

# 外加碳氮对不同有机碳土壤 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放的影响

田亚男<sup>1</sup>, 张水清<sup>1,2</sup>, 林 杉<sup>1\*</sup>, Muhammad Shaaban<sup>1</sup>, 何志龙<sup>1</sup>

(1.华中农业大学资源与环境学院/农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070; 2.河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002)

**摘 要:**以两种有机碳含量不同的土壤为对象,采用室内培养试验方法,研究了外加可溶性碳氮对黄棕壤(高有机碳含量)和紫色土(低有机碳含量)N<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>排放的影响。试验设置五种处理分别为:对照(CK),低氮(LN),高氮(HN),低氮配施碳(LNC)和高氮配施碳(HNC)。结果表明,土壤有机碳含量较高的黄棕壤各处理 N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放均高于紫色土。与对照相比,单施氮肥显著促进了两种土壤 N<sub>2</sub>O 排放,紫色土 HN 处理 N<sub>2</sub>O 排放最高,而黄棕壤 LN 处理最高;与单施氮肥相比,LNC 和 HNC 处理均显著降低了紫色土 N<sub>2</sub>O 排放,而黄棕壤仅 LNC 处理 N<sub>2</sub>O 排放显著降低。外源碳的输入显著提高了两种土壤 CO<sub>2</sub> 排放,但单施氮肥对 CO<sub>2</sub> 排放影响不明显。黄棕壤 N<sub>2</sub>O 排放通量与 CO<sub>2</sub> 排放通量呈极显著正相关,而紫色土 N<sub>2</sub>O 排放通量与 CO<sub>2</sub> 排放通量没有相关关系。上述结果说明,外加可溶性碳氮源对土壤呼吸及硝化-反硝化强度有一定的激发效应。

**关键词:**不同有机碳土壤;可溶性碳;N<sub>2</sub>O 排放;CO<sub>2</sub> 排放

中图分类号:X511 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)12-2410-08 doi:10.11654/jaes.2015.12.022

## Influence of Soluble Carbon and Nitrogen Additions on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> Emissions from Two Soils with Different Organic Carbon Content

TIAN Ya-nan<sup>1</sup>, ZHANG Shui-qing<sup>1,2</sup>, LIN Shan<sup>1\*</sup>, Muhammad Shaaban<sup>1</sup>, HE Zhi-long<sup>1</sup>

(1.College of Recourses and Environment, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Arable Land Conservation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China; 2.Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** A laboratory study was conducted to evaluate the influence of soluble carbon and nitrogen additions on N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from two soils with different organic carbon content: yellow brown soil (higher organic carbon) and purple soil (lower organic carbon). Five treatments were designed as follows: control (CK), low N (LN), high N (HN), low N + soluble C (LNC), high N + soluble C (HNC). Results showed that N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from yellow brown soil were higher than those from purple soil, due to higher organic C content in yellow brown soil. Additions of nitrogen significantly enhanced N<sub>2</sub>O emissions from both soils, compared with the control treatment. In purple soil, the N<sub>2</sub>O emissions had significant positive correlation with N rate, whereas the maximum N<sub>2</sub>O emission was observed in LN treatment in yellow brown soil. Compared with single N treatments, additions of both N and C lowered N<sub>2</sub>O emissions in purple soil at two N rates, but such effect was observed in yellow brown soil only at LNC treatment. Addition of soluble carbon significantly increased CO<sub>2</sub> emissions in both soils, whereas nitrogen additions did not obviously influence CO<sub>2</sub> emissions. Highly significant and positive correlation between N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions was found in yellow brown soil, but not in purple soil. These results demonstrate that the additions of soluble carbon and nitrogen have stimulating effects on soil respiration and nitrification-denitrification intensity.

**Keywords:** soil organic carbon content; soluble carbon; nitrous oxide; carbon dioxide

收稿日期:2015-08-02

基金项目:国家自然科学基金项目(41201255,41171212);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2013PY114);公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203030-5);河南省农业科学院自主创新专项基金

作者简介:田亚男(1991—),女,山东聊城人,硕士研究生,从事农田温室气体研究。E-mail:tynfighting@163.com

\*通信作者:林 杉 E-mail:linshan@mail.hzau.edu.cn

近年来,温室气体排放导致的全球气候变暖引起了广泛关注。N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 是重要的温室气体,对温室效应的贡献率达到近 80%<sup>[1]</sup>,而 CO<sub>2</sub> 的贡献率占了一半以上<sup>[2]</sup>,N<sub>2</sub>O 浓度虽然相对较低,但其增温潜势是 CO<sub>2</sub> 的 298 倍,对全球变暖的贡献占温室气体总贡献的 5%~6%<sup>[3]</sup>。据 IPCC(2014)综合报告,自 1750 年(工业革命)以来,大气中 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 浓度分别增加了 40%和 20%,且在 2002—2011 年间,CO<sub>2</sub> 浓度以每年  $(2.0\pm0.1)\times10^{-6}$  的速率增加的最快,而 N<sub>2</sub>O 浓度也以每年  $(0.73\pm0.03)\times10^{-9}$  的速率不断增加<sup>[4]</sup>。因此,对 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放的研究已成为各国的研究热点。

