

秸秆还田对土壤微团聚体特征的影响

宋洁, 李志洪, 赵小军, 刘龙, 崔婷婷

(吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

摘要: 采用尼龙网袋法进行秸秆还田的原位模拟, 比较不同秸秆还田量在不同深度下还田对土壤微团聚体组成及稳定性、微团聚体有机碳及腐殖酸组分的影响。试验设置秸秆还田量 R0(0)、R1(0.44%)、R2(0.88%)、R3(1.32%) 和 0—15(S1)、15—30(S2)、30—45(S3) cm 3 个不同还田深度交叉处理。结果表明: 0.25~0.02 mm 的微团聚体为优势粒级, 秸秆还田使各土层 0.25~0.02, >0.25 mm 的团聚体含量增加, 而 0.02~0.002, <0.002 mm 的微团聚体含量减少, 且各粒级含量的变化幅度均在 S1 层最大。不同秸秆量处理下不同土层, 不同粒级的微团聚体的平均重量直径(MWD)较无秸秆还田均有所增加。同时, 施用不同量秸秆能提高土壤各粒级微团聚体中有机碳及腐殖酸含量, 且在同一土层中随粒级减小, 有机碳及腐殖酸含量增加, 而在不同土层内, 有机碳及腐殖酸含量表现为 S1>S2>S3。胡敏酸与富里酸比值对于不同土层, 不同粒级的微团聚体则呈现不同的变化趋势。秸秆还田能促使土壤微团聚体向更大粒级的团聚体转化, 有效增强土壤肥力的同时改善了土壤结构。

关键词: 秸秆还田; 微团聚体; 土壤腐殖质组分

中图分类号: S151.9

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)05-0116-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.05.019

Effects of Straw Returning on Soil Micro-aggregate Characteristics

SONG Jie, LI Zhihong, ZHAO Xiaojun, LIU Long, CUI Tingting

(College of Resources and Environment of Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

Abstract: In order to compare the effects of different amounts with straw returning in different soil layers on the composition and stability of micro-aggregates, organic carbon and the humus components of micro-aggregates, situ-simulation experiment using nylon bag was conducted. In the experiment, four levels of R0 (0), R1 (0.44%), R2 (0.88%), R3 (1.32%) and three different returning depths of 0—15(S1), 15—30(S2), 30—45(S3) cm designd. The results showed that the micro-aggregates of 0.25~0.02 mm were the predominant class, and the aggregates of 0.25~0.02 and >0.25 mm content in the soil layers increased with the straw returning, while the aggregates of 0.02~0.002 and <0.002 mm were reduced, and the largest change among the particle content occurred in the S1 layer. By incorporating the straw into the soil, the mean weight diameter (MWD) of different size micro-aggregates in different soil layers increased compared with those without straw. At the same time, different amounts of straw returning to the soil could increase the content of humic acid and fulvic acid in each fraction of micro-aggregates, and in the same soil layer, the content of organic carbon and humic acid increased with the decrease of particle size, while in different soil layers, the content of organic carbon and humic acid showed as S1 > S2 > S3. The ratio of humic acid to fulvic acid showed different trends for different micro-aggregates in different soil layers. As a result, it can be seen that straw returning can promote the transformation of soil micro-aggregates to larger aggregates, thus increase the soil fertility and improving the structure of the soil.

Keywords: straw returning; micro-aggregate; component of humus

我国玉米秸秆资源丰富,总量常在 2 亿 t 以上^[1],玉米作为东北地区的主要粮食作物,玉米秸秆产量占全国 31%^[2],但其中大部分被农户随意丢弃或就地焚烧,不仅会造成资源的极度浪费,也会给生态环境造成污染^[3]。已有研究^[4]表明,秸秆还田不仅可以增加土壤养分含量,还可以改善土壤结构,增强土壤蓄水保墒能力。微团聚体作为土壤结构的颗粒单位,是有机无机复合胶体通过多次聚合而成,可以有效反映土壤团聚程度,是土壤良好结构体的基础^[5],王宁^[6]研究表明,黑土中<10 μm 的微团聚体总量超过 50%,是黑土土壤肥力的主要载体。曹晶晶等^[7]研究发现,秸秆还田能显著提高长期连作棉田土壤水稳性团聚体的稳定性,缓解连作的不利影响,提升土壤肥力。隋雨含等^[8]研究表明,秸秆焚烧会使土壤团粒结构向小粒级微团聚体聚集,破坏了土壤团聚结构。李鉴霖等^[9]研究了不同土地利用方式下对土壤团

