ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第6期

Vol.35 No.6

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第35卷 第6期
2014年6月15日

目 次

北京地区冬夏季持续性雾-霾发生的环境气象条件对比分析 …… 廖晓农,张小玲,王迎春,刘伟东, 杜佳,赵玲慧(2031)
阜康大气气溶胶中水溶性无机离子粒径分布特征研究 …… 苗红妍,温天雪,王跃思,刘子锐,王丽,兰中东(2045)
上海地铁站台大气颗粒物中过渡金属研究 …… 包良满,雷前涛,谈明光,李晓林,张桂林,刘卫,李燕(2052)
七一冰川地区苔藓中重金属元素含量研究 …… 马娟娟,李真(2060)
冬季东海、南黄海中DMS和DMSP浓度分布及影响因素研究 …… 宋以柱,张洪海,杨桂朋(2067)
大亚湾石化排污海域重金属污染及生态风险评价 …… 徐姗楠,李纯厚,徐娇娇,肖雅元,林琳,黄小平(2075)
深圳水库群表层水中全氟化合物的分布特征 …… 王鑫璇,张鸿,何龙,沈金灿,柴之芳,杨波,王艳萍(2085)
表层岩溶泉水中多环芳烃污染特征及来源解析 …… 孙玉川, 沈立成,袁道先(2091)
桂江主要离子及溶解无机碳的生物地球化学过程 …… 唐文魁,陶贞,高全洲,毛海若,姜光辉,焦树林,郑雄波,张乾柱,马赞文(2099)
汾河源区不同景观带水文过程研究 …… 杨永刚,李彩梅,秦作栋,邹松兵(2108)
北京市通州区地下水分层质量评价及水化学特征 …… 郭高轩,琚宜文,翟航,许亮,沈媛媛,纪轶群(2114)
光透法定量两相流中流体饱和度的模型及其应用 …… 章艳红,叶淑君,吴吉春(2120)
紫色土坡耕地氮淋溶过程及其环境健康效应 …… 陈维梁,高扬, 林勇明,朱波,徐亚娟,于贵瑞,吴承祯(2129)
基于非点源溶解态氮负荷估算的率水流域土地利用结构优化研究 …… 陆宇超,毕孟飞,李泽利,沙健,王玉秋,钱丽萍(2139)
镇江老城区古运河沉积物氮及有机质垂向分布及污染评价 …… 周晓红,李义敏,周艺,卫安平,周广顺, 肖思思(2148)
两种沉水植物对上覆水和间隙水中可溶性无机氮的影响 …… 杨文斌,李阳,孙共献(2156)
湖泊沉积物短时间反复扰动下悬浮物上生物有效磷的动态变化 …… 武晓飞,李大鹏(2164)
不同扰动强度下城市重污染河道底泥对磷吸收和固定的影响 …… 王尚, 李大鹏(2171)
池塘残饵对底泥氮、磷释放影响的模拟研究 …… 吕元蛟,李瑞娇,张念,赵峰,谢从新,张敏(2178)
再悬浮过程中河流底泥PAHs的迁移与释放 …… 王晓慧,毕春娟,韩景超(2185)
低分子有机酸对汞氧化还原反应的影响 …… 赵士波,孙荣国,王定勇,王小文,张成(2193)
活性炭催化过氧化氢去除荧光增白剂 …… 刘海龙,张忠民,赵霞, 焦茹媛(2201)
准分子灯光照降解水相中烷基酚的动力学 …… 刘玉海, 叶招莲, 文颖频,毕承路(2209)
AF+BAF用于处理树脂化工集中区废水厂尾水的研究 …… 涂勇,刘伟京,张耀辉,徐军,唐敏,陈勇,白永刚(2216)
镉(Ⅱ)-8-羟基喹啉分子印迹聚合物微球的合成及吸附性能研究 …… 杨春艳,陈复彬,赵慧,常自强,章竹君(2223)
微气泡曝气生物膜反应器同步硝化反硝化研究 …… 刘春,年永嘉,张静,张明,张磊,龚鹏飞,肖太民,李星(2230)
聚乳酸/淀粉固体缓释碳源生物反硝化研究 …… 唐丹琦,王娟,郑天龙,刘建国,汪群慧(2236)
丝状菌膨胀对无纺布生物反应器处理效果及膜污染特征的影响 …… 侍宽,薛罡,高品,吴凡(2241)
聚合氯化铝去除污泥水中磷的工艺优化 …… 周振,胡大龙,乔卫敏,陈冠翰,蒋玲燕,李震,麦穗海(2249)
鄱阳湖持久性有机污染物(POPs)长距离传输潜力模拟 …… 弓晓峰,向洪锐,陈春丽,周文斌,王佳佳,刘春英,曾艳(2256)
基于不确定性分析的垃圾焚烧烟气中重金属的土壤沉积及生态风险评估 …… 廖志恒,孙家仁,吴兑,范绍佳,任明忠,吕家扬(2264)
农药企业场地土壤中苯系物污染风险及管理对策 …… 谭冰,王铁宇,李奇锋,张海燕,庞博,朱朝云,王道涵,吕永龙(2272)
渤海湾海域10种鱼类中二噁英类及指示性多氯联苯的污染特征研究及风险评价 …… 王莎莎,高丽荣,田益玲,朱帅,张芹(2281)
基于荧光传感器Frex的特性检测水质环境中生物毒性物质 …… 赵巍,汪钊,蔡强,欧文斌,孟凡国(2287)
对苯二酚抑制铜绿微囊藻生长下藻毒素的产生与释放 …… 张元春,梁文艳,赵远,李飞贞,曹敬灿,胡绍杰(2294)
基于沼液的培养基及产油小球藻藻种选育 …… 赵凤敏,梅帅,曹有福,丁进锋,徐嘉杰,李树君(2300)
酸性矿山废水库周边土壤微生物多样性及氨氧化菌群落研究 …… 刘莹,王丽华,郝春博,李璐,李思远,冯传平(2305)
河蚬(*Corbicula fluminea*)扰动对表层沉积物中氨氧化菌群落结构和丰度的影响 … 王雪,赵大勇,曾巾,余多慰,吴庆龙(2314)
海洋油气田沉积物产甲烷活性及微生物生态 …… 田琪,王佳,范晓蕾,罗生军,郭荣波,邱艳玲(2322)
DGGE及T-RFLP分析光照下电位对细菌群落的影响 …… 吴义诚,邓欢,肖勇,赵峰(2328)
重金属抗性解磷细菌的磷溶解特性研究 …… 田江,彭霞薇,李霞,孙雅君,冯红梅, 江泽平(2334)
1株耐冷兼性嗜碱好氧反硝化菌的分离鉴定及反硝化特性 …… 王兆阳,陈国耀,姜珂,许培雅(2341)
黑麦草-丛枝菌根对不同番茄品种抗氧化酶活性、镉积累及化学形态的影响 …… 江玲,杨芸,徐卫红,王崇力,陈蓉,熊仕娟,谢文文,张进忠,熊治庭,王正银,谢德体(2349)
黄河三角洲区土壤活性氮对盐分含量的响应 …… 李玲,仇少君,陈印平,赵西梅,刘京涛,陆兆华(2358)
宁南山区不同草地土壤原位矿化过程中氮素的变化特征 …… 蒋跃利,赵彤,闫浩,黄懿梅(2365)
长期施用四环素残留猪粪对土壤中耐药菌及抗性基因形成的影响 …… 张俊,杨晓洪,葛峰,王娜,焦少俊,叶波平(2374)
长期不同耕作方式对紫色水稻土重金属含量及有效性的影响 …… 常同举,崔孝强,阮震,赵秀兰(2381)
伊犁河流域土壤重金属环境地球化学基线研究及污染评价 …… 赵新儒,特拉津·那斯尔,程永毅,詹江渝,杨剑虹(2392)
江苏如东互花米草盐沼湿地重金属分布及其污染评价 …… 张龙辉, 杜永芬, 王丹丹, 高抒, 高文华(2401)
小流域农业面源氮污染时空特征及与土壤呼吸硝化关系分析 …… 欧阳威,蔡冠清,黄浩波,耿晓君(2411)
保护性耕作下小麦田土壤呼吸及碳平衡研究 …… 张赛,王龙昌, 黄召存,贾会娟,冉春燕(2419)
米槠天然林和人工林土壤呼吸的比较研究 …… 吴君君,杨智杰,翁发进,刘小飞,陈朝琪,林伟盛,王小红,陈坦(2426)
水力停留时间对复合式厌氧折流板反应器乙醇型发酵制氢系统的影响 …… 刘晓烨,张洪,李永峰(2433)
《环境科学》征订启事(2208) 《环境科学》征稿简则(2400) 信息(2084,2200,2229,2391)

