

秸秆还田对稻田土壤和温室气体排放的影响

郝帅帅 顾道健 陶进 朱宽宇 赵鑫杰 邓土养 马永恒 张耗*

(扬州大学/江苏省作物遗传生理国家重点实验室培育点/粮食作物现代产业技术协同创新中心, 江苏 扬州 225009;

* 通讯作者: haozhang@yzu.edu.cn)

摘 要: 秸秆还田作为农业生产中的重要环节, 具有固碳、促进养分元素循环、减少化肥施用、维持土壤肥力的积极作用。本文概述了作物秸秆的利用现状、秸秆还田对稻田土壤理化性质及温室气体排放的影响, 并对秸秆还田研究进行了展望。

关键词: 秸秆还田; 稻田; 温室气体; 土壤改良

中图分类号: S512 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2016)05-0006-04

我国秸秆资源丰富, 年总产量在 6.0 亿 t 以上^[1], 但还田率较低, 在一些地区被大量焚烧, 不仅造成秸秆大量浪费, 而且严重污染空气, 对生态环境造成极大影响。还田秸秆主要来自于前季的麦秸秆或玉米秸秆及其制成的有机物料, 这些秸秆富含有机碳, 并含有大量的磷、钾、氮、硅等矿物质营养元素, 还田秸秆在增加稻田土壤有机质和改善土壤结构和物理性状的同时, 也会大量排放 CH₄、N₂O 等温室气体^[2]。本文综述了近年来国内外秸秆还田对稻田土壤理化性质及温室气体排放影响的研究进展, 以期为合理利用秸秆资源提供理论依据。

1 作物秸秆利用现状

据了解, 世界上各种谷类作物每年产生的秸秆约有 20.0 亿 t, 而其中大概只有 10.0% 被利用, 因此, 作物秸秆的利用空间还很大。我国每年的各类秸秆产量约在 6.0 亿 t 左右, 其中水稻秸秆有 2.3 亿 t^[3]。在我国虽然有农民以秸秆为饲料或者肥料, 但大部分秸秆还是被直接焚烧或者丢弃, 不仅造成秸秆资源的极大浪费, 还会引起一系列的环境问题。因此, 如何对我国秸秆资源进行有效利用仍需进一步深入研究。

2 秸秆还田对土壤理化性质的影响

2.1 秸秆还田对土壤物理性质的影响

秸秆主要以覆盖的形式施入土壤中, 可以减少土壤水分蒸发, 缓解土壤表层温度的变化, 调节水、肥、气、热等, 改善土壤的理化性质。余雄波^[4]研究表明, 施用有机肥能够增加土壤有机质, 降低土壤容重, 对土壤有良好的培肥改良作用。戴志刚等^[5]研究表明, 秸秆还田能够增大土壤孔隙度, 减小土壤容重。慕平等^[6]研究

发现, 逐年连续全量玉米秸秆还田与浅耕翻埋措施配合实施, 能够促进秸秆纤维腐解残体与土壤团粒结合, 达到降低土壤容重, 并疏松土壤的作用。孙汉印等^[9]观察到, 不同秸秆还田方式对各个级别团粒体的影响各有不同, 还田后微团聚体(<53 μm)的含量降低, 但大团聚体(>2 000 μm)和中微团聚体(53~250 μm)的含量增加。这些结果都表明, 秸秆还田可有效改良土壤的水、肥、气、热等物理性质。

2.2 秸秆还田对土壤呼吸的影响

据研究分析, 秸秆还田对农田土壤呼吸作用的影响较显著。首先, 秸秆还田后能够有效改善稻田土壤环境; 其次, 秸秆还田还能够促进土壤微生物的活动, 从而影响土壤养分的转化; 同时, 秸秆还田腐解后能够有效增加土壤孔隙度, 并且能提高土壤有机质含量。此外, 秸秆还田还能促进土壤中 CO₂ 向空气中的扩散, 从而提高 CO₂ 的释放速率^[7]。Markus Raubuch 等^[8]研究表明, 添加秸秆的土壤呼吸速率和微生物生物量碳均高于未添加秸秆的对照。David 等^[9]试验结果表明, 添加秸秆明显增加了土壤 CO₂ 的排放量, 尽管 CO₂ 的排放量和碳的存储呈负相关, 但在试验末期还是能够增加土壤有机碳的储存量。