聚体稳定性及有机碳的影响。目前,有关秸秆还田对土壤微团聚体的影响研究主要集中于微团聚体组成及稳定性,对不同秸秆还田量在不同土层的各粒级微团聚体的腐殖质组成研究较少。因此,本文通过尼龙网袋法进行田间原位模拟,探讨了不同还田深度下不同秸秆还田量对微团聚体组成及稳定性,各粒级微团聚体有机碳及腐殖酸含量、结构及光学特性的影响。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验设在吉林省四平市梨树县泉眼沟中国农业大学实验站,该地区年均气温 4.8 ℃,年均降水量 617 mm,属北温带大陆性季风气候。供试土壤为黑土,土壤的基本理化性质见表 1。试验所用秸秆为上季玉米秸秆,将其粉碎至 2~5 cm 以备使用。秸秆有机碳、全氮、全磷、全钾含量分别为 437.62,8.29,1.18,12.22 g/kg。

表 1 供试土壤基本理化性质

土层深度/cm	pH	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)
0—15	5.52	128.3	61.6	172.9	0.91	28.3
15—30	5.95	82.6	20.7	108.7	0.59	19.9
30—45	6.54	58.3	13.2	71.8	0.44	12.5

1.2 试验设计

以田间单位面积的秸秆产量(10 000 kg/hm²)还到同样单位面积土壤为常规全量还田,秸秆与土壤的重量比为 0.44%。试验共设置秸秆未还田 R0(0)、全量还田 R1(0.44%)、全量还田的 2 倍 R2(0.88%)及全量还田的 3 倍 R3(1.32%) 4 个水平;同时设置 3 个还田深度 0—15(S1),15—30(S2),30—45(S3) cm。在每个尼龙袋中填装对应土层土壤 4 kg,将玉米秸秆用尿素调节碳氮比为 25:1 后按上述所设比例添加秸秆,并与土壤充分混合。采用尼龙袋田间原位填埋的方法,将尼龙袋于 2015 年 5 月玉米播种后埋于相应原土层,并于 2016 年 10 月收获玉米前挖出尼龙网袋采集土样。试验设置秸秆还田量和不同的还田深度的交叉处理,共 12 个处理,每个处理设置 3 次重复。

1.3 测试项目与方法

将从尼龙袋中所取土样自然风干后过 1 mm 筛。土壤基础养分分析按常规方法测定,碱解氮采用碱解扩散法测定,速效钾采用乙酸铵提取法测定,速效磷测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 法,全磷测定使用酸熔钼锑抗比色法,土壤 pH 使用 pH S-3C 型 pH 计测定,有机质测定采用重铬酸钾外加热法^[10]。

土壤微团聚体组成采用超声—沉降法测定^[11],即称取过 1 mm 筛的风干土样 40 g 于烧杯中,按土水比 1:

10 加入蒸馏水浸泡过夜后经超声波分散 15 min,将土液过 60 目筛(0.25 mm)并用蒸馏水洗入 1 000 mL 烧杯中,留在筛网的团聚体(>0.25 mm)洗入铝盒、烘干称重。根据国际制分级标准,利用司笃克斯定律吸取各粒级,经烘干后定量,最后过筛备用。

土壤团聚体稳定性指标用平均重量直径(MWD,mm)来描述^[12]。计算公式为:

$$MWD=\sum_{i=1}^nW_iX_i$$

式中: X_i 为筛分出的任意粒径范围内团聚体的平均直径(mm); W_i 为任意粒径范围内团聚体重量百分比(%)。

土壤腐殖质组成的测定采用腐殖质组成修改法,腐殖酸各组分有机碳用重铬酸钾外加热法测定^[13]。色调系数($\Delta\log K$)参照 Kumada 等^[14]的方法。

