

稻秸的不同组分对水稻土微生物量碳氮及可溶性有机碳氮的影响

汤宏^{1,2}, 沈健林², 刘杰云³, 王聪², 吴金水², 张杨珠⁴

(1. 凯里学院环境与生命科学学院, 贵州 凯里 556011;

2. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125;

3. 宿州学院环境与测绘工程学院, 安徽 宿州 234100; 4. 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

摘要: 为探明稻秸(稻草)及其不同组分(腐解稻秸、可溶性有机物和去活稻秸)对红黄泥水稻土微生物量碳、氮(MBC、MBN)和可溶性有机碳、氮(DOC、DON)含量的影响。通过室内恒温培养试验,研究了长期淹水条件下,添加稻秸及其组分对 MBC、MBN、DOC 和 DON 的影响。结果表明,与对照(S 处理)相比,添加稻秸(RS+S 处理)、腐解稻秸(DRS+S 处理)和去活稻秸(NARS+S 处理)均提高了 MBC,提高幅度分别为 11.17% ($p < 0.01$), 1.83% 和 6.25% ($p < 0.05$),添加可溶性有机物(DOM+S 处理)处理降低了 MBC,降低幅度为 2.67%;RS+S 处理提高了 MBN,提高幅度为 15.29%,DRS+S、DOM+S 和 NARS+S 处理均降低了 MBN,降低幅度分别为 15.19%, 3.09% 和 15.92%。与 S 处理相比,RS+S、DRS+S、DOM+S 和 NARS+S 处理均极显著提高了红黄泥 DOC ($p < 0.01$),提高幅度依次分别为 13.33%, 10.88%, 6.81% 和 11.41%;RS+S、DRS+S 和 DOM+S 处理均显著提高了红黄泥 DON ($p < 0.05$),NARS+S 处理极显著提高了红黄泥 DON ($p < 0.01$),提高幅度依次分别为 6.96%, 10.84%, 10.12% 和 13.41%。与 S 处理相比,DRS+S 和 NARS+S 处理极显著提高了 MBC/MBN,RS+S 处理显著降低了 MBC/MBN,DOM+S 处理对 MBC/MBN 几乎没有影响;各处理对 DOC/DON 没有显著影响。稻秸及其不同组分对红黄泥水稻土 MBC、MBN、DOC 和 DON 含量的影响基本一致,但影响程度存在差异,稻秸和去活稻秸影响较大。结果可为稻秸及其不同组分对 MBC、MBN、DOC 和 DON 的影响机理提供基础数据,进一步揭示稻田土壤速效养分的来源与转化关系,为农业生产中秸秆的科学利用和稻田土壤肥力定向培育提供科学依据。

关键词: 稻秸; 稻秸组分; 水稻土; 微生物量碳、氮; 可溶性有机碳、氮

中图分类号: S141.4; S153.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2017)04-0264-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.04.042

Effects of Different Ingredients of Rice Straw Incorporation on Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Dissolved Organic Carbon, Nitrogen in Rice Paddy Soil

TANG Hong^{1,2}, SHEN Jianlin², LIU Jieyun³, WANG Cong², WU Jinshui², ZHANG Yangzhu⁴

(1. College of Environment and Life Science, Kaili University, Kaili, Guizhou 556011; 2. Key Laboratory of Agro-ecology Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese

Academy of Sciences, Changsha 410125; 3. School of Environment and Surveying Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234100; 4. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128)

Abstract: This study aimed to analyze the effects of rice straw (rice straw) and its different ingredients (decomposed rice straw, dissolved organic material, non-active ingredient rice straw) on microbial biomass carbon, nitrogen (MBC, MBN) and dissolved organic carbon, nitrogen content (DOC, DON) in the well-drained paddy soil from quaternary red clay. An indoor thermostatic incubation experiment under continuous flooding was carried out. The results showed, compared to the control (S treatment), rice straw (RS+S treatment), decomposed rice straw (DRS+S treatment) and non-active ingredient rice straw treatment (NARS+S treatment) increased by 11.17% ($p < 0.01$), 1.83% and 6.25% ($p < 0.05$) in MBC, respectively, dissolved organic material treatment decreased by 2.67% in MBC. RS+S treatment increased by 15.29% in MBN, while DRS+S, DOM+S, and NARS+S decreased by 15.19%, 3.09% and 15.92% in MBN, respectively. Compared with S, RS+S, DRS+S, DOM+S and NARS+S treatments significantly increased

收稿日期: 2017-02-24

资助项目: 凯里学院获得博士学位教师(引进教授)专项课题(BS201334); 国家自然科学基金青年基金项目(41101247)

第一作者: 汤宏(1974—), 男, 湖南益阳人, 博士, 副教授, 主要从事土壤化学与生态环境、土壤肥力的教学和研究。E-mail: 13077315255@126.com

