

黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中土壤物理特性变化研究

马祥华^{1,2,3}, 焦菊英¹, 温仲明¹, 白文娟^{1,2,3}, 焦峰¹

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 以黄土高原典型丘陵沟壑区——延安燕沟流域为研究对象, 分析了黄土丘陵区退耕地植被恢复过程中不同恢复年限、不同植被类型以及不同恢复方式下的土壤物理变化特征, 结果表明: 对于土壤含水量, 草地>灌木地>乔木地, 自然恢复>自然+人工恢复, 随着退耕年限的不断增长, 上层土壤含水量不断增加, 下层不断降低, 随土层不断加深, 其含量逐步趋于稳定; 对于 0~60 cm 土壤平均容重及孔隙度, 以灌木地土壤容重相对较大, 孔隙度相对较小, 乔木地的容重及孔隙度的变化与灌木地相反, 并且随着退耕年限的不断延长, 土壤容重不断减小, 孔隙度不断增加, 但是不同恢复方式下土壤容重及其孔隙度变化不大; 对于 0~60 cm 土层>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量, 自然恢复>自然+人工恢复, 随着恢复年限的不断增长, 其含量不断增加, 而不同植被类型作用下的土壤水稳性团聚体含量变化不明显, 但是其含量在不同土层变化差异较大。这就要求对退耕地进行植被恢复过程中, 要深入了解当地的土壤环境特征, 做到因地制宜, 适地适树。

关键词: 黄土丘陵沟壑区; 退耕地; 植被恢复; 土壤物理特性

中图分类号: S 152; X 176 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)01-0017-05

The Changes of Soil Physical Properties in Abandoned Lands During Vegetation Restoration in Hilly and Gully Regions on the Loess Plateau

MA Xiang-hua^{1,2,3}, JIAO Ju-ying¹, WEN Zhong-ming¹, BAI Wen-juan^{1,2,3}, JIAO Feng¹
(1. *Institute of Soil and Water Conservation*; 2. *CAS & MWR, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China*;
3. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: Based on the typical hilly-gully regions on the Loess Plateau - Yangou watershed, soil physical properties of different abandoned times, different types of vegetation and different restoration measures during vegetation restoration in abandoned lands were analyzed. The results showed that the soil water content of grasslands is relative higher, the one of arbour lands is relative lower, the soil water content of natural restoration is higher than the one of natural restoration with artificial measures, at the same time, the soil water content of the upper layer gradually increases and the one of the lower layer gradually decreases with the increasing abandoned times; for the average soil bulk and porosity within the depth of 0~60 cm, soil bulk of shrub lands is relative bigger, soil porosity is relative smaller, the changes of that of arbour lands is opposite to the one of shrub lands, and soil bulk gradually decreases and soil porosity gradually increases with abandoned times, the changes of that of different restoration measures is not evident; for the average content of > 0.25 mm soil water - stable aggregates within the depth of 0~60 cm, the content of natural restoration is bigger than that of natural restoration with artificial measures, the content gradually increases with increasing abandoned times, and the changes of the content of different vegetation types is not obvious, but the changes of that in different soil layers is very evident. So we should adjust measures to local conditions and choose vegetation on the basis of the characteristic of local soil environment during vegetation restoration in abandoned lands.

Key words: hilly-gully regions on the Loess Plateau; abandoned lands; vegetation restoration; soil physical properties