1.4 数据处理

采用 Excel 和 SPSS 20.0 软件进行数据分析和作图,利用 SPSS 软件进行方差分析(AVOVA),用最小显著差异法(LSD)进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田对土壤微团聚体组成及稳定性的影响

由表 2 可知,土壤中微团聚体主要集中在 0.25~0.02 mm 粒级微团聚体中,其次是 0.02~0.002 mm 粒级微团聚体,含量最少的是<0.002 mm 的粒级。在 S1 土层,对于 0.25~0.02 mm 团聚体,R1、R2、R3

处理较 R0 增加了 0.24 %，11.08%，7.56%，且 R2、R3 较 R0 显著增加。而 0.02~0.002 mm 粒级团聚体和 <0.002 mm 粒级团聚体，R1、R2、R3 较 R0 分别减少了 0.69%，17.36%，8.71%和 2.41%，34.76%，24.51%，与 R0 相比，R1 处理对各粒级团聚体百分含量无显著影响，R2 和 R3 处理显著减少。在 S2 土层，对 0.25~0.02 mm 粒级团聚体，R1、R2、R3 处理较 R0 增加了 7.74%，6.88%，0.73%，0.02~0.002 mm 粒级团聚体和 <0.002 mm 粒级团聚体，R1、R2、R3 较 R0 分别减少了 8.62%，15.66%，6.49%和 23.18%，4.08%，11.59%。在 S3 土层，0.25~0.02 mm 粒级团聚体，R1、R2、R3 处理较 R0 增加了 0.07%，2.6%，1.83%，0.02~0.002 mm 粒级团聚体和 <0.002 mm 粒级团聚

体，R1、R2、R3 较 R0 分别减少了 3.39%，8.47%，2.13%和 14.38%，12.66%，8.92%，该土层各粒级含量有些变化，但从方差分析来看变化不显著。

平均重量直径(MWD)作为判断土壤团聚体稳定性的重要指标，MWD 越大表示团聚体的团聚程度越高，稳定性和抗侵蚀能力越强^[15]。由表 2 可知，添加秸秆后，各土层的平均重量直径均有所增加，但差异不显著。在 S1 土层内，R1、R2、R3 较 R0 处理，平均重量直径分别增加了 5.5%，25.69%，15.29%，在 S2 土层，MWD 分别增加了 2.22%，8.86%，16.9%，S3 土层 MWD 则分别增加 2.95%，8.58%，12.06%。由此表明，添加玉米秸秆后会增强土壤微团聚体的稳定性。

表 2 秸秆还田对土壤团聚体组成及平均重量直径的影响

处理	土层深度/cm	各粒级团聚体比例/%				MWD/mm
		>0.25 mm	0.25~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm	
R0	0—15	1.07±0.06c	57.30±1.48b	30.41±1.73a	11.22±0.43a	3.27b
	15—30	1.95±0.32c	60.05±1.62b	28.67±1.35a	9.32±1.12a	3.61a
	30—45	2.70±0.32b	59.70±1.22a	27.17±2.34a	10.43±0.67a	3.73c
R1	0—15	1.40±0.03c	57.44±2.54b	30.20±1.26a	10.95±0.77a	3.45b
	15—30	1.93±0.42c	64.70±1.80a	26.20±1.38b	7.16±1.09b	3.69a
	30—45	3.08±0.25b	59.74±0.97a	26.25±1.46a	8.93±0.50a	3.84bc
R2	0—15	3.90±0.12a	63.65±2.41a	25.13±1.71c	7.32±0.44b	4.11a
	15—30	2.70±0.26b	64.18±2.10a	24.18±2.50c	8.94±0.58a	3.93a
	30—45	3.77±0.44b	61.25±2.33a	24.87±0.92a	9.11±0.36a	4.05ab
R3	0—15	2.14±0.59b	61.63±2.18a	27.76±1.48b	8.47±1.01b	3.77ab
	15—30	4.46±0.31a	60.49±0.94b	26.81±1.11ab	8.24±0.55ab	4.22a
	30—45	4.82±0.65a	60.79±1.09a	26.59±2.13a	9.50±0.32a	4.18a

