

中国南方双季稻田转菜地对碳氮温室气体 通量影响实测统计数据集

袁 野¹, 戴晓琴^{2*}, 王辉民²

1. 安徽师范大学生命科学学院安徽省重要生物资源保护与利用研究重点实验室, 芜湖 241000;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室千烟洲生态站, 北京 100101

摘 要: 本研究在中国科学院地理科学与资源研究所千烟洲生态试验站 (26°44'48"N, 115°04'13"E), 选取约十年的双季稻田将其部分转为旱作蔬菜地, 设置稻田施肥 (R-F)、菜地施肥 (V-F)、稻田不施肥 (R-NF)、菜地不施肥 (V-NF) 4 种处理, 并在每块样地分别设置去除植被的亚处理 (-no plant), 采用静态箱-气相色谱法于田间原位对甲烷 (CH₄)、氧化亚氮 (N₂O)、二氧化碳 (CO₂) 通量进行了两年的监测。主要研究我国南方双季稻田转为菜地初期对 CH₄、N₂O、CO₂ 通量的影响, 同时研究了施肥和植株的参与对农田 CH₄、N₂O、CO₂ 通量的影响。该数据集包括: (1) 稻田和菜地的管理数据; (2) 2012 年 7 月-2014 年 7 月 8 种处理的 CH₄ 通量; (3) 2012 年 7 月-2014 年 7 月 8 种处理的 N₂O 通量; (4) 2012 年 7 月-2014 年 7 月 8 种处理的 CO₂ 通量; (5) 稻田和菜地 0-20 cm 土壤铵态氮和硝态氮含量; (6) 稻田和菜地 0-10、10-20 cm 土壤 pH; (7) 实验地区观测期间内日平均气温和日降水量; (8) 稻田淹水层厚度。该数据集存储为.xlsx 格式, 1 个数据文件, 数据量为 286 KB。该数据集的分析研究成果发表在《PLoS ONE》2016 年第 11 期和《应用生态学报》2015 年第 26 卷第 1 期。

关键词: 土地利用变化; 甲烷; 氧化亚氮; 二氧化碳

DOI: 10.3974/geodp.2018.01.16

1 前言

二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄) 和氧化亚氮 (N₂O) 是重要的温室气体^[1]。农田排放的 CH₄ 和 N₂O 占全球人为排放的 52% 和 84%, 并且农田是 CO₂ 的源或汇^[2]。水稻和蔬菜是中国南方主要的作物类型。由于生长条件不同 (水稻田淹水, 蔬菜地为通气条件), 两种作物系统的温室气体 (GHG) 排放有所不同^[3-5]。在淹水或者厌氧条件下, 水稻田通过植物的通气组织, 扩散和冒泡等方式排放 CH₄^[6]。氧化亚氮在淹水条件下通过反硝化作用产生^[7], 当水稻田排水或者施氮肥的时候可能排放量较高^[8]。研究表明, 与其他作物类型相比, 水稻田 CH₄ 排放更高而 N₂O 排放更低^[4,9]。Nishimura 等发现淹水稻田的年 CH₄ 累积放为 2-14 g C m⁻² yr⁻¹,

收稿日期: 2018-03-17; 修订日期: 2018-03-24; 出版日期: 2018-03-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2012CB417103); 国家自然科学基金项目 (31700415)

*通讯作者: 戴晓琴 I-2852-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, daixq@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 袁野, 戴晓琴, 王辉民. 中国南方双季稻田转菜地对碳氮温室气体通量影响实测统计数据集[J]. 全球变化数据学报, 2018, 2(1): 99-106. DOI: 10.3974/geodp.2018.01.16.
[2] 袁野, 戴晓琴, 王辉民. 中国南方双季稻田转菜地对碳氮温室气体通量影响实测统计数据集 [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.03.03.V1.

