

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **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 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)
- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)

不同生境和去趋势方法下的祁连山柏径向生长对气候的响应 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)

生态环境移动数据采集系统研究与实现 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)

干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)

基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)

两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)

北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说:黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

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/stxb201301040015

吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 李萍, 王锦旗. 四年 O_3 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响. 生态学报, 2013, 33(24): 7679-7689.

Wu F F, Zheng Y F, Wu R J, Li P, Wang J Q. Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O_3 . Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7679-7689.

四年 O_3 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响

吴芳芳, 郑有飞*, 吴荣军, 李萍, 王锦旗

(南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏大气环境监测与污染控制高技术研究重点实验室, 南京 210044)

摘要: 采用开顶箱(open top chambers, OTC)法设置 3 个臭氧浓度梯度, 连续 4a 对小麦生长季土壤进行臭氧增加试验。测定小麦拔节、孕穗、抽穗、灌浆和成熟期的根际土壤微生物量氮、氨氧化细菌、反硝化细菌数量以及硝化和反硝化强度。结果显示微生物量氮、氨氧化细菌数量和硝化强度随小麦生育进程的推进, 呈先升高后降低的趋势, 4a 变化趋势相同。 O_3 胁迫下, 小麦根际微生物量氮、氨氧化细菌数量、硝化强度亦降低, 与对照比较, 均达显著水平($P < 0.05$); 随 O_3 作用年限增加, 抑制效应越强, 第 4 年 O_3 对其的抑制率显著高于第 1 年的抑制率。反硝化细菌数量在前期没有显著变化, 成熟期则增加两个数量级, O_3 显著促进成熟期反硝化细菌数量增加。4a 试验有相同的变化趋势。在较短时间里 O_3 对土壤反硝化强度没有显著影响, 而作用 3 个生长季后, 反硝化强度显著升高。结果说明, O_3 浓度升高降低了麦田土壤微生物量氮、氨氧化细菌数量和硝化强度, 并有一定的积累效应。 O_3 剂量和作用时间的累积量达到一定阈值, 显著增加土壤反硝化细菌数量和反硝化强度, 增加麦田土壤 N_2O 排放的风险。土壤氮素微生物转化受小麦生长发育状况和 O_3 剂量、作用时间的共同影响, 不同形态的氮素对 O_3 的敏感阈值不同, 响应的时间和变化的范围有差异。

关键词: 臭氧增加; 小麦; 开顶式气室; 土壤氮素转化

Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O_3

WU Fangfang, ZHENG Youfei*, WU Rongjun, LI Ping, WANG Jinqi

Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric environmental monitoring and Pollution control high-tech research, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Abstract: For determining changes in soil microbial transformation of nitrogen in a crop rhizosphere under ozone (O_3) stress, using ozone treatments in OTCs (open top chambers), the effects of increase atmospheric surface level O_3 contents on soil microbial transformation of nitrogen in winter wheat (*Triticum aestivum*) rhizosphere was investigated, during the growing/development (G/D) periods including reviving, jointing, booting, heading, filing and maturing stages. Four independent experiments were performed in four years, each for one year, using six OTCs. The chambers were equivalent, but two were fed with air while the other four with ozone at different concentration, in that two chambers with 100 nL/L and the other two with 150 nL/L. Winter wheat were grown to all life stage in OTCs. From reviving to mature stages, the plants were treated for 8 h (8:00—16:00) in every sunny day with different dose of O_3 , respectively. Soil microbial biomass N, amount of ammonium-oxidizing bacteria and denitrifying bacteria, soil nitrifying and denitrifying capacity were measured. Each treatment was assayed in triplicate. The data were initially compared by analysis of variance and differences between means were detected using the Duncans Multiple Range Tests. Values of $P < 0.05$ indicated significance. Quite similar results were obtained during the four years' experiments, suggesting that as a G/D stage is progressing, soil microbial biomass N,

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20123228110003); 国家自然科学基金资助项目(41075114)

收稿日期: 2013-01-04; **修订日期:** 2013-07-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhengyf@nuist.edu.cn

amount of ammonium-oxidizing bacteria and soil nitrifying capacity increased firstly but consequently declined. Under increased O_3 stress, either soil microbial biomass N, or amount of ammonium-oxidizing bacteria or nitrifying capacity were found dropped. Their differences compare to control were significant ($P < 0.05$). With the increased of O_3 dosage, the inhibition effects were found increasing. Inhibition rate of soil microbial biomass nitrogen, amount of ammonium-oxidizing bacteria and nitrifying capacity on wheat growth stages in the fourth years were significantly higher than those of the first year. The number of denitrifying bacteria was found to be no significant change in the earlier stages, but increased two orders of magnitude in the maturing stage. In maturity stage, the quantity of denitrifying bacteria was significantly improved by O_3 . Four years test showed the same change trend. No obvious influence of O_3 on soil denitrifying capacity was found under short time ozone fumigation, but significantly increased during the later three growing seasons. Taking together, the elevated O_3 concentration in atmospheric surface layer, impinges on the features of soil microbial transformation of nitrogen. O_3 stresses can reduce soil microbial biomass N, amount of ammonium-oxidizing bacteria and nitrifying capacity. Enhance O_3 irradiation and prolong fumigation time the Inhibition efficiency was up-regulated. When the cumulant of O_3 dose and fumigation time reached a certain threshold, the number of denitrifying bacteria and denitrifying capacity rose up, meanwhile soil N_2O emission risk was heighten. The effects on nitrogen microbial transformation were found to relate to (G/D) periods of winter wheat, dose of O_3 and the exposure time. The different forms of nitrogen have different O_3 -sensitive, indicating that the threshold of subjected to O_3 , the responses time to O_3 stress and the variation scope are different.

Key Words: elevated ozone; *Triticum aestivum*; open top chambers; soil nitrogen microbial transformation

近地层臭氧是非常重要的污染气体,是控制低层大气化学反应与循环的重要因子,占总氧化剂的 90% 以上^[1]。地球对流层大气平均 O_3 浓度已经从工业革命前的 38 nL/L 上升到目前的 50 nL/L,这个浓度已经超过了敏感作物 O_3 伤害阈值 AOT₄₀ (Accumulated dose over a threshold of 40 nL/L) 的 25%^[2],在过去的 30 年中,北半球 O_3 浓度以每年 0.5%—2% 的速度递增^[3],估计到 2100 年 O_3 浓度将在现有基础上增加 40%—60%^[4]。

