

Study on the Effect of Maize Stalk Returning on Soil Aggregates in the Western Liaoning Province

Jie Li*, Yi Huang, Hui Liu, Dageng Zhang#

College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang Liaoning
Email: lijie200298@163.com, #zdg111@163.com

Received: May 18th, 2018; accepted: Nov. 9th, 2018; published: Nov. 16th, 2018

Abstract

Maize stalk return can affect soil structure and soil nutrient stocks, which are important for sustainable agriculture. To study the effect of the maize stalk returned on stability of soil aggregate, this study adopted the plough for deep furrowing and ridge of maize stalk through the field trials, compared the effect of different quantity of maize stalk returned on soil aggregate distribution and stability under two modes of whole maize stalk returned and crushed maize stalk returned. The results show that, in the western Liaoning province, the corn stalk return had significantly ($p < 0.05$) higher soil aggregate stability than CK, both the whole maize stalk returned and crushed maize stalk returned can promote the format of macro-aggregates (>0.25 mm) in soil, the mean weight diameter of the soil aggregates increased and the fractal dimension decreased at all depths, yet the crushed maize stalk returned was more efficiency. Subsurface soil agglomeration was slightly higher than surface soil. The amount of maize stalk returned was better from 400 to 1200 kilogram per 667 square meter. The results will provide a theoretical basis for improving the soil structure by returning maize stalk to the field in the western Liaoning province.

Keywords

Maize Stalk Return, Soil Aggregate, Mechanical Stable Aggregate, Water-Stable Aggregate

辽西玉米秸秆深还田对土壤团聚体特征的影响研究

栗杰*, 黄毅, 刘慧, 张大庚#

*第一作者。

#通讯作者。

沈阳农业大学, 土地与环境学院, 辽宁 沈阳
Email: lijie200298@163.com, #zdg111@163.com

收稿日期: 2018年5月18日; 录用日期: 2018年11月9日; 发布日期: 2018年11月16日

摘要

秸秆还田可以影响土壤结构和养分储备, 这对可持续农业至关重要。为了探讨秸秆还田对土壤团聚体稳定性的影响, 本研究通过大田试验, 采用秸秆深埋还田开沟扶垄犁深施玉米秸秆的方法, 比较了整秸秆还田和碎秸秆还田两种模式下, 不同秸秆还田量对土壤团聚体分布特征及团聚体稳定性的影响。研究表明: 秸秆还田对辽西地区土壤团聚体的形成具有一定的促进作用, 整秸秆还田和碎秸秆还田均促进土壤中大团聚体(>0.25 mm)的形成, 土壤的平均重量直径增加, 分形维数下降, 碎秸秆还田更利于土壤大团聚体的形成, 亚表层土壤团聚度略高于表层土壤。秸秆还田量以400 kg/667 m²~1200 kg/667 m²为宜。研究结果为辽西地区秸秆还田改良土壤结构提供一定的理论依据。

关键词

玉米秸秆还田, 土壤团聚体, 机械稳定性团聚体, 水稳性团聚体

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是世界上第一秸秆大国, 至 2015 年每年约有 7.19 亿 t 农作物秸秆, 生产量居于世界首位[1] [2], 其中干旱半干旱地区的秸秆总量约为 12,606.1 万 t [3]。秸秆还田是将作物秸秆直接或堆积腐熟后施入土壤中的一种方法, 自上世纪 80 年代我国实施机械化秸秆粉碎直接还田以来, 秸秆还田得到了广泛的推广。良好的土壤结构是农作物高产稳产的重要保证, 而团聚体的稳定性对于土壤结构的优劣具有决定作用[4] [5]。秸秆还田能够产生真菌、多糖等代谢产物, 促进土壤团聚体的形成[6], 同时对于土壤温度、土壤容重及孔隙度等物理性质均有不同程度的影响[7]。但秸秆还田还受到土壤类型、环境、生物量以及温度等因素的影响, 秸秆种类、粉碎程度和还田方法不同会致使秸秆还田后对土壤肥力影响效果不尽一致。有研究表明, 由于秸秆还田深度不足, 不利于秸秆分解和腐熟, 影响后茬作物根系下扎养分供应[8]。秸秆还田的数量亦非越多越好, 秸秆还田量过多, 秸秆不能够完全腐烂, 对下茬作物的耕作及种子萌发都起到阻碍作用, 反而不利于培肥地力, 甚至引起作物减产[9]。

