

子午岭林区土地退化/恢复过程中土壤水稳性团聚体的动态变化

朱冰冰¹,李 鹏^{1,2},李占斌^{1,3},卢金伟³

(1 西安理工大学 水利水电学院,陕西 西安 710048;2 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨凌 712100;
3 中国科学院 水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,陕西 杨陵 712100)

【摘 要】 【目的】揭示子午岭林区土地退化/恢复过程中土壤质量演变及其与土壤侵蚀的关系。【方法】采用野外调查和室内分析相结合的方法,对陕西省富县任家台林场子午岭林区土地退化/恢复过程中,土壤水稳性团聚体和有机质的动态变化规律进行了系统研究。【结果】土地退化过程中,土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量减少;土地恢复过程中,土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量增加;土壤有机质含量随开垦/恢复年限的增加而减小/增大;土壤有机质含量与>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量之间存在着显著的正相关关系;土壤水稳性团聚体平均质量直径随着土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量或退耕年限的增加而增大。【结论】土地开垦,土壤水稳性团聚体含量减少,土壤结构稳定性被破坏,调控能力减弱;土地恢复,土壤水稳性团聚体含量增加,平均质量直径增大,稳定性增强,土壤结构得到改善。

【关键词】 土壤有机质;水稳性团聚体;土地退化/恢复;子午岭林区
【中图分类号】 S152.4⁺82 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2008)03-0124-05

Dynamics of water stable aggregate in land degradation/restoration process of Ziwuling forest farm

ZHU Bing-bing¹,LI Peng^{1,2},LI Zhan-bin^{1,3},LU Jin-wei³

(1 Institute of Water Resources and Hydro-Electric Engineering,Xian University of Technology,Xi'an,Shaanxi,710048,China;
2 Forestry College,Northwest A & F University,Yangling,Shaanxi 712100,China;
3 Institute of Soil and Water Conservation,CAS,MWR,Yangling,Shaanxi 712100,China)

Abstract: 【Objective】 This research is to study the devolvment of soil quality during degradation and restoration. 【Method】 Based on the field investigation and indoor analysis,dynamics of soil water stable aggregate in land degradation/restoration process in Renjiatai forest farm was studied. 【Result】 Results indicated that in the process of reclamation,soil organic matters and >0.25 mm water stable aggregate tended to decrease,while during restoration,soil organic matters and >0.25 mm water stable aggregate increased. Between soil organic matters and >0.25 mm water stable aggregate,there was a positive linear relationship. Mean-weight diameter of soil water stable aggregate increased corresponding with the content of >0.25 mm soil water stable aggregate or restoration years. 【Conclusion】 Land reclamation destroys soil water stable aggregates and their stability,and land restoration augments the mean-weight diameter of soil water stable aggregate through increasing soil water stable aggregate contents and its stability,thus soil

* [收稿日期] 2007-03-16
[基金项目] 国家重点基础研究发展计划项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407206);国家自然科学基金项目“坡面侵蚀输沙动力过程实验研究”(40371075);西安理工大学优秀博士生科研基金(2007-210009)
[作者简介] 朱冰冰(1980—),女,河南周口人,在读博士,主要从事土壤侵蚀与环境演变研究。E-mail:zbb1026@126.com

structure is improved.

Key words: soil organic matter; water stable aggregate; land degradation/restoration; Ziwuling forest farm

土壤团聚体是土壤的重要组成部分,是土壤结构的基本单位^[1]。土壤团聚体在土壤中具有保证和协调土壤中的水、肥、气、热,影响土壤酶的种类和活性,维持和稳定土壤疏松熟层^[2]等3大重要作用。在一定程度上,土壤团聚体数量和质量及水稳性团聚体的状况,影响着土壤结构的优劣^[3-4]。具有良好水稳性团聚体结构的土壤,不仅能够满足植物对水分、养分、湿度、空气的需求,而且具有良好的抗冲抗蚀性能。土壤的结构退化是土壤退化最重要的过程之一,其最明显的特征是土壤团聚体构成比例失调和稳定性下降^[5-6]。从土地可持续利用和管理的角度来看,土壤团聚体,尤其是水稳性团聚体和有机质,是评价土地退化或恢复的重要指标^[7-8]。随着西部大开发的逐步实施、西部地区资源开发利用和生态环境建设的不断深入和发展,对西部地区土地利用格局产生了深刻的影响,进而对土壤的物理化学性质及其质量产生了重要的影响。对土壤结构进行量化描述并研究其动态变化过程,是评价人类活动与生态环境变化之间关系的重要方面。深入研究土地退化/恢复过程中土壤有机质含量及水稳性团聚体含量的动态变化,对于揭示土壤质量的演变,提出土壤环境治理途径及植被修复和重建具有重要理论和实践意义。

