

侵蚀环境人工刺槐林土壤水稳性团聚体演变及其养分效应

戴全厚^{1,2}, 刘国彬¹, 薛 蕙^{1,3}, 余 娜^{1,2}, 张 超¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 西北农林科技大学, 杨凌 712100;

2. 贵州大学林学院, 贵州 贵阳 550025; 3. 西安理工大学, 陕西 西安 710048)

摘 要: 采用时空互代法, 以典型侵蚀环境纸坊沟流域生态恢复过程中不同年限的人工刺槐林为研究对象, 选取坡耕地和天然侧柏林为参照, 分析了植被恢复过程中土壤水稳性团聚体变化规律及其与土壤养分状况之间的相互关系。结果表明, 侵蚀环境下的坡耕地由于人为耕作干扰, 土壤水稳性团聚体含量低下, 抗蚀性能较差。营造刺槐林前 5 a 土壤水稳性团聚体含量较坡耕地显著快速增加, 随后增幅变缓, 成对数增长, 恢复 25 a 后土壤水稳性团聚体含量已经达到天然侧柏林水平。在植被恢复过程中土壤小粒径的水稳性团聚体逐渐聚集转变成大粒径的团聚体。相关性分析和回归分析表明, 植被恢复过程中 > 0.25 mm 土壤水稳性团聚体与有机碳、全氮、碱解氮、速效钾、容重等相关性达到显著 ($p < 0.05$) 或极显著水平 ($p < 0.01$), 与全磷和速效磷相关性较弱。坡耕地退耕营造刺槐林后可以减少人为干扰, 增加碳素和氮素供给, 提高水稳性团聚体含量, 使土壤抗蚀性能提高。

关键词: 黄土丘陵区; 人工刺槐林; 水稳性团聚体; 养分状况

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)04-0056-04

中图分类号: S152.4, S714.8

Dynamics of Soil Water-stable Aggregates in the Restoration Process of Artificial *Robinia Pseudoacacia* Under Erosion Environment

DAI Quanhou^{1,2}, LIU Guobin¹, XUE Sha^{1,3}, YU Na^{1,2}, ZHANG Chao¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of

Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Forestry, Guizhou University,

Guiyang, Guizhou 550025, China; 3. Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: In order to understand the dynamics of soil water-stable aggregates and the relationship with soil physico-chemical properties on abandoned arable land in the eroded hilly area of the Loess Plateau, 11 abandoned arable lands with different ages of *Robinia pseudoacacia* in Zhifanggou watershed were selected for a systematical study through the approach of substituting the temporal serial with spatial serial. In addition, the correlation between soil water-stable aggregates and physico-chemical properties were examined. Results showed that the content of soil water-stable aggregates increased promptly in the early abandoned stage, increased slowly with the extension of the abandonment, and then kept a relatively stable content in the following years. The content increased by 253.45% in the first 10 year abandonment, but by only 16.42% in the following 40 years. > 0.25 mm aggregates were significantly correlated with soil organic carbon, total nitrogen, available P, CaCO₃, and CEC, but not with total K and available K. It is necessary to close and manage hillsides, as well as keep soil organic carbon in a good balance in order to improve soil structure on abandoned arable land in the eroded hilly area of the Loess Plateau.

Keywords: eroded loess hilly area; *Robinia pseudoacacia*; soil water stable aggregate; soil property

收稿日期: 2008-01-24

修回日期: 2008-03-28

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(2007CB407205); 中国科学院科学院西部行动计划(KZCX2-XB2-05); 国家自然科学基金重点项目(90502007) 资助

作者简介: 戴全厚(1969-), 男(汉族), 陕西省长武县人, 副教授, 博士, 主要从事水土保持和生态恢复重建研究。E-mail: qhdai@foxmail.com.