土壤是温室气体产生的重要来源,有关研究表明,大气中有 5%~20%的 CO<sub>2</sub> 和 80%~90%的 N<sub>2</sub>O 来源于土壤<sup>[5]</sup>。土壤是陆地生态系统的碳氮库,其碳氮含量的变化与 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放密切相关。碳氮源的添加改变了土壤养分循环和微生物活性,进而改变了温室气体的产生与排放<sup>[6-7]</sup>。土壤中的氮素一方面促进有机质的矿化分解,产生 CO<sub>2</sub>,另一方面为 N<sub>2</sub>O 的产生提供底物;而碳不仅为微生物活动提供碳源与能源,也为反硝化过程提供电子受体<sup>[8-9]</sup>。因此,土壤中碳氮含量或其比例及其生物有效性对有机质矿化与反硝化过程有重要控制作用。有研究表明,向土壤中添加碳氮源后明显促进了 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放<sup>[10]</sup>;Lin 等<sup>[11]</sup>研究表明施用氮肥显著促进红壤区农田 N<sub>2</sub>O 排放;以葡萄糖作为外加碳源易促进土壤 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放<sup>[12]</sup>;耿远波等<sup>[13]</sup>对温带草原土壤的碳氮含量及温室气体通量的相关性研究显示 N<sub>2</sub>O 通量与有机碳含量、C/N 及 CO<sub>2</sub> 通量均呈显著相关。虽然国内外已经有不少碳氮源对土壤温室气体排放的研究,但是有机碳含量不同土壤的温室气体对于外源碳氮的响应研究报道较少。本研究以湖北省秭归县不同有机碳含量的土壤为对象,运用静态培养法,设置室内培养试验,探究碳氮源对 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放的影响,以期明确 N<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> 排放特征与土壤有机碳差异、碳氮含量的关系,从而为合理施肥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 供试土壤

采集位于湖北省秭归县 (30° 38'~31° 11'N, 110° 18'~111° 0'E)两种类型的表层(0~20 cm)土壤,两种土壤分别为有机碳含量不同的黄棕壤(Y)和紫色土(P),土地利用方式均为林地,主要树种有马尾松和樟

树等。土样采集后,风干、磨细过 2 mm 筛备用。供试土壤基本性质见表 1。

表 1 土壤基本性质  
Table 1 Basic properties of soil

| 样地类型<br>Soil type  | pH   | 有机碳<br>SOC/<br>g·kg <sup>-1</sup> | 全氮<br>Total N/<br>g·kg <sup>-1</sup> | 微生物量<br>碳 MBC/<br>mg·kg <sup>-1</sup> | 可溶性有<br>机碳 DOC/<br>mg·kg <sup>-1</sup> | 硝态氮<br>NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/<br>mg·kg <sup>-1</sup> | 铵态氮<br>NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/<br>mg·kg <sup>-1</sup> |
|--------------------|------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 黄棕壤<br>Yellow soil | 5.21 | 30.0                              | 1.19                                 | 375.2                                 | 220.2                                  | 4.8                                                            | 14.3                                                           |
| 紫色土<br>Purple soil | 8.56 | 13.6                              | 0.94                                 | 131.5                                 | 78.9                                   | 1.1                                                            | 9.7                                                            |

### 1.2 实验设计

基于采集的两种不同有机碳含量土壤(黄棕壤和紫色土),研究 80%WFPS 条件下,外源碳氮添加和无外源碳氮添加对土壤 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放的影响。4 种外源碳氮添加和无外源碳氮添加包括:对照(CK:未添加外源碳氮)、低氮处理(LN:硫酸铵,100 mg N·kg<sup>-1</sup>)、高氮处理(HN:硫酸铵,400 mg N·kg<sup>-1</sup>)、低氮配施碳处理(LNC:硫酸铵+葡萄糖,100 mg N·kg<sup>-1</sup>+10 g Glu·kg<sup>-1</sup>)、高氮配施碳处理(HNC:硫酸铵+葡萄糖,400 mg N·kg<sup>-1</sup>+10 g Glu·kg<sup>-1</sup>)。试验培养温度为 25 ℃。

实验操作方法:称取不同土壤的风干样品 100 g 若干份,分别置于 1000 mL 培养瓶中,加入蒸馏水湿润土壤,培养 10 d 以消除干湿效应,按上述试验处理将所需的硫酸铵和葡萄糖溶于蒸馏水,每一份土壤分别加入硫酸铵、葡萄糖。按试验要求用蒸馏水调节含水量 80%(WFPS),每隔一天通过测重法保持含水量。用中间有两个小孔的硅橡胶塞塞住瓶口,在胶塞的两小孔中分别插入玻璃管,并在外端套上具三通阀的软管,作为气体取样口和交换口。在确认培养瓶密封性能完好后,将所有培养瓶放入生化培养箱中,在  $(25\pm1.0)$ ℃下培养 42 d。每个处理设 6 个重复,3 个用于 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 浓度测定,3 个用于培养结束时测定土壤可溶性有机碳(DOC)含量。

在培养开始后的第 0.5、1、2、3、4、6、11、16、21、31、42 d 采集气体样品,分别测定土壤 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 产生速率。采样前,反复抽气并通入大气使瓶内气体浓度与瓶外大气浓度平衡,采集培养瓶上部空间气体样本,作为初始气体浓度,记录采样时间,密闭静置培养 2 h 后,用注射器抽气 3 次,立即采集气体样品存入事先抽成真空的集气瓶中,并再次记录采样时间。

气样中的 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 浓度由气相色谱仪(Agilent 7890A)测定<sup>[14-15]</sup>。土壤样品中 DOC 含量采用德国

Elementer Vario TOC 仪测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 对不同处理 3 个重复对应的 N<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> 排放量及 DOC 含量进行计算,采用 SPSS16.0 对不同处理 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 累计排放量及 DOC 含量进行方差分析,对 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 关系进行 Pearson 相关分析,采用 Origin8.0 对外加碳氮源对 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放影响及其相关关系进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 外加碳、氮后不同土壤 N<sub>2</sub>O 排放的变化

外加可溶性碳、氮源后 N<sub>2</sub>O 排放通量的动态变化如图 1 所示。黄棕壤与紫色土各处理 N<sub>2</sub>O 排放时间动态表现基本一致。在培养初期,各处理 N<sub>2</sub>O 排放通量较高,第 1 d 或第 2 d 达到峰值,之后随着培养时间的延长迅速下降,黄棕壤在培养第 11 d 后趋于稳定,而紫色土在培养第 21 d 后趋于稳定。土壤有机碳、微生物量碳等含量较高的黄棕壤 N<sub>2</sub>O 平均排放通量和累积排放量均高于紫色土(图 1)。培养期间不同处理

