

温度和土壤含水量对温带森林土壤温室气体排放的影响

刘硕¹, 李玉娥^{1*}, 孙晓涵^{2,3}, 万运帆¹, 高清竹¹, 秦晓波¹, 马欣¹

1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 北京林业大学水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083;
3. 山东省莱州市水务局, 山东 莱州 261400

摘要: 全球温带森林土壤是影响陆地主要温室气体——二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)的重要源和汇, 土壤温湿度的交互作用是影响温室气体吸收与释放的重要影响因素, 但目前针对温带森林土壤的温湿度变化对温室气体的影响研究甚少。本研究用自动控制温湿度的人工气候箱模拟不同温度(5、10、15℃)和土壤水分含量(最大田间持水量的20%、40%、60%、80%)环境, 比较研究3种我国温带典型森林土壤CO₂、N₂O、CH₄的通气动态变化及其综合增温潜势(GWP)。结果表明: 温度和土壤含水量增加会导致3种森林土壤的CO₂和N₂O表现为排放源、CH₄为弱吸收汇。其中, 阔叶林和针叶林土壤CO₂排放通量变化幅度相近, 针阔混交林的排放通量波动范围较小于二者; 针阔混交林和阔叶林土壤的N₂O排放通量变化幅度相近, 而针叶林土壤的排放通量波动范围明显高于二者; 阔叶林土壤CH₄吸收通量随温度和土壤含水量增加的幅度较其他2种林型显著。3种林型土壤GWP受温度和土壤含水量影响的敏感性由高到低依次为阔叶林>针叶林>针阔混交林。

关键词: 温度; 土壤含水量; 温带森林土壤; 温室气体

中图分类号: X144

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906(2013)07-1093-06

引用格式: 刘硕, 李玉娥, 孙晓涵, 万运帆, 高清竹, 秦晓波, 马欣. 温度和土壤含水量对温带森林土壤温室气体排放的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1093-1098.

LIU Shuo, LI Yu'e, SUN Xiaohan, WAN Yunfan, GAO Qingzhu, QIN Xiaobo, MA Xin. Effects of temperature and soil moisture on greenhouse gases emission of temperate forest soil [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1093-1098.

全球气候变暖已成为人类面临的最严峻的环境问题, 二氧化碳(CO₂)、氧化亚氮(N₂O)和甲烷(CH₄)等温室气体排放量的增加所引起的温室效应是全球变暖的主要促动因素^[1]。因此, 这3种温室气体的排放规律研究成为全球气候变化研究的热点问题。土壤圈层是大气温室气体的重要源和汇, 据估计, 大气中每年净释放量有80%~90%的N₂O和30%的CH₄来源于土壤和土地利用方式的改变等过程^[2]。森林生态系统是陆地生态系统碳的主要储存库, 森林土壤的碳储量约占全球土壤有机碳的73%^[3], 因此, 它是影响全球温室气体排放量变化的重要组成部分。研究表明, 森林土壤的温室气体排放变化主要决定于其所属气候带温度和湿度差异, 通过二者交互作用影响土壤微生物活动和土壤呼吸等物理化学过程, 从而改变温室气体释放^[4]。通常认为, 水分充足时, 温度是主要限制因子, 而水分不足时, 湿度和温度共同影响森林土壤的温室气体排放^[5]。受雨热同期影响, 温带地区的温度和湿度变化剧烈, 这会影

响该气候带内的森林土壤温室气体排放, 从而影响区域碳循环过程^[6-7]。因此, 研究该气候带森林土壤温室气体排放特性具有重要意义。

以往研究主要利用野外原位观测森林土壤不同时期温室气体排放规律, 例如, 杜睿等^[8]在暖温带森林生长期选择不同类型的森林土壤进行了温室气体排放规律的野外原位观测, 孙向阳等^[5]对温带未成林造林地、已郁闭幼林地和成林地土壤CO₂的排放规律进行了原位研究。但受野外试验条件局限, 温度和土壤含水量不同梯度交互作用对森林土壤温室气体排放的影响研究尚鲜有报道。本研究采用室内模拟控制的方式, 分析不同温度和土壤含水量对我国温带3种典型森林土壤温室气体排放的影响, 以进一步明确我国温带森林土壤温室气体排放与温度和土壤含水量的变化关系。

