

不同耕作措施对华北地区麦田 CH_4 吸收通量的影响

田慎重, 宁堂原, 李增嘉*, 王 瑜, 李洪杰, 仲惟磊

(山东农业大学农学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 华北地区作为我国重要的粮食产区, 其农田土壤 CH_4 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。研究利用静态箱-气相色谱法研究了华北地区麦田 5 种不同耕作模式在不同生育时期土壤 CH_4 通量的动态变化和日变化, 试验结果表明: 5 种不同耕作模式在不同生育时期土壤 CH_4 通量具有明显的动态变化。不同的耕作处理都表现为 CH_4 的净吸收汇。整个生育期, 常规耕作无秸秆还田处理 \approx 常规耕作秸秆还田处理 $>$ 耙耕 \approx 旋耕 $>$ 深松耕 $>$ 免耕。 CH_4 吸收通量具有明显的日变化, 吸收通量白天高夜晚低。处理间比较, 常规耕作无秸秆还田处理 $>$ 常规耕作秸秆还田处理 $>$ 免耕。结论: 常规耕作无秸秆还田处理 CH_4 的吸收通量较高, 但此种耕作方式不利于土壤耕层的保护, 而耙耕、旋耕这两种保护性耕作方式使表层土壤具有较好的保墒保肥能力, 对土壤扰动小, 且只比常规无秸秆还田的 CH_4 吸收值低 5.35% 和 6.31%, 较有利于农业减排, 所以从环境效益和土壤保护这两个方面来看, 耙耕和旋耕这两种保护性耕作处理较为理想。

关键词: 保护性耕作; 华北平原; 冬小麦; CH_4 吸收通量; 秸秆还田

Effect of CH_4 uptake flux under different tillage systems in wheat field in the North China Plain

TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, LI Zengjia, WANG Yu, LI Hongjie, ZHONG Weilei

Agronomy College of Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an Shandong 271018, China

Abstract: North China is one of the major grain producing areas in China, the calculation of the soil CH_4 uptake and emission in this area play important role in estimating accurately China's emission amount of agricultural greenhouse gas and establishing reasonably agricultural mitigation and adaptation measures. In this study, the dynamic change and diurnal variation of soil CH_4 flux in five tillage models during different growth periods in North China were studied using the Static-Chamber method and the Gas Chromatography (GC). The results showed that, CH_4 flux had obvious dynamic change under different tillage models in different growth periods. All treatments were the sink of CH_4 absorption. Comparison of CH_4 uptake among different treatments indicated that CH_4 uptake flux under $\text{AC} \approx \text{PC} > \text{PH} \approx \text{PR} > \text{PS} > \text{PZ}$. CH_4 uptake flux also had obvious diurnal variation, higher in the daytime and lower in night. Comparison of CH_4 uptake flux among different treatments showed that $\text{AC} > \text{PC} > \text{PZ}$. As a result, CH_4 absorption flux was higher in the treatment of straw absence & conventional tillage, but this model was not conducive to protect plough layer. In comparison, harrow and rotary were both conservation tillage methods to keep a better ability for both soil moisture and fertilizers, and less disturbance to the soil. Furthermore, CH_4 uptake were only decreased by 5.35%, 6.31%, respectively, in the harrow and rotary conservation tillage methods than that in straw absence & conventional tillage method, and favorite to agricultural mitigation emissions. This investigation proved that harrow and rotary conservation tillage systems were ideal to benefits environmental and soil plough layer.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAD15B07, 2007BAD89B09-9); 2008 年公益性行业(农业)科研专项经费资助(200803028); 山东省资源节约型社会专项资助项目(2006JY06)

收稿日期: 2008-10-20; **修订日期:** 2008-12-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijz@sdau.edu.cn

Key Words: tillage systems; North China Plain; winter wheat; CH₄ uptake flux; straw present

