

草地与耕地土壤团聚体及有机碳含量对比分析

——以内蒙古四子王旗为例

李青春^{1,2}, 李跃进^{1,2}, 王丹澜^{1,2}, 余雅婧^{1,2}, 王鼎^{1,2}

(1. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古土壤质量与养分资源重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要: [目的] 通过探讨草地开垦为耕地后土壤团聚体及有机碳的变化规律, 为内蒙古自治区四子王旗土地利用方式优化及草原保护提供理论依据。[方法] 以内蒙古四子王旗农牧交错带栗钙土、灰褐土和草甸土 3 种土壤类型下草地和耕地为研究对象, 对 0—10 cm 土层土壤团聚体组成、土壤有机碳、各粒径团聚体有机碳含量和各粒径团聚体对有机碳的贡献率进行了对比分析。[结果] 栗钙土和灰褐土耕地与同地点草地相比, 粒径 > 3 mm 和 0.25~3 mm 的团聚体含量减少, 而 ≤ 0.25 mm 粒径团聚体含量增加, 土壤有机碳和各粒径团聚体有机碳含量均有所降低, 有机碳储存的主体由 > 3 mm 粒径团聚体向 0.25~3 mm 粒径团聚体转化, 非团聚体对有机碳的贡献率上升; 草甸土草地土壤结构性差, 有机碳含量较低, 主要是出现盐化现象所致, 但是开垦为耕地后, 受有机肥长期施入和耕作的影响, 其各项指标均有所改善。[结论] 栗钙土和灰褐土草地在开垦为耕地后, 土壤结构退化, 有机碳稳定性下降。但是, 根据实际情况开垦研究区内盐化草甸土草地进行农田耕作是可行的。

关键词: 草地与耕地; 土壤团聚体; 土壤有机碳

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)01-0050-05

中图分类号: S152.4, S153.6

文献参数: 李青春, 李跃进, 王丹澜, 等. 草地与耕地土壤团聚体及有机碳含量对比分析[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 50-54. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.008; Li Qingchun, Li Yuejin, Wang Danlan, et al. Comparative analysis of soil aggregates and organic carbon distribution in grassland and cultivated land[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 50-54.

Comparative Analysis of Soil Aggregates and Organic Carbon

Distribution in Grassland and Cultivated Land

—A Case Study in Siziwang Banner of Inner Mongolia

Li Qingchun^{1,2}, Li Yuejin^{1,2}, Wang Danlan^{1,2}, Yu Yajing^{1,2}, Wang Ding^{1,2}

(1. College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. Key Laboratory of Soil Quality and Nutrient Resources in Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: [Objective] To investigate the effects of grassland reclamation on the variation of soil aggregates and organic carbon distribution, in order to provide theoretical basis for land use optimization and grassland protection of Siziwang Banner, Inner Mongolia. [Methods] Three soil types (chestnut soil, gray cinnamon soil and meadow soil) were selected from the grassland and cultivated land in the farming-pastoral ecotone of Siziwang Banner, Inner Mongolia. The composition of soil aggregates, soil organic carbon, and soil organic carbon of aggregates with different particle sizes and their contribution rate in the 0—10 cm soil layer were analyzed. [Results] The content of aggregates with particle sizes > 3 mm and 0.25~3 mm were lower, but the content of aggregates with particle size ≤ 0.25 mm was higher in cultivated land than in grassland with chestnut soil and gray cinnamon soil. Moreover, and soil organic carbon of each soil aggregates with different particle size were lower in cultivated land, compared with the other two soil types. The main body of organ carbon storage transformed from soil aggregate with particle size > 3 mm to 0.25~3 mm soil aggregate. The

收稿日期: 2018-07-10

修回日期: 2018-08-11

资助项目: 高等学校博士学科点专项科研基金联合课题“脆弱草原带土地利用变化对土壤环境的影响研究”(20131515110005)

第一作者: 李青春(1994—), 女(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤资源利用与改良。E-mail: liqingchun2019@126.com。

通讯作者: 李跃进(1960—), 男(汉族), 内蒙古自治区丰镇市人, 硕士, 教授, 主要从事土壤资源利用与改良研究。E-mail: liyuejin2005@126.com。

contribution rate of non-aggregates to soil organic carbon was increased in the cultivated land soil. The structure of meadow soil was poor with low organic carbon content, which was mainly caused by the salinization, but it was improved by the long-term cultivation and application of organic fertilizer after reclamation for arable land. [Conclusion] After reclamation of the grassland with chestnut soil and gray cinnamon soil into cultivated land, soil structure was degraded and the stability of soil organic carbon was decreased, however, proper reclamation in meadow soil was feasible under suitable conditions.

