



韩圆圆, 曹国军, 耿玉辉, 等. 农业废弃物还田对黑土温室气体排放及全球增温潜势的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(5): 36-42.

# 农业废弃物还田对黑土温室气体排放及全球增温潜势的影响

韩圆圆, 曹国军, 耿玉辉, 叶青, 王振华, 黄岩  
(吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林 长春 130118)

**摘要:**【目的】研究牛粪、鸡粪、玉米秸秆与化肥配施还田,对黑土温室气体排放及全球增温潜势的影响。【方法】采用静态箱法,试验共设5个处理,分别为:空白对照,单施化肥,牛粪还田配施50%化肥氮(化肥中氮的质量分数为肥料中总氮量的50%),鸡粪还田配施50%化肥氮,秸秆还田配施90%化肥氮。除对照外各处理总施氮量为240 kg·hm<sup>-2</sup>。【结果】各处理中秸秆还田处理的CO<sub>2</sub>平均排放通量及总排放量最高,分别达388.96 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>和14 718.97 kg·hm<sup>-2</sup>,且追施氮肥明显增加CO<sub>2</sub>的排放;单施化肥处理CH<sub>4</sub>平均吸收通量及总吸收量最高,分别达0.042 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>和1.36 kg·hm<sup>-2</sup>;单施化肥处理N<sub>2</sub>O平均排放通量及总排放量最高,分别达0.153 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>和5.75 kg·hm<sup>-2</sup>。秸秆还田处理的全球增温潜势显著高于其他处理,牛粪还田处理较单施化肥处理全球增温潜势降低,但差异不显著。【结论】秸秆覆盖会增加黑土中的CO<sub>2</sub>的排放,旱田土壤是大气中CH<sub>4</sub>的重要吸收汇,有机无机肥配施对比单施化肥能减少土壤中N<sub>2</sub>O的排放,各农业废弃物还田处理对大气变暖贡献程度不同。

**关键词:** 农业废弃物; 温室气体; CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O; 全球增温潜势  
**中图分类号:** S153.1; S513; X823; X830.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-411X(2017)05-0036-07

## Effects of agricultural wastes on greenhouse gas emission and global warming potential in black soil

HAN Yuanyuan, CAO Guojun, GENG Yuhui, YE Qing, WANG Zhenhua, HUANG Yan  
(College of Resources and Environmental Sciences, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** 【Objective】To study the effects of cow dung, chicken manure, and corn straw combined with chemical fertilizers on greenhouse gas emission and global warming potential. 【Method】We used the static chamber technique and set up five treatments including control, chemical fertilizers only, cow dung plus chemical fertilizers containing 50% nitrogen of the total nitrogen in the treatment, chicken manure plus chemical fertilizers with 50% nitrogen, and straw plus chemical fertilizers with 90% nitrogen. Totally 240 kg·hm<sup>-2</sup> nitrogen was applied in each treatment except for control. 【Result】Among all treatments, the straw treatment resulted in the highest average emission flux and average total emission of CO<sub>2</sub>, being 388.96 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> and 14 718.97 kg·hm<sup>-2</sup> respectively. Nitrogen topdressing evidently promoted CO<sub>2</sub> emission. The treatment of chemical fertilizers only resulted in the highest average absorption flux and average total absorption of CH<sub>4</sub>, being 0.042 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> and 1.36 kg·hm<sup>-2</sup> respectively, and resulted in the highest average emission flux and average total emission of N<sub>2</sub>O, being 0.153 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> and 5.75 kg·hm<sup>-2</sup> respectively. The global warming potential in the straw treatment was significantly higher than those

in other treatments. The global warming potential in the cow dung treatment was lower than that in the treatment of chemical fertilizers only, yet the difference was not significant. 【Conclusion】 Straw coverage can increase CO<sub>2</sub> emission in black soil. Upland soil is an important sink of CH<sub>4</sub> in the air. Compared with chemical fertilizers only, organic manure combined with inorganic fertilizer can reduce N<sub>2</sub>O releasing. The contributions of different agricultural wastes to atmospheric warming vary in degree.

