

刘 晖,吴红艳,冯 建,等. 秸秆还田量对半干旱区褐土团聚体稳定性及有机碳组分的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(1):219-225.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.031

# 秸秆还田量对半干旱区褐土团聚体稳定性 及有机碳组分的影响

刘 晖,吴红艳,冯 建,王智学,胡琴琴,于 森  
(辽宁省微生物科学研究院,辽宁朝阳 122000)

**摘要:**为探究秸秆还田量对辽西褐土团聚体稳定性及各组分有机碳含量的影响,以辽宁西部半干旱地区褐土为试验对象,研究不同秸秆还田量对于不同剖面土壤团聚体稳定性及其有机碳组分含量的影响。于 2020 年 3 月中旬进行秸秆还田,共设置 4 个秸秆施用量(0,5 000,10 000,20 000 kg/hm<sup>2</sup>),于 2022 年秋收后采集土壤样品,对褐土土壤团聚体及其有机碳组分进行分析。试验结果表明:各处理水稳性团聚体占比主要集中于 <0.250 mm 粒径。与 CK 相比较,秸秆还田显著提高了水稳性大团聚体含量(>0.25 mm)与水稳性团聚体 MWD(平均重量直径),且随着还田量的增加而提高。秸秆还田使不同粒级团聚体有机碳含量呈现出增加的趋势;10 cm 剖面,与 CK 相比较,3 个秸秆处理显著提高了 >0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量。30 cm 剖面,仅 >0.250~2.000 mm 粒级团聚体有机碳含量提升显著。与 CK 相比较,秸秆处理显著提高了 10 cm 剖面与 30 cm 剖面土壤颗粒有机碳(POC)含量,其中以 S2 处理增幅最高。可见,秸秆还田能有效提升土壤团聚体稳定性,有利于增加土壤团聚体有机碳含量,对于土壤颗粒有机碳含量提升具有促进作用。

**关键词:**土壤有机碳;团聚体;秸秆还田;颗粒有机碳;稳定性;有机碳组分

**中图分类号:**S158.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)01-0219-06

东北地区作为我国重要的粮食产区,在保障我国粮食生产方面有着重要作用。2021 年,东北地区粮食产量达 14 445.7 万 t,约占全国粮食产量的 21.15%<sup>[1]</sup>。近年来,随着化肥工艺技术的提升,化肥有效利用率也不断增强,导致农民对化肥的依赖性日益加深,而对于耕地“重用轻保”,使得土壤质量迅速下降,进而导致土壤质量恶化。而秸秆作为农业生产过程中的副产品,产量极高,且具有重要的生物价值效益,对于改善土壤物理化学性状,调节土壤养分含量以及耕层有机质累积等方面都具有重要意义。

土壤团聚体是土壤结构中的最小基础单元,其粒径分布与结构稳定性是评价土壤质量的重要指标之一,可以通过分析其变化,获得土壤理化性质、结构功能以及养分状况的综合动态数据<sup>[2]</sup>。土壤团聚体是土壤有机碳的主要贮存容器,通过物理包

裹有机碳的形式,使得内部的有机碳免受外界微生物分解利用,对土壤结构的稳定性产生积极影响<sup>[3]</sup>。土壤团聚体稳定性是土壤结构的重要表征,一般受土地利用、外源养分输入等方面影响<sup>[4-5]</sup>。当外源有机物料进入到土壤当中,不仅提升了土壤有机质含量,同时对土壤团聚体形成也有促进作用,提升了土壤团聚体的稳定性<sup>[6]</sup>。因此,土壤团聚体稳定性对于土壤的生产能力、养分供给能力有着重要的影响<sup>[7]</sup>。

相较于土壤团聚体,土壤有机碳组对外源有机物料在土壤中的分解与转化更为敏感,对于土壤碳循环与周转更为重要,土壤有机碳组分中颗粒态矿物对于有机碳的吸附与固定是土壤固定有机碳的重要方式<sup>[8]</sup>。通常将粒径大于 0.053 mm 的有机碳称为颗粒态有机碳(POC),易受田间管理与作物生长的影响,易被微生物分解矿化,作为土壤速效养分,供作物吸收利用<sup>[9-10]</sup>;将与土壤粉黏粒联系更为紧密,粒径小于 0.053 mm 的有机碳,称为矿物结合态有机碳(MOC),此类有机碳生物利用效率低,稳定性高,一般称为惰性有机碳<sup>[11-12]</sup>。这 2 种土壤有机碳含量在土壤中的变化对于土壤团聚体的形成、碳封存以及碳稳定等都具有重要的影响<sup>[13]</sup>。

