

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

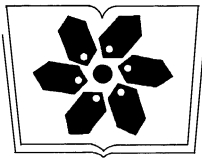
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **2011**

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 31 卷 第 13 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栎群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

祁金花, 黄懿梅, 张宏, 安韶山. 黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素. 生态学报, 2011, 31(13): 3778-3787.

Qi J J, Huang Y M, Zhang H, An S S. Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3778-3787.

黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素

祁金花¹, 黄懿梅^{1,*}, 张 宏¹, 安韶山^{2,3}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 3. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 采用室内培养试验, 研究了不同水热条件对黄土丘陵区林地、草地和果园土壤释放 N_2O 的影响, 同时测定了土壤中不同氮素形态的变化, 旨在探讨影响土壤释放 N_2O 潜力的因素。结果表明: 土样中 N_2O 通量与温度显著相关 ($r=0.1599$, $P<0.05$), 均随温度的升高不断增大, 35°C 时达到最大。 N_2O 通量与土壤水分含量极显著相关 ($r=0.2499$, $P<0.0001$), 在土壤水分含量较低时, 各土样中 N_2O 通量与土壤水分含量呈正相关, 土壤水分接近田间持水量时 N_2O 通量最大, 超过田间持水量时 N_2O 通量急剧下降。土壤水分和温度对 N_2O 通量的影响可用拟合方程 $F=a+b\times T+c\times T^2+d\times T^3+e\times T^4+f\times W$ 来描述。在培养条件下, 土壤中 N_2O 的释放总量大小依次为: 果园土>林地土>草地土, 果园土释放 N_2O 的总量分别比林地土和草地土的释放总量多 30%, 14%。土壤氮素形态与 N_2O 的释放量有一定关系, 但规律不明显。

关键词: 黄土丘陵区; 土地利用方式; N_2O 的释放潜力; 土壤水分含量; 土壤温度

Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau

QI Jinhua¹, HUANG Yimei^{1,*}, ZHANG Hong¹, AN Shaoshan^{2,3}

1 College of Resource and Environmental Science, Northwest A&F University, Key Laboratory for Agricultural Resources and Environmental Remediation in the Loess Plateau, Agriculture Ministry of China, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

3 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: Atmospheric concentrations of the greenhouse gas nitrous oxide (N_2O) have significantly increased since pre-industrial times owing to anthropogenic perturbation of the global nitrogen cycle. However, studies dealing with N_2O fluxes from different land-use types on hilly-gully loess plateau are still scarce. Different land use types (i. e. forest, grassland, arable land) may lead to different soil N_2O emissions. These soil emissions may be of significant importance for the composition of the atmosphere and it is of great importance to study the soil-atmospheric exchange of N_2O in these ecosystems to get reliable estimates of the soil greenhouse gas budgets in semiarid areas under different land-use types. We aimed to estimate the potential of soil net N_2O fluxes and the controlling factors for N_2O production. A laboratory incubation experiment was conducted to determine the effect of soil temperature and soil moisture on N_2O flux in forest, orchard and grassland on hilly-gully loess plateau. Forest ($109^\circ10'\text{E}$, $35^\circ05'\text{N}$), orchard ($107^\circ41'\text{E}$, $35^\circ14'\text{N}$) and grassland ($106^\circ27'\text{E}$, $36^\circ17'\text{N}$) sites were selected. The main characteristics of the soil at the depth of 0—5 cm are as follows: Soil

基金项目: 国家自然科学基金 (40971171); 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”; 西北农林科技大学国际科技合作基金资助项目 (A213021001)

收稿日期: 2010-08-19; 修订日期: 2011-04-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ymhuang1971@nwsuaf.edu.cn

organic matter was in the range of 12.4 to 44.8 g/kg, total nitrogen was between 1.05 to 2.27 g/kg, bulk density between 1.168 to 0.803 g/cm³ and pH value was between 8.88 to 9.04 in the three sites. At each site, twenty-four intact soil samples were collected in early spring 2010. Each sampling site was divided into six plots to obtain representative soil samples. Four intact soil cylinders per plot were collected from the uppermost mineral soil (0–5 cm from the top) using a PVC-cylinder (diameter: 7 cm, height: 5 cm). Undisturbed soil cores from each landuse type were incubated under 5 different moisture conditions: water content at wilting point (WW), natural water (NW), fracture capillary water (FCW), field water (FW) and saturated water (SW) content, which was in the range of 10.7 to 83.2% WFPS. Each water content was measured at 4 different soil temperature states (5, 15, 25 and 35°C) in the laboratory. Nitrous oxide fluxes of undisturbed soil cores were measured with the closed chamber technique and analysed by gas chromatography. Inorganic nitrogen, organic nitrogen and microbial nitrogen of soil samples were measured additionally. Our results showed that: soil N₂O emission rates were positively correlated to soil temperature ($r = 0.1599$, $P < 0.05$). Maximum N₂O production was measured at 35°C. Soil N₂O emissions was positively correlation with soil moisture content ($r = 0.2499$, $P < 0.0001$) until soil reached field capacity (FW). N₂O fluxes reached the maximum when soil moisture was close to FW, but N₂O fluxes declined sharply above FW. The soil N₂O emissions could be described by a polynomial equation: $F = a + b \times T + c \times T^2 + d \times T^3 + e \times T^4 + f \times W$, where F is the N₂O flux, T is soil temperature, W is soil moisture (WFPS%) and “a–f” are the regression parameters. N₂O production was highest in Orchard soil > forest land > grassland soil. In orchard soil 14% and 30% more N₂O was produced compared to forest and grassland soil. Soil nitrogen also influenced the soil N₂O flux, but there was no clear pattern.

