

长期不同施肥处理对稻-麦轮作 紫色土稻季 CO₂ 排放的影响^①

史 书¹, 木志坚^{1,2}, 吴 波³, 栾 松³,
石孝均¹, 郭 涛¹, 张跃强¹

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716; 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716;
3. 重庆市涪陵区气象局, 重庆 408000

摘要: 为了解长期不同施肥处理对稻田土壤 CO₂ 排放的影响, 采用静态暗箱法于 2012 年稻季对“国家紫色土肥力与肥料效益监测基地”4 块试验田 CO₂ 排放通量进行了测定. 这些试验田自 1991 年起秸秆不再还田但接受不同施肥处理, 包括不施肥(R₋)、单施氮肥(NR₋)、单施磷钾肥(PKR₋)和施用氮磷钾肥(F_nR₋). 不同处理下试验田土壤 CO₂ 排放动态变化趋势基本一致, 与土壤温度呈正相关, 与土壤淹水程度呈负相关($p < 0.05$). R₋ 处理土壤在整个稻季的累积排放量为 1 046 kg C/hm²; 与 R₋ 相比, NR₋ 和 PKR₋ 的排放量略有降低, F_nR₋ 的排放量则增加了 18%, 表明在秸秆不还田条件下, 单施氮肥或磷钾肥对稻田土壤呼吸有一定的抑制作用, 氮磷钾肥配合使用则能促进土壤呼吸作用.

关 键 词: 施肥; CO₂ 排放; 稻田; 紫色土

中图分类号: S154

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)07-0016-07

二氧化碳(CO₂)被认为是最重要的温室气体, 对全球气候变暖的贡献约占 70%^[1]. 土壤呼吸作为陆地生态系统土气交换快速且活跃的途径之一, 对大气 CO₂ 的收支平衡具有重要影响^[2]. 据统计, 全球土气界面 CO₂ 排放通量相当可观, 高达 68~77 Pg/a, 约占大气 CO₂-C 库的 10%^[3]. 水稻是我国主要的农作物之一, 其种植面积达到世界稻田总面积的 23%, 产量更高居世界首位^[4]. 水稻和土壤的呼吸作用向大气排放 CO₂, 其微小比例的变化都会对大气中 CO₂ 的浓度和土壤碳的累积产生巨大改变. 施肥是农业管理的重要措施, 与温室气体排放密切相关^[5]. 研究表明, 不同的施肥方式能够影响土壤的呼吸作用, 从而改变土壤中温室气体向大气的排放^[6]. 国外对土壤呼吸的研究开展较早, 已有较多的文献资料支持. 近些年, 随着土壤呼吸和温室效应的关系受到土壤学家的关注, 国内学者也针对不同土壤和土地利用类型进行了一系列的田间试验, 研究其在不同施肥措施下土壤呼吸作用的差异并取得了一定的研究成果. 但是就其结果而言, 施用化学肥料和施用有机肥料对不同土壤及土地利用类型土壤呼吸作用产生的影响还存在诸多不确定性. 诸葛玉平等^[7]对东北地区黑土的研究表明, 不施肥、单施氮肥和施用氮磷钾肥的土壤之间 CO₂ 排放差异不显

① 收稿日期: 2013-12-04

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41371211; 31471944); 西南大学中央高校基本科研业务费专项基金(SWU-XDJK2010C045).

作者简介: 史 书(1990-), 女, 陕西汉中, 硕士研究生, 主要从事环境化学方面研究.

通信作者: 木志坚, 副教授, 博士.

著,而施用有机肥会显著增加土壤 CO₂ 排放.黄晶等^[8]对南方丘陵地区红壤的研究发现,相较于不施肥处理,施用有机肥和氮磷钾肥均会增加土壤 CO₂ 排放,而单施氮肥则会减少土壤 CO₂ 排放.紫色土作为四川盆地最为重要的农业土地利用类型,面积约占四川盆地耕作面积的 68.7%^[9].与华北平原和长江中下游相比,以往有关不同施肥处理对紫色土 CO₂ 排放的研究相对较少.对此,本实验通过对长期不同施肥处理对稻-麦轮作紫色土 CO₂ 排放进行定位监测,研究了 CO₂ 排放的动态变化以及不同施肥处理与秸秆还田对 CO₂ 排放的影响,以期为农田生态系统 CO₂ 排放的估算和控制提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 实验地概况

