

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.S0.030

耕作措施对京郊冬小麦农田 CO₂、CH₄ 排放通量的影响*

郑智旗 王树东 何进 王庆杰 李洪文 张祥彩

(中国农业大学工学院,北京 100083)

摘要: 通过设置在北京市大兴区青云店镇的不同耕作措施试验,利用静态箱-气相色谱法对2季冬小麦(2011年10月—2012年7月和2012年10月—2013年7月)各关键生育期内 CO₂、CH₄ 的排放通量进行了测定。结果表明:免耕(NT)、深松(ST)、旋耕(RT)、传统耕作(CT)4种耕作措施下,冬小麦农田土壤总体表现为 CO₂ 源和 CH₄ 汇的功能,且 CO₂ 和 CH₄ 都有明显的日变化和季节变化特征。CO₂ 日排放通量最高峰出现在 0:00,最低峰出现在 10:00;CO₂ 季节排放通量最高峰出现在冬小麦播种期和收获期,最低峰出现在越冬期。CH₄ 日排放和季节排放通量变化特征差异显著,但没有明显的变化规律。CO₂ 排放通量与 0~20 cm 各土层土壤温度呈正相关,与 0~30 cm 各土层土壤质量含水率呈负相关关系。CH₄ 排放通量与 0~20 cm 各土层土壤温度呈正相关关系。4种耕作处理下,冬小麦农田 CO₂ 的季节平均排放通量为:传统耕作 > 旋耕 > 深松 > 免耕,CH₄ 的季节平均吸收通量为:旋耕 > 传统耕作 > 免耕 > 深松。免耕相对于旋耕和传统耕作农田 CO₂ 季节平均排放通量降低了 23.3%~27.1%;旋耕、传统耕作相对于免耕和深松 CH₄ 的季节平均吸收量增加了 20% 以上。因此,在京郊冬小麦农田,4种耕作措施(NT、ST、RT 和 CT)均能不同程度地增加 CH₄ 的吸收量,同时,采用免耕能进一步降低农田 CO₂ 排放量。

关键词: 小麦 耕作措施 京郊 CO₂ CH₄ 通量

中图分类号: S512.1⁺1;S157.4⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2014)S0-0189-07

引言

气候变暖使温室气体减排成为研究和关注的焦点。农田土壤具有巨大的固碳潜力,同时又是 CO₂、CH₄ 等温室气体重要排放源^[1-2]。通过改变翻耕等传统耕作方式,采用保护性耕作,可有效增加土壤碳库、改善土壤特性并减少温室气体排放^[1,3-4]。国外研究表明采用保护性耕作和少、免耕措施后农田土壤碳库呈稳定增长趋势^[5]。国内在保护性耕作增产、增效及其影响因子方面进行了较多研究。其中,关于耕作措施和施肥方式对 CO₂、CH₄ 排放通量的影响方面,更多的是集中在土壤呼吸,而在作物呼吸、光合作用等综合产生的排放方面研究较少^[6-8]。本文在京郊一年两熟区冬小麦田采用透明静态箱-气相色谱法^[9-10],在分析各耕层土壤温度、土壤质量含水率等与 CO₂、CH₄ 排放通量相关关系的基础上,明确不同耕作措施对冬小麦农田 CO₂、CH₄ 排放通量变化规律的影响,为减少京郊冬小麦田温室气体排放选择合理的耕作方式提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于2011年10月—2012年7月和2012年10月—2013年7月在北京市大兴区青云店镇沙子营村进行。试验区位于东经 116°,北纬 39°,海拔高度为 45 m。该地区属于典型的暖温带半湿润大陆季风气候,多年平均降水量为 589.8 mm,降雨主要集中在 7、8 月份,多年的平均蒸发量为 1 936.4 mm。年平均气温为 11.6℃,全年大于(等于)10℃的积温为 4 500℃。试验区地势平坦,土质为壤土,属典型的冬小麦-夏玉米一年两熟农作区。

试验区为长期定位试验,始于 2005 年,共设置 4 种耕作处理:①免耕(NT):玉米收获后,小麦免耕播种一次性完成秸秆粉碎、播种、施肥等作业。②深松(ST):玉米收获后,深松 30 cm,再小麦免耕播种、施肥等。③旋耕(RT):玉米收获后秸秆粉碎,旋耕 15 cm(2 遍),再小麦播种、施肥等。④传统耕作(CT):玉米收获后秸秆还田,铧式犁翻耕 20 cm,旋耕整地 1 遍,再小麦播种、施肥等。每种处理重复 3 次,共设置 12 个小区,相邻两小区间设 1 m 的隔

