

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

吕盛, 王子芳, 高明, 黄容, 田冬

(西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要: 以广泛分布于西南丘陵区的紫色土为研究对象, 通过田间微区试验, 研究了油菜/玉米轮作下秸秆不同还田方式对紫色土微生物量碳、氮、磷和可溶性有机质的影响, 以期对秸秆在农业生产上的综合利用提供理论依据。结果表明: 秸秆直接还田(CS)、生物质炭还田(BC)、秸秆+促腐剂还田(CSD)和秸秆1:1配施生物质炭还田(CSB)均有效提高土壤微生物量碳(SMBC)、氮(SMBN)、磷(SMBP)含量, 其中以CSD处理的微生物量碳、磷最高, 分别比CK(单施化肥)增加了46.32%, 94.09%; CSB处理的微生物量氮最高, 其次为CSD处理, 分别达到了104.47, 104.14 mg/kg。对土壤可溶性有机质而言, 除BC处理外, 其他秸秆还田处理下土壤可溶性有机碳(DOC)提高了63.26%~189.46%, 其中CSD处理最高, 达72.74 mg/kg; 与CK处理相比, 秸秆不同还田方式显著降低了土壤可溶性有机氮(DON)含量, 但4种处理的土壤可溶性有机磷(DOP)均有提高, 特别是CSD处理对土壤可溶性有机磷的提高效果最佳。与CK处理相比, 秸秆不同还田方式降低了土壤DON/TN, 但有效提高了SMBC/SOC(除BC处理), 其中CS和CSD处理的提高效果显著, 同时CSD处理的DOC/SOC和SMBN/TN值最高, 分别达到了0.49%和7.66%。秸秆不同还田方式能有效提高作物产量, 与CK处理相比, 各处理的油菜和玉米产量分别提高了3.37%~7.01%和1.49%~3.92%, 其中以CSD处理的增产效果最佳。因此, 油菜/玉米轮作下西南丘陵山区紫色土最优的秸秆还田方式为秸秆+促腐剂还田, 该还田方式下活性有机质含量最高, 有利于提高土壤生产力。

关键词: 秸秆还田; 生物质炭; 微生物量; 可溶性有机质

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)05-0266-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.05.041

Effects of Different Straw Returning Methods on Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen, Phosphorus and Soluble Organic Matter in Purple Soil

LÜ Sheng, WANG Zifang, GAO Ming, HUANG Rong, TIAN Dong

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: In order to explore the effects of different straw returning methods on microbial biomass carbon, nitrogen, phosphorus and soluble organic matter under rape/corn rotation system, field experiments were conducted on the purple soil, which was widely distributed in southwestern hilly region of China. This study was expected to contribute to the comprehensive and rational utilization of straw. The results showed that straw directly returning (CS), biochar returning (BC), straw with transformation promoter returning (CSD), equivalent straw and biochar returning (CSB) could all effectively increase the contents of soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus. The contents of soil microbial biomass carbon and phosphorus in CSD treatment were the highest, which were 46.32% and 94.09% higher than CK (single chemical fertilizer). Microbial biomass nitrogen content in CSB treatment was the highest followed by CSD treatment, which reached 104.47 mg/kg and 104.14 mg/kg, respectively. Except BC treatment, other treatments improved soluble organic carbon content by 63.26%~189.46%, and the value of CSD treatment was most distinct, reaching 72.74 mg/kg. Four straw returning treatments decreased the content of soil soluble organic nitrogen (DON) comparing with CK, while the content of soil soluble organic phosphorus (DOP) increased, especially CSD treatment had the best effect on the improvement of soil soluble organic phosphorus. Com-

pared with CK, straw returning reduced the DON/TN, but effectively increased the SMBC/SOC (except BC treatment), CS and CSD treatments had more expressive performance. DOC/SOC and SMBN/TN in CSD treatment were the highest, which reached 0.49% and 7.66%, respectively. Compared with CK, all straw returning treatments could increase the yields of rape and maize by 3.37%~7.01% and 1.49%~3.92%, respectively. CSD treatment was the best among four treatments. The best straw returning method under rape/corn rotation system in purple soil of southwestern hilly region was straw with transformation promoter returning, which had the highest active organic matter and was beneficial to increase soil productivity.

