

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第6期 Vol.34 No.6 **2014**

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 34 卷 第 6 期 2014 年 3 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 全球气候变暖对凋落物分解的影响..... 宋 飘,张乃莉,马克平,等 (1327)
- 从系统到景观:区域物质流分析的景观取向 张晓刚,曾 辉 (1340)
- 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法..... 宋豫秦,张晓蕾 (1352)
- 保幼激素在昆虫中的分子作用机理..... 金敏娜,林欣大 (1361)
- 岩画和壁画类文物微生物病害研究进展..... 李 强,葛琴雅,潘晓轩,等 (1371)
- 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 朱卫红,苗承玉,郑小军,等 (1379)
- 跨界保护区网络构建研究进展..... 王 伟,田 瑜,常 明,等 (1391)

个体与基础生态

- 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率..... 邱 权,潘 昕,李吉跃,等 (1401)
- 三种增温情景对入侵植物空心莲子草形态可塑性的影响..... 褚延梅,杨 健,李景吉,等 (1411)
- 气象要素及土壤理化性质对不同土地利用方式下冬夏岩溶作用的影响 刘 文,张 强,贾亚男 (1418)
- 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响..... 梁太波,尹启生,张艳玲,等 (1429)
- 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究 刘 帅,吴舒辞,王 红,等 (1436)
- 近自然毛竹林空间结构动态变化..... 仇建习,汤孟平,沈利芬,等 (1444)
- 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究..... 刁松峰,邵文豪,姜景民,等 (1451)
- 不同林分起源的相容性生物量模型构建..... 符利勇,雷渊才,孙 伟,等 (1461)

种群、群落和生态系统

- 毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响..... 樊艳荣,陈双林,杨清平,等 (1471)
- 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响
..... 陈 婧,陈法军,刘满强,等 (1481)
- 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态 李 洁,张远东,顾峰雪,等 (1490)
- 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价..... 董张玉,刘殿伟,王宗明,等 (1503)
- 秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响..... 陆 斌,张胜利,李 侃,等 (1512)
- 磷浓度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻三者相互作用的影响..... 马剑敏靳 萍,郭 萌,等 (1520)
- 普生轮藻浸提液对两种淡水藻类的化感抑制作用及其数学模型..... 何宗祥,刘 璐,李 诚,等 (1527)
- 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 修 晨,欧阳志云,郑 华 (1535)
- 基于河流生境调查的东河河流生境评价..... 王 强,袁兴中,刘 红,等 (1548)

景观、区域和全球生态

应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 郭军庭,张志强,王盛萍,等 (1559)

长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异..... 陈 力,尹云鹤,赵东升,等 (1568)

石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系..... 李 英,李月丛,吕素青,等 (1575)

不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应..... 闫瑞瑞,辛晓平,王 旭,等 (1587)

南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素..... 武 婕,李玉环,李增兵,等 (1596)

资源与产业生态

跨国土地利用及其生态影响 陆小璇 (1606)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 图们江河流中段——图们江位于吉林省东南边境,发源于长白山东南部的石乙水,河流的绝大部分是中国与朝鲜的界河,下游很小一段为俄罗斯与朝鲜的界河,并由这里流入日本海,我国珲春距离日本海最近的地方仅有 15km。图们江是我国重要的国际性河流之一,随着我国经济的迅速崛起,图们江地区进入到多国合作联合开发阶段,湿地生态系统处于中度预警状态,并有向重度预警发展的趋势,生态安全面临的威胁越来越严重。对该区域进行湿地生态安全评价与预警研究,可为图们江流域生态环境的可持续发展提供依据。图中河道的远方为朝鲜、河道近方为中国。

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/stxb201210141428

陈婧, 陈法军, 刘满强, 冯运, 党志浩, 李辉信, 胡锋. 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响. 生态学报, 2014, 34(6): 1481-1489.

Chen J, Chen F J, Liu M Q, Feng Y, Dang Z H, Li H X, Hu F. Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and nitrogen, and nematode communities. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1481-1489.

温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响

陈 婧¹, 陈法军², 刘满强^{1,*}, 冯 运¹, 党志浩², 李辉信¹, 胡 锋¹

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院土壤生态实验室, 南京 210095; 2. 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095)

摘要: 全球气候变化下转 *Bt* 水稻种植对土壤生态系统的影响仍是未知领域。利用野外开顶式气室 (OTC) 模拟气候变化, 探讨了温度和 CO₂ 浓度 ([CO₂]) 升高后种植转 *Bt* (华恢 1 号) 水稻对土壤活性碳氮和线虫群落的影响。结果表明: (1) 温度和 [CO₂] 升高条件下种植转 *Bt* 水稻显著影响土壤可溶性碳 (DOC)、可溶性氮 (DON) 和硝态氮 (NO₃⁻-N) 含量, 同时 DOC 和 DON 受到升温和 [CO₂] 升高与转 *Bt* 水稻的交互影响; 在正常温度和 [CO₂] 下, 转 *Bt* 水稻显著降低了土壤微生物量碳氮含量 (MBC、MBN), 但在温度和 [CO₂] 升高后转 *Bt* 水稻种植使土壤 MBC 和 MBN 含量显著高于亲本水稻。 (2) 在温度和 [CO₂] 升高条件下, 转 *Bt* 水稻土壤线虫总数呈高于亲本水稻的趋势, 植食性线虫的比例随 [CO₂] 和温度升高呈增大的趋势。此外, 升温和转 *Bt* 水稻种植提高了土壤线虫群落的能流通道指数, 而 [CO₂] 升高和转 *Bt* 水稻种植则提高了土壤线虫群落的富集指数。总之, 在模拟全球气候变化下, 种植转 *Bt* 水稻在短期内对土壤活性碳氮和线虫群落均产生影响, 但短期研究并未发现转 *Bt* 水稻种植对土壤生态系统的不利影响。

关键词: 全球变化; 转 *Bt* 水稻; 土壤微生物生物量; 线虫群落; 营养类群

Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and nitrogen, and nematode communities

CHEN Jing¹, CHEN Fajun², LIU Manqiang^{1,*}, FENG Yun¹, DANG Zhihao², LI Huixin¹, HU Feng¹

1 Soil Ecology Lab, College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Interactions of global change and transgenic *Bt* rice (Huahui-1, HH1) cropping on soil ecosystem remain largely unexplored. Here we conducted an OTC (Open Top Chamber) experiment to evaluate the effects of transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and nitrogen, and nematode communities under elevation of temperature and [CO₂] with two rice varieties including non-*Bt* rice (MH63) and its transgenic *Bt* line (HH1). Results showed that (1) Under the condition of elevated [CO₂] and warming, transgenic *Bt* rice cropping significantly affected the content of soil dissolved organic carbon, dissolved organic nitrogen and NO₃⁻-N. Significantly interactions of transgenic *Bt* rice, warming and elevated [CO₂] were observed for the content of soil dissolved organic carbon and dissolved organic nitrogen. Further, the transgenic *Bt* rice reduced microbial biomass carbon and nitrogen significantly under ambient temperature and [CO₂]; whereas