Key Words: hilly-gully loess plateau; land use; N₂O emissions potential; soil moisture content; soil temperature

土壤是氧化亚氮(N₂O)重要的释放源,每年估计向大气释放 9.5TgN₂O-N,约占全球释放量的 65%^[1]。N₂O 在土壤和大气之间的净交换量取决于土壤中 N₂O 产生与消耗过程的瞬间动态平衡结果。土壤中产生 N₂O 的过程主要有好氧自养硝化和厌氧异养反硝化,另外还有异养硝化、好氧反硝化、真菌反硝化、硝化菌反硝化等微生物过程和化学反硝化过程,所有这些过程的一个重要基础是土壤有机物的矿化作用^[2]。土壤水分是影响 N₂O 产生的重要因素,它控制着土壤中的通气状况和氧气含量,从而影响土壤中硝化和反硝化的进行^[3-5]。土壤矿物氮和温度是影响 N₂O 产生的另外两个重要因素^[6-7]。而 N₂O 在土壤表层的扩散、挥发或被吸附等过程又与土壤温度、WFPS、降雨和其他的气象因素有关^[8]。因此,不同的气候和土地利用管理措施都将影响土壤中 N₂O 的净排放量^[2,9-10]。尽管国际上对温室气体的研究不断增加,我国对于农田 N₂O 的释放也有较系统的研究^[11],但是在全球范围内对于半干旱和干旱地区温室气体的研究还很缺乏^[12-13],在我国黄土丘陵区,有关 N₂O 的释放特点和影响因素的研究还很有限^[14-15]。因此,本文利用室内培养试验测定不同土地利用方式(林地、果园、草地)的土壤在不同水分、温度条件下释放 N₂O 的变化规律,同时测定土壤基本性质与主要氮素形态的变化。旨在探讨影响土壤和大气中 N₂O 动态变化的因素,为区域温室气体的估算、制定减缓全球变暖的管理措施以及土地利用结构的优化调整提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤样品分别采自陕西长武生态站 15a 的苹果园(Or);宁夏固原上黄退牧封禁 6a 的草地(Gr);陕西富县子午岭辽东栎群落林地(Fo)。3 个采样点的区域概况分别见参考文献^[15-17]。采集土样时,根据地形,运用“S”形布点法,在每种土地利用方式的田块中布设 24 个点,每个采样点均用体积为 192.33 cm³ 的 PVC 采样器采集 0–5 cm 原状土。在野外用塑料薄膜封闭,带回实验室保存在–20 °C,土壤容重采用 100 cm³ 环刀进行测定。3 种土壤的基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Basic physicochemical properties of tested soil

土样号 Soil sample No.	pH	电导率 EC/($\mu\text{S}/\text{cm}$)	容重 Bulk density /(g/cm^3)	速效氮 Available N /(mg/kg)	有机质 Organic matter /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	C/N
果园 Or	8.88 $\pm$ 0.10	171.8 $\pm$ 3.20	1.168 $\pm$ 0.01	23.35 $\pm$ 2.15	12.41 $\pm$ 0.44	1.05 $\pm$ 0.15	11.86 $\pm$ 0.92
草地 Gr	8.89 $\pm$ 0.09	164.2 $\pm$ 2.94	1.273 $\pm$ 0.02	10.92 $\pm$ 0.41	27.65 $\pm$ 1.36	1.90 $\pm$ 0.19	14.56 $\pm$ 1.34
林地 Fo	9.04 $\pm$ 0.08	135.7 $\pm$ 4.45	0.803 $\pm$ 0.02	31.96 $\pm$ 3.31	44.80 $\pm$ 3.04	2.27 $\pm$ 0.15	19.78 $\pm$ 1.86

1.2 试验方法

培养试验设 5 个水分梯度:将每一样地采集的 24 个原状土(内径 7 cm,高 5 cm 的环刀)留出 4 个做理化性质的分析,其余的 20 个分为 5 组,分别调节土壤含水量至各土壤的萎焉持水量(Wilting water; WW)、自然含水量(Natural water; NW)、毛细管断裂持水量(Fracture capillary water; FCW)、田间持水量(Field water; FW)、高含水量(Saturated water; SW)(接近饱和持水量),具体处理见表 2,每组 4 个重复。然后放入 500 mL 的塑料烧杯中,用塑封带封口,依次在 5、15、25、35 $^{\circ}\text{C}$ 下进行密闭培养 24 h 后采集气体样品。气体样品每次以加石英砂的环刀为对照。采集时,用注射器从培养烧杯上部空间取 2 mL 气体样品,用于测定 N_2O 浓度。每个培养温度下采完气样后,打开封口,使烧杯内部与外界进行气压平衡,并根据环刀总重量补充损失的水分,平衡 1 d 后,再进行下一个温度的培养和气体采集,温度按设定值依次升高。气体样品是 4 个温度梯度和 5 个水分梯度下采集的,共 20 个处理,每个处理 4 个重复。土壤中的氮素形态,初始值由 4 个留出的环刀土样测定,最终值是由调节水分梯度后的 5 个处理土样测定而得,每个处理也是 4 个重复。

表 2 培养实验的水分设置
Table 2 Water Set of the Culture experiment

土样类型 Soil sample utilization	萎焉持水量 Wilting water /WFPS%	自然状态下含水量 Natural water) /WFPS%	毛细管断裂持水量 Fracture capillary water /WFPS%	田间持水量 Field water /WFPS%	饱和持水量 Saturated water /WFPS%
果园	22.17	31.03	38.27	58.89	73.89
草地	10.67	19.9	29.15	44.84	59.79
林地	17.21	28.97	41.02	63.11	83.19

1.3 气体的测定及排放通量的计算

N_2O 用美国 Varian 产 GC3800 气相色谱仪测定,检测器为 ECD(^{63}Ni),柱内填充料为 Porapak Q14(80/100 目),载气为 99.9999% 高纯氮气,流速为 60 mL/min。检测器、色谱柱和进样口温度分别为 350、60、100 $^{\circ}\text{C}$ 。标准气体为北京产 9.6 mL/L N_2O ,校正气体为瑞典产 328.2 $\mu\text{L}/\text{L}$ 标准气体。气相色谱测定 N_2O 的变异系数小于 5%。

N_2O 通量计算公式为:

$$F(\mu\text{gNm}^{-2}\text{h}^{-1}) = \frac{dC_t}{dt} \times \frac{V_0}{A} \tag{1}$$

式中, dC/dt 为培养器内气体浓度随时间的变化率,单位为 $\mu\text{g N m}^{-3} \text{h}^{-1}$ 。

$$dC = Cmt - Cmo \quad Cmt(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{Cv \times M \times b}{22.4} \tag{2}$$