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。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^[1]。甲烷(CH₄)作为《京都议定书》限制排放的 6 种温室气体之一^[2],对气候变化影响仅次于 CO₂居第 2 位,但其温室效应的辐射增温潜力却是 CO₂的 20—30 倍^[3]。陆地上的土壤既是大气 CH₄的排放源,也是大气 CH₄的吸收汇。大气中的 CH₄被土壤中的甲烷氧化菌氧化吸收,其氧化吸收量大约占大气甲烷消耗量的 10%^[4]。影响 CH₄氧化吸收的主要原因是土壤的理化性质影响了 CH₄氧化菌的活性^[5]。在我国,北方旱地农田好气性土壤是大气 CH₄重要的汇之一,华北地区作为我国重要的粮食产区,其农田土壤 CH₄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^[6]。而耕作措施作为农业生产的主要环节,其对 CH₄氧化吸收影响的研究还较少。本研究探讨了在几种不同耕作模式下华北地区典型冬麦田 CH₄氧化吸收通量的季节变化和日变化,对不同耕作模式的基础上有效减少温室效应提供技术支持,并为该地区农田生态系统 CH₄排放和吸收总量的估算提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验条件

本实验 2007—2008 年在山东农业大学农学实验站进行。试验地位于东经 117°09′13.79″—117°09′12.02″,北纬 36°09′30.78″—36°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℃,年均日照时数 2462.3h,年均降雨量 786.3mm,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 1.2%,全氮含量 0.1%。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组设计,分为 Z(免耕)、R(旋耕)、H(耙耕)、S(深松)和 C(常规耕作措施)5 种耕作措施,以 AC(常规无秸秆还田)和 PC(常规秸秆还田)为对照,共 6 个处理,分别为 AC(常规无秸秆还田)、PC(常规秸秆还田)、PS(深松耕秸秆还田)、pH(耙耕秸秆还田)、PR(旋耕秸秆还田)、PZ(免耕秸秆还田),试验设 3 次重复。

CH₄吸收通量的季节变化在小麦播种后,选取各生育典型时期在 6 个处理进行取样,日变化由于夜间取样难度较大,只选取常规无秸秆还田处理、常规秸秆还田处理和免耕处理进行取样,在 5 月 08—10 日重复观测,以 2h 为 1 取样单位。

1.3 观测方法与计算

气体观测采用静态箱-气相色谱法,静态箱由玻璃纸制成(1m×0.5m×0.5m),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 30cm,底部插入地下 20cm,基座上部设置水槽,用于采集气体时浇水密封。基座于播种期埋入小区中。取样时将箱体罩在事先按好的基座上,用 60ml 针管插入箱体的采样口,分别于 0、30min 采集气体,同时测定大气温度、箱内温度、地表温度、5cm 地温和土壤水分,采样后带回实验室,用 GC-2010 气相色谱仪测定 CH₄浓度,GC-2010 气相色谱仪采用 2m 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 200℃,柱箱温度 80℃,载气总流量 30ml/min,氢气流量 40ml/min,空气流量 400ml/min。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^[7]: $F = 60 \times H \times M \times P / 8.314 \times (273 + T) \times dc/dt$ 。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($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$),P 为测定时的大气压(Pa)。

