

玉米地土壤微生物量碳、氮及微生物熵对不同物料还田的响应

周元¹, 陈远学¹, 蒋帆¹, 胡月秋¹, 龙玲¹, 裴丽珍¹, 李建兵², 徐开未¹

(1.四川农业大学资源学院,成都 611130;2.中江县农业农村局,四川 德阳 618100)

摘要: 在四川丘陵区紫色土上进行田间试验,以无物料还田为对照,对比分析了蚕豆秸秆、油菜秸秆、猪粪 3 种物料还田对夏玉米吐丝期和收获期 0—20,20—40 cm 土层土壤有机碳、全氮、微生物量碳氮含量及微生物熵的影响,以期农业废弃有机物料的综合利用及四川丘陵区土壤质量的提升提供理论参考。结果表明:(1)尽管有机物料还田于 0—20 cm 土层中,0—20,20—40 cm 土层土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)、微生物量碳(SMBC)、微生物量氮(SMBN)含量均受到有机物料的深刻影响。各处理 0—20 cm 土层 SOC、TN、SMBC、SMBN 含量均显著高于 20—40 cm 土层,且上下 2 层土壤 SOC、TN、SMBC 和 SMBN 含量在生育期间均表现为吐丝期>收获期。(2)在 2 个生育时期,3 种物料还田均能提高 0—20,20—40 cm 土层 SOC、TN、SMBC、SMBN 含量。与对照相比,物料还田处理的 SOC、TN、SMBC、SMBN 含量分别提高 2.6%~141.2%,1.9%~33.0%,5.1%~114.7%,41.5%~98.7%,其中收获期各处理 0—20,20—40 cm 土层 SOC、SMBC、SMBN 均表现为油菜秸秆>蚕豆秸秆>猪粪>对照,TN 表现为蚕豆秸秆>猪粪>油菜秸秆>对照。(3)各处理 SMBC/SMBN、qMB、SMBN/TN 分别为 3.74~10.53,0.86%~2.19%,1.01%~3.41%,且物料还田降低 SMBC/SMBN,提高土壤 qMB 和 SMBN/TN 值。相关分析表明,SMBC、SMBN 与 SOC、TN 之间均存在极显著正相关关系。因此,农业生产中可通过物料还田提供给微生物足够的碳氮营养,提高土壤 SMBC、SMBN、SOC、TN 含量和 qMB 值,维持较高的农田生产力,提升土壤质量,但具体施用物料时还需寻求土壤肥力提升、玉米产量增加以及环境效益之间的平衡。

关键词: 有机物料还田;微生物量碳;微生物量氮;微生物熵

中图分类号:Q143; Q938; S154.36 文献标识码:A 文章编号:1009-2242(2020)02-0173-08

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.02.025

Responses of Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Microbial Entropy to Different Materials Returned to Corn Fields

ZHOU Yuan¹, CHEN Yuanxue¹, JIANG Fan¹, HU Yueqiu¹,

LONG Ling¹, PEI Lizhen¹, LI Jianbing², XU Kaiwei¹

(1.College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130;

2.Agricultural and Rural Bureau of Zhongjiang County, Deyang, Sichuan 618100)

Abstract: In order to study the effects of different materials returned to field on soil microbial biomass carbon, nitrogen and microbial entropy of 0—20 cm and 20—40 cm soil layers in summer maize silking and harvesting period, a field experiment was conducted on the purple soil in Sichuan Hilly area. This study was expected to provide a theoretical reference for the comprehensive utilization of agricultural waste organic materials and the improvement of soil quality in hilly areas of Sichuan. Four treatments with different materials returned to field were designed in this experiment, including control (no material returned to the field), faba bean straw, rape straw and pig manure. The results showed that: (1) Although the organic materials were returned to the 0—20 cm soil layer, the soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), microbial biomass carbon (SMBC), microbial biomass nitrogen (SMBN) contents in both 0—20 cm and 20—40 cm layers were significantly affected. The contents of SOC, TN, SMBC and SMBN in the 0—20 cm soil layer were significantly higher than those in 20—40 cm. Soil SOC, TN, SMBC and SMBN in both soil layers appeared as silking stage> harvest stage during the growth period. (2) In the two growth periods, the three materials returned to the

收稿日期:2019-08-09
资助项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0300300);国家玉米产业技术体系项目(CARS-02-04)
第一作者:周元(1996—),女,在读硕士研究生,主要从事土壤肥力提升与保护研究。E-mail:zhouyuan960216@163.com
通信作者:徐开未(1971—),女,博士生导师,主要从事生物固氮与土壤微生态研究。E-mail:xkwei@126.com

field could increase the SOC, TN, SMBC and SMBN contents of 0—20 cm and 20—40 cm soil layers. Compared with the control, the contents of SOC, TN, SMBC and SMBN in the treatments with materials returned were increased by 2.6%~141.2%, 1.9%~33.0%, 5.1%~114.7% and 41.5%~98.7%, respectively. The contents of SOC, SMBC and SMBN in both soil layers appeared as rape straw>faba bean straw>pig manure>control, while TN contents as faba bean straw>pig manure>rape straw>control. (3) In this study, SMBC/SMBN, qMB and SMBN/TN varied from 3.74 to 10.53, 0.86% to 2.19% and 1.01% to 3.41%, respectively. The materials returned to the field reduced SMBC/SMBN and improved soil qMB and SMBN/TN values. Correlation analysis indicated that there were significantly positive relationships between SMBC, SMBN, SOC and TN. Therefore, we could improve the contents of SMBC, SMBN, SOC, TN and qMB value by returning materials to the field in agricultural production, and then we could maintain high farmland productivity so as to improve soil quality. However, during returning the specific types of materials, the balance among higher soil fertility, maize production and environmental benefits should also be considered.

