

## 不同玉米秸秆还田方式对土壤腐殖质结合形态影响

岳红丽<sup>1</sup>, 吴景贵<sup>1\*</sup>, 王蒙<sup>2</sup>

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林长春 130118; 2. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 吉林长春 130033)

**摘要** 通过微区试验, 研究玉米秸秆 4 种还田方式对土体联合态腐殖质的含量及组成影响。采用熊毅—傅积平改进法对土壤进行不同结合态的腐殖质提取, 再分别测定有机碳含量、胡敏酸含量及富里酸含量。结果表明, 秸秆不同方式还田对土壤总有机碳、松结态和联结态腐殖质影响显著。总有机碳、松结态、联结态的碳含量和 HA、FA 的含量以秸秆混合覆盖还田处理最高, 玉米秸秆深还田处理总有机碳、FA 的含量与松联结态的 HA 含量最低, 差异显著; 稳结态、紧结态的腐殖质碳和 HA 含量为粉碎混合覆盖处理最高, 差异不显著。不同玉米秸秆还田方式, 各腐殖质形态含量各异。秸秆一年内还田以粉碎秸秆与土混合覆盖还田方式整体表现最好。

**关键词** 秸秆还田; 腐殖质; 结合态腐殖质中图分类号 S 153.6<sup>+</sup>22 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)18-0056-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.18.014



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Effects of Different Corn Straw Returning Methods on Combined States of Soil Humus**YUE Hong-li<sup>1</sup>, WU Jing-gui<sup>1</sup>, WANG Meng<sup>2</sup> (1. College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. Institute of resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130033)

**Abstract** Micro-plot experiments were conducted to study the effects of four maize and wheat straw returning methods on the content and composition of soil combined humus. Soil humus was extracted adopted grouping method of different humus combined forms modified by XiongYi-Fu Jiping, then the organic carbon content, humic acid content (HA) and fulvic acid content (FA) of soil humus were determined respectively. The results showed that the different ways of returning straw to the soil had significant effects on soil total organic carbon, loose joints and joint humus. Among them, the content of total organic carbon and HA and FA, loosely-combined humus and unitedly-combined humus HA and FA were the highest in straw mulching and returning treatment; and the total organic carbon content, FA content and HA content with loose state and bound state were the lowest in straw depth treatment, and the difference was significant. The content of carbon and HA in stable and compact humus was the highest in mixed mulching and returning treatment, but the difference was not significant. Different ways of corn and wheat straw returning to the field resulted in different humus forms and contents. When the straw is returned to the field within one year, the best way is to mix mulching of smashed straw and soil.

**Key words** Straw return; Humic substance; Combine forms of humus

土壤有机质决定了土壤生物地理群落生产力和平稳性, 是肥力、地力的物质基础<sup>[1-3]</sup>。有机质动态变化是土壤有机质的长期研究方向, 也是土壤有机培肥机理和生化研究的重要内容<sup>[4]</sup>, 而腐殖质是有机质的主体, 对土壤地力、构造和性质、土壤养分的轮回和农业生态系统的稳定性具有重要作用<sup>[5]</sup>。土壤有机质随土壤类型、施肥和耕耘方法等变化<sup>[6-8]</sup>。土壤中腐殖质仅有小部分以游离态存在, 绝大部分通过与土壤颗粒联合成复合体存在。由于土壤不同的有机碳组分, 土壤腐殖质联合方法和松紧水平也有差异, 所以把腐殖质分成 4 种结合形态, 分别是松结态、联结态、稳结态、紧结态, 土壤总的腐殖质中各结合态腐殖质含量所占比例在腐殖质的形成和肥力特征方面有重要作用<sup>[9-10]</sup>。4 种不同结合形态腐殖质的碳含量不同, 胡敏酸、富里酸的构成差异能够反映出土壤的肥力特征<sup>[6]</sup>。

有研究证明, 土壤营养主要来源于作物后溶酶, 且对土壤理化性质也有影响<sup>[11-12]</sup>。作物后溶酶体施入后增添了土壤氮素及有机碳的含量<sup>[13-14]</sup>。当玉米秸秆施入土体后, 增加了土壤有机质的含量, 削减了土壤侵蚀局面的产生<sup>[15]</sup>。关于玉米秸秆还田对有机质特征的作用已经有很多学者作了

