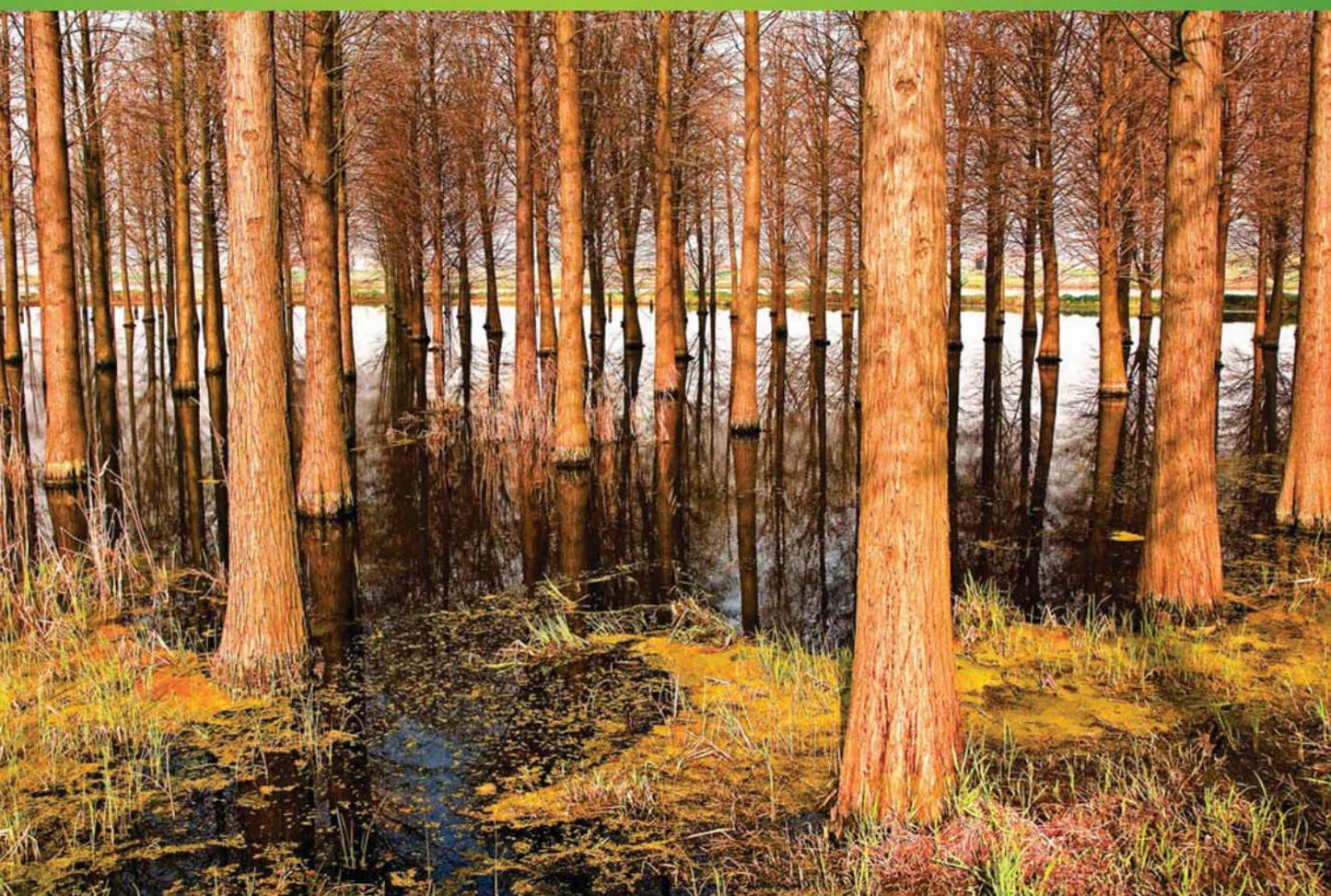


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **2012**

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 32 卷 第 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)
研究简报	
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

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

DOI: 10.5846/stxb201108021132

田慎重 宁堂原, 迟淑筠, 王瑜, 王丙文, 韩惠芳, 李成庆, 李增嘉. 不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间. 生态学报, 2012, 32(3): 879-888.

Tian S Z, Ning T Y, Chi S Y, Wang Y, Wang B W, Han H F, Li C Q, Li Z J. Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 879-888.

不同耕作措施的温室气体排放日变化 及最佳观测时间

田慎重¹, 宁堂原¹, 迟淑筠^{2,*}, 王瑜¹, 王丙文¹, 韩惠芳¹, 李成庆³, 李增嘉¹

(1. 作物生物学国家重点实验室, 山东省作物生物学重点实验室, 山东农业大学, 泰安 271018;

2. 机械与电子工程学院, 山东农业大学, 泰安 271018; 3. 山东省宁阳县农业局农业技术推广站, 宁阳 271400)

摘要:在连续 6 a 耕作模式的基础上, 利用静态箱-气相色谱法对常规耕作与免耕条件下小麦生育后期麦田 CO₂、CH₄、N₂O 通量日变化进行了连续 48 h 观测, 并确定 1 d 中最佳的观测时间。结果表明, 常规耕作与免耕条件下小麦生育后期麦田 CO₂、CH₄、N₂O 通量具有显著的日变化特征, 常规耕作处理和免耕处理土壤表现为 CH₄ 的吸收汇、CO₂、N₂O 的排放源。CH₄ 日均吸收通量: 常规耕作无秸秆还田处理 (AC) > 常规耕作秸秆还田处理 (PC) > 免耕 (PZ); CO₂ 日均排放通量: 常规耕作秸秆还田处理 (PC) > 常规耕作无秸秆还田处理 (AC) > 免耕 (PZ); N₂O 日均排放通量: 常规耕作秸秆还田处理 (PC) > 常规耕作无秸秆还田处理 (AC) > 免耕 (PZ)。相关性分析表明, 常规耕作及免耕条件下 CO₂、CH₄、N₂O 通量日变化与地表温度和 5 cm 地温呈极显著 ($P < 0.01$) 或显著 ($P < 0.05$) 的正相关关系, 温度是决定温室气体日变化的主要决定因素。通过校正系数和回归分析表明, 在小麦生育后期 (4—6 月), CO₂ 的最佳观测时间段在 8:00—10:00, CH₄ 为 8:00—10:00, N₂O 为 8:00—12:00。

关键词:耕作措施; 温室气体; 日变化; 观测时间

Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems

TIAN Shenzhong¹, NING Tangyuan¹, CHI Shuyun^{2,*}, WANG Yu¹, WANG Bingwen¹, HAN Huifang¹, LI Chengqing³, LI Zengjia¹

