

施用有机肥对农田温室气体排放影响研究进展

沈仕洲, 王 风, 薛长亮, 张克强*

(农业部环境保护科研监测所, 天津 300191)

摘要: 有机肥因具有丰富的氮、磷、钾、生物活性物质, 能改善地力及作物品质等优点, 而被广泛运用。然而有机肥对农田土壤的作用机理复杂, 对农田土壤温室气体的影响不容忽视。通过增加土壤中有机 C、改变土壤的 C/N、影响土壤呼吸速率、增强土壤微生物活性等途径影响农田土壤温室气体的排放量。本文结合当前国内外研究进展, 综述了施用有机肥对农田温室气体排放影响因子及作用特征, 并提出了今后重点研究方向, 以期为更好地揭示有机肥对农田温室气体通量的作用机制和控制农田温室气体排放提供参考。

关键词: 有机肥; 土壤; CO₂; CH₄; N₂O

中图分类号: S141; S181

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2015) 06-0001-08

气候变化是当今国际社会普遍关注的全球性问题。根据预测, 2025 年全球气温将比 100 年前上升 2℃, 而 2100 年将上升 4℃^[1]。从 1986 年到 2005 年中国连续出现了 20 个全国性暖冬^[2], 总体表现为年平均气温升高 0.5~0.8℃^[3]。普遍认为全球温室效应归咎于几种温室气体, 主要包括 CO₂、CH₄ 和 N₂O 等^[4], 其对温室效应的贡献率高达 80%^[5]。

农业生产是温室气体的重要来源, 农业生产对温室气体总排放量的贡献率约为 20%^[6]。仅土壤就贡献了大气中 5%~20% 的 CO₂、15%~30% 的 CH₄、80%~90% 的 N₂O^[7]。农业管理措施, 如不同肥料类型的使用对农田温室气体的排放有重要影响。我国有机肥资源丰富, 有机物来源多样, 是营养比较齐全的肥料, 对农田土壤碳转化有重要影响^[8]。据金继运估算我国每年来自农业的有机物质(粪尿、秸秆、绿肥和饼肥)为 40 亿 t, 提供养分 1 亿 t^[9]。有机肥被广泛应用的同时, 其对温室气体排放的贡献也不容小觑。温室气体排放受农田土壤理化性质、微生物、环境等因子的影响, 施用有机肥能提高土壤有机质的含量, 促进土壤的微生物量及硝态氮含量大幅度增加^[10], 进而影响温室气体排放。有机肥施用量和推广面积的快速增大促进了对该条件下土

壤温室气体排放研究的关注, 以此寻求温室气体减排的技术措施。本文综述了有机肥施用对农田温室气体排放的国内外研究进展, 讨论了今后研究的重点方向。有助于揭示有机肥影响温室气体排放的作用机理和研发控排温室气体技术方案。

1 施用有机肥对土壤 CO₂ 排放的研究进展

1.1 CO₂ 排放概述与产生途径

CO₂ 是大气中最重要温室气体, 其排放量及对气候变化贡献远超过其他温室气体^[11]。19 世纪 50 年代末大气中 CO₂ 含量每年上升百万分之一, 而最近 10 年每年上升百万分之二^[12]。2013 年美国夏威夷的莫纳罗亚观象台观测到大气 CO₂ 浓度多次突破 400 mg/kg。尽管我国农业系统总体趋势是 CO₂ 的汇集而非源头, 但是固碳速率却很低。据估算 1990~2000 年我国农业系统吸收的碳只有约 10% 长久保存在各种农产品和土壤中, 剩下的 90% 以各种形式排放或归还于大气。土壤 CO₂ 是土壤生物代谢和生物化学过程等因素的综合产物^[13]。土壤 CO₂ 产生与释放涉及到植物根系、土壤微生物等多种生物参与的过程(包括自养呼吸和异养呼吸), 排放强度主要取决于土壤有机质含量、矿化速率及微生物种群数量及活性等^[14-15]。

1.2 有机肥施用对土壤 CO₂ 排放的影响机制

有机肥施用对旱地土壤 CO₂ 排放的研究多数是通过培养模拟试验阐释碳转化机理, 田间条件下长期试验研究相对较少^[16], Ding 等表明, 施用有机

收稿日期: 2014-11-11; 最后修订日期: 2015-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371481, 41001043); 天津市自然科学基金项目(13JQJNC08400)。

作者简介: 沈仕洲(1990-), 男, 云南人, 在读硕士, 主要从事农田温室气体排放研究。E-mail: shengshizhou@yeah.net。

通讯作者: 张克强, E-mail: kqzhang68@126.com。

肥促进大田土壤 CO₂ 的排放, 但却显著增强土壤碳库、减缓温室效应^[17], 客观增强土壤呼吸从而释放 CO₂^[18-20]。

1.2.1 通过提高土壤有机碳含量促进 CO₂ 排放

有机肥和秸秆还田促进土壤 CO₂ 的排放^[21-22]。增施有机肥后土壤 CO₂ 排放量是不施肥处理的 1.6 倍^[21]。在环境因子相对稳定的情况下, 土壤有机碳含量直接或间接决定着生态系统 CO₂ 排放的潜力^[23]。施用有机肥能够改善土壤理化性质, 增加土壤有机质, 直接或间接促进土壤微生物活性^[18], 增强根系生长活力和呼吸, 总体表现出 CO₂ 的排放量增加^[24], 且 CO₂ 排放通量与有机碳和 C/N 呈正相关性^[25]。