注：同列不同小写字母表示同一土层相同粒级不同秸秆还田量间差异显著性。下同。

2.2 秸秆还田对土壤微团聚体中有机碳的影响

由表 3 可知，S1 土层内，0.25~0.02，0.02~0.002 mm 微团聚体有机碳含量，与 R0 相比，R1、R2、R3 分别增加了 20.76%，45.58%，53.19%和 15.93%，32.87%，33.75%，且均随秸秆还田量的增加而增加，除 0.02~0.002 mm 粒级的 R2 和 R3 处理，其余均显著。而<0.002 mm 微团聚体有机碳含量较 R0 相比，分别增加了 1.69%，14.12%，8.87%，且 R2、R3 处理增加差异显著。S2 土层内，0.25~0.02，0.02~0.002，<0.002 mm 粒级微团聚体有机碳含量与 R0 相比，分别增加了 3.65%，20.44%，14.96%，16.49%，24.05%，18.17%和 5.29%，9.99%，16.61%。S3 土层内，0.25~0.02，0.02~0.002，<0.002 mm 粒级微团聚体有机碳含量与 R0 相比，分别增加了 49.51%，71.99%，82.74%，38.64%，36.73%，59.66%和 19.39%，30.4%，19.71%，且添加秸秆后有机碳含量增加显著。

表 3 秸秆还田对土壤微团聚体有机碳含量的影响

处理	土层深度/cm	微团聚体有机碳含量/(g·kg ⁻¹)		
		0.25~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm
R0	0—15	8.14±0.62d	15.94±0.63c	23.01±2.34c
	15—30	5.48±1.01c	9.52±0.56b	15.11±1.92c
	30—45	3.07±0.56b	4.71±0.71b	9.54±1.18c
R1	0—15	9.83±1.03c	18.48±1.32b	23.40±1.69c
	15—30	5.68±0.94b	11.09±0.84a	15.91±2.1b
	30—45	4.59±0.23b	6.53±0.44a	11.39±1.32bc
R2	0—15	11.85±0.72b	21.18±1.28a	26.26±1.96a
	15—30	6.60±0.24ab	11.81±0.99a	16.62±1.84a
	30—45	5.28±0.31a	6.44±0.56a	12.44±1.22b
R3	0—15	12.47±0.47a	21.32±2.10a	25.05±1.43b
	15—30	6.30±0.05a	11.25±1.27a	17.62±1.22b
	30—45	5.61±0.05ab	7.52±1.43a	11.42±1.45a