大量研究<sup>[16-19]</sup>。但是, 如何实现秸秆资源利用最大化, 从而实现循环经济依然需要进一步研究。为此, 笔者借助微区试验进行了秸秆还田方式对土壤结合态腐殖质含量及组成影响的研究, 以期对玉米秸秆还田研究奠定基础。

**1 材料与方法**

**1.1 试验设计** 在吉林农业大学开展微域试验, 试验地位于东经 125°24'9", 北纬 43°48'44"。对各小区进行预处理, 即各小区土壤挖出 30 cm 深并充分混匀后再还回微区内以保证每个小区基本条件相同。试验设 4 个处理: 处理 A, 段状秸秆覆盖还田, 为了防止秸秆被风吹散, 玉米秸秆剪成 10 cm 的段状并用铁丝网压住; 处理 B, 秸秆粉碎后与土混合覆盖还田, 将粉碎秸秆和 1~2 cm 土混合浸湿后平铺覆盖在小区表面, 用铁丝网压住; 处理 C, 粉碎秸秆耕层混合还田, 粉碎后的玉米秸秆均匀施入 0~20 cm 耕层土壤; 处理 D, 玉米秸秆粉碎深还, 还于 20 cm 土层以下。每个处理平行 3 次。小区面积为 2 m×1 m=2 m<sup>2</sup>, 所需物料按 10 000 kg/hm<sup>2</sup> 计算出每个微区施入 2 kg 的秸秆, 秸秆粉碎为 2 cm 大小, 不施入任何肥料, 也未种植作物。

**1.2 样品的采集** 试验 2017 年 5 月份开始, 采样时间为 10 月。每个小区采 3 点 0~20 cm 的土样, 混和均匀后用自封袋密封, 拿回实验室并自然风干, 过 60 目筛保留备用。

**1.3 样品的测定**

**1.3.1 结合态腐殖质的提取。** 腐殖质的分组采用熊毅<sup>[20]</sup>

**基金项目** 国家重点研发计划项目(2018YFD0300203; 2017YFD0201801)。**作者简介** 岳红丽(1992—), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 研究方向: 有机培肥。\* 通信作者, 教授, 博士, 从事土壤环境优化与农业废弃物资源化研究。**收稿日期** 2018-12-25

法,具体步骤如下:分别称 5.00 g 各土壤样本放入 100 mL 离心管中,然后加 0.1 mol/L 的 NaOH 试剂 50 mL,搅拌均匀,盖好盖子,放入 30 ℃ 的恒温箱内过夜培养,第 2 天取出离心 15 min,离心速度为 3 000 r/min,如果上清液出现浑浊现象,要加入微量的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  搅拌均匀后码放 10 min 再次进行离心,离心好的上清液倒入 250 mL 容量瓶中,再次加 0.1 mol/L 的 NaOH 试剂 50 mL 继续离心,直至上清液无色为止,这个过程一般需要重复 3~5 次,将离心的混合上清液定容到 250 mL 待用,该过程提取出来的物质为松结态腐殖质;继续向离心管中加入 0.1 mol/L NaOH 与 0.1 mol/L  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  的混合溶液(pH 约为 13) 50 mL,30 ℃ 的恒温箱过夜,第 2 天离心,如果上清液出现浑浊现象,要加入少量的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  搅匀后放置 10 min 再次离心,上清液倒入 250 mL 容量瓶内,多次操作,直至上清液无色,一般需要 3~5 次,定容待用,此过程的提取液为联结态腐殖质;离心管再次加入 0.1 mol/L NaOH 与 0.1 mol/L  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  的混合溶液(pH 约为 13) 50 mL,经超声波处置所得液体即为稳结态腐殖质;紧结态腐殖质通过计算获得。重铬酸钾外加热法测定各结合态腐殖质有机碳含量。

**1.3.2 不同联合态腐殖质有机碳的测定。**各组分有机碳含量的检测采用重铬酸钾氧化法,分别吸取各提取液 10 mL 于三角瓶中,把装有提取液的三角瓶放入恒温水浴锅内 60 ℃ 蒸干,蒸干后的三角瓶再分别加入 10 mL 的重铬酸钾溶液,盖上曲径漏斗,在加热板 220 ℃ 加热,从曲径漏斗滴下第一滴液体开始计时 5 min,待冷却后用硫酸亚铁试剂滴定并计算。

