

# 深耕和秸秆还田对不同质地土壤团聚体组成及稳定性的影响

冀保毅<sup>1,2</sup>,赵亚丽<sup>1</sup>,郭海斌<sup>1</sup>,穆心愿<sup>1</sup>,薛志伟<sup>1</sup>,李潮海<sup>1\*</sup>

(1. 河南农业大学 农学院,河南 郑州 450002; 2. 信阳农林学院,河南 信阳 464000)

**摘要:**在壤土和黏土中分别设置了常规耕作+秸秆还田(CT)、深耕+秸秆还田(DT)、深耕+秸秆不还田(DNT)3个处理,探讨了深耕和秸秆还田对土壤团聚体组成及稳定性的影响。结果表明,深耕和秸秆还田对土壤团聚体组成的影响受土壤质地和土层深度影响,两者均显著影响壤土和黏土0~10 cm土层粒径大于10 mm和粒径介于1~5 mm机械稳定性团聚体的含量,对10~20 cm土层无显著影响;两者对壤土中水稳定性团聚体组成的影响较黏土大,两者均增加壤土和黏土0~10 cm土层粒径介于3~5 mm水稳定性团聚体的含量,降低粒径小于0.25 mm水稳定性团聚体的含量,对10~20 cm土层无显著影响。总体上,深耕能增加壤土耕层下部和黏土机械稳定性和水稳定性团聚体平均质量直径,秸秆还田能增加壤土和黏土机械稳定性和水稳定性团聚体平均质量直径,进而增加土壤团聚体的稳定性。

**关键词:**深耕;秸秆还田;土壤质地;土壤团聚体

**中图分类号:** S141.4 S152.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2015)03-0065-07

## Effects of Deep Tillage and Straw Returning on Different Texture Soils Aggregate Composition and Stability

Ji Baoyi<sup>1,2</sup>, ZHAO Yali<sup>1</sup>, GUO Haibin<sup>1</sup>, MU Xinyuan<sup>1</sup>, XUE Zhiwei<sup>1</sup>, LI Chaohai<sup>1\*</sup>

(1. Agronomy College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(2. Xinyang College of Agriculture and Forestry, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** To study the effects of deep tillage and straw retained on aggregate composition and stability, three treatments, including conventional tillage with straw returning (CT), deep tillage with straw returning (DT) and deep tillage without straw retaining (DNT), were carried out in clay and loam soil. The results showed that soil aggregate composition was influenced by deep tillage and straw returning which were affected by soil texture and soil layer depth. Deep tillage and straw returning significantly affect the content of mechanical stable aggregates whose diameter was greater than 10 mm and between 1 mm and 5 mm in 0—10 cm soil layer in clay soil and loam soil, however, both treatments had no significant influence on the content of mechanical stable aggregates in 10—20 cm soil layer. Deep tillage and straw returning had more influence on water stable aggregates composition in loam than that in clay soil. Deep tillage and straw returning could increase the content of water stable aggregates whose diameter was between 3 and 5 mm, decrease the content of water stable aggregates whose diameter was smaller than 0.25 mm in 0—10 cm soil layer in clay soil and loam soil; however, both treatments had no significant influence on

收稿日期:2014-09-23  
基金项目:国家现代玉米产业技术体系建设专项(nycytx-02-17);河南省重大公益科研项目(091100910100)  
作者简介:冀保毅(1979-),男,河南邓州人,讲师,博士,主要从事作物生理生态方面的研究。  
E-mail:lufei10101010@126.com  
\* 通讯作者:李潮海(1956-),男,河南巩义人,教授,博士,主要从事作物生理生态方面的研究。  
E-mail:lichaochai2005@163.com

the content of water stable aggregates in 10—20 cm soil layer. Overall, deep tillage could increase the mean weight diameter of mechanical stable aggregates and water stable aggregates in the deep layer of loam soil and clay soil, while straw returning could increase the mean weight diameter of mechanical stable aggregates and water stable aggregates in loam and clay soil, thereby the stability of soil aggregates could be improved by deep tillage and straw returning.