1.4 田间试验管理

供试小麦品种为济麦 20 号,基施折合纯氮 160kg·hm⁻²,P₂O₅ 150kg·hm⁻²;K₂O 105kg·hm⁻²,各处理统一

浇拔节水 160mm,配合浇水追施纯氮 80kg·hm⁻²。

1.5 试验数据处理

试验所得数据采用 Excel 和 DPS6.05 数据分析系统处理、作图。

2 结果与分析

2.1 华北地区麦田不同耕作模式在不同生育期中 CH₄ 吸收通量的动态变化

2.1.1 不同耕作模式在不同生育期中 CH₄ 吸收通量的动态变化

如图 1 所示,整个小麦生育期各处理 CH₄ 吸收通量变化趋势大体一致。整个生育期 CH₄ 吸收通量,AC ≈ PC > PH ≈ PR > PS > PZ。不同的耕作处理都表现为 CH₄ 的净吸收汇。在小麦播种期(10 月中旬),PH 和 PR 处理吸收通量相对较高,分别为 10.36、9.38 μg·m⁻²·h⁻¹,显著高于其它处理。在播种-冬前(10—12 月份)这段时期,CH₄ 吸收通量逐渐减小,CH₄ 的吸收在整个生育期的最低,其中 PZ 的吸收通量最低,只有 1.1 μg·m⁻²·h⁻¹,显著低于其它处理。进入起身期(3 月中旬),CH₄ 的吸收通量达到了年后的第 1 个高峰,AC 最高达到 20.49 μg·m⁻²·h⁻¹,PZ 最低,比 AC 低近 54.2%,其他保护性耕作处理显著低于常规耕作的处理。拔节期(4 月上旬),CH₄ 出现吸收低谷,吸收通量 AC > PC > PH > PR > PS > PZ。开花期(5 月上旬),各处理的 CH₄ 吸收通量达到整个生育期的最大值,AC 吸收通量最高,达到 27.88 μg·m⁻²·h⁻¹,PZ 最低为 19.66 μg·m⁻²·h⁻¹。AC、PC、PS、PH、PR 之间差异不显著。进入生育后期(5 月下旬—6 月上旬),各处理 CH₄ 的吸收通量有所降低。

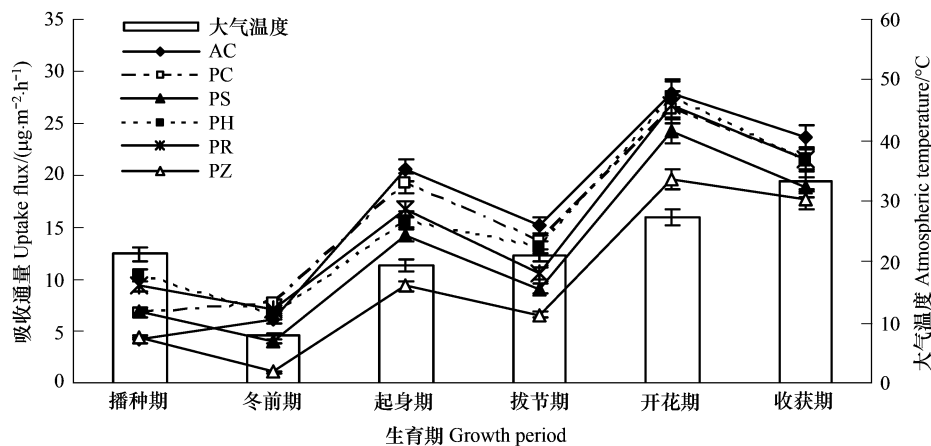


图 1 不同生育期不同耕作模式 CH₄ 吸收通量的动态变化

Fig. 1 Dynamic change of CH₄ uptake flux under different tillage treatments in growth period variations

2.1.2 不同生育时期各处理的 CH₄ 吸收通量与地表温度、5cm 地温和土壤水分的关系

表 1 的相关性分析表明,在不同生育期影响 CH₄ 吸收通量的因素不同,不同生育期各处理 CH₄ 吸收通量都与温度呈正相关关系,与水分呈负相关关系,说明温度和水分是不同生育时期影响各处理 CH₄ 通量差异的主要原因。造成播种期各处理的 CH₄ 的吸收通量与温度和水分相关性都不显著的原因可能是 N 肥的施用限制了 CH₄ 的氧化吸收,已有文献指出^[8-9]:基肥施用会使土壤中的 N 素增加从而影响土壤中 CH₄ 氧化菌的氧化作用。

图 2 给出不同生育时期不同耕作模式土壤含水量的动态变化。表 2 分析了不同生育时期 6 个处理之间的 5cm 地温和土壤含水量的显著性差异,可以看出,各生育期处理之间 5cm 地温和土壤含水量具有明显的差异性,因此不同耕作处理的 CH₄ 吸收通量存在差异。