通信作者: 吴金水(1961—), 男, 博士, 研究员, 主要从事土壤生态与农业环境研究。E-mail: jswu@isa.ac.cn

张杨珠(1956—), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤肥力与作物高效施肥研究。E-mail: zhangyangzhu2006@163.com

by 13.33%, 10.88%, 6.81% and 11.41% in DOC, respectively ($p < 0.01$); RS+S, DRS+S and DOM+S treatments significantly increased by 6.96%, 10.84% and 10.12% in DON, respectively ($p < 0.05$); and NARS+S treatment highly significantly increased by 13.41% in DON ($p < 0.01$). Compared with S, DRS+S and NARS+S treatments highly significantly increased MBC/MBN ($p < 0.01$), while RS+S treatment significantly decreased the MBC/MBN ($p < 0.05$), and DOM+S treatment almost had no effect on MBC/MBN. Among the treatments, there were no significant differences in DOC/DON. As for MBC, MBN, DOC and DON in the well-drained paddy soil from quaternary red clay, rice straw and its different ingredients work in the same direction, but in different degree. The findings can provide a basic data for understanding the controls of rice straw and its different ingredients on MBC, MBN, DOC and DON, and a scientific basis for revealing the relationship between the source and conversion of available nutrient in paddy soil, which are useful for improving the use efficiency of rice straw and soil fertility.

Keywords: rice straw; rice straw ingredient; paddy soil; microbial biomass carbon and nitrogen; dissolved organic carbon and nitrogen

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分。土壤中的物质和能量转化都离不开土壤微生物的作用,同时也深刻影响着土壤肥力、植物生长和环境中污染物的降解^[1-2]。土壤微生物的生物质量称为土壤微生物生物量,微生物量碳、微生物量氮、微生物量磷和微生物量硫均属广义的土壤微生物生物量范畴,其含量的高低变化是衡量土壤肥力高低及其变化的重要依据之一^[3]。

土壤可溶性有机碳、氮在微生物生化循环中起着关键作用,直接影响生态系统中土壤养分的有效性和流动性^[4]。可溶性有机碳、氮近年来备受土壤学家、环境学家和生态学家的广泛关注,作为陆地生态系统中一种重要的、极活跃的养分形式,它们的转化对土壤C、N等元素的转化起着重要作用,同时也是土壤生态系统中主要的可移动的碳氮养分库及重要的养分库^[5]。有研究表明土壤中可溶性有机碳氮在生态系统养分循环和促进矿物风化等成土作用^[6]以及污染物迁移转化^[4]等方面发挥了重要作用。

土壤微生物量碳氮和可溶性有机碳氮的数量和变化受不同施肥、不同耕作和不同水分管理等措施的影响较大^[7-9]。研究表明,仅添加外源有机物料和施用化肥均可显著影响土壤微生物量碳氮和可溶性有机碳氮的变化^[10]。但外源有机物料和化肥配施效果更显著,可大大提高土壤微生物量碳氮和可溶性有机碳氮^[11]。虽然关于施用有机物料等不同施肥措施对土壤微生物量碳氮和可溶性有机碳氮的影响研究较多^[7,9-11],但在等碳量条件下,关于同一有机物料的不同组分对水稻土微生物量碳氮和可溶性有机碳氮的影响研究鲜见报道。本研究拟通过室内恒温培养试验,研究按等碳量添加不同稻秸组分对水稻土微生物量碳氮和可溶性有机碳氮的影响,从而为农业生产中秸秆的科学施用和稻田土壤肥力培育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和稻秸

供试土壤为采集于湖南省长沙县春华镇的红黄泥,该土壤发育于第四纪红色黏土,属典型水稻土,采样深度为0—20 cm,采样点在采样前种植作物为水稻,土壤质地为黏砂壤土。供试土壤的基本理化性质为:土壤全氮含量 2.89 g/kg,有机碳含量 24.54 g/kg,微生物量碳、氮含量分别为 789.34, 116.09 mg/kg,可溶性有机碳、氮含量分别为 75.36, 54.12 mg/kg,铵态氮、硝态氮含量分别为 74.80, 9.94 mg/kg,阳离子交换量 8.69 cmol/kg,土壤 pH 为 5.40。

土样采集回来后置于室内让其自然风干,盛于盛土盘内用木棍滚压,并分别过 10, 20, 100 目土壤筛,用以测定基本理化性质,其中过 20 目的土壤用于培养试验;供试稻秸(用来制备稻秸的不同组分)采自相同田块,所采稻秸在 70 °C 下烘干至恒重,粉碎过 20 目筛后,装入广口瓶内备用。稻秸不同组分的性质见表 1。

表 1 供试稻秸组分的基本性质

稻秸不同组分	单位:g/kg	
	全氮含量	有机碳含量
原稻秸	10.14	405.1
可溶性有机物	—	28.3
去活稻秸	7.57	422.2
腐解稻秸	7.86	432.6

稻秸不同组分的制备方法:(1)原稻秸,烘干稻秸粉碎后过 20 目筛孔;(2)可溶性有机物 A,称取烘干、粉碎并过 20 目筛孔的稻秸 300 g 于大烧杯中,并加入 3 L 双蒸水充分混合均匀后,置于 35 °C 恒温箱中浸泡 2 d,再将此混合物在往复振荡机上振荡 1 h,将稻秸过滤分离出来,得到含可溶性有机物的溶液,将得到的可溶性有机物溶液在 -18 °C 下冷冻备用;可溶性有机物 B,将从 A 步烧杯中分离出来的稻秸残渣再按 A 步的方法继续用双蒸水重复浸泡 4 次(第 2