**Key words:** agricultural waste; greenhouse gas; CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O; global warming potential

近年来, 以气候变暖为主要特征的气候变化及其对自然、经济和人类生活的影响已经成为各国政府、社会和科学界共同关注的全球性问题<sup>[1]</sup>。研究发现, 导致全球气候变暖的主要原因是人类生产活动所引起的温室气体浓度增加<sup>[2]</sup>。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 3 次评估报告指出: 单位质量 N<sub>2</sub>O 的全球增温潜势(Global warming potential, GWP)是 CO<sub>2</sub> 的 298 倍, 单位质量 CH<sub>4</sub> 的 GWP 是 CO<sub>2</sub> 的 25 倍<sup>[3]</sup>。全球农业温室气体排放量占总排放量的 17%~32%<sup>[4]</sup>, 农业已经成为全球温室气体的主要排放源, 其中农田土壤是最重要的温室气体排放源。据统计, 土壤每年向大气中排放的 CO<sub>2</sub> 占总 CO<sub>2</sub> 排放体积的 5%~20%、排放的 CH<sub>4</sub> 占总 CH<sub>4</sub> 排放体积的 15%~30%、排放的 N<sub>2</sub>O 占总 N<sub>2</sub>O 排放体积的 80%~90%<sup>[5]</sup>, 这 3 种气体作为大气中最重要的温室气体, 其对温室效应的贡献率高达 80%<sup>[6]</sup>。

中国是目前世界上农业废弃物产出量最大的国家<sup>[7]</sup>, 所产生的农作物秸秆量约为 6.5 亿 t<sup>[8]</sup>, 畜禽粪便约为 17.3 亿 t<sup>[9]</sup>, 而这些农业废弃物并没有得到合理利用, 既造成资源浪费又对环境产生严重的威胁。国内外研究学者发现, 农业废弃物还田不仅可以减少资源浪费、减少化肥的施用量、改良土壤结构、增加土壤肥力、减少环境污染, 还可以通过影响土壤固碳潜力来改变温室气体的排放, 进而减缓对全球气候的贡献<sup>[10-13]</sup>。因此, 有机肥替代部分化肥是未来我国肥料施用的必然发展趋势<sup>[14]</sup>。本试验以吉林省中部黑土玉米农田为研究对象, 采用静态箱法, 在氮磷钾等养分量的条件下, 研究了高量有机肥替代条件下, 牛粪、鸡粪、秸秆与化肥配施对温室气体排放及其增温潜势的影响。旨在为农业废弃物的资源化利用及科学评价其在温室气体排放中的作用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2014 年在吉林省四平市梨树县泉眼 <http://xuebao.scau.edu.cn>

沟中国农业大学实验站进行。该地区年均气温 6.5 ℃, 年均日照 2 698.5 h。年均降雨量 577 mm, 平均蒸发量 790~820 mm。2014 年全年降雨量为 453.2 mm, 其中玉米生育期降雨量为 354.86 mm。该试验地土壤类型为黑土, 耕层土壤基本理化性状为: pH 6.69, 有机质 19.9 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 1.26 g·kg<sup>-1</sup>, 碱解氮 90.7 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 21.2 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 186.1 mg·kg<sup>-1</sup>。

1.2 试验材料

供试玉米品种为良玉 11, 种植密度为 6.5 万株·hm<sup>-2</sup>。供试氮肥为尿素[w(N)为 46%], 磷肥为磷酸二铵[w(N)为 18%, w(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)为 46%]、重过磷酸钙[w(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)为 46%], 钾肥为硫酸钾[w(K<sub>2</sub>O)为 50%]。农业废弃物为牛粪、鸡粪和玉米秸秆。各农业废弃物养分含量见表 1。

表 1 各农业废弃物养分含量  
Tab. 1 Nutrient contents of different agricultural wastes

|      | w/%   |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 有机物料 | 有机质   | 氮    | 磷    | 钾    |
| 牛粪   | 30.34 | 1.50 | 0.96 | 1.23 |
| 鸡粪   | 34.38 | 2.87 | 1.56 | 1.68 |
| 玉米秸秆 | 58.90 | 0.72 | 0.25 | 1.50 |

1.3 试验设计

试验共设置 5 个处理, 每个处理重复 3 次, 小区面积为 76 m<sup>2</sup>。每个小区内设置 3 个气体采集箱, 采用氮磷钾等养分含量的原则进行试验设计, 以等氮量(N 240 kg·hm<sup>-2</sup>)为基准计算不同处理农牧业废弃物的还田量, 各处理除有机肥料自身含有的氮磷钾养分外, 剩余不足的部分用化肥补充, 以保证各处理施入土壤中的氮磷钾总养分量相等, 即 N 240 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 120 kg·hm<sup>-2</sup>。其中, 秸秆还田处理除自身氮、磷养分不足, 剩余部分由化肥补充外, 秸秆中钾多出部分不补。秸秆还田处理中, 每公顷土壤粉碎并施入 1 公顷所种植的全部玉米秸秆。5 个处理分别为: CK(不施肥); S1: 单施