2.2 不同耕作模式下华北地区麦田 CH₄ 吸收通量的日变化

2.2.1 不同耕作模式下 CH₄ 吸收通量的日变化

由图 3 可以看出,不同耕作处理 CH₄ 吸收通量有明显的日变化,各处理平均值 AC > PC > PZ。各处理变

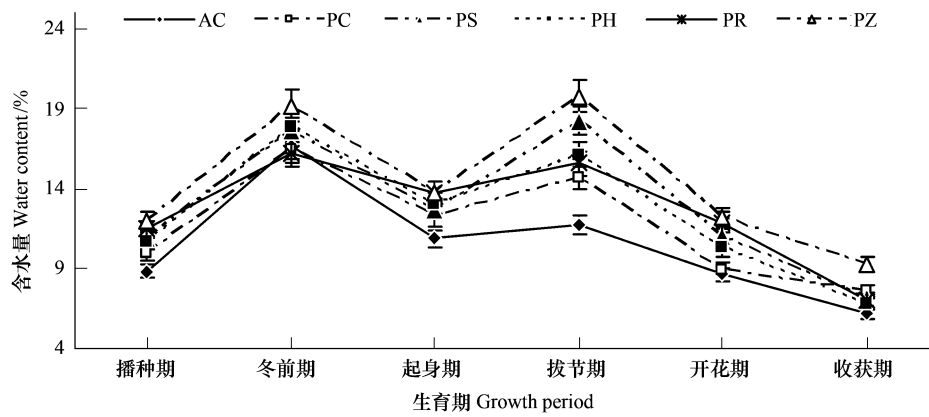


图2 不同生育时期不同耕作模式土壤含水量的动态变化

Fig.2 Dynamic change of soil moisture under different tillage treatments in growth period variations

表1 不同生育时期各处理的CH₄吸收通量与地表温度、5cm地温和土壤水分的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between CH₄ uptake flux of all treatments and land surface temperature, soil temperature of 5cm depth and soil moisture in various growth periods

生育期 Growth period	地表温度 Land surface temperature		5cm地温 Soil temperature of 5cm depth		土壤水分 Soil moisture	
	相关方程 Correlation equation	相关系数 R	相关方程 Correlation equation	相关系数 R	相关方程 Correlation equation	相关系数 R
播种期 Seeding stage	$y = 0.1168x + 21.86$	0.5592	$y = 0.1172x + 17.772$	0.4543	$y = -0.0013x + 0.0978$	-0.2897
冬前期 Earlier winter stage	$y = 0.1429x + 3.3378$	0.9413 **	$y = 0.1375x + 2.1112$	0.9351 **	$y = -0.004x + 0.195$	-0.8744 *
起身期 Erecting stage	$y = 0.105x + 11.82$	0.8370 *	$y = 0.1163x + 6.2532$	0.9016 *	$y = -0.0021x + 0.1604$	-0.7560
拔节期 Jointing stage	$y = -0.0637x + 18.865$	-0.7787	$y = 0.0794x + 12.63$	0.6416	$y = -0.0082x + 0.2529$	-0.9307 **
开花期 Anthesis	$y = 0.148x + 17.606$	0.9727 **	$y = 0.2714x + 14.252$	0.9389 **	$y = -0.0032x + 0.1855$	-0.6585
收获期 Harvesting stage	$y = -0.0604x + 27.939$	-0.5220	$y = 0.2828x + 17.003$	0.6428	$y = -0.004x + 0.1574$	-0.8246 *

* 0.05 显著水平($R \geq 0.8114$), ** 0.01 显著水平($R \geq 0.9172$)

表2 不同生育时期中不同耕作模式对地表温度、5cm地温和土壤水分的影响

Table 2 Effect of different tillage treatments on Land surface temperature, soil temperature of 5cm depth and soil moisture in various growth periods

