

有机物料对原生盐碱土微团聚体特征及稳定性的影响

陈晓东, 吴景贵, 范 围, 朱文悦, 李晓航

(吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

摘要: 为了研究不同有机物料对原生盐碱土微团聚体粒径分布状况及不同粒径微团聚体间有机碳含量的影响, 以施用有机物料的原生盐碱土为试验对象, 设置空白处理(CK)、颗粒状秸秆处理(GW)、正常玉米秸秆处理(CS)、牧草处理(GS)和羊粪处理(SM), 采用大田试验与室内分析相结合的方法, 研究不同有机物料施用下土壤微团聚体的粒径分布状况及不同粒径微团聚体间有机碳含量, 分析不同粒径微团聚体间有机碳对土壤微团聚体稳定性的贡献。结果表明, 施用有机物料各处理较 CK 处理均增加土壤 2~0.25 mm 的团聚体含量, 增幅为 9.02%~20.37%, 其大小排序为 GW>SM>GS>CS>CK。对于其他粒径微团聚体分布影响则有所差异。总体来说, 有机物料处理增加了土壤大粒径团聚体含量, 减少了土壤小粒径团聚体含量。不同有机物料的施用均能增加各粒径土壤微团聚体间有机碳含量。同时, 有机物料的施用增加了土壤微团聚体的稳定性, 采用回归模型分析、相关分析、冗余分析以及主成分因子分析, 表明施用颗粒秸秆更有利于增加土壤微团聚体的稳定性。

关键词: 有机物料; 原生盐碱土; 土壤微团聚体; 有机碳

中图分类号: S156.4⁺4; S152.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)02-0201-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2020.02.029

Effect of Organic Materials on the Characteristics and Stability of Micro-aggregates in the Native Saline-alkali Soil

CHEN Xiaodong, WU Jinggui, FAN Wei, ZHU Wenyue, LI Xiaohang

(College of Resource and Environmental Sciences, Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

Abstract: In order to study the effect of different organic materials on the distribution of micro-aggregates in native saline soils and the adsorption capacity of different fractional micro-aggregates on organic carbon, the native saline-alkali soils were used as test objects. The field experiment included the control treatment (CK), granular straw treatment (GW), normal corn straw treatment (CS), forage treatment (GS) and sheep manure treatment (SM). Combined with laboratory analysis, the particle size distribution of soil micro-aggregates and the content of organic carbon between different size micro-aggregates were studied. The results showed that the application of organic materials increased the contents of micro-aggregates of 2~0.25 mm in soil compared with CK, with an increase of 9.02%~20.37% and an order of GW>SM>GS>CS>CK. There were some differences in the effects on the micro-aggregates with other particle sizes. In general, organic material application increased the large particle size soil micro-aggregates and reduced the soil micro-aggregates with small particle size. The application of different organic materials could increase the organic carbon content of soil micro-aggregates of various particle sizes. At the same time, the application of organic materials increased the stability of soil micro-aggregates. The regression model analysis, correlation analysis and redundant analysis and principal component analysis were used for factor analysis. The results showed that the application of granular straw was more beneficial to increase the stability of soil microaggregates.

Keywords: organic materials; primary saline-alkali soil; soil micro-aggregates; organic carbon

现阶段我国耕地资源在不断减少, 寻找合适的后备耕地资源显得尤为重要, 我国盐碱化土地的面积达 9 913 万 hm^2 , 占我国陆地面积比重大^[1], 并且其面积还

在不断增加, 盐碱地被视为一种待开发利用的重要后备耕地资源, 但因其土壤结构较差、土壤盐碱性较强、土壤肥力低下等特点, 使其较难被利用^[2]。合理、高效地利

收稿日期: 2019-08-03

资助项目: 国家重点研发计划项目“半干旱区地力提升与水肥一体化玉米丰产增效技术集成与示范”(2018YFD0300203); 国家重点研发计划项目“北方玉米养分需求特征与化肥减施关键技术创新与优化”(2017YFD0201801)

第一作者: 陈晓东(1995—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤有机培肥及盐碱地改良研究。E-mail: 1165765466@qq.com

通信作者: 吴景贵(1965—), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤环境优化与农学废弃物资源化研究。E-mail: wujingguik@163.com

用盐碱地使其变为后备耕地资源的前提是对盐碱地土壤结构进行改良。土壤微团聚体被认为是土壤最佳团粒结构(10~0.25 mm)的前期阶段^[3],是良好土壤结构形成的物质基础,是土壤养分与水分的转化运移及微生物生存活动的重要载体与空间,同时还与土壤有机碳的吸附、固持及转化息息相关^[4-5]。土壤微团聚体不仅可以促进良好土壤结构的形成,而且对于调控土壤温度和水分等都具有不可忽视的作用。不同粒径大小的土壤微团聚体的作用有所差异^[6]。因此,研究施用有机物料对原生盐碱地土壤微团聚体粒径分布情况及其结构稳定性的影响,以及对土壤微团聚体间有机碳含量的影响具有十分重要的意义。

