

黄土高原不同林龄土壤质地和矿质元素差异研究

郑顺安, 常庆瑞, 齐雁冰

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 对黄土高原不同林龄和不同树种条件下土壤的机械组成和矿质元素含量进行了分析研究, 结果表明: ①成林土壤砂粒、粉粒含量低于中幼林土壤, 粘粒含量高于中幼林土壤, 且呈显著性差异; ②成林土壤 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 MnO_2 、 K_2O 含量相对于中幼林土壤有不同程度的增加, 除 MnO_2 外, 差异均为极显著; 成林土壤中 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 MnO_2 在土壤中下层有不同程度的富集, SiO_2 、 CaO 含量降低; ③矿质元素含量与土壤质地密切相关。

关键词: 黄土高原; 林龄; 土壤质地; 矿质元素

中图分类号: S151 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0094-04

土壤质地是影响土壤松紧程度、通透性能、耕性好坏乃至肥力高低的基本因素, 也是反映土壤发育程度的指标之一, 而土壤矿质全量组成则可以揭示土壤中元素的迁移和变化, 阐明土壤化学性质在成土过程中的演变情况及土壤肥力背景状况。与此同时, 植被的恢复重建会促进土壤形成发育, 使土壤的性质得到改善, 土壤质量明显提高。然而, 过去的工作主要集中在不同植被条件下土壤的理化性质和肥力特征方面, 从土壤形成、系统进化和土壤质量方面研究较少^[1~3]。本文试图从发生学的角度, 分析严重退化生态系统植被恢复对土壤质地和化学元素的影响与作用, 评价不同恢复措施、不同林龄的效应和功能, 为正在开展的西部生态环境建设提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 研究区概况 本研究供试材料采自国家科技攻关项目“黄河中上游黄土高原区(永寿)水土保持型植被建设技术与示范”实验示范基地。该区位于黄土高原渭北台塬沟壑区, 海拔 900~1 300 m, 塬面地形波状起伏, 坡度 $5^\circ \sim 15^\circ$; 沟坡崎岖破碎, 沟谷深切, 坡度 30° 左右, 水土流失严重。气候属于暖温带半湿润偏旱类型, 年均温 $10.8^\circ C$, 年降水量 601.6 mm, 干燥度 1.75~1.8, 无霜期 210 d。“六五”以来, 为了控制水土流失, 彻底改善生态环境, 对水土保持型植被建设体系、适合该类地区生态环境条件的植被类型和栽植技术与方法、不同植被

类型、不同混交方式与栽培模式进行了连续多年试验研究, 建设了大面积的人工植被。其中油松和刺槐都是我国黄土高原造林的先锋树种, 其生长较快, 根系发达, 耐旱、耐瘠薄, 具有很强的适应能力。经过多年的生长发育, 试区内植被枝叶繁茂、生长旺盛, 呈现出良好的生态景观。

1.1.2 样品采集 本研究选择马莲滩林场东北山梁海拔 1 245 m 处 10 a 左右油松纯林和刺槐纯林及槐坪林场海拔三工区路北生长近 45 a 的油松纯林和刺槐纯林为采样区, 在各类型植被中各选择具有典型性的树木, 在距树根部 20 cm 处挖掘土壤剖面, 分别按发生层次多点(≥ 3 点)采集不同深度样品。

1.2 测定方法

样品风干后剔除杂质, 磨碎过筛, 装袋贮藏备用。机械组成应用六偏磷酸钠分散吸管法测定; 矿质全量应用 $NaCO_3$ 熔融样品(0.25 mm), 重量法测定 Si; 变色酸比色法测定 Ti; 氟化钾取代 EDEA 容量法测定 Al_2 ; 原子吸收光谱法测定 Fe, Mn, K, Mg; 钼锑抗比色法测定 P^[4,5]。

2 结果与分析

2.1 不同林龄土壤质地分异

在五大成土因素中, 研究区母质相同(黄土母质), 气候相同, 地形相似, 只有生物和时间不同。生物因素对土壤的形成发育及肥力特性和类型具有独特的作用。表 1 为不同树种、不同林龄各土壤剖面机械组成。

收稿日期: 2006-06-12

基金项目: 教育部重点科技项目(03157); 国家自然科学基金项目(30571527); 国家科技攻关项目(2001BA510B01)

作者简介: 郑顺安(1981-), 男, 安徽合肥人, 在读硕士, 主要从事土地资源与信息技术研究。

通讯作者: 常庆瑞(1950-), 男, 陕西子洲人, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境与 3S 技术应用研究。E-mail: chqr@nwsuaf.edu.cn