项目 Item	处理 Treatment	生育期 Growth period					
		播种期 Sssding stage	冬前期 Earlier winter stage	起身期 Erecting stage	拔节期 Jointing stage	开花期 Anthesis	收获期 Harvesting stage
5cm地温 Soil temperature of 5cm depth	AC	18.51bcAB	2.83abcAB	8.57abAB	13.43bcAB	22.26aA	24.47aA
	PC	19.15abA	3.38aA	8.75aA	14.08aA	21.05abcAB	22.90bcAB
	PS	18.60bcAB	2.63bcAB	8.17bcAB	13.61abAB	20.52bcAB	23.29bAB
	PH	19.50aA	2.87abcAB	7.83cdBC	13.65abAB	21.69abAB	22.68bcAB
	PR	18.00cdB	3.13abAB	8.00cABC	13.57abAB	21.58abAB	22.21bcB
	PZ	17.80dB	2.34cB	7.35dC	12.86cB	19.94cB	21.75cB
土壤含水量 Soil moisture	AC	0.0887eD	0.1672cdBCD	0.1090bA	0.1176cD	0.0866cD	0.0621dD
	PC	0.1003dC	0.1645dCD	0.1230abA	0.1467bC	0.0897cD	0.0765Bb
	PS	0.1094bcABC	0.1760bcBC	0.1273abA	0.1824aAB	0.1100bBC	0.0721bcBC
	PH	0.1071cdBC	0.1789bB	0.1305aA	0.1614bBC	0.1031bC	0.0681cCD
	PR	0.1146abAB	0.1616dD	0.1373aA	0.1558bC	0.1191aAB	0.0709cBC
	PZ	0.1198aA	0.1918aA	0.1379aA	0.1976aA	0.1222aA	0.0928aA

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

化趋势非常一致,都呈现升高→降低→升高→降低→升高的变化轨迹。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,AZ 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。

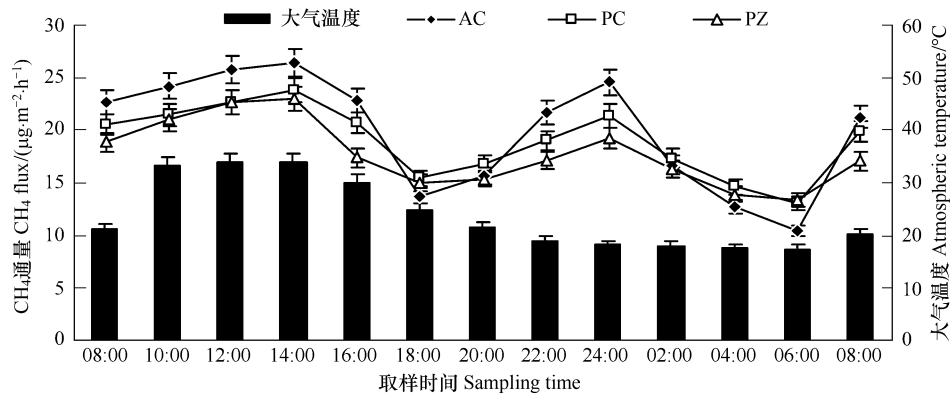


图3 不同耕作模式下 CH₄ 吸收通量的日变化

Fig.3 Diurnal variations of CH₄ flux under different tillage treatments

2.2.2 CH₄ 吸收通量的日变化与地表温度、5cm 地温的关系

由表3可知,AC、PC 的地表温度和5cm 地温与 CH₄ 吸收通量日变化呈显著正相关关系,PZ 的5cm 地温与 CH₄ 吸收通量日变化的相关性关系不显著,说明该处理 CH₄ 吸收通量日变化可能还受其它原因的共同影响,如土壤的透气性。可见,地表温度是造成3 个不同耕作处理 CH₄ 吸收通量日变化差异的主要原因之一。

表3 CH₄ 吸收通量日变化与地表温度、5cm 地温的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between CH₄ uptake flux and land surface temperature and soil temperature of 5cm depth in diurnal variations