O_3 对农业生态系统的影响,前人研究结果显示, O_3 引起植物叶片气孔导度下降,光合作用受到抑制、叶面出现伤害,作物减产^[5-8]。 O_3 改变了碳、氮在植物中的分配,也改变了土壤中凋落物以及植物根系分泌物的数量和成分^[9-12],这将对土壤生态系统产生深远的影响。土壤对大气环境变化的响应以根际微生物最为活跃^[13-14],由微生物介导的土壤过程受大气 O_3 浓度增加的影响^[15], O_3 浓度升高影响土壤有效态微量元素^[16],影响丛枝菌根功能,以及氮素的排放^[17],然而微生物在土壤过程中发挥作用的时间和空间尺度是研究中的难点。 O_3 胁迫下土壤微生物在根际界面上的驱动过程如何耦合土壤氮素的转化、氮素的损失少见报道。本文模拟 O_3 浓度增加的环境条件,经过 4a 的定点试验,研究麦田土壤氮素转化与地表 O_3 浓度增加的相互关系,为大气环境 O_3 浓度增加对土壤微生态的影响提供参考。

1 材料与方法

1.1 大田试验概况

于 2008 年至 2011 年在南京信息工程大学农业气象试验站 (32.16°N, 118.86°E) 进行冬小麦生长季田间观测试验。当地多年平均温度为 15.6 °C,多年平均降水为每年 1100 mm。供试土壤为潞育型水稻土 (灰马肝土属),土壤质地为壤质黏土,耕层土壤黏粒含量为 26.1%,土壤 pH (H_2O) 值为 6.2,有机碳和全氮的含量分别为 19.4、1.15 g/kg。

1.2 试验设计

试验采用直径 3 m,高 2.5 m 的开顶箱 (OTC) 作为臭氧布气的容纳装置,设置 CK (正常空气)、T1 (100 nL/L 臭氧)、T2 (150 nL/L 臭氧) 共 3 个臭氧浓度处理,每一处理 3 个重复。通过气泵对臭氧发生器产生的臭氧进行预先稀释,之后吹入 OTC 内的布气装置,最终使 OTC 内均匀布满气体,OTC 内设置臭氧浓度传感器 (精度可达 1 nL/L),对臭氧浓度传感器进行预先设定浓度阈值,当 OTC 内臭氧浓度未达到此阈值时,臭氧发

生器持续工作并向 OTC 内通入臭氧气体,当 OTC 内浓度超过此阈值时,臭氧传感器则提示报警,其信号通过微型电子控制仪的指令控制与臭氧发生器相连的电磁阀断开,此时臭氧发生器停止工作,这样可实现 OTC 内臭氧浓度的自动调控,每天臭氧处理时间段为 08:00—16:00,遇有雨天则关闭整个装置。

供试小麦品种为扬麦 16 号,水肥供应适量而充分,其他农田管理措施均相同,无病虫害及杂草的影响。播种日期、熏气起止日期、采样日期以及 AOT40 累积量如表 1 所示。按五点取样法,定点分别选取 5 株小麦,将其 0—20 cm 耕层根系区土样挖出,抖掉根系外围土,取紧贴在根表附近的土样,混合后作为根际土,用四分法取适量装于无菌纸袋中,立即带回实验室,一部分土样用于土壤氨氧化细菌数量的计数,另一部分土样经自然风干后,过 1 mm 孔径分样筛,4 ℃ 下冰箱保存。

表 1 大田熏气和采样时间表

Table 1 Fumeing and sampling date

试验年份 Test date	播种日期 Sowing date	开始熏气 日期 Start fume date	停止熏气 日期 Stop fumeing date	日小时 O ₃ 浓度大于 40 nL/L (AOT ₄₀)			取样时期 Sampling period					
				3—5 月 AOT40 累积量 /(nL·L ⁻¹ ·h ⁻¹) cumulant	累积时间 cumulant day/d	占试验期 比例/% percentage of trial period	返青期 Reviving	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	抽穗期 Heading	灌浆期 Filing	成熟期 Mature
2008	2007-11-14	2008-03-07	05-20	8.208	63	68.48	03-10	03-24	04-02	04-17	04-29	05-8
2009	2008-11-20	2009-03-08	05-21	8.462	59	64.13	03-04	04-02	04-17	04-23	05-07	05-15
2010	2009-11-12	2010-03-07	05-26	8.638	62	67.39	03-19	04-01	04-14	04-26	05-06	05-20
2011	2010-11-12	2011-03-07	05-27	8.357	58	63.04	03-24	04-02	04-12	04-22	05-02	05-12

1.3 土壤微生物量氮的测定

微生物量氮的测定采用氯仿熏蒸浸提法^[18],称取过 1 mm 筛的新鲜土样 14 g 于 100 mL 烧杯中,用另一只小烧杯盛 60 mL 无醇氯仿,(小烧杯里面放入少量抗暴沸物质),一起放入能抽气的真空干燥器内,灭菌 24 h,然后加入 0.5 mol/L K₂SO₄溶液(土:液=1:4)于灭菌后的土样中,振荡 30 min 过滤,同时,不灭菌的土样也用 K₂SO₄溶液浸提、振荡和过滤,滤液用 0.22 μm 的水性滤膜抽滤,过滤后的溶液用 liquiTOC 仪器测定。土壤微生物量 N 含量以熏蒸和未熏蒸土样 0.5 mol/L K₂SO₄提取液中 N 含量之差乘以系数得到。 $B_N = E_N/0.54$,式中, E_N 为熏蒸土样与未熏蒸土样提取液 N 含量之差。

1.4 土壤氨氧化细菌和反硝化细菌的测定

根据文献^[19-20]分别制备氨氧化细菌和反硝化细菌液体富集培养基与固体分离培养基。采用 MPN(最大或然数)法测定。接种土壤悬液于液体富集试管,各浓度梯度设置 4 个重复,在 30 ℃ 恒温培养 14 d,根据阳性管数查表得数量近似值,并经水分测定换算成 1 g 干土中氨氧化细菌和反硝化细菌的数量。

1.5 土壤硝化强度的测定

硝化作用强度采用培养基接种土壤悬液法^[21],首先在 150 mL 三角瓶中盛 30 mL 氨氧化细菌液体培养基,灭菌。冷却后的培养基接种 1/10 土壤悬液 1 mL,于 30 ℃ 恒温箱中培养 15 d。接着取出三角瓶,过滤去除土壤颗粒,收集上清液。最后用分光光度计比色法测定滤液中的亚硝酸含量。

土壤硝化强度计算公式为:

$$\text{硝化作用强度} = \frac{\text{原始培养基中 NO}_2^- \text{ 量} - \text{培养后培养基中 NO}_2^- \text{ 量}}{\text{原始培养基中 NO}_2^- \text{ 量}} \times 100\%$$

1.6 土壤反硝化作用强度的测定

以氧化亚氮计测定土壤反硝化强度^[22-23],称取过 1 mm 筛的新鲜土样 10 g 于 250 mL 培养瓶中,向其中加入含硝酸钾和葡萄糖的混合溶液 5 mL(含 N 和 C 各 3 mg),并用丁基橡胶塞将培养瓶密封,利用真空泵抽真空,然后再向培养瓶中充入体积分数为 10% 的乙炔来抑制氧化亚氮转化为氮气,在 28 ℃ 下培养 48 h,培养