Keywords: straw returning; biochar; microbial biomass; soluble organic matter

土壤微生物量和可溶性有机质作为土壤养分库中最活跃的组分^[1],参与了土壤中C、N、P、K等养分的循环,对土壤的成土过程、有机质的分解和腐殖质的形成有重要作用^[2-3],同时也是土壤中植物有效养分的储存库和衡量土壤肥力的重要指标^[4]。在农业生态系统中,施肥、灌溉和耕作等措施会影响土壤微生物量和活性有机质的数量及变化^[5],尤其是秸秆等外源有机物料的添加及化肥施用会有显著影响^[6]。农作物秸秆富含营养元素,是物质、能量和养分的载体^[7],秸秆还田(直接还田、粉碎还田、过腹还田及促腐还田等)是利用农作物秸秆资源的有效途径,常作为土壤培肥增产的重要农艺措施。秸秆还田可以增加土壤外源有机碳的投入,土壤微生物利用输入的碳源物质进行自身繁殖,将秸秆中的碳同化为微生物量碳,同时从土壤中吸取部分氮、磷养分同化为微生物量氮、磷,从而加快了土壤碳、氮、磷养分的转换,提高土壤养分有效性。但直接还田的秸秆由于养分释放速度慢、腐解时间长等问题^[8],为农业生产带来了诸多不便。大量研究表明^[9-11],秸秆促腐还田是加快秸秆腐解,增加其养分释放量,提高土壤生物肥力的有效方法之一。马超等^[12]研究表明,秸秆促腐还田较单施化肥,能显著提高土壤微生物生物量碳、可溶性有机碳含量,但常规秸秆还田处理并没有这种趋势。这是因为秸秆促腐剂中含有大量的功能微生物,增加土壤微生物群落的功能多样性和活性,促进作物秸秆腐解,缩短腐解转化时间,增加其养分的释放量,影响土壤微生物量和土壤养分的有效性。但也有研究表明^[13-14],秸秆腐解剂的促腐效果并不明显。

由秸秆热解炭化而成的生物质炭,因其具有孔隙结构发达、比表面积大、带负电荷等特性^[15],常用于改良土壤和增加土壤碳储量,是秸秆还田的另一种形式,是目前研究的热点。已有研究表明,秸秆直接还田和生物质炭还田能显著提高稻田土壤微生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮,其中生物质炭处理的土壤微生物量碳和可溶性有机碳、氮高于秸秆还田处理,微生物量氮却低于秸秆还田处理^[16]。但章明奎等^[17]通过室内2 a盆栽试验研究表明,施用生物质炭降低了土壤可溶性有机碳,同时随着培养时间的增加,微生物

量碳呈下降趋势,最终明显低于不施有机物料处理,这可能是因为生物质炭本身对可溶性有机碳有一定的吸附固定作用;另有研究表明,生物质炭对不同土壤类型微生物量碳的影响也存在差异,其中生物质炭能增加黏质土的微生物量碳含量,降低砂质土的微生物量碳^[18]。综上所述,秸秆不同还田方式下,土壤微生物量碳、氮、磷和可溶性有机质必然会做出响应,但目前关于“等碳量”原则下,秸秆不同还田方式对土壤微生物量和可溶性有机质的研究仍存在争议,同时大多数研究主要为短期培养试验,而基于大田试验的研究较少。因此,本研究拟通过田间微区试验,以西南丘陵区紫色土为研究对象,基于油菜/玉米轮作方式和“等碳量”原则,研究秸秆不同还田方式下紫色土微生物量和可溶性有机质的变化特征,以期为深入研究秸秆在农业生产上的综合应用提供理论依据,实现秸秆的合理利用。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点在重庆市北碚区国家紫色土土壤肥力与肥料效益长期监测基地(106°26' E, 30°26' N, 海拔266.3 m),属紫色丘陵区,年平均气温18.4℃,年降雨量1105.3 mm,为亚热带季风气候。供试土壤为侏罗系沙溪庙组紫色泥页岩发育而成的灰棕紫泥土,在重庆市分布较为广泛。其基本理化性质为:pH为6.7,有机质17.21 g/kg,全氮1.54 g/kg,全磷0.73 g/kg,全钾14.66 g/kg,碱解氮135.65 mg/kg,有效磷17.38 mg/kg,速效钾206.32 mg/kg。

1.2 试验设计

采用微区试验的方式,设5个处理:单施化肥(CK)、秸秆还田(CS)、生物质炭还田(BC)、秸秆+促腐剂还田(CSD)、秸秆+生物质炭1:1还田(CSB)。每个处理3个重复,随机区组排列在15个试验微区中,每个微区面积为2 m×1 m,各个微区水肥管理相同。

试验种植模式采用“油玉新两熟”制,试验于2015年10月开始,2016年8月结束。各还田物料在每季种植前3 d按照“等碳量”原则施入,油菜季为水稻秸秆还田,玉米季为油菜秸秆还田,生物质炭由水稻秸秆和油菜秸秆于500℃厌氧烧制2 h而成,详细

的还田物料施用量和措施见表 1。各作物的氮、磷、钾养分用量根据《中国主要作物施肥指南》确定,各季作物栽培方式和田间管理措施按照当地习惯进行。其中油菜 10 月中旬育苗,11 月初移栽,各处理施肥量相同,氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)肥施用量分别为 150,90,90 kg/hm²。氮肥分基肥和基肥 2 次施入,

基肥占 70%,磷肥和钾肥做基肥一次性施入。基肥于 2016 年 2 月初施入,施用方法为小雨前后撒施。油菜于 2016 年 4 月中旬收获。玉米 2016 年 4 月中旬育苗,4 月下旬移栽,玉米季各处理的施氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)肥量分别为 180,60,90 kg/hm²,全部作为基肥在玉米移栽时施入。