处理 Treatment	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
AC	$y = 0.3802x + 12.779$	0.6108 *	$y = 0.3068x + 13.933$	0.5863 *
PC	$y = 0.8098x + 5.4098$	0.7291 **	$y = 0.3113x + 14.05$	0.5728 *
PZ	$y = 0.8001x + 6.8989$	0.6876 **	$y = 0.1151x + 17.218$	0.3670

* 0.05 显著水平 ($R \geq 0.5529$), ** 0.01 显著水平 ($R \geq 0.6835$)

由表4可知,8:00—16:00,AC 的5cm 地温显著高于 PC 和 PZ,20:00—4:00,PZ 地温显著高于 AC 和 PC,从全天3 种耕作模式的地温变化可以看出:AC 和 PC 升温快降温也快,这从一个侧面说明 AC 和 PC 的土壤透气性较好,从而有利于土壤对 CH₄ 的氧化吸收,而 PZ 全天温度变化差异较小,PZ 的 CH₄ 吸收通量与5cm 地温相关关系不显著,说明还有其他限制因素影响 CH₄ 吸收通量,可能与土壤紧实不利于土壤中 CH₄ 和有效氧在土壤中扩散有关,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。

3 讨论

由相关性分析可知,CH₄ 吸收通量与温度呈正相关关系,与土壤水分呈负相关关系,土壤温度和土壤含水量显著性影响 CH₄ 吸收通量,这与蔡祖聪^[10]、张雪松^[20] 研究结果一致。本研究结果表明:不同耕作处理无论是在不同生育期还是在日变化中,土壤温度和土壤含水量都显著影响 CH₄ 的吸收通量。由于耕作改变了土壤结构,最终使土壤的理化性质发生改变^[11],因此不同的耕作措施使各处理土壤温度和土壤含水量产生差异,

进而影响各处理土壤中氧化 CH_4 的菌群数量和生存环境,已有研究证明,土壤温度影响土壤中包括甲烷氧化菌在内的微生物活性而影响土壤对 CH_4 的吸收^[12-13],而土壤表层土壤含水量可以通过改变土壤的氧化还原电位(Eh)、透气性、pH 值、微生物活性以及 CH_4 在土壤中的扩散速率等来影响 CH_4 的氧化吸收作用^[14]。

表 4 不同取样时间各处理 5cm 地温差异

Table 4 Soil temperature of 5 cm depth at different sampling time of three tillage treatments

取样时间 Sampling time	地表温度 Land surface temperature			5cm 地温 Soil temperature of 5cm 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

各处理无论在不同生育时期还是在日变化中,处理间差异较明显,AC 和 PC 的 CH_4 吸收通量一直处于较高的吸收水平,因为常规耕作后土壤疏松,土壤通气状况好于其它保护性耕作处理,AC 和 PC 的日变化表明,地表温度和 5cm 地温随昼夜温度的影响较大,这与土壤的透气性有关,有试验证明^[15]:不同耕作措施对土壤容重等土壤物理性状有显著影响,常规耕作处理土壤容重较小,孔隙度较大,因此氧化 CH_4 的菌群在通气性良好的土壤中较易获得适宜的水、温等生存条件和好氧环境,从而有利于土壤对 CH_4 的氧化吸收,已有文献表明,通气状况良好的土壤是 CH_4 的最大吸收汇^[16],另外, CH_4 的供应和有效氧含量也是控制 CH_4 氧化速率的重要因素^[12,17];但也有报道认为耕翻并不利于 CH_4 的氧化吸收,且有利于 CH_4 的排放,原因是耕作破坏了土壤的原有结构,减少了对 CH_4 的氧化程度^[18],所以关于翻耕是否有利于农业减排还需要进一步研究。另外,。PH 和 PR 的 CH_4 吸收通量差异不显著,略低于 AC,但显著高于 PS、PZ,通过对处理之间土壤含水量的显著性分析,各生育时期 PH 和 PR 土壤含水量显著大于 AC 和 PC,因为耙耕和旋耕对土壤扰动较小,其土壤表层有较好的保水性^[19],且土壤温度较低,可能在一定程度上限制了氧化 CH_4 的菌群活性。深松耕耕层下部扰动较大,而土壤 CH_4 氧化率的峰值通常出现在土壤亚表层(5—10cm),25cm 以下土层则基本没有 CH_4 氧化活性^[7],这可能是造成 PS 处理 CH_4 吸收通量较低的原因。免耕措施造成表层土壤紧实因此免耕土壤表层含水量显著高于其它处理,虽然 5cm 地温较高,但是大气中的 CH_4 和 O_2 向土壤中扩散困难,这种低 O_2 环境不利于氧化 CH_4 的菌群活动,且还会限制氧化 CH_4 的菌群繁殖^[20],这些因素可能是造成 PZ 不同生育期和日变化中 CH_4 吸收通量较低的主要原因。另外,在日变化中,各处理在夜间气温下降的情况下出现吸收高峰,这与张雪峰^[21]在华北平原冬麦田、王艳芬^[22]在内蒙古草甸草原观测到夜间有 CH_4 吸收高峰的现象相类似。主要原因可能是由于夜间土壤温度降低,土壤微生物的活性受到抑制,土壤中氧化 CH_4 的氧化菌较其他菌群对低温具有较高的忍耐力^[23],此时能充分发挥氧化功能,因此土壤 CH_4 氧化通量反而在午夜出现峰值,这一现象还需要进一步试验研究。