多年来, 由于自然环境的变化和人为活动的影响, 黄土高原地区的滥砍滥伐、过度放牧以及毁林开荒等现象越来越严重, 使得原有的林草植被越来越少, 大量的陡坡耕地由于不能得到林草植被的保护, 发生了大量的水土流失, 造成了土地生产力不断下降, 土地资源日益枯竭, 农业生态环境进一步恶化。植被作为重要的生态因子, 是控制水土流失、改善生态环境的有效措施, 在自然生态环境中占有极其重要的地位。在黄土高原, 退耕地作为一种重要的土地资源, 对其进行植被恢复和重建, 将有助于提高土地生产力, 减缓水土流失, 对生态环境的改善有着重要的实践意义。土壤物理性质作为土壤环境的一部分, 对植被恢复有着极其重要的作用。前人对不同的植被对土壤物理性状的作用^[1~3]、不同处理措施对土壤物理性状的影响^[4,5]、不同干扰对土壤物理性质的影响^[6~7]、不同治理模式下的土壤物理特性变化^[8]、森林重建对退化红壤结构特性的影响^[9]以及森林土壤物理性质的空间异质性^[10]等方面进行了系统研究, 取得了许多卓越的成果, 为以后科学研究奠定了坚实基础。然而, 这些研究大多都是基于种植地或自然荒坡进行的, 对退耕地植被恢复中的土壤物理特性的变化缺乏系统的研究, 而这一点对指导当前的退耕还林(草)有着十分重要的意义。因此, 结合野外实验及其所采集的数据对黄土丘陵区退耕地植被恢复中土壤物理性质的变化特征进行分析, 以期为黄土高原退耕地的植被恢复与重建及其生态环境建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设在延安燕沟流域, 该流域位于延安市南 3 km 处, 属黄土高原丘陵沟壑区第 副区, 主沟长 8.6 km, 流域面积 46.88 km²。流域内地形复杂, 沟壑纵横, 土地利用类型多样。流域大致呈东南-西北走向, 海拔 986~1 425 m, 最大高差 439 m。流域处于暖温带半湿润气候向半干旱气候过渡带, 年平均气温 9.8℃, 多年平均降水量为 558.4 mm, 其中, 6~9 月份降水量占全年降水量的 70% 以上, 且多以暴雨形式出现, 年际变化也很大。流域内成土母质为黄土, 山地和沟坡地主要为新黄土和次生黄土覆盖, 土壤以黄绵土为主, 占 90% 以上。流域内地带性原始植被破坏殆尽, 虽与延安南部天然次生林区接壤, 但由于滥垦滥伐, 次生林边界近几十年来急剧后退, 目前零星残存天然次生林覆盖率不足 10%, 植被覆盖率仅 27.21%, 植被保存率低和复垦的问题仍非常突出, 严重影响农业经济的发展^[11]。

1.2 研究方法

本研究以野外调查观测采样与室内分析相结合的方法, 选择有代表性的典型样地, 以坡耕地作为对照, 从土壤含水量、土壤容重、土壤孔隙度以及土壤水稳性团聚体四个方面, 对黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中不同恢复年限、不同的植被类型以及不同恢复方式下的土壤物理性质变化特征进行分析。供试样地基本情况见表 1。

1.3 观测指标与方法

1.3.1 土壤含水量

土壤水分调查采用土钻法, 取土深度为 500 cm, 每隔 20 cm 取土一次, 土壤水分的测定采用烘干法。计算公式:

$$W(\%) = (M_1 - M_2) / (M_2 - M_3)$$

式中: M_1 ——烘干铝盒及土样重, g; M_2 ——烘后铝盒及土样重, g; M_3 ——烘干空铝盒重, g。

1.3.2 土壤容重及孔隙度

环刀法测定容重, 即用环刀取有代表性的原状土, 称重并计算单位容积的烘干土重。计算公式: $\rho_b = (m_2 - m_1) / V$

式中: ρ_b ——土壤容重, g/cm³; m_1 ——环刀重, g; m_2 ——环刀和烘干土重, g; V ——环刀容积, cm³; 土壤孔隙度根据容重换算公式为: $P = (1 - \rho_b / \rho_s) \times 100\%$

式中: ρ_b ——土壤容重, g/cm³; ρ_s ——土壤比重, g/cm³(该文中取 2.65 g/cm³);

1.3.3 土壤水稳性团聚体

土壤水稳性团聚体用邱林(Tiulin, A. F. 1928)法测定, 具体方法为: 先将原状土掰成 2 cm 大小, 风干后用四分法将土样分出 50 g(每样品需有重复), 接着将土样放入带有滤纸的铁盖上(带孔), 下部加水, 利用毛管水浸润 30 min, 然后在水中震荡 30 次(约 1 min), 最后将各级团粒从不同粒径的筛上冲入容器, 烘干称重, 换算成百分数^[12]。计算公式: 土壤水稳性团聚体含量(%) = W/A ; 式中: W ——某粒级团粒重, g; A ——样品总重, g;