收稿日期:2014-06-11 修回日期:2014-08-20

*教育部创新团队发展计划资助项目(IRT13039)

作者简介:郑智旗,博士生,主要从事保护性耕作效果监测研究,E-mail: zhiqizheng@163.com

通讯作者:何进,副教授,博士生导师,主要从事保护性耕作研究,E-mail: hejin@cau.edu.cn

离带,其中小区的设计为:长 60 m,宽 6 m。各处理均使用相同的作物品种并采用相同肥、水管理措施。试验用冬小麦品种为“京 9428”,播种量 300 kg/hm²,播种时施磷酸二铵 262 kg/hm²、尿素 112 kg/hm²,各处理统一浇冻水和拔节期水各 160 mm,配合浇水追施尿素 112 kg/hm²。

1.2 气体采集与分析

采用静态箱-气相色谱法测定农田 CO₂、CH₄ 排放通量。静态箱箱体由透明 PVC 材料制成(60 cm × 30 cm × 30 cm),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 10 cm,底部插入地下 5 cm,基座上设置水槽,用于采集气体时浇水密封。播种后,将底座安放在小麦播种行上,期间不再移动。分别在冬小麦各关键生育期取样测定,每次进行 24 h 连续观测,时间间隔为 2 h,取平均值作为该生育期 CO₂、CH₄ 的排放通量。取样时,将透明箱体罩在基座上,分别在第 0、30 min 从箱体采样口采集气体,密封在 0.5 L 的铝制采样袋内,送回实验室测定。同时,用针式土壤温度计分别在 5、10、15 和 20 cm 处测定土壤温度;采用环刀-烘干法取样测定 0~10、10~20 和 20~30 cm 土层的土壤质量含水率^[11]。

气体样品浓度使用岛津 GC-2014 型气相色谱仪分析。该分析系统由 1 个十通阀、1 个六通阀、3 根色谱分析柱(2 个 Porpack N 和 1 个 MS-13X)、1 个甲烷转化炉(MTN)和 1 个 FID 检测器组成。测定温度 FID 为 200℃,MTN 为 350℃,柱温为 50℃,载气为高纯氮气,燃气为高纯氢气。排放通量由箱中气体浓度随时间的变化速率得出^[12]

$$F = 60H \frac{MP}{8.314(273 + T)} \frac{dC}{dt} \quad (1)$$

式中 F ——气体排放通量,mg/(m²·h)

H ——静态箱有效高度,cm

M ——气体摩尔质量,g/mol

P ——采样点大气压,MPa

T ——采样时箱内平均温度,℃

$\frac{dC}{dt}$ ——气体排放速率,ppmv/min

使用透明静态箱测得的 CO₂、CH₄ 通量受呼吸作用(包括土壤微生物、土壤动物的异养呼吸以及作物的自养呼吸)和作物的光合作用控制^[10],这里用排放通量表示。呼吸作用向大气排放温室气体,值为正;光合作用吸收大气 CO₂,值为负;若综合呼吸和光合作用,排放通量为正,则为大气的排放源,反之,则为吸收汇。

1.3 数据分析

试验所得数据采用 Excel 处理、作图;采用 SPSS

20.0 进行方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同耕作措施下 CO₂、CH₄ 排放通量的日变化特征

2.1.1 CO₂、CH₄ 排放通量的日变化

取冬小麦生长较为缓慢的越冬期和生长较为旺盛的拔节期进行日变化分析。研究表明,4 种耕作措施下,冬小麦越冬期和拔节期农田 CO₂ 的日变化均表现出白天低、夜晚高的单峰型变化特征(图 1)。从下午 14:00 开始观测,随着时间延长 CO₂ 排放通量不断上升,在 0:00 左右达到 1 d 中排放的最高峰,此时旋耕处理最高,在越冬期和拔节期的值分别为 1 160.57 和 1 415.58 mg/(m²·h);随后,CO₂ 排放通量开始逐渐下降,在次日上午 10:00 左右达到 1 d 中排放的最低点,此时免耕处理最低,在冬小麦越冬期和拔节期分别为 203.11 和 -646.80 mg/(m²·h)。这主要是因为上午 10:00 左右光合作用最强,同时呼吸作用也相对较强,两者综合后使得 CO₂ 排放通量相对较小;而在夜晚光合作用可以忽略不计,呼吸作用依然保持,因此 CO₂ 日排放通量最高,这与段翠清等^[13]对黄土高原旱地春小麦成熟期农田 CO₂ 呼吸通量和周凌云等^[14]对小麦光合作用日变化的研究结论相一致。