Keywords: grassland and cultivated land; soil aggregate; soil organic carbon

土壤中团聚体的分布对土壤中水、肥、气、热状况有重要的影响,团聚体中的有机碳对调节土壤结构和肥力也有重要作用。由于不同的土地利用方式下,土壤中物质输入与输出方式有所差异,加上人类活动的影响,造成了不同土地利用方式下土壤中不同粒径团聚体分布特征及有机碳含量的差异。土壤结构退化是土壤退化的主要过程之一,表现为土壤团聚状况的改变和土壤有机碳含量的下降,因此,这两项可作为评价土壤结构优劣的指标^[1]。

内蒙古四子王旗地处内蒙古自治区阴山北麓农牧交错带,草地、耕地两种土地利用方式呈交错分布并存。近年来,在人口压力和经济发展的驱动下,草地被不断开垦,耕地面积不断扩大。内蒙古草原是中国北方重要的生态屏障,具有防风固沙、保持水土等重要作用,而耕地能为当地居民增加收入,改善其生活水平,但是由于农牧交错带生态环境极为脆弱,草地开垦为耕地后可能会造成风蚀沙化、沙尘暴等问题,这不仅威胁着当地农牧民的正常生产生活和区域可持续发展,还将对华北地区的环境产生很大影响^[2]。所以如何在两种土地利用方式中取得平衡仍待研究。本研究旨在通过对四子王旗农牧交错带耕地和草地土壤团聚体及其有机碳的分布特征进行比较分析,研究草地在开垦为耕地后土壤结构是否退化,有机碳是否稳定,以期对四子王旗土地利用方式优化以及草原保护提供理论依据。

1 研究区概况

内蒙古四子王旗位于中国北疆,隶属于乌兰察布市,地处内蒙古中北部(110°20′—113°00′E, 41°10′—

43°20′N),东西横跨 200 余 km,南北纵长 400 余 km。总土地面积 2.40×10^6 hm²。该旗处于内蒙古高原,大青山北麓,整体地形南高北低,东西高,中间低,气温随地势自北向南递减,夏季炎热短促,冬季寒冷漫长,属中温带大陆性气候。由于该旗地处蒙古高原南缘,全年多风,冬春季盛行西风、西北风,夏秋季多为南风、东南风,年平均风速大于 4.4 m/s,8 级以上大风年平均日数 50 d 以上。该旗位于内陆高纬度地区,日照充足而降雨不足,属于干旱和半干旱地带,所处自然植被带为干草原到荒漠草原过渡地带。全旗生产布局大体可概括为南部各乡以经营农业为主,北部各苏木以经营畜牧业为主。农区耕地从南到北,是从一百年前开始垦植,面积逐年扩大,北部最短也有 50~60 a 的历史。全旗耕地总面积 1.34×10^5 hm²,天然草地 2.04×10^6 hm²;该旗土壤类型多样,主要为棕钙土、栗钙土、草甸土、灰褐土,还有小面积的盐土和山地黑土^[3]。

2 调查与方法

2.1 野外调查与样品采集

野外调查与样品采集于 2017 年 8 月初进行。在参考相关资料的基础上,进行野外实地调查。在对土壤类型和地貌类型以及土地利用现状进行综合考虑后,分别对 3 种土壤类型下(栗钙土、灰褐土、草甸土)草地和耕地进行土壤取样。同一土壤类型草地和耕地取样点距离不超过 200 m(坡度、坡向和海拔相同),用不锈钢土铲取 0—10 cm 原状土样,随机重复取样 3 次,放入样品盒内带回实验室进行风干处理。采样地点信息详见表 1。