侵蚀环境是指在水土流失区因侵蚀而造成的特有的侵蚀景观和生态系统^[1], 是一个包含自然侵蚀环境与人文侵蚀环境的复合型环境系统。黄土丘陵区由于地形破碎, 土壤结构疏松, 自然植被遭到破坏, 水土流失极为严重, 属典型的侵蚀环境。严重的土壤侵蚀不仅危及当地的农业生产, 破坏生态环境, 而且还严重地威胁下游地区的河道安全。恢复植被是该区水土保持与生态建设的重要措施, 植被的恢复除有效保持水土, 减少土壤侵蚀外, 同时可以通过土壤—植物复合系统的改善来提高土壤质量。土壤抵抗侵蚀能力(土壤结构体在水中的稳定性)是土壤质量的一个重要方面, 是生态恢复的基础, 其强弱影响着土壤侵蚀强度和环境质量。王佑民等(1994)通过对黄土高原5省17个地区的农林牧用地土壤抗蚀性研究表明, 水稳性团聚体是反映黄土高原土壤抗蚀性的最佳指标^[2]。同时, 水稳性团聚体与土壤结构等物理性状关系密切。影响水稳性团聚体的因素较多, 然而目前对生态恢复过程中水稳性团聚体变化规律的研究相对较少。因此本文以不同年限的人工刺槐林(*Robinia pseudoacacia* L.)为研究对象, 分析生态恢复过程中水稳性团聚体变化规律, 探讨其与土壤养分之间的关系, 揭示植被恢复与重建对改善土壤生态环境的作用机制, 为评价人工林促进生态恢复效果、土壤质量管理 and 山川秀美工程建设提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省安塞县纸坊沟流域(109°13′46″—109°16′03″E, 36°46′42″—36°46′28″N), 该区地形破碎, 沟壑纵横, 属黄土高原丘陵沟壑地貌, 暖温带半干旱季风气候, 海拔1 010~1 400 m, 年均气温8.8℃, 年均降水量505.3 mm。土壤类型以黄土母质上发育而成的黄绵土为主, 抗冲抗蚀能力差, 其中砂粒(2.0~0.0 mm)含量占19.0%, 粉粒(0.05~0.02 mm)含量

占65.2%, 黏粒(<0.02 mm)含量占15.8%。植被类型处于暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原带。纸坊沟流域是中科院安塞水土保持试验站生态恢复定位试验研究小流域。该流域生态系统先后经历严重破坏期(1938—1958年)、继续破坏期(1959—1973年)、不稳定期(1974—1983年)、稳定恢复改善期(1983—1990年)和良性生态初步形成期(1991年至今)。经过30 a多的水土保持综合治理, 通过林草植被和工程等措施建设, 有效遏制了该流域的土壤侵蚀, 成功地恢复了退化生态系统, 林地面积从1980年的不足5%增加到40%以上, 流域生态经济系统进入良性循环阶段^[3]。

采用时空互代法在流域内选择营造和管理方法一致, 土壤与成土母质类型相同, 坡向坡位相似的5 a(RP5), 10 a(RP10), 15 a(RP15), 20 a(RP20), 25 a(RP25), 30 a(RP30), 40 a(RP40)和50 a(RP50)人工刺槐林为样地, 选取坡耕地(CK)和天然次生侧柏林(*Platycladus orientalis* L., PO)为对照样地, 其基本特征及林下植被见表1。

1.2 样品采集及分析

2005年7月, 在各试验样地用铝饭盒多点(4~6点)采集距树干基部2 m左右的0—20 cm表层有代表性的原状土样, 保持其原有结构状态, 运回室内, 沿土壤的自然结构轻轻剥开, 剥成直径为10~20 mm的小土块, 并剔去粗根和小石块, 在室温下风干备用, 土壤水稳性团聚体用改进的约得(Yoder)法测定^[4]。同时按S型选取6点, 用土钻法取0—20 mm混合土样, 3次重复, 风干后过1 mm和0.25 mm筛后测定土壤基本理化性质^[5]。有机碳用重铬酸钾氧化外加热法; 全氮(TN)用半微量凯氏法测定; pH(水: 土=2.5: 1, pH计测定, Metrohm 702型); 土壤全磷用碳酸钠熔融—钼锑抗比色法(岛津2401紫外可见分光光度计, 日本产); 速效磷用Olsen法; 速效钾用乙酸铵提取—火焰光度法。

