

农牧交错带植被恢复对土壤物理性质的影响

杨凤群¹, 齐雁冰^{1,2}, 常庆瑞^{1,2}, 姚亚庆¹, 黄聪¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 农业部 西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以地处毛乌素沙地南缘的榆林市沙生植物园植被恢复 30 a 的 10 种植被类型下土壤为研究对象, 对不同植被类型下土壤物理性质进行了对比分析。结果表明, 植被恢复可以改善土壤物理性质, 与流动沙地相比较, 植被恢复后表层土壤容重降低了 0.1~0.5 g/cm³, 土壤总孔隙度提高了 1%~10%, 土壤颗粒组成虽然仍然呈现砂粒占绝对优势, 但明显表现出细化的趋势, 1~0.25 mm 含量明显降低, 其它粒级含量呈不同程度的升高。不同植被类型对土壤的改良作用差异显著, 灌木对土壤物理性质的改良作用优于草本和乔木, 其中柠条较其它植物种类可更好地改善土壤物理性状。

关键词: 土壤容重; 总孔隙度; 土壤颗粒组成; 植被重建; 农牧交错带

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)02-0057-06

中图分类号: S152.5

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.013

Effect of Vegetation Recovery on Soil Physical Properties in Agro-pastoral Transitional Zone

YANG Feng-qun¹, QI Yan-bing^{1,2}, CHANG Qing-rui^{1,2}, YAO Ya-qing¹, HUANG Cong¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and

the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The paper investigated and compared the soil physical properties of the soils under ten different vegetation types(30 a) in psammophyte garden in Yulin City, which locates in the south of Mu Us sandy land. The results showed that vegetation restoration could improve the soil physical properties. Compared with the moving sandy land, soil bulk density of surface soil decreased by 0.1~0.5 g/cm³ and the soil total porosity increased by 1%~10%. Although the sand grains was still the dominant component of soil particle composition it showed a trend of refinement. The content of 1~0.25 mm decreased significantly, and other size fractions increased to certain degrees. Significant difference was found in different vegetation types on the amelioration of soil. The shrub was better than herb and tree in improving soil properties, of which the *Caragana* was much superior to other species.

Keywords: soil bulk density; total porosity; soil particle composition; vegetation reconstruction; agro-pastoral transitional zone

植被恢复是严重退化生态系统土壤逆转的主要途径^[1-6]。土壤是生态系统中诸多生态过程(如营养物质循环、水分平衡和凋落物分解等)的参与者与载体,是地上植物生存的重要物质基础和结合生物体与其它因子的纽带,而植被的凋落物分解、根系穿插以及固氮等又能够起到改良土壤的作用^[6-7]。荒漠化土地在植被重建过程中,通过植被与土壤双重生态系统进行交互作用,促进退化土壤的正向发育,改善土壤环境质量^[6-10]。在植被重建过程中,植被类型是决定

退化生态系统逆转的关键。不同植被类型,由于其植物性质、生物量及生长速度的不同,对土壤性质的影响具有明显差异,因此通过不同植被恢复类型下土壤性质的比较,可以评价植被恢复的土壤环境改善效果,从而为筛选较优的植被恢复模式提供理论基础。

土壤物理性质是土壤质量的重要指标,良好的水分条件和通气性,在土壤微生物活动、养分的转化中起着重要的作用,因而日益成为重要的研究领域之一。植被恢复过程中,随着地表凋落物和地下有机物

收稿日期:2013-05-17

修回日期:2013-08-03

资助项目:国家自然科学基金项目“农牧交错带植被重建的土壤环境响应与微生物耦合机制研究”(31100516);中央高校基本科研业务费(QN2011075)

作者简介:杨凤群(1989—),女(汉族),四川省江油市人,硕士研究生,研究方向为植被恢复的土壤质量效应。E-mail: fgy8903@126.com。

通信作者:齐雁冰(1976—),男(汉族),河南省周口市人,副教授,主要从事植被重建的土壤质量评价方面的教学与研究工作。E-mail: ybqi@nwsuaf.edu.cn。