而旱地稻田和大豆-小麦轮作的农田累积排放为-0.02—0.07 g C m⁻² yr⁻¹[3-4]。他们发现，通过将淹水稻田转为旱作蔬菜地，累积 N₂O 排放增长了 4.0-5.3 倍^[3]。

本研究采用静态箱-气相色谱法（GCs）于田间原位对 CH₄、N₂O、CO₂ 通量进行了两年的监测，主要研究双季稻田转为菜地初期的温室气体通量变化，同时研究了施肥和植株的参与对农田 CH₄、N₂O、CO₂ 通量的影响。

2 数据集元数据简介

中国南方双季稻田转菜地对碳氮温室气体通量影响实测统计数据集^[10]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 中国南方双季稻田转菜地对碳氮温室气体通量影响数据集元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	中国南方双季稻田转菜地对碳氮温室气体通量影响实测统计数据集
数据集短名	GreenhouseGasFluxLUCSChina
作者信息	袁野 G-1444-2018, 安徽师范大学, yuanye_1985@126.com 戴晓琴 I-2852-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, daixq@igsnr.ac.cn 王辉民 I-3012-2018, 中国科学院地理科学与资源研究所, wanghm@igsnr.ac.cn
地理区域	中国科学院地理科学与资源研究所千烟洲生态试验站（26°44'48"N, 115°04'13"E）
数据年代	2012 年 7 月-2014 年 7 月
采样频率	采样频率通常为 3 天/次，施肥后为 1 天/次，持续一周，冬季为 7 天/次
样地大小	每块样地面积为 10 m × 12 m。相邻样地间隔 1.5-3 米
数据格式	.xlsx 数据量 286 KB（压缩后）
数据集组成	（1）稻田和菜地的管理数据；（2）2012 年 7 月-2014 年 7 月 8 种处理的 CH ₄ 通量；（3）2012 年 7 月-2014 年 7 月 8 种处理的 N ₂ O 通量；（4）2012 年 7 月-2014 年 7 月 8 种处理的 CO ₂ 通量；（5）稻田和菜地 0-20 cm 土壤铵态氮和硝态氮含量；（6）稻田和菜地 0-10, 10-20 cm 土壤 pH；（7）实验地区观测期间内日平均气温和日降水量；（8）稻田淹水层厚度。
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2012CB417103）；国家自然科学基金项目（31700415）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报》（中英文）发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[11]

3 数据研发方法

3.1 样地设置

2012 年 7 月将部分水稻田排水转变为旱作蔬菜地，剩余部分仍为水稻田作为对照。水

稻种植为一年两季, 分别为春季插秧夏季收获的早稻和夏季种植秋季收获的晚稻, 冬季为冬闲期, 新转变的菜地一年种植三季。水稻和菜地分别设置两种施肥水平, 即常规施肥和不施肥。因此, 试验共有四个处理, 采用随机区组设计, 主区为土地利用方式, 副区为施肥水平。四个处理分别为菜地施肥 (V-F)、菜地不施肥 (V-NF)、稻田施肥 (R-F) 和稻田不施肥 (R-NF)。每种处理四个重复, 每块样地面积为 $10\text{ m} \times 12\text{ m}$ 。另外, 在每块样地中单独设置 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的无植被处理, 并保持田间管理措施和植被处理一致。施肥处理根据当地的施肥习惯施用复合肥 ($\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 15\% : 15\% : 15\%$) 和尿素, 施肥量为 $358\text{ kg N ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ 。每个生长季初对样地进行常规翻耕。具体作物种植和施肥情况见表 2。

3.2 温室气体通量测定

采用静态箱-气相色谱法同时测定 CH_4 、 CO_2 和 N_2O 通量^[12]。静态箱分为底座和箱体两部分 (图 1)。底座为直径是 50 cm 的钢圈, 稻田底座埋入土壤 15 cm, 菜地底座埋入土壤 10 cm。底座侧壁上均匀开有圆孔, 以利于水分、土壤动物、微生物和养分等侧向交换。底座上有密封槽并贴有密封条, 以防止箱体和底座的接触处漏气。底座在整个试验期间都安放在样地中, 只在生长季初进行必要的翻耕时取出。静态箱的箱体为圆柱形, 底部直径为 50 cm, 与底座相吻合。根据植被高度设计了两种箱体高度, 用于稻田的箱体高为 70 cm, 用于菜地温室气体测定的箱体高 40 cm。在试验正式开始之前, 用两种高度的静态箱对样地的裸土温室气体通量进行了测定, 结果显示, 两种箱体的测定结果无显著差异。箱体外包有反射保温薄膜以减小箱内空气温度波动。每个静态箱底座内有 5 株水稻或者 3 株蔬菜, 底座内的作物密度与底座外样地保持一致。