许多研究^[7]表明,有机物料的施用增加了土壤中有有机质等有机胶结物质,使土壤中小团聚体胶结聚集成结构更加稳定的大团聚体,从而减少了小团聚体的含量;宋洁等^[8]研究表明,玉米秸秆的还田处理,使土壤微团聚体优势粒径(0.25~0.02 mm)的含量显著增加;周连仁等^[9]研究表明,秸秆施用后,盐渍化草甸土有机质含量大大增加,盐渍化草甸土 1~0.25,0.25~0.05 mm 团聚体含量呈现增加趋势,与此同时,粒径为 0.05~0.01 mm 的小微团聚体的含量则出现减少;何瑞成等^[10]研究表明,有机物料的施用可以增加盐碱地土壤水稳性团聚体的稳定性;也有研究^[11-14]认为,施用粪肥、绿肥以及棉粕等有机物料,可以增加土壤中的有机质含量,促进土壤大团聚体形成,增加土壤团聚体的稳定性。

目前主要的研究多集中于单一的有机物料还田对土壤微团聚体的影响,关于对比不同有机物料以及不同形态的同种有机物料还田对土壤微团聚体的差异性研究较少,同时不同的土壤类型对于有机物料的施用也会有不同的影响。本试验以施用有机物料的原生盐碱地土壤为研究对象,研究不同有机物料施用后原生盐碱地土壤中微团聚体粒径的分布状况,以及不同粒径微团聚体对有机碳固存能力的差异,分析不同粒径微团聚体间有机碳对土壤微团聚体稳定性的贡献,探讨不同有机物料及同种有机物料改变形态后作用的差异性,为吉林西部地区的原生盐碱地有机培肥改良提供参考,为揭示原生盐碱地土壤有机培肥机制、科学培肥原生盐碱地土壤提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于松嫩平原腹地西北部的吉林省大安市海坨镇姜家村(45°19′47″N,124°01′48″E),全年平均日照时间 3 012.8 h,年平均气温 4.3 ℃,年平均积温 2 921.3 ℃,年平均降水量 413.7 mm。属中温带季风气候,四季分明,试验地土壤表层基础性状为:有机质含

量 2.91 g/kg,碱解氮含量 11.28 mg/kg,有效磷含量 20.61 mg/kg,速效钾含量 143.33 mg/kg,土壤碱化度 58.31%,土壤 pH 9.94,可溶性盐含量 3.39 g/kg。

1.2 试验设计

本试验采用的有机物料改良处理为:(1)玉米秸秆(CS),当季玉米秸秆自然风干后粉碎至 2~5 cm 大小;(2)玉米颗粒秸秆(GW),玉米秸秆粉碎压密造粒而成的 2~5 cm 的颗粒;(3)牧草(GS),自然风干后粉碎至 2~5 cm 大小;(4)羊粪(SM)自然风干后粉碎,过 2 mm 筛子;(5)对照(CK),不施用有机物料。共 5 个处理,每个处理 3 次重复,共 15 个试验小区,按照随机区组排布。每个小区面积为 30 m²(6 m×5 m)。本试验供试有机物料均来自试验地大安当地,其中颗粒秸秆以正常玉米秸秆为原料,采用压密机压制,供试有机物料的基本性质见表 1。

表 1 有机物料基本性质 单位:g/kg

有机物料	全氮含量	全磷含量	全钾含量	有机碳含量
玉米秸秆	8.33±0.07	1.12±0.02	12.34±0.12	283.57±2.48
颗粒秸秆	8.33±0.07	1.12±0.04	12.34±0.12	283.57±2.48
牧草	9.01±0.11	1.17±0.02	12.66±0.05	212.68±7.12
羊粪	9.82±0.12	3.60±0.06	8.32±0.04	425.35±5.18

注:表中数据为平均值±标准差。

有机物料的施入量按照等碳量计算,以当地玉米秸秆全量还田为标准(7 500 kg/hm²),施用量为玉米秸秆 22.5 kg,颗粒秸秆 22.5 kg,羊粪 15 kg,牧草 30 kg。化肥施用量按当地常规施用量(其中施 N 为 270 kg/hm²,施 P₂O₅为 120 kg/hm²,施 K₂O 为 180 kg/hm²)。试验始于 2016 年 6 月,各有机物料均匀施入,后灌水沤田 2 天,种植水稻,插秧前对各小区进行耙地搅拌,保证各物料与表层土充分混合均匀,使有机物料均匀分布于小区各处。以后每年不再施用有机物料,其他操作不变。

1.3 样品采集与测定

取样时间为 2018 年 6 月,采用 5 点取样法对各试验小区 0—20 cm 土层进行取样。将土壤样品密封保存,带回实验室自然风干。采用常规方法^[15]对土壤基本理化性质和物料基本性质进行测定。采用吸管法对土壤微团聚体分级进行测定^[16]:称取 20 g 过 2 mm 筛的风干土壤样品于 250 mL 振荡瓶中,加 250 mL 蒸馏水后静置过夜,第 2 天进行振荡。振荡 2 h 后将土壤溶液通过 0.25 mm 孔径筛,并用蒸馏水洗入 1 000 mL 沉降筒内。残留在 0.25 mm 孔筛上的团聚体洗入已知重量的铝盒,于 60 ℃烘箱内烘干后称重。根据司笃克斯公式,按照不同粒径微团聚体的沉降时间,依次提取 0.25~0.05,0.05~0.02,0.02~0.002,<0.002 mm 的土壤微团聚体样品,烘干后称重,并计算各粒径微团聚体粒径的