结束后从培养瓶中抽取气体 10 mL,装入气袋,室温下利用气相色谱进行分析。

1.7 数据统计分析

采用 DPS (Data processing system)^[24] 数据处理系统软件处理数据,进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物量氮随小麦生长发育而变化的时序特征

土壤微生物量氮随小麦生长进程的推进呈现先升高后降低的趋势。从拔节期到抽穗期逐渐升高,抽穗期达最大,然后逐渐下降,最终低于拔节期的含量, O_3 浓度增加的处理与对照具有相同的时序变化规律(图 1—图 4),2008—2011 年 4a 间时序变化趋势相同。结果说明,土壤微生物量氮的时序变化主要依存小麦生长代谢调节,小麦与根际土壤微生物之间存竞争与协同发展的关系。

2.2 O_3 浓度升高对土壤微生物量氮的影响

O_3 浓度升高对土壤微生物量氮的影响因 O_3 作用年限的不同而异。第 1 年(2008 年)的试验中,小麦生长前期(拔节期)和后期(成熟期),T1 与对照没有显著差异,抽穗期和灌浆期,T1 比对照明显升高,T2 则在每个生育期中比对照显著降低。此后 3a(2009、2010、2011 年)试验,T1 和 T2 在试验的每个生育期均显著降低了土壤微生物量氮的含量,且 T1 与 T2 差异显著($P<0.05$)。随 O_3 作用时间延长, O_3 对土壤微生物量氮的抑制效应增强(图 1,表 2),2010 年和 2011 年的抑制效应明显大于 2008 年和 2009 年。特别是 2011 年 150 nL/L O_3 对土壤微生物量氮的抑制率达 46.65%,明显高于 100 nL/L O_3 的抑制率。第 4 年(2011 年)试验,100 nL/L 的 O_3 处理对土壤微生物量氮的抑制作用明显大于前 3 年 150 nL/L O_3 作用下对土壤微生物量氮的抑制效应。抑制作用逐年增加,即随 O_3 作用时间的延长抑制效应越明显, O_3 对土壤微生物量氮的抑制具有积累效应,是 O_3 浓度和熏气时间共同作用的结果。

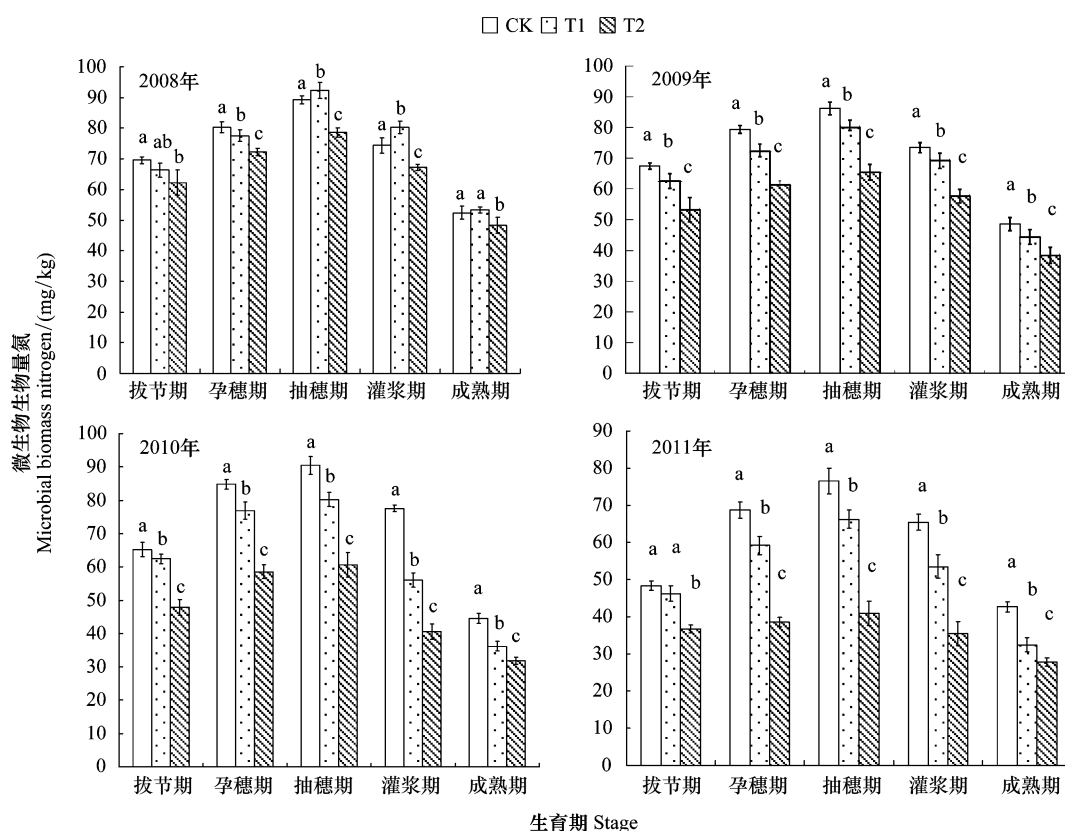


图 1 臭氧浓度升高对麦田根际土壤微生物量氮的影响

Fig.1 Effects of elevated ozone concentration on rhizosphere soil microbial biomass nitrogen in wheat fields

不同字母表示处理间经 Duncan 氏多重极差检验差异显著($P<0.05$); CK(正常空气)、T1(100 nL/L 臭氧)、T2(150 nL/L 臭氧)

表 2 臭氧浓度升高在不同年份对小麦不同生育期土壤微生物量氮的抑制率

Table 2 Inhibition rate of soil microbial biomass nitrogen under ozone stress on different wheat growth stage in different years

试验年份 Test date/a	抑制率 Inhibition efficiency/%									
	拔节期 Reviving stage		孕穗期 Jointing stage		抽穗期 Booting stage		灌浆期 Filing stage		成熟期 Maturing stage	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
2008	4.55a	10.44a	3.44a	10.05a	-3.46a	11.94a	-7.84a	9.63a	-1.68a	7.62a
2009	7.32b	21.00b	8.95b	22.78b	7.15b	24.1b	5.86b	21.46b	8.87b	21.05b
2010	4.35a	26.62c	9.33b	30.93c	11.31c	32.92c	27.77c	47.6c	18.85c	28.65c
2011	4.37a	23.91b	13.81c	43.8d	13.41d	46.65d	18.2d	45.84c	23.95d	34.9d

