

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 21 期 Vol.33 No.21 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 21 期 2013 年 11 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究····· 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等 (6747)
- 气候变化对传染病爆发流行的影响研究进展····· 李国栋,张俊华,焦耿军,等 (6762)
- 好氧甲烷氧化菌生态学研究进展····· 负娟莉,王艳芬,张洪勋 (6774)
- 氮沉降强度和频率对羊草叶绿素含量的影响····· 张云海,何念鹏,张光明,等 (6786)
- 世界蜘蛛的分布格局及其多元相似性聚类分析····· 申效诚,张保石,张 锋,等 (6795)
- 风向因素对转基因抗虫棉花基因漂移效率的影响····· 朱家林,贺 娟,牛建群,等 (6803)

个体与基础生态

- 长江口及东海春季底栖硅藻、原生动物和小型底栖生物的生态特点····· 孟昭翠,徐奎栋 (6813)
- 长江口横沙东滩围垦潮滩内外大型底栖动物功能群研究····· 吕巍巍,马长安,余 骥,等 (6825)
- 沔河沿岸土壤和优势植物重金属富集特征和潜在生态风险····· 杨 阳,周正朝,王欢欢,等 (6834)
- 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····· 李 玲,仇少君,檀菲菲,等 (6844)
- 短期夜间低温胁迫对秋茄幼苗碳氮代谢及其相关酶活性的影响····· 郑春芳,刘伟成,陈少波,等 (6853)
- 32 个切花菊品种的耐低磷特性····· 刘 鹏,陈素梅,房伟民,等 (6863)
- 年龄和环境条件对泥蚶富集重金属镉和铜的影响····· 王召根,吴洪喜,陈肖肖,等 (6869)
- 角倍蚜虫瘦对盐肤木光合特性和总氮含量的影响····· 李 杨,杨子祥,陈晓鸣,等 (6876)
- 多噬伯克霍尔德氏菌 WS-FJ9 对草甘膦的降解特性····· 李冠喜,吴小芹,叶建仁 (6885)
- 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应····· 李为争,杨 雷,申小卫,等 (6895)

种群、群落和生态系统

- 白洋淀生态系统健康评价····· 徐 菲,赵彦伟,杨志峰,等 (6904)
- 珠海鹤洲水道沿岸红树林湿地大型底栖动物群落特征····· 王 卉,钟 山,方展强 (6913)
- 典型森林和草地生态系统呼吸各组分间的相互关系····· 朱先进,于贵瑞,王秋风,等 (6925)
- 抚育间伐对油松人工林下大型真菌的影响····· 陈 晓,白淑兰,刘 勇,等 (6935)
- 百山祖自然保护区植物群落 beta 多样性····· 谭珊珊,叶珍林,袁留斌,等 (6944)
- 土霉素对堆肥过程中酶活性和微生物群落代谢的影响····· 陈智学,谷 洁,高 华,等 (6957)

景观、区域和全球生态

- 兴安落叶松针叶解剖结构变化及其光合能力对气候变化的适应性····· 季子敬,全先奎,王传宽 (6967)
- 盐城海滨湿地景观演变关键土壤生态因子与阈值研究····· 张华兵,刘红玉,李玉凤,等 (6975)

半干旱区沙地芦苇对浅水位变化的生理生态响应 马赞花,张铜会,刘新平 (6984)

SWAT 模型融雪模块的改进 余文君,南卓铜,赵彦博,等 (6992)

科尔沁沙地湖泊消涨对气候变化的响应 常学礼,赵学勇,王 玮,等 (7002)

贝壳堤岛 3 种植被类型的土壤颗粒分形及水分生态特征 夏江宝,张淑勇,王荣荣,等 (7013)

三峡库区古夫河着生藻类叶绿素 a 的时空分布特征及其影响因素 吴述园,葛继稳,苗文杰,等 (7023)

资源与产业生态

煤炭开发对矿区植被扰动时空效应的图谱分析——以大同矿区为例 黄 翌,汪云甲,李效顺,等 (7035)

学术信息与动态

《中国当代生态学研究》新书推介 刘某承 (7044)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2013-11



封面图说: 百山祖保护区森林植物群落——百山祖国家级自然保护区位于浙西南闽浙交界处,由福建武夷山向东北伸展而成,主峰海拔 1856.7m,为浙江省第二高峰。其独特的地形和水文地理环境形成了中亚热带气候区中一个特殊的区域,保存着十分丰富的植物种质资源以及国家重点保护野生动植物种,尤其是 1987 年由国际物种保护委员会列为世界最濒危的 12 种植物之一的百山祖冷杉,是第四纪冰川的孑遗植物,素有“活化石”之称。随着海拔的升高,其植被为常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林、山地矮林和山地灌草丛。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201206290914

李玲, 仇少君, 檀菲菲, 杨红军, 刘京涛, 陆兆华. 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. 生态学报, 2013, 33(21): 6844-6852.

Li L., Qiu S. J., Tan F. F., Yang H. J., Liu J. T., Lu Z. H. Effects of salinity and exogenous substrates on the decomposition and transformation of soil organic carbon in the Yellow River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(21): 6844-6852.

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

李 玲¹, 仇少君^{2,*}, 檀菲菲³, 杨红军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所, 农业部植物营养与施肥重点实验室, 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: 土壤盐碱化能抑制微生物活性, 影响土壤有机碳的分解与转化。以黄河三角洲盐碱耕地为研究对象, 采用室内恒温培养法, 设置 3 个 NaCl 盐分梯度 (S1:0.1%; S2:0.5%; S3:0.9%), 通过在土壤中添加不同底物 (CK: 不添加底物; N: 添加氮; C: 添加碳; C+N: 添加碳+氮), 研究该土壤释放 CO₂-C 量、土壤微生物生物量碳 (SMBC)、土壤微生物呼吸商 (*q*CO₂) 及溶解性有机碳 (DOC) 对盐分和底物的响应。结果表明: 在 45 d 的培养期内, CK、N 处理中 S1 盐分土壤释放 CO₂-C 量最高, S2 和 S3 明显低于 S1, 降低幅度分别为 18.3%—23.7% 和 24.3%—39.8%。C、C+N 处理中 3 个盐分土壤释放 CO₂-C 量差异较小, 特别是在 C+N 处理中, 3 个盐分土壤释放 CO₂-C 差异不显著。4 个底物处理中, SMBC 均在 S1 和 S2 盐分中含量较高, S3 盐分最低。与 CK 相比, N 处理并不能提高 SMBC 含量, C、C+N 处理可明显提高 SMBC, 但 S1 和 S2 盐分土壤提高的幅度 (80.4%—80.5%、58.0%—58.7%) 明显高于 S3 (68.9%、49.7%)。4 个底物处理中, *q*CO₂ 均在 S1 盐分土壤中最高, C、C+N 处理可明显提高 *q*CO₂。CK、N 处理中 3 个盐分土壤 DOC 差异不显著, C、C+N 处理中 S3 盐分土壤 DOC 较高。说明在无碳源输入条件下, 增加盐分含量能明显抑制土壤释放 CO₂ 量。添加碳源后, 盐分含量对土壤释放 CO₂ 的影响变小。微生物对碳源和盐分胁迫的响应较快, 添加碳源能明显提高微生物数量及其活性。但较高盐分 (含盐量 > 0.5%) 可明显降低土壤微生物活性及对外源碳的利用率, 导致较高盐分 SMBC 及 *q*CO₂ 较低而 DOC 较高。