2.3 秸秆还田对土壤微团聚体中腐殖酸组成及胡敏酸光学特征的影响

由表 4 可知，不同秸秆量及不同土层的土壤各粒级微团聚体中胡敏酸和富里酸的含量表现出一定的差异性。随微团聚体粒级的增大，微团聚体中的胡敏

酸和富里酸含量均有所增加。在 S1 土层内,随着秸秆还田量的增加,各粒级微团聚体中腐殖酸含量均随秸秆还田量的增加而增加,0.25~0.02 mm 粒级微团聚体中胡敏酸和富里酸含量增幅分别为 2.36%~49.53%和 10.2%~26.53%;0.02~0.002 mm 粒级微团聚体中胡敏酸和富里酸含量增幅为 0.91%~12.7%和 5.07%~17.39%;而<0.002 mm 的微团聚体增幅则为 15.03%~35.31%和 11.41%~19.57%,并且该粒级随秸秆还田量的增加,胡敏酸含量差异显著。在 S2 土层内,秸秆还田处理下的 0.25~0.02 mm 粒级的微团聚体胡敏酸和富里酸含量增幅为 15.65%~25.17%,8.33%~9.52%;0.02~0.002 mm 粒级的微团聚体中胡敏酸和富里酸含量增幅为 20.59%~49.51%,0~11.21%;<0.002 mm 粒级的微团聚体中胡敏酸和富里酸含量增幅为 4.91%~16.49%,10.29%~16.91%。R1,R2,R3 与 R0 相比,S2 土层的 3 个粒级的微团聚体胡敏酸含量均显著增加,而富里酸含量变化无显著差异。在 S3 土层内,秸秆还田处理下的 0.25~0.02 mm 粒级微团聚体胡敏酸和富里酸含量增幅为 42.19%~92.19%,22.58%~45.16%;0.02~0.002 mm 粒级微团聚体中胡敏酸和富里酸含量增幅为 36.36%~56.57%,18.99%~27.85%;<0.002 mm 粒级微团聚体中胡敏酸和富里酸含量增幅为 19.51%~50.41%,22.78%~49.37%。除 R2 和 R3 处理下的 0.02~0.002 mm 微团聚体的胡敏酸含量差异不显著之外,该土层随秸秆还田量的增加,胡敏酸含量显著增加。总体来看,3 个土层中不同粒级微团聚体中的胡敏酸和富里酸含量都表现为随粒级的减小而增大,可能是因为粒径越小,其矿化稳定性越高,并且微团聚体由于受到物理保护的作用变得更加稳定,对土壤的有机碳保护性更强,使有机碳富集在小粒级微团聚体中。

HA/FA 描述了腐殖酸的组成情况,不同粒级的胡富比在不同的土层内大致表现为 S1>S2>S3,表明随深度的增加,各粒级微团聚体中胡敏酸含量下降,富里酸含量上升。对于 S1 土层,添加秸秆使得 0.25~0.02 mm 和<0.002 mm 粒级胡富比增加,0.02~0.002 mm 粒级的胡富比减小。在 S2 和 S3 土层中,添加秸秆使 0.25~0.02,0.02~0.002 mm 的微团聚体胡富比增加,<0.002 mm 粒级的胡富比则有增有减。

$\Delta\log K$ 是研究胡敏酸结构的重要指标,胡敏酸的结构越复杂,颜色越深, $\Delta\log K$ 值就越小^[16]。由表 4 可知,秸秆还田后不同土层内不同粒级的胡敏酸的吸光值($\Delta\log K$ 值)表现为 S3>S1>S2,而同一土层内各粒级微团聚体的 $\Delta\log K$ 值均无显著变化。