近年来,国内外学者对土壤团聚体的形成机制、稳定机制、稳定性的影响因素及其分形特征进行了深入研究,结果表明,土壤团聚体的形成是一个非常复杂的过程,包括一系列的物理、化学及生物的作用;土壤水稳性团聚体的数量对土壤通气透水性、土壤温度以及土壤抗蚀性具有重要影响,土壤有机质、土壤微生物等自然因素及耕作、土地利用方式变化等人为活动,对土壤团聚体的稳定性均有重要影响^[1-2,7,9]。黄土高原是世界上水土流失最为严重的地区,对该区的土壤侵蚀过程已进行了深入细致的研究,但对植被恢复过程与土壤质量和土壤侵蚀关系的研究较少,这直接影响了黄土高原乃至西北地区良性生态环境重建等重大决策的制定。为此,本研究以黄土高原典型自然恢复区子午岭林区为例,对土地退化/恢复过程中土壤有机质含量及团聚体含量的动态变化进行了深入系统的研究,以期为进一步揭示土地退化/恢复过程中土壤质量的演变及

其与土壤侵蚀的关系奠定基础。

1 研究区概况

研究区位于陕西省富县任家台林场的子午岭林区,地理位置为109°11'E, 36°05'N。地貌类型为梁状黄土丘陵区,海拔920~1 680 m,相对高差100~150 m,沟壑密度4.5 km/km²。地表土壤主要以新黄土、老黄土为主,而在有些沟谷底部还出现三趾马红土和白垩纪的砂岩和页岩。年平均气温9℃,平均降水量576.7 mm,其中7~9月的汛期雨量占全年雨量的60%~70%。区内林木郁闭度达0.7以上,林下草灌覆盖度达0.9以上。区内乔木主要为山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betula platyphyllum*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)等;灌木主要为绒线菊(*Spiraea sp.*)、酸枣刺(*Ziziphus guguba*)、狼牙刺(*Sophora viciifolia*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)等;草本有大披针苔草(*Carex lanceolata*)、黄菅草(*Themeda japonica*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)等;林下草灌多为虎榛子、绒线菊和大披针苔草。该区土壤类型主要为森林草原植被下发育的褐色型土壤。

子午岭林区植被恢复前,人类活动频繁,土壤侵蚀十分剧烈,清朝同治年间(1866年)因民族纠纷和战乱,人口逃亡,田地荒芜,植被才逐渐自然恢复,形成今日的林区景观。该区已基本上达到了自然生态平衡状况,土壤侵蚀由人为加速侵蚀逐渐恢复为自然侵蚀,成为黄土高原残存的唯一的人工次生林景观,代表了自然景观下的侵蚀状况。

2 材料与方法

选取陕西省富县任家台林场子午岭林区已有的坡面径流小区中未开垦的林地,以及不同开垦侵蚀年限(1, 3, 5, 8, 10年)和不同退耕年限(5, 8, 20, 30年)的农地为研究样地,以现存林地自然状况下的土壤为对照,研究土地退化/恢复过程中土壤有机质含量及土壤水稳性团聚体含量的动态变化。农地取样点均在坡中部,其他各样地随机布点。取0~20 cm表层原状土,室内风干,用筛分法分别测定土壤中>5 mm, 5~2 mm, 2~1 mm, 1~0.5 mm和0.5~0.25 mm水稳性团聚体含量^[10],计算平均质量直径

(Mean-weight diameter, MWD)^[11], 并用 K₂Cr₂O₇ 氧化-外加热法^[12]测定有机质含量。

3 结果与分析

3.1 子午岭林区土壤水稳性团聚体含量的动态变化

3.1.1 不同开垦年限土壤中水稳性团聚体的变化
不同开垦年限各级土壤水稳性团聚体含量的变化见图 1。

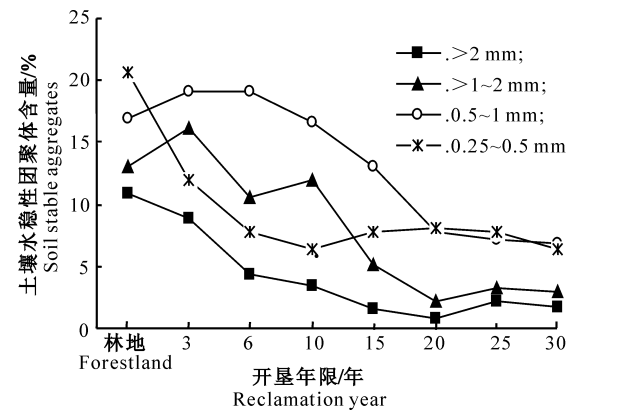


图 1 不同开垦年限土壤中水稳性团聚体含量的变化
Fig. 1 Variations of different soil water stable aggregates under different reclaimed farmland

