

不同作物秸秆还田对潮土结构的改良效果

范倩玉¹, 李军辉², 李晋², 刘振华², 黄春国², 杨珍平², 高志强²

(1.山西农业大学资源与环境学院,山西 太谷 030801;2.山西农业大学农学院,山西 太谷 030801)

摘要:为探究作物秸秆还田对土壤结构的改良效果,采用二因素裂区设计,主因素施肥(F):F1(施NPK复合肥)和F0(不施肥);副因素作物种类(B):B1(油菜)、B2(玉米)、B3(马铃薯)、B4(燕麦)和B5(荞麦),以不施肥不种作物的空白处理为对照CK。采集样品后测定土壤容重、孔隙度、毛管孔隙度和田间持水量,以及团聚体粒径和土壤MWD、GMD和D值。结果表明:5种作物秸秆还田降低了土壤0—60 cm土层的土壤容重,增加了毛管孔隙度和田间持水量,20—60 cm土层为主要改善土层;同时,增加了土壤>0.25 mm粒级团聚体含量,且0—20 cm土层团聚体MWD、GMD值增加,D值降低,稳定性增加;秸秆还田配施化肥下,0—60 cm土层土壤>0.25 mm粒级团聚体含量呈减少趋势,且团聚体MWD、GMD值降低,D值增加,稳定性下降;各处理下油菜秸秆还田后对土壤容重、孔隙度、田间持水量和团聚体稳定性改善效果较好,荞麦秸秆还田更有利于提高土壤田间持水量,燕麦秸秆还田更有利于提高土壤团聚体稳定性。由此可见,作物秸秆还田对土壤结构具有一定的改良效果,不同作物所起到的效果不同。整体而言,油菜秸秆还田效果更好。

关键词: 秸秆还田; 土壤容重; 土壤孔隙度; 田间持水量; 团聚体

中图分类号:S152.4

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)04-0230-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.04.034

Effect of Different Crop Straw Mulching on Alluvial Soil Structure Improvement

FAN Qianyu¹, LI Junhui², LI Jin², LIU Zhenhua²,

HUANG Chunguo², YANG Zhenping², GAO Zhiqiang²

(1.College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University,

Taigu, Shanxi 030801; 2.College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801)

Abstract: To explore the effect of returning crop straw to the field structure improvement. In this experiment, we adopted in two factor split plot design that of main factor fertilization (F): F1 (NPK compound fertilizer), F0 (no fertilizer); and that of the auxiliary factor crops (B): B1 (rape), B2 (corn), B3 (potato), B4 (oats), B5 (buckwheat). Unplanted and without fertilization used as the control (CK). We measured several parameters that of soil bulk density, porosity, capillary porosity, field water holding capacity, aggregate size and MWD, GMD, D values. The results showed that straw mulching of 5 crops reduced soil bulk density, increased capillary porosity and field water retention in 0—60 cm soil layer, and 20—60 cm soil layer was the main improvement. At the same time, the content of soil >0.25 mm granular aggregates was increased, and the MWD and GMD values of aggregates in the 0—20 cm soil layer were increased, while the D values were decreased and the stability was increased. When straw was returned to the field with chemical fertilizer, the content of >0.25 mm granular aggregates in 0—60 cm soil decreased, MWD and GMD values decreased, and D values increased, and the stability decreased. We confirmed that rape straw returned treatment would improving soil density, porosity, filed water-holding capacity and aggregate stability, buckwheat straw returned treatment would increasing filed water-holding capacity, oat straw returned treatment would increasing soil aggregate stability. We concluded that returning crop straw to field would improving the soil structure and achieved different effects to differ crop types. In general, the rape straw returning to field is better improvement for soil structure.

Keywords: straw returning; soil bulk density; soil porosity; field capacity; aggregate

收稿日期:2020-01-13

资助项目:国家公益性行业农业科研专项(201503120);山西农谷建设科研专项(SXNGJSKYZX201701);山西省教学改革研究项目(J2017029);山西省“1331工程”重点实验室建设计划项目(201705D111007);山西省科技创新团队项目(201605D131041)

第一作者:范倩玉(1994—),女,硕士研究生,主要从事旱地作物—土壤互动与调控研究。E-mail:fanqianyu0612@163.com

通信作者:杨珍平(1973—),女,博士生导师,主要从事旱地作物—土壤互动调控机制研究。E-mail:yangzp.2@163.com

作物秸秆是农业生产中的主要废弃物之一,也是极为重要的养分资源^[1]。有研究^[2]表明,秸秆还田后土壤容重和紧实度降低,孔隙度增加,土壤肥力和生物活性得到提高。因此,充分利用秸秆对促进下茬作物的生长和培肥地力有重要意义^[3]。