化肥, N 240 kg·hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 100 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 120 kg·hm<sup>-2</sup>; S2: 牛粪还田, 施氮量中牛粪氮与化肥氮各占 50%; S3: 鸡粪还田, 施氮量中鸡粪氮与化肥氮各占 50%; S4: 秸秆还田, 施氮量中秸秆氮与化肥氮各

占 50%。  
各处理化肥氮施用量的 30% 作基肥, 40% 作拔节期追肥, 30% 作抽雄期追肥。各处理农业废弃物和磷、钾肥作基肥一次性施入, 具体施肥方案见表 2。

表 2 试验处理及施肥量  
Tab. 2 Experimental treatments and fertilization amounts

| 处理       | 有机肥施用量/<br>(t·hm <sup>-2</sup> ) | 有机物料/(kg·hm <sup>-2</sup> ) |                               |                  | 化肥/(kg·hm <sup>-2</sup> ) |                               |                  | 总计/(kg·hm <sup>-2</sup> ) |                               |                  |
|----------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------|
|          |                                  | N                           | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 不施肥(CK)  | 0                                | 0                           | 0                             | 0                | 0                         | 0                             | 0                | 0                         | 0                             | 0                |
| 单施化肥(S1) | 0                                | 0                           | 0                             | 0                | 240.0                     | 100.0                         | 120.0            | 240                       | 100                           | 120.0            |
| 牛粪还田(S2) | 26.7                             | 120.0                       | 76.9                          | 98.5             | 120.0                     | 23.1                          | 21.5             | 240                       | 100                           | 120.0            |
| 鸡粪还田(S3) | 13.3                             | 120.0                       | 64.3                          | 69.3             | 120.0                     | 35.7                          | 50.7             | 240                       | 100                           | 120.0            |
| 秸秆还田(S4) | 12.9                             | 24.4                        | 22.6                          | 135.5            | 215.6                     | 77.4                          | 0                | 240                       | 100                           | 135.5            |

1.4 取样时期及方法

温室气体样品采用静态箱法, 气体采集箱为暗箱, 记录采集箱内温度和土壤 5 cm 深度处温度, 大气温度及大气压强, 以校正采集气体过程中因箱内温度升高而引起的气体质量计算误差。采集气体时将顶箱盖在底座上, 加水密封并盖箱后, 于 0、15、30、45 min 分别进行 4 次采集气体样品, 采集的气体样品保存在 100 mL 采样袋中。集气箱结构如图 1 所示。基肥施用日期为 4 月 29 日, 施基肥后连续采样 7 d。2 次追施氮肥日期分别为 6 月 27 日和 7 月 28 日, 追肥后连续采样 3 d, 其他采样时间为每周采集 1 次, 共计采样 29 次。

FID: 温度 300 ℃, 燃气 H<sub>2</sub> 的流量为 100 mL·min<sup>-1</sup>, 实用气空气流量为 200 mL·min<sup>-1</sup>, 载气为 N<sub>2</sub>; ECD: 温度 330 ℃, 载气为 N<sub>2</sub>, 流量为 2 mL·min<sup>-1</sup>。

温室气体排放通量的计算公式<sup>[15]</sup>为:

$$F = \frac{dc \times h \times \rho}{dt \times 273(273 + \theta)}, \tag{1}$$

式中,  $F$  为气体排放通量, mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>;  $\rho$  为 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 标准状态下的密度, kg·m<sup>-3</sup>;  $h$  为采样箱的罩箱高度, m;  $dc/dt$  为采样箱内温室气体的浓度变化率;  $\theta$  为采样过程中采样箱内的平均温度, ℃。

温室气体总排放量的计算公式<sup>[16]</sup>为:

$$CE = \sum_{i=1}^n \frac{F_i + F_{i+1}}{(t_{i+1} - t_i) \times 2 \times 24}, \tag{2}$$

式中,  $CE$  为气体总排放量, kg·hm<sup>-2</sup>;  $i$  为第  $i$  次测定;  $(t_{i+1} - t_i)$  为相邻 2 次测定间隔时间, d;  $n$  为测定次数。

全球增温潜势(GWP)是将各种温室气体的季节总排放量(kg·hm<sup>-2</sup>)的增温潜势换算为 CO<sub>2</sub> 排放量, 换算方法参考文献[17]。GWP 计算公式<sup>[18]</sup>为:

$$GWP = CDE(CH_4) + CDE(N_2O) + CDE(CO_2), \tag{3}$$

式中,  $CDE(CH_4)$ 、 $CDE(N_2O)$  分别为 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 换算为 CO<sub>2</sub> 的排放量,  $CDE(CO_2)$  为 CO<sub>2</sub> 的排放量, 单位均为 kg·hm<sup>-2</sup>。

