

小麦-玉米轮作田与菜地 N₂O 排放的对比研究*于亚军^{1,2} 高美荣² 朱波^{2†}

(1 山西师范大学城市与环境科学学院, 山西临汾 041004)

(2 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要 应用静态箱/气相色谱法对旱地小麦-玉米轮作田和种菜历史超过 20a 的菜地进行了 N₂O 排放的定位观测, 分析了旱地和菜地生态系统 N₂O 排放特征的差异, 及施氮、土壤温度、土壤湿度和作物参与对两种农田系统 N₂O 排放的不同影响。结果表明, 不施氮情况下, 旱地和菜地 N₂O 排放通量分别为 17.8 ± 5.6 和 $50.7 \pm 13.3 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$, 菜地 N₂O 排放通量是旱地农田的 3.1 倍。在施氮 ($\text{N } 150 \text{ kg hm}^{-2}$) 情况下, 菜地 N₂O 排放系数较旱地高 39.0%。粮食作物参与和蔬菜作物参与对增加各自农田生态系统 N₂O 排放量的贡献无明显差异。旱地和菜地不同作物季 N₂O 排放量的差异主要是由于作物生育期长短不同造成单位时间施肥强度存在差异。所以, 根据作物生育期特点调节施肥量可能会减少农田生态系统 N₂O 排放量, 并且由于菜地各蔬菜生育期长短的差异更大, 因此, 菜地若能实现精量施肥, 其 N₂O 减排的潜力可能大于旱地农田。

关键词 N₂O 排放; 菜地生态系统; 小麦-玉米轮作系统; 影响因素

中图分类号 X511 **文献标识码** A

农业是 N₂O 的重要排放源^[1], 全球每年排放的 N₂O 中有 35% 左右来自农业土壤^[2], 而农田生态系统 N₂O 排放量的增加主要受土壤氮素水平的驱动^[3-4]。据统计, 20 世纪 90 年代我国农田因施肥当年直接引起的 N₂O 排放量中约有 20% 来自蔬菜地^[5]。菜地由于长年精耕细作, 复种指数高, 特别是多年连续种植蔬菜的老菜地, 由于氮肥用量经常超出蔬菜本身所需造成土壤中 NO₃-N 大量积累^[6], 使土壤性质发生改变^[7], 可能使菜地生态系统 N₂O 排放规律与其他粮食农田相比更为复杂。旱地农田是农田生态系统中主要的 N₂O 排放源, 有研究指出, 菜地 N₂O 排放强度高于粮食作物农田^[8-10]。然而, 迄今为止, 有关菜地 N₂O 排放的报道仍十分有限^[11], 特别是针对粮食作物农田与菜地 N₂O 排放的同步田间定位观测更为少见, 因而难以揭示两种农田生态系统 N₂O 排放的差异及其原因。因此, 开展旱地农田与菜地 N₂O 排放的对比研究, 有助于探明菜地与粮食作物农田 N₂O 排放的差异及其机理。作者对川中丘陵区旱地小麦-玉米轮作田和种菜历史超过 20 a 的菜地开展了一年 N₂O 排放的同步定位观测, 分析了菜地和旱地 N₂O 排放季

节变化规律、排放通量和总量的差异, 以及施氮、土壤温度、土壤湿度和作物参与对两种农田的不同影响, 试图探明造成两种农田生态系统 N₂O 排放差异的机制。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2006 年 10 月至 2007 年 10 月在四川省盐亭县林山乡 (31°16'N, 105°27'E) 进行。该区属亚热带季风气候, 气候温和, 四季分明, 年均气温 17.3 °C, 多年平均降水量 826 mm, 无霜期 294 d。试验期间降水量 799 mm, 平均气温 17.1 °C, 总的来看, 水、热条件属正常年份水平。试验选取小麦-玉米轮作农田和种菜历史超过 20 a 的菜地, 土壤类型均为紫色土, 旱地和菜地土壤容重分别为 1.32 g cm^{-3} 和 1.21 g cm^{-3} , pH 分别为 8.82 和 8.24, 0~20 cm 土层土壤黏粒 (<0.002 mm)、粉粒 (0.002~0.05 mm) 和砂粒 (>0.05 mm) 含量分别为 6.5%、58.9%、34.6% 和 8.7%、43.7%、47.6%。试验地其他土壤理化性质如表 1。

* 国家重点基础研究发展计划课题 (2012CB417101) 和国家支撑计划课题 (2011BAD31B03) 资助

† 通讯作者, E-mail: bzhu@imde.ac.cn

作者简介: 于亚军 (1978—), 男, 甘肃灵台人, 博士, 讲师, 主要从事环境生态与全球变化研究

收稿日期: 2011-03-28; 收到修改稿日期: 2011-07-25

表 1 试验地土壤基本理化性质

Table 1 Basic soil properties of the experimental field

试验地 Experimental field	有机质 O. M (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	全钾 Total K (g kg ⁻¹)	速效氮 Available N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)
旱地 Dry land	14.6	1.01	2.09	18.2	65.9	15.4	138.0
菜地 Vegetable field	27.2	1.23	3.24	65.8	142.4	130.3	460.9