(细根及根系分泌物)的大量增加,可以明显降低土壤容重^[11-12],提高孔隙度,增强团聚体稳定性等^[12-13],改善土壤综合物理性质,促进退化土壤理化性质的恢复。目前我国开展植被重建土壤质量效应的区域主要在黄土高原区、红壤区、西南丘陵区等由于水力侵蚀造成的水土流失区域,而针对由于风力引起的农牧交错区的研究相对较少。

陕北农牧交错带由于自然环境脆弱,人类干扰过度,以及严重的风蚀和水蚀共存,是现代土地荒漠化最严重的地区之一,土地荒漠化问题已成为制约当地社会经济可持续发展的主要因素^[13-14]。20世纪50年代以来,该区先后经历了植树种草、三北防护林建设和退耕还林(草)工程三个阶段,也均取得了举世瞩目的成就。然而,受科技发展阶段和人类认识水平的限制,许多工程缺乏科学的理论指导、合理的规划布局与先进的技术方法,产生的效益并不十分理想,植被和土壤之间没有形成良性循环和相互促进的作用机制,甚至诱发新的环境问题。尤其是人工林大片枯死,地下水位降低、河流断流和湖泊干枯的频繁发生,使人类不得不对半个多世纪以来的大规模生态建设项目进行重新认识^[3,15-16],急需进一步深入评估植树种草、植被重建产生的生态环境效应。基于此,本研究以陕西省治沙站恢复30a的10种植被类型下土壤为研究对象,探讨不同的植被恢复类型对土壤物理性质的影响,为研究生态恢复和植被恢复模式的选择提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于毛乌素沙地南缘陕西省榆林市,地处陕西省黄土高原与毛乌素沙地过渡带的陕西省治沙站沙生植物园内。该园自20世纪60年代起在流动沙地上,以“带、片、网”相结合为主的防风沙体系,采

取丘间营造片林与沙丘表面设置沙障,障内以栽植固沙植物建立起来的,目前该区植被覆盖度达65%以上,是陕西省治沙的示范点之一。园区地处109°42'E,38°20'N,平均海拔约1100m,年均温10℃,月平均最低温(1月)-8.8℃,最高温(7月)22.2~24.1℃,气温日较差和年较差大。≥10℃积温2600~3370℃,年日照时数2700~2800h,全年太阳辐射量590.3~632.2kJ/(cm²·a),全年无霜期约150d,年均降水约400mm,主要集中在7~9月份,占全年降水60%~70%;年蒸发量是年降水量的4~10倍,干燥度1.3~2.8^[17],具有明显中温带半干旱气候和沙地气候特征。

1.2 样品采集与分析

本研究主要分析植被恢复对土壤物理性质的影响,因此样品采集时,为了便于横向比较,在向园区管理人员咨询和进行植被观察的基础上,充分考虑海拔、坡度、坡位以及土壤状况等具有相对接近的立地条件(表1),确定园区南部区域植被恢复年限均为30a左右,坡位均为沙丘中部的10种植被类型为样品采集点,包括小叶杨(*Populus simonii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、榆树(*Ulmus pumila*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、沙柳(*Salix psammophila*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)。在每个样地进行植物群落学调查,在明确植物群落组成和演替特征的基础上,每样地选取3个代表性的位置采用发生法分两层,表层有结皮层的为1层,下层为1层,表层无结皮层的,通过观察上下层的发生特性采集表层和下层。环刀采集原状土样测定土壤容重和总孔隙度,混合样品(约2kg)在室内经风干以后磨碎并过2mm筛,用于测定颗粒组成。共采集了33个剖面,并以流动沙地为对照样地。

表1 研究区采样点基本情况

植被模式	植被类型	恢复年限/a	海拔/m	经度	纬度	坡度/°	植被盖度/%
乔木	小叶杨	33	1 093	109°42'56"E	38°20'04"N	7~9	57
	油松	32	1 094	109°42'55"E	38°20'03"N	5~8	62
	榆树	31	1 090	109°42'56"E	38°20'04"N	11~15	43
	侧柏	32	1 104	109°42'15"E	38°19'45"N	8~12	65
灌木	沙棘	31	1 107	109°42'52"E	38°20'04"N	6~8	53
	沙柳	28	1 095	109°42'38"E	38°20'01"N	5~8	48
	紫穗槐	32	1 088	109°42'38"E	38°19'59"N	6~9	70
	柠条	29	1 088	109°42'56"E	38°20'02"N	7~11	58
草本	沙蒿	32	1 099	109°42'38"E	38°20'00"N	5~7	61
	沙米	27	1 099	109°42'39"E	38°20'01"N	6~8	53

