

玉米秸秆不同构件添加对土壤 N_2O 排放的影响

李英臣, 王奇博, 侯翠翠, 张 芳, 马剑敏

(河南师范大学, 河南 新乡 453007)

摘 要:通过室内培养试验,研究玉米秸秆不同构件及按比例混合添加对土壤 N_2O 排放的影响。试验设置无枯落物土壤对照(CK)及四种枯落物添加处理:茎+土壤(CKS)、叶+土壤(CKL)、鞘+土壤(CKLS)、混合枯落物(茎:叶:鞘=5:3:2)+土壤(CKM)。结果表明:培养初期添加枯落物对土壤 N_2O 产生激发作用,培养 6 d 之后趋于稳定,但各添加枯落物处理高于对照;培养结束各添加不同构件及混合枯落物土壤 N_2O 累积排放量都显著增加($p<0.05$),添加茎和混合枯落物土壤 N_2O 排放量显著高于添加叶和鞘枯落物($p<0.05$)。枯落物混合对土壤 N_2O 排放的影响在培养前期(10~28 d)有一定的促进作用,培养后期不同枯落物之间无相互作用。培养结束后各枯落物全氮含量显著高于初始值,C/N 显著低于初始值($p<0.05$)。枯落物混合培养结束后剩余质量实测值低于预测值,全氮含量实测值高于预测值,枯落物碳氮比实测值低于预测值,土壤 N_2O 累积排放量差异不显著,表明枯落物混合有利于枯落物分解和氮累积,但是对 N_2O 累积排放影响不大。

关键词:枯落物添加;混合; N_2O 排放;枯落物分解;全氮

中图分类号:S154.1;X511

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0260-05

Effects of Different Corn Litter Components and Their Mixture Addition on Soil N_2O Emission

LI Yingchen, WANG Qibo, HOU Cuicui, ZHANG Fang, MA Jianmin

(He'nan Normal University, Xinxiang, He'nan 453007, China)

Abstract:The effects of different corn litter components and mixture addition on soil N_2O emission were investigated via laboratory incubation. Five treatments were set in this experiment: soil with no litter addition (CK); soil with stalk litter addition (CKS); soil with leaf litter addition (CKL); soil with leaf sheath litter addition (CKLS); soil with mixed litter (stalk : leaf : leaf sheath = 5 : 3 : 2) addition (CKM). The results showed that litter addition had a priming effect on N_2O emission at the beginning of the incubation. N_2O emission from the samples with litter addition was stable since the sixth day of the incubation period and was greater than that from CK samples. The cumulative N_2O emission from samples with litter addition was significantly higher than that from CK samples ($p<0.05$), further, cumulative N_2O emissions of CKS and CKM were significantly greater than those of CKL and CKLS ($p<0.05$). Litter mixing accelerated soil N_2O emission to a certain extent at the first stage of incubation (10~28 days), however, there was no interaction among different kinds of litter at the last stage of the incubation. The total N contents of all residues in the end of the incubation were significantly greater than the initial contents; on the contrast, the ratio of C/N of the incubated residues was significantly less than the initial ratios ($p<0.05$). For the incubated samples of CKM, the mass were smaller than that predicted value, the total N content was greater than that predicted value; while the C/N ratio was smaller than that predicted value. However, there was no significant difference between observed and predicted soil cumulative N_2O emissions. These results indicated that litter mixing accelerated the processes of litter decomposition and N accumulation, but had no significant effect on N_2O emission.

Keywords:litter addition; mixture; N_2O emission; litter decomposition; total N

收稿日期:2016-01-11

修回日期:2016-01-25

资助项目:河南师范大学博士科研启动课题(qd12129, qd12126);国际原子能机构合作项目(17680);河南省教育厅科学技术研究重点项目(14B180008);河南师范大学青年基金(2013qk09, 2013qk13)

