

麦秸还田与土壤耕作对稻季 CH₄ 和 N₂O 排放的影响

张岳芳, 郑建初*, 陈留根, 王子臣, 朱普平, 盛婧, 王亚雷

江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014

摘要: 2008年在大田试验条件下, 设置麦秸还田旋耕、麦秸不还田旋耕、麦秸还田翻耕、麦秸不还田翻耕4个处理, 采用静态暗箱-气相色谱法田间原位观测稻麦两熟制农田水稻生长季CH₄和N₂O排放通量, 研究小麦秸秆全量还田与土壤耕作两项技术措施对稻季CH₄和N₂O排放的影响及其温室效应, 以期对稻麦两熟制农田温室气体减排提供对策。结果表明: 麦秸还田对稻季CH₄排放总量的影响达极显著水平, 麦秸还田与耕作方式的交互效应对CH₄排放总量有显著影响, 麦秸还田和耕作方式对N₂O排放总量的影响均达极显著水平; 不同麦秸还田与土壤耕作处理稻季CH₄排放总量为: 麦秸还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕, N₂O的排放总量为: 麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸还田旋耕; 与麦秸不还田相比, 相同耕作措施下麦秸还田排放CH₄和N₂O所产生的全球增温潜势(GWP)明显提高, 麦秸还田条件下旋耕处理的GWP高于翻耕处理, 而“单位产量的GWP”无明显差异, 麦秸不还田条件下采用旋耕措施较翻耕可减轻温室效应。

关键词: 麦秸还田; 土壤耕作; CH₄; N₂O; 温室效应

中图分类号: X144

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 06-2334-05

CH₄和N₂O是2种与全球气候变化关系密切的痕量温室气体, 对温室效应的贡献约为15%和6%^[1], 并以每年0.6%和0.2%~0.3%的速率增长^[2]。稻田是大气CH₄和N₂O的主要生物排放源之一, 稻田CH₄和N₂O的排放受气候条件、土壤特性和农业管理措施等因素的影响^[3-6], 深入研究能降低温室气体排放并获得较高产量而又易于大面积推广应用的农业措施, 意义重大。秸秆直接还田具有培肥地力, 改善土壤理化性质, 提高作物产量等优点, 是解决秸秆不合理利用的有效手段, 在长江中下游稻麦两熟制地区, 随着近年来小麦机收的普及麦秸直接还田面积快速增加^[7-9], 但不同的麦秸还田方式还要与一定的耕作技术相配合才能为下茬作物水稻的前期生长提供良好的生长环境, 避免因麦秸还田不均匀引发秸秆局部堆积增加有机酸等毒害伤苗甚至减产现象的发生^[10-12]。以往关于秸秆还田与土壤耕作的研究多侧重于土壤理化性状、作物生长发育及产量品质等方面^[7-9, 11-14], 相对于农田生态环境, 特别是农田温室气体排放方面的报道较少^[15-18]。为此, 本文通过大田试验研究小麦秸秆机械化全量粉碎还田与土壤耕作方式对水稻生长季CH₄和N₂O排放的影响及其温室效应, 为稻麦两熟制农田温室气体减排提供对策。

1 材料与方法

1.1 试验设计

大田试验于2008年6月—11月在江苏省常熟市辛庄镇苏州市现代农业水稻示范区(31°32' N, 120°41' E)进行。该区地处阳澄湖低洼湖荡平原, 海拔高度1.4 m, 属亚热带湿润性季风气候, 年均降水量1 042 mm, 年平均温度15.5 °C, ≥10 °C的有效积温4 933.7 °C, 年日照时间2 130 h左右, 太阳辐射总量4.94×10⁵ J·cm⁻², 年平均无霜期242 d, 该区主要实行水稻-冬小麦两熟制度。试验稻田土壤类型属乌栅土, 0~20 cm土壤理化性状: 土壤容重1.2 g·cm⁻³, 有机质3.4%, 速效氮110.5 mg·kg⁻¹, 速效磷6.8 mg·kg⁻¹, 速效钾99.8 mg·kg⁻¹, pH值6.4。