1.2 试验设计

试验设不施氮(CK)、常规施氮(NPK-C)和空地(NPK-NC,施肥同 NPK-C 处理,但不种作物,保持裸地,菜地从 2007 年 4 月 11 日开始)3 种处理。3 个随机重复,试验小区面积 2 m × 3 m = 6 m²。氮肥(尿素)施用量为 N 150 kg hm⁻²,以 6:4 的比例分两次施用,施肥方式小麦季为表层撒施,玉米季和菜地为穴施(3 cm),作物播种前和蔬菜移栽前均撒施过磷酸钙(P₂O₅ 150 kg hm⁻²)和氯化钾(K₂O 150 kg hm⁻²)。旱地 2005 年 10 月 25 日至 2007 年 5 月 14 日和 2007 年 5 月 26 日至 2007 年 9 月 21 日分别为小麦季和玉米季,2006 年 5 月 15 日至 5 月 25 日和 2007 年 9 月 22 日至 10 月 25 日为休闲期;菜地 2006 年 10 月 25

日至 2007 年 2 月 11 日、2007 年 4 月 11 日至 6 月 4 日、2007 年 6 月 5 日至 8 月 22 日和 2007 年 8 月 27 日至 10 月 25 日分别栽植抱儿菜(*Brassica Juncea. Var. Gemmifera. L.*)、莴苣(*Lactuca sativa L.*)、大白菜(*Brassica pekinensis Rupr.*)和甘蓝(*Brassica de-racea var. capita L.*),2007 年 2 月 12 日至 4 月 10 日为休闲期,不另外施肥。作物种植密度小麦和玉米分别为 210 万株 hm⁻²和 5 万株 hm⁻²,菜地抱儿菜、莴苣、大白菜和甘蓝株 × 行距分别为 30 cm × 35 cm、35 cm × 40 cm、45 cm × 50 cm 和 45 cm × 50 cm。试验地主要管理措施见表 2。全年每季施肥量水平如上所述,总施氮量旱地和菜地分别为 N 300 kg hm⁻²和 N 600 kg hm⁻²。

表 2 试验地主要田间管理日期

Table 2 Log of field practices date in the experimental field (yy-mm-dd)

试验地 Experimental field	作物生长季 Crops growing season	播种/移栽 Seeding/Transplant	第一次追肥 First fertilization	第二次追肥 Second fertilization	收获 Harvest
旱地 Dry land	小麦 Wheat	2006 - 10 - 25	2006 - 10 - 26	2007 - 02 - 14	2007 - 05 - 14
	玉米 Maize	2007 - 05 - 26	2007 - 05 - 27	2007 - 07 - 10	2007 - 09 - 21
菜地 Vegetable field	抱儿菜 Er vegetable	2006 - 10 - 25	2006 - 11 - 07	2006 - 12 - 10	2007 - 02 - 11
	莴苣 Lettuce	2006 - 04 - 11	2006 - 04 - 24	2006 - 05 - 02	2006 - 06 - 04
	大白菜 Chinese Cabbage	2007 - 06 - 05	2007 - 06 - 05	2007 - 07 - 10	2007 - 08 - 22
	甘蓝 Cabbage	2007 - 08 - 27	2007 - 09 - 12	2007 - 10 - 09	2007 - 10 - 25

1.3 气体采样与分析方法

采用静态暗箱/气相色谱法^[12]从 2006 年 10 月 25 日至 2007 年 10 月 25 日对旱地和菜地进行了一整年 N₂O 排放采样测定,每一处理 3 个重复,每一重复设置 1 个固定的箱法观测点。小麦季和菜地采样箱构造分别详见文献[13]和[14]描述。玉米季为仅可收集土壤-玉米根系系统 N₂O 排放(不包括植株地上部分排放)的特制采样箱,采样箱规格及采样方法见文献[15]描述。气体采样从作物播种或移栽后一天开始,采样频率为每周两次,时间为每周二、五 9:00 ~ 11:00,气体采样方法、分析方法,土壤温度、土壤湿度测定方法,N₂O 排放通量、N₂O

排放总量计算方法和数据分析方法与文献[13]一致,N₂O 排放系数计算方法与文献[14]一致。

2 结果与分析

2.1 旱地与菜地 N₂O 排放特征

2.1.1 不同作物生长期 N₂O 排放 在不施氮情况下,旱地和菜地 N₂O 排放通量的季节变化差异不大(图 1a)。整个观测期旱地作物生长季出现了几次脉冲式排放峰,并且排放峰主要出现在小麦和玉米播种后,这可能是由于作物播种时翻地和浇水加快了土壤中 N₂O 的产生和排放。菜地除各季蔬菜