油菜秸秆中富含氮、磷、钾等成分^[4],且油菜为喜磷作物,秸秆中磷含量较高^[5];玉米秸秆有机质含量约为 15%,且含有丰富的碳、氮、磷、钾、钙等元素^[6];马铃薯秸秆含有蛋白质、氨基酸和多种维生素和矿物质^[7];荞麦秸秆含有较多蛋白质和碳水化合物,同时含有钙、磷、镁、钾、硒等无机元素^[8],其秸秆粉对植物发芽及生长发育有抑制作用^[9]。油菜、玉米、马铃薯和荞麦秸秆还田后均有利于改善土壤和农田系统,可使土壤容重降低,土壤孔隙度增加^[10],并可以提升土壤氮、磷、钾的含量^[11]。目前,关于秸秆还田的研究主要集中在单种作物还田对土壤肥力的影响,而对不同作物秸秆还田改良土壤结构的比较研究相对较少。本文拟通过比较不同作物秸秆还田后同一土壤物理性质的变化差异,为合理轮作并秸秆还田以改善土壤结构与土壤环境提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验田概况

试验于 2018 年 11 月至 2019 年 5 月在山西省大同市新荣区破鲁乡高向台村进行(112°55'E,40°13'N)。该区位于山西省最北端,年均气温 5℃左右,年均降水量为 350 mm,无霜期平均 110 d,土壤类型为潮土,容重 1.47 g/cm³,总孔隙度 39.2%,田间持水量 25.6%。

1.2 供试作物与品种

油菜为“华油杂 62”,由华中农业大学国家油菜改良中心提供,生育期 140 天左右;玉米为“黑甜糯 639”,由山西省农业科学院忻州玉米所种子站提供,生育期 95 天左右;马铃薯为“晋薯 16”,由山西农业大学马铃薯团队提供,生育期 110 天左右;燕麦为“冀张燕 2 号”,由国家燕麦荞麦产业体系右玉试验站提供,生育期 100 天左右;荞麦为“晋荞麦 2 号”,由山西省农业科学院作物研究所提供,生育期 89~103 天。

1.3 试验设计

试验采用二因素裂区设计,主区为施肥(F),2 水平:F1,随播种一次性基施 NPK 复合肥 40 kg/666.7 m²(N:P₂O₅:K₂O 为 18:18:18,山西天脊煤化工集团有限公司),以不施肥 F0 为对照;副区为作物种类(B),5 水平:油菜 B1、玉米 B2、土豆 B3、燕麦 B4 和荞麦 B5;以不施肥不种作物的空白处理 CK 为对照。共计 11 个小区,小区面积 394 m²。重复 3 次,随机区组排列。2018 年 5 月 1 日播种玉米,5 月 3 日播种油菜和马铃薯,5 月 25 日播种燕麦和荞麦,播种行距

20 cm,播种量为油菜 1 kg/666.7 m²,土豆 100 kg/666.7 m²,玉米 1.35 kg/666.7 m²,荞麦 2 kg/666.7 m²,燕麦 4 kg/666.7 m²,2018 年 9 月 19 日作物收获,在作物收获后,将作物秸秆粉碎后全量翻压还田,施肥区秸秆还田量分别为:油菜 2 400 kg/hm²,玉米 18 486 kg/hm²,马铃薯 3 682 kg/hm²,燕麦 2 955 kg/hm²,荞麦 8 205 kg/hm²;未施肥区秸秆还田量分别为:油菜 2 250 kg/hm²,玉米 9 849 kg/hm²,马铃薯 2 750 kg/hm²,燕麦 2 765 kg/hm²,荞麦 5 128 kg/hm²,还田深度 25 cm。

1.4 土壤样品的采集与测定

1.4.1 土壤样品采集 2018 年 11 月 2 日将 5 种作物秸秆粉碎全量翻压还田,2019 年 5 月 8 日采集土壤样品。用环刀取 0—20,20—40,40—60 cm 剖面土壤样,铝盒取对应土层原状土,环刀取回后立即进行土壤容重、孔隙度、毛管孔隙度和田间持水量的测定,铝盒原状土取回后,置于室温下风干,用于土壤团聚体的分离。