黄河三角洲区土壤活性氮对盐分含量的响应

李玲[1],仇少君[2*],陈印平[1],赵西梅[1],刘京涛[1],陆兆华[1,3]

(1. 滨州学院山东省黄河三角洲生态环境重点实验室,滨州 256603; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,农业部植物营养与肥料重点实验室,北京 100081; 3. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院恢复生态研究所,北京 100083)

摘要: 土壤盐分影响氮素的循环过程,而活性氮组分的变化是表征氮素循环的重要指标. 本研究以黄河三角洲地区的盐渍化土壤为对象,采用室内好气培养法,设置 4 个 NaCl 盐分梯度(S1:0.1%; S2:0.5%; S3:0.9%; S4:1.3%),同时添加不同底物(CK:不添加底物; N:添加氯化铵; C:添加葡萄糖; C + N:添加葡萄糖 + 氯化铵),研究土壤硝态氮(NO_3^--N)、铵态氮(NH_4^+-N)、溶解性总氮(TSN)、微生物生物量氮(MBN)对盐分的响应. 结果表明,在 45 d 的培养期内,CK、N 处理低盐(S1、S2)土壤NO_3^--N含量明显高于高盐(S3、S4),且 N 处理低盐与高盐的差异更明显. 与 CK 相比,添加 N 明显提高低盐土壤NO_3^--N含量,添加 C、C + N 明显降低土壤NO_3^--N,且整个培养期内 4 个盐分无明显差异. 土壤NH_4^+-N表现为高盐(S3、S4)明显高于低盐(S1、S2). 与 CK 相比,N、C + N 处理可明显提高高盐(S3、S4)土壤NH_4^+-N含量. 土壤 MBN 表现为低盐高于高盐,N 处理尽管提高了低盐土壤 TSN 含量,但并不能提高 MBN,而 C、C + N 处理可明显提高 MBN,且低盐土壤提高的幅度(89.9% ~130.9%)明显高于高盐(36.9% ~79.5%). 研究表明土壤盐分影响土壤氮素的转化,高浓度的土壤盐分不利于土壤无机氮的转化及微生物对氮素的吸收,而碳源的添加可削弱盐分的影响,且提高盐碱化土壤微生物的活性,因此在盐碱化土壤中增施有机物质是提高氮素转化的有效措施.

关键词:土壤盐分; 硝态氮; 铵态氮; 溶解性氮; 微生物生物量氮

中图分类号: X144; X171 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2014)06-2358-07 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.2014.06.044

Response of Active Nitrogen to Salinity in a Soil from the Yellow River Delta

LI Ling[1], QIU Shao-jun[2], CHEN Yin-ping[1], ZHAO Xi-men[1], LIU Jing-tao[1], LU Zhao-hua[1,3]

(1. Shangdong Key Laboratory of Eco-enviromental Science for Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou 256603, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilization, Ministry of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Institute of Restoration Ecology, School of Chemical of Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Soil salinity can inhibit the processes of nitrogen cycle, and the active nitrogen is the important indicator to reflect the turnover of nitrogen. A laboratory experiment was conducted to study the effect of soil salinity on the active nitrogen in a soil of the Yellow River Delta incubated aerobically under 25℃ for 45 days. Four levels of salinity (S1: 0.1%, S2: 0.5%, S3: 0.9%, S4: 1.3%) were imposed using NaCl (mass fraction), and glucose with or without NH_4Cl were added to the soils. NO_3^--N, NH_4^+-N, total soluble nitrogen (TSN) and microbial biomass nitrogen (MBN) were monitored. Results showed that NO_3^--N was significantly higher in the low salinity soil (S1, S2) than in the high salinity soil (S3, S4) under the control and with NH_4Cl addition, and especially the difference was larger with NH_4Cl addition. Comparing with the control, NO_3^--N was increased significantly in S1 and S2. NO_3^--N was decreased significantly with glucose addition, and there was no difference among the four salinity soils during the whole incubation period. NH_4^+-N was significantly higher in the high salinity soil (S3, S4) than in the low salinity soil (S1, S2), and it was increased particularly in S4 after day 5. With the addition of NH_4Cl, NH_4^+-N was increased in S3 and S4. MBN was higher in the low salinity soil than in the high salinity soil, and it was not increased with NH_4Cl addition, though TSN was increased. With glucose addition, MBN was increased by 89.9%-130.9% in the low salinity soil (S1, S2) and 36.9%-79.5% in the high salinity soil (S3, S4). It was suggested that soil salinity had influence on N transformation, and high salinity inhibited the transformation and assimilation of N by microorganism. The addition of C depressed the effect of salinity, and improved the microbial activity. The application of organic matter is an effective measure to improve N transformation in saline soils.

Key words: soil salinity; NO_3^--N; NH_4^+-N; soluble nitrogen; microbial biomass nitrogen

收稿日期: 2013-10-08; **修订日期**: 2013-12-10

基金项目: 山东省优秀中青年科学家奖励基金项目(BS2011HZ001); 国家自然科学基金项目(41101220,41101277); 山东省高校科研发展计划项目(J13LE58); 滨州学院国家级大学生创新训练计划项目(201210449127)

作者简介: 李玲(1978 ~),女,博士,副教授,主要研究方向为土壤环境与生态,E-mail:lling7856@163.com

* 通讯联系人,E-mail:shjunqiu@163.com

土壤盐渍化是引起土地退化的重要因子，已成为全球关注的环境问题. 盐渍化土壤肥力普遍较低，从而制约土地生产力. 氮素是植物生长必需的营养元素，也是表征土壤肥力的重要因子. 土壤微生物是土壤养分循环的主要驱动力[1,2]，土壤盐渍化通过抑制微生物的活性[3,4]，进而影响氮素的周转过程. 目前全球盐渍化土地面积达 10 亿 hm^2，且次生盐渍化现象仍不断加剧[5]. 因此，研究盐分含量对土壤氮素转化的影响对进一步了解盐渍化土地的氮素循环过程具有重要意义.