式中, Cv 为色谱直接测定出的浓度值,单位为 $\mu\text{L}/\text{m}^3$; M 为 N_2O 的摩尔质量,取 44 g; b 为将 N_2O 换算为 N 所乘系数,即 28/44。 Cmt 为各原状土在不同温度下释放的 N_2O 的浓度,单位为 $\mu\text{g N m}^{-3}$; Cm_0 为石英砂(空白)释放的 N_2O 的浓度,单位与计算方式同 Cmt ,只是 Cv 为空白样品测定所得; dt 为从培养开始到采气经历的时间 h; V_0 为标准状况下的采样体积,单位为 m^3 。

计算公式为:

$$V_0 = Vt \frac{273}{273 + T} \times \frac{P}{101.325} \tag{3}$$

式中, V_t 为培养器中除去环刀的体积, m^3 ; T 为采气时温度, 即培养温度, $^{\circ}\text{C}$; P 为采气时大气压力, Pa ; A 为环刀横截面积, m^2 。

$$\text{N}_2\text{O 通量的温度变化率}(\%) = \frac{F_{(T2)} - F_{(T1)}}{F_{(T1)}} \times 100 \quad (4)$$

式中, $F_{(T2)}$ 和 $F_{(T1)}$ 分别代表两个培养温度下 N_2O 的通量。

$$\text{N}_2\text{O 通量的水分变化率}(\%) = \frac{F_{(W2)} - F_{(W1)}}{F_{(W1)}} \times 100 \quad (5)$$

式中, $F_{(W2)}$ 和 $F_{(W1)}$ 分别代表两个土壤水分条件下 N_2O 的通量。

1.4 土壤中各种形态氮素含量和基本理化性状的分析

氨态氮、硝态氮和亚硝态氮:称取新鲜的土壤样品 5 g, 用 50 mL 的 1 mol/L KCl 溶液浸提, 浸提液用连续流动分析仪测定。微生物量氮:采用氯仿熏蒸, 硫酸钾浸提, 碱性过硫酸钾氧化, 紫外分光光度法测定^[18]。有机氮和土壤其他理化性质采用常规方法。

1.5 数据处理方法

试验数据采用 Excel, SAS8.0 和 DataFit 8.0 软件处理。

2 结果分析

2.1 温度对 N_2O 通量的影响

在 3 种土壤的培养过程中, N_2O 通量的总趋势都是随着温度的增加而增大(图 1), 均在 35°C 时达到最大; 25°C 和 35°C 释放的 N_2O 在总释放量中占很大比例, 果园, 草地, 林地土壤在这两个温度下释放的 N_2O 分别占各土样总释放量的 81.5%、76%、96.8%。

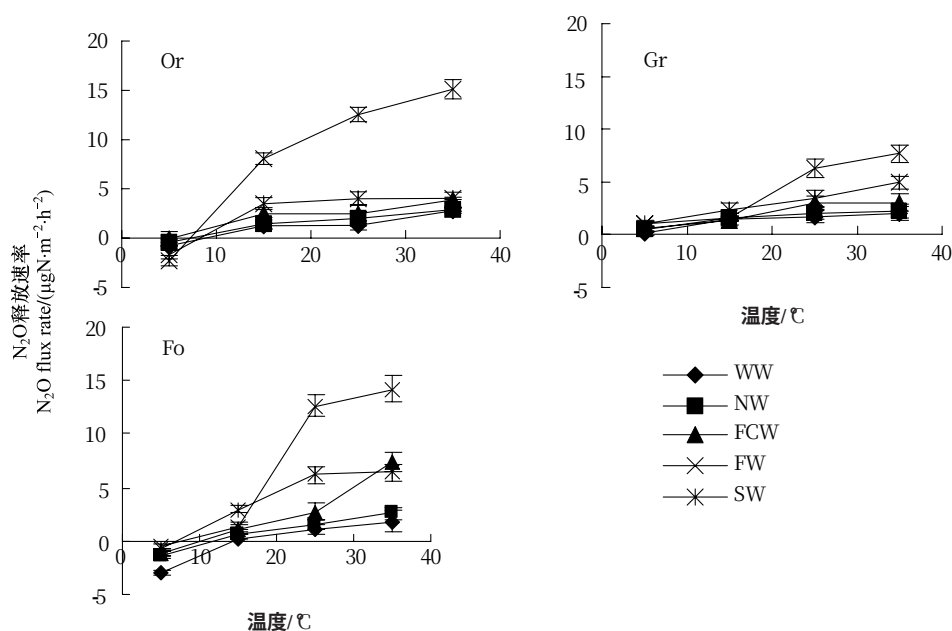


图 1 3 种土壤中 N_2O 通量在不同水分条件下随温度的变化

Fig. 1 Change of N_2O fluxes with soil temperatures under different water conditions in three soil samples

另外, N_2O 通量在不同温度范围的变化率也不同(表 3), 总体上各土样 N_2O 通量的温度变化率均是在 $25\text{—}35^{\circ}\text{C}$ 范围内最小; 温度变化率较大的范围在各土样中略有不同: 果园土和草地土都出现在 $5\text{—}15^{\circ}\text{C}$, 单位温度下 N_2O 通量的平均增长率分别为初始值的 12.02 和 3.69 倍; 而林地土出现在 $15\text{—}25^{\circ}\text{C}$, 平均增长率为 12.24 倍。在培养温度范围内, N_2O 通量随温度的最大变化率总体上分布于土壤水分为 FW 时, 其次为 FCW 时, 在 SW 和 NW 时变化率最小。林地土 N_2O 通量随温度变化率最大, 果园土次之, 草地土最小。

表3 不同水分条件下3种土样中N₂O通量的温度变化率/%

Table 3 The change rate of N₂O fluxes with temperatures under different water conditions in three soil samples