方差分析表明,4 种耕作措施下农田 CO₂ 排放通量在越冬期和拔节期的差异性均不显著($P = 0.939, 0.987 > 0.05$)。免耕、深松、旋耕和传统耕作在冬小麦越冬期和拔节期 CO₂ 日均排放通量分别为 802.89、843.12、863.67、796.56 mg/(m²·h) 和 162.53、172.39、218.00、182.12 mg/(m²·h)。2 个生育期的 CO₂ 日均排放通量相差较大,这主要是由于土壤温度和作物光合作用强度不同造成。冬小麦越冬期和拔节期 0~20 cm 土层土壤温度的变化范围分别是 0.1~1.4℃ 和 13.5~15.4℃(图 2),拔节期作物光合作用、小麦根系生长和微生物活动较为旺盛,但其综合作用产生的 CO₂ 排放相对较低,这与胡玉琼等的观测结果类似^[15]。

由图 1 可知,4 种耕作措施下冬小麦越冬期和拔节期农田的 CH₄ 日排放特征差异较大,各处理农田 CH₄ 的吸收和排放均有发生,但排放和吸收情况却不相同,甚至相反。这主要是因为 CH₄ 排放通量受温度、土壤含水率、土壤孔隙度、pH 值等多重因素的影响^[7,16]。越冬期,从 14:00 观测开始至次日 2:00,免耕和深松处理下均表现为 CH₄ 排放特征,而旋耕和传统耕作基本表现为吸收特征;随后,各处

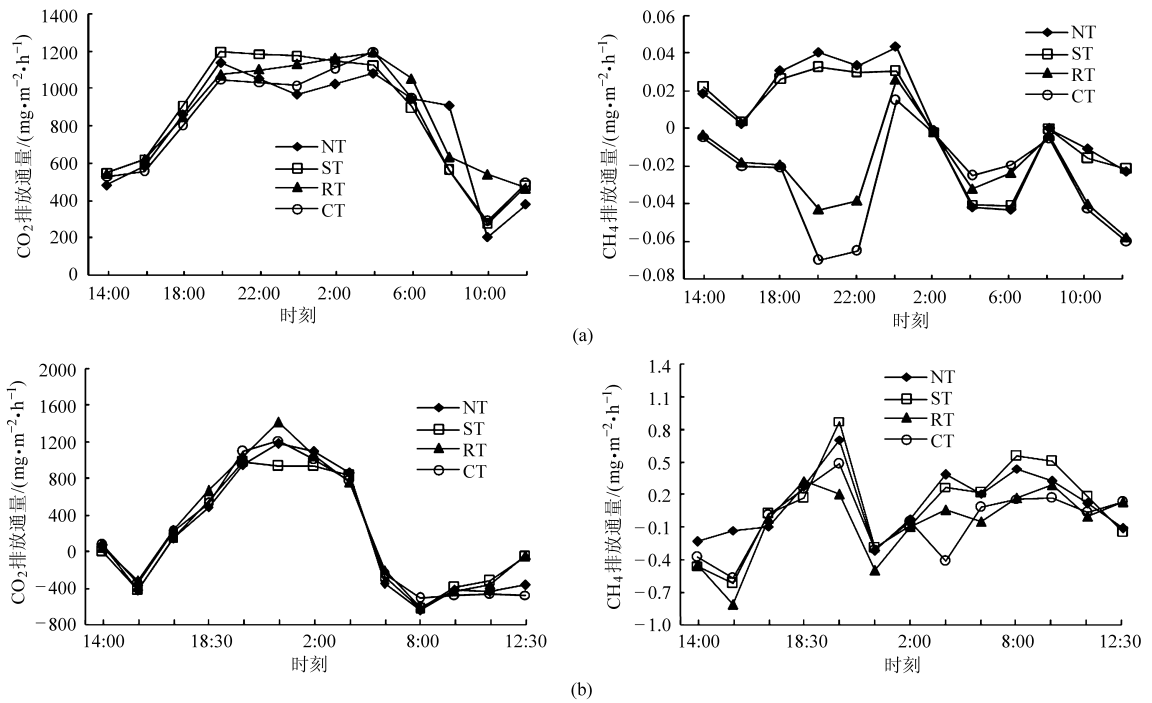


图1 不同耕作措施下冬小麦农田越冬期和拔节期 CO₂、CH₄ 排放通量日变化

Fig.1 Daily variations of CO₂, CH₄ fluxes under different tillage treatments at winter dormancy stage and jointing stage of winter wheat