本试验在重庆市北碚区“国家紫色土肥力与肥料效益监测基地”(106°26′ E, 30°26′ N)进行.试验地土壤为侏罗纪沙溪庙组紫色泥、页岩发育而成的紫色土,属中性紫色土亚类,灰棕紫泥土属,是紫色土中分布面积最多的一个土属,约占四川盆地紫色土类面积的 40%.该试验基地于 1989 年秋季—1991 年进行 2 年 4 茬稻、麦匀地试验后开始进行长期肥力试验,其耕作制度为水稻-小麦轮作制.水稻于 5 月中、下旬插秧,8 月中、下旬收获;小麦于当年 11 月上旬播种,翌年 5 月上旬收获.

试验基地共有 13 块试验田,每块试验田面积约 120 m²,不同试验田之间以插入土壤 80 cm 深度的水泥板隔开,互不渗漏且能独立排灌.每块试验田水分管理相同,稻季各田间淹水层深度基本保持一致.本研究选取其中 4 块试验田,其对应的施肥处理分别为:① 秸秆不还田+不施肥(R₋);② 秸秆不还田+施磷钾肥(PKR₋);③ 秸秆不还田+施氮肥(NR₋);④ 秸秆不还田+氮磷钾正常施肥量(F_nR₋).其中 N 肥施用尿素,P、K 肥分别施用过磷酸钙和硫酸钾.各处理施肥量见表 1.

表 1 不同处理的施肥量

处 理	秸秆还田量/ (t · hm ⁻² · 季 ⁻¹)	化肥施用量/(kg · hm ⁻² · 季 ⁻¹)		
		尿素(N)	P ₂ O ₅ (P)	K ₂ O(K)
R ₋	0	0	0	0
PKR ₋	0	0	60	60
NR ₋	0	135	0	0
F _n R ₋	0	135	60	60

经过 20a 长期不同施肥处理后,在试验开始前(2010 年 11 月份)测定土壤基本理化性质见表 2.

表 2 土壤基本理化性质

处理	有机碳/ (g · kg ⁻¹)	总氮/ (g · kg ⁻¹)	总磷/ (g · kg ⁻¹)	总钾/ (g · kg ⁻¹)	pH 值
R ₋	11.79	2.11	0.677	20.6	7.16
PKR ₋	14.50	1.59	0.720	22.1	6.13
NR ₋	14.42	1.97	0.649	21.3	5.86
F _n R ₋	12.21	2.15	0.766	21.2	5.89

1.2 样品采集与分析

1.2.1 气样的采集与测定

土壤 CO₂ 排放通量采用静态暗箱法测定.采样箱利用 5 mm 厚的 PVC 圆柱管制成,其内径为 39 cm,高 30 cm.箱顶部设计有水槽,可以加盖加水密封.箱盖上装有两叶小风扇,可使箱内气体混合均匀.另外箱盖上开有一小孔连接气压缓冲带以维持整个采样过程中的气压平衡.采样箱中间再开一小孔连接三通阀方便采集气样.箱底连接底座,底座固定于土壤中,以防止采样过程中对土壤扰动过大.

气样的采集于 2012 年 5 月 28 日至 8 月 14 日水稻生长期内进行.采样时间固定为上午 8:00—11:00,

分别采集关箱后 0,15,30 min 的气样. CO₂ 气样每周采集 1 次,每个小区随机重复 3 次. 采样时,采样箱放置于植株间空隙处,避免覆盖作物. 在采集气样的过程中同步测定每个采样箱附近 5 cm 土壤温度以及每块试验小区的淹水层深度.

1.2.2 排放通量的计算方法

气样中的 CO₂ 浓度用 Fuji Electric ZFP-9 型 CO₂ 红外分析仪测定.
CO₂ 的瞬时排放通量采用下面公式计算:

$$F = \rho \times \frac{V}{A} \times \frac{dC}{dt} \times \frac{273}{T} \times \alpha$$

式中: F 为 CO₂ 的瞬时排放通量 (mg C · m⁻² · h⁻¹); ρ 为 CO₂ 在标准状态下的气体密度 (CO₂ 为 1.96 × 10⁶ mg · m⁻³); V 为采样箱的有效空间体积 (m³); A 为采样箱底面积 (m²); dC/dt 为采样过程中箱内 CO₂ 浓度随时间的变化率 (mg · m⁻³ · h⁻¹); T 为采样时箱内的实际温度 (K); α 为转换系数 (CO₂ 为 12/44).