Keywords: returning organic material; soil microbial biomass carbon; soil microbial biomass nitrogen; microbial entropy

中国是农业大国,每年产生大量的农业废弃物,如何变“废”为“肥”,是农业可持续发展的关键技术之一。农业废弃物还田既可避免其弃置或焚烧引起环境污染,又可对其养分资源化利用^[1]。秸秆和畜禽粪便等有机物料是重要的农业废弃物,富含有机碳、氮、磷、钾以及中微量营养元素,还田后在土壤微生物作用下腐解,可为作物生长提供必需的 C/N 等营养元素,也是构建肥沃耕层、提高土壤质量的重要手段^[2-3]。环境因子、物料碳氮比(C/N)是影响其养分释放和还田利用的主要因素^[4]。

土壤微生物是土壤 C、N 等元素循环和转化的动力,能参与土壤有机质的矿化分解、腐殖质的形成,调控土壤中能量和养分循环等各个生化过程^[5]。土壤微生物是土壤中最活跃的组成部分,在农业生态系统中,施肥灌溉等农作措施以及外界环境条件的改变都会影响土壤微生物种群和数量的变化^[6]。土壤微生物生物量的多少及其变化是评价土壤肥力高低及其变化的重要依据之一。土壤微生物量碳(SMBC)是土壤有机质的活性部分,可反映土壤有效养分状况和生物活性。土壤微生物量氮(SMBN)是土壤氮素养分循环过程中重要的“源”和“库”^[7]。土壤微生物熵(qMB)是 SMBC 与土壤有机碳(SOC)的比值,也可揭示土壤质量的变化状况^[8]。因此,土壤微生物量特性 SMBC、SMBN 和 qMB 可作为不同物料还田效果和土壤肥力变化的有效评价指标^[9-10]。大量研究^[11-13]表明,与不还田相比,将秸秆等物料长期还田和全量还田时配施适量氮肥均能有效提高耕层土壤 MBC、MBN 和 SOC 含量;吕盛等^[14]研究发现,在油菜/玉米轮作下,秸秆+促腐剂的还田方式土壤活性有机质含量最高。

综上,目前关于长期秸秆还田、不同秸秆还田方

式、还田量以及秸秆还田下配施化肥对耕层土壤微生物量的影响研究相对较多,但缺乏同一地点同一试验系统中,不同类型有机物料还田对不同土层 SMBC、SMBN 及 qMB 影响的比较研究。本研究基于四川丘陵区常规的冬油菜—夏玉米、冬蚕豆—夏玉米轮作种植模式和猪粪等农家肥资源丰富的现状,以玉米地土壤为研究对象,通过田间试验,研究不同有机物料还田后 0—20, 20—40 cm 土层 SMBC、SMBN 及 qMB 的变化特征,以期为四川丘陵区玉米生产充分利用农业废弃有机物料进行培肥,提升土壤质量以实现玉米高效绿色生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验始于 2017 年,在四川省德阳市中江县辑庆镇文堂村(30°57'N, 104°39'E)进行。地处四川丘陵区,属于亚热带季风性湿润气候,海拔 435.1 m,年降水量 750~900 mm,且主要集中在 6—8 月,年均气温 15~18℃,年平均相对湿度 76.79%,年日照时间 1 126 h,2018 年试验期间降水量和平均气温见图 1。试验地土壤类型为紫色土,质地为黏壤土,肥力均匀。夏玉米耕种前土壤的基本理化性状见表 1。

1.2 试验设计

选取四川丘陵区夏玉米常规前作作物蚕豆、油菜的秸秆以及粪肥资源最丰富的猪粪作为试验用物料,设置对照(无物料还田)、蚕豆秸秆还田、油菜秸秆还田、猪粪还田 4 个处理,每个处理重复 3 次,完全随机区组排列,共 12 个小区,小区面积 22.4 m²(5.6 m×4.0 m)。试验地于 2017 年 10 月开始种植油菜,油菜收获时统一清空油菜秸秆,划好试验小区后再进行不同物料还田处理。在玉米播种(2018 年 5 月 12 日)

前3天,将堆沤腐熟的猪粪和粉碎成2~5 cm小段的蚕豆、油菜秸秆均匀撒施于地表,再将物料旋耕于耕层(0—20 cm)中(对照处理不施入有机物料,同样进行土地旋耕)。3种物料还田处理按“等氮量”(51.25 kg/hm²纯氮)原则确定施入量。物料含水量、碳氮含量及C/N比值列于表2。油菜秸秆来自于本田,蚕豆秸秆收集于周围农户,猪粪来源于附近养猪场。在物料还田的同时,4个处理均配施等量的氮磷钾肥,用量分别为N 180 kg/hm²,P₂O₅ 100kg/hm²,K₂O 100 kg/hm²,