使用 100 mL 塑料注射器每间隔十分钟从静态箱中取一次气体样品, 共取五次, 取样时间通常为上午 8:00–12:00, 每周两次, 在有施肥、灌水、翻耕等操作时每天采样并持续一周。采集的气体样品尽快带回实验室用气相色谱仪 (GC System, 7890A, Agilent Technologies) 进行浓度分析。气相色谱仪安装有氢火焰离子化检测器 (FID) 和电子捕获检测器 (ECD), 可以同时测定 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的浓度。使用气体浓度随时间的线性或非线性变化速率计算 CH_4 、 N_2O 和 CO_2 的通量^[13–14]。接受的最小 R 为 0.87, 如果非线性相关系数 R (非线性)–线性相关系数 R (线性) $\leq 0.000,2$, 则选取线性拟合的斜率, 如果 R (非线性)– R (线性) $> 0.000,2$, 则选择线性和非线性拟合斜率中较大的一个。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

2012 年 7 月到 2014 年 7 月间取得以下数据:

- (1) 稻田和菜地的管理数据;
- (2) 2012 年 7 月–2014 年 7 月 8 种处理的 CH_4 通量;
- (3) 2012 年 7 月–2014 年 7 月 8 种处理的 N_2O 通量;
- (4) 2012 年 7 月–2014 年 7 月 8 种处理的 CO_2 通量;
- (5) 稻田和菜地 0–20 cm 土壤铵态氮和硝态氮含量;

表 2 稻田和菜地的管理情况

土地利用类型	作物类型	生长时间	移栽日期	施肥时间	施肥量 (kg N ha ⁻¹)
稻田	第一季	2012-7-4 – 2012-11-14	2012-7-30	2012-7-30	71.7 (CF ^a)
	第二季	—	—	2012-8-10	107.5 (尿素)
	第三季	2013-3-28 – 2013-7-23	2013-4-24	2013-4-24	71.7 (CF ^a)
	第四季	2013-7-1 – 2013-11-2	2013-7-27	2013-5-3	107.5 (尿素)
	第五季	—	—	2013-7-26	71.7 (CF ^a)
	第六季	2014-3-30 – 2014-7-25	2014-4-25	2013-8-12	107.5 (尿素)
菜地	冬闲	—	—	—	—
	早稻	2012-7-31 – 2012-10-26	—	2014-4-19	71.7 (CF ^a)
	豆角	2012-10-31 – 2013-3-9	—	2014-4-29	107.5 (尿素)
	白萝卜	2013-4-7 – 2013-7-23	—	2012-7-30	71.7 (CF ^a)
	辣椒	2013-8-12 – 2013-10-20	—	2012-8-25	53.3 (尿素)
	白菜	2013-10-21 – 2014-4-18	—	2012-10-30	71.7 (CF ^a)
	白萝卜	2014-4-19 – 2014-7-17	—	2013-4-7	71.7 (CF ^a)
	辣椒	—	—	2013-5-24	45 (CF ^a)
	—	—	—	2013-6-21	45 (CF ^a)
	—	—	—	2013-8-12	71.7 (CF ^a)
	—	—	—	2013-8-25	53.3 (尿素)
	—	—	—	2013-10-21	71.7 (CF ^a)

^a 复合肥 (N: P₂O₅: K₂O = 15%: 15%: 15%)

