离子水,共设置 4 个处理:对照组(CK):避光 + W1,试验组:UV-B 辐射 + W1、UV-B 辐射 + W2 和 UV-B 辐射 + W3,编

号分别为 D + W1、UV-B + W1、UVB + W2 和 UV-B + W3。将所有避光处理的培养皿用加厚铝箔包裹, 避免光线射入, 随后所有样品随机摆放至可转动的圆盘上, 连续光照 120 h, 每 24 h 采样测定土壤 TOC、DOC、 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量, 每个处理设置 3 个重复, 试验过程中定期补充去离子水以保证试验设定的水分条件。

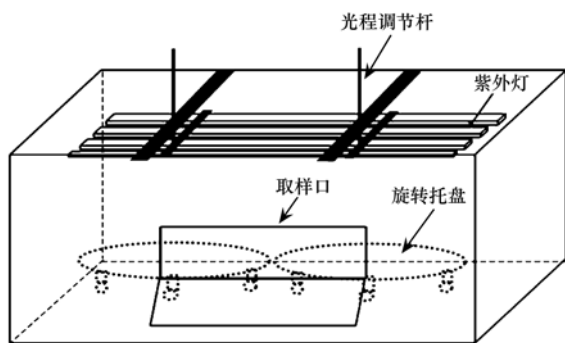


图 1 试验装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

1.3 测定方法

UV-B 辐射强度测定采用紫外线测量仪 (ST-5XX, 台湾迅驰光学仪器有限公司) 测定; 土壤 TOC 和 DOC 采用总有机碳分析仪 (VarioTOC, 德国 Elementar 公司) 测定, 土壤全氮采用半微量凯氏定氮法测定; 土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定。土壤 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 用流动注射分析仪 (AA3, 德国 Seal Analytical 公司) 测定。各指标的浸提以及测定方法详见土壤农化分析手册^[13]。土壤累积净矿化氮量等于培养后土壤无机氮 (NH_4^+ -N + NO_3^- -N) 的值减去培养前土壤无机氮 (NH_4^+ -N + NO_3^- -N) 的值^[14]。

1.4 数据处理

采用 SAS 软件进行方差分析, 利用 Fisher 的最小显著差法来比较 UV-B 辐射下不同水分条件下土壤 TOC、DOC、 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和累积净矿化氮量的差异性, 显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$, 指标之间的相关性分析采用 SPSS 17.0, 软件绘图使用 Origin 8.0 进行操作。

2 结果与分析

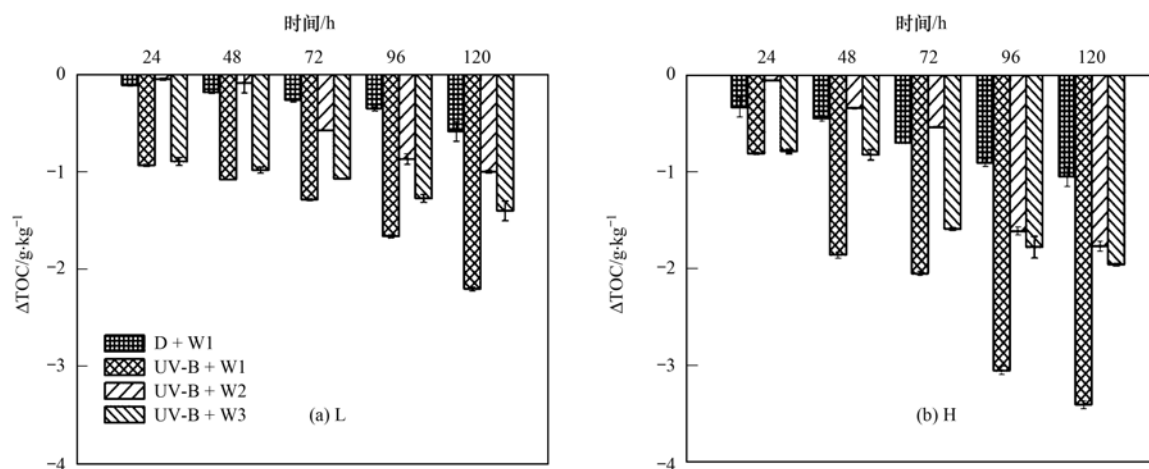
2.1 不同水分条件下 UV-B 辐射对土壤 TOC 的影响

土壤 TOC 的含量变化因 UV-B 辐射与否和不同水分而异 (图 2)。不论是有机质含量低还是有机质含量高的土壤, 随辐射时间的延长 TOC 含量一直呈现不断降低的变化特征。在整个培养期间, UV-B 辐射下的 TOC 变化幅度均显著高于避光处理 ($P < 0.05$)。

不同水分梯度下 TOC 含量随 UV-B 辐射时间都有明显差别, 两个土壤中 TOC 的降低幅度呈现的规律为: 含水量为 25% 的处理 TOC 变化幅度最大, 其次是含水量为 100% 的处理, 至第 120 h 结束培养, 水分由低到高, 有机质低的土壤中 TOC 含量分别降低了 9.91%、4.51% 和 6.31%, 有机质高的土壤中 TOC 含量分别降低了 10.93%、5.67% 和 6.30%。

2.2 不同水分条件下 UV-B 辐射对土壤可溶性有机碳 (DOC) 的影响

由图 3 可以看出 UV-B 辐射和含水量都对土壤 DOC 含量有极显著影响 ($P < 0.05$), 避光处理下的 DOC 值在整个试验期一直呈现不断降低的状态, 而与避光处理相比 UV-B 辐射显著促进了土壤 DOC 的生成 ($P < 0.05$)。



L 代表有机质含量低的土壤; H 代表有机质含量高的土壤, 下同

图 2 UV-B 辐射下不同水分含量对土壤 TOC 的影响

Fig. 2 Effects of soil moisture on the concentration of soil TOC under UV-B radiation

