

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19250

不同种植模式对黄壤烟田 N_2O 排放的影响

蒋雨洲^{1, 2}, 刘青丽^{1, 2*}, 李志宏^{1, 2}, 张云贵^{1, 2}, 邹焱³, 朱经纬³, 石俊雄³

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 烟草行业生态环境与烟叶质量重点实验室, 北京 100081; 3. 贵州省烟草科学研究院, 贵州 贵阳 550000)

摘要: 为探明烤烟-玉米轮作和烤烟连作在黄壤烟田 N_2O 排放变化特征, 并探明不同环境因子对其排放通量的影响。2016 年于贵州省烟草科学研究院龙岗长期养分定位试验站, 采用静态箱-气相色谱法测定了 N_2O 含量, 试验共设 3 个处理, 不施任何肥料 + 轮作 (CK); 常规施肥 + 轮作 (CR); 常规施肥 + 连作 (CC)。试验结果表明, 烤烟生长季, 各施肥处理的黄壤烟田 N_2O 排放均有 2 次高峰, 峰值主要出现在烤烟施基肥后 3 ~ 5 d 和追肥后 1 ~ 7 d, 其中施基肥后 N_2O 排放累积量占整个生长季 N_2O 排放累积量的比例较高, 范围为 16.26% ~ 18.30%。各个处理 N_2O 平均排放通量的顺序是 $CC > CR > CK$, 其平均排放通量分别为 0.044、0.022 和 0.013 $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$; 相同施肥量条件下, 烤烟连作较轮作 N_2O 排放总量提高了 2 倍, 烤烟生物量降低了 30.01%。相关分析表明, 施肥 + 轮作的烟田 N_2O 排放通量与土壤硝态氮含量有关 ($P < 0.05$)。黄壤烟田轮作后显著降低了土壤 N_2O 排放量, 合理轮作是降低黄壤烟田温室气体 N_2O 排放的重要途径。

关键词: 烟田; N_2O 排放; 连作; 轮作

N_2O 是导致温室效应的重要温室气体之一, 随着全球气温变暖, 温室气体排放问题成为人们备受关注的焦点。在整个 N_2O 排放的来源途径中, 农田土壤的 N_2O 排放总量约占 70%^[1-2], 其中以旱地农田 N_2O 排放作为重要的排放源^[3-4]。因此, 关注旱地农田温室气体减排对全球气候变化及农业可持续发展均有着深远意义。农田 N_2O 排放是由土壤中的硝化与反硝化过程引起, 而氮素用量及形态、环境因素 (温度、降雨等)、土壤条件 (土壤水分含量等) 及农田耕作栽培管理措施等均会对 N_2O 排放产生一定的影响^[5-8]。有相关研究表明, 连作和轮作对烟田的土壤理化性质影响不同, 优良的连作和轮作不仅可以改善烟田土壤通透性和含氧量, 还能够有利于烤烟根系的生长发育, 促进对土壤中氮素的吸收利用, 从而降低烟田的 N_2O 排放^[9-11]。

黄壤是我国主要植烟土壤之一。近年为改善植烟土壤环境条件, 采用一系列不同的耕作栽培制度。目前, 关于连作和轮作栽培制度对玉米农田 N_2O 排放的研究已有相关报道, 卢维盛等^[12]通过广州地区轮作和连作对晚稻田 N_2O 排放的研究指出, 与轮作相比, 连作栽培制度能够降低 N_2O 排放; 高琳^[13]通过轮作和连作对旱地农田 N_2O 排放的研究表明, 连作比轮作栽培制度能够增加旱地农田 N_2O 排放。还有相关研究指出旱地农田 N_2O 排放与环境因素有关^[13-14]。关于连作和轮作对烤烟土壤 N_2O 排放的影响尚少报道, 而针对黄壤地区烤烟土壤 N_2O 排放的影响尚未见报道。因此, 本文以西南黄壤地区烤烟农田为研究对象, 设置了连作和轮作种植模式, 监测烟田 N_2O 排放特征以及环境因素对其影响, 为了解西南黄壤地区农田生态系统土壤 N_2O 释放状况提供数据参数。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2016 年 4 ~ 10 月于贵州省烟草科学研究院龙岗长期养分定位试验站进行, 地理位置 $E107^{\circ} 06' 40.8''$, $N26^{\circ} 52' 24.8''$, 海拔 1 130 m, 无霜期 240 ~ 265 d, 年平均气温 13.5 ~ 14.6 $^{\circ}C$,

