

覆膜和氮肥用量对雨养春玉米农田 甲烷吸收的影响

李晓莎^{1,2}, 岳善超², 李世清^{1,2}, 刘建桀^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;
2. 西北农林科技大学, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了研究覆膜与氮肥用量对雨养春玉米农田 CH₄ 吸收的影响, 在覆膜(FM)与不覆膜(BP)条件下分别设置了 0、100、250、400 kg·hm⁻² 4 个氮肥水平, 共 8 个处理, 采用静态暗箱-气相色谱法对农田 CH₄ 的吸收通量进行连续观测, 同时观测影响通量变化的温度、水分以及硝铵态氮等环境因子。结果表明: 旱作春玉米农田是甲烷的汇, 休闲期的累积吸收量占年总吸收量 48%~60%, 在年总吸收量中占了不可忽视的一部分; FM0、FM100、FM250、FM400 和 BP0、BP100、BP250、BP400 在 2014—2015 年的年总吸收量分别为 0.99、1.38、1.3、1.37 CH₄-C kg·hm⁻² 和 1.43、1.77、1.68、1.56 CH₄-C kg·hm⁻², 地膜覆盖和施氮量的增加均未显著改变雨养春玉米农田对 CH₄ 的吸收量; 雨养春玉米农田土壤 CH₄ 的吸收速率与 0、10 cm 土层土壤温度呈极显著正相关, 与土壤孔隙含水量(WFPS)、NH₄⁺-N 之间呈极显著负相关, 不覆膜条件下与 NO₃⁻-N 之间呈负相关关系, 且达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

关键词: 覆膜; 氮肥; CH₄; 雨养; 春玉米农田
中图分类号: S154.1; S181 **文献标志码:** A

Effect of film mulching and nitrogen fertilizer on CH₄ absorption of rainfed spring maize farmland

LI Xiao-sha^{1,2}, YUE Shan-chao², LI Shi-qing^{1,2}, LIU Jian-can^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shannxi;
2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shannxi)

Abstract: Understanding the response of CH₄ absorption to film mulching and nitrogen fertilizer is of value for improving management practices. We monitored the CH₄ absorption from plastic film-mulched and no-mulched maize fields that received different N application rates (0, 100, 250 kg·hm⁻² and 400 kg·hm⁻²) using the static chamber technique. In addition, the impact factors (soil inorganic nitrogen, soil temperature and moisture, etc.) were estimated. The results showed that the rain-fed maize fields acted as a sink for CH₄, and 48%~60% of the annual uptake was during the fallow period. The annual CH₄ uptake rate was 0.99, 1.38, 1.3, 1.37, 1.43, 1.77, 1.68, 1.56 CH₄-C kg·hm⁻² for FM0, FM100, FM250, FM400, BP0, BP100, BP250 and BP400 treatment in 2014—2015, respectively. Both film mulching and N fertilizer did not increase the CH₄ uptake. The soil CH₄ uptake was positively correlated with 0 cm and 10 cm soil temperature, but negatively correlated with soil WFPS and soil NH₄⁺-N concentration. The CH₄ uptake was negatively correlated with soil NO₃⁻-N concentration under no-mulched treatments.

Keywords: film mulching; nitrogen fertilizer; CH₄; rainfed; spring maize farmland

气候变暖对生态系统、人类生活、经济发展等各方面均会产生不同程度的影响, 是全球性的环境问题, 而造成气候变暖的主要原因是由于大气中温室气体浓度的不断增加。甲烷(CH₄)是大气中含量仅次于 CO₂ 和 CFCs 的温室气体, 其辐射增温效应是 CO₂ 的 25 倍^[1], 占温室气体对全球变暖贡献总份额

收稿日期: 2016-06-20
基金项目: 国家自然科学基金(41401343); 中央高校基本科研业务费专项资金(2452015093, 2452015473)
作者简介: 李晓莎(1990—), 女, 河南人, 硕士, 主要从事农田温室气体方面的研究。E-mail: LXS0403229@163.com。
通信作者: 李世清(1963—), 教授, 博士生导师, 主要从事土壤-植物氮素营养方面的研究。E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn。

的 20%^[2]。在对流层中 CH_4 被氧化生成其它温室气体,少量被送到平流层,对臭氧层起到了间接的破坏作用。受人类活动影响,大气中的 CH_4 浓度在不断升高,2014 年全球范围内 CH_4 的平均摩尔分数达到了 1.833×10^{-6} ,为工业化(1750 年)前水平的 254%^[3]。

旱作土壤是大气甲烷的重要汇,这也是已知的唯一的生物氧化甲烷的汇。在土壤中,甲烷被氧化成二氧化碳,而二氧化碳吸收辐射能的能力比甲烷低 32 倍,所以这个氧化过程是有利于环境的。每年大约有 30 Tg 的甲烷在土壤中氧化,占总甲烷氧化量的 6%。尽管相对于对流层来说土壤作为甲烷汇小到可以忽略不计,但是如果缺少土壤这个汇将会使大气甲烷浓度以目前增长速率的 1.5 倍的速度增加^[4]。

地膜覆盖由于具有保水保墒和调节土壤温度的作用在我国半干旱区很早就有应用,近十多年来更是在旱作粮食作物生产中大面积应用^[5],且其应用面积还在不断增加。土壤理化性质的改变将会影响农田土壤温室气体的产生与排放,关于地膜覆盖对农田土壤 CO_2 、 N_2O 排放的影响已有一些报道,而地膜覆盖对旱作农田土壤对 CH_4 吸收的影响还鲜有报道;氮肥的施用是农业生产中增产的常用措施,研究认为氮肥的施用会抑制土壤对大气甲烷的氧化吸收^[6-7],那么随着氮肥施用量的增加,土壤对大气甲烷的吸收作用会怎样变化呢?为了研究覆膜与氮肥用量的增加对雨养农田土壤对 CH_4 吸收的影响,我们进行了本次试验,以期为评估旱作农田的温室效应提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间试验布置在中国科学院长武黄土高原农业生态试验站。该试验站位于黄土高原中南部陕甘交界处的陕西省长武县洪家镇王东村(35°12'N, 107°40'E),海拔 1 200 m。气候属暖温带半湿润大陆性气候,年均降水 584 mm,年均气温 9.1℃,无霜期 171 d,地下水埋深 50~80 m,无灌溉条件,属典型的旱作雨养农业区;母质是深厚的中壤质马兰黄土。试区为高原沟壑区的典型代表。试验开始前土壤 0~20 cm 耕层土壤理化性质为:有机质含量 $14.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量 $0.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,矿质氮含量 $10.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷含量 $15.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $136.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH 值为 8.4。