收稿日期:2023-04-14

基金项目:辽宁省农业科学院院长基金(编号:2022QN2309)。

作者简介:刘 晖(1992—),男,内蒙古乌兰察布人,硕士,助理研究员,主要从事土壤改良保育研究。E-mail:576404250@qq.com。

通信作者:于 森,硕士,副研究员,主要从事土壤微生态调节研究。

E-mail:Email:52638019@qq.com。

辽宁西部地区冬季气候寒冷时期长,夏季干旱少雨,土壤肥力中下,属于中低产田。随着辽宁省大力开展秸秆还田措施,秸秆还田对于该地区提升土壤肥力、作物产量等方面的作用已有报道<sup>[14-15]</sup>,而对该地区秸秆还田后,土壤团聚体的分布及稳定性鲜有报道。基于此,本研究利用 3 年的田间定位试验,设置不同秸秆还田量,研究在该模式下,对褐土团聚体组成及各组分有机碳含量的影响,以期为辽西地区农田耕作提升土壤地力,调节土壤结构提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

本试验于 2020—2022 年在辽宁省朝阳市喀左县六官镇东前沟村试验田进行,地理位置为 119°68'E, 41°16'N。该地区属于寒温带大陆性季风气候,温热干旱,全年平均日照时数为 2 807.8 h,年平均温度 8.7 °C,无霜期 144 d,年均降水量为 491.5 mm 左右。供试土壤类型为褐土,土壤基本理化性质如下:有机质含量 16.29 g/kg,全氮含量 0.803 g/kg,总磷含量 0.491 g/kg,全钾含量 12.31 g/kg,有效磷含量 16.69 mg/kg,pH 值 6.65。

### 1.2 试验设计

于 2020 年 3 月中旬开始试验,本试验共设计 4 个处理小区(表 1),每个小区面积为 48 m<sup>2</sup> (6.0 m × 8.0 m),小区间隔 1.5 m。将试验用玉米秸秆于阴暗处自然风干,剪成 ≤ 30 mm 的小段备用。通过机械旋耕还田,还田深度为 0 ~ 20 cm。于 2020 年 4 月下旬采用单行播种方式,于秸秆填埋区域上方起垄进行作物种植。种植作物为玉米(吉第 67),耕种前施用基肥,为常规玉米专用缓释型复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=28:14:12),每个处理区肥料用量为 60 g/m<sup>2</sup>,生长季未再追肥。所有试验区的浇水除草措施,均按照当地田间管理进行。

表 1 试验设计方案

处理编号	处理方式
CK	常规施肥
S1	5 000 kg/m <sup>2</sup> 秸秆还田 + 常规施肥
S2	10 000 kg/m <sup>2</sup> 秸秆还田 + 常规施肥
S3	20 000 kg/m <sup>2</sup> 秸秆还田 + 常规施肥

### 1.3 样品采集与测定

1.3.1 样品采集 于 2022 年 10 月 11 日采集土壤样品,在处理区内采用“S”形采样法,选取 5 点,分

别于 10、30 cm 剖面,采用内径为 5 cm 的土钻取原状土,带回实验室在室温下自然风干,在风干过程中,沿土块自然结构缝隙将土块掰成直径 3 cm 的小土块,同时去除原状土中肉眼可见的根系、石子等杂物,混合备用。

1.3.2 测定方法 (1)团聚体筛选:团聚体采用 Six 等的方法对不同粒径的土壤团聚体进行筛分<sup>[16]</sup>,从而获得 >2.000 mm(大团聚体)、>0.250 ~ 2.000 mm(小团聚体)、>0.053 ~ 0.250 mm(微团聚体)、≤0.053 mm(粉-黏团聚体)各粒级团聚体。(2)有机碳、颗粒有机碳、矿物结合态有机碳含量的测定:采用 Cambardella 等的方法分离土壤有机碳组分,分别获得土壤颗粒有机碳和矿物结合态有机碳<sup>[17]</sup>。土壤团聚体各粒级有机碳、土壤颗粒有机碳、土壤矿物质结合态有机碳含量均采用元素分析仪(Vario EL III,德国)进行分析测定(土壤中不含碳酸盐)。

1.3.3 计算方法 平均重量直径计算公式如下:

$$MWD = \sum_i \bar{d} \times M_{\text{aggregate } i}$$

式中:MWD 指团聚体平均重量直径,mm; $\bar{d}$ 指第  $i$  级的团聚体各粒级的平均重量直径,mm; $M_{\text{aggregate } i}$ 指不同粒级的团聚体在土壤中所占的质量百分比,%<sup>[18]</sup>。