表 1 各剖面机械组成及加权均值(g/kg)
Table 1 Textural composition and weighted average amount

植被类型 Plantation type	深度 Depth(cm)	砂粒 Sand >0.02mm	加权均值 Weighted average amount	粉粒 Silt 0.02~0.002 mm	加权均值 Weighted average amount	粘粒 Clay <0.002 mm	加权均值 Weighted average amount
中幼油松林 Under-age <i>Pinus tabulae formis</i>	0~20	373.79		390.89		247.90	
	20~40	368.92	358.24 _a	389.99	406.67 _a	250.77	243.91 _b
	40~60	340.69		430.43		234.93	
	60~80	349.56		415.37		242.05	
成年油松林 Grown-up <i>Pinus tabulae formis</i>	0~9	325.01		370.77		307.91	
成年油松林 Grown-up <i>Pinus tabulae formis</i>	9~28	294.75	304.92 _b	386.88	385.57 _c	322.43	307.77 _a
	28~53	317.98		374.42		309.00	
	53~83	294.45		398.48		297.43	
	中幼刺槐林 Under-age <i>Robinia pseudoacacia</i>	0~20		401.60		394.08	
中幼刺槐林 Under-age <i>Robinia pseudoacacia</i>	20~40	339.70	345.99 _a	403.16	407.75 _a	268.59	257.67 _b
	40~60	330.20		420.16		259.33	
	60~80	312.46		413.63		279.62	
	成年刺槐林 Grown-up <i>Robinia pseudoacacia</i>	0~6		308.58		399.62	
成年刺槐林 Grown-up <i>Robinia pseudoacacia</i>	6~30	296.11	286.34 _c	389.25	402.20 _b	316.67	313.27 _a
	30~50	276.94		407.74		317.05	
	50~80	280.35		409.38		311.75	

注:同一列数据后标不同字母表示差异显著($P<0.05$),下表同。Note: The same letter on the right side of the data in a same row means there is a statistical difference($P<0.05$) between them, the same is following.

从表 1 可以看出,不同树龄、不同树种土壤粘粒含量不同。成林土壤砂粒、粉粒含量低于中幼林,而粘粒含量有所增加。其中,成年油松林土壤比中幼油松林土壤砂粒、粉粒平均降低 14%和 5.9%,而粘粒增加了 21.1%;成年刺槐林土壤比中幼刺槐林砂粒、粉粒减少 16.0%和 1.5%,粘粒增加 16.9%。剖面粘粒平均含量顺序:成年刺槐林>成年油松林>中幼刺槐林>中幼油松林。显著性检验表明:成林与中幼林粘粒含量呈显著性差异。土壤形成在一定程度上表现为粘粒的形成与机械组成的变化,并且在质地各粒级中,以粘粒含量对肥力和水分影响最大。木本植物残落物层的有机质中含单宁、木质素、树脂类物质较多,它们在真菌类微生物的分解下,会产生较强的酸性物质,可以以较强的有机酸对矿质土粒进行酸性溶解,从而使土壤粘粒增加^[7]。成林残落物深厚,根系庞大,故粘粒含量高于相应中幼林;而且腐殖物质在土壤中以胶膜形式包被在矿质土粒的外表,能促进团粒结构的形成,所以随着腐殖物质的增加,粘粒含量有不同程度的提高。因刺槐是阔叶树种,残落物层比针叶树种的油松深厚且易腐解,所以刺槐林表层土壤粘粒略高于油松林。

2.2 不同林龄土壤矿质元素差异

不同林龄土壤矿质元素含量如表 2、表 3 为各

个剖面矿质全量加权均值显著性差异。

2.2.1 SiO_2 石英是自然界中抗风化能力最强的矿物之一,所以 SiO_2 含量变化很小。在四个供试剖面中, SiO_2 平均值均无显著差异。粘粒含量越高, SiO_2 含量越少,之所以如此,是由于砂粒、粉粒中多石英和长石,前者纯由 SiO_2 组成,后者在其分子组成中 SiO_2 所占的比例也特别大。另一方面,土壤的粘粒部分主要是由粘粒矿物所组成,而在粘粒矿物的化学成分中, SiO_2 所占的比例较小。由于树龄不同,树种不同,所以 SiO_2 含量会有所差别,其中:中幼油松林>中幼刺槐林>成年油松林>成年刺槐林。