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31170487, 31272051); 中央高校基本科研业务费 (KYZ201207); 转基因生物新品种培育重大专项 (2012ZX08011002, 2011ZX08012-005)

收稿日期: 2012-10-14; 修订日期: 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liumq@njau.edu.cn

warming and $[\text{CO}_2]$ elevation reversed that trend. (2) At ambient temperatures and $[\text{CO}_2]$, the total number of nematodes in soil grown with transgenic *Bt* rice cropping were significantly more than those in soil grown with the parental line. Herbivorous nematodes tended to increase under the condition of warming and elevated $[\text{CO}_2]$, though not reaching to a significant level. Transgenic *Bt* rice and warming significantly increased the Nematode Channel Ratio, demonstrating the shift from bacteria-dominated to fungi-dominated energy channel. But $[\text{CO}_2]$ elevation and transgenic *Bt* rice significantly increased the nematode Enrichment Index. In conclusion, climate change modified the responses of soil labile organic matter and nematode community to transgenic *Bt* rice cropping, though it does not lead to negative effects on soil based on the results of short-term experimental duration.

Key Words: global change; transgenic *Bt* rice; soil microbial biomass; nematode communities; trophic group

全球范围内的 CO_2 浓度 ($[\text{CO}_2]$) 和温度升高对农业生态系统产生日益严重的影响^[1]。作物生长及其化学组成对 $[\text{CO}_2]$ 升高的反应非常敏感^[2], 大量研究表明了 $[\text{CO}_2]$ 升高导致作物对碳的吸收和同化增加, 刺激植物根系生长和淀积物, 从而提高土壤活性有机质的数量, 并进一步激发土壤食物网结构和功能的改变^[3,5]。土壤可溶性有机物作为土壤生态系统中最活跃的有机质组分, 是土壤微生物可利用的主要物质和能量来源^[6]; 相对于土壤有机质对温室气体和温度升高的响应更为敏感^[5], 土壤可溶性碳氮已成为气候变化下土壤生态系统响应的预警指标^[8]。土壤生物作为土壤生态功能的关键驱动者, 其群落结构的变化在农业生态系统服务功能中占据重要的地位^[9]。大气 $[\text{CO}_2]$ 和温度升高不仅影响土壤活性碳氮及土壤微生物性质, 而且进一步影响土壤食物网的结构和复杂性^[10]。例如, 线虫作为土壤食物网的重要组成部分, 营养类群多样, 能够灵敏反映环境变化下土壤生态系统的综合状况^[11]。前人研究表明了线虫群落分析有助于了解全球气候变化下土壤食物网结构和功能的变化^[12]。

水稻在农业生产中占据重要地位, 虫害造成的水稻产量损失每年却高达一千万吨以上^[6]。转 *Bt* 水稻的种植能够为降低水稻虫害损失提供一种有效手段^[13], 但转 *Bt* 水稻有可能对土壤理化性质和生物群落产生不利影响, 进而对土壤生态系统的功能服务带来一定风险^[14-15]。因此, 加强转 *Bt* 作物对土壤生态系统的生态风险监测是其商业化推广的迫切需要。有关转 *Bt* 水稻对土壤可溶性碳氮及土壤线虫群落的评价研究逐渐增多^[13-14], 但对于全球气候变化条件下种植转 *Bt* 水稻对土壤生态系统的影响仍

未见报道。因此, 开展温度和 $[\text{CO}_2]$ 升高后转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的影响研究, 将有助于科学评价种植转 *Bt* 水稻在未来气候变化条件下对土壤生态系统的潜在生态风险。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自山东省德州市宁津县 (37.64°N , 116.8°E), 该地区之前主要种植棉花、玉米等旱地作物, 土壤类型为蒙淤砂白土, 系统分类属于潮土亚类潮砂土土属, 耕作层 (0—20 cm) 土壤 pH 值体积分数为 8.5, 土壤有机碳 (高温外热重铬酸钾氧化法)、全氮 (开氏消煮法)、碱解氮 (碱解扩散法)、速效磷 (钼蓝比色法) 和速效钾 (火焰光度计法) 含量分别为 6.6 g/kg、0.4 g/kg、7.9 g/kg、14.4 mg/kg 和 96 mg/kg。土壤基本性质的分析方法参见文献^[16]。土壤取样深度 0—20 cm, 鲜土采集后剔除大中型土壤动物及根茬等。采用 $\Phi 24\text{ cm} \times h 32\text{ cm}$ 的塑料盆钵, 每盆放置土壤 10 kg, 水稻盆栽直播。出苗后每盆定植 12 株水稻。播种前底肥施入量为 N (尿素) 30 kg/hm²、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 15 kg/hm²、KCl 15 kg/hm²。水稻生长期间的水分管理同大田, 保持间歇性淹水状态。

1.2 试验方法

1.2.1 OTC 气室管理与试验设计

试验地点位于在山东省德州市宁津县 (37.64°N , 116.8°E) 气候变化与生物多样性和控害减排 (联合) 创新研究基地。开顶式气室 (OTC) 由 CO_2 气源、 CO_2 浓度控制系统和开顶式气室 3 部分组成。由红外 CO_2 测控仪 (Ventostat 8102, Telfaire Company, USA) 自动监测和控制气室内 CO_2 浓度。气室框架为铁结构, 正八边形, 高 2.56 m, 每边长为 1.61 m, 相当

于直径 4.20 m 的柱体结构,整个气室体积约为 21 m³。测控仪的控制参数:CO₂ 浓度测定范围为 0—10000 μL/L,控制范围为 0—2000 μL/L;测控仪分辨率为 1 μL/L,反应时间 <60 s,年度漂移 ≤ 10 μL·L⁻¹[17]。通过气室底部设施换气扇的个数多少控制温度。

本研究采用裂区(Split-plot)试验设计,以[CO₂]和温度作为主区因子,以水稻品种作为裂区因子。主区中设置 OTC 气室内的[CO₂]和温度各两个水平:正常浓度(实际测定值为 Ambient (382±6.6) μL/L)和高浓度(Elevated (657±10.7) μL/L) CO₂;正常温度为(年平均温度测定值 25.57±3.27 °C)和较高温度(26.14±3.32 °C)。每天 6:00—20:00 通入 CO₂以模拟环境[CO₂]升高和气候变暖的气候变化环境,即正常温度(AT)和正常[CO₂] (AC)处理、正常温度(AT)和高[CO₂] (EC)处理、高温(ET)和正常[CO₂] (AC)处理以及高温(ET)和高[CO₂] (EC)处理,每个处理分别设 3 个重复,共计 12 个 OTC 气室。每一个 OTC 气室(面积 17.6 m²)内种植的不同品种水稻盆钵为裂区。供试两个品种的水稻种植在塑料盆钵内,放置在不同处理的 OTC 气室内,每个气室内各品种重复 3 次。试验进行的时间为一个完整的水稻生长季节,2009 年 9 月种植,2010 年 11 月采样。在试验期内,同一 OTC 气室内的各盆钵随机排列,定期更换位置。