**Key words:** deep tillage; straw returning; soil texture; soil aggregate

土壤团聚体是农田土壤的重要组成部分,是土壤中养分物质转化的场所,不同粒级土壤团聚体在养分保持、供应和转化方面的作用不同<sup>[1]</sup>,其空间分布情况影响土壤的物理性状<sup>[2]</sup>,其数量和质量对土壤肥力有直接影响<sup>[3]</sup>。研究表明,深耕可增加耕层下部土壤中有机质含量从而提高大于 0.25 mm 水稳定性土壤团聚体的含量<sup>[4]</sup>;秸秆还田后,其腐熟过程中产生的多糖等代谢产物能够促进土壤团聚体的形成<sup>[5]</sup>。近年来,在免耕、旋耕、翻耕或秸秆还田条件下对土壤团聚体结构及稳定性影响的研究较多<sup>[6-8]</sup>,在深耕条件下对土壤团聚体的组成及稳定性研究较少<sup>[4]</sup>,而深耕与秸秆还田相结合对土壤团聚体组成和稳定性影响的研究尚未见报道。为此,探讨了深耕和秸秆还田在壤土和黏土上对土壤团聚体组成和稳定性的影响,为黄淮海地区评价和选择

适当的耕作措施提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验在河南省鹤壁市农业科学院和漯河市农业科学院的试验田中进行。鹤壁市农业科学院位于河南省北部(114°33'E、35°41'N),属暖温带大陆性半湿润季风气候,年平均温度为 13.7℃,年平均日照时数为 2 311 h,年平均降雨量为 635.9 mm。漯河市农业科学院位于河南省中南部(33°36'N、113°59'E),属暖湿性季风气候,年平均温度为 14.7℃,年平均日照时数为 2 350 h,年平均降雨量为 786 mm。两地的作物种植制度均为冬小麦—夏玉米一年两熟制,试验田 0~40 cm 土层土壤的理化性质如表 1 所示。

表 1 试验田土壤理化性质

地点	土壤质地	指标	土层深度/cm			
			0~10	10~20	20~30	30~40
鹤壁市	壤土 (砂粒:粉粒:黏粒=31:47:22)	容重/(g/cm <sup>3</sup> )	1.26	1.34	1.55	1.48
		孔隙度/%	51.54	48.46	40.38	43.08
		有机质/(g/kg)	17.02	14.95	10.08	9.47
		全氮/(g/kg)	1.21	1.16	1.20	0.75
		有效磷/(mg/kg)	13.15	15.06	5.22	3.71
		速效钾/(mg/kg)	159.55	133.26	123.65	137.26
漯河市	黏土 (砂粒:粉粒:黏粒=12:41:47)	容重/(g/cm <sup>3</sup> )	1.32	1.34	1.54	1.59
		孔隙度/%	49.23	48.46	40.77	38.85
		有机质/(g/kg)	19.85	18.56	13.55	11.83
		全氮/(g/kg)	2.11	2.16	1.55	1.15
		有效磷/(mg/kg)	32.46	27.33	13.75	3.14
		速效钾/(mg/kg)	145.74	138.33	143.78	135.61

注:土壤质地根据美国土壤分类标准<sup>[17]</sup>确定。

1.2 试验设计

试验设常规耕作并秸秆还田(CT)、深耕并秸秆还田(DT)、深耕但秸秆不还田(DNT)3个处理。每个处理3次重复,小区面积6 m×60 m。于2010—2011年,夏玉米免耕播种,夏玉米收获后进行耕作处理,然后播种冬小麦。深耕处理耕作深度30 cm,常规耕作处理耕作深度20 cm。秸秆还田处理:夏玉米秸秆在耕作之前被秸秆粉碎机切碎,并结合耕作被全部混入耕层土壤中,冬小麦秸秆在夏玉米播

种前被切碎全部覆盖还田。秸秆不还田处理:夏玉米秸秆和冬小麦秸秆全部移出试验田。

漯河市和鹤壁市农业科学院试验田的供试玉米品种分别为当地主栽玉米品种郑单 958 和浚单 20,种植密度均为 67 500 株/hm<sup>2</sup>;小麦品种分别为当地的主栽品种温麦 6 号和漯麦 4 号,种植密度均约为 675 万穗/hm<sup>2</sup>。两地各个处理的施肥量和施肥方法相同,其中玉米季施纯氮 300 kg/hm<sup>2</sup>、纯磷 150 kg/hm<sup>2</sup>、纯钾 225 kg/hm<sup>2</sup>,小麦季施纯氮 300 kg/hm<sup>2</sup>、纯磷 150

kg/hm<sup>2</sup>、纯钾 150 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥采用氮肥后移技术,基肥和追肥分别占总施氮量的 60% 和 40%。磷肥和钾肥作为基肥一次性施入。田间其他管理同当地一般生产田。