表1 样地基本特征

样地	恢复年限/a	地貌	坡向	坡度/°	海拔/m	土壤类型	林下草本植物类型
CK	0	梁坡	N	22	1 175	黄绵土	谷子
RP5	5	梁坡	NW35°	21	1 198	黄绵土	茵陈蒿
RP10	10	梁坡	W	21	1 171	黄绵土	长芒草
RP15	15	梁坡	N	30	1 150	黄绵土	臭草—长芒草
RP20	20	梁坡	N45°W	24	1 029	黄绵土	铁杆蒿—长芒草
RP25	25	梁坡	NW45°	28	1 249	黄绵土	铁杆蒿—长芒草
RP30	30	梁坡	NE10°	32	1 129	黄绵土	胡枝子—长芒草
RP40	40	梁坡	N	25	1 172	黄绵土	铁杆蒿—长芒草
RP50	50	沟坡	E	23	1 183	黄绵土	铁杆蒿—长芒草
PO	—	梁坡	N1°W	33	1 283	黄绵土	披针苔

2 结果与讨论

2.1 人工刺槐林土壤主要理化性状演变过程

侵蚀环境下坡耕地退耕营造人工刺槐林后, 随着恢复年限递增土壤理化性质得到显著改善, 主要表现为有机碳、全氮、全磷、碱解氮、速效磷和速效钾含量大幅增加, 容重和 pH 值显著降低(表 2)。恢复 50 a 后土壤有机碳、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾含量较坡耕地增幅分别为 272%, 185%, 275%, 101% 和 82%, 而容重降低了 30%, 但与天然侧柏林相比, 有机碳和全氮含量仅为其 48.94% 和 54.96%, 容重则为其 125%^[6]。

2.2 人工刺槐林土壤团聚体水稳性变化规律

土壤团聚体是土壤结构最基本的单元, 是土壤肥力的调节中心, 影响着土壤的空隙性、持水性、通透性和抗蚀性^[7], 是土壤质量的敏感性物理指标, 可以用

来反映生态恢复过程土壤质量的演变过程^[8]。侵蚀环境下的坡耕地由于农业耕作活动, 导致土壤结构体破坏, 加之由于水土流失造成有机物质丧失, 对土壤的黏结度降低, 结构体很难得到恢复。退耕营造刺槐林后, 由于人类活动的减少和生态环境条件的变化, 对土壤结构体的破坏度降低, 另一方面随着生态恢复, 土壤有机物质迅速增加, 促进土壤团粒形成, 水稳性团聚体的含量明显提高, 并逐渐从小粒径的水稳性团聚体为主改变为以大团聚体占绝对优势, 而这种变化在营造初期最为明显(图 1), 营造刺槐林 5 a 后土壤 > 0.25 mm 水稳性团聚体较坡耕地增加 191%, 称其为快速增长期。随后随着恢复年限的延长, 土壤团聚体水稳性发展急剧变化阶段结束, 土壤结构性状的改变逐渐趋于平缓 and 稳定, 水稳性团聚体含量呈缓慢增长趋势, 可以称之为缓慢增长期。

表 2 人工刺槐林不同恢复年限土壤主要理化性状

恢复年限/a	有机碳 C/ (g·kg ⁻¹)	全氮 N/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 N/ (mg·kg ⁻¹)	全磷 P/ (g·kg ⁻¹)	速效磷 P/ (mg·kg ⁻¹)	C/N 比	速效钾 K/ (mg·kg ⁻¹)	pH	容重/ (g·cm ⁻³)
CK	2.74 g	0.365 g	20.90 g	0.549 e	1.64 d	7.51	105.4 h	8.73 c	1.17 c
5	2.81 g	0.357 g	17.59 h	0.486 g	1.57 d	7.87	118.2 g	8.84 a	1.28 a
10	3.69 f	0.453 f	35.50 f	0.505 f	1.83 d	8.15	144.1 f	8.76bc	1.23 ab
15	6.44 c	0.670 e	60.40 c	0.568 d	3.59 b	9.61	169.1 d	8.62 d	1.16 c
20	6.52 c	0.710cd	59.06 c	0.560de	3.46 a	9.18	193.1 b	8.44 g	1.08 d
25	5.93 d	0.702 d	58.73 c	0.572cd	2.54 c	8.45	202.9 a	8.77 b	1.08 d
30	5.94 d	0.731 c	41.48 e	0.614 a	1.97 d	8.13	174.3 c	8.74bc	1.04 d
40	5.57 e	0.700 d	46.78 d	0.585bc	2.67 c	7.96	192.5 b	8.53 e	0.93 e
50	10.18 b	1.041 b	78.30 b	0.594b	3.30 b	9.78	161.3 e	8.43 g	0.90 e
天然林	20.80 a	1.894 a	109.5 a	0.613 a	3.53 b	10.98	194.7 b	8.47 f	0.72 f