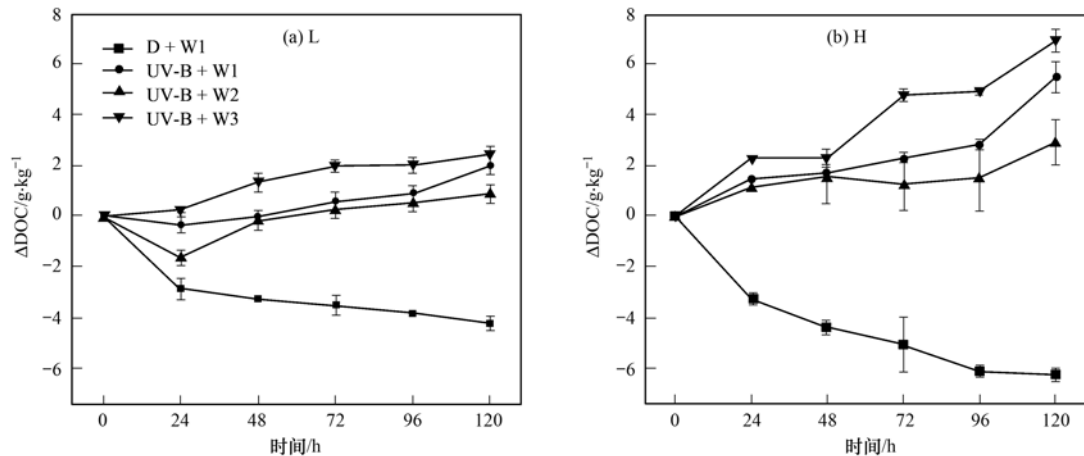


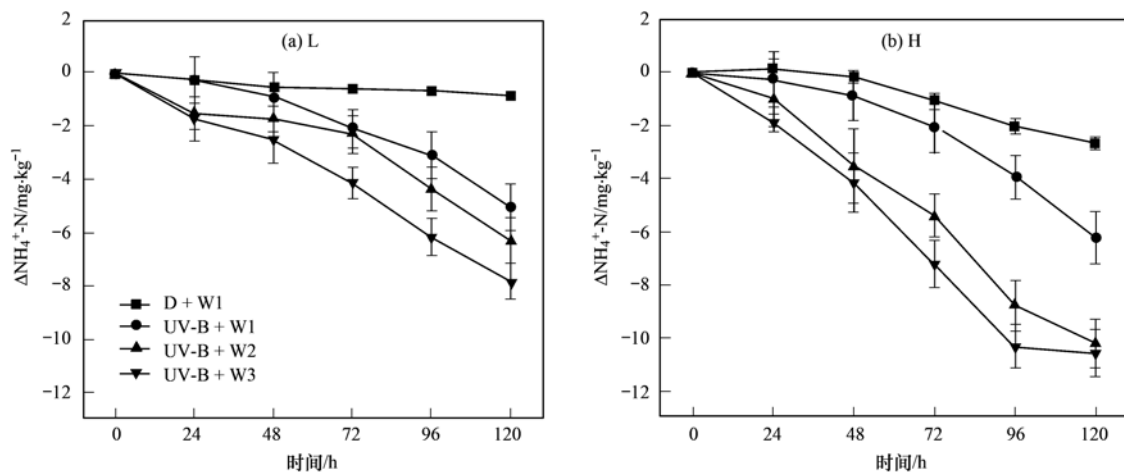
图3 UV-B 辐射下不同水分含量对土壤 DOC 的影响

Fig. 3 Effects of soil moisture on the concentration of soil DOC under UV-B radiation

在整个辐射过程中,含水量为 100% 的处理土壤 DOC 含量变化量高于其它两个处理,其 DOC 变化量分别是 25%、50% 含水量的 1.22、2.78 倍(L) 和 1.26、2.38 倍(H). 辐射 120 h 时,有机质含量低的土壤 DOC 含量增幅分别为 21.53% (W1)、9.47% (W2) 和 26.30% (W3),有机质含量高的土壤 DOC 含量的增幅分别为 26.73% (W1)、14.17% (W2) 和 33.77% (W3).

2.3 不同水分条件下 UV-B 辐射对土壤铵态氮 (NH_4^+ -N) 的影响

土壤 NH_4^+ -N 含量随 UV-B 辐射和含水量的变化特征如图 4 所示,从中可以看出不同处理下土壤 NH_4^+ -N 含量随 UV-B 辐射时间的变化趋势基本一致,都随着辐射时间的延长而降低. 避光处理的土壤 NH_4^+ -N 含量变化趋势较为平缓,呈略微下降状态,而 UV-B 辐射处理下土壤 NH_4^+ -N 含量的降低幅度显著高于避光处理 ($P < 0.05$).

图4 UV-B 辐射下不同水分含量对土壤 NH_4^+ -N 的影响Fig. 4 Effects of soil moisture on the concentration of soil NH_4^+ -N under UV-B radiation

UV-B 辐射 24 h 后土壤中 NH_4^+ -N 含量在不同含水量之间差异显著 ($P < 0.05$),其变化幅度在不同水分中的整体表现为 $W1 < W2 < W3$,对于有机质含量低的土壤,土壤 NH_4^+ -N 含量的变化范围分别介于 0.27 ~ 5.06 (W1)、1.45 ~ 6.32 (W2) 和 1.71 ~ 7.85 (W3) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,其降低幅度分别为 56.81%、71.05% 和 88.31%,而对于有机质含量高的土壤,土壤 NH_4^+ -N 含量的变化范围分别介于 0.28 ~ 6.23 (W1)、0.97 ~ 10.21 (W2) 和 1.91 ~ 10.58 (W3) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,降低幅度分别为 53.43%、87.62% 和 90.73%.