水分含量 Water range	温度范围 Temperature range								
	5—15 ℃			15—25 ℃			25—35 ℃		
	果园	草地	林地	果园	草地	林地	果园	草地	林地
WW	265.40	1320.02	105.92	1.80	18.29	330.28	114.41	17.40	84.31
NW	442.41	212.33	141.85	36.06	28.24	138.12	45.54	10.10	70.25
FCW	4543.10	122.80	192.94	0.66	129.70	355.60	55.33	1.10	171.70
FW	452.60	62.70	328.77	55.30	284.50	5191.00	20.40	23.30	12.20
SW	309.40	127.50	499.40	14.40	50.40	107.50	0.60	43.00	4.00

2.2 水分对N₂O通量的影响

土壤水分由WW到FW的范围内,3种土壤N₂O的通量总体上都是随着土壤水分的增加而增大(图1),到FW时达到最大,超过时急剧减小。果园、草地、林地土壤在SW和FW释放的N₂O分别占各土样总释放量的69.3%、59.1%、77.3%。

各土样N₂O通量的水分变化率均是在由FW到SW时最小(表4),为负值;在由FCW到FW时最大;而由WW到NW变化时,增幅最小。果园土和林地土的N₂O通量随水分的最大变化率都在FCW到FW的范围内,且都分布在25℃,变化率分别为:402.5%和362.3%。

表4 在不同温度下3种土壤N₂O通量的水分变化率

Table 4 The change rate of N₂O fluxes with soil moistures under different temperatures in three soil samples

温度 Temperature /℃	萎焉持水量到自然状态 持水量 WW to NW/%			自然状态持水量到毛细 管断裂持水量 NW to FCW/5			毛细管断裂持水量到田 间持水量 FCW to FW /%			田间持水量到饱和 持水量 FW to SW/%		
	果园	草地	林地	果园	草地	林地	果园	草地	林地	果园	草地	林地
5	44.4	392.4	62.1	86.9	15.9	23.4	103.5	69.8	53.0	26.9	1.7	-37.5
15	15.1	8.3	167.9	69.9	-17.3	70.0	225.6	24.0	15.6	-56.6	42.2	140.0
25	53.8	17.4	48.3	25.7	48.1	82.5	402.5	107.6	362.3	-68.0	-44.4	-51.3
35	4.4	10.1	37.0	34.2	36.0	191.2	289.5	153.1	91.0	-73.3	-35.5	-54.8

2.3 温度与水分对N₂O通量的交互作用

在培养试验的温度范围内,3种土壤N₂O的通量均随温度的升高而增大,在土壤水分低于FW时,随水分含量的增大而增加;最大值均出现在FW,35℃时。采用DataFit8.0软件,拟合土壤温度和水分对N₂O通量的共同影响作用,如图2所示。对于果园土,各温度下N₂O的通量在FW时远高于同温度下其他含水量时的响应值。林地土N₂O的通量,只有在15℃以后,FW时才远高于同温度下其他含水量时的值。草地土各温度下N₂O的通量在FW时只是略高于其他含水量时的对应值。在水分和温度的交互作用下,果园土和林地土N₂O的通量在5℃、WW时均出现了负值,即出现了吸收N₂O的现象;而草地土并未出现此现象。