土壤容重采用环刀法,总孔隙度根据土壤容重进行计算,土壤颗粒组成采用比重计法测定,颗粒的分级采用国际制,分析方法均按照《土壤农业化学分析方法》^[18]进行。文中所测得数据采用 Excel 和 SPSS 19.0 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤容重

由表 2 可以看出,研究区土壤容重在 $1.07\sim 1.64\text{ g/cm}^3$ 之间,不同植被类型之间具有明显的差异。与流动沙地相比较,各植被类型下土壤容重均明显降低,表明植被重建后土壤容重均有所改善;从剖面上看,各植被类型均表现出表层低于下层,植被恢复对土壤容重的改善主要表现在表层;不同的植被类型相比较,表层土壤中柠条地土壤容重最低,仅为 1.07 g/cm^3 ,其次为沙柳地,为 1.26 g/cm^3 ,最高的为侧柏地,高达 1.56 g/cm^3 。研究区不同模式的植被恢复样地平均值在 $1.12\sim 1.57\text{ g/cm}^3$,以柠条的土壤容重较小,表明柠条对土壤容重改善效果最为明显。将乔木、灌木和草本三种植被恢复模式相比较,以灌木林地下土壤容重最近于最适容重,最优(表层平均为 1.27 g/cm^3 ,下层 1.42 g/cm^3),其次是草本,乔木的改善效果最差,但均优于流动沙地。

表 2 研究区不同植被类型土壤容重与总孔隙度

植被模式	植被类型	土壤深度/ cm	土壤容重/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	总孔隙度/ %
乔木	小叶杨	0—7	1.37	48.32
		>7	1.53	42.34
	油松	0—3	1.40	47.34
		>3	1.52	42.61
	榆树	0—10	1.42	46.30
		>10	1.51	42.87
	侧柏	0—3	1.56	40.96
		>3	1.59	40.18
灌木	沙棘	0—20	1.44	45.56
		>20	1.47	44.43
	沙柳	0—4	1.26	52.51
		>4	1.64	38.00
	紫穗槐	0—10	1.32	50.16
		>10	1.39	47.66
	柠条	0—10	1.07	59.44
		>10	1.16	56.06
草本	沙蒿	0—7	1.29	51.50
		>7	1.58	40.28
	沙米	0—4	1.34	49.33
对照	沙裸地	—	1.61	39.30

2.2 土壤总孔隙度

一般植物对旱地土壤总孔隙度的要求应大于 50%,研究区不同植被类型的土壤各层次总孔隙度有较明显的差异,土壤总孔隙度在 38.00%~59.44%,其中最大值出现在柠条的表层,最小值出现在沙柳的下层。不同植被上层的总孔隙度为 40.97%~59.44%,下层为 38.00%~56.06%,土壤总孔隙度平均值在 40.57%~57.75%之间,均大于流动沙地,说明不同植被恢复模式对于改良土壤结构均有一定的改良作用。土壤总孔隙度与土壤容重类似,灌木优于草本和乔木。灌木和草本表层总孔隙度均大于 50%,但下层还需要进一步改良。灌木中以柠条的总孔隙度最好,平均值达到 57.75%,草本则是沙蒿略优于沙米,乔木的总孔隙度均不是很理想,以侧柏最低,这可能是由于侧柏样地处于沙丘凸地,风蚀水蚀等作用带走了部分土壤中较细的颗粒。总体而言,总孔隙度最优的植被类型是柠条。

2.3 土壤颗粒组成

根据国际分类制标准将不同植被恢复模式土壤粒级分级,研究区土壤颗粒组成测定结果(表 3—4)表明,不同植被恢复模式下,土壤颗粒组成大致为:砂粒>粉粒>黏粒,砂粒组成又以细砂粒为主。不同植被恢复模式下各粒级在土壤中所占比例表现为:上层土壤中砂粒 51.48%~84.45%,粉粒 6.23%~37.21%,黏粒 7.18%~11.31%;下层土壤砂粒为 73.94%~89.59%,粉粒 4.72%~17.12%,黏粒 4.49%~8.94%,说明上层土壤总体上已经优于下层土壤的结构组成。总体而言,不同植被恢复后土壤的颗粒组成已优于流动沙地的颗粒组成。