1.2 试验设计

试验于 2014 年 4 月—2015 年 9 月进行,经过两个玉米生长季(maize growing season, MS)和一个休闲季(fallow season, FS)。试验在地膜覆盖(plastic film mulching, FM)和不覆膜(bare plot without mulching, BP)条件下设置 4 个氮肥水平,共 8 个处理,3 次重复,随机区组排列,小区面积为 $4 \text{ m} \times 7 \text{ m} = 28 \text{ m}^2$ 。处理 1(FM0):地膜覆盖 + $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;处理 2(FM100):地膜覆盖 + $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;处理 3(FM250):地膜覆盖 + $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;处理 4(FM400):地膜覆盖 + $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;处理 5(BP0):不覆盖 + $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;处理 6(BP100):不覆盖 + $100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;处理 7(BP250):不覆盖 + $250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;处理 8(BP400):不覆盖 + $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

试验使用含氮量为 46% 的尿素作为氮肥;分 3 次施用,基肥与种肥占 40%,十叶期(V10)追肥占 30%,吐丝期(R1)追肥占 30%。各处理施用磷肥 $40 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,为含 12% P_2O_5 的过磷酸钙,钾肥 $80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,为含 45% K_2O 的硫酸钾。基施氮肥、全部磷肥和钾肥均在播前均匀撒施于地表,然后用旋耕机翻耕,使肥料充分混匀;追施氮肥使用点种器施入玉米植株之间。春玉米品种为先玉 335,各处理均采用宽窄行、双垄沟种植法:宽行 60 cm、窄行 40 cm,大垄高 10 cm,小垄高 15 cm(图 1)。覆盖处理采用 0.005 mm 厚,1.2 m 宽的白色透明聚乙烯薄膜周年全膜覆盖,整个试验期间不进行灌溉,采用雨养方式。试验分两年进行,2014 年 4 月 30 日播种,9 月 20 日收获;2015 年 4 月 26 日播种,9 月 14 日收获,两个生育季内总降雨量分别为 375 mm 和 361 mm。

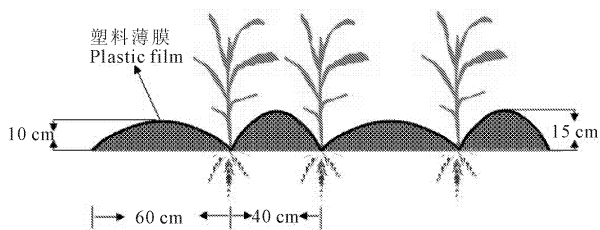


图 1 全膜双垄沟种植示意图

Fig.1 Schematic diagram illustrating the arrangement of plant on the ridges and furrow with plastic film mulching

1.3 观测项目与方法

气体的采集采用密闭静态箱法,箱体包括顶箱和底座两部分,均由不锈钢制成。顶箱长、宽、高分别为 50 cm、30 cm、30 cm,顶箱上部中央有 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 的植株生长口,顶箱可拆分成两部分,且两部分之间缝隙及下部边沿均有密封条,以确保顶箱及

顶箱与底座之间的密闭性。箱内安装风扇以将箱内气体混匀,箱外包裹泡沫层来保温。底座长、宽、高为 50 cm × 30 cm × 15 cm,底座安置在小区中央,插入土层 15 cm 深处,整个生育季不再移动,底座中央种植一株玉米。当玉米株高小于 30 cm 时,顶箱是一个整体,生长口处于密封状态,整株玉米都在顶箱内,当株高高于顶箱高度时,顶箱从中间拆分为两部分,每次采集气体时将植株的下部分茎扣入到箱子中而其余部分从顶部的生长口伸出,顶箱的两部分之间用搭扣固定,植株与口壁之间用泡沫填充。气体采集过后将顶箱移开。气体采集于每天 8:30—11:30 之间进行,采集时将顶箱与底座之间用夹子固定,盖顶箱后分别在 0、10、20、30 min 时用 50 ml 注射器抽取箱内气体 50 ml。采气频率为平均每 4 天监测一次,施用氮肥后从第 2 天开始每两天监测一次,连续监测 10 d,降雨后从第 2 天开始每天监测一次,连续监测 7 d。玉米收获后的休闲期,15 d 监测一次。

每次采集农田气体样品时用数字温度计(JM624)测定箱内空气温度、地表温度以及土壤 10 cm 土层温度,测定时间为采集第一针和第四针样品时,取两次测定的平均值作为当天的温度。降雨量与气温数据来自于中国科学院水利部水土保持研究所所长武农业生态试验站。

采集 0~20 cm 土层土壤样品,测定土壤矿质氮和水分含量。土壤样品与气体样品采集同步进行,玉米生长季每 8 天采集 1 次,休闲期改为每 15 天采集 1 次。冬季土壤冻结后不采集样品(12 月至次年 3 月上中旬)。施用氮肥和降雨后加大采样频率,施肥后每隔一天采集一次,连续采集 10 d,降雨后(>20 mm)每隔一天采集一次,连续采集两次,而后恢复正常频率。所采样品当天用烘干法测定土壤含水量;1 mol·L⁻¹ KCl 溶液浸提-连续流动分析仪法测定土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的含量。

1.4 计算方法与统计分析

CH₄ 排放通量采用直线回归法进行计算,春玉米生长季的累积气体排放量采用线性插值法,以观测数值作为当日平均交换通量,然后通过累加计算各季及全年的累积排放量。气体排放通量的计算公式为^[8]:

$$F = \rho \times h \times dc/dt \times 273/(273 + T)$$

式中, F 为气体排放通量(mg·m⁻²·h⁻¹ 或 μg·m⁻²·h⁻¹); ρ 为标准状态下气体的密度(kg·m⁻³); h 是采样箱的净高度(m); dc/dt 为单位时间内采样箱内气体的浓度变化率; T 为采样过程中采样箱内的平均

温度(℃)。

采用 SPSS 19.0 和 Sigmaplot 12.5 软件对数据进行统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 覆膜与施氮对雨养玉米农田 CH₄ 吸收特征的影响

由不同处理的 CH₄ 吸收动态变化(图 2)可知,各处理的 CH₄ 吸收速率变化趋势一致,生长季甲烷吸收速率较高,且有小幅度变化波动,休闲季较低。2014 年和 2015 年春玉米生长季 FM0、FM100、FM250、FM400 和 BP0、BP100、BP250、BP400 处理农田 CH₄ 吸收速率分别在 2.18~79.71、-4.37~40.3、6.1~43.33、4.47~52.65、2.17~40.17、-0.03~72.47、0~47.06、4.18~76.61 CH₄-C μg·m⁻²·h⁻¹ 和 4.48~29.07、8.17~34.11、6.29~38.79、-0.05~29.79、7.47~51.14、6.3~46.56、6.3~40.09、4.76~45.49 CH₄-C μg·m⁻²·h⁻¹,可见黄土高原雨养春玉米试验田是弱的甲烷“汇”,其不同处理两个玉米生长季甲烷平均吸收速率分别为 15.01、17.04、17.28、19.04、18.56、22.00、19.44、21.67 CH₄-C μg·m⁻²·h⁻¹ 和 14.17、17.38、17.87、17.35、23.61、25.84、23.23、25.14 CH₄-C μg·m⁻²·h⁻¹ (FM0、FM100、FM250、FM400、BP0、BP100、BP250、BP400),地膜覆盖处理减少了农田土壤对 CH₄ 的吸收,这与其它一些旱作农田的研究结果一致^[9-10]。播种初期,由于播种前的旋耕,使得土壤疏松,孔隙度高,土壤内氧气较多,促进了土壤对大气甲烷的氧化吸收,进而在初期出现了吸收峰。究其原因可能是,旱作农田通气性良好,氧气易于扩散到土壤中,促进土壤中甲烷氧化微生物和甲烷氧化酶的活性,增强了土壤吸收氧化大气中 CH₄ 的能力^[11]。2015 年各处理的 CH₄ 排放量的变化幅度较 2014 年变化幅度小,这可能与土壤水分含量的变化幅度有关。