表 1 样地基本情况

样地	退耕年限/a	坡度/°	坡向	坡位	群落	恢复方式
S1	20	22	半阳坡	上部	铁杆蒿+ 糙隐子草	自然+ 人工
S2	45	18	半阴坡	上部	大针茅	自然
S3	21~22	27	半阳坡	上部	达乌里胡枝子+ 长芒草	自然
S4	27~28	20	半阴坡	上部	人工柠条林	
S5	27~28	27	半阴坡	上部	人工刺槐林	
S6	坡耕地	24	半阴坡	上部		

注: 野外调查共调查样方 32 个, 从中选取 6 个最具代表性的样方对土壤的物理特征进行分析。

2 结果与分析

2.1 退耕地植被恢复中不同退耕年限土壤物理特性变化

2.1.1 退耕地植被恢复中不同退耕年限土壤含水量变化

在退耕地的植被恢复中, 随着退耕年限的不断延长, 土壤水分也发生相应的变化。图 1 为不同恢复年限的土壤含水量变化。可以看出, 恢复 20 a 和 45 a 的土壤含水量都小于对照坡耕地的土壤含水量。0~250 cm 土层, 恢复 20 a 和 45 a 的土壤平均含水量分别为 6.75% 和 8.80%, 两者相差 2.05%, 这是由于随着恢复年限的增长, 植被盖度增加, 枯枝落叶提高了土壤表层的腐殖质含量, 故而使土壤水分含量随着恢复年限的不断增长而逐渐增加。在 250 cm 以下土层, 土壤含水量随着恢复年限的不断增加而逐渐减小, 并且随着土层的不断加深, 土壤含水量有逐步趋于稳定的趋势。造成这

一趋势的主要原因是随着植被恢复年限的延长, 植被的耗水量也随之增加, 特别是在干旱期, 植物的强烈蒸腾致深层储水因补充调节植物需水的作用而逐渐减小。当有降雨时, 土壤表层的水分亏缺得到补充, 但由于该地区特殊条件所导致的小降雨量, 却不能使深层的土壤水分得到应有的补充, 进而使得土壤深层的土壤水分含量较小, 并且长期的干旱还可能导致土壤干层的出现。

2. 1. 2 退耕地植被恢复中不同恢复年限土壤容重及孔隙度变化

对于进行植被恢复的退耕地来说, 由于恢复年限的不同, 使得土壤的容重及其孔隙度也产生了一定的差异。表 2 可以看出, 随着恢复年限的不断增长, 0~60 cm 土层的平均容重不断减小, 孔隙度不断增大; 并且不同恢复年限不同土层的土壤容重及孔隙度变化幅度也不同, 以土壤表层的变化幅度相对较大, 这说明随着退耕年限的不断增长, 土壤的孔性变好, 土壤入渗能力增强, 土壤水分也得到相应的改善, 这与土壤含水量的变化是相对应的。但是, 总体来说, 随退耕年限的延长土壤容重及其孔隙度变化不太明显。

2. 1. 3 退耕地植被恢复中不同恢复年限土壤水稳性团聚体含量变化

土壤结构状况是土壤肥力的物质基础, 也是土壤保水、保肥的基础, 具有良好团聚体结构的土壤, 不仅具有高度的孔隙性和持水性, 而且有良好的通透性, 对植被的恢复和重建有着很大的促进作用。表 3 可以看出, 随着植被恢复年限的不断增长, 0~60 cm 土层>0.25 mm 土壤水稳性团聚体平均含量不断增加, 其恢复 20 a 和 45 a 的含量分别为 56.73% 和 76.07%, 两者相差 19.33%, 并且两者土壤水稳性团聚体含量都大于对照的坡耕地。同一恢复年限不同土层土壤水稳性团聚体含量的变化也有很大的差异, 总的趋势为随土层的不断加深, >0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量不断减小, 并且其含量的变化幅度上层大于下层。上述分析表明, 随着退耕年限的不断增长, 土壤的结构向着好的方向发展, 土壤的水肥状况得到了改善, 土壤的抗侵蚀能力也得到了提高。