抑制率 = [(CK 微生物生物量 N - O₃ 处理微生物生物量 N) / CK 微生物生物量 N] × 100%; 不同字母间表示差异显著

2.3 臭氧浓度升高对土壤氨氧化细菌数量的影响

对照组 (CK) 氨氧化细菌数量随着小麦生长进程的推进, 由拔节期到抽穗期逐渐升高, 尔后逐渐下降, 连续 4a 的试验中有相同的变化规律 (图 2)。O₃ 浓度增加后, 由于作用年限即时间积累长度不同, O₃ 对氨氧化细菌数量有不同的影响。土壤氨氧化细菌数量, 第 1 年 (2008 年), T1、T2 与对照组有相同的时序变化规律, 并且相同生育期内, T1、T2 与 CK 之间没有显著差异; 第 2 年 (2009 年), 在试验生育期中只有抽穗期和灌浆期 T1 和 T2 较 CK 显著增加, 并且 T1 和 T2 间差异不明显, 其余时期 T1、T2、CK 之间无明显差异; 第 3 年 (2010 年), 在所有测定的生育期中, T1 和 T2 较 CK 均显著降低, T1 和 T2 间差异不显著, 土壤氨氧化细菌数量随着小麦生长进程的推进一直处于较低水平没有明显波动, 显著不同于对照先升高后降低的时序变化规律; 第 4

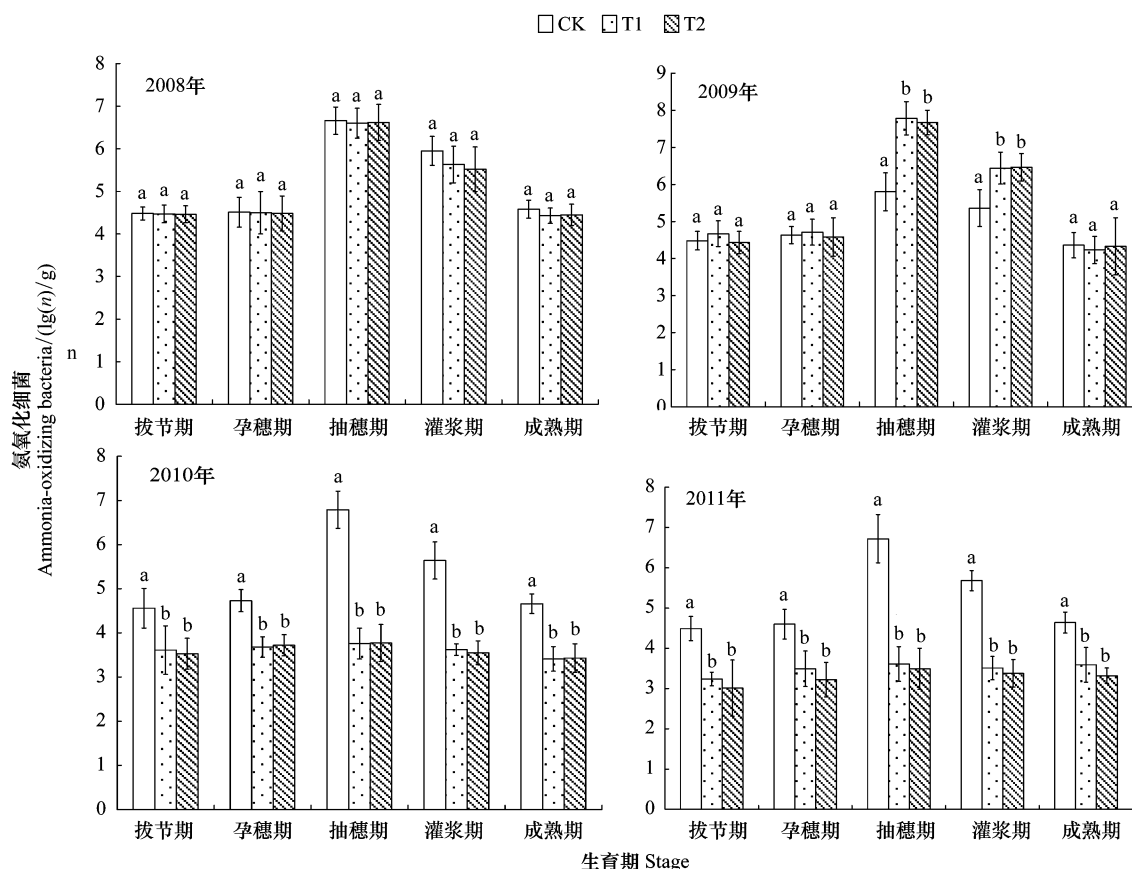


图 2 臭氧浓度升高对土壤氨氧化细菌数量的影响

Fig. 2 Effects of elevated ozone concentration on number of soil ammonia-oxidizing bacteria

不同字母表示处理间经 Duncan 氏多重极差检验差异显著 ($P < 0.05$); CK (正常空气)、T1 (100 nL/L 臭氧)、T2 (150 nL/L 臭氧)

年(2011年),与第3年(2010年)有类似的试验结果。增加 O_3 浓度连续4个小麦生长季之后,不同浓度 O_3 之间是否存在显著差异以及产生显著差异的时间积累等,还需后续试验研究。结果说明,自然情况下未受增加的 O_3 影响时,土壤氨氧化细菌数量受小麦生长调节较大。 O_3 浓度升高后,在短期内由于 O_3 剂量和作用时间没有累积到一定程度,对氨氧化细菌没有明显影响。 O_3 浓度升高后小麦的第3、第4个生长季,由于 O_3 浓度和作用时间的累积作用增加,超过了小麦的抗胁迫能力,土壤氨氧化细菌数量显著减少。

2.4 不同臭氧浓度对硝化强度的影响

臭氧浓度增加,不同时间长度的 O_3 熏蒸试验,对土壤硝化强度的作用效应不同。第1年(2008年)T1、T2 与对照均没有显著差异;第2年(2009年)第3年(2010年)和第4年(2011年)在所有测定生育期,T1、T2 均显著抑制了土壤硝化强度(图3,表3)。抑制率随 O_3 浓度增加而增加,随 O_3 作用年限增加而增强。在相同生育期内 O_3 对硝化强度的抑制率 2011年>2010年>2009年>2008年。结果说明,小麦生长代谢活跃期,氮素需求量大时,土壤的硝化强度随之增强,土壤硝化强度受作物生长的调节比较明显。 O_3 对土壤硝化强度的影响存在积累效应, O_3 浓度增加后在较短时间里没有显著影响,当 O_3 浓度和作用时间累积到一定的量后表现出显著的抑制效应。 O_3 浓度越高作用时间越长抑制作用越大。4a 试验中,CK、T1、T2 处理的土壤硝化强度在小麦生长前期和后期较弱,抽穗期最强,硝化强度的时序变化与小麦的代谢活性变化相关,小麦较大生长量时对 NO_3^- 的较大需求促进了硝化过程,硝化强度增强。