2.3 秸秆还田对土壤养分和有机质的影响

土壤有机质是衡量土壤养分的一个重要指标, 而秸秆还田能够通过提高土壤有机质来改良土壤, 是改

收稿日期: 2016-06-14

基金项目: “973”项目(2015CB150404); 国家自然科学基金(31201155); 教育部博士点基金(20123250120001); 江苏省高校自然科学研究重大项目(15KJA210005); 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 扬州大学高端人才支持计划

良土壤的一种有效措施。秸秆腐解后能够促进大量微生物的繁殖, 而微生物的大量活动又会加速秸秆有机养分的分解释放, 最终导致土壤有机质含量的提高。在当前耕作制度下, 秸秆还田是增加稻田土壤碳的一项重要且可行的措施。

土壤的有机质含量和腐殖化程度受到秸秆还田量的影响^[10]。据报道, 当秸秆还田量为 4 500~6 000 kg/hm² 时, 土壤的有机质含量可以稳步提高^[11]。白和平等^[12]研究结果显示, 与秸秆不还田相比, 秸秆还田之后的土壤有机质提高了 0.29 g/kg。马惠杰^[13]研究表明, 玉米秸秆还田 5 年后, 土壤有机质含量增加 0.29%, 0~20 cm 的耕层内土壤碱解氮增加 31.2 mg/kg、速效磷增加 3.8 mg/kg、速效钾增加 24.5 mg/kg。王鹤桥^[14]研究表明, 每 hm² 施 22 500 kg 玉米秸秆, 1 年后土壤有机质净积累 0.14%、全氮净增 0.005%、全磷增加 0.018%、全钾增加 0.90%。朱捍华等^[15]通过 6 年田间定位试验表明, 秸秆还田后的丘陵红壤与施化肥的相比, 有机质含量增加了 5.8%~28.9%, 土壤性质也得到了明显改善。相关研究表明, 秸秆在土壤中的分解主要是土壤微生物利用蛋白质和可溶性有机碳等易分解的有机质作为碳源, 对其进行矿化的同时, 另一部分碳物质被同化, 与此同时促进了养分的释放, 随后进入矿化阶段, 在微生物的进一步作用下难分解的有机物和残存在土壤中的氮素进行复杂的化学反应形成易分解的腐殖物, 进而提高土壤的有机质含量并对土壤的有机质进行更新^[16]。

2.4 秸秆还田对土壤微生物和酶的影响

秸秆还田腐解分解后能够影响土壤中碳、氮、磷循环的酶发挥, 进而通过这些酶来影响碳、氮、磷的含量。秸秆在土壤中分解后能够产生足够的碳源和氮源提供给土壤中的微生物, 为微生物的生长繁殖提供了适宜的环境, 提高了微生物的活性, 特别是能够增加细菌和真菌的比例^[17]。细菌途径和真菌途径是土壤中微生物分解的两种重要途径。真菌途径主要适用于难分解物质的分解和碳氮比较高的有机物质的分解。由于其难分解性, 所以相对来说资源循环的时间相对较长。而细菌途径则主要是用于易分解物质的分解。与真菌途径相比, 它具有较快的循环速度^[18]。路怡清等^[19]研究表明, 秸秆还田处理可使土壤脲酶、碱性磷酸酶、转化酶和脱氢酶活性提高, 还能够有效促进细菌、真菌、放线菌的生长繁殖, 增加微生物群落的数量, 增加土壤酶活性。

3 秸秆还田对温室气体排放的影响

3.1 农田主要温室气体

气候变化是当今全球面临的重大挑战。CO₂、CH₄ 和 N₂O 是大气中最主要的温室气体, 对温室效应的贡献率约为 80%^[20]。温室气体的排放源很多, 农业生产活动是其中主要的排放源之一。据估计, 人类活动产生的温室气体排放量的 14% 来源于农业, 其中, CH₄ 排放量的 52% 和 N₂O 排放量的 84% 来源于农业活动^[21]。稻田是农业活动温室气体排放的主要来源。