CO₂ 的累积排放量计算公式为:

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i + F_{i+1}}{2} \times 24 \times D \right)$$

式中: C 为采样期间 CO₂ 的累积排放量 (kg C/hm²); F_i, F_{i+1} 分别为第 i 次和第 $i+1$ 次采样的土壤 CO₂ 排放通量 (mg C/(m² · h)); D 为连续两次采样间隔天数.

1.3 数据处理

不同施肥处理下土壤 CO₂ 排放通量以及土壤环境因子的差异性比较采用 SPSS 软件中的单向方差分析结合 Fisher's LSD 法.

2 分析与讨论

2.1 稻季土壤 CO₂ 排放通量动态变化

不同施肥处理下各试验田土壤 CO₂ 排放通量随时间变化趋势基本一致,变化范围在 3-246 mg C/(m² · h) 之间(图 1). 5 月下旬到 6 月上旬,各处理下试验田土壤 CO₂ 排放强度平稳,排放通量较小. 6 月中下旬,土壤 CO₂ 排放通量出现第一个高峰,最低峰值 NR₋ 为 82 mg C/(m² · h),最高峰值 F_nR₋ 为 114 mg C/(m² · h). 7 月上旬,土壤 CO₂ 排放通量有所降低. 7 月中旬后,土壤 CO₂ 排放通量逐渐升高,直到 7 月下旬,土壤 CO₂ 排放达到最高峰,其中,最低峰值 R₋ 为 165 mg C/(m² · h),最高峰值 F_nR₋ 为 246 mg C/(m² · h). 此后一直到 8 月中旬水稻收割前,虽然各处理土壤 CO₂ 排放通量均有所下降,但依旧保持较高的排放水平.

水稻种植初期,植株矮小,气温及土壤温度偏低,土壤微生物活性较小,植株根际和土壤呼吸均相对较弱^[10],土壤 CO₂ 排放通量较小;到了分蘖期,养分充足,根系活性和土壤微生物呼吸显著增强^[11],加之土壤温度升高,土壤 CO₂ 排放通量呈上升趋势;然而随着淹水时间的升高和延长,土壤含水量接近饱和状态,土壤中微生物的活性受到抑制^[12],土壤 CO₂ 排放通量有所降低;水稻成熟后,排水落干,水分对 CO₂ 传输的阻碍得以消除^[13],此时气温和土壤温度仍处于较高水平,易于土壤 CO₂ 产生、扩散和释放^[14],使得土壤 CO₂ 排放通量在后期达到最高峰值.

大量实验研究表明,土壤温度和土壤水分因子会对土壤 CO₂ 排放造成一定影响^[15-17],尤其是土壤温度在土壤 CO₂ 排放通量动态变化中占主导因素^[18]. 土壤温度通过改变土壤中微生物生长、酶的活性以及对流速度等影响土壤呼吸作用^[19-20]. 在合适的温度范围内,土壤呼吸速率随土壤温度升高而增强^[21]. 土壤水分作为另一个影响因子,能改变土壤的通透性、植物根系呼吸作用以及土壤微生物活性,进而导致土壤呼吸发生变化^[22]. 最优的土壤水分状况通常是接近最大田间持水力,因为此时土壤中的大孔隙多数被空气

所充填,这有利于 CO₂ 的扩散,当小孔隙大多被水分所占据,便于可溶性基质进行扩散^[23].当土壤处于过干或过湿状态,土壤呼吸会受到阻碍.水稻长期淹水时,土壤孔隙被水分阻塞,氧气供应不足,根系及微生物的呼吸代谢减弱,降低了土壤呼吸作用^[24].加之淹水层深度越深,土壤呼吸排出的 CO₂ 越易溶解于水体中,故而释放到大气中的 CO₂ 越少.所以,当土壤水分达到土壤微生物永久性萎蔫点或者超出田间持水力时会对土壤 CO₂ 排放量产生抑制作用^[23].