表 1 采样地点详细信息

| 地理位置 | 采样地点 | 地貌类型 | 土壤类型 | 土壤质地 | 草地类型(优势种) | 耕地经营管理情况 |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|----------------------------|---|
| 111°58′28″E 41°36′53″N | 库伦图乡库伦图村 东北 300 m | 缓丘 | 栗钙土 | 砂壤 | 干旱草地 (羊草、冰草、冷蒿) | 施用化肥;无灌溉;50~60 a 前开垦; 向日葵、马铃薯、糜、黍轮作 |
| 112°4′49″E 41°29′19″N | 忽鸡图二号村南偏 东 100 m | 丘陵 | 灰褐土 | 砂壤 | 疏林草地 (羊草、扁蓿豆、冷蒿、山杨) | 施用化肥;无灌溉;50~60 a 前开垦; 向日葵、马铃薯、糜、黍轮作 |
| 111°33′39″E 41°39′20″N | 吉生太乡孔独林村 东 1 000 m | 丘间平地 | 草甸土 | 轻壤 | 草甸草地(阿尔泰狗娃花、 猪毛菜、星毛委陵菜) | 施用化肥及有机肥;无灌溉;50~60 a 前开垦;向日葵、马铃薯、糜、黍轮作 |

2.2 测定方法

土壤团聚体组成的测定方法采用干筛法^[4],分离出 >3 mm, $0.25\sim 3$ mm, ≤ 0.25 mm 的团聚体,剔除石砾后称重。土壤有机碳含量的测定采用重铬酸钾氧化—外加加热法^[5]。

2.3 数据处理与统计分析

试验数据经 Excel 2010 整理后,采用 SAS 进行方差分析,并用 LSD 法进行差异显著性检验,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$,采用 SigmaPlot10.0 软件进行作图,分析比较不同土壤类型下草地和耕地土壤有机碳含量及其各粒径团聚体有机碳含量的差异。

各粒径团聚体质量百分含量 = 该粒径土壤团聚体质量(g)/土壤样品总质量(g) $\times 100\%$

各粒径团聚体养分储量(g/kg) = 该粒径团聚体中养分含量(g/kg) \times 该粒径团聚体质量百分含量(%)

团聚体对土壤养分的贡献率 = 某粒径团聚体养分储量(g/kg)/土壤样品中养分含量(g/kg) $\times 100\%$

3 结果与分析

3.1 草地、耕地土壤团聚体组成特征的分析

由表 2 可知,栗钙土与灰褐土草地各粒径土壤团聚体的含量表现出相同规律,即: >3 mm 粒径团聚体,大于 $0.25\sim 3$ mm 粒径团聚体大于 ≤ 0.25 mm 粒径团聚体;两种土壤类型耕地土壤则表现为: $0.25\sim 3$ mm 粒径团聚体,大于 >3 mm 粒径团聚体大于 ≤ 0.25 mm 粒径团聚体;栗钙土耕地与草地相比, >3 mm 粒径团聚体减少了 54.20%, $0.25\sim 3$ mm 粒径团聚体增加了 17.82%, ≤ 0.25 mm 的微团聚体增加了 36.53%;灰褐土耕地与草地相比, >3 mm 粒径团聚体减少了 18.19%, $0.25\sim 3$ mm 粒径团聚体增加了 15.96%, ≤ 0.25 mm 的微团聚体含量基本不变。草甸土草地各粒径土壤团聚体含量从大到小依次为: ≤ 0.25 mm 粒径团聚体、 $0.25\sim 3$ mm 粒径团聚体、 >3 mm 粒径团聚体;相同地点耕地则为: >3 mm 粒径团聚体、 $0.25\sim 3$ mm 粒径团聚体、 ≤ 0.25 mm 粒径团聚体;草地开垦为耕地后,耕地土壤 >3 mm 粒径团聚体和 $0.25\sim 3$ mm 粒径团聚体含量分别增加了 160.69%和 8.52%, ≤ 0.25 mm 的微团聚体含量减少了 38.91%。