1 State Key Laboratory of Crop Biology, Agronomy College, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

2 College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

3 Agricultural Technique Extension Station of Ningyang County, Taian 271400, China

Abstract: A study on diurnal variations of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in the late growth stage of wheat under conventional tillage and no-tillage were conducted at the sixth year of a long term located experiment. The Gas Chromatography (GC), ascertained the optimal observation durations for CO₂, N₂O and CH₄ fluxes were investigated for 48 hours using the Static-Chamber method. The results showed that the CO₂, CH₄ and N₂O fluxes had significant diurnal variations under both conventional tillage and no-tillage treatments, which it might be a sink of CH₄ but a source of N₂O and CO₂. The diurnal flux of CO₂ emission peaked in PC 752.58 mg·m⁻²·h⁻¹ at 12 p. m., and the lowest value was AC 186.42 mg·m⁻²·h⁻¹ at 2 a. m.; while the N₂O peak fluxes of AC, PC and PZ presented were performed at 2 p. m., 4 p. m., 4 p. m., respectively, and the peak fluxes values of AC, PC and PZ was 45.85 μg·m⁻²·h⁻¹, 41.89 μg·m⁻²·h⁻¹, 34.38 μg·m⁻²·h⁻¹,

基金项目:“十一五”国家科技支撑项目 (2006BAD15B07, 2007BAD89B09-9); 公益性行业 (农业) 科研专项经费资助 (200803028, 201103001); 国家自然科学基金 (30900876, 31101127); 山东省农业重大应用技术创新课题和山东省自然科学基金 (ZR2010CQ009) 共同资助

收稿日期: 2011-08-02; 修订日期: 2011-12-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chishujun1955@163.com

respectively, however, N_2O flux of AC decreased rapidly after 6 p. m. and presented the lowest value at 0 a. m. with $16.69 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, but PC and PZ was at 4 a. m., the similar trend was noted in CH_4 , but there were two flux peaks in a day, which observed at 2 p. m. and 0 a. m., and the lowest flux observed at 6 a. m.. The daily mean emission fluxes of CO_2 was $\text{PC} > \text{AC} > \text{PZ}$, CH_4 was $\text{AC} > \text{PC} > \text{PZ}$, but N_2O was $\text{PC} > \text{AC} > \text{PZ}$. There were highly significant ($P < 0.01$) or significant ($P < 0.05$) positive correlations between gas fluxes and land surface temperature or soil temperature of 5 cm depth under conventional tillage and no-tillage systems, and the temperature might be a crucial factor in diurnal variation. The percentage of CO_2 , N_2O and CH_4 fluxes in daily showed that CO_2 , N_2O and CH_4 fluxes in daytime was 74%, 66% and 61%, respectively, further, the ratio between daytime and night presented that CO_2 was 3 to 1, N_2O was 3 to 2 and CH_4 was 2 to 1, there are significant fluxes difference between each gases. In order to make sure the optimal observation duration for this periods and areas, we calculated the correction coefficient and regression analysis between the observation duration and the daily total fluxes of three gases, which showed that the correction coefficient of CO_2 flux on the verge of 1 from 8 a. m. to 10 a. m., and the related coefficient was 0.8175 ($P < 0.01$), it's showed that this time period significantly represented daily mean flux of CO_2 or it was the optimal observation duration for CO_2 collection in this period and area. The optimal observation duration for N_2O was 10 a. m. to 12 a. m. and the related coefficient was 0.7642 ($P < 0.05$), but two values for CH_4 were 8 a. m. to 10 a. m. and 0.8396 ($P < 0.01$), respectively, which correspondingly presented the representative emission flux of a day and was the optimal observation duration of the late growth stage of wheat for greenhouse gases in this area.

Key Words: tillage; greenhouse gases; diurnal variation; observation duration

温室气体的增温效应引起的全球变暖已是国际社会公认的全球性问题。二氧化碳(CO_2)、氧化亚氮(N_2O)、甲烷(CH_4)是3种对全球气候变化影响最大的温室气体^[1]。近百年来,中国年平均气温升高了0.5—0.8℃。从地域分布看,西北、华北和东北地区气候变暖尤为明显^[2],而华北地区作为我国重要的粮食产区,其农田土壤温室气体的吸收与排放对我国准确合理的估算农业温室气体的排放量、制定合理的农业减排和适应措施具有重要意义^[3]。耕作作为农业生产的主要环节,在其基础上的温室气体排放研究特别是季节性排放规律已有大量报道^[4-8],但在其基础上的日变化研究鲜见报道,由于土壤与大气之间的水热交换有一定的传导平衡时间^[9],不同时间尺度(小时、昼夜、月和季节)温湿度与土壤温室气体之间的关系就可能会有不同的表现形式^[8],因此,研究不同时间尺度上的温室气体排放与气候环境因素之间的关系、确定最佳的观测时间对温室气体研究具有重要的理论意义。本研究通过不同耕作措施下温室气体在小麦生育后期(4—6月)的日排放规律以及回归分析,确定不同温室气体在该时间段内的最佳观测时间,为季节变化等长时间尺度的温室气体最佳采集时间提供理论依据,并通过本文为该地区不同季节研究温室气体排放规律和采集气体的时间提供参考和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本实验于2008年在山东农业大学农学实验站进行。试验地位于东经 $117^\circ 09' 13.79''$ — $117^\circ 09' 12.02''$,北纬 $36^\circ 09' 30.78''$ — $36^\circ 09' 27.59''$,属于温带大陆性季风气候,四季分明,光照充足。平均气温 13.6°C ,年均日照时数2462.3 h,年均降雨量786.3 mm,具有华北平原的典型特点。试验田土壤为棕壤土,土层深厚,有机质含量1.5%,全氮含量0.2%。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,分为常规无秸秆还田(AC)、常规秸秆还田(PC)和免耕(PZ)3个处理,以AC为对照,试验设3次重复。