转 *Bt* 水稻选择华恢 1 号(HH1;转 *Cry1Ab/Ac* 基因抗虫恢复系)及相应的非转 *Bt* 亲本明恢 63(MH63)。HH1 由 MH63 为受体,通过基因枪介导的遗传转化方法将目的基因 *Cry1Ab/Ac* 转入受体细胞后所得的转基因株系 TT51-1 而来,该品系能专一且有效地控制水稻二化螟、三化螟和稻纵卷叶螟等靶标型鳞翅目害虫的发生。清水浸种 12 h 后用过氧化氢消毒 20 min,再用清水冲洗干净,置于 35 °C 阴处催芽,待露出胚根后以 20 株每盆的密度在盆栽容器中播种,最终每盆定株 12 株。采集土壤时进行破坏性采样,由于根系几乎分布于整个土体,因此盆钵内所有土壤均可视为根际土,采样时弃去靠近盆栽容器内壁的土壤,以减少边际影响。

1.2.2 土壤活性碳氮分析

土壤微生物生物量采用氯仿熏蒸-硫酸钾溶液浸提法[16],具体步骤为:称取相当于 10 g 干土

(105 °C 下 24 h)的待测土样,加入 1 mL 氯仿搅匀,于 25 °C 黑暗条件下密闭培养 24 h,然后抽尽土壤残留氯仿,用 0.5 mol/L K₂SO₄溶液浸提,体积分数为 1:4。280 r/min 振荡 30 min,定量滤纸过滤。熏蒸培养的同时,称取等量土样按照上述方法振荡浸提得对照滤液。吸取 10 mL 滤液,用 K₂Cr₂O₄容量法测定溶液中的有机碳含量。另取 15 mL 滤液,用半微量开氏法测定氮含量。熏蒸土样与未熏蒸土样的有机碳氮差值分别除以转换系数($K_C 0.38$ 、 $K_N 0.54$),计算土壤微生物生物量碳和氮的含量。

可溶性有机碳氮的测定采用蒸馏水浸提法,具体步骤为:称取相当于 10 g 干土的土壤样品,去离子水浸提,体积分数为 1:5,200 r/min 振荡 1 h,在 8000 g 下离心 10 min,上清液过孔径 0.45 μm 的醋酸纤维素滤膜,滤液碳氮含量的测定同微生物生物量碳氮测定方法。

土壤无机氮采用 2 mol/L KCl 溶液浸提[16],体积分数为 1:5,振荡 30 min 后用定量滤纸过滤,流动分析仪(Bran Luebbe, 德国)测定滤液中的铵态氮和硝态氮含量。

1.2.3 线虫群落分析

采用蔗糖浮选离心法分离线虫[11]。线虫在立体显微镜下计数,在生物显微镜下鉴定到属,并划分不同营养类群(植食性线虫、食细菌线虫、食真菌线虫和捕/杂食线虫)和生活史 *c-p* 值[15]。线虫群落生态指数的计算:(1)线虫通道指数(*NCR*)为食细菌和食微(食细菌+食真菌)线虫数量之比。(2)富集指数(*EI*)主要用于评估食物网对可利用资源的响应。根据线虫功能团分别计算富集指数 $EI: EI = 100 \times e / (e + b)$;其中,*e* 代表食物网中的富集成分,主要指食细菌线虫中 *c-p* 值为 1 和食真菌线虫中 *c-p* 值为 2 的类群,*b* 代表食物网中的基础成分,主要指食细菌线虫 *c-p* 值为 2 和食真菌线虫中 *c-p* 值为 2 的这两个类群[19]。

1.2.3 数据统计分析

数据分析采用 SPSS16.0 软件,分析前利用 Kolmogorov-Smirnov 和 Levene 法检验数据的正态分布及方差齐性,并在必要时利用对数转换和反正弦平方根转换以满足中数据的正态分布假设。利用一般线性模型(General linear models, GLM)进行方差分析,以[CO₂]和温度作为主区因子,以水稻品种作为

裂区因子,各因子均为 2 水平。对于每个气室内的各水稻品种而言,数据取 3 个盆钵的平均值进行统计分析,以避免假重复问题。 $[\text{CO}_2]$ 、温度和水稻品种组合处理的均值显著性差异采用 LSD 方法进行检验($P<0.05$)。

2 结果分析

2.1 土壤活性碳氮

温度和 $[\text{CO}_2]$ 升高对土壤可溶性碳(DOC)无显著影响,但转 *Bt* 水稻种植显著降低了 DOC 含量,并且受到温度和 $[\text{CO}_2]$ 的交互影响(表1,图1A)。温

表 1 温度、 $[\text{CO}_2]$ 和转基因水稻品种对土壤可溶性碳(DOC)、可溶性氮(DON)、硝态氮(NO_3^- -N)、微生物量碳(MBC)和微生物量氮(MBN)影响的方差分析结果(F 值和显著水平)

Table 1 ANOVAs results (F values and Probability level) on the effects of temperature (T), $[\text{CO}_2]$ and transgenic *Bt* treatment on soil dissolved organic C (DOC), dissolved organic N (DON), NO_3^- -N, microbial biomass C (MBC) and microbial biomass N (MBN)

变异来源 Sources of variation	自由度 df	可溶性碳 DOC	可溶性氮 DON	硝态氮 NO_3^- -N	微生物量碳 MBC	微生物量氮 MBN
温度 Temperature (T)	1	1.06	247.27 **	35.93 **	125.60 **	0.26
二氧化碳浓度 $[\text{CO}_2]$	1	0.36	626.92 **	83.26 **	7.79 *	55.59 **
$T\times[\text{CO}_2]$	1	0.22	63.70 **	0.81	1.93	2.34
主区误差 Main-plot error	8					
品种 Variety (<i>Bt</i>)	1	135.48 **	20.15 **	4.64	0.14	4.47
<i>Bt</i> $\times T$	1	0.40	0.03	0.02	335.17 **	0.01
<i>Bt</i> $\times [\text{CO}_2]$	1	15.2 **	1.84	13.09 **	0.85	6.43 *
<i>Bt</i> $\times T\times[\text{CO}_2]$	1	10.29 *	28.83 **	2.65	0.29	10.50 **
裂区误差 Split-plot error	8					