试验结果表明,虽然 AC 的 CH_4 吸收通量较高,但此种耕作方式对土壤扰动较大,不利于对土壤耕层的保护,而耙耕、旋耕这两种保护性耕作方式具有较好的保墒保肥能力,对土壤扰动小,且 PH、PR 只比 AC 的 CH_4

吸收值低 5.35% 和 6.31%, 较有利于农业减排, 所以从环境效益和土壤保护这两个方面来看, 耙耕和旋耕这两种保护性耕作处理较为理想。

由于前人在耕作措施对 CH₄氧化吸收影响的研究只限于常规耕作和免耕这两种措施的对比上, 涉及耙耕、旋耕、深松耕等保护性耕作对 CH₄氧化吸收的影响的文献还较少。目前, 保护性耕作已在我国大面积推广, 需更进一步研究在这几种保护性耕作措施与 CH₄吸收通量的关系, 探讨出一种即能减小耕作措施对土壤的破坏, 又能使耕作措施最大限度的不影响 CH₄的氧化吸收而达到减排目的的合理模式, 从而保护农业生态环境。

References:

- [1] National Development and Reform Commission. National Scheme of China Coping with Climate Change. Beijing: China Environmental Science Press, 2007: 4-5.
- [2] Coping Climate Change Research Center of the Ministry of Water Resources. Introduction of United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. China Water Resources, 2008, (2): 65-68.
- [3] IPCC. Climate change 2001: The Scientific Basis. Contribution of work group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [4] Zhou Y F, Liao X L. Emission of methane from environment affected by methanogens and methanotrophs. Journal of Agro-Environment Science. 2007, 26(Supplement): 340-346.
- [5] Ye Y, Lu C Y, Tan F Y. Rate of methane production from the wetland of mangrove forest and the effect of soil physical and chemical factors on it. Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(1): 77-84.
- [6] 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.
- [7] Huang G H, Chen G X, Wu J. N₂O and CH₄ fluxes from typical upland fields in northeast China. Chinese Journal of Applied Ecology, 1995, 6(4): 383-386.
- [8] Liang Z B, Shi Y, Wang C Z, Yue J. Methane oxidation in soil profiles of Broad-Leaved / Korean Pine Mixed Forest in Changbai Mountain. Journal of the Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2004, 121(11): 71-77.
- [9] Ding W X, Cai Z C. Mechanisms of nitrogen fertilizer suppressing atmospheric methane oxidation by methanotrophs in Soils. Rural Eco-Environment, 2001, 17(3): 30-34.
- [10] Cai Z C, Shen Y S, Gu X Y. Effects of soil texture, soil temperature and pH on methane emissions from rice paddy fields. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(2): 145-152.
- [11] 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.
- [12] Boeckx P, Van Cleemput O. Methane oxidation in an eutric land fill cover soil: influence of moisture content, temperature, and nitrogen turnover. Journal of Environmental Quality, 1996, 25(1): 178-183.
- [13] 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 Biol Biochem, 1993, 25(3): 321-326.