### 1.4 数据分析

数据处理与分析采用 Microsoft Excel 2019,采用 SPSS 26.0 进行单因素方差分析,采用邓肯氏极差法(Duncan's)进行多重比较( $\alpha = 0.05$ )。采用 Origin 21 进行绘图。数据均采用 3 次重复的平均值。

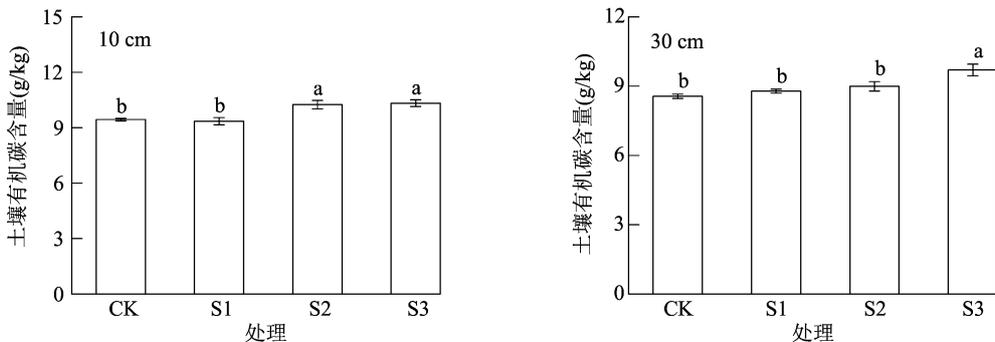
## 2 结果与分析

### 2.1 不同秸秆还田量对不同剖面土壤有机碳含量的影响

不同秸秆还田量对 10 cm 剖面 and 30 cm 剖面土壤有机碳含量的影响如图 1 所示。秸秆还田增加了 10 cm 剖面中土壤的有机碳含量,除 S1 理外,其余处理与 CK 相比差异显著;30 cm 剖面,除 S3 处理其余处理土壤有机碳含量虽有增加趋势但与 CK 相比差异不显著( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同秸秆还田量对不同深度下土壤团聚体比例的影响

通过分析各土层水稳性团聚体百分比含量情况(表 2)可知,各处理中 > 2.000 mm 粒级团聚体占比最低,且随着秸秆添加量增加而增加。



不同小写字母代表不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )

图1 不同秸秆还田量对不同剖面土壤有机碳含量的影响

在 10 cm 剖面, S1、S2、S3 处理中  $> 2.000$  mm 的团聚体含量较 CK 分别提升了 50.50%、80.73% 和 142.52%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 在 30 cm 剖面, 仅 S3 处理中  $> 2.000$  mm 的团聚体含量较 CK 呈显著差异 ( $P < 0.05$ ), 提升了 90.30%。在  $> 0.250 \sim 2.000$  mm 粒级, 10 cm 剖面, 仅 S2 处理较 CK 提升显著 (22.54%) ( $P < 0.05$ ), 其余各处理与 CK 相比均不显著; 30 cm 剖面, S3 处理较 CK 提升了 21.32% ( $P < 0.05$ )。  $\leq 0.250$  mm 粒级下, 各处理占比随秸秆添加量的增加而减小,  $> 0.053 \sim 0.250$  mm 粒级, 10 cm 剖面除 S1 处理外, 其他处理与 CK 比较差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ), 30 cm 剖

面, 各处理间差异不显著 ( $P < 0.05$ )。  $\leq 0.053$  mm 粒径下, 10 cm 与 30 cm 剖面, 除 S1 处理其余处理与 CK 呈显著差异 ( $P < 0.05$ )。

通过计算发现, 随着还田量的增加, 添加秸秆处理的团聚体的平均重量直径 (MWD) 显著增加, 这也意味着土壤中  $> 0.250$  mm 粒径的土壤团聚体含量呈上升趋势, 10 cm 剖面中团聚体的 MWD 与 CK 相比较, 分别提高了 18.1%、34.5% 和 47.3%, 各处理与 CK 均呈显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 在 30 cm 剖面, 各处理与 CK 相比较, 分别提升了 8.77%、26.31%、36.84%, 且仅 S3 处理与 CK 差异显著 ( $P < 0.05$ )。

