

草本植物生长发育对土壤团聚体稳定性影响的试验研究

秦瑞杰¹, 郑粉莉^{1,2}, 卢嘉¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 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 杨凌 712100)

摘要: 为了研究草本植物生长发育对土壤团聚体稳定性的影响, 利用盆栽试验和 Le Bissonnais 法中的慢速湿润法研究了不同植被生长发育对土壤团聚体平均重量直径(MWD)的影响。试验设计包括4种盆栽方式处理(冰草、高羊茅、紫花苜蓿和空白对照), 设计的试验天数分别为90 d、130 d、220 d和250 d。研究结果表明, 三种草被的地上生物量和地下生物量皆随植被生长时间的增加而显著增加。在250 d的盆栽试验条件下, 空白对照的土壤团聚体MWD基本无变化, 而冰草和紫花苜蓿处理下的MWD在250 d生长期呈显著的增加趋势, 高羊茅处理的MWD与空白对照处理相同。相关分析表明, 草被生长时间、地上生物量、地下生物量和土壤有机质与团聚体MWD均为正相关, 而除冰草的生长时间和地下生物量与土壤团聚体MWD呈显著相关外, 其他各因素与MWD相关性均没达到显著水平, 同时说明在本试验条件下, 草被生长时间和植被种类是影响土壤团聚体稳定性的重要因素。

关键词: 土壤团聚体稳定性; 草本植物; 相关分析; 盆栽试验

中图分类号: S153.6+22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0141-04

The Effect of Herbaceous Plant Growth on the Soil Aggregate Stability

QIN Ruirjie¹, ZHENG Fenli^{1,2}, LU Jia¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effect of the growth of wheatgrass (*Agropyron cristatum*), tall fescue (*Festuca arundinacea*) and alfalfa (*Medicago sativa*) on the soil aggregate stability was investigated in a greenhouse using the pot experiment and slow wet method of Le Bissonnais method. The experimental design includes four treatments (wheatgrass, tall fescue, alfalfa and blank control), and the scheming experiment days are 90 d, 130 d, 220 d and 250 d, respectively. The results showed that the aboveground biomass and underground biomass of three plants increased significantly with growth. Under the experiment treatments, the mean weight diameter (MWD) of soil aggregate for control treatment was not changed during 250 d of experiment. For the wheatgrass and alfalfa treatments, MWD increased significantly during 250 d of experiment, while for the tall fescue treatment, change trend of MWD was similar to the control treatment. The correlation analysis showed that the grass growth time, aboveground biomass, underground biomass and soil organic matter have the positive effects on MWD. For wheatgrass treatment, there was significant correlation between MWD, growth time and underground biomass, while for tall fescue and alfalfa treatments, there was no significant correlation. Meanwhile, under the experimental conditions, the growth time and plant species of grass were the major factors affecting soil aggregate stability.

Key words: soil aggregate stability; herbaceous plant; correlation analysis; pot experiment

土壤团聚体是土壤结构的基本单位, 团聚体的稳定性与影响其稳定性的因素是土壤侵蚀学研究的重

要方面, 而植物对修复土壤结构有重要作用。朱显谟先生曾提出, 生物措施是水土保持最有效和最根本的

收稿日期: 2011-03-09

修回日期: 2011-03-27

资助项目: 国家973计划项目课题“不同类型区土壤侵蚀过程与机理”(2007CB407201); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室自主课题“黄土高原近万年来土壤侵蚀发生演变与趋势预测”(10502-Z5)

作者简介: 秦瑞杰(1985-), 女, 内蒙赤峰人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀。E-mail: qrjmy@163.com

通信作者: 郑粉莉(1960-), 女, 陕西蓝田人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程和预报及侵蚀环境效应评价研究。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn

方法^[1]。植物通过根系分泌物和死根分解的产物使土壤有机质含量增加,促进土壤团聚体的形成,改善土壤的理化性质,进而提高土壤的抗侵蚀能力,不同植被对改善土壤质量的作用也有差异^[2-4]。目前国内外对土壤团聚体及土壤质量的影响因素研究多集中在土地利用方式及施肥方式上^[5-7],关于水土保持草本植物对土壤团聚体稳定性的影响研究鲜有报道。冰草 (*Agropyron cristatum*)、高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 和紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 是人工草地建设中三种主要的多年生草本植物,具有根系发达、枝叶繁茂、抗旱、适应性强等特点,也是优良的改土培肥和水土保持植物。为此,本研究通过温室盆栽试验,研究冰草、高羊茅和紫花苜蓿三种草本植物在不同生长时期对土壤团聚体稳定性的影响,结合植物生长过程中土壤有机质、植物的地上和地下部分生物量等,探讨土壤团聚体的变化影响机制,以期为植被恢复与土壤侵蚀关系的研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

盆栽试验所用试验盆为 18 cm×18 cm。供试土壤自然风干后过 1 cm 筛。每盆装土 3.5 kg,盆子装土表面距盆缘约 2 cm。填土前每盆按每 1 kg 干土与 0.55 g 尿素、1.0 g KH₂PO₄ 施肥量充分混合。土壤有机质含量为 1.21%,全氮 0.83 g/kg, pH 值为 8.3,机械组成为黏粒 25%、粉粒 29% 和砂粒 46%。盆栽试验在西北农林科技大学水土保持研究所气候模拟大厅温室内进行,控制温室日间温度为 20~25℃,夜间温度为 20℃左右,每天光照约 12 h。在每个试验盆中埋置长为 20 cm 的塑料管,以供试验过程中浇水使用。

1.2 试验设计

试验设有 4 种处理,包括冰草、高羊茅、紫花苜蓿、空白对照;除空白对照为无植物外,每个试验处理各种植 40 盆植物。整个试验过程分为 4 个生长阶段(即生长天数为 90, 130, 220, 250 d),在各生长阶段从每种试验处理中随机抽取 10 盆,用来测定地上和地下生物量以及采集土壤样品。无论是测定地上和地下生物量,还是土壤样品的采集,皆设三个重复。试验于 2009 年 10 月 25 日播种,出苗 10 d 后间苗,选取长势较为一致的植株,统一定苗至 8 株/盆。人工浇水维持植物自然生长,并防治病虫害。对于空白对照,除不播种植物外,所有处理与其他三种植物相同,即对应于每个生长期,均有相同天数的空白对照处理,以便分析整个盆栽试验期间干湿交替对土壤团聚体稳定性的影响。

1.3 测定指标与方法

地上生物量的测定:采用收获法,将各个盆里的植物齐地面收获,55℃下烘至恒重,称量,获得每盆处理地上生物量,3 次重复。对照处理计为零。

地下生物量的测定:采用冲洗的方式,将植物根部泥土冲洗干净,剪下根颈以下部分,55℃下烘至恒重,称量,3 次重复。对照处理仍计为零。

土壤有机质的测定:取出盆中土样自然风干,四分法取部分土样用于养分分析。有机质采用重铬酸钾外化加热氧化法测定^[8],3 次重复。

土壤团聚体的测定:采集试验盆中的全部土壤。将采集土样自然风干,期间用手将大块沿纹理轻轻地掰成 10~12 mm 小土块。筛取 3~5 mm 的团聚体,采用 Le Bissonnais 法中的慢速湿润法(Slow Wetting, SW)^[9-11]进行测定土壤团聚体稳定性,每个处理设 3 次重复。筛分粒级分别为 < 0.05, 0.05~0.1, 0.1~0.2, 0.2~0.5, 0.5~1, 1~2 和 > 2 mm。土壤团聚体的稳定性用团聚体平均重量直径(Mean Weight Diameter, MWD)表示。

1.4 数据处理

所有试验数据用 Excel 2003 和 DPS 2000 进行统计计算和分析,基于 LSD 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 三种植物各生长阶段的地上生物量与地下生物量

由图 1 可以看出,三种植物的地上、地下生物量均随着生长时间而逐渐增加,各植物的地上生物量在不同生长阶段之间的差异均达到了显著水平,而地下生物量的情况略有不同,其中冰草和高羊茅的前两个生长期与后两个生长期之间有显著差异,只有紫花苜蓿在各生长期的地下生物量均有显著差异,与其地上生物量差异趋势一致。从生物量增长程度上看,冰草和高羊茅生长 250 d 时地上生物量比 90 d 时增加了 9.2 倍,增幅相同;而紫花苜蓿增幅较低,增加了 7.5 倍。冰草地下生物量增加了近 7 倍,而高羊茅只增加了 4 倍多,紫花苜蓿增幅最大,增加了 9 倍多。