2.4 不同水分条件下 UV-B 辐射对土壤硝态氮 (NO_3^- -N) 的影响

如图 5 所示,无论是有机质含量低的土壤还是有机质含量高的土壤,在不同处理中, NO_3^- -N 的含量都随培养时间的延长而增加. 土壤 NO_3^- -N 含量因接收 UV-B 辐射与否而异,与避光相比,UV-B 辐射

促进了 NO_3^- -N 的累积,120 h 时,UV-B 辐射下的土壤 NO_3^- -N 含量较初始值分别增加了 74.77% (L) 和 84.35% (H).

不同含水量之间,UV-B 辐射使土壤 NO_3^- -N 含量的变化趋势基本一致,其变化幅度在不同水分处理中均存在一定差异,但 W1 与 W2 之间 NO_3^- -N 含

量变化差异并未达到显著水平($P > 0.05$),从整体来分析, NO_3^- -N 变化幅度的大致规律为:W1 < W3 < W2. 有机质含量低的土壤 NO_3^- -N 的增幅分别为 58.18%、93.99% 和 89.75% (L),有机质含量高的土壤 NO_3^- -N 含量的增幅分别为 84.33%、107.86% 和 95.20% (H).

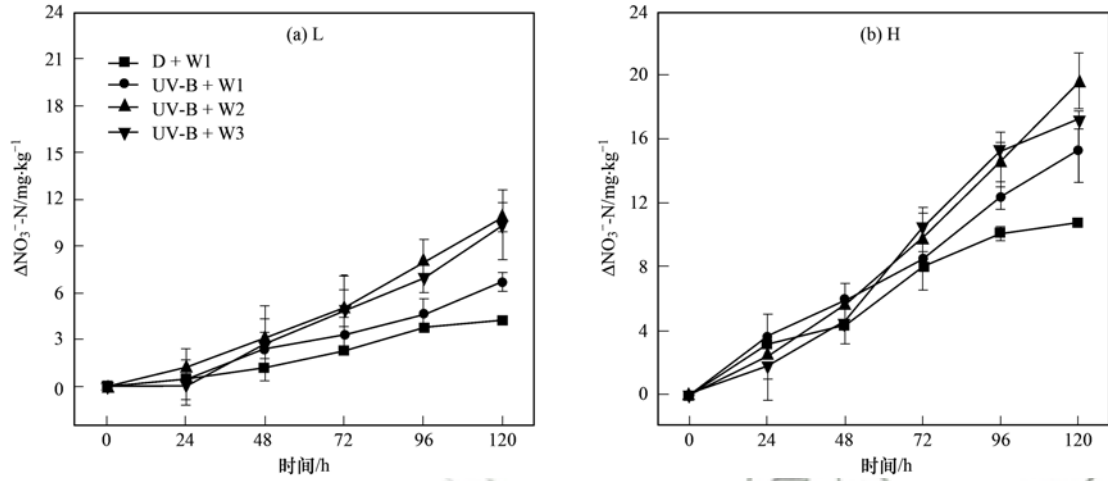


图 5 UV-B 辐射下不同水分含量对土壤 NO_3^- -N 的影响

Fig. 5 Effects of soil moisture on the concentration of soil NO_3^- -N under UV-B radiation

2.5 不同水分条件下 UV-B 辐射对土壤累积净矿化氮量的影响

图 6 显示了土壤累积净矿化氮量在不同水分条件下随 UV-B 辐射时间的变化规律. 可以看出,无论是有机质含量低的土壤还是有机质含量高的土壤,在不同处理下,土壤累积净矿化氮量随时间的变化规律基本一致,都呈现出矿质氮的累积现象,培养 24 h 后,累积净矿化氮量在 UV-B 辐射和避光处理间开始出现差异,且有机质高和有机质低的土壤累积净矿化氮量随辐射时间的变化也存在一定的

差异.

不同水分处理条件下,UV-B 辐射使其累积净矿化氮量差异显著($P < 0.05$),其中土壤含水量为 100% 的处理累积净氮矿化量最低,表明高水分含量可减少氮素在 UV-B 辐射下的净矿化. 在有机质含量低的土壤下,辐射 24 h 后,土壤净矿化氮量才开始逐渐累积,至培养结束时,水分从低到高,土壤累积净矿化氮量的变化值分别为 1.67、4.55 和 2.52 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而试验结束时,在有机质含量高的土壤中,累积净矿化氮量的值分别为 9.08、9.37 和 6.71

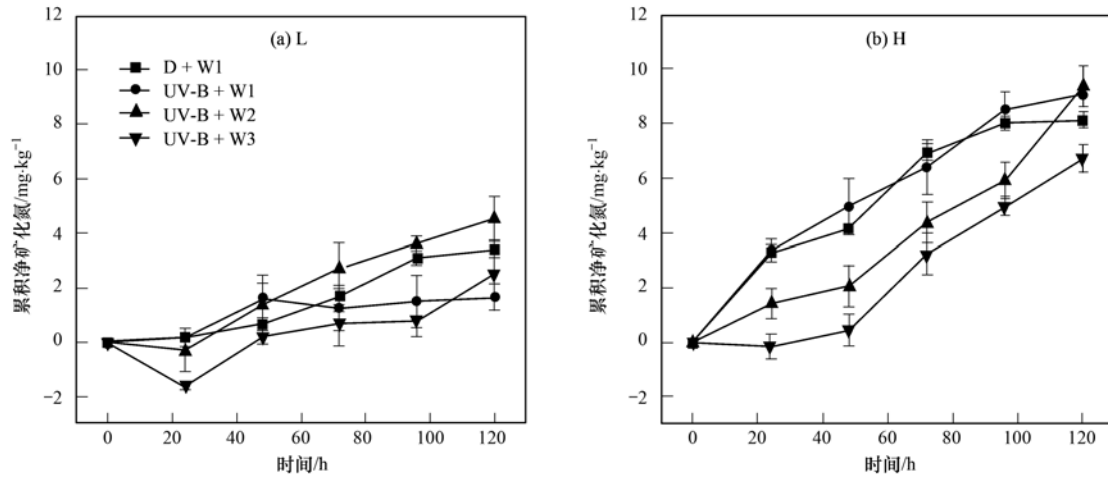


图 6 UV-B 辐射下不同水分含量对土壤累积净矿化氮的影响

Fig. 6 Effects of soil moisture on the concentration of soil cumulative net nitrogen mineralization under UV-B radiation

