

秸秆还田模式对农田土壤稳定性团聚体粒径组成的影响

刘晓舟

(中国科学院大气物理研究所淮南研究院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 研究在小麦-玉米轮作条件下实施不同的作物秸秆还田模式对农田土壤稳定性团聚体粒径组成的影响。结果表明, 在不进行秸秆还田措施条件下, 土壤中粉粒(粒径 $2 \sim 20 \mu\text{m}$) 的百分含量最高, 达 $(54.41 \pm 2.87)\%$, 而小麦秸秆还田能够分别增加 38.90% 的砂粒、降低 24.53% 的粉粒和 14.37% 的黏粒含量, 且能够增强土壤的抗侵蚀能力, 而施肥和玉米秸秆还田对农田土壤稳定性团聚体影响较小。

关键词: 小麦-玉米轮作; 秸秆还田; 稳定性团聚体; 分形维数; 可蚀性因子

中图分类号: S152.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)04-0034-04

Effects of Straw Returning Modes on Particle Size Composition of Stable Soil Aggregates in Farmland

LIU Xiaozhou

(Huainan Academy of Atmospheric Sciences, Huainan 232001, China)

Abstract: The effects of different crop straw returning modes on the particle size composition of stable soil aggregates under wheat-maize rotation were studied. The results showed that under the condition of no straw returning measures, the percentage of silt ($2 \sim 20 \mu\text{m}$) in soil was the highest $(54.41 \pm 2.87)\%$, while wheat returning could increase sand content by 38.90%, decrease silt content by 24.53% and clay content by 14.37%, and can enhance soil resistance to erosion. However, the fertilizer and maize straw returning had little effect on soil aggregate stability.

Key words: Wheat-maize rotation; Straw returning; Stable aggregate; Fractal dimension; Erodibility factor

土壤团聚体由不同粒径的土壤颗粒与有机、无机材料相结合而形成, 其稳定性可作为土壤结构的一项指标^[1], 在物理上保护土壤有机碳(SOC)不受土壤微生物的降解^[2]。农田生态系统中有有机碳与土壤结构的相互作用对有机碳的截留有重要影响^[3]。

作物秸秆还田现今被认为是改善土壤质量和作物产量的重要管理措施^[4-7], 并且在全球范围内得到了推广应用。作物秸秆还田通过腐殖质和土壤大团聚体的形成^[8], 对保持土壤碳储量和缓解气候变化至关重要^[9]。然而, 也有研究发现秸秆还田对土壤团聚体有负面影响^[10]。这一相反研究表明, 秸秆还田对农业土壤团聚的影响与适宜的管理措施等条件有关。土壤管理直接影响土壤理

化和微生物特性, 影响土壤团聚体能力^[11]。此外, 与微团聚体相比, 大团聚体主要含有新鲜不稳定的土壤有机碳, 因此有利于土壤有机碳的周转^[3]。在作物生产中使用耕作方法会降低土壤的稳定性, 作物残体的分解也会影响土壤团聚体的形成和稳定^[12]。增加容易获得的底物会迅速刺激土壤微生物群, 同时还会增加团聚体的稳定性^[13]。因此, 了解土壤团聚体及其相关碳动态对提高土壤有机碳固定和土壤质量具有重要意义。许多研究集中在土地利用、耕作制度、肥料施用和施肥对谷物和草地生态系统中土壤聚集的影响^[14-16]。但是, 秸秆还田方式(如双茬秸秆还田、单茬秸秆还田)对土壤团聚和土壤粒度组成的影响尚不清楚。由于稻草作为纤维素原料、可再生能源、造纸原料和动物饲料, 因此无法回收所有的农作物秸秆^[17]。为了实现土壤保持与纤维素原料之间的平衡, 有必要采取适当的秸秆还田管理措施来改善土壤结构, 以此促进粮食的可持续生产。小麦-玉米轮作制度是我国广泛运用的一种种植制度,

收稿日期: 2019-11-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300801); 国家自然科学基金项目(41471186)

作者简介: 刘晓舟(1988-), 男, 中级工程师, 硕士, 主要从事环境监测与保护相关研究。

本研究通过分析小麦-玉米轮作制度不同秸秆还田模式下土壤团聚体的含量来探讨秸秆还田模式对土壤团聚的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验在安徽省宿州市现代农业研发基地(117.00°E, 33.59°N)进行,土壤为砂姜黑土,通过使用不同的秸秆还田模式进行长期的小麦-玉米轮作,试验小区长15 m,宽8 m,设置四个重复,7个处理,如表1所示。