硝态氮（NO_3^--N）和铵态氮（NH_4^+-N）是易于被植物吸收的主要氮源，溶解性总氮（TSN）包括了溶解性无机氮与溶解性有机氮，而土壤微生物生物量氮（MBN）是氮素的活性养分库，其均是土壤氮素转化过程中的主要活性氮组分. 目前关于盐分含量对土壤氮素转化的影响研究多关注于 NO_3^--N 与 NH_4^+-N的转化，如较高的土壤盐分可抑制NH_4^+-N转化为 NO_3^--N[6,7]，且随着土壤盐分含量的升高及 NO_3^--N有效性的增强，NH_4^+-N 含量会明显升高[8]. 但也有研究表明短时间内高盐土壤NH_4^+-N明显降低，而低盐土壤NH_4^+-N保持基本不变[9]. 因此盐分含量对土壤NH_4^+-N及NO_3^--N的转化有待进一步研究. 同时，对盐渍化土壤微生物量的研究多关注于土壤微生物生物量碳[10~12]，而对土壤微生物生物量氮的研究相对较少[3,13]. 黄河三角洲地区近 50% 的土地为不同程度盐渍化土地，严重影响该地区的农业发展. 迄今为止，针对黄河三角洲地区盐渍化土壤氮素转化的研究还鲜有报道[14,15]. 因此，本研究以黄河三角洲地区的盐渍化土壤为对象，设置不同的盐分梯度，同时在土壤中添加不同底物，分析盐分含量对土壤主要活性氮组分的影响，揭示盐分含量对氮素循环的影响机制，以期为指导黄河三角洲地区盐渍化土地的施肥管理提供一定的理论依据.

1　材料与方法

1.1　供试土样

2011 年 10 月采集位于山东省阳信县水落坡乡刘古良村棉花种植区（37°36′06.8″N，117°49′19.8″E）的低盐分表层（0 ~ 20 cm）土样，该成土母质为滨海潮土. 新鲜土样除去可见动植物残体，过 2 mm 孔径筛. 土样基本理化性质为：有机质 17.67 $g\cdot kg^{-1}$、全氮为 1.07 $g\cdot kg^{-1}$、铵态氮 5.51 $mg\cdot kg^{-1}$、硝态氮 33.45 $mg\cdot kg^{-1}$、可溶性盐 0.10%、pH 7.58、田间持水量为 22.9%.

1.2　试验设计

1.2.1　土壤盐分处理

设置 4 个盐分梯度：①对照，土壤含盐量为 0.1%（S1）；②土壤含盐量为 0.5%（S2）；③土壤含盐量为 0.9%（S3）；④土壤含盐量为 1.3%（S4）. 具体操作见文献[4]，处理好后的土样于 25℃、黑暗条件下预培养 14 d. 预培养后的土壤特性见表 1.

1.2.2　底物处理

底物添加为 4 个处理：①对照（CK），不添加底物；②添加氮（N）；③添加碳（C）；④添加碳 + 氮（C + N）. 分别以氯化铵和葡萄糖作为氮源和碳源，其添加量分别为 N：30 $mg\cdot kg^{-1}$，C：750 $mg\cdot kg^{-1}$. 具体操作见文献[4].

表 1　土样添加盐分预培养 14 d 后土壤基本理化性质[1)]

Table 1　Characteristics of soil incubated for 14 days with NaCl addition

土壤盐分	铵态氮 NH_4^+-N/$mg\cdot kg^{-1}$	硝态氮 NO_3^--N/$mg\cdot kg^{-1}$	pH	电导率 EC/$\mu S\cdot cm^{-1}$
S1	2.33 ± 0.25 c	27.37 ± 0.35 a	7.59 ± 0.10 a	102 ± 8 d
S2	2.65 ± 0.21 c	32.06 ± 0.41 a	7.66 ± 0.12 a	446 ± 15 c
S3	3.94 ± 0.25 b	29.08 ± 0.33 a	7.61 ± 0.10 a	847 ± 18 b
S4	5.11 ± 0.17 a	28.82 ± 0.32 a	7.67 ± 0.08 a	1 179 ± 11 a

1）表中数据为平均值 ± 标准误差，字母不同表示各个盐分土壤间差异达到 $P<0.05$ 显著水平；S1、S2、S3、S4 分别代表 0.1%、0.5%、0.9% 和 1.3% 的土壤盐分含量

1.2.3　培养过程

称取每个处理土样 150.00 g 于 1 L 广口瓶内，用封口膜封口，膜上用针扎若干小孔以保证好气培养，于 25℃、黑暗条件下培养 45 d. 每个处理重复 3 次，共计培养瓶 336 个. 分别于 0、2、5、10、20、30、45 d 依次取出各处理计 48 个培养瓶，测定土壤硝态氮、铵态氮、溶解性总氮、微生物生物量氮含量. 培养过程中，按时称重每个广口瓶，以定期补充损失的水分，且每 3 d 通气 15 min.

1.3　分析方法

（1）硝态氮、铵态氮的测定

称取 13.00 g 新鲜土样，加入 100 mL 0.01

mol·L^{-1} $CaCl_2$ 溶液振荡 1 h,过滤,滤液中的硝态氮、铵态氮的测定采用流动注射分析仪(AA3,德国)测定,同时采用烘干法测定土壤含水量.

(2)土壤微生物生物量氮、溶解性总氮的测定

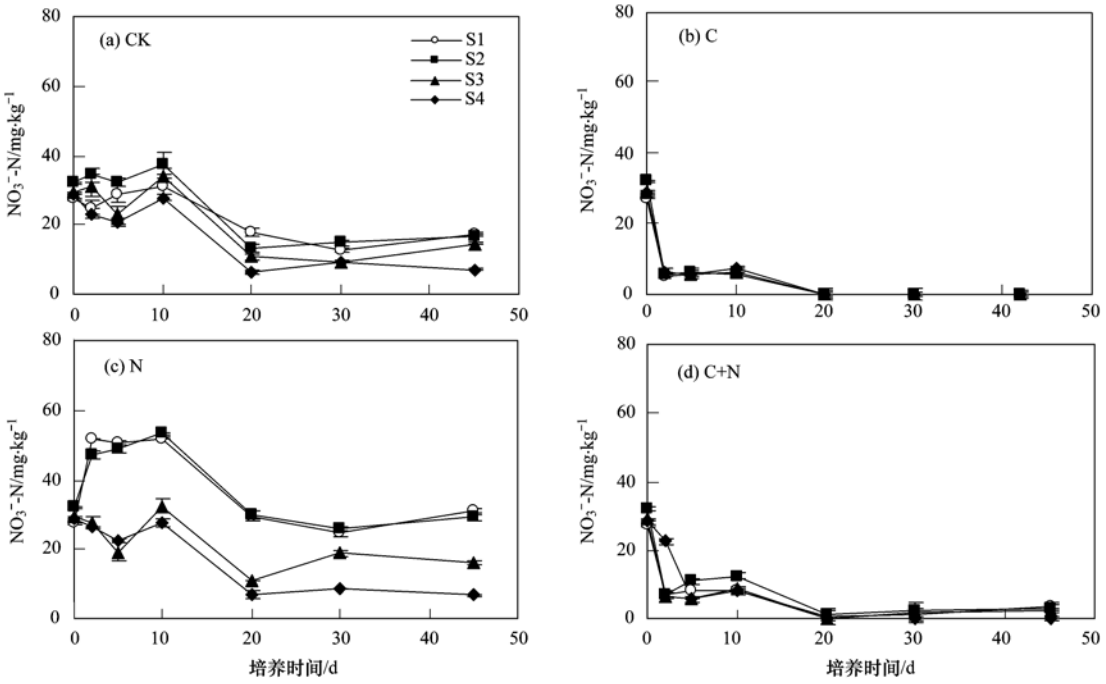
土壤微生物生物量氮的测定采用氯仿熏蒸法,具体操作参见文献[16]. 熏蒸后浸提液中全氮含量采用 TOC/TNb 自动分析仪(Liquid TOC Ⅱ,德国)测定. 微生物生物量氮 = 2.22 × (熏蒸土样浸提的全氮 - 不熏蒸土样浸提的全氮),其中以不熏蒸土样浸提的全氮作为溶解性总氮(total soluble nitrogen,TSN).