同一列内 * $P<0.05$, ** $P<0.01$

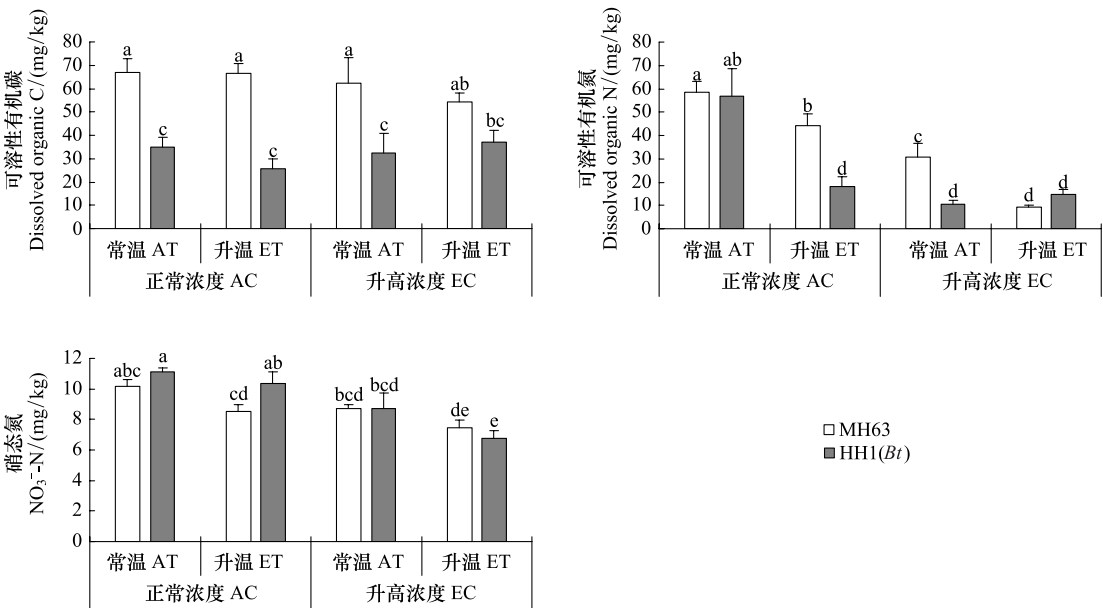


图 1 非转 *Bt* (MH63)和转 *Bt* (HH1) 水稻在常温 (AT)、升温 (ET) 及正常 CO_2 浓度 (AC) 和升高 CO_2 浓度 (EC) 条件下对土壤可溶性碳氮和硝态氮 (平均值 $\pm$ 标准差) 的影响

Fig.1 Effects of non-*Bt* (MH63) and transgenic *Bt* (HH1) rice varieties on soil dissolved organic carbon and nitrogen and nitrate nitrogen (Mean $\pm$ SD) under the conditions of ambient and elevated temperature (AT vs. ET), ambient and elevated carbon dioxide (AC vs. EC) 不同小写字母表示不同处理达到显著水平 (LSD 检验, $P<0.05$)

度和[CO₂]升高显著影响转 Bt 水稻土壤可溶性氮(DON)和硝态氮(NO₃⁻-N)含量($P<0.05$,表1)。不论转 Bt 水稻品种,温度和[CO₂]升高都显著降低了 DON($P<0.05$,图1)。正常温度和[CO₂]条件下,转基因水稻(HH1)对 DON 产生显著影响;但在仅升高温度或[CO₂]条件下,转 Bt 水稻显著降低了 DON($P<0.05$,图1)。土壤硝态氮含量与 DON 的变化趋势大体相反,但差异程度减少(图1)。所有处理中土壤铵态氮含量在 3.4—4.2 mg/kg 范围,温度、[CO₂]和水稻品种对其均无显著性影响(数据未列出)。

2.2 土壤微生物量碳氮

温度、[CO₂]和转 Bt 水稻对土壤微生物量碳

(MBC)和氮(MBN)有不同程度的影响(表1)。升温 and [CO₂]增高显著影响 MBC 和 MBN,并且分别与水稻品种之间存在显著交互作用($P<0.05$,表1)。在正常温度和[CO₂]条件下,HH1 种植后 MBC 显著低于 MH63(图2)。不论[CO₂]升高与否,升温后 MH63 种植下的 MBC 显著降低,但在 HH1 下显著增加($P<0.05$),从而导致升温条件下 HH1 的 MBC 显著高于 MH63($P<0.05$,图2)。不论升温与否,[CO₂]升高均增加 MBN,且与转基因水稻有显著交互作用(表1)。在正常[CO₂]下,转 Bt 水稻对 MBN 没有影响,而在[CO₂]升高条件下,常温下 HH1 的 MBN 显著高于 MH63(图2)。

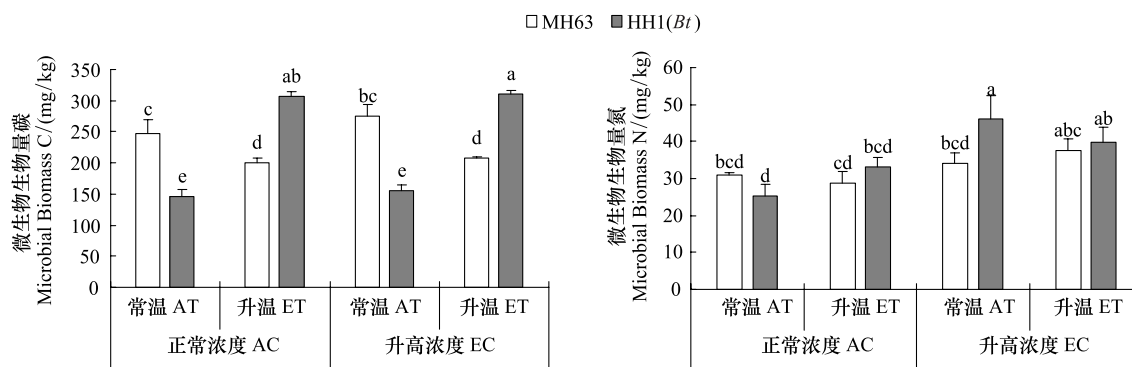


图2 非转 Bt(MH63)和转 Bt(HH1)水稻在常温(AT)、升温(ET)及正常 CO₂浓度(AC)和升高(EC)条件下对土壤微生物生物量碳和氮(平均值±标准差)的影响

Fig.2 Effects of non-Bt (MH63) and transgenic Bt (HH1) rice varieties on soil microbial biomass carbon and nitrogen (mean±SD) under the conditions of ambient and elevated temperature (AT vs. ET), ambient and elevated carbon dioxide (AC vs. EC)

2.3 土壤线虫群落

温度、[CO₂]和转 Bt 水稻对土壤线虫总数均有显著影响,且温度与水稻品种之间存在显著交互作用($P<0.05$,表2)。在正常温度和[CO₂]下,HH1 与

MH63 处理间土壤线虫总数差异未达到显著差异(图3);但不论[CO₂]升高与否,升温使得 MH63 下土壤线虫总数显著低于 HH1($P<0.05$,图3)。

表2 温度、[CO₂]和转基因水稻品种对土壤线虫的总数、不同营养类群百分比及生态指数影响的方差分析结果(F 值和显著水平)

