

DOI: 10.5846/stxb201212201835

李彬彬, 马军花, 武兰芳. 土壤溶解性有机物对 CO₂ 和 N₂O 排放的影响. 生态学报, 2014, 34(16): 4690-4697.

Li B B, Ma J H, Wu L F. Effects of dissolved organic matter in soil on the emission of CO₂ and N₂O. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(16): 4690-4697.

土壤溶解性有机物对 CO₂ 和 N₂O 排放的影响

李彬彬^{1,2}, 马军花^{1,*}, 武兰芳¹

(1. 生态系统网络观测与模拟重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 青岛农业大学, 青岛 266105)

摘要: 农田土壤是温室气体重要排放源, 溶解性有机物作为土壤微生物容易利用的基质, 其含量变化与温室气体的产生和排放密切相关。基于室内培养试验, 对溶解性有机物影响土壤 CO₂、N₂O 的排放过程进行了分析。设置空白(CK)、单施秸秆(S)、单施氮肥(N)、秸秆和氮肥(S+N)4 个不同的处理, 对添加不同物质条件下土壤溶解性有机碳(DOC)、溶解性有机氮(DON)和 CO₂、N₂O 的排放动态进行了研究, 对 DOC 和 DON 影响 CO₂、N₂O 的排放过程进行了探讨。结果表明: 不同处理的温室气体排放通量和土壤 DOC、DON 含量差异显著; 各处理的 CO₂ 排放通量和 DOC 动态随培养时间的延长呈现逐渐减小的趋势, S 和 S+N 处理的 N₂O 排放和 DON 动态呈现先增大后减小的趋势; S+N 处理的 CO₂ 排放量最高, DON 含量也显著高于其他处理, 单施秸秆(S)处理的 N₂O 排放量和 DOC 含量显著高于其它处理, 单施氮肥(N)对土壤 CO₂ 的排放量和 DOC 含量的影响较小; 土壤 CO₂ 和 N₂O 的排放通量与土壤 DOC 和 DON 含量呈显著的相关性, 相关系数(R²)达 0.6 以上, 说明溶解性有机物的含量和动态对 CO₂、N₂O 的排放过程产生显著影响。

关键词: 溶解性有机碳; 溶解性有机氮; 温室气体; 秸秆; 氮肥

Effects of dissolved organic matter in soil on the emission of CO₂ and N₂O

LI Binbin^{1,2}, MA Junhua^{1,*}, WU Lanfang¹

1 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China

2 Qingdao Agricultural University, Qingdao, 266105, China

Abstract: Agricultural soil is the main emission source of greenhouse gas. Dissolved organic matter (DOM) in agricultural soil is the labile component of organic matter and the most available substrates for microbial. Its concentration and dynamic change is closely related to the production and emission of greenhouse gas. The aim of this study was to estimate the effect of soil DOM concentration on the emission of CO₂ and N₂O after materials addition. And the relationship between the dynamics of DOM concentration and the emission of CO₂ and N₂O was evaluated after that. An incubation experiment was adopted in this study with the soil sampled from the tillage layer in the field at Yucheng comprehensive experimental station, Chinese Academy of Sciences. Four treatments, which were soil with or without material addition, i.e., straw only (S), nitrogen only (N), straw with nitrogen (S+N), and control (CK), respectively, were set. The amount of these added materials in this study was estimated based on the conventional application of N fertilizer and straw return in the North China Plain. The emissions of CO₂ and N₂O, and the concentrations of dissolved organic carbon and nitrogen (DOC/DON) were measured at different time interval during the 342 days incubation. The results showed that there was significant difference between these four treatments ($P < 0.05$) for the concentration of DOM and the emissions of CO₂ and N₂O. It presented a gradually decreasing trend in the emission of CO₂ and the concentration of DOC in soil for all these four treatments. However, the

基金项目: 国家自然科学基金(31271675); 国家科技支撑计划(2007BAD89-2)

收稿日期: 2012-12-20; 网络出版日期: 2014-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: majh@igsrr.ac.cn

emission of N₂O and the concentration of DON increased at first and then decreased with time for these two treatments of S and S+N. In addition, the treatment of S+N showed the highest average concentration of DOC and DON. The lowest mean concentration of DOC and DON was found in the treatment of N and CK, respectively. In the treatment of S+N added with N fertilizer and corn straw, the cumulative CO₂ emission was 1668.11 kg/hm² during the incubation period, which was much higher than the other three treatments. In the treatment of N added with N fertilizer only, the cumulative CO₂ emission was 196.01 kg/hm², which was much lower than the other three treatments. The highest cumulative N₂O emission, 495.75 g hm⁻², was found in the treatment of S with the addition of straw only, and the lowest cumulative N₂O emission, 136.93 g hm⁻², was found in the treatment of CK. A logarithmic equation was fitted between CO₂ emission and the time for each treatment ($R^2 > 0.57$, $P < 0.05$). There was a significant correlation between the emission of CO₂ and the concentration of DOC ($R^2 > 0.65$). It also happened between the emission of N₂O and the concentration of DON in soil ($R^2 > 0.62$), indicated that the concentration and dynamics of DOC and DON in soil caused by the addition of straw and N fertilizer had a significant influence on the emission of CO₂ and N₂O.