关键词: 土壤盐分; 底物; CO₂; 土壤微生物生物量碳; 土壤微生物呼吸商; 土壤溶解性有机碳

Effects of salinity and exogenous substrates on the decomposition and transformation of soil organic carbon in the Yellow River Delta

LI Ling¹, QIU Shaojun^{2,*}, TAN Feifei³, YANG Hongjun¹, LIU Jingtao¹, LU Zhaohua^{1,3}

1 Shandong Key laboratory of Eco-environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou 256603, Shandong, China

2 Ministry of Agriculture Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

3 Institute of Restoration Ecology, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

Abstract: In the Yellow River Delta, nearly 50 percent of soils are saline and alkaline. Soil salinization can suppress microbial activity and thus affect the decomposition and transformation of soil organic carbon, while little information was found about the effects of salinity and exogenous C and N amendment on the decomposition and transformation of soil organic

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41101220, 41101277); 山东省优秀中青年科学家奖励基金项目 (BS2011HZ001); 山东省高校科技发展计划项目 (J13LE58); 滨州学院国家级大学生创新训练计划项目 (201210449127); 滨州学院博士基金项目 (2008Y05)

收稿日期: 2012-06-27; 修订日期: 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shjunqiu@163.com

carbon in this area. A laboratory experiment was conducted to investigate the effects of soil salinity and exogenous substances on the turnover of organic carbon under conditions with 25°C and 60% water holding capacity over 45 days. Three levels of salinity (S1: 0.1%; S2: 0.5%; S3: 0.9%) using NaCl (w/w) were imposed in the saline-alkaline cultivated soil in Yellow River Delta. Soil was amended with or without C (750 mg/kg) or inorganic N (30 mg/kg) as glucose or NH₄Cl, and 4 treatments were established, including (Control; no substrates addition, N; NH₄Cl addition, C; glucose addition, C+N; glucose and NH₄Cl addition). The CO₂-C emission, soil microbial biomass carbon (SMBC), dissolved organic carbon (DOC) and calculation of the respiratory quotient ($q\text{CO}_2$) were determined. Without glucose addition, the cumulative amount of CO₂-C emission was highest in S1 during the incubation, and it was decreased by 18.3%—23.7% and 24.3%—39.8% in S2 and S3 compared with S1, respectively. After glucose addition, the cumulative amount of CO₂-C emission little changed among the three salinity soils, and especially it was no significant difference between the three salinity soils in C+N treatment. SMBC was higher in S1 and S2 than that in S3 under the four treatments with substrates addition. Addition of NH₄Cl had no significant effect, but addition of glucose significantly increased SMBC, and SMBC increased by 80.4%—80.5% or 58.0%—58.7% in S1 and S2 in C or C+N treatment, and only 68.9% or 49.7% in S3. The $q\text{CO}_2$ was significant higher in S1 than that in S2 and S3, and it was significantly improved with glucose addition. Compare with the control, DOC reminded unchanged in the N treatment, but it increased in S3 with glucose addition. It was suggested that the CO₂ emission could be depressed with the increase of soil salinity without C addition, and soil salinity had little influence on CO₂ emission after C addition. Microorganism was more sensitive to exogenous carbon and soil salinity. The size and the activity of microbial biomass would be improved with C addition, but higher salinity (>0.5%) could depress the microbial activity and the utilization of exogenous carbon, resulting in higher SMBC and $q\text{CO}_2$ and lower DOC in higher salinity soil.

Key Words: Soil salinity; exogenous substrate; CO₂; soil microbial biomass carbon; soil microbial respiratory quotient; soil dissolved organic carbon

目前全球盐碱地面积总计约 10 亿 hm², 其中我国有近 1 亿 hm²^[1], 且次生盐渍化土地面积仍在不断扩大。盐碱化是引起土地退化的重要因素之一, 导致土壤肥力普遍较低, 制约盐碱地的土地生产力。土壤碳素是维持土壤肥力的重要因子, 在改善土壤理化性状、生物学特性及保肥供肥方面发挥重要作用。土壤微生物是土壤碳循环的主要驱动力, 土壤的盐碱化影响土壤微生物活性, 进而影响土壤碳素的循环过程。因此, 加强盐碱地土壤碳循环过程的研究对进一步了解盐碱地及盐碱化过程在全球碳贮存及排放中的作用具有重要意义。

盐碱化土壤在碳循环中扮演“汇”、“源”的角色日益受到重视, 一部分学者指出较高的盐分含量抑制土壤释放 CO₂ 量^[2-3], 外源碳在高盐分土壤中的矿化率明显低于低盐分土壤, 甚至仅为低盐分土壤的 50% 左右^[3], 但也有学者发现加入外源碳后盐碱地土壤释放 CO₂ 量高于非盐碱地 16%—31%^[4], 特别是最新研究表明盐碱地能吸收大气中的 CO₂^[5], 因此盐碱化土壤有机碳分解机制的研究有待进一步加强。土壤微生物生物量碳和溶解性有机碳是有机质转化为活性碳的主要形式, 土壤微生物呼吸商是衡量微生物活性的重要指标, 三者均是反映土壤有机质周转的参数。目前盐分含量对土壤微生物生物量碳的影响仍存在争议, 如在澳大利亚新南威尔士州的高原土壤中添加盐分后, 高盐条件下土壤微生物生物量碳是低盐分条件下的 3 倍多^[6], 而对印度孟加拉湾沿海地区盐碱地的研究发现, 土壤含盐量最高的夏季土壤微生物生物量碳最低^[7]。另外, 盐分含量对土壤溶解性有机碳及微生物呼吸商的影响报道较少^[6]。因此, 盐分含量对土壤碳素分解与转化的影响有待进一步深入研究, 以探明盐分含量对土壤有机碳分解与转化的影响机理。