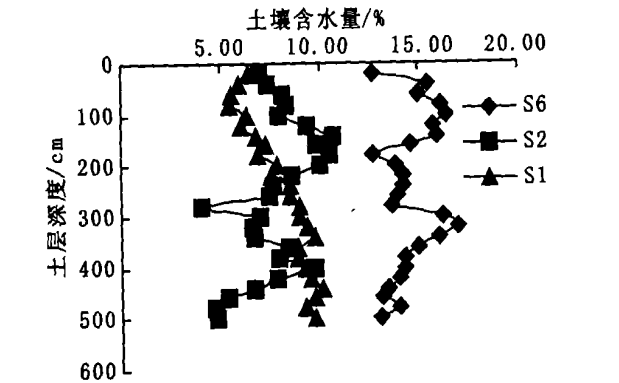


图 1 不同退耕年限的土壤含水量

2. 2 退耕地植被恢复中不同植被类型对土壤物理性质的影响

2. 2. 1 退耕地植被恢复中不同植被类型的土壤含水量变化

在退耕地的植被恢复中, 不同的植被类型对土壤水分有着不同的影响, 图 2 为退耕地植被恢复中不同植被类型的土壤水分变化。可以看出, 各种植被类型的土壤水分都小于对

照的坡耕地, 三种植被类型的土壤含水量总的变化趋势为草地>灌木地>乔木地, 并且随着土层的不断加深, 土壤水分逐步趋于稳定。在 0~350 cm 土层, 草地、灌木地和乔木地的平均含水量分别为 9.19%、8.04% 和 7.31%, 而在 350~500 cm 土层, 乔木地的土壤含水量大于灌木地, 这可能是由于对深层土壤水的消耗该地灌木大于乔木。因此, 在对退耕地进行植被恢复时, 应根据当地的土壤环境条件特别是水分状况, 进行植被类型的选择, 做到因地制宜, 适地适树。

表 2 土壤容重及其孔隙度变化

样地	土层深度	容重/	孔隙度	样地	土层深度	容重/	孔隙度
	/cm	(g·cm ⁻³)	/%		/cm	(g·cm ⁻³)	/%
S1	0~20	1.27	52.17	S4	0~20	1.23	53.67
	20~40	1.23	53.42		20~40	1.32	50.23
	40~60	1.36	48.82		40~60	1.35	49.15
	0~60	1.29	51.47		0~60	1.30	51.02
S2	0~20	1.15	56.55	S5	0~20	1.29	51.41
	20~40	1.23	53.62		20~40	1.32	50.05
	40~60	1.30	51.03		40~60	1.40	47.25
	0~60	1.23	53.73		0~60	1.34	49.57
S3	0~20	1.32	50.15		0~20		
	20~40	1.31	50.52		20~40		
	40~60	1.29	51.15		40~60		
	0~60	1.31	50.61		0~60		

2. 2. 2 退耕地植被恢复中不同植被类型的土壤容重及孔隙度变化

土壤容重和孔隙度是衡量土壤结构好坏的两个指标, 并影响土壤水分的渗透性。表 2 可以看出, 不同植被类型的退耕地, 土壤容重及其孔隙度有一定的差异。灌木地 0~60 cm 平均土壤容重相对较小, 孔隙度相对较大, 分别为 1.30 g/cm³ 和 51.02%; 乔木地 0~60 cm 平均土壤容重相对较大, 孔隙度相对较小, 分别为 1.34 g/cm³, 49.57%; 草地的数值介于灌木地与乔木地之间; 对于同一植被类型不同土层的土壤容重及孔隙度来说, 灌木地和乔木地的上下土层变化趋势一致, 都表现为上层土壤容重小于下层, 上层的孔隙度大于下层, 而草地上下土层变化不太明显。从分析中可以看出, 灌木地对土壤孔隙的改善优于其它植被类型, 这就要求在对退耕地进行植被恢复时, 其他条件相同及其客观条件允许的情况下, 首先考虑选择灌木树种。