表2 不同秸秆还田量土壤水稳性团聚体的组成比例

剖面深度 (cm)	处理	各粒级团聚体百分比含量 (%)				MWD (mm)
		$> 2.000$ mm	$> 0.250 \sim 2.000$ mm	$> 0.053 \sim 0.250$ mm	$\leq 0.053$ mm	
10	CK	3.01 ± 0.62c	30.39 ± 1.85b	33.51 ± 1.12a	33.08 ± 0.82a	0.55 ± 0.04c
	S1	4.53 ± 0.48b	32.35 ± 1.10b	32.08 ± 0.78ab	31.04 ± 0.77a	0.65 ± 0.03b
	S2	5.44 ± 0.20b	37.24 ± 0.37a	30.26 ± 0.63b	27.05 ± 1.16b	0.74 ± 0.01a
	S3	7.30 ± 0.33a	36.21 ± 0.92ab	31.41 ± 1.06b	25.08 ± 1.68b	0.81 ± 0.03a
30	CK	3.09 ± 0.71b	31.71 ± 0.87b	34.02 ± 1.38a	31.11 ± 0.47a	0.57 ± 0.05b
	S1	3.68 ± 1.16ab	33.51 ± 0.40b	32.94 ± 0.86a	30.45 ± 0.10a	0.62 ± 0.06ab
	S2	5.31 ± 0.12ab	35.85 ± 2.03ab	32.35 ± 1.31a	27.26 ± 1.29b	0.72 ± 0.02ab
	S3	5.88 ± 0.21a	38.47 ± 1.12a	31.90 ± 0.45a	26.33 ± 1.08b	0.78 ± 0.04a

注: 不同小写字母代表同一取样剖面同一粒级下不同处理间存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。

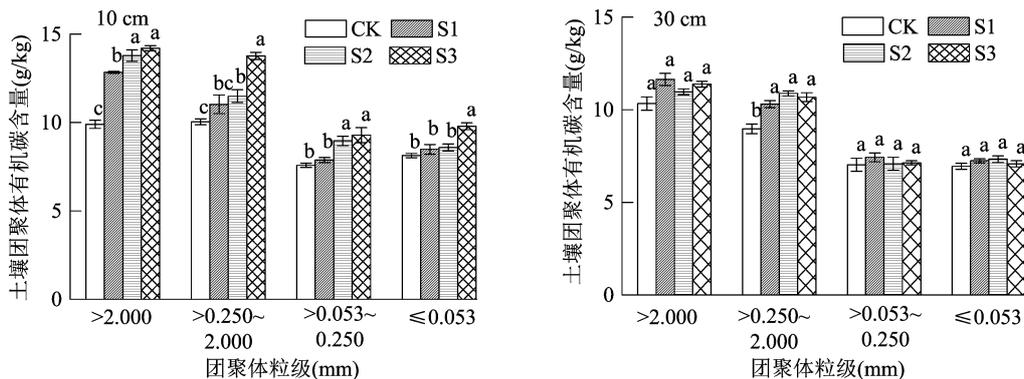
### 2.3 不同秸秆还田量对不同剖面土壤团聚体有机碳含量的影响

由图2可见, 不同深度下, 各处理土壤团聚体有机碳含量较 CK 均整体呈现出增加的趋势。添加秸秆处理在 10 cm 和 30 cm 剖面,  $> 2.000$  mm 粒径中团聚体有机碳含量均有所增加。在 10 cm 剖面, 各处理较 CK 中  $> 2.000$  mm 有机碳含量分别提升了 29.62%、30.23% 和 32.11%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ); 在  $> 0.250 \sim 2.000$  mm 粒径下, S2、S3 处理中土壤

有机碳含量较 CK 分别提升了 14.44% 和 37.16%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ), 而 S1 处理虽有小幅度提升, 但无显著差异 (9.86%)。30 cm 剖面, 各处理中  $> 2.000$  mm 团聚体有机碳含量提升约 6.10% ~ 12.66%; 在  $> 0.250 \sim 2.000$  mm 粒径下, 各添加秸秆处理较 CK 分别提升了 14.99%、21.36% 和 19.13% ( $P < 0.05$ ), 尤以 S2 处理有机碳含量变化最大。随着粒级细度的提升, 在 10 cm 剖面,  $> 0.053 \sim 0.250$  mm 粒级, 添加秸秆处理中团聚体

有机碳含量较 CK 分别提升 3.95% ~ 22.51%,  $\leq 0.053$  mm 粒径下,与 CK 相比较,S3 处理团聚体

有机碳含量提升 20.34%,差异显著(4.31%)。



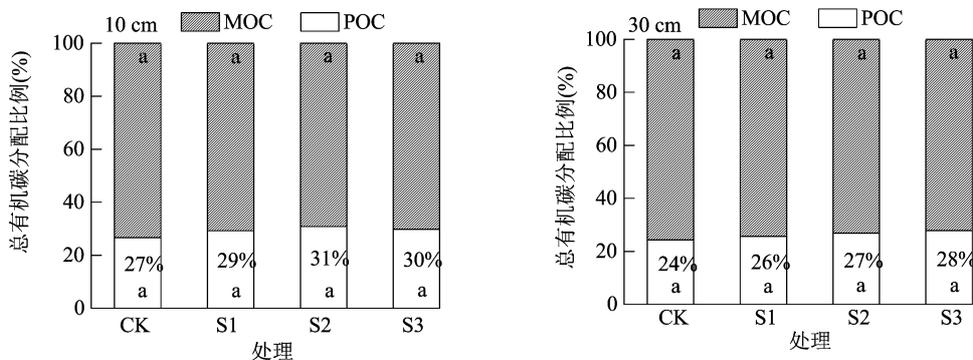
不同小写字母代表相同粒径下不同处理之间差异显著( $P < 0.05$ )