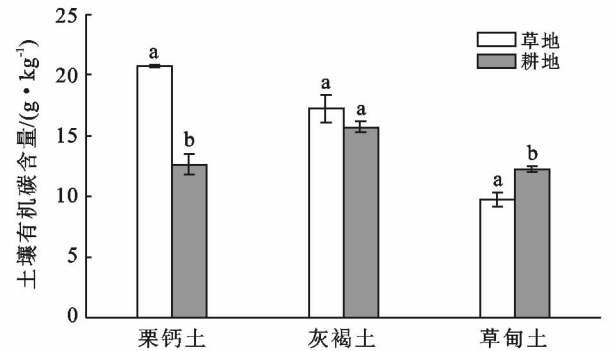
3.2 草地、耕地土壤有机碳含量的比较分析

由图 1 可知,在草地和耕地两种不同利用方式下,研究区内栗钙土草地土壤有机碳含量显著高于耕地,灰褐土同样表现为草地高于耕地,但差异不显著,草甸土则表现出耕地土壤有机碳显著高于草地的规律。

表 2 不同土壤类型下草地和耕地土壤不同粒径团聚体含量

| 土壤类型 | 土地利用方式 | 团聚体含量/% | | |
|------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | >3 mm | $0.25\sim 3$ mm | ≤ 0.25 mm |
| 栗钙土 | 草地 | 48.12 ± 1.65^a | 32.72 ± 1.32^a | 15.22 ± 1.17^a |
| | 耕地 | 22.04 ± 1.03^b | 38.55 ± 1.49^b | 20.78 ± 0.85^b |
| 灰褐土 | 草地 | 38.37 ± 1.69^a | 31.95 ± 0.20^a | 23.31 ± 1.20^a |
| | 耕地 | 31.39 ± 1.22^b | 37.05 ± 1.50^b | 23.37 ± 1.02^a |
| 草甸土 | 草地 | 13.71 ± 0.53^a | 32.17 ± 0.87^a | 46.00 ± 1.11^a |
| | 耕地 | 35.74 ± 0.98^b | 34.91 ± 0.95^b | 28.10 ± 1.27^b |

注:同列不同小写字母表示不同土地利用方式间的差异显著($p<0.05$)。下同。



注:不同小写字母表示不同土地利用方式间差异显著($p<0.05$)

图 1 不同土壤类型下草地和耕地土壤有机碳含量

3.3 草地、耕地土壤各粒径团聚体有机碳含量的比较分析

由表 3 可知,栗钙土和灰褐土各粒径土壤团聚体有机碳含量均表现出同一规律,即:草地 $>$ 耕地。栗钙土耕地土壤与草地相比, >3 mm, $0.25\sim 3$ mm, ≤ 0.25 mm 粒径团聚体有机碳含量分别降低了 52.30%, 46.87%, 33.50%。灰褐土耕地土壤与草地相比, >3 mm, $0.25\sim 3$ mm, ≤ 0.25 mm 粒径团聚体有机碳含量降幅分别为:12.49%, 15.94%, 10.15%。草甸土则相反,表现为耕地土壤各粒径团聚体有机碳含量均高于草地;草地开垦为耕地后, >3 mm, $0.25\sim 3$ mm, ≤ 0.25 mm 粒径土壤团聚体有机碳含量分别增加了 55.68%, 41.71%, 57.75%。

表 3 不同土壤类型下草地和耕地各粒径土壤团聚体有机碳含量

| 土壤类型 | 土地利用方式 | 有机碳含量/($g \cdot kg^{-1}$) | | |
|------|--------|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| | | >3 mm | $0.25\sim 3$ mm | ≤ 0.25 mm |
| 栗钙土 | 草地 | 16.29 ± 0.82^a | 11.67 ± 1.34^a | 16.39 ± 0.91^a |
| | 耕地 | 7.77 ± 0.82^b | 6.20 ± 0.69^b | 10.90 ± 0.79^b |
| 灰褐土 | 草地 | 14.33 ± 0.37^a | 13.24 ± 0.65^a | 15.76 ± 0.69^a |
| | 耕地 | 12.54 ± 0.70^b | 11.13 ± 0.42^b | 14.16 ± 0.52^b |
| 草甸土 | 草地 | 7.04 ± 0.32^a | 7.84 ± 0.66^a | 4.26 ± 0.61^a |
| | 耕地 | 10.96 ± 0.24^b | 11.11 ± 1.12^b | 6.72 ± 0.43^b |

除草甸土外,在不同粒径的土壤团聚体中,两种土地利用方式均以 ≤ 0.25 mm 粒径的团聚体有机碳含量最高,其次为 > 3 mm 粒径团聚体,0.25~3 mm 粒径团聚体有机碳含量最低。草甸土则表现为 0.25~3 mm 粒径团聚体有机碳含量最高, > 3 mm 粒径团聚体次之, ≤ 0.25 mm 粒径团聚体最低。