3.2 秸秆还田对 CO₂ 排放的影响

农田生态系统 CO₂ 的排放包括土壤呼吸和作物呼吸, 相应地, 稻田 CO₂ 的排放与很多因素相关。秸秆的施用对土壤 N 素以及 C 吸存量、pH 值、微生物量等因素都有影响, 通过改变这些因素进而影响 CO₂ 通量, 具体的增加或减少, 各学者观点基本一致。

研究表明, 秸秆还田后腐解产生有机质能够显著影响土壤呼吸^[9]。强学彩等^[22]测定了 3 种不同量秸秆还田处理的土壤呼吸显示, 在一定范围内, 秸秆还田的量越多, CO₂ 的释放量也越多。秸秆在土壤中的分解引起土壤中 CO₂ 含量的增加, 但也能够增加土壤有机碳的含量, 而且还能够提高土壤孔隙度, 对土壤固碳有积极效果。

3.3 秸秆还田对 CH₄ 排放的影响

CH₄ 是地球大气中含量最高的有机气体, 对温室效应的贡献可达 15%, 仅次于 CO₂。全球稻田 CH₄ 的排放总量约为 35~36 Tg (1 Tg=10¹² g), 其中我国的排放量约占了其中的 1/4^[23]。

有研究认为, 稻田排放的 CH₄ 主要是由土壤中的产甲烷菌在厌氧环境下通过有机质的发酵和土壤硝化与反硝化作用产生的^[24]。Guo 等^[25]研究显示, 秸秆还田后的稻田温室气体排放量显著高于秸秆未还田的稻田, 特别是甲烷。Setyanto 等^[26]研究认为, 秸秆还田后的甲烷排放量比未还田田块增加 2~25 倍。蒋静艳等^[27]研究显示, 稻田施用有机肥越多, 则甲烷的排放量就越多, 而对于施用不同有机肥的田块其温室气体效应也不同, 说明温室气体的排放还受有机肥种类的影响, 并且施用秸秆的田块 CH₄ 的排放量要明显高于施用厩肥的田块。肖小平等^[28]对不同稻草还田方式对稻田 CH₄ 排放的影响进行了研究, 结果表明, 不同的秸秆处理方式也影响稻田温室气体的排放, 相对于翻耕还田来说, 免耕还田方式能够显著降低甲烷的排放速率。杨书运等^[29]研究发现, 秸秆还田和减量施肥配合能够使麦田土壤 CH₄ 排放减少 27.33%。这可能与秸秆还田的方式

和还田深度有关。据研究, 水分管理也是影响稻田 CH_4 排放的一个重要因素, 有效控制水分可以减少稻田 CH_4 的排放, 相较于常规灌溉, 淹水灌溉和间歇灌溉均能减少稻田 CH_4 的排放^[27]。

3.4 秸秆还田对 N_2O 排放的影响

N_2O 在大气中难以被氧化分解, 因此能够长时间存在大气中参与各种化学反应, 例如平流层中的臭氧能够将其氧化产生 N_2 和 NO , 而这样则破坏了大气臭氧层, 造成严重的环境问题。相比之下, N_2O 的温室效应(红外吸收能力)是等量 CO_2 的 150~200 倍。据了解, 农田是 N_2O 重要的排放源之一, 生物圈释放到大气中的 N_2O 总量的 90% 来源于农田土壤^[30]。

稻田主要是通过硝化作用与反硝化作用产生 N_2O 。稻田 N_2O 的排放过程受很多因素的影响, 包括水分管理方式、土壤性质、土壤微生物的数量和种类以及通气状况、有机质含量等。秸秆还田通过改变土壤 N 状况、 C/N 以及 NO_3^--N 和 NH_4^+-N 的含量, 进而影响 N_2O 的排放通量。对于此结果, 各学者的研究结果迥异。部分学者研究认为, 氮肥处理相对于有机肥处理能够促进更多 N_2O 的排放^[31]。也有研究发现, 施用有机肥后 N_2O 的排放显著高于施氮处理^[32]。还有学者研究显示, 秸秆还田导致农田土壤 N_2O 排放量减少, 这可能是由于秸秆的添加引起土壤碳氮比的提高所致, 碳氮比的提高导致了微生物对氮源的充分利用, 因此减少了硝化和反硝化作用的中间产物即 N_2O 的排放。秸秆还田增加农田土壤 N_2O 排放的原因可能是秸秆还田下 N 素的反硝化作用得到增强。叶文培等^[33]研究表明, 土壤铵态氮会由于秸秆的施入而降低, 而且秸秆还田量越大铵态氮的浓度越低, 也就是增强了硝化作用, 增加了 N_2O 的排放。