黄棕壤 N<sub>2</sub>O 平均排放通量范围为 2.69~15.18 μg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,各处理 N<sub>2</sub>O 累积排放量大小顺序为 LN>HN>LNC>HNC>CK;紫色土 N<sub>2</sub>O 平均排放通量范围为 0.10~2.24 μg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,各处理 N<sub>2</sub>O 累积排放量大小顺序为 HN>LN>HNC>CK>LNC(表 2)。

与对照相比,外加氮源显著促进不同有机碳含量土壤 N<sub>2</sub>O 排放。高有机碳含量的黄棕壤, LN 和 HN 处理的 N<sub>2</sub>O 排放均显著高于 CK 处理( $P<0.05$ ),但 N<sub>2</sub>O 排放未随着施氮量的增高而增高, LN 处理最高, N<sub>2</sub>O 累积排放量为 4 145.99 μg·kg<sup>-1</sup>,是 CK 处理的 4.51 倍。低有机碳含量的紫色土, LN 和 HN 处理的 N<sub>2</sub>O 排放也显著高于 CK 处理( $P<0.05$ ),且 N<sub>2</sub>O 的排放随着施氮量的增高而增高, HN 处理 N<sub>2</sub>O 累积排放量为 1 278.50 μg·kg<sup>-1</sup>,是 CK 处理的 9.02 倍。

加入碳源后,与单施氮肥相比,紫色土 N<sub>2</sub>O 累积排放量显著降低( $P<0.05$ ), LNC 处理和 HNC 处理 N<sub>2</sub>O 累积排放量分别为-21.18、173.59 μg·kg<sup>-1</sup>,分别降低了 102.92%和 86.42%。与 LN 处理相比,黄棕壤 LNC 处理 N<sub>2</sub>O 累积排放量显著降低了 47.65% ( $P<$

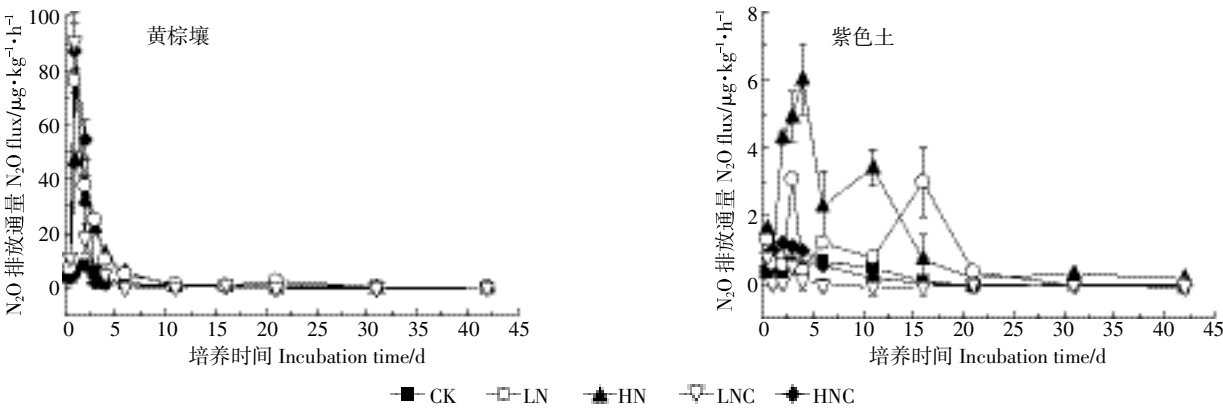


图 1 外加可溶性碳、氮后不同土壤 N<sub>2</sub>O 排放通量随时间动态变化

Figure 1 Temporal dynamics of nitrous oxide fluxes from different soils after additions of soluble C and N

表 2 不同有机碳土壤 N<sub>2</sub>O 排放

Table 2 N<sub>2</sub>O fluxes from soils with different organic carbon content

| 碳氮添加 Additions of carbon and nitrogen | 黄棕壤 Yellow soil                                                    |                                                          | 紫色土 Purple soil                                                    |                                                          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                       | N <sub>2</sub> O 平均排放通量                                            | N <sub>2</sub> O 累积排放量                                   | N <sub>2</sub> O 平均排放通量                                            | N <sub>2</sub> O 累积排放量                                   |
|                                       | N <sub>2</sub> O average flux/μg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> | N <sub>2</sub> O cumulative emission/μg·kg <sup>-1</sup> | N <sub>2</sub> O average flux/μg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> | N <sub>2</sub> O cumulative emission/μg·kg <sup>-1</sup> |
| CK                                    | 2.69±0.44c                                                         | 919.59±165.18c                                           | 0.28±0.08d                                                         | 141.76±80.09c                                            |
| LN                                    | 15.18±0.83a                                                        | 4 145.99±212.44a                                         | 1.02±0.11b                                                         | 726.51±150.32b                                           |
| HN                                    | 11.43±0.53a                                                        | 3 090.89±146.76b                                         | 2.24±0.39a                                                         | 1 278.50±313.18a                                         |
| LNC                                   | 12.12±1.76a                                                        | 2 170.33±636.29b                                         | 0.10±0.16d                                                         | -21.18±142.24d                                           |
| HNC                                   | 13.85±2.02a                                                        | 2 967.74±778.39b                                         | 0.58±0.27c                                                         | 173.59±156.82c                                           |

注:表中不同英文字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different letters within a column mean significant difference( $P<0.05$ ). The same below.