经过拟合对比发现,3种土壤中,N₂O通量与土壤温度和水分的关系均可用以下方程来描述,具体方程系数见表5。

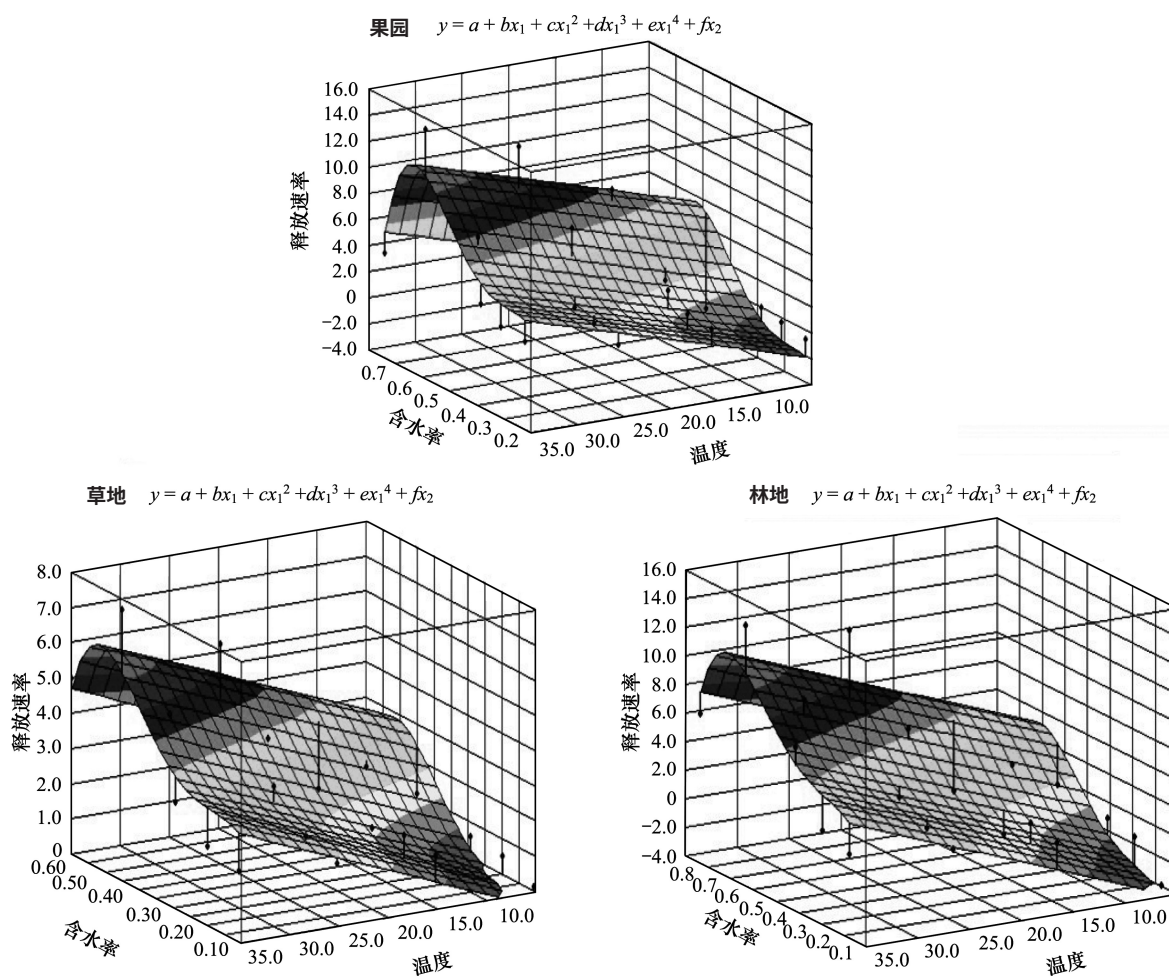
表5 方程系数值

Table 5 Equation coefficients

土样 Soil sample	a	b	c	d	e	f	R ²
果园	-25.33	267.79	-1170.45	2173.88	-1383.17	0.21	0.71
草地	-3.70	50.66	-320.69	852.68	-732.39	0.12	0.78
林地	-13.72	91.88	-376.14	687.41	-417.91	0.28	0.77

$$F = a + b \times T + c \times T^2 + d \times T^3 + e \times T^4 + f \times W$$

式中,F表示N₂O的通量,单位同前;T为土壤温度,℃;W为水分含量,WFPS(%)。

图2 土壤水分和温度对 N_2O 释放速率的共同影响Fig. 2 Coeffects of soil water and temperature on N_2O flux

3 种土壤样品在培养过程中, N_2O 的通量均与土壤含水率极显著相关($r=0.2499$, $P<0.0001$), 与土壤温度显著相关($r=0.1599$, $P<0.05$)。其中, 林地土样中 N_2O 的通量与温度和水分的相关系数分别为: 0.2673、0.3667; 草地土样中的相关系数分别为: 0.1965、0.2631; 苹果园土样中的相关系数分别为: 0.2012、0.3661。

2.4 不同土地利用方式下土壤 N_2O 通量的特征

3 种土样在不同含水量下, 经过从 5 °C 到 35 °C 4 个温度梯度的培养, N_2O 的释放总量均为正值(图 3)。3 种土样释放 N_2O 总量的大小顺序为: 果园土 > 林地土 > 草地土, 果园土释放 N_2O 的总量分别比林地土和草地土的释放总量多 12%、30%。在含水量为 WW 和 NW 时, 草地土和果园土释放的 N_2O 总量差别不大, 都明显高于林地土, 林地土释放总量在土壤 WW 时几乎为 0; 在含水量为 FW 时, 3 种土样释放 N_2O 总量差别较大, 果园土 > 林地土 > 草地土, 且果园土 N_2O 的释放总量分别为草地土和林地土的 2.02 和 1.21 倍; 土壤含水量为 SW 时, N_2O 释放总量为林地土 > 草地土 > 果园土。

2.5 培养结束后土样中各种氮素形态的含量及其与 N_2O 通量的关系

培养结束后土样中各种氮素的含量及它们分别在同一水分条件下的不同土样之间和同一土样的不同水分条件下的差异显著性分析如表 6 所示。

在各种水分条件下, 草地土壤中的铵态氮含量都明显高于林地土和果园土; 林地土和果园土中的铵态氮含量总体上没有显著差别($P<0.05$, $n=4$), 只在含水量为 NW 时, 果园土中的铵态氮含量明显小于林地土。果园土中铵态氮含量随水分条件表现为: FW > FCW > 其余 3 个水分条件; 林地土中铵态氮含量在 WW 时显著

低于其他水分条件,其他水分条件下差别不显著;草地土中铵态氮含量在不同水分条件下没有显著差异。

在各种水分条件下,果园土中的硝态氮含量都明显高于草地土;且除了在 WW 外,果园土中的硝态氮含量也显著高于林地土;而在 WW、NW 和 SW 水分条件下,林地土中硝态氮含量又显著高于草地土。果园土和草地土中硝态氮含量在水分达到 FW 之前,有随着水分含量增加而增大的趋势,都表现为 FW>FCW>或≥NW、WW 和 SW;林地土中硝态氮含量除在水分含量为 WW 时显著较高外,在其余水分条件下无差别不大。

林地土中亚硝态氮的含量在各种水分条件下都显著高于草地土和果园土 ($P<0.05$, $n=4$);草地土和果园土中差别不大。亚硝态氮含量在 3 种土壤中随水分含量的变化规律不同:果园土中无明显规律,WW 和 SW>FW 和 FCW>NW;林地土中随水分含量的增加明显增大,到 FCW 时达到最大,超过后又迅速减小;草地土中,SW>FW≈FCW≈NW>WW。

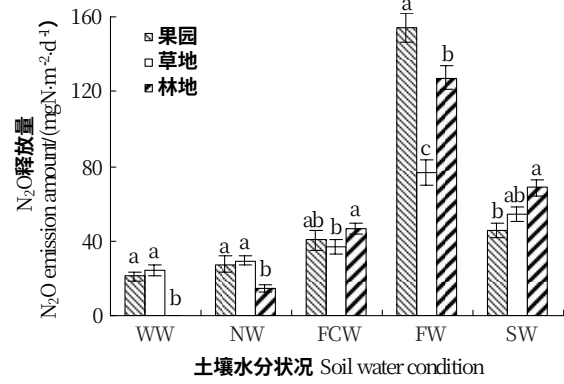


图 3 3 种土样在不同水分条件下经过四个温度培养所释放 N₂O 的总量

Fig. 3 The total N₂O fluxes during four incubation temperatures under different water conditions in three soil samples