2.2.2 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 MnO_2 由表 2 和表 3 可以看出,成林土壤 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 MnO_2 含量均高于中幼林,统计检验表明成林土壤与中幼林土壤 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 之间存在极显著差异;而林龄相同,树种不同的土壤中则差异不显著。成年油松林土壤 Al_2O_3 含量比中幼林增加 17.5%,成年刺槐林比其中幼林增加 16.7%,且在中下部有一定程度的富集。成年刺槐林和成年油松林土壤 Fe_2O_3 比其中幼林都分别增长 12.3%,且在土层中部有较明显富集。

表 2 各剖面矿质元素含量(g/kg)
Table 2 The content of mineral element

植被类型 Plantation type	深度 (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	MnO ₂
中幼油松林 Under-age <i>Pinus tabulae formis</i>	0~20	620.92	7.01	125.65	49.26	18.81	67.58	12.93	26.02	0.89
	20~40	656.98	6.95	109.60	50.43	20.79	70.05	12.18	26.08	0.93
	40~60	641.41	6.93	124.35	49.92	19.33	78.73	12.19	26.70	0.88
	60~80	630.60	6.53	106.68	47.83	19.12	91.89	12.59	24.76	0.81
成年油松林 Grown-up <i>Pinus tabulae formis</i>	0~9	650.58	7.85	137.53	54.12	17.51	29.29	8.23	27.51	0.87
	9~28	630.64	7.97	138.49	55.81	17.18	19.73	6.71	26.76	0.95
	28~53	647.95	7.72	138.33	56.90	17.92	13.46	8.80	27.49	0.96
	53~83	653.46	8.07	135.82	52.29	17.71	16.22	8.58	27.39	0.66
中幼刺槐林 Under-age <i>Robinia pseudoacacia</i>	0~20	664.50	6.89	78.27	49.16	19.48	63.83	13.73	26.18	0.87
	20~40	631.75	6.82	85.10	50.83	20.67	59.65	12.52	26.25	0.88
	40~60	654.91	6.58	126.85	48.95	19.66	60.25	12.51	25.28	0.87
	60~80	635.55	6.50	120.06	49.13	19.63	69.60	13.50	25.45	0.85
成年刺槐林 Grown-up <i>Robinia pseudoacacia</i>	0~6	638.71	7.51	131.13	53.22	17.67	15.64	14.91	27.57	0.86
	6~30	660.65	8.09	81.57	55.15	20.68	14.56	12.70	27.49	0.85
	30~50	632.88	8.05	137.62	56.75	24.03	27.70	12.76	27.01	0.89
	50~80	645.06	8.39	136.15	56.22	22.72	25.51	12.03	28.14	0.89
与粘粒相关系数 Correlation with clay		-0.033	0.835**	0.475*	0.896**	0.049	-0.884**	-0.490*	0.698**	0.064

表 3 各剖面矿质元素加权均值与显著性比较(g/kg)
Table 3 The weighted average amount of mineral element and significance level

植被类型 Plantation type	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	MnO ₂
中幼油松林 Under-age <i>Pinus tabulae formis</i>	646.00 _a	6.86 _b	116.5 _b	49.3 _b	19.5 _a	77.1 _a	13.0 _a	25.9 _b	0.88 _a
成年油松林 Grown-up <i>Pinus tabulae formis</i>	646.26 _a	7.92 _a	137.37 _a	54.68 _a	17.63 _b	19.61 _b	8.18 _b	27.29 _a	0.84 _a
中幼刺槐林 Under-age <i>Robinia pseudoacacia</i>	645.00 _a	6.70 _b	113.9 _b	49.5 _b	19.9 _a	63.3 _a	13.0 _a	25.8 _b	0.87 _a
成年刺槐林 Grown-up <i>Robinia pseudoacacia</i>	646.22 _a	8.15 _a	131.77 _a	55.81 _a	22.06 _a	20.03 _b	12.63 _a	27.62 _a	0.88 _a

针阔叶林残落物被真菌分解产生的草酸、酒石酸和强酸性的富里酸等,加上从树叶上淋洗下来的多酚类有机物,随着较丰富的下渗水对土壤矿物产生深刻的分解和淋溶,引起土壤 Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂、MnO₂ 分布变化和在中下部有所富集。另一重要原因是树林土壤中含有不同数量和种类的细菌及微生物。Jongmans^[8]等观察到菌根菌在菌丝顶端分泌柠檬酸、琥珀酸、草酸等有机酸,以每年 0.3~30 μm 的速度在矿石上溶解出许多小洞,洞液中含有比周围浓度高出很多的多种矿质元素。造林时间

越长,菌物越多,故成林土壤 Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂、MnO₂ 高于其中幼林。