肥料为碳铵(N 17.1%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、氯化钾(K₂O 60%)。整个生育期30%的氮肥和全部磷、钾肥作为基肥在玉米播种前均匀撒施于地表,撒施后旋耕于0—20 cm耕层中;另外30%,40%的氮肥分别于玉米5叶展期和12叶展期采用穴施覆土方法追施,施肥深度10—20 cm。供试夏玉米品种为“正红6号”,密度为6.0万株/hm²,采用宽窄行规格种植,宽行90 cm,窄行50 cm,每穴留2苗。其他田间管理措施均按照当地高产经验进行。

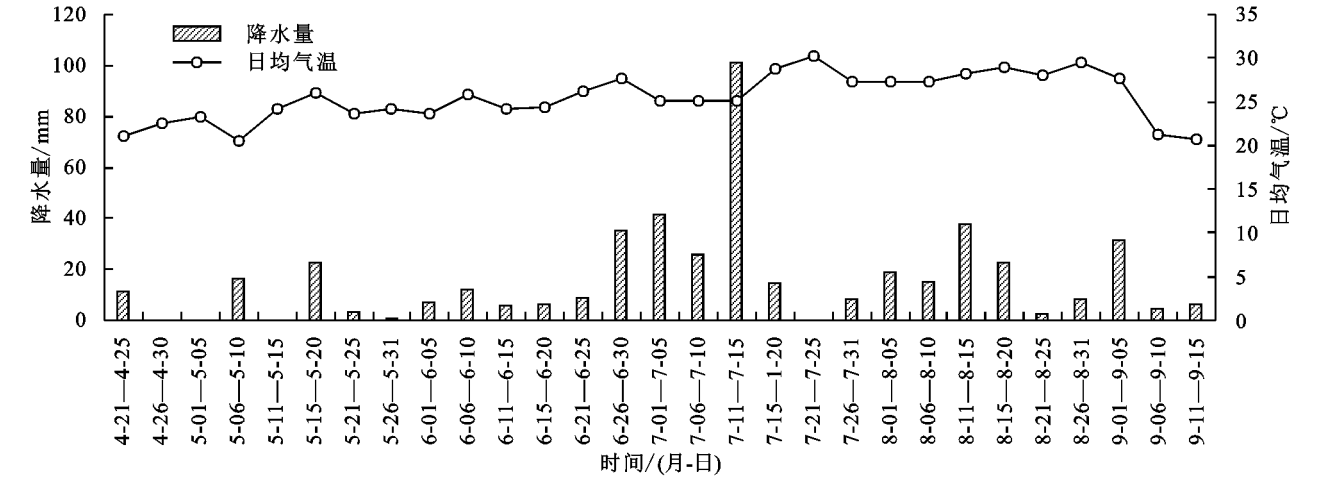


图1 试验期间降水量和气温分布

表1 夏玉米耕种前土壤理化性质

土层深度/cm	pH	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
0—20	7.81	10.45	0.89	80.48	12.03	48.49
20—40	8.00	4.11	0.50	45.20	4.98	36.88

表2 供试有机物料的养分含量及具体施用

处理	有机物料					化肥施用量		
	全碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	C/N	含水量/%	施用量/(kg·hm ⁻²)	N/(kg·hm ⁻²)	P ₂ O ₅ /(kg·hm ⁻²)	K ₂ O/(kg·hm ⁻²)
对照	—	—	—	—	0	180	100	100
蚕豆秸秆	433.9	17.93	24.2	27.4	3937	180	100	100
油菜秸秆	455.9	7.51	60.7	25.5	9160	180	100	100
猪粪	156.5	10.50	14.9	51.5	10065	180	100	100

1.3 样品采集与分析

于夏玉米吐丝期(2018年7月22日)和收获期(2018年8月30日)采集0—20,20—40 cm土层土样,将采集的土样除去未分解有机物料等动、植物残体后混匀分成2份,一份过2 mm筛,置于4℃冰箱尽快测定SMBC和SMBN;另一份土样自然风干后磨碎,过0.25 mm筛,用于SOC、全氮(TN)测定。SOC、TN分别采用重铬酸钾容量法、凯氏定氮法^[15];SMBC、SMBN采用氯仿熏蒸—K₂SO₄提取法^[16]。土壤碳氮比(C/N)为SOC与TN的比值,即SOC/TN;土壤微生物量碳氮比为SMBC与SMBN的比值,即SMBC/SMBN;qMB为SMBC与SOC的比

值,即SMBC/SOC。

1.4 数据处理

采用Excel 2016软件进行数据处理和图表制作,采用SPSS 22.0软件进行统计分析,利用单因素(ANOVA)进行方差分析,处理间的差异采用Duncan法进行多重比较,显著性水平为0.05,各指标间的相关性采用Pearson相关系数表示。

2 结果与分析

2.1 不同物料还田对土壤有机碳、全氮、碳氮比的影响

2.1.1 不同物料还田对土壤有机碳的影响 2个生育时期内,各处理0—20 cm土层(下文又称作上层)SOC含量为9.77~15.30 g/kg,20—40 cm土层(下