从图 1 中还可以看到,同一生长时期内地下生物量为冰草>紫花苜蓿>高羊茅,而地上部分生物量则表现为高羊茅>冰草>紫花苜蓿;相对于地上部分,紫花苜蓿的根系发育变幅较大(由 0.58 g 增加到 6 g,增加了 10 倍),即相同生长时间内紫花苜蓿的根冠比大于冰草和高羊茅的根冠比。这种不同植物类型在生长发育过程中的地上生物量和地下生物量差异将可能对土壤团聚体变化过程产生影响。

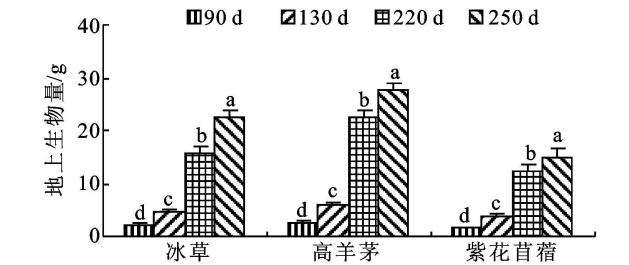


图 1 三种植物在不同生长阶段的地上生物量与地下生物量的动态变化

2.2 草被生长期发育对土壤团聚体 MWD 的影响差异

利用 Le Bissonnais 法中的慢速湿润法测定三种植物在各生长期的 MWD, 结果见表 1。

表 1 不同草被生长发育对土壤团聚体稳定性的影响 mm

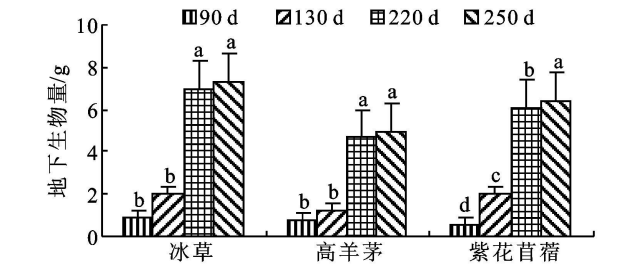
生长时间/d	空白	冰草	高羊茅	紫花苜蓿
90	0.51±0.05a	0.48±0.15a	0.54±0.05a	0.49±0.07a
130	0.53±0.01a	0.66±0.01ab	0.55±0.02a	0.96±0.03a
220	0.55±0.02a	0.79±0.09bc	0.58±0.27a	1.00±0.01a
250	0.54±0.02a	0.90±0.15c	0.55±0.08a	1.18±0.38b

注: 同一列中的小写字母 a、b、c 表示在 0.05 水平上显著性差异。

由表 1 可知, 对于空白对照, 在整个试验过程中 MWD 值很少变化, 表现为无显著性差异。高羊茅处理与对照处理的 MWD 的变化趋势相同, 在 4 个生长阶段之间也没有显著性差异。而冰草和紫花苜蓿处理的 MWD 随生长发育时间的延长呈现逐步增加的趋势。冰草的 MWD 在生长 90 d 与 220 d、90 d 与 250 d 以及 130 d 与 250 d 之间存在显著性差异, 而在相邻两个生长时间内无显著性差异。紫花苜蓿处理的 MWD 也随生长发育时间的延长呈递增变化, 但前三个生长时期之间差异不显著, 只有生长到 250 d 时才与前三个阶段有显著性差异。此研究结果表明, 植物随着生长发育时间的延长对土壤团聚体稳定性的效应是不同的。已有研究也表明, 随着植被恢复的年限增加, 土壤的结构逐步得到改善^[12], 土壤的抗冲性增强^[13]。本研究条件下, 冰草和紫花苜蓿处理都使得团聚体 MWD 有了显著性的增加, 而高羊茅处理的影响不明显, 这可能是生长时间仍然过短所致。