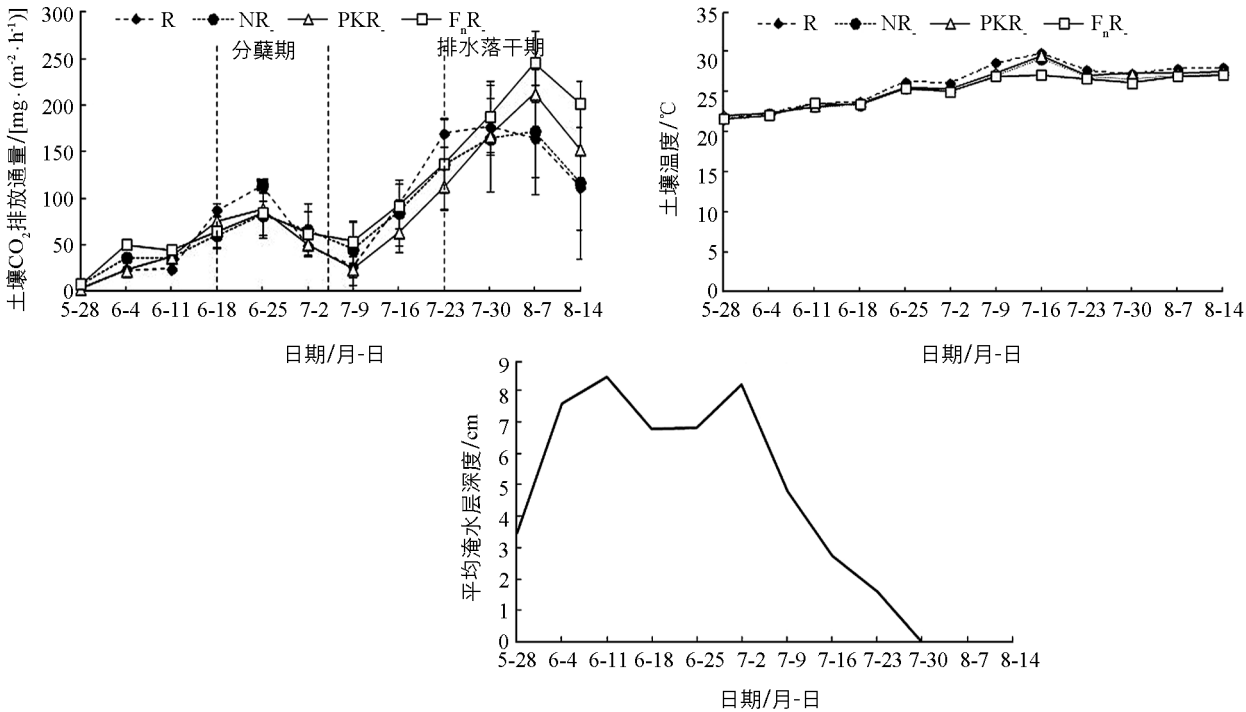


图 1 稻季不同施肥处理土壤 CO₂ 排放通量动态变化

通过对 CO₂ 排放通量与土壤温度和土壤淹水情况相关系数进行显著性检验,确定临界值 $C_{0.05} = 0.576$, $C_{0.01} = 0.708$, 其所得结果如表 3 所示.不同施肥处理土壤 CO₂ 排放通量与土壤温度变化呈正比.其中,PKR₋ 处理相关性不显著,R₋、PKR₋ 和 NR₋ 处理土壤 CO₂ 排放量同土壤温度显著相关($p < 0.05$).不同施肥处理土壤 CO₂ 排放通量与淹水层深度变化均呈负相关性.其中,NR₋ 和 F_nR₋ 处理与淹水层深度之间相关性显著($p < 0.01$).而对于土壤温度和淹水层深度的共同影响则表现为 F_nR₋ 处理显著相关($p < 0.05$),其余处理相关性均不显著.

表 3 土壤 CO₂ 排放通量与环境因子的相关系数

处 理	R ₋	PKR ₋	NR ₋	F _n R ₋
土壤温度	0.592 *	0.574	0.675 *	0.691 *
淹水层深度	-0.612 *	-0.674 *	-0.777 **	-0.814 **
土壤温度×淹水层深度	0.363	0.395	0.536	0.580 *

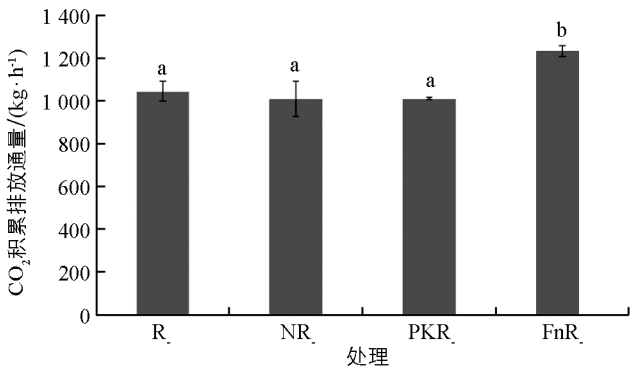
注: * 表示 $p < 0.05$ 水平上的显著相关性, ** 表示 $p < 0.01$ 水平上的显著相关性.