1.3 采集时间与方法

根据小麦生育后期的温度特点和试验地区气候特征,温度和气体观测数据应具有 4—6 月份的代表性,通过季节变化研究^[4],采样时间选取不受降水和施肥等外部因素影响、温度、土壤含水量等影响因子变化范围相对稳定的 5 月初进行连续 48 h 观测,每隔 2 h 取样 1 次。气体观测采用静态箱-气相色谱法。静态箱由玻璃纸制成(1 m×0.5 m×0.5 m),边角用 PVC 板加固,外层用隔热棉和反光膜包裹,箱内顶部设置轴流风扇,箱体有采样口和温度计。基座用 PVC 制作,高为 30 cm,底部插入地下 20 cm,基座上部设置水槽,用于采集气体时浇水密封。基座于小麦播种期埋入小区中。取样时将箱体罩在事先安好的基座上,用 60 mL 针管插入箱体的采样口,分别于 0、25 min 采集气体,同时测定大气温度、箱内温度、地表温度、5 cm 地温和土壤水分。采样后带回实验室,CH₄、N₂O 用 GC-2010 气相色谱仪测定,CH₄采用 2 m 长的 5A 分子筛不锈钢填充柱,以 N₂做载气,运用 FID 检测器进行测定,设定 FID 检测器温度 200 ℃,柱箱温度 80 ℃,载气总流量 30 mL/min,氢气流量 40 mL/min,空气流量 400 mL/min;N₂O 采用 4 m 长的 Porapak-Q 填充柱,以 N₂做载气,用 ECD 检测器进行测定,设 ECD 检测器温度 300 ℃,柱箱温度 45 ℃,载气总流量 40 mL/min,尾吹流量 40 mL/min;CO₂用 GC-9C 气相色谱仪测定,采用 2 m 长的碳分子筛不锈钢填充柱,以 H₂做载气,运用 TCD 检测器进行测定,设定 TCD 检测器温度 60 ℃,柱箱温度 140 ℃。气体通量计算是通过气体浓度随时间变化来计算单位面积的气体排放通量。计算公式^[5]: $F = 60 \times H \times M \times P / 8.314 \times (273 + T) \times dc/dt$ 。F 为气体排放或吸收通量($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$),常数 60 为将分转换为小时的换算系数,H 为静态箱有效高度(m),T 为箱内平均温度(℃),dc/dt 为气体浓度随时间变化的直线斜率,M 为气体的摩尔质量(g/mol),P 为测定时的大气压(Pa)。

1.4 常规耕作与免耕条件下麦田温室气体日排放中最佳观测时间的矫正系数

一天中各个时刻温室气体排放通量的矫正系数可以用下式进行计算^[6-7]:

$$C_i = \frac{F_{\text{avg}}}{F_i}$$

式中, $i=1,2,3,\dots,n$,n 为一天中进行观测的次数,各次观测之间的时间相等; C_i 为矫正系数; F_{avg} 为温室气体日平均排放通量; F_i 为第 i 次观测的温室气体排放通量。

1.5 田间试验管理

供试小麦品种为济麦 20 号,基施折合纯氮 160 kg/hm²,P₂O₅ 150 kg/hm²;K₂O 105 kg/hm²,各处理统一浇拔节水 160 mm,配合浇水追施纯氮 80 kg/hm²。

1.6 试验数据处理

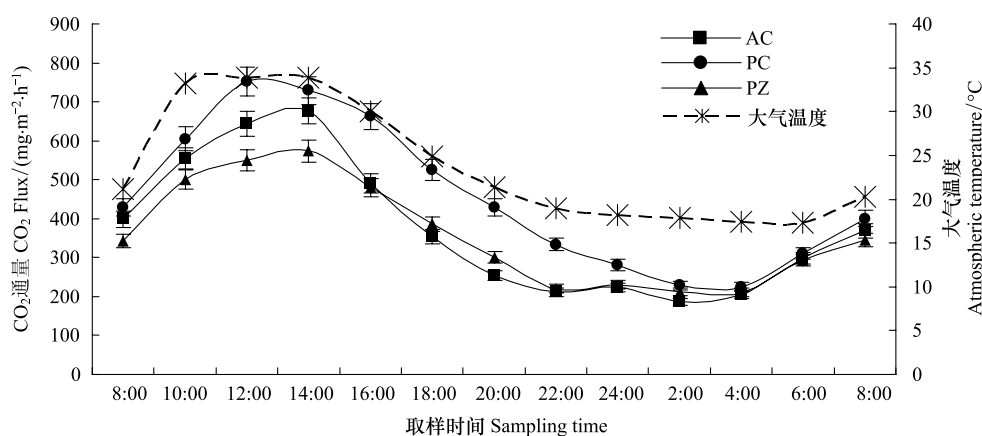
试验所得数据采用 Excel 处理、作图;采用 DPS7.05 数据分析系统作分析数据和回归分析。

2 试验结果

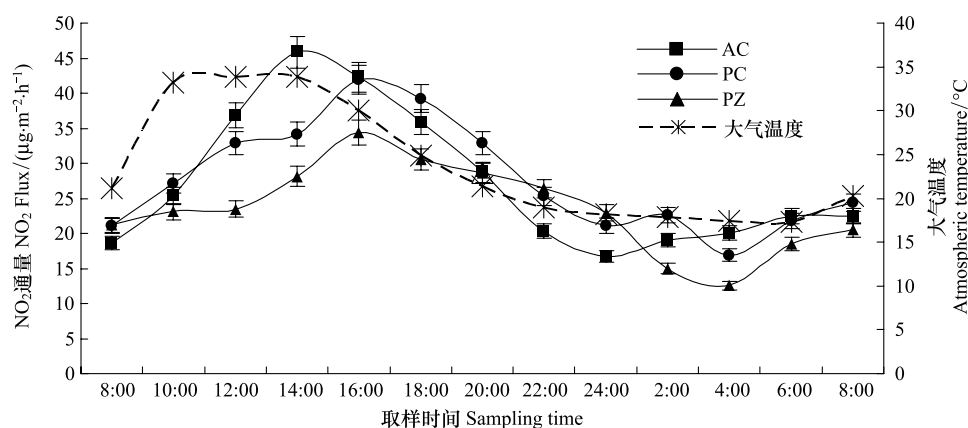
2.1 常规耕作与免耕条件下麦田 CO₂、N₂O、CH₄通量的日变化

由图 1 可以看出,常规耕作与免耕条件下土壤 CO₂通量具有明显的日变化,呈现昼高夜低的趋势,其变化轨迹与全天气温的变化轨迹大体一致,说明常规耕作与免耕条件下土壤 CO₂通量受温度的影响较大,白天,8:00—12:00,AC、PC、PZ 处理 CO₂通量随气温的升高而升高,其中 PC 在 12:00 达到了全天 CO₂排放最高值,为 752.58 mg·m⁻²·h⁻¹,分别比 AC、PZ 高 16.9%、36.8%;14:00—18:00,随着气温的逐渐下降,CO₂通量迅速下降,PC 处理依然高于 AC、PZ 处理,2:00,各处理 CO₂通量降到一天的最低值,其中 AC 最低,只有 186.42 mg·m⁻²·h⁻¹,4:00—6:00,各处理 CO₂通量逐渐升高。

由图 2 得知,常规耕作与免耕条件下 N₂O 排放具有明显的日变化,也表现出随昼夜温差的变化而呈现昼高夜低的变化趋势。8:00—12:00,随温度的升高,各处理 N₂O 通量逐渐升高,其中 PZ 上升较缓,直到 12:00 以后其 N₂O 通量才开始迅速上升,使其一天的排放峰值直到 16:00 才出现,为 34.38 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,PC 的峰值也在 16:00 出现,但相比 PZ,PC 的 N₂O 通量明显高于 PZ;AC 虽然初始通量较低,但其更迅速的在 14:00 达到一天的峰值,达到 45.85 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,分别比 PC、PZ 高 34.2%、62.87%,但 18:00 以后,随温度的降低,AC 的