1 研究方法

1.1 研究地概况

研究地设在北京市西北郊太行山北部试验林

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050602); 国家973(2010CB833504)

作者简介: 刘硕(1982年生), 女, 助研, 博士, 研究方向为气候变化与陆地生态系统碳源汇。E-mail: liush@ami.ac.cn

*通信作者; E-mail: yueli@ami.ac.cn

收稿日期: 2013-04-16

场(N 39°54', E 116°28'), 属华北大陆性季风气候, 春季干旱多风, 夏季炎热多雨, 冬季干燥寒冷; 年均气温 12.2 °C, 最高、最低气温分别为 39.7 °C 和 -19.6 °C, 年降雨量约 700 mm, 多集中在 7—8 月。研究地以乔木为主, 建群种为侧柏 *Platycladus orientalis*、栓皮栎 *Quercus variabilis*、刺槐 *Robinia pseudoacacia*、油松 *Pinus tabulaeformis*; 灌木以荆条 *Vitex negundo* var. *Heterophylla*、绣线菊 *Spiraea salicifolia* L、胡枝子 *Lespedeza bicolor* v. *Carpinus turczaninowii* Hance 为主, 草本植物以白草 *Pennisetum centrasiaticum* Tzvel 和大油芒 *Spodiopogon sibiricus* Trin.) 为主。选取针叶林、针阔混交林、阔叶林 3 种森林土壤作为研究对象, 其依次对应的乔木类型分别为侧柏纯林(P)、侧柏和栓皮栎混交林(M)以及栓皮栎纯林(Q)。通过基本调查, 选择研究区内林龄、郁闭度等立地条件差异不大的地区为取样地(表 1)。

1.2 典型森林土壤采样及其物理性质测定

每类森林土壤样地随机选取 3 个小区, 每个小区为 5 m×5 m。在每个小区植被密度均匀的空地上随机取 3 个原状土柱, 共 27 个土柱。本研究采用内径 25 cm、高 20 cm 的 PVC 圆筒采集野外原状土柱, 其底端尖锐, 插入土壤至地表面与 PVC 管上端齐平, 以保留枯枝落叶层, 用铁锹取出土柱, 聚乙烯膜封口, 留待运回实验室。同时, 取土样测定土壤容重、土壤含水量、最大田间持水量、土壤总孔隙度, 测定方法参照《土壤农化分析手册》^[9]和农田土壤含水量监测方法研究^[10]。3 种林地的土壤类型一致, 土壤初始理化性状相似, 土壤含水量 16.77%, 最大田间持水量 40%, 土壤容重 0.94 g/cm³。

1.3 室内模拟实验方法

本研究采用的是澳大利亚产的新型人工气候

箱(TPG-1260-TH-CO₂), 可以自动调控空气温度、湿度、光照以及空气 CO₂ 浓度。

原状土运回实验室后, 立即称量, 记录总质量, 根据最大田间持水量, 设置土壤含水量从干旱到湿润 3 个梯度, 分别为最大田间持水量的 20%、40%和 60%; 以往研究显示, 温度对土壤温室气体排放可能存在临界值, 约为 10 °C^[11-12], 因此, 本研究设置了 3 个空气温度梯度, 分别为 5、10、15 °C; 为保持土壤湿度恒定, 培养箱内空气湿度恒定于 40%; 箱内光照恒定为昼夜各 12 h。按照 3 种森林土壤类型, 每个处理 3 个重复设置原状土柱。箱内培养时长 20 d。每日 8:00 和 17:00 称土柱总质量, 低于土壤含水量处理水平时, 立即补充土壤水分; 监测 k 箱内环境数据, 包括空气温度和湿度, 因为土壤表层温度与空气温度基本相似, 本研究假设空气温度为土壤温度环境。