字母相同的表示差异不显著,字母不同的表示差异显著;差异的显著性水平为 5%

表 6 培养试验后,土壤中各种形态氮素的含量

Table 6 The contents of different nitrogen in the soil samples after incubation

土样 Soil sample	WFPS	NH ₄ -N /(mg/kg)	NO ₃ -N /(mg/kg)	NO ₂ -N /(mg/kg)	微生物氮 N _{mic} /(mg/kg)	有机氮 Org-N /(g/kg)
果园 Or	WW	3.08±0.75bAB	14.82±4.53aB	0.80±0.71bA	60.7±23.7cAB	1.04±0.03bA
	NW	2.52±0.54cAB	14.81±5.27aB	0.46±0.15bB	61.3±14.4bB	1.07±0.05bA
	FCW	2.46±0.58bB	27.40±15.54aAB	0.65±0.02bAB	61.3±15.1bB	1.05±0.02bA
	FW	6.44±4.98bA	38.96±19.64aA	0.72±0.15bAB	90.9±45.6bAB	1.02±0.04cA
	SW	3.77±1.25bAB	17.88±7.91aB	0.86±0.03bA	110.3±31.3bA	1.01±0.04bA
林地 Fo	WW	2.75±0.29bB	18.88±4.89aA	2.41±0.46aC	170.9±38.4aB	1.92±0.10abA
	NW	5.20±0.63bA	10.67±3.66abB	3.18±1.21aBC	173.5±50.5aB	2.01±0.21aA
	FCW	4.74±0.92bA	9.89±4.12bB	5.55±1.16aA	178.4±36.9aB	1.85±0.14aA
	FW	4.74±1.72bA	11.39±2.23bB	4.27±1.59aAB	291.1±76.2aA	1.89±0.13bA
	SW	6.37±1.18bA	9.85±2.84abB	2.48±0.67aBC	199.7±30.1aB	1.88±0.11aA
草地 Gr	WW	15.54±2.66aA	4.22±1.21bB	0.61±0.21bB	124.2±17.1bB	2.39±0.96aA
	NW	18.16±1.13aA	6.21±1.94bAB	1.13±0.28bAB	126.8±46.8abB	2.26±0.42aA
	FCW	18.62±2.21aA	5.04±0.98bAB	0.93±0.25bAB	147.8±46.6aB	1.91±0.29aA
	FW	18.81±2.84aA	7.36±2.53bA	0.91±0.06bAB	217.5±42.3aA	2.22±0.28aA
	SW	17.75±3.21aA	3.51±1.41bB	1.32±0.58bA	149.9±32.1abB	1.67±0.17aA

小写字母是不同土样同一水分梯度的显著性差异,大写字母是同一土样不同水分梯度的显著性差异,字母相同的表示差异不显著,字母不同的表示差异显著;差异的显著性水平均为 5%

土壤微生物量氮的含量在 WW、NW 和 SW 水分条件下,表现为林地土>草地土>果园土;而在 FW 和 FCW 条件下,表现为林地土和草地土显著大于果园土。在果园土中,微生物量氮总体上随着土壤含水量的增大而增加,SW 时达最大值;而在林地土和草地土中,微生物量氮含量都随着土壤含水量的增加而增大,到 FW 时达最大,超过后显著减小。

土壤有机氮的含量在 WW 和 FW 时,表现为:草地土>林地土>果园土;而在 NW、FCW 和 SW 时,表现为草地土和林地土显著高于果园土;3 种土样中,有机氮含量随土壤含水量的变化不显著。

土壤中 N_2O 的通量与土壤有机氮、全氮含量有负相关关系,其余都表现为正相关关系,其中与微生物量氮和硝态氮的相关性较大,与铵态氮的相关性最小,但相关性都没有达到显著水平。另外,果园土和草地土壤中 N_2O 的通量与全氮显著相关,相关系数分别为-0.2282 和-0.2623。

3 讨论

以往关于温度对氧化亚氮的影响研究,都是将相同的土样分别置于不同的温度条件下进行培养测定的。我们为了更好地模拟自然环境条件下一定采样点下的土壤随四季温度的变化,采取了同一土样在同一水分条件下依次在递增的温度条件下培养的方法,研究土壤释放 N_2O 释放速率的变化。这种方法较好地模拟了自然环境中升温条件下的状况,如从冬季到夏季,而且不会过高估计土壤中 N_2O 的释放速率。但是缺陷有两个:一是不能代表降温或突变的状况,如从夏季到冬季或温度不稳定时的状况;这有待于进一步研究。另外一个缺陷是同一土样在不同温度条件下依次培养时,土样中的基质由于在较低温度培养时,已经转化或消耗,当升至较高温度时,基质可能不同于最初状况,所以,氧化亚氮的释放速率会受到影响。与白红英等人采用分别独立培养方法所得结果^[12,14]相比,测定的 N_2O 通量及其温度和水分变化率的值都比较小,原因之一就是可能是因为土样中的基质在较低温度培养时已经转化或消耗;另外,也可能与试验土样不同有关,他们采用的是农田土壤。但 N_2O 释放速率随着培养温度的升高而增大的趋势和规律是一样的。将果园土在培养过程中的测定结果与 Pang 等在 2007 年 9 月到 2008 年 1 月(降温过程)对施肥前的果园进行的实地测定结果相比^[15],测定结果略微偏低,可能与培养时采用了从低温到高温的升温方式,而他们实际测定时却是从高温(9 月)到低温(1 月)的降温状况有关;也有可能只测定了 0—5 cm 表层土有关,或者与模拟采样的时间太短有关。草地土的结果与 Wolf 等的实地测定^[4]相差不大,通量大部分都在 0—5 $\mu gNm^{-2}h^{-1}$ 的范围。林地结果与刘实等人的 7.32—12.3 $\mu gNm^{-2}h^{-1}^[19]也相差不大。总之,采用这种培养方法的优缺点及可行性还有待进一步研究。$

从本实验结果可以看出,影响土壤中 N_2O 通量的首先是土壤温度。3 种土样 N_2O 通量的总趋势都是随着温度的增加而增大,且均在 35 $^{\circ}C$ 时达最大;各土样在 25 $^{\circ}C$ 和 35 $^{\circ}C$ 释放的 N_2O 占总释放量的比例很大。这是因为土壤温度不仅影响着土壤中有机质分解和微生物活性,还强烈影响土壤中 N_2O 传输速率的物理化学参数。研究发现,硝化菌和反硝化菌最适生长的温度在 25—35 $^{\circ}C$ 之间,如果不存在其它环境因素的限制,在一定的温度范围内,其生长代谢能力随温度上升而增强。在适宜温度范围内,增温可提高农田土壤硝化和反硝化菌活性及增强 N_2O 热扩散作用,促进土壤中 N_2O 的排放^[7]。陈书涛等发现旱地农田标准化 N_2O 排放量与土壤温度呈显著指数相关,其温度系数 Q 值为 2.5^[9]。本试验中 N_2O 通量随温度的变化都有一个增幅显著的区域,这与雒新萍等的研究结果一致^[20],由于本试验中温度梯度较少,不够连续,且培养时间较短,所以这点还有待于进一步研究。