Key Words: dissolved organic carbon; dissolved organic nitrogen; greenhouse gas; straw; N fertilizer;

近年来,温室气体的排放所引起的全球气候变暖是科学家们广泛关注的问题。在北方旱地土壤中,温室气体主要是指 CO₂ 和 N₂O,据估计,5%—20%的 CO₂ 和 80%—90%的 N₂O 来源于土壤^[1]。土壤是温室气体产生的重要来源,其碳氮含量的改变与 CO₂ 和 N₂O 排放密切相关。溶解性有机物(DOM)是表征土壤有机质快速变化的最敏感指标之一,其含量变化对研究土壤养分循环和温室气体的排放具有重要作用^[2]。溶解性有机碳(DOC)和溶解性有机氮(DON)是 DOM 的主要组分。

土壤 DOC、DON 含量和动态对 CO₂、N₂O 排放过程产生重要影响。在沼泽土壤中,DOC 含量与 CO₂ 排放有一定的相关性^[3];Chow 在研究影响农业泥炭土壤 DOC 产生和碳循环过程的因素中指出 CO₂ 矿化量和 DOC 浓度密切相关^[4];李永夫在研究施肥对林地土壤水溶性有机碳和温室气体排放影响时发现,不同施肥处理毛竹林土壤 CO₂ 和 N₂O 排放速率分别与土壤 DOC 和 DON 含量呈显著的相关性^[5];陈涛对施肥影响水稻土有机碳矿化的研究结果表明,土壤矿化产生的 CO₂ 排放速率与水溶性有机碳含量之间的相关性达到了极显著的水平^[6]。上述学者对非农田土壤和水稻土中 DOM 与温室气体排放的关系进行了探讨,然而,在以潮土为主的农田生态系统中,关于 DOM 对温室气体排放过程影响的研究尚未见报道。

基于以上分析,本研究开展室内培养试验,对添

加秸秆和施氮肥条件下潮土中 CO₂ 和 N₂O 的排放动态,及其气体排放量与溶解性有机碳氮动态之间的相关性进行探讨,旨在揭示温室气体的排放机理,为农田生态系统的固碳减排及减缓全球温室气体的排放提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 培养试验设计

培养试验所用土壤取自中国科学院禹城综合试验站农田土壤耕层,供试土壤的理化性质:有机质 15.14 g/kg、全氮 2.12 g/kg、碱解氮 313.39 g/kg、速效磷 127.5 mg/kg、速效钾 112.97 mg/kg、pH 值 8.4。禹城试验站位于黄淮海平原的鲁西北黄河冲积平原,土壤类型为潮土,该区域主要采用冬小麦—夏玉米轮作制度。

培养试验设 4 个处理:(1)空白,即不添加秸秆和氮肥,(CK);(2)土壤中只加入秸秆,添加量为土壤质量的 2%(按照田间秸秆还田量计算),(S);(3)土壤只施用氮素,氮肥品种为尿素,氮素用量为 450 kg/hm²(根据黄淮海平原的平均施肥量计算),(N);(4)土壤中加入秸秆和氮素,秸秆用量同处理 2,氮素用量同处理 3,(S+N)。每个处理设 3 次重复。秸秆理化性质:有机碳 458 g/kg、全氮 9.2 g/kg、C/N 49.5。

在培养试验进行之前,先采取一定量的鲜土,风干,过筛;将秸秆剪成 1 mm×3 mm 的体积,65 ℃下

烘干 48 h。在培养试验时,称取 120 g 风干土样于 250 mL 的锥形瓶中,加蒸馏水使其达到田间持水量的 70%,预培养 1 周。预培养后,按上述处理加入相应的秸秆和氮肥,将其与土壤混匀,用美国 Parafilm 封口膜封口,保持透气性,在生化培养箱内 30 ℃ 恒温培养^[7]。每隔 3—5 d 检查土壤含水量并用称重法补充缺失的水分,使培养期间土壤含水量保持在田间持水量的 70%左右。整个培养期 342 d,共取样 14 次,前期密,后期时间间隔较长。每个处理 42 个样品,每次取样时,每个处理取 3 个样品作为重复。在取样的前 2 h 将封口膜去掉,使其与周围环境空气混合均匀。取样时,用自制的取样装置塞住瓶口,用注射器抽取锥形瓶内的气体,隔 2 h 后,再抽取第 2 针气体,在气相色谱仪上测定计算温室气体的排放通量^[8]。同时,将瓶内土壤取出用于测定 DOC 和 DON 等性质。