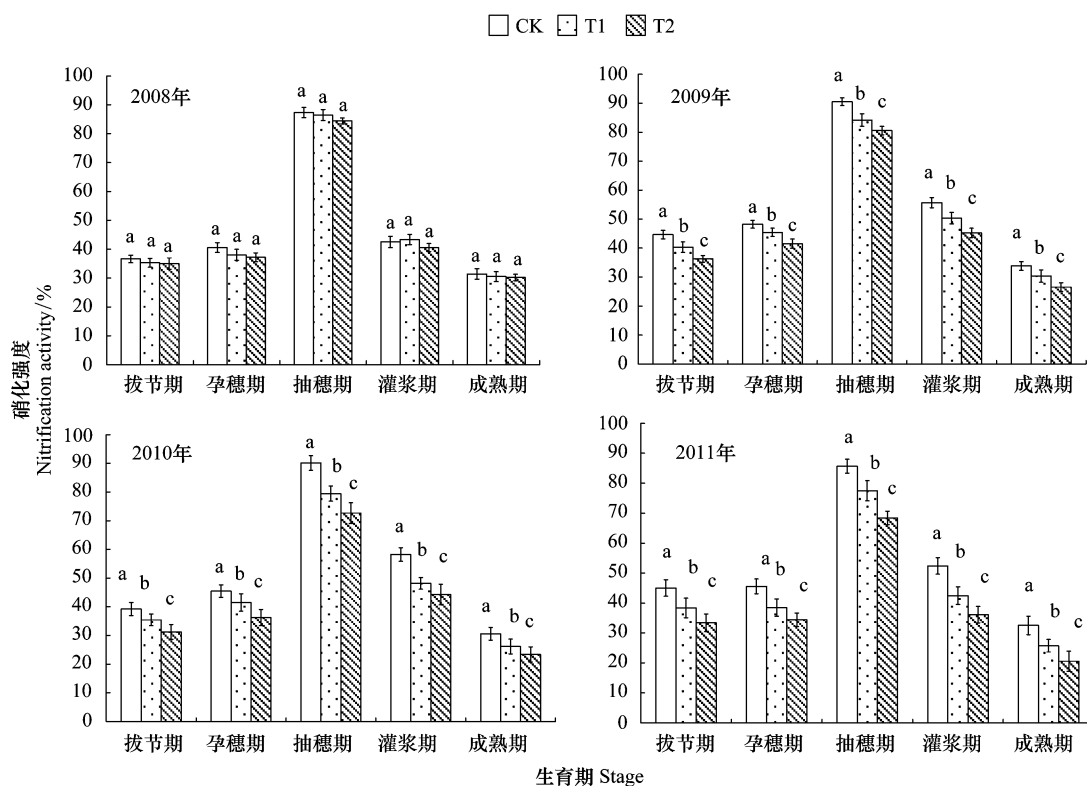


图3 臭氧浓度升高对土壤硝化活性的影响

Fig.3 Effects of elevated ozone concentration on nitrification activity

不同字母表示处理间经 Duncan 氏多重极差检验差异显著 ($P < 0.05$); CK (正常空气)、T1 (100 nL/L 臭氧)、T2 (150 nL/L 臭氧)

2.5 臭氧浓度升高对反硝化细菌数量的影响

臭氧浓度升高对土壤反硝化细菌数量的影响如图4所示,对照的反硝化细菌数量随小麦的生长在拔节期、孕穗期、抽穗期和灌浆期没有显著变化,成熟期时反硝化细菌数量则增加了两个数量级, O_3 浓度增加的处理与对照的时序变化规律相同,不同的是成熟期时反硝化细菌数量增加了3个数量级,只有在成熟期 T1、T2 与对照差异显著,T1 与 T2 之间没有显著差异,其它时期 T1、T2 与对照没有明显不同。结果说明,小麦生长的

前、中期,土壤反硝化细菌数量受小麦的生长调节不大,对 O₃浓度升高引起的环境变化因子不敏感。小麦在成熟期后,对照的土壤反硝化细菌数量增加,而 O₃浓度增加的处理土壤反硝化细菌数量增加的程度更大,O₃在成熟期明显促进了土壤反硝化细菌数量的增加。

表 3 臭氧浓度升高在不同年份对小麦不同生育期土壤微生物量氮的抑制率

Table 3 Inhibition rate of nitrification under ozone stress on different wheat growth stage in different years

试验年份 Test date/a	抑制率 Inhibition efficiency/%									
	拔节期 Reviving stage		孕穗期 Jointing stage		抽穗期 Booting stage		灌浆期 Filing stage		成熟期 Maturing stage	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
2008	3.55	4.37	6.24	8.23	1.02	3.38	2.73	4.63	2.93	3.82
2009	9.69	18.76	5.72	17.22	6.96	10.98	9.59	18.70	10.31	21.54
2010	9.69	20.32	8.65	20.27	11.83	19.37	17.24	23.98	14.43	23.52
2011	14.74	25.70	15.65	24.56	9.58	20.15	18.95	31.07	20.93	36.83