黄河三角洲地区近 50% 的土地为不同程度的盐碱化^[8], 且相当一部分盐碱地尚未得到有效的改良与利用。目前我国对黄河三角洲地区盐渍化土的形成、调查、改良和开发利用的研究较多^[8-10], 但对该区盐碱地土壤生物化学过程的研究鲜有报道。针对以上问题, 本文以黄河三角洲盐碱耕地为研究对象, 设置不同的盐分

梯度,同时在土壤中添加不同底物,研究底物添加后盐分含量对土壤释放 CO_2 量、土壤微生物生物量碳、微生物呼吸商及溶解性有机碳的影响,明确土壤有机碳的分解与转化对盐分胁迫的响应机制,为进一步揭示该区盐碱化土壤有机碳的循环特征提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土样

采样点位于山东省阳信县水落坡乡刘古良村的棉花种植区,该区属温带季风气候,年均温为 12.3°C 左右,年降水量约 600 mm,年蒸发量约为 2000 mm,土壤类型为滨海潮土。2011 年 10 月采集低盐分棉花地 ($37^\circ36'06.8''\text{N}$, $117^\circ49'19.8''\text{E}$) 的表层 (0—20 cm) 土样,新鲜土样除去可见动植物残体,过 2 mm 孔径筛,用于测定土壤微生物生物量碳、pH,同时风干一部分用于测定土壤含盐量。另取少量土样风干,过 0.149 mm 孔径,用于测定土壤有机质、全氮。土样基本理化性质为:有机质 17.67 g/kg、全氮为 1.07 g/kg、可溶性盐 0.10% (Na^+ 270.5 mg/kg、 Ca^{2+} 71.3 mg/kg、 Mg^{2+} 36.2 mg/kg、 Cl^- 196.5 mg/kg、 SO_4^{2-} 159.9 mg/kg、 NO_3^- 120.5 mg/kg)、pH 7.58、田间持水量 22.9%。

1.2 试验设计

1.2.1 土壤盐分处理

设置 3 个 NaCl 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)。具体操作如下:称取 12.80 kg 新鲜土样 3 份,测定土壤含水量。按照烘干样计算出含盐量为 0.5% 所需的 NaCl,使之溶解于 170 mL 蒸馏水中,均匀喷洒到土样中,即得含盐量为 0.5% 的土样;含盐量为 0.9% 的土样处理同上;对照处理(含盐量为 0.1%)同样喷洒 170 mL 蒸馏水。3 个盐分土样于 25°C 、黑暗条件下预培养 14 d。预培养后的土壤特性见表 1。

表 1 土样添加盐分预培养 14 d 后土壤基本理化性质

Table 1 The characteristics of soil incubated for 14 days with NaCl addition

土壤盐分 Soil salinity	pH	电导率 Electrical conductivity / ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
S1	7.59 \pm 0.10 a	102 \pm 8 c
S2	7.66 \pm 0.12 a	446 \pm 15 b
S3	7.61 \pm 0.10 a	847 \pm 18 a

表中数据为平均值 \pm 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 分别代表 0.1%、0.5% 和 0.9% 的土壤盐分含量

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 NH_4Cl 和葡萄糖作为氮源和碳源,其添加量分别为 30 mg N/kg、750 mg C/kg。具体操作如下:取上述预培养后的 3 个盐分土样,把每个盐分土样分成 4 等份(每份土样为 3.2 kg),添加不同底物。按照不同底物处理称取葡萄糖和 NH_4Cl ,每个处理中的底物溶解于蒸馏水中,均匀喷洒在土样中,使土壤含水量达到田间持水量的 60%。

1.2.3 测定指标

(1) 土壤释放 CO_2 -C

称取每个处理土样 50.00 g (鲜土重) 于 50 mL 烧杯中,置于 1 L 广口瓶内,瓶底加 10 mL 蒸馏水以保持 100% 空气的相对湿度,另在广口瓶内放置一个盛有 20 mL 1 mol/L NaOH 溶液吸收瓶,用橡胶塞密封广口瓶,于 25°C 、黑暗条件下培养 45 d。每个处理重复 3 次。培养过程中,每 3 d 称重广口瓶以定期补充损失的水分,且每 3 d 通气 15 min。分别于 0、2、5、10、20、30、45 d 取出 NaOH 溶液吸收瓶,并换一个新的 NaOH 溶液吸收瓶,测定 NaOH 吸收液中 CO_2 -C 含量。

(2) 土壤微生物生物量碳 (SMBC)、溶解性有机碳 (DOC)

称取每个处理土样 150.00 g(鲜土重)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。培养过程中,每 3 d 称重广口瓶,以定期补充损失的水分,且每 3 d 通气 15 min。分别于 0、2、5、10、20、30、45 d 破坏性取样测定 SMBC、DOC 含量。

1.4 分析方法

SMBC 的测定采用氯仿熏蒸法:于每个培养瓶内称取相当于烘干重 25.00 g 的土样,用氯仿熏蒸 24 h,除去氯仿,加入 100 mL 0.5 mol/L K_2SO_4 溶液振荡 30 min,过滤。同时称取相同量土样做不熏蒸处理,浸提方法同上。浸提液中有机碳含量采用 TOC/TN 自动分析仪(Liquid TOC II, Elementar, 德国)测定。SMBC = $2.22 \times$ (熏蒸土样浸提的有机碳-不熏蒸土样浸提的有机碳),式中以不熏蒸土样浸提的有机碳作为溶解性有机碳(DOC)^[11-12]。

NaOH 吸收液中 CO_2 -C 含量的测定采用滴定法:吸取 5 mL NaOH 吸收液于 100 mL 三角瓶中,然后加入 2 mL 1 mol/L $BaCl_2$ 溶液及 5 滴酚酞指示剂,用 0.1 mol/L 标准酸(HCl)滴定至红色消失,根据稀释倍数计算出吸收液中 CO_2 -C 含量。

土壤微生物呼吸商 $qCO_2 = (CO_2-C)_i / SMBC_i$ ^[6,13],式中 $(CO_2-C)_i$ 为第 i 天土壤释放 CO_2 -C 的速率(mg CO_2 -C·kg⁻¹ 土壤·d⁻¹), $SMBC_i$ 为第 i 天土壤微生物生物量碳(mg SMBC/kg 土壤)。

土壤有机质的测定采用重铬酸钾外加热法^[14]。全氮的测定采用干烧法,用元素分析仪(varioEL III, Elementar, 德国)测定。土壤含盐量的测定采用质量法^[14],其中 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的测定采用原子吸收仪(AA-6800, Shimadzu, 日本)测定, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 采用离子色谱仪(ICS-2000, Dionex, 美国)。土壤 pH 值的测定:称取相当于烘干重 10.00 g 的土样,加入 25 mL 蒸馏水浸提 15 min,用 pH 计(Sartorius PB-2)测定。土壤电导率的测定:称取相当于烘干重 10.00 g 的土样,加入 50 mL 蒸馏水浸提 3 min,用电导仪(Mettler toledo)测定^[14]。田间持水量采用环刀法测定^[14]。