图2 不同秸秆还田量对不同剖面土壤团聚体有机碳含量的影响

## 2.4 不同秸秆还田量对于不同剖面土壤 POC 与 MOC 含量的影响

如图3所示,不同处理下、不同剖面中土壤矿物质结合态有机碳在土壤有机碳中的占比均大于土壤颗粒有机碳的占比。在 10 cm 剖面的土层中,添加秸秆处理中 MOC 与 POC 在土壤总有机碳中的占比分别为 69% ~ 71%、29% ~ 31%。在 30 cm 剖面,添加秸秆处理 POC 的占比分别为 26%、27%、28%。总体来说,各添加秸秆处理 POC 较 CK 占比

虽增加,但比例变化幅度不大。不同深度、不同处理中土壤 POC 与 MOC 含量变化如图4所示。在 10 cm 剖面,相较于 CK,秸秆还田均增加了各处理中土壤 POC 含量,分别提升了 8.76%、25.52%、22.44%,其中以 S2 处理增幅最大;而 30 cm 剖面,S1、S2 对 30 cm 剖面土层中土壤 POC 的提升较小,与 CK 相比较分别提升了 9.79%、7.73% 均远低于 S3 处理(39.17%)。不同处理土壤中 MOC 含量在不同剖面变化相差无几。



不同小写字母代表相同碳组分下不同处理之间差异显著( $P < 0.05$ )

图3 不同剖面、不同处理 POC 与 MOC 在土壤有机碳占比

## 3 讨论

### 3.1 秸秆还田对于褐土团聚体组成及稳定性的影响

土壤团聚体作为土壤重要的组成部分,承担着蓄存、转运养分的功能,是提升作物产量的重要因素之一,其特性对于土壤侵蚀板结、有机质周转等过程具有重要影响<sup>[19-20]</sup>。本研究中,不同秸秆还田量对于不同剖面土壤有机碳含量、不同粒径团聚体分布情况与稳定性均产生了影响。通过相关性分

析发现,各剖面土壤有机碳含量与平均重量直径(MWD)间呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ )(图5),土壤中大团聚体含量( $> 0.25$  mm)随着秸秆还田量的增加而提高。孟庆英等的研究也表明不同秸秆还田量可以显著提升不同剖面中大团聚体含量<sup>[21]</sup>。宋洁等研究表明,秸秆还田可使不同剖面 $> 0.25$  mm 团聚体含量增加,形成优势粒径<sup>[22]</sup>。当秸秆施入到土壤中,经微生物利用,在微生物体表形成多糖生物膜,可以有效提高微生物抵御外界的扰动能力,同时具有更好的生物稳定性与秸秆降解能力<sup>[23-24]</sup>。利用