1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007、SPSS19.0 软件进行数据处理和统计分析。采用 Duncan's 法进行多重比较。

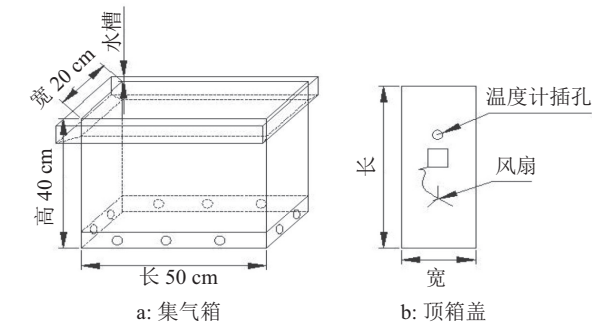


图 1 集气箱结构示意图  
Fig. 1 Diagram of gas tank structure

1.5 测试项目及方法

温室气体(CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>)的测定: 静态箱采集气体样品, 采用气相色谱法测定温室气体含量。所用仪器为安捷托 7890A 气象色谱仪, CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 采用氢火焰检测器(FID)测定, N<sub>2</sub>O 采用电子俘获检测器(ECD)测定。测定条件如下:

2 结果与分析

2.1 农业废弃物还田对 CO<sub>2</sub> 排放的影响

如图 2 所示, 玉米整个生育期内 CO<sub>2</sub> 的排放在各处理间的趋势基本一致。即生长初期和末期 CO<sub>2</sub> 排放通量较低(39.9~126.5 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>), 中期排放通量最高, 且在 6 月末和 7 月末出现最高峰。在等养分条件下, 各处理 CO<sub>2</sub> 平均排放通量均大于 200 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>。

除 CK 处理外, 其他各处理在 6 月末和 7 月末的 2 次追施氮肥后分别出现 2 次 CO<sub>2</sub> 排放高峰。S1、S2、S3、S4 处理在 6 月 27 日追施氮肥后连续 3 d 的 CO<sub>2</sub> 平均排放通量分别为 3 575.00、2 854.40、2 904.40 和 3 033.58 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>; 7 月 28 日追施氮肥后连续 3 d 的 CO<sub>2</sub> 平均排放通量分别为 2 104.34、1 687.64、1 733.47 和 1 766.81 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>。2 次追肥后各处理 CO<sub>2</sub> 平均排放通量均表现为 S1>S4>

S3>S2。表明, 追施氮肥(尿素)会在短时期内明显增加 CO<sub>2</sub> 的排放, 单施化肥(S1)处理在追施氮肥后的 CO<sub>2</sub> 排放通量最大, 其原因可能是 S1 处理追施尿素量大, 尿素水解释放的 CO<sub>2</sub> 量也较高。

如表 3 所示, 各处理中以秸秆还田(S4)处理的 CO<sub>2</sub> 平均排放通量与总排放量最高, 分别为 388.96 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 和 14 718.97 kg·hm<sup>-2</sup>, 其中总排放量显著高于其他处理。CK 处理 CO<sub>2</sub> 平均排放通量与总排放量显著最低, 分别为 200.20 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 和 7 538.85 kg·hm<sup>-2</sup>。表明, 施肥或施有机肥均能促进土壤呼吸, 增加土壤 CO<sub>2</sub> 的排放, 在本试验条件下, 3 种农业废弃物还田处理中以秸秆还田处理对土壤 CO<sub>2</sub> 排放的促进作用最为显著。

2.2 农业废弃物还田对 CH<sub>4</sub> 排放的影响

如图 3 所示, 除 S1 和 S4 处理在 8 月 27 日出现正值外, 其余各处理 CH<sub>4</sub> 排放通量均为负值, 即各处理对 CH<sub>4</sub> 排放的总体特点表现为吸收。在等