Table 2 ANOVAs results (F values and Probability level) of the effects of temperature (T), [CO₂] and transgenic rice variety (Bt) on the abundance, the proportions of trophic groups and ecological indices of soil nematode community

变异来源 Sources of variation	自由度 df	线虫总数 Abundance	植食者比例 % Herbivores	食细菌者比例 % Bacterivores	食真菌者比例 % Fungivores	通道指数 NCR	富集指数 EI
温度 Temperature (T)	1	16.52 **	8.95 *	36.97 **	3.10	8.62 *	0.07
二氧化碳浓度 [CO ₂]	1	17.54 **	48.62 **	58.17 **	2.51	0.31	5.79 *
T×[CO ₂]	1	20.27 **	2.76	24.62 **	6.42 *	11.48 **	5.14 *
主区误差 Main-plot error	8						
品种 Variety (Bt)	1	84.21 **	4.25	1.14	32.53 **	18.41 **	33.06 **
$Bt \times T$	1	106.73 **	0.15	0.37	0.01	0.01	7.79 *
$Bt \times [CO_2]$	1	2.86	3.59	10.93 *	6.69 *	8.24 *	2.17
$Bt \times T \times [CO_2]$	1	7.26 *	2.24	3.65	0.01	0.91	7.09 *
裂区误差 Split-plot error	8						

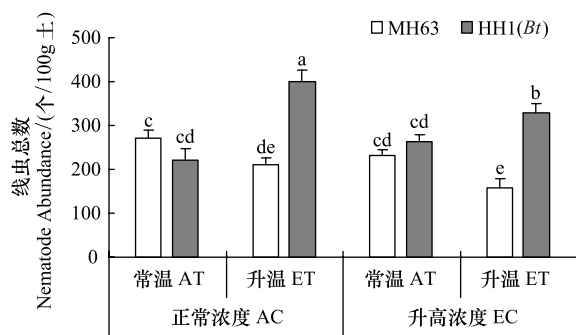


图3 非转 *Bt* (MH63) 和转 *Bt* (HH1) 水稻在常温 (AT)、升温 (ET) 及正常 CO_2 浓度 (AC) 和升高 (EC) 条件下对土壤线虫总数 (平均值 $\pm$ 标准差) 的影响

Fig.3 Effects of non-*Bt* (MH63) and transgenic *Bt* (HH1) rice varieties on soil nematode abundance (mean $\pm$ SD) under the conditions of ambient and elevated temperature (AT vs. ET), ambient and elevated carbon dioxide (AC vs. EC)

植食线虫比例没有受到转基因水稻的影响,但在温度和 $[\text{CO}_2]$ 升高条件下植食线虫比例发生显著变化($P<0.05$,表2)。例如,升高 $[\text{CO}_2]$ 后 MH63 和 HH1 的植食者比例分别从 12.0% 和 17.1% 提高到 34.4% 和 37.1%,但未达到显著差异(图4)。食细菌和食真菌线虫比例分别受到温度、 $[\text{CO}_2]$ 和转基因水稻不同程度的影响($P<0.05$,表2),不论水稻品种如何,食细菌线虫在温度和 $[\text{CO}_2]$ 升高后显著降低($P<0.05$,图4)。在正常温度和 $[\text{CO}_2]$ 下,转 *Bt* 水稻显著增加了食细菌线虫比例,但其差异在温度和 $[\text{CO}_2]$ 升高下未达显著水平(图4)。不论温度和 $[\text{CO}_2]$ 升高与否,转 *Bt* 水稻种植降低了土壤食真菌线虫比例,但未达到显著差异水平(图4)。由于均值变异较大,没有检测到捕食食线虫比例对温度、 $[\text{CO}_2]$ 及水稻品种变化的显著响应(图4)。

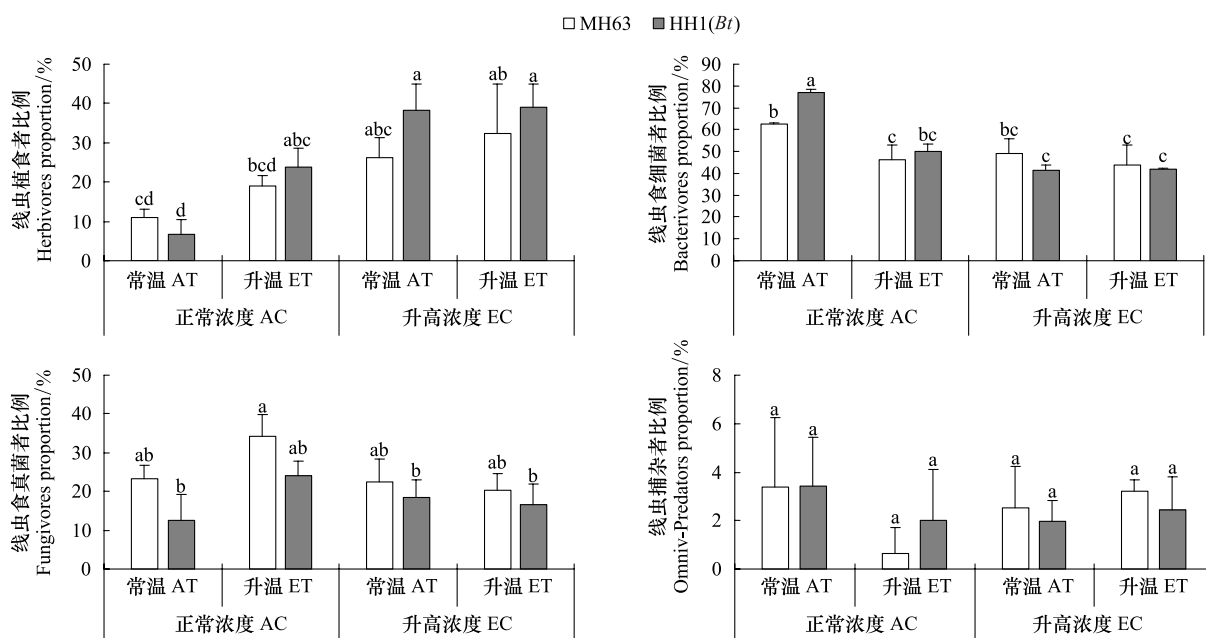


图4 非转 *Bt* (MH63) 和转 *Bt* (HH1) 水稻在常温 (AT)、升温 (ET) 及正常 CO_2 浓度 (AC) 和升高 (EC) 条件下对土壤线虫营养类群百分比 (平均值 $\pm$ 标准差) 的影响

Fig.4 Effects of non-*Bt* (MH63) and transgenic *Bt* (HH1) rice varieties on the proportion of nematode trophic groups (mean $\pm$ SD) under the conditions of ambient and elevated temperature (AT vs. ET), ambient and elevated carbon dioxide (AC vs. EC)