**1.3.3 不同结合态腐殖质胡敏酸(HA)的测定。**各提取液移

取 50 mL 到三角瓶,加 0.5 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  试剂调节 pH 至 1.0~1.5,将三角瓶置于 60 ℃ 恒温水浴锅内干燥 1 h,室温下静置 2 夜,细滤纸过滤,将沉淀物全部移入漏斗,用 0.025 mol/L 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  试剂洗涤漏斗,直至溶液无色,弃去液体,全部沉淀用 0.05 mol/L NaOH 试剂洗入 50 mL 容量瓶中,0.5 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中和 pH=7,蒸馏水定容。其他步骤同 1.3.2。

**1.3.4 不同结合态腐殖质富里酸(FA)的测定。**富里酸的含量采取公式计算的出:

$$\text{富里酸(FA)} = \text{有机碳} - \text{胡敏酸(HA)}$$

**1.4 数据统计及分析** 数据经 Excel 处理后,采用 SPSS 22.0 统计软件进行试验数据的方差及相关分析,所有指标均采用 Duncan's 方法分析, $P < 0.05$  代表有显著差异,结果表达为平均值±标准差。

## 2 结果与分析

**2.1 总有机碳含量及其组分** 表 1 表明,B 处理总碳量最高(40.44 g/kg),D 处理总碳量最低(35.32 g/kg),比处理 B 低 12.67%。处理 A、B 的总碳量与处理 C、D 总碳量之间差异显著。总碳量由高到低依次为 B>A>C>D。胡敏酸(HA)、富里酸(FA)含量 B 处理最优(分别为 18.41、22.03 g/kg),处理 C 的 HA 含量最低(15.62 g/kg),比处理 B 低 15.15%,处理 A、D 之差异不显著,其他处理间差异显著;处理 D 的 FA 含量显著低于另外 3 个处理,比 B 处理低 16.11%,无明显规律。土壤的胡敏酸和富里酸之比对于进一步说明土壤肥力,有重要意义,胡富比值最高的是 D 处理,各处理间存在差异,但没有规律。H/F 从高到低依次为 D>B>A>C。

表 1 不同玉米秸秆还田方式对土壤总有机碳、胡敏酸、富里酸以及胡富比的影响

Table 1 Effects of different corn and wheat stalk returning methods on soil total organic carbon, humic acid content, fulvic acid content and humic acid content/fulvic acid content g/kg

处理 Treatment	总有机碳 Total organic carbon	胡敏酸 Humic acid content (HA)	富里酸 Fulvic acid content (FA)	胡富比 Humic acid content/ fulvic acid content (H/F)
A	38.56±2.24 ab	17.14±0.54 b	21.20±2.41 a	0.81±0.09 bc
B	40.44±2.42 a	18.41±0.42 a	22.03±2.51 a	0.84±0.10 ab
C	36.64±1.14 bc	15.62±1.02 c	21.02±1.69 a	0.75±0.10 c
D	35.32±2.86 c	16.84±1.08 b	18.48±1.73 b	0.91±0.06 a

注:同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

**2.2 松结态腐殖质组成特征** 由表 2 可知,不同方式玉米秸秆还田对土体松结态碳含量有显著影响。秸秆粉碎混合覆盖还田处理方式(B 处理)的松结态腐殖质含量明显高于其他还田方式处理,粉碎秸秆耕层混合还田方式(处理 C)土体松结态的腐殖质含量最低。由此证明,不同方式玉米秸秆还田对土体松结态碳含量有显著影响。处理 B 松结态碳含量最高(14.33 g/kg),其次是处理 A(13.15 g/kg),各处理碳含量高低顺序为 B>A>D>C。不同处理 HA 含量无显著差异。处理 B 的 FA 含量最高(10.33 g/kg),处理 C 最低(8.03 g/kg)。FA 含量高低顺序为 B>A>D>C,不同处理间差

异显著。不同秸秆还田方式对松结态 H/F 的比值作用不显著。

**2.3 联结态腐殖质组成特征** 由表 3 可见,玉米秸秆还田方式对土体联结态腐殖质的含量也有影响。其中处理 B 碳含量最高(3.16 g/kg),处理 C 最低(2.30 g/kg),处理 C 比处理 B 降低 27.22%,差异显著。这表明玉米秸秆的覆盖还田增多了土壤联结态腐殖碳的含量,秸秆混合还田腐殖质含量增多不明显,这可能与混合施入秸秆改变了土壤孔隙有关。不同玉米秸秆还田方式下的联结态腐殖质 HA 胡敏酸含量有显著差异,其中 HA 以处理 B 表现最优(0.71 g/kg),处理 D 最