注: 同一列中所带字母不相同, 表明样地之间达到 1% 的显著差异。

侵蚀环境退耕营造刺槐林后, 土壤 > 0.25 mm 土壤水稳性团聚体与恢复年限具有较好的相关性, 其拟合曲线呈对数增长(图 1), 相关系数 r 达 0.959 5, 具有较好的统计学意义。恢复 25 a 时土壤水稳性团聚体含量已经和天然次生侧柏林没有明显差异, 表明单纯从水稳性团聚体角度, 营造刺槐林 25 a 后土壤结构已经得到了很好的修复, 并在此后的阶段趋于稳定。侵蚀环境耕地退耕营造刺槐林后的土壤结构状况趋于稳定和平衡, 不仅跟该区黄土的理化性质有关, 而且与人类扰动减少和植被恢复关系密切。退耕后, 耕种过程中的物理机械破坏消失了, 同时随着植被恢复, 植物物种增加, 其林下具有穿插及分泌物固结能力的植物根系生物量显著增加, 加快了土壤结构体的形成, 水稳性团聚体含量迅速增加。另一方面, 退耕后原来开放或半开放的农田生态系统物质循环结构变成了自然生态系统的封闭或半封闭物质循环

结构, 土壤的营养元素和土壤水分及植物残体等物质被返还到该侵蚀环境, 其有机物料量明显增加, 供给上的供过于求使侵蚀环境退耕撂荒后植被恢复过程中土壤有机碳库储量增加, 从而加速了有机胶结物质的积累小粒径的水稳性团聚体累积, 并逐渐聚集转变形成大粒径的团聚体。

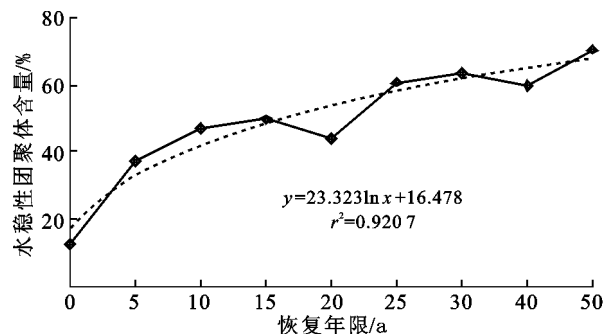


图 1 不同年限人工刺槐林土壤水稳性团聚体变化

2.3 人工刺槐林土壤团聚体水稳性与土壤养分状况耦合关系

研究表明土壤中大团聚体能合理调节土壤通气与持水, 养分释放与保持间的矛盾, 是植物良好生长的基础^[9-11]。侵蚀环境土壤水稳性团聚体与土壤养分关系密切, 对坡耕地营造刺槐林后水稳性团聚体含量和土壤主要属性因子进行相关性分析, 表明它们之间具有显著的相关性(表3)。限于篇幅, 文中只列出了相关关系明显的属性指标。

表3 土壤水稳性团聚体和土壤属性的相关分析

土壤肥力属性	回归方程	相关系数
有机碳 C/ (g·kg ⁻¹)	$y = 0.1008x + 0.5296$	$r = 0.7662^*$
全氮 T/ (g·kg ⁻¹)	$y = 0.0102x + 0.1296$	$r = 0.8267^{**}$
碱解氮 N/ (mg·kg ⁻¹)	$y = 0.8297x + 5.3268$	$r = 0.7311^*$
速效钾 K/ (mg·kg ⁻¹)	$y = 1.4247x + 91.581$	$r = 0.7339^*$
容重/ (g·cm ⁻³)	$y = -0.0050x + 1.3439$	$r = 0.6801^*$