2.2 不同施肥处理对土壤 CO₂ 累积排放量的影响

稻季不同施肥处理下土壤 CO₂ 累积排放量如图 2 所示,其中,R₋ 的累积排放量为 1 046 kg C/hm²,与 R₋ 处理相比 NR₋ 和 PKR₋ 处理略有降低,分别减少 3.4% 和 3.3%,而 F_nR₋ 处理土壤 CO₂ 累积排放量增加了 18.0%.通过方差分析中多重比较最小显著差数法(LSD)对其两两之间的显著水平进行比较,F_nR₋ 同 R₋、PKR₋、NR₋ 之间在 0.05 的显著水平上存在明显差异,其他处理两两之间均无显著差异.结果表明,只有 F_nR₋ 处理土壤 CO₂ 累积排放量显著提高,而 NR₋ 和 PKR₋ 处理虽然抑制了土壤 CO₂ 累积排放量,

但影响效应并不明显.

土壤呼吸释放的 CO₂ 通常包括植物根系呼吸和微生物呼吸两个部分^[25]. 研究表明, 禾谷类根际呼吸占土壤呼吸的比例变化在 51%~89% 之间^[26]. 乔云发等^[27] 对不同施肥处理下土壤 CO₂ 排放分析得出, 氮磷钾肥配合施用在一定程度上对作物根系呼吸的影响高于不施肥和单施磷钾肥的施肥处理, 这可能是造成本研究中 F_nR₋ 处理土壤 CO₂ 累积排放量明显高于 R₋、PKR₋、NR₋ 的原因. 此外, 土壤 CO₂ 排放量与土壤有机质和土壤根系微生物量也有很大关系. 长期不施肥的土壤, 虽然土壤有机质含量没有多大下降, 但其趋于老化, 活性降低, 影响土壤肥力和作物生长, 导致植物根系呼吸强度较弱^[28-29], 使得土壤 CO₂ 排放量相对较低. NR₋ 和 R₋ 处理相比氮肥量上存在差异, 由于长期单施氮肥, 虽然可以促进土壤微生物的活动, 提高有机质的分解速率, 但会导致土壤活性碳消耗太快, 短期内可能激发土壤 CO₂ 的大量排放, 很快土壤呼吸则会下降, 造成土壤 CO₂ 排放通量减少^[30]. 孟凡乔等^[31] 研究表明, 氮肥能抑制土壤有机质中一些高分子化合物的分解, 对土壤呼吸造成影响并不显著, 甚至可能抑制土壤呼吸作用. 该现象与本研究 NR₋ 处理土壤 CO₂ 排放通量变化情况一致. PKR₋ 和 R₋ 处理相比增施了磷肥和钾肥, 磷肥对作物尤其是根系部分的生长具有促进作用, 钾肥的营养功效可以提高光合作用的强度, 促进作物体内淀粉和糖的形成, 还能提高根系对氮素的吸收利用. 由于长期偏施磷钾肥使得土壤微生物与水稻根系缺乏可利用的氮素, 致使水稻根系活动减弱, 根际微生物数量减小^[32], 进而也影响土壤呼吸排放的 CO₂ 通量. 因此, 只有在氮磷钾肥配合施用的情况下, 才会造成土壤 CO₂ 累积排放量增加.



图中相同小写字母表示稻季土壤 CO₂ 累积排放量在不同施肥处理间不存在显著差异 ($p>0.05$).

图 2 稻季不同施肥处理土壤 CO₂ 累积排放量

3 结 论

- 1) 长期不同施肥处理下各试验田稻季土壤 CO₂ 排放通量随时间变化趋势相同, 最高峰值均出现在排水落干期. 土壤 CO₂ 排放通量动态变化与土壤温度变化呈现正相关性. 与淹水层深度变化呈显著负相关性.
- 2) F_nR₋ 处理土壤 CO₂ 累积排放通量高于 R₋ 处理, 而 NR₋ 处理和 PKR₋ 处理土壤 CO₂ 累积排放通量则低于 R₋ 处理. 通过多重比较分析得出, 仅施用常量氮磷钾肥会对土壤 CO₂ 累积排放通量影响显著 ($p<0.05$), 而单施氮肥或单施磷钾肥虽然会减少土壤 CO₂ 的累积排放通量, 但影响效应并不明显.