采用外径 25 cm、高 18 cm、厚度 5 mm 的有机玻璃罩, 每日 9:00—11:00 采气, 上罩后 0、10、20、30 min 用自动采样器取气, 每次采样结束后共采 4 (4 次抽样)×9 (9 种处理)×3 (3 个重复)=108 个气体样品, 每个气样 30 mL, 低温保存, 并在 1 个星期内完成室内测定。气样采用安捷伦 7890A 型气相色谱仪测定样品中 CO₂、CH₄ 和 N₂O 的浓度, 仪器运行参数见表 2。

土壤表面温室气体 (CO₂、CH₄、N₂O) 通量采用公式 (1) 计算:

$$F = \rho \times \frac{V}{A} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \times \frac{dC}{dt}, \quad (1)$$

式中, F 为单位时间单位面积静态箱内某一温室气体的质量变化; ρ 为标准状态下被测气体的密度; V 为箱内气体体积; A 为箱子覆盖的面积; P 为采样点的大气压; T 为采样时的绝对温度;

表 1 3 种温带森林土壤的立地条件

Table 1 Site conditions with 3 temperate forest soils

林地类型	树种	海拔/m	林龄/a	平均胸径/cm	郁闭度/%	坡度/(°)	生长地坡向	土壤类型
针叶林	侧柏	150	40	12	30	30	阳坡	棕壤土
阔叶林	栓皮栎	200	45	14	35	30	阳坡	棕壤土
针阔混交林	侧柏、栓皮栎	175	40	13	32	45	阴坡	棕壤土

表 2 气相色谱仪运行参数

Table 2 Operating parameter of gas chromatograph

气体	检测器	检测器温度/°C	柱类型	柱温/°C	载气	载气流速/(mL·min ⁻¹)
CO ₂	FID	200	PorpakQ	55	N ₂	30
CH ₄	FID	200	PorpakQ	55	N ₂	30
N ₂ O	ECD	330	PorpakQ	55	N ₂	30

注: ECD 为电子捕获, 空气为助燃气, 流速为 400 mL·min⁻¹。

dc_i/dt 为采样时气体浓度随时间变化的直线斜率； P_0 和 T_0 分别为标准状态下的标准大气压和绝对温度。

气体通量的计算是根据各气体浓度，换算成单位土壤的各气体累计产量，并用累积产量-时间曲线的最大斜率代表培养土壤的气体产生速率，即单位时间单位质量的土壤排出 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的质量数。气体的通量表示单位时间单位面积观测箱内该气体质量的变化。正值表示气体从土壤排放到大气，负值表示气体从大气流向土壤或土壤吸收消耗大气中的该气体。

1.4 温度和土壤含水量变化对3种林型土壤综合增温潜势 (global warming potential, GWP)

综合增温潜势 (GWP) 是用于定量衡量不同温室气体对全球变暖的相对影响评价指标。以 20 a 影响尺度为计，1 kg N_2O 和 CH_4 的增温效应分别是 1 kg 的 CO_2 的 270 倍和 63 倍^[13]。本研究采用 GWP 表示 3 种林地土壤 3 种温室气体的综合作用，计算如下：

$$GWP = f_{CO_2} \times 44/12 + f_{CH_4} \times 16/12 \times 63 + f_{N_2O} \times 44/28 \times 270,$$

式中， GWP 为温室气体 (CO_2 、 CH_4 、 N_2O) 综合增温潜势； f_{CO_2} 为 CO_2 的排放通量 (单位为 $kg\ CO_2-C$)； f_{CH_4} 为 CH_4 的排放通量 (单位为 $kg\ CH_4-C$)； f_{N_2O} 为 N_2O 的排放通量 (单位为 $kg\ CH_4-C$)。