不同植被恢复后,土壤的颗粒组成变化趋势为砂粒减少,粉粒和黏粒增加。从表 3—4 可以看出,不同沙生植被的土壤颗粒组成差异显著。其中 1~0.25 mm 粒级以侧柏较高,沙棘和小叶杨次之;0.05~0.25 mm 粒级含量均比较高,与流动沙地相比,均有很大的提高,以柠条最高,沙蒿和沙米次之,侧柏最低;0.02~0.05 mm 粒级以侧柏和沙棘变化最小,其次是小叶杨;0.01~0.02 mm 粒级以沙棘和侧柏含量最低;0.002~0.01 mm 粒级各植被差异不大;<0.002 mm 粒级各植被差异不大,但与流动沙地相比,均有较大的提高。不同植被的颗粒组成以灌木最佳,其次是草本。灌木中以柠条最优,草本的差异不大。榆树的颗粒组成较为特殊,整体体现为 1~0.25 mm 粒级含量很少,0.02~0.05 mm 粒级分布最广,这可能是由于该采样地位于沙丘间低地,风蚀水蚀等因素使得细小颗粒在此地累积较多。从所有的粒级组成

看, 0.02~0.05 mm 这一粒级在植被恢复过程中变化显著, 因此该粒级可以作为评价土壤恢复效应的颗粒组成指标。整体而言, 柠条有利于形成良好的土壤颗粒组成, 是最优的灌木植物种类。

表 3 不同植被模式上层土壤颗粒组成

%

植被模式	植被类型	砂粒/mm		粉粒/mm				黏粒/mm
		1~0.25	0.05~0.25	0.02~0.05	0.01~0.02	0.005~0.01	0.002~0.005	<0.002
乔木	小叶杨	30.82	50.99	3.93	2.31	2.21	1.81	7.93
	油松	24.48	49.58	9.08	2.52	2.17	3.88	8.29
	榆树	2.10	49.38	20.33	6.87	3.24	6.77	11.31
	侧柏	45.86	38.00	2.61	1.60	2.01	1.31	8.61
灌木	沙棘	34.57	49.88	2.61	0.71	1.81	1.10	9.32
	沙柳	12.82	52.40	14.61	4.87	2.64	3.55	9.11
	紫穗槐	28.48	44.55	13.49	2.37	2.27	1.66	7.18
	柠条	7.79	57.08	17.27	4.04	1.42	2.42	9.98
草本	沙蒿	16.60	55.44	12.3	3.32	1.78	2.22	8.34
	沙米	21.60	52.45	10.82	3.32	1.61	2.82	7.38
对照	流动沙地	73.18	18.93	0.80	1.60	0.80	1.21	3.48

表 4 不同植被模式下层土壤颗粒组成

%

植被模式	植被类型	砂粒/mm			粉粒/mm			黏粒/mm
		1~0.25	0.05~0.25	0.02~0.05	1~0.25	0.05~0.25	0.02~0.05	1~0.25
乔木	小叶杨	52.63	34.75	2.10	0.51	2.10	1.41	6.50
	油松	39.63	48.95	2.45	0.96	1.11	1.20	5.70
	榆树	3.42	70.52	10.68	2.11	2.32	2.01	8.94
	侧柏	46.17	43.42	1.71	1.20	1.20	1.81	4.49
灌木	沙棘	43.74	42.92	1.81	2.21	2.61	1.81	4.90
	沙柳	12.82	75.26	1.41	1.4	1.61	1.80	5.70
	紫穗槐	23.26	61.39	4.86	1.96	2.11	1.06	5.36
	柠条	18.61	70.36	1.01	0.50	1.71	1.50	6.31
草本	沙蒿	29.52	57.69	1.44	1.37	1.17	1.94	6.87
	沙米	30.03	56.77	2.87	1.30	2.17	1.41	5.45
对照	流动沙地	73.18	18.93	0.80	1.60	0.80	1.21	3.48