辽西地区地处半干旱季风气候区, 土壤贫瘠, 土壤结构较差, 而多年的机械化耕作也使该地区土壤质量连年下降, 土壤耕层变薄, 犁底层上移[10], 导致土壤蓄水能力下降, 这些问题已经成为该地区农业耕作的主要障碍之一。而该地区有丰富的玉米秸秆资源, 秸秆还田的合理施用将对该地区土壤质量的提高大有裨益。因此本研究通过秸秆深还田的方法, 探讨了不同秸秆粉碎程度、不同秸秆还田量对土壤团聚体结构稳定性的影响, 以期为该地区应用秸秆还田培育土壤肥力、提高土壤生产力提供一定的科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

供试土壤分别采自辽宁省阜蒙县(N41°44'~42°34', E121°01'~122°26')和辽宁省凌源市(N40°35'~41°26', E118°50'~119°37')。阜蒙县和凌源市均位于辽宁省西部地区,北温带半干旱季风大陆性气候区。其中阜蒙县年均气温 7.2℃,历年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 3298.3℃,年均降水量为 500 mm,全年降水量集中在 5~9 月份,土壤类型为潮棕壤,质地为轻壤土,有机质 10.31 g/kg,全氮 0.68 g/kg,全磷 0.76 g/kg,全钾 23.53 g/kg,碱解氮 53.16 mg/kg,速效磷 6.49 mg/kg,速效钾 130.21 mg/kg。凌源市年均温 8.7℃,历年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 3443.1℃,年均降水量为 479.4 mm,全年降水量主要集中在 6~8 月。土壤类型为潮褐土,质地为中壤土,有机质 12.58 g/kg,全氮 0.79 g/kg,全磷 0.81 g/kg,全钾 26.22 g/kg,碱解氮 74.23 mg/kg,速效磷 11.03 mg/kg,速效钾 150.11 mg/kg。

2.2. 试验设计

秸秆还田试验于 2014 年~2017 年进行,阜蒙县采用整株秸秆还田的模式,凌源市采用秸秆粉碎后还田模式。2014 年秋季玉米收获时采用秸秆深埋还田开沟扶垄犁开沟[11],开沟后进行不同剂量秸秆深还试验,还田深度 30 cm,秸秆还田量为 400 kg/667 m² (C1)、800 kg/667 m² (C2)、1200 kg/667 m² (C3)、1600 kg/667 m² (C4),以未施用秸秆处理作为对照(CK),每个地块长 6 m、宽 5.5 m,3 次重复,随机排列。秸秆施入后,配施尿素 20 kg/667 m²、磷酸二铵 40 kg/667 m²、硫酸钾 15 kg/667 m²,用扶垄犁合垄后覆膜。种植作物为玉米,品种为耐密郑丹 958,2017 年 9 月收获后采集表层(0~20 cm)、亚底层(20~40 cm)土壤风干后,当土块含水率达到塑限时,用手把大土块沿自然破碎面掰开,除去植物根系及小土块备用,用于测定土壤团聚体及其他理化性质。

2.3. 测定方法

土壤机械稳定性团聚体的测定采用沙维诺夫法(干筛)[12],取制备好的风干土样 50 g,放入套筛中(套筛孔径为 2 mm、1 mm、0.25 mm 和 0.053 mm),小心往复筛动套筛 15 min,得到 >2, 2~1, 1~0.25、0.25~0.053 mm 五组团聚体。土壤水稳性团聚体的测定采用约得法,土壤水稳性团聚体的测定采用约得法(湿筛)[13][14],取制备好的风干土样 50 g 于 1000 mL 大量筒中,缓缓的注入自来水,湿润土壤使土壤逐渐达到饱和后,静止 10 min 后摇匀,然后置于团粒分析仪(日本,DIK-2001)上进行湿筛处理,振荡频率 15 r/min,时间 30 min,得到 >2, 2~1, 1~0.25、0.25~0.053 mm 五组团聚体。土壤的机械组成采用吸管法测定。土壤的其它理化性质均采用实验室常规方法测定[13]。

2.4. 土壤团聚体稳定性的计算

各级团聚体含量的计算公式为[12],

$$m_i = \frac{W_i}{W_t} \times 100\% \quad (1)$$

式中: W_i 为第 i 个筛子中团聚体重量(g); W_t 为团聚体总重量(g)。

>0.25 mm 团聚体可用来评价团聚体的数量和质量,其计算公式为[12],

$$m_{>0.25 \text{ mm}} = m_{>2 \text{ mm}} + m_{2-1 \text{ mm}} + m_{1-0.25 \text{ mm}} \quad (2)$$