(a) 越冬期 (b) 拔节期

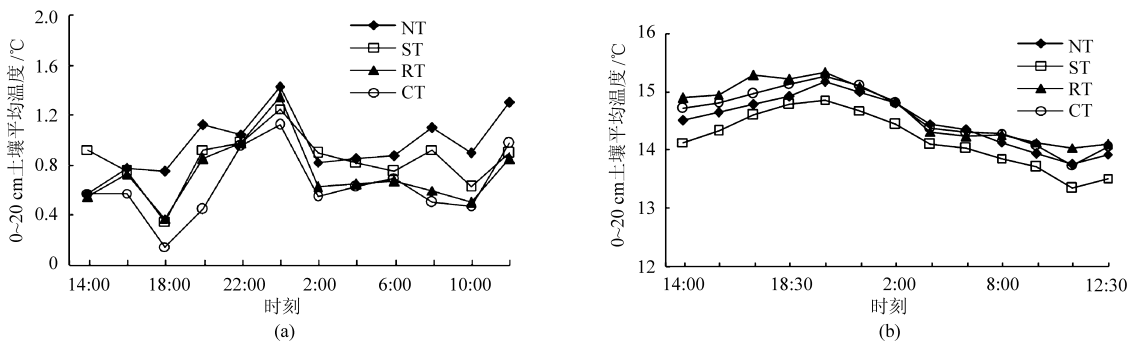


图2 不同耕作措施下冬小麦越冬期和拔节期 0~20 cm 土层平均温度日变化

Fig.2 Daily variations of average soil temperature under different tillage treatments in soil layer of 0~20 cm at winter dormancy stage and jointing stage of winter wheat

(a) 越冬期 (b) 拔节期

理均表现为 CH₄ 吸收特征。拔节期,4 种耕作措施农田的 CH₄ 排放通量变化趋势基本一致,在 15:30 左右出现吸收峰值,随后逐渐上升,在 20:00 左右达到排放最高峰。比较冬小麦越冬期和拔节期 CH₄ 排放通量的变化可知,CH₄ 排放通量的日变化形式在作物不同生育期并不完全相同,通量最大吸收值出现的时间和吸收强度都存在差异,这与张雪松等^[7]的研究结论类似。

方差分析表明,4 种耕作措施下农田 CH₄ 排放通量在越冬期差异性显著 ($P = 0.012 < 0.05$),而在拔节期差异性不显著 ($P = 0.469 > 0.05$)。比较 CH₄ 日均排放通量发现,旋耕和传统耕作处理表现为大气 CH₄ 的吸收汇,而免耕和深松农田表现为大

气 CH₄ 的排放源。

2.1.2 CO₂、CH₄ 排放通量日变化与各耕层土壤温度的关系

4 种耕作措施下冬小麦越冬期和拔节期农田 0~20 cm 土层平均温度表现出相似的日变化趋势,即先上升后降低(图 2)。由表 1 可知,4 种耕作措施下,拔节期 CO₂ 的排放通量与耕层 10、15 cm 的土壤温度呈显著或极显著正相关关系,而在越冬期 CO₂ 排放通量与各耕层土壤温度的相关性均不显著。这可能是因为在越冬期的空气和土壤温度一直保持在较低水平,从而限制了光合作用和呼吸作用,可见土壤温度是造成不同耕作措施冬小麦农田 CO₂ 排放通量日变化差异的主要原因之一^[13]。冬小麦

越冬期和拔节期的 CH_4 排放通量与各耕层土壤温度的相关性均不显著,说明 CH_4 排放通量日变化可能还受其他因素的共同影响^[1-16]。

表1 不同耕作措施下 CO_2 、 CH_4 日排放通量与各耕层土壤温度的相关系数

Tab.1 Correlation coefficients of CO_2 , CH_4 daily fluxes and soil temperature in different soil depths under different tillage treatments

生长期	项目	耕作措施	耕层土壤温度测量深度/cm			
			5	10	15	20
越冬期	CO_2	NT	-0.121	0.176	-0.124	-0.166
		ST	0.047	0.130	0.038	-0.057
		RT	0.077	0.375	0.035	-0.097
		CT	0.060	0.073	-0.114	-0.201
越冬期	CH_4	NT	0.053	0.457	0.499	0.463
		ST	-0.035	0.524	0.561	0.569
		RT	0.393	0.182	0.224	0.218
		CT	0.138	-0.041	-0.168	0.053
拔节期	CO_2	NT	-0.450	0.829**	0.748**	0.525
		ST	-0.387	0.747**	0.667*	0.545
		RT	-0.467	0.817**	0.751**	0.532
		CT	-0.427	0.861**	0.776**	0.591*
拔节期	CH_4	NT	-0.362	0.184	0.286	0.304
		ST	-0.372	0.122	0.253	0.407
		RT	-0.198	-0.079	0.043	0.157
		CT	-0.045	0.003	0.037	0.047