第一作者:李英臣(1982—),男,山东聊城人,博士,副教授。主要从事坡耕地温室气体排放研究。E-mail:xiayuchen211@163.com

N₂O 作为三种主要的温室气体之一而备受关注,其增温效应约为 CO₂ 的 296 倍^[1],而且 N₂O 能与平流层的 O₃ 分子发生光化学反应而使平流层的臭氧层收到破坏^[2]。研究表明,大气中 N₂O 浓度一直保持增长,到 2011 年达到 324×10⁻⁹,比工业革命前增长了 20%^[3]。农田生态系统是重要的温室气体排放源,农业 N₂O 排放量占每年 N₂O 释放进入大气总量的 40%~60%^[4]。作物枯落物作为一种良好的外源有机肥资源,对保持土壤肥力,增加土壤有机碳含量具有重要作用。同时,作物枯落物还田对土壤 N₂O 排放具有重要影响。目前已经开展了大量的秸秆覆盖和秸秆还田对 N₂O 排放的研究工作,但是主要集中在不同的覆盖和还田方式和还田量的研究^[4-6],而作物枯落物不同构件还田对土壤 N₂O 排放及不同构件枯落物协同作用方面研究较为少见^[7]。枯落物不同构件营养含量存在较大差异,不同构件及混合分解对土壤有机碳矿化和 N₂O 排放存在一定的差异及交互作用,深入了解不同构件对土壤 N₂O 排放的影响及交互作用,对揭示枯落物还田对土壤 N₂O 排放的综合影响具有重要意义。

黄土高原地区是我国粮食主产区,农业活动历史悠久。由于其独特的地形条件和密集的农事活动,使其成为世界上土壤侵蚀和退化最为严重的地区^[8]。鉴于作物还田在减少土壤侵蚀、增加土壤固碳能力、提高水分利用效率、改变土壤理化性质等方面的作用,其在黄土高原地区有广阔的应用前景^[9]。因此,本研究选取豫西黄土高原典型区域,研究该区域主要农作物玉米的枯落物不同构件(茎、叶、鞘)及不同构件按比例混合对土壤 N₂O 排放的影响,以期揭示枯落物还田对农田生态系统土壤温室气体排放的影响提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

该试验采样点位于河南省灵宝市阳店镇柿子湾村(34°31'N,110°59'E),该区属典型豫西黄土高原区域,气候为暖温带大陆性季风气候,平均气温约为 14.4℃,无霜期每年约 206 d,年降水量为 400~900 mm,年际变化大,60%~70%降水集中于夏季,春季降水少,雨季多暴雨,雨强大。土壤为典型的黄绵土,具体土壤理化性质见表 1。在该区域选取典型农地,种植作物为玉米,种植模式为一年一熟,每年四月下旬耕种,十月中旬收获,然后土地休闲至次年玉米耕种。

2014 年 10 月玉米收获后在样地内采用多点混合采样法采集 0—20 cm 土壤样品,带回实验室,一部分自然风干,过 0.49 mm 筛测定其理化指标(表 1),

另一部分过 2 mm 筛用于培养试验。在采集土壤样品的同时,取新鲜的整株玉米枯落物,现场分出茎、叶、鞘各部分,分别装入不同的自封袋,带回实验室,用去离子水冲洗干净,然后 65℃烘干,分别称出各不同构件的重量后,把茎、叶、鞘各构件分别剪成 1 cm 左右的小段充分混合,取一小部分磨碎测定枯落物的基本理化指标,具体指标见表 1,其余用于培养试验。

表 1 供试土壤理化性质和枯落物化学构成

土壤及枯落物类型	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	C/N	pH 值
黄绵土	17.25(0.11)	2.45(0.11)	6.95(0.35)	7.11(0.83)
茎	402.8(11.9)	15.3(0.3)	26.28(1.04)	—
叶	362.4(4.1)	19.4(0.3)	18.72(0.32)	—
鞘	414.4(5.3)	11.5(0.6)	36.23(2.42)	—

注:括号内数据为标准差(n=3)。

1.2 试验方法

试验采用室内培养,气相色谱仪测定的方法测定土壤 N₂O 排放,培养方法参考 Zeng 等^[10],N₂O 气体直接用气相色谱仪(Agilent HP7 890 A,USA)测定。试验设置无枯落物土壤对照(CK)及四种枯落物添加处理:茎+土壤(CKS)、叶+土壤(CKL)、鞘+土壤(CKLS)、混合枯落物(茎:叶:鞘=5:3:2)+土壤(CKM)。每个处理设置五个重复,同时设 3 个没有土壤样品的培养瓶作为空白处理。CK 处理称取过 2 mm 筛的新鲜土壤样品 100 g(干土重)于 500 ml 广口瓶中,调整土壤含水量至最大持水量的 60%;土壤与枯落物混合培养处理首先称取过 2 mm 筛的新鲜土壤样品 100 g(干土重)于 500 ml 广口瓶中,同时分别称取茎、叶、鞘和三种构件混合(茎:叶:鞘为 5:3:2)的枯落物各 1 g 装入枯落物袋后加入广口瓶中,摇匀使枯落物埋入土样中,然后调整土壤含水量至最大持水量的 60%。整个培养试验在 25℃恒温培养箱中进行,培养期为 78 d。培养开始时用带有三通阀的橡胶塞塞住瓶口,培养期间三通阀不关闭,保持培养瓶内外空气流通,分别在培养的第 1,3,6,10,15,21,28,35,42,52,65,78 d 测定其 N₂O 释放速率,测定时首先打开橡胶塞通气 0.5 h,使培养瓶内外浓度相当,然后密闭培养瓶 3 h,之后抽取 20 ml 气体,用 HP7 890 A 气相色谱仪在 24 h 内完成测定,每次采集完气体后打开三通阀保持通气状态。定期补充水分,以保持培养瓶内含水量恒定。培养结束后枯落物样品取出,用去离子水冲洗干净,在 65℃条件下烘干称重,然后磨碎测定有机碳和全氮含量。土壤和枯落物样品碳氮含量用元素分析仪(Elementar vario PYRO cube,Germany)直接测定。