双因素裂区试验, 以麦秸还田方式为主区, 设麦秸还田(约4.5 t·hm⁻², C:N为81.39:1)和麦秸不还田2种方式, 土壤耕作方式为裂区, 设旋耕和翻耕2种方式, 组成4个处理: 麦秸还田旋耕、麦秸不还田旋耕、麦秸还田翻耕、麦秸不还田翻耕, 小区面积5 m×12 m, 重复3次。供试水稻品种为杂粳常优1号, 采用营养土双膜育秧, 5月25日落谷, 6月13日机械插秧移栽(移栽规格为行距30 cm、株距13.3 cm, 每穴3本), 11月16日收获。各处理的施肥量和施肥方法相同, 氮肥、磷肥和钾肥用量每hm²分别为N 240 kg、P₂O₅ 120 kg、K₂O 120 kg, 氮肥按基肥:分蘖肥:长粗肥:穗肥=3:3:2:2施用, 磷肥一次性基施, 钾肥作基肥和长粗肥施用, 每次50%, 追肥分别于6月20日、7月16日、7月23

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD89B12, 2006BAD02A15, 2006BAD15B08); 农业部公益性行业科研专项(200803028)

作者简介: 张岳芳(1978年生), 男, 博士, 主要从事农业生态与资源利用研究。E-mail: zhangyuefang@china.com.cn

***通讯作者:** 郑建初(1956年生), 男, 研究员, 主要从事农业生态与农作制研究。E-mail: zjc@jaas.ac.cn

收稿日期: 2009-10-14

日施用。水稻生长期水分管理采用前期浅水（6月13日—7月25日）、中期搁田（7月26日—8月9日）、后期干湿交替（8月10日—11月10日）的管理模式，其他田间管理措施同一般高产大田。麦秸还田机插水稻作业流程如下：

机收小麦（粉碎还田）→人工挑匀→翻耕（铧式犁翻耕一遍，旋耕机旋耕一遍）或旋耕（旋耕机旋耕一遍）→放水泡田1 d→水田驱动耙水耙起浆→沤田1 d→机插水稻

1.2 气样采集与分析

CH₄和N₂O气体采用静态箱法测定，静态箱底横截面积为0.5×0.5 m²，采样箱由PVC材质制成，箱体高度随水稻高度而增加（拔节前0.5 m、拔节后1.2 m），采样箱外部包有海绵和铝箔纸，防止太阳照射导致箱内温度变化过大。水稻自移栽后第3 d起，每周采气2次，搁田期间（7月27日—8月9日）2 d 1次，抽穗后每周1次，采样时间在上午8:00—10:00点。采气样前打开采样箱内顶部两个12 V小风扇以充分混匀箱内气体，采集气样时，将采样箱垂直安放在底座5 cm深的凹槽内并加水密封，每隔10 min采一次样，共3次。CH₄气体浓度由带有氢火焰离子检测器的岛津GC-12A气相色谱仪测定，柱温80℃，检测温度为200℃，载气流速40 mL·min⁻¹；N₂O由带有Ni⁶³电子捕获检测器的岛津GC-14B气相色谱仪测定，柱温65℃，检测温度为300℃，载气流速40 mL·min⁻¹。气体排放通量计算公式如下：

$$F = \rho \cdot h \cdot dc/dt \cdot 273 / (273 + T)$$

式中 F 为气体排放通量（mg·m⁻²·h⁻¹）， ρ 为标准状态下气体的密度， h 是采样箱的净高度（m）， dc/dt 为单位时间内采样箱内气体的浓度变化率，273为气态方程常数， T 为采样过程中采样箱内的平均温度（℃）。