2.2.3 P₂O₅、K₂O、CaO、MgO 不同林龄 P₂O₅ 平均含量为:成年刺槐林>中幼刺槐林>中幼油松林>成年油松林。前三个剖面含量无显著差别,但他们与成年油松林呈极显著差别。各剖面 K₂O 含量均值特点与 Al₂O₃ 等相似。土壤中全磷、全钾含量高低除受土壤母质影响外,还与土壤质地和有机质含量有关,粘粒含量高,含全磷、全钾高,有机质丰富的土壤含全磷、全钾亦较多^[9]。成年油松林 P₂O₅ 含量比其中幼林降低 33.5%,可能与树种有关,具

体原因还有待进一步研究。

不同林龄 CaO 均值顺序为:中幼油松林>中幼刺槐林>成年油松林>成年刺槐林,且中幼林与成林间差异极显著,成年刺槐林和油松林土壤分别比其中幼林低 67.3%、65.7%。MgO 含量成年刺槐林较高,四个剖面间差异均不显著,但成年油松林土壤含量最低。CaO、MgO 是易溶性盐,淋失迅速、强烈,所以成林比中幼林会有很大程度的降低。

2.3 不同树龄土壤质地与矿质元素的关系

已有研究表明,土壤颗粒组成的不同是造成养分差异的最主要内在原因^[10]。由表 2 土壤矿质元素与粘粒含量的相关分析可看出:土壤粘粒含量增加,Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂、K₂O 含量随之显著增加,CaO、P₂O₅ 含量则会显著降低,而且在植被的长期影响下,效果愈加明显。

在相同母质、气候、相似地形条件下,植被生长发育形成的各种器官及其残落物和庞大的根系所产生的有机质及该环境下的菌物共同作用提高了土壤质量,是退耕还林的生态效益的有力证明。

3 结论

1) 成林土壤粘粒含量高于中幼林,呈显著性差异,相同林龄阔叶林粘粒略高于针叶林。

2) 成林土壤 Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂、MnO₂、K₂O 相对其中幼林均有不同程度增加,除 MnO₂ 外,差异均达显著水平;成林间无显著差异。成林土壤中 Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂、MnO₂ 在中下层有不同程度的富集。成林土壤 SiO₂、CaO 含量低于中幼林,CaO

减幅明显。

3) 土壤矿质元素含量与土壤质地密切相关。植被对土壤的改良是一种正向持续反馈机制。时间越长,效果越明显,因此,要大力发展植树造林,保持森林资源,持之以恒才能彻底防治土地退化,建设良好的生态环境。

参考文献:

- [1] 彭少麟. 恢复生态学及植被重建[J]. 生态科学, 1996, 15(2): 26-31.
- [2] 包维楷, 陈庆恒. 退化山地生态系统恢复与重建的有关问题探讨[J]. 山地学报, 1999, 17(1): 22-28.
- [3] 章家恩, 徐 琪. 恢复生态学研究的一些基本问题探讨[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 109-112.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析(第 3 版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 40-265.
- [5] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学出版社, 1978. 65-126.
- [6] 邹桂霞, 刘素媛. 不同树种水土保持效益研究[J]. 山西水土保持, 1999, 4: 9-10.
- [7] 宋西德. 刺槐饲料林业量及其营养成分动态研究[A]. 罗伟祥. 黄土高原渭北生态经济型防护林体系建设模式研究[C]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 55-60.
- [8] Jongmans R, Mokma D, Lowery B. Relation between soil quality and erosion[A]. Rattan Lal. Soil Quality and Soil Erosion[C]. Washington D C, CRC Press, 1999. 237-258.
- [9] 鲁如坤, 时正元, 钱承梁. 磷在土壤中有有效性的衰减[J]. 土壤学报, 2000, 37(3): 323-328.
- [10] 薛泉宏. 黄土高原油松刺槐人工林对土壤肥力影响的研究[A]. 罗伟祥. 黄土高原渭北生态经济型防护林体系建设模式研究[C]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 145-150.

Soil texture grade and mineral element of plantations with different ages on Loess plateau

ZHENG Shun-an, CHANG Qing-rui, QI Yan-bing

(College of Resources and Environment of Northwest A & F University, yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper studied the textural composition and the content of mineral element in different classes and ages of plantation on Loess plateau. It can be observed that: ① The grown-up plantation contains more clay and less sand and silt than the under-age plantation, the difference is significant; ② In contrast with under-age plantation, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MnO₂ and K₂O in grown-up plantation increases, SiO₂ and CaO decreases; ③ The content of mineral element is correlated with soil textural composition.

Keywords: texture grade; residue; mineral element