团聚体的平均重量直径是各级团聚体的综合指标,平均重量直径越大表示土壤团聚度越高,其计算公式为[12],

$$MWD(\text{mm}) = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{r_{i+1} + r_i}{2} \times m_i \quad (3)$$

式中： r_i 为第 i 个筛子的孔径(mm)； m_i 为第 i 个筛子中团聚体含量(%)； n 为筛子的数量。

分形维数 D 反映了土壤结构的几何形状，颗粒越细，则分形维数越高，其计算公式为[14]，

$$\left(\frac{x_i}{x_{\max}} \right)^{1-D} = \frac{W_{(r < x_i)}}{W_t} \quad (4)$$

式中： D 为分形维数； x_i 为某级团聚体平均直径(mm)； $W_{(r < x_i)}$ 为粒径小于 x_i 的团聚体的重量(g)； W_t 为团聚体总重量(g)； x_{\max} 为团聚体的最大粒径(mm)。

2.5. 数据处理及分析方法

差异显著性检验采用 IBM SPSS Statistics 22 软件进行统计分析，图表制作采用 Excel 2003。所有数据均为 3 次重复结果。

3. 结果与分析

3.1. 整秸秆还田对土壤团聚体稳定性的影响

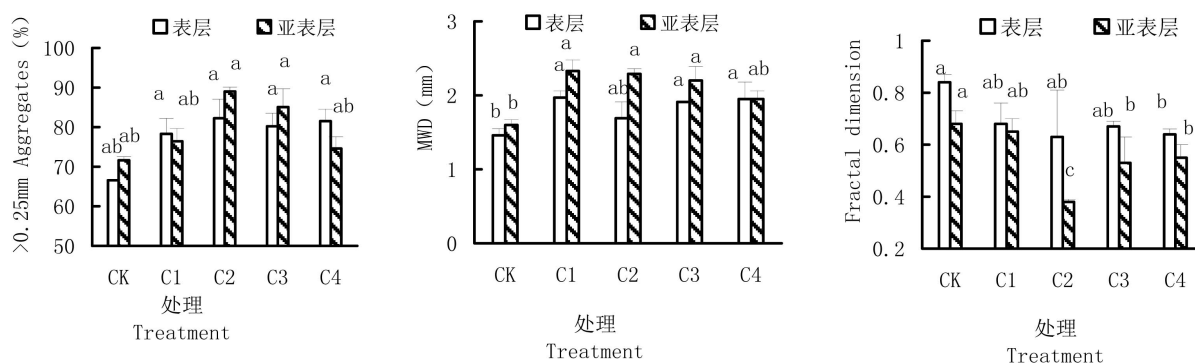
由于秸秆还田后土壤有机物能增强团聚体之间的粘结力和抗张强度，提高团聚体的稳定性[15]，玉米整秸秆还田 3 年后，土壤机械稳定性团聚体数量和水稳定性团聚体数量均有变化，但各个粒径团聚体数量变化不同。从表 1 可以看出，CK 处理后表层土壤中机械稳定性团聚体主要集中在 >2 mm、1~0.25 mm 和 0.25~0.053 mm 三个粒径中。玉米秸秆还田后，各处理 >2 mm 机械稳定性团聚体数量比 CK 增加 5.75%~49.14%，但与 CK 相比差异不显著。0.25 mm~0.053 mm 土壤机械稳定性团聚体数量比 CK 降低($p < 0.05$)，其中，C2 处理比 CK 降低最多，为 58.74%。<0.053 mm 团聚体数量除 C2 处理外各处理与均比 CK 下降，但差异不显著。亚表层秸秆还田各处理 >2 mm 团聚体数量均高于 CK 处理，而 2~1mm 和 1~0.25 mm 粒径团聚体的数量除 C1 处理外也均高于 CK。

Table 1. The distribution characteristics of soil mechanical stable aggregates after the whole maize stalk returned
表 1. 整秸秆还田后土壤机械稳定性团聚体的分布特征