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

3 讨论

与避光处理相比,UV-B 辐射能显著降低土壤 TOC 含量($P < 0.05$),这与 Yanni 等^[15]的研究结果基本一致,这主要是由于腐殖质是一种含有发色团的大分子化合物,在光照过程中会发生不同程度的降解,原来组成中有机碳可被矿化为无机碳 CO_2 和 CO 的形式^[16]. Liu 等^[12]在室内光照培养以及室外自然光照试验也发现,接收光照的土壤 CO_2 -C 的排放速率明显高于避光处理. UV-B 辐射能够降低土壤 TOC 含量还可能是因为土壤 TOC 是以腐殖质碳为主体^[17],虽然难以被生物降解,但由于其分子结构中含有大量的发色基团,能够直接吸收紫外光中的光子能量,引起自身降解,断裂重排生成其它小分子化合物^[16]. DOC 在农田土壤碳氮循环过程中发挥着重要作用,其数量和结构组成受一系列生物和非生物因素的影响,如气候变化、土壤性质等^[18],其中 UV-B 辐射和降雨量也是气候变化的两种重要因素. 本研究结果显示,与避光相比,接受 UV-B 辐射后的土壤 DOC 含量总体呈上升趋势(图 3),这与 Schiebel 等^[19]的研究结果一致,他们认为直接光照可导致可溶性有机质(DOM)含量升高. UV-B 辐射促进土壤碳溶出的这种现象的原因可概括为:有机发色基团能够吸收光量子能量来增强有机化合物的化学活性,以致原子之间化学键的松动,使其转化为低分子量的有机化合物($\text{MW} < 200$),最终结果是促进有机化合物的溶出^[20]. 在本研究中,土壤 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 含量随 UV-B 辐射时间的变化而变化,无论是在 UV-B 辐射还是避光处理下,在整个试验过程中都有明显的 NH_4^+ -N 消耗和 NO_3^- -N 的累积现象,与避光处理相比 UV-B 辐射能显著降低土壤中 NH_4^+ -N 含量,增加 NO_3^- -N 含量. 这是由于含氮腐殖质在光照下可释放 N_2 ,参与化学反应得到氨,促进土壤硝化反应,且土壤中 DOM 被光照射时,导致大量难以降解的 DON 转化为 NH_4^+ -N^[16],而光照射能促进土壤体系中生成羟基等具有强氧化能力的基团^[21],从而将土壤中大多数 NH_4^+ -N 氧化成 NO_3^- -N,由于羟基活性非常强,也使大多数有机物快速反应并引发芳香族有机物的硝化和亚硝化生成大量的 NO_3^- -N. 尽管 UV-B 辐射可导致土壤中有机和无机胶体中 NH_4^+ -N 的释放,但 NH_4^+ -N 的释放速率显著低于 NH_4^+ -N 向 NO_3^- -N 转化的速率. 在整个试验过程中,都呈现的是矿质氮的累积现象,表明在整个辐射

过程中 NO_3^- -N 的累积过程要显著高于 NH_4^+ -N 的消耗转化过程.

本研究中 TOC 的降低幅度在不同水分间呈现的规律为:W1(25%)降幅最大,其次是 W3(100%),而 DOC 在土壤含水量为 W3(100%)时增幅最大,其次是 W1(25%). 这是因为紫外线只能穿透 1 mm 左右的土层^[22],当土壤水分分为 25% 时,试验所用土壤虽然无法全部暴露于 UV-B 辐射下,但由于所用培养皿表面积一定,较其他两个处理,暴露在紫外光下的土量最大,且当土壤含一定水分时,在光照条件下,土壤内部容易形成大量自由基如过氧基、过氧化物、羟基和单重态氧,也可加速有机物的光解,另一方面也可能是因为在该含水量下土壤有机质矿化速率较高. 虽然在含水量为 25% 时,土壤 TOC 降解得最快,但由于通气性好,土壤中有有机质直接矿化为无机碳 CO_2 ,消耗了土壤中的 DOC. 有研究证明 UV-B 在水体中穿透的深度可达 2 m^[23],水分增加能促进有机物向土壤表面迁移^[24],也适当降低了土壤颗粒物对紫外光的减弱作用,使得光线能穿透更深的土层,有利于有机物的光解^[25]. 且氧和水在光照的黏粒矿物表面极易形成活性氧自由基,这些活性氧自由基对吸附有机物的光解会产生明显影响^[26]. 淹水条件下也会促进土壤 TOC 的溶出,导致团聚体分散^[27],增加了土壤 DOC 量,而小的团聚体使更多的有机碳暴露出来从而较易发生光降解,使土壤 TOC 因光照而降低. 故在淹水条件下 UV-B 辐射对土壤 TOC 和 DOC 有较大影响. UV-B 辐射下, NH_4^+ -N 含量的降低幅度在不同水分间呈现的规律为:W1(25%) < W2(50%) < W3(100%). 这与张树兰等^[28]关于水分对土壤硝化作用的研究并不一致,他们认为当土壤含水量为 60% 时 NH_4^+ -N 转化速率显著高于含水量为 80% 的处理. 造成这种差异的原因是他们并没有用紫外辐照,虽然本研究所用的紫外线只能穿透 1 mm 左右的土层^[22],但当土壤中水分充足时,紫外线可以透过水分充分照射到土壤中,增强土壤氮素的光转化速率. NO_3^- -N 含量的增幅在不同水分处理中均存在一定差异,含水量为 25% 时降幅也最小,但 W1 与 W2 之间 NO_3^- -N 含量变化差异并未达到显著水平,故水分含量不同所导致处理间氮矿化量的差异主要表现为 NH_4^+ -N 的变异. 在不同水分条件下低有机质和高有机质土壤中氮的矿化量随辐射时间的变化情况有所差异,淹水条件(W3)下氮的累积净矿化量都低,这是因为尽管在淹水条件下有机质的矿化作

用较强,但淹水处理中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 降低的幅度明显高于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 增加的幅度,而累积净矿化氮量是 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 两者之和,这说明水分对 UV-B 辐射有较大的影响. 两个土壤的累积净矿化氮量的变化程度存在的差异与其初始无机氮含量存在差异有关,L 土中无机氮含量为 $20.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,H 土中无机氮含量为 $29.83\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,故初始无机氮不同,对 UV-B 辐射的敏感度也不同.