1.3 数据处理与分析

采用 Origin 9 进行绘图,采用 Microsoft Excel, SPSS 16.0 对试验数据进行统计分析。混合枯落物土壤 N_2O 排放速率预测值为同期各构件单独培养时土壤 N_2O 排放速率与其在混合枯落物中所占比例的乘积相加之后得到;混合枯落物土壤 N_2O 累积量预测值为各构件单独培养时土壤 N_2O 累积排放量与其在混合枯落物中所占比例的乘积相加之后得到;采用单因素方差分析进行实测值与预测值之间的比较,实测值与预测值若无明显差异,表明各构件之间无相互作用,若实测值显著高于预测值,表明各构件存在促进作用,若实测值低于预测值,表明各构件存在抑制作用,此计算方法参考土壤有机碳排放相关计算方法^[10-11]。采用 one-way ANOVA 对几种供试枯落物的初始化学性质和枯落物之间分解差异显著性进行比较。

2 结果与分析

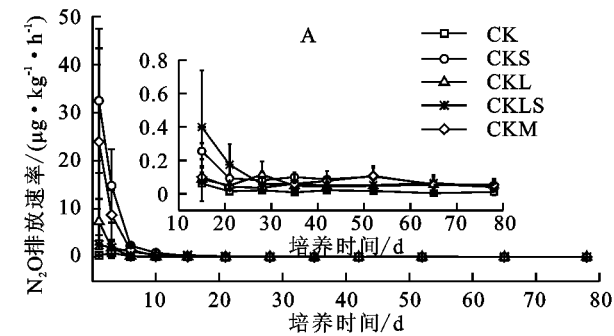
2.1 不同构件及混合枯落物添加对 N_2O 排放的影响

由图 1A 所示,各添加枯落物处理土壤 N_2O 排放速率在培养初期(1~6 d)整体较高,且都明显高于 CK 处理,表明添加枯落物处理对 N_2O 排放产生一定的激发效应,激发效应由强到弱依次为 $\text{CKS} > \text{CKM} > \text{CKL} > \text{CKLS}$,培养初期的激发效应过后, N_2O 排放速率迅速降低,各处理排放速率都低于 1

$\mu\text{g N}/(\text{kg} \cdot \text{h})$,其中 CKLS 和 CKS 培养 6 d 之后呈逐渐降低趋势,至培养结束达到最低值($0.04 \mu\text{g N}/(\text{kg} \cdot \text{h})$);CKM 处理在培养 6~28 d 呈逐渐降低趋势,至 28 d 达到最低值 $0.04 \mu\text{g N}/(\text{kg} \cdot \text{h})$,28~52 d N_2O 排放速率逐渐升高,至 52 d 达到 $0.11 \mu\text{g N}/(\text{kg} \cdot \text{h})$,然后至培养结束呈逐渐降低趋势。CKL 处理培养 6~28 d 排放速率略有之外整体变化不大,28 d 之后排放速率趋于平稳,在 $0.04 \sim 0.05 \mu\text{g N}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。添加枯落物各处理土壤 N_2O 累积排放量显著高于 CK 处理($p < 0.05$),CKL 和 CKLS 处理土壤 N_2O 累积排放量显著低于 CKS 和 CKM 处理($p < 0.05$),CKL 和 CKLS 以及 CKS 和 CKM 处理之间差异不显著(图 1B)。