1.2.2 通过改变土壤呼吸强度影响 CO₂ 排放

土壤呼吸是指土壤产生并向大气释放 CO₂ 的过程, 反映植物根系和土壤微生物活性以及土壤碳的代谢情况^[26], 与有机质分解速率和土壤通气状况有关。呼吸速率主要受温度、湿度^[27]、植被状况、土壤理化性质^[28-29] 等影响。

有机物经过微生物的分解再合成转化为土壤有机质, 土壤呼吸通常随外源有机物的增加而增强^[24]。有机肥施用增加了产生 CO₂ 的源物质, 提高土壤-作物系统呼吸速率^[30-31]。同样气候条件下土壤碳库水平是决定土壤呼吸速率的重要因素^[32], 王立刚等对黄淮海平原夏玉米农田土壤呼吸的研究也证实这个结论^[33]。

研究发现, 施用有机肥以通过改变土壤孔隙的方式影响植物根呼吸及土壤微生物的呼吸^[34-37]。有机肥改良土壤通气状况、提高有机碳分解速率、增强微生物活性, 使土壤呼吸速率升高进而对 CO₂ 的排放产生促进作用^[38-40]。施用生物有机肥可以使土壤毛管孔隙度增加 9.8%^[41]、土壤通透性增加、耕层土壤容重降低^[42]、微生物呼吸作用增强。可能是由于有机肥结构疏松, 富含的生物活性物质改善了土壤通气状况, 增强微生物和根系呼吸^[17]。

1.2.3 其他影响途径

有机肥不仅提高土壤有机碳含量, 一定程度上可降低土壤 pH 值^[43]而促进 CO₂ 的排放^[44], 当 pH 值降低到一定范围 (pH < 3.05) 又会抑制 CO₂ 的排放。一定范围内农田土壤 CO₂ 的排放与温度呈显著相关性^[45], 有机肥颜色深, 吸热能力强, 能改善土壤理化性质, 因此施用有机肥能较不施肥温度

提高 2~3℃^[46]。土壤呼吸速率在一定温度范围内随温度呈指数增加^[47-50], 有机肥通过增强土壤微生物和酶的活性促进土壤呼吸。不同类型有机肥等量施用, 其所含有的 C、N 元素质量并不相同, 施用后也可能造成不同的土壤 CO₂ 排放通量。

2 施用有机肥对土壤 CH₄ 排放的研究进展

2.1 土壤 CH₄ 排放概述与产生途径

CH₄ 是仅次于 CO₂ 的全球第二大温室气体, 对全球温室效应的贡献约为 19%, 占人为温室气体排放增温效应的 15%^[51], 且以每年 1% 的速度增加^[52]。土壤中 CH₄ 是由微生物在厌氧环境下产生的。土壤有机物、根系分泌物、死亡的土壤动物及微生物、施入的有机肥等有机物在厌氧细菌的作用下逐步降解为有机酸、醇、CO₂ 等小分子化合物, 产甲烷菌使这些小分子化合物转化为 CH₄。其影响因素主要包括土壤温度、水分状况、施肥措施等。

2.2 有机肥对 CH₄ 排放的影响机制

CH₄ 是在厌氧条件下产甲烷菌作用于产甲烷基质的结果, 充足的产甲烷基质和适宜的产甲烷菌生长环境是 CH₄ 产生的先决条件。施用有机肥一方面为土壤产甲烷菌提供了丰富的产甲烷基质; 另一方面, 有机肥通过改善土壤理化性质为产甲烷菌和甲烷氧化菌的生长提供了适宜的环境条件。CH₄ 排放通量主要是由土壤 CH₄ 产生和氧化的差值决定^[53], CH₄ 产生和氧化与产甲烷菌、甲烷氧化菌等微生物活性有着密切的关系, 营养元素的输入也会通过影响微生物活性影响土壤甲烷的产生与氧化^[54], 进而影响到土壤 CH₄ 排放。

2.2.1 通过向土壤提供前体影响 CH₄ 排放

一般认为, 施用有机肥会向土壤提供更多的 CH₄ 前体, 使土壤产生更多的 CH₄^[55], 表现为 CH₄ 产量与土壤活性有机碳含量呈显著相关, 表明产甲烷菌需要速效碳源来激活^[56]。有机肥种类对 CH₄ 的排放通量影响较大。邹建文等发现, 菜饼和秸秆还田 CH₄ 排放总量分别较化肥增加了 252% 和 250%, 均达极显著水平。与菜饼和秸秆还田相比, 牛廐肥对土壤 CH₄ 排放的影响相对较小, 仅比化肥处理增加 45%。猪廐肥处理与化肥处理无显著差异, 可能是由于猪廐肥为未经堆腐的干物料, 含有的碳主要以大分子复杂有机物存在, 前期分解的中间产物和小分子有机物较少, 因而可利用的产 CH₄ 前体较少^[57]。新鲜有机肥应用是导致 CH₄ 高排放

的重要原因。有研究表明, 经过干燥处理的沼渣肥能够降低 CH_4 排放约 50%, 而未经处理的沼渣因向土壤中带入了产甲烷菌而增加 CH_4 排放量。日本^[58]和菲律宾^[59]的研究表明, 施用秸秆堆肥仅略微增加稻田 CH_4 的排放^[60], 因为堆肥经长时间发酵后其中易分解有机碳已经被分解, 导致产甲烷前体减少, 当施入土壤中后 CH_4 产生量不会显著升高。因此, 与施用新鲜有机肥相比施用好氧条件下腐熟的堆肥是有效控制 CH_4 排放的措施^[61-63]。