- [14] Qi Y C, Dong Y S, Zhang S. Methane Fluxes of Typical Agricultural Soil in the North China Plain. Rural Eco-environment, 2002, 18(3): 56-60.
- [15] Zhou X X, Gao H W, Liu X F. Experimental study on conservation tillage system in Areas of two crops a year in North China Plain. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(6): 81-84.
- [16] Dong Y H, Ou Y Z. Effects of organic manures on CO₂ and CH₄ fluxes of farmland. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1303-1307.
- [17] Lerner J, Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. Soil Biol, 2001, 37(1): 25-50.
- [18] Wan Y F, Lin E D. The Influence of Tillage on CH₄ and CO₂ emission flux in winter fallow cropland. Chinese Journal of Agrometeorology, 2004, 25(3): 8-10.
- [19] Ding W X, Cai Z C. Effect of temperature on atmospheric CH₄ oxidation in soils. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(3): 54-58.
- [20] Zhang X S, Shen S H, Li J. Soil CH₄ uptake in winter wheat field in the North China Plain. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006, 29(2): 181-188.
- [21] Wang Y F, Ma X Z, Ji B M. Diurnal and seasonal variation in methane and nitrous oxide fluxes in meadow steppe of inner Mongolia. Journal of Plant Ecology, 2003, 27(6): 792-796.
- [22] 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 Biol Biochem*, 1993, 25(3):321-326.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [4] 周叶锋, 廖晓兰. 影响甲烷排放量的两种细菌-产甲烷细菌和甲烷氧化菌的研究进展. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 340-346.
- [5] 叶勇, 卢昌义, 谭凤仪. 红树林湿地土壤 CH_4 产生率及其土壤理化因素影响的研究. 土壤学报, 2000, 37(1): 77-84.
- [6] 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.
- [7] 黄国宏, 陈冠雄, 吴杰. 东北典型旱作农田 N_2O 和 CH_4 排放通量研究. 应用生态学报, 1995, 6(4): 383-386.
- [8] 梁战备, 史奕, 王琛瑞, 岳进. 长白山阔叶红松林不同深度森林土壤氧化 CH_4 研究. 中国科学院研究生院学报, 2004, 121(11): 71-77.
- [9] 丁维新, 蔡祖聪. 氮肥对土壤氧化大气甲烷影响的机制. 农村生态环境, 2001, 17(3): 30-34.
- [10] 蔡祖聪, 沈光裕, 颜晓元. 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.
- [11] 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.
- [14] 齐玉春, 董云社, 章申. 华北平原典型农业区土壤甲烷通量研究. 农村生态环境, 2002, 18(3): 56-60.
- [15] 周兴祥, 高焕文, 刘晓峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系试验研究. 农业工程学报, 2001, 17(6): 81-84.
- [16] 董玉红, 欧阳竹. 有机肥对农田土壤二氧化碳和甲烷通量的影响. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1303-1307.
- [18] 万运帆, 林而达. 翻耕对冬闲农田 CH_4 和 CO_2 排放通量的影响初探. 中国农业气象, 2004, 25(3): 8-10.
- [19] 丁维新, 蔡祖聪. 温度对土壤氧化大气 CH_4 的影响. 生态学杂志, 2003, 22(3): 54-58.
- [20] 张雪松, 申双和, 李俊. 华北平原冬麦田土壤 CH_4 的吸收特征研究. 南京气象学院学报, 2006, 29(2): 181-188.
- [21] 王艳芬, 马秀枝, 纪宝明. 内蒙古草甸草原 CH_4 和 N_2O 排放通量的时间变异. 植物生态学报, 2003, 27(6): 792-796.