数据均为 3 次重复的平均值,以烘干土壤量计. 采用 Excel 2003、SPSS 12.0 进行制图与统计分析,采用 ANOVA 法进行方差分析.

2 结果与分析

2.1 硝态氮(NO_3^--N)的动态变化

不同处理中土壤NO_3^--N含量均在培养前 20 d 内的变化幅度较大,20 d 后趋于稳定(图 1). CK 处理 4 个盐分土壤NO_3^--N在培养前 10 d 内的变化相对较小,培养 10 d 后急剧下降. 培养结束时,4 个盐分土壤 NO_3^--N 含量均低于初始值,降低幅度为 37.4% ~ 75.4%. 整个培养期内,S1 和 S2 土壤 NO_3^--N含量较高,S3 居中,S4 最低.



图中数据为平均值 ± 标准误差; S1、S2、S3、S4 分别代表 0.1%、0.5%、0.9% 和 1.3% 的土壤盐分含量; CK、C、N 和 C + N 分别代表不添加底物、添加碳、添加氮和添加碳 + 氮处理. 下同

图 1 不同处理下硝态氮的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of NO_3^--N under different treatments

添加 NH_4Cl 后,S1 和 S2 土壤NO_3^--N含量迅速升高. 与初始值相比,培养 2 d 时 S1 和 S2 土壤 NO_3^--N含量分别升高 89.2% 和 47.0%,而 S3 和 S4 低于初始值 4.4% 和 8.8%. 此后,与 CK 处理的变化趋势基本一致. 培养结束时,除 S1 土壤NO_3^--N含量与初始值相比升高 13.1% 外,其余 3 个盐分均低于初始值. 统计分析表明,整个培养期内 S1 和 S2 土壤NO_3^--N含量较高,S3 居中,S4 最低. 培养结束时,与 CK 处理相比,添加 NH_4Cl 除 S4 土壤NO_3^--N含量并没有升高外,S1、S2 和 S3 分别升高 80.6%、73.1% 和 10.2%.

与 CK、N 处理相比,C、C + N 处理可明显降低土壤NO_3^--N含量. C、C + N 处理中,培养前 2 d 土壤 NO_3^--N含量急剧下降. 与初始值相比,培养 2 d 时,C 处理 4 个盐分土壤NO_3^--N含量的降低幅度为 77.6% ~ 81.9%,C + N 处理降低幅度为 21.6% ~ 78.8%. 整个培养过程中 4 个盐分土壤NO_3^--N含量无明显差异.

2.2 铵态氮(NH_4^+-N)的动态变化

CK 处理 4 个盐分土壤NH_4^+-N含量在培养前 5 d 内逐渐降低,培养 5 d 时仅为初始值的 6.2% ~ 24.4%(图 2). 此后,4 个盐分土壤NH_4^+-N均略有

回升，以 S4 的升高幅度最大. 培养结束时，4 个盐分土壤 NH_4^+-N 含量均低于初始值，仅为初始值的 22.9% ~70.0%. 整个培养期内，S4 土壤 NH_4^+-N 含量明显高于其余 3 个盐分土壤（$P<0.05$）.

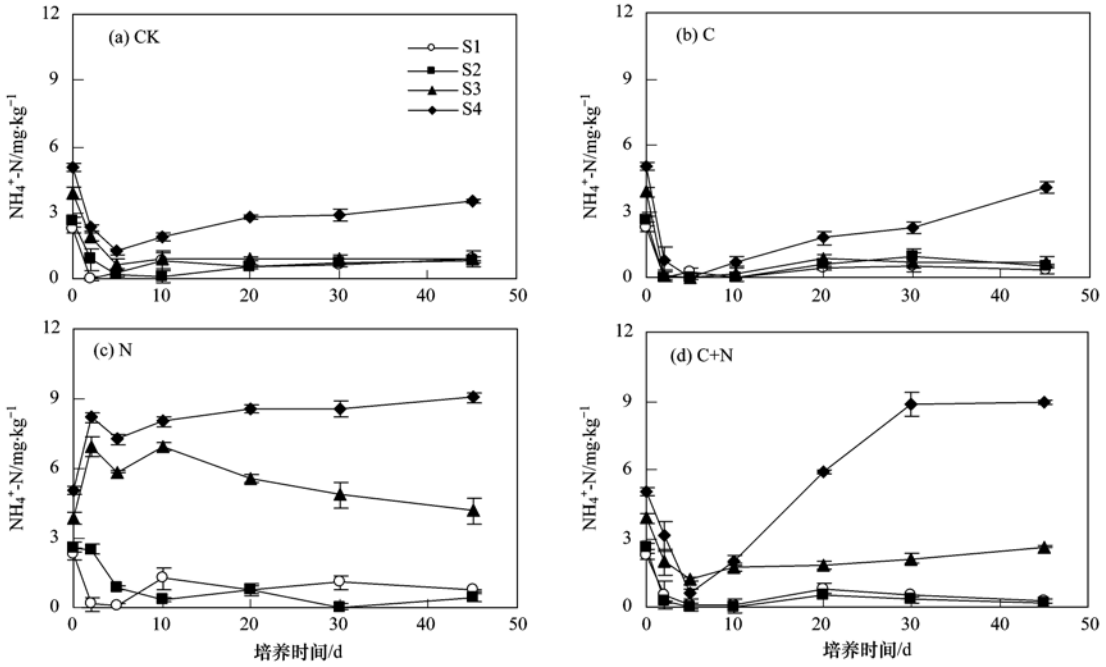


图 2　不同处理下铵态氮的动态变化

Fig. 2　Dynamic changes of soil NH_4^+-N under different treatments

添加 NH_4Cl 可迅速提高 S3 和 S4 土壤 NH_4^+-N 含量，与初始值相比，培养 2 d 时 S3 和 S4 土壤 NH_4^+-N 含量升高 79.1% 和 63.0%. 而 S1 和 S2 降低 93.9% 和 4.2%. 此后，4 个盐分土壤 NH_4^+-N 的变化幅度较小且趋于稳定. 培养结束时，与初始值相比 S1、S2 土壤 NH_4^+-N 含量下降 68.1% 和 83.9%，而 S3 和 S4 升高 7.2% 和 80.4%. 整个培养期内，S4 土壤 NH_4^+-N 含量最高，S3 居中，S1 和 S2 最低. 与 CK 处理相比，添加 NH_4Cl 可明显提高 S3 和 S4 土壤 NH_4^+-N 含量，培养结束时 S3 和 S4 升高 367.9% 和 157.6%，但 S1 和 S2 降低 15.7% 和 46.0%.

C、C + N 处理，4 个盐分土壤 NH_4^+-N 在培养前 5 d 急剧降低. 培养 5 d 后，S1、S2、S3 土壤 NH_4^+-N 基本达到稳定，而 S4 土壤 NH_4^+-N 含量逐渐升高. 培养结束时，与初始值相比，C 处理 S4 土壤 NH_4^+-N 含量仅降低 19.0%，而 S1、S2、S3 降低幅度为 79.0% ~85.8%. C + N 处理 S4 盐分土壤 NH_4^+-N 含量与初始值相比升高 78.6%，而 S1、S2、S3 均低于初始值.