温度、 $[\text{CO}_2]$ 和转 *Bt* 水稻分别对通道指数 (NCR) 及富集指数 (EI) 产生不同程度的影响(表2)。 $[\text{CO}_2]$ 升高对 NCR 没有影响,但在正常 $[\text{CO}_2]$ 下升温显著降低 NCR; 不论升温与否,转 *Bt* 水稻种植呈增加 NCR 的趋势,尤其在 $[\text{CO}_2]$ 升高下趋势明显(表3)。升温对 EI 没有显著影响,而在常温下 $[\text{CO}_2]$ 升高却降低 EI。转 *Bt* 水稻在常温下及温度

和 $[\text{CO}_2]$ 共同升高下呈增高 EI 的趋势(表3)。

3 讨论

全球气候变化能够通过根系影响进入土壤中的有机碳数量和质量^[10],同时转 *Bt* 作物可以通过改变植物生长性状及 *Bt* 毒素释放而改变作物根系分泌物数量和组成^[21],本研究利用野外开顶式气室

(OTC)模拟气候变化,研究温度和[CO₂]升高条件下转 *Bt* 水稻对土壤活性碳氮水平和线虫群落的影响。

表 3 非转 *Bt* (MH63)和转 *Bt* (HH1)水稻对常温(AT)、升温(ET)及正常(AC)和升高(EC)CO₂浓度条件下线虫群落生态指数的影响

Table 3 Ecological indices of soil nematode community as affected by non-*Bt* (MH63) and transgenic *Bt* (HH1) rice varieties under the conditions of ambient and elevated temperature (AT vs. ET), ambient and elevated carbon dioxide (AC vs. EC)

生态指数 Ecological indices	正常 [CO ₂] AC				升高 [CO ₂] EC			
	常温 AT		升温 ET		常温 AT		升温 ET	
	MH63	HH1	MH63	HH1	MH63	HH1	MH63	HH1
通道指数 <i>NCR</i>	0.73ab	0.86a	0.57c	0.68bc	0.69bc	0.69bc	0.68bc	0.72abc
富集指数 <i>EI</i>	47.71abc	69.59a	47.99abc	45.34abc	28.28c	44.83abc	38.03bc	53.99ab

同一行内不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

研究表明,不论温度及[CO₂]改变与否,转 *Bt* 水稻显著降低了 DOC 含量。李修强等^[13]基于大田实验发现转 *Bt* 水稻对 DOC 和 DON 影响不明显。由于土壤可溶性有机物本身组成复杂,并受到根系分泌物及其刺激的微生物生长利用等的双向影响,因此不同研究间的差异可能与实验环境条件、土壤肥力、土壤生物群落及植物生长状况等有关^[22]。本研究中温度和[CO₂]升高条件下,亲本水稻下 DOC 和 DON 呈降低趋势,但转 *Bt* 水稻种植下 DOC 呈升高趋势;在仅升高温度或[CO₂]条件下,转 *Bt* 水稻显著降低了 DON。一般而言,[CO₂]升高可以导致更多的碳通过根系生长及分泌物分配到地下部土壤中^[23]。Guo J 等^[23]利用 FACE 系统对稻田系统土壤可溶性碳氮的变化进行观测,也发现[CO₂]升高显著增高了土壤 DOC 的含量,但 DON 没有显著变化。除了上述提到的原因外,由于土壤可溶性有机物组成的复杂性和微生物对温度的敏感性,土壤微生物群落的不同也会产生明显的影响^[10]。DON 的减少可能归因于[CO₂]和温度升高刺激土壤生物群落驱动的氮素矿化过程。升高温度和[CO₂]使土壤硝态氮含量显著降低可能源于植物生长量的增加对土壤养分的吸收。

有室内盆栽试验表明,转 *Bt* 水稻的种植降低土壤微生物量碳氮,这与田间条件下转 *Bt* 水稻对土壤微生物学性质的影响不完全一致^[13]。然而,也有研究发现转 *Bt* 水稻在试验前期对土壤微生物学性质产生的短暂性影响,可能是由于 *Bt* 基因的插入导致作物农艺性状和生理特性(如水稻根系分泌物及根系化学组成)发生改变^[24]。与种植其亲本的土壤相比,种植转 *Bt* 水稻后土壤微生物量碳氮对温度和[CO₂]升高变化的响应趋势相反;温度和[CO₂]升高

使亲本水稻土壤中微生物量碳含量有降低的趋势,而温度和[CO₂]升高条件下,转 *Bt* 水稻土壤中的微生物量碳氮呈升高趋势。转 *Bt* 水稻土壤中微生物量碳氮含量升高的可能原因,推测由于转 *Bt* 水稻对非靶标生物的生长可能有促进作用并且温度和大气[CO₂]升高导致作物对 C 的吸收和同化增加,刺激植物根系生长和分泌物,从而提高土壤活性有机质的数量^[23],并进一步通过土壤食物网影响土壤的微生物学性质。前人研究表明了[CO₂]和温度升高对土壤微生物可以产生积极的、中立的和消极的影响^[5,25-26]。此外,转 *Bt* 克螟稻对土壤微生物学性质没有产生持续的负面影响,在某些采样时间甚至会表现出促进作用^[13]。在模拟气候变化条件下,外源抗虫基因的导入使转 *Bt* 水稻对土壤微生物学性质的影响发生明显改变,并可朝不同的方向演变。因此,基于田间的模拟全球气候变化的长期动态监测实验将会有助于明确转 *Bt* 水稻的潜在生态风险。

温度和[CO₂]升高均导致亲本水稻土壤线虫总数显著减少,却使转 *Bt* 水稻土壤线虫总数增加。亲本和转 *Bt* 水稻线虫总数的差异是由于转 *Bt* 蛋白的作用还是水稻生长的不同,目前还没有定论。并未发现转 *Bt* 水稻种植导致土壤 *Bt* 毒素的显著增加,因此推测影响线虫数量的主要因素是作物品种在农艺性状上的差异,而不是 *Bt* 毒素的影响^[23]。前期的研究也证明了植物基因型的差异通过改变根系分泌物的质量、数量及释放进而影响土壤食物网中的植食者和分解者^[11,13]。不论温度是否升高,[CO₂]升高显著增加了土壤线虫总数,与前人的结果一致^[27]。气候变化通过改变输入土壤的根系分泌物数量和质量影响土壤线虫群落结构^[10]。与土壤微生物生物量的变化趋势相对应,温度和[CO₂]升高导致 HH1

和 MH63 之间土壤线虫总数的变化趋势相反。土壤线虫的营养类群是反映土壤食物网营养级关系及能流途径的重要指标。大气[CO₂]升高对土壤线虫不同营养类群产生的影响还没有定论^[28],但本实验中植食性线虫的比例随[CO₂]和温度升高而体现出升高的趋势。虽然未达到显著差异水平,但转 *Bt* 水稻对地下部非靶标植食者的影响及其生态学意义迫切需要进行进一步确认。