2 结果与分析

2.1 麦秸还田与土壤耕作对稻季CH₄排放的影响

从图1可以看出，麦秸还田与土壤耕作各处理稻季CH₄排放通量均呈先升高后降低的变化趋势。水稻移栽活棵后采用浅水灌溉，稻田土壤处于淹水状态，CH₄排放通量不断增加，其中以麦秸还田旋耕和麦秸还田翻耕处理增加较快，麦秸不还田旋耕和麦秸不还田翻耕处理增加较慢；在水稻移栽后20 d左右各处理出现CH₄排放峰值，排放高峰大约持续10 d左右，排放通量峰值最大的是麦秸还田旋耕处理，达到100.25 mg·m⁻²·h⁻¹，其次是麦秸还田翻耕和麦秸不还田翻耕处理，排放通量峰值分别为87.85 mg·m⁻²·h⁻¹和48.92 mg·m⁻²·h⁻¹，麦秸不还田旋耕处理的排放通量峰值最小，为44.46 mg·m⁻²·h⁻¹；随后，CH₄排放通量仍维持在较高水平，直到水稻生长中

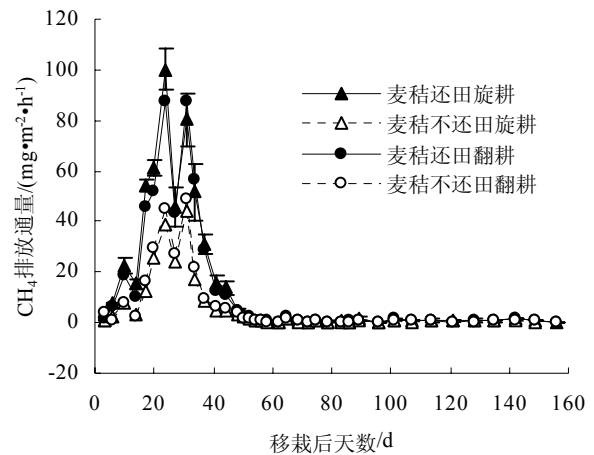


图1 不同处理 CH₄ 排放通量的季节变化

Fig.1 The seasonal variation of CH₄ emission under different treatments

期（移栽后43 d）开始搁田，2 d后土壤基本落干，此时所有处理的CH₄排放通量急剧下降，即使搁田14 d后再度复水，CH₄排放通量始终维持较低水平直至水稻收获，各处理均低于3 mg·m⁻²·h⁻¹。麦秸还田与土壤耕作各处理水稻生长季CH₄平均排放通量的大小顺序表现为麦秸还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕，平均排放通量分别为11.56 mg·m⁻²·h⁻¹、10.75 mg·m⁻²·h⁻¹、5.42 mg·m⁻²·h⁻¹和4.68 mg·m⁻²·h⁻¹。

从水稻生长季CH₄排放总量来看（表1），以麦秸还田旋耕处理最高，达432.65 kg·hm⁻²，分别比麦秸还田翻耕、麦秸不还田翻耕和麦秸不还田旋耕处理高7.53%、113.08%和146.72%；在土壤旋耕和翻耕条件下，麦秸还田分别比麦秸不还田增加CH₄排放146.72%、98.17%；麦秸不还田条件下翻耕和旋耕处理的CH₄排放总量分别为203.04 kg·hm⁻²和175.36 kg·hm⁻²，翻耕比旋耕多排放15.78%。方差分析表明，麦秸还田与耕作方式的交互效应对稻季CH₄排放总量均有显著或极显著影响。这与众多研究者关于秸秆还田增加稻田CH₄排放的研究结论一

表1 稻季CH₄和N₂O的排放总量

Table 1 Total emissions of CH₄ and N₂O in paddy season

处理	CH ₄ 排放总量	N ₂ O 排放总量
麦秸还田旋耕	432.65 a	1.86 d
麦秸不还田旋耕	175.36 b	3.47 b
麦秸还田翻耕	402.36 a	2.59 c
麦秸不还田翻耕	203.04 b	4.15 a
方差分析结果		
麦秸还田	**	**
耕作方式	ns	**
麦秸还田×耕作方式	*	ns