次加水 3 L,以后每次加水均为 2 L),浸泡时间均为 3 d,用同样的方法分离浸提出来的可溶性有机物;可溶性有机物 C,将每次所得到的可溶性有机物溶液解冻后混匀并用 TOC 仪测定其中可溶性有机碳含量为 28.3 g/kg,按 1 g 原稻秸中可溶性有机碳的含量计算试验用量;(3)去活稻秸,去除可溶性有机物后的剩余部分即为去除可溶性有机物的稻秸。依去除可溶性有机物的稻秸残留物中碳元素的含量计算试验用量,即 1 g 原稻秸中有机碳的含量和去除可溶性有机物的稻秸中碳元素含量按等碳量计算试验用量;(4)腐解稻秸,称取一定质量的烘干磨碎的稻秸两份分别放入 2 个大烧杯中,按 1:4 的草水质量比混合均匀后,在 35 ℃下并加入木霉菌发酵 10 d,即制得腐解稻秸。将烧杯中腐熟的稻秸用双蒸水浸提,测定其浸提液中可溶性有机物的含碳量,过滤后得到的稻秸残留物用碳氮仪测定其有机碳含量,计算每克稻秸浸提得到的可溶性有机物的质量;根据每克稻秸浸提得到的可溶性有机物的含碳量及稻秸残留物中的含碳量和 1 g 原稻秸中有机碳的含量以等碳量计算用量。

1.2 试验设计与方法

称取经过预培养的相当于干重为 400 g 的上述土壤(仅加土壤处理不加稻秸,仅加稻秸处理不加土壤),平铺于塑料薄膜上,将各处理的添加物按表 2 所述的量(除仅加土壤处理和可溶性有机物+土壤处理外,其他各处理以原稻秸+土壤处理添加稻秸的量(2.5 g 原稻秸/千克土,即有机碳 1.013 g/kg 土)为标准,按稻秸中的有机碳含量以等碳量来计算其他几种稻秸组分的质量,均匀撒在土壤上(可溶性有机物以溶液的形式加入),用玻璃棒充分搅拌均匀后直接加入到容积为 1.0 L 的广口瓶中,再向培养瓶中加入适量去离子水,使土壤处于淹水状态,且土面以上保持 2 cm 深水层。在 25 ℃恒温和黑暗条件下培养 180 d。试验处理见表 2。

表 2 培养试验处理设置及稻秸组分添加量

处理	土壤 质量/ g	添加稻 秸组分 名称	添加有 机碳质 量/mg	添加稻 秸组分 量/mg
土壤,长期淹水	400	—	—	—
原稻秸+土壤,长期淹水	400	原稻秸	405.1	1000
腐解稻秸+土壤,长期淹水	400	腐解稻秸	405.1	998
可溶性有机物+土壤,长期淹水	400	可溶性有机物	28.3	—
去活稻秸+土壤,长期淹水	400	去活稻秸	405.1	959.3

1.3 样品采集与分析方法

将各处理培养瓶置于 25 ℃恒温和黑暗条件下密闭培养,每处理 12 次重复。在培养的第 5,10,20,40,70,180 d 按破坏式采样法采集土样,每次采集 12 次重复中的 4 次重复(4 个培养瓶),每 4 个培养瓶采

集样品 2 次后即弃去,整个培养期内共采集土样 6 次,所采土样置于 4 ℃冰箱内保存待测。土壤样品测定指标为土壤的 MBC、MBN、DOC、DON、NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N。土壤 MBC 和 MBN 采用氯仿熏蒸、0.5 mol/L K₂SO₄ 直接提取法测定^[13],土壤 DOC、DON、NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 用不熏蒸土样一并测定。供试土壤基本理化性质的分析参考《土壤农化分析》^[14]。

1.4 数据处理与统计分析

试验数据经 EXCEL 2003 整理后,应用 SPSS 23.0 统计软件进行数据统计分析。单因素方差分析多重比较采用最小显著差异法(LSD 法,Least significant difference)。

2 结果与分析

2.1 不同处理土壤微生物生物量碳、氮的动态变化

图 1a 为添加几种稻秸组分后水稻土 MBC 的动态变化。培养开始前土壤微生物量碳的初始值为 789.34 mg/kg。从开始培养至培养的第 20 天,各处理土壤 MBC 值均逐渐减小,在培养的第 5 天和第 10 天,各处理间 MBC 值均没有显著差异。培养的第 40 天,除 S 处理和 DOM+S 处理外,RS+S、DRS+S 和 NARS+S 处理的 MBC 值均出现培养期内的峰值,分别为 1313.31,1182.56,1170.84 mg/kg,RS+S 处理 MBC 值显著高于 DRS+S 和 NARS+S 处理($p < 0.05$),极显著高于 S 和 DOM+S 处理($p < 0.01$)。培养的第 70 天,各处理 MBC 值均降至整个培养期内的最小值,其值分别为 584.83,748.43,635.85,549.52,706.75 mg/kg。培养结束时,各处理 MBC 值均有所增加,但各处理间没有显著差异。培养期内,各处理 MBC 的平均值依次分别为 884.02,982.77,900.18,860.45,939.26 mg/kg。RS+S、DRS+S 和 NARS+S 处理 MBC 值分别高出 S 处理(对照)98.75,16.16,55.24 mg/kg,增幅分别为 11.17%,1.83%和 6.25%,RS+S 处理 MBC 值显著高于 NARS+S 处理($p < 0.05$),极显著高于 S、DRS+S 和 DOM+S 处理($p < 0.01$)。