2.4 土壤物理性质与土壤养分的相关性

植被重建过程中土壤物理性质与化学性质是协同演变的。从表 5 可以看出, 经过植被恢复 30 a, 土壤有机质、碱解氮、速效磷及速效钾与土壤砂粒含量和容重呈负相关关系, 与粉粒和黏粒含量及总孔隙度呈正相关关系, 这是因为植被重建的土壤演变过程中, 土壤有机质及各养分含量逐渐升高的同时, 砂粒

含量及容重逐渐降低, 粉粒和黏粒含量及总孔隙度逐渐提高。

在不同的植被类型上, 灌木林地上土壤物理性质与土壤化学性质均呈现出显著或极显著的相关性, 相关系数相对较高, 与前文结果一致, 说明经过 30 a 植被恢复, 灌木林地上土壤物理性质与化学性质的协同演变度最高。

表 5 土壤养分与土壤物理性质各指标间的相关系数

项目	乔木林地				灌木林地				草地			
	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾
砂粒	-0.042	-0.062	-0.165	-0.176	-0.758*	-0.899**	-0.869*	-0.638	-0.904**	-0.983**	-0.256	-0.614
粉粒	0.052	0.072	0.186	0.161	0.682	0.829*	0.810*	0.578	0.863*	0.971**	0.218	0.615
黏粒	0.636	0.366	0.387	0.282	0.516	0.508	0.447	0.413	0.579	0.390	0.362	0.182
容重	-0.795*	-0.792*	-0.755*	-0.467	-0.599	-0.817*	-0.689	-0.635	-0.748	-0.848*	-0.059	-0.278
总孔隙度	0.794*	0.792*	0.754*	0.467	0.600	0.817*	0.689	0.636	0.748	0.848*	0.060	0.278

注: * 表示在 $p < 0.05$ 水平上差异显著; ** 表示在 $p < 0.01$ 水平上差异显著。

3 结果讨论

3.1 植被重建对土壤容重和孔隙度的影响

荒漠化过程中土壤结构退化主要表现于土壤容重、孔隙度等方面。土壤容重大小主要取决于土壤结构和垒结状况,土壤孔隙的大小、数量及其分配是土壤物理性质的基础,二者反映出土壤透水性、通气性和根系伸展时的阻力状况^[19]。本研究中生态环境严重退化的荒漠化土地除柠条林地外,土壤容重普遍偏高,在 $1.26\sim 1.56\text{ g/cm}^3$ 之间,下层在 $1.36\sim 1.64\text{ g/cm}^3$ 之间,土壤的容重偏高,这与研究区长期以来水蚀风蚀并存导致的土地沙漠化具有密切关系。另一方面,该地区土壤有机质含量偏低(表层 $3.19\sim 6.43\text{ g/kg}$)^[20],也是导致其结构性差和容重偏大的重要原因。退化生态系统植被恢复对土壤容重和孔隙度的影响主要通过土壤凋落物的增加引起土壤有机质含量的提高来改变的,土壤腐殖质有机质增多,有利于土壤微团聚体和稳定性团聚体的形成和增多,植物根系死亡腐烂形成非毛管孔隙^[19],因此,退化生态系统植被恢复后,土壤容重明显降低,总孔隙度提高。如常庆瑞等^[21]对乾县,丁文峰^[22]在陕西富县研究表明,林、草地土壤密度小于农耕地,退耕还林降低了土壤容重,提高了非毛管孔隙的数量。李裕元等^[12]在神木县的研究表明,在流动沙丘上进行天然草地和柠条林地的恢复,荒漠化土地土壤容重可以降低 30% 左右,孔隙度提高 10% 左右。本研究的结果表明,各植被恢复下土壤容重均明显低于沙裸地,总孔隙度具有相反的趋势,与以上的研究结果一致。但也有研究结果表明植被恢复后土壤容重和孔隙度并未发生明显变化的报道^[9],主要是由于植被恢复时间较短引起的。植被恢复对土壤物理性质的影响是一个长期的过程,需要长时间才能表现出来,本研究中植被恢复年限已经 30 a 左右,因此土壤容重和孔隙度降低明显。