收稿日期: 2019-06-12; 录用日期: 2019-10-13

基金项目: 中国烟草总公司科技项目“烟草-土壤系统碳氮循环与生态价值评价”(110201402015); 中国烟草总公司贵州省公司科技项目“贵州植烟土壤保育与改良技术集成与示范”(中烟黔科[2017] 11 号, 合同号 201703)。

作者简介: 蒋雨洲 (1986-), 男, 陕西人, 助理研究员, 博士, 主要从事养分管理研究。E-mail: 417313576@qq.com。

通讯作者: 刘青丽, E-mail: liuqingli@caas.cn。

年日照时数 948.2 ~ 1 084.8 h, 平均降水量 1 129.9 ~ 1 205.9 mm。试验设在玉米-烤烟长期轮作定位点, 定位点试验始于 2008 年, 供试烤烟品种为 K326, 土壤类型为黄壤, 0 ~ 20 cm 土壤肥力状况为全氮 $1.63 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 $0.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有机质 $40.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $121.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效磷 $12.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $137.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 值 7.3。

1.2 试验设计与管理

试验共设 3 个处理, 烤烟-玉米轮作不施任何肥料 (CK); 烤烟-玉米轮作+常规化肥 (CR); 烤烟连作+常规化肥 (CC), 具体施肥量见表 1。试验基肥施用的化肥为复混肥 (N 10%, P_2O_5 10%, K_2O 25%)、过磷酸钙 (P_2O_5 14%) 和硫酸钾 (K_2O 51%), 有机肥为腐熟牛粪 $7 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N 1.4%, P_2O_5 0.4%, K_2O 2.1%)。磷肥和有机肥作基肥一次性施入; 追肥施用硝酸铵 (N 35%) 和硫酸钾 (K_2O 51%)。

烟田起垄后, 在垄上挖直径为 20 cm 穴, 将基肥施入穴内与土壤混匀, 然后覆膜, 覆膜后在垄上对应施肥点打一直径 10 cm 穴, 移栽烟苗; 追肥将肥料穴施于距烟株 5 cm 的位置后覆土。其它管理制度按照当地烤烟田间管理制度进行。烤烟于 4 月 27 日施基肥, 4 月 29 日移栽, 烤烟株距 60 cm, 行距 100 cm, 栽培密度为 $16 667 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 每个小区 8 垄, 每垄 30 株, 每个小区共计 240 株。6 月 1 日追肥, 6 月 14 日揭膜, 7 月 8 日烤烟第一次采收, 9 月 14 日烤烟采收结束, 共计采收 7 次。

表 1 2016 年不同处理的施肥量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

处理	烟田					
	基肥			追肥		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
CK	0	0	0	0	0	0
CR	45	75	90	30	0	60
CC	45	75	90	30	0	60

注: 施基肥时将磷肥一次施用, 追肥按常规方法和时间进行施用。

1.3 样品采集

1.3.1 气体样品

田间气体采集在 2016 年 4 ~ 8 月, 每个小区设 3 个固定气体样品采集点, 放置温室气体人工采样静态箱, 各处理摆放条件一致。静态箱体积为 $60 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 0.9 \text{ m}^3$ 。箱内顶部安装微型电风