添加几种稻秸组分后水稻土 MBN 的动态变化见图 1b。培养开始前土壤微生物量氮的初始值为 116.09 mg/kg。在培养的第 5 天,S、RS+S 和 DRS+S 处理出现培养期内 MBN 的峰值,分别为 168.02,192.16,114.12 mg/kg,DOM+S 和 NARS+S 处理 MBN 的峰值出现在培养的第 20 天和第 10 天,其值分别为 119.09,89.60 mg/kg。培养的第 10 天,除 NARS+S 处理外,其他 4 个处理 MBN 值迅速减小,各处理间 MBN 数值相差不大,没有显著性差异。培养的第 20 天,除 DOM+S 处理外,其他 4 个处理 MBN 值继续减小。培养的第 40 天,各处理间 MBN 值没有显著性差异,数值十分接近。S、RS+S 和

次分别为 103.47, 110.67, 114.69, 113.94, 117.35 mg/kg, 各处理的 DON 值高于 S 处理的数值分别为 7.20, 11.22, 10.47, 13.88 mg/kg, 增幅分别为 6.96%, 10.84%, 10.12% 和 13.41%。各处理的

DON 值显著高于 S 处理 ($p < 0.05$)。NARS+S 处理与 DRS+S 和 DOM+S 处理间没有显著差异, 但显著高于 RS+S 处理 ($p < 0.05$)。RS+S、DRS+S 和 DOM+S 处理间没有显著差异。