1.4.2 测定指标与方法 土壤团聚体采用干筛法测定,套筛孔径依次为 3,1,0.25 mm。土壤容重、孔隙度、毛管孔隙度和田间持水量采用环刀法测定^[12],其计算公式为:

$$\text{土壤容重}(\text{g}/\text{cm}^3)=(W_3-W_0)/V \tag{1}$$

$$\text{土壤总孔隙度}(\%)=(W_1-W_3)/V\times 100\% \tag{2}$$

$$\text{土壤毛管孔隙度}(\%)=(W_2-W_3)/V\times 100\% \tag{3}$$

$$\text{土壤田间持水量}(\%)=(W_2-W_3)/(W_3-W_0)\times 100\% \tag{4}$$

式中:W₀为环刀重(g);W₁为饱和重(g)(环刀内土壤充分吸水直至饱和);W₂为环刀内土壤吸水至饱和和排出重力水后重量(g)(环刀内土壤充分吸水至饱和后静置 12 h);W₃为烘干土重和环刀重(g);V 为环刀体积(cm³)。

团聚体的稳定性采用平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)以及分形维数(D)来描述^[13],计算公式分别为:

$$\text{MWD}=\sum_{i=1}^n X_i W_i \tag{5}$$

$$\text{GMD}=\exp(\sum_{i=1}^n (\ln x_i w_i)) \tag{6}$$

$$\frac{W(\delta-\overline{d_i})}{w_0}=(\frac{\overline{d_i}}{d_{\max}})^{3-D} \tag{7}$$

式中:X_i为第 i 个筛子上团聚体直径(mm);W_i为第 i 个筛子上团聚体重量百分比(%); $\overline{d_i}$ 为某级团聚体平均直径(mm);w(δ- $\overline{d_i}$)表示粒径小于 $\overline{d_i}$ 的团聚体质量;w₀为团聚体总质量; $\overline{d_{\max}}$ 为团聚体的最大粒径(mm)。

1.5 数据整理与统计分析

文中数据采用 Microsoft Excel(2016)进行分析,

并用 SASV8 软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同作物秸秆还田对土壤容重的影响

土壤容重是一定容积的土壤(包括土粒及粒间的孔隙)烘干后质量与烘干前体积的比值。土壤越疏松多孔,容重越小,土壤越紧实,容重越大。作物秸秆还田后土壤容重发生明显变化(表 1):(1)在不施肥的基础土壤条件下,与 CK 相比,5 种作物秸秆还田后 0—60 cm 土

层土壤容重均降低。施肥对土壤容重无明显影响,但施肥与作物种类间存在明显的互作效应,油菜、玉米秸秆在施肥基础上还田土壤容重降低。(2)无论施肥与否,5 种作物秸秆还田后 0—60 cm 土层土壤容重均降低,这主要是 20—60 cm 土层降低造成的。表明秸秆还田可加大土壤疏松度,但施肥无明显效果,且油菜秸秆施肥条件下还田、荞麦秸秆在不施肥条件下还田更有利于 0—60 cm 土层土壤容重降低。

表 1 不同处理土壤容重变化

处理	土层	土壤容重/(g·cm ⁻³)						
	深度/cm	油菜	玉米	马铃薯	燕麦	荞麦	平均	CK
施肥	0—20	1.17±0.01cB	1.32±0.05bA	1.50±0.07aA	1.27±0.03bB	1.26±0.05bB	1.30	—
	20—40	1.28±0.09cAB	1.34±0.06bcA	1.41±0.02abAB	1.38±0.01bA	1.47±0.03aA	1.38	—
	40—60	1.40±0.08aA	1.35±0.09aA	1.33±0.01aB	1.30±0.05aB	1.41±0.08aAB	1.36	—
	平均	1.28	1.34	1.41	1.32	1.38		
	F				NS			
不施肥	0—20	1.22±0.06cdB	1.34±0.03bA	1.43±0.01aA	1.27±0.05cA	1.18±0.03dC	1.29	1.25±0.01cB
	20—40	1.52±0.01aA	1.37±0.01bcA	1.40±0.04bA	1.34±0.03cA	1.39±0.02bcA	1.40	1.52±0.06aA
	40—60	1.30±0.08bAB	1.40±0.07bA	1.39±0.05bA	1.30±0.04bA	1.31±0.01bB	1.34	1.56±0.08aA
	平均	1.35	1.37	1.41	1.30	1.29		1.44
	B				* *			
	S				* *			
	F×B				* *			

注:表中数据为平均值±标准差;同行数据不同小写字母表示同一土层下各处理差异显著,同列数据不同大写字母表示同一施肥条件下各土层差异显著($P<0.05$);F 为施肥处理;B 为作物种类;S 为土层深度。下同。

2.2 不同作物秸秆还田对土壤孔隙度的影响

土壤孔隙具有通气、通水和保水作用,而毛管孔隙具有毛细作用,且孔隙中水的毛管传导率大,易于被植物吸收利用,其大小反映了土壤保持水分的能力。对作物秸秆还田后土壤孔隙度的变化(表 2,表 3)分析可得:(1)在不施肥的基础土壤条件下,与 CK 相比,5 种作物秸秆还田后 0—60 cm 土层土壤总孔隙度和毛管孔隙度增加(荞麦除外)。施肥对土壤孔