UV-B 辐射下土壤 DOC 与 TOC、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈显著正相关,与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、累积净矿化氮量呈显著负相关,

避光处理下相关性正好相反(表 1),这进一步说明光照与否与土壤碳氮转化之间存在内在联系. 另外,在不同水分处理下,对于有机质低或有机质高的土壤,这种相关性有一定的差异,在有机质含量低的土壤中 TOC 与 DOC、累积净矿化氮量之间的相关性并不显著,而在有机质高的土壤中,TOC 与 DOC、累积净矿化氮量呈显著负相关(表 2),表明土壤初始有机质不同,土壤对外界环境的敏感度存在差异,有机质含量高的土壤 TOC 变化幅度较有机质含量低的大.

表 1 避光和 UV-B 培养下土壤各理化指标之间的相关分析¹⁾

Table 1 Correlations between different soil physiochemical properties under dark incubation and UV-B radiation					
处理(避光)	<i>r</i>	TOC	DOC	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$
L	DOC	0.814 *			
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.931 **	0.933 **		
	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	-0.952 **	-0.780	-0.992 **	
	累积净矿化氮	-0.937 **	-0.732	-0.887 **	0.997 **
H	DOC	0.957 **			
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.923 **	0.778		
	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	-0.994 **	-0.945 **	-0.927 **	
	累积净矿化氮	-0.985 **	-0.972 **	-0.867 *	0.991 **
处理(UV-B)	<i>r</i>	TOC	DOC	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$
L	DOC	-0.812 *			
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.914 *	-0.977 **		
	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	-0.937 **	0.939 **	-0.981 **	
	累积净矿化氮	-0.824 *	0.668	-0.751	0.865 *
H	DOC	-0.902 *			
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.912 *	-0.954 **		
	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	-0.985 **	0.944 **	-0.959 **	
	累积净矿化氮	-0.988 **	0.891 *	-0.883 *	0.979 **

1) **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关,*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,下同

表 2 在 UV-B 辐射下的不同水分梯度中,土壤各理化指标之间的相关分析

Table 2 Correlations between different soil physiochemical properties under UV-B radiation and different moisture gradients					
处理(UV-B)	<i>r</i>	TOC	DOC	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$
L	DOC	-0.274			
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.640 **	-0.555 *		
	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	-0.576 *	0.759 **	-0.941 **	
	累积净矿化氮	-0.330	0.893 **	-0.611 **	0.844 **
H	DOC	-0.539 *			
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.531 *	-0.642 **		
	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	-0.763 **	0.785 **	-0.919 **	
	累积净矿化氮	-0.875 **	0.789 **	-0.632 **	0.887 **

4 结论

(1)UV-B 辐射对土壤碳、氮转化有重要影响,在 UV-B 辐射下,土壤 TOC 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量随辐射时间的延长而不断降低,土壤 DOC 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化

趋势正好相反,累积净矿化氮量在不同土壤间随辐射时间的变化幅度不同,但都呈现出矿质氮的累积现象.

(2)不同含水量下土壤 TOC、DOC、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 以及累积净矿化氮量对 UV-B 辐射的响应存

在一定的差异. 除了 NO_3^- -N变化趋势在 50% 和 100% 含水量间无显著差异外,其它指标在不同含水量间都有显著差异;在不同水分处理下都表现出矿质氮的累积现象,但其在有机质低和有机质高的土壤中随 UV-B 辐射时间的变化特征存在差异.

(3)UV-B 辐射与农田土壤碳氮转化有一定的联系,故在农业生产活动中应采取相应措施来减轻 UV-B 辐射对农田土壤产生的负面影响,避免农田土地长期处于裸露状态,根据农田土壤的性质制定合理的灌溉方案都是可取的措施. 此外,在一些区域,土壤有机质的积累非常缓慢,内在的原因很可能与光降解有关.

参考文献:

- [1] 曹宏杰,倪红伟. 大气 CO_2 升高对土壤碳循环影响的研究进展[J]. 生态环境学报, 2013, **22**(11): 1846-1852.
Cao H J, Ni H W. Research progress on the effects of elevated CO_2 concentration on carbon cycling [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, **22**(11): 1846-1852.
- [2] 曹宏杰,汪景宽,李双异,等. 水热梯度变化及不同施肥措施对东北地区土壤有机碳、氮影响[J]. 水土保持学报, 2007, **21**(4): 122-125, 149.
Cao H J, Wang J K, Li S Y, *et al.* Effect of gradients of precipitation and temperature and fertilization on organic carbon and nitrogen of soils in northeastern China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, **21**(4): 122-125, 149.
- [3] 柳敏,宇万太,姜子绍,等. 土壤溶解性有机碳(DOC)的影响因子及生态效应[J]. 土壤通报, 2007, **38**(4): 758-764.
Liu M, Yu W T, Jing Z S, *et al.* Influencing factors and ecological effects of dissolved organic carbon in soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, **38**(4): 758-764.
- [4] 马芬,马红亮,邱泓,等. 水分状况与不同形态氮添加对亚热带森林土壤氮素净转化速率及 N_2O 排放的影响[J]. 应用生态学报, 2015, **26**(2): 379-387.
Ma F, Ma H L, Qiu H, *et al.* Effects of water levels and the additions of different nitrogen forms on soil net nitrogen transformation rate and N_2O emission in subtropical forest soils [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, **26**(2): 379-387.
- [5] 李荣,何兴东,张宁,等. 沙丘固定过程中土壤铵态氮和硝态氮的时空变化[J]. 土壤学报, 2010, **47**(2): 295-302.
Li R, He X D, Zhang N, *et al.* Temporal-spatial variations of soil NH_4^+ -N and NO_3^- -N in sand dune fixing process[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, **47**(2): 295-302.
- [6] 王淑平,周广胜,吕育财,等. 中国东北样带(NECT)土壤碳、氮、磷的梯度分布及其与气候因子的关系[J]. 植物生态学报, 2002, **26**(5): 513-517.
Wang S P, Zhou G S, Lü Y C, *et al.* Distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus along northeast china transect (NECT) and their relationships with climatic factors [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, **26**(5): 513-517.
- [7] 刘德燕,宋长春,王丽,等. 外源氮输入对湿地土壤有机碳矿化及可溶性有机碳的影响[J]. 环境科学, 2008, **29**(12): 3525-3530.
Liu D Y, Song C C, Wang L, *et al.* Exogenous nitrogen enrichment impact on the carbon mineralization and DOC of the freshwater marsh soil [J]. Environmental Science, 2008, **29**(12): 3525-3530.
- [8] 田冬,高明,徐畅. 土壤水分和氮添加对 3 种质地紫色土氮矿化及土壤 pH 的影响[J]. 水土保持学报, 2016, **30**(1): 255-261.
Tian D, Gao M, Xu C. Effects of soil moisture and nitrogen addition on nitrogen mineralization and soil pH in purple soil of three different textures [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, **30**(1): 255-261.
- [9] 张令瑄,谢婷婷,王瑾,等. 大田条件下 UV-B 辐射增强对大豆根际土壤相关指标的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, **32**(1): 118-122.
Zhang L X, Xie T T, Wang J, *et al.* Soybean rhizosphere soil parameters in response to enhanced UV-B radiation under field condition[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2016, **32**(1): 118-122.
- [10] Zhou G X, Zhang J B, Mao J D, *et al.* Mass loss and chemical structures of wheat and maize straws in response to ultraviolet-B radiation and soil contact [J]. Scientific Reports, 2015, **5**: 14851.
- [11] Wijewardana C, Henry W B, Gao W, *et al.* Interactive effects on CO_2 , drought, and ultraviolet-B radiation on maize growth and development[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2016, **160**: 198-209.
- [12] Liu S R, Hu R G, Cai G C, *et al.* The role of UV-B radiation and precipitation on straw decomposition and topsoil C turnover [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, **77**: 197-202.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 陈静,李玉霖,冯静,等. 温度和水分对科尔沁沙质草地土壤氮矿化的影响[J]. 中国沙漠, 2016, **36**(1): 103-110.
Chen J, Li Y L, Feng J, *et al.* Links of temperature and moisture with soil nitrogen mineralization in the horqin sandy grassland[J]. Journal of Desert Research, 2016, **36**(1): 103-110.
- [15] Yanni S F, Suddick E C, Six J. Photodegradation effects on CO_2 emissions from litter and SOM and photo-facilitation of microbial decomposition in a California grassland [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, **91**: 40-49.
- [16] 薛志欣,杨桂朋,夏延致. 水环境腐殖质的光化学研究进展[J]. 海洋科学, 2008, **32**(11): 74-79.
Xue Z X, Yang G P, Xia Y Z. The photochemical reaction of humic substance in water[J]. Marine Science, 2008, **32**(11): 74-79.
- [17] 蔡晓布,彭岳林,魏素珍,等. 高寒草原土壤有机碳与腐殖质碳变化及其微生物效应[J]. 土壤学报, 2014, **51**(4): 834-844.
Cai X B, Peng Y L, Wei S Z, *et al.* Variation of organic carbon and humus carbon in alpine steppe soil and functions of microorganisms therein[J]. Acta Pedologica Sinica, 2014, **51**(4): 834-844.
- [18] 吴健敏,郝敏,孔范龙,等. 土壤溶解性有机碳(DOC)动态变化影响因素研究进展[J]. 地质论评, 2013, **59**(5): 953-961.
Wu J M, Xi M, Kong F L, *et al.* Review of researches on the factors influencing the dynamics of dissolved organic carbon in

- soils[J]. *Geological Review*, 2013, **59**(5): 953-961.
- [19] Schiebel H N, Wang X C, Chen R F, *et al.* Photochemical release of dissolved organic matter from resuspended salt marsh sediments[J]. *Estuaries and Coasts*, 2015, **38**(5): 1692-1705.
- [20] Kieber R J, Whitehead R F, Skrabal S A. Photochemical production of dissolved organic carbon from resuspended sediments[J]. *Limnology and Oceanography*, 2006, **51**(5): 2187-2195.
- [21] Feng X J, Hills K M, Simpson A J. The role of biodegradation and photo-oxidation in the transformation of terrigenous organic matter[J]. *Organic Geochemistry*, 2012, **42**(3): 262-274.
- [22] 邓南圣, 吴峰. 环境光化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [23] 王锦旗, 陈霞, 宋玉芝, 等. 紫外辐射在气-水界面衰减因素分析及预测模型[J]. *生态环境学报*, 2015, **24**(10): 1660-1667.
- Wang J Q, Chen X, Song Y Z, *et al.* Analyse for attenuation factors of ultraviolet radiation in the Air-Water interface and prediction model [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, **24**(10): 1660-1667.
- [24] 王敬贤, 全燮, 陈硕. 土壤水分在 PCP 光化学反应中的作用 [A]. 见: 第一届持久性有机污染物全国学术研讨会暨 2006 持久性有机污染物论坛论文集 [C]. 北京: 中国环境科学学会, 2006.
- [25] 张利红, 李培军, 李雪梅, 等. 有机污染物在表层土壤中光降解的研究进展 [J]. *生态学杂志*, 2006, **25**(3): 318-322.
- Zhang L H, Li P J, Li X M, *et al.* Research advance in photodegradation of organic pollutants in surface soil[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, **25**(3): 318-322.
- [26] Mathew R, Khan S U. Photodegradation of metolachlor in water in the presence of soil mineral and organic constituents [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1996, **44**(12): 3996-4000.
- [27] 康熙龙, 张旭辉, 张硕硕, 等. 旱地土壤施用生物质炭的后效应-水分条件对土壤有机碳矿化的影响[J]. *土壤*, 2016, **48**(1): 152-158.
- Kang X L, Zhang X H, Zhang S S, *et al.* Effects of biochar application history on soil: effect of moisture regime on dynamics of soil organic carbon mineralization[J]. *Soils*, 2016, **48**(1): 152-158.
- [28] 张树兰, 杨学云, 吕殿青, 等. 温度、水分及不同氮源对土壤硝化作用的影响[J]. *生态学报*, 2002, **22**(12): 2147-2153.
- Zhang S L, Yang X Y, Lü D Q, *et al.* Effect of soil moisture, temperature and different nitrogen fertilizers on nitrification[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(12): 2147-2153.