2.3 不同草本植物生长发育对土壤团聚体 MWD 的影响

表 2 给出了 4 个处理在相同时间内对团聚体 MWD 的影响差异。从表中可以看出, 在生长 90 d 时, 三种植物与空白对照之间均无显著性差异; 到了 130 d, 三种植物团聚体 MWD 与对照相比都有了提高, 但 LSD 检验表明, 高羊茅与对照相比没有显著性差异, 而冰草与对照、紫花苜蓿与对照之间都有了显著性的差异, 且冰草与紫花苜蓿之间也有显著性差异; 220 d 和 250 d 时, 高羊茅与对照相比仍没有显著性差异, 冰草比对照有所增加, 但与其他三种处理差异均不显著, 紫花苜蓿比对照有显著增加。以上结果表明, 不同植



被生长发育过程中对土壤团聚体稳定性的影响能力是有差异的。总体来讲, 三种植物对团聚体稳定性的影响顺序为紫花苜蓿> 冰草> 高羊茅。与两种禾本科植物相比, 紫花苜蓿随着生长发育时间的延长对团聚体 MWD 的影响更大, 两种禾本科植物对团聚体 MWD 的影响也不尽相同, 表明豆科植物的根际微生物群落与禾本科植物有某种方式的差异(可能是由于根际分解物质的 N 含量较高) 并且有助于团聚体稳定性的提高, 这与 Haynes 等人的研究结果相似^[14]。

表 2 不同草被对土壤团聚体稳定性的影响 mm

植被	90 d	130 d	220 d	250 d
空白	0.51±0.05a	0.53±0.01a	0.55±0.02a	0.54±0.02a
高羊茅	0.54±0.05a	0.55±0.02a	0.58±0.27a	0.55±0.08a
冰草	0.48±0.15a	0.66±0.01b	0.79±0.09ab	0.90±0.15ab
紫花苜蓿	0.49±0.07a	0.96±0.03c	1.00±0.01b	1.18±0.38b

注: 同一列中的小写字母 a、b、c 表示在 0.05 水平上显著性差异。

2.4 土壤有机质动态变化及其对土壤团聚体的影响

从 20 世纪初, 许多研究都报道了有机质对团聚体稳定性的影响。多数研究都表明, 有机质可以促进团聚体的形成并提高团聚体的稳定性^[15-17]。图 2 表示了本试验四种处理下土壤有机质的动态变化。

由图 2 可以看到, 空白对照的土壤有机质含量几乎没有变化。但与对照相比, 三种植物土壤的有机质均呈先略降低再增加的趋势, 生长到 250 d 时, 冰草、高羊茅和紫花苜蓿的土壤有机质比对照分别增加了 11%、6% 和 5%, 增长幅度不大, 这可能仍是生长时间过短所致, 因为增幅随时间延长有增加趋势。

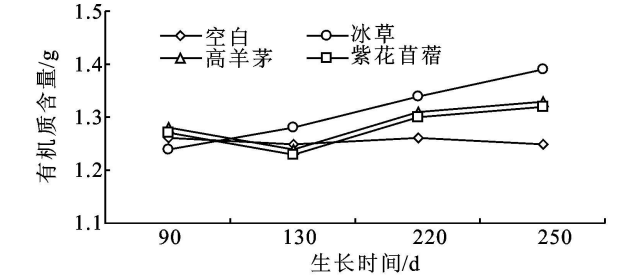


图 2 各处理土壤有机质的变化趋势

表 3 表示出了 4 种处理在四个生长阶段团聚体 MWD 与土壤有机质之间的相关系数, 结果表明有机质与团聚体 MWD 呈正相关, 但都没有达到显著水平(相关系数临界值, $\alpha = 0.05$ 时, $r = 0.8114$), 说明有

机质对团聚体稳定性有正的促进作用。但由于本实验时间较短,使二者的相关性不显著。

表 3 各处理不同生长阶段土壤团聚体 MWD 与土壤有机质的相关性分析

处 理	90 d	130 d	220 d	250 d
空 白	0.6895	0.6379	0.6463	0.7911
冰 草	0.2403	0.2350	0.5825	0.2753
高 羊 茅	0.4013	0.6346	0.4614	0.5173
紫花苜蓿	0.6699	0.6027	0.7393	0.5223