硝化强度抑制率=(CK 硝化强度-O₃处理硝化强度)/CK 硝化强度

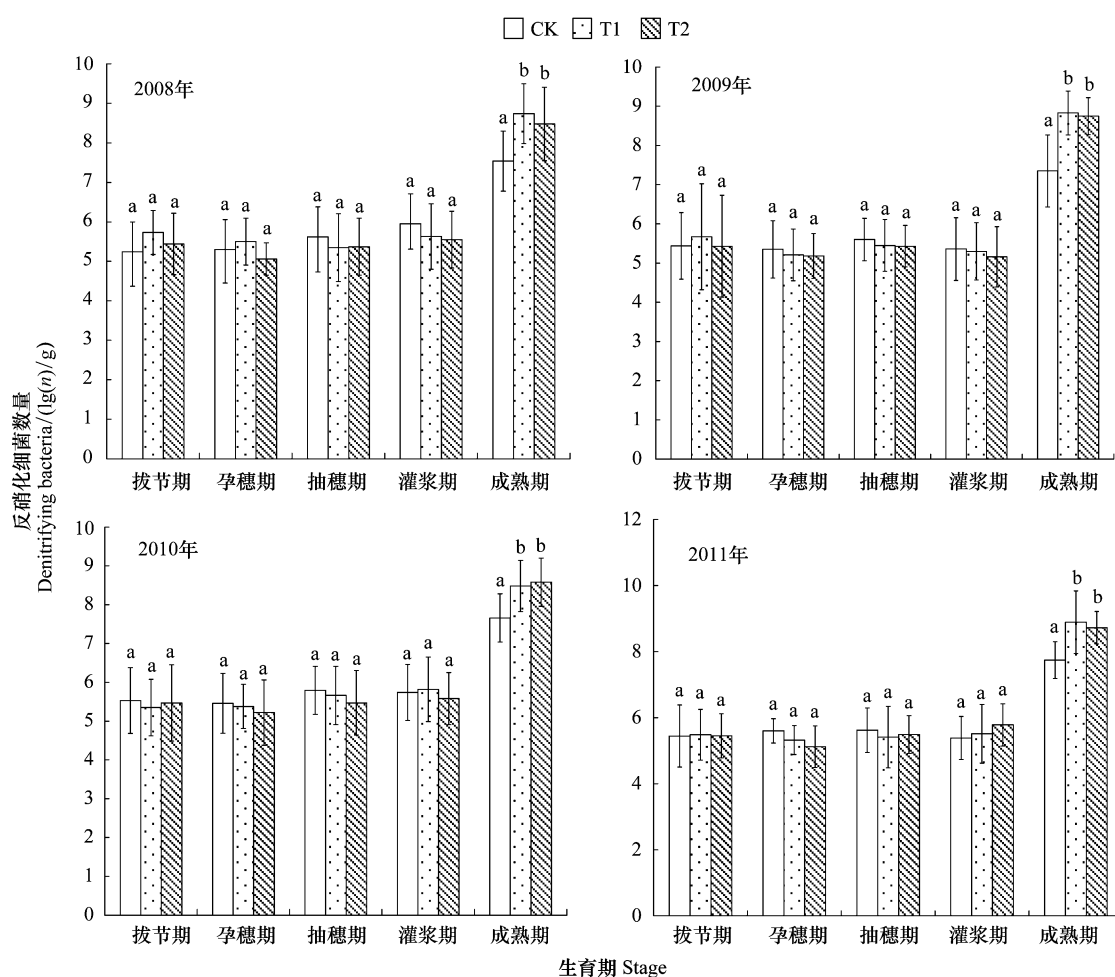


图 4 臭氧浓度升高对土壤反硝化细菌数量的影响

Fig.4 Effects of elevated ozone concentration on number of soil denitrifying bacteria

不同字母表示处理间经 Duncan 氏多重极差检验差异显著 ($P < 0.05$); CK(正常空气)、T1(100 nL/L 臭氧)、T2(150 nL/L 臭氧)

2.6 不同臭氧浓度对反硝化作用强度的影响

对照组土壤反硝化强度随小麦生育进程的推进呈现先降低后升高的趋势,抽穗期降到最低值,成熟期升

到最高值,4a 试验变化规律一致。 O_3 浓度增加后,第 1 年(2008 年)和第 2 年(2009 年)试验中,T1、T2 与对照变化规律相同,在相同生育期内,T1 和 T2 与对照均没有显著差异;第 3 年(2010 年)和第 4 年(2011 年)试验中,T1 和 T2 从拔节期到灌浆期维持在一个相对稳定值,成熟期后显著升高,与对照比较 T1 和 T2 显著增加了孕穗期和抽穗期的反硝化强度(图 5)。结果说明,高浓度 O_3 作用两个生长季后改变了土壤反硝化作用强度随小麦生长发育而变化的时序规律。增强了小麦中期的反硝化作用强度。

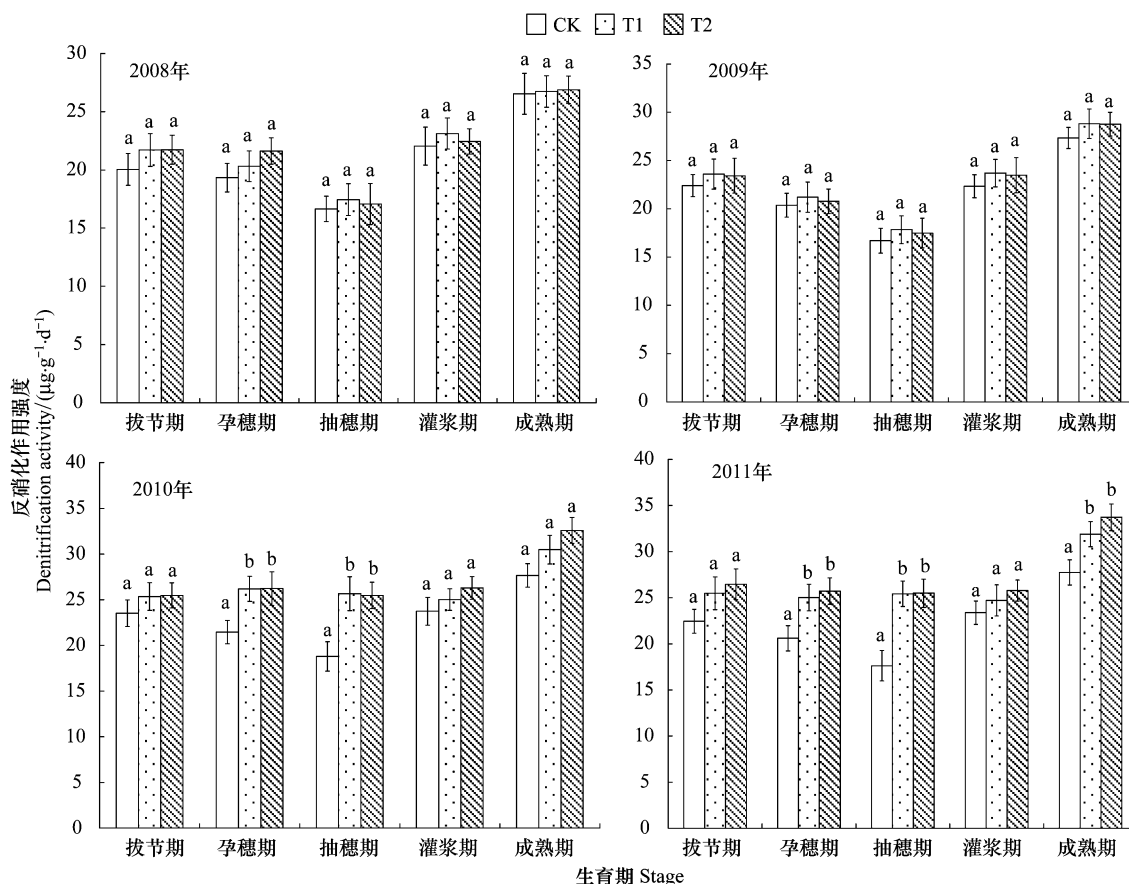


图 5 臭氧浓度升高对土壤反硝化作用强度的影响

Fig.5 Effects of elevated ozone concentration on denitrification activity

不同字母表示处理间经 Duncan 氏多重极差检验差异显著($P < 0.05$), CK(正常空气), T1(100 nL/L 臭氧), T2(150 nL/L 臭氧)

3 讨论

土壤微生物量氮的时序变化主要依存小麦生长代谢调节。由于小麦和微生物的生长竞争与协同发展的关系,初期,小麦生长量相对较小,对土壤养分的吸收能力弱,土壤养分主要用于土壤微生物的同化增殖,同时随着小麦生长逐渐旺盛,根系代谢物增加也促进了微生物的生长。故此期间土壤微生物量氮逐步升高。小麦抽穗期至成熟期,较大的生长量使小麦对土壤养分的需求大大增加,与土壤微生物形成强烈的竞争关系^[25],氮素大量向小麦植株转移,使微生物同化的氮素减少,后期土壤微生物量氮显著下降。