从图 1 可以看出,林地开垦后,随着开垦年限的延长,土壤各级水稳性团聚体含量总体上呈下降趋势,其中以>2 mm 和 1~2 mm 土壤水稳性团聚体含量下降幅度最大。在开垦 30 年的农地中,>2 mm

和 1~2 mm 土壤水稳性团聚体含量分别为林地的 16%和 22%;而 0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 土壤水稳性团聚体含量分别为林地的 41%和 31%。可见,土地开垦首先破坏的是土壤中较大的水稳性团聚体,其原因:一是农机具的使用和人为频繁活动使土壤团聚体经常受到干扰,从而促使土壤大水稳性团聚体向小水稳性团聚体转化;二是林地开垦导致地表枯枝落叶减少,引起土壤表层有机质来源减少,致使土壤颗粒之间因缺乏有机质的胶结而使土壤大团聚体含量减少;三是覆盖物的减少使得表层土壤中的大团聚体容易遭受雨滴的打击而分散为小团聚体。

3.1.2 不同开垦和退耕年限土壤中>0.25 mm 土壤水稳性团聚体的变化
已有研究表明,>0.25 mm 的水稳性团聚体是维持土壤结构稳定的基础,其含量越高,土壤的结构稳定性越大^[10,13-14]。由表 1 可以看出,随着开垦年限的增加,土壤中>0.25 mm 的水稳性团聚体含量迅速减小,从林地的 69.30%减小到开垦 10 年时的 28.60%,减少了 58.73%;随着退耕年限的增加,>0.25 mm 的水稳性团聚体含量缓慢增加,从农地(开垦约 10 年)的 33.54%增加到退耕 30 年时的 74.10%,增加了 120.93%。表明,林地开垦,土壤中>0.25 mm 的水稳性团聚体含量减少,土壤结构稳定性被破坏,调控能力减弱,最终导致土壤质量下降,土地退化;农地退耕,土壤中>0.25 mm 的水稳性团聚体含量增加,土壤结构逐渐好转。

表 1 子午岭林区土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量的变化
Table 1 Soil water stable aggregates >0.25 mm under different reclamation and restoration years of Ziwouling forest farm

开垦年限/年 Reclamation year	>0.25 mm 土壤水稳性团聚体/% Percentage of soil water stable aggregates >0.25 mm	退耕年限/年 Restoration year	>0.25 mm 土壤水稳性团聚体/% Percentage of soil water stable aggregates >0.25 mm
林地 Forest land	69.30	农地 Farmland	33.54
1	54.60	5	55.30
3	38.63	8	57.80
5	36.66	20	61.00
8	35.76	30	74.10
10	28.60		

3.2 子午岭林区土壤有机质含量的动态变化

有机质是土壤无机有机复合体最重要的组成部分和土壤团聚体形成的最重要的胶结物质,对土壤团聚体的形成和稳定具有重要意义^[9,15]。从表 2 可以看出,随着开垦年限的增加,土壤有机质含量迅速降低;随着退耕年限的增加,土壤有机质含量缓慢增加。土地开垦 10 年时,土壤有机质含量从开垦前林地的 36.40 g/kg 下降到 11.30 g/kg,下降了

68.96%;农地退耕 30 年时,土壤有机质含量从退耕前的 12.80 g/kg 增加到 26.40 g/kg,相当于林地有机质含量的 72.5%,恢复相对比较缓慢。从开垦和退耕的时段来看,开垦和退耕的前期土壤有机质含量变化幅度较大,后期较小。结果表明,土地开垦加快了土地退化过程,很短时间内使土地退化到比较严重的程度,土壤有机质含量的降低,不仅降低了土壤肥力,也使土壤抵御外界破坏作用的能力降低;土