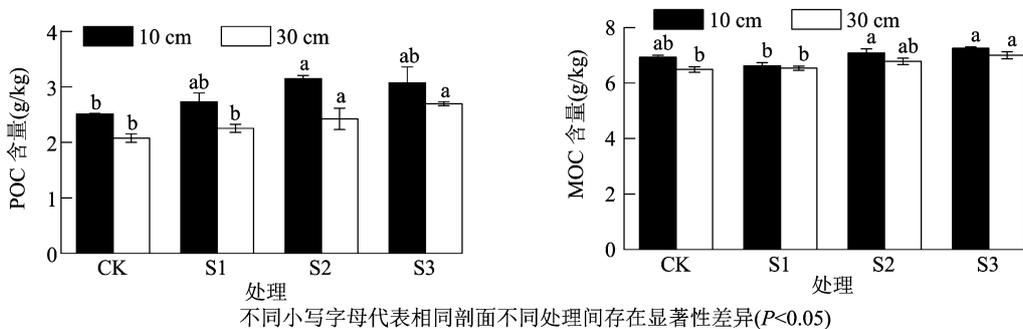


图4 不同剖面各处理土壤各组分有机碳含量变化

秸秆中的瞬时胶结剂如木质素、半纤维素、几丁质等胶结物质,经过微生物自身周转,与土壤中持久性胶结剂(腐殖质、金属氧化物、强吸附聚合物)、土壤中金属离子键,对土壤中  $< 2 \mu\text{m}$  微团聚体进行链接、聚合、包裹从而形成大团聚体,而大团聚体的形成同时对于有机碳在土壤中的固存起到了积极的作用<sup>[25-27]</sup>。本研究表明,秸秆进入到土壤中后,10 cm 剖面中大团聚体有机碳含量提升为 39.48% ~ 69.27%,高于 30 cm 剖面大团聚体有机碳含量变化(提升 21.09% ~ 42.28%),同时对不同剖面中  $< 0.250 \text{ mm}$  的微团聚体有机碳含量也表现出一定的增加趋势,这与冯秋苹等的研究结果<sup>[28-29]</sup>一致,与孟庆英等的结果<sup>[21]</sup>相反,可能是由于还田深度不同而导致的结果差异。

### 3.2 秸秆还田对土壤有机碳组分的影响

土壤有机碳在土壤中的存在方式主要分颗粒有机碳与矿物质结合态有机碳。土壤颗粒有机碳作为植物残体腐殖质过程中重要的中间产物,被认为是土壤活性有机质组分的衡量指标,其在土壤有机碳中的比例直接影响土壤有机碳的稳定性,秸秆还田可以提升土壤有机碳含量,主要是由于土壤颗粒有机碳的增加<sup>[30-32]</sup>。本研究发现,土壤有机碳含量与土壤颗粒有机碳含量呈极显著正相关关系 ( $P < 0.01$ ) (图5),与前人研究结果<sup>[33]</sup>相似。有学

者研究表明,土壤颗粒有机碳含量在土壤有机碳含量中占比一般为 11% ~ 83%<sup>[34-35]</sup>。而本试验中 10 cm 剖面下,土壤颗粒有机碳含量仅占土壤有机碳含量的 27% ~ 31%。可能是由于辽西地区褐土中养分含量低,且土壤 POC 未得到补充,同时在田间耕作管理与作物根系扰动的双重影响下,促进了土壤颗粒有机碳的快速矿化分解,当秸秆进入到土壤,土壤中外源碳的添加使得微生物活性增强,促使土壤颗粒有机碳形成,进而提升土壤 POC 含量,且随着秸秆还田量的增加而变化<sup>[36]</sup>。

MOC 作为外源有机质的最终产物,作为土壤中的惰性有机碳,具有极高的稳定性,其与土壤颗粒通过配位体紧密相连,通过离子键对有机碳进行吸附固定,进一步增强了其在土壤中的稳定性,其在短时间内变化较小<sup>[37]</sup>。常汉达等通过连续 20 年的棉花秸秆还田试验发现,MOC 含量呈先上升后下降的趋势变化,在连作第 10 年时含量最高,随后逐渐下降<sup>[38]</sup>。赵馨雅等通过连续 5 年的秸秆覆盖试验发现,土壤 MOC 含量虽有增加的趋势,但是较空白处理并未有显著增长<sup>[33]</sup>。本试验研究发现,在连续 3 年秸秆还田后,不同剖面添加秸秆处理中 MOC 含量没有明显变化,这可能与 MOC 的惰性性质及土壤内的循环周转率缓慢有关。本试验周期只有 3 年,若希望看到秸秆还田量对于褐土不同剖面中 MOC