含量百分数。各粒径土壤微团聚体间有机碳含量采用重铬酸钾外加热法^[17]进行测定。

1.4 数据处理

利用 Excel 2016 和 Origin 2017 软件进行数据整理、计算和绘图,采用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析以及因子主成分分析,采用 Canoco 4.5 软件对数据进行冗余分析。采用龚伟等^[18]的分级方法对土壤微团聚体进行分级,计算特征微团聚体组成比例。土壤微团聚体平均重量直径(MWD, mm)计算公式采用 Barreto 等^[19]的方法。分形维数(*D*)采用杨培岭等^[20]公式进行计算。

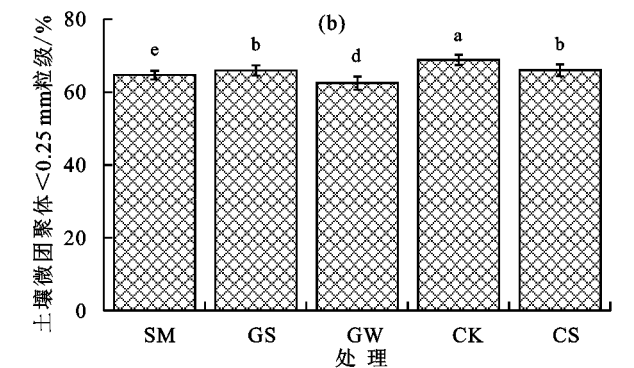
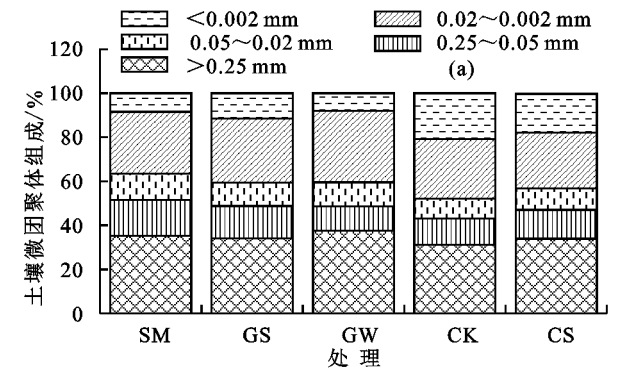
2 结果与分析

2.1 有机物料施用下原生盐碱土微团聚体组成

由图 1a 可知,有机物料施用后土壤粒径 2~0.25 mm 大团聚体与 0.05~0.02 mm 的微团聚体含量较 CK 有所增加,增幅分别为 9.02%~20.37%和 7.03%~

31.97%;而<0.002 mm 的微团聚体则相反,有机物料的施用使<0.002 mm 的微团聚体含量降低,其降幅为 15.01%~61.57%;对于 0.25~0.05 mm 的微团聚体来说,GW 的施用使其含量减少,而施用其他有机物料则使其含量增加 9.56%~36.28%;对于 0.02~0.002 mm 的微团聚体来说,CS 的施用使其含量减少 5.53%,而其他各有机物的施用均增加了其含量,增幅为 3.43%~19.49%。

为了进一步了解有机物料对土壤微团聚体各粒径分布的影响,对<0.25 mm 的土壤微团聚体的分布情况进行探讨。由图 1b 可知,各有机物料处理和 CK 差异显著,均减少<0.25 mm 的土壤微团聚体的含量,其中 GW 处理减少幅度最大,为 9.23%,其次为 SM 处理和 GS 处理,分别减少 6.01%和 4.18%,CS 减少 4.08%。<0.25 mm 粒径土壤微团聚体越少,说明>0.25 mm 粒径的土壤微团聚体越多。



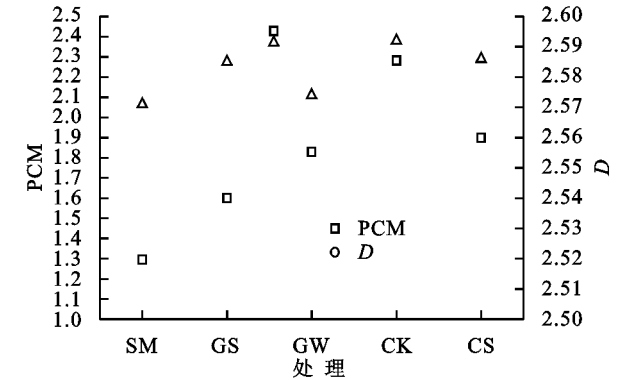
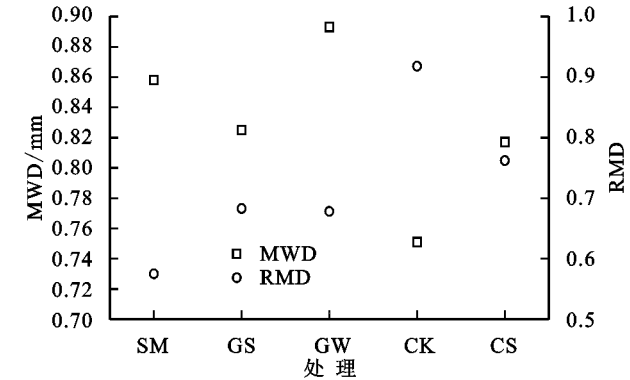
注:不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