2 结果

2.1 不同温度和土壤含水量下3种林型土壤 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 平均排放通量

3 种林型土壤的 CO_2 通量均呈排放源的作用，且随温度和土壤含水量增加 CO_2 的排放通量逐渐增大，但其增长幅度随林型不同而异 (图 1)。针叶林土壤在 15 °C 时随土壤含水量增大 CO_2 排放通量增幅最大，10 °C 时土壤 CO_2 排放通量表现为稳定状态；阔叶林在 15 °C 条件下随土壤含水量增大， CO_2 排放通量增幅最大；针阔混交林土壤 CO_2 排放通量变化呈现出 2 个阶段：土壤含水量 20%~40%，为增加阶段；土壤含水量 40%~60%，为稳定阶段；在同一土壤含水量条件下，针阔混交林的 CO_2 排放通量随温度上升而缓慢增加。

3 种林型土壤的 CH_4 排放通量均为负值，即为弱 CH_4 吸收汇，但不同林型间吸收通量变化存在差异 (图 2)。针叶林的土壤 CH_4 吸收通量在 5 °C 和 10 °C 时随土壤含水量增加先减小后增加，15 °C 时随着土壤含水量增加而迅速增大；阔叶林土壤 CH_4 吸收通量在 5 °C 时随土壤含水量增加逐渐降低，10 °C 时先增加后降低，15 °C 时不断增

大；针阔混交林的土壤 CH_4 吸收通量在 5 °C 和 10 °C 随土壤含水量增加降低，但在 15 °C 随土壤含水量增加 CH_4 吸收通量逐渐增大。

3 种林型土壤的 N_2O 排放通量均表现为排放源 (图 3)。针叶林的土壤 N_2O 排放通量在 5 °C 和 10 °C 时随土壤含水量增加变化不大，但 15 °C 时，排放通量的强度是 5 °C 和 10 °C 时的平均 2~3 倍；阔叶林土壤 N_2O 排放通量在 15 °C 时随土壤含水量增加增长迅速；针阔混交林在 5 °C 和 10 °C 条件下 N_2O 排放通量随土壤含水量增加而缓慢上升，15 °C 时波动幅度相对较大， N_2O 排放通量呈快速上升后缓慢下降的趋势。

总体来看，温度和土壤含水量增加会导致 3 种森林土壤的 CO_2 和 N_2O 表现为排放源、 CH_4 为弱吸收汇，而且不同林型的通量变化范围有一定

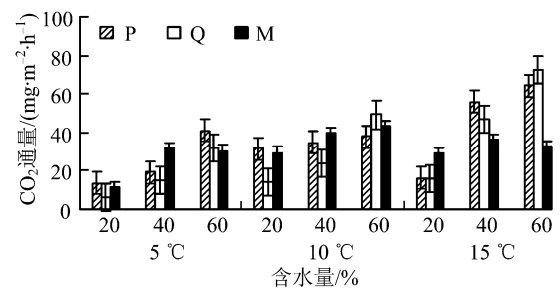


图 1 温度和土壤含水量增加条件下 3 种温带林型土壤 CO_2 通量
Fig.1 CO_2 flux of 3 kinds of temperate forest soil under temperature and soil water content increasing conditions

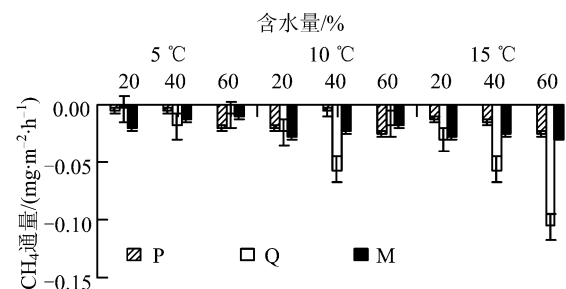


图 2 温度和土壤含水量增加条件下 3 种温带林型土壤 CH_4 通量
Fig.2 CH_4 flux of 3 kinds of temperate forest soil under temperature and soil water content increasing conditions