表 4 秸秆还田对土壤微团聚体腐殖酸含量的影响

处理	团聚体	HAC/	FAC/	HAC/	$\Delta\log$
	粒级/mm	(g·kg ⁻¹)	(g·kg ⁻¹)	FAC	K
S1R0	0.25~0.02	2.12±0.29b	0.98±0.29a	2.16	0.63
	0.02~0.002	4.41±0.14c	1.38±0.07c	3.20	0.60
	<0.002	4.39±0.05d	1.84±0.06b	2.39	0.62
S1R1	0.25~0.02	2.17±0.07b	1.08±0.31a	2.01	0.64
	0.02~0.002	4.45±0.03c	1.45±0.02bc	3.07	0.61
	<0.002	5.05±0.06c	2.05±0.05a	2.46	0.64
S1R2	0.25~0.02	2.91±0.31a	1.23±0.50a	2.37	0.66
	0.02~0.002	4.63±0.07b	1.50±0.05b	3.09	0.60
	<0.002	5.94±0.19b	2.20±0.15a	2.70	0.61
S1R3	0.25~0.02	3.17±0.35a	1.24±0.42a	2.56	0.66
	0.02~0.002	4.97±0.10a	1.62±0.03a	3.07	0.60
	<0.002	5.58±0.03a	2.06±0.02a	2.71	0.63
S2R0	0.25~0.02	1.47±0.08c	0.84±0.06a	1.75	0.57
	0.02~0.002	2.04±0.05d	1.16±0.04b	1.76	0.59
	<0.002	2.85±0.23c	1.36±0.07b	2.10	0.59
S2R1	0.25~0.02	1.70±0.04b	0.92±0.11a	1.85	0.54
	0.02~0.002	3.05±0.06a	1.29±0.03a	2.36	0.59
	<0.002	3.01±0.09b	1.59±0.11a	1.89	0.56
S2R2	0.25~0.02	1.84±0.04a	0.91±0.04a	2.02	0.57
	0.02~0.002	2.71±0.04b	1.25±0.06ab	2.17	0.58
	<0.002	2.99±0.08b	1.57±0.08a	1.90	0.63
S2R3	0.25~0.02	1.80±0.05ab	0.91±0.08a	1.98	0.61
	0.02~0.002	2.46±0.06c	1.16±0.05b	2.12	0.59
	<0.002	3.32±0.05a	1.50±0.07ab	2.21	0.62
S3R0	0.25~0.02	0.64±0.08d	0.62±0.02c	1.03	0.68
	0.02~0.002	0.99±0.04c	0.79±0.01b	1.25	0.80
	<0.002	1.23±0.07d	0.79±0.04c	1.56	0.79
S3R1	0.25~0.02	0.91±0.04c	0.76±0.02b	1.20	0.70
	0.02~0.002	1.35±0.04b	0.94±0.04a	1.44	0.71
	<0.002	1.47±0.02c	0.97±0.12b	1.52	0.81
S3R2	0.25~0.02	1.14±0.02b	0.90±0.03a	1.27	0.61
	0.02~0.002	1.55±0.02a	0.99±0.05a	1.57	0.70
	<0.002	1.85±0.23b	1.18±0.03a	1.57	0.70
S3R3	0.25~0.02	1.23±0.03a	0.80±0.08b	1.54	0.70
	0.02~0.002	1.51±0.08a	1.01±0.04a	1.50	0.72
	<0.002	1.71±0.03a	1.16±0.05a	1.47	0.84

注:同列不同小写字母表示相同粒级不同处理间差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

周连仁等^[17]研究表明,秸秆还田之后,1~0.25,0.25~0.05 mm 微团聚体含量呈现上升趋势,而 0.05~0.01 mm 微团聚体含量呈现下降趋势,而<0.01 mm 微团聚体含量则有增有减。本研究表明,在 3 个不同土层,不同量的秸秆还田较未秸秆还田,0.25~0.02 mm 的微团聚体含量增加,且在 S1、S2、S3 土层的增加幅度分别为 0.24%~11.08%,0.73%~7.74%,0.07%~2.6%。而 0.02~0.002,<0.002 mm 微团聚体含量减少,在 S1、S2、S3 土层的减少幅度分别为 0.69%~17.36%,6.49%~15.66%,2.13%~8.47%和 2.41%~34.76%,4.08%~23.18%,8.92%~14.38%。这可能是因为秸秆还田提高了有机质胶体含量,其促使小粒级微团聚体胶结成大粒级微团聚体或团聚体。王宁等^[6]认为,秸秆深还 2 年后能显著提高土壤有机

质含量,改善颗粒组成情况,降低土壤分散系数,提高微团聚体的团聚度。本研究表明,S1 土层内,R1、R2、R3 相比 R0,平均重量直径分别增加了 5.22%,25.69%,15.29%。S2 和 S3 土层的微团聚体平均重量直径随秸秆还田量的增加而增加,最大增幅分别达 16.9%,12.06%。这表明秸秆还田能增加不同土层各粒级的平均重量直径,提高了微团聚体的稳定性,改善了土壤结构。

仇建飞等^[18]研究表明,添加玉米秸秆后,各粒级土壤有机碳均显著增加,且随秸秆还田量的增加,微团聚体中碳含量增加较多。本研究表明,无论是否秸秆还田,各粒级有机碳和腐殖酸含量在不同土层内均表现为 $S1 > S2 > S3$,与不加秸秆相比,施加不同量秸秆均能增加不同土层内各粒级的有机碳和腐殖酸含量,这表明施入的秸秆在微生物的作用下矿化,除以二氧化碳形式释放外,还有一部分转化成有机碳的形式保存在土壤。而在同一土层内,随粒级的减小有机碳和腐殖酸含量增大,这与 Kristiansen 等^[19]的结论一致。施入的高量秸秆(R2 和 R3),除 S1 和 S2 层的 0.25~0.02 mm 粒级富里酸含量增加不显著外,不同土层各粒级有机碳和胡敏酸、富里酸含量均显著增加,模拟了大田还田过程中由于土壤—秸秆接触面秸秆比例较高而造成有机碳的积累。胡富比表征了土壤腐殖酸的活性^[20],本试验秸秆还田后,不同土层各粒级微团聚体的胡富比和 $\Delta \log K$ 变化无明显规律,可能与还田年限较短有关。