图 1 土壤微团聚体粒径分布情况

2.2 有机物料施用下原生盐碱土微团聚体稳定性

由图 2 可知,有机物料使盐碱土 MWD 显著提高,其中增加最多的是 GW 处理,其次是 SM、GS 处理,最后是 CS 处理,分别增加 18.91%,14.25%,9.85%和 8.79%。与此相反,有机物料的施用使盐碱土 RMD、PCM 和 *D* 均有所下降,有机物料的施用降低了盐碱土 RMD,与 CK 相比,降低 16.99%~37.36%,其中

SM 处理降幅最高,其排序为 SM<GW<GS<CS<CK。从土壤 PCM 来看,有机物料各处理与 CK 相比分别降低 42.25%(SM 处理),29.84%(GS 处理),19.85%(GW 处理)和 16.78%(CS 处理)。此外有机物料还田减少土壤微团聚体 *D*,且各处理差异显著,表现为 SM 处理降低 0.81%,GW 处理降低 0.69%,GS 与 CS 处理分别降低 0.39%和 0.23%。



注:MWD为平均重量直径;RMD为土壤微团聚体(<0.02,2~0.02 mm)含量比值;PCM为特征微团聚体比值;*D*为微团聚体分形维数。下同。

图 2 土壤微团聚体 PCM、MWD、RMD 以及 *D* 的变化

2.3 有机物料施用下原生盐碱土微团聚体有机碳含量

有机物料的施用不仅对土壤微团聚体粒径分布有所影响,同时对土壤微团聚体各粒径间有机碳含量也有所影响。从表 2 可以看出,有机物料的施用使各粒径土壤微团聚体间有机碳含量均有所增加,且与 CK 差异显著,不同有机物料均能增加各粒径土壤微团聚体间有机碳含量,但不同有机物料处理对于不同粒径微团聚体间有机碳作用存在着差异性。其中粒径为 2~0.25 mm 的团聚体间土壤有机碳含量各处理中仅 SM 处理与 GS 处理差异不显著,与 CK 相比,GW 处理增加最多,增加了 83.76%,其次为 SM 处理,增加了 52.83%,最后为 GS 和 CS 处理,分别增加 46.13%和 14.51%。土壤微团聚体 0.25~0.05,

0.05~0.02 mm 有机碳含量呈现出相同的结果,各处理间差异显著,且与 CK 相比显著增加了土壤有机碳含量,增幅分别为 21.92%~104.81%和 23.98%~78.85%,其大小排序均为 GW>SM>GS>CS>CK。粒径为 0.02~0.002 mm 微团聚体间土壤有机碳含量各处理间仅 SM 处理与 GS 处理差异不显著,其余各处理间差异显著,其中各处理较 CK 均显著增加有机碳含量,增幅为 49.07%~51.29%,其大小排序为 GW>SM>GS>CS>CK。分析粒径 0.02~0.002 mm 的土壤微团聚体间有机碳含量可知,有机物料各处理与 CK 相比,土壤有机碳含量分别增加 52.66%(SM 处理),68.92%(GS 处理),84.7%(GW 处理)和 42.35%(CS 处理)。

表 2 微团聚体各粒径间土壤有机碳含量					单位:g/kg
处理	2~0.25 mm	0.25~0.05 mm	0.05~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm
SM	8.123±0.047b	3.578±0.013b	2.455±0.036b	4.495±0.005b	0.948±0.002c
GS	7.767±0.131b	3.142±0.044c	2.181±0.036c	4.472±0.034b	1.049±0.024b
GW	9.767±0.104a	5.278±0.031a	2.901±0.121a	4.725±0.029a	1.147±0.004a
CK	5.315±0.107d	2.577±0.055e	1.622±0.012e	2.971±0.007d	0.621±0.006e
CS	6.086±0.056c	3.038±0.038d	2.011±0.009d	4.429±0.065c	0.884±0.009d