2014 年 12 月—2015 年 4 月是土壤的冻融和融冻期,CH₄ 的吸收量很少,NO 处理在 3 月份甚至出现了排放的现象,这与宋长春等发现的融冻期沼泽湿地 CH₄ 排放通量明显增大^[12]的结果是一样的,这主要与土壤微生物活性和土壤溶液中的 C、N 含量增加有关,冬季死亡的微生物释放的 C、N 可为融冻期存活的微生物提供重要的基质且冻融作用能够促进有机碎屑物的分解和 C、N 的矿化^[13-14],融冻期温度升高,0~10 cm 土壤微生物的活性明显增加,这些条件都有利于 CH₄ 的产生。

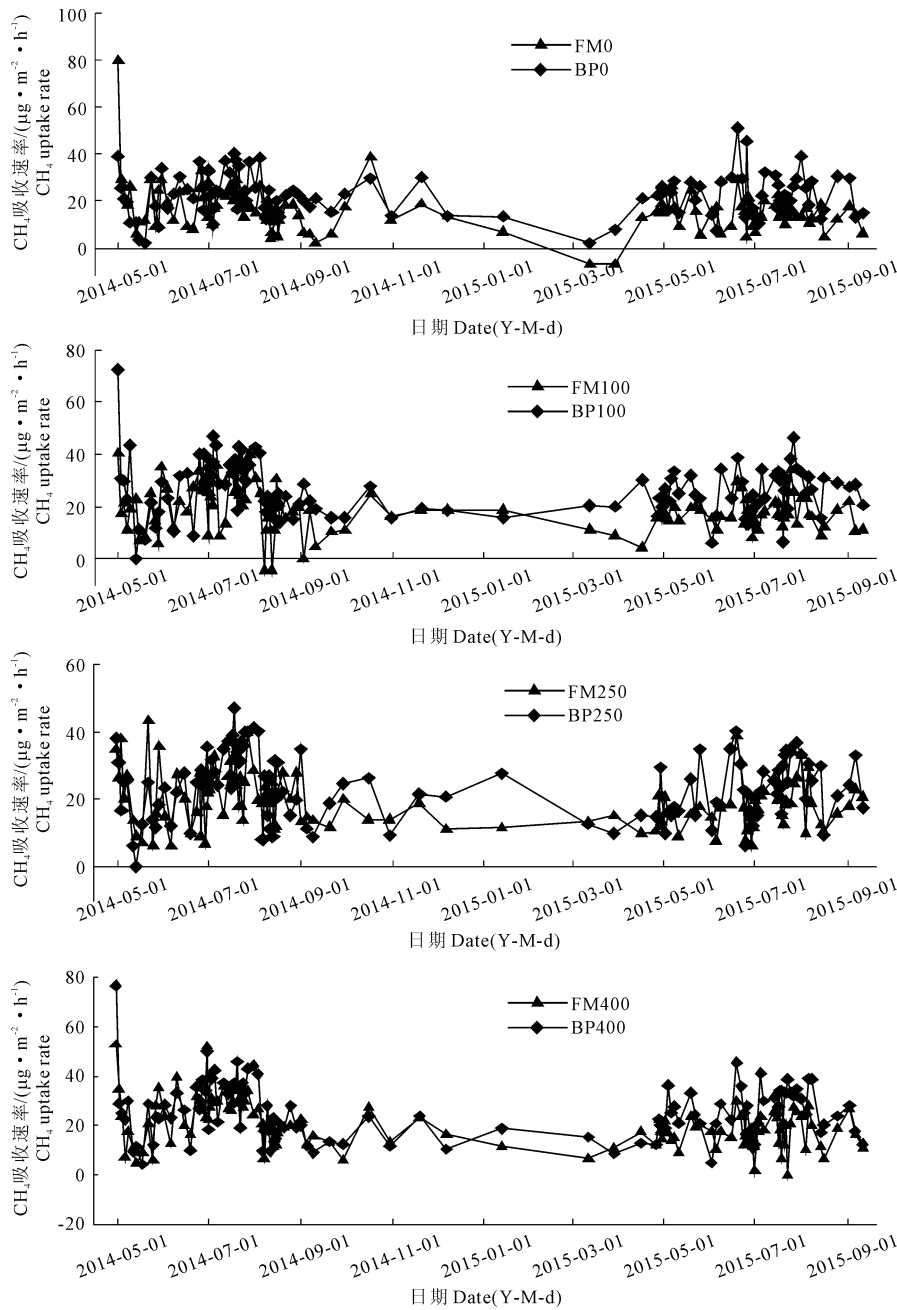


图 2 不同处理 CH₄ 吸收速率的动态变化

Fig.2 Dynamic change of CH₄ uptake rate at different treatments

2.2 覆膜与施氮对雨养玉米农田 CH₄ 累积吸收量的影响

2014 年春玉米休闲期农田土壤 CH₄ 的累积吸收量分别占总累积吸收量的 47.6%、57.4%、53.9%、51.8%、54.6%、57%、60.2%、和 51.7% (FM0、FM100、FM250、FM400、BP0、BP100、BP250 和 BP400),除 FM0 处理外,休闲期的吸收量都超过了生育期,可见在旱作农田土壤 CH₄ 吸收的测定估算中,休闲期的吸收是不可忽视的。2014 年农田 CH₄ 累积吸收量 FM0 和 BP0 处理差异显著 ($P < 0.05$),

其余差异不显著,且这种显著的差异主要是由于休闲期吸收量的差异造成的(表 1)。2014、2015 年春玉米生长季农田 CH₄ 累积吸收量覆膜处理都低于不覆膜处理,但不同氮肥水平条件下,覆膜处理与不覆膜处理之间的差异不同,2014 年,两种覆盖处理的 4 个氮肥水平之间的差异都不显著;2015 年,N0、N100 和 N400 水平条件下覆膜与不覆膜处理差异显著。2014 年不同施氮量处理生长季 CH₄ 累积吸收量的大小为:N100 > N400 > N250 > N0;2015 年覆膜条件下则是 N250 处理的生长季累积吸收量最大,