同一列不同字母表示处理间差异达0.05显著水平；ns表示无显著差异；*，**分别表示在0.05和0.01水平上差异显著。

致。究其原因,可能是秸秆的厌氧分解加速土壤氧化还原电位的下降从而为产 CH₄ 菌提供了适宜的生长环境,同时秸秆的施入也为厌氧条件下产 CH₄ 菌提供了丰富的基质^[4,15,18]。

2.2 麦秸还田与土壤耕作对稻季 N₂O 排放的影响

水稻移栽至搁田前,田间基本处于淹水状态,各处理几乎无 N₂O 排放,不同处理间 N₂O 排放通量的差异不大,而稻田中期的搁田措施导致 N₂O 大量排放,各处理在 8 月 5 日左右达到 N₂O 排放通量的最大值,8 月 10 日田间复水后 N₂O 排放通量骤降至 25.10~72.27 μg·m⁻²·h⁻¹,之后的干湿交替水分管理期间 N₂O 排放通量亦非常微弱,仅在水稻收获前 14 d 的水分落干期有少量的 N₂O 排放(图 2)。稻季 N₂O 平均排放通量从高到低依次是麦秸不还田翻耕、麦秸不还田旋耕、麦秸还田翻耕和麦秸还田旋耕,平均排放通量分别为 110.95 μg·m⁻²·h⁻¹、92.58 μg·m⁻²·h⁻¹、69.24 μg·m⁻²·h⁻¹ 和 49.79 μg·m⁻²·h⁻¹。

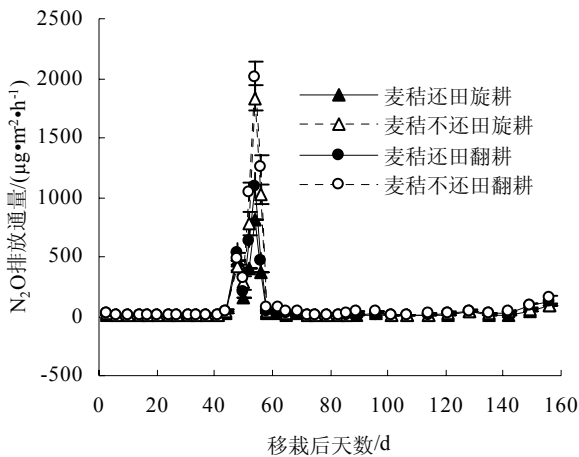


图 2 不同处理 N₂O 排放通量的季节变化

Fig.2 The seasonal variation of N₂O emission under different treatments

稻季 N₂O 的排放总量麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸还田旋耕,各处理依次为 4.15 kg·hm⁻²、3.47 kg·hm⁻²、2.59 kg·hm⁻² 和 1.86

kg·hm⁻² (表 1)。麦秸还田与土壤耕作方式对稻季 N₂O 排放总量均有极显著影响,土壤旋耕和翻耕条件下 N₂O 排放总量麦秸不还田分别比麦秸还田高 86.56%和 60.23%,麦秸还田和麦秸不还田条件下土壤翻耕分别比旋耕高 39.24%、19.60%。说明与麦秸不还田相比,麦秸还田减少了稻季 N₂O 排放总量,而无论麦秸还田与否,翻耕较旋耕排放更多 N₂O,这可能是不同耕作措施改变了土壤理化性状影响了硝化与反硝化进程,进而影响到 N₂O 的排放^[3]。