2.3　溶解性总氮（TSN）的动态变化

土壤 TSN 的变化趋势与土壤 NO_3^--N 的变化趋势一致，不同处理土壤 TSN 含量随着培养时间的延长逐渐降低并趋于稳定，但各处理土壤 TSN 明显高于硝态氮（图 3）. 培养结束时，CK 处理 4 个盐分土壤 TSN 均低于初始值，降低幅度为 48.0% ~57.3%. 整个培养过程中，S2 土壤 TSN 含量明显高于其余 3 个盐分（$P<0.05$）.

添加 NH_4Cl 可明显提高 S1 和 S2 土壤 TSN 含量，培养第 5 d 时 S1 和 S2 达到最高值，分别高于初始值 70.8% 和 36.4%，而 S3 和 S4 并没有增加. 培养结束时，4 个盐分土壤 TSN 含量均低于初始值. 整个培养期内，S1 和 S2 土壤 TSN 含量明显高于 S3 和 S4. 且与 CK 相比，添加 NH_4Cl 后 S1 和 S2 土壤 TSN 分别升高 51.8% 和 31.2%，而 S3 和 S4 并没有显著变化.

C、C + N 处理，4 个盐分土壤 TSN 含量随着培养时间的延长逐渐降低. 培养结束时，与初始值相比 4 个盐分土壤 TSN 降低幅度为 51.2% ~69.9%. 整个培养过程中，4 个盐分土壤 TSN 含量无明显差异.

2.4　微生物生物量氮（MBN）的动态变化

CK、N 处理 4 个盐分土壤 MBN 的变化趋势基本一致（图 4）. 培养前 20 d 内，S1、S2 土壤 MBN 含量明显高于 S3、S4，培养 30 d 后 4 个盐分的差异变小. 培养结束时，CK 处理 S1 和 S2 土壤 MBN 仍低

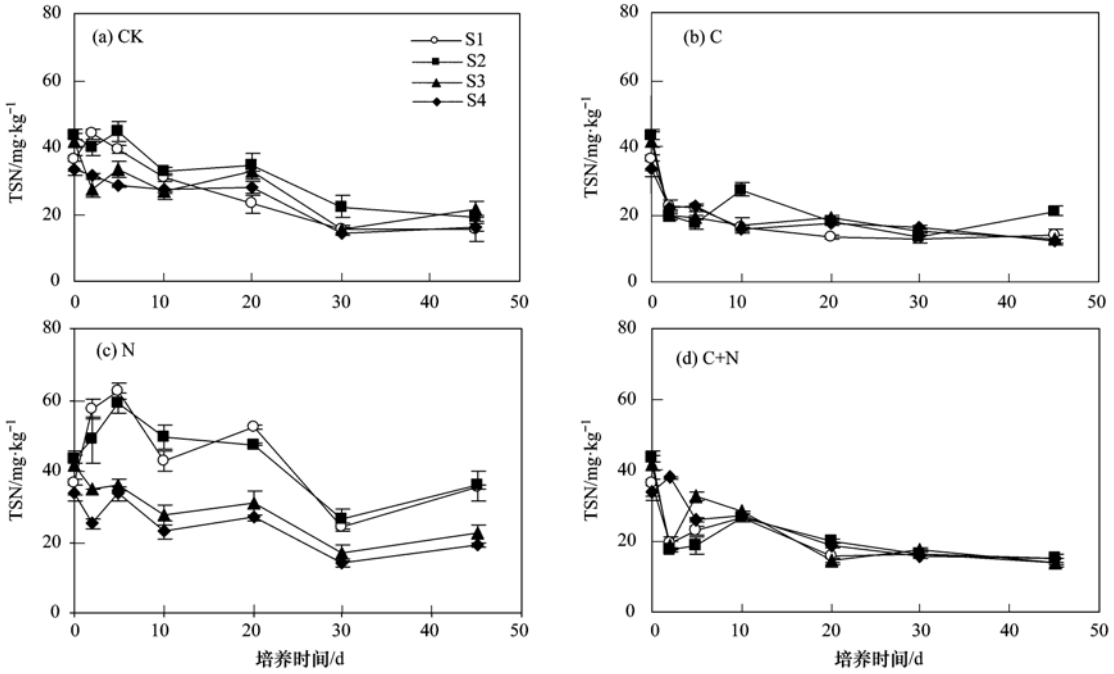


图 3 不同处理下溶解性总氮的动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of total soluble nitrogen under different treatments

于初始值 27.8% 和 10.6%,而 S3 和 S4 与初始值基本一致. 培养结束时,添加 N 处理 4 个盐分土壤 MBN 均低于初始值. 统计分析表明,与 CK 相比添加 NH_4Cl 并不能显著提高土壤 MBN 含量($P > 0.05$).

C、C + N 处理可明显提高土壤 MBN 含量,培养 10 ~ 20 d 时 4 个盐分条件下土壤 MBN 达到最高值. 培养第 20 d 时,C 处理 S1、S2、S3、S4 与初值相比升高 106.8%、130.9%、65.1%、79.5%. C + N 处理 S1、S2、S3、S4 分别升高 101.7%、89.9%、76.1%、36.9%. 培养结束时,4 个盐分土壤 MBN 与初始值基本保持一致. 整个培养过程中,S1、S2 土壤 MBN 含量明显高于 S3、S4($P < 0.05$).