注:样本数 $n=12$, * 表示显著相关 ($P < 0.05$), ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$)。

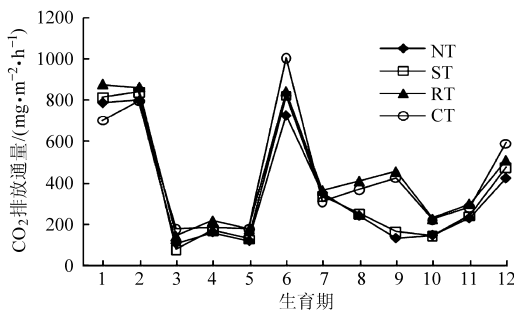


图3 不同耕作措施下冬小麦农田 CO_2 、 CH_4 排放通量的季节变化

Fig.3 Seasonal variations of CO_2 , CH_4 fluxes under different tillage treatments in winter wheat fields

注:1~6、7~12 分别为 2011—2012 年、2012—2013 年冬小麦播种期、越冬期、起身期、拔节期、开花期、收获期。

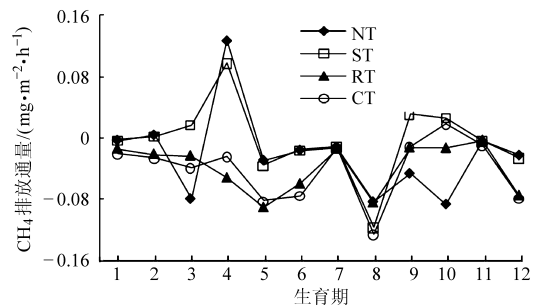
作处理均表现为 CH_4 吸收汇。冬小麦整个生育期 CH_4 的吸收通量表现为旋耕 > 传统耕作 > 免耕 > 深松。旋耕、传统耕作相对于免耕和深松对 CH_4 的季节平均吸收量增加了 20% 以上。其原因可能是由于旋耕、传统耕作改善了土壤的通气状况,从而提高了土壤对 CH_4 的氧化能力,使得旋耕和传统耕作处理的 CH_4 吸收通量高于免耕处理^[16]。在第 1 个拔节期(2012 年 4 月),免耕和深松处理出现 CH_4 排放峰,其中免耕最高,为 $0.1256 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;在第 2 个越冬期(2012 年 12 月),冬小麦农田出现 CH_4 吸收

2.2 不同耕作措施下 CO_2 、 CH_4 排放通量的季节变化特征

2.2.1 CO_2 、 CH_4 排放通量的季节变化

如图 3 所示,4 种耕作措施下 CO_2 排放的季节变化趋势比较一致,均呈现先降低后升高的单峰型排放特征,都表现为 CO_2 的排放源。2 季冬小麦,4 种耕作措施下整个生育期 CO_2 平均排放通量大小为传统耕作 > 旋耕 > 深松 > 免耕。免耕相对于旋耕和传统耕作农田 CO_2 季节平均排放通量降低 23.3% ~ 27.1%。各处理 CO_2 季节排放通量最高峰出现在冬小麦播种期(10 月上旬)和收获期(6 月中旬),最低峰出现在越冬期(12 月中旬)。播种期的排放高峰主要由耕作引起,收获期的排放高峰主要由呼吸作用决定,而越冬期的排放低峰则主要因为温度较低,这与李琳等^[17]的研究结果类似。 CO_2 排放高峰时,传统耕作处理最高为 $1007.55 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,免耕处理最低,为 $729.16 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,两者相差 $278.39 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; CO_2 排放低峰时,免耕处理最低,只有 $6.4128 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。现有研究认为,少、免耕减少了耕作,土壤有机质与土壤中的氧混合减少,同时秸秆覆盖降低了土壤温度和有机质腐化速度,因此温室气体排放减少^[18-19]。本研究也验证了这一结论。

4 种耕作措施下 CH_4 季节排放通量变化特征差异显著,但没有明显的变化规律(图 3)。不同的耕



峰,传统耕作处理最高为 $-0.1255 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,免耕处理最低为 $-0.0826 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

2.2.2 CO_2 、 CH_4 季节排放通量与各耕层土壤温度、土壤质量含水率的关系

4 种耕作措施下冬小麦农田 0~20 cm 土层平均温度、0~30 cm 土层平均土壤质量含水率分别表现出相似的变化特征(图 4)。从播种期至收获期,农田 0~20 cm 土层平均温度呈现先降低后升高的变化趋势,在越冬期达到最低,收获期最高;而农田 0~30 cm 土层平均土壤质量含水率的变化趋势基