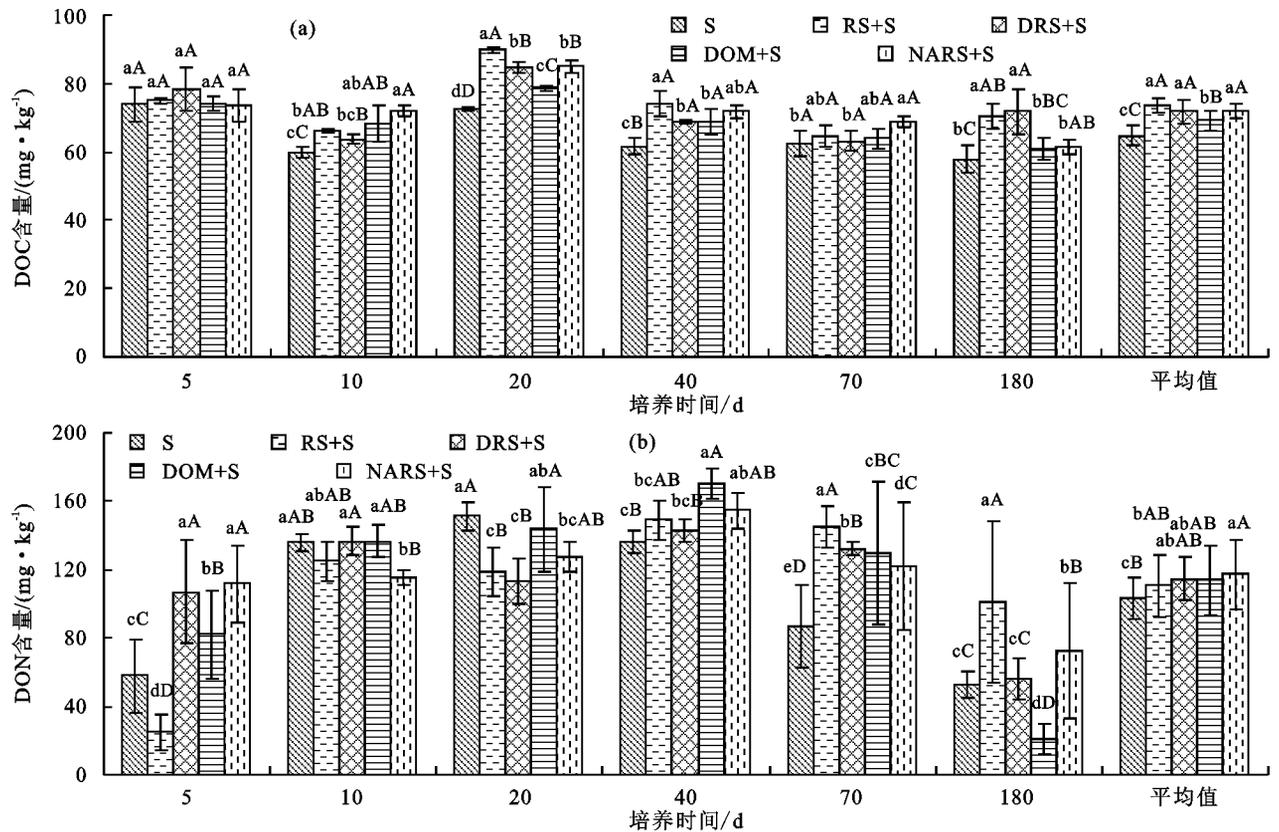


图 2 水稻土 DOC(a)和 DON(b)含量的动态变化

2.3 不同处理土壤微生物生物量碳、氮比

培养期间各处理土壤微生物生物量碳、氮比 (MBC/MBN) 的变化情况见表 3。各处理 MBC/MBN 在 5.75~22.41 间动态变化。培养的第 5 天, S、RS+S 和 DRS+S 处理的 MBC/MBN 为各自培养期间的最小值, 分别为 6.38, 5.75 和 9.41, DOM+S 和 NARS+S 处理 MBC/MBN 的最小值分别为 6.77 和 10.51 (培养的第 20 天); 培养的第 10 天, 各处理的 MBC/MBN 相差不大; 培养的第 40 天, RS+S、DOM+S 和 NARS+S 处理 MBC/MBN 出现培养

期内的峰值, 依次分别为 19.58, 15.34 和 19.78。S 和 DRS+S 处理的峰值出现在培养的第 180 天, 分别为 22.41 和 19.70。在培养的后期, 各处理 MBC/MBN 基本均呈增大的趋势。培养期间, 各处理 MBC/MBN 的均值依次分别为 11.26, 10.85, 13.51, 11.30 和 14.22, NARS+S 处理的 MBC/MBN 最大, 极显著高于其他处理 ($p < 0.01$), DRS+S 处理的 MBC/MBN 极显著高于 S、RS+S 和 DOM+S 处理 ($p < 0.01$), RS+S 处理的 MBC/MBN 均值最小, 极显著或显著低于其他各处理。

表 3 培养期间各处理 MBC/MBN 的变化

试验处理	培养时间/d						平均值
	5	10	20	40	70	180	
S	6.38bB	11.13abA	15.50aA	17.00bcB	9.14cB	22.41aA	11.26cD
RS+S	5.75bB	11.55abA	11.68abAB	19.58aA	12.00bAB	14.58cC	10.85dD
DRS+S	9.41abAB	14.46aA	15.17aA	17.84bAB	10.38bcB	19.70bB	13.51bB
DOM+S	11.09abAB	13.48aA	6.77bB	15.34cB	13.01bAB	12.43dC	11.30cC
NARS+S	13.10aA	11.10bA	10.51abAB	19.78aA	18.45aA	18.21bB	14.22aA

注: 同列数字后不同大写字母和小写字母分别表示差异达极显著水平 ($p < 0.01$) 和显著水平 ($p < 0.05$)。下同。

2.4 不同处理土壤可溶性有机碳、氮比

表 4 为各处理在培养期间土壤可溶性有机碳、氮比 (DOC/DON) 的变化情况。各处理 DOC/DON 在

0.40~3.02 间动态变化。培养的第 5 天, S 和 RS+S 处理的 DOC/DON 出现培养期间的峰值, 分别为 1.27 和 3.02; 培养的第 10 天, 较培养的第 5 天各处

理的 DOC/DON 均有所减小, S 和 DRS+S 处理 DOC/DON 为培养期内的最小值, 分别为 0.44 和 0.47, DOM+S 和 NARS+S 处理 DOC/DON 培养期内的最小值出现在培养的第 40 天, 分别为 0.40 和 0.46, 而 RS+S 处理 DOC/DON 的最小值出现在培养的第 70 天, 其值为 0.45; 培养的第 20 天, 各处理 DOC/DON 有所增大, 到培养的第 40 天, 各处理

DOC/DON 又有所减小; 到培养的第 70 天, 各处理 DOC/DON 又有所增大, 到培养结束时, 各处理 DOC/DON 几乎增大到培养期内的最大值, DRS+S、DOM+S 和 NARS+S 处理在培养期内的峰值分别为 1.27, 2.92 和 0.85。培养期间, 各处理 DOC/DON 的均值依次分别为 0.63, 0.66, 0.63, 0.61 和 0.61, 数值非常接近, 没有统计学上的差异。

表 4 培养期间各处理 DOC/DON 的变化

试验处理	培养时间/d						平均值
	5	10	20	40	70	180	
S	1.27bB	0.44dC	0.48cB	0.45abcAB	0.72aA	1.10bBC	0.63aA
RS+S	3.02aA	0.53bB	0.76aA	0.50aA	0.45cB	0.69cC	0.66aA
DRS+S	0.73cBC	0.47cBC	0.75aA	0.48abA	0.48cB	1.27bB	0.63aA
DOM+S	0.90bcBC	0.50bcBC	0.55bcB	0.40cB	0.49bcB	2.92aA	0.61aA
NARS+S	0.66cC	0.62aA	0.67abAB	0.46abAB	0.56bAB	0.85bcC	0.61aA