文又称作下层)SOC 含量为 3.55~9.94 g/kg, SOC 含量均随土层深度的增加呈大幅下降趋势(表 3)。玉米吐丝期对照的上层 SOC 含量是下层土壤的 2.53 倍,收获期对照的上层 SOC 含量是下层土壤的 2.75 倍,说明无物料还田下,上、下层 SOC 含量比值随作物生育时期的推进变化较小。在玉米吐丝期,蚕豆秸秆、油菜秸秆、猪粪还田处理的上层 SOC 含量分别是下层土壤的 1.61,1.54,1.62 倍,与对照相比,物料还田处理的上下 2 层 SOC 含量比值较小,说明 3 种有机物料还田对 2 层土壤中 SOC 含量的影响趋势一致,且尽管有机物料主要还田于 0—20 cm 土层,但在还田 71 天后,下层 SOC 含量也受到有机物料的深刻影响;而在玉米收获期,蚕豆秸秆、油菜秸秆、猪粪还田处理的上层 SOC 含量与分别是下层土壤的 2.79, 2.56, 2.95 倍,3 个有机物料还田处理上下层土壤 SOC 比值与对照相比基本一致,说明有机物料还田时间(110 天)的延长对上下土层土壤的 SOC 比值影响不大。3 种物料还田均提高了上下 2 层 SOC 含量 ($P<0.05$),且各处理间表现为油菜秸秆>蚕豆秸秆>猪粪。油菜秸秆、蚕豆秸秆、猪粪处理的 SOC 含量分别较对照提高 24.2%~141.2%,11.3%~78.2%, 2.6%~56.8%,但各处理间差异不显著。

2.1.2 不同物料还田对土壤全氮的影响 由表 3 可知,在 2 个生育时期,各处理土壤 TN 含量在土层上均表现为 0—20 cm>20—40 cm,上层土壤 TN 含量为 0.89~1.22 g/kg,下层土壤 TN 含量为 0.52~0.72

g/kg,上下层土壤 TN 含量差异显著。在 2 个生育时期,物料还田处理的上下层土壤 TN 含量均高于对照,且与对照相比,物料还田处理上层土壤 TN 含量增幅为 4.12%~25.9%,下层土壤增幅为 1.90%~33.0%,说明 3 种有机物料还田均有利于提高上下层土壤 TN 含量,且对上层土壤的影响更大。但 3 个有机物料处理的土壤 TN 含量大小顺序在 2 个生育时期内表现不一致。吐丝期猪粪处理 0—20, 20—40 cm 土层的 TN 含量均达最高值 1.22,0.72 g/kg,是对照的 1.26,1.33 倍,与对照间达显著性差异水平,其次为蚕豆秸秆和油菜秸秆。而收获期 3 个物料处理上下层土壤 TN 含量均表现为蚕豆秸秆>猪粪>油菜秸秆,其土壤 TN 含量分别较对照提高 13.5%~19.1%,11.5%~18.0%,1.9%~18.0%。

2.1.3 不同物料还田对土壤碳氮比的影响 由表 3 可知,各处理土壤 C/N 为 6.28~18.07,吐丝期各处理上下层土壤 C/N 之间无明显规律,但收获期各处理下层土壤 C/N 显著低于上层土壤。不同物料还田可调节土壤 C/N,在 2 个生育时期,油菜秸秆处理 0—20, 20—40 cm 土层的土壤 C/N 较对照分别提高 12.2%~41.0%和 39.8%~136.8%。蚕豆秸秆和猪粪还田对土壤 C/N 的影响在 2 个土层间表现不一,与对照相比,蚕豆秸秆和猪粪还田均降低 0—20 cm 土层的土壤 C/N,降低幅度分别为 0.36%~1.02%和 7.01%~19.9%,但在 20—40 cm 土层的土壤 C/N 则未表现出明显规律。

表 3 不同物料还田对 0—20,20—40 cm 土壤有机碳、全氮、碳氮比的影响

土层 深度/cm	处理	吐丝期			收获期		
		有机碳 SOC/ (g·kg ⁻¹)	全氮 TN/ (g·kg ⁻¹)	碳氮比 C/N	有机碳 SOC/ (g·kg ⁻¹)	全氮 TN/ (g·kg ⁻¹)	碳氮比 C/N
0—20	对照	10.42bA	0.97bA	10.74aA	9.77bA	0.89bA	10.98aA
	蚕豆秸秆	11.80bA	1.11abA	10.63aB	11.60abA	1.06aA	10.94aA
	油菜秸秆	15.30aA	1.01bA	15.14aB	12.94aA	1.05aA	12.32aA
	猪粪	10.49bA	1.22aA	8.60aA	10.72bA	1.05aA	10.21aA
20—40	对照	4.12bB	0.54aB	7.63bB	3.55aB	0.52aB	6.83aB
	蚕豆秸秆	7.34abB	0.65aB	11.29abA	4.16aB	0.59aB	7.05aB
	油菜秸秆	9.94aB	0.55aB	18.07aA	5.06aB	0.53aB	9.55aB
	猪粪	6.46abB	0.72aB	9.50bA	3.64aB	0.58aB	6.28aB

注:同列不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一处理不同土层间差异达到显著水平($P<0.05$)。下同。

2.2 不同物料还田对土壤微生物量碳的影响

由图 2a 可知,SMBC 在剖面层次上的变化趋势为 0—20 cm>20—40 cm,0—20 cm 土层 SMBC 的变化范围为 103.66~318.95 mg/kg,20—40 cm 土层 SMBC 的变化范围为 33.58~182.92 mg/kg,上下层土壤 SMBC 含量差异显著。各处理 SMBC 含量在 2