1.2 样品分析与数据处理

1.2.1 DOC 和 DON 的测定

称取过 2 mm 筛的鲜土 10.00 g 于白色塑料瓶中,加入 50 mL 蒸馏水,振荡离心,过 0.45 μm 的滤膜,所得澄清液为 DOC 浸提液^[9],在 liqui II TOC 仪上测定其浓度。DON 的含量=浸提液中全氮含量-硝态氮含量-铵态氮含量,全氮的测定方法为过硫酸钾氧化-紫外分光光度计法。

1.2.2 CO₂ 和 N₂O 的测定

土壤排放的 CO₂ 和 N₂O 采用 Agilent4890D 气相色谱仪,检测器温度为 330 ℃,柱温 55 ℃,转化器温度 375 ℃,载气为高纯氮气,标准气体购买自国家标准物质研究中心。

1.2.3 数据处理

数据采用 excel 作图,SPSS12.0 进行方差分析

2 结果

2.1 CO₂ 和 N₂O 排放通量的动态

2.1.1 CO₂ 的排放通量

不同处理下土壤中 CO₂ 排放通量如图 1 所示,各处理的土壤 CO₂ 排放通量均表现出前期释放快,后期变化平缓的排放规律。在培养初期土壤 CO₂ 排放通量最大,到第 30 天时 CO₂ 排放量急剧降低,与第 7 天相比,单施秸秆(S)处理 CO₂ 排放通量降低了 85%,秸秆和氮肥配施(S+N)处理降低了 92%,单施

氮肥(N)处理降低了 70%,在第 45 天和 75 天时,出现了 2 个波动小峰,可能是因为前期易分解的碳氮养分骤然减少使土壤微生物大量死亡,死亡的微生物又转化成可利用的碳氮源,为微生物提供物质和能量,使 CO₂ 的排放又出现了波动。从 90 天往后土壤 CO₂ 的排放量基本不变。各处理土壤 CO₂ 排放通量随采样时间变化的拟合方程如表 1 所示,为对数函数关系。

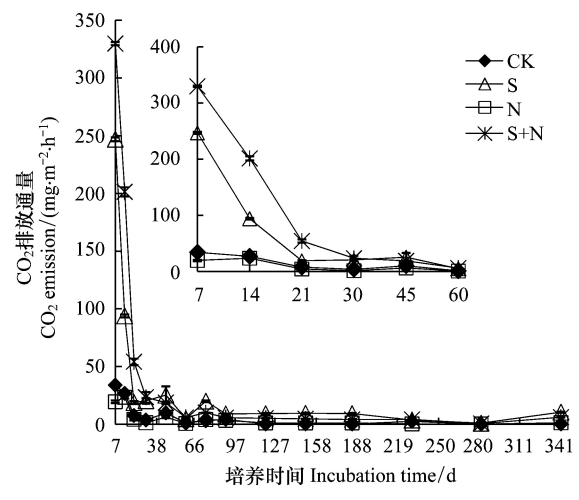


图 1 不同处理下 CO₂ 的排放通量动态

Fig.1 Dynamics of CO₂ emission for different treatments

图中均添加误差线,因误差较小,图中显示不明显;内图纵坐标为 CO₂ 排放通量;CK:空白,S:单施秸秆,N:单施氮肥,S+N:秸秆+氮肥

通过方差分析得出,各处理间 CO₂ 排放通量 S+N>S>CK>N 且差异显著 ($P<0.05$)。在整个培养期内,S+N 处理的 CO₂ 排放通量在 23—329 mg m⁻² h⁻¹ 之间,排放总量比 S 处理高 118%,是 CK 的 637%,是 N 处理的 851%(表 2),这与秸秆和氮肥能促进土壤有机碳的矿化过程有关。新鲜秸秆的加入为微生物

表 1 不同处理下土壤 CO₂ 排放速率的回归方程

Table 1 Equations of CO₂ emission under different fertilizer treatments

处理 Treatments	回归方程 Regression equation	R ²
CK	$y = -7.425\ln(x) + 48.335$	0.8091 *
S	$y = -40.55\ln(x) + 207.28$	0.6825 *
N	$y = -4.64\ln(x) + 24.24$	0.5767 *
S+N	$y = -64.3\ln(x) + 322.2$	0.7645 *

* $P<0.05$ 的差异显著性; CK:空白,S:单施秸秆,N:单施氮肥,S+N:秸秆+氮肥

物提供大量的碳源,氮肥的施入使原本受到氮素营养限制的土壤微生物活性增强,二者共同促进了微生物的生长,从而加快了土壤有机碳的矿化速率,所以 S+N 处理的 CO₂ 排放量显著高于其他处理的土壤,这与类似培养试验的研究结果相一致^[10-11]。单施氮肥可能导致微生物对碳的固定,降低了土壤有机碳的矿化率,使氮肥处理的 CO₂ 排放通量最低。