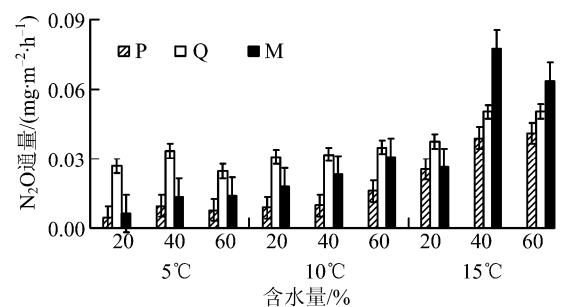


图 3 温度和土壤含水量增加条件下 3 种温带林型土壤 N_2O 通量
Fig.3 N_2O flux of 3 kinds of temperate forest soil under temperature and soil water content increasing conditions

程度的差异。其中,阔叶林和针叶林土壤 CO_2 在温度和土壤含水量增加条件下排放通量变化幅度相近,而针阔混交林的排放通量波动范围小于二者;针阔混交林和阔叶林土壤的 N_2O 在温度和土壤含水量增加条件下排放通量变化幅度相近,而针叶林土壤的排放通量波动范围明显高于二者;阔叶林土壤 CH_4 吸收通量随温度和土壤含水量增加的幅度较其他2种林型显著。

2.2 温度和土壤含水量变化对3种森林土壤综合增温潜势(GWP)的影响

3种林型土壤 GWP 受温度和土壤含水量影响的敏感性由强到弱依次为阔叶林>针叶林>针阔混交林(图4)。其中,温度相同条件下,阔叶林和针叶林的土壤 GWP 均随土壤含水量增大而增加,针阔混交林在 5°C ,土壤含水量 20%~40%的 GWP 增加幅度显著;土壤含水量相同条件下,阔叶林和针叶林的土壤 GWP 随温度的升高而增加,针阔混交林土壤 GWP 变化不显著。总体来说,阔叶林土壤 GWP 受温度和土壤含水量影响更为敏感。

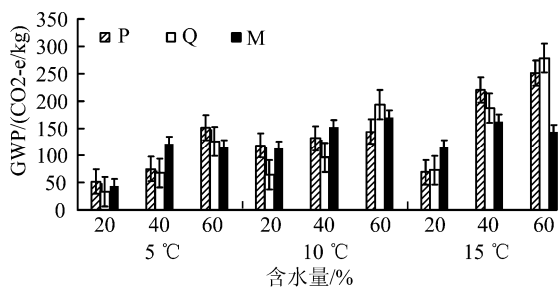


图4 温度和土壤含水量增加条件下3种温带林型土壤综合增温潜势
Fig. 4 3 kinds of temperate forest soil global warming potential under temperature and soil water content increasing conditions

3 讨论

土壤温室气体排放是一个极其复杂的生物学过程,影响因素较多,既有一定的规律性,但又有很多难以解释的现象,了解土壤温室气体排放量与环境因子的关系对研究土壤温室气体排放的动态变化具有重要意义^[14-15]。本文通过室内模拟3种温带典型森林土壤在土壤含水量分别为20%、40%、60%,温度分别为5、10、15 $^\circ\text{C}$ 条件下土壤温室气体排放,对3种林型土壤温室气体排放与温度和土壤含水量的交互作用关系进行了初步分析。

3.1 温度和土壤含水量变化对 CO_2 通量的影响

本研究中3种林型土壤的 CO_2 排放通量随土壤含水量和温度的增加而上升。其中,在高温高湿(15 $^\circ\text{C}$ 、土壤含水量60%)下阔叶林土壤 CO_2 排放通量显著高于其他2种林型,且其对温度变