扇、温度探头和采气管, 静态箱外侧露出的采气管末端与三通阀连接, 三通阀分别连接气体收集袋和注射器 (50 mL)。每个小区内分别固定 3 个底座, 底座插入土壤 20 cm 深度, 取样时将箱体放置于底座上, 并保证箱体内外空气不发生交换。在 0 ~ 45 min 内每间隔 15 min 采集一次气体。取样一般在 8:00 ~ 11:00 时间段进行, 移栽后每 15 d 采集气体样品, 施肥后加测, 于施肥后 1、2、3、5、7、11 d 进行取样, 如遇到强降雨天气则推迟取样时间, 每次采取 3 个平行样。每次采集气体样品时均记录当日的土壤表层温度和气温, 取样后及时完成样品测定。

1.3.2 土壤样品

取 2 棵植株中间的土壤 (0 ~ 20 cm 土层) 作混合样, 放置于冰盒中, 然后于低温保存, 测定时土壤样品过 5 mm 筛网, 用 0.01 mol/L CaCl_2 溶液浸提后, 测定硝态氮和铵态氮。

土壤气象数据由 OnsetHOBO 型温湿度数据记录仪自动记录。

1.4 样品的测定

本研究采用静态箱-气象色谱法测定 N_2O , 气体浓度采用气相色谱 (HP 7890A) 测定, 色谱柱为 Porapak Q 填充柱。

土壤 NO_3^- -N 含量采用连续流动分析仪 (Flastar 5 000 Analyzer) 测定^[15]。

烤烟植株在成熟期从底部叶片落黄时采收, 采收的叶片清洗干净后放入烘箱, 先用 105°C 杀青 30 min, 再用 75°C 烘干。烘干后称重。

1.5 计算方法和数据分析

N_2O 排放通量的计算公式为^[16]:

$$F = \Delta m / A \times \Delta t = (m_2 - m_1) / A \times \Delta t \\ = [C_2 \times V \times M_0 \times 273 / (273 + T_2) - C_1 \times V \times M_0 \times 273 / (273 + T_1)] / [A \times (t_2 - t_1) \times 22.4 \times 10^{-3}] \times 1000$$

式中 F 为 N_2O 排放通量 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); A 为采样土壤的面积 (m^2); V 为密闭静态箱的体积 (m^3); m_1 、 m_2 分别为测定箱关闭的箱内某温室气体起始和最后测定质量 (g); t_1 、 t_2 分别为测定起始和测定结束的时间 (h); C_1 、 C_2 分别为测定箱关闭的箱内某温室气体起始和最后测定的体积百分比浓度; T_1 、 T_2 分别为测定起始和测定结束的箱内温度 ($^\circ\text{C}$); M_0 表示气体的摩尔质量。根据气体样品浓度与时间的关系曲线计算气体的排放通量,

N_2O 累积排放量是平均排放通量乘以相应的观测时间天数^[17]。

N_2O 排放系数 = (施氮处理 N_2O 排放量 - 不施氮处理 N_2O 排放量) / 施氮量 $\times 100$

试验数据经 Excel 2010 整理后作图，并用 SPSS 11.5 软件对数据进行分析，显著性检验均采用 Duncan 分析方法。

2 结果与分析

2.1 烟田土壤 N_2O 排放通量动态

在烤烟整个生育期，各处理烟田 N_2O 排放通量的变化趋势较为相似（图 1）。在烤烟生长季，各处理出现 2 次明显的 N_2O 排放高峰：第 1 次 N_2O 排放高峰出现于烟田基肥后 3 ~ 5 d（4 月 29 日 ~ 5 月 2 日），CK、CR 和 CC 处理的 N_2O 排放高峰分别为 0.036、0.073 和 0.114 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ；第 2 次 N_2O 排放高峰出现于追肥后 1 ~ 7 d（6 月 2 日 ~ 6

月 8 日），CK、CR 和 CC 处理的 N_2O 排放高峰分别为 0.033、0.084 和 0.059 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

烤烟整个生育期，轮作 N_2O 排放峰值较小，排放通量比较平稳，与不施肥处理差异不显著；连作烟田 N_2O 排放通量显著高于轮作烟田。各处理 N_2O 平均排放通量的顺序是 $\text{CC} > \text{CR} > \text{CK}$ ，其平均排放通量分别为 0.044、0.022 和 0.013 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。从烤烟轮作和连作土壤 N_2O 排放总量看，连作显著高于 CK 和轮作，分别较 CK 和轮作提高 3 和 2 倍。说明烟田轮作有利于降低 N_2O 排放。