3.4 草地、耕地土壤团聚体有机碳贡献率的比较分析

由表 4 可知,栗钙土草地各粒径土壤团聚体对有机碳的贡献率从大到小依次为: > 3 mm 粒径团聚体、0.25~3 mm 粒径团聚体、 ≤ 0.25 mm 粒径团聚体;相同地点耕地则为:0.25~3 mm 粒径团聚体、 ≤ 0.25

mm 粒径团聚体、 > 3 mm 粒径团聚体。说明对于栗钙土的草地和耕地,有机碳储存的主体分别是 > 3 mm 粒径团聚体和 0.25~3 mm 粒径团聚体。

灰褐土草地各粒径土壤团聚体对有机碳贡献率从大到小依次为: > 3 mm 粒径团聚体,0.25~3 mm 粒径团聚体, ≤ 0.25 mm 粒径团聚体;而在相同地点的耕地则为:0.25~3 mm 粒径团聚体, > 3 mm 粒径团聚体, ≤ 0.25 mm 粒径团聚体。这些规律说明对于灰褐土的草地和耕地,有机碳储存的主体分别是 > 3 mm 粒径团聚体,0.25~3 mm 和 > 3 mm 粒径团聚体。

表 4 不同土壤类型下草地和耕地各粒径土壤团聚体有机碳贡献率

| 土壤类型 | 土地利用方式 | 土壤团聚体有机碳贡献率/% | | | 土壤非团聚体有机碳贡献率/% |
|------|--------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | > 3 mm | 0.25—3 mm | ≤ 0.25 mm | |
| 栗钙土 | 草地 | 39.20 \pm 1.04 ^a | 18.95 \pm 1.12 ^a | 12.51 \pm 1.84 ^a | 29.34 \pm 1.22 ^a |
| | 耕地 | 16.57 \pm 1.27 ^b | 23.39 \pm 0.95 ^b | 21.92 \pm 1.07 ^b | 38.12 \pm 0.75 ^b |
| 灰褐土 | 草地 | 33.98 \pm 1.06 ^a | 26.37 \pm 0.82 ^a | 22.63 \pm 0.57 ^a | 17.02 \pm 1.50 ^a |
| | 耕地 | 28.01 \pm 0.93 ^b | 28.48 \pm 1.67 ^a | 22.89 \pm 1.09 ^a | 20.61 \pm 1.83 ^a |
| 草甸土 | 草地 | 10.76 \pm 0.69 ^a | 28.18 \pm 0.99 ^a | 21.91 \pm 0.60 ^a | 39.15 \pm 0.56 ^a |
| | 耕地 | 32.98 \pm 1.60 ^b | 32.57 \pm 1.62 ^b | 15.85 \pm 0.82 ^b | 18.60 \pm 0.81 ^b |

草甸土草地各粒径土壤团聚体对有机碳贡献率从大到小依次为:0.25~3 mm 粒径团聚体, ≤ 0.25 mm 粒径团聚体, > 3 mm 粒径团聚体;相同地点耕地则为: > 3 mm 粒径团聚体,0.25~3 mm 粒径团聚体, ≤ 0.25 mm 粒径团聚体,说明对于草甸土的草地和耕地,有机碳储存的主体分别为 0.25~3 mm 粒径团聚体, > 3 mm 和 0.25~3 mm 粒径团聚体。对于土壤非团聚体有机碳贡献率,栗钙土和灰褐土表现为:耕地 $>$ 草地,草甸土则表现为:草地 $>$ 耕地。

4 讨论

大于 0.25 mm 团聚体数量是评定土壤结构性的一个重要指标之一,其含量越高,土壤结构越稳定^[6],当土壤中 > 0.25 mm 的团聚体少于 70% 时,就成为了无结构的土壤^[7]。本研究中,除草甸土外,栗钙土和灰褐土草地土壤中 > 0.25 mm 团聚体含量均高于耕地,这一结果与前人研究结果一致^[8],说明研究区内栗钙土与灰褐土两种土壤类型下草地的土壤结构优于耕地。研究区内栗钙土和灰褐土耕地土壤相较于草地土壤 > 3 mm 粒径团聚体含量减少,0.25~3 mm 和 ≤ 0.25 mm 粒径团聚体含量增加,这是因为耕地耕作频繁,农机具的使用及人为活动干扰使大团聚体破碎,向更小粒径转化,这与毛艳玲等^[9]的研究结果一致,Sodhi 等^[10]学者研究认为土壤耕作后大团聚体更