本与 0~20 cm 土层平均温度相反。相关性分析表明(表 2),冬小麦农田各处理 CO₂ 季节排放通量与各耕层土壤温度均呈正相关,其中免耕处理呈显著正相关,深松、旋耕和传统耕作则分别与耕层 15、10 和 5 cm 土壤温度呈显著正相关;CO₂ 季节排放通量

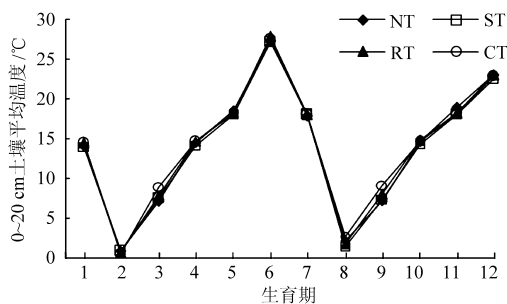


图 4 不同耕作措施下冬小麦农田 0~20 cm 平均地温、0~30 cm 土壤含水率的季节变化

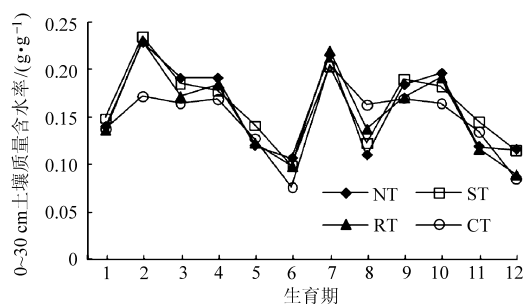


Fig. 4 Seasonal variations of average soil temperature in soil layer of 0~20 cm and soil moisture in soil layer of 0~30 cm under different tillage treatments in winter wheat fields

注:1~6、7~12 分别为 2011—2012 年、2012—2013 年冬小麦播种期、越冬期、起身期、拔节期、开花期、收获期。

表 2 不同耕作措施下 CO₂、CH₄ 季节排放通量与各耕层土壤温度、土壤质量含水率的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients of CO₂, CH₄ seasonal fluxes and soil temperature, soil moisture in different soil depths under different tillage treatments

项目	耕作措施	耕层土壤温度测量深度/cm				耕层土壤质量含水率测量深度/cm		
		5	10	15	20	0~10	10~20	20~30
CO ₂	NT	0.591 *	0.621 *	0.651 *	0.667 *	-0.445	-0.355	-0.169
	ST	0.525	0.562	0.584 *	0.524	-0.295	-0.476	-0.391
	RT	0.564	0.582 *	0.529	0.539	-0.499	-0.457	-0.238
	CT	0.582 *	0.509	0.494	0.516	-0.690 *	-0.692 *	-0.573
CH ₄	NT	0.565	0.564	0.560	0.553	-0.401	-0.074	-0.060
	ST	0.525	0.504	0.484	0.486	-0.446	0.146	0.130
	RT	0.367	0.336	0.407	0.390	-0.274	-0.033	0.233
	CT	0.204	0.305	0.327	0.286	0.158	0.434	0.593 *

注:样本数 $n=12$, * 表示显著相关($P<0.05$)。

CH₄ 季节排放通量与各耕层土壤温度呈正相关,但均不显著。除传统耕作处理下 CH₄ 季节排放通量与耕层 20~30 cm 土壤质量含水率呈显著正相关(相关系数为 0.593)外,各处理 CH₄ 季节排放通量与各耕层土壤质量含水率之间不具有较好的相关性。这与陈阜等^[20]、张雪松等^[7]的研究结论类似,说明农田 CH₄ 排放还受其他多种因素的共同影响。

3 结论

(1)京郊冬小麦农田土壤总体表现为 CO₂ 源和 CH₄ 汇的功能,4 种耕作处理下 CO₂ 的季节平均排放通量为:传统耕作 > 旋耕 > 深松 > 免耕,CH₄ 的季节平均吸收通量为:旋耕 > 传统耕作 > 免耕 > 深松。免耕相对于旋耕和传统耕作,可降低农田 CO₂ 季节平均排放通量 23.3%~27.1%;旋耕、传统耕作相对于免耕和深松可增加 CH₄ 的季节平均吸收量达 20% 以上。