植被恢复对土壤物理性质的影响与植被恢复模式也具有一定的关系,对草本、灌木和乔木的植被恢复土壤效应的研究结果很不一致,张奇佰等^[23]在金沙江干热河谷的研究表明对土壤物理性能的改良乔木林优于草本,对土壤化学特性和土壤入渗性能的改良草被优于乔木林;王国梁^[24]在安塞县纸坊沟流域的研究表明草本植被对 $0\sim 40\text{ cm}$ 土壤养分的提高作用大于乔木和灌木。常庆瑞等^[23]在黄土高原的研究结果表明乔木林地速效养分丰富,黏粒和 $>0.25\text{ mm}$ 团聚体的数量大;灌丛草地则酸性较强,坚实度偏低, $>0.05\text{ mm}$ 的微团粒含量较高,乔木林地防止土地退化的效益好于灌丛草地。大多数的研究表明,在我国黄土

高原地区,由于水分较少,在不同的恢复阶段,草本、灌木和乔木的土壤效应具有明显的差异,在植被恢复初期,草本植被的植被恢复土壤效应最高,而在中期则是灌木土壤效应高,乔木只有在后期对土壤的改良作用才能表现出来^[21],而在本文中,研究区植被恢复年限已达 30 a ,处于恢复的中期阶段,因此灌木的土壤容重和土壤孔隙度效应明显高于乔木林地和草地。

3.2 植被恢复对土壤颗粒组成的影响

陕北农牧交错带土地荒漠化的本质在于土壤受风沙作用影响,细粒物质逐渐减少,表层消失,或者被流沙取代,使土壤的物质组成、理化性质和生产性能发生变化^[25]。退化生态系统植被恢复对土壤颗粒组成的影响主要由两方面原因引起的,一方面是植被的建设,阻挡风及水流对地表的侵蚀,使地表细颗粒得以留存,另一方面是植被凋落物的分解,增加的腐殖质有利于土壤微团聚体和稳定性团聚体的形成,从而使石砾和粗砂粒减少,细沙粒、粉粒和黏粒增多^[19]。但大多数的研究^[19-21]表明,植被恢复对土壤颗粒组成的影响是一个缓慢的过程,在短时间内,土壤质地并不会发生明显变化,要引起较大变化至少需要上百年的时间。李裕元等^[12]在神木县的研究表明,经过近 30 a 的植被恢复,草地、柠条林地及农地之间土壤颗粒组成并没有明显的差异。本研究区植被恢复的时间也是 30 a ,土壤颗粒组成仍然以砂粒为主,粉粒和黏粒所占比例极低,土壤质地并没有发生显著的变化。虽然砂粒、粉粒和黏粒总量上植被恢复后变化不是特别显著,但在不同粒级上却有明显的变化,植被恢复与沙裸地相比较, $1\sim 0.25\text{ mm}$ 砂粒含量降低,其他粒级含量均提高,其中 $0.02\sim 0.05\text{ mm}$ 粒级的含量提高了 $3\sim 20$ 倍,柠条林地含量最高。在不同植被类型上土壤机械组成也有明显的差异,特别是在 $0.25\sim 0.05\text{ mm}$ 和 $0.05\sim 0.02\text{ mm}$ 粒级上,草本植被和灌木林地较乔木林地提高的幅度更大。在植被恢复对土壤改良效应研究中,很多研究结果^[26]表明柠条和其它植被相比较对土壤的改良作用最为明显,这是由于柠条林地作为豆科灌木类植物,不但根系活化土壤养分的能力较强,而且林间密闭度高,具有强大保持水土能力,减少了土壤物质的流失。

4 结论

植被重建是退化生态系统土壤质量改善的主要途径,通过对恢复 30 a 左右 10 种植被类型下土壤物理性质的分析,表明植被恢复可以明显改善荒漠化土地土壤物理性质,降低土壤容重,提高土壤总孔隙度,且使土壤颗粒向细化发展,这种改变是从表层开始,

并逐渐向下层发展,但速度非常缓慢。不同植被恢复模式对土壤的改良作用差异显著,在植被恢复的中期,灌木的土壤物理性质改良作用优于草本,优于乔木,其中柠条的改良作用最为明显。