N0 处理最小;不覆膜条件下 N100 吸收量最大,N250 吸收量最少。这与一些研究的结果不一致。胡小康等研究认为,华北平原夏玉米生长季土壤是 CH₄ 的净吸收库,吸收总量从小到大依次为 Optimized > N250 > SRU > N300^[15]。施肥对稻田甲烷排放影响研究得出,稻田 CH₄ 的排放量随着氮肥用量的增加

呈增加趋势^[16]。有研究表明,冬小麦-夏玉米轮作体系,N0、N200、N400 和 N600 处理土壤 CH₄ 年排放总量分别为 -1.42、-0.75、-0.82、-0.92 kg·hm⁻²·a⁻¹ (2008—2009 年)和 -2.6、-1.47、-1.35、-1.76 kg·hm⁻²·a⁻¹ (2009—2010 年)^[17],这与本实验的研究结果相反。

表 1 不同处理春玉米农田 CH₄ 累积吸收量/(kg·hm⁻²)

Table 1 Accumulation of CH₄ uptake from spring maize farmland under different treatments

处理 Treatments	2014—2015			2015
	生长季 Growing period	休闲季 Fallow period	全年 Whole year	生长季 Growing period
FM0	0.54 ± 0.03 a	0.47 ± 0.07 a	0.99 ± 0.08 a	0.48 ± 0.02 a
FM100	0.67 ± 0.04 ab	0.8 ± 0.05 bc	1.38 ± 0.01 bc	0.58 ± 0.18 ab
FM250	0.62 ± 0.08 ab	0.7 ± 0.1 ab	1.3 ± 0.15 ab	0.6 ± 0.14 ab
FM400	0.66 ± 0.02 ab	0.71 ± 0.06 ab	1.37 ± 0.07 ab	0.58 ± 0.05 ab
BP0	0.62 ± 0.08 ab	0.78 ± 0.19 bc	1.43 ± 0.26 bc	0.79 ± 0.06 bc
BP100	0.79 ± 0.04 b	1.01 ± 0.15 c	1.77 ± 0.18 c	0.87 ± 0.17 c
BP250	0.68 ± 0.19 ab	1.01 ± 0.22 c	1.68 ± 0.39 bc	0.78 ± 0.17 bc
BP400	0.7 ± 0.09 b	0.81 ± 0.15 bc	1.56 ± 0.24 bc	0.84 ± 0.1 c

注:平均值 ± SD;同列不同字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。
Note: average ± standard deviation; different letters in the same column indicate a significant difference($P < 0.05$).

2.3 雨养春玉米农田 CH₄ 吸收的影响因素分析

2.3.1 土壤温度对农田 CH₄ 吸收的影响 由图 3、图 4 可知,春玉米生育期地温处于较高水平,休闲期地温较低,生长季前期,地膜覆盖对 0、10 cm 土壤都具有增温效果,生育期后期,覆膜与不覆膜处理之间的土壤温度无差异,这可能是由于玉米冠层对太阳照射的遮挡,使得地温的增长差异不大。分析农田土壤 CH₄ 吸收速率与土壤温度相关性发现,土壤

CH₄ 吸收速率与土壤 0、10 cm 温度呈极显著正相关(表 2),覆膜、不覆膜处理与土壤 0、10 cm 温度的相关系数分别为 0.307、0.242 和 0.414、0.351,这与郑智旗等^[18]的冬小麦农田 CH₄ 排放通量与土壤温度呈正相关但不显著的研究结果不一致,水旱轮作方式下稻田旱作季 CH₄ 排放通量与农田 10 cm 地温呈负相关^[19],与本研究的结果相似。

表 2 CH₄ 吸收速率与各因素的相关性

Table 2 Correlation of CH₄ uptake rates and factors

处理 Treatments	温度 Temperature		WFPS	NO ₃ ⁻ - N	NH ₄ ⁺ - N
	0 cm	10 cm			
FM	0.307 * *	0.242 * *	- 0.458 * *	- 0.091	- 0.381 * *
BP	0.414 * *	0.351 * *	- 0.519 * *	- 0.273 * *	- 0.326 * *
FM0	0.330 * *	0.181 *	- 0.285 *	0.130	0.080
FM100	0.278 * *	0.285 * *	- 0.562 * *	0.162	0.309 *
FM250	0.359 * *	0.345 * *	- 0.463 * *	0.077	0.268 *
FM400	0.400 * *	0.330 * *	- 0.543 * *	0.076	0.307 *
BP0	0.400 * *	0.344 * *	- 0.469 * *	0.056	0.169
BP100	0.394 * *	0.321 * *	- 0.556 * *	0.055	0.300 *
BP250	0.423 * *	0.405 * *	- 0.594 * *	0.185	0.311 *
BP400	0.483 * *	0.405 * *	- 0.490 * *	0.359 *	0.360 *

注: * 表示在 0.05 水平下显著相关, * * 表示在 0.01 水平下显著相关;WFPS—土壤空隙含水量。
Note: the expression of * is significantly correlated at 0.05 level; the expression of * * is significantly correlated at 0.01 level. WFPS—water-filled pore space.