容易破碎,Tisdall 等^[11]的结论对这一结果进行了进一步解释,他认为土壤团聚体的稳定性受土壤黏结介质持久性的影响,微团聚体主要由持久性介质(与高价金属阳离子联系的芳香腐殖物质和受黏粒强烈吸附的聚合物)粘结而成,而大团聚体是由瞬时介质(主要是多糖)和暂时介质(根、真菌菌丝、微生物细胞、藻类)粘结在一起的。

由于不同的土地利用方式下物质的输入与输出存在差异,所以不同的土地利用方式可对土壤结构及其有机碳含量造成不同的影响^[12]。本研究中草地土壤中的有机碳主要来源于草本植物凋落物、根系分泌物,动物粪便等,耕地土壤上植物根系不发达,能为土壤提供的有机碳有限,且农作物成熟收获后,植物体不能归还土壤,所以耕地有机碳来源主要是外源物质,如有机肥的施入,但是即便有外源物质的加入,由于对耕地翻耕频繁,土壤通气性提高,加剧了土壤有机碳的矿化,并且耕地表层土壤疏松,水土流失严重,土壤中的有机碳也随之流失^[13],所以研究区内除草甸土外的两种土壤类型下的草地土壤及各粒径土壤团聚体有机碳含量均高于耕地。栗钙土和灰褐土在草地、耕地两种利用方式下土壤有机碳在土壤团聚体中表现出了中间低,两端高的特征,这与张履勤等^[14]的研究结果一致。随着土壤团聚体粒径的减小,草地转化为耕地后,团聚体有机碳含量的降幅逐渐减小,

这一结果与 six 等^[15]的研究结论相符,其研究认为:土地利用方式的变化对土壤团聚体有机碳的影响首先体现在大团聚体上,而微团聚体中有机碳含量则保持在相对稳定的水平。草甸土的各项指标表现出与另两种类型土壤截然相反的规律,这是因为:在野外调查中发现该地天然草地有大面积盐化现象,与 30 a 前调查资料相符,属于盐化草甸土,调查资料显示全旗盐化草甸土面积约为 $5.29 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占全旗土壤总面积的 2.24%。盐化草甸土结构性差,有机碳含量低,开垦为耕地后,由于有机肥的施入和耕作的影响,使土壤有机碳含量增加,促进土壤结构改善^[16],在该地区具有一定代表性。

土壤团聚体有机碳贡献率是对各粒径土壤团聚体含量和土壤各粒径团聚体有机碳含量的综合考虑,所以其表现规律与两者均有所不同。研究区栗钙土草地土壤以 $>3 \text{ mm}$ 粒径团聚体为有机碳储存的主体,耕地则以 $0.25 \sim 3 \text{ mm}$ 粒径团聚体为有机碳储存的主体,这可能是因为草地有比耕地更多的有机物质输入,并且大团聚体的形成速度比微团聚体快^[17],根据团聚体的多级形成理论,微团聚体通过有机物质胶结形成大团聚体,相应地,微团聚体的组成比例下降;同时耕地由于耕作频繁,大团聚体也在向微团聚体转化,所以栗钙土在两种土地利用方式下各粒径土壤团聚体对有机碳的贡献率呈现出这样的规律^[7]。研究区灰褐土草地土壤以 $>3 \text{ mm}$ 粒径团聚体为有机碳储存的主体,耕地则以 $0.25 \sim 3 \text{ mm}$ 和 $>3 \text{ mm}$ 粒径团聚体为有机碳储存的主体,表现出与栗钙土相同的规律,结合各粒径团聚体含量和各粒径团聚体有机碳含量的降幅来看,该地区草地开垦为耕地后土壤结构退化程度较轻。研究区草甸土由于发生了盐渍化,土壤结构退化,草地开垦为耕地后,由于有机肥的长期施入和耕作机械力的作用,加上草甸土黏粒含量较多,促进了大团聚体的形成,使得土壤结构得以改善,土壤有机碳含量增加,所以其有机碳储存的主体由 $0.25 \sim 3 \text{ mm}$ 粒径团聚体向 $>3 \text{ mm}$ 和 $0.25 \sim 3 \text{ mm}$ 粒径团聚体转变,这与李大伟等^[18]的研究结果一致。进入土壤团聚体中的有机碳在各种力的作用下保持在相对稳定的状态,而无论是刚刚进入土壤还未能进入团聚体的有机碳还是由于团聚体被破坏而被释放的有机碳其稳定性都有所下降,抵抗矿质化的能力减弱,有机碳流失加快^[19]。研究区栗钙土和灰褐土耕地非团聚体有机碳的贡献率均大于草地,说明耕作不仅破坏了土壤结构,还会加剧土壤中有有机碳的流失。