其次,影响土壤中 N_2O 通量的是土壤水分。3 种土样 N_2O 通量的总趋势都是随着土壤水分的增加而增大,到 FW 时达到最大,超过时(SW), N_2O 通量会急剧的减小;在各水分含量下,SW 和 FW 释放的 N_2O 占很大比例。这一结果也与许多农田土壤的研究结果^[5]一致。原因是 N_2O 在空气中的扩散速率是其在水中扩散速率的 10^4 倍^[21],水分饱和时过多的水分在土壤颗粒表面形成较厚的水膜,不仅影响到反硝化产物中 N_2O 的产生量,而且影响到生成的 N_2O 在土壤中的气体扩散。

在水分和温度的交互作用下,3 种土样 N_2O 的通量都与含水率极显著正相关,这与 Wolf 等的研究一致^[4]。果园土和林地土 N_2O 的通量在 5 $^{\circ}C$ 、WW 时均出现了负值,即出现了吸收 N_2O 的现象,这与 Bai H Y 等人发现的风干土存在吸收 N_2O 的现象一致^[6]。 N_2O 通量的最大值在 3 种土样中均出现在土壤 FW 和 35 $^{\circ}C$ 时,是因为较高的土壤水分含量和较高的温度有利于土壤微生物活动,提高了土壤微生物的活性,为土壤反硝化作用提供了条件。

另外,不同的土地利用方式下的土壤对 N_2O 通量也有影响;不同土壤的 N_2O 通量增幅显著的温度区域不同;3 种土样释放 N_2O 的总量大小顺序为:果园土>林地土>草地土,果园土释放 N_2O 的总量分别比林地土和草地土的释放总量多 12%、30%,这与林杉等^[22]的研究结果一致,可能是由于果园土施肥量较大的缘故。对

于草地土, N_2O 通量随温度变化比较小, 而果园土和林地土的 N_2O 通量随温度变化比较大。 N_2O 的产生和排放受到许多因子影响, 具有高度空间变异性, 土壤中各种影响因子总和只占其总变异的 30% 左右^[23], 其它变异则来源于土壤各种影响因子的相互作用以及由此而引起土壤剖面中物理、化学及生物学性质的变化。不同的土地利用方式, 其上生长的作物不同, 根系活动显著影响土壤中硝化和反硝化微生物的活动, 改变微生物活动的土壤生态环境^[24], 同时影响土壤 N_2O 的排放。草地土壤未出现吸收 N_2O 的现象, 就可能与草地土壤的理化性质、作物根系的影响有关, 由于水分蒸发速度、反应产物传输所需能量及生化反应速率变化的差异性, 从而使草地土 N_2O 排放机理有别于果园土和林地土。

土样的氮素形态对 N_2O 的排放也有影响, 但规律不是很明显。我们发现 N_2O 通量与土样中微生物量氮和硝态氮有较大的正相关关系, 只是相关性不显著; 与铵态氮的相关性最小。林杉等人也发现菜地与果园的 N_2O 的排放与土壤硝态氮的相关性并不显著; 不同土地利用方式下 N_2O 的排放与土壤铵态氮浓度没有表现出相关关系^[22]。但是, Pang 等发现果园土中 N_2O 通量与土壤硝态氮显著正相关^[15]; Wolf 等发现内蒙大草原草地中 N_2O 通量与微生物量氮呈极显著正相关关系^[4]。

4 结论

(1) 3 种土地利用方式下土壤 N_2O 通量都与土壤温度显著正相关; 随着土壤水分的增加而呈对数增大; 最大值均出现在 FW, 35℃ 时。 N_2O 通量与温度、水分的关系均可用方程 $F = a + b \times T + c \times T^2 + d \times T^3 + e \times T^4 + f \times W$ 来描述。果园土和林地土 N_2O 通量在 5℃、WW 时均出现了负值, 即出现了吸收 N_2O 的现象。 N_2O 通量温度变化率较大的温度范围为 5—15℃。

(2) 在培养过程中, N_2O 的释放总量大小顺序为: 果园土 > 林地土 > 草地土, 果园土释放 N_2O 的总量分别比林地土和草地土的释放总量多 12%, 30%。果园土和草地土中 N_2O 通量随温度变化比较小, 而林地土随温度变化比较大。果园, 草地, 林地土壤在 25℃ 和 35℃ 释放的 N_2O 量分别占各土样在培养条件下总释放量的 81.5%、76%、96.8%。果园, 草地, 林地土壤在 SW 和 FW 释放的 N_2O 分别占各土样总释放量的 69.3%、59.1%、77.3%。

(3) 土样的氮素形态对 N_2O 的排放也有影响, 规律不明显。

References:

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group to the Third Assessment Report of the Intergovernmental, Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [2] Flechard C R, Ambus P, Skiba U, Rees R M, Hensen A, van Amstel V, van den Pol-Van Dasselaar A, Soussana J F, Jones M, Clifton-Brown J, Raschi A, Horvath L, Neftel A, Jocher M, Ammann C, Lerfeld J, Fuhrer J, Calanca P, Thalman E, Pilegaard K, Di Marco C, Campbell C, Nemitz E, Hargreaves K J, Levy P E, Ball B C, Jones S K, van de Bulk W C M, Groot T, Blom M, Domingues R, Kasper G, Allard V, Ceschia E, Cellier P, Laville P, Henault C, Bizouard F, Abdalla M, Williams M, Baronti S, Berretti F, Grosz B. Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2007, 121(1/2): 135-152.
- [3] Smith K A, Ball T, Conen, F, Dobbie K E, Massheder J, Rey A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, 2003, 5(4): 779-791.
- [4] Wolf B, Zheng X H, Brüggemann N, Chen W W, Dannenmann M, Han X G, Sutton M A, Wu H H, Yao Z S, Butterbach-Bahl K. Grazing-induced reduction of natural nitrous oxide release from continental steppe. *Nature*, 2010, 464(7290): 881-884.
- [5] Lu L, Bai H Y, Luo X P, Ding Q, Mu G H, Sun H. Moisture effects and the kinetics of N_2O flux from loessial soil. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(3): 569-576.
- [6] Bai H Y, Han J G, Zhang Y P. Mechanism of N_2O emission relying on humidity and temperature form soil. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(6): 724-726.
- [7] Liang D L, Fang R Y, Li S X, Emteryd O, Zhang X C. Effects of nitrogen types on N_2O emissions of dry-land soil. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(1): 67-72.
- [8] Clough T J, Sherlock R R, Rolston D E. A review of the movement and fate of N_2O in the subsoil. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, 2005, 72(1): 3-11.