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.4 有机物料施用下原生盐碱土壤微团聚体稳定性影响因素

由表 3 可知,土壤微团聚体分形维数与各粒径微团聚体含量的回归模型拟合度 R^2 为 0.110~0.877,其中 0.05~0.02 mm 粒径的拟合度最好,0.25~0.05 mm 粒径的拟合度最差。土壤微团聚体分形维数与<0.002 mm 粒径微团聚体含量的回归方程为 $y=0.141x+2.563$,模型拟合度 R^2 为 0.831,呈显著正相关关系($P<0.05$),表征<0.002 mm 粒径微团聚体含量越高,分形维数 D 越大,土壤结构稳定性越差。与此相反,其余回归方程斜率均小于 0 并呈负相关关系,表征其他粒径微团聚体含量越高,分形维数 D 越小,土壤结构稳定性越好,其中 2~0.25 mm 粒径微团聚体含量的回归方程为 $y=-0.329x+2.695$,模型拟合度 R^2 为 0.744,呈显著负相关关系($P<0.05$);0.25~0.05 mm 粒径微团聚体含量的回归方程为 $y=-0.142x+2.601$,模型拟合度 R^2 为 0.11,呈负相关关系,但相关性不显著($P<0.05$);0.05~0.02 mm 粒径微团聚体含量的回归方程为 $y=-0.728x+2.658$,模型拟合度 R^2 为 0.877,呈显著负相关关系($P<0.05$);0.02~0.002 mm 粒径微团聚体含量的回归方程为 $y=0.141x+2.563$,模型拟合度 R^2 为 0.831,呈负相关关系,但相关性不显著($P<0.05$)。

对各粒径团聚体间有机碳含量与微团聚体稳定性指标进行相关性分析,由表 4 可知,各粒径间有机碳含量均与 MWD 呈正相关关系,其中 2~0.25,

0.05~0.02,0.02~0.002,<0.002 mm 有机碳含量与 MWD 呈极显著正相关关系($P<0.01$),0.25~0.05 mm 有机碳含量与 MWD 呈显著正相关关系($P<0.05$)。各粒径间有机碳含量均与 RMD、PCM 以及 D 呈负相关关系,其中 2~0.25,0.05~0.02,0.02~0.002,<0.002 mm 有机碳含量与 RMD、PCM 以及 D 呈极显著负相关关系($P<0.01$),0.25~0.05 mm 有机碳含量与 RMD、PCM 以及 D 呈显著负相关关系($P<0.05$)。

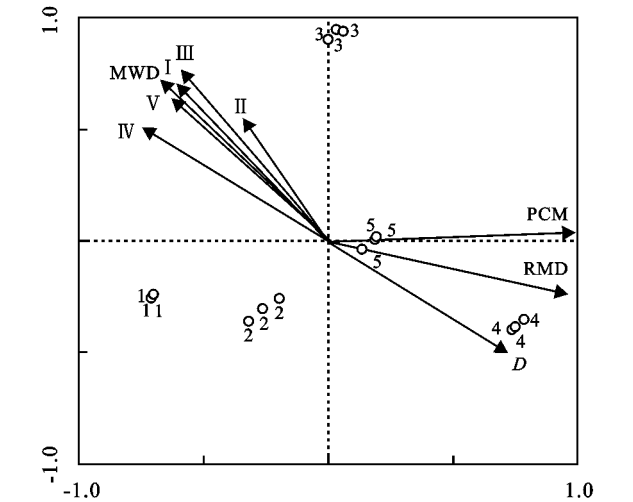
表 3 土壤微团聚体分形维数与粒径的回归模型			
粒径/mm	回归模型	R^2	显著性
2~0.25	$y=-0.329x+2.695$	0.744	-0.863*
0.25~0.05	$y=-0.142x+2.601$	0.110	-0.339
0.05~0.02	$y=-0.728x+2.658$	0.877	-0.937*
0.02~0.002	$y=-0.192x+2.636$	0.310	-0.557
<0.002	$y=0.141x+2.563$	0.831	0.911*

注:*表示差异达显著水平($P<0.05$);**表示差异达显著水平($P<0.01$)。下同。

对各粒径团聚体间有机碳含量与微团聚体稳定性指标进行冗余分析,第 1 轴和第 2 轴分别解释了总体变异的 98.00%和 1.76%。由图 3 可知,分布在不同的范围内没有明显聚类,说明各处理间差异显著,由表 5 可知,2~0.25,0.02~0.002,<0.002 mm 间土壤有机碳含量($F=3.38,P=0.106$; $F=17.2,P=0.002$; $F=0.78,P=0.406$)是影响土壤微团聚体稳定性的主要因素。

表 4 土壤微团聚体稳定性与各粒径间有机碳含量的相关性

项目	2~0.25 mm	0.25~0.05 mm	0.05~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm
MWD	0.907**	0.623*	0.953**	0.864**	0.893**
RMD	-0.643**	-0.643*	-0.701**	-0.746**	-0.740**
PCM	-0.695**	-0.519*	-0.694**	-0.802**	-0.753**
D	-0.789**	-0.638*	-0.844**	-0.661**	-0.669**



注:图中 1,2,3,4,5 分别表示 SM 处理、GS 处理、GW 处理、CK 处理、CS 处理; I、II、III、IV、V 分别表示 2~0.25, 0.25~0.05, 0.05~0.02, 0.02~0.002, <0.002 mm 有机碳含量。

