

黄土丘陵区不同退耕模式对土壤物理性状影响研究

——以甘肃定西市为例

赵岩,杨越,孙保平,郭建英,周文渊

(北京林业大学水土保持学院水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,北京 100083)

摘要:甘肃定西全面实施退耕还林近10年来,取得了显著的成效。以退耕还林重点地区定西市安定区为例,通过采集、实地调查取样和实验室分析,对比研究了不同退耕植被类型地与对照地(农田和天然草地)的土壤物理性状的变化情况。包括土壤的含水量、容重、土壤孔隙度、土壤水稳性团聚体结构。研究表明:天然草地和柽柳的含水量最高,分别为13.44%和13.52%。农田和山杏的含水量最低为8.01%和8.2%。0~60 cm不同土层中柠条的容重最小且变化不大,农田的上下变化最大。在20~60 cm退耕还林地的孔隙度均高于天然草地和农田,天然草地和农田非毛管孔隙度小且上下变化大,不利于土壤入渗。刺槐、柠条、柽柳的水稳性团聚体的含量最多,分别是农田的3.4、2.8和2.4倍。退耕还林以后,林地的土壤物理性状得到明显的改善,与农田和天然草地相比,刺槐、柠条的改良效果最好。因此对退耕还林地区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:退耕还林;黄土丘陵区;土壤物理性质;定西市

中图分类号:S3

文献标识码:A

论文编号:2009-1003

Research of the Effect on the Physical Properties of Different "Conversion of Farmland to Forest" Practices

—Take Dingxi City of Gansu Province as An Example

Zhao Yan, Yang Yue, Sun Baoping, Guo Jianying, Zhou Wenyuan

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education,

School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: The full implementation of Gansu Dingxi forests the past 10 years, has achieved remarkable results. In this paper, key areas of returning farmland to forest stability Dingxi City area as an example, through the collection, field surveys, sampling and laboratory analysis, comparative study of different vegetation types with returning control to (agricultural land and natural grassland) of soil physical properties changes. Including soil water content, bulk density, soil porosity, soil water-stable aggregates structure. The results show that: the natural grassland and highest water content of Tamarix were 13.44% and 13.52%. Apricot of farmland and water content as low as 8.01% and 8.2% respectively. 0-60cm soil layer in different caragana little change in bulk density and the smallest, the largest changes in upper and lower fields. 20-60 cm in returning farmland to forests and the porosity is higher than the natural grassland and agricultural land, natural grassland and farmland non-capillary porosity changes in small and large up and down is not conducive to soil infiltration.

基金项目:国家“十一五”科技支撑项目“鄂尔多斯高原人工固沙与植被恢复技术与试验示范”(2006BAD26B0702);国家林业局专题研究项目“中国北方退耕还林工程建设生态功能评价”。

第一作者简介:赵岩,男,1985年出生,硕士。通信地址:100083 北京市海淀区北京林业大学水土保持学院水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, E-mail: zhaorock@163.com。

通讯作者:孙保平,男,1956年出生,教授,博士生导师,研究方向:荒漠化防治,工程绿化。 E-mail: sunbp@bjfu.edu.cn。

收稿日期:2009-05-12, **修回日期:**2009-05-28。

Robinia pseudoacacia, Caragana, Tamaricaceae of water-stable aggregates the content of most agricultural fields were 3.4, 2.8 and 2.4 times. After returning farmland to forest, woodland soil physical properties have been significantly improved and agricultural land and natural grassland as compared to black locust, improved Peashrub best. Therefore, returning farmland to forest areas during the recovery process of vegetation to the soil depth understanding of local environmental characteristics, so the light of local conditions, appropriate and suitable tree.

Key words: returning farmland to forest, Loess Hilly Region, physical properties of soil, Dingxi City

0 引言

黄土丘陵区是中国水土流失最严重、生态环境最为脆弱的地区之一。甘肃定西位于黄土丘陵沟壑区,在环境变化和人为活动的影响下,水土流失相当严重。尽管影响造成水土流失的原因很多,但造成水土流失的主要原因是该区长期不合理的土地利用及对植被的破坏。坡耕地是这一地区的最主要的不合理土地利用方式,也是造成水土流失的主要因素。退耕还林还草是修复土壤、控制水土流失、彻底改善生态环境的根本性措施,随着植被的建立和恢复,土壤得到修复,水土流失得到控制,生态环境得到改善,土地生产力得到提高。植被对土壤的改善作用,主要是由枯枝落叶层、根系和固氮作用等的影响造成。一般说来,随恢复时间的增长,地上和地下生物量也增加。生物量增加将使土壤有机物质输入增加,引起土壤物理和化学性质发生变化,而不同的植被类型在不同的地区对土壤的性状影响不同。因此,恢复的植被类型将直接影响土壤特性,通过对甘肃定西退耕还林地土壤物理性质的分析比较,可以说明该地区的土壤物理性质随植被恢复的变化规律。