参考文献:

[1] HOUGHTON J. Global Warming [M]. London: Cambridge University Press, 1997: 29—51.

[2] 张 莉, 吕碧洪, 李 伟. 近 10 年中国不同区域 CO₂ 排放现状和特征 [J]. 浙江大学学报: 理学版, 2012, 39(5): 552—556.

[3] SCHLESINGER W H, REWS J A. Soil Respiration and the Global Carbon Cycle [J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 7—20.

[4] 朱咏莉, 童成立, 吴金水, 等. 亚热带稻田生态系统 CO₂ 通量的季节变化特征 [J]. 环境科学, 2007, 28(2): 283—288.

[5] 杜 君, 秦鱼生. 长期施肥下紫色土小麦肥料利用率及增产效应 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(5): 88—94.

- [6] ZHANG Ju-feng, ZHANG Xu-hui, LI Lian-qing, et al. Effect of Long-Term Fertilization of C Mineralization and Production of CH_4 and CO_2 Under Anaerobic Incubation from Bulk Samples and Particle Size Fractions of a Typical Paddy Soil [J]. *Agricultural Ecosystems & Environment*, 2007, 19(6): 129—138.
- [7] 诸葛玉平, 张旭东, 刘 启. 长期施肥对黑土呼吸过程的影响 [J]. *土壤通报*, 2006, 36(3): 391—394.
- [8] 黄 晶, 刘宏斌, 王伯仁. 长期施肥下红壤旱地 CO_2 、 N_2O 排放特征 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25(24): 428—433.
- [9] 熊 靖, 张旦麒, 石孝均, 等. 长期不同施肥与秸秆管理对紫色土水稻田 CH_4 排放的影响 [J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2013, 38(5): 1—5.
- [10] 侯玉兰, 王 军, 陈振楼, 等. 崇明岛稻麦轮作系统稻田温室气体排放研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(9): 1862—1867.
- [11] 刘晓雨, 李志鹏, 潘根兴, 等. 长期不同施肥下太湖地区稻田净温室效应和温室气体排放强度的变化 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(9): 1783—1790.
- [12] 李成芳, 曹凑贵, 汪金平, 等. 不同耕作方式下稻田土壤 CH_4 和 CO_2 的排放及碳收支估算 [J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(12): 2482—2488.
- [13] MIYATA A, LEUNING R, DENMEAD O T, et al. Carbon Dioxide and Methane Fluxes from an Intermittently Flooded Paddy Field [J]. *Agric For Meteorol*, 2000, 19(4): 287—303.
- [14] WEIGUO CHENG, KAZUYUKI YAGI, HIDEMITSU SAKAI, et al. Effects of Elevated Atmospheric CO_2 Concentration on CH_4 and N_2O Emission from Rice Soil: an Experiment in Controlled-Environment Chambers [J]. *Biogeochemistry*, 2006, 77(3): 351—373.
- [15] 郎红东, 杨剑虹. 土壤 CO_2 浓度变化及其影响因素的研究 [J]. *西南农业大学学报: 自然科学版*, 2004, 26(6): 34—39.
- [16] ANA MEIJIDE, LAURA M. CÁRDENAS, LAURA SÁNCHEZ-MARTÍN, et al. Carbon Dioxide and Methane Fluxes from a Barley Field Amended with Organic Fertilizers Under Mediterranean Climatic Conditions [J]. *Plant Soil*, 2010, 328(3): 353—367.
- [17] BHATTACHARYYA P, ROY K S, NEOGI S, et al. Effects of Rice Straw and Nitrogen Fertilization on Greenhouse Gas Emissions and Carbon Storage in Tropical Flooded Soil Planted with Rice [J]. *Soil & Tillage Research*, 2012, 124(5): 119—130.
- [18] PARÉ D, BOUTIN R, LAROCQUE G R, et al. Effect of Temperature on Soil Organic Matter Decomposition in Three Forest Biomes of Eastern Canada [J]. *Can J Soil Sci*, 2006, 86(Special Issue): 247—256.
- [19] RUEHR N K, BUCHMANN N. Soil Respiration Fluxes in a Temperate Mixed Forest: Seasonality and Temperature Sensitivities Differ Among Microbial and Root-Rhizosphere Respiration [J]. *Tree Physiol*, 2010, 30(2): 165—176.
- [20] SCANLON B R. Soil Gas Movement in Unsaturated Systems [M]//SUMNER M E. *Handbook of Soil Science*, Boca Raton, London, New York, Washington D C: CRC Press, 2000: 277—319.
- [21] 邹建文, 黄 耀, 宗良刚, 等. 稻田 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放及其影响因素 [J]. *环境科学学报*, 2003, 23(6): 758—764.
- [22] 张衍华, 毕建杰, 林艳芹, 等. 施肥对不同品种麦田 CO_2 通量的影响 [J]. *华北农学报*, 2006, 21(Z1): 114—118.
- [23] 毕建杰, 劳秀荣, 周 波, 等. 施肥与品种演替对麦田 CO_2 排放量的影响 [J]. *水土保持学报*, 2007, 21(6): 165—169.
- [24] 娄运生, 李忠佩, 张桃林. 不同利用方式对红壤 CO_2 排放的影响 [J]. *生态学报*, 2004, 24(5): 978—983.
- [25] MACFADYEN A. Simple Methods for Measuring and Maintaining the Proportion of Carbon Dioxide in Air, for Use in Ecological Studies of Soil Respiration [J]. *Soil Biol Biochem*, 1970, 2(1): 9—18.
- [26] DOMANSKI G, KUZYAKOV Y, SINIAKINA S V, et al. Carbon Flows in the Rhizosphere of Ryegrass. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2001, 164(4): 381—387.
- [27] 乔云发, 苗淑杰, 王树起, 等. 不同施肥处理对黑土土壤呼吸的影响 [J]. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1028—1035.
- [28] DING W X, MENG L, YIN Y F, et al. CO_2 Emission in an Intensively Cultivated Loam as Affected by Long-Term Application of Organic Manure and Nitrogen Fertilizer. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(2): 669—679.
- [29] 田秀英, 石孝均. 不同施肥对稻麦养分吸收利用的影响 [J]. *重庆师范学院学报: 自然科学版*, 2003, 20(2): 44—47.
- [30] 张亚丽, 张 娟, 沈其荣, 等. 秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(12):