CONTENTS

Development of a Non-Road Mobile Source Emissions Inventory for Tianjin	ZHANG Yi, Andre Michel, LI Dong, <i>et al.</i> (4447)
Spatial Simulation of Black Carbon Concentrations Based on a Land Use Regression Model and Mobile Monitoring over Shanghai, China	PENG Xia, SHE Qian-nan, LONG Ling-bo, <i>et al.</i> (4454)
Characteristics and Sources of Elements of a PM ₁₀ Measurements from a Typical Industrial City in Eastern Hubei Province	ZHAN Chang-lin, ZHANG Jia-quan, ZHENG Jing-ru, <i>et al.</i> (4463)
Characteristics and Source Identification of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} Measurements During Summer and Fall in Changzhou	YE Zhao-lian, LIU Jia-shu, LI Qing, <i>et al.</i> (4469)
Characteristics and Sources of Water Soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter During Winter in Xuzhou	FAN Mei-yi, CAO Fang, ZHANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (4478)
Physiochemical Properties and Sources of Atmospheric Particulate Matter During Pollution Monitoring in Nanning, China	LIU Hui-lin, CHEN Zhi-ming, LI Hong-jiao, <i>et al.</i> (4486)
Concentration and Size Distribution Characteristics of Culturable Bioaerosols at Various Air Quality Levels During Fall and Winter in Xi'an, China	LI Wan-xin, LU Rui, XIE Zheng-sheng, <i>et al.</i> (4494)
Distribution Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter and Nutrients from the Yellow Sea and Bohai Sea in Autumn	TANG Yong, SUN Yu-yan, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (4501)
Characteristics and Risks of Heavy Metals Content in Surface Sediment of Tidal Flat Areas in Eastern China	ZHANG Ming, BAO Zhen-yu, CHEN Guo-guang, <i>et al.</i> (4513)
Heavy Metals in Sediments from the Haizhou Bay Marine Ranching Based on Geochemical Characteristics	LI Da-peng, ZHANG Shuo, ZHANG Zhong-fa, <i>et al.</i> (4525)
Major Ionic Features and Their Possible Controls in the Water of the Niyang River Basin	ZHANG Tao, CAI Wu-tian, LI Ying-zhi, <i>et al.</i> (4537)
Vertical Distribution Characteristics of Fe and Mn in Subtropical Reservoirs During Summer	YANG Si-yuan, ZHAO Jian, YU Hua-zhang, <i>et al.</i> (4546)
Occurrence, Distribution, and Ecological Risk of Antibiotics in Surface Water in the Liaohe River Basin, China	ZHANG Xiao-jiao, BAI Yang-wei, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4553)
Effects of Optimized Fish Farming on the Sediment Nutrients of Eastern Lake Taihu	HE Xiao-wei, CHU Yu, ZENG Jin, <i>et al.</i> (4562)
Responses of the Benthic Diatom Community to Nutrients and the Identification of Nutrient Thresholds in Three Aquatic Ecoregions of the Huntai River, Northeast China	ZHANG Li, LIN Jia-ning, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4570)
Impacts of Environmental Conditions on the Soaking Release of Nitrogen and Phosphorus from <i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers. in the Water-level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Region	XIAO Li-wei, ZHU Bo (4580)
Effects of Soil Microbial Diversity on the Phosphate Fraction in the Rhizosphere of <i>Phragmites communis</i> in the Yeyahu Wetland in Beijing, China	TENG Ze-dong, LI Min, ZHU Jing, <i>et al.</i> (4589)
Nitrification and Denitrification Potential of Benthic Sediments in a Suburban Stream under Intense Human Disturbance Scenarios	LI Ru-zhong, ZHENG Xia, GAO Su-di, <i>et al.</i> (4598)
Distribution of External Phosphorus in the Sedimentary Phosphorus forms Under Different Disturbances	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, TANG Xin-yu, <i>et al.</i> (4607)
Effect of <i>Elodea nuttallii</i> -Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria on the Mechanism of Nitrogen Removal in Polluted River Water	WANG Hao, LI Zheng-kui, ZHANG Yi-pin, <i>et al.</i> (4617)
Zero-Valent Iron (ZVI) Activation of Persulfate (PS) for Oxidation of Arsenic (V) Form Aqueous Solutions	ZHOU Zi-mai, DENG Wen-na, YANG Yi-lin, <i>et al.</i> (4623)
Removal of Antimony from Water by Nano Zero-Valent Iron/Activated Carbon Composites	JIANG Ting, BAO Yue, LI Wei, <i>et al.</i> (4632)
Effect of the Flow Patterns of Main-stream Reactors on the Efficiency of Nitrification Enhancement with Bioaugmentation	YU Li-fang, DU Qian-qian, ZHANG Ru, <i>et al.</i> (4641)
Effect of Temperature on Nitrogen Removal Performance and the Extracellular Polymeric Substance (EPS) in a Sequencing Batch Reactor (SBR)	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i> (4648)
Effects of Temperature on Shortcut Nitrification and Nitrification Activity of Nitrification in an Intermittent Aeration Sequencing Batch Reactor	LIU Hong, PENG Yong-zhen, LU Jiong-yuan, <i>et al.</i> (4656)