0.05),但 HNC 处理 N<sub>2</sub>O 累积排放量与 HN 处理差异不显著。同碳水平,黄棕壤与紫色土 N<sub>2</sub>O 排放均随着施氮量的增加而升高(表 2),紫色土中 HNC 处理 N<sub>2</sub>O 排放显著高于 LNC 处理( $P<0.05$ )。

## 2.2 外加碳、氮后不同土壤 CO<sub>2</sub> 排放的变化

图 2 为添加碳氮源后土壤 CO<sub>2</sub> 随时间排放的动态变化。土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量在培养期内,表现为先增后降而后趋于稳定的状态,黄棕壤在第 21 d 已趋平稳,而紫色土在第 11 d 以后逐渐平稳。土壤有机碳、微生物量碳等含量较高的黄棕壤 CO<sub>2</sub> 平均排放通量和累积排放量均高于紫色土(图 2、表 3)。培养期间不同处理黄棕壤 CO<sub>2</sub> 平均排放通量范围为 0.71~4.29 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,各处理 CO<sub>2</sub> 累积排放量大小顺序为 HNC>LNC>CK>HN>LN;紫色土 CO<sub>2</sub> 平均排放通量范围为 0.75~3.03 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>,各处理 CO<sub>2</sub> 累积排放量大小顺序为 HNC>LNC>HN>CK>LN(表 3)。

施氮对黄棕壤 CO<sub>2</sub> 排放无显著影响,黄棕壤 LN 和 HN 处理 CO<sub>2</sub> 累积排放量分别为 532.21、685.07 mg·kg<sup>-1</sup>,降低了 25.50%和 4.10%;与 CK 处理相比,高氮处理显著促进紫色土 CO<sub>2</sub> 排放,紫色土 HN 处理 CO<sub>2</sub> 累积排放量为 637.78 mg·kg<sup>-1</sup>,较

CK 处理提高 38.73%,而 LN 处理对紫色土 CO<sub>2</sub> 排放无显著影响。

加入碳源后,明显促进了两种土壤 CO<sub>2</sub> 累积排放量( $P<0.05$ ),黄棕壤 LNC 和 HNC 处理 CO<sub>2</sub> 累积排放量分别为 2 309.02、2 664.31 mg·kg<sup>-1</sup>,较单施氮肥增加了 76.95%、74.29%。紫色土 LNC 和 HNC 处理 CO<sub>2</sub> 累积排放量分别为 1 263.71、1 347.85 mg·kg<sup>-1</sup>,较单施氮肥增加了 69.21%、52.68%。同碳水平,黄棕壤和紫色土 CO<sub>2</sub> 累积排放量均随施氮量增加而增加,但差异不显著。

## 2.3 土壤可溶性有机碳

培养试验末期黄棕壤 DOC 含量范围为 72.43~221.68 mg·kg<sup>-1</sup>,紫色土 DOC 含量范围为 64.09~87.85 mg·kg<sup>-1</sup>(表 4)。外加氮源显著降低黄棕壤 DOC 含量( $P<0.05$ ),HN 处理降幅大于 LN 处理,其可溶性有机碳变化量( $\Delta$ DOC)分别为 94.48、51.78 mg·kg<sup>-1</sup>;外加氮源对紫色土  $\Delta$ DOC 无显著影响。黄棕壤与紫色土的高氮配施碳处理对  $\Delta$ DOC 均有显著影响,培养结束后黄棕壤与紫色土 HNC 处理的 DOC 含量分别降低了 149.25、23.76 mg·kg<sup>-1</sup>,相应的 CO<sub>2</sub> 排放均为最高值(表 3),土壤 CO<sub>2</sub> 排放与 DOC 消耗有关。

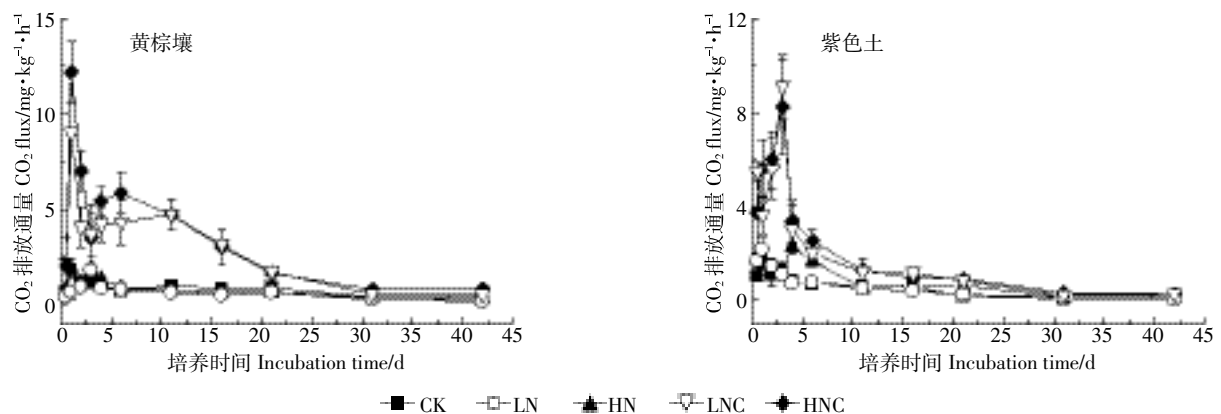


图 2 外加可溶性碳、氮后不同土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量随时间动态变化

Figure 2 Temporal dynamics of carbon dioxide fluxes from different soils after additions of soluble C and N

表 3 不同有机碳土壤 CO<sub>2</sub> 排放

Table 3 CO<sub>2</sub> fluxes from soils with different organic carbon content

| 碳氮添加 Additions of carbon and nitrogen | 黄棕壤 Yellow soil                                                                             |                                                                                  | 紫色土 Purple soil                                                                             |                                                                                  |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | CO <sub>2</sub> 平均排放通量<br>CO <sub>2</sub> average flux/mg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> | CO <sub>2</sub> 累积排放量<br>CO <sub>2</sub> cumulative emission/mg·kg <sup>-1</sup> | CO <sub>2</sub> 平均排放通量<br>CO <sub>2</sub> average flux/mg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> | CO <sub>2</sub> 累积排放量<br>CO <sub>2</sub> cumulative emission/mg·kg <sup>-1</sup> |
| CK                                    | 0.92±0.05c                                                                                  | 714.36±20.92b                                                                    | 0.75±0.06c                                                                                  | 390.77±25.05c                                                                    |
| LN                                    | 0.71±0.06c                                                                                  | 532.21±18.59b                                                                    | 0.84±0.07c                                                                                  | 389.13±22.26c                                                                    |
| HN                                    | 1.00±0.10c                                                                                  | 685.07±26.90b                                                                    | 1.09±0.11b                                                                                  | 637.78±36.56b                                                                    |
| LNC                                   | 3.47±0.48b                                                                                  | 2 309.02±295.90a                                                                 | 2.95±0.62a                                                                                  | 1 263.71±136.78a                                                                 |
| HNC                                   | 4.29±0.79a                                                                                  | 2 664.31±352.10a                                                                 | 3.03±0.89a                                                                                  | 1 347.85±255.98a                                                                 |