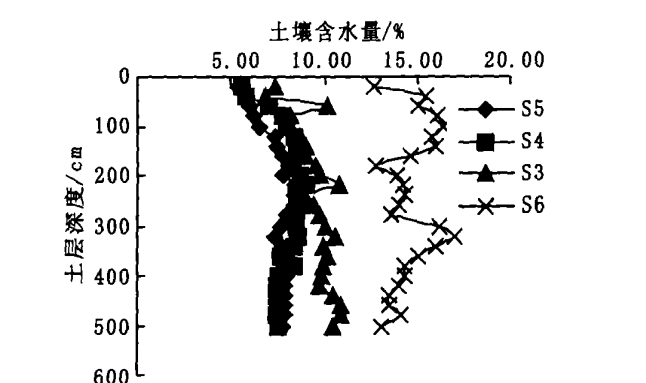


图 2 不同植被类型的土壤含水量

表 3 土壤水稳性团聚体变化 %

土层/ cm	样地	> 5 mm	5~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	> 0.25 mm
0~20	S1	76.4	4.1	1.7	1.8	0.5	84.5
	S2	78.0	4.2	1.3	1.7	1.0	86.2
	S3	73.5	4.1	3.4	2.8	1.1	84.9
	S4	70.1	2.5	1.8	1.9	0.7	77.0
	S5	85.3	2.8	0.9	0.8	0.3	90.1
	S6	7.1	1.3	2.7	5.6	4.6	21.3
20~40	S1	15.6	4.2	5.9	8.9	6.9	41.5
	S2	69.5	4.7	2.5	2.3	1.5	80.5
	S3	10.1	12.6	10.5	15.2	7.1	55.5
	S4	31.6	6.4	7.5	8.4	4.0	57.9
	S5	38.3	4.3	5.7	6.9	3.4	58.6
	S6	1.0	4.5	8.0	12.0	9.3	34.8
40~60	S1	13.6	2.6	4.6	10.4	8.4	39.6
	S2	26.9	11.5	8.5	10.3	4.3	61.5
	S3	3.8	8.0	11.8	16.5	8.3	48.4
	S4	10.7	5.9	7.5	12.5	8.1	44.7
	S5	9.7	4.0	7.3	9.8	7.8	38.6
	S6	1.6	5.6	9.5	18.6	12.0	47.3
0~60	S1	35.2	3.6	4.1	7.0	5.3	55.2
	S2	58.1	6.8	4.1	4.8	2.3	76.1
	S3	29.1	8.2	8.6	11.5	5.5	62.9
	S4	37.5	4.9	5.6	7.6	4.3	59.9
	S5	44.4	3.7	4.6	5.8	3.8	62.4
	S6	3.2	3.8	6.7	12.1	8.6	34.5

2.2.3 退耕地植被恢复中不同植被类型的土壤水稳性团聚体含量变化

土壤水稳性团聚体是影响土壤结构好坏的因素之一,决定着土壤抗侵蚀性的好坏。表 3 可以看出,在退耕地的植被恢复中,不同的植被类型作用于不同的土层,对土壤水稳性团聚体含量的影响有一定差异。> 0.25 mm 的水稳性团聚体含量 0~20 cm 土层乔木地相对较大,为 90.1%;20~40 cm 土层草地相对较小,为 55.5%,而灌木和乔木两地相当;40~60 cm 土层以草地相对较大,乔木地相对较小,其含量分别为 48.4%和 38.6%。0~60 cm 土层> 0.25 mm 土壤水稳性团聚体平均含量三者相差不大,但都大于对照的坡耕地,草地、灌木地和乔木地对对照坡耕地相比分别增加 28.4%、25.4%和 27.9%。这就表明,虽然不同的植被对土壤水稳性团聚体含量影响不同,但与对照坡耕地相比,都增加了土壤水稳性团聚体含量,改善了土壤结构,增加了土壤抗冲性,其中以灌木和乔木对提高土壤的抗冲、抗蚀效果较好。

2.3 退耕地植被恢复中不同恢复方式下的土壤性质变化

2.3.1 退耕地植被恢复中不同恢复方式下的土壤含水量变化

对退耕地进行植被恢复,不同的恢复方式对土壤水分含量影响却有很大的差异。图 3 为不同恢复方式下的土壤含水量变化。该图表明,自然恢复的土壤含水量明显大于自然+人工恢复的土壤含水量,并且两者都小于对照坡耕地的土壤含水量。自然恢复的土壤含水量在 0~350 cm 土层,随土层不断加深而增加,但在 350 cm 以下又不断减小,并有逐步趋于稳定的趋势。自然+人工恢复的土壤含水量在土壤表层也相对较小,随着土层的加深土壤含水量不断增加,土层 0~100 cm 和 400~500 cm 的平均含水量分别为 5.97%和