小麦短时间受到较小剂量臭氧胁迫时,土壤微生物量氮短暂升高,可能是小麦抗胁迫适应的结果^[26]。小麦通过增强代谢水平来提高自身的抗胁迫能力,而小麦代谢水平的提升刺激了土壤微生物量氮增加^[27]。随着 O_3 胁迫继续增强,超过了小麦的抗逆范围,小麦代谢受阻,土壤微生物量氮下降。这也与 O_3 促进土壤微生物量氮转化为矿质态氮以供小麦吸收利用以抵抗环境胁迫有关。当臭氧浓度升高到一定阈值时土壤微生物量氮显著下降。 O_3 对小麦的作用阈值是 O_3 浓度和作用时间共同决定的。

自然情况下未受增加的 O_3 影响时,土壤氨氧化细菌数量受小麦生长调节较大,抽穗期时小麦生长最活

跃,根际分泌物、根系生物量、细根周转较高^[9]。氨氧化细菌有丰富的营养基质,生长繁殖较快数量达最大。O₃浓度升高后,在短期内由于 O₃剂量和作用时间没有累积到一定程度,对氨氧化细菌没有明显影响。随 O₃作用时间延长对小麦产生的胁迫度增加,激发了小麦-土壤体系的抗胁迫过程,如土壤脲酶活性增强等^[15],为小麦提供更多氮素营养,也为土壤氨氧化细菌提供了充足的底物,促进了它们的大量生长繁殖。O₃浓度升高后小麦的第3、第4个生长季,由于 O₃浓度和作用时间的累积作用增加,超过了小麦的抗胁迫能力,土壤氨氧化细菌数量显著减少。土壤氨氧化细菌将氨态氮转化成亚硝态氮,是土壤硝化作用的限速步骤^[28],O₃浓度升高将降低土壤氮素供应水平,土壤肥力受影响。

反硝化作用是土壤中氮素转化的最主要过程之一,植物通过吸收同化 NO₃⁻ 而抑制反硝化作用^[29],在孕穗期和抽穗期小麦由营养生长转入生殖生长,需吸取大量的 NO₃⁻,由于土壤反硝化作用受到 NO₃⁻ 限制,所以孕穗期和抽穗期反硝化作用降低,在成熟期小麦减小了对 NO₃⁻ 的吸收,土壤 NO₃⁻ 供应充足,小麦根际分泌物的存在促进了反硝化作用,所以成熟期反硝化作用强度升高。O₃对反硝化作用的影响具有一定的积累效应,O₃剂量和作用时间的累积量达到一定阈值,在小麦生长需 N 敏感期,由于 O₃长时间的作用,土壤理化性质改变,小麦的生长受严重抑制,O₃显著增加土壤反硝化强度。反硝化过程是 N₂O 产生的主要生物过程^[30],O₃作用一定时间不仅改变反硝化作用强度的时序特征,在一定的小麦生长期还会导致麦田土壤 N₂O 排放的增加。

4 结论

(1) O₃对土壤微生物量氮的影响

土壤微生物量氮随着小麦生长发育进程呈现先升高后降低的时序变化特征。这种时序变化规律没有因为 O₃浓度的增加而改变。O₃浓度增加并随着 O₃作用时间的延长,土壤微生物量氮受抑制的效应增强,O₃对土壤微生物量 N 的抑制作用具有积累效应,是 O₃浓度和作用时间共同作用结果。

(2) O₃对土壤氨氧化细菌和反硝化细菌数量的影响

土壤氨氧化细菌数量在升高的 O₃浓度作用下,较短时间里没有明显影响;增加 O₃作用时间则在抽穗期和灌浆期土壤氨氧化细菌数量显著增加;O₃作用 3a 后则显著降低土壤氨氧化细菌数量,并且在所有测定生育期中维持相同的数量级水平,没有明显的起伏波动,改变了对照原有的土壤氨氧化细菌数量随着小麦生长进程的推进而发生先升高后降低的时序变化规律。

土壤反硝化细菌数量对 O₃浓度升高引起的环境变化因子不敏感,在小麦生长的前、中期反硝化细菌数量和对照一样总是维持在同一数量级,在成熟期后,O₃对土壤反硝化细菌数量有明显促进作用。

(3) O₃对土壤硝化强度和反硝化强度的影响

臭氧浓度升高在较短时间对土壤硝化强度没有显著影响,而作用 3 个生长季以后则显著地抑制了土壤硝化强度。O₃作用年限增加,抑制作用增强。O₃对土壤硝化强度的影响存在积累效应,当 O₃浓度和作用时间累积到一定的量后,土壤整体硝化强度减弱。

高浓度 O₃作用两个生长季后改变了土壤反硝化作用强度随小麦生长发育而变化的时序规律。O₃浓度升高在较短时间里对土壤反硝化强度没有影响,而作用 3 个生长季后,反硝化强度显著升高。

References:

- [1] Tausz M, Grulke N E, Wieser G. Defense and avoidance of ozone under global change. *Environmental Pollution*, 2007, 147(3): 525-531.
- [2] Fuhrer J, Skärby L, Ashmore M. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environmental Pollution*, 1997, 97(1/2): 91-106.
- [3] Vingarzan R. A review of surface ozone background levels and trends. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(21): 3441-3442.
- [4] Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Berntsen T, Betts R, Fahey D W, Haywood J, Lean J, Lowe D C, Myhre G J, Nganga J, Prinn R, Raga G, Schulz M, Dorland R V. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing // Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L, eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2007.