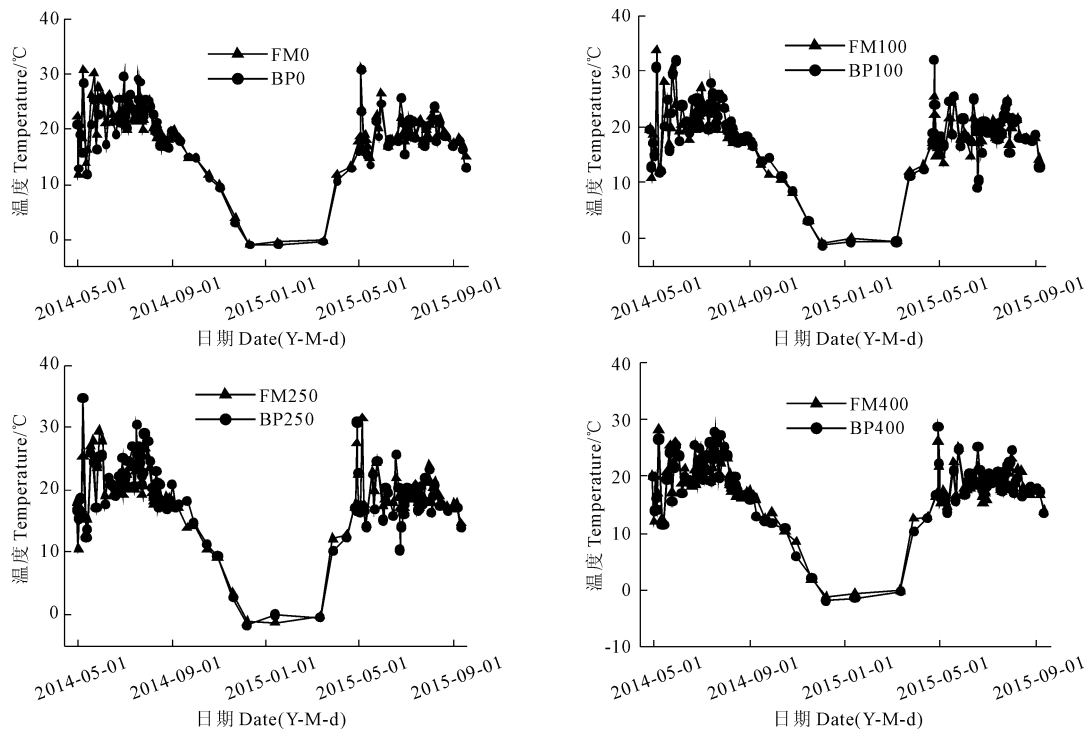


图 3 不同处理 0 cm 土层温度的动态变化

Fig.3 Dynamic change of 0 cm soil temperature at different treatments

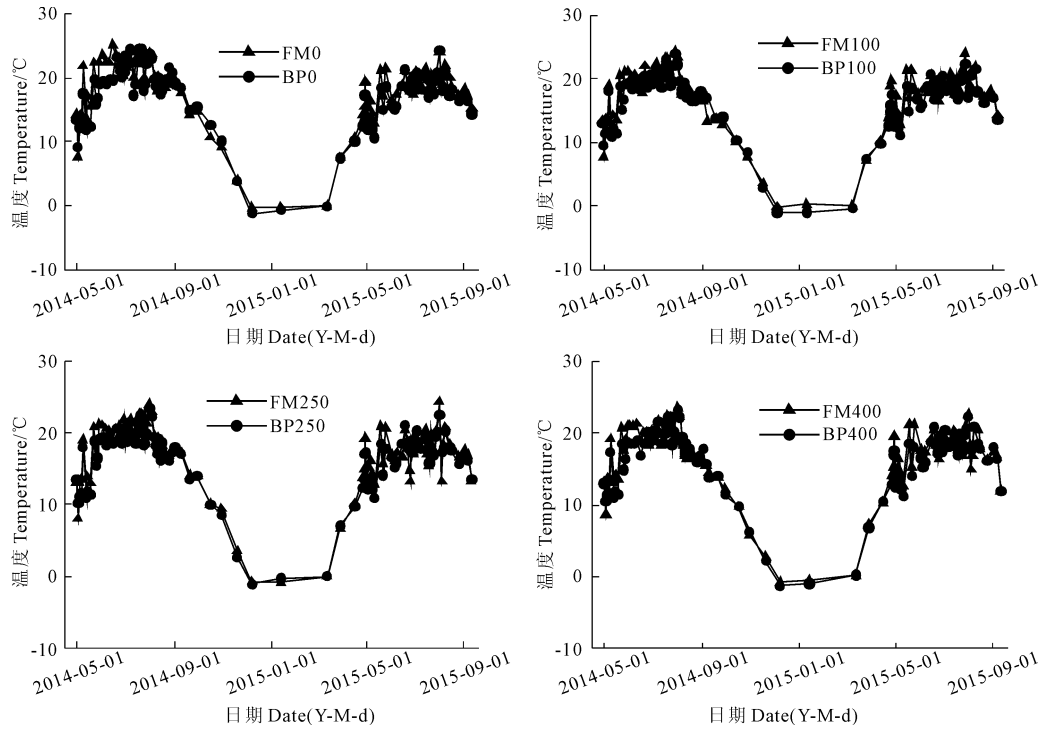


图 4 不同处理 10 cm 土层温度的动态变化

Fig.4 Dynamic change of 10 cm soil temperature at different treatments

2.3.2 土壤水分对农田 CH₄ 吸收的影响 2014 年土壤孔隙含水率的变化幅度比较大,分布在18.22%~77.3%之间,而 2015 年的水分变化小,主要分布在 28.97%~61.17%之间(图 5),结合图 2,发现甲

烷吸收的变化幅度与土壤水分的变化幅度有一定的相关性,2014 年 5 月中旬到 7 月中旬,农田土壤甲烷的吸收速率逐渐上升,而土壤水分的含量逐渐降低,最低值达到了 8%~36%,过后一场大的降雨使土

壤水分得到了补给,WFPS 高达 62% ~ 71%,而甲烷的吸收也随之降低。分析相关性发现,农田土壤对 CH₄ 的吸收速率与土壤 WFPS 之间呈极显著负相关

(表 2),这与一些研究的结果一致^[20-21]。而两个生长季水分含量变化的不同也许是造成两年试验结果不同的主要原因。

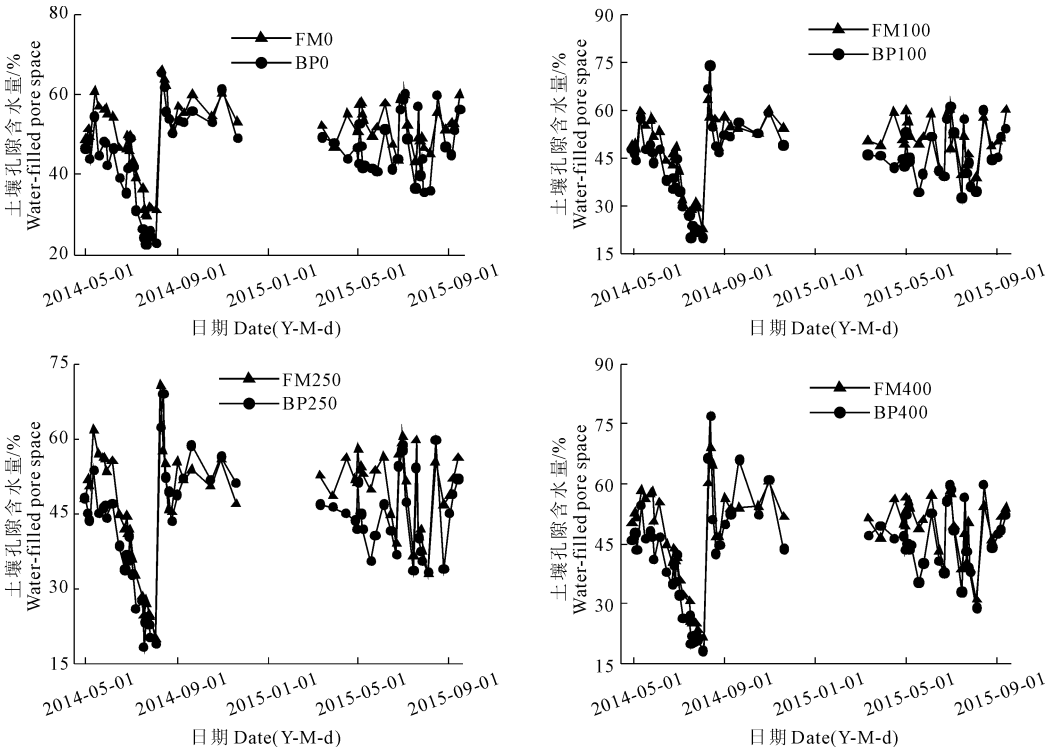


图 5 不同处理土壤孔隙含水量的变化趋势
Fig.5 Trend of water-filled pore space at different treatments