[参 考 文 献]

- [1] 爱东,陈善科,庄光辉,等. 内蒙古高原荒漠化治理途径的探讨[J]. 草业科学,2005,22(1):15-17.
- [2] 乔峰,张克斌. 宁夏盐池县不同荒漠化治理措施生物多样性研究[J]. 水土保持研究,2006,13(2):55-57.
- [3] Wei Yuan, Yu Lifei, Zhang Jinchi, et al. Relationship between vegetation restoration and soil microbial characteristics in degraded karst regions: A case study [J]. *Pedosphere*, 2011, 21(1): 351-368.
- [4] 吴薇. 近 50 年来毛乌素沙地的荒漠化过程研究[J]. 中国沙漠,2011,21(2):164-169.
- [5] 胡兵辉,廖允成. 毛乌素沙地典型县域土壤沙漠化过程研究[J]. 人民黄河,2012,34(2):89-92.
- [6] 张玉兰,陈利军. 沙漠化逆转过程中土壤性状演变综述[J]. 生态学杂志,2010,29(7):1440-1450.
- [7] 吴彦,刘庆,乔永康,等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(6): 648-655.
- [8] Yang Yue, Eerdun Hasi, Sun Baoping. Effects of vegetation restoration in different types on soil nutrients in Southern Edge of Mu Us Sandy Land [J]. *Soil and Fertilizer*, 2012,13(8):1708-1712.
- [9] 段民福,廖超英. 毛乌素沙地樟子松人工林木土壤物理性质的时空变异规律[J]. 西北农业学报,2012,21(3): 188-192.
- [10] Jiao Feng, Wen Zhongming, An Shaoshan. Changes in soil properties across a chronosequence of vegetation restoration on the Loess Plateau of China [J]. *Catena*, 2011,86(2):110-116.
- [11] 王丽,梦丽,张金池,等. 不同植被恢复模式下矿区废弃地土壤水分物理性质的研究[J]. 中国水土保持,2010(3):54-57.
- [12] 李裕元,邵明安. 水蚀风蚀交错带植被恢复对土壤物理性质的影响[J]. 生态学报,2010,30(16):4306-4316.
- [13] 伍玉容,王洁. 黄土丘陵植被恢复区不同植被类型对土壤物理性质的影响[J]. 灌溉排水学报,2009,28(3):96-98.
- [14] 屈佳,常庆瑞,王耀宗. 农牧交错带土地荒漠化动态景观格局分析:以靖边县杨桥畔镇为例[J]. 西北林学院学报,2011,26(1):166-170.
- [15] 李玉山. 黄土高原综合治理开发与黄河断流的关系[J]. 水土保持通报,1998,18(6): 42-45.
- [16] An Shaoshan, Huang Yimei, Zheng Fenli, et al. Aggregate characteristics during natural revegetation on the Loess Plateau[J]. *Pedosphere*, 2008, 18(6): 809-816.
- [17] 王忠林,高国雄,李会科,等. 毛乌素沙地农田防护林结构配置研究[J]. 水土保持研究,1995,2(2):99-108.
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
- [19] 张学权,胡庭兴. 林(竹)草不同植被恢复模式下的土壤物理特性[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(4):623-627.
- [20] 李裕元,郑纪勇,邵明安,等. 黄土高原北部草地的恢复与重建对土壤碳密度的影响[J]. 生态学报,2007,27(6):2279-2287.
- [21] 常庆瑞,安韶山. 黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4): 40-44.
- [22] 丁文峰,丁登山. 黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征[J]. 地理研究,2002,21(6):700-706.
- [23] 陈奇伯,王克勤. 金沙江干热河谷不同类型植被改良土壤效应研究[J]. 水土保持学报,2003,17(2): 109-113.
- [24] 王国梁,刘国彬. 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.
- [25] 常庆瑞,安韶山,刘京,等. 陕北农牧交错带土地荒漠化本质特性研究[J]. 土壤学报,2003,40(4):518-523.
- [26] 张素霞,吕家珑. 黄土高原不同植被坡地土壤无机磷形态分布研究[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(1): 29-32.