

稻秆还田方式对麦田 N_2O 排放的影响^①

马二登^{1,4}, 马 静^{1,4}, 徐 华^{1*}, 曹金留², 蔡祖聪¹, 八木一行³

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 (中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 江苏农林职业技术学院, 江苏句容 212400; 3 国立农业环境技术研究所, 日本筑波 305; 4 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 通过田间试验研究了 3 种稻秆还田方式 (表面覆盖、均匀混施和原位焚烧) 对麦田 N_2O 排放的影响。结果表明, 不同稻秆还田方式麦田 N_2O 排放量为: 表面覆盖 > 对照 (不施稻秆) > 均匀混施 > 原位焚烧。与对照相比, 稻秆表面覆盖显著增加麦田 N_2O 排放量, 而均匀混施和原位焚烧显著减少 N_2O 排放量。 N_2O 排放通量与土壤温度无显著相关性, 与土壤水分呈显著正相关。与对照相比, 稻秆均匀混施使小麦产量显著增加, 表面覆盖和原位焚烧对小麦产量无显著影响。

关键词: 稻秆还田方式; N_2O 排放通量; 麦田; 产量

中图分类号: S131; X511

N_2O 是一种重要的温室气体, 其浓度的增加不仅加剧了全球温室效应, 而且导致臭氧层的破坏与地面紫外线辐射增强。根据 IPCC 第 4 次评估报告, 2005 年大气中 N_2O 浓度已达到 $319 \pm 0.12 \mu\text{g}/\text{kg}$ ^[1]。大量研究表明, 土壤特别是农田土壤和热带地区土壤, 是大气 N_2O 主要的排放源^[2]。作为一项重要的农田管理措施, 秸秆还田有利于改善农作物生长环境, 促进农作物增产^[3]。有文献报道指出^[4-5], 秸秆较高的 C/N 比容易引起土壤中 N 素的固定, 秸秆腐解过程中产生的化感物质会抑制土壤微生物活性, 这些因素均会导致农田 N_2O 排放的减少。农业生产中, 表面覆盖、均匀混施以及原位焚烧是最常见的 3 种麦田秸秆还田方式, 但秸秆还田方式对麦田 N_2O 排放的影响研究还鲜见报道。本试验观测了 3 种常见稻秆还田方式下麦田 N_2O 排放, 以探讨秸秆还田方式对麦田 N_2O 排放的影响, 为麦田 N_2O 排放规律的研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

大田试验于 2006 年 11 月—2007 年 5 月在江苏省句容行香镇 ($31^\circ 58' \text{N}$, $119^\circ 18' \text{E}$) 进行。试验土壤为发育于下蜀黄土的爽水性水稻土, 土壤有机质含量为 $8.2 \text{ g}/\text{kg}$, 全 N 含量为 $1.1 \text{ g}/\text{kg}$, 土壤 pH 5.9。

试验共设 4 个处理: ①不施稻秆 (对照); ②稻秆表面覆盖: 播种后, 于当日将 $4.8 \text{ t}/\text{hm}^2$ 切碎的稻秸均匀地覆盖在小区表面; ③稻秆均匀混施: 播种前, 于

当日将 $4.8 \text{ t}/\text{hm}^2$ 切碎的稻秸与 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 表层土壤均匀混合; ④稻秆焚烧还田: 播种前, 于当日将 $4.8 \text{ t}/\text{hm}^2$ 切碎的稻秆均匀铺放在小区表面, 然后原位焚烧。每个处理 3 次重复, 随机区组设计。小区面积 6 m^2 ($3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$)。

1.2 田间管理

试验按当地农业管理方式进行。小麦于 2006 年 11 月 12 日播种, 2007 年 5 月 27 日收割, 整个生长期为 195 天。肥料的施用方式为: 尿素 $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 60% 做为基肥, 40% 做为返青肥。P 肥和 K 肥作为基肥, 一次性施入, 用量为: 过磷酸钙 $450 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 氯化钾 $225 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。2006 年 11 月 12 日施基肥, 2007 年 3 月 7 日施用返青肥。小麦品种为镇麦 5 号。