数据为 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 法和 Univariate 法进行单因素和交互作用的方差分析。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳矿化的变化

土壤有机碳的矿化以土壤释放 CO_2 -C 量来计算。不同底物处理中,土壤有机碳的矿化均存在两个分解阶段:培养前 10 d 的快速分解阶段和接下来的慢速并趋稳定的分解阶段(图 1)。培养 45 d 内,CK、N 处理中盐分含量对土壤有机碳分解的影响相同。土壤释放 CO_2 -C 量均在 S1 盐分条件下最高,S2、S3 盐分条件下土壤释放 CO_2 -C 量较低,且差异不显著。CK 处理 45 d 内 S1 盐分条件下土壤释放的 CO_2 -C 量高于 S2 和 S3 盐分 18.3% 和 23.7%。添加 N 处理 45 d 内 S1 盐分条件下土壤释放的 CO_2 -C 量高于 S2 和 S3 盐分 24.3% 和 39.8%。添加 C 处理中,S2 盐分土壤释放 CO_2 -C 量最高,S1 和 S3 较低,且差异不显著。45 d 内 S2 盐分条件下土壤释放的 CO_2 -C 量高于 S1 和 S3 盐分 6.9% 和 9.8%。添加 C+N 处理,S1、S2 和 S3 盐分条件下土壤释放 CO_2 -C 量差异不显著。

本研究结果也表明,各个盐分土壤中添加底物均可以提高土壤释放 CO_2 -C 量,但不同盐分条件下土壤释放 CO_2 -C 量的增幅不同。与 CK 相比,添加 N 处理整个培养期内 S1 和 S2 盐分条件下土壤释放 CO_2 -C 的增加幅度(61.4%—62.3%)明显高于 S3 盐分条件下的增加幅度(37.4%)。添加 C 处理 S2 盐分土壤释放 CO_2 -C 的增加幅度为 331.5%,明显高于其余 2 个盐分土壤的增加幅度(226.3%—275.8%)。添加 C+N 处理,S2、S3 盐分条件下土壤释放 CO_2 -C 量的增加幅度(311.1%—313.4%)明显高于 S1 盐分条件下的增加幅度(243.1%)。

2.2 土壤微生物生物量碳(SMBC)的变化

CK 处理和添加 N 处理,3 个盐分条件下 SMBC 均在培养第 2 天出现最低值,此后出现升高趋势。培养结束时,CK 处理 SMBC 含量高于初始值 37.5%—52.3%,添加 N 处理 SMBC 含量高于初始值 44.4%—46.3%。而添加 C 及 C+N 处理,3 个盐分条件下 SMBC 均在培养 2 d 时迅速升高,且在培养第 10—20 天达到最大值,培

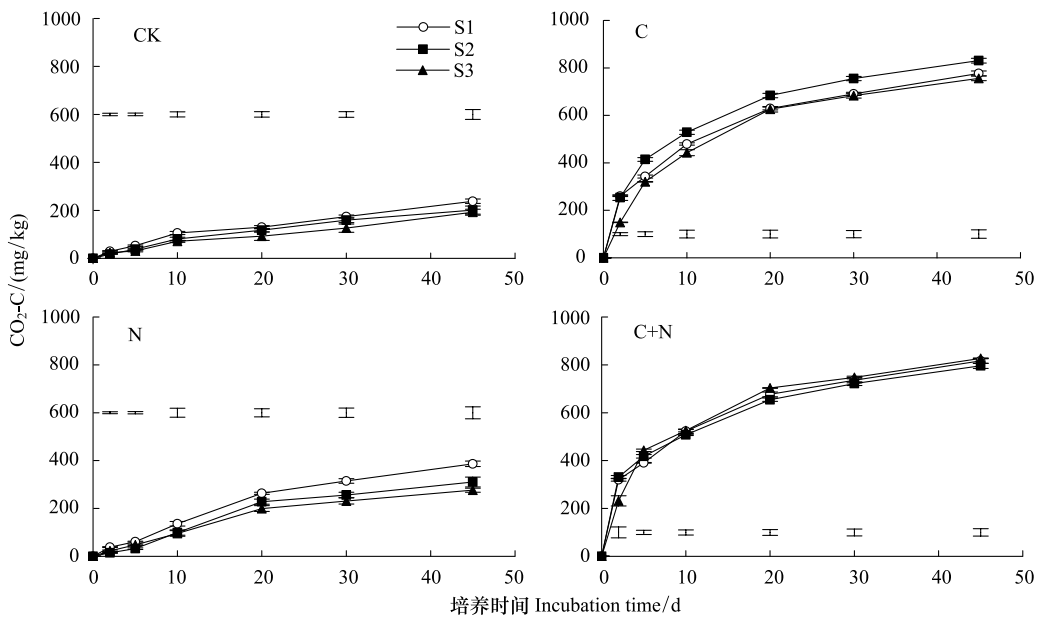


图 1 不同处理下土壤释放 CO₂ 的动态变化

Fig.1 Dynamic Changes of CO₂ emission from soil under different treatments

图中数据为平均值±标准误差,图中短竖线(I)表示不同盐分土壤在 $P < 0.05$ 水平上的 LSD 值; S1、S2、S3 分别代表 0.1%、0.5% 和 0.9% 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

养结束时 3 个盐分条件下 SMBC 含量均高于初始值,增加幅度达 78.5%—121.1% (图 2)。

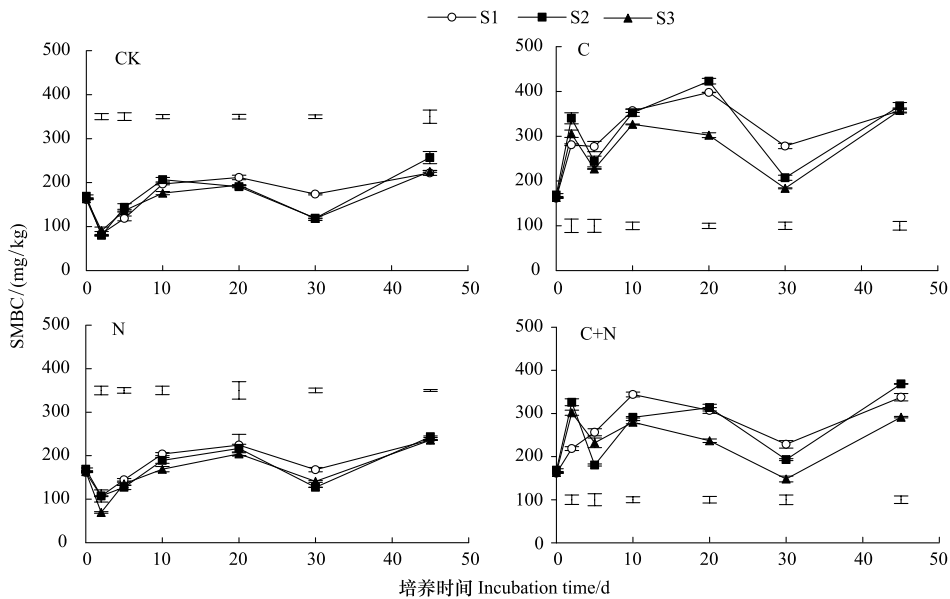


图 2 土壤微生物生物量碳的动态变化

Fig.2 Dynamic changes of soil microbial biomass carbon under different treatments