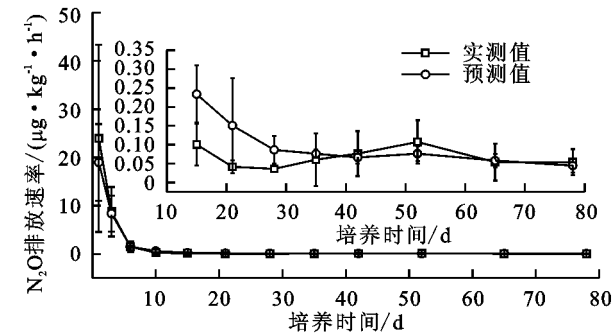
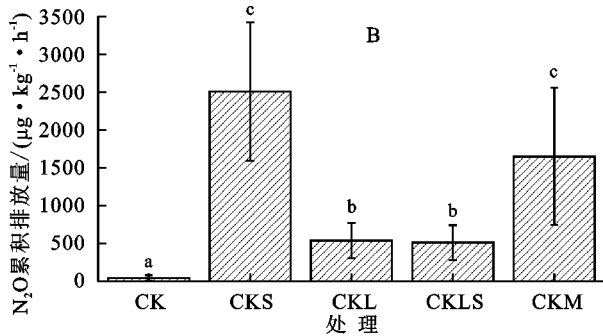
2.2 混合枯落物 N_2O 排放、枯落物剩余质量、氮含量预测值与实测值比较

由图 2 看出,培养开始土壤 N_2O 排放速率实测值高于预测值,但是差异没有达到显著水平,培养 10~28 d 预测值高于实测值,在培养的 15,28 d 差异达到显著水平($p < 0.05$),之后土壤 N_2O 排放预测值和实测值之间差异不显著。培养结束后实测值和预测值土壤 N_2O 累积排放量分别为 $1\,649, 1\,589 \mu\text{g N}/\text{kg}$,两者的差异没有达到显著水平(图 3)。培养结束后混合枯落物剩余质量实测值小于预测值;全氮含量实测值高于预测值,C/N 实测值低于预测值($p < 0.05$)(图 3)。



注:图 1A 中套图代表 15 d 后重复;B 中不同字母代表不同处理之间差异达到显著水平($p < 0.05$)。

图 1 不同枯落物添加处理对土壤 N_2O 排放的影响



注:图中套图代表 15 d 后重复。

图 2 混合枯落物土壤 N_2O 排放速率实测值与预测值比较

2.3 培养结束后枯落物氮含量及碳氮比变化

混合枯落物全氮含量显著高于茎和鞘枯落物($p < 0.05$),与叶枯落物差异没有达到显著水平($p > 0.05$);茎枯落物 C/N 显著高于叶和混合枯落物处理,叶枯落物 C/N 显著低于鞘枯落物($p < 0.05$)(图 4)。培养后茎叶和鞘枯落物氮含量与培养前相比都明显升高,碳氮比明显降低($p < 0.05$)(表 1,图 4)。

3 讨论

土壤 N_2O 排放是由土壤微生物的硝化—反硝化

共同作用产生的^[12]。影响 N₂O 排放的主要环境因子为土壤温度、土壤孔隙充水率、土壤矿质氮含量以及可利用性营养含量等^[5,13]。大部分研究认为,外源枯落物添加会增加 N₂O 排放^[7,14-15],这与本研究结论一致,本研究发现,不同枯落物添加后都显著增加土壤 N₂O 累积排放量(图 1B)原因为枯落物加入会增加土壤中可利用的碳源和氮源营养物质,增加土壤微生物数量和活性,进一步影响 N₂O 排放^[16],另外,枯落物本身也会释放一部分 N₂O^[17]。培养初期(1~6 d)枯落物添加对土壤 N₂O 产生明显的激发效应,激发效应排放量占土壤 N₂O 总排放量的 49%~87%,Maljanen 等和 Hall and Matson 研究也发现外源营养输入短期增加 N₂O 排放^[18-19]。原因可能为培养初期微生物数量和活性迅速增加,加之枯落物中可利用性营养物质丰富,使土壤硝化—反硝化作用强烈,土壤 N₂O 出现高排放,枯落物添加初期的高排放应当引起关注。