9.73%,两者相差 3.75%,在 500 cm 以下有趋于稳定的趋势,这是由于自然+人工的恢复方式,人为作用于土壤表层,随着土层的加深,这种人为作用对土壤的影响不断减小,土壤含水量也就逐渐接近于自然恢复方式下的土壤含水量。因此,在退耕地的植被恢复中,以自然恢复对土壤水分的改善效应相对较好,但是为了缩短恢复时间,适度的人为作用也是必要的,但一定要把握人为作用的度。

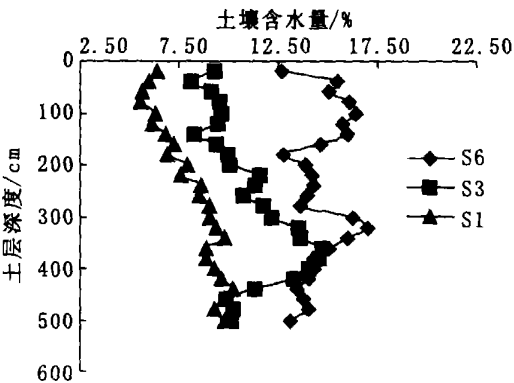


图 3 不同恢复方式下的土壤含水量

2.3.2 退耕地植被恢复中不同恢复方式下的土壤容重及孔隙度变化

在对退耕地进行植被恢复时,由于作用的方式不同,土壤容重及孔隙度的变化也有所不同。表 2 的数据表明,0~20 cm 和 20~40 cm 的土壤容重及孔隙度的变化趋势是一致的,都表现为自然恢复方式下的土壤容重相对较大,土壤孔隙度相对较小,自然+人工恢复方式下的土壤容重则相对较小,孔隙度相对较大,而 40~60 cm 土层土壤容重及孔隙度的变化趋势则恰恰相反。0~60 cm 土层土壤容重及孔隙度均值的变化趋势与 0~20 cm 土层的变化是一致的,但是总的来说,不同恢复方式下土壤容重极其孔隙度的变化不太明显。

2.3.3 退耕地植被恢复中不同恢复方式下的土壤水稳性团聚体变化

在退耕地的植被恢复中,不同恢复方式对土壤水稳性团聚体含量有很大的影响。表 3 可以看出,0~60 cm 土层,自然恢复方式下> 0.25 mm 的水稳性团聚体平均含量大于自然+人工恢复的土壤团粒含量,并且两者都大于对照的坡耕地,自然恢复和自然+人工恢复两种恢复方式下的土壤水稳性团聚体含量分别高出对照的坡耕地 28.47%和 20.73%。然而,同一恢复方式下不同的土层土壤水稳性团聚体含量也有所不同,0~20 cm 和 20~40 cm 土壤水稳性团聚体含量的变化趋势与 0~60 cm 土层的变化是一致的,40~60 cm 土层的变化趋势与 0~60 cm 土层的变化相反;并且,各种恢复措施对土壤表层土壤水稳性团聚体含量增幅较大,自然和自然+人工两种恢复方式下,0~20 cm 土壤水稳性团聚体含量与对照坡耕地相比分别增加 63.6%和 63.2%。可以看出,自然恢复对增加水稳性团聚体含量,改善土壤结构,提高土壤的抗蚀性优于其他的恢复方式。

3 结 论

以上分析表明,在退耕地植被恢复过程中,由于退耕时

间、植被类型和恢复方式的不同,使得土壤含水量、土壤容重、土壤孔隙度以及土壤水稳性团聚体有一定的差异,具体表现如下:

(1) 在退耕地的植被恢复过程中,随着退耕年限的增长,上层土壤含水量不断增加,下层土壤含水量不断减小,并且随着土层的不断加深,土壤水分逐步趋于稳定;0~60 cm 土层,随恢复年限的延长,土壤平均容重不断减小,孔隙度不断增大,>0.25 mm 土壤水稳性团聚体平均含量不断增加。

(2) 对于不同的植被类型的土壤含水量,以草地相对较高,乔木地相对较低,灌木地介于两者之间;0~60 cm 土层,

参考文献:

[1] 卜崇峰,刘国彬,戴全厚. 纸坊沟流域狼牙刺对土壤物理性状的影响[J]. 水土保持研究,2003,10(2):25– 27.