5 结论

(1) 内蒙古四子王旗农牧交错带 3 种土壤类型

下草地开垦为耕地后,各粒径土壤团聚体含量、土壤有机碳含量、各粒径土壤团聚体有机碳含量以及各粒径土壤团聚体对有机碳的贡献率均有不同程度的变化,说明土地利用方式的改变引起了土壤结构及有机碳的变化。

(2) 内蒙古四子王旗农牧交错带栗钙土和灰褐土草地在开垦为耕地后, $>0.25 \text{ mm}$ 团聚体含量降低,尤其 $>3 \text{ mm}$ 粒径团聚体降幅较大, $\leq 0.25 \text{ mm}$ 粒径团聚体含量增加,各粒径土壤团聚体有机碳含量降低,说明将该地区草地开垦为耕地后,土壤结构发生了退化。

(3) 内蒙古四子王旗农牧交错带盐化草甸土草地开垦为耕地后,由于有机肥的长期施入和耕作影响,促进了微团聚体向大团聚体的转化,各粒径土壤团聚体有机碳含量也有所增加。但是由于四子王旗盐化草甸土面积相对较小,且该区为农牧交错带,生态环境脆弱,因此,只建议在丘间平地分布的盐化草甸土地,根据实际情况开垦草地进行农田耕作。

[参 考 文 献]

- [1] 杨长明, 欧阳竹. 华北平原农业土地利用方式对土壤水稳性团聚体分布特征及其有机碳含量的影响[J]. 土壤, 2008, 40(1): 100-105.
- [2] 敖登高娃. 脆弱草原带土地利用对土壤质量的影响研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [3] 闫晔, 修长柏. 基于期权定价理论的草原碳汇价值评估: 以内蒙古四子王旗为例[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(11): 31-36.
- [4] 卢怡, 龙健, 廖洪凯, 等. 不同土地利用方式对喀斯特峰丛洼地土壤团聚体碳、氮、磷分布特征的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 289-294.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社: 2013.
- [6] 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.
- [7] 姚贤良, 程云生, 等. 土壤物理学[M]. 北京: 农业出版社: 1986.
- [8] 杨慧, 张连凯, 于爽, 等. 桂林毛村岩溶区与碎屑岩区不同土地利用方式对土壤水稳性团聚体特征的影响[J]. 中国岩溶, 2012, 31(3): 265-271.
- [9] 毛艳玲, 杨玉盛, 邹双全, 等. 土地利用变化对亚热带山地红壤团聚体有机碳的影响[J]. 山地学报, 2007, 25(6): 706-713.
- [10] Sodhi G P S, Beri V, Benbi D K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 103(2): 412-418.

(下转第 60 页)