图 3 各粒径团聚体间有机碳含量与微团聚体稳定性指标的 RDA 排序图

通过回归模型分析发现,<0.002 mm 粒径微团聚体含量与分形维数在 $P<0.05$ 水平上呈显著正相关关系,2~0.25,0.05~0.02 mm 粒径团聚体含量与分形维数在 $P<0.05$ 水平上呈显著负相关关系,表征伴随着粒径微团聚体含量的变化,土壤微团聚体分形维数随之变化,土壤结构稳定性也将受到影响。通过相关性分析发现,各粒径间有机碳含量均与 MWD 呈正相关关系,说明各粒径间有机碳含量越高,MWD 越大,土壤团聚度越好,各粒径间有机碳含量均与 RMD、PCM 以及 D 呈负相关关系,说明各粒径间有机碳含量越高,RMD、PCM 以及 D 越小,土壤结构越稳定。RDA 分析表明,2~0.25,0.02~0.002,<0.002 mm 有机碳含量 ($F=3.38, P=0.106; F=17.2, P=0.002; F=0.78, P=0.406$) 是影响土壤微团聚体稳定性的主要因素(表 5)。

表 5 土壤微团聚体稳定性与各粒径间有机碳含量的相互关系

粒径/mm	解释率/%	P	F
2~0.25	23.27	0.106	3.38
0.25~0.05	14.96	0.004	2.14
0.05~0.02	17.87	0.002	5.54
0.02~0.002	22.70	0.002	17.20
<0.002	21.21	0.406	0.78

为了综合评价不同有机物料对原生盐碱土土壤微团聚体稳定性的影响,以 2~0.25,0.02~0.002,

<0.002 mm 间有机碳含量和 2~0.25,0.05~0.02,<0.002 mm 粒径微团聚体含量为因子进行主成分分析,计算有机物料处理以及 CK 各指标因子的综合得分。从表 6 可知,2 个主成分特征根贡献率分别为 87.83% 和 6.85%,以各主成分特征的贡献率为权重,加权求和计算各有机物料处理及 CK 的土壤有机培肥改良效果的综合得分值,可知各处理的综合得分大小排序为:GW(2.115)>SM(1.271)>GS(0.525)>CS(-0.894)>CK(-3.017)。表明各有机物料的还田均能有效增加土壤微团聚体稳定性,其中颗粒秸秆还田效果优于其他物料。

表 6 不同有机物料对原生盐碱土微团聚体稳定性评价得分

处理	公因子得分		综合分值	排序
	主成分 1(87.83%)	主成分 2(6.85%)		
SM	1.37743	0.89566	1.271	2
GS	0.60729	-0.12471	0.525	3
GW	2.43292	-0.31496	2.115	1
CK	-3.46124	0.33048	-3.017	5
CS	-0.95640	-0.78647	-0.894	4

3 讨论

土壤微团聚体由土壤原生颗粒胶结团聚组成,可以反映土壤结构团聚程度和土壤肥力性状,被视为土壤团粒结构形成的物质基础^[21]。本研究各有机物料使 2~0.25 mm 土壤微团聚体的含量显著提高,对于<0.25 mm 的小粒径土壤微团聚体则有所减少,表征有机物料有利于土壤微团聚体小粒径向优良的大粒径团聚、黏结。其主要原因是由于有机物料施用后分解成有机胶结物质,这些有机胶结物质的黏性、胶结性对于大粒径微团聚体的形成有促进作用,同时也减少了土壤小团聚体的含量^[22]。龚伟等^[23]研究表明,施用有机物料可以提高土壤中有机质的含量,同时使土壤有机胶结物质有所增加,进一步使得土壤中大粒径微团聚体含量增加,小粒径微团聚体含量降低。MWD 数值越大,通常表征土壤团聚度越好,结构愈加稳定。本研究发现,与 CK 相比,有机物料的施用使得土壤 MWD 显著提高。苏思慧等^[24]通过玉米秸秆条带还田试验发现,玉米秸秆条带还田较没有还田的处理增加了土壤 MWD;高洪军等^[25]发现,无论是以覆盖还田还是轮耕还田的方式归还秸秆都显著增加了土壤 MWD,这也表征有机物料的施用有利

于增加土壤 MWD。PCM 与 RMD 称为土壤特征团聚体比值,被认为是土壤微团聚体的适当比例,可以表征土壤结构的好坏及土壤协调水肥气热能力的高低^[26]。本研究发现,有机物料的施用显著降低土壤 PCM 与 RMD,一般认为 PCM 与 RMD 越低,土壤的结构越好,这与徐国鑫等^[27]的研究结果一致。土壤微团聚体的分形维数 D 能较好地反映土壤微团聚体的分布情况和稳定性,其值越小,表明土壤团聚体分布和稳定性越好;陈晓旋等^[28]发现,生物炭的施用可以使稻田土壤微团聚体的分形维数 D 显著降低,这是因为生物炭的施用向土壤中归还了有机碳。本研究还发现,施用有机物料处理与 CK 相比,分形维数 D 显著下降,这与人^[29]的研究结果相一致。不同有机物料的施用,均能向土壤归还大量的有机胶结物质,使得小粒径土壤微团聚体向大粒径土壤微团聚体富集和胶结,但由于不同来源的物料其性质结构的差异性,使其分解速度各不相同,因此,各有机物料处理间差异显著,本试验中 SM 处理以及 GS 处理与 CS 处理相比,更有利于小粒径土壤微团聚体向大粒径土壤微团聚体富集,增加微团聚体的稳定性,其主要原因是物料分解过程中需要微生物的参与,而微生物生长需要足够的 C 源、N 源及其他的营养物质,玉米秸秆本身含有丰富的 C 源,而 N 源相对不足,致使微生物的丰度与活度受到制约,从而影响秸秆的腐解和有机物质的释放。对比不同形态的 2 种处理, GW 处理使得 >0.25 mm 土壤微团聚体含量增加最多,而 CS 处理增加最少,表征同种有机物料改变形态后其作用存在差异性^[30-32]。