1.3 土壤样品的采集

于 2011 年玉米成熟期采集土壤样品,每个处理 3 次重复。采样时先将土壤表面的植被和枯草小心清除,露出土壤,分 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 共 3 个土层采集原状土壤样品,分别装入硬质塑料盒中带回实验室。在室内,用手将新鲜土样沿其固有的裂缝轻轻剥成直径为 12 ~ 20 mm 的小土块,除去植物根系和石块,然后将土样平摊在通风透气处风干。

1.4 测定项目及方法

土壤团聚体组成采用干筛法和湿筛法测定<sup>[9]</sup>。干筛法:取 500 g 风干土样置于套筛(孔径依次为 10、7、5、3、2、1、0.5、0.25 mm)顶部,以 30 次/min 上下振荡 5 min,测定各孔径筛子上土样质量  $W_{di}$ 。湿筛法:将 50 g 风干土样置于 1 L 量筒中,沿量筒边缘缓慢添加去离子水至饱和,然后将被水饱和的土样转移至放置于水桶中的套筛(孔径依次为 5、3、2、1、0.5、0.25 mm)顶部,以 30 次/min 上下振荡 5 min,将各级孔径筛子上土样置于铝盒中烘干称质量得  $W_{wit}$ ,然后再加入 10 mol/L 六偏磷酸钠溶液 10 mL,并用玻璃棒搅拌分散,置于相应孔径筛子振荡,将留在筛子上的砂粒烘干并称质量,记为  $W_{wis}$ 。

各粒级团聚体质量  $W_{wi}$  计算公式为:  $W_{wi} = W_{wit} - W_{wis}$ 。干筛条件下  $i$  粒级团聚体质量所占的比例  $W_i$  计算公式为:  $W_i = W_{di}/500 \times 100\%$ ;湿筛条件下计算公式为:  $W_i = W_{wi}/50 \times 100\%$ 。土壤团聚体稳定性采用土壤团聚体平均质量直径(MWD)衡量,其计算公式如下。

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i \times W_i$$

其中,  $\bar{X}_i$  为每一粒级土壤团聚体的平均直径。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,采用 DPS 软件对试验数据进行多重比较,所有的差异显著性均在  $P < 0.05$  水平。

2 结果与分析

2.1 深耕和秸秆还田对不同质地不同土层土壤团聚体组成的影响

2.1.1 机械稳定性团聚体 一般将 >0.25 mm 的土壤团聚体称为土壤团粒结构体,是土壤中较为理想的团聚体。它的通气性、保肥性、保温性、机械弹性和水稳定性均优,而且其数量与土壤肥力状况呈正相关关系<sup>[10]</sup>。由表 2 可知,深耕和秸秆还田对土壤机械稳定性团聚体组成的影响受土壤质地和土层深度影响明显,两者均显著影响壤土和黏土 0 ~ 10 cm 土层粒径大于 10 mm 和粒径介于 1 ~ 5 mm 土壤机械稳定性团聚体的组成。

表 2 深耕和秸秆还田对土壤机械稳定性团聚体组成的影响 %

土壤质地	土层深度 /cm	处理	粒径/mm								
			>10	10~7	7~5	5~3	3~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	<0.25
壤土	0~10	CT	56.10a	11.13a	8.81ab	10.05c	4.66c	2.03c	3.81b	1.22b	2.19b
		DT	49.26b	11.15a	8.11b	12.73b	6.50b	3.16b	5.45b	1.49b	2.14b
		DNT	34.27c	13.66a	9.57a	15.19a	8.38a	3.64a	8.85a	2.97a	3.48a
	10~20	CT	52.49a	13.62a	8.89a	11.59a	5.22a	2.12a	3.32a	0.95a	1.80a
		DT	47.94a	12.95a	9.31a	13.06a	6.36a	3.03a	4.54a	1.15a	1.66a
		DNT	50.64a	12.69a	8.43a	12.09a	6.14a	2.57a	4.42a	1.12a	1.89a
	20~30	CT	56.86b	12.39a	9.00a	10.61a	4.39a	1.62b	2.59b	0.75ab	1.79a
		DT	71.47a	7.86b	5.40b	6.48b	3.12b	1.48b	2.14b	0.63b	1.42a
		DNT	57.31b	10.73a	7.93a	10.59a	5.16a	2.25a	3.69a	0.90a	1.42a
黏土	0~10	CT	56.64b	10.22a	7.12a	10.06a	5.95a	3.00a	4.71a	1.09a	1.22a
		DT	77.11a	6.23b	4.28b	4.83b	2.42c	1.27b	2.09b	0.61b	1.17a
		DNT	61.20b	10.24a	6.26a	8.84a	4.37b	2.45a	4.01a	1.11a	1.52a
	10~20	CT	58.95b	11.64a	8.06a	10.02a	4.31a	2.00a	3.10a	0.79a	1.11a
		DT	68.16ab	8.72a	5.89ab	7.59a	3.69a	1.84a	2.65a	0.66a	0.87b
		DNT	77.02a	7.56a	3.90b	4.72a	2.32a	1.21a	1.86a	0.55a	0.81b
	20~30	CT	73.72a	9.26ab	4.70a	5.16a	2.38a	1.14a	2.07a	0.63a	0.94a
		DT	69.96a	10.16a	5.75a	6.71a	2.81a	1.15a	2.02a	0.54a	0.90a
		DNT	70.72a	8.67b	6.07a	7.20a	2.88a	1.24a	1.95a	0.49a	0.78a