4 结论

3 个土层内不同粒级微团聚体的含量较 R0 相比,秸秆还田增加了土壤微团聚体 0.25~0.02 mm 粒级的含量,且在 S1、S2、S3 土层的最大增幅分别为 11.08%,7.74%,2.6%。较 R0 相比,秸秆还田减少了 0.02~0.002, <0.002 mm 微团聚体含量,在 S1、S2、S3 土层的最大降幅分别为 17.36%,15.66%,8.47%和 34.76%,23.18%,14.38%。秸秆还田量不同条件下,3 个土层的重量平均直径最大增幅分别为 25.69%,16.9%,12.06%,说明秸秆还田提高了土壤微团聚体的稳定性,改善了土壤结构。秸秆还田可以提高不同土层内各粒级的有机碳和腐殖酸含量,从而增强了土壤肥力。

参考文献:

- [1] 宫秀杰,钱春荣,于洋,等. 我国玉米秸秆还田现状及效应研究进展[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):10-13.
- [2] 梁卫,袁静超,张洪喜,等. 东北地区玉米秸秆还田培肥机理及相关技术研究进展[J]. 东北农业科学,2016(2):44-49.
- [3] 张国,逯非,赵红,等. 我国农作物秸秆资源化利用现状及农户对秸秆还田的认知态度[J]. 农业环境科学学报,2017,36(5):981-988.

- [4] Zhang P, Chen X, Wei T, et al. Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China [J]. Soil & Tillage Research, 2016, 160: 65-72.
- [5] 蒲玉琳,谢德体,林超文,等. 植物篱—农作坡耕地土壤微团聚体组成及分形特征[J]. 土壤学报,2012,49(6):1069-1077.
- [6] 王宁. 浅谈微团聚体对土壤肥力的影响[J]. 安徽农学通报,2011,17(10):71-71.
- [7] 曹晶晶,魏飞,马芳霞,等. 秸秆还田与长期连作棉田土壤水稳性团聚体特征[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(1):26-32.
- [8] 隋雨含,赵兰坡,陈亮. 秸秆焚烧对土壤微团聚体及有机无机复合体组成的影响[J]. 吉林农业大学学报,2015,37(4):451-458.
- [9] 李鉴霖,江长胜,郝庆菊. 土地利用方式对缙云山土壤团聚体稳定性及其有机碳的影响[J]. 环境科学,2014,35(12):4695-4704.
- [10] 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.
- [11] Stemmer M, Gerzabek M H, Kandeler E. Organic matter and enzyme activity in particle-size fractions of soils obtained after low-energy sonication [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 30(1): 9-17.
- [12] 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 & Environment, 2009, 132(3): 243-251.
- [13] 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.
- [14] Kyoichi K, Osamu S, Yasuo O, et al. Humus composition of mountain soils in Central Japan with special reference to the distribution of P type humic acid [J]. Soil Science & Plant Nutrition, 1967, 13(5): 151-158.
- [15] 苏静,赵世伟. 土壤团聚体稳定性评价方法比较[J]. 水土保持通报,2009,29(5):114-117.
- [16] 刘鸣达,郝旭东,安辉,等. 不同稻蟹模式对土壤团聚体腐殖质特征的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2012,43(3):306-310.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Kristiansen S M, Schjønning P, Thomsen I K, et al. Similarity of differently sized macro-aggregates in arable soils of different texture [J]. Geoderma, 2006, 137(1): 147-154.
- [20] 史吉平,张夫道,林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质含量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2002(1):15-19.