2.1.2 N₂O 的排放通量

由图 2 可知,在整个培养期内,CK、S+N 和 S 处理的土壤 N₂O 排放通量呈现出先增加后降低的趋势,N 处理的 N₂O 的排放通量则呈现逐渐减小的趋势。第 14 天时,S 处理的 N₂O 排放通量是 177.69 $\mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$,S+N 处理的 N₂O 排放通量是 78 $\mu\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$,到 21d 时 S 和 S+N 处理的排放通量急剧降低,前 60d 不同处理的 N₂O 累积排放量差异显著 ($P < 0.05$),从第 60 天往后,各个处理之间的 N₂O 的排放量差异不显著,这表明秸秆和氮肥对土壤 N₂O 排放速率的影响随着时间的延长逐渐减弱。不同处理的 N₂O 累积排放通量,S>N>S+N>CK 处理(表 2),相同氮肥添加量的情况下秸秆的施入并没有增加 N₂O 的排放,这与孟磊和蔡延江的研究 N₂O 排放通量的试验结果相一致^[12-13]。与图 1 相比,CO₂ 排放量在第 7 天达到最大,此后逐渐减小,而 N₂O 排放量则是在第 14 天达到最大,排放趋势滞后于 CO₂,这是因为,丰富的碳源使微生物大量繁殖,生化需氧量急剧增大,而土壤中 O₂ 含量不足形成了厌氧环境,有利于反硝

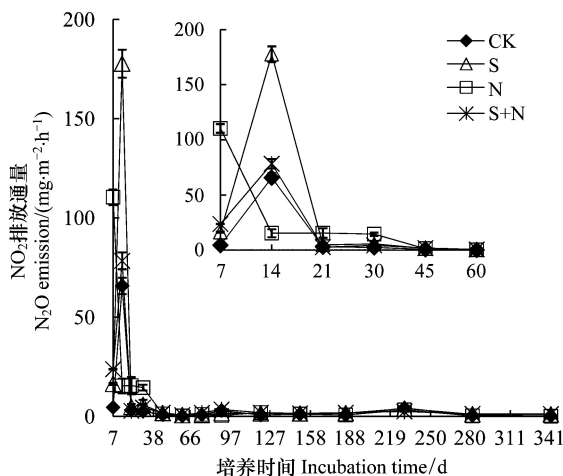


图 2 不同处理下 N₂O 的排放通量动态

Fig.2 Dynamics of N₂O emission for different treatments

内图纵坐标为 N₂O 排放通量,CK:空白,S:单施秸秆,N:单施氮肥,S+N:秸秆+氮肥

化作用的进行^[14],促进了 N₂O 的排放。

表 2 不同处理下 CO₂ 和 N₂O 排放总量的差异

Table 2 Discrepancy of total emission of CO₂ and N₂O under different treatments

处理 Treatments	CO ₂ /(kg/hm ²)	N ₂ O/(kg/hm ²)
CK	261.78a	136.93a
S	1414.22b	495.75b
N	196.01c	436.81c
S+N	1668.11d	338.97d

同列中字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)

2.2 土壤 DOC 和 DON 动态

2.2.1 土壤 DOC 动态

由图 3 所示,各处理土壤 DOC 含量呈逐渐降低的趋势,在 75 d 时,S 处理的土壤 DOC 含量急剧降低,这可能是因为秸秆中易分解组分已被利用完毕,90 d 时与 CK 处理的 DOC 含量变化基本一致,此后各处理 DOC 含量变化缓慢。在培养初期,S 处理的 DOC 含量最高,为 808.7 mg/kg,其次是 S+N 处理为 606.5 mg/kg,N 处理最低为 374.1 mg/kg,到培养结束时,CK 处理的 DOC 降幅为 20%,S 的处理的 DOC 降幅为 77%,N 处理的 DOC 降幅为 67%,S+N 的处理的 DOC 降幅为 33%,在前 60 d 内,各处理 DOC 含量的大小为 S>S+N>CK>N 且差异显著 ($P < 0.05$),在 75 d 以后,S 处理的 DOC 含量迅速降低,与 CK 含量基本相同,在整个培养期内,N 处理的 DOC 含量始终小于其他处理,这表明,秸秆能增加土壤中 DOC 的含量,而氮肥的施入会减少 DOC 的含量,这与郭锐和倪进治的研究结果相一致^[15-16]。