表 1 试验处理

处理	施用量/(kg·hm ⁻²)	含碳量/%	还田措施
油菜季	CK	0	CS 处理将秸秆人工切碎至 2 cm 左右,然后均匀撒在土壤表面进行翻耕;BC 处理将过 10 mm 筛的生物质炭覆盖在土壤表面,由人工翻入土壤;CSB 处理将切碎后的秸秆和生物质炭混匀,再均匀施入土壤表面;CSD 处理将秸秆和促腐剂混合均匀后施入土壤
	CS	41.25	
	BC	61.02	
	CSD	秸秆 8000+促腐剂 16	
	CSB	秸秆 4000+生物质炭 2704.03	
玉米季	CK	0	CS 处理将秸秆人工切碎至 2 cm 左右,然后均匀撒在土壤表面进行翻耕;BC 处理将过 10 mm 筛的生物质炭覆盖在土壤表面,由人工翻入土壤;CSB 处理将切碎后的秸秆和生物质炭混匀,再均匀施入土壤表面;CSD 处理将秸秆和促腐剂混合均匀后施入土壤
	CS	39.21	
	BC	62.58	
	CSD	秸秆 8000+促腐剂 16	
	CSB	秸秆 8000+生物质炭 2505.91	

1.3 样品采集和测定方法

2016 年 8 月玉米收获后,采用 5 点法在每个微区采集 0—20 cm 耕层土壤混合样,样品带回实验室后留一部分新鲜土样在 4 ℃冰箱内保存,于 3 d 内测定土壤微生物量碳、氮、磷和可溶性碳、氮、磷。另一部分至于阴凉处自然风干,测定土壤基本理化性质。

微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸—K₂SO₄ 浸提法测定,称取相当于烘干土重 20 g 的新鲜土样,连同盛有 70 mL 左右氯仿的小烧杯放入用真空干燥器内,用真空泵抽至氯仿沸腾,关闭真空干燥器阀门,并置于 25 ℃下恒温培养 24 h,除尽氯仿后用 0.5 mol/L K₂SO₄ 提取(土水质量比为 1:4),振荡 30 min(25 ℃,300 r/min),迅速过滤,同时做未熏蒸土样对照,滤液中碳测定用重铬酸钾—硫酸消煮,硫酸亚铁滴定法;氮测定用半微量凯氏法,微生物量碳、氮以熏蒸和未熏蒸土壤提取液碳、氮含量之差除以转化系数,转化系数分别为 0.38 和 0.45。微生物量磷采用氯仿熏蒸—NaHCO₃ 浸提法测定,提取液采用 0.5 mol/L NaHCO₃,转化系数为 0.4^[19]。

土壤可溶性有机碳、氮测定:取过 2 mm 筛的新鲜土样 10 g 于 100 mL 离心管内,加入去离子水 20 mL(土水质量比为 1:2),25 ℃下恒温振荡 30 min(250 r/min),离心 20 min(4 000 r/min),然后上清液用真空泵抽滤过 0.45 μm 微孔滤膜到 50 mL 塑料瓶中,滤液一部分直接在 Multi N/C 2100 分析仪(耶拿,德国)测定土壤可溶性有机碳;另一部分用于测定土壤可溶性全氮和无机氮(NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N)。可溶性性有机氮为可溶性全氮和无机氮(NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N)之差,可溶性全氮采用过硫酸钾氧化—紫外分光光度法测定,NO₃⁻-N 采用紫外分光光度法

测定,NH₄⁺-N 采用靛酚蓝比色法测定^[20]。土壤可溶性有机磷为可溶性总磷酸盐和可溶性正磷酸盐之差,提取过程与可溶性有机碳、氮相似(改变土水质量比为 1:5),滤液直接用于测定可溶性总磷酸盐和可溶性正磷酸盐,测定方法分别采用过硫酸钾消解—钼锑抗分光光度法和钼锑抗分光光度法^[21]。

1.4 数据处理

数据处理采用 SPSS 21.0 进行统计分析,作图采用 Microsoft Excel 2007 处理,采用 LSD 法对各处理的数据进行方差分析和显著性检验,显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 秸秆不同还田方式对土壤微生物量碳、氮、磷的影响

土壤微生物量碳、氮、磷是土壤碳、氮、磷储存库中最活跃的部分^[16],是土壤养分循环和转化的动力。由图 1 可知,各处理土壤微生物量碳为 107.95~157.95 mg/kg,其中秸秆+促腐剂(CSD)处理最高,为 157.95 mg/kg,其次为秸秆(CS)处理,分别较单施化肥(CK)处理提高了 46.32%和 40.75%,但各处理间差异不显著。与 CK 处理相比,秸秆不同还田方式能提高土壤微生物量氮含量,其中 CSB 和 CSD 处理较 CK 处理分别显著提高了 97.68%和 97.07%(P<0.05),而秸秆(CS)和生物质炭(BC)处理也提高了 35.91%和 37.14%,但差异不显著。秸秆不同还田方式下土壤微生物量磷均有不同程度的提高,CSD、CSB、CS 和 BC 处理分别比 CK 处理显著提高了 94.09%,89.44%,41.61%,63.04%。总体上,秸秆不同还田方式能提高土壤微生物量碳、氮、磷含量,其中秸秆+促腐剂(CSD)处理较其他处理能显著提高土壤微生物量氮、磷含量,其次为秸秆+生物质炭(CSB)处理。