注:同列数据后不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

在壤土 0 ~ 10 cm 土层中,深耕显著降低大于 10 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理较 CT 处理降低 12.2%;深耕显著增加 1 ~ 5 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理 1 ~ 2 mm、2 ~ 3 mm 和 3 ~ 5 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量分别比 CT 处理高 55.7%、39.5% 和 26.7%;秸秆还田显著增加大于 10 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理较 DNT 处理增加 43.7%;秸秆还田显著降低 0 ~ 7 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理 0 ~ 0.25 mm、0.25 ~ 0.5 mm、0.5 ~ 1 mm、1 ~ 2 mm、2 ~ 3 mm、3 ~ 5 mm、5 ~ 7 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量分别比 DNT 处理低 38.5%、49.8%、38.4%、13.2%、22.4%、16.2%、15.3%。

在黏土 0 ~ 10 cm 土层中,深耕和秸秆还田均显著增加大于 10 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理较 CT 和 DNT 处理增加 36.1% 和 26.0%;而深耕和秸秆还田均显著降低粒径介于 0.25 ~ 10 mm 的土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理粒径介于 0.25 ~ 0.5 mm、0.5 ~ 1 mm、1 ~ 2 mm、2 ~ 3 mm、3 ~ 5 mm、5 ~ 7 mm、7 ~ 10 mm 的土壤机械稳定性团聚体含量比 CT 处理分别低 44.0%、55.6%、57.7%、59.3%、52.0%、39.9%、39.0%,比 DNT 处理分别低 45.0%、47.9%、48.2%、44.6%、45.4%、31.6%、39.2%。

深耕和秸秆还田对壤土和黏土中 10 ~ 20 cm 土层土壤机械稳定性团聚体组成均没有显著影响,对

壤土中 20 ~ 30 cm 土层土壤机械稳定性团聚体组成有显著影响,而对黏土中 20 ~ 30 cm 土层土壤机械稳定性团聚体组成没有显著影响。在壤土 20 ~ 30 cm 土层中,深耕和秸秆还田均显著增加大于 10 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理分别比 CT 和 DNT 处理增加 25.7% 和 24.7%;深耕显著降低 2 ~ 10 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理 2 ~ 3 mm、3 ~ 5 mm、5 ~ 7 mm、7 ~ 10 mm 粒径土壤机械稳定性团聚体含量比 CT 处理分别低 28.9%、38.9%、40.0%、36.6%;秸秆还田显著降低粒径介于 0.25 ~ 10 mm 的土壤机械稳定性团聚体含量,DT 处理粒径介于 0.25 ~ 0.5 mm、0.5 ~ 1 mm、1 ~ 2 mm、2 ~ 3 mm、3 ~ 5 mm、5 ~ 7 mm、7 ~ 10 mm 的土壤机械稳定性团聚体含量比 DNT 处理分别低 30.0%、42.0%、34.2%、39.5%、38.8%、31.9%、26.7%。

2.1.2 水稳定性团聚体 土壤水稳定性团聚体的比例能较好反映土壤团聚体的质量<sup>[11-12]</sup>。同时,直径为 1 ~ 10 mm 的土壤水稳定性团聚体能形成良好的适宜作物生长的土壤结构,这类团聚体具有保持足够气体的大孔隙,还具有一定数量的能保持作物生长所需水分的毛细空隙<sup>[13]</sup>。由表 3 可知,深耕和秸秆还田对土壤水稳定性团聚体组成的影响同样受土壤质地和土层深度的影响,但总体上深耕和秸秆还田对壤土和黏土中 10 ~ 20 cm 土层土壤机械稳定性团聚体组成均没有显著影响。