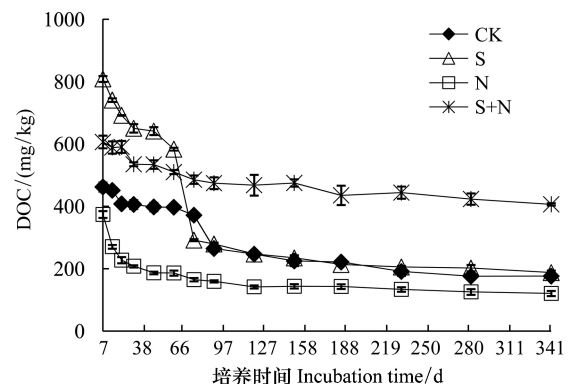


图 3 土壤 DOC 含量动态

Fig.3 Dynamics of DOC in soil for different treatments

CK:空白,S:单施秸秆,N:单施氮肥,S+N:秸秆+氮肥

2.2.2 土壤 DON 动态

由图 4 所示,CK、S 和 S+N 处理土壤 DON 含量

随着培养时间的延长呈现先升高后降低的趋势,N 处理则呈现逐渐减小的趋势,在培养末期趋于稳定。S 处理的峰值要比 S+N 处理落后 1 周,这可能是由于秸秆的 C/N 比较高,分解速度较慢所致,N 处理的 DON 含量在 14 d 时急剧降低又稍有回升后一直保持基本不变,可能是因为尿素作为酰胺态氮肥,微生物容易利用,快速转化或使 DON 含量升高,随着微生物对尿素的分解,DON 含量降低;CK 处理 DON 含量变化并不十分显著。在整个培养时期内,DON 含量 S+N>S>N>CK,处理之间差异显著($P<0.05$),S+N 处理的 DON 含量比 S 处理高 27.3%,比 N 处理高 47.6%,这表明秸秆和氮肥配施能显著增加土壤 DON 的含量,秸秆对 DON 含量的影响比氮肥显著。

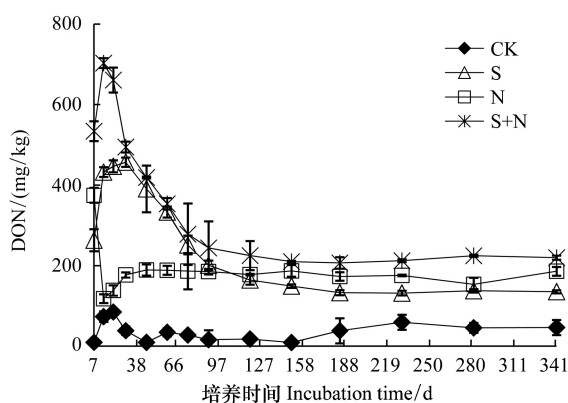


图 4 土壤 DON 含量动态

Fig.4 Dynamics of DON in soil for different treatments

CK:空白,S:单施秸秆,N:单施氮肥,S+N:秸秆+氮肥

2.3 DOM 对气体排放通量的影响

对土壤 DOC 和 DON 含量与气体排放通量之间的相关性进行分析,结果表明(表 3),土壤 DOC 和 DON 含量变化与 CO_2 和 N_2O 的排放通量呈显著的相关性,这说明,溶解性有机碳氮的含量与温室气体的排放关系密切。在碳氮转化过程中,溶解性有机碳氮既是微生物的分解产物,同时也是微生物可利用的碳氮源,其含量变化在一定程度上能影响 CO_2 和 N_2O 的排放速率。

3 讨论

3.1 养分输入对 CO_2 、 N_2O 排放过程和 DOM 含量的影响

本试验中, CO_2 排放通量和 DOC 含量在培养前期较高随培养时间延长而降低的原因是,玉米秸秆含有大量的水溶性有机物质,施入土壤后,为微生物

提供了丰富的物质和能源,微生物数量迅速增加,土壤呼吸速率急剧升高,释放出大量的 CO_2 ,随着培养时间的延长,水溶性物质逐渐被消耗,DOC 含量减小,微生物体大量死亡,土壤呼吸速率骤然降低,在培养后期,微生物的数量、可利用的碳氮源处于平衡状态,此时,DOC 含量和 CO_2 排放通量基本保持不变。这与前人研究结果基本一致,Troyer 在研究添加玉米秸秆对土壤呼吸速率的影响时指出,添加玉米秸秆后,土壤中 CO_2 累积量随培养时间的延长而增加,DOC 含量随时间的延长逐渐降低后基本保持不变^[17]。Blagodatskaya 在研究添加不同浓度的葡萄糖对土壤呼吸作用的影响时发现,不同处理的 CO_2 排放通量在前 3d 达到最大,后逐渐降低,在培养末期保持不变,DOC 含量则呈现逐渐降低的趋势^[18]。薛菁芳在研究玉米秸秆加入棕壤后溶解性有机碳氮的变化时发现,土壤中 DON 含量在培养前期逐渐上升后期逐渐下降^[19],这与仇少君对淹水条件下稻草与硫酸铵配施处理的土壤 DON 含量动态的研究结果相近^[20]。本试验中,S+N 和 S 处理的 DON 含量均先增大,后逐渐降低至稳定,与薛菁芳和仇少军的研究结果一致,这可能是因为,有机物料和氮肥的施入刺激了土壤微生物的繁殖,促进了对秸秆的分解,DON 作为有机物料的分解产物,含量逐渐升高,此后,又作为微生物可利用的氮源被逐渐分解,含量降低趋于稳定。

表 3 土壤 DOC、DON 含量与 CO_2 、 N_2O 排放通量的相关性

Table 3 Correlation between DOC, DON and CO_2 , N_2O emission in soil

处理 Treatments	R^2	
	CO_2 与 DOC	N_2O 与 DON
CK	0.718 *	0.826 *
S	0.898 *	0.620 *
N	0.658 *	0.792 *
S+N	0.885 *	0.725 *