表4 培养结束时土壤可溶性有机碳含量  
Table 4 Soil dissolved organic carbon content at the end of experiment

| 碳氮添加<br>Additions of carbon<br>and nitrogen | 黄棕壤 Yellow soil             |                              | 紫色土 Purple soil             |                              |
|---------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                             | DOC/<br>mg·kg <sup>-1</sup> | ΔDOC/<br>mg·kg <sup>-1</sup> | DOC/<br>mg·kg <sup>-1</sup> | ΔDOC/<br>mg·kg <sup>-1</sup> |
| CK                                          | 221.68±1.88a                | —                            | 87.85±0.08a                 | —                            |
| LN                                          | 169.91±2.47b                | 51.78                        | 86.25±1.50a                 | 1.60                         |
| HN                                          | 127.20±3.30c                | 94.48                        | 80.28±1.68a                 | 7.57                         |
| LNC                                         | 125.69±4.43c                | 95.99                        | 85.44±1.98a                 | 2.40                         |
| HNC                                         | 72.43±2.61d                 | 149.25                       | 64.09±2.02b                 | 23.76                        |

注:可溶性有机碳变化量(ΔDOC)为培养结束时不同处理可溶性有机碳的含量与相应对照处理的差值<sup>[6]</sup>。

## 2.4 土壤 N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放的相关分析

不同处理条件下两种不同有机碳土壤的 N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放通量之间的相关关系如图 3 所示,黄棕壤 N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放通量呈极显著正相关关系,其相关系数  $r^2=0.439\ 2$  ( $P<0.01$ );而紫色土 N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放通量无显著相关性。这表明在较高有机碳含量的黄棕壤中,N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 有相似的生成环境和相对稳定的产率比。

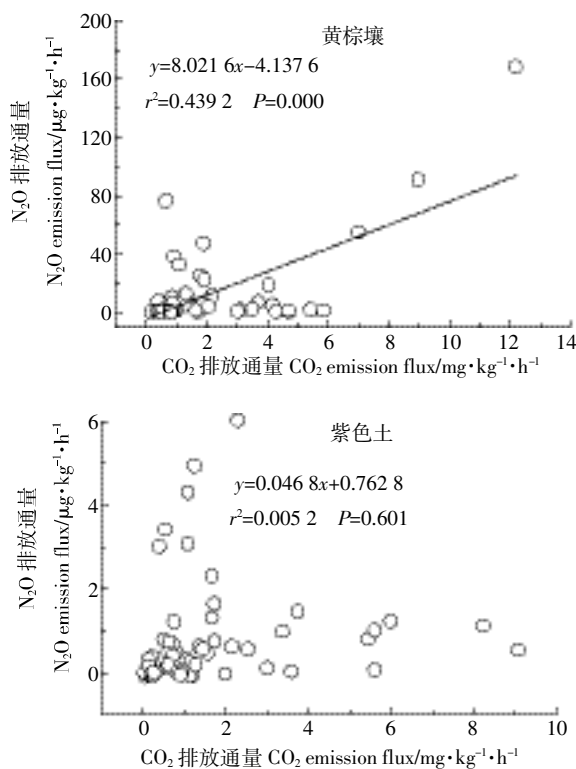


图3 外加可溶性碳氮源后 N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放相关性  
Figure 3 Correlation between N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions after additions of soluble C and N

## 3 讨论

温室气体的产生与排放主要源于土壤中微生物参与的各种活动,并取决于土壤的性质,气候条件及向土壤中添加的肥料的组成。本研究中,土壤总有机碳、可溶性有机碳和微生物量碳含量较高的黄棕壤各处理 N<sub>2</sub>O 排放与 CO<sub>2</sub> 排放均高于紫色土(图 1、表 2),且在对照处理时,黄棕壤 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 累积排放量分别是紫色土的 6.49、1.83 倍。主要是因为黄棕壤总有机碳和活性有机碳含量高,一方面使微生物活动加剧,呼吸作用增强,产生大量 CO<sub>2</sub>;另一方面,由于消耗了土壤中的 O<sub>2</sub>,形成厌氧环境,间接增强了微生物的反硝化作用,从而使 N<sub>2</sub>O 排放增多。此外,黄棕壤偏酸性,酸性土壤中 N<sub>2</sub>O 还原酶的活性易受抑制<sup>[7]</sup>,使产生的部分 N<sub>2</sub>O 无法进一步还原为 N<sub>2</sub>,因此其 N<sub>2</sub>O 排放较多。续勇波等<sup>[18]</sup>研究结果表明有机碳含量高的土壤排放出较多的 N<sub>2</sub>O,李睿达等<sup>[19]</sup>研究也表明土壤有机碳水平高的样地 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放通量显著高于有机碳水平低的样地。