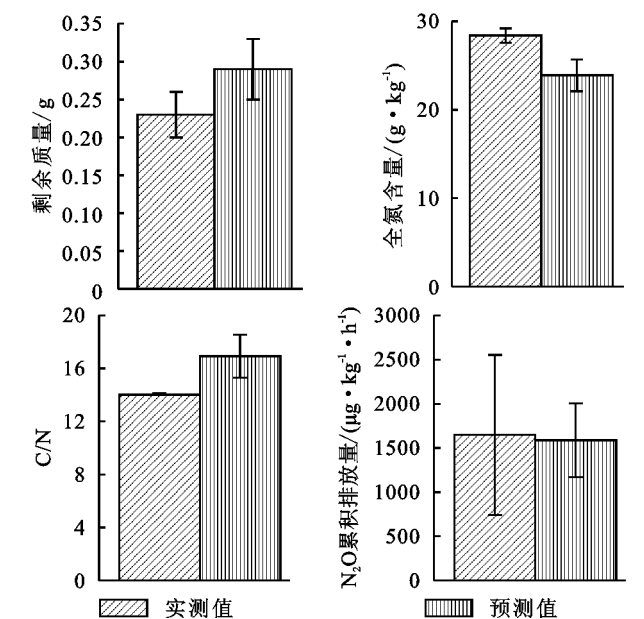


图 3 培养结束后枯落物剩余质量,全氮含量碳氮比及 N₂O 累积排放量实测值与预测值比较

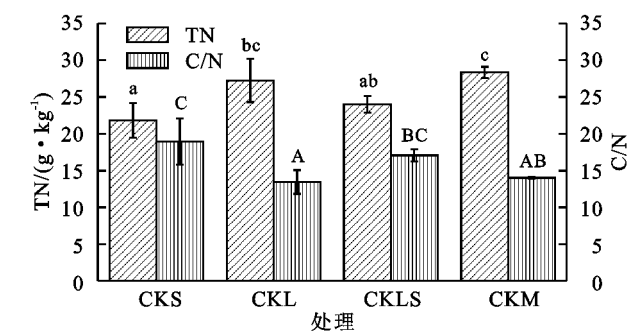


图 4 培养结束后不同处理枯落物全氮含量和 C/N 变化

注:图中不同小写字母和大写字母分别代表 TN 和 C/N 指标不同处理之间差异达到显著水平($p<0.05$)。

外源枯落物输入作为重要的营养输入源,对土壤

N₂O 排放的影响与枯落物类型和质量有关^[6,14],本研究发现,除去最初的高排放速率时期(1~6 d)后,土壤 N₂O 累积排放量与枯落物初始氮含量呈反比,原因可能为高的氮含量抑制土壤氮矿化,进一步减少土壤硝化—反硝化微生物可利用性氮源,而枯落物氮被微生物利用产生 N₂O 的比例较小^[7];土壤 N₂O 累积排放量与枯落物 C/N 成正比,原因可能为高的枯落物 C/N 导致土壤氮固定,进而使土壤中可利用性氮含量减少,减少 N₂O 排放^[6],此结论与 Frimpong 等的结论相同^[7],培养结束后各枯落物氮含量与培养前相比都显著增加也印证了这一点(表 1,图 4)。但是 Huang 等^[14]研究认为添加枯落物 N₂O 排放与枯落物碳氮比呈反比,原因可能为本研究中土壤氮含量(2.45 g/kg)与 Huang 等^[14]研究选取土壤(1.6 g/kg)相比较,使土壤中氮可利用性丰富,土壤相对碳缺乏,使土壤对低碳氮比的枯落物利用效率更高,所以枯落物 C/N 对土壤 N₂O 排放的影响可能与土壤本身的营养含量也存在一定的关系。本研究中培养结束后枯落物 C/N 都显著降低,全氮含量都显著升高(表 1,图 4),表明枯落物中发生累积氮,土壤中氮可利用性较高,土壤微生物相对碳基质缺乏。

混合枯落物添加土壤 N₂O 排放仅在培养初期(6~28 d)预测值高于实测值,且在培养的 15,28 d 差异达到显著水平($p<0.05$)(图 2),而在此时期土壤有机碳矿化速率预测值都显著低于实测值(数据未给出),表明枯落物混合促进土壤有机碳矿化,而对土壤 N₂O 排放存在一定的抑制作用,原因可能为枯落物混合促进了土壤中矿质养分释放,加速土壤有机碳矿化速率,但是过高的矿质氮对产 N₂O 的土壤硝化—反硝化微生物产生抑制作用^[20],之后随着混合枯落物易分解构件分解,枯落物不同构件之间相互作用消失,混合枯落物对土壤 N₂O 的抑制作用也消失。培养结束后混合枯落物实测值与预测值累积 N₂O 排放差异没有达到显著水平(图 3)。枯落物混合初期不同枯落物之间会产生一定的交互作用影响 N₂O 排放应该引起关注,具体的影响机理及野外原位试验有待于进一步研究。