2.3.3 氮肥对农田 CH₄ 吸收的影响 由图 6 和图 7 可知,土壤硝铵态氮的含量随着施氮量的增加而增加,氮肥的施入使得土壤中的硝铵态氮迅速增加,达到峰值后又降低,硝态氮含量变化过程缓慢,而铵态氮变化迅速,除了氮肥施入后几天外其含量一直处于很低的状态。2014 年和 2015 年春玉米生长季土壤硝态氮含量分别在 2.05 ~ 111.31 mg·kg⁻¹和 1.52 ~ 130.89 mg·kg⁻¹之间,铵态氮含量较低,分别在 0.42 ~ 55.45 mg·kg⁻¹和 0.28 ~ 35.42 mg·kg⁻¹之间。分析土壤硝铵态氮含量与农田甲烷吸收的相关性(表 2)显示,CH₄ 的吸收与土壤铵态氮呈极显著负相关关系;不覆膜处理与硝态氮含量呈极显著负相关关系,而覆膜处理未达显著水平。由此可知,土壤中硝铵态氮含量越高,甲烷的吸收速率越低,即氮肥的施入抑制了农田土壤对甲烷的氧化吸收。

3 讨论与结论

相关研究表明:土壤氧化 CH₄ 的最适合温度在 25℃ ~ 35℃,当地温高于或低于最佳温度时,CH₄ 氧化菌都难以与硝化细菌和其它微生物竞争利用土壤空气中的 O₂,使得土壤中 CH₄ 氧化菌的繁殖和活性

降低^[22],土壤氧化 CH₄ 的能力下降。本实验结果表明,地膜覆盖增加了春玉米生长前期的土壤温度,但是却减少了农田土壤对甲烷的吸收。地膜覆盖增加土壤温度理论上促进了甲烷的氧化吸收但同时阻碍了土壤水分的蒸发损失,增加了土壤含水量,研究表明土壤水分的增加不仅影响土壤微生物的活性,而且阻碍大气 CH₄ 和 O₂ 向土壤中的传输,从而造成了土壤的厌氧环境,减少了土壤对 CH₄ 的氧化吸收^[23]。由于干旱雨养农作区土壤长期处于干旱状态,水分增加所造成的抑制作用大于提高温度所产生的促进作用也许是地膜覆盖减弱土壤对 CH₄ 的氧化吸收的主要原因。除此之外,地膜覆盖对农作物生长的促进作用^[24],增加了植物根系呼吸对土壤中氧气的消耗,从而减弱甲烷氧化菌对甲烷的氧化作用。

目前,关于氮肥施用对农田土壤甲烷的影响已多有研究,但对于不同农田的研究结果不一致。对于水稻田的研究多数认为,稻田是 CH₄ 的净排放源,且随着施氮量的增加而增加^[25-27],但有研究认为,水稻田 CH₄ 的排放与施氮量呈二次方程关系,在一定的施氮范围内随着施氮量的增加而增加而后

随着施氮量的增加而降低^[28]。大量研究表明旱作农田是甲烷的“汇”^[15, 29-30],这与本实验的研究结果一致。本研究表明,氮肥的施入促进了农田土壤对甲烷的氧化吸收,且氮肥用量的增加未显著改变甲烷的吸收,这与一些研究结果不一致。Sun 等^[31]研

究表明,旱地农田施用氮肥抑制了农田土壤对 CH_4 的吸收,当每季施肥量在 $50 \sim 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, CH_4 的吸收量减少了约 15%,齐玉春等^[29]的研究也得出了相似的结果。

有研究认为,氮肥对土壤甲烷氧化能力的影响

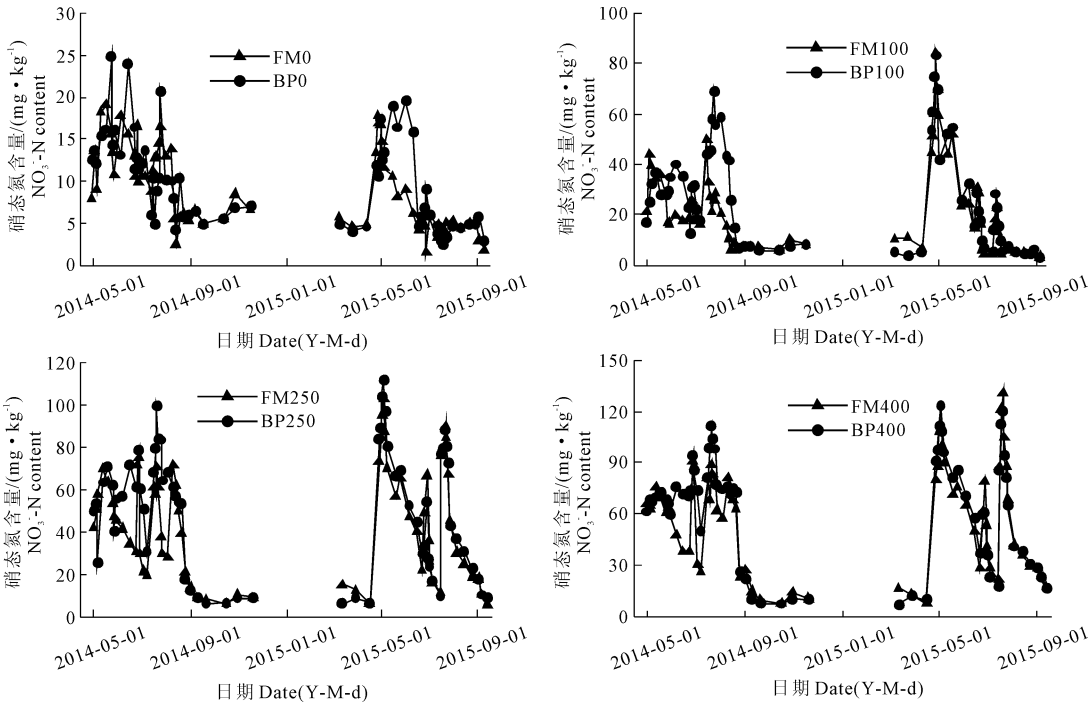


图 6 不同处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的动态变化

Fig.6 Dynamic change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content at different treatments