土壤层次 Soil horizon	处理 Treatment	团聚体含量(%) The amount of soil aggregates				
		>2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
表层	CK	31.44 ± 2.80 a	10.45 ± 0.09 b	24.71 ± 2.78 a	29.06 ± 1.32 a	4.37 ± 1.43 a
	C1	46.89 ± 2.11 a	11.42 ± 0.37 ab	19.98 ± 1.42 a	17.95 ± 2.94 c	3.77 ± 0.97 a
	C2	33.25 ± 11.11 a	23.37 ± 14.31 a	25.63 ± 8.42 a	11.99 ± 0.95 b	5.78 ± 3.86 a
	C3	43.08 ± 0.47 a	16.75 ± 0.61 ab	20.37 ± 0.13 a	16.09 ± 0.38 b	3.71 ± 0.38 a
	C4	46.34 ± 7.56 a	10.00 ± 1.22 b	25.18 ± 3.85 a	15.32 ± 3.35 bc	3.17 ± 0.32 a
亚表层	CK	39.58 ± 7.86 a	10.24 ± 1.60 a	24.04 ± 3.85 ab	23.83 ± 4.85 a	3.05 ± 0.42 a
	C1	53.46 ± 10.76 a	8.83 ± 1.59 a	19.07 ± 3.56 b	16.31 ± 7.94 a	2.33 ± 0.20 ab
	C2	50.74 ± 10.43 a	10.29 ± 1.12 a	22.24 ± 1.68 ab	14.57 ± 8.80 a	2.16 ± 0.25 ab
	C3	49.97 ± 9.77 a	10.68 ± 1.63 a	21.88 ± 2.21 ab	15.28 ± 6.32 a	2.21 ± 0.65 ab
	C4	41.81 ± 8.26 a	10.34 ± 1.04 a	25.77 ± 2.04 a	20.71 ± 7.42 a	1.36 ± 0.02 b

注：不同处理间的差异显著性比较采用 Duncan 法分析，字母不同表示处理之间差异显著($p < 0.05$)，以下同。

通过土壤团聚体稳定性的计算可以看出, 整秸秆还田后, 无论是表层土壤还是亚表层土壤, 秸秆还田后>0.25 mm 大团聚体数量均增加(图 1), 其中 C2 处理比 CK 增加最多, 表层和亚表层土壤比对照分别增加 23.5%和 24.2%, 而小团聚体(<0.25 mm)的数量降低; 整秸秆还田后土壤机械稳定性团聚体平均重量直径均增大, 而土壤的分形维数比对照均降低。



注: 不同处理间的差异显著性比较采用 Duncan 法分析, 字母不同表示处理之间差异显著($p < 0.05$), 以下同。

Figure 1. Effects of whole maize stalk returned on the amount of >0.25 mm aggregates, mean weight diameter and fractal dimension in mechanical stable aggregates

图 1. 整秸秆还田对土壤>0.25 m 机械稳定性团聚体、平均重量直径和分形维数的影响

虽然土壤的机械稳定性团聚体能够在一定程度上表征土壤的团聚程度, 具有一定的稳定性, 但其容易被降雨、灌溉所打散, 而水稳定性团聚体更能够代表土壤团聚体的稳定性[16]。秸秆还田后, 土壤水稳定性团聚体分布与机械稳定性团聚体粒径分布差异较大。从表 2 中可以看出, 土壤水稳性团聚体以小团聚体数量居多, CK 团聚体主要集中在 0.25~0.053 mm 和<0.053 mm 两个粒径, 占土壤总重的 85%~87%。玉米秸秆还田后, 表层土壤>2 mm 粒径水稳性团聚体数量增加, 且随着秸秆添加量的增大而增大, 亚表层土壤与表层土壤相比作用更为显著; 2~1 mm 粒径团聚体数量虽然比对照增加, 但表层土壤与对照间差异不显著。0.25~0.053 mm 和 <0.053 mm 水稳性团聚体数量与相同处理机械性团聚体数量相比显著增加, 这是由于机械稳定性团聚体主要靠粘结力团聚在一起, 湿筛后含水量增大, 粘结力下降, 因而很多大团聚体崩解变成小团聚体, 但秸秆还田各个处理与 CK 相比并无显著变化。

Table 2. The distribution characteristics of soil mechanical stability aggregates after whole maize stalk returned