由 45 d 培养期内 SMBC 的平均值来看,CK 处理 S1 和 S2 盐分条件下 SMBC 的均值较高,且差异不显著,但两个盐分条件下 SMBC 明显高于 S3 ($P < 0.05$)。添加 N 处理, S1 盐分条件下 SMBC 最高,与 S2 相比差异不显著,但明显高于 S3。与 CK 相比,添加 N 处理 S1 盐分条件 SMBC 略有增加,增幅为 6.6%,而 S2、S3 盐分条件下 SMBC 均值与 CK 处理相比基本一致。添加 C 及 C+N 处理, S1 和 S2 盐分条件下 SMBC 均值较高,且差异不显著,但两个盐分条件下 SMBC 明显高于 S3 ($P < 0.05$)。与 CK 相比,添加 C 处理 S1、S2 和 S3 盐分条件

下 SMBC 的增加幅度为 80.5%、80.4% 和 68.9%，添加 C+N 处理 S1、S2 和 S3 盐分条件下 SMBC 的增加幅度为 58.7%、58.0% 和 49.7%。

2.3 土壤微生物呼吸商 ($q\text{CO}_2$) 的变化

整个培养期内,不同处理值均表现为培养前 2 d 最高,此后开始降低并趋于稳定(图 3),这与土壤有机碳的分解动态表现一致(图 1)。不同底物处理, $q\text{CO}_2$ 均在 S1 盐分条件下较高,随着盐分的增加 $q\text{CO}_2$ 出现降低趋势。CK 和添加 N 处理,在培养的前 2 d 内 S1 盐分条件下 $q\text{CO}_2$ 明显高于 S2 和 S3,但随着培养时间的延长,其差异逐渐变小。添加 C 及 C+N 处理,在培养最初的 2 d 内,S1 和 S2 盐分条件下 $q\text{CO}_2$ 值较高,但 2 d 后 S3 盐分条件下 $q\text{CO}_2$ 值明显高于其余盐分处理。同时本研究结果表明土壤添加底物后可明显提高 $q\text{CO}_2$ 值。整个培养期内与不添加底物相比,添加 N、C 及 C+N 后,不同盐分条件下 $q\text{CO}_2$ 的增加幅度分别为 24.6%—43.1%、164.6%—263.7% 及 248.5%—312.4%。

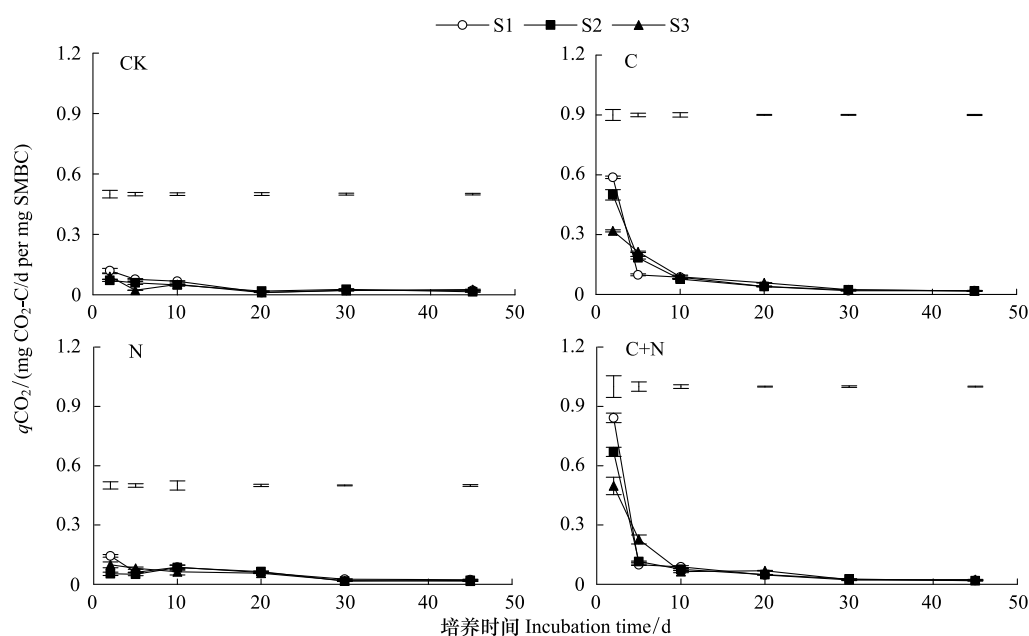


图 3 不同处理下土壤微生物呼吸商的动态变化

Fig.3 Dynamic changes of metabolic quotient under different treatments

2.4 土壤溶解性有机碳 (DOC) 的变化

整个培养期内,盐分含量对土壤 DOC 的影响相对较小(图 4)。CK 及添加 N 处理,3 个盐分条件下土壤 DOC 的变化趋势基本一致,且 3 个盐分土壤 DOC 差异不显著。添加 C 及 C+N 处理,培养 2 d 后土壤 DOC 含量迅速增加,且 S3 盐分条件下土壤 DOC 的增加幅度(433.3%及 90.1%)明显大于 S1 和 S2 盐分条件下的增加幅度(34.1%—190.5%及 22.1%—33.5%)。此后,S1、S2 和 S3 盐分条件下土壤 DOC 含量差异变小,且在培养结束时均低于初始值。

3 讨论

盐分含量影响土壤释放 CO_2 量,但不同底物处理下盐分含量对 CO_2 释放量的影响不同。不添加底物和只添加氮处理,土壤释放 CO_2 量均在低盐分条件下较高,随着含盐量的增加土壤释放 CO_2 量出现降低趋势,这与 Elgharably 等在不添加底物处理中的研究结果一致^[15]。而 Beltrán-Hernández 等研究发现,不添加底物处理高盐分条件下土壤释放 CO_2 量是低盐分条件下的 1.6—2.7 倍^[16],这可能是因为其高盐土壤有机碳含量(26.8—30.3g/kg)明显高于本研究中的土壤。添加碳后本研究 0.5% 盐分土壤释放 CO_2 量最高,添加碳+氮后 3 个盐分土壤释放 CO_2 量无明显差异。说明在碳源输入条件下,增加一定量的土壤盐分可能产生正激发作用,从而引起土壤释放 CO_2 量的增加^[17]。有研究者在土壤中添加葡萄糖,同样发现较高的盐分含量并没有抑