3 讨论

3.1 稻秸不同组分对土壤微生物生物量碳、氮及其比值的影响

以往研究表明, 秸秆还田可显著增加土壤中有机碳、氮的含量^[14-16], 也提高了土壤中有效性较高、易被微生物利用的活性有机碳、氮组分的含量, 增加了可供微生物利用的碳源和氮源, 有利于增强微生物的活性, 增加土壤微生物量碳氮^[17-18], 进而提高了土壤有效养分的含量和土壤肥力^[19-20]。本研究也有类似结论, RS+S 处理(原稻秸)MBC 值在培养的各个阶段基本都要高于其他处理。与 S 处理(对照)(均值)比较, RS+S 处理极显著增加了 MBC($p < 0.01$), 增幅达到 11.17%, 显著增加了 MBN($p < 0.05$), 增幅达到 15.29%。

与 S 处理(均值)比较, 本研究中 DRS+S 处理(腐解稻秸)和 NARS+S 处理(去活稻秸)都增加了 MBC, 增幅分别达到 1.83% 和 6.25%, 都降低了 MBN, 其原因是由于腐解稻秸中可供微生物利用的可溶性有机氮少于原稻秸^[21], 导致微生物种类和数量发生变化^[22-23]。而添加去活稻秸, 虽然补充了等量的碳源, 在放线菌和某些真菌的作用下, 缓慢分解并产生一些可以被微生物利用的可溶性有机物, 但对于微生物来说, 大部分仍为无效的碳源, 导致微生物代谢营养严重不足^[24]。DOM+S 处理(可溶性有机物)降低了 MBC 和 MBN, 因为本研究中添加的可溶性有机物是按 1 g 原稻秸中所含的量来添加, 量比较少且没有其他外加的碳源, 导致土壤微生物量可利用的碳源较少, 也会使微生物代谢营养严重不足^[24]。

土壤微生物量碳、氮比(MBC/MBN)可以表征一定时期内土壤生态系统微生物的群落特征。本研究各处理 MBC/MBN 在 5.75~22.41 之间波动变化, 各处理 MBC/MBN 平均值在 10.85~14.22 之间, 与徐一兰等^[25]研究的双季稻田在秸秆、有机肥和无机肥配施下

MBC/MBN 在 12.42~15.37 的研究结果, 及陈安强等^[11]研究的有机物料输入稻田条件下 MBC/MBN 在 11.78~17.32 的研究结果相接近。在培养的初期, S、RS+S 和 DRS+S 处理 MBC/MBN 为培养期内的最小值, 土壤暂时处于“氮源相对富余”的状态, 而 DOM+S 和 NARS+S 处理则处于“碳源富余、氮源缺乏”的状态, 促进或限制了嗜氮微生物种类的活性^[26], 引起微生物群落结构的变化^[27], 使组成不同的稻秸组分 MBC/MBN 出现较大差异。在培养结束时, 各处理 MBC/MBN 都较高, 尤其是 S、DRS+S 和 NARS+S 处理, 这主要是在培养的后期各处理所添加的有机物均已进入缓慢腐解阶段^[24, 28], 难分解的有机物相对增多, 可溶性有机物逐渐减少, 出现氮源缺乏, 微生物群落结中以 C/N 较高的真菌和放线菌为主^[29], 导致各处理 MBC/MBN 都较高。

3.2 稻秸不同组分对土壤可溶性有机碳、氮及其比值的影响

与 S 处理(均值)比较, 本研究中添加稻秸及组分各处理均极显著增加了土壤可溶性有机碳(DOC) ($p < 0.01$), 显著增加了土壤可溶性有机氮(DON) ($p < 0.05$)。主要是因为稻秸及其组分施入土壤中后, 增加了土壤中的有机质物质, 而土壤中有有机物质分解产生的 DOC 是土壤中可溶性有机碳最主要的来源^[30], 故各添加稻秸及其组分的处理 DOC 含量高于 S 处理。土壤可溶性有机碳、氮也是土壤重要的速效养分^[4], 同时增加养分的流动性^[31]。有研究表明, 土壤中 DON 的来源主要有土壤中有有机物质分解的中间产物、有机肥、有机物料(如秸秆等)、微生物、植物根系的代谢产物和根系的分泌物等^[32]。众多研究表明, 在土壤中施入(或添加)秸秆^[33-34]、沼液^[35]及其他有机物料^[36]均会增加土壤 DON 的含量。本研究也有同样的结论, 添加稻秸及其组分的各处理 DON

含量极显著或显著高于 S 处理。

培养期内,各处理 DOC 和 DON 含量波动变化在培养初期(前期)出现峰值,在培养后期出现最小值。一方面,稻秸及其组分等其他有机物料的组成、结构和性质存在较大差异,影响分解这些物质的功能微生物群落结构,数量和活性^[27,36]。如 Baumann 等^[37]的研究表明,在秸秆腐解的过程中,秸秆腐解的速率及微生物的群落结构和活性也受秸秆本身性质的影响;Streeter 等^[38]的研究表明,有机质含量和土壤氮素显著影响土壤微生物数量且有正相关关系;另一方面,微生物群落结构的多样性、数量及活性影响土壤中 DOC 和 DON 含量^[38-39]。故在培养过程中,土壤 DOC 和 DON 含量的波动变化存在一定差异。