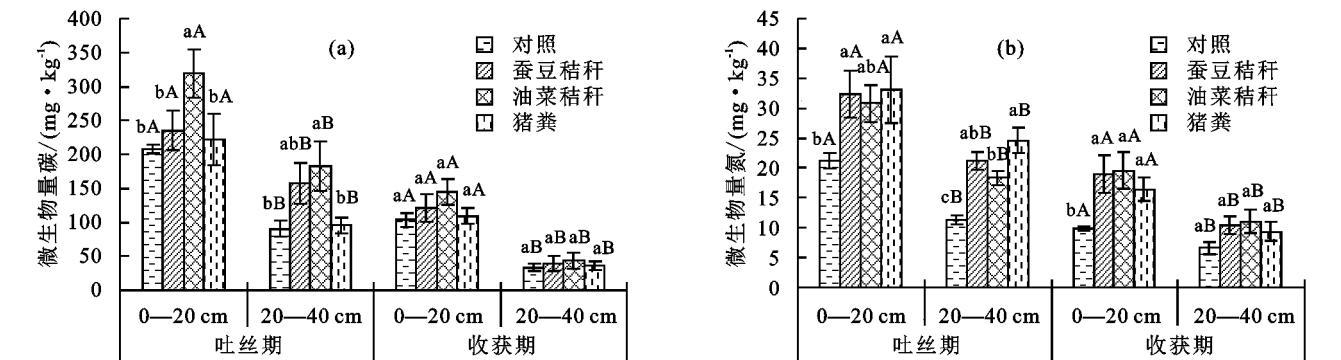
个生育时期内均表现为吐丝期>收获期,其中吐丝期对照、蚕豆秸秆、油菜秸秆、猪粪还田处理的上层土壤 SMBC 含量分别是收获期的 2.01,1.94,2.20,2.04 倍;吐丝期下层土壤 SMBC 含量分别是收获期的 2.69,4.03,4.20,2.63 倍。说明还田时间的延长有利于蚕豆秸秆、油菜秸秆、猪粪处理下层土壤 SMBC 含

量的增加。在 2 个生育时期,各处理 0—20,20—40 cm 土层的 SMBC 含量均表现为油菜秸秆>蚕豆秸秆>猪粪>对照,且在吐丝期时,油菜秸秆处理与其他 3 个处理差异显著,说明油菜秸秆还田能极大提高上下 2 层土壤 SMBC 含量。

2.3 不同物料还田对土壤微生物量氮的影响

由图 2b 可知,0—20 cm 土层 SMBN 的变化范围为 9.84~33.16 mg/kg,20—40 cm 土层 SMBN 的变化范围为 6.62~24.57 mg/kg,且 0—20 cm 土层 SMBN 含量显著高于 20—40 cm 土层。各处理 SMBN 含量大小顺

序在 2 个生育时期内表现不一致。吐丝期各处理 0—20,20—40 cm 土层的 SMBN 含量从高到低均表现为猪粪>蚕豆秸秆>油菜秸秆>对照,且与对照相比,猪粪处理的 0—20,20—40 cm 土层的 SMBN 含量分别显著增加 56.5%和 117.6%($P<0.05$)。而在收获期时,油菜秸秆处理的 SMBN 含量最高,其 0—20,20—40 cm 土层的 SMBN 含量分别达 19.55,11.04 mg/kg,其次为蚕豆秸秆和猪粪处理,且油菜秸秆、蚕豆秸秆、猪粪处理 0—20 cm 土层 SMBN 含量与对照间差异显著($P<0.05$),依次增加 92.1%,98.7%,67.0%。



注:不同小写字母表示同一时期、同一土层不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一时期、同一处理不同土层间差异达到显著水平($P<0.05$)。

图 2 不同物料还田对土壤微生物量碳、氮的影响

2.4 不同物料还田对土壤微生物量碳氮比、微生物熵、微生物量氮/全氮的影响

SMBC/SMBN 可反映土壤微生物群落的结构信息,也可作为土壤氮素供应能力和有效性的评价指标^[17]。从表 4 可以看出,在吐丝期和收获期,各处理 0—20 cm 土层的 SMBC/SMBN 为 6.63~10.53,20—40 cm 土层的 SMBC/SMBN 为 3.74~9.96,且收获期 0—20 cm 土层的 SMBC/SMBN 显著高于 20—40 cm 土层。吐丝期各处理 20—40 cm 土层的 SMBC/SMBN 大于收获期,但各处理 0—20 cm 土层的 SMBC/SMBN 在生育时期间无明显规律。在 2 个生育时期,除吐丝期的油菜秸秆处理外,有机物料还田均降低 0—20,20—40 cm 土层的 SMBC/SMBN,降低幅度为 7.74%~51.56%。收获期各处理上下层土壤 SMBC/SMBN 大小顺序均表现为对照>油菜秸秆>蚕豆秸秆>猪粪,且猪粪处理的 SMBC/SMBN 显著低于对照,但蚕豆秸秆、油菜秸秆和对照 3 个处理间均无显著性差异。

土壤 qMB 可有效追踪有机物料加入土壤中的存在状态,qMB 值越高代表土壤有机质活性越强,越容易被土壤微生物利用,SMBN/TN 可表征微生物对土壤有效氮素的利用效率及 SMBN 对土壤氮库的贡献率,可用作土壤氮素供应能力和有效性的评价指