- (6) 稻田和菜地 0-10、10-20 cm 土壤 pH;
- (7) 实验地区观测期间内日平均气温和日降水量;
- (8) 稻田淹水层厚度。

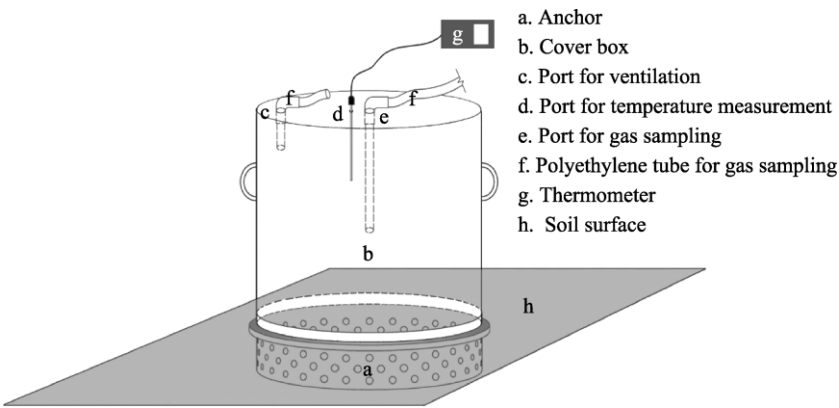


图 1 用于测定温室气体通量的静态箱设计^[15]

4.2 数据结果

数据结果表明，稻田转菜地显著降低了 CH_4 通量，显著增加了 N_2O 通量，对 CO_2 通量的影响在各个季节规律不同。气体排放通量动态和不同季节排放量分别示于图 2、表 3-5。

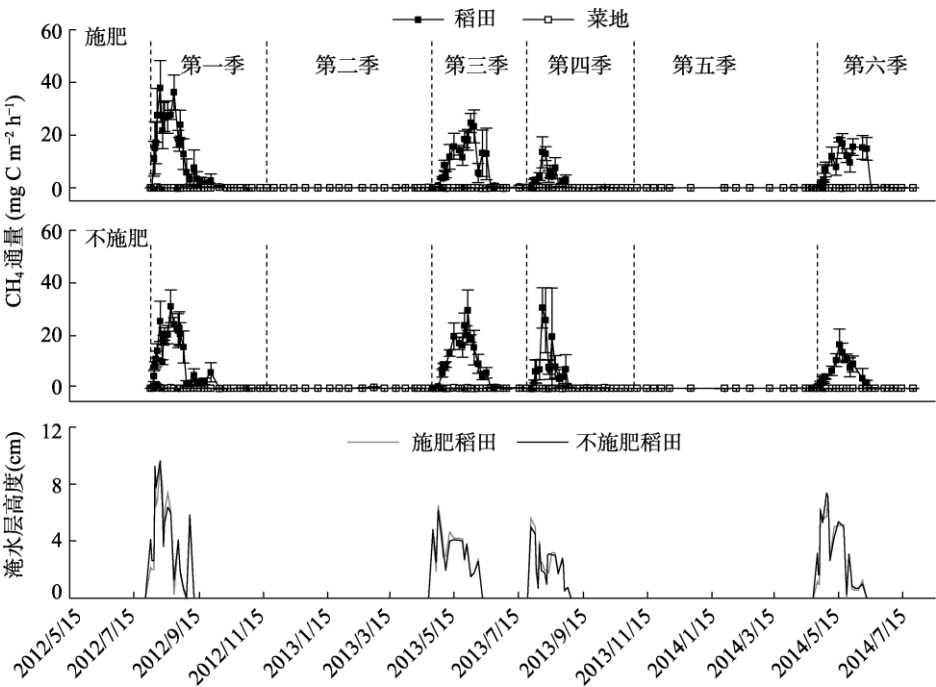


图 2 观测期间 CH_4 通量季节动态及稻田淹水层厚度，所示数据为四个重复的平均值

表 3 观测期间及各个生长季 CH₄ 的累积排放 (kg C ha⁻¹)