* $P<0.05$ 的差异显著性

氮肥是影响 N_2O 排放和 DON 含量的重要因素。在单施氮肥的处理中, N_2O 排放通量和 DON 含量均在第 14 天降至最低后基本保持不变,这是因为尿素在土壤中的全部水解时间是 14d 左右,其水解产物主要是 NO_3^- ^[21]。尿素作为酰胺态氮肥施入土壤后导致 DON 含量升高,随后由于硝化细菌和反硝化细菌对其的快速水解,使土壤 DON 含量降低,到第 14

天时达到最低值。在本试验中,与对照相比,氮肥的添加促进 N₂O 的排放和 DON 含量的上升,这与前人研究结果一致,朱霞在研究外加可溶性碳氮对不同热量带土壤 N₂O 排放的影响时指出,与对照相比,氮肥的添加能显著促进 N₂O 的排放^[22],李鑫在研究不同施肥方式对氨挥发和 N₂O 排放的影响时发现,氮肥施用大大提高了氧化亚氮的排放量,不同施肥处理的氧化亚氮排放量存在显著差异^[23],谢秉楼在研究覆盖与施肥处理对雷竹林土壤水溶性有机氮影响的结果表明,随着施肥量的增加,土壤溶解性有机氮的含量也逐渐增加^[24]。此外,氮肥的添加能促进土壤 CO₂ 的排放^[11],但是也有研究表明,有机碳累计矿化量(以 CO₂ 排放量计)随着氮沉降量的增加而降低,氮输入对土壤有机碳矿化产生抑制作用^[25-26]。本试验中,单施氮肥处理的 CO₂ 排放和 DOC 含量均小于 CK 处理,可能是因为氮肥能降低木质素酶的活性^[27],从而抑制了有机碳的矿化,土壤中的可溶性物质减少。S+N 处理的 CO₂ 排放通量要大于 S 处理,是因为秸秆为微生物提供了可利用碳源,N 肥的添加降低了外源性物质的 C/N,增加了可矿化态碳的潜力,加快了微生物量的周转速度,促进了有机质的矿化过程,DOC 作为微生物周转过程中的重要底物,被微生物以 CO₂ 的形式更多的释放出来,所以 S+N 处理的 DOC 含量也小于 S 处理的含量。

3.2 DOM 对 CO₂、N₂O 排放过程的影响

土壤有机碳的矿化是土壤中重要的生物学过程,秸秆添加必然会引起微生物活动的改变,从而影响了有机碳氮组分的变化,对有机碳的矿化产生重要影响。Yoshitaka 研究表明,种植大豆土壤的呼吸速率与 DOC 含量密切相关^[28]。Stephan 研究发现,在沼泽土壤中,DOC 的组成影响了土壤呼吸速率,CO₂ 的释放量与芳香族化合物含量和复杂的 DOC 分子有关^[3]。陈涛等指出,不同施肥处理下土壤中 DOC 含量与土壤有机碳的矿化量呈显著的相关性^[5]。在本试验中,CO₂ 的排放通量与 DOC 含量呈显著相关性,相关系数(R^2)在 0.6 以上,这表明土壤 CO₂ 的排放通量与 DOC 含量的动态变化有密切关系,主要是因为 DOC 是微生物较容易利用的底物。

当秸秆进入土壤后,秸秆本身含有大量的水溶性物质,其中易分解的组分能充分被微生物分解和利用,释放出 N₂O 和一些水溶性分子结构简单的有

机氮化合物^[4],DON 含量的变化是导致土壤 N₂O 的排放量改变的重要原因。李永夫研究指出,不同施肥处理毛竹林土壤 N₂O 排放速率与土壤 DON 含量呈显著的相关性^[4],赵满兴则指出土壤中 DON 含量与土壤矿化势的相关性并没有达到显著水平,可能与 DON 中所含的易降解的低分子量有机氮所占的比例有关^[29],本试验中 N₂O 的排放与土壤 DON 含量显著相关,这表明 N₂O 排放底物 NO₃⁻ 的来源有土壤 DON 的贡献,可能是因为外源碳氮的添加改变了土壤氮库的平衡状态,促进了氮矿化量的增加,从而影响了土壤 N₂O 排放的动态。

4 结论

(1) 秸秆施入土壤后,随着培养时间的延长,各处理的 CO₂ 排放通量和土壤 DOC 的含量均表现出了逐渐降低的趋势,且培养前期降低幅度较大,然后缓慢减小,培养后期基本保持不变,不同处理间的差异显著。S 处理和 S+N 处理的 N₂O 排放通量和土壤 DON 含量变化呈现先增大后减小的规律,单施氮肥处理的 N₂O 和土壤 DON 含量随培养时间的延长逐渐降低。