2.3 麦秸还田与土壤耕作稻季排放 CH₄ 和 N₂O 的综合温室效应

全球增温潜势 (GWP) 作为一种相对的指标常用来估计不同温室气体对气候系统的潜在效应,在 GWP 的估算中,以 CO₂ 作为参考气体,CH₄ 和 N₂O 的排放量通过 GWP 值转换成 CO₂ 的当量,在 20 a 时间尺度上,单位质量 CH₄ 和 N₂O 的增温潜势分别为 CO₂ 的 72 和 289 倍;100 a 时间尺度上,分别对应为 CO₂ 的 25 和 298 倍;500 a 时间尺度上,分别为 CO₂ 的 7.6 和 153 倍^[19]。表 2 为不同麦秸还田和耕作方式处理排放的 CH₄ 和 N₂O 换算为等 GWP 的平均 CO₂ 量,无论是短时间尺度还是长时间尺度,4 个处理稻季排放的 CH₄ 和 N₂O 所产生的综合 GWP 均为麦秸还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕。麦秸还田处理排放的 CH₄ 和 N₂O 所产生的综合 GWP 效应明显高于麦秸不还田处理,不过随着时间的延长,两者差距有缩小趋势,在 20 a、100 a 和 500 a 时间尺度上平均高 108.53%、89.26%和 73.86%;而翻耕处理稻季排放的 CH₄ 和 N₂O 所产生的综合 GWP 在 20 a 时间尺度上略高于旋耕处理,且随着时间的延长趋势基本不变。

如何获得较高经济产量并最大程度地减少温室气体排放是目前农田环境研究的热点之一,因此在研究稻田温室气体排放的同时,必须将作物产量一并加以考虑,通常采用“单位产量的 GWP”这一指标来评价不同农业措施对 CH₄ 和 N₂O 排放的综合影

表 2 不同处理排放 CH₄ 和 N₂O 的全球增温潜势(GWP)

Table 2 Effects of CH₄ and N₂O emissions under different treatments on global warming potential(GWP)

处理	产量/(kg·hm ⁻²)	全球增温潜势 (CH ₄ +N ₂ O)			单位产量的 GWP		
		20 a	100 a	500 a	20 a	100 a	500 a
麦秸还田旋耕	10181 a	31688 a	11371 a	3573 a	3.112 a	1.117 a	0.351 a
麦秸不还田旋耕	9633 a	13629 b	5418 b	1864 c	1.415 c	0.562 c	0.193 c
麦秸还田翻耕	9780 a	29718 a	10831a	3454 a	3.039 a	1.107 a	0.353 a
麦秸不还田翻耕	9561 a	15818 b	6313 b	2178 b	1.654 b	0.660 b	0.228 b
方差分析结果							
麦秸还田	ns	**	**	**	**	**	**
耕作方式	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
麦秸还田×耕作方式	ns	*	*	*	*	ns	ns

响^[20-21]。从表 2 可以看出, 无论在 20 a、100 a, 还是 500 a 的时间尺度上, 均以麦秸还田旋耕和麦秸还田翻耕的“单位产量的 GWP”较大, 明显大于麦秸不还田翻耕和麦秸不还田旋耕处理, 麦秸不还田翻耕处理明显大于麦秸不还田旋耕处理。与麦秸还田旋耕处理相比, 麦秸还田翻耕处理的“单位产量的 GWP”随着时间的延长而变大, 在 500 a 的时间尺度上, 麦秸还田翻耕处理的“单位产量的 GWP”略高于麦秸还田旋耕处理, 而在麦秸不还田条件下两种耕作方式的“单位产量的 GWP”变化趋势基本不变。