2.2.2 通过作用产甲烷菌和氧化菌活性影响 CH_4 排放

农田土壤 CH_4 的排放是甲烷产生菌产生作用和甲烷氧化菌氧化作用综合结果的体现。在抑制甲烷产生菌活性的同时采取一些措施促进土壤对 CH_4 的吸收是目前减缓气候变暖的一项措施^[64]。然而, 目前施用有机肥对 CH_4 的排放效果仍然没有统一的定论。大多数产甲烷菌最适温度为 35 ~ 37°C, 而施用有机肥既可改善土壤的热特性、调节土壤温度, 又可加深土色、增强土壤对太阳辐射能的吸收, 均能够提高土温。在最适温度范围内产甲烷菌的活性随土壤温度升高而提高^[65], CH_4 排放速率进而也随之增加^[66]。此外, 大多数甲烷产生菌的活性以中性或弱碱性的环境最佳, 且对 pH 值的变化非常敏感^[67]。中性土壤中 CH_4 的产生量是酸性土壤的 4 倍。而有机肥可以通过降低土壤 pH 值而抑制土壤产甲烷菌的活性。此外, CH_4 在好氧条件下会被氧化菌氧化而有助于削减农田 CH_4 排放。有机氮分解后以铵态氮形态存在, 而铵态氮是甲烷氧化菌的抑制剂, 且其效应是不可逆的, 因为土壤 CH_4 氧化与氨氧化相互排斥^[68-69]。长期施用铵态氮肥会改变土壤微生物的区系及其活性, 降低 CH_4 的氧化速率, 导致 CH_4 净排放增加^[70]。土壤对 CH_4 的氧化也受到土壤含水量的影响。施用有机肥显著提高土壤饱和持水量和田间持水量^[71], 土壤持水能力增加造成含氧量降低, 产甲烷菌活性增强而甲烷氧化菌活性降低^[72]。土壤中 CH_4 的排放也受氧化还原电位影响。稻田施用有机肥后强还原条件有利于促进 CH_4 的排放。也有学者认为, 有机肥投入对 CH_4 氧化的影响取决于土壤 C/N, 表现为 CH_4 氧化的抑制作用或促进作用^[73]。有机肥种类对 CH_4 产生的抑制作用不同, 鸡粪由于高铵态氮含量而对 CH_4 的产生起到强烈的抑制作用^[72]。

Schimel^[74]从 3 个层次分析了铵态氮肥对 CH_4

排放的影响, 在植株/生态系统水平上, N 促进植株生长, 为 CH_4 产生提供前体基质而促进 CH_4 排放; 在微生物群落水平上, N 促进甲烷氧化细菌的生长和活性, 从而减少 CH_4 排放; 在生物化学水平上, NH_4^+ 的氧化与 CH_4 的氧化相互竞争, 且 NH_4^+ 的氧化先于 CH_4 的氧化。铵态氮肥既有促进 CH_4 排放的可能, 也有减少 CH_4 排放的可能。 CH_4 排放取决于 3 个层次作用的相对强弱。因而, 有机肥对 CH_4 排放的影响机制十分复杂, 各个途径对 CH_4 排放量的影响程度还有待进一步研究。

3 施用有机肥对 N_2O 排放的影响

3.1 土壤 N_2O 排放概述与产生途径

N_2O 是第 3 大温室气体, 单位质量增温潜能是 CO_2 的 159 ~ 296 倍, 是 CH_4 的 4 ~ 21 倍, 虽然增温贡献仅占 4%, 但其在大气中可留存 120 年^[75], 一旦其浓度增加将很难在短时间内降低。农田土壤是 N_2O 主要的排放源, 大气中有 80% ~ 90% 的 N_2O 来源于土壤^[76], 占人类活动排放量的 92%。减少农田土壤 N_2O 的排放不仅有利于提高 N 肥利用率, 减少 N 素损失, 也能够削弱温室效应^[1]。土壤 N_2O 主要是微生物参与的硝化和反硝化作用的产物, 因此影响土壤微生物活动的因素 (如土壤碳和氮含量及有效性) 都会直接或间接影响土壤硝化和反硝化过程^[77], 除此之外, 土体中也存在化学反硝化过程, 导致农田 N_2O 排放受到 pH 值和 Fe、Cu 等离子有效性的影响^[78]。

3.2 有机肥对 N_2O 排放的影响机制

农业管理措施对 N_2O 的排放有重要影响。农田施用有机肥或有机物料会促进 N_2O 的排放^[71]。且施用有机肥对 N_2O 排放的影响明显大于秸秆覆盖、免耕、秸秆深施等农业管理措施^[72,79]。有机肥通过调节土壤 C/N 影响土壤微生物活性直接或间接影响 N_2O 排放。

3.2.1 通过改变土壤 C/N 影响 N_2O 排放

有机肥调节土壤 C/N 而促进 N_2O 的排放^[80]。 N_2O 排放量和有机肥料中 C、N 含量不能用简单的回归方程来描述。如稻田 N_2O 排放不仅受到外源 C、N 供应水平的影响, 而且与有机肥料的类型和腐熟程度有关。有机肥料的颗粒大小和粉碎程度、不同施用方式都会造成 N_2O 排放差异^[81-84]。土壤有机碳、全氮以及 C/N 可以粗略表征土壤微生物可