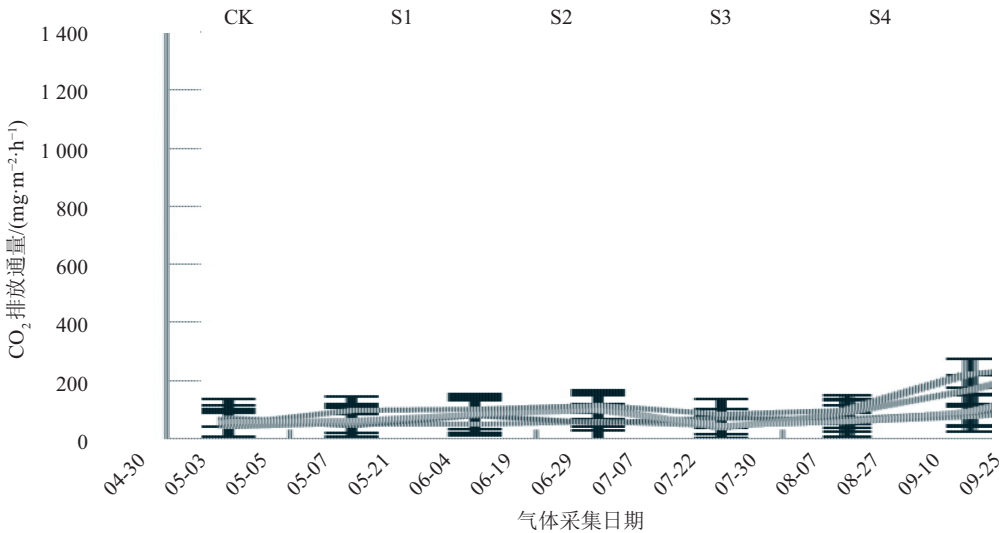


图 2 不同处理 CO<sub>2</sub> 排放通量

Fig. 2 CO<sub>2</sub> emission fluxes of different treatments

表 3 不同处理 3 种温室气体平均排放通量与总排放量<sup>1)</sup>

Tab. 3 Average emission fluxes and total emissions of three greenhouse gases from different treatments

| 处理 | CO <sub>2</sub>                                   |                                 | CH <sub>4</sub>                                   |                                 | N <sub>2</sub> O                                  |                                 |
|----|---------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|
|    | 平均排放通量/<br>(mg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 总排放量/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 平均排放通量/<br>(mg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 总排放量/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 平均排放通量/<br>(mg·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 总排放量/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) |
| CK | 200.20d                                           | 7 538.85c                       | -0.035b                                           | -1.32a                          | 0.049c                                            | 2.07e                           |
| S1 | 385.97a                                           | 13 753.68b                      | -0.042a                                           | -1.36a                          | 0.153a                                            | 5.75a                           |
| S2 | 357.02c                                           | 13 330.94b                      | -0.030c                                           | -1.05c                          | 0.137b                                            | 5.35c                           |
| S3 | 374.83b                                           | 13 957.28b                      | -0.034b                                           | -1.23b                          | 0.136b                                            | 5.21d                           |
| S4 | 388.96a                                           | 14 718.97a                      | -0.025d                                           | -0.81d                          | 0.139b                                            | 5.51b                           |

1) 同列数据后凡具有一个相同小写字母者,表示不同处理间差异不显著(P>0.05, Duncan's法)。

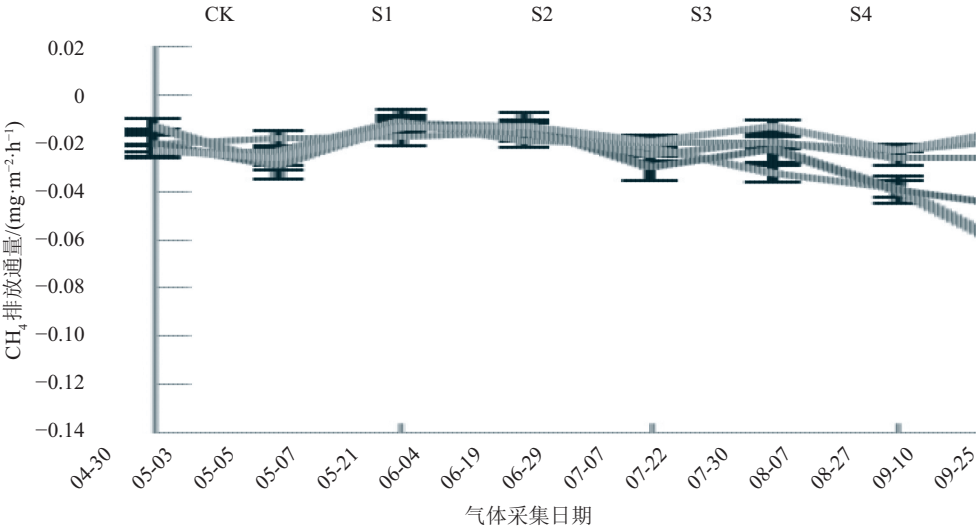


图 3 不同处理 CH<sub>4</sub> 排放通量

Fig. 3 CH<sub>4</sub> emission fluxes of different treatments

养分量条件下,各处理中单施化肥(S1)处理的 CH<sub>4</sub> 平均吸收通量与总吸收量最大(平均排放通量与总排放量数值最低)(表 3),且在 6 月末和 7 月末出现 2 次峰值(0.118 和 0.095 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>);S1 处理平均吸收通量及总吸收量均显著高于 3 种农业废弃物还田处理,但总吸收量与 CK 处理差异不显著。在 3 种农业废弃物还田处理中以鸡粪还田(S3)处理 CH<sub>4</sub> 平均吸收通量和总吸收量最大,分别为 0.034 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 和 1.23 kg·hm<sup>-2</sup>。