2.5 影响土壤团聚体稳定性的因素分析

影响土壤团聚体稳定性的因素有很多,如土壤质地、土壤有机质、黏土矿物类型、钙镁等阳离子的含量、铁和铝的氧化物等,并且各因素之间也相互影响^[12]。这里基于试验观测资料,分析各种植被类型下,生长阶段、地上生物量、地下生物量和土壤有机质与土壤团聚体 MWD 的相关关系,分析结果见表 4。

表 4 试验处理下 MWD 与影响因素的相关分析

植被类型	因子 X_1	因子 X_2	因子 X_3	因子 X_4
冰 草	0.975*	0.9374	0.951*	0.6598
高羊茅	0.5774	0.5679	0.6420	0.4518
紫花苜蓿	0.8709	0.8309	0.8462	0.4121

注: X_1 ——植物生长天数; X_2 ——地上生物量; X_3 ——地下生物量; X_4 ——土壤有机质含量。

表 4 说明影响土壤团聚体 MWD 的各因素与 MWD 之间都呈正相关,冰草的团聚体 MWD 与生长天数 X_1 、地下生物量 X_3 都显著相关(相关值分别为 0.975 和 0.951),高羊茅与紫花苜蓿的 MWD 与其他因素有正相关性,但皆没有达到显著水平。这说明植物生长时间、地上生物量、地下生物量与土壤有机质的增加可使土壤团聚体 MWD 增加,但影响程度不同,这一方面是因植被种类不同而异,另一方面也可能是由于植被生长时间较短所导致的,当然,还需要做进一步的试验研究分析造成这种现象的原因。

3 结 论

(1) 3 种草被的地上生物量和地下生物量皆随植被生长时间的增加而显著增加。在 250 d 的盆栽试验条件下,空白对照的土壤团聚体平均重量直径(MWD)基本无变化。

(2) 本试验条件下,紫花苜蓿和冰草均能显著提高团聚体的稳定性,而高羊茅的影响作用不明显;同时,土壤有机质对团聚体稳定性的形成有正向促进作用,但由于本实验时间较短,尚未达到显著影响。

(3) 在草被种类、生长时间、地上生物量、地下生物量和土壤有机质等影响土壤团聚体稳定性因素中,草被生长时间和植物种类是影响土壤团聚体稳定性的重要因素。

参考文献:

[1] 朱显谟. 黄土地区植被因素对水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1960, 8(2): 110-120.

[2] Materechera S A, Dexter A R, Alston A M. Formation of aggregates by plant roots in homogenised soils[J]. Plant and Soil, 1992, 142: 69-79.

[3] 宁丽丹, 石辉, 周海军, 等. 岷江上游不同植被下土壤团聚体特征分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1405-1410.

[4] 赵世伟, 苏静, 杨永辉, 等. 宁南黄土丘陵区植被恢复对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 27-28, 69.

[5] Bronick C J, Lal R. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 81(2): 239-252.

[6] 孙天聪, 李世清, 邵明安. 长期施肥对褐土有机碳和氮素在团聚体中分布的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1841-1848.

[7] 周虎, 吕忠志, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.

[8] 张行峰. 实用农化分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

[9] Bissonnais Y L. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology[J]. European Journal of Soil Science, 1996, 47(4): 425-437.

[10] 董莉丽, 郑粉莉, 秦瑞杰. 基于 LB 法不同植被类型下土壤团聚体水稳性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 191-196.

[11] 卢升高, 竹蕾, 郑晓萍. 应用 Le Bissonnais 法测定富铁土中团聚体的稳定性及其意义[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 7-11.

[12] 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.

[13] 刘国彬. 黄土高原草地植被恢复与土壤抗冲性形成过程: II. 植被恢复不同阶段土壤抗冲性特征[J]. 水土保持研究, 1997, 4(5): 111-121.

[14] Haynes R J, Beare M H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1997, 29(11): 1647-1653.

[15] 刘晓利, 何园球, 李成亮, 等. 不同利用方式旱地红壤水稳性团聚体及其碳、氮、磷分布特征[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 255-261.

[16] Abiven S, Menasseri S C, Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability: A literature analysis[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(1): 1-12.

[17] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: a review[J]. Geoderma, 2005, 124(1): 3-22.