

# 黄土高原沟壑区小流域不同植被覆被对土壤性质的影响<sup>\*</sup>

邱莉萍, 张兴昌

(西北农林科技大学 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** 为揭示不同植被覆盖对土壤性质的影响, 运用野外调查和室内分析的方法对南小河流域不同植被覆盖土壤 13 种基本性质及土壤质量进行研究, 结果发现: 草地土壤物理结构在三种植被恢复土壤中为最佳。不同植被恢复土壤养分含量在剖面中均具有不等的表聚性, 土壤有机质、全氮、矿质氮、速效钾和 CEC 在剖面中均表现为随土层加深而降低, pH 随土层加深而增加, 而全磷则无太大规律。在相同土层, 不同植被恢复土壤表现不一。51 a 的油松林地 0–105 cm 土层土壤质量均有明显提高, 51 a 的刺槐林地 0–45 cm 土层土壤质量有所改善, 而 45–105 cm 土层土壤质量则有所退化。

**关键词:** 黄土高原; 植被覆盖; 土壤性质; 土壤质量

中图分类号: S153; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0064-05

## Vegetation Types Effects on Soil Properties in Small Watershed of the Loess Plateau

QIU Li-ping, ZHANG Xing-chang

(Northwest A & F University, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Education, Institute of Soil and Water Conservation, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Re-vegetation in the Loess Plateau poses great significance on eco-environmental rehabilitation and exerts important influences on soil properties and soil quality, which is essential for maintaining and improving for the ecosystem functions in the re-vegetation systems. In this study, field investigation and laboratory analysis were combined to reveal the changes of soil properties and subsequently soil quality in various vegetation coverage conditions in the loessial gully region of the Loess Plateau. The results showed that the optimal soil physical properties were occurred in grassland. In the studied vegetation types, most nutrients and soil properties were all decreased with soil depth apart from pH and total P. Additionally, soil properties varied greatly with vegetations. After 51 years, Chinese pine improved soil quality in 0–105 cm soil depths, while black locust improved soil quality in 0–45 cm. Soils in 45–105 cm were degraded after 51 years' growth of black locust.

**Key words:** the Loess Plateau; re-vegetation; soil properties; soil quality

植被与土壤是陆地景观中最为突出的两个组成部分, 两者的分布特征及相互关系是生态学研究的重要内容<sup>[1]</sup>。在植被–土壤体系中, 土壤是植被的生长基地, 为植物的生长提供水分和养分; 植被则是土壤的重要成土因素, 是土壤永续利用的屏障, 两者相互依存、互为条件<sup>[2]</sup>。土壤的理化性质是影响土壤肥力的内在条件, 也是综合反映土壤质量的重要组成部分。不同的植被覆盖下, 林下环境、凋落物和根系分泌物类型不同使得土壤的物理结构、化学和生物性质发生改变<sup>[3-4]</sup>, 从而影响整个土壤生态系统的稳定性和可持续性。

南小河口试验场是 20 世纪 50 年代在黄土塬区开展水土保持综合治理试验研究的小流域。50 多年来, 许多研究者在此开展了一些科学研究, 但大多与土壤水土保持<sup>[5-6]</sup>及土壤水分入渗<sup>[7-8]</sup>有关。本文选择黄土高原南小河流域 3 种具有代表性的林草恢复类型及荒坡地对照作为研究对象, 比较不同林分和对照土壤的物理和化学性质, 探讨不同植被类型对土壤理化性质的影响, 旨在通过研究该区不同植被类型对土壤性质影响的生态效应, 为南小河流域土地资源的合理利用和生态环境建设提供科学依据。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-12-18

基金项目: 国家自然科学基金(40901145); 西部之光博士资助项目(B28013400); 国家科技支撑计划(2006BAD09B06)