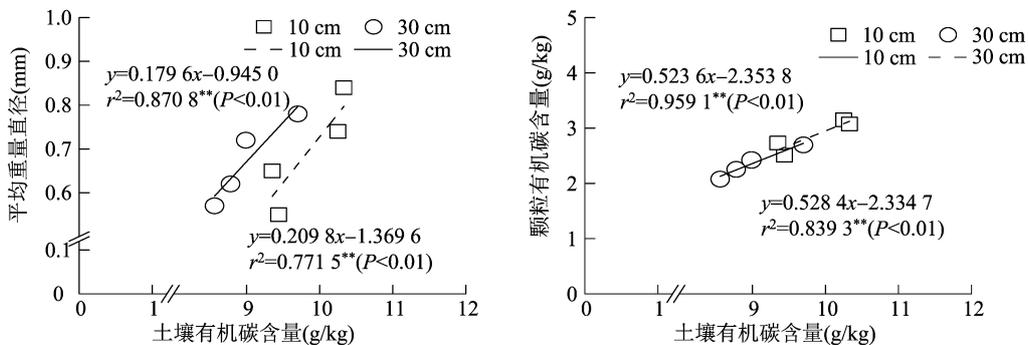


图5 土壤有机碳含量与 MWD、POC 含量的相关性分析结果

含量的影响,可能需要更长的试验周期,同时结合土壤中的MOC含量变化,也进一步说明土壤中主要以POC矿化损耗为主<sup>[39]</sup>。

#### 4 结论

通过连续3年的田间试验发现,秸秆还田可以有效改善土壤结构,对土壤团聚体结构、团聚体稳定、MWD等方面都具有积极的作用。秸秆还田促进了土壤中大团聚体的形成,同时也显著提高了土壤团聚体中有机碳的含量。秸秆还田显著提高了土壤表层(0~10 cm)与亚表层(10~30 cm)中POC的含量说明土壤中主要以POC矿化损耗为主要因素。本研究结果表明,秸秆还田可以有效增加辽西地区褐土耕层土壤有机碳含量,提高土壤团聚体有机碳含量与颗粒有机碳含量,进一步增强团聚体稳定性,对于提升辽西地区褐土土壤养分含量与生产力具有重要作用。

#### 参考文献:

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计,2022(3):9-26.
- [2] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32(14):2099-2103.
- [3] 张家春,刘盈盈,贺红早,等. 土壤团聚体与有机碳固定关系研究进展[J]. 福建农业学报,2016,31(3):319-325.
- [4] 祁迎春,王益权,刘军,等. 不同土地利用方式土壤团聚体组成及几种团聚体稳定性指标的比较[J]. 农业工程学报,2011,27(1):340-347.
- [5] 杨如萍,郭贤仕,吕军峰,等. 不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(1):252-256.
- [6] García-Orenes F, Guerrero C, Roldán A, et al. Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem[J]. Soil & Tillage Research, 2010, 109(2):110-115.
- [7] Jastrow J D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral associated organic matter[J]. Soil Biological Biochemistry, 1996, 28(4/5):665-676.
- [8] Hamer U, Marschner B, Brodowski S, et al. Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation[J]. Organic Geochemistry, 2004, 35(7):823-830.
- [9] 潘根兴,张旭辉,张平究,等. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题[J]. 地球科学进展,2003,18(4):609-618.
- [10] Mrabet R, Saber N, El-Brahli A, et al. Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco[J]. Soil & Tillage Research, 2000, 57(4):225-235.
- [11] Wander M M, Bidart M G. Tillage practice influences on the physical protection, bioavailability and composition of particulate organic matter[J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 32(5):360-367.
- [12] Six J, Conant R T, Paul E A, et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils[J]. Plant & Soil, 2002, 241(2):155-176.
- [13] 王静,黄毅. 辽西旱农区秸秆还田保水效果及对玉米生长的影响[J]. 山西农业科学,2012,40(2):113-116.
- [14] 唐光木,徐万里,周勃,等. 耕作年限对棉田土壤颗粒及矿物结合态有机碳的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(3):237-241.
- [15] 李天硕. 耕作与秸秆还田方式对辽西半干旱区不同层次土壤性质的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2022.
- [16] 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):1367-1377.
- [17] Cambardella C A, Elliott E T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(3):777-783.
- [18] van Bavel C. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1950, 14(C):20-23.
- [19] 张银平,王振伟,刁培松,等. 生态沃土机械化耕作对两熟区土壤理化特性的短期影响[J]. 农业机械学报,2018,49(12):45-55.
- [20] Webb J S, G Ivskov M, K Jelleberg S. Bacterial biofilms prokaryotic adventures in multicellularity[J]. Current Opinion in Microbiology, 2003, 6(6):578-585.
- [21] 孟庆英,邹洪涛,韩艳玉,等. 秸秆还田量对土壤团聚体有机碳和玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2019,35(23):119-125.
- [22] 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.
- [23] Eynard A, Schumacher T E, Lindstrom M J, et al. Effects of agricultural management systems on soil organic carbon in aggregates of Ustools and Usterts[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 81(2):253-263.
- [24] Rossi L M W, Mao Z, Merino-Martín L, et al. Pathways to persistence: plant root traits alter carbon accumulation in different soil carbon pools[J]. Plant and Soil, 2020, 452(12):457-478.
- [25] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. Journal of Soil Science, 1982, 33(2):141-163.
- [26] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1):81-85.
- [27] 陈昊,马帅,王小治. 土壤团聚体形成和稳定机理研究进展[J]. 现代农业科技,2023(2):6.
- [28] 冯秋苹,刘玉涛,郭勇智,等. 不同秸秆还田方式对土壤团聚体稳定性及有机碳含量的影响[J]. 吉林农业大学学报,2023,45(5):564-571.
- [29] 李伟群,张久明,迟凤琴,等. 秸秆不同还田方式对土壤团聚体及有机碳含量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2019(5):27-30.