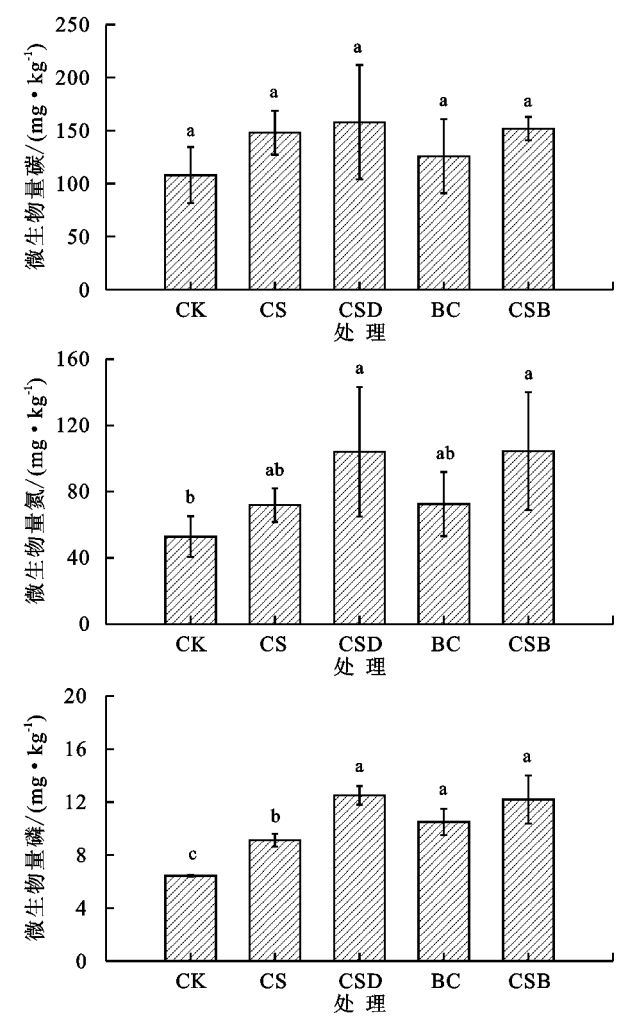


图 1 秸秆不同还田方式下土壤微生物量碳、氮、磷的变化

2.2 秸秆不同还田方式对土壤可溶性碳、氮、磷的影响

土壤可溶性有机质是土壤养分中最活跃的组分,能够灵敏的响应外界环境的变化,因此是衡量土壤肥力的指标之一。由图 2 可知,秸秆不同还田方式对土壤可溶性有机碳、氮、磷的影响存在差异。对土壤可溶性有机碳而言,CSD、CSB 和 CS 处理的土壤可溶性有机碳分别比 CK 处理显著增加了 47.61,15.89,14.38 mg/kg ,其中 CSD 处理明显高于其他处理;而 BC 处理较 CK 处理减少了 3.16 mg/kg ,可见秸秆+促腐剂处理能有效提高土壤可溶性有机碳含量。土壤可溶性有机氮是土壤氮库中最不稳定的组分,容易受到微生物数量、土壤水分、温度、耕作方式及还田物料的影响。与 CK 处理(8.18 mg/kg)相比,秸秆不同还田方式下土壤可溶性氮含量均显著降低了 2.62~5.36 mg/kg ($P<0.05$),其中 CS 处理的土壤可溶性有机氮含量最低,与 CK 处理相比减少了 65.58%。土壤可溶性有机磷对土壤中磷素转化和利用有重要作用,是植物有效磷的重要来源之一。各处理的土壤可溶性有机磷含量表现为 $\text{CSD}>\text{CS}>\text{CSB}>\text{BC}>\text{CK}$,除 BC 处理外,其他秸秆还田方式处理均较 CK 处理显著提高了 70.94%~104.11%。