移栽时因翻地、浇水等造成 N_2O 峰值排放外,大白菜和甘蓝生长期还观测到几次明显的排放峰(如7月4日、8月4日和9月5日观测到的3次排放峰),这可能是由于大白菜和甘蓝生长期(7-9月)降雨频繁且气温较高,使土壤干湿变化较为频繁,造成了有利于 N_2O 产生的土壤条件^[16-17]。

常规施氮情况下,旱地和菜地 N_2O 排放通量的季节变化差异较大(图1b),尽管旱地和菜地不同作物生长期 N_2O 排放的季节变化均呈双峰型(菜地在茼蒿生长期仅观测到一次 N_2O 排放峰,也可能是两次排放峰重叠)。但两种农田施氮后观测到的 N_2O 排放峰存在明显差异,旱地小麦季和玉米季各观测到

的两次排放峰,且排放峰出现在施氮后较短时间内(3~9d)。而菜地不同蔬菜生长季观测到的 N_2O 排放峰的大小和出现的时间均存在较大的差异,如最大排放峰值是最小排放峰值的7.4倍,最快和最慢排放峰出现的时间差达20d以上。

旱地和菜地空地处理 N_2O 排放通量的季节变化与常规施氮处理相似,也呈双峰型(图1c),施氮是 N_2O 排放峰出现的主要驱动力,并且施氮后菜地观测到的 N_2O 排放峰也较早地明显。所以,总体来看,菜地 N_2O 排放通量的季节变化较早地剧烈,并且不同蔬菜季施氮后出现的排放峰的大小和出现的时间差异也较早地大。

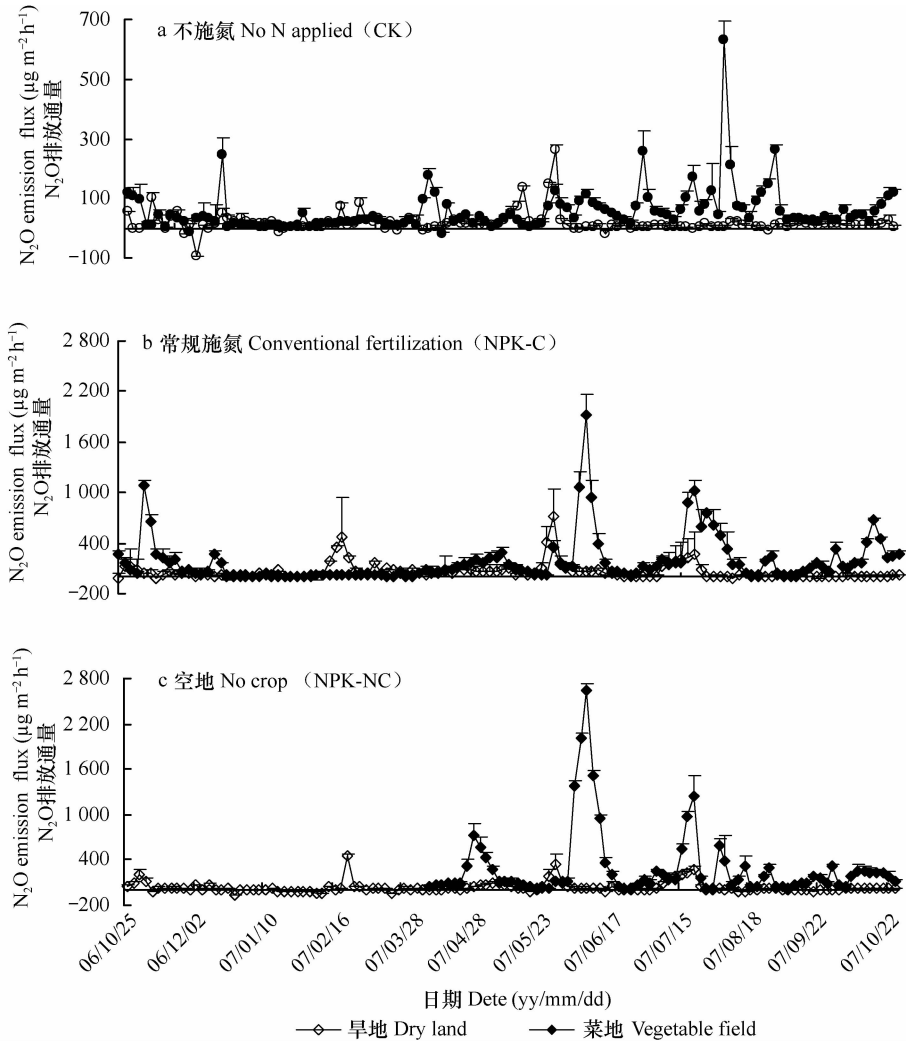


图1 旱地和菜地不施氮(CK)、常规施氮(NPK-C)和空地(NPK-NC)处理 N_2O 排放通量的季节变化
Fig.1 Seasonal patterns of N_2O emission flux from dry land and vegetable field of different treatments, i. e. control (CK), conventional fertilization(NPK-C) and no crop(NPK-NC)