隙度无明显影响,但施肥与作物种类间存在显著的互作效应,油菜、玉米秸秆在施肥基础上还田土壤孔隙度增加。(2)总体来看,无论施肥与否,作物秸秆还田后 0—60 cm 土层土壤总孔隙度和毛管孔隙度均增加(荞麦除外),主要为 20—60 cm 土层的增加。表明秸秆还田有利于增加土壤通气、通水和保水能力,但施肥效果不明显,且油菜秸秆还田对 0—60 cm 土层土壤孔隙度改善效果最明显。

表 2 不同处理土壤总孔隙度变化

处理	土层深度/cm	土壤总孔隙度/%						
		油菜	玉米	马铃薯	燕麦	荞麦	平均	CK
施肥	0—20	41.2±1.8aA	38.7±1.4abA	37.2±0.2bAB	40.0±1.3aA	40.6±1.6aA	39.5	—
	20—40	37.7±1.0aA	36.7±1.7abA	35.0±0.6bcB	34.4±0.3cB	33.9±0.9cB	35.5	—
	40—60	36.9±1.2bA	38.6±0.8aA	39.0±0.9aA	38.1±0.4abA	32.1±1.4cB	36.9	—
	平均	38.6	38.0	37.1	37.5	35.5		
	F				NS			
不施肥	0—20	39.9±1.2bA	39.2±0.7bA	40.8±1.1abA	39.2±1.0bA	39.2±0.5bA	39.7	42.1±0.6aA
	20—40	35.5±0.4bB	36.7±0.7aB	37.6±0.0aAB	36.8±0.5aB	36.9±0.6aAB	36.7	35.4±0.3bB
	40—60	37.8±1.0aAB	36.6±0.7aB	34.4±1.0bB	37.5±0.4aAB	34.9±0.6bB	36.2	34.6±0.2bB
	平均	37.7	37.5	37.6	37.8	37.0		37.4
	B				* *			
	S				* *			
	F×B				* *			

表 3 不同处理土壤毛管孔隙度变化

处理	土层深度/cm	土壤总孔隙度/%						平均	CK
		油菜	玉米	马铃薯	燕麦	荞麦			
施肥	0—20	39.1±1.2aA	38.7±0.6aA	35.5±0.4cA	39.7±0.2aA	37.2±0.7bA		38.0	—
	20—40	35.9±1.0aA	33.7±0.5bB	33.3±0.5bA	32.4±0.7bB	34.1±1.1bAB		33.9	—
	40—60	36.0±0.1aA	36.3±1.1aAB	36.4±1.4aA	34.3±1.1bB	32.6±0.9cB		35.1	—
	平均	37.0	36.2	35.1	35.5	34.6			
不施肥	0—20	39.8±0.5aA	37.7±0.6bA	39.0±0.7aA	39.0±1.1aA	36.9±0.1bA		38.5	39.7±0.4aA
	20—40	33.8±0.5cdB	34.7±0.8bcB	35.8±0.3aB	33.1±0.9dB	35.1±0.7abB		34.5	33.1±0.7dB
	40—60	35.5±0.6aB	34.3±0.6abB	32.0±0.9cC	35.1±0.3aB	32.8±0.1cC		33.9	33.3±1.1bcB
	平均	36.4	35.6	35.6	35.7	34.9			35.4
	F				NS				
	B				* *				
	S				* *				
	F×B				*				

2.3 不同作物秸秆还田对土壤田间持水量的影响

田间持水量是土壤所能稳定保持的最高土壤含水量,是对作物有效的最高土壤水含量。分析作物秸秆还田后土壤田间持水量的变化情况(表 4)发现:(1)在不施肥的基础土壤条件下,与 CK 相比,5 种作物秸秆还田后 0—60 cm 土层土壤田间持水量均增加。施肥明显影响土壤田间持水量,且施肥与作物种类间存在极显著的互作效应,其中施肥条件下油菜、玉米秸秆还田后 0—60

cm 土层土壤田间持水量分别增加 4.1%和 3.7%。(2)无论施肥与否,5 种作物秸秆还田后 0—60 cm 土层土壤田间持水量均增加,主要为 20—60 cm 土层增加造成的。表明秸秆还田能提高土壤保水能力,有利于作物更好地利用土壤水分,且施肥效果明显,能促进油菜、玉米秸秆还田后田间持水量的增加,同时油菜秸秆施肥条件下还田、荞麦秸秆在不施肥条件下还田更有利于 0—60 cm 土层土壤田间持水量增加。