- 量的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2004.
- [4] 李冬梅,焦峰,雷波,等. 黄土丘陵区不同草本群落生物量与土壤水分的特征分析[J]. 中国水土保持科学,2014,12(1):33-37.
- [5] Mitchell J E, West N E, Miller R W. Soil physical properties in relation to plant community patterns in the Shadscale Zone of Northwestern Utah [J]. Ecology, 1966,47(4):627-630.
- [6] 邓蕾. 黄土高原生态系统碳固持对植被恢复的响应机制[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [7] 马有祥. 宁夏云雾山草原自然保护区综合科学考察报告[M]. 北京:科学出版社,2013.
- [8] 华娟,赵世伟,张扬,等. 云雾山不同草地群落土壤活性有机碳分布特征[J]. 草地学报,2009,17(3):315-320.
- [9] 赵勇钢,赵世伟,华娟,等. 半干旱典型草原区封育草地土壤结构特征研究[J]. 草地学报,2009,17(1):106-112.
- [10] An Shaoshan, Huang Yimei, Zheng Fenli. Evaluation of soil microbial indices along a revegetation chronosequence in grassland soils on the Loess Plateau, Northwest China[J]. Applied Soil Ecology, 2009,41(3):286-292.
- [11] 张志南,武高林,王冬,等. 黄土高原半干旱区天然草地群落结构与土壤水分关系[J]. 草业学报,2014,23(6):313-319.
- [12] 李中林,秦卫华,周守标,等. 短期围栏封育对红松注自然保护区群落数量特征的影响[J]. 草地学报,2015,23(1):21-26.
- [13] 郝红敏,刘玉,王冬,等. 典型草原开垦弃耕后不同年限群落植物多样性和空间结构特征[J]. 草地学报,2016,24(4):754-759.
- [14] Zhou Zhengchao, Shangguan Zhouping. Vertical distribution of fine roots in relation to soil factors in *Pinus tabulaeformis* Carr. forest of the Loess Plateau of China[J]. Plant & Soil, 2007,291(2):119-129.
- [15] 张永旺. 黄土丘陵区不同恢复植被下土壤蓄持水分能力及其调控[D]. 陕西 杨凌:中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心,2017.
- [16] Howard L F, Lee T D. Temporal patterns of vascular plant diversity in southeastern New Hampshire forests[J]. Forest Ecology & Management, 2003,185(1):5-20.
- [17] 刘海威,张少康,焦峰. 黄土丘陵区不同退耕年限草地群落特征及其土壤水分养分效应[J]. 草业学报,2016,25(10):31-39.
- [18] Bezemer T M, Lawson C S, Hedlund K, et al. Plant species and functional group effects on abiotic and microbial soil properties and plant-soil feedback responses in two grasslands[J]. Journal of Ecology, 2006,94(5):893-904.
- [19] 董杰,包翔,孟和巴特尔,等. 不同封育年限下典型草原栗钙土物理性状变化规律的研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2008,29(1):53-56.
- [20] 苏永中,赵哈林,文海燕. 退化沙质草地开垦和封育对土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报,2002,16(4):5-8.
- [21] 邹厚远,程积民. 黄土高原草原植被的自然恢复演替及调节[J]. 水土保持研究,1998,5(1):126-138.
- [22] 安韶山,张扬,郑粉莉. 黄土丘陵区土壤团聚体分形特征及其对植被恢复的响应[J]. 中国水土保持科学,2008,6(2):66-70.
- [23] 何玉惠,赵哈林,刘新平,等. 封育对沙质草甸土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(2):159-161.
- [24] 赵世伟. 黄土高原子午岭植被恢复下土壤有机碳—结构—水分环境演变特征[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.

(上接第 54 页)

- [11] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. European Journal of Soil Science, 2006,33(2):141-163.
- [12] 王开勇,郭岩彬,孟凡乔,等. 常规与有机农田土壤团聚体组成及碳氮储量研究[J]. 水土保持通报,2013,33(5):180-184.
- [13] 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.
- [14] 张履勤,章明奎. 林地与农地转换过程中红壤有机碳、氮和磷库的演变[J]. 浙江林学院学报,2006,23(1):75-79.
- [15] Six J, Bossuyt H, Degryze S D, et al. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics [J]. Soil and Tillage Research, 2004,79(1):7-31.
- [16] 尹勤瑞. 盐碱化对土壤物理及水动力学性质的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [17] 刘晶,田耀武,张巧明. 豫西黄土丘陵区不同土地利用方式土壤团聚体有机碳含量及其矿化特征[J]. 水土保持学报,2016,30(3):255-261.
- [18] 李大伟,孟庆峰,周连仁,等. 长期施肥下不同种植年限碱化草甸土水稳性团聚体及有机碳分布[J]. 水土保持通报,2013,33(6):80-83.
- [19] 任雅阁,马玲玲,成杭新,等. 典型农耕区褐土水稳性团聚体有机碳的分布及组成[J]. 水土保持通报,2014,34(2):15-19.