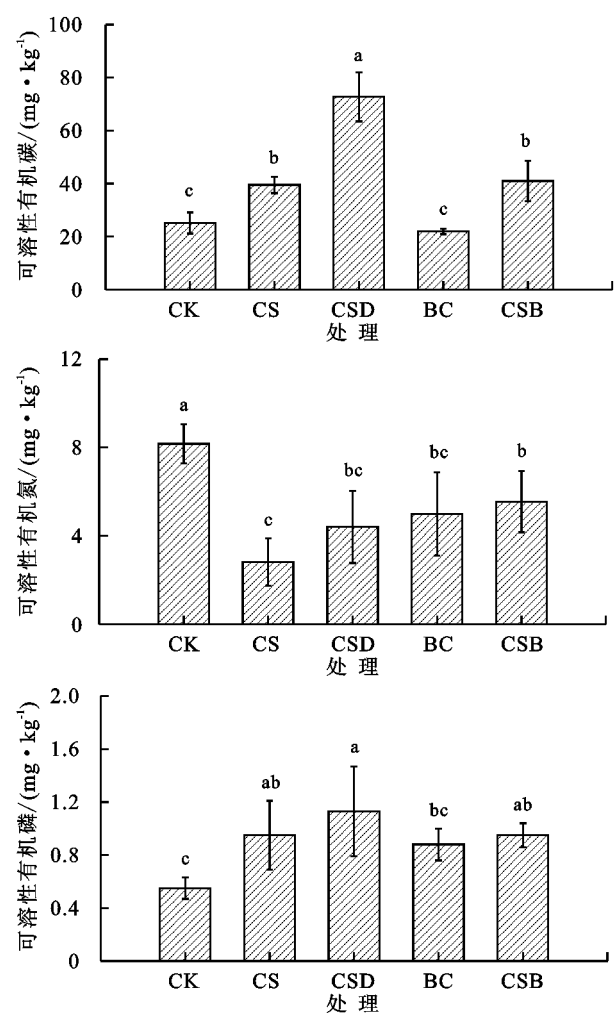


图 2 秸秆不同方式还田下土壤可溶性有机碳、氮、磷的变化

2.3 秸秆不同还田方式下土壤微生物量及可溶性有机碳氮与土壤有机碳和全氮关系

土壤微生物量碳和可溶性有机碳都是土壤有机碳库中最具活性的组分,虽然占土壤有机碳的比例较小,但却对土壤养分的循环和转化有重要影响,是衡量土壤质量的重要指标。土壤微生物熵(SMBC/SOC)是反应土壤碳动态的有效指标^[22]。由表 2 可知,不同处理下土壤微生物熵均在 1%左右,其中 CS 处理的值最大,为 1.07%,其次为 CSD 处理,分别比 CK 处理提高了 18.67%和 18.04%,而 BC 和 CSB 处理的土壤微生物熵则有所下降,分别为 0.72%和 0.88%。秸秆不同还田方式下土壤 DOC/SOC 的波动较大,变化范围为 0.12%~0.49%,与 CK 处理相比,CSD 和 CS 处理分别显著提高了 134.15%和 35.85%,而 BC 处理则显著降低了 39.21%($P<0.05$)。土壤微生物量氮和可溶性有机氮是土壤中氮素循环和转化的动力,其占土壤全氮的比例是反应土壤氮动态的有效指标。从表 2 中还可以看出,不同处理的土壤 SMBN/TN 均在 4.39%~7.66%,除 BC 处理,其他秸秆还田方式的 SMBN/TN 均大于 CK 处理,其中 CSD 处理最大,为 7.66%,其次为 CS 处理,BC 处理 SMBN/TN 为 4.39%,低于 CK 处理

的 5.13%。而不同处理下 DON/TN 则表现为 CK>CSB>CSD>CS>BC,除 CSB 处理外,其他处理均显著下降了 48.29%~56.15%。

表 2 不同处理下土壤微生物量及可溶性有机碳氮占土壤有机碳和全氮的比例 单位:%

处理	SMBC/SOC	DOC/SOC	SMBN/TN	DON/TN
CK	0.91±0.23a	0.21±0.03c	5.13±2.37a	0.63±0.21a
CS	1.07±0.13a	0.29±0.01b	6.21±0.91a	0.29±0.20b
CSD	1.06±0.33a	0.49±0.04a	7.66±2.74a	0.33±0.12b
BC	0.72±0.13a	0.12±0.02d	4.39±0.07a	0.27±0.03b
CSB	0.88±0.04a	0.24±0.04bc	5.45±2.91a	0.47±0.11ab

注:不同小写字母表示各处理间差异显著性(P<0.05)。下同。

2.4 秸秆不同还田方式对油菜与玉米产量的影响

秸秆不同还田方式可以提高油菜和玉米产量(图 3)。对油菜季而言,CSD 处理的油菜产量最高,较 CK 处理(1 787.92 kg/hm²)显著增加了 125.38 kg/hm²;其次为 CS(1 893.06 kg/hm²)、CSB(1 872.02 kg/hm²)和 BC(1 848.22 kg/hm²)处理,但 CS、CSD、CSB 与 CK 处理间差异不显著。各处理的玉米产量表现为 CSD>BC>CS>CSB>CK,与 CK(8 418.50 kg/hm²)相比,秸秆不同还田方式处理的玉米产量提高了 1.49%~3.92%,可见与单施化肥相比,秸秆不同还田方式能稳定提高作物产量。