表1 作物秸秆还田模式

编号	秸秆还田模式
TS	小麦秸秆全还田+玉米秸秆不还田
MS	玉米秸秆全还田+小麦秸秆不还田
TMS	小麦、玉米秸秆全还田
NS	施肥但秸秆不还田
HTS	小麦秸秆半还田+玉米秸秆不还田
HMS	玉米秸秆半还田+小麦秸秆不还田
NNS	秸秆不还田也不施肥

小麦播种行距20 cm,播种量为13 kg/667 m²。播种玉米行距60 cm,播量为3 kg/667 m²。每667 m²施尿素39 kg、过磷酸钙50 kg、氯化钾10 kg。小麦选用国审小麦新品种宿553,2013~2018年每年10月20日左右播种;玉米选用大穗型玉米新品种隆平206,2013~2018年每年6月20日左右播种,行距60 cm,株距32 cm,密度3 500株/667 m²。

1.2 样本采集及处理

土壤样本的采集时间为2019年6月小麦收获后,采用5点混合法进行土样采集,采样深度为0~15 cm。供试土壤经过实验室自然风干后去除根系等杂质,并过2 mm筛。土壤有机碳含量采用重铬酸钾容量-稀释热法进行测定;供试土壤样本经过去除有机碳、碳酸钙和颗粒分散等预处理,使用Microtrac S3500型激光粒度仪测定土壤粒径组成,每个供试土样重复测3次。土壤质地分级依据国际制土壤质地分级标准,分别为砂粒(粒径20~2 000 μm)、粉粒(粒径2~20 μm)和黏粒(粒径<2 μm)。

1.3 土壤粒径分形维数计算

本研究采用土壤颗粒粒径体积分形模型计算供试土壤样本的土壤粒径分形维数。公式为:

$$D = 3 - \lg(V_{(r < R_i)} / V_T) / \lg(R_i / R_{\max}) \dots\dots\dots (1)$$

式中,D为土壤粒径分形维数, $V_{(r < R_i)}$ 为小于 R_i

的团聚体累积体积, V_T 为各粒级团聚体百分含量总和(一般为100), R_i 为团聚体粒径平均值, $R_{\max}$ 为团聚体的最大粒径。

1.4 土壤可蚀性因子计算

本研究基于Williams等^[18]在Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC)模型中的估算方法对土壤可蚀性因子K值进行计算,计算公式如下:

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256Sa(1 - Si/100)]\} \times [Si/(Cl + Si)]^{0.3} \times \{1 - 0.25C/[C + \exp(3.71 - 2.95C)]\} \times \{1 - 0.7Sn/[Sn + \exp(-5.51 + 22.9Sn)]\} \dots\dots\dots (2)$$

式中,Sa为土壤粒径中砂粒的体积百分比,Si为粉粒体积百分比,Cl为黏粒体积百分比,C为土壤有机碳含量,Sn为土壤粒径中黏粒和粉粒所占体积,其中, $Sn = 1 - Sa/100$ 。

1.5 数据处理

采用软件SPSS 22.0对土壤的粒度组成、分形维数和土壤可蚀性因子进行单因素方差分析,采用Origin 8进行绘图。

2 结果与分析

2.1 土壤团聚体的粒径分布

土壤团聚体粒径组成受不同秸秆还田模式的影响显著,不同秸秆还田模式耕作条件下土壤团聚体各粒级所占比例存在差异(表2)。

表2 土壤各粒级含量 %

	黏粒	粉粒	砂粒
TS	3.53±0.03c	28.15±2.39c	68.32±2.38a
MS	15.55±1.06a	53.25±2.60a	31.20±1.77c
TMS	2.47±0.96c	33.36±1.44c	64.17±0.75a
NS	17.37±2.56a	17.37±2.56a	27.34±2.59c
HTS	7.85±1.20b	44.97±1.88b	47.18±2.49b
HMS	16.80±2.83a	56.00±2.93a	27.20±1.45c
NNS	17.07±0.58a	53.54±1.50a	29.39±1.58c
NS+NNS	17.22±1.72a	54.41±2.87a	28.37±2.27c