图1 常规耕作与免耕条件下土壤 CO₂ 通量的日变化Fig. 1 Diurnal variation of CO₂ flux under conventional tillage and no-tillage

N₂O 通量迅速的降低, 最先(24:00)出现全天的最低值 $16.69 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 而 PC、PZ 的最低值到 4:00 才出现, 分别为 $16.90 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $12.57 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 说明在温度降低以后, AC 土壤降温可能更快的影响到硝化和反硝化细菌的活性, 而 PC、PZ 处理的秸秆还田后有利于土壤的保温, 使其降温有一个缓冲时间; 4:00 以后各处理 N₂O 通量又开始升高。

图2 常规耕作与免耕条件下土壤 N₂O 通量日变化Fig. 2 Diurnal variation of N₂O flux under conventional tillage and no-tillage

由图 3 可以看出, 常规耕作与免耕条件下各处理土壤表现为 CH₄ 的净吸收汇, 且吸收通量有明显的日变化, 都呈现升高→降低→升高→降低→升高的变化轨迹, 各处理全天吸收通量平均值 AC>PC>PZ。在 8:00—12:00, 3 种处理 CH₄ 吸收通量都逐渐升高, 在 14:00 达到白天的吸收高峰, 其中 AC 最高, 达到 $26.35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 分别比 PC、PZ 高 10.85%、14.42%, 随后 CH₄ 的吸收通量开始下降, 在 18:00 出现吸收低谷, 各处理吸收通量的差异不显著。进入夜晚, 从 20:00 左右起, CH₄ 的吸收通量开始上升, 并在 24:00 达到夜晚的吸收高峰, AC 显著高于 PC、PZ。在达到最高峰后, CH₄ 的吸收通量迅速下降, 在 6:00 左右 CH₄ 的吸收降低到日变化的最低值, AC 最低, 只有 $9.46 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。8:00, 随着气温的升高, 各处理 CH₄ 的吸收通量又开始逐渐升高。

2.2 常规耕作与免耕条件下麦田 CO₂、CH₄、N₂O 通量日变化与地表温度、5 cm 地温的关系

由表 1 可知, CO₂ 排放通量与各处理 5 cm 地温呈极显著 ($P<0.01$) 正相关关系, 与 AC、PC 处理的地表温度呈极显著 ($P<0.01$) 正相关关系, 但与 PZ 地表温度的相关性关系不显著, 说明该处理 CO₂ 排放通量日变化可能受其它原因的影响。CH₄ 吸收通量日变化与各处理地表温度以及 AC、PC 处理的 5 cm 地温呈极显著 ($P<0.01$) 或显著 ($P<0.05$) 正相关关系, PZ 的 5 cm 地温与 CH₄ 吸收通量日变化的相关性关系不显著。N₂O 排放

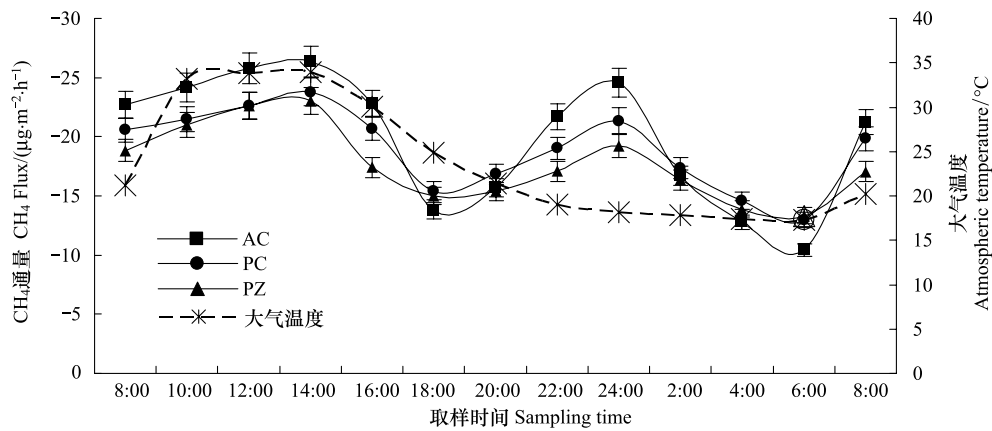


图3 常规耕作与免耕条件下土壤CH₄通量日变化

Fig.3 Diurnal variation of CH₄ flux under conventional tillage and no-tillage

通量与地表温度呈极显著($P<0.01$)正相关关系,与5 cm 地温呈显著($P<0.05$)正相关关系,说明N₂O日排放通量主要受温度的影响。由此可见,温度是造成不同耕作处理CO₂、N₂O、CH₄通量日变化差异的重要原因。

表1 各处理气体通量日变化与地表温度、5cm 地温的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between gases fluxes and land surface temperature, soil temperature of 5cm depth in diurnal variation

温室气体 GHG	处理 Treatments	地表温度 Land surface temperature		5cm 地温 Soil temperature of 5cm depth	
		相关方程 Correlation equation	相关系数 R	相关方程 Correlation equation	相关系数 R
CO ₂	AC	$y = 0.0149x + 14.391$	0.9138 **	$y = 0.0197x + 14.058$	0.9249 **
	PC	$y = 0.0092x + 15.777$	0.9499 **	$y = 0.0184x + 12.602$	0.9750 **
	PZ	$y = 0.0034x + 18.031$	0.4604	$y = 0.0246x + 11.138$	0.9360 **
CH ₄	AC	$y = 0.3802x + 12.779$	0.6108 *	$y = 0.3068x + 13.933$	0.5863 *
	PC	$y = 0.8098x + 5.4098$	0.7291 **	$y = 0.3113x + 14.050$	0.5728 *
	PZ	$y = 0.8001x + 6.8989$	0.6876 **	$y = 0.1151x + 17.218$	0.3670
N ₂ O	AC	$y = 0.2348x + 13.556$	0.8313 **	$y = 0.3254x + 12.537$	0.8833 **
	PC	$y = 0.1965x + 14.491$	0.8489 **	$y = 0.2984x + 12.680$	0.6600 *
	PZ	$y = 0.1277x + 16.257$	0.8064 **	$y = 0.3684x + 11.270$	0.6598 *

“*” 0.05 显著水平($R\geq0.5529$), “**” 0.01 显著水平($R\geq0.6835$)