3 讨论

秸秆还田和土壤耕作是两项重要的农业管理措施, 秸秆直接还田能保持和培肥地力, 提高资源利用率, 合理的土壤耕作能改善土壤理化性质和提高作物产量, 而关于秸秆还田和土壤耕作对稻田温室气体排放的研究相对较少。已有研究表明, 秸秆还田明显增加稻田温室气体 CH₄ 的排放^[15-18,20], 也有研究指出秸秆还田在增加稻田 CH₄ 排放的同时能减少 N₂O 的排放^[15,18], 并且不同的秸秆还田方式在水稻生长季温室气体排放总量上存在明显差异^[16-18]。伍芬琳等^[16]研究表明, 水稻秸秆还田条件下双季早稻和晚稻生长季土壤旋耕处理 CH₄ 排放量较翻耕处理高 4.44% 和 169.17%; 肖小平等^[17]对湖南双季早稻的研究显示, 免耕稻秸还田 CH₄ 排放量比翻耕还田和旋耕还田分别降低 24.3% 和 27.0%, N₂O 排放量分别降低 42.1% 和 16.7%; 马静等^[18]对小麦秸秆还田的研究表明, 稻季麦秸埋于墒沟处理的 CH₄ 和 N₂O 排放总量分别是麦秸均匀混施 (0~10 cm 土壤) 的 1.03 和 3.14 倍, 而关于麦秸还田与土壤耕作方式对稻田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响如何鲜见报道。本研究结果表明, 稻季 CH₄ 排放总量由大到小为麦秸还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕, N₂O 排放总量由大到小为麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸还田旋耕, 说明麦秸还田在增加稻田 CH₄ 排放的同时减少了 N₂O 的排放, 验证了前人关于麦秸还田在增加稻田 CH₄ 排放的同时能减少 N₂O 排放的报道^[15,18], 但从稻季排放 CH₄ 和 N₂O 的综合温室效应来看, 无论是短时间尺度还是长时间尺度, 4 个处理稻季排放的 CH₄ 和 N₂O 所产生的全球增温潜势 (GWP) 由大到小为麦秸还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕, 表明麦秸还田后 CH₄ 排放增加产生的温室效应, 远高于减排 N₂O 所带来的温室效应, 不过随着时间的推移两者的差距有明显减小趋势, 而在麦秸不还田条件下采用旋耕措施较翻耕能减少 CH₄ 和 N₂O 的排放, 从而达到减轻温室效应的目的。本研究结果还显示, 在

麦秸不还田条件下, 旋耕较翻耕在获得相同水稻产量时排放较少的温室气体, 而相同耕作措施下麦秸还田处理的“单位产量的 GWP”高于麦秸不还田处理。如何减少麦秸还田条件下水稻生长季 CH₄ 的排放值得进一步深入研究。

4 结论

(1) 麦秸还田较麦秸不还田明显增加水稻生长季 CH₄ 排放总量, 麦秸还田条件下采用翻耕措施后 CH₄ 排放较少, 麦秸不还田条件下采用旋耕措施可减少 CH₄ 排放。麦秸还田较麦秸不还田减少了稻季 N₂O 排放, 旋耕措施较翻耕措施的 N₂O 排放较少。

(2) 4 个处理水稻生长季排放的 CH₄ 和 N₂O 所产生的全球增温潜势 (GWP) 大小为: 麦秸还田旋耕 > 麦秸还田翻耕 > 麦秸不还田翻耕 > 麦秸不还田旋耕。综合产量因素来看, 麦秸还田旋耕和麦秸还田翻耕的“单位产量的 GWP”差异不大, 但均明显大于麦秸不还田翻耕和麦秸不还田旋耕处理, 麦秸不还田翻耕处理明显大于麦秸不还田旋耕处理。

致谢: 本试验得到中科院南京土壤所徐华研究员和李小平高级工程师的帮助, 在此表示谢意。

参考文献:

- [1] LASHOF D A, AHUJA D. Relative contributions of greenhouse gas emissions to the global warming[J]. *Nature*, 1990, 344: 529-531.
- [2] SIMPSON L J, EDWARDS G C, THURTELL G W. Variations in methane and nitrous oxide mixing ratios at the southern boundary of a Canadian boreal forest[J]. *Atmospheric Environment*, 1999, 33: 1141-1150.
- [3] 封克, 殷士学. 影响氧化亚氮形成与排放的土壤因素[J]. *土壤学进展*, 1995, 23(6): 35-41.
FENG Ke, YIN Shixue. Soil factors influencing N₂O production and emission[J]. *Progress in Soil Science*, 1995, 23(6): 35-41.
- [4] 颜晓元, 蔡祖聪. 淹水土壤中甲烷产生的影响因素研究进展[J]. *环境科学进展*, 1996, 4(2): 24-32.
YAN Xiaoyuan, CAI Zucong. Advance in study of factors influencing methane production and emission in wetland soils[J]. *Advances in Environmental Science*. 1996, 4(2): 24-32.
- [5] CAI Zucong, XING Guangxi, YAN Xiaoyuan, et al. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilisers and water management[J]. *Plant and Soil*, 1997, 196: 7-14.
- [6] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 等. 稻田 CO₂、CH₄ 和 N₂O 排放及其影响因素[J]. *环境科学学报*, 2003, 23(6): 758-764.
ZOU Jianwen, HUANG Yao, ZONG Lianggang, et al. A field study on CO₂, CH₄ and N₂O emissions from rice paddy and impact factors[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, 23(6): 758-764.
- [7] 刘世平, 聂新涛, 张洪程, 等. 稻麦两熟条件下不同土壤耕作方式与秸秆还田效用分析[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7): 48-51.
LIU Shiping, NIE Xintao, ZHANG Hongcheng, et al. Effects of tillage and straw returning on soil fertility and grain yield in a wheat-rice double cropping system[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(7): 48-51.
- [8] 顾志权, 李庆康, 赵强基. 苏南稻麦二熟区秸秆全量机械还田技术[J]. *土壤肥料*, 2002, 5: 23-26.

- GU Zhiqian, LI Qingkang, ZHAO Qiangji. Techniques of return all straws to field in the rice-wheat double cropping system of southern Jiangsu[J]. *Soils and Fertilizers*, 2002, 5: 23-26.
- [9] 杨佩珍, 沈金川, 张文献. 稻麦秸秆全量直接还田对产量及土壤理化性状的影响[J]. *上海农业学报*, 2003, 19(1): 53-57.
- YANG Peizhen, SHEN Jinchuan, ZHANG Wenxian. Effects of the straw of rice and wheat returned to field wholly and directly on the crop yields and the physical and chemical properties of soil[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2003, 19(1): 53-57.
- [10] 单玉华, 蔡祖聪, 韩勇, 等. 淹水土壤有机酸积累与秸秆碳氮比及氮供应的关系[J]. *土壤学报*, 2006, 43(6): 941-947.
- SHAN Yuhua, CAI Zucong, HAN Yong, et al. Accumulation of organic acids in relation to C:N ratios of straws and N application in flooded soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6): 941-947.
- [11] 田仲和, 高善民, 朱恩, 等. 麦秸还田不均匀对直播水稻生长的影响及对策[J]. *土壤肥料*, 2002, 1: 26-29.
- TIAN Zhonghe, GAO Shanmin, ZHU En, et al. Effect of non-uniform returning of wheat straw to field on growth of direct-sown rice and countermeasures concerned[J]. *Soils and Fertilizers*, 2002, 1: 26-29.
- [12] 叶厚专, 药林桃, 周切金, 等. 机插稻大田耕整质量与稻草还田技术研究[J]. *江西农业学报*, 2009, 21(7): 35-37.
- YE Houzhan, YAO Lintao, ZHOU Renjin, et al. Study on field farming quality and rice-straw returning for mechanically-transplanted rice[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, 21(7): 35-37.
- [13] 章秀福, 王丹英, 符冠富, 等. 南方稻田保护性耕作的研究进展与研究对策[J]. *土壤通报*, 2006, 37(2): 346-351.
- ZHANG Xiufu, WANG Danying, FU Guanfu, et al. Research progress and developing strategy in paddy-field conservation tillage in the south of China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(2): 346-351.
- [14] 陈留根, 张宝生, 庄恒扬, 等. 太湖地区稻田保护性耕作条件下水稻生育期土壤肥力的变化[J]. *江苏农业学报*, 2008, 24(6): 826-832.
- CHEN Liugen, ZHANG Baosheng, ZHUANG Hengyang, et al. Effects of protective tillage of paddy fields on soil fertility under different rice growing stage in Taihu region[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 2008, 24(6): 826-832.
- [15] 蒋静艳, 黄耀, 宗良纲. 水分管理与秸秆施用对稻田CH₄和N₂O排放的影响[J]. *中国环境科学*, 2003, 23(5): 552-556.
- JIANG Jingyan, HUANG Yao, ZONG Lianggang. Influence of water controlling and straw application on CH₄ and N₂O emissions from rice field[J]. *China Environmental Science*, 2003, 23(5): 552-556.
- [16] 伍芬琳, 张海林, 李琳, 等. 保护性耕作下双季稻农田甲烷排放特征及温室效应[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(9): 2703-270.
- WU Fenlin, ZHANG Hailin, LI Lin, et al. Characteristics of CH₄ emission and greenhouse effects in double paddy soil with conservation tillage[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(9): 2703-270.
- [17] 肖小平, 伍芬琳, 黄凤球, 等. 不同稻草还田方式对稻田温室气体排放影响研究[J]. *农业现代化研究*, 2007, 28(5): 629-632.
- XIAO Xiaoping, WU Fenlin, HUANG Fengqiu, et al. Greenhouse air emission under different pattern of rice-straw returned to field in double rice area[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2007, 28(5): 629-632.
- [18] 马静, 徐华, 蔡祖聪, 等. 墒沟埋草对稻田CH₄和N₂O排放的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(4): 27-31.
- MA Jing, XU Hua, CAI Zucong, et al. Influence of wheat straw buried in ditches on CH₄ and N₂O emissions from rice fields[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(4): 27-31.
- [19] IPCC. Climate Change 2007: Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing[R/OL]. (2007-11-17) [2009-11-10]. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>.
- [20] 刘金剑, 吴萍萍, 谢小立, 等. 长期不同施肥制度下湖南红壤晚稻田CH₄的排放[J]. *生态学报*, 2008, 28(6): 2878-2886.
- LIU Jinjian, WU Pingping, XIE Xiaoli, et al. Methane emission from late rice fields in Hunan red soil under different long-term fertilizing systems[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2878-2886.
- [21] ZOU Jianwen, LIU Shuwei, QIN Yanmei, et al. Sewage irrigation increased methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in southeast China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 129: 516-522.