注:NS+NNS表示秸秆不还田;同列不同小写字母表示同一粒径中不同处理之间存在显著差异(ANOVA, LSD检验, $P < 0.05$)

在不进行秸秆还田条件下,土壤中粉粒的百分含量最高,达(54.41±2.87)%,其次为砂粒,占(28.37±2.27)%,黏粒占比较低,为(17.22±1.72)%。施肥并不会影响农田土壤各团聚体中砂粒、粉粒、黏粒的百分含量($P=0.228$ 、 0.433 、 0.826)。而不同的秸秆还田模式下土壤各团聚体含量具有很大差别,仅玉米秸秆还田模式不会显著影响土壤团聚体中粉粒、黏粒的百分含量($P=0.777$ 、 0.453),较高的玉米秸秆还田量显著增加了

4.00%砂粒含量($P=0.013$)。而小麦秸秆还田模式对土壤团聚体的影响较大,小麦全还田模式下,分别能够增加38.90%砂粒($P=0.001$)、降低24.53%粉粒($P<0.001$)和14.37%黏粒($P<0.001$)含量。小麦、玉米秸秆全还田模式比小麦秸秆还田降低了4.14%砂粒($P=0.016$)含量,增加了5.20%的粉粒($P=0.010$)含量。比较不同的小麦秸秆还田量,发现较高的小麦秸秆还田量会显著降低21.14%砂粒($P<0.001$)含量,增加16.81%粉粒($P<0.001$)和4.33%黏粒($P<0.001$)含量。

2.2 土壤粒径分形维数

由图1可知,在不进行秸秆还田措施条件下,土壤粒径分形维数为 2.81 ± 0.01 。施肥并不会影响土壤粒径的分形维数($P=0.528$)。而不同的秸秆还田模式下土壤粒径分形维数变化较大。仅玉米秸秆还田模式不会影响土壤粒径分形维数。而小麦秸秆还田模式对土壤粒径分形维数的影响较大,小麦秸秆全还田模式下,能够降低土壤粒径分形维数 0.21 ± 0.02 ($P<0.001$)。小麦、玉米秸秆全还田模式降低土壤粒径分形维数最大,降低了 0.25 ± 0.06 ($P=0.003$),小麦秸秆半还田降低土壤粒径分形维数 0.10 ± 0.02 ($P=0.002$)。

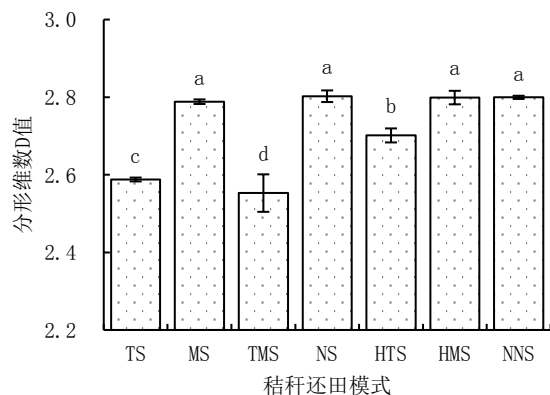


图1 不同秸秆还田模式下的分形维数

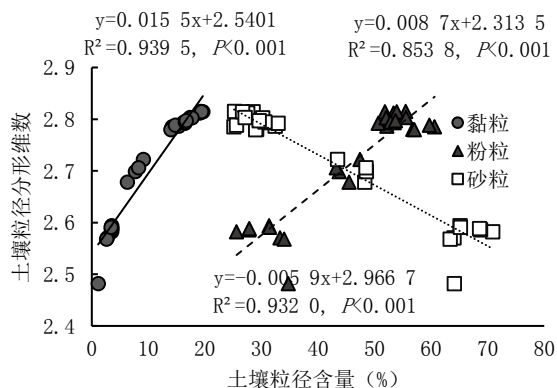


图2 土壤颗粒分形维数与土壤各粒级含量的关系

由图2可知,土壤粒径分形维数与土壤中团聚体各粒级含量存在复杂的关系,其中土壤粒径分形维数与黏粒、粉粒含量呈极显著正相关,相关系数分别为0.969($P<0.001$)和0.924($P<0.001$),与砂粒含量呈极显著负相关,相关系数为0.965($P<0.001$)。土壤分形维数与土壤各粒级含量相关性顺序为:黏粒>砂粒>粉粒。