(2) 秸秆和氮肥的配施比单施秸秆显著促进 CO₂ 的排放,单施秸秆的土壤 N₂O 排放通量和土壤 DOC 含量显著高于其他处理,单施氮肥的 CO₂ 排放通量和 DOC 含量显著低于 CK 处理,这表明单施氮肥能降低土壤 CO₂ 排放通量和土壤 DOC 的含量。

(3) 不同处理下土壤的 CO₂ 排放通量和 DOC 含量、N₂O 排放通量和土壤 DON 含量呈显著相关性,表明土壤 DOC 和 DON 与农田温室气体排放密切相关。

References:

- [1] Song L N, Zhang Y M, Hu C S, Zhang X Y, Dong W X, Wang Y Y, Qin S P. Comprehensive analysis of emissions and global warming effects of greenhouse gases in winter-wheat fields in the high-yield agro-region of North China Plain. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(3): 297-307.
- [2] Magill A H, Aber J D. Variation in soil net mineralization rates with dissolved organic carbon additions. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(5): 597-601.
- [3] Glatzel S, Kalbitz K, Dalva M, Moore T. Dissolved organic matter properties and their relationship to carbon dioxide efflux from restored peat bogs. *Geoderma*, 2003, 113(3/4): 397-411.

- [4] Chow A T, Tanji K K, Gao S D, Dahlgren R A. Temperature, water content and wet-dry cycle effects on DOC production and carbon mineralization in agricultural peat soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(3): 477-488.
- [5] Li Y F, Jiang P K, Liu J, Wang X D, Wu J S, Ye G P, Zhou G M. Effect of fertilization on water-soluble organic C, N and emission of greenhouse gases in the Soil of *Phyllostachys edulis* Stands. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(12): 165-170.
- [6] Chen T, Hao X H, Du L J, Lin S, Feng M L, Hu R G, Gao J Y. Effects of long-term fertilization on paddy soil organic carbon mineralization. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1494-1500.
- [7] Qi Y C, Dong Y S. Nitrous oxide emissions from soil and some influence factors. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(6): 535-541.
- [8] Li Y C, Song C C, Hou C C, Wang X W, Sun X X. Effects of exogenous nitrogen availability on carbon mineralization of different wetland soil types in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 12(31): 1480-1486.
- [9] Yan D Z, Wang D J, Sun R J, Lin J H. N mineralization as affected by long-term N fertilization and its relationship with crop N uptake. *Pedosphere*, 2006, 16(1): 125-130.
- [10] Huang J, Liu H B, Wang B R. CO₂, N₂O Emission from red soil dry-land under long-term fertilization. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24): 428-433.
- [11] Ye D Z, Wang D J. Carbon and nitrogen mineralization affected by long-term application of chemical fertilizer and rice straw in paddy soil. *Soil*, 2011, 43(4): 529-533.
- [12] Cai Y J, Wang L F, Wen L Y, Xie H T, Zhang X D. Nitrous oxide emission from long-term fertilized black soil by laboratory incubation. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2): 617-621.
- [13] Meng L, Ding W X, Cai Z C. Effects of long-term fertilization on N distribution and N₂O emission in fluvo-aquic soil in North China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 6197-6230.
- [14] Meng L, Ding W X, Cai Z C. Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N₂O emissions, soil quality and crop production in a sandy loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(11): 2037-2045.
- [15] Guo R, Wang J K, Li Y S. Effect of the long-term mulching and different treatments on dissolved organic carbon in brown soil. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(9): 2672-267.
- [16] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, Wang D J. Contents of wsoc and characteristics of its composition under different fertilization systems. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(5): 724-729.
- [17] de Troyer I, Amery F, van Moorlehem C, Smolders E, Merckx R. Tracing the source and fate of dissolved organic matter in soil after incorporation of a ¹³C labelled residue A batch incubation study. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(3): 513-519.
- [18] Blagodatskaya E, Yuyukina T, Blagodatsky S, Kuzyakov Y. Three-source-partitioning of microbial biomass and of CO₂ efflux from soil to evaluate mechanisms of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(4): 778-786.
- [19] Xue J F, Chen B Q, Wang J K. Effect of maize residues on dissolved organic nitrogen and dissolved inorganic nitrogen in brown earth. *Heilongjiang Agriculture Sciences*, 2011, (4): 41-45.
- [20] Chou S J, Peng P Q, Rong X M. Dynamics of soil microbial biomass and dissolved organic carbon and nitrogen under flooded condition. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(11): 2052-2058.
- [21] Yan L L, Zhang F S, Mao R G, Gao Q, Ju X T. Soil net N and C mineralization and urea transformation in agroecosystems across North China Plain. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(5): 824-830.
- [22] Zhu X, Han Z X, Qiao Y F, Wang S Y. Influence of soluble carbon and nitrogen on N₂O emission from different thermal zones soil. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12): 2637-2644.
- [23] Lin X, Ju X T, Zhang L J, Wan Y J, Liu S Q. Effects of different fertilization modes on soil ammonia volatilization and nitrous oxide emission. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 99-104.
- [24] Xie B L, Wu J S, Xu Q F, Jiang P K. Effect of different fertilization and mulching on water soluble organic of the soil under phyllostachy praecox stands. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(6): 1169-1171.
- [25] Bowden R D, Davidson E, Savage K, Arabia C, Steudler P. Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest. *Forest Ecology and Management*, 2004, 196(1): 43-56.
- [26] Burton A J, Pregitzer K, Crawford J N, Zogg G P, Zak D R. Simulated chronic NO₃⁻ deposition reduces soil respiration in northern hardwood forests. *Global Change Biology*, 2004, 10(7): 1080-1091.
- [27] Meijide A, Cárdenas L M, Sánchez-Martín L, Vallejo A. Carbon dioxide and methane fluxes from a barley field amended with organic fertilizers under Mediterranean climatic conditions. *Plant and Soil*, 2010, 328(1/2): 353-367.
- [28] Yoshitaka U, Nishimura S, Akiyama H. The relationship of water-soluble carbon and hot-water-soluble carbon with soil respiration in agricultural fields. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2012, 156: 116-122.
- [29] Zhao M X, Kalbitz K, Zhou J B. Dynamics of soluble organic nitrogen and its relation to mineralization of soil organic nitrogen during incubation of several soils in Loess Region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(4): 122-127.