2.1.2 N₂O 排放通量及总量 由表 3 可见,常规施氮旱地作物生长季和休闲期 N₂O 排放通量分别为 $69.9 \pm 22.0 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ 和 $12.3 \pm 3.8 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$, 其中玉米季 N₂O 平均通量略高于小麦季,这与一般认为夏秋季作物生长季 N₂O 排放通量高于冬春季作物的观点^[18]一致。从 N₂O 排放总量的季节分配来看,小麦季和玉米季 N₂O 排放量分别占整个轮作周期 N₂O 排放总量的 60.6% 和 37.4%,其余 2.0% 的排放量来自于休闲期。

常规施氮菜地 4 种蔬菜生长季和休闲期 N₂O 排放通量分别为 $190.9 \pm 43.5 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$ 和 $28.1 \pm 12.3 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$,4 种蔬菜生长季 N₂O 排放通量表现为大

白菜季最高,其次为甘蓝,抱儿菜与莴苣相当且最小。从 N₂O 排放总量季节分配情况来看,冬春季蔬菜(抱儿菜和莴苣)生长期和夏秋季蔬菜(大白菜和甘蓝)生长期 N₂O 排放量分别占全年 N₂O 排放总量的 34.7% 和 62.6%,其余 2.7% 排放量来自于休闲期。可见,菜地全年 N₂O 排放量主要来自于夏秋季蔬菜生长期,冬春季蔬菜生长期 N₂O 排放量较少。

综上,菜地生态系统 N₂O 排放量远高于旱地农田生态系统,施氮情况下菜地 N₂O 排放通量和总量是旱地的 3.1 倍,并且与旱地小麦季与玉米季 N₂O 排放通量的差异相比,菜地不同蔬菜生长期 N₂O 排放通量的差异更明显。

表 3 常规施氮(NPK-C)旱地和菜地 N₂O 排放通量、总量及其分配

Table 3 N₂O emission flux, and its annual total loading and seasonal distribution in dry land and vegetable field under conventional fertilization(NPK-C)

农田生态系统	观测期	生育期天数	平均通量	排放总量	排放系数
Agro-ecosystem	Sampling period	Days of growth stage (d)	Emission flux($\mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$)	Total emission(kg hm^{-2})	Emission coefficient(%)
旱地 Dry land	小麦季 Wheat season	203	68.2 ± 29.3D	3.01 ± 0.35	1.29
	休闲期 Fallow	46	12.3 ± 3.8F	0.10 ± 0.04	—
	玉米季 Maize season	116	71.6 ± 16.9D	1.86 ± 0.48	0.92
	整个观测期 Total sampling period	365	50.8 ± 16.7	4.97 ± 0.92	1.11
菜地 Vegetable field	抱儿菜 Er Vegetable	110	130.7 ± 27.4C	3.53 ± 0.72	1.88
	休闲期 Fallow	55	28.1 ± 12.3E	0.42 ± 0.17	—
	莴苣 Lettuce	58	130.4 ± 47.4C	1.82 ± 0.64	0.72
	大白菜 Chinese Cabbage	79	358.7 ± 73.1A	6.80 ± 1.39	3.13
	甘蓝 Cabbage	63	143.9 ± 26.2B	2.87 ± 0.40	1.53
	整个观测期 Total sampling period	365	158.4 ± 37.3	15.43 ± 3.33	1.82

注:同列不同大写字母的数据间差异达到显著水平 $p < 0.05$;—: 表示休闲期未施氮,无排放系数 Note: Different capital letters within the same column indicate significant difference at $p < 0.05$ level;—: Means no emission coefficient in fallow because of no N application

2.2 旱地和菜地 N₂O 排放影响因素

2.2.1 施氮 旱地小麦季、玉米季及整个轮作周期常规施氮处理 N₂O 排放通量均显著高于不施氮处理($p < 0.01$)(图 2),整个轮作周期常规施氮处理 N₂O 排放通量是不施氮处理的 2.9 倍,其中小麦季和玉米季分别为 2.8 倍和 3.9 倍。旱地施氮引起的 N₂O 排放系数平均为 1.11%(表 3)。

常规施氮处理菜地整个观测期 N₂O 排放通量是不施氮处理的 3.5 倍,施氮引起的 N₂O 排放系数平均为 1.82%。但施氮对增加 N₂O 排放量的效应表现为甘蓝季和抱儿菜季相当且最明显,其次为大白菜季,最后为莴苣季(图 2b)。并且相同施氮量下

N₂O 排放系数也存在较大差异,表现为大白菜季 > 抱儿菜季 > 甘蓝季 > 莴苣季(表 3)。可见,施氮显著增加了旱地和菜地生态系统 N₂O 排放量,但其效应在菜地各蔬菜生长期间的差异较早地明显。

2.2.2 土壤温度 常规施氮处理旱地整个观测期地下 5 cm 处土壤温度介于 1.1 ~ 30.9 °C(平均为 16.3 °C),与玉米季相比,小麦季土温偏低且变化剧烈(小麦季土壤温度介于 1.1 ~ 23.9 °C,平均为 11.0 °C,玉米季介于 18.5 ~ 30.9 °C,平均为 25.1 °C)(图 3a)。对 N₂O 排放通量与土壤温度的偏相关分析表明(保持土壤湿度一定),整个轮作周期和玉米季 N₂O 排放通量与地下 5 cm 处土壤温度之间均无显著相关