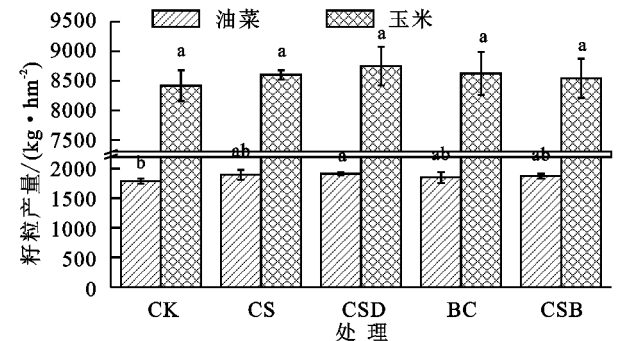


图 3 秸秆不同还田方式对作物产量的影响

2.5 秸秆不同还田方式下作物产量与土壤微生物量碳、氮、磷及可溶性有机质的相关性

由表 3 可知,油菜产量与土壤微生物量碳呈显著正相关,与可溶性有机磷呈极显著正相关,相关系数分别为 0.957 和 0.975,玉米产量与土壤可溶性有机磷间的相关系数达到 0.919,为显著正相关关系;而与土壤微生物量碳相关性不显著。油菜和玉米产量与土壤微生物量氮、磷及可溶性有机碳均呈正相关关系,但相关性不显著;与土壤可溶性有机氮呈不显著的负相关关系。

表 3 秸秆不同方式还田下产量与土壤微生物量碳、氮、磷及可溶性有机质的相关性

指标	SMBC	SMBN	SMBP	DOC	DON	DOP
油菜产量	0.957*	0.765	0.788	0.776	-0.867	0.975**
玉米产量	0.734	0.648	0.765	0.732	-0.727	0.919*

注:*表示显著相关(P<0.05);**表示极显著相关(P<0.01)。

3 讨论

3.1 秸秆不同还田方式对紫色土微生物量的影响

土壤微生物量在土壤有机质中占比很少,却是土壤中能量循环和转化的动力,对研究土壤质量有重要意义,同时是衡量土壤生产力的重要指标。大量研究发现,秸秆还田可以提高土壤微生物量碳、氮、磷含量和作物产量^[23],秸秆还田为土壤微生物自身的繁殖提供了大量碳源,因此在生物化学过程中微生物从土壤中吸取部分氮、磷等养分作为自身机体的组成部分,最终将土壤和秸秆中碳、氮、磷养分同化为微生物体碳、氮、磷。另一方面,秸秆还田改善了土壤的水、肥、气、热状况,为微生物的生长繁殖和作物稳产高产提供良好的环境^[24]。本研究中,秸秆不同还田方式能提高土壤微生物量碳、氮、磷含量,增加作物产量,且油菜和玉米产量与土壤微生物生物量存在正相关关系,这与陈安强等^[16]研究结果相似,其中秸秆+促腐剂(CSD)处理较其他处理能显著提高土壤微生物量氮、磷含量,这是因为促腐剂是一种高效微生物制剂,与秸秆配施后,增加了农田生态系统的功能微生物,其在大量繁殖过程中会分泌大量降解纤维素、半纤维素和木质素的酶^[25],加快了秸秆中的含碳物质转化为微生物量碳,从而加速了秸秆腐解进程,促进了秸秆中养分的释放,为作物生长提供充足的养分,增加作物产量;同时功能微生物在繁殖过程中需要从秸秆和土壤中吸收部分的氮、磷养分作为自身机体的组成部分,最终提高了土壤氮、磷养分的有效性,增加土壤微生物量氮、磷。

生物质炭是土壤改良的理想材料,可以改善土壤微生物的生存环境,提高微生物活性和多样性^[26]。本研究中,生物质炭还田后土壤微生物量碳、氮、磷与 CK 处理相比均有提高,但土壤微生物量碳、氮含量低于其他秸秆还田处理,这是因为生物质炭的强吸附性使土壤中部分微生物被附着在生物质炭空隙内,减少了土壤有机质与微生物的接触,从而较其他秸秆还田处理对微生物量碳、氮的提升效果不明显;此外,生物质炭是由秸秆低温热解炭化产生的一类高度芳香化的难溶性物质,被认为是惰性碳库,具有极高的生物化学稳定性,施入土壤后难以被微生物直接利用,从而微生物活性相较于其他秸秆还田处理低^[27]。但是在秸秆 1:1 配施情况下,生物质炭还田处理的土壤微生物量碳、氮、磷高于 CK,与章明奎等^[17]研究相类似,这是由于生物质炭与其他有机物料配合施用会明显丰富微生物生长的所需的碳、氮的数量和种类,从而提高微生物数量和丰度。