示^[18]。本研究各处理土壤 qMB 值为 0.86%~2.19%,且在 2 个土层之间无显著性差异。总体来看,吐丝期和收获期 3 个物料还田处理 0—20,20—40 cm 土层的 qMB 值均大于对照。本研究各处理 SMBN/TN 值为 1.01%~3.41%。在 2 个生育时期和 2 层土壤中,3 个物料还田处理 0—20,20—40 cm 土层 SMBN/TN 值均高于对照,且在收获期表现为油菜秸秆>蚕豆秸秆>猪粪处理,但吐丝期 3 个还田物料处理间 SMBN/TN 值无明显规律。

2.5 土壤微生物量碳氮与土壤有机碳、全氮的相关性分析

从表 5 可以看出,SMBC 与 SMBN、SOC、TN、C/N、SMBC/SMBN、qMB、SMBN/TN 均呈极显著正相关;而 SMBN 与 SMBC 除相互间呈极显著正相关外,与 SOC、TN、qMB、SMBN/TN 也呈显著正相关。SOC 与 C/N、SMBN/SMBN 呈极显著正相关,与 TN、SMBN 呈显著正相关;TN 与 SMBN、SMBN/SMBN 呈显著正相关;C/N 与 SMBC/SMBN、SMBN/TN 呈极显著正相关;qMB 与 SMBC/SMBN 呈显著正相关、SMBN/TN 呈极显著正相关。综上,SOC 和 TN 显著提高均与 SMBC 和 SMBN 的含量变化相关,可通过物料还田提供给微生物足够的碳氮营养,提高 SMBC 和 SMBN 含量,从而可以显著提高 SOC 和 TN 含量。

表 4 不同物料还田对土壤微生物量比值的影响

土层 深度/cm	处理	吐丝期			收获期		
		微生物量碳氮比	微生物熵	微生物量氮/全氮	微生物量碳氮比	微生物熵	微生物量氮/全氮
		SMBC/SMBN	qMB/ %	SMBN/TN/ %	SMBC/SMBN	qMB/ %	SMBN/TN/ %
0—20	对照	9.83abA	2.00aA	2.37aA	10.53aA	0.99aA	1.01bA
	蚕豆秸秆	7.26bcA	1.99aA	2.90aA	7.37abA	1.04aA	1.78aA
	油菜秸秆	10.35aA	2.09aA	3.06aA	7.41abA	1.12aA	1.87aA
	猪粪	6.70cA	2.12aA	2.73aA	6.63bA	1.02aA	1.56abA
20—40	对照	8.01aA	2.19aA	2.11bA	5.07aB	0.86aA	1.27bA
	蚕豆秸秆	7.39aA	2.14aA	3.29abA	3.88aB	0.94aA	1.78abA
	油菜秸秆	9.96aA	1.84aA	3.34abA	3.95aB	0.95aA	2.09aA
	猪粪	3.88bB	1.48aA	3.41aA	3.74bB	1.00aA	1.62bA

表 5 土壤微生物量碳氮与土壤有机碳、全氮的相关性分析

指标	有机碳 SOC	全氮 TN	微生物量碳 SMBC	微生物量氮 SMBN	土壤碳氮比 C/N	微生物量碳氮比 SMBC/SMBN	微生物熵 qMB	微生物量氮/全氮 SMBN/TN
有机碳 SOC	1							
全氮 TN	0.624 *	1						
微生物量碳 SMBC	0.673 * *	0.536 * *	1					
微生物量氮 SMBN	0.508 *	0.574 *	0.799 * *	1				
土壤碳氮比 C/N	0.711 * *	−0.043	0.389 * *	0.196	1			
微生物量碳氮比 SMBC/SMBN	0.508 * *	0.294 *	0.652 * *	0.197	0.368 * *	1		
微生物熵 qMB	−0.170	0.037	0.509 * *	0.464 * *	−0.242	0.289 *	1	
微生物量氮/全氮 SMBN/TN	0.139	−0.139	0.491 * *	0.691 * *	0.366 * *	0.029	0.517 * *	1

注：* 表示在 $P<0.05$ 水平显著相关；* * 表示在 $P<0.01$ 水平显著相关。

3 讨论

农业废弃有机物料中含有作物生长所必需的碳、氮、磷、钾等营养元素,有机物料还田后,经过腐解会释放大量养分,增加土壤养分含量。本研究中,蚕豆秸秆、油菜秸秆和猪粪还田后 0—20 cm 土层(上层)和 20—40 cm 土层(下层)土壤 SOC 和 TN 含量均有一定程度增加,且油菜秸秆还田后提高土壤 C/N,这与 Zhang 等^[19]、唐海明等^[20]研究结果一致。土壤微生物生物量是土壤有机质中活性较高的部分,它是土壤养分周转的中间库,虽然在土壤中绝对含量不大,但对于养分的转化和供应至关重要。有研究^[21]表明,SMBC、SMBN 能快速响应土壤管理措施的变化,被认为是土壤质量变化的早期敏感指示者,外源材料的应用对 SMBC 和 SMBN 具有显著影响。本研究中,施用 3 种有机物料均能显著增加上层土壤 SMBC、SMBN 含量,这与吕盛等^[14]、Li 等^[22]研究结果一致。这是由于有机物料还田后直接增加微生物活动所需的碳源和氮源,使微生物同化作用加强^[23],促进微生物生物量的增长,而且有机物料的施用可改善土壤理化性质,从而也提高微生物的活性和生物量^[24]。此外,各处理 0—20 cm 土层 SMBC、SMBN 含量均显著高于 20—40 cm 土层。这是由于还田物料和玉米植株根系主要集中于 0—