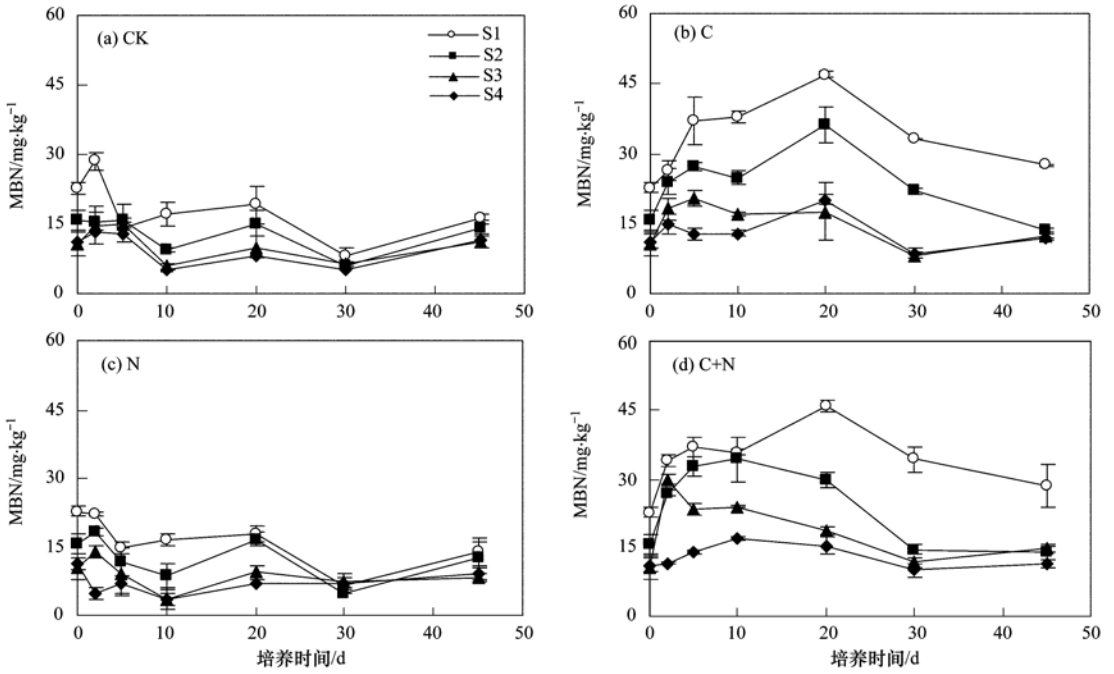


图 4 不同处理下土壤微生物生物量氮的动态变化

Fig. 4 Dynamic changes of microbial biomass nitrogen under different treatments

3　讨论

土壤中的铵态氮转化为硝态氮的过程为硝化作用[17]. 本研究不添加底物和添加 NH_4Cl 后土壤硝态氮含量均表现为低盐土壤(S1、S2)明显高于高盐土壤(S3、S4),且添加 NH_4Cl 的效果更为明显. 而添加葡萄糖后 4 个盐分条件下土壤硝态氮无明显差异. 说明在无碳源添加条件下,高浓度的土壤盐分可抑制土壤的硝化作用[18,19]; 加入碳源后盐分含量对土壤硝化作用的影响变弱. 前人研究表明不同程度盐碱土壤中添加植物残体 + $(NH_4)_2SO_4$ 后,整个培养期内高盐土壤硝态氮含量明显低于低盐土壤[3],且随着土壤盐分含量的增加土壤累积硝化量不断降低[20],田间试验也表明高盐分芦苇湿地土壤中的硝态氮含量明显低于低盐分芦苇湿地[14],同样说明高浓度的土壤盐分可明显抑制土壤的硝化作用. Conde 等[9]研究表明,添加葡萄糖 + $(NH_4)_2SO_4$ 后高盐分土壤中的硝态氮含量亦在培养 7 d 内急剧下降,本研究结果与此基本一致. 同时,本研究中葡萄糖加入土壤后土壤硝态氮含量明显降低,原因可能是:一方面碳源的加入可促进硝态氮的固定,这主要表现为土壤微生物量氮的变化(图 4),因为添加碳源后土壤微生物量氮明显升高. 通过对盐碱土进行杀菌试验也表明土壤硝态氮含量明显高于不灭菌处理[21]; 另一方面碳源的加入可促进硝态氮转化为亚硝态氮,这由 Conde 等[9]对亚硝酸根的检测证实. 本研究也表明在盐碱化土壤中仅施入氮肥尽管提高了低盐土壤的硝化作用,但并不能提高土壤微生物生物量氮含量,说明缺乏碳源的补给不利于土壤微生物对氮素的同化吸收.

不同底物处理中土壤铵态氮含量表现为高盐土壤明显高于低盐土壤,特别是 S4 土壤铵态氮含量明显高于其余 3 个盐分,且随着培养时间的延长而更加显著. Azam 等[7]通过同位素示踪技术研究了盐分含量对土壤铵态氮的影响,结果表明添加葡萄糖 + $(^{15}NH_4)_2SO_4$ 后土壤 ^{15}N 标记铵态氮在 12 h 内逐渐降低,且高盐土壤 ^{15}N 标记铵态氮明显高于低盐土壤. 24 h 后,不同盐分土壤中 ^{15}N 标记铵态氮又开始升高,说明被固定的铵态氮又开始重新释放出来,且随着盐分含量的升高铵态氮的重新释放变得缓慢. 本研究中只有 S4 表现为被固定的铵态氮又重新释放,而其余 3 个盐分在培养 5 d 后保持基本稳定. 这说明低浓度的土壤盐分利于铵态氮的转化,而高浓度的土壤盐分利于铵态氮的重新释放. 不同盐分土壤中添加绿肥、玉米秸秆、有机废物后,土壤铵态氮含量亦随着土壤盐分含量的升高而增加[18,22,23]. 本研究尽管添加了 NH_4Cl(N、C + N 处理),S1 和 S2 土壤铵态氮含量与不添加底物处理相比基本一致,而 S3 和 S4 明显升高,同样说明高浓度的土壤盐分不利于土壤铵态氮的转化. 添加碳源(C、C + N 处理)后,土壤铵态氮均在培养 5 d 内急剧降低,而此时期正是葡萄糖的快速分解阶段[4],此后大部分葡萄糖已分解时 S4 土壤铵态氮又明显升高,说明碳源可能是控制高盐分土壤铵态氮转化的重要限制因子. 因此,为了提高盐碱化土壤中铵态氮的转化,应提供充足的碳源.

整个培养期内,低盐土壤(S1、S2)微生物生物量氮含量明显高于高盐土壤(S3、S4),且在葡萄糖加入条件下(C、C + N),这种趋势表现更为明显,这与前人通过室内培养试验及田间动态监测的研究结果一致[3,10],说明高浓度的土壤盐分可降低土壤微生物活性,从而引起微生物数量的降低. 本研究结果还表明,添加 NH_4Cl 处理尽管提高了低盐土壤溶解性总氮含量,但并不能提高土壤微生物生物量氮含量,郁培义等[24]对红壤林地进行高氮和低氮处理后亦发现氮素的添加对土壤微生物量氮的影响较小,且随着时间的延长土壤微生物量氮呈降低趋势. 而加入葡萄糖(C、C + N)后土壤微生物生物量氮明显提高,这与添加植物残体的研究结果一致[13]. 骆坤等[25]对长期定位试验的研究表明,单施化肥处理土壤微生物量氮并没有升高,而有机无机配施可明显提高土壤微生物量氮. 这均说明碳源的加入可明显提高微生物对氮素的利用效率. 加入葡萄糖后低盐土壤微生物生物量氮提高的幅度(89.9% ~ 130.9%)明显高于高盐(36.9% ~ 79.5%),但 Khan 等[26]研究发现加入植物残体后含盐量为 0.4% 的土壤微生物生物量氮升高的幅度明显大于含盐量为 0.2% 的土壤,这可能是因为 Khan 等所选取的两个盐分土壤肥力(有机碳含量为 3.7 $g\cdot kg^{-1}$、6.8 $g\cdot kg^{-1}$)较低,外源碳的加入可明显刺激微生物的生长,从而使本底值较低、含盐量为 0.4% 的土壤微生物生物量的增加幅度较大. 土壤微生物生物量是土壤的活性养分库,增施有机物质可明显提高盐碱化土壤微生物生物量,从而为提高盐碱化土壤肥力发挥重要作用.

4　结论

在无碳源添加条件下高浓度的土壤盐分可抑制

土壤的硝化作用,加入碳源后盐分含量对土壤硝化作用的影响变弱. 低盐利于铵态氮的转化,而高盐利于铵态氮的重新释放. 仅添加氮源虽然提高了低盐土壤溶解性总氮含量,但并不能提高微生物生物量氮含量. 只有增施碳源才能提高土壤微生物生物量氮,且这种效果在低盐条件下表现更为明显. 说明土壤盐分影响土壤氮素的转化,高浓度的土壤盐分不利于土壤无机氮的转化及微生物对氮素的吸收,而碳源的添加可削弱盐分的影响,且提高盐碱化土壤的微生物活性,因此在盐碱化土壤中增施有机物质是提高氮素转化的有效措施.

参考文献:

[1] 黄靖宇, 宋长春, 宋艳宇, 等. 湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解性有机碳、氮的影响[J]. 环境科学, 2008, **29**(5): 1380-1387.

[2] 刘守龙, 肖和艾, 童成立, 等. 亚热带稻田土壤微生物生物量碳、氮、磷状况及其对施肥的反应特点[J]. 农业现代化研究, 2003, **24**(4): 278-283.