3.2 秸秆不同方式还田对紫色土可溶性有机质的影响

土壤可溶性有机质是土壤养分中活性较强的组

分,也是最易损失的组分,土壤中微生物数量及活性、pH 和外源有机物料输入等会对土壤可溶性有机质造成一定影响^[28]。已有研究表明,秸秆还田会显著提高土壤可溶性有机碳^[16],本研究中秸秆直接还田、腐解还田及配施生物炭还田处理下,土壤可溶性有机碳均有显著提高,一方面是因为秸秆还田后,为微生物生长提供了良好的物质和能量,提高了微生物活性,进一步激发了土壤本身易分解有机质的分解;另一方面,秸秆本身含一定量的活性碳,施入土壤后部分会分解溶出到土壤中,从而增加了土壤可溶性有机碳含量。目前,生物炭还田后土壤可溶性有机碳的变化存在较大的争议。有研究表明,生物炭还田可以提高土壤可溶性有机碳含量^[16,29];而本研究发现生物炭还田处理降低了土壤可溶性有机碳含量,这与付琳琳等^[30]、马莉等^[31]及章明奎等^[17]研究结果相一致,这可能是由于生物炭具有比表面积大、疏松多孔的特性,对土壤中可溶性有机碳有一定的吸附固定作用。可溶性有机氮是植物可利用氮的重要组分,前人研究表明,秸秆还田会提高土壤可溶性有机氮含量^[32],但也有研究表明秸秆还田对土壤可溶性有机氮无明显作用^[33],甚至会降低土壤可溶性有机氮含量^[34]。本研究中,秸秆通过不同方式还田后,土壤可溶性有机氮含量与单施化肥相比均有显著降低,这可能是由于供试土壤矿质氮含量较低,当 C/N 较高的秸秆施入土壤后为微生物提供了充足的碳源,微生物大量生长繁殖,由于外源氮源的缺乏,微生物会同化土壤中的可溶性有机氮,造成土壤可溶性有机氮的降低。但秸秆与促腐剂和生物炭配合施用会明显丰富了微生物生长的所需的碳、氮的数量和种类,从而提高微生物数量和丰度,加速了秸秆的腐解,补充了土壤中可溶性有机氮,因此秸秆配施其他有机物料处理的土壤可溶性有机氮含量高于秸秆直接还田处理。土壤可溶性有机氮是可被微生物直接利用的氮源,本研究中生物炭处理的微生物数量和活性较其他处理低,因此该处理下被微生物分解利用的土壤可溶性有机氮较少,从而提高了土壤可溶性有机氮储量。虽然生物炭的有机氮含量低,但生物炭可以促进土壤氮素转化,从而影响土壤可溶性有机氮含量^[35]。土壤可溶性有机磷作为土壤有效磷的重要来源,对调节土壤磷库平衡有重要作用。本研究发现各处理间土壤可溶性有机磷与可溶性有机碳变化相似,秸秆还田不仅能提高了土壤中微生物的活性,加速了磷的解吸,增加了土壤中可溶性有机磷的含量,而且还能稳定提高作物产量,从土壤可溶性有机磷与产量之间的显著正相关性也进一步表明土壤可溶性磷可作为评价秸秆还田后土壤肥力变化的指标(表3)。

土壤微生物熵(SMBC/SOC)能够反映土壤微生物固碳效率,是衡量土壤有机质质量的重要指标^[36]。本研究中各处理的土壤微生物熵为 0.72%~1.07%,且秸秆直接还田和促腐还田均能提高土壤微生物熵,与高扬等^[37]的结果相似;而生物炭还田和秸秆+生物炭还田降低了土壤微生物熵,这是因为生物炭还田虽然提高了土壤总有机碳含量^[38],但是其可被微生物分解利用的活性碳较少,因此降低了土壤微生物熵。试验处理的 DOC/SOC(0.21%~0.49%)小于 SMBC/SOC(0.72%~1.07%),但各处理间的 DOC/SOC 差异高于 SMBC/SOC,可见土壤可溶性有机碳对秸秆不同还田方式的响应更加明显。SMBN/TN 可以反映土壤中氮素的有效性,宋震震等^[39]研究表明化肥和有机肥施用下 SMBN/TN 介于 6.8%~9.6%,这与本研究结果相近,各处理中以 CSD 处理的 SMBN/TN 值最大,表明秸秆配施促腐剂提高紫色土氮素的有效性最好。

4 结论

(1)油菜/玉米轮作下秸秆不同还田方式有效提高了紫色土微生物量碳、氮、磷含量,其中以秸秆+促腐剂处理的效果最为显著,与 CK 处理相比,提高了 46.32%,97.07%,94.09%。

(2)对土壤可溶性有机质而言,秸秆+促腐剂处理的土壤可溶性有机碳含量最高,达到了 72.74 mg/kg,而生物炭处理降低土壤可溶性有机碳含量;秸秆不同方式还田降低了紫色土可溶性有机氮含量,但土壤可溶性有机磷却显著提高了 70.94%~104.11%。

(3)秸秆不同还田方式下紫色土 SMBC/SOC 和 SMBN/TN 均大于 DOC/SOC 和 DON/TN,秸秆+促腐剂处理的土壤 SMBC/SOC、DOC/SOC、SMBN/TN 明显高于其他处理。

秸秆不同还田方式不仅可有效提高紫色土活性有机质含量,改善土壤肥力,还稳定提高了作物产量(1.49%~7.01%),其中以秸秆+促腐剂还田的效果明显优于其他秸秆还田方式,因此,秸秆+促腐剂还田是油菜/玉米轮作下西南丘陵山区紫色土最优的秸秆还田方式。

参考文献:

- [1] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, et al. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34(3): 387-401.
- [2] Park J H, Matzner E. Controls on the release of dissolved organic carbon and nitrogen from a deciduous forest floor investigated by manipulations of aboveground litter inputs and water flux[J]. Biogeochemistry, 2003, 66(3): 265-286.
- [3] 卢萍,单玉华,杨林章,等. 秸秆还田对稻田土壤溶液中溶解

- 性有机质的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 736-741.
- [4] 肖新, 朱伟, 肖靛, 等. 适宜的水氮处理提高稻基农田土壤酶活性和土壤微生物量碳氮[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 91-98.
- [5] 侯化亭, 张丛志, 张佳宝, 等. 不同施肥水平及玉米种植对土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. 土壤, 2012, 44(1): 163-166.
- [6] 张宏威, 康凌云, 梁斌, 等. 长期大量施肥增加设施菜园土壤可溶性有机氮淋溶风险[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 99-107.
- [7] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕. 秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(1): 150-157.
- [8] 于建光, 常志州, 黄红英, 等. 秸秆腐熟剂对土壤微生物及养分的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 563-570.
- [9] 耿丽平, 薛培英, 刘会玲, 等. 促腐菌剂对还田小麦秸秆腐解及土壤生物学性状的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 305-310.
- [10] 唐晓雪, 刘明, 江春玉, 等. 不同秸秆还田方式对红壤性质及花生生长的影响[J]. 土壤, 2015, 47(2): 324-328.
- [11] 张电学, 韩志卿, 李东坡, 等. 不同促腐条件下秸秆还田对土壤微生物量碳氮磷动态变化的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1903-1908.
- [12] 马超, 周静, 刘满强, 等. 秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 915-921.
- [13] 吴琴燕, 陈宏州, 杨敬辉, 等. 不同腐解剂对麦秸秆腐解的初步研究[J]. 上海农业学报, 2010, 26(4): 83-86.
- [14] Tiquia S M, Tam N F Y. Fate of nitrogen during composting of chicken litter[J]. Environmental Pollution, 2000, 110(3): 535-41.
- [15] Tammeorg P, Helenius J. Biochar application to a fertile sandy clay loam in boreal conditions: Effects on soil properties and yield formation of wheat, turnip rape and faba bean [J]. Plant and Soil, 2014, 374(1): 89-107.
- [16] 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.
- [17] 章明奎, Waleign D B, 唐红娟. 生物质炭对土壤有机质活性的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 127-131.
- [18] Durenkamp M, Luo Y, Brookes P C. Impact of black carbon addition to soil on the determination of soil microbial biomass by fumigation extraction[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2010, 42(11): 2026-2029.
- [19] 吴金水. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [21] 国家环保局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- [22] 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.
- [23] 郭成藏, 李鲁华, 黄金花, 等. 秸秆还田对长期连作棉田土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(3): 296-304.
- [24] 蔡立群, 牛怡, 罗珠珠, 等. 秸秆促腐还田土壤养分及微生物量的动态变化[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(9): 1047-1056.
- [25] 倪国荣, 涂国全, 魏赛金, 等. 稻草还田配施催腐菌剂对晚稻根际土壤微生物与酶活性及产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(1): 149-154.
- [26] 何玉亭, 王昌全, 沈杰, 等. 两种生物质炭对红壤团聚体结构稳定性和微生物群落的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(12): 2333-2342.
- [27] Antal M J, Grönli M. The art, science, and technology of charcoal production[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2003, 42(8): 1619-1640.
- [28] 刘玲, 刘振, 杨贵运, 等. 不同秸秆还田方式对土壤碳氮含量及高油玉米产量的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(5): 187-192.
- [29] 郑小龙, 吴家森, 陈裴裴, 等. 生物质炭与不同肥料配施对水稻田面水养分流失风险的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 221-226.
- [30] 付琳琳, 蔺海红, 李恋卿, 等. 生物质炭对稻田土壤有机碳组分的持效影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(6): 1379-1384.
- [31] 马莉, 吕宁, 冶军, 等. 生物炭对灰漠土有机碳及其组分的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 976-981.
- [32] 丁婷婷, 王百群, 何瑞清, 等. 施用秸秆对土壤可溶性有机碳氮及矿质氮的影响[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 72-77.
- [33] 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.
- [34] 梁斌, 周建斌, 杨学云, 等. 栽培和施肥模式对黄土区旱地土壤微生物量及可溶性有机碳、氮的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 132-137.
- [35] 罗煜, 赵小蓉, 李贵桐, 等. 生物质炭对不同 pH 值土壤矿质氮含量的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 166-173.
- [36] Marschner P, Kandeler E, Marschner B. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(3): 453-461.
- [37] 高扬, 徐亚娟, 陈维梁, 等. 紫色土坡耕地 C、N 与微生物 C、N 变化及其耦合特征[J]. 环境科学学报, 2014, 34(7): 1794-1800.
- [38] 王莲阁, 高岩红, 梁颖涛, 等. 油菜秸秆生物质炭对紫色土有机碳矿化和累积效应的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(6): 172-177.
- [39] 宋震震, 李絮花, 李娟, 等. 有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 525-533.