表 4 不同处理土壤田间持水量变化

处理	土层深度/cm	土壤田间持水量/%						平均	CK
		油菜	玉米	马铃薯	燕麦	荞麦			
施肥	0—20	33.9±1.4aA	27.0±1.1cA	24.1±1.3dA	30.9±1.5bA	33.4±0.3aA		29.9	—
	20—40	24.8±0.1bB	27.6±0.8aA	24.0±0.7bA	25.1±1.1bB	24.9±1.4bB		25.3	—
	40—60	25.7±0.8bB	28.4±0.6aA	28.3±1.3aA	27.8±1.0aAB	21.1±0.3cC		26.3	—
	平均	28.1	27.7	25.5	27.9	26.5			
不施肥	0—20	30.6±0.9bA	28.4±0.5cA	28.3±1.3cA	31.4±0.3bA	36.6±1.2aA		31.1	32.2±0.6bA
	20—40	22.5±0.4bB	25.7±0.4aB	26.1±0.6aA	26.5±0.1aB	25.6±0.5aB		25.3	22.4±1.1bB
	40—60	28.0±0.9aA	25.9±0.5bB	27.0±0.7abA	26.7±1.1abB	25.6±0.3bB		26.6	21.4±1.4cB
	平均	27.0	26.7	27.1	28.2	29.3			25.3
	F				* *				
	B				* *				
	S				* *				
	F×B				* *				

2.4 不同作物秸秆还田对土壤团聚体分布特征的影响

土壤团聚体是土粒经各种作用形成的直径为 10~0.25 mm 的结构单位,是良好的土壤结构体。对作物秸秆还田后土壤团聚体的分布特征(图 1)进行分析可得:(1)在不施肥的基础土壤条件下,与 CK 相比,5 种作物秸秆还田后 0—60 cm 土层土壤大团聚体(>0.25 mm)数量增多(B2 处理除外),且均以>3 mm 粒级团聚体为优势团聚体,而作物秸秆在施肥条件下还田后土壤大团聚体呈现减少趋势。表明秸秆还田有利于 0—60 cm 土层土壤大团聚体数量增加,而施肥则对土壤大团聚体的形成产生不利影响。

2.5 不同作物秸秆还田对土壤团聚体稳定性的影响

土壤团聚体稳定性越强,抗侵蚀能力也就越强。作物秸秆还田后对土壤团聚体稳定性指标(表 5)进行分析可得:(1)在不施肥的基础土壤条件下,与 CK 相比,5 种作物秸秆还田后 0—60 cm 土层土壤团聚体稳定性指标无明显变化规律。施肥对团聚体稳定性产生明显影响,作物秸秆在施肥条件下还田后 0—60 cm 土层团聚体 MWD、GMD 值均减小,D 值均增加,团聚体稳定性下降(玉米秸秆除外)。(2)在不考虑施肥因素下,作物秸秆还田后 0—20 cm 土层土壤团聚体 MWD、GMD 值明显增加,D 值明显减小,团

聚体稳定性增加。表明秸秆还田有利于增加 0—20 cm 土层土壤团聚体稳定性,但施肥不利于土壤团聚体的稳定,且燕麦秸秆还田对增加 0—60 cm 土层土壤团聚体的稳定性效果最好,油菜次之。