有机物料的施用主要是向土壤中增加有机质等碳源物质,仇建飞等^[33]研究表明,玉米秸秆的施用使得各粒径土壤微团聚体间有机碳含量均显著增加,且随施用秸秆量的增加,微团聚体中碳含量增多;郝翔翔等^[34]通过研究连续秸秆还田发现,秸秆还田不仅提高黑土团聚体的稳定性及其有机碳含量,还能明显改善土壤肥力性状,本研究也得出类似的结论,本次试验各有机物料处理较 CK 相比均能显著增加土壤各粒径微团聚体间有机碳含量。不同有机物料的施用同时也能增加各粒径微团聚体间有机碳含量,但是各有机物料间也存在差异性,其中颗粒秸秆效果最优。主要原因是不同有机物料的性质不同使得其腐解过程有所不同;有研究^[35]表明,有机物料的化学组分中,含有木质素和芳香碳的有机物料更难分解,需要数十年才可被分解;Hu 等^[36]研究发现,牧草和秸秆的木质素含量高于羊粪,所以与秸秆和牧草类有机物料相比,羊粪更易被分解释放有机碳。本试验 SM 处理的有机碳含量高于 GS 处理和 CS 处理,与此一致。有研究^[37]认为,秸秆含有较多的多糖、有机酸、

氨基酸等易分解有机化合物,这些易分解有机含碳化合物,可被微生物优先利用分解。同时在养分以及碳源物质充足的情况下,极大地增加了微生物的丰度与活性,进而促进秸秆的腐解,增加有机碳的释放。然而在本试验中 GS 处理的有机碳含量高于 CS 处理,这主要是由于供试牧草与秸秆相比,其 C/N 更接近于适宜微生物活动的范围,而对比 CS 处理与 GW 处理,经过粉碎压密的颗粒秸秆在施用后吸水膨胀可以增加比表面积,有利于微生物附着、活动,从而加快其腐解过程,使其对土壤的作用有所不同。

4 结论

(1)不同有机物料均能促进土壤 >0.25 mm 粒径的团聚体含量的增加,减少土壤小粒径微团聚体含量,各有机物料处理与 CK 相比差异显著。

(2)不同有机物料均能增加土壤 MWD,同时降低土壤微团聚体的 PCM、RMD 以及分形维数 D ,表征有机物料的施用可使土壤微团聚体结构更加稳定。

(3)不同有机物料的施用均能增加各粒径土壤微团聚体间有机碳含量。

(4) $2 \sim 0.25$, $0.02 \sim 0.002$, <0.002 mm 间土壤有机碳含量是影响土壤微团聚体稳定性的主要因素,其中颗粒状秸秆还田更有利于增加土壤微团聚体稳定性。

参考文献:

- [1] 水燕,徐增洪,刘国锋.不同土壤深度对宁夏石嘴山盐碱地细菌菌群多样性的影响[J].生态学报,2019,39(10):109,3597-3606.
- [2] 张梦璇,董智,李红丽,等.不同白榆品系对滨海盐碱地的改良效果及盐分离子的分布与吸收[J].水土保持学报,2018,32(6):340-345.
- [3] 林清美,廖超林,戴齐,等.长期施肥与地下水位对红壤性水稻土微团聚体及其分形特征的影响[J].土壤通报,2018,49(6):1397-1404.
- [4] 褚冰杰,余光辉,刘飞飞,等.土壤微团聚体中矿物—有机复合体特征[J].土壤学报,2017,54(6):1451-1458.
- [5] 代文才,高明,王子芳,等.紫色丘陵区不同土地利用方式土壤剖面微团聚体组成及分形特征[J].水土保持学报,2016,30(6):259-264.
- [6] 钟羨芳,陈哲,刘炜杰,等.福州江滨公园不同植被对土壤微团聚体组成及分形的影响[J].福建师范大学学报(自然科学版),2016,32(6):96-102.
- [7] Huang S, Peng X X, Huang Q R, et al. Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a red soil of subtropical China[J]. Geoderma, 2009, 154(3):364-369.
- [8] 宋洁,李志洪,赵小军,等.秸秆还田对土壤微团聚体特征的影响[J].水土保持学报,2018,32(5):116-120.