作者简介: 邱莉萍(1979–), 女, 江西赣州人, 博士, 主要从事土壤质量评价的研究。E-mail: qulip79@tom.com

1 研究区概况

南小河沟是泾河支流蒲河左岸的一条支沟, 地理位置 107°37' E, 35°42' N, 海拔 1 050~ 1 423 m。流域长 13.6 km, 平均宽度 2.7 km, 流域面积 36.6 km<sup>2</sup>, 属黄土高原沟壑区。流域年均气温 9.3℃, 最高气温 39.6℃, 最低气温- 22.6℃, 无霜期 155 d, 多年平均蒸发量 1 503.5 mm, 降雨量为 556.5 mm, 其中 6- 9 月降雨量占全年降雨量的 67.3%, 属于半干旱大陆型季风气候。流域土壤为黄土, 黏粒含量较少, 土质松软<sup>[8]</sup>。

2 研究方法

通过实地勘察, 于 2005 年 5 月上旬在研究区内选取具有代表性的刺槐林(*Robinia pseudoacacia*)、油松林(*Pinus tabulaeformis*)、草地和荒坡地共 4 种样地作为研究对象, 四个样地相邻, 坡向和海拔相近(表 1)。在各采样地选取 3 个剖面采集土样, 详细观察并记载各剖面特点、土壤发生特征与性状, 用环刀法采取土样, 采样深度为 150 cm, 除 0- 5 cm 和 5- 15 cm 外, 15 cm 以下土层每隔 15 cm 取样。土样中的植物根系、可见植物残体和石块去除后, 混匀风干研磨过 1 mm 和 0.25 mm 筛以供测定。

表 1 容重及其采样点基本状况

植被类型	海拔/m	坡向	坡度/(°)	坡位	恢复年限/年/a	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )
刺槐林	1127	阴阳坡	33.5	坡中	51	1.15
油松林	1139	阴阳坡	24.0	坡中	51	1.10
草地	1129	阴阳坡	34.0	坡中	51	1.07
荒坡地	1198	阴阳坡	22.0	坡中	51	1.17

4 种植被恢复土壤表层 15 cm 含水量均较低且较接近(图 1a), 表现为: 草地> 刺槐林> 油松林> 荒坡地; 而 15 cm 以下土层含水量逐渐增高, 表现为: 草地、荒坡地> 刺槐林> 油松林。刺槐林和油松林地林木根系分布较深, 对深层土壤水分的吸收消耗较大, 故含水量较低。与林地相比, 草地和荒地具有较浅的植物根系和较小的冠层, 因根系吸水和地上部蒸腾对深层土壤水分的消耗较小, 故深层土壤水分含量较高。

土壤物理性黏粒含量与比表面积具有极显著的相关性, 在本研究中, 二者相关系数达到 0.952<sup>\*</sup> ( $n = 32, p < 0.001$ ), 故二者在剖面中的分布趋势相似(图 1b、图 1c)。草地土壤物理性黏粒含量和比表面积在整个剖面均高于其它利用方式, 而油松林、刺槐林和荒坡地的土壤物理性黏粒含量和比表面积相近。草地、荒坡地、刺槐林及油松林物理性黏粒含量和比表面积在土壤剖面变化较大, 变幅分别为

土壤含水量采用烘干法测定; 容重用环刀法; 物理性黏粒含量和比表面积用激光粒度仪; 有机质用重铬酸钾外加热法; 活性有机质用高锰酸钾氧化法; 全氮用半微量凯氏法; 全磷用酸溶- 钼锑抗比色法; 矿质氮用 1 mol/L KCl 浸提- 流动元素分析仪测定; 速效磷用 Olsen 法; 速效钾用醋酸铵浸提- AAS 法; CEC 用醋酸铵交换法; pH 值用 pH 计测定<sup>[9-10]</sup>。用 SAS 软件对试验数据进行数据处理和统计分析; 用 Excel 软件进行图表绘制。