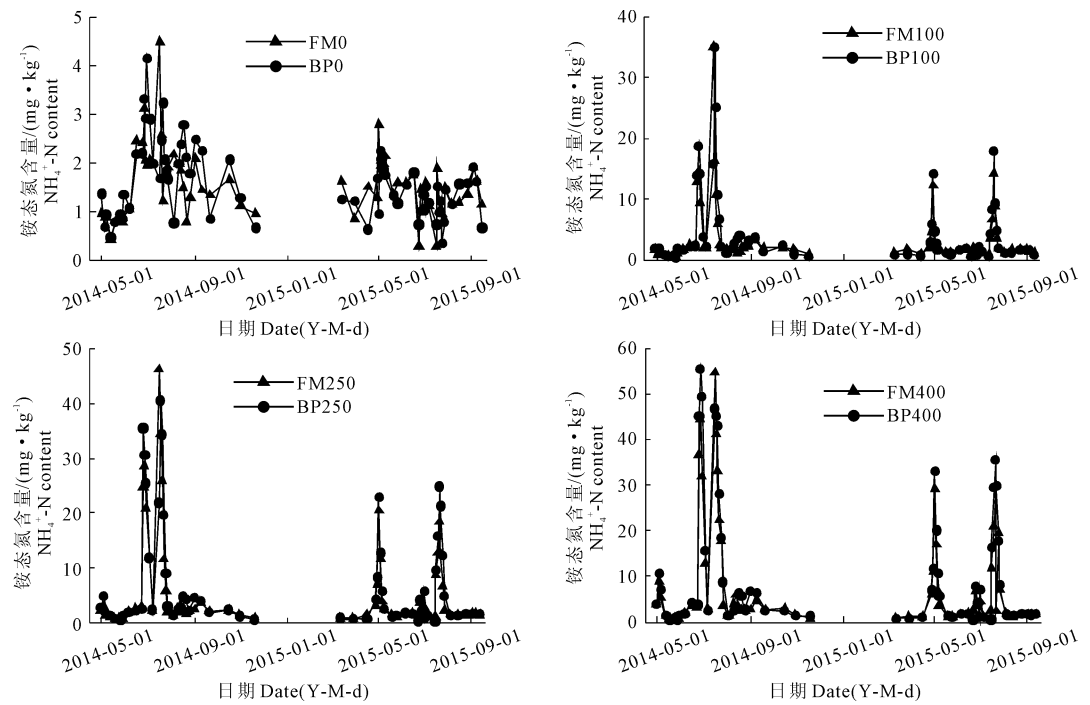


图 7 不同处理 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量的动态变化

Fig.7 Dynamic change of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ content at different treatments

的关键因素是 NH_4^+ 而不是 NO_3^- , 与 NH_4^+ 相比, NO_3^- 对土壤甲烷的氧化不仅没有影响,可能还有一点刺激作用^[32]。此外还有研究认为, NH_4^+ 和 NO_3^- 对土壤氧化吸收 CH_4 的抑制作用与土壤中这两种离子的含量有关,如果 NH_4^+ 或者 NO_3^- 的含量没有达到一定的值,那么这两种离子的抑制作用就不明显^[33-34]。而本实验期间,春玉米生长季土壤中硝态氮的最大含量为 $130.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,铵态氮最大含量为 $55.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,并且,铵态氮含量只有氮肥施入后的几天含量较高,其余时间都较低,而硝态氮含量则有较长的时间维持在较高的水平,这可能就是造成氮肥施入促进甲烷吸收的原因。此外,1979—2008 年长武县月平均蒸发量 112.57 mm ^[35],远远大于该地区的月均降雨量,氮肥的施用,促进了农作物的生长,从而增加了土壤水分的消耗,改善了农田土壤的通气环境,抑制甲烷产生菌的活性,进而可能促进甲烷的氧化吸收。农田土壤对甲烷氧化吸收是一个多因素影响的过程,而耕作模式的不同、土壤质地的不同、种植作物的不同以及气候的变化都会对其产生影响,因此,具体的原因还需进一步研究。

综上所述,本实验结果表明,旱作春玉米农田是 CH_4 的汇,玉米生育期平均累积吸收量为 $0.498 \sim 0.814 \text{ CH}_4 - \text{C kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,休闲期的累积吸收量占年总吸收量 $48\% \sim 60\%$,是不可忽略的一部分;地膜覆盖与氮肥用量的增加均未显著改变旱作农田对甲烷的吸收作用;雨养春玉米农田土壤 CH_4 的吸收速率与 $0, 10 \text{ cm}$ 土壤温度呈极显著正相关,与土壤 WFPS 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 呈极显著负相关,不覆膜条件下与 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 之间呈负相关关系,且达到极显著水 ($P < 0.01$)。

参 考 文 献:

[1] IPCC. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2007:63-67.

[2] 章永松,柴如山,付丽丽,等. 中国主要农业源温室气体排放及减排对策[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2012,38(1): 97-107.

[3] 张 永. 中国气象局发布 2014 年中国温室气体公报[N]. 中国气象报,2016-1-12(1).

[4] Duxbury J M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases[J]. Fertil Res, 1994,38:151-163.

[5] 李小刚,李凤民. 旱作地膜覆盖农田土壤有机碳平衡及氮循环特征[J]. 中国农业科学,2015,48(23):4630-4638.

[6] 胡荣佳. 施肥对旱地土壤甲烷氧化能力的影响[J]. 生态环境, 2004,13(1):74-77.

[7] Liu L T, Hu C S, Yang P P, et al. Effects of experimental warming

and nitrogen addition on soil respiration and CH_4 fluxes from crop rotations of winter wheat soybean/fallow[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2015,207(15):38-47.

[8] 蔡祖聪,徐 华,马 静. 稻田生态系统 CH_4 和 N_2O 排放[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2008:106-142.

[9] 阎佩云. 黄土旱塬旱作玉米农田不同栽培模式温室气体排放特征及影响因素[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.

[10] 王立为. 旱地马铃薯田温室气体减排与增产协同机制和模式研究[D]. 北京:中国农业大学,2015.

[11] 郝小雨,周宝库,马星竹,等. 氮肥管理措施对黑土玉米田温室气体排放的影响[J]. 中国环境科学,2015,35(11):3227-3238.

[12] 宋长春,王毅勇,王跃思,等. 季节性冻融期沼泽湿地 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放动态[J]. 环境科学,2005,26(4):7-12.

[13] Groffman P M, Driscoll C T, Fahey T J, et al. Effects of mild winter freezing on soil nitrogen and dynamics in a northern hardwood forest [J]. Biogeochemistry, 2001,56:191-213.

[14] Prieme A, Christensen S. Natural perturbations, drying – wetting and freezing-thawing cycle, and the emission of nitrous oxide carbon dioxide and methane from farmed organic soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001,33:2083-2091.

[15] 胡小康,黄彬香,苏 芳,等. 氮肥管理对夏玉米土壤 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 中国科学:化学,2011,41(1):117-128.

[16] 易 琼,逢玉万,杨少海,等. 施肥对稻田甲烷与氧化亚氮排放的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(8):1432-1437.

[17] 王玉英,胡春胜. 施氮水平对太行山前平原冬小麦 – 夏玉米轮作体系土壤温室气体通量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011,19,(5):1122-1128.