2.3 农业废弃物还田对 N<sub>2</sub>O 排放的影响

如图 4 所示,单施化肥(S1)处理在 6 月 12 日、29 日及 7 月 30 日分别出现较大峰值,是由于呈峰值前的降雨,降雨会增加土壤孔隙含水量,降低其通透性,NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 在厌氧条件下进行反硝化作用产生大量

N<sub>2</sub>O,其中 6 月 29 日达到最高值,为 0.375 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>。如表 3 所示,S1 处理的 N<sub>2</sub>O 平均排放通量及总排放量均为最高,达 0.153 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> 和 5.75 kg·hm<sup>-2</sup>。可见,施用化肥对 N<sub>2</sub>O 排放的影响较大,在等养分量条件下,有机无机肥配施可减少化肥施用量,进而减少土壤中 N<sub>2</sub>O 的排放,降低大气中 N<sub>2</sub>O 浓度,缓解温室效应带来的负面影响。3 种农业废弃物还田处理中 S3 处理的 N<sub>2</sub>O 总排放量最低。

2.4 农业废弃物还田处理对全球增温潜势的影响

由表 4 可知,各处理中,秸秆粉碎还田(S4)处理的 GWP 显著高于其他处理,相比于单施化肥(S1)处理,增幅达 5.9%;牛粪还田(S2)处理较 S1 处理 GWP 降低,但差异不显著。

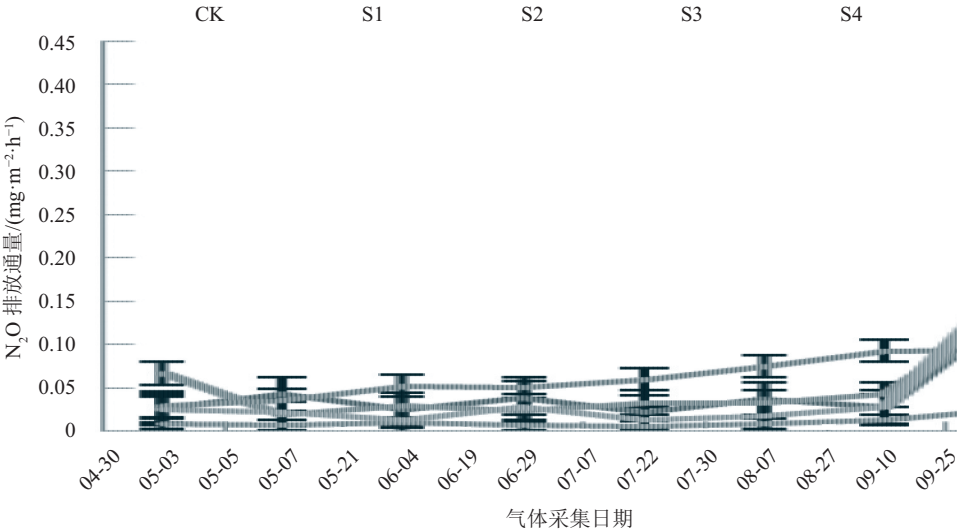


图 4 不同处理 N<sub>2</sub>O 排放通量

Fig. 4 N<sub>2</sub>O emission fluxes of different treatments

表 4 不同处理的全球增温潜势(GWP)<sup>1)</sup>

Tab. 4 Global warming potentials (GWP) of different treatments

kg·hm<sup>-2</sup>

| 处理 | CDE(CH <sub>4</sub> ) | CDE(N <sub>2</sub> O) | GWP         |
|----|-----------------------|-----------------------|-------------|
| CK | -32.93b               | 616.86d               | 8 122.79d   |
| S1 | -34.00a               | 1 713.50a             | 15 433.18b  |
| S2 | -26.30d               | 1 594.31c             | 14 898.94bc |
| S3 | -30.78c               | 1 552.58c             | 15 479.09b  |
| S4 | -20.20e               | 1 641.98b             | 16 340.75a  |

1) CDE(CH<sub>4</sub>)、CDE(N<sub>2</sub>O) 分别为 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 换算为 CO<sub>2</sub> 的排放量。同列数据后凡具有一个相同小写字母者,表示不同处理间差异不显著( $P>0.05$ , Duncan's法)。