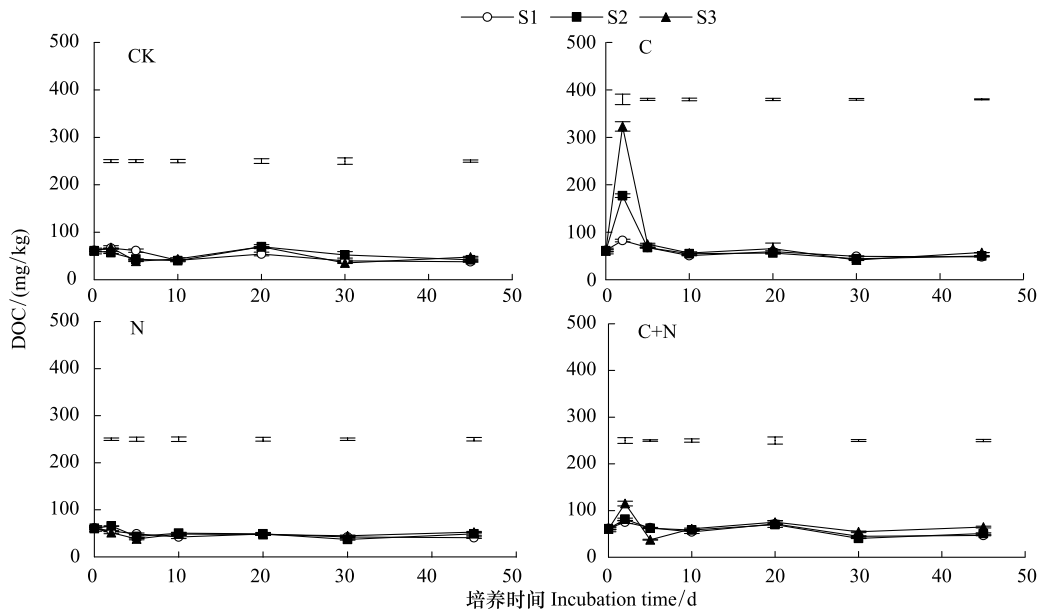


图4 土壤溶解性有机碳的动态变化

Fig.4 Dynamic changes of soil dissolved organic carbon under different treatments

制土壤释放 CO_2 量,且高盐土壤释放 CO_2 是低盐土壤的 2 倍多^[18]。这主要是因为葡萄糖是活性较高的碳源,其加入到土壤后可提高微生物的活性及其周转速率,进而使土壤微生物对 CO_2 释放的贡献率远远掩盖了盐分对土壤 CO_2 释放的影响。而在土壤中添加植物残体+氮后,土壤释放 CO_2 量仍以低盐分条件下最高^[12],这是因为植物残体木质素含量较高、碳源有效性较低,土壤盐分含量仍是影响 CO_2 释放的因子之一。本研究还表明不添加底物及只添加氮条件下,高盐和低盐土壤释放 CO_2 量的差异较大,而添加碳及碳+氮后差异较小。同时,与不添加底物相比,添加氮处理低盐分(0.1%)土壤释放 CO_2 量的增加幅度高于较高盐分(0.5%、0.9%)土壤,而添加碳及碳+氮后,0.1%盐分土壤土壤释放 CO_2 量的增加幅度并不是最高的。说明在无碳源而只有氮源输入的条件下,土壤盐分是影响土壤释放 CO_2 的重要限制因子。添加碳源后盐分对土壤释放 CO_2 的影响减小。

土壤微生物生物量碳均在低盐分条件下最高,随着盐分含量的增加土壤微生物生物量碳出现降低趋势。说明增加土壤盐分含量可明显抑制土壤微生物的活性,从而引起微生物数量的降低^[7,15]。但 Vanessa 等采用盐溶液对土壤进行淋洗表明,高盐溶液淋洗的土壤微生物生物量碳明显高于低盐^[6],并且证实较高的盐分通过破坏土壤团聚体等过程提高了土壤有机碳的有效性,且有机碳有效性的增加弥补了盐分对土壤微生物的抑制,从而使高盐分土壤中的微生物生物量碳较高。但本研究中所设置的土壤盐分(0.5%和0.9%)较高,且盐分完全与土壤混合,从而可能导致盐分对土壤微生物活性抑制作用较强。不添加底物和只添加氮处理,3个盐分土壤微生物生物量碳在培养第2天均出现最低值,而添加碳及碳+氮后土壤微生物生物量碳迅速增加,这可能是在底物添加过程中对土壤进行扰动,加速土壤活性碳的释放,从而导致无碳源添加的土壤随着土壤自身活性碳源量的减少,引起土壤微生物的能量供应减少,抑制了土壤微生物的生长繁殖,从而使培养第2天土壤微生物生物量碳较低,但两天后随着微生物对外源底物的慢慢适应与同化,微生物数量得到缓慢增加。而添加碳源后,由于葡萄糖本身是微生物易于利用的有机碳,因此微生物能快速吸收利用此碳源,从而使土壤微生物的数量增加。与不添加底物相比,添加氮源后3个盐分土壤微生物生物量碳含量变化较小,说明单施氮源并不能提高土壤微生物生物量碳,而添加碳及碳氮共同施用条件下可提高盐碱地土壤微生物生物量碳,尽管高盐分条件下土壤微生物生物量碳增加的幅度相对较小。

土壤微生物呼吸商是指单位微生物生物量碳的呼吸速率,用于反映外界环境变化对微生物的影响。微生

物呼吸商高,一方面说明微生物呼吸消耗的碳量相对较高,另一方面说明外界环境条件使微生物产生胁迫,可导致微生物的代谢功能发生变化,使微生物的活性升高而不稳定^[19]。本研究不同盐分与底物处理中,培养前 2 d 土壤微生物呼吸商是最高的,说明培养前 2 d 微生物对土壤中的碳源消耗较高,这与此时土壤释放 CO₂ 的速率较高一致(图 1)。次后,土壤微生物呼吸商逐渐降低并趋于稳定,说明微生物对土壤中的碳源消耗较慢^[17]。另外,不同底物处理中,低盐分(0.1%)土壤微生物呼吸商最高,而高盐分土壤较低,也说明盐分含量是抑制微生物活性的重要因子之一。尽管添加碳及碳+氮处理,在培养第 5 天时高盐分土壤微生物呼吸商仍较高,这可能是由于较高的盐分含量使微生物产生胁迫,导致微生物在短时间内活性升高^[19]。