表 2. 整秸秆还田后土壤水稳性团聚体的分布特征

土壤层次 Soil horizon	处理 Treatment	团聚体含量(%) The amount of soil aggregates				
		>2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
表层	CK	2.58 ± 0.88 b	2.97 ± 2.46 a	7.21 ± 1.29 a	53.88 ± 3.47 a	33.36 ± 3.17 a
	C1	2.23 ± 0.37 b	4.36 ± 0.56 a	5.97 ± 0.16 ab	54.73 ± 6.50 a	32.71 ± 7.28 a
	C2	2.62 ± 0.78 ab	3.64 ± 0.40 a	3.74 ± 1.78 b	52.69 ± 8.56 a	33.69 ± 5.59 a
	C3	3.19 ± 1.51 ab	4.36 ± 0.95 a	7.20 ± 2.82 a	51.37 ± 2.89 a	33.88 ± 6.24 a
	C4	5.11 ± 2.18 a	4.38 ± 0.87 a	8.36 ± 1.03 a	59.97 ± 10.43 a	22.18 ± 12.36 a
亚表层	CK	3.44 ± 1.16 d	4.67 ± 0.60 b	6.72 ± 0.76 ab	58.03 ± 0.48 a	27.13 ± 1.47 a
	C1	4.07 ± 0.81 cd	5.69 ± 1.35 b	8.09 ± 1.26 b	53.26 ± 5.04 a	28.89 ± 7.29 a
	C2	6.05 ± 0.76 bc	4.78 ± 1.20 b	7.71 ± 0.07 ab	53.41 ± 18.02 a	28.05 ± 7.63 a
	C3	8.13 ± 0.23 ab	7.87 ± 0.05 a	6.25 ± 0.23 b	50.36 ± 5.64 a	27.39 ± 0.06 a
	C4	9.03 ± 2.24 a	8.34 ± 0.92 a	7.81 ± 1.23 ab	53.69 ± 5.55 a	21.12 ± 5.20 a

从图2可以看出,整秸秆还田后,土壤中>0.25 mm水稳性团聚体数量和团聚体的平均重量直径增加,而分形维数下降。与相同处理机械性稳定性团聚体不同的是,团聚体的稳定性与秸秆添加量的呈线性相关关系,亚表层土壤的团聚体稳定性高于表层土壤。

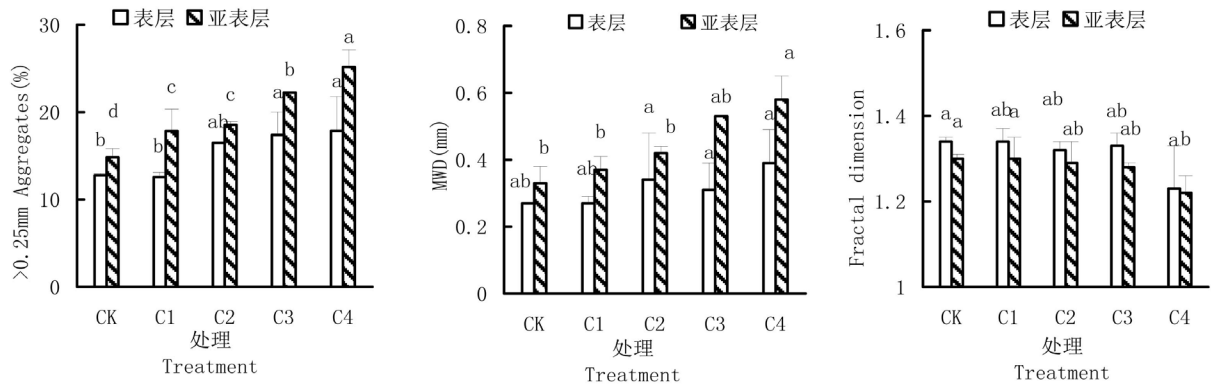


Figure 2. Effects of whole corn stalk returned on the amount of >0.25 mm aggregates, mean weight diameter and fractal dimension in water stable aggregates

图2. 整秸秆还田对土壤>0.25 mm水稳性团聚体、平均重量直径和分形维数的影响

3.2. 碎秸秆还田对土壤团聚体稳定性的影响

从表3中可以看出,未经秸秆还田处理土壤中>2 mm粒径机械稳定性团聚体含量显著高于阜蒙县,这主要是由于凌源市土壤中的粘粒含量高于阜蒙县,土壤的粘结力更强。碎秸秆还田后,表层土壤机械稳定性团聚体有56%~67%都集中在>2 mm粒径团聚体中,除C3秸秆还田处理外,各处理>2 mm粒径团聚体数量均高于CK处理,但经方差检验差异不显著。碎秸秆还田对亚表层土壤团聚体的影响更为明显,其中C2处理土壤>2 mm粒径机械稳定性团聚体数量比CK增加最多,为26.32%;C3秸秆还田处理虽然比CK相比略有增加,但差异不显著,亚表层2~1 mm、1~0.25 mm粒径团聚体数量与对照相比含量均下降。

Table 3. The distribution characteristics of soil mechanical stable aggregates after the crushing maize stalk returned