### 3 讨论与结论

农业生产中所产生的畜禽粪便、作物秸秆与无机肥的配合施用,不仅会改变土壤中有机碳的含量还会影响氮肥施入过程中的挥发损失<sup>[19]</sup>。李英臣等<sup>[20]</sup>通过秸秆覆盖对农田土壤中的温室气体的研究,得出秸秆覆盖会增加土壤中的 CO<sub>2</sub> 的排放,且随着秸秆覆盖量的增加 CO<sub>2</sub> 排放量也随之增加;由于所覆盖秸秆化学性质不同对 CH<sub>4</sub> 排放的影响也不同;N<sub>2</sub>O 的排放与秸秆覆盖方式及耕作方式有关,大多数研究认为秸秆还田会促进 N<sub>2</sub>O 的排放,也有部分研究认为秸秆还田会减少 N<sub>2</sub>O 的排放或对 N<sub>2</sub>O 的排放无影响。刘田<sup>[21]</sup>通过施加作物秸秆对棕红壤温室气体排放的研究得出:秸秆还田能够促进旱地土壤 CO<sub>2</sub> 排放,其对 CH<sub>4</sub> 呈弱吸收作用,且作用不明显;N<sub>2</sub>O 的排放与作物秸秆性质有关。这也与本研究结果相一致,研究表明,在等养分量的条件下,除秸秆还田处理较单施化肥处理少量地增加了 CO<sub>2</sub> 平均排放通量外,其余农业废弃物还田处理,在减少氮肥施入量的同时,也减少了 CO<sub>2</sub> 排放量;各处理在 6 月末及 7 月末出现 2 次较大的峰值,追施氮肥后各处理 CO<sub>2</sub> 平均排放通量表现为 S1>S4>S3>S2>CK, S1 处理在追施氮肥后的 CO<sub>2</sub> 排放量最大。其原因可能是追施氮肥(尿素),改变了土壤碳氮比,加速了土壤有机物矿化,从而使 CO<sub>2</sub> 排放量增加。此外,尿素在土壤脲酶作用下水解,也释放出 CO<sub>2</sub>。可见, S1 处理追施尿素量大,释放的 CO<sub>2</sub> 量也高。各农业废弃物还田处理中牛粪还田处理(S2)CO<sub>2</sub> 平均排放通量及总排放量均为最低,秸秆还田处理(S4)CO<sub>2</sub> 平均排放通量及总排放量均为最高。

土壤中 CH<sub>4</sub> 的排放主要是通过土壤中的厌氧产甲烷菌释放,在往大气传输的过程中受到甲烷氧

<http://xuebao.scau.edu.cn>

化菌的作用,只有部分能够进入大气中<sup>[22]</sup>。有研究发现,旱地土壤 CH<sub>4</sub> 排放量低,外界干扰因素较多,且旱地土壤通透性较好,不易产生厌氧环境;土壤有机质分解率高,不易于土壤有机碳的积累,进而影响 CH<sub>4</sub> 的产生及排放,因此认为旱地为大气 CH<sub>4</sub> 重要的吸收汇<sup>[23]</sup>。高德才等<sup>[24]</sup>研究表明通透性好的旱地土壤会抑制产甲烷菌的活性,导致 CH<sub>4</sub> 排放量较低;本研究通过试验得出,在等养分量条件下,各处理对 CH<sub>4</sub> 的排放的总体特点表现为吸收,即旱地土壤是大气中 CH<sub>4</sub> 重要的吸收汇,其中单施化肥处理和秸秆还田处理在 8 月 27 日表现为排放,其原因可能是由于 8 月 23—25 日,连续 3 日降雨,土壤水分含量增大,使适合产甲烷菌的条件或甲烷氧化菌受到抑制。翟振<sup>[25]</sup>通过对燕山东麓玉米农田 N<sub>2</sub>O 排放的研究发现,在等氮条件下,有机肥与化肥配施在保证产量的同时,与当地农户相比可有效减少 N<sub>2</sub>O 排放 19.5%,本研究得出在等养分量条件下,单施化肥增加了土壤 N<sub>2</sub>O 的排放,农业废弃物与化肥配施,可减少氮肥的施用量,在减少化肥氮施入的同时,进而减少了土壤中 N<sub>2</sub>O 的排放。

了解某一农业措施对温室效应的贡献,应计算其作用的综合效果。由于 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 这 3 种温室气体的增温效应不同,其对全球变暖的影响也不同。本文用全球增温潜势(GWP)来表示 3 种温室气体的综合作用,即通过计算土壤中排放的温室气体的积累排放量所相当的 CO<sub>2</sub> 排放量来评价其综合贡献。通过本试验得出的数据计算得出秸秆还田处理的 GWP 显著高于其他处理,牛粪还田处理相比与单施化肥处理其 GWP 有小幅度的降低。但评价一个农田生态系统的综合温室效应,不仅要计算土壤排放温室气体所相当的 CO<sub>2</sub> 排放量,还应涵盖灌溉、机械和肥料施用等农事活动所造成的 CO<sub>2</sub> 排放<sup>[26]</sup>。对于本文 3 种农业废弃物还田处理对土壤的固碳潜力以及不同配比对温室效应的综合贡献率还需进一步进行研究。

#### 参考文献:

[1] 潘根兴, 高民, 胡国华, 等. 气候变化对中国农业生产的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1698-1706.