[3] Elgharably A, Marschner P. Microbial activity and biomass and N and P availability in a saline sandy loam amended with inorganic N and lupin residues[J]. European Journal of Soil Biology, 2011, **47**(5): 310-315.

[4] 李玲, 仇少君, 檀菲菲, 等. 盐分和底物对黄河三角洲区土壤有机碳分解与转化的影响[J]. 生态学报, 2013, **33**(21): 6844-6852.

[5] 杨劲松. 土壤盐渍地球化学研究的进展及发展趋势[J]. 土壤, 1991, **23**(4): 206-209, 173.

[6] Ramírez-Fuentes E, Luna-Guido M, Ponce-Mendoza A, *et al*. Incorporation of glucose-^{14}C and NH_4^+ in microbial biomass of alkaline saline soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, **36**(4): 269-275.

[7] Azam F, Ifzal M. Microbial population immobilizing NH_4^+-N and NO_3^--N differ in their sensitivity to sodium chloride salinity in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, **38**(8): 2491-2494.

[8] Dendooven L, Vega-Jarquin C, Cruz-Mondragon C, *et al*. Dynamics of inorganic nitrogen in nitrate and glucose-amended alkaline-saline soil[J]. Plant and Soil, 2006, **279**(1-2): 243-252.

[9] Conde E, Cardenas M, Ponce-Mendoza A, *et al*. The impacts of inorganic nitrogen application on mineralization of ^{14}C-labelled maize and glucose, and on priming effect in saline alkaline soil[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, **37**(4): 681-691.

[10] Tripathi S, Kumari S, Chakraborty A, *et al*. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 2006, **42**(3): 273-277.

[11] Wong V N L, Dalal R C, Greene R S B. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2008, **44**(7): 943-953.

[12] Li X G, Li F M, Ma Q F, *et al*. Interactions of NaCl and Na_2SO_4 on soil organic C mineralization after addition of maize straws[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, **38**(8): 2328-2335.

[13] Rasul G, Khan A A, Khan K S, *et al*. Immobilization and mineralization of nitrogen in a saline and alkaline soil during microbial use of sugarcane filter cake amended with glucose[J]. Biology and Fertility of Soils, 2009, **45**(30): 289-296.

[14] 李玲, 赵西梅, 孙景宽, 等. 造纸废水灌溉对盐碱芦苇湿地土壤活性氮的影响[J]. 土壤通报, 2013, **44**(2): 450-454.

[15] 吕学军, 刘庆, 陈印平, 等. 黄河三角洲土地利用方法对土壤可溶性有机碳、氮的影响[J]. 农业现代化研究, 2011, **32**(4): 505-508.

[16] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006. 57-60.

[17] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010. 198.

[18] Beltrán-Hernández R I, Luna-Guido M L, Dendooven L. Emission of carbon and dioxide and dynamics of inorganic N in a gradient of alkaline saline soils of the former lake Texcoco[J]. Applied Soil Ecology, 2007, **35**(2): 390-403.

[19] Rasul G, Appuhn A, Müller T, *et al*. Salinity-induced changes in the microbial use of sugarcane filter cake added to soil[J]. Applied Soil Ecology, 2006, **31**(1-2): 1-10.

[20] 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.

[21] Vega-Jarquin C, Garcia-Mendoza M, Jablonowski N, *et al*. Rapid immobilization of applied nitrogen in saline-alkaline soils[J]. Plant and Soil, 2003, **256**(2): 379-388.

[22] Pathak H, Rao D L N. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils[J]. Soil Biological and Biochemistry, 1998, **30**(6): 695-702.

[23] Wichern J, Wichern F, Joergensen R G. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils[J]. Geoderma, 2006, **137**(1-2): 100-108.

[24] 郁培义, 朱凡, 宿少锋, 等. 氮素添加对樟树林红壤微生物的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(8): 3231-3237.

[25] 骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 等. 黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应[J]. 环境科学, 2013, **34**(2): 676-684.

[26] Khan K S, Gattinger A, Buegger F, *et al*. Microbial use of organic amendments in saline soils monitored by changes in the $^{13}C/^{12}C$ ratio[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, **40**(5): 1217-1224.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 35 No. 6

Jun. 15, 2014

CONTENTS

Comparative Analysis on Meteorological Condition for Persistent Haze Cases in Summer and Winter in Beijing ····· LIAO Xiao-nong, ZHANG Xiao-ling, WANG Ying-chun, *et al.* (2031)

Size Distributions of Water-Soluble Inorganic Ions in Atmospheric Aerosols in Fukang ····· MIAO Hong-yan, WEN Tian-xue, WANG Yue-si, *et al.* (2045)

Study on Transition Metals in Airborne Particulate Matter in Shanghai City's Subway ····· BAO Liang-man, LEI Qian-tao, TAN Ming-guang, *et al.* (2052)

Heavy Metal Concentrations in Mosses from Qiyi Glacier Region ····· MA Juan-juan, LI Zhen (2060)

Distributions of Dimethylsulfide and Dimethylsulfoniopropionate and Influencing Factors in the East China Sea and the Southern Yellow Sea During the Winter ····· SONG Yi-zhu, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (2067)

Pollution by Heavy Metals in the Petrochemical Sewage Waters of the Sea Area of Daya Bay and Assessment on Potential Ecological Risks ····· XU Shan-nan, LI Chun-hou, XU Jiao-jiao, *et al.* (2075)

Distribution of Perfluorinated Compounds in Surface Water of Shenzhen Reservoir Groups ····· WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, HE Long, *et al.* (2085)

Contamination and Source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Epikarst Spring Water ····· SUN Yu-chuan, SHEN Li-cheng, YUAN Dao-xian (2091)

Biogeochemical Processes of the Major Ions and Dissolved Inorganic Carbon in the Guijiang River ····· TANG Wen-kui, TAO Zhen, GAO Quan-zhou, *et al.* (2099)

Hydrologic Processes of the Different Landscape Zones in Fenhe River Headwater Catchment ····· YANG Yong-gang, LI Cai-mei, QIN Zuo-dong, *et al.* (2108)

Assessment of Groundwater Quality of Different Aquifers in Tongzhou Area in Beijing Plain and Its Chemical Characteristics Analysis ····· GUO Gao-xuan, JU Yi-wen, ZHAI Hang, *et al.* (2114)

Models for Quantification of Fluid Saturation in Two-Phase Flow System by Light Transmission Method and Its Application ····· ZHANG Yan-hong, YE Shu-jun, WU Ji-chun (2120)

Nitrogen Leaching and Associated Environmental Health Effect in Sloping Cropland of Purple Soil ····· CHEN Wei-liang, GAO Yang, LIN Yong-ming, *et al.* (2129)

Research on Land Use Structure Optimization Based on Nonpoint Source Dissolved Nitrogen Load Estimation in Shuaishui Watershed ····· LU Yu-chao, BI Meng-fei, LI Ze-li, *et al.* (2139)

Nitrogen and Organic Matter Vertical Distribution Characteristics and Evaluation in Ancient Canal Sediments of Zhenjiang Old Town ····· ZHOU Xiao-hong, LI Yi-min, ZHOU Yi, *et al.* (2148)

Effects of Two Submerged Macrophytes on Dissolved Inorganic Nitrogen in Overlying Water and Interstitial Water ····· YANG Wen-bin, LI Yang, SUN Gong-xian (2156)

Bioavailable Phosphorus on Suspended Solids of Lake Under Short-term and Repeated Sediment Disturbance ····· WU Xiao-fei, LI Da-peng (2164)