- [5] Zheng Y F, Liu R N, Wu R J, Zhao Z, Hu C D. Effects of ozone stress on diurnal change of winter wheat photosynthesis at milking stage. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(6): 1075-1082.
- [6] Zheng Y F, Zhao Z, Wu R J, Hu C D, Liu H J. Effects of long-term ozone exposure on chlorophyll a fluorescence and gas exchange of winter-wheat leaves. Environmental Science, 2010, 31(2): 472-479.
- [7] Zheng Y F, Hu C D, Wu R J, Zhao Z, Liu H J, Shi C H. Experiment with effects of increased surface ozone concentration upon winter wheat photosynthesis. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(4): 847-855.
- [8] Wang X L, Chen Q C, Chen G C, Liang Z B, He Z Y. An observation on the morphology and anatomy of the ozone damage to Dicotyledon plant leaves. Journal of Lanzhou University, 1979, (3): 117-128.
- [9] Chen Z, Wang X K, Feng Z Z, Zheng Q W, Ouyang Z Y. Effects of elevated ambient ozone on ecosystem below-ground processes. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(1): 121-125.
- [10] Chen Z, Wang X K, Feng Z Z, Xiao Q, Duan X N. Impact of elevated O₃ on soil microbial community function under wheat crop. Water, Air, & Soil Pollution, 2009, 198(1/4): 189-198.
- [11] Andersen C P. Source-sink balance and carbon allocation below ground in plants exposed to ozone. The New Phytologist, 2003, 157(2): 213-228.
- [12] McCrady J K, Andersen C P. The effect of ozone on below-ground carbon allocation in wheat. Environmental Pollution, 2000, 107(3): 465-472.
- [13] Zhang F S. Plant Nutrition Ecophysiology and Genetics. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1993.
- [14] Hu J L, Lin X G, Zhu J G. A review: soil microbial responses to elevated tropospheric O₃ concentration. Soils, 2008, 40(6): 857-862.
- [15] Zheng Y F, Shi C H, Wu F F, Wu R J, Liu H J, Zhao Z, Hu C D. Effects of simulated elevated atmospheric O₃ concentration on soil enzyme activity in winter wheat rhizosphere. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4386-4391.
- [16] Wang X Z, Zhang H J, Zhang X C, Yin W Q, Zhu S, Zhao H T, Feng K, Zhu J G. Effect of O₃ enrichment on concentrations of DTPA-extractable microelements of soils in the rice season. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(17): 4741-4747.
- [17] Li Q S, Lin X G, Hu J L, Zhang J, Yu Y C, Shen B, Zhu J G. Effects of elevated O₃ concentration in surface layer on activity of soil ammonia oxidizing bacteria and denitrifying bacteria in wheat field. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(6): 524-528.
- [18] Wu J S, Joergensen R G, Pommerening B, Chaussod R, Brooks P C. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction an automated procedure. Soil Biology and Biochemistry, 1990, 20(8): 1167-1169.
- [19] Department of Microbiology Nanjing Institute of Soil Science Chinese Academy of Sciences. Research Approach of Soil Microorganism. Beijing: Science Press, 1985.
- [20] Xu G H, Zheng H Y. Soil Microbial Analysis Method Manual. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- [21] Hu J L, Lin X G, Chu H Y, Yin R, Zhang H Y, Yuan X X, Zhu J G. Isolation of soil ammonia-oxidizing bacteria. Soils, 2005, 37(5): 569-571.
- [22] Carnol M, Hogenboom L, Jach M E, Remacle J, Ceulemans R. Elevated atmospheric CO₂ in open top chambers increases net nitrification and potential denitrification. Global Change Biology, 2002, 8(6): 590-598.
- [23] Li Q S, Lin X G, Hu J L, Zhang J, Yu Y C, Shen B, Zhu J G. Elevated surface O₃ concentration effects on soil ammonia-oxidizing and denitrifying bacterial activities in a rice field. Ecology and Environment, 2010, 19(8): 1789-1793.
- [24] Tang Q Y, Feng M G. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press, 2002.
- [25] Esperschütz J, Pritsch K, Gättinger A, Welzl G, Haesler F, Buegger F, Winkler J B, Munch J C, Schlöter M. Influence of chronic ozone stress on carbon translocation pattern into rhizosphere microbial communities of beech trees (*Fagus sylvatica* L.) during a growing season. Plant and Soil, 2009, 323(1/2): 85-95.
- [26] Pritsch K, Ernst D, Fleischmann F, Gayler S, Grams T E E, Göttele A, Heller W, Koch N, Lang H, Matyssek R, Munch J C, Olbrich M, Scherb H, Stich S, Winkler J B, Schlöter M. Plant and soil system responses to ozone after 3 years in a Lysimeter study with Juvenile Beech (*Fagus sylvatica* L.). Water Air Soil Pollution: Focus, 2008, 8(2): 139-154.
- [27] Kanerva T, Palojarvi A, Rämö K, Ojanperä K, Esala M, Manninen S. A 3-year exposure to CO₂ and O₃ induced minor changes in soil N cycling in a meadow ecosystem. Plant and Soil, 2006, 286(1/2): 61-73.
- [28] Kasurinen A, Kokko-Gonzales P, Riikonen J, Vapaavuori E, Holopainen T. Soil CO₂ efflux of two silver birch clones exposed to elevated CO₂ and O₃ levels during three growing seasons. Global Change Biology, 2004, 10(10): 1654-1665.
- [29] Xiong H F. Study on Transformation of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Soil-Water-Plant System in Wetland of Lianpi Lake [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005.
- [30] Le Roux X, Monteny B. Soil-plant-atmosphere exchanges. Lamto, 2006, 179: 77-113.

参考文献:

- [5] 郑有飞, 刘瑞娜, 吴荣军, 赵泽, 胡程达. 臭氧胁迫对冬小麦灌浆期光合日变化的影响. 生态学报, 2011, 30(6): 1075-1082.

- [6] 郑有飞, 赵泽, 吴荣军, 胡程达, 刘宏举. 臭氧胁迫对冬小麦叶绿素荧光及气体交换的影响. 环境科学, 2010, 31(2): 472-479.
- [7] 郑有飞, 胡程达, 吴荣军, 赵泽, 刘宏举, 石春红. 地表臭氧浓度增加对冬小麦光合作用的影响. 生态学报, 2010, 30(4): 847-855.
- [8] 王勋陵, 陈庆诚, 陈国仓, 梁祖炳, 何正英. 臭氧对双子叶植物叶片伤害的形态解剖观察. 兰州大学学报, 1979, (3): 117-128.
- [9] 陈展, 王效科, 冯兆忠, 郑启伟, 欧阳志云. 臭氧对生态系统地下过程的影响. 生态学杂志, 2007, 26(1): 121-125.
- [13] 张福锁. 植物营养生态生理学和遗传学. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [14] 胡君利, 林先贵, 朱建国. 土壤微生物对大气对流层臭氧浓度升高的响应. 土壤, 2008, 40(6): 857-862.
- [15] 郑有飞, 石春红, 吴芳芳, 吴荣军, 刘宏举, 赵泽, 胡程达. 大气臭氧浓度升高对冬小麦根际土壤酶活性的影响. 生态学报, 2009, 29(8): 4386-4391.
- [16] 王小治, 张海进, 张咸臣, 尹微琴, 朱赛, 赵海涛, 封克, 朱建国. 大气 O₃ 浓度升高对稻田土壤有效态微量元素的影响. 生态学报, 2010, 30(17): 4741-4747.
- [17] 李全胜, 林先贵, 胡君利, 张晶, 余永昌, 沈标, 朱建国. 近地层臭氧浓度升高对麦田土壤氨氧化与反硝化细菌活性的影响. 生态与农村环境学报, 2010, 26(6): 524-528.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985.
- [20] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986.
- [21] 胡君利, 林先贵, 褚海燕, 尹睿, 张华勇, 苑学霞, 朱建国. 土壤氨氧化细菌的分离方法研究. 土壤, 2005, 37(5): 569-571.
- [23] 李全胜, 林先贵, 胡君利, 张晶, 余永昌, 沈标, 朱建国. 近地层臭氧浓度升高对稻田土壤氨氧化与反硝化细菌活性的影响. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1789-1793.
- [24] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)
- Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern: To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)
- Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

- Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)
- Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)
- Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)
- Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)
- Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)
- Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

- Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)
- Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)
- The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)
- Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)
- The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)
- Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)
- Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)
- The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)
- Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG Ruibo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)
- Resource and Industrial Ecology**
- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)
- Research Notes**
- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platycladus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《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 丁 平

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 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 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	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
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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