温度、[CO₂]和转 *Bt* 水稻对土壤线虫能流通道指数和富集指数均有影响。温度和[CO₂]升高使土壤线虫能流通道转向由真菌主导^[30],这与最近 Pritchard 在综述中获得的结论一致^[3]。转 *Bt* 水稻对能流通道指数和富集指数的影响在多数情况下表现出促进作用,说明不论气候变化与否,转 *Bt* 水稻能使土壤生态系统的能流通道偏向于真菌占主导地位,而土壤有效资源相对富集。由于实验进程相对较短及线虫生活史分类的不确定性^[31],导致结果未达到显著差异,但是能流通道及土壤资源的改变必将对土壤生态过程产生深远的影响^[10],今后应加强全球气候变化条件下转基因作物对土壤食物网结构影响的研究。

4 结论

温度和[CO₂]升高条件下,对转 *Bt* 水稻种植后土壤活性碳氮和线虫群落的响应格局表现出复杂的趋势。在正常温度和[CO₂]条件下,转 *Bt* 水稻种植显著降低了土壤可溶性碳、微生物生物量碳及土壤线虫总数含量,但在温度和[CO₂]升高后趋势相反。在升温和正常[CO₂]下转 *Bt* 水稻降低了土壤可溶性氮含量,但增加了硝态氮含量。此外,温度和转 *Bt* 水稻显著影响土壤线虫能流通道指数,而[CO₂]和转 *Bt* 水稻对线虫富集指数有显著影响。在正常温度和[CO₂]条件下转 *Bt* 水稻对促进非靶标植食者增加的趋势值得关注。总之,模拟气候变化的短期盆栽实验并未发现转 *Bt* 水稻对土壤生态系统的不良影响。今后应结合水稻生长、水稻地上和地下部的碳氮分配过程及长期尺度的监测,以深入了解土壤生态系统结构和功能的响应机制,为系统评估转 *Bt* 水稻种植在未来气候变化条件下的潜在土壤生态风险提供依据。

致谢:英国作物与土壤系统研究组(SRUC) Bryan

Griffiths 教授润色英文摘要。

References:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Report prepared for IPCC by Working Group III Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press, 2007, USA.
- [2] Drigo B, Pijl A S, Duyts H, Kielak A M, Gamper H A, Houtekamer M J, Boschker H T S, Bodelier P L E, Whiteley A S, Van Veen J A, Kowalchuk G A. Shifting carbon flow from roots into associated microbial communities in response to elevated atmospheric CO₂. *Proceedings of the National Academy of the Sciences of the United States of America*, 2010, 107: 10938-10942.
- [3] Pritchard S G. Soil organisms and global climate change. *Plant Pathology*, 2011, 60: 82-99.
- [4] Moore J C, McCann K, Setälä H, DeRuiter P C. Top-down is bottom-up: Does predation in the rhizosphere regulate aboveground dynamics? *Ecology*, 2003, 84: 846-857.
- [5] Eisenhauer N, Cesarz S, Koller R, Worm K, Reich P B. Global change belowground: impacts of elevated CO₂, nitrogen, and summer drought on soil food webs and biodiversity. *Global Change Biology*, 2012, 18: 435-447.
- [6] Zhang L, Zhu Z. Effect of transgenic insect-resistant rice on biodiversity. *Hereditas*, 2011, 33(5): 414-421.
- [7] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 2006, 440: 165-173.
- [8] Inubushi K, Cheng W, Mizuno T, Lou Y, Hasegawa T, Sakai H, Kobayashi K. Microbial biomass carbon and methane oxidation influenced by rice cultivars and elevated CO₂ in a Japanese paddy soil. *European Journal of Soil Science*, 2011, 62: 69-73.
- [9] Brussaard L, de Ruiter P C, Brown G G. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, 121: 233-244.
- [10] Bardgett R D, Wardle D A. Aboveground-belowground linkages: biotic interactions, ecosystem processes, and global change. Oxford University Press, New York, USA, 2010.
- [11] Li X Q, Chen F J, Liu M Q, Chen X Y, Hu F. Effects of two years planting transgenic *Bt* rice (*BtSY63*) on soil nematode community. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(11): 3065-3071.
- [12] Liang W J, Li Q, Chen L J, Huang G H, Zhu J G. Effects of elevated atmospheric CO₂ on nematode trophic groups in a Chinese paddy-field ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(10): 1269-1272.
- [13] Li X Q, Chen F J, Liu M Q, Hu F. Effects of transgenic *Bt* rice on soil dissolved organic carbon and nitrogen contents and microbiological properties. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(1): 96-102.
- [14] Yuan Y Y, Ge F. Effects of transgenic *Bt* crops on non-target soil animals. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(5):

- 1339-1345.
- [15] Yeates G W, Bongers T, de Goede R G M, Freckman D W, Georgieva S. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 1993, 25: 315-331.
- [16] Lu R K. *Soil and Agro-chemical Analytical Methods* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [17] Chen F J, Ge F, Su J W. An improved top-open chamber for research on effects of elevated CO₂ on agricultural pests in field. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(5): 585-590.
- [18] Joergensen R G. Microbial biomass//Alef K, Nannipieri P. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. New York: Academic Press, 1995: 375-417.
- [19] Ferris H, Bongers T, De Goede R G M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18: 13-29.
- [20] Tom B, Marina B. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, 1998, 239-251.
- [21] Saxena D, Neal C S, Illimar A, Shu Q Y, Stotzy G. Larvicidal Cry proteins from *Bt* are released in root exudates of transgenic *Bt* corn, potato, and rice but not of *Bt* canola, cotton and tobacco. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2004, 42: 383-387.
- [22] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, Michalzik B, Matzner E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Science*, 2000, 165: 277-304.
- [23] Guo J, Zhang M Q, Zhang L, Deng A X, Bian X M, Zhu J G, Zhang W J. Responses of dissolved organic carbon and dissolved nitrogen in surface water and soil to CO₂ enrichment in paddy field. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 14: 273-279.
- [24] Jia Q T, Shi S P, Yang C J, Peng Y F. Changes of several important materials in transgenic *Bt* rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(10): 2002-2006.
- [25] Wang Z H. Potential effects of *Bt* transgenic crops on soil micro-ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2469-2472.
- [26] Stephane C, Angela S. Climate change effects on beneficial plant-microorganism interactions. *FEMS Microbiology Ecology*, 2010, 73: 197-214.
- [27] Yeates G W, Newton P C D, Ross D J. Response of soil nematode fauna to naturally elevated CO₂ levels influenced by soil pattern. *Nematol*, 1999, 1: 285-293.
- [28] Li Q, Wang P. Current situation and prospect of elevated atmospheric CO₂ effects on soil nematodes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(10): 1349-1351.
- [29] Drigo B, Kowalchuk G A, Yergeau E, Bezemer T M, Boschker H T S, Vanveen J A. Impact of elevated carbon dioxide on the rhizosphere communities of *Carex arenaria* and *Festuca rubra*. *Global Change Biology*, 2007, 13: 2396-410.
- [30] Blagodatskaya E, Blagodatsky S, Dorodnikov M, Kuzyakov Y. Elevated atmospheric CO₂ increases microbial growth rates in soil: results of three CO₂ enrichment experiments. *Global Change Biology*, 2010, 16: 836-848.
- [31] Yeates G W, Newton P C D, Ross D J. Significant changes in soil microfauna in grazed pasture under elevated carbon dioxide. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 38: 319-26.
- [32] Rillig M C, Field C B. Arbuscular mycorrhizae respond to plants exposed to elevated atmospheric CO₂ as a function of soil depth. *Plant Soil*, 2003, 254: 383-391.
- [33] Treseder K K, Egerton-Warburton L M, Allen M F, Cheng Y F, Oechel W C. Alteration of soil carbon pools and communities of mycorrhizal fungi in chaparral exposed to elevated carbon dioxide. *Ecosystems*, 2003, 6: 786-796.
- [34] Griffiths B S, Heckmann L H, Caul S, Thompson J, Scrimgeour C, Krogh P H. Varietal effects of eight paired lines of transgenic *Bt* maize and near-isogenic non-*Bt* maize on soil microbial and nematode community structure. *Plant Biotechnology Journal*, 2007, 5: 60-68.
- [35] Blankinship J C, Niklaus P A, Hungate B A. A meta analysis of responses of soil biota to global change. *Oecologia*, 2011, 165: 553-565.