氮素是影响 N<sub>2</sub>O 排放的重要因素,土壤中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 是硝化和反硝化作用最直接的底物,一般认为土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量越高,N<sub>2</sub>O 产生或排放越多<sup>[20-21]</sup>。本研究中氮素添加后,显著促进了两种不同有机碳含量土壤 N<sub>2</sub>O 排放。因为在含水量为 80% WFPS 下,可能硝化和反硝化作用同时进行,但以反硝化作用为主,铵态氮肥的添加刺激土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 通过反硝化作用生成更多的 N<sub>2</sub>O 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N,使 N<sub>2</sub>O 排放增多<sup>[22-23]</sup>。史吴先等<sup>[22]</sup>通过室内控制实验对湿地土壤 N<sub>2</sub>O 排放研究结果表明,外源氮的添加促进了 N<sub>2</sub>O 排放,李睿达等<sup>[19]</sup>对桉树林温室气体的研究也表明,施氮对 N<sub>2</sub>O 排放通量有显著的促进作用。许多研究均表明,N<sub>2</sub>O 排放随施氮量的增加而增加<sup>[24-25]</sup>。本研究中,低有机碳含量的紫色土 N<sub>2</sub>O 累积排放量均随施氮量的增加而增加,但土壤有机碳含量较高的黄棕壤 N<sub>2</sub>O 排放并未随着施氮量的增高而增高(表 2)。这可能是因为黄棕壤中高浓度的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 使产生的部分 N<sub>2</sub>O 进一步转化为 N<sub>2</sub>,则高氮处理 N<sub>2</sub>O 排放较氮处理少,有研究证实土壤中的铵离子对 N<sub>2</sub>O 还原有一定的促进作用<sup>[26]</sup>。此外,氮素的添加能促进有机质的矿化分解,生成 CO<sub>2</sub>,但也有研究表明,氮素的输入对有机碳矿化产生抑制作用<sup>[27-28]</sup>。本试验中,外加氮源后,黄棕壤 CO<sub>2</sub> 排放小于 CK 处理,可能是因为氮素使木质素分解酶活性降低<sup>[29]</sup>,从而抑制了有机碳矿化,CO<sub>2</sub>

排放减少。李彬彬等<sup>[30]</sup>研究也表明单施氮肥处理的 CO<sub>2</sub> 排放小于 CK 处理。

碳氮配施后,紫色土 LNC 处理和 HNC 处理 N<sub>2</sub>O 累积排放量较单施氮肥时分别降低了 102.92% 和 86.42%,黄棕壤 LNC 处理和 HNC 处理 N<sub>2</sub>O 累积排放量也降低了 47.65% 和 3.98%。土壤可溶性碳作为碳源为土壤微生物提供了丰富的物质和能源,也为反硝化作用提供了电子受体。随着碳源的增加,C/N 逐渐增大,在碳贫瘠的紫色土中,反硝化菌群的反硝化作用是 N<sub>2</sub>O 的主要来源<sup>[10]</sup>,添加可利用性的易分解的碳源,显著地增强了反硝化作用,使反硝化作用持续进行,从而产生更多的 N<sub>2</sub>。Sanchez-Martin 等<sup>[31]</sup>研究表明,在氮源基础上增加碳源,土壤 N<sub>2</sub>O 排放减少;黄耀等<sup>[32]</sup>研究也发现,N<sub>2</sub>O 的排放随土壤有机碳含量增加而减少。而朱霞等<sup>[33]</sup>研究显示,添加碳氮源后促进了 N<sub>2</sub>O 的排放;还有研究<sup>[34]</sup>得出,添加碳源后,N<sub>2</sub>O 排放取决于观测的时间和土壤层次。本研究碳氮配施还明显促进了两种土壤 CO<sub>2</sub> 排放,且 HNC 处理 CO<sub>2</sub> 累积排放量大于 LNC 处理,因为可溶性碳的添加为土壤微生物提供速效基质和能源,增强微生物活性,加剧其对土壤有机碳的分解能力,刺激微生物呼吸作用,则 CO<sub>2</sub> 排放更多<sup>[13,35-36]</sup>。此外,本研究还发现培养试验末期,两种土壤 DOC 含量随碳氮源的增加而降低,与 Sanchez-Martin 等<sup>[37]</sup>研究的对两种不同有机碳含量土壤外加碳氮源的试验也表明 DOC 含量降低一致。这可能是因为碳氮源的增加,加快了微生物生命活动,一部分 DOC 被微生物量固定或作为微生物代谢物释放到土壤中。

土壤中 CO<sub>2</sub> 主要来自微生物与植物的呼吸作用,土壤微生物进行生命活动需要有机质作为能源,而有机质的分解又与硝化和反硝化作用有关,从而影响 N<sub>2</sub>O 的产生。因此,N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放通量密切相关。本研究中相关性分析表明,高有机碳含量的黄棕壤 N<sub>2</sub>O 排放通量与 CO<sub>2</sub> 排放通量呈极显著性相关( $P<0.01$ ),而低有机碳含量的紫色土 N<sub>2</sub>O 排放通量与 CO<sub>2</sub> 排放通量没有相关关系。温室气体的排放受碳氮耦合作用的影响,有机碳含量越高,N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放通量对外源氮的响应越敏感。碳氮都是温室气体排放的限制因子,当有机碳含量高的时候,氮素成为限制因子,外源氮添加后,氮限制减弱,微生物可利用的碳氮源丰富,活性增强,N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 产生的各过程有序地进行,排放增强;而当有机碳含量低的时候,微生物可利用的碳源有限,即使在高氮水平下,N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放过程

都会受到不同情况的抑制,也就可能导致在低有机碳的土壤上 N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放无相关性。

Millar 等<sup>[38]</sup>通过研究向土壤中添加树林中的残留物对 N<sub>2</sub>O 排放的影响发现,N<sub>2</sub>O 排放通量与 CO<sub>2</sub> 排放通量显著相关;孙丽等<sup>[39]</sup>对高有机质含量的沼泽湿地土壤的研究也发现,N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放二者之间相关性显著,与本研究结果一致。

## 4 结论

(1)土壤总有机碳、可溶性有机碳和微生物量碳含量较高的黄棕壤各处理 N<sub>2</sub>O 排放与 CO<sub>2</sub> 排放均高于紫色土。

(2)与对照相比,单施氮肥显著促进了两种土壤 N<sub>2</sub>O 排放,其中紫色土 N<sub>2</sub>O 的排放随着施氮量的增高而增高;与单施氮肥相比,高低氮配施碳处理均显著降低了紫色土 N<sub>2</sub>O 排放,而黄棕壤仅低氮配施碳处理 N<sub>2</sub>O 排放显著降低。外源碳的输入显著提高了两种土壤 CO<sub>2</sub> 排放,单施氮肥对 CO<sub>2</sub> 排放影响不大。

(3)高有机碳含量的黄棕壤 N<sub>2</sub>O 排放通量与 CO<sub>2</sub> 排放通量呈极显著性正相关,而低有机碳含量的紫色土 N<sub>2</sub>O 排放通量与 CO<sub>2</sub> 排放通量没有相关关系。这表明在高有机碳含量的土壤中,N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 有相似的生成环境和相对稳定的产率比。