	第一季	第二季	第三季	第四季	第五季	第六季	第一年	第二年	两年
稻田施肥	206.15± 58.01 a	0.34± 0.17 a	151.90± 34.73 a	42.66± 9.32 ab	0.11± 0.49 a	136.91± 23.90 a	358.39± 91.76 a	179.68± 30.96 a	538.07± 120.12 a
稻田不施肥	167.16± 31.61 a	0.85± 0.38 a	153.68± 23.02 a	88.04± 31.04 a	-0.20± 0.27 a	86.34± 16.16 b	321.69± 50.60 a	174.18± 29.68 a	495.88± 75.82 a
菜地施肥	0.29± 0.29 b	-0.02± 0.19 a	-0.76± 0.28 b	0.15± 0.09 b	-0.47± 0.36 a	-0.35± 0.19 c	-0.48± 0.32 b	-0.67± 0.53 b	-1.15± 0.68 b
菜地不施肥	0.70± 0.74 b	0.82± 0.76 a	-0.13± 0.14 b	-0.44± 0.06 b	-0.37± 0.18 a	-0.16± 0.14 c	1.39± 1.37 b	-0.97± 0.10 b	0.42± 1.27 b
土地利用 (L)	P<0.01	P= 0.67	P<0.01	P<0.01	P=0.30	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01
施肥 (F)	P= 0.57	P= 0.15	P= 0.96	P=0.19	P=0.78	P=0.11	P=0.75	P=0.90	P=0.78
L×F	P= 0.56	P= 0.71	P= 0.98	P=0.18	P=0.56	P=0.10	P=0.72	P=0.91	P=0.76

注：同一列不同字母代表处理间显著差异。

表 4 观测期间及各个生长季 N₂O 的累积排放 (kg N ha⁻¹)

	第一季	第二季	第三季	第四季	第五季	第六季	第一年	第二年	两年
稻田施肥	0.32± 0.10 c	0.51± 0.14 c	0.41± 0.03 b	2.65± 0.87 a	0.38± 0.16 a	0.19± 0.05b	1.24± 0.18 c	3.22± 1.01 bc	4.46± 0.89 c
稻田不施肥	0.21± 0.09 c	0.14± 0.04 c	0.19± 0.02 b	0.35± 0.01 b	0.35± 0.18 a	0.18± 0.10b	0.54± 10.15 c	0.88± 0.20 c	1.41± 0.22 c
菜地施肥	3.99± 0.16 a	7.56± 0.63 a	7.67± 1.67 a	1.36± 0.35 ab	0.64± 0.17 a	5.19± 1.79a	19.21± 2.10 a	7.19± 1.98 a	26.40± 3.37 a
菜地不施肥	1.84± 0.42 b	2.03± 0.53 b	4.55± 1.15 a	1.98± 0.52 ab	0.87± 0.36 a	2.41± 0.28ab	8.42± 1.80 b	5.25± 0.96 ab	13.67± 1.18 b
土地利用 (L)	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P=0.76	P=0.12	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01
施肥 (F)	P<0.01	P<0.01	P=0.13	P=0.14	P=0.66	P=0.15	P<0.01	P=0.10	P<0.01
L×F	P<0.01	P<0.01	P=0.18	P<0.05	P=0.59	P=0.15	P<0.01	P=0.87	P<0.05

注：同一列不同字母代表处理间显著差异。

表 5 观测期间及各个生长季生态系统呼吸累积排放 CO₂ 量 (kg C ha⁻¹)