稻田 N_2O 的排放是各个因素综合作用的结果。减排 N_2O 的关键是降低土壤产 N_2O 基质, 只有 N_2O 基质降低了才能改变硝化作用和反硝化作用的反应环境, 进而达到 N_2O 减排的效果。因此, 可以将研究集中在养分的控制释放方面, 如减少氮肥施用、提高 N 素利用率、增加生物碳的施用等。

4 讨论与展望

农作物秸秆的焚烧是环境保护的重大课题, 而秸秆是富含碳源的一种能源物质, 以秸秆还田代替秸秆焚烧刻不容缓, 秸秆还田也成为秸秆利用的一种重要手段。近些年来, 关于秸秆还田的时间、方式、数量等方

面国内外的科学家做了大量研究。众多研究结果都表明, 秸秆还田对农业生态系统有利^[34], 能够改变土壤物理化学性质以及提高土壤呼吸强度, 改善土壤养分和有机质等。但是, 秸秆还田对 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等温室气体的排放也产生了一定的影响。目前, 国内外对于秸秆还田的研究大多集中于秸秆还田的培肥效果、对土壤改良性状的研究以及对作物生长发育和产量提高等方面。

在今后的工作中, 应着力于以下几个方面: 第一, 作物秸秆还于田中, 直接与土壤接触, 作物根系扎根于土壤中, 也直接与土壤接触, 深入研究秸秆还田条件下的根系-土壤互作机制, 可为提高水分养分利用效率找到突破口。第二, 对于农业系统来说, 并不能单一的从某一个角度来考量评价, 今后的研究更应该倾向于秸秆还田的综合考量。例如, 开展秸秆还田对农田温室气体综合效应的影响及机理研究, 可为制定相应的减排措施提供理论依据。第三, 由于直播稻省工节本的特点, 近年来其面积迅速发展。在新形势下, 因势利导的加强秸秆还田对直播稻产量与品质的影响及其生理基础研究具有现实意义。

参考文献

- [1] Wang Y Y, Zhu B, Wang Y Q, et al. N_2O emission from paddy field under different rice planting modes [J]. *Wuhan University J Natural Sci*, 2006, 11(4): 989-996.
- [2] 李长生, 肖向明, Froking S, et al. 中国农田的温室气体排放[J]. 第四纪研究, 2003, 23(5): 493-503.
- [3] 余雄波. 稻田施用不同有机肥的效益 [J]. 作物研究, 2006(2): 121-123.
- [4] 戴志刚, 鲁剑巍, 周先竹, 等. 不同耕作模式下秸秆还田对土壤理化性质的影响[J]. 中国农技推广, 2012(3): 46-47.
- [5] 慕平, 张恩和, 王汉宁, 等. 连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性质及微生物量的影响 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 82-83.
- [6] 孙汉印, 姬强, 王勇, 等. 不同秸秆还田模式下水稳性团聚体有机碳的分布及其氧化稳定性研究 [J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(2): 369-376.
- [7] 芦思佳, 韩晓增. 施肥对土壤呼吸的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2011, 27(3): 366-370.
- [8] Markus Raubuch, Kerstin Behr, Katja Roose, et al. Specific respiration rates adenylates, and energy budgets of soil microorganisms after addition of transgenic Bt-maize straw [J]. *Pedobiologia*, 2010, 53: 191-196.
- [9] David Bada, Clara Martí, Angel J, et al. Straw management effects on CO_2 efflux and C storage in different Mediterranean agricultural soils