[2] IPCC. Climate Change 2007 (AR4) [EB/OL]. [2016-11-10]. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.Shtml#1](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.Shtml#1).

[3] HOUGHTON J T, DING Y, GRIGGS D J, et al. IPCC, climate change 2001: The scientific basis[J]. Neth J Geosci, 2001, 87(3): 197-199.

[4] BELLARBY J, FOEREID B, HASTINGS A, et al.

- Cool farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential [EB/OL]. [2016-11-10]. <http://hdl.handle.net/2164/2205>.
- [5] HANSEN J E, LACIS A A. Sun and dust versus greenhouse gases: An assessment of their relative roles in global climate change[J]. *Nature*, 1990, 346(6286): 713-719.
- [6] KIEHL J T, TRENBERTH K E. Earth's annual global mean energy budget[J]. *B Am Meteorol Soc*, 1997, 78(2): 197-208.
- [7] 孙永明, 李国学, 张夫道, 等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(8): 169-173.
- [8] 孙振钧. 中国生物质产业及发展取向[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(5): 1-5.
- [9] 彭靖. 对我国农业废弃物资源化利用的思考[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(2): 794-798.
- [10] 叶文培, 谢小立, 王凯荣, 等. 不同时期秸秆还田对水稻生长发育及产量的影响[J]. *中国水稻科学*, 2008, 22(1): 65-70.
- [11] OCIO J A, BROOKES P C, JENKINSON D S. Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N[J]. *Soil Biol Biochem*, 1991, 23(2): 171-176.
- [12] VENGLOVSKY J, SASAKOVA N, PLACHA I. Pathogens and antibiotic residues in animal manures and hygienic and ecological risks related to subsequent land application[J]. *Bioresour Technol*, 2009, 100(22): 5386-5391.
- [13] 赵军, 李勇, 冉炜, 等. 有机肥替代部分化肥对稻麦轮作系统产量及土壤微生物区系的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2016, 39(4): 594-602.
- [14] 许仁良, 王建峰, 张国良, 等. 秸秆、有机肥及氮肥配合使用对水稻土微生物和有机质含量的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(13): 3584-3590.
- [15] 秦晓波, 李玉娥, 刘克樱, 等. 不同施肥处理稻田甲烷和氧化亚氮排放特征[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7): 143-148.
- [16] 闫翠萍, 张玉铭, 胡春胜, 等. 不同耕作措施下小麦-玉米轮作农田温室气体交换及其全球增温潜势[J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(6): 704-715.
- [17] 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等. 耕作方式和稻草还田对双季稻田  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(11): 216-224.
- [18] 胡腾. 黄土高原南部东小麦: 夏休闲种植体系温室气体排放与减排措施研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [19] 杨弘, 何红波, 张威, 胡国庆, 刘肖, 张旭东. 秸秆还田对农田棕壤氧化亚氮排放动态的影响[J]. *土壤通报*, 2016, 47(3): 660-665.
- [20] 李英臣, 侯翠翠, 李勇, 等. 免耕和秸秆覆盖对农田土壤温室气体排放的影响[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(6): 1076-1083.
- [21] 刘田. 施加作物秸秆对棕红壤几种温室气体排放的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [22] 孙晓新, 牟长城, 石兰英, 等. 小兴安岭森林沼泽甲烷排放及其影响因子[J]. *植物生态学报*, 2009, 33(3): 535-545.
- [23] 孙晓新, 牟长城, 闵长林, 等. 小兴安岭沼泽甲烷通量日变化分析[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(11): 92-95.
- [24] 高德才, 张蕾, 刘强, 等. 生物黑炭对旱地土壤  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  排放及其环境效益的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(11): 3615-3624.
- [25] 翟振. 北方春玉米农田  $\text{N}_2\text{O}$  排放规律及减排措施研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [26] 宋利娜, 张玉铭, 胡春胜, 等. 华北平原高产农区冬小麦农田土壤温室气体排放及其综合温室效应[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(3): 297-307.

【责任编辑 庄 延】