Effects of wheat straw returning and soil tillage on CH₄ and N₂O emissions in paddy season

ZHANG Yuefang, ZHENG Jianchu*, CHEN Liugen, WANG Zichen, ZHU Puping, SHEN Jing, WANG Yalei

Institute of Agricultural Resources and Environments; Jiangsu Academy of Agricultural Sciences; Nanjing 210014, China

Abstract: A field experiment was conducted in 2008 to investigate the effects of wheat straw returning and soil tillage on CH₄ and N₂O emissions in paddy season in a wheat-rice double cropping system by using the method of static chamber-gas chromatographic techniques. Four treatments (i.e. wheat straw returning + rotary tillage, SRT; wheat straw returning + conventional tillage, SCT; no wheat straw returning + rotary tillage, RT; no wheat straw returning + conventional tillage, CT) were implemented in this experiment. Results showed total CH₄ emissions were significantly influenced by wheat straw returning treatments, the interaction between wheat straw returning and soil tillage treatments on total CH₄ emissions was significant. The total N₂O emissions within four treatments were significantly different. The order of the total CH₄ emissions was SRT > SCT > CT > RT, and the order of the total N₂O emissions was SCT > SRT > CT > RT. As comparing with no wheat straw returning treatments under the same soil tillage, wheat straw returning significantly increased the total global warming potential (GWP) of CH₄ and N₂O emissions. Relative to SCT, SRT increased GWP, but there is no obvious difference in GWP per yield between SCT and SRT. In contrast with CT, RT effectively decreased greenhouse effect.

Key words: wheat straw returning; soil tillage; CH₄; N₂O; greenhouse effect