化的敏感性更高。这与刘实等^[16]非生长季的硬阔叶林土壤表面 CO_2 通量变化研究结果相近,由于阔叶林地土壤有机碳含量、全氮含量及其他微生物碳氮含量等底物和丰度均高于其他林型土壤^[17-18],且土壤 CO_2 排放通量与土壤碳储量变化存在正相关关系,而温度又是影响土壤微生物活性、有机物质分解转化的重要环境因子,因此,温度是促进碳储量高的碳库 CO_2 排放的重要影响因素。所以,阔叶林土壤的 CO_2 排放通量受温度影响最显著,同时非冻结状态的土壤中,增加土壤含水量会促进土壤微生物活动能力^[19],致使 CO_2 排放通量持续增大。

3.2 温度和土壤含水量变化对 CH_4 通量的影响

以往一些研究结果认为,土壤 CH_4 的吸收通量与温度和土壤含水量存在一定阈值关系^[20]。例如,Steinkamp等^[12]对德国松林的研究表明,土壤温度在0~10 $^\circ\text{C}$ 时对 CH_4 通量影响显著,而当土壤温度高于10 $^\circ\text{C}$ 时则对土壤 CH_4 通量影响减弱。Castro等^[11]认为当土壤温度在-5~10 $^\circ\text{C}$ 时,温度为控制森林土壤 CH_4 吸收的主导因子,当土壤温度在10 $^\circ\text{C}$ 以上时,土壤含水量则成为主导因子。本研究也有相近结果,较低温度(5 $^\circ\text{C}$)时,土壤 CH_4 吸收通量随土壤含水量增大变化幅度小,当到达10 $^\circ\text{C}$ 和15 $^\circ\text{C}$ 时,吸收通量逐渐增大。这是因为土壤空隙布满水分时,气体扩散受到阻挡, CH_4 吸收通量减小^[21-22],同时,水分增多,使土壤微生物活性从好气过程逐渐变为嫌气过程, CH_4 氧化细菌受到限制,因此出现随土壤含水量增加 CH_4 吸收通量降低的现象,这与刘玲玲等^[23]的研究结果相近。本研究中阔叶林土壤的 CH_4 吸收通量明显高于针叶林和针阔混交林,这可能是由于阔叶林地土壤有机质含量丰富,这为土壤微生物提供了充足的活动底物,促进了细菌产 CH_4 的速度^[24],因此 CH_4 吸收通量显著高于其他2种林型。

3.3 温度和土壤含水量变化对 N_2O 通量的影响

土壤微生物的硝化作用和反硝化作用是影响土壤 N_2O 排放通量的重要过程^[25],土壤 N 含量、温度和土壤含水量等因素也影响土壤 N_2O 的排放过程^[26-27]。本研究显示,针叶林和针阔混交林土壤 N_2O 的排放通量随温度和土壤含水量升高而增加,阔叶林土壤 N_2O 排放通量的变化幅度较小。这可能由于温度升高和土壤含水量增加促进了森林凋落物的分解过程,使所含有有机质等营养物质释放到土壤中^[28-29],这为土壤反硝化过程提供了反应底物,还为参加此过程的土壤微生物提供能源,提高了微生物活性,从而加速了 N_2O 的排放^[30-31]。针叶林和针阔混交林的凋落物表面积小,

受到外界环境变化时, 比阔叶林凋落物更易腐化和分解, 因此其 N_2O 排放通量变化更剧烈。

3.4 温度和土壤含水量变化对3种林型土壤全球增温潜势 (GWP) 的影响

研究 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 温室气体的综合增温潜势, 有助于科学评价生态系统在减少温室气体排放和减缓全球变暖方面的作用^[4]。本研究结果显示, 温度和土壤含水量对温带 3 种林型土壤的 GWP 具有显著影响。一定温度下, 土壤含水量越大, 土壤的 GWP 越高, 且针阔混交林的 GWP 对温度和土壤含水量的敏感性较小, 阔叶林的敏感性最高。分析原因, 可能由于针阔混交林地表凋落物种类丰富, 相比针叶林和阔叶林的地表覆盖度高, 阻挡了一部分温室气体的排放^[8], 阔叶林凋落物有机质含量高, 土壤微生物遇到适合的温湿度环境后, 更易作用于凋落物的分解过程, 释放温室气体。因此阔叶林土壤 GWP 对温湿度变化更加敏感。