地恢复期比较漫长,需要退化过程 3 倍的时间才能质含量的 70%左右)。
使有机质恢复到比较满意的程度(破坏前土壤有机

表 2 子午岭林区不同开垦和退耕年限土壤有机质含量的变化

Table 2 Soil organic contents of different reclamation and restoration years of Ziwuling forest farm

开垦年限/年 Reclamation year	有机质含量/(g·kg ⁻¹) Soil organic contents	退耕年限/年 Restoration year	有机质含量/(g·kg ⁻¹) Soil organic contents
林地 Forest land	36.40	0	12.80
1	24.50	5	17.20
3	18.20	8	21.20
5	16.00	20	25.10
8	13.50	30	26.40
10	11.30		

3.3 子午岭林区土壤有机质含量与水稳性团聚体含量的关系

从图 2 可以看出,>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量随着有机质含量的增加而增大。对其进行回归分析可知,>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量(y)与土壤有机质含量(x)呈显著正相关关系: $y=23.195x+2.115,R^2=0.923$ 。说明增加土壤中有有机质含量,可以提高水稳性团聚体含量,增强土壤结构的稳定性。

表 3 是土壤团聚体粒径与土壤有机质含量之间的关系。从表 3 可以看出,在同一粒径下,林地的有机质含量最高;在不同土地利用类型下(自然景观下的林地、退耕 20 年的撂荒地和开垦约 10 年的农地),土壤团聚体的粒径越大,其有机质含量也越高。这不仅从侧面验证了土地开垦促使土壤团聚体由大粒径向小粒径转化的结论,同时也说明土壤团聚体的周转与有机质的动态变化之间存在着密切

的关系,有机质含量和土壤水稳性团聚体含量之间相互作用、相互影响^[15]。

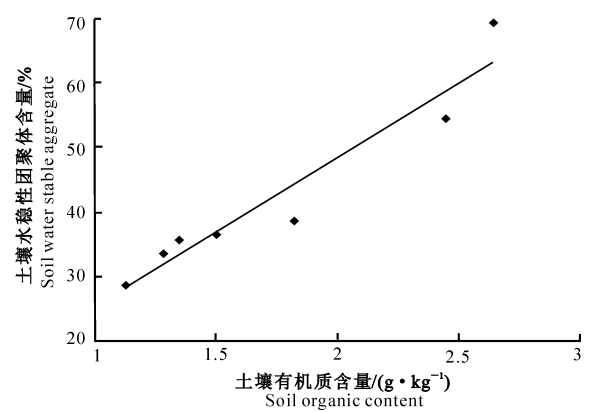


图 2 子午岭林区>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量与有机质含量的关系

Fig. 2 Relationship between >0.25 mm soil water stable aggregates and soil organic matter in Zi Wuling forest farm

表 3 子午岭林区土壤水稳性团聚体粒径与有机质含量的关系

Table 3 Soil organic contents of water stable aggregates of different sizes

土地利用类型 Pattern	不同粒径水稳性团聚体的有机质含量(g·kg ⁻¹) Soil organic contents of water stable aggregates of different size				
	0.25~0.5 mm	0.5~1 mm	1~2 mm	2~5 mm	>5 mm
林地 Forest land	25.80	26.70	28.30	35.20	38.50
农地 Farmland	20.40	21.70	23.30	24.30	25.90
撂荒地 Barren land	16.50	17.80	18.30	20.40	22.50

3.4 子午岭林区土地利用类型变化对土壤颗粒组成的影响

Van^[16]于 1949 年提出将平均质量直径作为土壤团聚体分布及稳定性的指标,并得到广泛应用。土壤团聚体平均质量直径越大,土壤团聚体越稳定^[11]。图 3 显示,随着退耕年限的延长,土壤水稳性团聚体平均质量直径增大,土壤团聚体平均质量直径(y)与退耕时间(x)呈指数关系: $y=1.834e^{-0.124x},R^2=0.844$ 。图 4 表明,土壤团聚体平

均质量直径随着>0.25 mm 水稳性团聚体含量的增加而增大,土壤水稳性团聚体平均质量直径(y)与>0.25 mm 水稳性团聚体含量(x)呈线性关系: $y=0.0192x+0.102,R^2=0.945$ 。表明,随着土地恢复时间的延长及土壤团聚体含量的增加,土壤水稳性团聚体平均质量直径增大,稳定性增强,土壤结构得到改善。这也从侧面说明,土壤团聚体平均质量直径能够很好地反映土地退化/恢复过程中,土壤水稳性团聚体的稳定性。