由表2 可以看出5 cm 地温和地表温度的日变化情况,各处理相同时间5 cm 地温具有显著的差异,地表温度差异不显著。8:00—16:00,AC 处理的5 cm 地温值显著高于PC 和PZ,20:00—4:00,PZ 处理地温值显著高于AC 和PC,从3 种耕作模式的地温日变化趋势可以看出,常规耕作处理升温快降温也快,这从一个侧面说明常规耕作条件下土壤的通透性有利于土壤-大气间的气体交换,进而影响CO₂、N₂O、CH₄通量的变化,而PZ 全天温度变化差异较小,说明PZ 土壤紧实导致透气性较差,不利于土壤中气体和有效氧扩散,免耕造成土壤紧实、透气性较差,这本身也是免耕模式的一个缺点。

2.3 常规耕作与免耕条件下麦田CO₂、CH₄、N₂O排放的最佳观测时间及回归分析

由于温室气体的排放具有很大的时空变异性,在不同季节等较长时间尺度研究中,为了增强观测结果的代表性,在该季节内应当选择一天中最具代表性的时刻进行观测。图4 为CO₂、CH₄、N₂O通量的矫正系数随时间的分布。由图4 可见,CO₂通量的矫正系数在8:00—10:00 接近于1,说明这一时间段的CO₂通量最能代表一天的CO₂平均排放量,即8:00—10:00 为该地区温室气体研究中采集CO₂的最佳时间,同理,CH₄通量的最佳观测时间为8:00—10:00、N₂O为8:00—12:00。为进一步分析其代表性,通过对各气体在这一时间段的平均排放量与日排放总量进行回归分析(图5)表明,CO₂、CH₄、N₂O在这一时间段的平均排放量与日排放总量

的相关系数分别达到 0.8175 ($P<0.01$), 0.8396 ($P<0.01$), 0.7642 ($P<0.05$), 均达到显著水平, 说明各气体这一时间段的排放量均具有很强的代表性, 可以作为小麦生育后期(4—6 月)温室气体研究的最佳取样时间段。

表 2 不同取样时间各处理 5cm 地温和地表温度的差异

取样时间 Sampling time	地表温度 Land surface temperature/℃			5 cm 地温 Soil temperature of 5 cm depth/℃		
	AC	PC	PZ	AC	PC	PZ
8:00	21.33aA	21.00aA	18.67bB	20.83aA	20.33bB	18.26cC
10:00	23.17aA	23.33aA	23.00aA	22.00aA	20.53bB	19.00cC
12:00	26.83aA	26.67aA	26.00aA	23.33aA	21.67bB	19.54cC
14:00	29.00aA	27.83aA	23.33aA	24.00aA	22.83bB	20.67cC
16:00	24.33abA	23.33bA	24.83aA	23.67aA	22.33bB	20.53cC
18:00	22.33aA	21.50aA	21.83aA	20.83bAB	21.33aA	20.33cB
20:00	21.00aA	20.00abA	19.00bA	19.67aA	20.33aA	20.00aA
22:00	19.00aA	18.67aA	17.83aA	18.00cB	19.00bA	19.50aA
24:00	18.00aA	18.17aA	16.83bB	17.00bA	18.17abA	19.50aA
2:00	18.33aA	16.67bAB	16.50bB	17.00bB	17.50bAB	18.84aA
4:00	18.00aA	17.17abA	16.00bA	16.50cC	17.57bB	18.51aA
6:00	18.17aAB	18.50aA	16.67bB	16.67bA	18.30aA	17.67abA
8:00	18.83bA	19.83aA	18.50bA	20.00aA	19.50aAB	18.00bB

表中大写字母表示 1% 水平上的差异显著水平, 小写字母表示 5% 水平上的差异显著水平

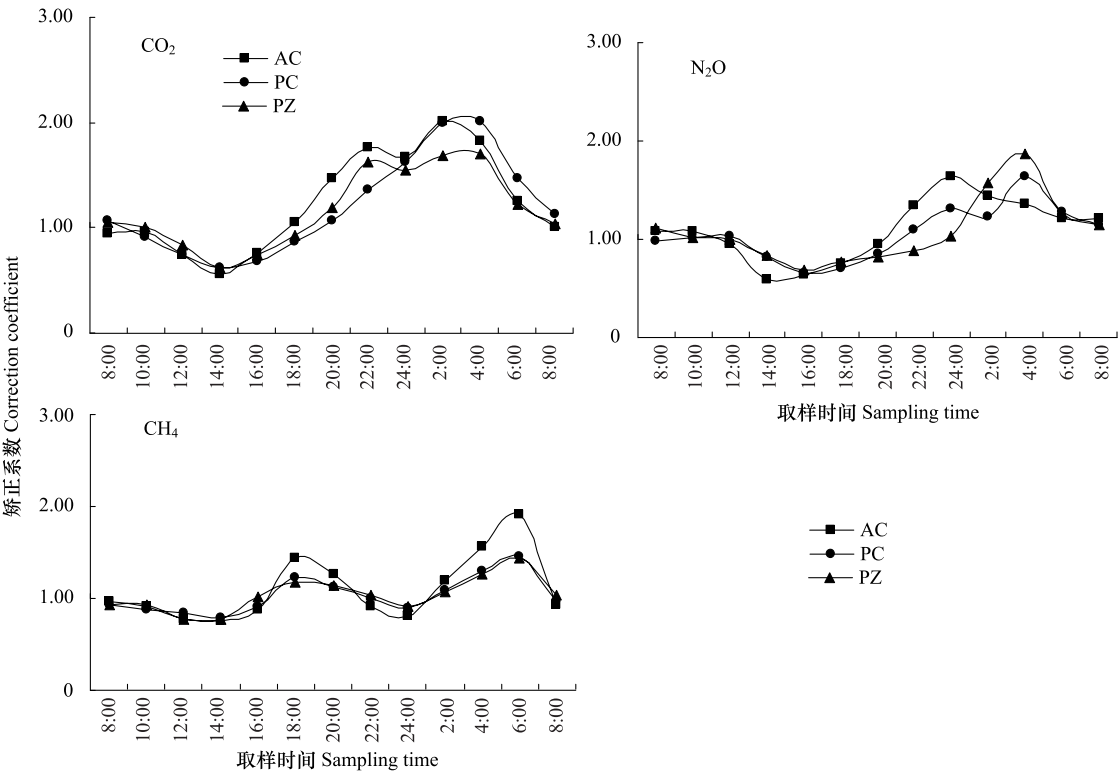


图 4 修正系数随时间的分布
Fig. 4 Diurnal variation of correction coefficient

2.4 常规耕作与免耕条件下麦田 CO₂、N₂O、CH₄日通量的时间变化

由图 6 可以看出, 无论是处理间还是 CO₂、CH₄、N₂O 之间, 日总通量在一天的分布百分比中以白天最高, CO₂ 平均达到 74%, N₂O 为 66%, CH₄ 为 61%, CO₂ 在白天和夜晚排放的百分比值约为 3:1, CH₄ 约为 3:2, N₂O 约