利用底物的有效性。一方面向土壤中提供了外源 C、N, 为反硝化作用提供所需能量。另一方面, 加入的有机碳影响土壤微生物的活性, 进而影响硝化和反硝化作用^[85]。土壤中反硝化作用与土壤生物可利用碳含量密切相关, 而与总碳量无关, 施入有机质可显著增强反硝化作用。然而, 当生物可利用碳缺乏时, 即使总碳含量很高, 反硝化速率仍很低, 且随着生物可利用碳的增加, 反硝化速率也随着提高^[86]。Chadwick 等用等 C 量和等 N 量的试验研究有机肥料对土壤 N₂O 排放的影响, 发现当有机肥料等 C 量施用, N₂O 的排放主要受外源 N 素供应水平的制约; 而当有机肥料等 N 量施用, N₂O 排放主要受外源 C 供应水平的制约。说明农田土壤 N₂O 的排放是碳氮共同作用的结果, 并且 C/N 在 30:1 左右有利于 N₂O 排放^[81]。

3.2.2 不同有机肥对 N₂O 排放的影响

有机肥类型是造成 N₂O 排放差异的一个重要原因。谷子生育期不同肥料处理 N₂O 排放量为人粪 > 尿素、鸡粪、猪粪 > 不施氮肥、牛粪, 人粪便处理显著高于其他处理; 水稻生育期不同肥料处理 N₂O 排放量呈现尿素 > 人粪、鸡粪 > 猪粪 > 不施氮肥、牛粪趋势^[87], 是由于不同类型有机肥供氮能力差异造成的。Cao 等表明, 菜地土壤 N 肥的反硝化损失和 N₂O 排放明显高于不施 N 肥处理^[88]。与化肥相比, 添加菜饼肥对后茬麦季土壤 N₂O 排放量无显著影响, 但添加麦秸可减少 15% 后茬麦季土壤 N₂O 排放量; 添加牛廐肥和猪廐肥可导致后茬麦季的 N₂O 排放量分别增加 29% 和 16%^[89]。在施用化肥的基础上, 玉米秸秆和猪粪能使土壤 N₂O 排放通量明显增加, 且在玉米拔节期和授粉期出现排放高峰^[90]。

在众多有机肥类型中, 普遍认为麦秸还田后降低土壤 N₂O 的排放, 是由于秸秆具有低氮量和高 C/N 的性质, 微生物在分解秸秆初期要利用土壤中的 N 素来构成自身的体细胞, 减少土壤进行硝化和反硝化作用的基质^[72], 造成对 N 素的争夺利用^[91]。也有研究认为可能是秸秆腐解过程产生了某种化感物质^[92], 但其如何影响 N₂O 的排放还有待进一步研究。

3.3 有机肥与无机肥的对比研究

国内外众多学者对化肥和有机肥单施或配施条件下 N₂O 排放进行了监测^[93-96], 尚未取得明确的结论。有学者认为化肥处理土壤 N₂O 排放通量比有

机肥处理更大, 但也有相反的结论^[93]。Wolsing 等^[97]通过 *Nirk* 基因研究发现, 施有机肥土壤反硝化细菌群落结构和化肥处理显著不同, 施有机肥土壤的反硝化速率显著高于施无机肥处理。施化肥处理的早稻土壤 N₂O 排放量最大, 化肥和有机肥配施处理的晚稻土壤 N₂O 排放量最大^[98]。总体来说, 施用有机肥料引起 N₂O 排放量的差异, 受到外源 C、N 供应水平, 土壤供 N 水平, 微生物对有机碳的分解及对 N 的争夺利用, 作物对 N 素利用等因素共同影响。因此, 有机肥料施用对土壤 N₂O 排放影响的机理尚需进一步深入研究^[99]。

4 问题与展望

虽然目前针对有机肥对农田温室气体排放影响的现象研究很多, 但有关有机肥对农田温室气体排放影响的机理研究尚未完全明确。探讨有机肥施用对土壤 CO₂ 排放的影响研究结果基本一致, 普遍认为施用有机肥能增加土壤 CO₂ 的排放。该领域研究主要采用实验室模拟的方法, 而农田温室气体的排放与土壤温度、风速和湿度等环境因素密切相关。加强大田条件下的连续、系统监测将有助于丰富土壤 CO₂ 排放的研究。有机肥对 CH₄ 产生和消耗的影响研究结果目前尚不明确, CH₄ 的排放效果仍然存在一定争议。有机肥对土壤环境有着综合的影响。首先, 有机肥既能增加土壤温度又能降低土壤 pH 值, 而土壤温度升高与 pH 值降低对甲烷产生具有相反的效应。其次, 土壤中甲烷产生与甲烷氧化是同时进行的, 而有机肥施入后所产生的氨氧化作用与甲烷的氧化作用又是相互抑制的。当甲烷产生量大于氧化量时, CH₄ 正排放; 反之为负排放。因此要研究有机肥对土壤 CH₄ 排放的影响, 就必须进行产甲烷菌与甲烷氧化菌的数量和活性对比即产甲烷作用与氧化作用的强弱比较, 确定 CH₄ 产出量与氧化量之间的数量关系。综上, 得出两点结论: 其一, 从有机肥对甲烷氧化的抑制作用入手, 加强对甲烷产生菌与甲烷氧化菌的对比研究是未来研究的新方向; 其二, 已有研究表明, 在不同地块使用有机肥与对照相比对 CH₄ 排放既有促进也有抑制的, 当土壤样本自身 CH₄ 排放较小时, 增施有机肥会促进 CH₄ 排放; 当土壤样本 CH₄ 排放潜力较大时, 增施有机肥则不会增加 CH₄ 排放。所以在得出有机肥对土壤 CH₄ 的排放效果影响不同的结论时, 建议从土壤性质和环境条件入手进行分析。目前, 已有