参考文献:

- [6] 张磊, 朱祯. 转基因抗虫水稻对生物多样性的影响. *遗传*, 2011, 33(5): 414-421.
- [11] 李修强, 陈法军, 刘满强, 陈小云, 胡锋. 转基因水稻 *Bt* 汕优 63 种植两年对土壤线虫群落的影响. *应用生态学报*, 2012, 23(11): 3065-3071.
- [12] 梁文举, 李琪, 陈立杰, 黄国宏, 朱建国. 开放式空气 CO₂ 浓度升高对中国稻田生态系统线虫营养类群产生的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(10): 1269-1272.
- [13] 李修强, 陈法军, 刘满强, 胡锋. 转 *Bt* 水稻对土壤可溶性有机碳氮及微生物学性质的影响. *应用生态学报*, 2012, 23(1): 96-102.
- [14] 袁一杨, 戈峰. 转 *Bt* 基因作物对非靶标土壤动物的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1339-1345.
- [15] 杨保军, 唐健, 江云珠, 彭于发. 转 *cry1Ab* 基因克螟稻对根际可培养细菌类群的影响. *生态学报*, 2009, 29(6): 3036-3043.
- [16] 鲁如坤. *土壤农业化学常规分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [17] 陈法军, 戈峰, 苏建伟. 用于研究大气二氧化碳浓度升高对农田有害生物影响的田间试验装置—改良的开顶式气室. *应用生态学报*, 2005, 24(5): 585-590.
- [24] 贾乾涛, 石尚柏, 杨长举, 彭于发. 转 *Bt* 基因水稻生长期几种重要成分含量的变化研究. *中国农业科学*, 2005, 38(10): 2002-2006.
- [25] 王忠华. 转 *Bt* 基因水稻对土壤微生物生态系统的潜在影响. *应用生态学报*, 2005, 16(12): 2469-2472.
- [28] 李琪, 王朋. 开放式空气[CO₂]增高对土壤线虫影响的研究现状与展望. *应用生态学报*, 2002, 13(10): 1349-1351.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.6 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Impacts of global warming on litter decomposition SONG Piao, ZHANG Naili, MA Keping, et al (1327)
- From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis ZHANG Xiaogang, ZENG Hui (1340)
- A multi-dimensional approach for wetland ecosystem service valuation SONG Yuqin, ZHANG Xiaolei (1352)
- Molecular mechanisms of the insect juvenile hormone JIN Minna, LIN Xinda (1361)
- Microbial deterioration in ancient cave and wall paintings LI Qiang, GE Qinya, PAN Xiaoxuan, et al (1371)
- Study on ecological safety evaluation and warning of wetlands in Tumen River watershed based on 3S technology
..... ZHU Weihong, MIAO Chengyu, ZHENG Xiaojun, et al (1379)
- A review of transboundary protected areas network establishment WANG Wei, TIAN Yu, CHANG Ming, et al (1391)

Autecology & Fundamentals

- Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow
seedlings QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al (1401)
- Three warming scenarios differentially affect the morphological plasticity of an invasive herb *Alternanthera philoxeroides*
..... CHU Yanmei, YANG Jian, LI Jingji, et al (1411)
- The influence of meteorological factors and soil physicochemical properties on karst processes in six land-use patterns in summer
and winter in a typical karst valley LIU Wen, ZHANG Qiang, JIA Yanan (1418)
- Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco
..... LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, et al (1429)
- The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram LIU Shuai, WU Shuci, WANG Hong, et al (1436)
- Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands
..... QIU Jianxi, TANG Mengping, SHEN Lifen, et al (1444)
- Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits
..... DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, et al (1451)
- Development of compatible biomass models for trees from different stand origin ... FU Liyong, LEI Yuancai, SUN Wei, et al (1461)

Population, Community and Ecosystem

- The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtoneura* in extensively managed *Phyllostachys edulis*
plantation FAN Yanrong, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (1471)
- Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and
nitrogen, and nematode communities CHEN Jing, CHEN Fajun, LIU Manqiang, et al (1481)
- Temporospatial variations in net ecosystem productivity in Northeast China since 1961
..... LI Jie, ZHANG Yuandong, GU Fengxue, et al (1490)
- Assessment of the habitat suitability for waterfowls in the Panjin, Liaoning with GIS and remote sensing
..... DONG Zhangyu, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al (1503)
- Distribution of soil macropores and their influence on saturated hydraulic conductivity in the Huoditang forest region of the
Qinling Mountains LU Bin, ZHANG Shengli, LI Kan, et al (1512)

- Influences of phosphorus concentration on interactions among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* ...
 MA Jianmin, JIN Ping, GUO Meng, et al (1520)
- Allelopathic inhibition and mathematical models of *Chara vulgaris* extracts on two freshwater algae species
 HE Zongxiang, LIU Lu, LI Cheng, et al (1527)
- Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua (1535)
- Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method
 WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong, et al (1548)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Appling SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern
 China GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al (1559)
- Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China
 CHEN Li, YIN Yunhe, ZHAO Dongsheng, et al (1568)
- The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang
 LI Ying, LI Yuecong, LÜ Suqing, et al (1575)
- The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe
 YAN Ruirui, XIN Xiaoping, WANG Xu, et al (1587)
- Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region
 WU Jie, LI Yuhuan, LI Zengbing, et al (1596)

Resource and Industrial Ecology

- Transnational land use and its potential environmental consequence LU Xiaoxuan (1606)

《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 薛建辉

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 34 卷 第 6 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 6 (March, 2014)

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