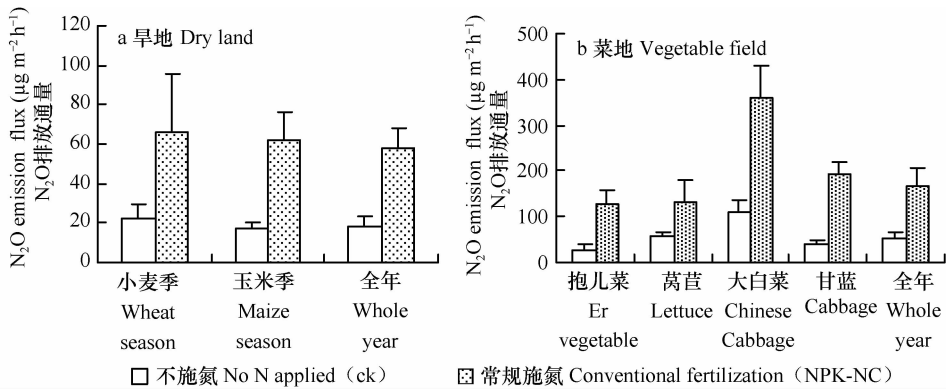


图2 旱地和菜地不施氮(CK)和常规施氮(NPK-C) N₂O 排放通量

Fig. 2 N₂O emission flux from dry land and vegetable field under no N applied (CK) and conventional fertilization (NPK-C), separately