1.3 采样与测定

采用静态箱法测定麦田的 N_2O 排放, 静态箱底面积为 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$, 箱高随着小麦的高度增加而增加。小麦生长季一般每周采样 1 次, 施肥、降雨期间约 2~3 天 1 次, 1—2 月低温期 10 天采 1 次样。采样时间为上午 9:00—11:00。各采样点每次采 4 个样, 间隔 15 min 采 1 个样。采样的同时, 测定气温、箱温和 0 、 5 、 10 cm 土温。采集 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 的表层土, 于 105°C 下烘干至恒重, 测定土壤水分。小麦收获时, 测定各小区产量。

用岛津气相色谱分析仪 (shimadzu GC-14B) 测定样品 N_2O 浓度。根据 N_2O 浓度与时间关系曲线计算 N_2O 排放通量。处理间比较以 3 个重复的平均值进行

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40621001 和 40671094) 和中国科学院南京土壤研究所创新领域前沿项目 (ISSASIP0612) 资助。

* 通讯作者 (hxu@issas.ac.cn)

作者简介: 马二登 (1983—), 男, 安徽定远人, 博士研究生, 主要从事农田温室气体排放研究。E-mail: erdma@issas.ac.cn

方差分析。相关性分析用全部观测值进行直线回归相关分析。

2 结果与分析

2.1 N_2O 排放的季节变化

小麦生长季内, 各处理 N_2O 排放存在明显的季节变化, 并呈现出相同的季节变化模式 (图 1)。由图 1 可见, 各处理全生育期均出现两次主要 N_2O 排放峰, 分别在小麦播种后的第 14 天和第 132 天。 N_2O 排放大部分集中在播种-返青阶段, 这与前人研究结果一致^[6]。

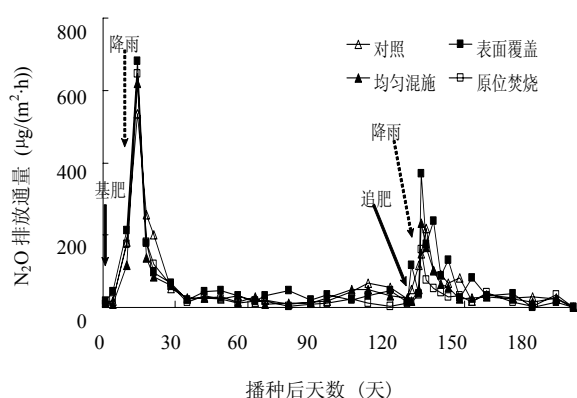


图 1 麦季 N_2O 排放的季节变化

Fig. 1 Temporal variations of N_2O fluxes during wheat-growing season

试验发现, 两次 N 肥的施入并没有导致 N_2O 排放的迅速增加, 而是在随后的降雨过后 2 ~ 3 天才出现 N_2O 的排放峰, 这与王少彬等^[7]观察到的结果一致。

N 肥的施入虽然为 N_2O 的产生提供了丰富的基质, 但是, 如果缺少适合的水分条件也不会引起麦季土壤 N_2O 的大量排放。硝化和反硝化是土壤中 N_2O 生成的两个最主要的微生物过程, 影响硝化反硝化作用的因素均会对 N_2O 的生成产生重要影响。N 肥的施入为硝化反硝化微生物提供充足的底物。土壤水分不仅可以通过影响土壤中 O_2 的有效性从而影响硝化反硝化微生物活性, 它还决定着反硝化产物的气体组成与传输, 进而影响到 N_2O 的生成与排放。当土壤水分既能促进硝化作用又能促进反硝化作用的时候, 将会有较高的 N_2O 排放。研究表明^[8], 土壤含水量为田间持水量的 45% ~ 75% 时, 硝化细菌与反硝化细菌均可能成为 N_2O 的主要制造者。本试验中, 化学 N 肥的施入为硝化反硝化过程提供了丰富的底物, 随后的降雨又为硝化反硝化创造了适宜的水分条件, 从而造成了