表3. 碎秸秆还田后土壤机械稳定性团聚体的分布特征

土壤层次 Soil horizon	处理 Treatment	团聚体含量(%) The amount of soil aggregates				
		>2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
表层	CK	57.89 ± 1.10 a	9.59 ± 1.63 a	15.48 ± 0.21 a	14.79 ± 3.09 a	2.26 ± 0.16 a
	C1	66.08 ± 5.70 a	9.31 ± 1.77 a	10.31 ± 2.19 c	11.70 ± 3.99 a	2.60 ± 1.09 a
	C2	67.03 ± 5.57 a	9.46 ± 2.16 a	8.89 ± 1.84 c	12.34 ± 2.82 a	2.29 ± 0.68 a
	C3	56.06 ± 5.54 a	11.01 ± 2.26 a	14.04 ± 2.72 ab	14.73 ± 2.05 a	4.12 ± 0.69 a
	C4	62.79 ± 9.74 a	10.08 ± 2.59 a	10.65 ± 1.88 bc	14.15 ± 5.04 a	3.66 ± 1.59 a
亚表层	CK	57.07 ± 7.03 b	11.74 ± 2.43 a	16.51 ± 1.91 a	12.84 ± 3.17 a	1.84 ± 0.47 a
	C1	70.01 ± 4.06 ab	10.35 ± 2.89 ab	10.79 ± 2.61 bc	7.01 ± 4.27 a	1.83 ± 0.87 a
	C2	72.25 ± 10.06 a	7.67 ± 0.48 b	7.59 ± 2.13 c	10.54 ± 5.17 a	1.97 ± 0.15 a
	C3	57.59 ± 12.38 b	9.55 ± 0.28 ab	13.76 ± 1.99 ab	16.13 ± 2.43 a	2.96 ± 1.68 a
	C4	72.46 ± 2.74 a	9.86 ± 0.42 ab	10.01 ± 0.27 c	6.40 ± 1.03 a	1.29 ± 0.37 a

从图3可以看出,凌源市土壤中>0.25 mm 粒径机械稳定性团聚体的数量显著高于阜蒙县,但表层和亚表层土壤差异不大。秸秆还田处理后,出 C3 处理外,其余各个处理>0.25 mm 粒径团聚体数量均增加,但经方差检验,差异不显著,土壤的平均重量直径和分形维数的变异性较大,这主要是由于碎秸秆还田粉碎还田时较为分散,土壤的空间变异性较大。

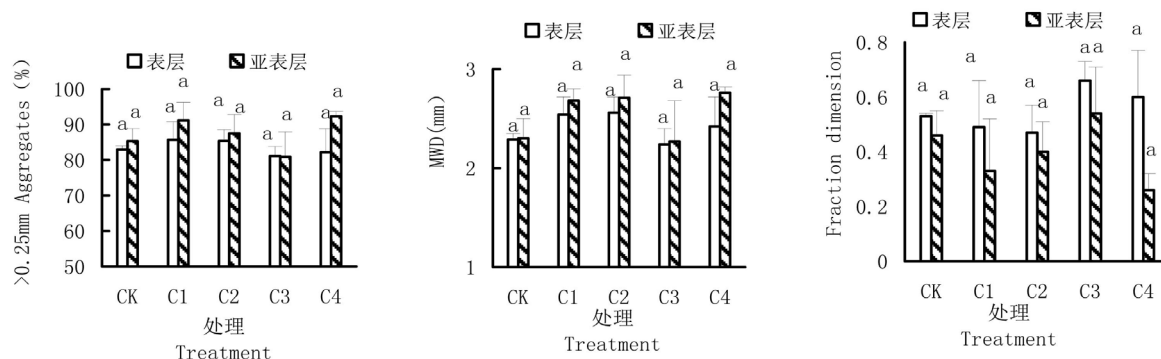


Figure 3. Effects of crushing maize stalk returned on the amount of >0.25 mm aggregates, mean weight diameter and fractal dimension in water stable aggregates

图 3. 碎秸秆还田对土壤>0.25 mm 机械稳定性团聚体、平均重量直径和分形维数的影响

土壤经过湿筛后(表 4),大团聚体含量降低,土壤水稳性团聚体主要分布在 0.25~0.053 mm 粒组,约占全土的 62%~72%,亚表层土壤团聚度略高于表层土壤。碎秸秆还田处理后,除表层土壤 C4 处理外,0.25~0.053 mm 粒组数量与 CK 相比均降低,其中 C2 处理比对照降低最多。>2 mm 粒组土壤水稳性团聚体数量均显著增加,C2 处理作用效果最显著。