烤烟整个生育期，烟田 N_2O 排放最高峰值出现于基肥期间，并且 CK、CR 和 CC 处理的基肥时期 N_2O 排放总量占烤烟生长季 N_2O 排放总量的比重较高，分别为 16.78%、16.26% 和 18.30%。说明，烟田土壤 N_2O 排放主要在施基肥后时期，其中，烤烟轮作降低了 N_2O 排放。

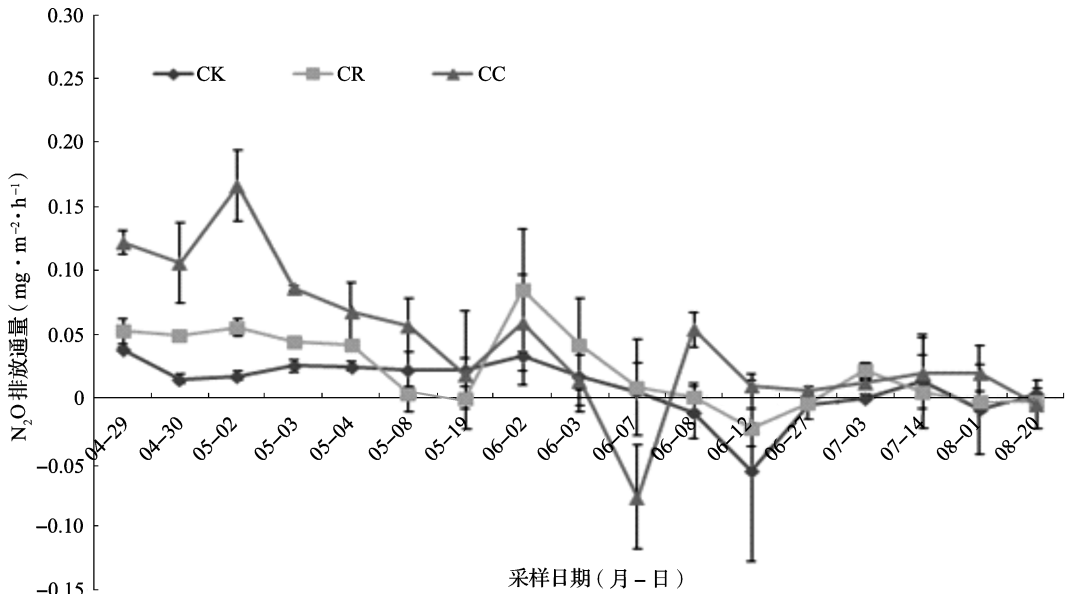


图 1 烤烟生长季土壤 N_2O 排放通量

2.2 N_2O 排放量与生物量的关系

如表 2 所示，在烟田整个生长季 CK 处理 N_2O 排放总量较低；CR 处理 N_2O 排放总量与 CK 差异不显著 ($P > 0.05$)，但 CC 处理 N_2O 排放总量明显高于 CR 和 CK 处理， N_2O 排放量排放系数为 1.15，较 CR 处理单位生物量 N_2O 排放总量提高 2.5 倍， N_2O 排放系数提高 3.5 倍。连作烟田土壤 N_2O 排放系数明显高于轮作，表明烤烟采用轮作栽培降低了土壤 N_2O 排放。

表 2 各处理 N_2O 总排放量和生物量的关系

处理	N_2O 排放总量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	N_2O 排放系数 (%)
CK	$0.34 \pm 0.32 \text{ b}$	0.33
CR	$0.59 \pm 0.09 \text{ b}$	
CC	$1.21 \pm 0.27 \text{ a}$	1.15