表 3 深耕和秸秆还田对土壤水稳定性团聚体组成的影响 %

土壤质地	土层深度 /cm	处理	粒径/mm						
			>5	5 ~ 3	3 ~ 2	2 ~ 1	1 ~ 0.5	0.5 ~ 0.25	<0.25
壤土	0 ~ 10	CT	0.88a	1.11a	0.83b	1.92c	13.46a	27.78a	54.02a
		DT	0.59a	1.55a	1.39a	3.00a	10.76b	30.20a	52.51b
		DNT	0.24a	0.51b	1.06ab	2.34b	9.61b	21.04b	65.19a
	10 ~ 20	CT	1.53a	0.81c	1.13a	2.13a	12.07a	29.91a	52.42a
		DT	1.72a	1.83a	1.30a	2.88a	11.40a	24.59a	56.27a
		DNT	0.54a	1.30b	1.11a	2.87a	11.69a	24.36a	58.13a
	20 ~ 30	CT	1.00b	0.48b	0.37c	1.73a	13.35a	22.14ab	65.74a
		DT	1.96a	0.87a	1.58a	2.40a	9.43b	26.30a	53.53b
		DNT	0.30c	0.80a	0.72b	1.11a	8.54b	21.09b	66.56a
黏土	0 ~ 10	CT	0.12b	1.37b	3.25a	5.55a	31.52a	20.28a	37.92a
		DT	1.54a	3.82a	4.97a	6.94a	31.42a	19.27a	32.05b
		DNT	0.25ab	2.64ab	4.26a	6.34a	31.15a	20.28a	35.08ab
	10 ~ 20	CT	2.23a	5.77a	8.40a	9.13a	20.89b	18.43a	35.15a
		DT	1.50a	4.62a	6.89a	6.97a	31.10a	20.19a	28.74a
		DNT	1.90a	4.04a	5.87a	7.88a	30.65a	19.45a	30.22a
	20 ~ 30	CT	9.06a	5.49a	8.60a	9.53a	29.01a	16.29a	22.02b
		DT	1.11b	4.02a	8.02a	8.48a	30.05a	19.02a	29.31a
		DNT	1.02b	4.28a	7.24a	8.83a	32.54a	17.87a	27.23ab

在壤土 0 ~ 10 cm 土层中,深耕和秸秆还田均显著降低了粒径小于 0.25 mm 土壤水稳定性团聚体含量,DT 处理分别较 CT、DNT 处理降低了 2.8%、19.5%;深耕和秸秆还田均显著增加了粒径介于1 ~ 2 mm 的土壤水稳定性团聚体含量,DT 处理分别较 CT、DNT 处理增加了 56.3%、28.2%。另外,深耕还显著降低了粒径介于 0.5 ~ 1 mm 的土壤水稳定性团聚体含量,增加了粒径介于 2 ~ 3 mm 的土壤水稳定性团聚体含量。秸秆还田显著增加了粒径介于 0.25 ~ 0.5 mm、3 ~ 5 mm 的土壤水稳定性团聚体含量。在壤土 20 ~ 30 cm 土层中,深耕和秸秆还田总体上均显著降低了粒径小于 0.25 mm 的土壤水稳定性团聚体含量,DT 处理分别较 CT、DNT 处理降低了 18.6%、19.6%;深耕和秸秆还田均显著增加了粒径介于 2 ~ 3 mm、大于 5 mm 的土壤水稳定性团聚体含量,DT 处理粒径介于 2 ~ 3 mm、大于 5 mm 的土壤水稳定性团聚体含量分别比 CT 和 DNT 处理增加 327.0%、96.0% 和 119.4%、553.3%。另外,深耕还显著降低了粒径介于 0.5 ~ 1 mm 的土壤水稳定性团聚体含量,增加了粒径介于 3 ~ 5 mm 的土壤水稳定性团聚体含量;秸秆还田显著增加了粒径介于 0.25 ~ 0.5 mm 的土壤水稳定性团聚体含量。

在黏土 0 ~ 10 cm 土层中,深耕显著降低粒径小于 0.25 mm 的土壤水稳定性团聚体含量,降幅达 15.5%;深耕显著增加粒径大于 3 mm 土壤水稳定性团聚体含量,DT 处理粒径介于 3 ~ 5 mm、大于 5 mm 的土壤水稳定性团聚体含量分别比 CT 处理增加 178.8%、1 183.3%。在黏土 20 ~ 30 cm 土层中,深耕显著降低粒径大于 5 mm 的土壤水稳定性团聚体含量,降幅达 87.7%;深耕显著增加粒径小于 0.25 mm 的土壤水稳定性团聚体含量,增加幅度达 33.1%。