Table 4. The distribution characteristics of soil water stable aggregates after the crushing maize stalk returned

表 4. 碎秸秆还田后土壤水稳性团聚体的分布特征

土壤层次 Soil horizon	处理 Treatment	团聚体含量(%) The amount of soil aggregates				
		>2 mm	2~1 mm	1~0.25 mm	0.25~0.053 mm	<0.053 mm
表层	CK	2.50 ± 0.40 b	5.96 ± 1.12 b	6.38 ± 0.64 b	70.23 ± 2.57 ab	14.94 ± 1.81 a
	C1	4.93 ± 0.00 a	8.01 ± 0.01 a	8.68 ± 0.25 a	66.95 ± 0.15 bc	11.43 ± 2.11 b
	C2	4.32 ± 0.34 ab	8.09 ± 0.08 a	7.64 ± 2.14 ab	63.32 ± 3.68 c	16.62 ± 1.29 a
	C3	4.90 ± 0.87 a	6.85 ± 0.15 ab	6.11 ± 1.18 b	69.65 ± 1.68 ab	12.49 ± 2.13 b
	C4	4.11 ± 2.93 ab	6.46 ± 2.50 ab	6.24 ± 0.24 b	71.78 ± 4.28 a	11.42 ± 0.91 b
亚表层	CK	3.63 ± 0.43 b	7.41 ± 0.40 a	7.42 ± 0.34 ab	70.44 ± 1.15 a	12.10 ± 0.61 b
	C1	5.48 ± 0.09 a	6.81 ± 1.12 a	6.57 ± 0.25 b	68.74 ± 1.47 a	12.39 ± 0.02 b
	C2	5.22 ± 0.31 a	6.97 ± 0.37 a	7.32 ± 0.79 ab	66.28 ± 2.27 ab	14.29 ± 0.79 b
	C3	5.20 ± 0.45 a	6.86 ± 0.07 a	7.96 ± 1.01 a	64.45 ± 1.07 ab	15.52 ± 0.09 b
C4	5.39 ± 0.53 a	6.06 ± 1.97 a	7.30 ± 0.61 ab	61.81 ± 7.94 b	19.44 ± 4.59 a	

碎秸秆还田后,各个秸秆还田处理>0.25 mm 粒组水稳性团聚体的数量均高于对照处理(见图 4),但表层土壤和亚表层土壤的变化情况不完全一致。表层土壤 C1 处理中大团聚体数量最高,此后随土壤秸秆添加量的增大随着秸秆还田量增大土壤中大团聚体呈降低趋势。亚表层土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量最高出现在 C3 处理,当秸秆还田量继续增加,土壤中大团聚体数量降低。由于碎秸秆还田的腐解速度较快,对土壤中水稳性团聚体影响较大。秸秆还田后土壤的平均重量直径与对照相比均增加,但秸秆还

田量过高, 对土壤中大团聚体的形成有一定的抑制作用。

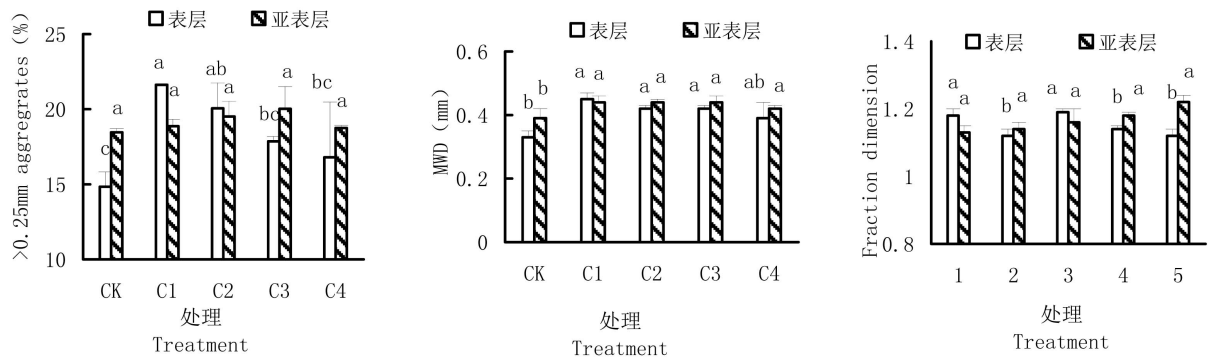


Figure 4. Effects of crushing corn stalk returned on the amount of >0.25 mm aggregates, mean weight diameter and fractal dimension in water stable aggregates