低(0.31 g/kg),比 B 处理低 56.34%。联结态 FA 含量和 H/F 值差异不显著。

表 2 不同方式玉米秸秆还田对土壤松结态腐殖质胡敏酸、富里酸以及胡富比的影响

Table 2 Effects of different corn and wheat stalk returning methods on humic acid content, fulvic acid content and humic acid content/fulvic acid content of soil loose humus g/kg

处理 Treatment	松结态有机碳 Loose organic carbon	胡敏酸 Humic acid content (HA)	富里酸 Fulvic acid content (FA)	胡富比 Humic acid content/fulvic acid content (H/F)
A	13.15±0.68 b	3.59±0.62 a	9.56±0.65 b	0.38±0.08 a
B	14.33±0.48 a	3.99±0.33 a	10.33±0.55 a	0.39±0.04 a
C	11.64±0.79 c	3.61±0.91 a	8.03±0.98 c	0.46±0.15 a
D	12.71±1.02 b	3.34±0.85 a	9.38±0.61 b	0.36±0.10 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

表 3 不同方式玉米秸秆还田对土壤联结态腐殖质胡敏酸、富里酸以及胡富比的影响

Table 3 Effects of different corn and wheat stalk returning methods on humic acid content, fulvic acid content and humic acid content/fulvic acid content of soil associative humus g/kg

处理 Treatment	联结态有机碳 Linked organic carbon	胡敏酸 Humic acid content (HA)	富里酸 Fulvic acid content (FA)	胡富比 Humic acid content/fulvic acid content (H/F)
A	2.98±0.53 a	0.59±0.26 ab	2.40±0.55 a	0.26±0.13 a
B	3.16±0.54 a	0.71±0.54 a	2.45±0.86 a	0.49±0.79 a
C	2.30±0.48 b	0.49±0.40 ab	1.81±0.61 a	0.38±0.51 a
D	2.31±0.33 b	0.31±0.19 b	2.00±0.43 a	0.18±0.14 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

**2.4 稳结态腐殖质组成特征** 由表 4 可知,不同处理对土体稳结态碳含量影响不显著,且玉米秸秆覆盖或混合还田之间无明显规律。该研究结果中,稳结态碳含量以处理 D 深还处理最高(8.52 g/kg),处理 B 粉碎混合覆盖最低(8.12 g/kg),比处理 D 低 4.70%,其他 2 个处理与 B 处理之间只有轻微差别,碳含量略低于处理 D,没有显著性差异。各稳结态碳含量由高到低顺序为 D>C>A>B。稳结态的胡敏酸,富里酸以及 H/F 均没有显著差异,其中胡敏酸 HA 最高的是 B 处理

(含量为 4.80 g/kg),最低的是 C 处理(含量为 4.07 g/kg),比 B 处理低 15.21%。处理 A 和 B 是覆盖还田,含量相近且偏高,处理 C 和 D 含量偏低,这可能与玉米麦秸还田方式有关。处理 C 的 FA 含量最高(4.23 g/kg),处理 D 略低(4.06 g/kg)。处理 B 的 FA 含量最低(3.31 g/kg),比处理 C 低 21.75%。FA 含量从大到小依次为 C>D>A>B。处理 B 的 H/F 最高(1.58 g/kg),处理 C 最低(1.05 g/kg),比处理 B 低 33.54%。

表 4 不同方式玉米秸秆还田对土壤稳结态腐殖质胡敏酸、富里酸以及胡富比的影响

Table 4 Effects of different corn and wheat stalk returning methods on humic acid content, fulvic acid content and humic acid content/fulvic acid content of soil stable humus g/kg

处理 Treatment	稳结态有机碳 Stable organic carbon	胡敏酸 Humic acid content (HA)	富里酸 Fulvic acid content (FA)	胡富比 Humic acid content/fulvic acid content (H/F)
A	8.28±0.52 a	4.56±0.49 a	3.73±0.92 a	1.34±0.57 a
B	8.12±0.58 a	4.80±0.84 a	3.31±0.82 a	1.58±0.64 a
C	8.29±0.40 a	4.07±0.70 a	4.23±0.89 a	1.05±0.45 a
D	8.52±0.58 a	4.46±0.87 a	4.06±0.99 a	1.22±0.56 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