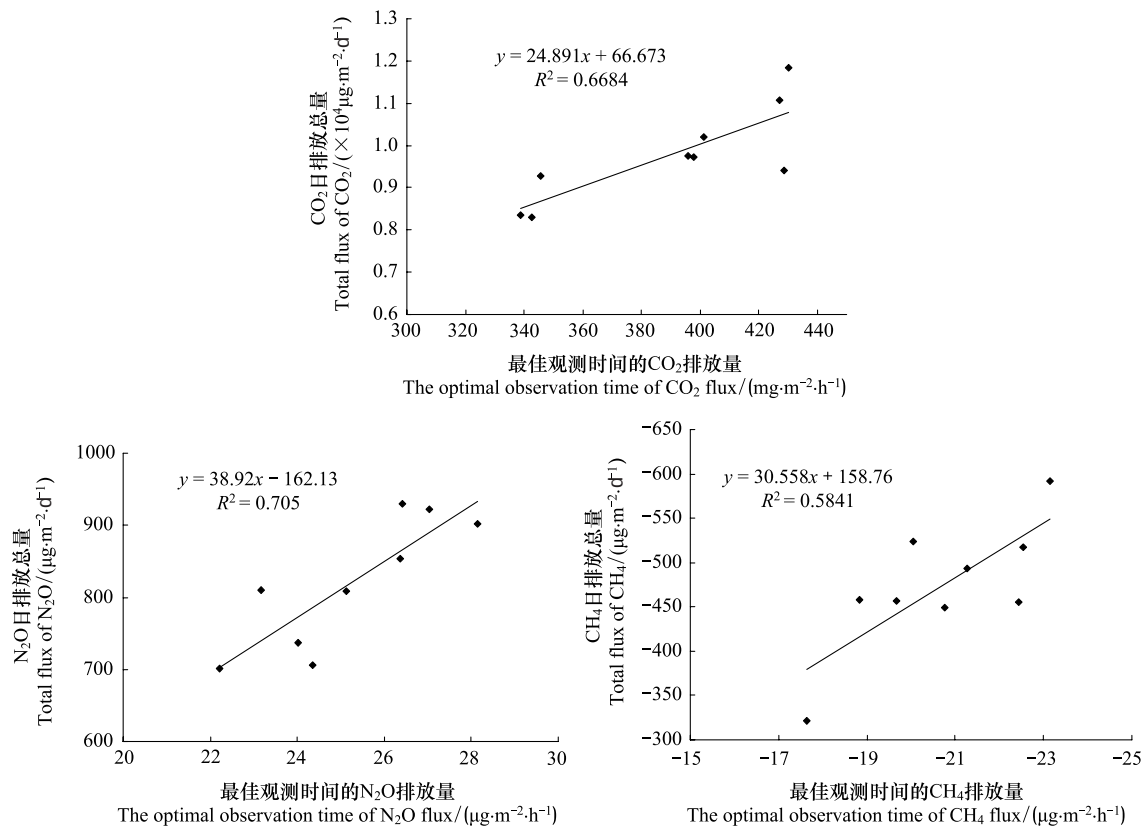
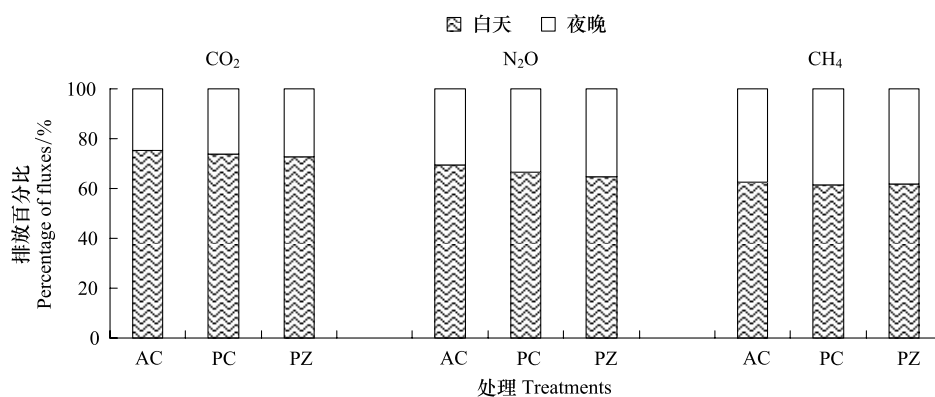


图5 各气体最佳观测时间与日排放总量的回归分析

Fig. 5 The regression analysis between the optimal observation time and the daily total fluxes of three gases

为2:1,由此可见,各气体之间存在着显著的排放差异性。处理之间规律较为一致,PZ处理夜晚温室气体排放通量均高于PC、AC处理,这也从另一个方面印证了免耕处理夜间的土壤保温作用使微生物活性较高而导致温室气体缓慢释放。

图6 CO₂、N₂O、CH₄日通量的百分比分布Fig. 6 The percents of CO₂, N₂O, CH₄ daily fluxes

3 讨论与结论

本研究中,小麦生育后期常规耕作处理和免耕处理麦田 CO₂ 通量具有明显的日变化,呈现昼高夜低的趋势,其变化轨迹与全天气温的变化轨迹大体一致;CH₄ 通量的日变化呈双峰曲线,下午和午夜出现两个吸收高峰;而N₂O排放的日变化呈单峰曲线,下午出现排放高峰。目前,关于 CO₂、CH₄ 和N₂O的日变化,由于地域、环

境等因子的影响,规律并不明显,主要呈现地域性特征^[10-13]。在不同地区不同时期应通过日变化研究来选择适合当时季节的最佳采样时间,以增强观测结果的代表性。 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 通量的矫正系数随时间的分布和回归分析表明,小麦生育后期(4—6月) CO_2 通量的最佳观测时间在8:00—10:00, CH_4 在8:00—10:00, N_2O 为8:00—12:00,说明各气体在这一时间段的温室气体排放通量最能代表该时期一天的平均排放量,是该地区研究温室气体在小麦生育后期(4—6月)的最佳观测时间。

不同耕作措施对 CO_2 、 N_2O 、 CH_4 通量的影响,主要表现在不同的耕作措施因改变了土壤结构而使土壤的理化性质发生改变^[14],从而影响土壤中与温室气体排放相关的微生物数量和活性进而影响温室气体吸收和排放^[14-16],在日变化中,由于在较短时间尺度内没有降水、施肥及其他外界因素的影响,温度成为这一时期影响 CO_2 、 N_2O 、 CH_4 通量的决定性因素(由于方差分析表明各处理土壤含水量在一天中的变化并无显著性差异,本文将土壤水分指标作为稳定指标看待),有文献表明,在较短的时间尺度内,当土壤条件、气候因素和植物体维持相对稳定且日较差较大时, CO_2 、 N_2O 、 CH_4 通量在土壤环境温度范围内与土壤温度有正相关性^[17-19],本研究表明, CO_2 、 N_2O 、 CH_4 通量在各取样时间与地表温度和5 cm地温呈显著的正相关关系,说明日变化中地表温度和5 cm地温显著影响着 CO_2 、 N_2O 、 CH_4 的释放过程,这与蔡祖聪^[20]、张雪松^[21]、谢军飞^[18]、李晶^[19]、崔骁勇^[22]研究结果一致。因此,不同耕作措施造成的地表温度和5 cm地温的差异是造成3个处理间日变化差异的主要原因。