- [9] Chen S T, Huang Y, Zheng X H, Chen Y Q. Nitrous oxide emission from cropland and its driving factors under different crop rotations. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(10): 2053-2060.
- [10] Lilly A, Ball BC, McTaggart I P, DeGroot J. Spatial modeling of nitrous oxide emissions at the national scale using soil, climate and land use information. *Global Change Biology*, 2009, 15(9): 2321-2332.
- [11] Gu J X, Zheng X H, Wang Y H, Ding W X, Zhu B, Chen X, Wang Y Y, Zhao Z C, Shi Y, Zhu J G. Regulatory effects of soil properties on background N_2O emissions from agricultural soils in China. *Plant and Soil*, 2007, 295(1/2): 53-65.
- [12] Galbally I E, Kirstine W V, Meyer C P, Wang Y P. Soil-atmosphere trace gas exchange in semiarid and arid zones. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(2): 599-607.
- [13] Barton L, Kiese R, Gatter D, Butterbach-Bahl K, Buck R, Hinz C, Murphy D V. Nitrous oxide emissions from a cropped soil in a semi-arid climate. *Global Change Biology*, 2008, 14(1): 177-192.
- [14] Bai H Y, Zhang Y P. Emission characteristic in field soil of northwest region. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(5): 561-564.
- [15] Pang J Z, Wang X K, Mu Y J, Ouyang Z Y, Liu W Z. Nitrous oxide emissions from an apple orchard soil in the semiarid Loess Plateau of China. *Biology and Fertility of Soils*, 2009, 46(1): 37-44.
- [16] An S S, Huang Y M. Study on the ameliorate benefits of caragana korshinskii shrubwood to soil properties in Loess Hilly Area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(1): 70-74.
- [17] Lu C H, Zheng F L. Evaluation of soil quality during vegetation restoration in the Ziwoing Area of loess plateau. *Science of Soil and Water Conservation*, 2009, 7(3): 12-18.
- [18] Huang Y M, An S S, Xue H. Responses of soil microbial biomass C and N and respiratory quotient ($q\text{CO}_2$) to revegetation on the Loess Hilly-Gully region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 2811-2818.
- [19] Liu S, Wang C K, Xu F. Soil effluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide during non-growing season for four temperate forests in northeastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4075-4084.
- [20] Luo X P, Bai H Y, Lu L, Li X X, Zhang Q Y. The effect of temperature and moisture on N_2O flux kinetics from loessial soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1226-1233.
- [21] Davidson E A. Sources of nitric oxide and nitrous oxide following wetting of dry soil. *Soil Science Society of America-Abstract*, 1991, 56(1): 95-102.
- [22] Lin S, Feng M L, Ruan L L, Hu R G, Peng Y X, Xiao H Y, Lu L. Soil N_2O flux and its affecting factors under different land use patterns in three Gorges Reservoir area of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 1269-1276.
- [23] Matson P A, Volkman C, Coplinger K, Reiners W A. Annual nitrous oxide flux and soil nitrogen characteristics in sagebrush steppe ecosystems. *Biogeochemistry*, 1991, 14(1): 1-12.
- [24] Zou G Y, Zhang F S. Denitrification in rhizosphere and N_2O emission. *Journal of China Agricultural University*, 2002, 7(1): 77-82.

参考文献:

- [5] 路莉, 白红英, 雒新萍, 丁琦, 母国宏, 孙华. 黄绵土 N_2O 排放的水分效应及动力学特征. *环境科学学报*, 2009, 29(3): 569-576.
- [6] 白红英, 韩建刚, 张一平. 农田温室气体 N_2O 释放的水热效应机理初探. *农业环境科学学报*, 2003, 22(6): 724-726.
- [7] 梁东丽, 方日尧, 李生秀, Emteryd O, 张兴昌. 硝、铵态氮肥对旱地土壤氧化亚氮排放的影响. *干旱地区农业研究*. 2007, 25(1): 67-72.
- [14] 白红英, 张一平. 西北地区旱田耕层土壤 N_2O 排放特征的研究. *农业环境科学学报*, 2003, 22(5): 561-564.
- [16] 安韶山, 黄懿梅. 黄土丘陵区柠条林改良土壤作用的研究. *林业科学*, 2006, 42(1): 70-74.
- [17] 吕春花, 郑粉莉. 黄土高原子午岭地区植被恢复过程中的土壤质量评价. *中国水土保持科学*, 2009, 7(3): 12-18.
- [18] 黄懿梅, 安韶山², 薛虹¹. 黄土丘陵区草地土壤微生物 C、N 及呼吸熵对植被恢复的响应. *生态学报*, 2009, 29(6): 2811-2818.
- [19] 刘实, 王传宽, 许飞. 4 种温带森林非生长季土壤二氧化碳、甲烷和氧化亚氮通量. *生态学报*, 2010, 30(15): 4075-4084.
- [20] 雒新萍, 白红英, 路莉, 李西祥, 张清雨. 黄绵土 N_2O 排放的温度效应及其动力学特征. *生态学报*, 2009, 29(3): 1226-1233.
- [22] 林杉, 冯明磊, 阮雷雷, 胡荣桂, 彭业轩, 肖宏宇, 卢兰. 三峡库区不同土地利用方式下土壤氧化亚氮排放及其影响因素. *应用生态学报*, 2008, 19(6): 1269-1276.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元