3 结果与分析

3.1 不同植被覆盖对土壤物理性质的影响

与荒坡地相比较, 林地土壤表层 15 cm 容重较低, 而草地土壤容重最低(表 1), 表明在相同恢复年限林地特别是草地能显著改善土壤表层结构。不同林分覆盖下土壤容重差异的原因主要有以下方面: (1) 草本植物须根系埋藏浅且数量多, 草根的穿插使得土壤颗粒粉碎, 孔隙增多, 容重减小; (2) 草本植物的凋落物在土壤中易于分解腐化形成土壤有机质, 直接降低了土壤容重; (3) 林草地土壤养分状况的改善有利于各种微生物和土壤动物的生存, 促进了它们的活动, 增加了土壤孔隙, 间接降低了土壤容重。

21.30%, 14.46%, 17.54%, 17.30% 和 0.166, 0.183, 0.195, 0.170, 这可能与不同植被覆盖下的土壤过程有关。

3.2 不同植被覆盖对土壤化学性质和养分的影响

不同恢复植被由于其凋落物成分不同, 腐解速度不同, 从而对土壤有机质的形成产生影响。由于有 95% 以上的氮素存在于有机质中, 故全氮在土壤剖面中的分布趋势与有机质极为相似。研究区不同植被覆盖下土壤有机质和全氮含量均随剖面层次的加深而减小, 且林草地土壤有机质和全氮均高于荒坡地(图 2a、图 2b), 这主要与表层凋落物的腐解和根系的分泌物有关。150 cm 剖面土壤有机质和全氮平均含量为油松林(9.35, 0.67 g/kg)> 草地(7.31, 0.49 g/kg)> 刺槐林(6.54, 0.46 g/kg)> 荒坡地(4.76, 0.37 g/kg), 相应的变幅分别为 32.90 g/kg、16.24 g/kg、25.38 g/kg、16.11 g/kg 和 1.81 g/kg、0.79 g/kg、1.27 g/kg、0.88 g/kg。表明在南