研究指出, 有机肥在土壤中的腐解过程会产生多种化感物质, 包括酸、醛、酮、醇、酯、苯、酚类等。通过对其中少数几种酸 (苯甲酸、对羟基甲酸) 对 N_2O 排放影响的研究发现, 其对 N_2O 排放都有不同程度抑制作用。应在此基础上深入发掘其他类化感物质对 N_2O 排放的影响。并对抑制 N_2O 排放的化感物质进行分离和鉴定, 对其进行外源添加, 进一步减少 N_2O 的排放, 增加氮肥的利用率。同时还可对抑制 N_2O 排放的化感物质加以利用, 与硝化抑制剂相结合研制出高效抑制剂, 广泛应用于农田温室气体排放量较高的大田。除此之外, 在确认碳氮共同作用的前提下, 确定适于 N_2O 排放的 C/N 范围, 也是今后研究的重要方向。

为减少农田温室气体排放, 施用有机肥应注意以下 3 点: 1. 有机肥在施用前须充分腐熟, 减少氨气释放和土壤污染。2. 应注意根据作物生长需求施用, 切勿一次性过量施用。3. 施用有机肥的同时, 适当添加硝化抑制剂也将有效降低农田温室气体的排放。除此以外, 还应根据土地类型、作物类型、有机肥种类科学施肥, 并配合施用其他复混肥料, 适时适量地补充中微量元素肥, 用来调节土壤养分平衡, 使有机肥充分发挥作用的同时, 降低农田温室气体的排放, 保证有机肥还田能够有效促进农业可持续发展。

参考文献:

- [1] 曹志洪. 施肥与大气环境质量——论施肥对环境的影响 [J]. 土壤, 2003, 35 (4): 265-270.
- [2] 国家发展改革委员会. 中国应对气候变化国家方案 [R]. 北京: 中华人民共和国国务院公报, 2007. 1-3.
- [3] 国家发展改革委员会. 中国应对气候变化的政策与行动 [R]. 北京: 中华人民共和国国务院公报, 2013. 4-5.
- [4] 李长生, 肖向明. 中国农田的温室气体排放 [J]. 第四纪研究, 2003, 23 (5): 493-503.
- [5] IPCC. Special report on emissions scenarios, working group III, Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Britain: Cambridge University Press, 2000.
- [6] Melillo J M, Steudler P A, Aber J D. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system [J]. Science, 2002, 298: 2173-2176.
- [7] 孙艳丽, 陆佩玲, 李俊. 华北平原冬小麦/夏玉米轮作田土壤 N_2O 通量特征及影响因素 [J]. 中国农业气象, 2008, 29 (1): 1-5.
- [8] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策 [J]. 生态环境, 2004, 13 (4): 656-660.
- [9] 程明芳, 金继运, 李春花. 施用钾肥和有机肥对小麦产量品质的影响 [J]. 土壤肥料, 2004, (5): 9-11.
- [10] 王健鹏, 李阿红, 王志. 有机肥对土壤理化性质的影响 [J]. 吉林蔬菜, 2007, 4 (6): 12-14.
- [11] 谢军飞, 李玉娥. 农田土壤温室气体排放机理与影响因素研究进展 [J]. 中国农业气象, 2002, 23 (4): 47-52.
- [12] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change [J]. Geoderma, 2004, 123: 1-22.
- [13] 王义祥, 翁伯琦, 黄毅斌. 土地利用和覆被变化对土壤碳库和碳循环的影响 [J]. 亚热带农业研究, 2005, 1 (3): 44-51.
- [14] 齐玉春, 董云社, 耿元波. 我国草地生态系统碳循环研究进展 [J]. 地理科学进展, 2003, 22 (4): 342-352.
- [15] Frolking S, Moore III B, Salas W. Greenhouse gas emissions from croplands of China [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23 (5): 493-503.
- [16] Thuries L, Pansu M, Larre Larrouy M C. Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34: 239-250.
- [17] Ding W X, Meng L, Yin Y F. CO_2 emission in an intensively cultivated loam as affected by long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39: 669-679.
- [18] Xiao Y, Xie G D, Lu C X, et al. The value of gas exchange as a service by rice paddies in suburban Shanghai, P R China [J]. Agricultural Ecosystems & Environment, 2005, 109: 44-46, 273-283.
- [19] Zheng J F, Zhang X H, Li L Q. Effect of long-term fertilization on C mineralization and production of CH_4 and CO_2 under anaerobic incubation from bulk samples and particle size fractions of a typical paddy soil [J]. Agricultural Ecosystems & Environment, 2007, 120: 129-138.
- [20] Chen Y, Wu C Y, Shui J G, et al. Emission and fixation of CO_2 from soil system as influenced by long-term application of organic manure in paddy soils [J]. Agricultural Sciences in China, 2006, 5 (6): 456-461.
- [21] 董玉红, 欧阳竹, 李运生. 肥料施用及环境因子对农田土壤 CO_2 和 N_2O 排放的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2005, 24 (5): 913-918.
- [22] 董玉红, 欧阳竹, 李运生. 不同施肥方式对农田土壤 CO_2 和 N_2O 排放的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2007, (4): 34-39.
- [23] 李明峰, 董云社, 耿元波, 等. 草原土壤的碳氮分布与 CO_2 排放通量的相关性分析 [J]. 环境科学, 2004, 25 (2): 7-11.
- [24] 朱小红. 施肥对农田温室气体排放的影响研究 [J]. 农业环境与发展, 2011, 5: 42-46.
- [25] 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.
- [26] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle [J]. Biogeochemistry, 2000, 48 (1): 7-20.