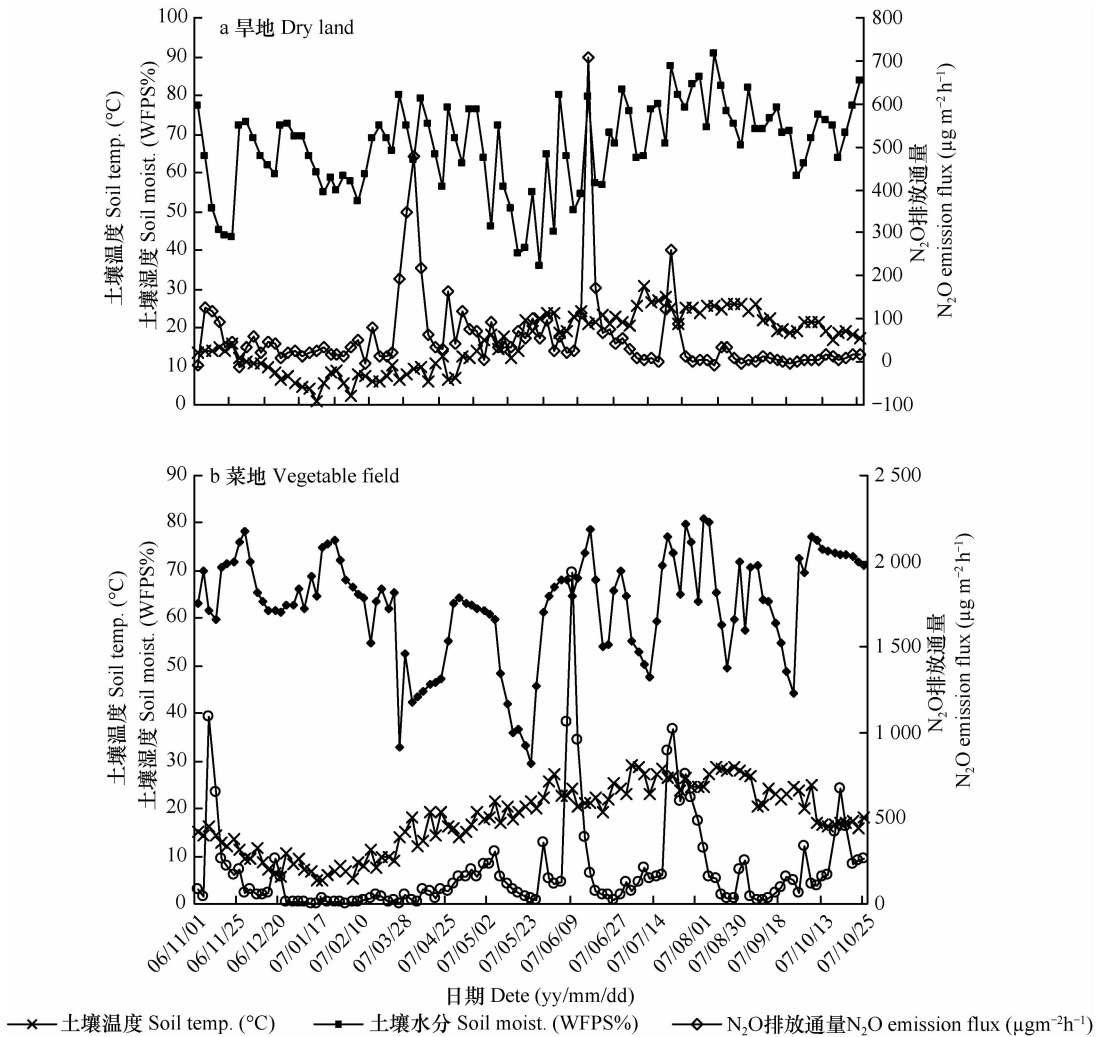


图3 常规施氮(NPK-C)旱地和菜地 N₂O 排放通量与土壤温度、土壤湿度变化动态

Fig. 3 Seasonal patterns of soil temperature, soil moisture and N₂O emission flux in dry land and vegetable field under conventional fertilization (NPK-C)

性,但小麦季两者之间呈显著的正相关($R = 0.30$, $p < 0.05$, $n = 102$),这可能是因为小麦季土壤温度较低且波动较大,造成小麦季 N₂O 排放对土壤温度变化的响应明显。

菜地生态系统地下 5 cm 处土壤温度介于 4.8 ~ 29.2 °C,平均为 17.9 °C。同时,冬春季蔬菜(抱儿菜和莴苣)生长期土壤温度较低,波动较大(4.8 ~ 25.9 °C,平均为 13.0 °C),夏秋季蔬菜(大白菜和甘蓝)生长期土壤温度较高,波动较小(15.8 ~ 29.2 °C,平均为 23.4 °C)(图 3b)。同时,分析发现,整个观测期菜地 N₂O 排放通量与地下 5 cm 处土壤温度呈显著的正相关($R = 0.26$, $p < 0.01$, $n = 113$)。

2.2.3 土壤湿度 在整个观测期内,常规施氮处理旱地地下 5cm 处土壤含水空隙率(WFPS)的波动较菜地大(旱地和菜地 WFPS 分别介于 35.9% ~ 90.9% 和 29.5% ~ 80.9%),但旱地土壤水分状况总体优于菜地(旱地和菜地 WFPS 平均值分别为 66.7% 和 62.8%)(图 3b)。分析发现,旱地 N₂O 排放通量与地下 5cm 处 WFPS 无显著的相关性,但菜地两者之间存在显著的正相关($r = 0.25$, $p < 0.01$,

$n = 113$)。同时,对旱地和菜地高于各自观测期平均值的 N₂O 排放通量发生的频次(对于高于整个观测期间平均值的所有 N₂O 排放通量观测值,出现在某一湿度变化范围内的观测值的次数占有高于平均值的观测值个数的比例)随 WFPS 分布情况的分析发现,旱地分布在 50% ~ 70% 水分范围的 N₂O 排放通量出现的频次约 60%,而菜地有 71% 的 N₂O 排放通量观测值出现在 WFPS 介于 60% ~ 75% 的水分条件下。可见,土壤湿度是旱地和菜地 N₂O 排放的主要影响因子之一,并且其对 N₂O 排放的影响存在阈值效应。

2.2.4 作物参与 从表 4 可见,旱地和菜地常规施氮处理 N₂O 平均排放通量均高于空地处理($p < 0.05$),常规施氮旱地和菜地 N₂O 排放通量分别较各自空地处理增加 37.3% 和 30.3%,但两者无显著性差异。常规施氮旱地和菜地 N₂O 排放系数也均高于空地。可见,作物参与会增加土壤 N₂O 排放量,但蔬菜参与对引发 N₂O 排放增加的效应与旱地相比无明显差异。

表 4 旱地和菜地常规施氮(NPK-C)和空地(NPK-NC)处理 N₂O 排放通量

Table 4 N₂O emission from dry land and vegetable field under conventional fertilization(NPK-C) and no crop(NPK-NC)

农田生态系统 Agro-ecosystem	观测期 Sampling period	排放通量 Emission flux ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)		排放系数 Emission coefficient (%)	
		常规施氮(NPK-C) Conventional fertilization	空地(NPK-NC) No crop	常规施氮(NPK-C) Conventional fertilization	空地(NPK-NC) No crop
		旱地 Dry land	小麦季 Wheat season	68.2 ± 29.3	38.6 ± 7.1
	玉米季 Maize season	71.6 ± 16.9	46.6 ± 9.9	0.92	0.56
	整个观测期 Total sampling period	50.8 ± 16.7	37.0 ± 8.9	1.11	0.53
菜地 Vegetable field	莴苣 Lettuce	130.4 ± 47.4	122.4 ± 28.1	0.72	0.64
	大白菜 Chinese cabbage	358.7 ± 73.1	225.5 ± 44.2	3.13	1.45
	甘蓝 Cabbage	143.9 ± 26.2	137.9 ± 23.1	1.53	0.96
	平均 Average	211.0 ± 48.9	161.9 ± 31.8	1.82	1.02