4 结论

3 种温带森林土壤对较低温度和适量的土壤含水量变化表现为 CO_2 和 N_2O 源, CH_4 汇的作用, 表明了一定范围内温度和土壤含水量变化会促进或抑制温带典型森林土壤对大气释放温室气体。然而, 林型差异造成的地表凋落物组成和数量的不同, 影响了土壤分解和释放温室气体速度的不同。3 种林型土壤综合增温潜势受温度和土壤含水量影响的敏感性由强到弱依次为阔叶林 > 针叶林 > 针阔混交林。但不同林型的凋落物组成与温度和土壤含水量变化的生物化学机理尚待进一步研究。

参考文献:

[1] IPCC. Climate change 2007: the scientific basis contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[R]. Cambridge U K: Cambridge University Press, 2007.

[2] BOUWNAN A F. Soils and the greenhouse effect[R]. New York: John Wiley and Sons Inc, 1990.

[3] SEDJO R A. The carbon cycle and global forest ecosystem[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1993, 70: 295-307.

[4] 李海防, 夏汉平, 熊燕梅, 等. 土壤温室气体产生与排放影响因素研究进展[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1781-1788.

[5] 孙向阳, 乔杰, 谭笑. 温带森林土壤中的 CO_2 排放通量[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(1): 34-39.

[6] 牟艳玲, 赵文龙, 陈亚雄, 等. 中国北方森林潜在分布及其对气候变化响应的模拟[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2010, 46: 25-32.

[7] 栾兆平. 气候变化与中国北方森林恢复和经营[J]. 内蒙古林业调查设计, 2007, 30(5): 47-49.

[8] 杜睿, 黄建辉, 万小伟, 等. 北京地区暖温带森林土壤温室气体排放

规律[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 12-16.

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[10] 高建峰. 农田土壤含水量监测方法研究[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(14): 88-89.

[11] CASTRO M S, STEUDLER P A, MELILLO J M. Factors controlling atmospheric methane consumption by temperate forest soils [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1995, 9: 1-10.

[12] STEINKAMP R, BUTTERBACH-BAHL K, PAPEN H. Methane oxidation by soils of an N limited and N fertilized spruce forest in the Black Forest, Germany[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33: 145-153.

[13] LIU J D, ZHOU X J, YU Q. Numerical analysis of the source-sink alternation of composite global warming potential of the paddy ecosystem in the Yangtze Delta[J]. Science in China (Earth Sciences), 2003, 33(2): 105-113.

[14] MALHI Y D D, BALDOCEHI P G J. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests[J]. Plant, Cell and Environment, 1999, 22: 715-740.

[15] SONIMERFELD R A, MOSIER A R, MUSSELMAN R C. CO_2 , CH_4 and N_2O flux through a Wyoming snowpack and implications for global budgets[J]. Nature, 1993, 361: 140-142.

[16] 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[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4075-4084.

[17] 刘爽, 王传宽. 五种温带森林土壤微生物生物量碳和氮的时空格局[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3135-3143.

[18] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳储量和碳通量[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2875-2882.

[19] 谭炯锐, 查同刚, 张志强, 等. 土壤温湿度对北京大兴杨树人工林土壤呼吸的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2308-2315.

[20] HEYER J. Results of enrichment experiments of methane-assimilating organisms from an ecological point of view[C] // SKRYABIN G K, IVANOV M V, KONDRATJEVA E N, et al. Microbial Growth on C1-Compounds. Puschino: USSR Academic Science, 1977: 19-21.