图 4. 碎秸秆还田对土壤>0.25 mm 水稳性团聚体、平均重量直径和分形维数的影响

4. 讨论

无论是阜蒙县还是凌源市, 亚表层土壤>0.25 mm 粒组团聚体的数量和平均重量直径均高于表层土壤, 而分形维数低于表层土壤, 这主要是因为: 1) 由于亚表层土壤中黏粒含量高于表层土壤, 使得土壤的粘结力高于表层土壤, 因而对土壤团聚体尤其是机械稳定性团聚体的影响较大。2) 由于开沟扶垄翻转犁在开沟时, 施入秸秆的深度主要在 30 cm 左右, 使得该层次的腐殖质含量要高于表层土壤, 因此对该层次土壤团聚体的形成作用效果更显著。这与殷程程等人[17]的研究基本一致。凌源市土壤与阜蒙县相比团聚度更高, 因为凌源市土壤质地较阜蒙县粘粒含量更高, 土壤中的胶结物质更多, 更利于促进大团聚体的形成。在本研究中发现采样点与秸秆还田位置对土壤性质影响较大, 在取样时只考虑了深度的影响, 采集了表层和亚表层土壤, 但未考虑土壤团聚体水平方向的空间变异性。在今后的研究中, 还应对其进行进一步研究。另外, 整秸秆还田 3 年后, 秸秆并未完全腐解, 还应该继续监测秸秆还田时间不同, 土壤团聚体的动态变化。

5. 结论

1) 秸秆深还田对土壤团聚体的形成具有一定的促进作用, 整秸秆还田和碎秸秆还田均促进土壤中大团聚体(>0.25 mm)的形成, 土壤的平均重量直径增加, 分形维数下降。

2) 秸秆的粉碎程度对土壤团聚体的形成有影响。碎秸秆还田腐解速率高于整秸秆还田, 对土壤团聚体的形成的影响更快。

3) 整秸秆还田 3 年后, 秸秆还田量越大, 土壤团聚体稳定性越高。碎秸秆还田 3 年后, 秸秆还田量过高, 对土壤团聚体的稳定性有一定的抑制作用, 秸秆还田量以 400 kg/667 m²~1200 kg/667 m² 为宜。

基金项目

本研究由国家自然科学基金项目(41401323)和辽宁省教育厅一般项目(L2014257)共同资助。

参考文献

- [1] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 等. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 1-21.
- [2] Kaiwei, Z., Zhen, L., Xianchun, T., *et al.* (2018) Study on the Ecological Potential of Chinese Straw Resources Avail-

able for Bioenergy Producing Based on Soil Protection Functions. *Biomass & Bioenergy*, **116**, 26-38.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.06.002>

- [3] 陈利洪, 舒帮荣, 李鑫. 中国干旱半干旱地区农牧业废弃物资源量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2018(11): 9-14.
- [4] 乔治. 生物炭和秸秆对土壤呼吸和团聚体的影响[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [5] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 618-623.
- [6] Steven, D.G., Johan, S., Cynthia, B., *et al.* (2005) A Quantification of Short Term Macroaggregate Dynamics: Influences of Wheat Residue Input and Texture. *Soil Biology and Biochemistry*, **37**, 55-66.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.024>
- [7] 夏炎, 谈桂露, 王志琴, 等. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2736-2746.
- [8] 葛立立, 王康君, 范苗苗, 等. 秸秆还田对土壤培肥与水稻产量和米质的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(12): 1-6.
- [9] 刘义国, 刘永红, 刘洪军, 等. 秸秆还田量对土壤理化性状及小麦产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(3): 131-135.
- [10] 白伟, 孙占祥, 郑家明, 等. 辽西地区土壤耕层及养分状况调查分析[J]. 土壤, 2011, 43(5): 714-719.
- [11] 王瑞丽, 黄毅, 魏凤兰, 等. 秸秆深埋还田开沟扶垄犁设计及试验研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(4): 231-234.
- [12] 依艳丽, 刘孝义, 张大庚, 等. 土壤物理研究法[M]. 北京: 北京大学出版社, 2009.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 杨培岭, 罗远培, 石元春, 等. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [15] 郑子成, 王永东, 李廷轩, 等. 退耕对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J]. 自然资源学报, 2011, 26(1): 119-126.
- [16] 王秀颖, 高晓飞, 刘和平, 等. 土壤水稳性大团聚体测定方法综述[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(3): 106-113.
- [17] 殷程程. 深层秸秆还田对土壤物理性质的影响[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林农业大学, 2014.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7255, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjss@hanspub.org