参考文献:

- [1] 宋利娜, 张玉铭, 胡春胜, 张喜英, 董文旭, 王玉英, 秦树平. 华北平原高产农区冬小麦农田土壤温室气体排放及其综合温室效应. 中国生态农业学报, 2013, 21(3): 297-307.
- [5] 李永夫, 姜培坤, 刘娟, 王旭东, 吴家森, 叶耿平, 周国模. 施肥对毛竹林土壤水溶性有机碳氮与温室气体排放的影响. 林业科学, 2010, 46(12): 165-170.
- [6] 陈涛, 郝晓辉, 杜丽君, 林杉, 冯明磊, 胡荣桂, 高瑞赟. 长期施肥对水稻土壤有机碳矿化的影响. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1494-1500.
- [7] 齐玉春, 董云社. 土壤氧化亚氮产生、排放及其影响因素. 地理科学, 1999, 54(6): 535-541.
- [8] 李英臣, 宋长春, 侯翠翠, 王宪伟, 孙晓新. 氮可利用性对东北不同类型湿地土壤有机碳矿化的影响. 地理科学, 2011, 12(31): 1480-1486.
- [10] 黄晶, 刘洪斌, 王伯仁. 长期施肥下红壤旱地 CO₂、N₂O 排放特征. 中国农学通报, 2009, 25(24): 428-433.
- [11] 闫德智, 王德建. 长期施用化肥和秸秆对水稻土碳氮矿化的影响. 土壤, 2011, 43(4): 529-533.
- [12] 蔡延江, 王连峰, 温丽燕, 解宏图, 张旭东. 培养实验研究长期不同施肥制度下中层黑土氧化亚氮的排放特征. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 617-621.
- [13] 孟磊, 蔡祖聪, 丁维新. 长期施肥对华北典型潮土 N 分配和 N₂O 排放的影响. 生态学报, 2008, 28(12): 6197-6230.
- [15] 郭锐, 汪景宽, 李双异. 长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤水溶性有机碳的影响. 安徽农业科学, 2007, 35(9): 2672-2673.
- [16] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 王德建. 不同施肥处理下土壤水溶性有机碳含量及其组成特征的研究. 土壤学报, 2003, 40(5): 724-729.
- [19] 薛菁芳, 陈书强, 汪景宽. 玉米秸秆对棕壤中可溶性有机碳和无机氮的影响. 黑龙江农业科学, 2011, (4): 41-45.
- [20] 仇少君, 彭佩钦, 荣湘民. 淹水培养条件下土壤微生物生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮的动态. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2052-2058.
- [21] 杨莉琳, 张福锁, 毛仁钊, 高强, 巨晓棠. 华北平原农田生态系统土壤 C、N 净矿化及尿素转化研究. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 824-830.
- [22] 朱霞, 韩晓增, 乔云发, 王守宇. 外加可溶性碳氮对不同热量带土壤 N₂O 排放的影响. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2637-2644.
- [23] 李鑫, 巨晓棠, 张丽娟, 万云静, 刘树庆. 不同施肥方式对土壤氨挥发和氧化亚氮排放的影响. 应用生态学报, 2008, 19(1): 99-104.
- [24] 谢秉楼, 吴家森, 徐秋芳, 姜培坤. 覆盖与施肥处理对雷竹林土壤水溶性有机氮的影响. 土壤学报, 2009, 46(6): 1169-1171.
- [29] 赵满兴, Kalbitz K, 周建斌. 黄土区几种土壤培养过程中可溶性有机氮的变化及其与土壤矿化氮的关系. 水土保持学报, 2008, 22(4): 122-127.