2.3 土壤可蚀性

由图3可知,在不进行秸秆还田条件下,土壤可蚀性因子K值为 0.035 ± 0.001 。施肥会降低K值($P=0.017$)。不同的秸秆还田模式下K值变化较大。玉米秸秆还田模式不会显著影响K值($P=0.061$)。而小麦秸秆还田模式对K值的影响较大,小麦秸秆全还田模式下,能够降低K值 0.011 ± 0.003 ($P=0.005$)。小麦玉米秸秆全还田模式降低K值 0.010 ± 0.002 ($P=0.001$),小麦秸秆半还田降低K值 0.006 ± 0.002 ($P=0.007$)。

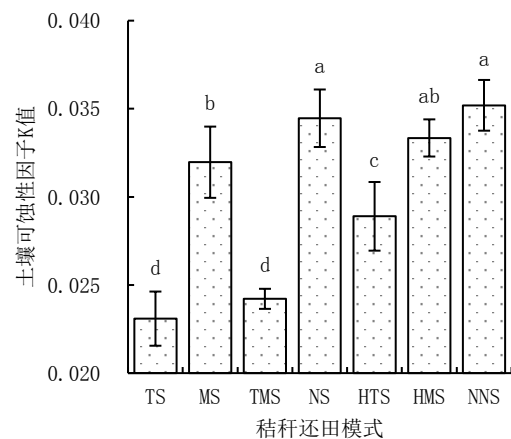


图3 不同秸秆还田模式下的土壤可蚀性

由图4可知,K值与土壤中团聚体各粒级含量存在复杂的关系,其中K值与土壤团聚体中黏粒、

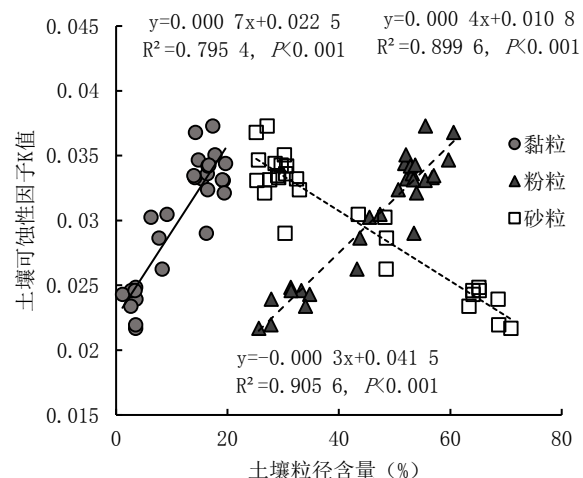


图4 土壤可蚀性因子与土壤各粒级含量的关系

粉粒含量呈极显著正相关,相关系数分别为0.892 ($P<0.001$)和0.948 ($P<0.001$),与砂粒含量呈极显著负相关,相关系数为0.952 ($P<0.001$)。K值与土壤各粒级含量相关性顺序为:砂粒>粉粒>黏粒。

3 讨论与结论

作物秸秆还田能够有效提高土壤有机碳含量,改善土壤结构,提高土壤持水与供水能力,具有较好的节水效果^[19]。较高的生物量,包括稻草、留茬、根和根沉积是影响土壤团聚的主要因素。来源于作物的有机颗粒或胶体可与矿物结合,结合微团聚体形成大团聚体^[8]。在本研究中,秸秆还田促进了大团聚体和小团聚体的形成,比对照降低了粉粒和黏土粒级。这一发现与Wang等^[20]的研究结果一致。本研究中,小麦秸秆还田比玉米秸秆还田大团聚体的比例大;这种差异可能是由于这些秸秆的生物利用度不同导致的^[12]。Zhao等^[15]研究表明,不稳定的生物残留物比稳定的残留物对土壤团聚体稳定性具有更强的影响。这一差异也可能是由于本研究中小麦秸秆还田量远高于玉米秸秆,以及与小麦秸秆的分解速度更高有关。同时也说明在土壤中施加低碳氮比的有机质有利于改良土壤结构^[21]。