土壤可溶性有机碳和可溶性有机氮的比值(DOC/DON)可以表征一定时间内土壤 DOC 和 DON 的来源及含量变化的关系。本研究中,各处理 DOC/DON 在 0.40~3.02 之间波动变化,各处理 DOC/DON 均值与仇少君等^[40]的研究在土壤中配施稻草—硫酸铵和单施硫酸铵并淹水培养下 DOC/DON 在 1.4~1.6 的研究结果,及汤宏等^[9]的研究不同秸秆还田量与水分管理方式下稻田 DOC/DON 在 6.0~7.3 的研究结果相差较大。本研究中各处理土壤 DOC/DON 均值均小于上述研究,主要与本研究的添加物、环境条件、土壤质地、土壤类型与上述试验不同有关。研究表明,黏质土壤^[41]、升高土壤温度^[42]和淹水^[42]等均可显著提高 DON 含量。在本试验中供试土壤质地为黏砂壤,且各处理均在 25℃ 和淹水的环境条件下,各处理土壤 DON 含量显著提高,使 DOC/DON 较小。各处理 DOC/DON 均值非常接近没有显著差异,与土壤微生物对土壤中 DOC 和 DON 含量的影响有关,且 DOC 和 DON 的变化趋势基本一致,使各处理 DOC/DON 均值没有显著差异。

添加稻秸及其组分是影响红黄泥水稻土 MBC、MBN、DOC 和 DON 含量的物质和能源基础,为微生物生长繁殖提供物质基础和能源^[17-18],影响微生物的种群结构、数量和活性,通过微生物和添加物间相互作用后进一步影响 MBC、MBN、DOC 和 DON 的含量^[22-23,27,38-39]。秸秆及其不同组分对红黄泥水稻土 MBC、MBN、DOC 和 DON 含量的影响方向基本一致,不仅易分解的小分子物质可以被微生物利用,而且一些难分解的大分子物质也可以被微生物分解利用^[25,29],功能微生物的种类、数量和活性存在差异^[27,36]。

4 结论

(1)添加稻秸的易分解和难分解组分同样都会影响土壤 MBC、MBN、DOC 和 DON 含量,但稻秸及其不同组分对红黄泥水稻土 MBC、MBN、DOC 和 DON

含量的影响程度存在差异。

(2)添加稻秸对水稻土 MBC、MBN 和 DOC 含量的影响超过其他处理,相对于 S 处理,增加幅度分别为 11.17%,15.29% 和 13.33%;去活稻秸对 DON 含量的影响高于其他处理,相对于 S 处理,增加幅度为 13.41%。添加去活稻秸对 MBC、DOC 和 DON 含量的影响程度超过腐解稻秸和可溶性有机物,而对 MBN 的影响低于其他处理。

(3)添加腐解稻秸和去活稻秸均极显著提高了 MBC/MBN 值,添加稻秸显著降低了 MBC/MBN 值,添加稻秸、腐解稻秸和去活稻秸对 DOC/DON 的影响均没有统计学意义上的差异。

(4)本研究中,从提高红黄泥水稻土 MBC、MBN、DOC 和 DON 含量高低和培育土壤肥力的角度来考虑,原稻秸直接还田为农业生产中稻秸较好的施用方式。

参考文献:

- [1] Singh M K, Ghoshal N. Variation in soil microbial biomass in the dry tropics: Impact of land-use change[J]. Soil Research, 2014, 52(3): 299-306.
- [2] 周际海,黄荣霞,樊后保,等. 污染土壤修复技术研究进展[J]. 水土保持研究, 2016, 23(3): 366-372.
- [3] 臧逸飞,郝明德,张丽琼,等. 26 年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1445-1451.
- [4] Filep T, Rékási M. Factors controlling dissolved organic carbon (DOC), dissolved organic nitrogen (DON) and DOC/DON ratio in arable soils based on a dataset from Hungary[J]. Geoderma, 2011, 162(3/4): 312-318.
- [5] Lu S B, Chen C R, Zhou X Q, et al. Responses of soil dissolved organic matter to long-term plantations of three coniferous tree species[J]. Geoderma, 2012, 170(3): 136-143.
- [6] Raulund-Rasmussen K, Borggaard O K, Hansen H C B, et al. Effect of natural soil solutes on weathering rates of soil minerals[J]. European Journal of Soil Science, 1998, 49(3): 397-406.
- [7] 陶朋闯,陈效民,靳译文,等. 生物质炭与氮肥配施对旱地红壤微生物量碳、氮和碳氮比的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(1): 231-235.
- [8] 唐先亮,魏甲彬,周玲红,等. 耕作方式对稻田土壤微生物量碳氮的动态影响[J]. 作物研究, 2016, 30(3): 282-287.
- [9] 汤宏,沈健林,张杨珠,等. 秸秆还田与水分管理对稻田土壤微生物量碳、氮及溶解性有机碳、氮的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 240-246.
- [10] 张宏威,康凌云,梁斌,等. 长期大量施肥增加设施菜田土壤可溶性有机氮淋溶风险[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 99-107.
- [11] 陈安强,付斌,鲁耀,等. 有机物料输入稻田提高土壤微生物碳氮及可溶性有机碳氮[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 160-167.