**2.5 紧结态腐殖质组成特征** 紧结态腐殖质有很强的稳定性,其碳含量的多少显著作用于保持土体构造,积累和贮存养分等方面。表 5 可见,处理 D 腐殖碳含量最低(11.79 g/kg),与碳含量最高的处理 B(14.84 g/kg)相比,含量低 20.55%。各处理腐殖碳含量从大到小为 B>C>A>D,处理 D 与其他处理间差异显著。处理 B 紧结态胡敏酸含量最高(8.90 g/kg),处理 D 最低(7.46 g/kg),二者相差 16.18%,差异不显著。处理 C 紧结态 FA 含量最高(6.95 g/kg),比含量

最低的 D 处理(3.04 g/kg)高出 56.26%,差异显著。处理 D 的 H/F 比值最高(3.68 g/kg),显著高于其他处理,H/F 从大到小为 D>B>A>C。

土体腐殖质的松/紧比率与活性呈正相关,可用于鉴别土体的肥力特征<sup>[20]</sup>。表 5 是各处理经过 1 年时间不同秸秆还田方式后土壤的腐殖质松/紧比值情况的变化,表现为 D>B>A>C,处理 C 松/紧比值最低(0.82 g/kg),相比较于松/紧比值最高的 D 处理(1.09 g/kg)低 24.77%,差异显著。

表 5 不同方式玉米秸秆还田对土壤紧结态腐殖质胡敏酸、富里酸以及胡富比的影响

Table 5 Effects of different corn and wheat stalk returning methods on humic acid content, fulvic acid content and humic acid content/fulvic acid content of soil tight humus g/kg

处理 Treatment	紧结态有机碳 Tightlybound organic carbon	胡敏酸 Humic acid content (HA)	富里酸 Fulvic acid content (FA)	胡富比 Humic acid content/ fulvic acid content (H/F)	松/紧 Loose/tight
A	14.14±2.43 a	8.41±1.65 a	5.73±1.95 a	1.70±0.89 a	0.96±0.19 ab
B	14.84±2.46 a	8.90±1.37 a	5.93±2.93 a	1.99±1.21 a	0.99±0.19 a
C	14.41±1.72 a	7.46±2.31 a	6.95±2.88 a	1.64±1.65 a	0.82±0.16 b
D	11.79±1.41 b	8.74±1.03 a	3.04±1.35 b	3.68±2.17 b	1.09±0.13 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著

Note: Different lowercase letters in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

### 3 讨论

腐殖质是土壤关键的构成物质,其含量直接影响土壤肥力。腐殖质的松、联、稳、紧 4 种结合形态含量及其胡敏酸和富里酸含量变化都是直接影响土壤肥力、结构状况及土壤生物地理群落稳定性的要素<sup>[3]</sup>。该文研究了玉米秸秆还田方式对土壤腐殖质结合形态的影响,该研究试验结果表明,松结态腐殖质含量处理 B 粉碎玉米秸秆混合覆盖还田显著高于其他还田方式,松结态腐殖质碳含量粉碎混合覆盖(处理 B)最高(14.33 g/kg),松结态腐殖质含量粉碎秸秆耕层混合还田(处理 C)最低(11.64g/kg)。松结态腐殖质 HA、FA 含量以粉碎混合覆盖(B 处理)最高,其中 HA 含量比深还(D 处理)高 16.5%,FA 含量比粉碎秸秆耕层混合还田(C 处理)高 22.27%。不同处理间 FA 含量差异显著,HA 含量差异不显著。玉米秸秆不同方式还田对松结态腐殖质 H/F 的影响也不显著。各处理中,松结态腐殖质 HA 含量、FA 含量、腐殖质含量都以 B 处理最高,这可能是因为在短时间内粉碎混合覆盖方式接触地表腐殖质面积大,土壤表面 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 含量较高,好氧微生物数量大,并且土壤动物也多存在于土壤表层有利于玉米秸秆的分解。联结态腐殖质含量表现为覆盖处理显著高于耕层混合和深还处理,即处理 A、B 显著高于处理 C、D,总体而言各组分含量均以粉碎玉米秸秆混合覆盖还田(处理 B)最高,粉碎秸秆耕层混合还田(处理 C)、秸秆深还(处理 D)较低,但 FA 含量及 H/F 差异不显著。结果表明,秸秆不同还田方式对松结态腐殖质和联结态腐殖质影响显著,这与任玲等<sup>[3]</sup>关于秸秆还田对结合态腐殖质的研究结果一致。土壤稳结态的腐殖质、HA 含量、FA 含量以及 H/F 均无显著差异,并且秸秆覆盖还田和混合还田之间也无明显规律。稳结态腐殖质的 HA 含量和 H/F 值以处理 B 最高,粉碎秸秆耕层混合还田(处理 C)的 FA 含量最高。紧结态腐殖质含量深还(处理 D)显著低于其他 3 个处理,其他处理含量相近。这表明秸秆深还可能不适合短时间内养分补给和土体腐殖质的积累。结合态腐殖质的松紧表现为深还处理(D)显著高于其他 3 个处理。总体而言,一年内秸秆浅施更能快速补给养分。