	第一季	第二季	第三季	第四季	第五季	第六季	第一年	第二年	两年
稻田施肥	5346.01± 145.21 bc	2492.47± 178.95 a	4307.28± 257.77 a	3196.60± 245.60 a	2486.75± 369.84 a	3523.25± 164.38 a	12145.76± 358.36 a	9206.60± 694.64 a	21352.36± 1013.00 a
稻田不施肥	3654.73± 313.10 c	2231.48± 298.86 a	3146.98± 390.71 b	2613.04± 236.72 a	2221.52± 199.88 ab	2476.20± 311.75 b	9033.19± 584.24 b	7310.76± 505.46 b	16343.95± 1069.88 b
菜地施肥	7223.02± 576.56 a	2718.48± 365.69 a	2018.84± 280.26 c	963.21± 156.77 b	1626.36± 100.30 b	1868.03± 356.04 bc	11960.34± 1025.26 a	4457.59± 329.33 c	16417.94± 1308.90 b
菜地不施肥	5854.97± 931.50 ab	2274.26± 283.39 a	2859.25± 272.39 bc	1094.23± 258.74 b	1989.74± 182.40 ab	1330.31± 204.78 c	10988.48± 1324.47 ab	4414.27± 260.35 c	15402.75± 1415.45 b
土地利用 (L)	P<0.01	P=0.65	P<0.01	P<0.01	P<0.05	P<0.01	P=0.35	P<0.01	P<0.05
施肥 (F)	P<0.05	P=0.25	P=0.61	P=0.34	P=0.84	P<0.05	P<0.05	P=0.07	P<0.05
L×F	P=0.78	P=0.76	P<0.01	P=0.14	P=0.21	P=0.37	P=0.26	P=0.08	P=0.13

注：同一列不同字母代表处理间显著差异。

稻田转菜地显著提高了三种温室气体总的增温效应。施肥对 CH₄ 通量无显著影响, 对 N₂O 和 CO₂ 通量有显著促进作用, 并与土地利用方式有交互作用。CH₄、N₂O、CO₂ 通量的变化是土壤理化性质改变和植被类型改变共同作用的结果。这种变化规律作者在文献[15, 16]中进行了部分阐述。观测期间内菜地在施肥和不施肥条件下平均 CH₄ 通量分别为-0.07 mg C m⁻² h⁻¹ 和

$0.04 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 而施肥和不施肥的稻田平均 CH_4 通量分别为 5.15 和 $4.87 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 。其中, 稻田 CH_4 通量随淹水情况表现出明显的季节动态, 在水稻生长期, 稻田淹水, CH_4 排放较高, 而在冬闲排水期, CH_4 排放较低, 与菜地无显著差异。在两年的观测期间, 施肥和不施肥的稻田平均 N_2O 通量分别为 $33.51 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $8.89 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 而菜地在施肥和不施肥条件下的平均 N_2O 通量分别为 $168.32 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $93.46 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 。 N_2O 表现出明显的季节和年际间差异, 菜地第二年 N_2O 排放小于第一年, 而稻田第二年 N_2O 排放高于第一年, 土地利用方式和生长季节存在明显交互作用。施肥和不施肥的稻田两年生态系统呼吸排放 CO_2 分别为 $21,352 \text{ kg C ha}^{-1}$ 和 $16,344 \text{ kg C ha}^{-1}$, 施肥和不施肥的菜地两年生态系统呼吸排放 CO_2 分别为 $16,418 \text{ kg C ha}^{-1}$ 和 $15,403 \text{ kg C ha}^{-1}$ 。施肥条件下菜地生态系统呼吸显著低于稻田, 但不施肥条件下差异不显著。在各个生长季, 稻田和菜地生态系统呼吸的差异不一致, 生长季节对生态系统呼吸有显著影响, 且与土地利用方式有交互作用。转为菜地后异养呼吸显著降低。除冬季外, 其余四个生长季自养呼吸均受土地利用方式的显著影响。

5 讨论和总结

本文主要研究了双季稻田转为菜地这一中国南方典型土地利用方式转变过程初期的碳氮温室气体通量变化。目前关于稻田和菜地两种农田主要利用方式下温室气体通量的研究大多是基于相邻的存在若干年的稻田和菜地之间的对比, 忽略了样地本底的差异^[17], 也没有考虑转变时间的效应^[18]。本研究将多年稻田新近转变为菜地, 排除本底的差异, 土地利用转变导致的土壤理化性质和植被的变化均会影响温室气体排放, 但大多研究没有对它们的影响进行区分。本研究通过设置无植被处理, 来探讨由水分变化导致的土壤理化性质变化以及植被变化在土地利用变化过程中对温室气体通量变化的影响及其机制。