注：统计学显著性假设为 $P < 0.05$ 。

2.3 N_2O 排放与环境因素的关系

如表 3 所示，CK、CR 处理土壤硝态氮含量与

烟田 N_2O 排放呈正相关关系, CC 处理与之呈负相关, 其中, 轮作烟田 N_2O 排放通量与土壤硝态氮含量呈显著正相关关系 ($P<0.05$), 其它处理 N_2O 排放通量与土壤硝态氮含量相关性未达到差异显著水平, 表明烤烟采用轮作栽培制度后, 土壤 N_2O 排放与土壤硝态氮含量显著相关。

空气温度和土壤温度与烟田 N_2O 排放呈负相关 (表 3), 均未达显著性水平, 表明烤烟于生长季节空气温度与土壤温度虽然不是影响 N_2O 排放主要因素, 但是, 空气和土壤温度过高不利于烟田 N_2O 的排放。

土壤水分含量与烟田 N_2O 排放相关分析 (表 3) 表明, 各处理土壤含水量与烟田 N_2O 排放呈正相关关系, 但未达到显著水平, 表明烤烟生长季烟田土壤水分含量与 N_2O 排放关系不大。

表 3 烤烟整个生长季土壤 N_2O 排放通量与环境因素的相关性

处理	硝态氮	空气温度	土壤温度	土壤含水量
CK	0.62	-0.54	-0.66	0.30
CR	0.72*	-0.09	-0.45	0.41
CC	-0.32	-0.03	-0.28	0.58

注: 统计学显著性假设 * 为 $P<0.05$ 。

3 讨论

本试验结果表明, 连作与轮作对黄壤烟田 N_2O 排放有较大的影响, 连作种植制度显著影响了烟田 N_2O 排放; 施肥处理中, 连作处理烟田土壤 N_2O 排放总量高于轮作处理, 呈显著差异 ($P<0.05$), 相比不施肥 + 轮作处理, 常规施肥 + 轮作处理和常规施肥 + 连作处理分别提高了 N_2O 排放总量 3.6 和 2.1 倍。由于农田施氮肥和连作与轮作都会影响农田土壤 N_2O 排放, 其中连作能够导致农田连作障碍, 降低了烟田土壤 N_2O 排放^[18], 而氮肥的投入增加了农田土壤中的氮源, 增加了烟田土壤 N_2O 排放^[19]。本试验结果表明, 各处理在基肥后 3 ~ 5 d 出现 N_2O 排放通量高峰, 追肥后 1 ~ 7 d 出现 N_2O 排放通量高峰, N_2O 排放通量最高峰于施肥后 7 d 内出现, 这与前人的一些研究结果较为相似^[20-21]。烤烟整个生长季 N_2O 排放累积量以烤烟施肥期间最高, 是因为氮素的投入增加了农田土壤的氮源, 使施肥后提高了烟田 N_2O 排放, 随着氮源的消耗, N_2O 排放通量也逐渐降低^[22]。各处理从施肥后 11 d 的 N_2O 排放累积量来看, 基肥

期间 N_2O 排放累积量高于追肥期间 N_2O 排放累积量; 基肥期间的 N_2O 排放累积量所占比例最高, 范围为 16.26% ~ 18.30%, 并且烤烟生长季的土壤 N_2O 排放通量最高峰出现于基肥 11 d 内, 范围为 0.036 ~ 0.114 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 由于作物在基肥期间处于苗期, 属于营养生长阶段, 作物对氮素吸收较弱, 土壤中氮素主要以气体形式释放, 少部分用于作物吸收, 而作物在追肥期间处于生殖生长阶段, 作物对氮素吸收较强, 土壤中氮素主要用于作物吸收, 少部分以气体形式释放, 使基肥期间烟田 N_2O 排放高于追肥期间^[23]。烤烟土壤 N_2O 排放高峰过后, 甚至出现负值, 这和人研究结果较为一致^[24]。