20 cm 土层,物料中充足的碳氮源、根系分泌物以及较大的根系量更有利于微生物的生长;另外,相较于 20—40 cm 土层,上层土壤具有更好的水分和空气环境,也有利于微生物的生长繁殖及 SMBC、SMBN 含量的提高。在 2 个生育时期内,吐丝期各处理 SMBC、SMBN 含量均高于收获期,这一方面是由于吐丝期土壤温、湿度更适宜微生物的生长和大量繁殖,利于微生物将碳、氮固定在自身体内,导致 SMBC 和 SMBN 达最大值^[25];另一方面是由于在有机物料分解过程中,可供微生物吸收利用的能量物质和养分逐渐减少,微生物数量减少,收获期 SMBC、SMBN 含量有所降低^[26]。不同物料还田对微生物的影响程度因其性质而异。总体上,碳的分解速率随 C/N 比的增加而降低,但会随着 N 浓度的增加而上升^[27]。本研究中,猪粪的 C/N 比最低,将其施用到土壤后,微生物对氮素的固持作用较弱,迅速将猪粪中的氮素等养分进行释放,从而促进作物根系生长和根系分泌物的增加,导致吐丝期猪粪处理的 SMBN、TN 含量均达最高。但在收获期时,蚕豆处理的 TN 含量高于猪粪、油菜秸秆处理,这可能是由 3 种有机物料氮素含量差异及还田后腐解规律的不同所导致的。相较于猪粪而言,蚕豆秸秆还田后腐解速率较慢,但在玉米

收获期时,其累积腐解率和氮素累积释放率均高于猪粪,且蚕豆秸秆氮素含量高于猪粪,这导致蚕豆秸秆还田后土壤 TN 含量较高;而油菜秸秆还田后虽累计腐解率高于蚕豆,但由于油菜秸秆中氮素含量远低于蚕豆,氮素累积释放率较低,导致其土壤氮素含量低于蚕豆处理(数据来源于与本研究同时开展的 3 种物料腐解规律试验,数据未发表)。收获期油菜处理的 SOC、SMBC、SMBN 含量最高,这是由于油菜秸秆的含碳量和 C/N 比在 3 种物料中最高,微生物对油菜秸秆分解相对缓慢,到玉米收获期时,秸秆中仍存在部分有机碳源未被分解,微生物数量和活性仍较高。说明在等氮条件下,随着有机物料 C/N 比的增加,SMBC 出现增长趋势且高 C/N 比物料更有利于 SMBN 的保持,这与倪进治等^[28]研究结果一致。

SMBC/SMBN、qMB、SMBN/TN 能够有效反映有机物料还田后土壤有机质和氮素的活性变化。此外,SMBC/SMBN 能在一定程度上反映土壤微生物群落的结构信息,一般情况下,细菌的 C/N 为 5:1,真菌为 10:1,放线菌为 6:1^[29]。本研究中,各处理 0—20 cm 土层的 SMBC/SMBN 为 6.63~10.53,说明 0—20 cm 土层微生物群落可能以放线菌和真菌为主;而 20—40 cm 土层的 SMBC/SMBN 为 3.74~9.96,说明 20—40 cm 土层微生物群落主要为细菌和放线菌。有机物料还田均降低收获期上下 2 层土壤 SMBC/SMBN,这也与王利利等^[30]研究结果一致。土壤 qMB 是反映土壤有机质变化的敏感性指标^[31]。本研究中,各处理的土壤 qMB 值为 0.86%~2.19%,这与前人^[8]的研究结果(1%~5%)一致。SMBN/TN 为 1.01%~3.41%,这也与前人^[32]研究结果(2%~6%)相似。3 种物料还田均提高收获期上下层土壤 qMB 和 SMBN/TN 值,说明物料还田能提高土壤有机质活性和微生物氮素利用效率。但 3 种物料还田并没有显著改变 SMBC、SMBN 在 SOC 和 TN 中所占的比例,可能是由于物料还田后,土壤物理化学等环境改变,SMBC、SMBN 对土壤环境的变化迅速响应,SMBC、SMBN 迅速增加。同时,物料还田也对 SOC 和 TN 含量具有一定提升效果,导致土壤微生物生物量与土壤中养分增加趋势趋于一致,并且相关性分析结果中 SMBC、SMBN 与 SOC、TN 之间均存在极显著正相关关系也证实了这一点。此外,在大尺度范围内,还田培肥措施可能并不是影响土壤微生物量容量的主要因素^[33]。

4 结论

(1)尽管有机物料还田于 0—20 cm 土层中,上下

层土壤 SOC、TN、SMBC、SMBN 含量均受到有机物料的深刻影响。各处理 0—20 cm 土壤 SOC、TN、SMBC、SMBN 含量均显著高于 20—40 cm 土壤。上下层土壤 SOC、TN、SMBC 和 SMBN 在生育时期上表现均为吐丝期>收获期。

(2)与对照(无物料还田)处理相比,蚕豆秸秆、油菜秸秆、猪粪还田均能提高夏玉米吐丝期和收获期上下层土壤 SOC、TN、SMBC、SMBN 含量,降低 SMBC/SMBN,提高土壤微生物熵(qMB)和 SMBN/TN 值,提高土壤有机质活性和氮素利用效率。具体表现为:猪粪还田能显著提高吐丝期 SMBN 含量,但油菜秸秆还田更能促进收获期 SOC、SMBC 和 SMBN 的提高。收获期油菜秸秆处理土壤 SOC、SMBC 和 SMBN 分别较对照提高 32.45%~42.54%, 29.72%~39.84%, 66.77%~98.68%。