注: * 表示 $p < 0.05$; ** 表示 $p < 0.01$; $n = 10$ 。

侵蚀环境退耕撂荒地土壤 > 0.25 mm 水稳性团聚体与土壤有机碳、全氮、碱解氮、速效钾和容重之间相关性达到显著水平 ($p < 0.05$) 或极显著水平 ($p < 0.01$), 对其回归分析结果表明它们之间呈一次线性正相关或负相关。说明侵蚀环境土壤团聚体的稳定性和 C、N、K 等养分状况有着密切关系, 随着恢复年限的延长, 植被得以恢复, 碳素和氮素含量逐渐增加, 土壤的各项物理性能在不断改善, 其中之一表现为 > 0.25 mm 土壤水稳性团聚体稳定性不断增强。同时必须看到, 虽然恢复 50 a 的刺槐林其土壤碳素氮素含量较天然侧柏林还有很大差距, 但土壤水稳性团聚体已经超过了后者。据此推测, 在植被恢复前期, 土壤碳氮与土壤结构体的形成呈明显正相关, 而后期碳素和氮素在维持一定数量的基础上对土壤水稳性团聚体的形成作用相对减少, 因此为保持侵蚀环境土壤良好的结构状况, 增强其抵抗侵蚀能力, 在植被恢复初期必须减少人为干扰, 改善碳素和氮素供给。

3 结论

(1) 侵蚀环境坡耕地退耕营造刺槐林前 5 a 后,

土壤水稳性团聚体含量较坡耕地显著快速增加, 随后增幅变缓, 成对数增长, 恢复 25 a 后土壤水稳性团聚体含量已经达到天然侧柏林水平。在植被恢复过程中土壤小粒径的水稳性团聚体逐渐聚集转变成大粒径的团聚体。在植被恢复初期土壤水稳性团聚体与化学性质同步增加。

(2) 相关性分析和回归分析表明, 土壤中 > 0.25 mm 水稳性团聚体与土壤有机碳、全氮、碱解氮、速效钾、容重等呈现良好的相关性, 与全磷和速效磷相关性较弱。坡耕地退耕营造刺槐林后可以减少人为干扰, 增加碳素氮素供给, 提高水稳性团聚体含量, 土壤抗蚀性能提高。

[参 考 文 献]

- [1] 唐克丽, 贺秀斌. 黄土高原生态环境建设与侵蚀环境调控[C]. 中国西部生态重建与经济协调发展学术研讨会论文集. 成都: 四川科学技术出版社, 1999: 28—32.
- [2] 王佑民, 郭培才, 高维森. 黄土高原土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(4): 11—16.
- [3] Guobin Liu. Soil conservation and sustainable agriculture on Loess Plateau: Challenge and prospective[J], AMBIO, 1999, 28(8): 663—668.
- [4] 刘国彬. 黄土高原土壤抗冲性研究及有关问题[J]. 水土保持研究, 1997, 4(5): 91—101.
- [5] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 中国标准出版社, 1996.
- [6] Xue Sha, Liu Guo-bin, Dai Quar-hou. Effect of Soil Microbial Biomass Under Different Vegetation Restoration in Eroded Hilly Loess Plateau[J]. Frontiers of Forestry in China Selected Publications from Chinese Universities, 2007, 2(4): 376—381.
- [7] 李阳兵, 魏朝富, 谢德体, 等. 岩溶山区植被破坏前后土壤团聚体稳定性研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 232—234.
- [8] 戴全厚, 刘国彬, 薛蕙, 等. 侵蚀环境退耕撂荒地水稳性团聚体演变特征及与土壤养分效应, 水土保持学报, 2007, 21(2): 61—64.
- [9] 姚贤良, 程方生. 土壤物理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- [10] Chatterjee P K. Studies on aggregates formation with reference to cementing substances[M]. Soil Sci. and Plant Nat. 1970, 16: 231—233.
- [11] 王铁宇, 颜丽, 汪景宽, 等. 长期定位监测黑土结构质量指标的分异研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(4): 138—141.