3 讨论

3.1 农田管理措施对菜地和旱地 N₂O 排放的影响

研究表明,无论施氮还是不施氮,菜地 N₂O 排放通量的季节波动均较早地明显,施氮后菜地观测的 N₂O 排放峰的峰值明显高于旱地施氮后的峰值,并且菜地各蔬菜季排放峰出现的时间差异也较早

地明显。而不施氮情况下菜地较早地出现了更多的脉冲式排放峰。从旱地和菜地 N₂O 排放量和排放系数的差异来看,菜地 N₂O 排放量远高于旱地农田,并且整个观测期内菜地 N₂O 排放系数也较早地高 64.0%。旱地小麦-玉米轮作系统一年种两季作物,而菜地先后栽植了四季蔬菜,因此,全年菜地较早地施氮量增加了一倍,同时,一年内种植作物茬数越多则翻地、浇水等田间管理措施越频繁。所

以,造成菜地 N_2O 排放量高于旱地的一个关键原因就是菜地频繁的施氮、翻地、浇水等农田管理措施改变了土壤中 N_2O 产生和排放的环境条件。

此外,旱地和菜地不同作物生长季 N_2O 排放通量和排放系数也存在明显差异,并且菜地不同蔬菜生长季的差异更明显,这主要可能是因为不同作物生育期长短不同,如小麦生育期较玉米生育期多 87 d,而不同蔬菜生育期的差异更大(莴苣生育期仅 58 d,而抱儿菜达到 110 d),尽管每季作物施氮量相同,但单位时间的施肥强度差别却很大,所以造成土壤中 N_2O 排放的巨大差异。因此,根据作物生育期特点调节施肥量可能会减少农田 N_2O 排放量,特别是菜地若能实现精量施肥,其 N_2O 减排的潜力会更大。

3.2 作物类型对菜地和旱地 N_2O 排放的影响

从常规施氮处理与空地处理 N_2O 排放通量的差异来看,种植作物的农田 N_2O 排放通量均高于不种作物的农田。旱地小麦参与和玉米根系参与使小麦季和玉米季 N_2O 排放量分别增加了 76.7% 和 53.6% (整个观测期平均为 37.3%),而菜地不同蔬菜参与对增加 N_2O 排放量的效应最大的是大白菜,为 59.1%,最小的是甘蓝,仅为 4.4% (平均为 30.3%)。所以,就旱地各季作物与菜地各季作物分别比较来看,蔬菜作物参与对增加菜地 N_2O 排放量的效应与旱地作物参与对增加旱地农田 N_2O 排放量的效应差异较大。但就整个轮作期来看,两者并无明显差异。

4 结 论

1) 不施氮情况下,小麦-玉米轮作系统和菜地生态系统 N_2O 排放通量分别为 17.8 ± 5.6 和 $50.7 \pm 13.3 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$,菜地 N_2O 排放通量是旱地农田的 2.8 倍,而施氮($N 150 \text{ kg hm}^{-2}$)情况下菜地 N_2O 排放系数较旱地高 39.0%。不同作物季 N_2O 排放量的差异主要是由于作物生育期长短不同造成单位时间施肥强度的差异引起的,并且由于不同蔬菜间生育期长短的差异较不同粮食作物之间大,因此,菜地若能根据作物生育期特点实施精量施肥,其 N_2O 减排的潜力可能大于旱地农田。

2) 土壤湿度是影响旱地和菜地农田生态系统 N_2O 排放的主要环境因子,并且其对 N_2O 排放的影响存在阈值效应,菜地当土壤湿度 ($WFPS$) 介于 60% ~ 75% 更易引发 N_2O 的高排放,考虑到菜地土

壤湿度变化主要是由于频繁浇水引起的,因此,通过限制浇水次数来控制菜地土壤水分状况也可有效抑制菜地 N_2O 排放量。

3) 尽管蔬菜参与和旱地作物参与对增加两种农田系统 N_2O 排放量的效应在不同作物生长期的差异较大,但从一整年的轮作周期来看,两者并无明显差异。

参 考 文 献

- [1] IPCC. Summary for policymakers//Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, et al. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 7—22
- [2] Bouwman A F. Nitrogen oxides and tropical agriculture. Nature, 1998, 392: 866—867
- [3] Energy Information Administration. Emissions of greenhouse gas in the United States. 1997. DOE/EIA-0573 (97). Washington. DC. 1998
- [4] Mosier A, Kroeze C. Potential impact on the global atmospheric N_2O budget of the increased nitrogen input required to meet future global food demands. Chemosphere-Global Change Science, 2000(2): 245—474
- [5] 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. Global Biogeochemical Cycles, 2004, 18(2): GB2018
- [6] 王朝晖,宗志强,李生秀,等.菜地和一般农田土壤主要养分累积的差异.应用生态学报,2002,23(3): 81—85. Wang Z H, Zong Z Q, Li S X, et al. Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields (In Chinese). Chinese Journal of Environmental Science, 2002, 23(3): 81—85
- [7] 张华勇,尹睿,黄锦法,等.稻麦轮作田改为菜地后生化指标的变化.土壤,2005,37(2): 182—186. Zhang H Y, Yin R, Huang J F, et al. Changes in soil biochemical properties caused by cropping system alteration from rice-wheat rotation to vegetable cultivation (In Chinese). Soils, 2005, 37(2): 182—186
- [8] Dobbie K E, McTaggart I P, Smith K A. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variable, and mean emission factors. J Geophys Res, 1999, 104 (D21): 26 891—26 900
- [9] Kaiser E A, Kohrs K, Kücke M, et al. Nitrous oxide release from arable soil: Importance of N fertilization, crops and temporal variation. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30 (12): 1 553—1 563
- [10] 姚志生,郑循华,周在兴,等.太湖地区冬小麦与蔬菜地 N_2O 对比观测研究.气候与环境研究,2006,11(6): 691—701. Yao Z S, Zheng X H, Zhou Z X, et al. Nitrous oxide emission from winter wheat and vegetable fields in the Taihu region: A comparison case study (In Chinese). Climatic and Environmental Research, 2006, 11(6): 691—701