小河沟流域特定的气候和生态环境条件下, 油松林

改善深层土壤碳氮养分含量, 其植被恢复的土壤效

不仅提高了表层土壤的有机质和全氮含量, 而且能

应较好。

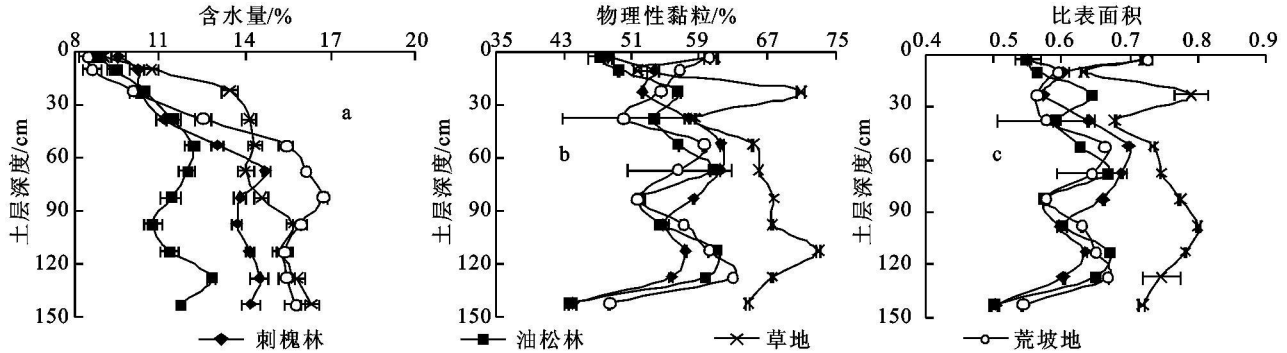


图 1 不同植被恢复土壤物理性质在剖面中的分布

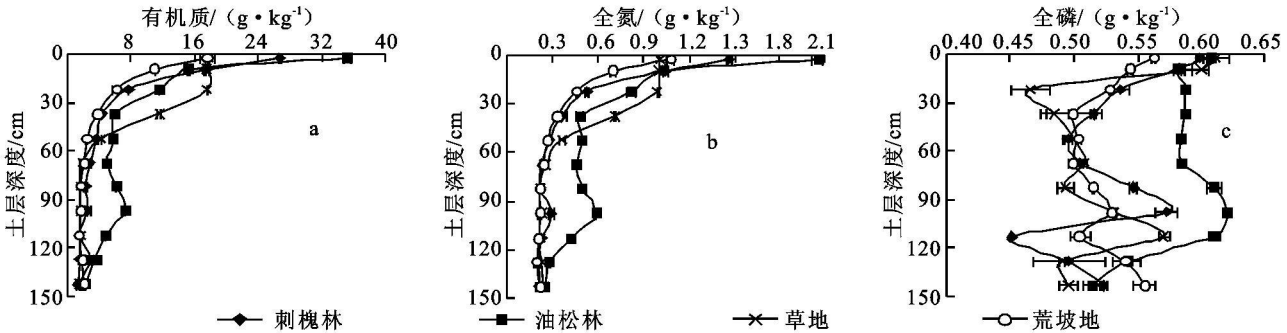


图 2 不同植被恢复土壤有机质、全氮及全磷在剖面中的分布

在没有磷素施入的条件下, 土壤全磷含量主要取决于成土过程, 受外界环境条件变化的影响较小, 故不同植被覆盖下全磷含量差异不大(图 2c)。在根层(0–120 cm)范围内, 土壤全磷含量以油松林地较高, 这可能与油松林根系分泌物的组成及凋落物中磷的归还率较大有关。刺槐林、草地和荒坡地土壤全磷在剖面中的分布趋势相似, 均呈波浪式变化。整个剖面土壤全磷平均含量为油松林(0.585 g/kg) > 刺槐林(0.530 g/kg) > 草地(0.523 g/kg)、荒坡地(0.526 g/kg), 相应的变幅分别为 0.106 g/kg、

0.148 g/kg、0.145 g/kg 和 0.063 g/kg。土壤活性有机质是指土壤中转化快、稳定性差、易于氧化矿化、对植物和土壤微生物活性较高的那部分有机态碳, 它受成土因素及人为活动长期相互作用的影响, 在表征土壤质量方面有着重要意义。不同林分土壤活性有机质的剖面分布与有机质极为相似(图 3a), 即总体上随土层加深而降低, 且以油松林地最高。刺槐林、油松林、草地和荒坡地土壤活性有机质在剖面中的变幅分别为 7.15 g/kg、9.15 g/kg、3.35 g/kg 和 3.22 g/kg。

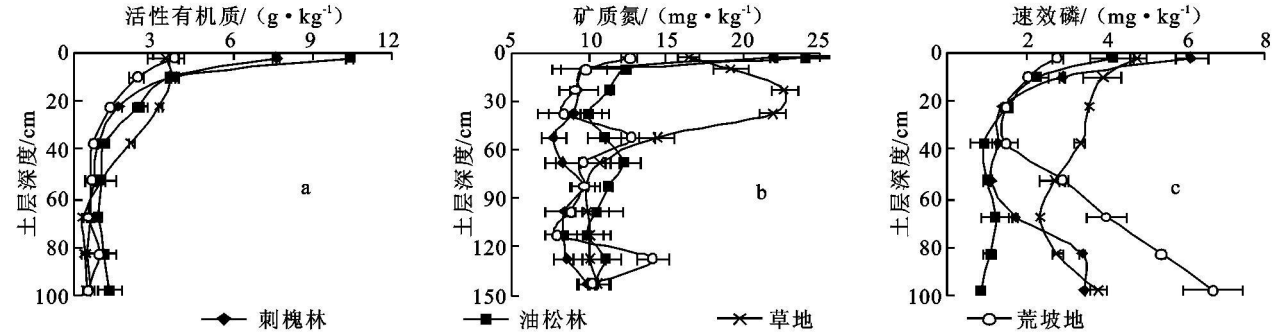


图 3 不同植被恢复土壤活性有机质、矿质氮及速效磷在剖面中的分布

不同植被覆盖下土壤矿质氮在 0–15 cm 土层表现为油松林 > 刺槐林 > 草地 > 荒坡地; 在 15–60 cm 土层表现为草地 > 油松林 > 刺槐林、荒坡地; 在 60 cm 以下土层则表现为草地、油松林 > 刺槐林、荒坡地(图 3b)。林地土壤矿质氮在剖面中逐渐减小,