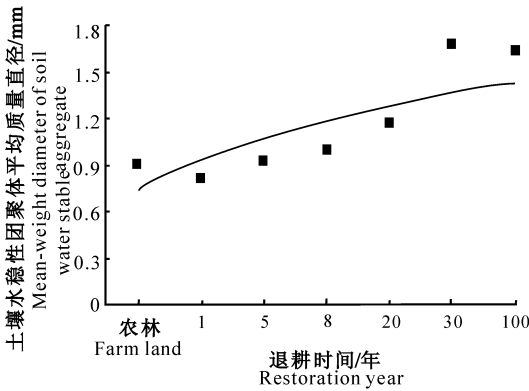


图 3 子午岭林区土壤退耕年限对水稳性团聚体平均质量直径的影响

Fig. 3 Influence of restoration time on mean-weight diameter of soil water-stable aggregates in Ziwouling forest farm

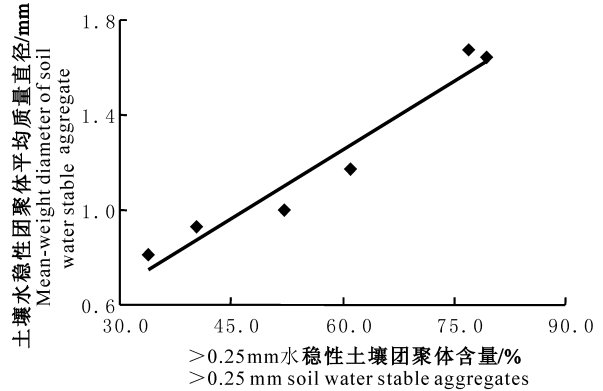


图 4 子午岭林区土壤团聚体平均质量直径与>0.25 mm 水稳性团聚体的关系

Fig. 4 Relationship between mean-weight diameter and soil >0.25 mm water stable aggregates in Ziwouling forest farm

4 结 论

本试验得到以下结论:

(1)林地开垦后,随着开垦年限的增加,土壤各级水稳性团聚体含量均呈下降趋势,且大粒径土壤水稳性团聚体下降幅度较大。

(2)随着开垦年限的增加,>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量减少,土壤结构稳定性被破坏,调控能力减弱;随着退耕年限的增加,>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量增加,土壤结构稳定性增强。

(3)土壤有机质含量随着开垦/恢复年限的增加而减小/增加,且在开垦/恢复的前期,有机质含量变化迅速。

(4)土壤有机质含量与>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量呈显著正相关关系,增加土壤有机质含量可以提高土壤水稳性团聚体含量,增强土壤结构的稳定性。

(5)土壤水稳性团聚体平均质量直径随土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量或退耕年限的增加而增大。土地恢复时,土壤团聚体含量增加,土壤团聚体平均质量直径增大,稳定性增强,土壤结构得到改善。

在黄土高原生态环境建设中,选择一些能够明显改善土壤肥力状况和团聚体状况、对土壤质量提高效果较好的草本和低矮灌木植物,作为水土保持与生态环境建设的先锋植被,将会促进该区土壤结构的稳定和质量的改善,提高生态环境效益。

[参考文献]

- [1] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(3):415-421.
Wang Q K, Wang S L. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors[J]. Chinese Journal of Soil Science,2005,36(3):415-421. (in Chinese)
- [2] 陈恩凤,周礼恺,武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评判土壤肥力中的作用[J]. 土壤学报,1994,31(1):18-28.
Chen E F, Zhou L K, Wu G Y. Performances of soil microaggregates in storing and supplying moisture and nutrients and role of their compositional proportion in judging fertility level [J]. Acta Pedologica Sinica,1994,31(1):18-28. (in Chinese)
- [3] 吴承祯,洪 伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究[J]. 土壤学报,1995,36(2):162-167.
Wu C Z, Hong W. Study on fractal features of soil aggregate structure under different management patterns [J]. Acta Pedologica Sinica,1995,36(2):162-167. (in Chinese)
- [4] Rattan L. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century [J]. Soil Science,2000,165:191-207.
- [5] 史 奕,陈 欣,闻大中. 东北黑土团聚体水稳性研究进展[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):95-98.
Shi Y, Chen X, Wen D Z. Advances in water stability of black soil aggregates in Northeast China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2005,13(4):95-98. (in Chinese)
- [6] 彭新华,张 斌,赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报,2003,23(10):2176-2183.
Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(10): 2176-2183. (in Chinese)