N_2O 的大量排放。

在小麦越冬期间, N_2O 排放量较小。硝化反应适宜温度为 15 ~ 35℃, 反硝化适宜温度为 5 ~ 75℃^[9], 而这期间的平均土温低于 5℃, 抑制了硝化反硝化微生物活性。

由于小麦苗期吸收利用土壤 N 素能力较低, 施入的 N 肥将会有较大的一部分成为生成 N_2O 的物质来源^[10]。返青之后, 小麦迅速生长, 其吸收同化土壤 N 素的能力也显著增强, 这使得土壤中硝化反硝化的底物来源减少。此外, 返青肥的施入量只有基肥的 2/3。这些因素都导致了小麦返青-成熟期土壤 N_2O 排放量比苗期明显减少。

2.2 稻秆还田方式对 N_2O 排放的影响

从图 2 可以看出, 稻秆施用方式显著影响麦田 N_2O 排放。全生育期内, N_2O 平均排放通量为: 表面覆盖 > 对照 > 均匀混施 > 原位焚烧。

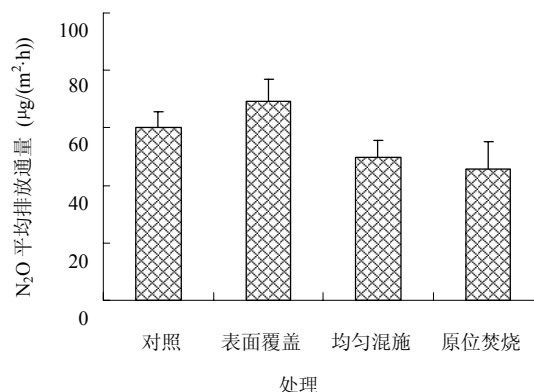


图 2 各处理 N_2O 平均排放通量

Fig. 2 Mean N_2O fluxes of different treatments during wheat-growing season

稻秆表面覆盖与对照相比, 全生育期 N_2O 排放增加了 15%, 方差分析达显著水平 ($p < 0.05$)。覆盖于土表的稻秆能够为硝化反硝化的进行保持适当的水热条件^[11], 同时, 由于覆盖在土壤表层的稻秆不能与土壤微生物充分接触, 导致其分解速度较慢^[12], 从而促进 N_2O 的排放。

稻秆均匀混施与原位焚烧处理与对照相比, 全生育期 N_2O 排放分别减少了 18% 和 24%, 方差分析达显著水平 ($p < 0.05$)。均匀混施处理中, 稻秆与土壤充分接触, 稻秆的高 C/N 比引起土壤 N 素的微生物固定^[13], 从而减少了硝化反硝化底物, 抑制 N_2O 排放。秸秆焚烧使得耕层土壤水分减少, 造成土壤中 N 素的

损失,同时能大量杀灭土壤表层微生物^[14],这些原因都将导致原位焚烧处理 N_2O 排放的减少。

2.3 影响麦田 N_2O 排放的因素

图 3 是麦季土壤温度的变化趋势。由图 3 可见,0、5 和 10 cm 处的土壤温度基本保持着相同的变化趋势,即 11 月下旬土温开始下降,次年 1 月份达到最低水平,之后开始逐渐上升,在小麦成熟期达到最高点。而 N_2O 排放并不随气温表现出相同的变化特征,相关分析发现,各处理 N_2O 排放通量与不同深度的土壤温度之间不存在显著相关性(表 1)。谢飞军等^[15]也发现,在 10~30℃ 的温度范围内,旱地生态系统 N_2O 排放通量与土壤温度无线性相关关系。