烤烟生长季烟田 N_2O 排放总量顺序是 $\text{CC}>\text{CR}>\text{CK}$, 其中 CC 处理的烤烟生长季 N_2O 排放总量是 CR 处理的 2.05 倍, 进一步表明农田 N_2O 排放受到种植制度和施肥的影响^[4-6, 22], 由于农田土壤 N_2O 排放是土壤中硝化和反硝化过程引起的^[25], 连作与轮作对作物生长发育有着不同的影响, 间接地对土壤有机质的积累和分解以及肥料氮—土壤氮—作物吸氮之间的关系产生不同的影响, 导致土壤中硝化和反硝化过程受到影响^[26-27]。此外, 各施肥处理中, 轮作处理与连作处理相比明显增加了烤烟生物量 ($P<0.05$), 提高了 42.88%, 连作导致连作障碍, 抑制了烤烟生长发育, 降低了烤烟生物量累积^[18]。有相关报道, 中国旱田 N_2O 排放系数介于 0.22% ~ 1.53%^[28], 本研究中, 烤烟农田土壤 N_2O 排放系数轮作种植制度为 0.33%, 连作种植制度为 1.15%, 均在中国旱田 N_2O 排放系数范围内, 而且低于国际农田推荐值 1.25%^[29]。说明连作种植制度能够降低烤烟生物量累积, 提高烟田土壤 N_2O 排放, 但是从 N_2O 排放系数来看, 烤烟作物农田对温室效应气体 N_2O 排放的影响是否小于其他作物农田的影响, 还需进一步相关研究验证。

烤烟生长季烟田土壤 N_2O 排放通量与相应的土壤硝态氮含量做相关性分析发现, CK 和 CR 处理土壤 N_2O 排放与土壤硝态氮含量呈正相关, 与前人研究结果较为一致^[30], 进一步证明了农田土壤 N_2O 排放受硝态氮含量的影响, 硝态氮含量高, 则 N_2O 排放通量高^[30-31], 但是不同之处在于仅施肥轮作处理与硝态氮含量呈显著关系 ($P<0.05$), 其他处理均无显著性相关, 由于长期不同的种植制度虽然能够改变土壤环境, 使硝态氮的生成和供应水平

受到影响,导致农田土壤 N_2O 排放受到影响^[32-33],同时还受环境因素的影响^[34-36]。而本试验研究结果发现,土壤 N_2O 排放与温度(空气温度和土壤温度)呈负相关,与土壤水分呈正相关,但是均无显著性关系,与前人研究结果略有不同^[37-38]。由于土壤硝化细菌能够影响土壤 N_2O 排放,微生物的活性受到温度、土壤水分的影响,温度过高反而影响了微生物活性,在一定范围内随着温度降低,能够使微生物活性增加,从而促进农田 N_2O 排放^[37];土壤含水量在一定范围内,使土壤造成干湿交替的环境,此时土壤含水量高,能够给作物根系提供充足的氧,使土壤的硝化作用大于反硝化作用,有利于促进农田土壤 N_2O 排放^[38]。说明,黄壤烟田在长期施肥及连作和轮作条件下,主要受土壤硝态氮含量影响,而温度(空气温度和土壤温度)和土壤水分对 N_2O 排放的影响不大,具体对黄壤烟田 N_2O 排放多大程度受环境因素的影响还需进一步综合探究。

4 结论

黄壤区烤烟采用烤烟-玉米轮作和烤烟连作栽培方式,其 N_2O 排放主要出现在施肥期(基肥后和追肥后时期),施肥的轮作烟田 N_2O 排放与不施肥的轮作烟田较为相近,而烤烟轮作能够降低烟田 N_2O 排放通量。

黄壤区烤烟轮作有利于降低烟田 N_2O 排放总量和 N_2O 排放系数。

本试验条件下,烟田 N_2O 排放通量与土壤硝态氮含量有关。

参考文献:

- [1] Mosier A, Kroeze C, Nevison C, et al. Closing the global N_2O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 52 (2/3): 225-248.
- [2] Thomson A J, Giannopoulos G, Pretty J, et al. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1994, 345: 101-118.
- [3] Li C S, Salas W, DeAngelo B, et al. Assessing alternatives for mitigating net greenhouse gas emissions and increasing yields from rice production in China over the next twenty years [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35 (4): 1554-1565.
- [4] Burney J A, Davis S J, Lobell D B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107 (26): 12052-12057.
- [5] 蔡延江,丁维新,项剑. 土壤 N_2O 和 NO 产生机制研究进展 [J]. *土壤*, 2012, 44 (5): 712-718.
- [6] 郑循华,王明星,王跃思,等. 温度对农田 N_2O 产生与排放的影响 [J]. *环境科学*, 1997, 18 (5): 1-5.
- [7] 廖千家骅,颜晓元. 施用高效氮肥对农田 N_2O 的减排效果及经济效益分析 [J]. *中国环境科学*, 2010, 30 (12): 1695-1701.
- [8] 李银坤,武雪萍,郭文忠,等. 不同氮水平下黄瓜-番茄日光温室栽培土壤 N_2O 排放特征 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30 (23): 260-267.
- [9] 李玉洁,王慧,赵建宁,等. 耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2015, (3): 939-948.
- [10] 王玉玲,李军. 利于小麦-玉米轮作田土壤理化性状和作物产量的耕作方式研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (5): 1139-1150.
- [11] 侯贤清,李荣,韩清芳,等. 轮耕对宁南旱区土壤理化性状和旱地小麦产量的影响 [J]. *土壤学报*, 2012, 49 (3): 592-600.
- [12] 卢维盛,张建国,廖宗文. 广州地区晚稻田 CH_4 和 N_2O 的排放通量及其影响因素 [J]. *应用生态学报*, 1997, 8 (3): 275-278.
- [13] 高琳. 不同农作措施对旱地农田温室气体排放的影响 [D]. 合肥:安徽农业大学,2016.
- [14] 徐钰,刘兆辉,朱国梁,等. 不同农业管理措施对华北地区麦田温室气体排放的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2016, (2): 7-13.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 侯会静,陈慧,杨士红,等. 水稻控制灌溉对稻麦轮作农田 N_2O 排放的调控效应 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31 (12): 125-131.
- [17] Diao T T, Xie L Y, Guo L P, et al. Measurements of N_2O emissions from different vegetable fields on the North China Plain [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 72: 70-76.
- [18] 刘星,张书乐,刘国锋,等. 连作对甘肃中部沿黄灌区马铃薯干物质积累和分配的影响 [J]. *作物学报*, 2014, 40 (7): 1274-1285.
- [19] 李银坤,武雪萍,郭文忠,等. 不同氮水平下黄瓜-番茄日光温室栽培土壤 N_2O 排放特征 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30 (23): 260-267.
- [20] 邹国元,张福锁,巨晓棠,等. 冬小麦-夏玉米轮作条件下氮素反硝化损失研究 [J]. *中国农业科学*, 2004, 37 (10): 1492-1496.
- [21] 山楠,赵同科,毕晓庆,等. 适宜施氮量降低京郊小麦-玉米农田 N_2O 排放系数增加产量 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32 (22): 163-170.
- [22] 胡腾,同延安,高鹏程,等. 黄土高原南部旱地冬小麦生长期 N_2O 排放特征与基于优化施氮的减排方法研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22 (9): 1038-1046.