杨因君,秦涛,决超. 不同有机肥配施土壤调理剂对黄瓜连作土壤碳氮及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(1):225-231.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.032

# 不同有机肥配施土壤调理剂对黄瓜连作土壤碳氮及酶活性的影响

杨因君,秦涛,决超

(商丘职业技术学院,河南商丘 476000)

**摘要:**针对设施农业黄瓜连作障碍问题,2020—2023年,通过田间定位试验,设置单施化肥(CK)、化肥减量20%+生物有机肥(SB)、化肥减量20%+微生物菌肥、化肥减量40%+生物有机肥+土壤调理剂、化肥减量40%+微生物菌肥+土壤调理剂(SMC)5个处理,研究化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂对土壤理化性质、物理结构以及酶活性的改良效果,结合典型相关分析以及冗余分析结果,探讨不同施肥处理条件下土壤酶活性与土壤碳氮及物理结构之间的关系。结果表明,与单施化肥相比,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥或增施土壤调理剂均能够提高土壤碳氮、速效养分含量、pH值、酶活性以及土壤总孔隙度,降低土壤容重。而与化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥不施土壤调理剂处理相比,增施土壤调理剂能够显著提高土壤有机碳、全氮、碱解氮以及微生物量碳含量,明显提高土壤酶活性以及土壤总孔隙度,降低土壤容重。相关分析结果表明,土壤酶活性变化与土壤碳氮变化之间密切相关,但不同酶活性变化与碳氮指标间的关系有强有弱。冗余分析结果表明,土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶以及蔗糖酶与土壤孔隙度呈正相关关系,与土壤容重呈负相关关系,且空间分散处理点说明土壤酶活性对不同施肥措施条件产生不同的响应。由此可知,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂能够提高土壤肥力以及酶活性,改善土壤结构。

**关键词:**黄瓜;有机肥;土壤调理剂;土壤碳氮;养分;酶活性

**中图分类号:**S642.206;S156.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)01-0225-07

近年来,随着人们对蔬菜安全和供应时间要求

的不断提高,设施农业成为蔬菜专业化和规模化快速发展的重要载体<sup>[1-2]</sup>。黄瓜是我国设施农业栽培的重要蔬菜作物,受地域性气候因素影响,日光温室种植是我国北方地区春季黄瓜种植的主要模式<sup>[3-4]</sup>。然而,由于日光温室种植模式单一,且复种指数较高,常年集约化生产虽然能够解决黄瓜周年

收稿日期:2023-07-12

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:182102110371);河南省高等学校重点科研项目支撑计划(编号:23B2120006)。

作者简介:杨因君(1983—),女,河南商丘人,讲师,从事蔬菜栽培生理与连作障碍研究。E-mail:sqyang1027@sina.com。

[30] Wander M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function[M]//Fred M, Ray R W. Soil organic matter in sustainable agriculture. Boca Raton: CRC Press, 2004: 68-90.

[31] 赵鹏志,陈祥伟,王恩姮. 黑土坡耕地有机碳及其组分累积-损耗格局对耕作侵蚀与水蚀的响应[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3634-3642.

[32] 袁可能,张友金. 土壤腐殖质氧化稳定性的研究[J]. 浙江农业科学, 1964, 9(7): 345-349.

[33] 赵馨雅,刘帅,徐静怡,等. 覆盖作物种植对砂姜黑土团聚体稳定性及其有机碳组分的影响[J/OL]. 农业资源与环境学报, 2023 [2023-02-03]. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0822>.

[34] Duval M E, Galantini J A, Capurro J E, et al. Winter cover crops in soybean monoculture: effects on soil organic carbon and its fractions[J]. Soil and Tillage Research, 2016, 161: 95-105.

[35] Novak J M, Busscher W J, Watts D W, et al. Short-term CO<sub>2</sub>

mineralization after additions of biochar and switchgrass to a Typic Kandudult[J]. Geoderma, 2010, 154(3/4): 281-288.

[36] Sharma V, Hussain S, Sharma K R, et al. Labile carbon pools and soil organic carbon stocks in the foothill Himalayas under different land use systems[J]. Geoderma, 2014, 232-234: 81-87.

[37] Lopez-Sangil L, Rovira P. Sequential chemical extractions of the mineral-associated soil organic matter: an integrated approach for the fractionation of organo-mineral complexes[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2013, 62: 57-67.

[38] 常汉达,王晶,张风华. 棉花长期连作结合秸秆还田对土壤颗粒有机碳及红外光谱特征的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1218-1226.

[39] 刘骅,佟小刚,马兴旺,等. 长期施灰下灰漠土矿物颗粒结合有机碳的含量及其演变特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 84-90.