由于缺乏室内控制试验和其它机理研究, 对一些监测到的结果无法给出明确的解释。在今后的研究中, 还需加强 CH_4 、 N_2O 、 CO_2 三种温室气体通量随土地利用方式转变而变化的影响因素和内在机理研究。

作者分工: 戴晓琴和王辉民对数据集的开发做了总体设计; 戴晓琴和袁野采集和处理了通量数据; 戴晓琴设计了模型和算法; 袁野做了数据验证; 袁野撰写了数据论文等。

致谢: 作者感谢李贝、谢勇和刘长红在田间观测中给予的协助。

参考文献

- [1] Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., *et al.* IPCC: Climate Change 2013: the Physical Science Basis [M]. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, 2013.
- [2] Smith, P., Martino, D., Cai, Z., *et al.* Greenhouse gas mitigation in agriculture [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-biological Sciences*, 2008, 363: 789–813.
- [3] Nishimura, S., Sawamoto, T., Akiyama, H., *et al.* Continuous, automated nitrous oxide measurements from paddy soils converted to upland crops [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69: 1977–1986.

- [4] Nishimura, S., Yonemura, S., Sawamoto, T., *et al.* Effect of land use change from paddy rice cultivation to upland crop cultivation on soil carbon budget of a cropland in Japan [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2008, 125: 9–20.
- [5] Iqbal, J., Hu, R. G., Du, L. J., *et al.* Differences in soil CO₂ flux between different land use types in mid-subtropical China [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40: 2324–2333.
- [6] Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R., Seiler, W. Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil [J]. *Plant and Soil*, 1986, 92: 223–233.
- [7] Smith, K. A., Ball, T., Conent, F., *et al.* Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes [J]. *European Journal of Soil Science*, 2003, 54: 779–791.
- [8] Kudo, Y., Noborio, K., Shimoozono, N., *et al.* The effective water management practice for mitigating greenhouse gas emissions and maintaining rice yield in central Japan [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 186: 77–85.
- [9] Liu, F., Li, T. A., Fang, X. L. Methane emission and its relationship with soil temperature and moisture during rice growth in film mulching upland rice field in South China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(2): 110–116.
- [10] 袁野, 戴晓琴, 王辉民. 中国南方双季稻田转菜地对碳氮温室气体通量影响[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2018. DOI: 10.3974/geodb.2018.03.03.V1.
- [11] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI:10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).
- [12] Zheng, X. H., Mei, B. L., Wang, Y. H., *et al.* Quantification of N₂O fluxes from soil-plant systems may be biased by the applied gas chromatograph methodology [J]. *Plant and Soil*, 2008, 311: 211–234.
- [13] Hutchinson, G. L., Livingston, G. P., Use of Chamber Systems to Measure Trace Gas Fluxes [M]. In: Harper, L. A., Moiser, A. R., Duxbury, J. M., Rolston, D. E., (eds.), *Agro-Ecosystem Effect on Radiatively Important Trace Gases and Climate Change*, American Society of Agronomy, Madison, Wis, USA, 1993: 63–78.
- [14] Yao, Z. S., Zheng, X. H., Dong, H. B., *et al.* A 3-year record of N₂O and CH₄ emissions from a sandy loam paddy during rice seasons as affected by different nitrogen application rates [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 152: 1–9.
- [15] Yuan, Y., Dai, X. Q., Wang, H. M. *et al.* Effects of land-use conversion from double rice cropping to vegetables on methane and nitrous oxide fluxes in southern China [J]. *Plos One*, 2016, 11: e0155926.
- [16] 袁野, 刘长红, 戴晓琴等. 中国南方双季稻田转菜地对 CO₂ 和 CH₄ 通量的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26 (1): 147–154.
- [17] Iqbal, J., Shan, L., Hu, R. G., *et al.* Temporal variability of soil-atmospheric CO₂ and CH₄ fluxes from different land uses in mid-subtropical China [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(37): 5865–5875.
- [18] Zhang, Z. H., Duan, J., Wang, S., *et al.* Effects of land use and management on ecosystem respiration in alpine meadow on the Tibetan plateau [J]. *Soil and Tillage Research*, 2012, 124: 161–169.