- [23] 刘敏, 张翀, 何彦芳, 等. 追氮方式对夏玉米土壤 N_2O 和 NH_3 排放的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 19–29.
- [24] 王孟雪, 张忠学. 适宜节水灌溉模式抑制寒地稻田 N_2O 排放增加水稻产量 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(15): 72–79.
- [25] Bateman E J, Baggs E M. Contributions of nitrification and denitrification to N_2O emissions from soils at different water-filled pore space [J]. Biology and Fertility of Soils, 2005, 41(6): 379–388.
- [26] Mosier A R, Mohandas K, Bhadrachalam A, et al. Evolution of dinitrogen and nitrous oxide from the soil to the atmosphere through rice plants [J]. Biology and Fertility of Soils, 1990, 9: 61–67.
- [27] Wang L G, Li H, Qiu J J. Characterization of emissions of nitrous oxide from soils of typical crop fields in Huang-Huai-Hai Plain [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(4): 1248–1254.
- [28] Zheng X H, Han S H, Huang Y, et al. Re-quantifying the emission factors based on field measurements and estimating the direct N_2O emission from Chinese croplands [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2004, 18: 1–19.
- [29] Bouwman A F. Factors regulating nitrous oxide and nitric oxide emission [C] // Bouwman A F, Boumans L J M, Batjes N H. Global estimates of gaseous emissions of NH_3 , NO and N_2O from agricultural land. Rome, Italy: FAO and IFA. 2001. 11–16.
- [30] 保琼莉, 巨晓棠. 夏玉米根系密集区与行间 N_2O 浓度及与氨氧化细菌和反硝化细菌数量的关系 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1156–1165.
- [31] 郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等. 施氮对水稻土 N_2O 释放及反硝化功能基因 (*narG/nosZ*) 丰度的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3386–3393.
- [32] Li C, Frolking S, Butterbach-Bahl K. Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing [J]. Climatic Change, 2005, 72: 321–338.
- [33] 温延臣, 李燕青, 袁亮, 等. 长期不同施肥制度土壤肥力特征综合评价方法 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 91–99.
- [34] 王改玲, 陈德立, 李勇. 土壤温度、水分和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度对土壤硝化反应速度及 N_2O 排放的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 1–6.
- [35] 谢军飞, 李玉娥. 土壤温度对北京旱地农田 N_2O 排放的影响 [J]. 中国农业气象, 2005, 26(1): 7–10.
- [36] 石洪艾, 李禄军, 尤孟阳, 等. 不同土地利用方式下土壤温度与土壤水分对黑土 N_2O 排放的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(11): 2286–2292.
- [37] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕. 秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响 [J]. 土壤学报, 2014, 51(1): 150–157.
- [38] 董云社, 齐玉春, Manfred D, 等. 内蒙古温带半干旱羊草草原 N_2O 通量及其影响因素 [J]. 地理研究, 2004, 23(6): 776–784.

Effect of different planting patterns on N_2O emissions characteristics in tobacco yellow soil

JIANG Yu-zhou^{1, 2}, LIU Qing-li^{1, 2*}, LI Zhi-hong^{1, 2}, ZHANG Yun-gui^{1, 2}, ZOU Yan³, ZHU Jing-wei³, SHI Jun-xiong³

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 2. Key Laboratory of Eco-environment and Leaf Tobacco Quality, Beijing 100081; 3. Tobacco Science Institute of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550000)

Abstract: This experiment was carried out to study the effects of crop rotation and continuous cropping to N_2O emission characteristics in yellow soil tobacco fields. N_2O emission flux was determined using a static chamber-gas chromatograph technique on a long-term test station in Longgang Town Tobacco Science Institute of Guizhou Province. The experiment was set up with three treatments, including no fertilizer + crop rotation for comparison (CK); inorganic fertilizer + crop rotation (CR); inorganic fertilizer + continuous cropping (CC). The results showed that tobacco growth season of N_2O emission peaks was appeared at 3 ~ 5 d after basal fertilizer, and 1 ~ 7 d after top fertilizer, respectively. After basal fertilizer the total cumulative N_2O emissions accounted for high percentage (16.26% ~ 18.30%) of the whole growing season. The order of the average N_2O emission flux among treatments was CC>CR>CK in the tobacco growing season, which was 0.044 and 0.022 and 0.013 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively. Under the condition of same fertilization, compared with rotation, the N_2O emission of continuous cropping increased 2 times, and tobacco biomass decreased by 30.01%. Correlation analysis showed that N_2O emission flux of inorganic fertilizer + crop rotation was mainly associated with soil nitrate nitrogen content in Yellow-soil tobacco fields ($P<0.05$). N_2O emission was relatively high at tobacco continuous cropping in yellow soil tobacco fields. Rotation was the main cause significantly decreased of N_2O emission in tobacco growth, reasonable crop rotation was the best way to reduce N_2O emissions in yellow soil tobacco fields.

Key words: flue-cured tobacco field; N_2O emission; continuous cropping; crop rotation