[21] 齐玉春, 董云社, 章申. 农业微环境对土壤温室气体排放的影响[J]. 生态农业研究, 2000, 8(1): 45-48.

[22] 王鹤松, 张劲松, 孟平, 等. 华北山区非主要生长季典型人工林土壤呼吸变化特征[J]. 林业科学研究, 2007, 20(6): 820-825.

[23] 刘玲玲, 刘允芬, 温学发, 等. 千烟洲红壤丘陵区人工针叶林土壤 CH_4 排放通量[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 431-439.

[24] 肖冬梅, 王森, 姬兰柱, 等. 长白山阔叶红松林土壤氮化亚氮和甲烷的通量研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1855-1859.

[25] BUTTERBAEH-BAHL K, GASCHER R, BREUER L, et al. Fluxes of NO and N_2O from temperate forest soils: impact of forest type, N-deposition and of liming on the NO and N_2O emissions[J]. Nutrient Cycling Agroecosystems, 1977, 48: 79-90.

[26] 徐慧, 陈冠雄, 马成新. 长白山北坡不同土壤 N_2O 和 CH_4 排放的初步研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(4): 373-377.

[27] 徐文彬, 刘维屏, 刘广深. 温度对旱田土壤 N_2O 排放的影响研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 1-8.

[28] 胡承彪, 韦源连, 梁宏温, 等. 两种森林凋落物分解及其土壤效应的研究[J]. 广西农业大学学报, 1992, 11 (4): 47-52.

[29] 王鹤松, 张劲松, 孟平, 等. 侧柏人工林地土壤呼吸及其影响因素的研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1031-1035.

[30] 齐玉春, 董云社. 土壤氧化亚氮产生、排放及其影响因素[J]. 地理学报, 1999, 54(6): 534-542.

[31] 谢军飞, 李玉娥. 土壤温度对北京旱地农田 N_2O 排放的影响[J]. 中国农业气象, 2005, 26(1): 7-10.

Effects of temperature and soil moisture on greenhouse gases emission of temperate forest soil

LIU Shuo¹, LI Yu'e^{1*}, SUN Xiaohan^{2,3}, WAN Yunfan¹, GAO Qingzhu¹, QIN Xiaobo¹, MA Xin¹

1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating in Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

3. Water Authority of Laizhou City in Shandong Province, Laizhou 261400, China

Abstract: Global temperate forest soil has a significant influence on main greenhouse gas such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) source and sink. Interaction of soil temperature and humidity has been an important environmental effecting element. However, fluxes variation of these trace gases in temperate forest soil have been scarcely quantified with condition of soil temperature and humidity interacting. In this study, we investigated variation and global warming potential of soil CO₂, CH₄ and N₂O fluxes of undisturbed woodland soil including coniferous forest, broad-leaved forest, coniferous and broad-leaved mixed forest in temperate region of China. The soil samples put in the controlled chambers were dealt with different soil water contents as 20%, 40%, 60%, and temperatures as 5 °C, 10 °C and 15 °C. The results shows that all the treatments result in carbon emission source of CO₂, N₂O and light carbon sink of CH₄ to 3 kinds of temperate forest soil. Among of them, CO₂ flux of coniferous forest and broad-leaved forest soil has a similar variation, which is a little lower than that of coniferous and broad-leaved mixed forest. N₂O emission flux of broad-leaved forest and mixed forest was close, but which is higher than that of coniferous forest. With the increase of temperature and soil moisture content, absorbed flux of CH₄ in broad-leaved forest soil higher than others. The sensitivity of global warming potential of 3 forest soils in different temperature and soil water content from high to low is broad-leaved forest, coniferous forest, coniferous and broad-leaved forest.

Key words: temperature; soil moisture; temperate forest soil; greenhouse gases