**2.2 深耕和秸秆还田对不同质地不同土层土壤团聚体稳定性的影响**

不同粒级土壤团聚体对土壤孔隙组成、养分保持和微生物活动具有不同作用<sup>[14]</sup>。因此,在土壤团聚体总量一定时,土壤团聚体的大小分布情况与土壤质量关系密切。土壤团聚体 MWD 是反映土壤团聚体粒级分布状况的常用指标。MWD 随直径较大土壤团聚体数量的增加而增大;MWD 增加表明土壤团聚体平均团聚度增加,稳定性增强<sup>[15]</sup>。由表 4 可知,土壤质地和土层深度对土壤机械稳定性团聚体和水稳定性团聚体的 MWD 有极显著影响;耕作方式对土壤机械稳定性团聚体的 MWD 无显著影响,对水稳定性团聚体的 MWD 影响显著;土壤质

地、耕作方式和土层深度的二因素交互作用对土壤机械稳定性团聚体和水稳定性团聚体的 MWD 影响均达到显著或极显著水平;土壤质地、耕作方式和土层深度的三因素交互作用对土壤机械稳定性团聚体和水稳定性团聚体的 MWD 均有极显著影响。

表 4 土壤质地、耕作方式和土层深度对土壤团聚体 MWD 的影响(F 值)

变异来源	机械稳定性团聚体	水稳定性团聚体
土壤质地(S)	120.60**	475.09**
耕作方式(T)	0.05	3.64*
土层深度(D)	31.91**	21.51**
S × T	10.81**	5.34**
S × D	3.82*	22.95**
T × D	2.80*	6.12**
S × T × D	15.53**	12.40**

注: \*、\*\* 分别表示影响显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )。

**2.2.1 机械稳定性团聚体 MWD** 从表 5 可以看出,深耕和秸秆还田对不同质地不同土层中土壤机械稳定性团聚体的 MWD 影响不同。在壤土中,深耕显著降低 0 ~ 10 cm 土层土壤机械稳定性团聚体的 MWD,降幅达 7.0%;深耕显著提高 20 ~ 30 cm 土层土壤机械稳定性团聚体的 MWD,增加幅度达 8.4%,表明深耕增加了下层土壤中团聚体的稳定性。秸秆还田显著增加 0 ~ 10 cm 和 20 ~ 30 cm 土层土壤机械稳定性团聚体的 MWD,增加幅度分别为 16.5% 和 10.1%,表明秸秆还田增加了土壤团聚体的稳定性。在黏土中,深耕和秸秆还田均显著增加了 0 ~ 10 cm 土层土壤机械稳定性团聚体的 MWD,增加幅度分别为 15.7% 和 11.3%,表明秸秆还田和深耕均增加了土壤团聚体的稳定性。

**2.2.2 水稳定性团聚体 MWD** 从表 5 可以看出,深耕和秸秆还田对不同质地不同土层土壤水稳定性团聚体 MWD 的影响不同。在壤土中,深耕显著增加 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 土层土壤水稳定性团聚体 MWD,增加幅度分别为 9.1% 和 42.4%,表明深耕增加了下层土壤中土壤团聚体的稳定性;秸秆还田显著增加 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 土层土壤水稳定性团聚体 MWD,增加幅度分别为 30.3%、20.0% 和 51.6%,表明秸秆还田增加了土壤团聚体的稳定性。在黏土中,深耕显著增加 0 ~ 10 cm 和 20 ~ 30 cm 土层土壤水稳定性团聚体 MWD,增加幅度分别为 37.3% 和 52.3%;秸秆还田显著增加 20 ~ 30 cm 土层土壤水稳定性团聚体 MWD,增加幅度为 52.3%,表明秸秆还田和深耕均能增加下层土壤团聚体的稳定性。