草地矿质氮在剖面中先增加后减小, 荒坡地矿质氮在剖面中则表现为波浪式分布。由于矿质氮主要由硝态氮和铵态氮组成, 不同林分矿质氮除与全氮含量有关外, 与有机质、pH、CEC 等因素有关。土壤速效磷除油松林地随剖面层次的加深呈现

逐渐减小趋势外, 刺槐林、草地和荒坡地速效磷含量均表现出先减小后增加的趋势(图 3c)。土壤速效磷的剖面分布趋势主要与不同植被对土壤剖面速效磷的吸收利用有关。油松林根系庞大, 且分布深, 对深层土壤磷素也有较多吸收, 因此土壤的速效磷含量在剖面逐渐降低, 而且含量也较低; 草地和荒坡地植物根系主要分布于 45 cm 以上土层, 对 45 cm 以下土层土壤速效磷吸收较少, 其含量逐渐回升。刺槐林地对深层土壤磷素的利用较多, 但根系活动对磷素的活化也较为显著, 所以 45 cm 以下土层土壤有效磷含量也较高。速效磷在整个剖面中的平均含量表现为草地(3.41 mg/kg) > 荒坡地(3.34 mg/kg)

kg) > 刺槐林(2.68 mg/kg) > 油松林(1.64 mg/kg), 变幅分别为 2.43 mg/kg、5.20 mg/kg、5.0 mg/kg 和 3.27 mg/kg。

对于 0–10 cm 土层土壤, 速效钾在林草地含量接近并且较高, 在荒坡地较小; 而对于 20 cm 以下土层土壤, 速效钾含量以油松林地最低, 草地最高(图 4a), 这主要是不同植被覆盖下植物根系对深层土壤速效钾吸收强度不同所引起的。土壤剖面中速效钾平均含量为草地(209.0 mg/kg) > 刺槐林(187.5 mg/kg) > 荒坡地(168.0 mg/kg) > 油松林(163.2 mg/kg), 相应的变幅分别为 166.8 mg/kg、165.0 mg/kg、93.2 mg/kg 和 210.9 mg/kg。