- [27] Reichstein M, Beer C. Soil respiration across scales: the importance of a model – data integration framework for data interpretation [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008, 171 (3): 344 – 354.
- [28] Reichstein M, Rey A, Freibauer A, et al. Modeling temporal and large – scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17 (4): 10 – 17.
- [29] Chen S T, Huang Y, Zou J W, et al. Modeling interannual variability of global soil respiration from climate and soil properties [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150 (4): 590 – 605.
- [30] 乔云发, 苗淑杰, 王树起. 不同施肥处理对黑土土壤呼吸的影响 [J]. *土壤学报*, 2007, 44 (6): 1028 – 1035.
- [31] Singh K P, Ghoshal N, Singh S. Soil carbon dioxide flux, carbon sequestration and crop productivity in a tropical dry land agro ecosystem: Influence of organic inputs of varying resource quality [J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42: 243 – 253.
- [32] Galantini J, Rosell R. Long – term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid pampean soils [J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 87 (1): 72 – 79.
- [33] Wang L G, Qiu J J, Li W J. Study on the dynamics of soil respiration in the field of summer corn in Huanghuaihai Region in China [J]. *Soil Fertilizer*, 2002, 6: 13 – 17.
- [34] Yu K W, Faulkner S P, Patrick W H. Redox potential characterization and soil greenhouse gas concentration across a hydrological gradient in a gulf coast forest [J]. *Chemosphere*, 2006, 62 (6): 905 – 914.
- [35] Yu K W, Chen G X, Xu H. Rice yield reduction by chamber enclosure: a possible effect on enhancing methane production [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2006, 43 (2): 257 – 261.
- [36] 刘小燕, 黄璜, 杨治平. 稻鸭鱼共栖生态系统 CH₄排放规律研究 [J]. *生态环境*, 2006, 15 (2): 265 – 269.
- [37] Porter G S, Bajita – Locke J B, Hue N V. Manganese solubility and phytotoxicity affected by soil moisture, oxygen levels, and green manure additions [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2004, 35: 99 – 116.
- [38] Kasimir K L, Berglund K, Martikainen P, et al. Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review [J]. *Soil Use and Management*, 1997, 13 (S4): 245 – 250.
- [39] Roulet N T. Peatlands carbon storage greenhouse gases and the Kyoto protocol: prospects and significance for Canada [J]. *Wetlands*, 2000, 20 (4): 605 – 615.
- [40] Song C C, Wang Y Y, Wang Y S, et al. Character of the greenhouse gas emission in the freshwater mire under human activities [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26 (1): 82 – 86.
- [41] 路克国, 朱树华, 张连忠. 有机肥对土壤理化性质和红富士苹果果实品质的影响 [J]. *石河子大学学报*, 2003, 7 (3): 23 – 26.
- [42] 韩秉进. 连年施用有机肥对土壤理化性状的影响 [J]. *农业系统科学与综合研究*, 2004, 20 (4): 11 – 12.
- [43] 王利辉. 不同来源有机肥及其配合施用对土壤性质的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2007.
- [44] Priha O, Smolande A. Fumigation extraction and substrate – induced respiration derived microbial biomass C, and respiration rate in limed soil of Scot pine sapling stands [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1994, 17: 301 – 308.
- [45] 刘晓雨, 李志鹏, 潘根兴, 等. 长期不同施肥下太湖地区稻田净温室效应和温室气体排放强度的变化 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30 (9): 1783 – 1790.
- [46] 王孝娣, 王海波, 翟衡. 高效有机肥对设施栽培土壤温度及桃生长发育的影响 [J]. *北方园艺*, 2005, (6): 18 – 20.
- [47] Buchmann N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in Picea abies stands [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32: 1625 – 1635.
- [48] 张庆忠, 吴文良, 王明新, 等. 秸秆还田和施氮对农田土壤呼吸的影响 [J]. *生态学报*, 2005, 25 (11): 2883 – 2887.
- [49] Hsia Y J, Wang C P. Soil respiration in a subtropical montane cloud forest in Taiwan [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148: 788 – 798.
- [50] Fang C M, Smith P, Moncrieff J B. Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature [J]. *Nature*, 2005, 433: 57 – 59.
- [51] IPCC. Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific – technical analyses, contribution of working group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. New York: Cambridge University Press, 1995. 745 – 772.
- [52] Blake D R, Rowland F S. Continuing worldwide increase in tropospheric methane 1978 to 1987 [J]. *Science*, 1988, 239: 1129 – 1131.
- [53] Sundh I, Mikkela C, Nilsson M, et al. Potential aerobic methane oxidation in a sphagnum – dominated peat land controlling factors and relation to methane emission [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27 (6): 829 – 837.
- [54] Nyk H, Vasander H, Huttunen J T, et al. Effect of experimental nitrogen load on methane and nitrous oxide fluxes on ombrotrophic boreal peatland [J]. *Plant and Soil*, 2002, 242 (1): 147 – 155.
- [55] 邹建文. 稻麦轮作生态系统温室气体排放研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2005. 43 – 46.
- [56] 柳敏, 宇万太, 姜子绍. 土壤活性有机碳 [J]. *生态学杂志*, 2006, 25 (11): 1412 – 1417.
- [57] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 等. 不同种类有机肥施用对稻田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响 [J]. *环境科学*, 2003, 24 (4): 7 – 11.
- [58] Yagi K, Minami K. Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1990, 36 (4): 599 – 610.
- [59] Corton T M, Bajita J B, Grospe F S, et al. Methane emission