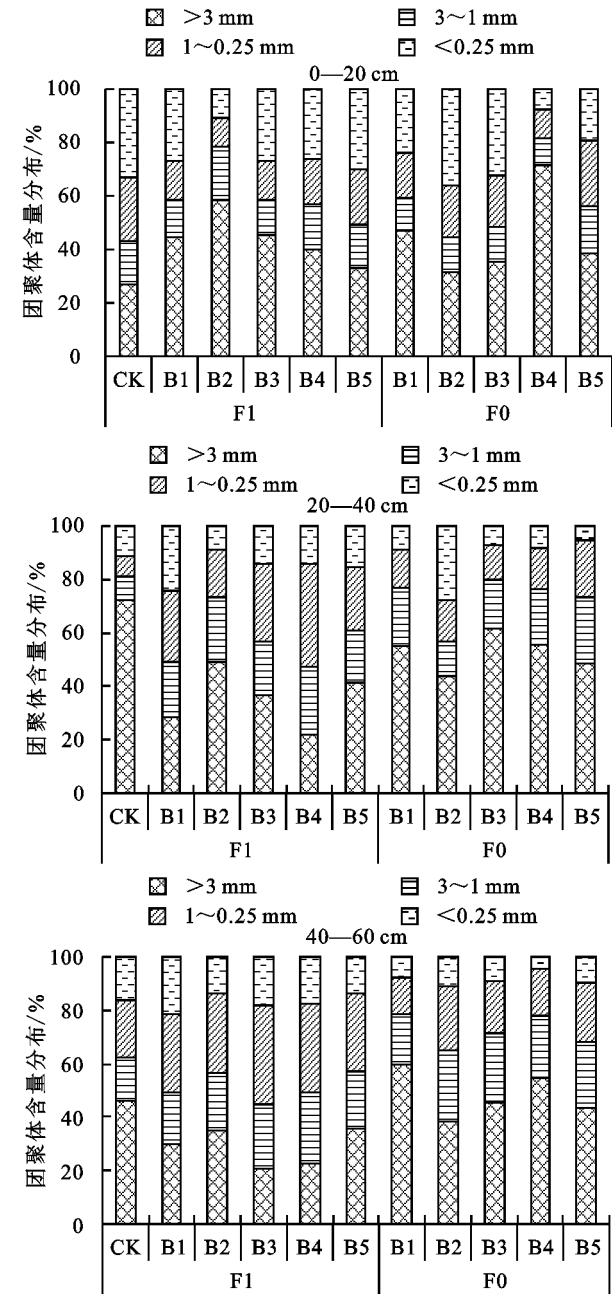


图 1 不同处理对土壤团聚体分布特征的影响

3 讨论

土壤容重和孔隙度与土壤松紧状况、土壤结构和腐殖质含量密切相关,是重要的土壤物理指标^[14]。本研究发现,作物秸秆还田可降低土壤容重,增加土壤孔隙度,这与刘威^[15]的研究结果一致,但不同作物影响程度不同,且 20—60 cm 土层为主要改善土层。一方面可能是因为作物生长期间根系的穿插作用,根系直径、数量、长短以及根系分泌物等影响了土壤容重和孔隙度;另一方面,秸秆粉碎还田后,腐解成

为有机质,促进了土壤微粒的团聚作用,土壤结构得到改善,从而使土壤容重降低,孔隙度增加^[16]。本试验为翻压还田,还田深度 25 cm,这可能会增加土壤表面水分蒸发,不利于水分保持^[17],且不同作物根系生长特点不同,秸秆还田量也存在差异,因此造成土层与作物间的差异。本研究中施用化肥对土壤容重和孔隙度的改善无明显效果,可能是因为施用化肥年限较低,其对土壤结构的影响并没有完全显现出来。本研究还发现,油菜秸秆还田对 0—60 cm 土层土壤容重和孔隙度的改良效果较好,这可能是因为是在土埋方式下,相同时间跨度,油菜较其他作物秸秆腐解率大。

土壤田间持水量是土壤能稳定保持的土壤含水量的最高值,常用来作为作物有效水上限以及灌溉上限^[18]。本研究发现,作物秸秆还田可增加 0—60 cm 土层土壤田间持水量,20—60 cm 土层为主要增加土层,且不同作物影响效果不同。这是因为影响田间持水量的主要因素是容重、有机质含量和机械组成,田间持水量随黏粒含量和有机质含量的增大而增大^[19],本试验中 20—60 cm 土层的土壤容重降低,黏粒含量增大,且秸秆还田后提高了土壤有机质含量,进而提高了土壤田间持水量。本研究中施肥明显影响田间持水量,增加了油菜、玉米秸秆还田后 0—60 cm 土层田间持水量,这可能是因为油菜和玉米本身叶片较大,施肥促进了油菜、玉米的生长发育,增加了地表植被覆盖率,减少了生育期土壤水分蒸发;秸秆主要由纤维素、半纤维素和木质素组成,在土壤中难以被分解,施用化肥可调节土壤碳氮比,加速秸秆分解^[20],在相同时间内,油菜、玉米秸秆对化肥的响应效果较好。本研究还发现,油菜秸秆施肥条件下还田,荞麦秸秆在不施肥条件下还田更有利于 0—60 cm 土层土壤田间持水量增加。

土壤团聚体作为土壤结构的基本单元,是评价土壤肥力和土壤质量的重要指标^[21]。本研究表明,作物秸秆还田有利于 0—60 cm 土层土壤大团聚体数量增加,这与江晶等^[17]研究结果一致。这可能是由于秸秆还田后土壤有机质含量增加,有机质中的多糖、胡敏酸、蛋白质等胶结物质的含量也相应增加,从而促使小粒径团聚体胶结形成大团聚体^[22]。本研究还发现,施肥对土壤大团聚体的形成产生不利影响,5 种作物秸秆在施肥条件下还田土壤大团聚体数量呈现减少趋势,这可能是因为施用化肥增加了土壤电解质浓度,电解质对土壤团聚体起分散作用,从而减少了大团聚体形成^[23]。

平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)、分形维数(D)等常被作为团聚体稳定性指标,MWD 和 GWD