1575—1578.

[31] 孟凡乔, 关桂红, 张庆忠, 等. 华北高产农田长期不同耕作方式下土壤呼吸及其季节变化规律 [J]. 环境科学学报, 2006, 26(6): 992—999.

[32] 陈建国, 张杨珠, 曾希柏, 等. 不同配方施肥对长期缺施钾肥的红壤性水稻土微生物特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报 2005, 14(6): 1200—1205.

Effects of Different Treatments of Long-Term Fertilization on Carbon Dioxide Emission from Paddy Fields with Purple Soil

SHI Shu¹, MU Zhi-jian^{1,2}, WU Bo³, NUAN Song³,
SHI Xiao-jun¹, GUO Tao¹, ZHANG Yue-qiang¹

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;
2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China;
3. Meteorological Bureau of Fuling District, Chongqing 408000, China

Abstract: In order to understand the effects of different long-term fertilization treatments on soil carbon dioxide emission, the static opaque chamber method was used to measure carbon dioxide flux from soil of four experimental plots at the National Monitoring Base for Purple Soil Fertility and Fertilizer Efficiency during the rice-growing season in 2012. Since 1991, these plots had stopped receiving straw returning, and were subjected to different treatments: no fertilization (R₋), application of N fertilizers (NR₋), application of PK fertilizers (PKR₋), and application of NPK fertilizers (F_nR₋). The changing trends of soil carbon dioxide fluxes were approximately consistent under different treatments, all of which were in significant positive correlation with soil temperature, and in significant negative correlation with soil flooding ($p<0.05$). The cumulative emission of soil carbon dioxide from treatment R₋ was C 1 046 kg/ha. Compared with R₋, the treatments NR₋ and PKR₋ had slightly lower emissions but the treatment F_nR₋ increased CO₂ emission by18.0%, which indicated that under no straw returning, a single N fertilizer or PK fertilizers could suppress paddy soil respiration, and that the use of NPK fertilizers could promote paddy soil respiration.

Key words: fertilization; carbon dioxide emission; paddy field; purple soil

责任编辑 陈绍兰