本研究结果表明,常规耕作后,AC、PC的 CO_2 、 N_2O 、 CH_4 通量显著高于PZ,其中 CO_2 通量分别比PZ高4.62%、27.23%, N_2O 通量分别比PZ高16.10%、18.33%, CH_4 通量分别比PZ高12.42%、7.12%,说明在不受其他外界因素影响下,土壤温度和耕层结构决定了各处理温室气体日排放量大小。另外,本试验在研究季节变化时发现^[4],在作物灌溉和施肥时期, N_2O 的排放往往呈现极大值,而 CH_4 、 CO_2 的排放呈现极小值,由此可见,当温度不在成为决定因子的情况下,温室气体的排放更体现出因多因素作用而产生的地域和时空差异。在日变化研究中,耕作方式对温室气体的影响远不及季节变化具有代表性,目前的研究也多以长时间尺度为基础,但结论不一,Lal曾在Science上指出免耕可以减少温室气体的排放^[23-24],有利于生态环境的改善,国内学者也有类似结论^[25-26],因为免耕条件下土壤能较好的维持上下层孔隙的连通性^[27-28],有利于温室气体的排放和吸收;而耕作破坏土壤原有结构,对未扰动土壤进行耕作可大大降低土壤 CH_4 汇的强度^[29],另外,农耕加秸秆还田能大大的促进 CO_2 的排放^[30-31];但也有研究发现,免耕方式下以 CO_2 形式释放的C与常规耕作的释放量相同甚至释放更多^[32],因为常规耕作转变为免耕后可使土壤碳储量增加,且免耕保持了土壤湿度,增加土壤容重并提高了地温,而耕作会使土壤迅速变干、疏松且散失更多的热量,长期耕作也会使土壤产生 CO_2 的底物土壤有机碳减少,从而引起常规耕作农田土壤比免耕释放较少的 CO_2 ^[33],免耕造成的土壤紧实环境促进反硝化过程而使 N_2O 的排放增加^[34-35]。而日变化中不同耕作措施对温室气体排放的影响仍需要进一步分析其地域性规律和差异。

目前,已有的日变化研究多集中在南方水稻田和内蒙古草原,在不同耕作措施的基础上对温室气体日变化的研究还相对较少,特别是在华北地区一年两熟制农作区的温室气体研究中更少。因此,加强对不同季节不同时段甚至不同生育期温室气体排放日变化的研究,确定不同季节条件下适宜本地区的温室气体最佳观测时间,对深入研究温室气体的排放机理和在长时间尺度条件下的排放规律具有十分重要的意义。

References:

- [1] Research Center for Climate Change, Ministry of Water Resources. Introduction of United Nations Framework Convention on Climate Change and Kyoto Protocol. China Water Resources, 2008, (2): 65-68.
- [2] National Development and Reform Commission. China National Plan for Coping with Climate Change. Beijing: China Environmental Science Press, 2007: 4-5.
- [3] Li Y C, Lin E D, Zhen X L. Advances in methods of agricultural greenhouse gas inventories. Advances in Earth Science, 2007, 22(10): 1076-1080.

- [4] Tian S Z, Ning T Y, Li Z J, Wang Y, Li H J, Zhong W L. Effect of CH₄ uptake flux under different tillage systems in wheat field in the North China Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 20(2): 541-548.
- [5] Huang G H, Chen G X, Wu J, Huang B, Yu K W. N₂O and CH₄ fluxes from typical upland fields in northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(4): 383-386.
- [6] Ma J, Xu H, Cai Z C, Yagi K. Diurnal variation of CH₄ emission from rice field as affected by rice plant. *Soils*, 2007, 39(6): 859-862.
- [7] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, Shen R X, Li J, Heyer J, Kogge M, Li T T, Jin J S. Comparison of manual and automatic methods for measurement of methane emission from rice paddy fields. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1998, 15(4): 569-579.
- [8] Qin X G, Cai B G, Wu J S, Wang G A, Liu D S. Diurnal variations of soil trace gases and related impacting factors. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(3): 376-388.
- [9] Hillel D. *Environmental Soil Physics*. San Diego: Academic Press, 1998: 291-293.
- [10] Boucher O, Haigh J, Hauglustaine D. Radiative forcing of climate//Climate Change, IPCC Scientific Assessment 2001. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 388-389.
- [11] Hu Y Q, Wang Y S, Ji B M, Wang M X, Du R. Diurnal Variations of Greenhouse Gase Emissions from a Nei Monggol Grassland. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2003, 26(2): 29-37.
- [12] Mo J M, Fang Y T, Li D J, Li E D, Li Y E. Soil CO₂ emission and CH₄ uptake in the main forests of Dinghushan in subtropical China. *Guihaia*, 2006, 26(2): 142-147.
- [13] Zhou C Y, Zhou G Y, Wang Y H, Zhang D Q, Liu S Z, Wang Y S, Sun Y. Soil respiration of a coniferous and broad-leaved mixed forest in Dinghushan Mountain, Guangdong Province. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(4): 23-27.
- [14] Zhang G S, Chan K Y, Li G D, Heenan D P. Long-term effects of tillage systems and rotation on selected soil properties in cropping zone of Southern NSW, Australia. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2722-2728.
- [15] Boeckx P, van Cleemput O. Methane oxidation in a neutral landfill cover soil: influence of moisture content, temperature, and nitrogen-turnover. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(1): 178-183.
- [16] Dunfield P, Knowles R, Dumont R, Moore T R. Methane production and consumption in temperate and subarctic peat soils: response to temperature and pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25(3): 321-326.
- [17] Xu W B, Liu W P, Liu G S. Effect of temperature on N₂O emissions from sub-tropical upland soils. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 1-8.
- [18] Xie J F, Li Y E. Effect of soil temperature on N₂O emission in upland farm of Beijing. *Agricultural Meteorology*, 2005, 26(1): 7-10.
- [19] Li J, Wang M X, Wang Y S, Huang Y, Zheng X H, Xu X. Advance of researches on greenhouse gases emission from Chinese agricultural ecosystem. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27(4): 740-749.
- [20] Cai Z C, Shen Y S, Gu X Y, Tsuruta H, Yagi K, Minami K. Effects of soil texture, soil temperature and Eh on methane emissions from rice paddy fields. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 35(2): 145-154.
- [21] Zhang X S, Shen S H, Li J, Yu Q. Soil CH₄ uptake in winter wheat field in the North China Plain. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2006, 29(2): 181-188.
- [22] Cui X Y, Chen Z Z, Chen S Q. Progress in research on soil respiration of grasslands. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 315-325.
- [23] Lal R, Griffin M, Apt J, Lave L, Morgan M G. Managing soil carbon. *Science*, 2004, 304(5669): 393-393.
- [24] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 2004, 304(5677): 1623-1627.
- [25] Wu F L, Zhang H L, Li L, Chen F, Huang F Q, Xiao X P. Characteristics of CH₄ emission and greenhouse effects in double paddy soil with conservation tillage. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(9): 2703-2709.
- [26] Bai X L, Zhang H L, Chen F, Sun G F, Hu Q, Li Y. Tillage effects on CH₄ and N₂O emission from double cropping paddy field. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(1): 282-289.
- [27] Yu H Y, Peng W Y, Ma X, Zhang K L. Effects of no-tillage on soil water content and physical properties of spring corn fields in semiarid region of northern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(1): 99-104.
- [28] Zhu W S, Gao Y C. Study on the technique principle of straw returning and no-tillage and its apply effect in two crops one year in North China // Mou Z G, Zhu W S, ed. *The Research for Reduced Tillage, No-Tillage, Mulching Farming in China*. Beijing: Science Technology Press, 1991: 11-21.
- [29] Willison T W, Webster C P, Goulding K W T, Powlson D S. Methane oxidation in temperate soils: effects of land use and the chemical form of nitrogen fertilizer. *Chemosphere*, 1995, 30(3): 539-546.
- [30] Niu X S, Niu L A, Zhang H Y, Fan J F, Hao J M, Ma Y L. Effect of no-tillage with maize straw mulching on soil respiration. *Ecology and Environment*, 2008, 17(1): 256-260.
- [31] Reicosky D C, Archer D W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research*, 2007, 94(1):