值越大, D 值越小,表示团聚体稳定性越强,抗蚀能力越强^[24]。本研究结果表明,5 种作物秸秆还田后 0—20 cm 土层 MWD、GMD 值增大, D 值减小,土壤团聚体稳定性增大。这可能是由于秸秆还田后影响了土壤微生物的生长和繁殖,同时生成的有机聚合物借离子键、氢键、范德华力以及腐殖质复合体等连接在黏粒的表面,稳定了

土壤结构^[25]。整体来看,作物秸秆在施肥条件下还田后 0—60 cm 土层团聚体 MWD、GMD 值均减小, D 值均增加,团聚体稳定性下降(玉米秸秆除外),可能是因为施用化肥会增加土壤电解质浓度,其对土壤团聚体起分散作用^[23]。本研究还发现,燕麦秸秆还田对土壤团聚体稳定性改良效果最好,油菜次之。

表 5 不同处理土壤团聚体稳定性指标

土壤团聚体 稳定性	处理	土层 深度/cm	油菜	玉米	马铃薯	燕麦	荞麦	平均	CK
MWD	施肥	0—20	1.50bA	1.97aA	1.51bA	1.40bA	1.19bA	1.51	—
		20—40	1.12cdA	1.75aA	1.37bcA	1.00dA	1.48bA	1.34	—
		40—60	1.18abA	1.38aA	0.95bA	1.03abA	1.35abA	1.18	—
		平均	1.27	1.70	1.28	1.14	1.34		
	不施肥	0—20	1.57bA	1.12dA	1.23cdC	2.27aA	1.40bcA	1.52	1.01dA
		20—40	1.89abcA	1.46cA	2.04abA	1.85abcA	1.75bcA	1.80	2.26aA
		40—60	2.01aA	1.46cA	1.61bcB	1.89abA	1.59bcA	1.71	1.59bcA
		平均	1.82	1.35	1.63	2.00	1.58		1.62
		F				* *			
		B				NS			
		S				*			
		F×B				* *			
GMD	施肥	0—20	1.32abA	1.62aA	1.35abA	1.22bA	1.08bA	1.32	—
		20—40	0.94bcA	1.36aA	1.00bcA	0.75cA	1.13abA	1.04	—
		40—60	0.93aA	0.97aA	0.75aA	0.82aA	0.99aA	0.89	—
		平均	1.06	1.32	1.03	0.93	1.07		
	不施肥	0—20	1.33bA	1.08bcA	1.13bcA	1.89aA	1.09bcA	1.30	0.97cA
		20—40	1.51bA	1.31bA	1.63abA	1.47bA	1.26bA	1.44	1.99aA
		40—60	1.59aA	1.10bA	1.25abA	1.44abA	1.19bA	1.31	1.23abA
		平均	1.48	1.16	1.34	1.60	1.18		1.40
		F				* *			
		B				*			
		S				* *			
		F×B				* *			
D	施肥	0—20	1.83aA	0.97bA	1.82aA	1.88aA	2.08aA	1.72	—
		20—40	2.10aA	1.20cA	1.88abA	2.12aA	1.75bA	1.81	—
		40—60	2.11aA	1.92aA	2.20aA	2.09aA	1.85aA	2.03	—
		平均	2.01	1.36	1.97	2.03	1.89		
	不施肥	0—20	1.80bA	2.21aA	2.11aA	0.74cA	1.89bA	1.75	2.24aA
		20—40	1.01bA	1.86aAB	0.86bA	1.05bA	1.23bA	1.20	0.78bA
		40—60	0.95bA	1.59abB	1.25abA	0.97bA	1.47abA	1.25	1.69aA
		平均	1.25	1.89	1.41	0.92	1.53		1.57
		F				* *			
		B				*			
		S				* *			
		F×B				* *			

4 结 论

5 种作物秸秆还田后 0—60 cm 土层的土壤容重降

低,毛管孔隙度和田间持水量增加。施肥对土壤容重和孔隙度无明显影响,但明显影响田间持水量,且施肥与

作物种类间存在明显互作效应,可降低油菜、玉米秸秆还田后土壤容重,增加孔隙度和田间持水量。

5 种作物秸秆还田后,0—60 cm 土层均以 >0.25 mm 粒级团聚体为优势团聚体,且 0—20 cm 土层大团聚体数量增加,MWD、GMD 值增大, D 值减小,土壤团聚体稳定性增加。施肥条件下 0—60 cm 土层大团聚体数量呈减少趋势,团聚体稳定性降低。