- from irrigated and intensively managed rice fields in central Luzon (Philippines) [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, 58 (1-3): 37-53.
- [60] Li J, Wang M X, Chen D Z. Mitigation technologies as assessments on methane emission from rice paddies [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1998, 22 (2): 183-192.
- [61] Minamikawa K, Sakai N, Yagi K. Methane emission from paddy fields and its mitigation options on a field scale [J]. *Microbes and Environments*, 2006, 21 (3): 135-147.
- [62] Wassmann R, Neue H U, Ladha J K, et al. Mitigating greenhouse gas emissions from rice-wheat cropping systems in Asia [J]. *Environment Development and Sustainability*, 2004, 6: 65-90.
- [63] Yagi K, Tsuruta H, Minami K. Possible options for mitigating methane emission from rice cultivation [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 49: 213-220.
- [64] Wang S R, Huang G H, Liang Z B, et al. Advances in the research on sources and sinks of CH₄ oxidation (uptake) in soil [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, 13 (12): 1707-1712.
- [65] Parashar D C, Gupta P K, Rai J. Effect of soil temperature on methane emission from paddy field [J]. *Chemosphere*, 1993, 26: 247-250.
- [66] Dunfield P, Knowles R. Methane production and consumption in temperate and subarctic peat soils [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25: 321-326.
- [67] 李海防, 夏汉平, 熊燕梅, 等. 土壤温室气体产生与排放影响因素研究进展 [J]. *生态环境*, 2007, 16 (6): 1781-1788.
- [68] Hutsch B W. Methane oxidation, nitrification, and counts of methanotrophic bacteria in soils from a long-term fertilization experiment [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2001, 164 (1): 21-28.
- [69] Hanson R S, Hanson T E. Methanotrophic bacteria [J]. *Microbiology and Molecular Biology Review*, 1996, 60 (2): 439-471.
- [70] 胡荣桂. 氮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.
- [71] 华路, 郑海金. 不同有机物料对土壤 N₂O 排放的影响与调控 [J]. *中国环境科学*, 2004, 24 (4): 464-468.
- [72] 万运帆, 李玉娥, 高清竹, 等. 不同农业措施下冬小麦田 N₂O 排放通量的特征 [J]. *中国农业气象*, 2008, 29 (2): 130-133.
- [73] Hutsch B W. Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite, and organic manure with respect to soil pH [J]. *Fertilizer and Soils*, 1998, 28: 27-35.
- [74] Schimel J. Global change rice microbes and methane [J]. *Nature*, 2000, 403: 375-377.
- [75] Zhu Z H. Research progresses on the fate of soil N supply and applied fertilizer N in China [J]. *Soils*, 1985, 17 (1): 2-9.
- [76] Melillo J M, Steudler P A, Aber J D. Soil warming and carbon-cycle feedbacks to the climate system [J]. *Science*, 2002, 298: 2173-2176.
- [77] Li Y C, Song C C, Liu D Y. Advances in studies of N₂O emission in wetland soils [J]. *Wetland Science*, 2008, 6 (2): 124-129.
- [78] Zhu X, Silva L C R, Doane T A. Iron: The forgotten driver of nitrous oxide production in agricultural soil [J]. *Plos One*, 2013, 8 (3): e60146.
- [79] 刘慧颖, 韩琪祚, 华利民. 施氮方式对玉米氮吸收及土壤养分、N₂O 排放的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2013, (6): 17-21.
- [80] Fleisher D H, Cavazzoni J, Giacomelli G A. Adaptation of substrate for controlled-environment potato production with elevated carbon dioxide [J]. *Transactions of the ASAE*, 2003, 46 (2): 531-538.
- [81] Chadwick D R, Pain B F, Brookman S K. Nitrous oxide and methane emissions following application of animal manures to Grassland [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29: 277-287.
- [82] Angers A, Recous S. Decomposition of wheat and rye residue as affected by particle size [J]. *Plant Soil*, 1997, 189: 197-203.
- [83] Mosier A, Kroeze C, Nevison C. Closing the global atmospheric N₂O budget: Nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle [J]. *Nutrient Cycling in Agro-ecosystems*, 1998, 52: 225-248.
- [84] Aulakh M S, Doran J W, Walters D T. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization [J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1991, 55: 1020-1025.
- [85] Bremner J M, Blackmer A M. Terrestrial nitrification as a source of atmospheric nitrous oxide [A]. Delwiche C C. Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide [M]. New York: Chichester John Wiley & Sons Ltd., 1981. 151-170.
- [86] Weier K L, Doran J W, Power J F. Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57: 66-72.
- [87] Li X, Yan X Y, Xing G X. Use of different crops and animal waste nitrogen contribution to N₂O emissions [J]. *Soils*, 2008, 40 (4): 548-553.
- [88] Cao B, He F Y, Xu Q M, et al. Denitrification Losses and N₂O Emissions from nitrogen fertilizer applied to a vegetable field [J]. *Pedosphere*, 2006, 16 (3): 390-397.
- [89] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 等. 稻田不同种类有机肥施用对后季麦田 N₂O 排放的影响 [J]. *环境科学*, 2006, 27 (7): 1264-1268.
- [90] 张海楼, 安景文, 董环, 等. 有机物对玉米田排放 N₂O 的影响 [J]. *农业科技与装备*, 2012, 211 (1): 3-6.
- [91] 蒋静艳, 黄耀, 宗良纲. 水分管理与秸秆施用对稻田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响 [J]. *中国环境科学*, 2003, 23 (5): 552-556.
- [92] 潘志勇, 吴文良, 刘光栋, 等. 不同秸秆还田模式与氮肥施用量对土壤 N₂O 排放的影响 [J]. *土壤肥料*, 2004 (5): 6-8.