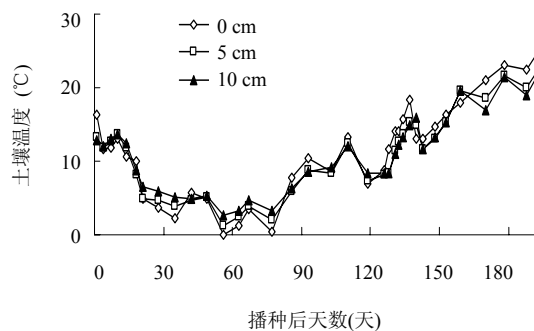


图 3 麦季土温变化趋势

Fig. 3 Temporal variations of soil temperatures during wheat-growing season

表 1 N_2O 排放通量与土壤温度、土壤水分的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between N_2O flux and soil temperature, soil water content

处理	相关系数			
	Flux-ST _{0cm}	Flux-ST _{5cm}	Flux-ST _{10cm}	Flux-SWC
对照	0.166	0.190	0.206	0.486**
表面覆盖	0.200	0.235	0.239	0.521**
均匀混施	0.143	0.190	0.197	0.466**
原位焚烧	0.095	0.158	0.175	0.459**

**表示在 $p < 0.01$ 水平上的显著相关性。Flux: N_2O 排放通量; ST: 土壤温度; SWC: 土壤水分。

相关分析表明,各处理的 N_2O 排放通量与其土壤水分呈显著正相关(表 1)。一般来说,土壤含水量上升使得土壤空隙被水填充,加强了厌氧环境,促进反硝化过程而抑制硝化反应过程。当水分含量处在一定范围的时候,硝化过程和反硝化过程能同时进行,导致较多的 N_2O 排放。郑循华等^[16]也发现,在适宜温度条件下,当土壤湿度低于田间持水量时,稻麦轮作系统 N_2O 排放通量与土壤湿度呈正相关。

2.4 秸秆还田方式对小麦产量的影响

秸秆还田方式也影响小麦的产量。对照、表面覆盖、均匀混施以及原位焚烧处理下的小麦产量分别为:6.16、6.48、7.21 和 5.45 t/hm²。

均匀混施还田处理的小麦产量最高,与对照相比增产 30%,方差分析达到显著水平 ($p < 0.05$)。这很可能是由于均匀混施方式下,秸秆与土壤充分接触,增强了土壤微生物对秸秆的腐殖化作用,土壤中腐殖质的累积加快,溶解性腐殖质含量增多^[17],促进了土壤中各种养分的周转,从而能够较好地维持和改善麦田土壤生态环境,促进小麦生长发育。

秸秆表面覆盖处理有一定的增产效应,但与对照相比没有显著差异 ($p > 0.05$)。这可能是由于覆盖于土壤表面的秸秆虽然能起到一定的保水保温作用,但

其较低的腐解速率不能很好地满足小麦生长对土壤中有机养分的需求,从而导致其增产效果不明显。

秸秆的原位焚烧处理小麦产量与对照相比有所减少,方差分析不显著 ($p > 0.05$)。秸秆焚烧会造成小麦生长初期耕层土壤水分的减少、土壤中 N 素的流失以及微生物数量的减少^[13],这些因素将会对小麦的生长发育造成不利影响。

3 结论

秸秆还田方式显著影响麦田土壤 N_2O 的排放。秸秆表面覆盖处理的 N_2O 排放量最高,相对于对照增加了约 13%,方差分析达显著水平 ($p < 0.05$)。覆盖于土表的秸秆能够为微生物进行硝化反硝化活动保持较好的水热条件,从而促进麦田土壤 N_2O 排放。秸秆均匀混施与焚烧还田处理 N_2O 排放与对照相比分别减少 18% 和 24% ($p < 0.05$)。均匀混施处理中,秸秆与土壤充分接触,秸秆的高 C/N 比引起土壤 N 素的微生物固定^[13],从而减少了硝化反硝化底物,抑制 N_2O 排放。秸秆焚烧还田造成土壤 N 素流失和部分土壤表层微生物死亡^[14],进而导致 N_2O 排放的减少。