表 5 深耕和秸秆还田对不同质地土壤团聚体 MWD 的影响

土壤质地	处理	机械稳定性团聚体			水稳定性团聚体		
		0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm
壤土	CT	7.67 ± 0.06a	7.60 ± 0.38a	7.86 ± 0.11b	0.41 ± 0.05a	0.44 ± 0.02b	0.33 ± 0.02b
	DT	7.13 ± 0.08b	7.22 ± 0.09a	8.52 ± 0.28a	0.43 ± 0.04a	0.48 ± 0.01a	0.47 ± 0.04a
	DNT	6.12 ± 0.18c	7.36 ± 0.53a	7.74 ± 0.08b	0.33 ± 0.01b	0.40 ± 0.01c	0.31 ± 0.01b
黏土	CT	7.60 ± 0.18b	7.93 ± 0.15b	8.74 ± 0.21a	0.59 ± 0.00b	0.96 ± 0.11a	0.88 ± 0.06b
	DT	8.79 ± 0.31a	8.36 ± 0.76ab	8.58 ± 0.26a	0.81 ± 0.18a	0.88 ± 0.22a	1.34 ± 0.02a
	DNT	7.90 ± 0.31b	8.86 ± 0.12a	8.57 ± 0.20a	0.67 ± 0.05ab	0.86 ± 0.06a	0.88 ± 0.00b

3 结论与讨论

本研究结果表明,深耕和秸秆还田对土壤机械稳定性团聚体组成的影响受土壤质地和土层深度影响明显,两者均显著影响壤土和黏土 0 ~ 10 cm 土层粒径大于 10 mm 和粒径介于 1 ~ 5 mm 土壤机械稳定性团聚体的含量。在壤土中,深耕显著增加了 0 ~ 10 cm 土层粒径介于 1 ~ 5 mm、20 ~ 30 cm 土层粒径大于 10 mm 的土壤机械稳定性团聚体的含量,降低了 0 ~ 10 cm 土层粒径大于 10 mm、20 ~ 30 cm 土层粒径介于 2 ~ 10 mm 的土壤机械稳定性团聚体的含量;秸秆还田显著增加了 0 ~ 10 cm、20 ~ 30 cm 土层粒径大于 10 mm 土壤机械稳定性团聚体的含量,降低了 0 ~ 10 cm 土层粒径介于 2 ~ 10 mm、20 ~ 30 cm 土层粒径介于 0.25 ~ 10 mm 的土壤机械稳定性团聚体的含量。在黏土中,深耕和秸秆还田均显著增加了 0 ~ 10 cm 土层粒径大于 10 mm 土壤机械稳定性团聚体的含量,降低了 0 ~ 10 cm 土层粒径介于 0.25 ~ 10 mm 土壤机械稳定性团聚体的含量。在壤土和黏土中深耕和秸秆还田对土壤团聚体组成影响的差异较大,可能是因为这 2 种土壤中土壤团聚体形成时的主要胶结物质不同<sup>[16-17]</sup>。

深耕和秸秆还田对不同土层土壤团聚体的稳定性有一定影响。在壤土中,深耕降低 0 ~ 10 cm 土层土壤机械稳定性团聚体 MWD,增加 20 ~ 30 cm 土层土壤机械稳定性团聚体 MWD,同时增加 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 土层土壤水稳定性团聚体 MWD。在黏土中,深耕增加 0 ~ 10 cm 土层土壤机械稳定性团聚体和水稳定性团聚体的 MWD 及 20 ~ 30 cm 土层土壤水稳定性团聚体的 MWD。这是因为壤土中机械稳定性团聚体的 MWD 随土层深度的增加略有增加,深耕将耕层上部土壤翻入耕层下部,耕层上部较高的有机质含量促进了下部土壤团聚体的形成。同时,翻耕过程使土壤团聚体被挤压破碎,因而表层土壤稳定性降低。在黏土中,土壤机械稳定性团聚体的 MWD 随土层深度的增加有较大增加,下部土壤

被翻到地表增加了耕层上部土壤机械稳定性团聚体的 MWD。秸秆还田增加壤土和黏土中机械稳定性和水稳定性团聚体的 MWD,表明秸秆还田能够促进耕层土壤团聚体的形成,该结论与前人<sup>[18-20]</sup>的研究结果相符。

参考文献:

[1] 陈恩凤,周礼恺,武冠云.微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评判土壤肥力水平中的意义[J].土壤学报,1994,31(1):18-25.

[2] Lipiec J, Walczak R, Witkowska-Walczak B, et al. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis[J]. Soil Till Res,2007,97:239-246.

[3] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤通报,2005,36(3):415-421.

[4] 王鸿斌,王洪英,徐金荣,等.不同耕作方式对黑土结构性的影响[J].吉林农业大学学报,2005,27(6):658-662,674.

[5] Adesodun J K,Mbagwu J S C. Structural stability and carbohydrate contents of an ultisol under different management systems [J]. Soil & Tillage Research, 2001, 60: 135-142.

[6] Elliott E T. Aggregate structure and carbon,nitrogen,and phosphorus in native and cultivated soils[J]. Soil Sci Soc Am J,1986,50:627-633.