- [12] 吴金水,林启美,黄巧云,等.土壤微生物量测定方法及其应用[M].北京:气象科学出版社,2006:54-68.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第3版.北京:中国农业出版社,2007.
- [14] 辛励,刘锦涛,刘树堂,等.长期定位条件下秸秆还田对土壤有机碳及腐殖质含量的影响[J].华北农学报,2016,31(1):218-223.
- [15] 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状及微生物量的影响[J].水土保持学报,2011,25(5):81-85.
- [16] 肖伟伟,范晓晖,杨林章,等.长期定位施肥对潮土有机氮组分和有机碳的影响[J].土壤学报,2009,46(2):274-281.
- [17] 赵士诚,曹彩云,李科江,等.长期秸秆还田对华北潮土肥力、氮库组分及作物产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1441-1449.
- [18] 王慧,桂娟,刘满强,等.稻草和三叶草分解对微型土壤动物群落的影响[J].土壤学报,2015,52(5):1124-1134.
- [19] Hazra K K, Venkatesh M S, Ghosh P K, et al. Long-term effect of pulse crops inclusion on soil - plant nutrient dynamics in puddled rice (*Oryza sativa* L.)-wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping system on an Inceptisol of Indo-Gangetic plain zone of India[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2014,100(1):95-110.
- [20] Singh Y, Singh B, Ladha J K, et al. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice-wheat rotation [J]. Soil Science Society of America Journal,2004,68(3):854-864.
- [21] 闫超.水稻秸秆还田腐解规律及土壤养分特性的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [22] 张杰.秸秆、木质素及生物炭对土壤有机碳氮和微生物多样性的影响[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [23] Baumann K, Marschner P, Smernik R J, et al. Residue chemistry and microbial community structure during decomposition of eucalypt, wheat and vetch residues[J]. Soil Biology and Biochemistry,2009,41(9):1966-1975.
- [24] 陈尚洪.还田秸秆腐解特征及其对稻田土壤碳库的影响研究[D].雅安:四川农业大学,2007.
- [25] 徐一兰,唐海明,肖小平,等.长期施肥对双季稻田土壤微生物学特性的影响[J].生态学报,2016,36(18):1-9.
- [26] Wang M H, Wan X H, Yu Z P, et al. Effects of tree species transition on soil microbial biomass and community structure in subtropical China[J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(6):417-423.
- [27] Bastian F, Bouziri L, Nicolardot B, et al. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure[J]. Soil Biology and Biochemistry,2009,41(2):262-275.
- [28] 李逢雨,孙锡发,冯文强,等.麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):374-380.
- [29] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2008,41(1):144-152.
- [30] Huang J Y, Song C C. Effects of land use on soil water soluble organic C and microbial biomass C concentrations in the Sanjiang Plain in northeast China[J]. Acta Agricultura Scandinavica. Section B, Plant Soil Science,2010,60(2):182-188.
- [31] Katoh M, Murase J, Sugimoto A, et al. Effect of rice straw amendment on dissolved organic and inorganic carbon and cationic nutrients in percolating water from a flooded paddy soil: A microcosm experiment using ^{13}C -enriched rice straw [J]. Organic Geochemistry, 2005,36(5):803-811.
- [32] Zhang H, Zhao Z, Yi X, et al. Effect of fertilization on composition and spatial distribution of dissolved organic nitrogen in paddy soil-microbial systems [J]. Plant Soil and Environment,2012,58(3):128-134.
- [33] 周晓光,黄丹枫,葛体达,等.有机和常规蔬菜生产系统土壤可溶性有机氮含量及特征[J].上海交通大学学报(农业科学版),2010,28(5):420-425.
- [34] 薛菁芳,陈书强,汪景宽.玉米秸秆对棕壤中可溶性无机氮和有机氮的影响[J].黑龙江农业科学,2011(4):41-45.
- [35] 钟珍梅,黄秀声,翁伯琦,等.沼液对种植狼尾草的山地红壤可溶性有机氮和土壤微生物特征的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):111-116.
- [36] 雷海迪,尹云锋,刘岩,等.杉木凋落物及其生物炭对土壤微生物群落结构的影响[J].土壤学报,2016,53(3):790-799.
- [37] Baumann K, Marschner P, Smernik R J, et al. Residue chemistry and microbial community structure during decomposition of eucalypt, wheat and vetch residues[J]. Soil Biology and Biochemistry,2009,41(9):1966-1975.
- [38] Streeter T C, Bol R, Bardgett R D. Amino Acids as a nitrogen source in temperate upland grassland: The use of dual labeled(^{13}C , ^{15}N) glycine to test for direct uptake by dominant grasses[J]. Rapid Communication in Mass Spectrometry,2000,14(15):1351-1355.
- [39] Oelmann Y, Kreuziger Y, Temperton V M, et al. Nitrogen and phosphorus budgets in experimental grasslands of variable diversity[J]. Journal of Environmental Quality,2007,36(2):396-407.
- [40] 仇少君,彭佩钦,荣湘民,等.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[J].应用生态学报,2006,17(11):2052-2058.
- [41] Holst, Jirko, Brackin, et al. Soluble inorganic and organic nitrogen in two Australian soils under sugarcane cultivation [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2012,155(14):16-26.
- [42] 孔祥忠,于红梅.农业生态系统土壤可溶性有机氮研究综述[J].科技通报,2016,32(6):213-218.