土壤溶解性有机碳是土壤有机碳的活性组分,是外界环境变化的敏感性指标^[20-21]。不添加底物和只添加氮处理,各盐分间土壤溶解性有机碳的含量基本保持一致,说明盐分含量对土壤溶解性有机碳的影响较小,同时也证实单施氮肥并不能提高土壤溶解性有机碳含量^[21-22]。但添加碳及碳+氮后,由于葡萄糖本身就是溶解性有机碳,因此短时间内引起土壤溶解性有机碳含量的增加,但较高盐分土壤(0.5%、0.9%)增加的幅度较大,说明短时间内高盐分土壤中的微生物对葡萄糖的利用率相对较低,同时由图 1、图 3 可明显看出培养的前 2 d,高盐分土壤(0.9%)释放 CO₂ 量及土壤微生物的呼吸商均较低,这也更好地证实了上述观点。

4 结论

(1) 在无碳源输入的条件下,增加土壤含盐量可明显降低土壤释放 CO₂ 量。添加碳源后,增加土壤含盐量对土壤释放 CO₂ 量的影响变小。说明在无碳源输入条件下,土壤盐分是影响土壤释放 CO₂ 的重要限制因子。

(2) 土壤含盐量(<0.5%)较低时,盐分含量对土壤微生物生物量碳的影响较小,增加土壤含盐量(0.9%)可明显降低土壤微生物生物量碳含量。且在无碳源输入条件下,随着含盐量的增加土壤微生物生物量碳的降低幅度较小;添加碳源后,随着含盐量的增加土壤微生物生物量碳的降低幅度变大。

(3) 较高的盐分含量可明显降低土壤微生物呼吸商,但添加碳源后短时间内可明显提高土壤微生物呼吸商。

(4) 盐分含量对土壤溶解性有机碳的影响较小,尽管添加碳源后短时间内可明显提高较高盐分土壤溶解性有机碳。说明微生物对盐分胁迫的响应较快,较高盐分(含盐量>0.5%)可明显降低土壤微生物对外源碳的利用率。

致谢:感谢薛同同、王军才、刘庆在样品测定过程中给予的帮助。

References:

- [1] Yang J S. The progress and development trend of the geochemical study of soil salinity. *Soil*, 1991, 23(4): 206-209, 173.
- [2] Farshid N, Ahmad R S. A kinetic approach to evaluate salinity effects on carbon mineralization in a plant residue-amended soil. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2006, 7(10): 788-793.
- [3] Pathak H, Rao L N. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30: 695-702.
- [4] Rasul G, Appuhn A, Müller T, Georg Joergensen R. Salinity-induced changes in the microbial use of sugarcane filter cake added to soil. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31: 1-10.
- [5] Xie J, Li Y, Zhai C, Li C, Lan Z. CO₂ absorption by alkaline soils and its implication to the global carbon cycle. *Environmental Geology*, 2009, 56: 953-961.
- [6] Vanessa N L W, Ram C D, Richard S B G. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 44: 943-953.
- [7] Tripathi S, Kumari S, Chakraborty A, Gupta A, Chakrabarti K, Bandyopadhyay B K. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2006, 42: 273-277.
- [8] Guan Y X, Liu G H, Liu Q S, Ye Q H. The study of salt-affected soils in the Yellow River Delta based on remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 5(1): 46-53.
- [9] Liu Q S, Liu G H, Xue K, Song H W. Elementary analysis on characteristics of soil salinization of geomorphology units with different scales in the

- neoteric and moder Yellow River Delta. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(11):353-359.
- [10] Xia J B, Xu J W, Li C R, Liu J T, Wang Y H, Lu Z H. Effect of different road protection forests on soil improment in saline lands of the Yellow River Delta. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(6): 72-75.
- [11] Lou Y, Li Z, Zhang T, Zhang T, Liang Y. CO₂ emissions from subtropical arable soils of China. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36: 1835-1842.
- [12] Li L, Zhu H H, Su Y R, Xiao H A, Huang D Y, Wu J S. Effects of rice straw incorporation in situ and ex situ on soil organic C and active organic C in agricultural soils in red soil hilly region. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(3):926-933.
- [13] Li G T, Zhang B G, Li B G. Effect of straw pretreatment on soil microbial biomass and respiration activity. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(12): 2225-2228.
- [14] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil Physical and Chemical Analyze (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science Press, 1978.
- [15] 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. European Journal of Soil Biology, 2011, 47: 310-315.
- [16] Beltrán-Hernández R L, Coss-Muñoz E, Luna-Guido M L, Mercado-García F, Siebe C, Dendooven L. Carbon and Nitrogen dynamics in alkaline saline soil of former lake Texcoco (Mexico) as affected by application of sewage sludge. European Journal of Soil Science, 1999, 50: 601-608.
- [17] Li X G, Shi X M, Wang D J, Zhou W. Effect of alkalized magnesian salinity on soil respiration changes with substrate availability and incubation time. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48: 597-602.
- [18] Dendooven L, Alcántare-Hernández R J, Valenzuela-Encinas C, Valenzuela-Encinas C, Luna-Guido M, Ferez-Guevara F, Marsh R. Dynamics of carbon and nitrogen in an extreme alkaline saline soil: A review. Soil Biology & Biochemistry, 2010, 42: 865-877.
- [19] Chen W W, Li Y M, Guo P. Relationships between the chemical forms of heavy metals and the microbial biomass, microbial quotient, metabolic quotient of soils in Changchun City. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 2010, 42(4): 144-149.
- [20] Wang C, Butterbach-Bahl K, Han Y, Wang Q, Zhang L. The effect of biomass removal and N additions on microbial N transformations and biomass at different vegetation types in an old-field ecosystem in northern China. Plant and Soil, 2011, 340: 397-411.
- [21] Li L, Qiu S J, Liu J T, Liu Q, Lu Z H. Roles of soil dissolved organic carbon cycling of terrestrial ecosystems: A review. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(5): 1407-1414.
- [22] Adams A B, Harrison R B, Sletten R S, Strahm B D, Turnblom E C, Jensen C M. Nitrogen-fertilization impacts on carbon sequestration and flux in managed coastal Douglas-fir stands of the Pacific Northwest. Forest Ecology and Management, 2005, 220: 313-325.