Influence of Different Disturbance Intensity on the Phosphorus Adsorption and Immobilization by the Sediments from an Inner City Heavily Polluted Canal ····· WANG Shang, LI Da-peng (2171)

Effect of Feed Residues on the Release of Nitrogen and Phosphorus of Pond Sediment ····· LÜ Yuan-jiao, LI Rui-jiao, ZHANG Nian, *et al.* (2178)

Delivery and Release of Sediment PAHs During Resuspension ····· WANG Xiao-hui, BI Chun-juan, HAN Jing-chao (2185)

Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Redox Reactions of Mercury ····· ZHAO Shi-bo, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, *et al.* (2193)

Removal of Fluorescent Whitening Agent by Hydrogen Peroxide Oxidation Catalyzed by Activated Carbon ····· LIU Hai-long, ZHANG Zhong-min, ZHAO Xia, *et al.* (2201)

Kinetics of Alkylphenols Degradation in Aqueous Phase with Excilamp Irradiation ····· LIU Yu-hai, YE Zhao-lian, WEN Ying-pin, *et al.* (2209)

AF + BAF for Treating Effluent in the Sewage Plant of the Resin and Chemical Industry Park ····· TU Yong, LIU Wei-jing, ZHANG Yao-hui, *et al.* (2216)

Synthesis and Adsorption Property of Cd(Ⅱ)-8-hydroxyquinoline Molecularly Imprinted Polymer Microspheres ····· YANG Chun-yan, CHEN Fu-bin, ZHAO Hui, *et al.* (2223)

Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Microbubble-aerated Biofilm Reactor ····· LIU Chun, NIAN Yong-jia, ZHANG Jing, *et al.* (2230)

Effect of PLA/Starch Slow-Release Carbon Source on Biological Denitrification ····· TANG Dan-qi, WANG Juan, ZHENG Tian-long, *et al.* (2236)

Impacts of Filamentous Bulking on Treatment Effect and Fouling Characteristics of Nonwoven Bioreactor ····· SHI Kuan, XUE Gang, GAO Pin, *et al.* (2241)

Optimization for Phosphorous Removal in Thickening and Dewatering Sludge Water by Polyaluminum Chloride ····· ZHOU Zhen, HU Da-long, QIAO Wei-min, *et al.* (2249)

Simulation of Long-Range Transport Potential of POPs in Poyang Lake ····· GONG Xiao-feng, XIANG Hong-rui, CHEN Chun-li, *et al.* (2256)

Uncertainty Analysis of Ecological Risk Assessment Caused by Heavy-metals Deposition from MSWI Emission ····· LIAO Zhi-heng, SUN Jia-ren, WU Dui, *et al.* (2264)

Risk Assessment and Countermeasures of BTEX Contamination in Soils of Typical Pesticide Factory ····· TAN Bing, WANG Tie-yu, LI Qi-feng, *et al.* (2272)

Levels Distribution and Risk Assessment of the Indicator and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in Ten Different Species of Marine Fish of Bohai Bay, China ····· WANG Sha-sha, GAO Li-rong, TIAN Yi-ling, *et al.* (2281)

Detection of Biohazardous Materials in Water upon the Characteristics of Fluorescent Sensor Frex ····· ZHAO Wei, WANG Zhao, CAI Qiang, *et al.* (2287)

Generation and Release of Microcystin-LR by *Microcystis aeruginosa* Under Hydroquinone Inhibition ····· ZHANG Yuan-chun, LIANG Wen-yan, ZHAO Yuan, *et al.* (2294)

Culture Medium Based on Biogas Slurry and Breeding of Oil Chlorella ····· ZHAO Feng-min, MEI Shuai, CAO You-fu, *et al.* (2300)

Microbial Diversity and Ammonia-Oxidizing Microorganism of a Soil Sample Near an Acid Mine Drainage Lake ····· LIU Ying, WANG Li-hua, HAO Chun-bo, *et al.* (2305)

Effects of *Corbicula fluminea* Bioturbation on the Community Composition and Abundance of Ammonia-Oxidizing Archaea and Bacteria in Surface Sediments ····· WANG Xue, ZHAO Da-yong, ZENG Jin, *et al.* (2314)

Methanogenic Activity and Methanogen Diversity in Marine Gas Field Sediments ····· TIAN Qi, WANG Jia, FAN Xiao-lei, *et al.* (2322)

Effect of the Potential on Bacterial Community Under Illumination by DGGE and T-RFLP ····· WU Yi-cheng, DENG Huan, XIAO Yong, *et al.* (2328)

Isolation and Characterization of Two Bacteria with Heavy Metal Resistance and Phosphate Solubilizing Capability ····· TIAN Jiang, PENG Xia-wei, LI Xia, *et al.* (2334)

Identification and Denitrification Characteristics of a Psychrotolerant Facultative Basophilic Aerobic Denitrifier ····· WANG Zhao-yang, CHEN Guo-yao, JIANG Ke, *et al.* (2341)

Effects of Ryegrass and Arbuscular Mycorrhiza on Activities of Antioxidant Enzymes, Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Different Varieties of Tomato ····· JIANG Ling, YANG Yun, XU Wei-hong, *et al.* (2349)

Response of Active Nitrogen to Salinity in a Soil from the Yellow River Delta ····· LI Ling, QIU Shao-jun, CHEN Yin-ping, *et al.* (2358)

Variation of Soil Nitrogen During *in situ* Mineralization Process Under Different Grasslands in the Mountainous Area of Southern Ningxia, Northwest China ····· JIANG Yue-li, ZHAO Tong, YAN Hao, *et al.* (2365)

Effects of Long-Term Application of Pig Manure Containing Residual Tetracycline on the Formation of Drug-Resistant Bacteria and Resistance Genes ····· ZHANG Jun, YANG Xiao-hong, GE Feng, *et al.* (2374)

Long-Term Effects of Tillage Methods on Heavy Metal Accumulation and Availability in Purple Paddy Soil ····· CHANG Tong-ju, CUI Xiao-qiang, RUAN Zhen, *et al.* (2381)

Environmental Geochemical Baseline of Heavy Metals in Soils of the Ili River Basin and Pollution Evaluation ····· ZHAO Xin-ru, Telajin Nasier, CHENG Yong-yi, *et al.* (2392)

Distribution Patterns and Pollution Assessments of Heavy Metals in the *Spartina alterniflora* Salt-Marsh Wetland of Rudong, Jiangsu Province ····· ZHANG Long-hui, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, *et al.* (2401)

Temporal-Spatial Distribution of Agricultural Diffuse Nitrogen Pollution and Relationship with Soil Respiration and Nitrification ····· OUYANG Wei, CAI Guan-qing, HUANG Hao-bo, *et al.* (2411)

Soil Respiration and Carbon Balance in Wheat Field Under Conservation Tillage ····· ZHANG Sai, WANG Long-chang, HUANG Zhao-cun, *et al.* (2419)

Comparison of Soil Respiration in Natural *Castanopsis carlesii* Forest and Plantation Forest ····· WU Jun-jun, YANG Zhi-jie, WENG Fa-jin, *et al.* (2426)

Influences of Hydraulic Retention Time on the Ethanol Type Fermentation Hydrogen Production System in a Hybrid Anaerobic Baffled Reactor ··· LIU Xiao-ye, ZHANG Hong, LI Yong-feng (2433)

《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）

2014 年 6 月 15 日　第 35 卷　第 6 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 35　No. 6　Jun. 15, 2014

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