与各耕层土壤质量含水率均呈负相关,其中传统耕作处理下与 0~10、10~20 cm 呈显著负相关。李琳等^[17]和陈阜等^[20]的研究也得出类似的结论,说明土壤温度、土壤含水率是影响土壤 CO₂ 排放通量的主要因子。

(2)不同耕作措施下冬小麦农田 CO₂ 和 CH₄ 都有明显的日变化和季节变化特征。各处理农田 CO₂ 日排放通量均表现出白天低、夜晚高的单峰型变化特征,最高峰出现在 0:00,最低峰出现在 10:00。CO₂ 季节排放通量最高峰出现在冬小麦播种期和收获期,最低峰出现在越冬期。4 种耕作措施下 CH₄ 日排放和季节排放通量变化特征差异显著,但没有明显的变化规律。

(3)相关性分析表明,不同耕作措施下冬小麦农田 CO₂ 排放通量与 0~20 cm 各土层土壤温度呈正相关,与 0~30 cm 各土层土壤质量含水率呈负相关关系。这说明土壤温度、土壤含水率是造成不同耕作措施下冬小麦农田 CO₂ 排放通量差异的重要原因。各处理 CH₄ 排放通量与 0~20 cm 各土层土壤温度呈正相关关系,与土壤质量含水率之间的相关性不明显。

参 考 文 献

- 1 张明园,魏燕华,孔凡磊,等. 耕作方式对华北农田土壤有机碳储量及温室气体排放的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 203-209.
Zhang Mingyuan, Wei Yanhua, Kong Fanlei, et al. Effects of tillage practices on soil carbon storage and greenhouse gas emission of farmland in North China[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(6): 203-209. (in Chinese)
- 2 Lal R. Carbon management in agricultural soils[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2007, 12(2): 303-322.
- 3 He J, Li H, Rasaily R G, et al. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 113(1): 48-54.
- 4 黄坚雄,陈源泉,刘武仁,等. 不同保护性耕作模式对农田的温室气体净排放的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(14): 2935-2942.
Huang Jianxiang, Chen Yuanquan, Liu Wuren, et al. Effect on net greenhouse gases emission under different conservation tillages in Jilin province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(14): 2935-2942. (in Chinese)
- 5 Paustian K, Andr n O, Janzen H H, et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions[J]. Soil Use and Management, 1997, 13(Supp. 4): 230-244.
- 6 汪婧,蔡立群,张仁陟,等. 耕作措施对温带半干旱地区土壤温室气体(CO₂、CH₄、N₂O)通量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1295-1300.
Wang Jing, Cai Liqun, Zhang Renzhi, et al. Effect of tillage pattern on soil greenhouse gases (CO₂, CH₄ and N₂O) fluxes in semi-arid temperate regions[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(6): 1295-1300. (in Chinese)
- 7 张雪松,申双和,李俊,等. 华北平原冬麦田土壤CH₄的吸收特征研究[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(2): 181-188.
Zhang Xuesong, Shen Shuanghe, Li Jun, et al. Soil CH₄ uptake in winter wheat field in the North China Plain[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006, 29(2): 181-188. (in Chinese)
- 8 江波,杨书运,马友华,等. 耕作方式对圩区冬小麦温室气体排放通量的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2014, 42(2): 241-247.
Jiang Bo, Yang Shuyun, Ma Youhua, et al. Effects on emissions of greenhouse gas by different tillage treatments to winter wheat in polder areas[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2014, 42(2): 241-247. (in Chinese)
- 9 胡立峰,王宝芝,李洪文. 土壤呼吸、农田CO₂排放及NEE的比较研究[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 578-581.
Hu Lifeng, Wang Baozhi, Li Hongwen, et al. The comparative study of the soil respiration, CO₂ emission and NEE from the farmland in the north of China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(2): 578-581. (in Chinese)
- 10 段晓男,王效科,冯兆忠,等. 内蒙古河套灌区春小麦苗期生态系统CO₂通量变化研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(2): 166-171.
Duan Xiaonan, Wang Xiaoke, Feng Zhaozhong, et al. Study of net ecosystem exchange for seedling stage of spring wheat ecosystem in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(2): 166-171. (in Chinese)
- 11 张祥彩,李洪文,何进,等. 耕作方式对华北一年两熟区土壤及作物特性的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊1): 77-82.
Zhang Xiangcai, Li Hongwen, He Jin, et al. Effects of different tillage managements on characteristics of soil and crop in annual double cropping areas in Northern China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 1): 77-82. (in Chinese)
- 12 黄耀. 地气系统碳氮交换——从实验到模型[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 253.
- 13 段翠清,张仁陟,蔡立群,等. 保护性耕作对黄土高原旱地春小麦成熟期农田温室气体通量日变化的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(21): 35-40.
Duan Cuiqing, Zhang Renzhi, Cai Liqun, et al. Effects of conservation tillage on daily dynamics of greenhouse gases flux from spring wheat during mature stage in dry land of the Loess Plateau[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(21): 35-40. (in Chinese)
- 14 周凌云,李卫民. 氮素营养对干旱地区小麦光合生理的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(3): 195-197.
Zhou Lingyun, Li Weimin. Effects of nitrogen on photosynthesis of wheat plant in a dryland[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(3): 195-197. (in Chinese)
- 15 胡玉琼,王跃思,纪宝明,等. 内蒙古草原温室气体排放日变化规律研究[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(1): 29-37.
Hu Yuqiong, Wang Yuesi, Ji Baoming, et al. Diurnal variations of greenhouse gas emissions from a Nei Monggol grassland[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2003, 26(1): 29-37. (in Chinese)
- 16 田慎重,宁堂原,李增嘉,等. 不同耕作措施对华北地区麦田CH₄吸收通量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(2): 541-548.
Tian Shenzhong, Ning Tangyuan, Li Zengjia, et al. Effect of CH₄ uptake flux under different tillage systems in wheat field in the North China Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(2): 541-548. (in Chinese)
- 17 李琳,张海林,陈阜,等. 不同耕作措施下冬小麦生长季农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J]. 应用生态学