## 参考文献:

- [1] Kiehl J T, Trenberth K E. Earth's annual global mean energy budget[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 78(2): 197-208.
- [2] IPCC. Special report on emissions scenarios, working group III, inter-governmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [3] IPCC. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing[M]// Solomon S, Qin D, Manning M. climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge, United Kingdom/New York, USA: Cambridge University Press, 2007: 141-212.
- [4] IPCC. Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the IPCC[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [5] Song L N, Zhang Y M, Hu C S, et al. 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[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(3): 297-307.
- [6] Kim Y S, Imori M, Watanabe M, et al. Simulated nitrogen inputs influence methane and nitrous oxide fluxes from a young larch plantation in Northern Japan[J]. *Atmospheric Environment*, 2012, 46: 36-44.
- [7] Livesley S J, Kiese R, Miehle P, et al. Soil-atmosphere exchange of

- greenhouse gases in a *Eucalyptus marginata* woodland, a clover-grass pasture, and *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* plantations[J]. *Global Change Biology*, 2009, 15(2):425-440.
- [8] 胡启武, 欧阳华, 刘贤德. 祁连山北坡垂直带土壤碳氮分布特征[J]. 山地学报, 2006, 24(6):654-661.
- HU Qi-wu, OUYANG Hua, LIU Xian-de. Distribution characteristics of soil organic carbon and total nitrogen along the altitudinal belt in the northern slope of Qilian Mountains[J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(6):654-661.
- [9] Rivett M O, Buss S R, Morgan P et al. Nitrate attenuation in groundwater: A review of biogeochemical controlling processes[J]. *Water Research*, 2008, 42:4215-4232.
- [10] 倪玉雪, 孙卓玲, 尹兴, 等. 外加可溶性碳源对华北典型农田土壤  $N_2O$ 、 $CO_2$  排放的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4):222-227.
- NI Yu-xue, SUN Zhuo-ling, YIN Xing, et al. Influence of soluble carbon on  $N_2O$  and  $CO_2$  emission from soil of typical farm-land in North China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(4):222-227.
- [11] Lin S, Iqbal J, Hu R G, et al. Differences in nitrous oxide fluxes from red soil under different land uses in mid-subtropical China[J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2012, 146(1):168-178.
- [12] Murray P J, Hatch D J, Dixon E R, et al. Denitrification potential in a grassland subsoil: Effect of carbon substrates[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(3):545-547.
- [13] 耿远波, 章申, 董云社, 等. 草原土壤的碳氮含量及其与温室气体通量的相关性[J]. 地理学报, 2001, 56(1):44-53.
- GENG Yuan-bo, ZHANG Shen, DONG Yun-she, et al. The content of soil organic carbon and total nitrogen and correlation activity between their content and fluxes of  $CO_2$ ,  $N_2O$  and  $CH_4$  in Xilin River Basin Steppe[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1):44-53.
- [14] Ruan L, Robertson G P. Initial nitrous oxide, carbon dioxide, and methane costs of converting Conservation Reserve Program grassland to row crops under no-till vs. conventional tillage[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(8):2478-2489.
- [15] Wang Y S, Wang Y H. Quick measurement of  $CH_4$ ,  $CO_2$  and  $N_2O$  emission from a short-plant ecosystem[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(5):842-844.
- [16] Huang Y, Zou J W, Zheng X H, et al. Nitrous oxide emission as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36:973-981.
- [17] 吕锡武, 李锋, 稻森悠平, 等. 氨氮废水处理过程中的好氧反硝化研究[J]. 中国给水排水, 2000, 26(4):17-20.
- LÜ Xi-wu, LI Feng, DAO Senyouping, et al. Research on the oxophile denitrifying during the disposal of the waste water of ammonia-nitrogen[J]. *China Water and Wastewater*, 2000, 26(4):17-20.
- [18] 续勇波, 蔡祖聪. 亚热带土壤氮素反硝化过程中  $N_2O$  的排放和还原[J]. 环境科学学报, 2008, 28(4):731-737.
- XU Yong-bo, CAI Zu-cong. Nitrous oxide emission and reduction during denitrification in subtropical soils[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(4):731-737.
- [19] 李睿达, 张凯, 苏丹, 等. 施氮强度对不同土壤有机碳水平桉树林温室气体通量的影响[J]. 环境科学, 2014, 35(10):3903-3910.
- LI Rui-da, ZHANG Kai, SU Dan, et al. Effects of nitrogen application on soil greenhouse gas fluxes in *Eucalyptus* plantations with different soil organic carbon content[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(10):3903-3910.
- [20] Gu J, Nicoulaud B, Rochette P, et al. A regional experiment suggests that soil texture is a major control of  $N_2O$  emission from tile-drained winter wheat fields during the fertilization period[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 60:134-141.
- [21] Liu C Y, Zheng X H, Zhou Z X, et al. Nitrous oxide and nitric oxide emissions from an irrigated cotton field in Northern China[J]. *Plant and Soil*, 2010, 332(1/2):123-134.
- [22] 史昊先, 高晓霞, 于景丽, 等. 外源氮添加对湿地土壤  $N_2O$  排放量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(5):456-460.
- SHI Hao-xian, GAO Xiao-xia, YU Jing-li, et al. Effect of exogenous nitrogen addition on nitrous oxide  $N_2O$  emissions from wetland soil[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(5):456-460.
- [23] Chen H H, Nape V, Mothapo W S. Soil moisture and control relative contribution of fungi and bacteria to  $N_2O$  production[J]. *Microbial Ecology*, 2015, 69:180-191.
- [24] 王海云, 邢光熹. 不同施氮水平对稻麦轮作农田氧化亚氮排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12):2631-2636.
- WANG Hai-yun, XING Guang-xi. Effect of nitrogen fertilizer rates on nitrous oxide emission from paddy field under rice-wheat rotation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12):2631-2636.
- [25] 邱炜红, 刘金山, 胡承孝. 不同施氮水平对菜地土壤  $N_2O$  排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(11):2238-2243.
- QIU Wei-hong, LIU Jin-shan, HU Cheng-xiao. Effects of nitrogen application rates on nitrous oxide emission from a typical intensive vegetable cropping system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(11):2238-2243.
- [26] 于克伟, 陈冠雄, Struwe S, 等. 农田和森林土壤中氧化亚氮的产生与还原[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3):385-389.
- YU Ke-wei, CHEN Guan-xiong, STRUWE S, et al. Production and reduction of nitrous oxide in agricultural and forest soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3):385-389.
- [27] Bowden R D, Davidson E, Savage K, et al. Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 196(1):43-56.
- [28] Burton A J, Pregitzer K S, Crawford J N, et al. Simulated chronic  $NO_3^-$  deposition reduces soil respiration in northern hardwood forests[J]. *Global Change Biology*, 2004, 10(7):1080-1091.
- [29] Yoshitaka U, Nishimura S, Akiyama H. The relationship of water-soluble carbon and hot-water-soluble carbon with soil respiration in agricultural fields[J]. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 2012, 156:116-122.
- [30] 李彬彬, 马军花, 武兰芳. 土壤溶解性有机物对  $CO_2$  和  $N_2O$  排放的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(16):4690-4697.
- LI Bin-bin, MA Jun-hua, WU Lan-fang. Effects of dissolved organic