- [J]. *Sci Total Environ*, 2013, 465: 233-239.
- [10] 陈世正, 杨邦俊, 宋光煜, 等. 稻草还田对土壤肥力与作物产量的影响[J]. 土壤肥料, 1995(4): 13.
- [11] 何生保. 农作物秸秆还田的可持续发展探讨 [J]. 农业机械, 2001(1): 41.
- [12] 白和平, 胡喜巧, 朱俊涛, 等. 玉米秸秆还田对麦田土壤养分的影响[J]. 科技信息, 2011(11): 37.
- [13] 马惠杰. 一年三季秸秆还田培肥研究[J]. 土壤肥料, 2014(3): 56-57.
- [14] 王鹤桥. 玉米主产区黑土培肥技术与效益 [J]. 土壤肥料, 2012(1): 165-166.
- [15] 朱捍华, 黄道友, 刘守龙, 等. 稻草易地还土对丘陵红壤有机质和主要物理性质的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2497-2502.
- [16] 朱培立, 王志明, 黄东迈, 等. 无机氮对土壤中有机碳矿化影响的探讨[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 457-463.
- [17] Zhang S H, Lian J H, Cao Z P, et al. Effects of adding straw carbon source to root knot nematode diseased soil on soil microbial biomass and protozoa abundance[J]. *Chin J Appl Ecol*, 2013, 24(6): 1633-1638.
- [18] Ingwersen J, Poll C, Streck T, et al. Micro-scale modelling of carbon turnover driven by microbial succession at a biogeochemical interface[J]. *Soil Biol Biochem*, 2008, 40: 864-878.
- [19] 路怡清, 朱安宁, 张佳宝, 等. 免耕和秸秆还田对土壤酶活性和微生物群落的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 85-90.
- [20] Hansen J E, Laci A A. Sun and dust versus greenhouse gases: An assessment of their relative roles in global climate change[J]. *Nature*, 1990, 346(6286): 713-719.
- [21] Smith P, Martino P, Cai Z, et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture[J]. *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B-Biologic*, 2008, 363(1492): 789-813.
- [22] 强学彩, 袁红莉, 高旺盛. 秸秆还田量对土壤 CO₂ 释放和土壤微生物量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 469-472.
- [23] 王明星, 李晶, 郑循华. 稻田甲烷排放及产生、转化、输送机理[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 600-612.
- [24] 葛会敏, 陈璐, 于一帆. 稻田甲烷排放与减排的研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(3): 160-166.
- [25] Guo L, Lin E. Carbon sink in cropland soils and the emission of greenhouse gases from paddy soils: A review of work in China[J]. *Chemosphere-Global Change Sci*, 2001, 3: 413-418.
- [26] Setyanto P, Makarim A K, Fagi A M, et al. Crop management affecting methane emissions from irrigated and rainfed rice in Central Java (Indonesia) [J]. *Nutr Cycl Agroecosys*, 2000, 58: 85-93.
- [27] 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.
- [28] 肖小平, 伍芬琳, 黄凤球, 等. 不同稻草还田方式对稻田温室气体排放影响研究[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(5): 629-632.
- [29] 杨书运, 严平, 马友华, 等. 施肥对冬小麦土壤温室气体排放的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1642-1645.
- [30] Bouwman A F. The role of soil and land use in the greenhouse effect [M]//Bouwman A F. In soils and the greenhouse effect. Chichester: Wiley, 1990: 61.
- [31] 熊正琴, 邢光熹, 鹤田治雄, 等. 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(45): 704.
- [32] 曾江海, 王智平, 张玉铭, 等. 小麦-玉米轮作期土壤排放 N₂O 通量及总量估算[J]. 环境科学, 1995, 16(1): 32-35.
- [33] 叶文培, 王凯荣, J S E, 等. 添加玉米和水稻秸秆对淹水土壤 pH、二氧化碳及交换态的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 345-350.
- [34] Anvar S M, Oliver M D. Soil microbial eco-physiology as affected by short-term variations in environmental conditions [J]. *Soil Biol Biochem*, 2002, 34: 1283-1290.

Effects of Residue Returning on Paddy Soil and Greenhouse Gas Emissions

HAO Shuaishuai, GU Daojian, TAO Jin, ZHU Kuanyu, ZHAO Xinjie, DENG Tuyang, MA Yongheng, ZHANG Hao*

(Yangzhou University/Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province / Co-innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; * Corresponding author: haozhang@yzu.edu.cn)

Abstract: Residue returning is an important part of agricultural production, playing a positive role in carbon fixation, promoting nutrient cycling, reducing chemical fertilizer and maintaining soil fertility. This article summarized the utilization status of residue, the effects of residue returning on paddy soil and greenhouse gas emissions, and the research prospects of residue returning.

Key words: residue returning; paddy field; greenhouse gas; soil improvement