麦田土壤 N_2O 排放与土壤温度无显著相关性 ($p > 0.05$),而与土壤水分含量呈显著正相关 ($p < 0.05$)。

稻秆均匀混施的增产效果最好, 表面覆盖与原位焚烧处理无明显增产效果。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. [http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/ Report/AR4WG1_Ch02. pdf](http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Ch02.pdf).
- [2] Delgado JA, Mosier AR. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea-Nitrogen loss and their effect on methane flux. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25 (5): 1105-1111
- [3] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农业生态系统及作物生长的影响. *土壤通报*, 2001, 32 (5): 209-213
- [4] 黄宗益, 张福珠, 刘淑琴, 曹美秋. 化感物质对土壤 N_2O 释放影响的研究. *环境科学学报*, 1999, 19 (5): 478-482,
- [5] 蒋静燕, 黄耀, 宗良纲. 水分管理与秸秆施用对稻田 CH_4 和 N_2O 排放的影响. *中国环境科学*, 2003, 23 (5): 552-556
- [6] 马静, 徐华, 蔡祖聪, 八木一行. 稻季施肥管理措施对后续麦季 N_2O 排放的影响. *土壤*, 2006, 38 (6): 687-691
- [7] 王少彬, 宋文质, 苏维瀚, 曾汇海, 张玉铭, 王智平. 冬小麦田氧化亚氮的排放. *农业环境保护*, 1994, 13 (5): 210-212
- [8] Hansen S, Mahlum JE, Bakken LR. N_2O and CH_4 fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25: 621-630
- [9] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 288-303
- [10] 杨兰芳, 蔡祖聪. 施氮和玉米生长对土壤氧化亚氮排放的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 100-104
- [11] Aulakh MS, Rennie DA, Paul EA. The influence of plant residues on denitrification rates in conventional and zero tilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48: 790-794
- [12] 李新举, 张志国, 李贻学. 土壤深度对还田秸秆腐解速度的影响. *土壤学报*, 2001, 38(1): 135-138
- [13] Baggs EM, Rees RM, Smith KA, Vinten AJA. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. *Soil Use and Management*, 2000, 16: 82-87
- [14] 王爱玲, 高旺盛, 黄进勇. 秸秆直接还田的生态效应. *中国农业资源与区划*, 2000, 21(2): 41-45
- [15] 谢飞军, 李玉娥. 土壤温度对北京旱地农田 N_2O 排放的影响. *中国农业气象*, 2005, 26(1): 7-10
- [16] 郑循华, 王明星, 王跃思, 沈壬兴, 龚晏邦, 张文, 骆冬梅, 金继生, 李老土. 华东稻麦轮作生态系统的 N_2O 排放研究. *应用生态学报*, 1997, 8(5): 495-499
- [17] 郑立臣, 解宏图, 张威, 张旭东. 秸秆不同还田方式对土壤中溶解性有机碳的影响. *生态环境*, 2006, 15(1): 80-83

Effects of Rice Straw Returning Methods on N_2O Emissions from Wheat-Growing Season

MA Er-deng^{1,4}, MA Jing^{1,4}, XU Hua¹, CAO Jin-liu², CAI Zu-cong¹, YAGI Kazuyuki³

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Jiangsu Polytechnic College of Agriculture and Forestry, Jurong, Jiangsu 212400, China; 3 National Institute of Agro-Environmental

Sciences, Tsukuba 305, Japan; 4 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of three different rice straw returning methods (straw mulching, straw burning and straw incorporating) on N_2O emissions from wheat field. The results showed that the values of N_2O emissions were ranked in the order of straw mulching > without straw returning (control) > straw incorporating > straw burning. Compared with control treatment, straw mulching increased N_2O emissions significantly ($p < 0.05$), while straw incorporating and straw burning decreased N_2O emissions significantly ($p < 0.05$). No significant correlations were found between N_2O flux and soil temperature, while there existed significant positive correlations between N_2O flux and soil water content. Compared with control treatment, straw incorporating increased wheat yield significantly and straw burning and straw mulching had no significant effect on wheat yield.

Key words: Rice straw returning methods, N_2O flux, Wheat field, Yield