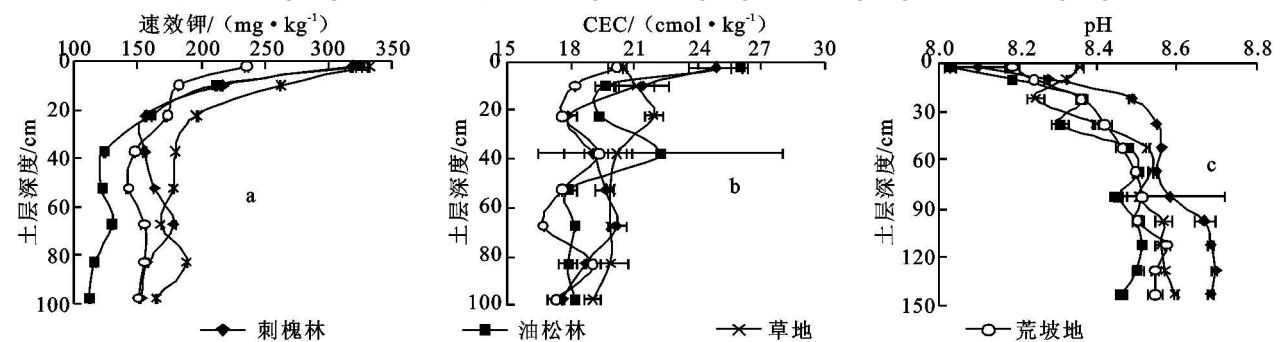


图 4 不同植被恢复土壤速效钾、CEC 及 pH 在剖面 846D 中的分布

不同植被覆盖下土壤 pH 均随土层的加深逐渐增加(图 4b), 此种分布趋势与有机质截然相反, 这与两者之间表现出的极显著负相关关系( $r = -0.893^{**}$ ,  $n = 32$ ,  $p < 0.001$ )有关。上层土壤有机质含量较高, 土壤中有机酸性物质含量也较高, 其土壤 pH 较低; 相反, 深层土壤有机质含量较低, 其 pH 较高。表层 0–15 cm 土壤 pH 为草地 > 荒坡地 > 刺槐林 > 油松林, 15 cm 以下土层 pH 则以刺槐林地最高, 油松林地最低, 这主要与土壤表层凋落物的组成、根系组成及分布、根系分泌物种类和数量等因素有关。此外, 刺槐林地土壤 pH 在剖面变幅最大(0.60 个 pH 单位), 草地土壤 pH 在剖面中的变幅最小(0.35 个 pH 单位)。

在成土过程相同的条件下, 土壤 CEC 主要取决于 pH 和有机质。本研究中土壤 CEC 与 pH 极显著负相关( $r = 0.697^{**}$ ,  $n = 32$ ,  $p < 0.001$ ), 与有机质极显著正相关( $r = 0.787^{**}$ ,  $n = 32$ ,  $p < 0.001$ ), 因此不同植被覆盖条件下土壤 CEC 的剖面分布是 pH 和有机质相互作用的结果(图 4c)。

本研究中土壤 CEC 与 pH 和有机质之间的关系在上层土壤体现得较为明显, 刺槐和油松林地上层土壤 pH 值较低, 有机质较高, 土壤 CEC 也较高; 草地和荒坡地 pH 值较高, 有机质较低, 土壤 CEC 也较低。

3.3 土壤质量指数

为了定量描述不同植被覆盖下土壤质量状况, 本文引用了土壤质量指数<sup>[11]</sup>。土壤质量指数依据 Adejuwon 提出的计算公式计算<sup>[12]</sup>, 以某一处理为基准, 假设其它处理都是由作为基准的处理转变而来, 然后计算土壤各个属性在其它处理与基准处理之间差异(以百分数表示), 最后将各个属性的差异求和平均, 得到各处理的土壤质量指数, 其计算公式如下:

$$SQI = [(P_1 - P'_1)/P'_1 + (P_2 - P'_2)/P'_2 + \dots + (P_n - P'_n)/P'_n] \times 100\% / n$$

式中: SQI——土壤质量指数;  $P'_1, P'_2, \dots, P'_n$ ——基准处理土壤属性 1, 属性 2, 到属性  $n$  的值;  $P_1, P_2, \dots, P_n$ ——其它处理土壤各属性值;  $n$ ——选择的土壤属性数。土壤质量指数可以是正值, 也可以是负值, 负值表明土壤退化, 正值说明土壤质量有所改善。以荒坡地作为基准, 利用含水量、物理性黏粒、比表面积、pH、CEC、有机质、活性有机质、全氮、全磷、矿质氮、速效磷、速效钾等 12 项土壤指标计算不同植被覆盖下的土壤质量指数(图 5)。

与荒坡地相比较, 油松林地在 105 cm 土层、草地在 75 cm 土层、刺槐林地在 45 cm 土层内土壤质量指数均为正值, 表明土壤质量均有所提高, 而且不同植被覆盖条件下各土层土壤质量提高幅度不同。