- [11] Xiong Z Q, Xie Y X, Xing G X. et al. Measurements of nitrous oxide emissions from vegetable production in China. *Atmospheric Environment* 2006, 40: 2225—2234
- [12] Wang Y S, Wang Y H. Quick measurement of CH₄, CO₂ and N₂O emissions from a short plant ecosystem. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20: 842—844
- [13] 于亚军,朱波,荆光军. 成都平原土壤-蔬菜系统 N₂O 排放特征. *中国环境科学*, 2008, 28(4): 313—318. Yu Y J, Zhu B, Jing G J. N₂O emission from soil-vegetable system and impact factors in Chengdu Plain of Sichuan Basin (In Chinese). *China Environmental Science*, 2008, 28(4): 313—318
- [14] 于亚军,朱波,王小国,等. 成都平原水稻-油菜轮作系统氧化亚氮排放. *应用生态学报*. 2008, 19(6): 1 277—1 282. Yu Y J, Zhu B, Wang X G, et al. N₂O emission from rice-rapeseed rotation system in Chengdu Plain of Sichuan Basin (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 1 277—1 282
- [15] 项虹艳,朱波,况福虹,等. 氮肥施用对紫色土-玉米根系系统 N₂O 排放的影响. *环境科学学报*, 2007, 27(3): 413—420. Xiang H Y, Zhu B, Kuang F H, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on N₂O emission in a purple soil and main system (In Chinese). *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(3): 413—420
- [16] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, et al. Mitigation options for methane, nitrous oxide and nitric oxide emissions from agricultural ecosystems. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2000, 17(1): 83—92
- [17] 郑循华,王明星,王跃思,等. 稻麦轮作生态系统中土壤湿度对 N₂O 产生与排放的影响. *应用生态学报*, 1996, 7(3): 273—279. Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, et al. Impact of soil humidity on N₂O production and emission from a rice-wheat rotation ecosystem (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(3): 273—279
- [18] 卢燕宇,黄耀,郑循华. 农田氧化亚氮排放系数的研究. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1 299—1 302. Lu Y Y, Huang Y, Zheng X H. N₂O emission factor for agricultural soils (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1 299—1 302

COMPARISON STUDY ON N₂O EMISSIONS FROM FIELD UNDER WHEAT-MAIZE ROTATION SYSTEM AND FIELD UNDER VEGETABLE CULTIVATION

Yu Yajun^{1,2} Gao Meirong² Zhu Bo^{2†}

(1 College of Urban and Environment Sciences of Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China)

(2 Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

Abstract Stationary observation was performed during the period from October, 2006 to October, 2007 of N₂O emissions from a field under wheat-maize rotation and a field under vegetable cultivation for over 20 years, using the static chamber method/gas chromatograph technique. Characteristics of the emissions from the two ecosystems were analyzed for differences between the two and effects of the participating factors, such as N application, soil temperature, soil moisture and crops on the emissions. Results show that in CK (No N applied) the mean N₂O emission flux was 17.8 ± 5.6 and $50.7 \pm 13.3 \mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$, respectively, from the wheat-maize ecosystem and the vegetable ecosystem. Clearly the flux from the latter was 3.1 times higher than that from the former. When N was applied at 150 kg hm^{-2} , the N₂O emission coefficient in the vegetable field was 39.0% higher than that in wheat-maize field. Plant participation was not responsible for higher N₂O emission from the vegetable ecosystem. The difference in N₂O emission flux between the two ecosystems in different crop growing seasons was attributed to the fact that the difference in life cycle between the crops led to difference in intensity of N application per unit time. Therefore, N₂O emission from the agro-ecosystems may be cut down by regulating N application rate in light of characteristics of the crop growing season, which vary sharply especially of vegetables. If precise fertilization can be adopted for vegetables, the potential of the vegetable field in reducing N₂O emission would be greater than that of the upland farm field.

Key words N₂O emission flux; Vegetable field ecosystem; Wheat-maize rotation ecosystem; Influencing factors