[7] 赵红,吕贻忠.保护性耕作对潮土结构特性的影响[J].生态环境学报,2009,18(5):1956-1960.

[8] 严波,贾志宽,韩清芳,等.不同耕作方式对宁南旱地土壤团聚体的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(3):58-63.

[9] 依艳丽.土壤物理研究法[M].北京:北京大学出版社,2009.

[10] 章明奎,何振立.成土母质对土壤团聚体形成的影响[J].热带亚热带土壤科学,1997,6(3):198-202.

[11] 李爱宗,张仁陟,王晶,等.耕作方式对黄绵土水稳定性团聚体形成的影响[J].土壤通报,2008,39(3):480-484.

与分析[J]. 园艺学报,2011,38(增刊):2463.

[19] 何天明,张琦. 新梨 7 号小孢子败育的解剖学观察[J]. 果树学报,2002,19(2):94-97.

[20] 何天明,吴玉霞. 香梨杂种后代花粉发育类型及其花药的解剖学研究[J]. 西北植物学报,2011,31(11):2231-2234.

[21] 李芳芳,张绍铃,张虎平. 不同梨品种花粉量及花粉萌发率差异研究[J]. 南京农业大学学报,2013,36(5):27-32.

[22] 沈根华,王晓庆,骆军,等. 大棚栽培对梨花粉量及花粉生活力的影响[J]. 上海农业学报,2008,24(3):54-57.

[23] 刘有春,陶承光,刘威生,等. 花粉形态在核果类果树遗传起源和系统关系研究中的应用[J]. 园艺学报,2013,40(9):1701-1709.

[24] 卢玉飞,蒋建雄,艾辛,等. 芒属部分类群花粉形态观察研究[J]. 草业学报,2012,12(6):151-158.

[25] 杨向晖,吴颖欣,林顺权. 6 种枇杷属植物花粉形态扫描电镜观察[J]. 果树学报,2009,26(4):572-576.

[26] 韦晓霞,万继锋,陈瑾. 橄榄雄株花粉形态特征观察及数量分类初探[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(5):970-977.

[27] 刘剑锋,柳福柱,程云清,等. 5 种秋子梨品种的花粉形态观察[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(5):153-156.

[28] 徐喜楼,徐惠瑛,盛炳成,等. 苹果属花粉扫描电镜观察[J]. 南京农业大学学报,1985,2(2):124-129.

[29] 埃尔特曼 G. 孢粉学手册[M]. 中国科学院植物研究所古植物研究室孢粉组,译. 北京:科学出版社,1978.

[30] 周丽华,韦仲新,吴征镒. 国产蔷薇科李亚科的花粉形态[J]. 云南植物学报,1999,21(2):207-211.

[31] 周丽华,韦仲新,吴征镒. 国产蔷薇科绣线菊亚科的花粉形态[J]. 云南植物学报,1999,21(3):303-308.

[32] 过国南,王力荣,阎振立,等. 利用花粉形态分析法研究桃种质资源的进化关系[J]. 果树学报,2006,23(5):664-669.

[33] 韦仲新. 山茶科花粉超微结构及其系统学意义[J]. 云南植物研究,1997,19(2):143-153.

[34] 王一峰,施海燕,高宏岩,等. 青藏高原东缘 28 种风毛菊属植物花粉形态研究[J]. 广西植物,2008,28(1):4-14.

\*\*\*\*\*

(上接第 70 页)

[12] Angers D A, Giroux M. Recently deposited organic matter in soil water stable aggregates[J]. Soil Sic Soc Am J, 1996,60:1547-1551.

[13] 侯春霞,骆东奇,谢德体,等. 不同利用方式对紫色土团聚体形成的影响[J]. 西南农业大学学报,2003,25(5):467-470.

[14] Dexter A R. Advances in characterization of soil structure[J]. Soil Till Res,1988,11:199-238.

[15] 李阳兵,谢德体,魏朝富,等. 不同土地利用方式对岩溶山地土壤团粒结构的影响[J]. 水土保持学报,2001,15(4):122-125.

[16] 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.

[17] Churchman G J, Tate K R. Aggregation of clay in six New Zealand soil types as measured by disaggregation procedures[J]. Geoderma,1986,37:207-220.

[18] Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and soil organic matter: Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon[J]. Soil Sci Soc Am J, 2000,64:681-689.

[19] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. Journal of Soil Science,1982,33:141-163.

[20] Oades J M, Waters A G. Aggregate hierarchy in soils[J]. Australian Journal of Soil Research, 1991, 29:815-828.