土壤粒径分形维数是最能反映土壤结构几何形状的参数^[22]。本研究发现小麦秸秆还田能够显著影响土壤团聚体的稳定性。此外,土壤粒径分形维数与黏粒、粉粒含量呈极显著正相关 ($P<0.001$),与砂粒含量呈极显著负相关 ($P<0.001$),说明秸秆还田后微团聚体向大团聚体转变^[23]。同时也说明土壤粒径尺寸与土壤粒径分形维数密切相关,土壤粒径越小,土壤粒径分形维数就越高,反之亦然。这与前期的相关研究结果^[23-24]一致。土壤可蚀性因子与土壤粒径组成密切相关。作物秸秆还田条件下土壤可蚀性因子K值与土壤粒径分形维数的变化趋势一致,即土壤粒径分形维数逐渐变大,土壤可蚀性因子也随之逐渐增大。在小麦秸秆还田的土壤样本中砂粒占主要地位,增强了土壤的抗侵蚀能力,能够有效降低农田土壤的水土流失^[25]。

参考文献:

[1] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review[J]. Geoderma, 2005, 124(1): 3-22.
[2] Beare M H, Hendrix P F, Coleman D C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58

(3): 777.

- [3] Gupta C S, Srivastava S, Singh R, et al. Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice - wheat cropping system under reclaimed sodic soil[J]. Soil and Tillage Research, 2014, 136: 76-83.
[4] Imaz M J, Virto I, Bescansa P, et al. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid mediterranean cropland[J]. Soil and Tillage Research, 2010, 107(1): 17-25.
[5] Chen J, Zheng M j, Pang D W, et al. Straw return and appropriate tillage method improve grain yield and nitrogen efficiency of winter wheat[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(8): 1708-1719.
[6] 崔正果,李秋祝,张玉斌,等.玉米秸秆全量粉碎耕翻还田条件下播种深度与镇压强度对玉米出苗率的影响[J].东北农业科学,2018,43(6):16-19.
[7] 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,2016,41(2):44-49.
[8] Liu C, Lu M, Cui J, et al. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: A meta-analysis[J]. Global change biology, 2014, 20(5): 1366-1381.
[9] Feiziene D, Feiza V, Karklins A, et al. After-effects of long-term tillage and residue management on topsoil state in boreal conditions[J]. European Journal of Agronomy, 2018, 94: 12-24.
[10] Soon Y K, Lupwayi N Z. Straw management in a cold semi-arid region: Impact on soil quality and crop productivity[J]. Field Crops Research, 2012, 139: 39-46.
[11] You M, Han X, Chen X, et al. Effect of reduction of aggregate size on the priming effect in a mollisol under different soil managements[J]. European Journal of Soil Science, 2019, 70(4): 765-775.
[12] Abiven S, Menasseri S, Angers D A, et al. Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials[J]. European Journal of Soil Science, 2007, 58(1): 239-247.
[13] Verhulst N, Kienle F, Sayre K D, et al. Soil quality as affected by tillage-residue management in a wheat-maize irrigated bed planting system[J]. Plant and Soil, 2011, 340(1): 453-466.
[14] Egan G, Crawley M J, Fornara D A. Effects of long-term grassland management on the carbon and nitrogen pools of different soil aggregate fractions[J]. The Science of the total environment, 2018, 613-614: 810-819.
[15] Zhao H, Shar A G, Li S, et al. Effect of straw return mode on soil aggregation and aggregate carbon content in an annual maize-wheat double cropping system[J]. Soil and Tillage Research, 2018, 175: 178-186.
[16] 杨长明,欧阳竹,董玉红.不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J].生态学杂志,2005(8):887-892.
[17] Villamil M B, Little J, Nafziger E D. Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil properties[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 151: 61-66.