除 15– 45 cm 土层草地土壤质量指数高于油松林地外,其它各土层土壤质量恢复均以油松林最高。

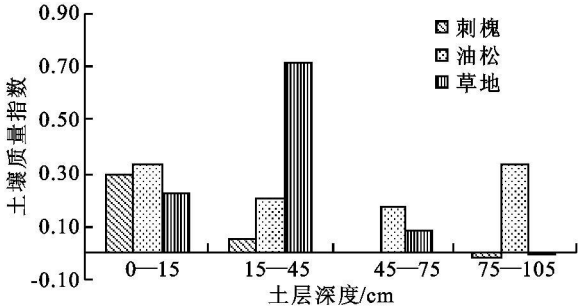


图 5 不同植被覆被下土壤质量指数

刺槐林是黄土高原半干旱半湿润地区植被恢复和重建的主要人工林之一,作为一种典型的中生树种,有较强的适应性和抗逆性,并在黄土高原地区得到大面积栽植<sup>[13-14]</sup>。由于耗水多,在陕北黄土高原,除南部的宜君和富县之外,北部的吴旗、安塞、绥德、米脂等地人工刺槐林生长极为缓慢,经济效益甚微,在改善生态环境和保持水土方面所起的作用也很低,严重影响了该区的植被建设和生态的可持续发展,并损害了群众造林的积极性。因此有研究者建议上述区域不适合选择刺槐这类耗水性较强的树种恢复植被,而应选用其它耗水性较弱的乔木或灌木树种进行植被恢复和重建<sup>[15]</sup>。本研究结果也表明,恢复 51 a 后刺槐林地土壤质量指数只在表层 15 cm 有显著提高,而在 15 cm 以下土层并没有显著增加甚至有所降低,这与上述研究的结果一致。而油松林各土层土壤质量指数得到显著提高,说明油松林在生长 51 a 后,其土壤质量得到很大改善。由于不同植被对土壤质量的恢复是由植物从土壤中吸收养分与植物凋落物降解和根系分泌释放养分的平衡所决定的,因此为了有效地提高土壤质量,在人工造林植草时,不仅需要根据气候带选择适合当地的树种,而且要总结前人经验,根据土壤的实际情况进行退耕和人工植树造林。

4 结论

(1) 不同植被恢复对土壤理化性质的影响及响应十分明显。综合土壤容重、含水量、物理性黏粒及比表面积,草地土壤物理结构在三种植被恢复土壤中为最佳。

(2) 不同植被恢复土壤养分含量在剖面中均具有不等的表聚性,土壤有机质、全氮、矿质氮、速效钾和 CEC 在剖面中均表现为随土层加深而降低,pH 随土层加深而增加,而全磷则无太大规律。在相同

土层,不同植被恢复土壤表现不一。

(3) 51 a 的油松林地 0– 105 cm 土层土壤质量均有明显提高,51 a 刺槐林地 0– 45 cm 土层土壤质量有所改善,45– 105 cm 土层土壤质量则有所退化。

参考文献:

[1] 陈玉福,董鸣.毛乌素沙地景观的植被与土壤特征空间格局及其相关分析[J].植物生态学报,2001,26(3):265-269.

[2] 周晓峰.中国森林与生态环境[M].北京:中国林业出版社,1999.

[3] Evelyn H, Gert B, Sophie Z B. Microbial nitrogen turnover in soils under different types of natural forest [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 188: 101-112.

[4] 何永涛,郎海玲.植被建设在黄土高原水土保持中的意义及其对策[J].水土保持研究,2009,16(4):30-33.

[5] 陈浩,王开章.黄河中游小流域坡沟侵蚀关系研究[J].地理研究,1999,18(4):363-372.

[6] 王鸿斌.模型黄土高原坡面侵蚀规律试验区建设实践[J].中国水土保持,2005,(12):14-15.

[7] 李亚娟,宋孝玉,李怀有,等.甘肃西峰南小河流域土壤入渗分布规律研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(12):147-152.

[8] 黄明斌,康绍忠,李玉山.黄土高原沟壑区小流域水分环境演变研究[J].应用生态学报,1999,10(4):411-414.

[9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.

[10] 中科院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1981.

[11] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh [J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 2000, 79: 9-16.

[12] Adejuwon J O, Ekanade O. A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian cocoa belt [J]. Catena, 1988, 15: 319-331.

[13] 张社奇,王国栋,田鹏,等.黄土高原刺槐林地土壤微生物的分布特征[J].水土保持学报,2004,18(6):128-131.

[14] 卫三平,李树怀,卫正新,等.晋西黄土丘陵沟壑区刺槐林适宜性评价[J].水土保持学报,2002,16(6):103-106.

[15] 王力,邵明安,李裕元.陕北黄土高原人工刺槐林生长与土壤干化的关系研究[J].林业科学,2004,40(1):84-91.