109-121.

- [32] Oorts K, Merckx R, Gréhan E, Labreuche J, Nicolardot B. Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. *Soil and Tillage Research*, 2007, 95(1/2): 133-148.
- [33] La Sclla N Jr, Bolonhezi D, Pereira G T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 2006, 91(1/2): 244-248.
- [34] Steinbach H S, Alvarez R. Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean Agroecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35(1): 3-13.
- [35] Six J, Ogle S M, Breidt F J, Conant R T, Mosier A R, Paustian K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. *Global Change Biology*, 2004, 10(2): 155-160.

参考文献:

- [1] 水利部应对气候变化研究中心. 《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》简介. *中国水利*, 2008, (2): 65-68.
- [2] 中国国家发展和改革委员会. 中国应对气候变化国家方案. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 4-5.
- [3] 李迎春, 林而达, 甄晓林. 农业温室气体清单方法研究最新进展. *地球科学进展*, 2007, 22(10): 1076-1080.
- [4] 田慎重, 宁堂原, 李增嘉, 王瑜, 李洪杰, 仲惟磊. 不同耕作措施对华北地区麦田 CH₄ 吸收通量的影响. *生态学报*, 2010, 20(2): 541-548.
- [5] 黄国宏, 陈冠雄, 吴杰, 黄斌, 于克伟. 东北典型旱作农田 N₂O 和 CH₄ 排放通量研究. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 383-386.
- [6] 马静, 徐华, 蔡祖聪, 八木一行. 水稻植株对稻田 CH₄ 排放日变化的影响. *土壤*, 2007, 39(6): 859-862.
- [8] 秦小光, 蔡炳贵, 吴金水, 王国安, 刘东生. 土壤温室气体昼夜变化及其环境影响因素研究. *第四纪研究*, 2005, 25(3): 376-388.
- [11] 胡玉琼, 王跃思, 纪宝明, 王明星, 杜睿. 内蒙古草原温室气体排放日变化规律研究. *南京气象学院学报*, 2003, 26(1): 29-37.
- [12] 莫江明, 方运霆, 李德军, 林而达, 李玉娥. 鼎湖山主要森林土壤 CO₂ 排放和 CH₄ 吸收特征. *广西植物*, 2006, 26(2): 142-147.
- [13] 周存宇, 周国逸, 王迎红, 张德强, 刘世忠, 王跃思, 孙扬. 鼎湖山针阔叶混交林土壤呼吸的研究. *北京林业大学学报*, 2005, 27(4): 23-27.
- [14] 张国盛, Chan K Y, Li G D, Heenan D P. 长期保护性耕种方式对农田表层土壤性质的影响. *生态学报*, 2008, 28(6): 2722-2728.
- [17] 徐文彬, 刘维屏, 刘广深. 温度对旱田土壤 N₂O 排放的影响研究. *土壤学报*, 2002, 39(1): 1-8.
- [18] 谢军飞, 李玉娥. 土壤温度对北京旱地农田 N₂O 排放的影响. *中国农业气象*, 2005, 26(1): 7-10.
- [19] 李晶, 王明星, 王跃思, 黄耀, 郑循华, 徐新. 农田生态系统温室气体排放研究进展. *大气科学*, 2003, 27(4): 740-749.
- [20] 蔡祖聪, 沈光裕, 颜晓元, 鹤田治雄, 八木一行, 阳捷行. 土壤质地、温度和 Eh 对稻田甲烷排放的影响. *土壤学报*, 1998, 35(2): 145-152.
- [21] 张雪松, 申双和, 李俊, 于强. 华北平原冬麦田土壤 CH₄ 的吸收特征研究. *南京气象学院学报*, 2006, 29(2): 181-188.
- [22] 崔骁勇, 陈佐忠, 陈四清. 草地土壤呼吸研究进展. *生态学报*, 2001, 21(2): 315-325.
- [25] 伍芬琳, 张海林, 李琳, 陈阜, 黄凤球, 肖小平. 保护性耕作下双季稻农田甲烷排放特征及温室效应. *中国农业科学*, 2008, 41(9): 2703-2709.
- [26] 白小琳, 张海林, 陈阜, 孙国峰, 胡清, 李永. 耕作措施对双季稻田 CH₄ 与 N₂O 排放的影响. *农业工程学报*, 2010, 26(1): 282-289.
- [27] 余海英, 彭文英, 马秀, 张科利. 免耕对北方旱作玉米土壤水分及物理性质的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(1): 99-104.
- [28] 朱文珊, 高云超. 北方一年两熟地区秸秆覆盖免耕技术原理及应用效果研究// 牟正国, 朱文珊. 中国少免耕与覆盖技术研究. 北京: 科学技术出版社, 1991: 11-21.
- [30] 牛新胜, 牛灵安, 张宏彦, 范聚芳, 郝晋珉, 马永良. 玉米秸秆覆盖免耕对土壤呼吸的影响. *生态环境*, 2008, 17(1): 256-260.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 2012

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