4 结论

添加不同构件枯落物都显著促进土壤 N₂O 排放,培养结束后 N₂O 累积排放量 CKS > CKM > CKL > CKLS。培养初期(1~6 d)枯落物添加对土壤 N₂O 排放产生明显的激发作用,对总的 N₂O 累积

排放量的贡献在 49%~87%。排除最初的激发效应阶段,土壤 N_2O 排放与枯落物初始氮含量成正比,与枯落物初始 C/N 呈反比;枯落物混合在培养初期阶段(6~28 d)抑制 N_2O ,实测值低于预测值,但是培养结束后混合枯落物实测值与预测值累积 N_2O 排放差异没有达到显著水平。枯落物混合显著促进枯落物分解,增加枯落物的氮累积量,降低 C/N 含量,但是对 N_2O 排放影响不显著,此研究结论仅代表室内研究结论,以后应加强野外枯落物添加 N_2O 排放的研究,揭示枯落物及不同构件混合对 N_2O 排放量的影响以及影响机理。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis; Contribution of working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [2] 郑循华,王明星,王跃思,等. 稻麦轮作系统中土壤湿度对 N_2O 产生与排放的影响[J]. 应用生态学报, 1996, 7(3): 273-279.
- [3] IPCC. Climate Change 2007: The Scientific Basis; Contribution of working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [4] Jarecki M K, Parkin T B, Chan A S K, et al. Cover crop effects on nitrous oxide emission from a manure-treated Mollisol [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009, 134(1): 29-35.
- [5] 李英臣,侯翠翠,李勇,等. 免耕和秸秆覆盖对农田土壤温室气体排放的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(6): 1076-1083.
- [6] Liu C, Wang K, Meng S, et al. Effects of irrigation, fertilization and crop straw management on nitrous oxide and nitric oxide emissions from a wheat-maize rotation field in northern China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011, 140(1): 226-233.
- [7] Frimpong K A, Baggs E M. Do combined applications of crop residues and inorganic fertilizer lower emission of N_2O from soil? [J]. Soil Use and Management, 2010, 26(4): 412-424.
- [8] Feng J, Chen C, Zhang Y, et al. Impacts of cropping practices on yield-scaled greenhouse gas emissions from rice fields in China: A meta-analysis [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2013, 164: 220-228.
- [9] 孙立军,张仁陟,黄高宝,等. 黄土高原半干旱区保护性耕作适应性评价[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5): 1122-1126.
- [10] Zeng D H, Mao R, Chang S X, et al. Carbon mineralization of tree leaf litter and crop residues from polar-based agroforestry systems in Northeast China: a laboratory study [J]. Applied Soil Ecology, 2010, 44(2): 133-137.
- [11] 王意锐,方升佐,田野,等. 残落物添加对农林复合系统土壤有机碳矿化和土壤微生物量的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7239-7246.
- [12] Hénault C, Bizouard F, Laville P, et al. Predicting in situ soil N_2O emission using NOE algorithm and soil database [J]. Global Change Biology, 2005, 11(1): 115-127.
- [13] Kroeze C, Mosier A, Bouwman L. Closing the global N_2O budget: A retrospective analysis 1500—1994 [J]. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13(1): 1-8.
- [14] Huang Y, Zou J, Zheng X, et al. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C : N ratios [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(6): 973-981.
- [15] Marhan S, Auber J, Poll C. Additive effects of earthworms, nitrogen-rich litter and elevated soil temperature on N_2O emission and nitrate leaching from an arable soil [J]. Applied Soil Ecology, 2015, 86: 55-61.
- [16] Cui F, Yan G, Zhou Z, et al. Annual emissions of nitrous oxide and nitric oxide from a wheat-maize cropping system on a silt loam calcareous soil in the North China Plain [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 48: 10-19.
- [17] Bavin T K, Griffis T J, Baker J M, et al. Impact of reduced tillage and cover cropping on the greenhouse gas budget of a maize/soybean rotation ecosystem [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009, 134(3): 234-242.
- [18] Maljanen M, Liikanen A, Silvola J, et al. Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(5): 689-700.
- [19] Hall S J, Matson P A. Nitrogen oxide emissions after nitrogen additions in tropical forests [J]. Nature, 1999, 400(6740): 152-155.
- [20] 李英臣,宋长春,侯翠翠,等. 外源氮输入影响下沼泽化草甸湿地土壤有机碳矿化和 N_2O 排放动态研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 140-143, 147.