[2] 吴蔚东,黄春昌,王景明,等. 江西省山地几种森林类型下土壤物理性状的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(1):50– 55.

[3] 曹世杰,王小青,徐会霞. 蒙山几个树种改良土壤物理性状的作用探讨[J]. 山东林业科技,2002,(5):10– 11.

[4] 王明玖,卫智军,许志信,等. 不同处理措施对退化人工养草草地土壤物理性状的影响[J]. 内蒙古草原,1996,(1):45– 48.

[5] 张海林,秦耀东,朱文珊. 耕作措施对土壤物理性状的影响[J]. 土壤,2003,(2):140– 144.

[6] 庞学勇,刘庆,刘世全,等. 人为干扰对川西亚高山针叶林土壤物理性质的影响[J]. 应用与环境生物学报,2002,8(6):583– 587.

[7] 张蕴微,韩建国,李志强. 放牧强度对土壤物理性质的影响[J]. 草地学报,2002,10(1):74– 78.

[8] 曹河水. 不同治理模式侵蚀地土壤物理特性变化的研究[J]. 土壤,2001,(5):260– 263.

[9] 刘苑秋,薛建辉,杜天真,等. 森林重建对退化红壤结构特性的影响[J]. 南京林业大学学报,2003,27(1):16– 20.

[10] 王政权,王庆成. 森林土壤物理性质的异质性研究[J]. 生态学报,2000,20(6):945– 950.

[11] 琚彤军,刘普灵,郑世清,等. 燕沟流域水土流失治理及其效益分析[J]. 西北农林科技大学学报,2003,31:65– 67.

[12] 朱显谟. 黄土高原与农业[M]. 北京: 农业出版社,1989.

(上接第 16 页)

[4] 郑剑英,吴瑞俊,翟连宁. 黄土丘陵沟壑区小流域土壤养分的分布特征[J]. 水土保持通报,1996,16(4):26– 30.

[5] 王国梁,刘国彬,许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应[J]. 水土保持通报,2002,22(1):1– 5.

[6] 王洪杰,李宪文,史学正,等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[J]. 水土保持学报,2003,17(2):44– 46.

[7] 王军,傅伯杰,邱扬,等. 黄土高原小流域养分的空间分布格局—Kriging 插值分析[J]. 地理学报,2003,22(3):373– 379.

[8] 朱兆良. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科技出版社,1992. 48– 52.

[9] 杨小波,张桃林,吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报,2002,22(2):190– 196.

[10] 安树青,王峥峰,朱学雷,等. 土壤因子对次生森林群落物种多样性的影响[J]. 武汉植物学研究,1997,15(2):143– 150.

[11] 张林静,岳明,顾峰雪,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性与土壤环境因子的耦合关系[J]. 应用生态学报,2002,13(6):658– 662.

[12] 黎云祥,刘钊,陈利,等. 南充市近郊退化灌丛草坡群落物种多样性与环境因子灰色关联度分析[J]. 四川师范学院学报,1998,19(2):189– 192.

[13] 高旺盛,董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价—以安塞县为例[J]. 自然资源学报,2003,18(2):182– 188.

[14] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社,1986.

[15] 汪殿蓓,暨淑仪,陈飞鹏. 植物群落物种多样性研究综述[J]. 生态学杂志,2001,20(4):55– 60.

[16] 陈廷贵,张金屯. 十五个物种多样性指数的比较研究[J]. 河南科学,1999,17:55– 57.

[17] 谢应忠. 植物生态学导论[M]. 银川: 宁夏人民出版社,2000.

[18] 王琳,张金屯,上官铁梁,等. 历山山地草甸的物种多样性及其与土壤理化性质的关系[J]. 应用与环境生物学报,2004,10(1):18– 22.