- matter in soil on the emission of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(16):4690-4697.
- [31] Sanchez-Martin L, Vallejo A, Dick J, et al. The influence of soluble carbon and fertilizer nitrogen on nitric oxide and nitrous oxide emission from two contrasting agricultural soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(1):142-151.
- [32] 黄 耀, 刘世梁, 沈其荣, 等. 环境因子对农业土壤有机碳分解的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6):709-714.
- HUANG Yao, LIU Shi-liang, SHEN Qi-rong, et al. Influence of environmental factors on the decomposition of organic carbon in agricultural soils[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(6):709-714.
- [33] 朱 霞, 韩晓增, 乔云发, 等. 外加可溶性碳氮对不同热量带土壤 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12):2637-2644.
- ZHU Xia, HAN Xiao-zeng, QIAO Yun-fa, et al. Influence of soluble carbon and nitrogen on N<sub>2</sub>O emission from different thermal zones soil [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(12):2637-2644.
- [34] 李贵桐, 李保国, 黄元仿. 碳源与底物对不同层次土壤产生 N<sub>2</sub>O 能力的影响[J]. 土壤与环境, 2001, 11(3):227-231.
- LI Gui-tong, LI Bao-guo, HUANG Yuan-fang. Effects of carbon and substrate on the N<sub>2</sub>O productivity of different soil layers[J]. *Soil and Environmental Science*, 2001, 11(3):227-231.
- [35] 秦 越, 李彬彬, 武兰芳. 不同耕作措施下秸秆还田土壤 CO<sub>2</sub> 排放与溶解性有机碳的动态变化及其关系[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(7):1442-1449.
- QIN Yue, LI Bin-bin, WU Lan-fang. Dynamics and interrelationship of CO<sub>2</sub> emissions and dissolved organic carbon in soils with crop residue retention under different tillage practices[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(7):1442-1449.
- [36] 张旭博, 徐明岗, 张文菊, 等. 添加有机物料后红壤 CO<sub>2</sub> 释放特征与微生物生物量动态[J]. 中国农业科学, 2011, 44(24):5013-5020.
- ZHANG Xu-bo, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, et al. Characteristics of CO<sub>2</sub> emission and microbial biomass dynamics after adding various organic materials in red soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(24):5013-5020.
- [37] Sanchez-Martin L, Vallejo A, Dick J, et al. The influence of soluble carbon and fertilizer nitrogen on nitric oxide and nitrous oxide emissions from two contrasting agricultural soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(1):142-151.
- [38] Millar N, Baggs E M. Chemical composition, or quality, of agroforestry residues influences N<sub>2</sub>O emissions after their addition to soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(6):935-943.
- [39] 孙 丽, 宋长春, 黄 耀. 沼泽湿地 N<sub>2</sub>O 通量特征及 N<sub>2</sub>O 与 CO<sub>2</sub> 排放间的关系[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5):532-536.
- SUN Li, SONG Chang-chun, HUANG Yao. Characteristics of N<sub>2</sub>O flux and the relationship between N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emission in the marsh wetland[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(5):532-536.

## 《保鲜与加工》杂志 2016 年征订征稿启事

中文核心期刊

中国科技核心期刊

中国农业核心期刊

中国北方优秀期刊

中国学术期刊(光盘版)收录期刊

美国《化学文摘》(CA)收录期刊

英国《国际农业与生物科学研究中心》

(CABI)收录期刊

英国《食品科技文摘》(FSTA)收录期刊

主管:天津市农业科学院

主办:国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)

国际标准连续出版物号:ISSN 1009-6221

国内统一连续出版物号:CN 12-1330/S

邮发代号:6-146 双月刊,逢单月 10 日出版,单价 10 元,全年 60 元。

《保鲜与加工》杂志是我国农产品采后技术研究领域的中文核心期刊,据中国知网的最新统计结果,5 年复合影响因子为 1.234。本刊主要报道农产品保鲜与加工相关领域基础理论、新技术、新工艺、新设备、新材料的研究成果及国内外相关行业的动态与信息。主要设置专家论坛、保鲜研究、加工研究、检测分析、专题论述、技术指南、行业资讯、科普沙龙、科技前沿、政策法规等栏目。适于科技人员、农业技术推广人员、相关企业管理和技术人员、大专院校师生及广大从事保鲜与加工技术研发领域的人士参阅。欢迎在全国各地邮局(所)或本编辑部订阅,欢迎广大读者踊跃投稿,并诚邀刊登各类相关广告。

通信地址:天津市西青区津静公路 17 公里处,国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)《保鲜与加工》编辑部

邮编:300384

电话:022-27948711

联系邮箱:bxyjg@163.com

投稿平台:www.bxyjg.com