报, 2007, 18(12): 2765 - 2770.

Li Lin, Zhang Hailin, Chen Fu, et al. CO₂ flux and its correlation with soil temperature in winter wheat growth season under different tillage measures[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(12): 2765 - 2770. (in Chinese)

18 Prior S A, Reicosky D C, Reeves D W, et al. Residue and tillage effects on planting implement-induced short-term CO₂ and water loss from a loamy sand soil in Alabama[J]. Soil and Tillage Research, 2000, 54(3 - 4): 197 - 199.

19 Ellert B H, Janzen H H. Short-term influence of tillage on CO₂ fluxes from a semi-arid soil on the Canadian Prairies[J]. Soil and Tillage Research, 1999, 50(1): 21 - 32.

20 陈阜, 张海林. 保护性耕作的土壤生态与固碳减排效应: 华北麦玉两熟区典型研究[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2012.

Influences of Tillage Methods on Carbon Dioxide and Methane Fluxes from Winter Wheat Fields in Beijing's Suburb

Zheng Zhiqi Wang Shudong He Jin Wang Qingjie Li Hongwen Zhang Xiangcai

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: To determine the variation of tillage on carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) fluxes from winter wheat fields in Beijing's suburb, different tillage methods were experimented in Qingyundian Town, Daxing District, Beijing. CO₂, CH₄ fluxes were measured using static chamber-gas chromatographic techniques during two seasons of winter wheat (October 2011 - July 2012 and October 2012 - July 2013). The experimental results of the four tillage methods, i. e., no tillage (NT), subsoiling tillage (ST), rotary tillage (RT) and conventional tillage (CT) showed that soils with winter wheat were the emission sources of atmospheric CO₂, and the sink of atmospheric CH₄ during crop growth seasons. Daily and seasonal variation of CO₂ and CH₄ fluxes changed significantly for NT, ST, RT and CT treatments, respectively. The maximal daily emission flux of CO₂ appeared at 0:00 am, and the minimum emission appeared at 10:00 am. The maximal seasonal emission flux of CO₂ appeared at seedling and maturing stages of winter wheat and the minimum emission appeared at winter dormancy stage. Daily and seasonal variation of CH₄ fluxes under four tillage treatments showed a significant difference, but no significant variety regulation. The seasonal CO₂ flux positively correlated with soil temperature in 0 ~ 20 cm soil layer, while negative correlation was found between the CO₂ emission and soil moisture in 0 ~ 30 cm soil layer. The seasonal CH₄ flux positively correlated with soil temperature in 0 ~ 20 cm soil layer. In winter wheat fields, the seasonal mean CO₂ emission flux demonstrated as CT > RT > ST > NT, and the seasonal mean CH₄ absorption flux demonstrated as RT > CT > NT > ST. Compared with RT and CT, NT decreased soil CO₂ emission flux by 23.3% ~ 27.1%, and increased soil CH₄ absorption flux by over 20%. Generally, all the four treatments (NT, ST, RT and CT) enhanced CH₄ assimilation at different levels, and no tillage would be a better tillage practice to reduce CO₂ emission for winter wheat fields in Beijing's suburb.

Key words: Wheat Tillage method Beijing's suburb CO₂ CH₄ Flux