参考文献:

- [1] 杨劲松. 土壤盐渍地球化学研究的进展及发展趋势. 土壤, 1991, 23(4): 206-209, 173.
- [8] 关元秀, 刘高焕, 刘庆生, 叶庆华. 黄河三角洲盐碱地遥感调查研究. 遥感学报, 2001, 5(1): 46-53.
- [9] 刘庆生, 刘高焕, 薛凯, 宋红伟. 近代及现代黄河三角洲不同尺度地貌单元土壤盐渍化特征浅析. 中国农学通报, 2006, 22(11):353-359.
- [10] 夏江宝, 许景伟, 李传荣, 刘京涛, 王月海, 陆兆华. 黄河三角洲盐碱地道路防护林对土壤的改良效应. 水土保持学报, 2011, 25(6): 72-75.
- [12] 李玲, 朱捍华, 苏以荣, 肖和艾, 黄道友, 吴金水. 稻草还田和易地还土对红壤丘陵农田土壤有机碳及其活性组分的影响. 中国农业科学, 2009, 42(3):926-933.
- [13] 李贵桐, 张宝贵, 李保国. 秸秆预处理对土壤微生物量及呼吸活性的影响. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2225-2228.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学出版社, 1978.
- [19] 陈薇薇, 李悦铭, 郭平. 长春市土壤重金属化学形态与土壤微生物量、微生物商和代谢商之间的关系. 东北师范大学学报(自然科学版), 2010, 42(4): 144-149.
- [21] 李玲, 仇少君, 刘京涛, 刘庆, 陆兆华. 土壤溶解性有机碳在陆地生态系统碳循环中的作用. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1407-1414.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.21 Nov., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Gross ecosystem product: theory framework and case study OUYANG Zhiyun, ZHU Chunquan, YANG Guangbin, et al (6747)
- Advances in impacts of climate change on infectious diseases outbreak LI Guodong, ZHANG Junhua, JIAO Gengjun, et al (6762)
- Ecology of aerobic methane oxidizing bacteria (methanotrophs) YUN Juanli, WANG Yanfen, ZHANG Hongxun (6774)
- Nitrogen deposition and *Leymus chinensis* leaf chlorophyll content in Inner Mongolian grassland
..... ZHANG Yunhai, HE Nianpeng, ZHANG Guangming, et al (6786)
- Worldwide distribution and multivariate similarity clustering analysis of spiders
..... SHEN Xiaocheng, ZHANG Baoshi, ZHANG Feng, et al (6795)
- The influence of wind direction on pollen-mediated gene flow in transgenic insect-resistant cotton
..... ZHU Jialin, HE Juan, NIU Jianqun, et al (6803)

Autecology & Fundamentals

- Ecological characteristics of benthic diatoms, protozoa and meiobenthos in the sediments of the Changjiang Estuary and East China
Sea in spring MENG Zhaoctui, XU Kuidong (6813)
- Macrobenthic functional groups at the reclamation and natural tidal flats of Hengsha East Shoal, the Estuary of Changjiang River
..... LV Weiwei, MA Chang'an, YU Ji, et al (6825)
- Enrichment and ecological risk of heavy metal in soils and dominant plants in the riparian of the Fenghe River
..... YANG Yang, ZHOU Zhengchao, WANG Huanhuan, et al (6834)
- Effects of salinity and exogenous substrates on the decomposition and transformation of soil organic carbon in the Yellow River
Delta LI Ling, QIU Shaojun, TAN Feifei, et al (6844)
- Effects of short-term dark chilling on leaves carbon and nitrogen metabolism and involved activities of enzymes in mangrove *Kandelia
obovata* seedling ZHENG Chunfang, LIU Weicheng, CHEN Shaobo, et al (6853)
- Preliminary evaluation on tolerance to phosphorous deficiency of 32 cultivars of cut chrysanthemum
..... LIU Peng, CHEN Sumei, FANG Weimin, et al (6863)
- Effects of age and environmental conditions on accumulation of heavy-metals Cd and Cu in *Tegillarca granosa*
..... WANG Zhaogen, WU Hongxi, CHEN Xiaoxiao, et al (6869)
- Effects of Chinese gallnut on photosynthetic characteristics and total nitrogen content of *Rhus chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (6876)
- The characterization of glyphosate degradation by *Burkholderia multivorans* WS-FJ9 LI Guanxi, WU Xiaoqin, YE Jianren (6885)
- Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles
..... LI Weizheng, YANG Lei, SHEN Xiaowei, et al (6895)

Population, Community and Ecosystem

- Ecosystem health assessment in Baiyangdian Lake XU Fei, ZHAO Yanwei, YANG Zhifeng, et al (6904)
- Characteristics of macrobenthic communities in mangrove wetlands along the waterways of North Hezhou, Zhuhai, South China
..... WANG Hui, ZHONG Shan, FANG Zhanqiang (6913)
- The interaction between components of ecosystem respiration in typical forest and grassland ecosystems
..... ZHU Xianjin, YU Guirui, WANG Qiufeng, et al (6925)
- Effects of thinning on macro fungi and their relationship with litter decomposition in *Pinus tabulaeformis* plantations
..... CHEN Xiao, BAI Shulan, LIU Yong, et al (6935)

- Beta diversity of plant communities in Baishanzu Nature Reserve TAN Shanshan, YE Zhenlin, YUAN Liubin, et al (6944)
- Effect of Oxytetracycline (OTC) on the activities of enzyme and microbial community metabolic profiles in composting
 CHEN Zhixue, GU Jie, GAO Hua, et al (6957)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Variations in leaf anatomy of *Larix gmelinii* reflect adaptation of its photosynthetic capacity to climate changes
 JI Zijiang, QUAN Xiankui, WANG Chuankuan (6967)
- The studying of key ecological factors and threshold of landscape evolution in Yancheng Coastal wetland
 ZHANG Huabing, LIU Hongyu, LI Yufeng, et al (6975)
- Eco-physiological response of *Phragmites communis* to water table changes in the Horqin Sand Land
 MA Yunhua, ZHANG Tonghui, LIU Xinpeng (6984)
- Improvement of snowmelt implementation in the SWAT hydrologic model ... YU Wenjun, NAN Zhuotong, ZHAO Yanbo, et al (6992)
- Responses of lake fluctuation to climate change in Horqin Sandy Land
 CHANG Xueli, ZHAO Xueyong, WANG Wei, et al (7002)
- Water ecology and fractal characteristics of soil particle size distribution of three typical vegetations in Shell Island
 XIA Jiangbao, ZHANG Shuyong, WANG Rongrong, et al (7013)
- Spatio-temporal distribution of epilithic algal chlorophyll a in relation to the physico-chemical factors of Gufu River in Three Gorges Reservoir
 WU Shuyuan, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (7023)

Resource and Industrial Ecology

- Graphic analysis of spatio-temporal effect for vegetation disturbance caused by coal mining: a case of Datong Coal Mine Area
 HUANG Yi, WANG Yunjia, LI Xiaoshun, et al (7035)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 余新晓

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 21 期 (2013 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 21 (November, 2013)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元