综上所述,作物秸秆还田对潮土结构有改良效果。可不同程度降低土壤容重,增大土壤孔隙度和田间持水量,增加土壤大团聚体数量及土壤团聚体稳定性,但配施化肥的效果不显著。且总体来看,油菜秸秆还田对土壤结构的改良效果最明显,表明油菜秸秆还田更有利于土壤结构与环境的改善,可为合理轮作并秸秆还田在稳产、高产的基础上实现土壤可持续发展提供新思路以及理论依据。

参考文献:

- [1] 黄婷苗,郑险峰,侯仰毅,等.秸秆还田对冬小麦产量和氮、磷、钾吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):853-863.
- [2] 刘吉宇.秸秆还田方式及年限对土壤肥力及团聚体中有机质结构特征的影响[D].长春:吉林农业大学,2018.
- [3] 黄婷苗.秸秆还田条件下冬小麦高产高效的氮素管理与调控[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [4] 胡宏祥,程燕,马友华,等.油菜秸秆还田腐解变化特征及其培肥土壤的作用[J].中国生态农业学报,2012,20(3):297-302.
- [5] 乌兰,马伟杰,义如格勒图,等.油菜秸秆饲用价值分析及其开发利用[J].畜牧与饲料科学,2010,31(增刊 1):421-422.
- [6] 于寒.秸秆还田方式对土壤微生物及玉米生长特性的调控效应研究[D].长春:吉林农业大学,2015.
- [7] 邹文艳,曹永慧,赵立梅,等.马铃薯高产栽培技术研究[J].农业与技术,2018,38(6):142.
- [8] 董雪妮,唐宇,丁梦琦,等.中国荞麦种质资源及其饲用价值[J].草业科学,2017,34(2):378-388.
- [9] 徐冉,续荣治,王彩洁,等.用荞麦秸秆粉防除杂草的初步研究[J].植物保护,2002(5):24-26.

(上接第 229 页)

- [39] 马爱平,王娟玲,靖华,等.不同播种行距与密度对小麦产量和水分利用效率的影响[J].陕西农业科学,2009,55(1):3-5.
- [30] Jiang X L, Tong L, Kang S Z, et al. Planting density affected biomass and grain yield of maize for seed production in an arid region of Northwest China[J].Journal of Arid Land,2018,10(2):292-303.

- [10] 战秀梅,彭靖,李秀龙,等.耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J].华北农学报,2014,29(3):204-209.
- [11] 施平丽.配方施肥对巨峰葡萄园土壤理化性质及果实品质的影响研究[D].四川 雅安:四川农业大学,2017.
- [12] 聂军,郑圣先,廖育林,等.湖南双季稻种植区不同生产力水稻土的物理性质[J].应用生态学报,2010,21(11):2777-2784.
- [13] 潘彬.长期不同施肥及产胞外多糖菌株对土壤团聚体结构与生物活性的影响[D].南京:南京农业大学,2015.
- [14] 顾道健,薛朋,陆希婕,等.秸秆还田对水稻生长发育和稻田温室气体排放的影响[J].中国稻米,2014,20(3):1-5.
- [15] 刘威.连续秸秆还田对土壤结构性、养分和有机碳组分的影响[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [16] 田育天,李湘伟,谢新乔,等.秸秆还田对云南典型烟区土壤物理性状的影响[J].土壤,2019,51(5):964-969.
- [17] 江晶,武均,张仁陟,等.碳氮添加对雨养农田土壤物理性状的影响[J].水土保持学报,2019,33(1):234-240.
- [18] 岳海晶,樊贵盛.灰色 GM(0,N)模型在土壤田间持水量预测中的应用[J].节水灌溉,2016(1):19-22.
- [19] 颜永毫,郑纪勇,张兴昌,等.生物炭添加对黄土高原典型土壤田间持水量的影响[J].水土保持学报,2013,27(4):120-124,190.
- [20] 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.
- [21] 王丽,李军,李娟,等.轮耕与施肥对渭北旱作玉米田土壤团聚体和有机碳含量的影响[J].应用生态学报,2014,25(3):759-768.
- [22] 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.
- [23] 蒋劲博.长期施肥对灰漠土团聚体形成及有机碳固存影响机制研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016.
- [24] 李涵,张鹏,贾志宽,等.渭北旱塬区秸秆覆盖还田对土壤团聚体特征的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):27-33.
- [25] 冀保毅.深耕与秸秆还田的土壤改良效果及其作物增产效应研究[D].郑州:河南农业大学,2013.
- [31] Zheng J, Fan J L, Zhang F C, et al. Mulching mode and planting density affect canopy interception loss of rainfall and water use efficiency of dryland maize on the Loess Plateau of China[J].Journal of Arid Land,2018,10(5):794-808.
- [32] 王新兵,侯海鹏,周宝元,等.条带深松对不同密度玉米群体根系空间分布的调节效应[J].作物学报,2014,40(12):2136-2148.