[18] 郑智旗,王树东,何 进,等. 耕作措施对京郊冬小麦农田 CO_2 、 CH_4 排放通量的影响[J]. 农业机械学报,2014,45: 189-195.

[19] 张岳芳,郑建初,陈留根,等. 水旱轮作稻田旱作季种植不同作物对 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 生态环境学报,2012,21(9): 1521-1526.

[20] 梁 艳,干珠扎布,张伟娜,等. 灌溉对藏北高寒草甸生物量和温室气体排放的影响[J]. 农业环境科学学报,2015,34(4): 801-808.

[21] Wei D, Xu R, Tenzin-Tarchen, et al. Considerable methane uptake by alpine grasslands despite the cold climate; In situ measurements on the central Tibetan Plateau, 2008—2013[J]. Global Change Biology, 2015,21(2):777-788.

[22] Ding W, Cai Z. Effect of temperature on atmospheric CH_4 oxidation in soils[J]. Chinese Journal of Ecology, 2003,22(3):54-58.

[23] 路则栋,杜 睿,杜鹏瑞,等. 农垦对草甸草原生态系统温室气体(CH_4 和 N_2O)的影响[J]. 中国环境科学,2015,35(4):1047-1055.

[24] Berger S, Kim Y, Kettering J, et al. Plastic mulching in agriculture—Friend or foe of N_2O emissions? [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2013,167:43-51.

[25] Gil W K, Hyo S G, Seung T J, et al. Different responses of nitrogen fertilization on methane emission in rice plant included and excluded soil during cropping season[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2016,230:162-168.

[18] 刘赵帆,张国斌,郁继华,等. 氮肥形态及配比对花椰菜产量、品质和养分吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1923-1930.

[19] 杨 阳,郑秋玲,裴成国,等. 不同硝铵比对霞多丽葡萄幼苗生长和氮素营养的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 370-375.

[20] 曹翠玲. 氮素及形态对作物的生理效应[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2002: 1-105.

[21] 陈 磊,朱月林,杨立飞,等. 氮素不同形态对比对菜用大豆生长、种子抗氧化酶活性及活性氧代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 768-772.

[22] 郭晓惠,金亚波,韦建玉,等. 不同形态氮配施对烤烟碳氮代谢及烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1055-1057, 1245.

[23] 邓宏中,李 鑫,徐克章,等. 不同年代大豆品种根系伤流液中可溶性糖含量的变化及与叶片光合的关系[J]. 华南农业大学学报, 2013, 34(2): 197-202.

[24] 章笑赞,祁百福,宋世威,等. 不同铵硝对比对芥蓝伤流液组分及植株氮磷钾积累的影响[J]. 中国蔬菜, 2014(1): 31-36.

[25] 孙苗苗,邓宏中,徐克章,等. 不同年代大豆品种根系伤流液重量变化及其与叶片光合的关系[J]. 大豆科学, 2011, 30(5): 795-799.

[26] 谢迎新,刘 超,朱云集,等. 氮、硫配施对冬小麦氮素利用效率及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 64-71.

[27] 常 江,张自立,郗红建,等. 外源稀土对水稻伤流组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 522-525.

[28] Marcus S, Boy F, Peter S. Root morphology and nitrogen uptake of maize simultaneously supplied with ammonium and nitrate in a split-root system[J]. Annals of Botany, 1993, 72: 107-115.

[29] 李永梅,杜彩琼,林春苗,等. 铵态氮肥施入土壤中的转化[J]. 云南农业大学学报, 2003, 18(1): 26-29.

[30] 于秋菊,吴 琦,林忠平,等. 植物水孔蛋白研究进展[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(6): 855-866.

[31] Rodrigues M Â, Santos H, Ruivo S, et al. Slow-release N fertilizers are not an alternative to urea for fertilization of autumn-grown tall cabbage[J]. European Journal of Agronomy, 2010, 32(2): 137-143.

[32] 周箬涵,郁继华,杨兵丽,等. 不同氮素形态及配比对娃娃菜产量、品质及其养分吸收的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(3): 216-222.

[33] 李方敏,樊小林,陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 494-500.

[34] 薛利红,俞映琼,杨林章. 太湖流域稻田不同氮肥管理模式下的氮素平衡特征及环境效应评价[J]. 环境科学, 2011, 32(4): 1133-1138.

[35] 巨晓棠,刘学军,张福锁. 不同氮肥施用后土壤各氮库的动态研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 92-95.

[36] 巨晓棠,刘学军,张福锁. 小麦苗期施入氮肥在土壤不同氮库的分布和去向[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(3): 259-264.

[37] 宋 慧,冯佰利,高小丽,等. 不同品种(系)小豆花后干物质积累与转运特性[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(10): 94-100.

[38] Cox W J, Reisenauer H M. Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogen as nitrate, or ammonium, or both[J]. Plant Soil, 1973, 38: 363-380.

[39] Wang X T, Below F E. Cytokinins in enhanced growth and tillering of wheat induced by mixed nitrogen source[J]. Crop Sci, 1996, 36: 121-126.

[40] 高青海,魏 珉,杨凤娟,等. 黄瓜幼苗干物质积累、膨压及光合速率对铵态氮和硝态氮的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 120-125.

[41] 董 佳,牟 溥. 硝态氮和铵态氮对翠菊根系生长的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(4): 374-378.

(上接第 9 页)

[26] 郭腾飞,梁国庆,周 卫,等. 施肥对稻田温室气体排放及土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 337-345.

[27] 兰雅萍,黄月清,李丽容. 施氮量对稻田 CH₄ 排放的影响[J]. 福建热作科学, 2014, 39(1): 8-12.

[28] 郑土英,杨彩玲,徐世宏,等. 耕作方式和氮肥对稻田 CH₄ 排放的影响及与还原物质间的关系[J]. 广东农业科学, 2014, (13): 49-53.

[29] 齐玉春,董云社,章 申. 华北平原典型农业区土壤甲烷通量研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(3): 56-58, 60.

[30] 李秀云,张洪培,沈玉芳,等. 生物炭与氮肥对旱作玉米农田 CO₂ 和 CH₄ 排放特征的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(6): 1216-1224.

[31] Sun B F, Zhao H, Lv Y Z, et al. The effect of nitrogen fertilizer application on methane and nitrous oxide emission/uptake in Chinese croplands[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(2): 440-450.

[32] Hutsch B W, Webster C P, Powlson D S. Methane oxidation as affected by land use, soil PH and nitrogen fertilization[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1994, 26: 1613-1622.

[33] Adamsen A P S, King G M. Methane consumption in temperate and subarctic forest soils: rates, vertical zonation, and responses to water and nitrogen[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1993, 59(2): 485-490.

[34] Wang Z P, Ineson P. Methane oxidation in a temperate coniferous forest soil: effects of inorganic N[J]. Soil Biology Biochemistry, 2003, 35(3): 427-433.

[35] 张 辉,张蓓蓓. 长武县 1979—2008 年水面蒸发量与温度、降雨量关系通径分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(9): 89-93.