- [93] 曾江海, 王智平, 张玉铭. 小麦-玉米轮作期土壤排放 N_2O 通量及总量估算 [J]. 环境科学, 1995, 16 (1): 32-35.
- [94] 熊正琴, 邢光熹, 鹤田治雄. 豆科绿肥和化肥氮对双季稻田氧化亚氮排放贡献的研究 [J]. 土壤学报, 2003, 40 (5): 703-710.
- [95] LI L, Hu L F, Chen F. Effects of different long-term fertilization on emission of CH_4 and N_2O from paddy soil [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25 (plus): 707-710.
- [96] Meng L, Ding W X, Cai Z C. Long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer on N_2O emission, soil quality and crop production in a sandy loam soil [J]. Soil Biol Biochem, 2005, 37: 2037-2045.
- [97] Wolsing M, Prieme A. Observation of high seasonal variation in community structure of denitrifying bacteria in arable soil receiving artificial fertilizer and cattle manure by determining T-RFLP of nir gene fragments [J]. FEMS Microbiology Ecology, 2004, 48: 261-271.
- [98] Rath A K, Swain B, Ramakrishnan B, et al. Influence of fertilizer management and water regime on methane emission from rice fields [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 1999, 76: 99-107.
- [99] 秦晓波, 李玉娥, 刘克樱, 等. 不同施肥处理对稻田 N_2O 排放的影响 [J]. 中国农业气象, 2006, 27 (4): 273-276.

Research advances on effect of organic fertilizer on farmland greenhouse gas emissions

SHEN Shi-zhou, WANG Feng, XUE Chang-liang, ZHANG Ke-qiang* (Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191)

Abstract: Organic fertilizer is widely used because it carries a full range of nutrients and is rich in biologically active substances and helpful for improving soil fertility and crop quality. However, the mechanism of organic fertilizer on farmland soil is complex. And the impact on agricultural soils in greenhouse gases can not be ignored. It affects agricultural soil emissions of greenhouse gases by increasing soil organic C, changing the soil C/N and soil respiration rate, and increasing microbial activity. Combined domestic and abroad research progress, the paper briefly described the effect factors and characteristics of organic fertilizer on farmland greenhouse gas emissions. The key research direction of the field in the future was proposed in order to reveal the mechanism of organic fertilizer on greenhouse gas fluxes, and provide a reference control greenhouse gas emissions.

Key words: organic fertilizer; soil; CO_2 ; CH_4 ; N_2O

 江苏省淮安大华生物科技有限公司 为您提供……
大 华 高效、绿色、环保发酵剂——酵素菌速腐剂



许可证号: 微生物肥 (2003) 准字 (0107) 号、国环有机农业生产资料认证号: OP-0109-932-201

淮安市大华生物科技有限公司是以研制生产酵素菌系列微生物制品为主的科技型企业, 集科研、生产、销售于一体, 技术力量雄厚、设备先进、设施完善。本公司主要产品微生物发酵剂——酵素菌速腐剂, 是采用生物技术制成的一种好(兼)气性复合微生物制剂, 高效、绿色、环保, 内含大量有益微生物、活性酶, 适用于秸秆腐熟、畜禽粪便处理、垃圾堆肥、污泥堆肥和饼粕肥、农家肥等有机物固体发酵和畜禽粪便液体发酵, 是生产有机生物肥的优质、高效发酵剂。

主要功效: 1. 发酵分解能力强, 快速腐熟有机材料。2. 改良土壤, 增强地力。3. 增产效果显著。4. 减轻病虫害, 克服连作障碍。5. 改善农产品品质。我公司可为生物有机肥生产厂家提供发酵原料配比、工艺等资料。

机插秧育苗专用肥——机插水稻育苗基质

[苏农肥 (2005) 准字 0365-02 号]

机插水稻育苗基质(拌土型)是根据无土栽培学、植物营养学、肥料学、土壤微生物学原理研制而成, 内含有多钟有益微生物、有机物及植物所需的大量、微量平衡营养元素, 既是一种栽培基质又是一种良好的土壤调理剂。根据江苏农垦多年应用结果, 具有“五省三增”的效果, 即: 省工、省肥、省药、省地、省机械费用, 增加产量、增强抗病性、增加效益。

功效特点: 1. 改良育秧土壤结构, 提高土壤通透性和保水性能, 提高养分利用率。2. 有机、无机、微生物肥三元配比科学, 营养全面, 苗期无需追肥。3. 根际形成的优势菌种能抑制和减少病原菌的产生, 减轻病虫害的发生, 增强植物抗性。4. 采用天然可降解有机物等经多重生化处理制成, 属绿色环保型产品, 符合绿色无公害农业的要求。5. 节本增效, 每盘育苗成本仅需 0.2 元。

我公司还生产国环有机认证产品“华丰有机液肥”, 并为有机基地提供种植方案, 现诚征各地经销代理商。

地址: 江苏省淮安市楚州区白马湖农场 邮编: 223216

电话: 0517-85751101、85751488 传真: 0517-85751488

联系人: 陈忠良 手机: 18952315919 网址: <http://www.jsdh.com> E-mail: dahua@jsdh.com