Nitrite Type Denitrifying Phosphorus Removal Capacity of Cycle Activated Sludge Technology Processes Under Different Inducing Patterns	MA Juan, WANG Jin, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (4664)
Laboratory-scale CANON Processes Applied to Wastewater Treatment Plants	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (4673)
Effects of Magnetic Activated Carbon with Different Particle Sizes on Sludge Granulation in a SBR System	XIN Xin, GUAN Lei, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (4679)
Storage and Reactivation of Anaerobic Ammonium Oxidation (ANAMMOX) Sludge at Room Temperature	HUANG Jia-lu, WANG Xiao-long, GAO Da-wen (4687)
Microbial Population Dynamics During Sludge Granulation in a Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal System	GAO Jing-feng, WANG Shi-jie, FAN Xiao-yan, <i>et al.</i> (4696)
Anaerobic Reduction Process Characteristics and Microbial Community Analysis for Sulfate and Fe(II) EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA	ZHANG Yu, WAN Fang, ZHOU Ji-ti (4706)
Treatment Efficiency and Microbial Community Diversity in a Magnetic Field Enhanced Sequencing Batch Reactor (SBR)	GENG Shu-ying, FU Wei-zhang, WANG Jing, <i>et al.</i> (4715)
Molecular Research of Acid-Generating Microbial Communities in Abandoned Ores in the Waste Dump of an Iron Mine in Anhui Province	DU Ze-rui, HAO Chun-bo, PEI Li-xin, <i>et al.</i> (4725)
Microbial Community Diversity and Differences in Cellar water of Typical Rainwater Harvesting Area	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, <i>et al.</i> (4733)
Impact of the Biodegradation of 6:2 Fluorotelomer Alcohol on the Bacterial Community Structure of Surface Sediment	WANG Dan, HOU Zhen, ZHANG Qi, <i>et al.</i> (4747)
Degradation Process of Exogenous Naphthenic Acids and Their Effects on Microbial Community Structure in Soil	LIU Yan-qiu, ZHAO Yan-ran, LIU Meng-jiao, <i>et al.</i> (4756)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of the Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterial Strain DK1	MU Dong-yang, JIN Peng-fei, PENG Yong-zhen, <i>et al.</i> (4763)
Mercury Release Flux and Its Influencing Factors Under Four Typical Vegetation Covers at Jinyun Mountain, Chongqing	YANG Guang, SUN Tao, AN Si-wei, <i>et al.</i> (4774)
Short-term Effects of Nitrogen Deposition on CO ₂ and CH ₄ Fluxes from Wetlands in the Minjiang River Estuary	LI Dong-dong, TONG Chuan, TAN Li-shan, <i>et al.</i> (4782)
Effects of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice-Rapeseed Crop Rotation	SHI Jiang-lai, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i> (4790)
Assessment of Pollution, Sources, and Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil from Urban Parks in Xi'an City, China	ZHOU Yan, LU Xin-wei (4800)
Spatial Distribution of Soil Particles and Heavy Metals Under Different Psammophilic Shrubs in the Ulan Buh Desert	DAI Yu-jie, GUO Jian-ying, DONG Zhi, <i>et al.</i> (4809)
Effects of UV-B Radiation on Soil Carbon and Nitrogen Transformation under Different Soil Moisture Contents from Two Paddy Fields	JIANG Meng-die, WANG Qiu-min, XU Peng, <i>et al.</i> (4819)
Various effects on the Abundance and Composition of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in Soils in Karst Shrub Ecosystems	LIANG Yue-ming, SU Yi-rong, HE Xun-yang, <i>et al.</i> (4828)
Remediation of Cd/Ni Contaminated Soil by Biochar and Oxalic Acid Activated Phosphate Rock	DUAN Ran, HU Hong-qing, FU Qing-ling, <i>et al.</i> (4836)
Effects of Repeated Freezing and Thawing and High Temperature Aging on the Solidification and Stabilization of Arsenic Contaminated Soil	YANG Jie, QIAN Zhao-qiu, WANG Jing (4844)
Evaluation of the Combined Removal of Heavy Metals by Saponin and Citric Acid from Municipal Sewage Sludges and Metal Stability Features	YE Tao, HUANG Li, ZHANG Ke-qiang, <i>et al.</i> (4850)
Interactions between Goethite and Humic Acid and the Stability of Goethite-Humic Acid Complex	WANG Rui, ZHU Chao-ju, XIANG Wen-jun, <i>et al.</i> (4860)
Contents and Health Risks of Organic Phosphorus Esters in Plastic Runway Products	YIN Hong-ling, LIU Qin, LIAO Lin-qun, <i>et al.</i> (4868)
Effects on Physico-chemical Parameters of Glycoside Hydrolase Family 6 Genes During Composting of Agricultural Waste	CHEN Yao-ning, GOU Yu, LI Yuan-ping, <i>et al.</i> (4874)
Effect of the Food to Mass Ratio and Hydraulic Retention Time on Hydrogen Production from Fruit and Vegetable Waste	LI Biao, KONG Xiao-ying, LI Lian-hua, <i>et al.</i> (4882)
Comment on Sensitivity Analysis Methods for Environmental Models	CHEN Wei-ping, TU Hong-zhi, PENG Chi, <i>et al.</i> (4889)