- [9] 周连仁,国立财,于亚利.秸秆还田对盐渍化草甸土有机质及微团聚体组分的影响[J].东北农业大学学报,2012,43(8):123-127.
- [10] 何瑞成,吴景贵,李建明.不同有机物料对原生盐碱地水稳性团聚体特征的影响[J].水土保持学报,2017,31(3):310-316.
- [11] Six J, Elliott E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils[J].Soil Science Society of America Journal,1998,62(5):1367.
- [12] 蔺芳,邢晶鑫,任思敏,等.鸡粪与化肥配施对饲用小黑麦/玉米轮作土壤团聚体分形特征与碳库管理指数的影响[J].水土保持学报,2018,32(5):183-189,196.
- [13] 张钦,于恩江,林海波,等.连续种植不同绿肥作物的土壤团聚体空间分布及稳定性特征[J].热带作物学报,2018,39(9):1708-1717.
- [14] 马宏秀,张开祥,孟春梅,等.棉粕对盐渍化土壤团聚体中交换性盐基离子的影响[J].西南农业学报,2018,31(7):1411-1417.
- [15] 吴景贵.农业资源与资源环境专业实验技术指导[M].吉林:吉林大学出版社,2016:221-238.
- [16] 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.
- [17] 窦森,于水强,张晋京.不同 CO₂ 浓度对玉米秸秆分解期间土壤腐殖质形成的影响[J].土壤学报,2007,44(3):458-466.
- [18] 龚伟,胡庭兴,王景燕,等.川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤微团聚体分形特征研究[J].土壤学报,2007,44(3):571-575.
- [19] Barreto R C, Madari B E, Maddock J E L, et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil[J].Agriculture, Ecosystems and Environment,2009,132(3):243-251.
- [20] 杨培岭,罗远培,石元春.用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J].科学通报,1993(20):1896-1899.
- [21] Peth S, Horn R, Beckmann F, et al. Three dimensional quantification of intra aggregate pore space features using synchrotron radiation based microtomography[J].Soil Science Society of America Journal,2008,72(4):897-907.
- [22] Sodhi G P S, Beri V, Benbi D K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long term application of compost in rice-wheat system[J].Soil and Tillage Research,2008,103(2):412-418.
- [23] 龚伟,颜晓元,蔡祖聪,等.长期施肥对小麦—玉米轮作土壤微团聚体组成和分形特征的影响[J].土壤学报,2011,48(6):1141-1148.
- [24] 苏思慧,王美佳,张文可,等.耕作方式与玉米秸秆条带还田对土壤水稳性团聚体和有机碳分布的影响[J].土壤通报,2018,49(4):841-847.
- [25] 高洪军,彭畅,张秀芝,等.不同秸秆还田模式对黑钙土团聚体特征的影响[J].水土保持学报,2019,33(1):75-79.
- [26] Wang S Q, Li T X, Zheng Z C. Effect of tea plantation age on the distribution of soil organic carbon and nutrient within micro-aggregates in the hilly region of western Sichuan, China[J].Ecological Engineering,2016,90:113-119.
- [27] 徐国鑫,王子芳,高明,等.秸秆与生物炭还田对土壤团聚体及固碳特征的影响[J].环境科学,2018,39(1):355-362.
- [28] 陈晓旋,黄晓婷,陈优阳,等.炉渣与生物炭配施对福州平原稻田土壤团聚体及碳、氮分布的影响[J].环境科学学报,2018,38(5):1989-1998.
- [29] Jastrow J D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral associated organic matter[J].Soil Biology and Biochemistry,1996,28(4/5):665-676.
- [30] 张晶,苏德纯.秸秆炭化后还田对不同镉污染农田土壤中镉生物有效性和赋存形态的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(10):1927-1932.
- [31] 陆文龙,赵标.盆栽条件下秸秆不同处理方式对土壤氮形态分布的影响[J].江苏农业科学,2018,46(1):193-196.
- [32] 陆文龙,赵标,五毛毛.施用不同方式处理的秸秆对土壤磷形态分布的影响[J].江苏农业科学,2018,46(2):232-234.
- [33] 仇建飞,窦森,邵晨,等.添加玉米秸秆培养对土壤团聚体胡敏酸数量和结构特征的影响[J].土壤学报,2011,48(4):781-787.
- [34] 郝翔翔,杨春葆,苑亚茹,等.连续秸秆还田对黑土团聚体中有机碳含量及土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2013,29(35):263-269.
- [35] Carvalho A M, Bustamante M M C, Alcântara F A, et al. Characterization by solid-state CPMAS¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil[J].Soil and Tillage Research,2008,102(1):144-150.
- [36] Hu J, Wu J G, Sharaf A, et al. Effects of organic wastes on structural characterizations of fulvic acid in semiarid soil under plastic mulched drip irrigation[J].Chemosphere,2019,234:830-836.
- [37] 王允青,郭熙盛.不同还田方式作物秸秆腐解特征研究[J].中国生态农业学报,2008,16(3):607-610.