(下转第104页)

应渐渐被强化趋于平稳。

抓住广东经济调结构转方式的机遇,加强新型城镇化对农业现代化的拉动效应,促进“两化”同步协调发展,主要从以下三方面着手:

首先,彻底破除各种制度壁垒,建立和完善促进新型城镇化与农业现代化协调发展的体制机制。尽快出台广东农业转移人口市民化的财政支持机制、城镇建设用地增长规模同农业转移人口落户数量挂钩机制等以及具体措施,彻底破除农业转移人口市民化过程中的“隐形门”和“玻璃门”,增强各级政府吸纳农业转移人口落户意愿,并提高其为新市民提供基本公共服务的能力,消除农业转移人口进城落户的顾虑,加快广东新型城镇化发展,为广东农业现代化发展创造条件。

其次,实施粤港澳大湾区城市群、粤东西北地级市中心城区扩容提质和专业镇“产城人”有机融合等创新发展战略,开创广东新型城镇化与农业现代化协调发展的新局面。粤港澳大湾区城市群的建设有利于打破行政区划,合理优化人口与产业的布局,更好地发挥中心城市对中小城市发展的带动作用。通过粤东西北地级市中心城区扩容提质工程,大幅度提高粤东西北地级市中心城区的人口和产业集聚度,吸纳当地存量农业人口就近在中心城区落户,提高城镇化率。

最后,广东应实施特色涉农产业小镇战略,发展农业人口就地市民化和农业现代化。位于城乡接合部的特色小镇既能与都市经济融为一体,又能带动农业农村发展。积极创建休闲农业与乡村旅游示范镇、涉农电子商务镇、岭南特色水果镇、

北运菜镇、热带亚热带花卉镇、糖蔗镇、名贵水产品镇和海水珍珠镇等一批涉农特色小镇,通过打造富有岭南特色的畜牧、水产养殖、花卉、蔬菜、水果、茶饮、香料、中药材、林木等农产品现代产业链,提高农产品科技含量和附加值,实现农业产业的优化升级和农业人口的城镇化。

参考文献:

- [1] 单卓然,黄亚平.“新型城镇化”概念内涵、目标内容、规划策略及认知误区解析[J].城市规划学刊,2013(2):16-22.
- [2] 韩国明,张恒铭.我国新型城镇化与农业现代化协调发展空间分布差异研究[J].吉林大学社会科学学报,2015,55(5):36-46,172.
- [3] 贺文华.新型城镇化与农业现代化协调发展研究—基于城乡一体化的视角[J].山西农业大学学报(社会科学版),2017,16(8):38-46.
- [4] 李光考,陈淑惠.新型城镇化与农业现代化协调发展存在的问题与对策[J].现代农业科技,2014(19):35.
- [5] 曹俊杰,刘丽娟.新型城镇化与农业现代化协调发展问题及对策研究[J].经济纵横,2014(10):12-15.
- [6] 谢天成,施祖麟.城镇化与农业现代化协调发展研究—以昆山市为例[J].农业现代化研究,2015(6):921-926.
- [7] 洪银兴.新时代社会主义现代化的新视角—新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化的同步发展[J].南京大学学报(哲学·人文科学·社会科学),2018,55(2):5-11,157.
- [8] 汪晓文,杜欣.中国城镇化与农业现代化协调发展的测度[J].统计与决策,2015(8):121-124.
- [9] 赵颖文,吕火明.新型城镇化与农业现代化耦合机理及协调关系[J].首都经济贸易大学学报,2016(3):3-10.
- [10] 黄惠英,张连春,虞洪.科技创新、农业现代化与城镇化的动态关联分析[J].农村经济,2018(6):110-115.

(责任编辑:王丝语)

(上接第37页)

- [18] Williams J R, Greenwood D J, Nye P H, et al. The erosion-productivity impact calculator (epic) model: A case history[J]. Philosophical Transactions Biological Sciences, 1990, 329(1255): 421-428.
- [19] 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.
- [20] Wang X, Jia Z, Liang L, et al. Maize straw effects on soil aggregation and other properties in arid land[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 153: 131-136.
- [21] 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.
- [22] Wang X, Cammeraat E L H, Cerli C, et al. Soil aggregation and

the stabilization of organic carbon as affected by erosion and deposition[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 72: 55-65.

- [23] Huang R, Lan M, Liu J, et al. Soil aggregate and organic carbon distribution at dry land soil and paddy soil: The role of different straws returning[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(36): 27942-27952.
- [24] 李国旗,赵盼盼,邵文山,等.封育对荒漠草原沙芦苇群落土壤粒径分形维数及理化性质的影响[J].草地学报,2018,26(3):551-558.
- [25] Li W, Yan M, Zhang Q F, et al. Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind - water erosion region of the northern loess plateau of China[J]. CLEAN-Soil, Air, Water, 2012, 40(1): 7-15.

(责任编辑:王丝语)