### 4 结论

运用微域试验研究了短期内单因素玉米秸秆还田对土壤结合态腐殖质的影响。研究结果表明,短期内不同方式玉米秸秆还田对土壤总有机碳、结合态腐殖质含量及其组分的影响表现为粉碎混合覆盖(处理 B)效果最佳,各组分含量最

高,其次是秸秆粉碎混合还田(处理 C),短时间内深还(处理 D)效果最差。

### 参考文献

- [1] 潘根兴,赵其国.我国农田土壤碳库演变研究:全球变化和国家粮食安全[J].地球科学进展,2005,20(4):385-393.
- [2] WARDLE D A, BARDETT R D, KLIRONOMOS J N, et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota[J]. Science, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [3] 任玲,吴景贵,吕东波,等.不同耕作模式对东北黑土腐殖质结合形态的影响[J].东北农业科学,2016,41(2):50-55.
- [4] 李翠兰,张晋京,黎森,等.玉米秸秆分解期间土壤腐殖质数量动态变化的研究[J].吉林农业大学学报,2009,31(6):729-732.
- [5] 赵欣宇,吴景贵,李建明,等.玉米秸秆及相关废弃物对黑土腐殖质结合形态的影响[J].水土保持学报,2014,28(5):193-198.
- [6] 李建明,吴景贵,王利辉.不同有机物料对黑土腐殖质结合形态影响差异性的研究[J].农业环境科学学报,2011,30(8):1608-1615.
- [7] KÄTTERER T, BOLINDER M A, ANDRÉN O, et al. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues as revealed by a long-term field experiment[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2011, 141(1/2):184-192.
- [8] BASTIDA F, JINDO K, MORENO J L, et al. Effects of organic amendments on soil carbon fractions, enzyme activity and humic-enzyme complexes under semi-arid conditions[J]. European journal of soil biology, 2012, 53:94-102.
- [9] 姜岩,吴景贵,王明辉,等.非腐解有机物培肥对草甸黑土型水稻土腐殖质结合形态的影响[J].土壤通报,1998,29(5):203-205.
- [10] 秦纪洪,王琴,孙辉.川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化[J].生态学报,2013,33(18):5858-5864.
- [11] TURMEL M S, SPERATTI A, BAUDRON F, et al. Crop residue management and soil health: A systems analysis[J]. Agricultural systems, 2015, 134: 6-16.
- [12] HUANG S, ZENG Y J, WU J F, et al. Effect of crop residue retention on rice yield in China: A meta-analysis[J]. Field crops research, 2013, 154: 188-194.
- [13] GUENET B, JUAREZ S, BARDOUX G, et al. Evidence that stable C is as vulnerable to priming effect as is more labile C in soil[J]. Soil biology & biochemistry, 2012, 52: 43-48.
- [14] CELY P, GASCÓ G, PAZ-FERREIRO J, et al. Agronomic properties of biochars from different manure wastes[J]. Journal of analytical & applied pyrolysis, 2015, 111: 173-182.
- [15] LIU S, YAN C R, HE W Q, et al. Effects of different tillage practices on soil water-stable aggregation and organic carbon distribution in dryland farming in Northern China[J]. Acta ecologica sinica, 2015, 35(4): 65-69.
- [16] 王珍,冯浩,吴淑芳.秸秆不同还田方式对土壤低吸力段持水能力及蒸发特性的影响[J].土壤学报,2011,48(3):533-539.
- [17] KLUDZE H K, DELAUNE R D. Straw application effects on methane and oxygen exchange and growth in rice[J]. Soil science of society of American journal, 1995, 59:824-830.
- [18] TEJADA M, HERNANDEZ M T, GARCIA C. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties[J]. Soil and tillage research, 2009, 102(1):109-117.
- [19] 吴景贵,王明辉,姜亦梅,等.施用玉米植株残体对土壤富里酸组成、结构及其变化的影响[J].土壤学报,2006,43(1):133-141.
- [20] 熊毅.土壤胶体:第 2 册[M].北京:科学出版社,1985:62-67.