在四川丘陵区,配施化肥条件下将农业废弃有机物料还田均能有效提高玉米地土壤 SMBC、SMBN、SOC、TN 含量,维持较高的农田生产力,且油菜秸秆、蚕豆秸秆表现较优。但在实际生产应用中,具体选择的物料类型还应考虑土壤肥力提升效果、产量增加及其环境效益的最佳平衡。

参考文献:

- [1] 赵士诚,魏美艳,仇少君,等.氮肥管理对秸秆还田下土壤氮素供应和冬小麦生长的影响[J].中国土壤与肥料, 2017(2):20-25.
- [2] 董林林,王海侯,陆长婴,等.秸秆还田量和类型对土壤氮及氮组分构成的影响[J].应用生态学报,2019,30(4): 1143-1150.
- [3] Cheng Y, Zhang J B, Müller C, et al.¹⁵N tracing study to understand the N supply associated with organic amendments in a vineyard soil[J].Biology and Fertility of Soils,2015,51(8):983-993.
- [4] Georgieva S, Christensen S, Petersen H, et al. Early decomposer assemblages of soil organisms in litterbags with vetch and rye roots[J]. Soil Biology and Biochemistry,2005,37(6):1145-1155.
- [5] 孙瑞莲,朱鲁生,赵秉强,等.长期施肥对土壤微生物的影响极其在养分调控中的作用[J].应用生态学报,2004, 15(10):1907-1910.
- [6] 张成霞,南志标.土壤微生物生物量的研究进展[J].草业科学,2010,27(6):50-57.
- [7] 路怡青,朱安宁,张佳宝,等.免耕和秸秆还田对潮土酶活性及微生物量碳氮的影响[J].土壤,2013,45(5):894-898.
- [8] 唐海明,李超,肖小平,等.有机肥氮投入比例对双季稻田根际土壤微生物生物量碳、氮和微生物熵的影响[J].

应用生态学报,2019,30(4):1335-1343.

- [9] Gong H R, Jing L, Ma J H, et al. Effects of tillage practices and microbial agent applications on dry matter accumulation, yield and the soil microbial index of winter wheat in North China[J]. Soil and Tillage Research, 2018, 184: 235-242.
- [10] 马想, 黄晶, 赵惠丽, 等. 秸秆与氮肥不同配比对红壤微生物量碳氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(6): 1574-1580.
- [11] 张鹏鹏, 濮晓珍, 张旺锋. 干旱区绿洲农田不同种植模式和秸秆管理下土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2018, 29(3): 839-849.
- [12] Wei T, Zhang P, Wang K, et al. Effects of wheat straw incorporation on the availability of soil nutrients and enzyme activities in semiarid areas[J]. PloS One, 2015, 10(4): e0120994.
- [13] 张娟霞, 刘伟刚, 宁媛, 等. 长期秸秆还田与施氮后土壤活性碳、氮的变化[J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 212-217.
- [14] 吕盛, 王子芳, 高明, 等. 秸秆不同还田方式对紫色土微生物量碳、氮、磷及可溶性有机质的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(5): 266-272.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-110.
- [16] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量的测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 45-56.
- [17] Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: Effects of management changes[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27(7): 969-975.
- [18] 李江涛, 钟晓兰, 刘勤, 等. 长期施用畜禽粪便对土壤生物化学质量指标的影响[J]. 土壤, 2010, 42(4): 526-535.
- [19] Zhang P, Chen X L, Wei T, et al. Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities and crop yield in a semiarid region of China[J]. Soil and Tillage Research, 2016, 160: 65-72.
- [20] 唐海明, 程凯凯, 肖小平, 等. 不同冬季覆盖作物对双季稻田土壤有机碳的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(2): 465-473.
- [21] Blair N F, Aulknner R D, Till A R, et al. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part I: Broadbalk experiment[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 91(1/2): 30-38.
- [22] Li C X, Ma S C, Shao Y, et al. Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(1): 210-219.
- [23] 张春霞, 郝明德, 魏孝荣, 等. 不同农田生态系统土壤微生物生物量碳的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 81-83.
- [24] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 83-90.
- [25] 李世清, 李生秀. 有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 136-142.
- [26] Azeez J O, Averbek W V. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14): 5645-5651.
- [27] 龙攀, 隋鹏, 高旺盛, 等. 不同有机物料还田对农田土壤有机碳以及微生物量碳的影响[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(3): 153-160.
- [28] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 374-378.
- [29] Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30(13): 1627-1637.
- [30] 王利利, 董民, 张璐, 等. 不同碳氮比有机肥对有机农业土壤微生物生物量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1073-1077.
- [31] Sparling G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter[J]. Soil Research, 1992, 30(2): 195-207.
- [32] Azamf Y M, Hussain F. Determination of biomass N in some agricultural soils of Punjab, Pakistan[J]. Plant and Soil, 1989, 113(2): 223-228.
- [33] 王传杰, 肖婧, 蔡岸冬, 等. 不同气候与施肥条件下农田土壤微生物生物量特征与容量分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(6): 1067-1075.