土壤的物理性质作为土壤的环境不可或缺的一部分,对植被起着重要的作用,反过来不同的植被也直接影响着土壤的物理性质。退耕还林近10年来,许多研究者在退耕还林工程实施期间,做了大量的有关土壤理化性质的研究,许多研究者从不同的角度,来评价土壤的性质取得了有效成果,研究者在陕西安塞、延安、吴旗,青海大通等西北地区,做了不同的植被对土壤物理性状的作用、不同处理措施对土壤物理性状的影响、不同干扰对土壤物理性质的影响、不同治理模式下的土壤物理特性变化等方面进行了系统研究,张金铭,王小平等在定西对不同土地利用类型水土流失做过研究等,取得了许多卓越的成果^[1-5]。为以后的退耕还林提供了可靠的依据。而此文是在甘肃定西退耕还林土地植被类型划分的基础上,根据不同退耕植被类型,植物群落的生境演变过程及趋势,探讨未来黄土丘陵区退耕还林后植被恢复过程以及对土壤物理性质变化的影响,以其对定西市退耕还林工作的顺利实施提供技术

支持、决策依据和研究思路与方法。这对退耕还林工程实践具有较强的现实指导意义。

1 研究区概况与退耕还林现状

安定区位于甘肃省中部,定西市西北部,县城治地凤翔镇,为定西市政府所在地。地理位置为东经104°12'48"~105°01'06",北纬35°17'54"~36°02'40",属黄土丘陵沟壑区第五副区,海拔1900~2250 m。全市总面积20330 km²,水土流失面积16726.6 km²,占82.3%;年均径流模数81346 m³/(km²·年),土壤侵蚀模数5252.7 t/(km²·年),年均剥蚀土壤3.9 mm,流失氮、磷、钾养分190多万吨,是世界上水土流失最严重的地区之一。西南山区,地势较高,气候温凉湿润,属半湿润区,年均温7.8℃,年降水量400 mm以上,无霜期180天,干燥度1~1.5;北部丘陵区,气候干燥,降水稀少,为典型干旱区,年均温6.0℃,年降水量350 mm左右,无霜期141天,干燥度1.5~2.5;东部介于二者之间,属半干旱气候区。为典型的雨养农业区。土壤为典型的黄绵土,土质绵软,土层深厚,质地均匀,贮水性能良好;0~200 cm土壤容重平均为1.19 g/cm³,凋萎含水率7.8%,饱和含水率20.7%。植被属于中国温带草原地带的黄土高原中东部草原区,以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr)等为主;灌丛主要有柠条(*Caragana intermedia*)、山杏(*Prunus ansu* Kom)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等人工林灌丛以及封禁后形成的荆条(*Vitex*)、狼牙刺(*Sophora viciifolia*)等天然灌丛;草原主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、长芒针茅(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等形成的草原和干草原。土地利用类型主要有农地、灌木林地、乔木林地、人工草地和自然草地。

退耕还林全面实施以来,全市退耕还林9.12万hm²,荒山造林11.47万hm²,森林覆盖率提高到12.5%。安定区在实施退耕还林的过程中,积极落实“五个结合”,即把退耕还林与基本农田建设、农村能源建设、生态移民、后续产业发展、封山禁牧舍饲养殖等有机结合起来,使全区造林面积由1999年的57万亩增加到2006

年的10.18万hm²,2000年至2006年造林保存面积增加了6.38万hm²,森林覆盖率达到10.2%,结合退耕还林,对25度以下的坡地兴修梯田。全区梯田面积累计达到10.2万hm²,农村人均0.273hm²,并于2004年6月通过了省上梯田化区(县)建设达标验收。封山禁牧深入推进。该区从2005年7月1日开始,已全面实施封山禁牧,取得了显著的效果^[6]。

2 研究内容与方法

研究于2008年6~9月在甘肃定西采取综合性的

野外调查取样与室内分析(水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室)相结合、线路调查与标准地调查相结合、定性与定量分析相结合的研究方法,对耕地、人工林、天然草地、不同模式退耕林地的植被特征和改土效应分别进行研究,具体内容和方法见表1。样地的选择标准是具有代表性和典型意义。为了研究不同类型植被恢复对土壤性状的影响,选择同一坡面地形因子相似、地理位置相邻的持续利用的典型土地利用类型^[7-8]。

表1 测试内容与方法

类别	样地与处理	
样地	退耕还林标准地	生态林:刺槐、柠条、侧柏、沙棘、柽柳、 经济林:山杏、山桃
	对照地	天然草地、农田
试验指标与方法	含水量——水分仪测量	
	容重——环刀法	
	孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度——容重估算法和环刀法	
	水稳性团聚体——萨维诺夫湿筛法	

在与植物群落相对应的样地内,对其土壤物理性质进行测定,测定深度0~60cm,分为0~20cm、20~40cm、40~60cm 3个层次取混合土样,每个层次取3个重复。

采集混合样品的要求:

(1)每一点采取的土样厚度、深浅、宽狭应大体一致。

(2)各点都是随机决定的,在退耕地内观察了解情况后,随机定点可以避免主观误差,提高样品的代表性,一般按S形线路采样,如图1所示。

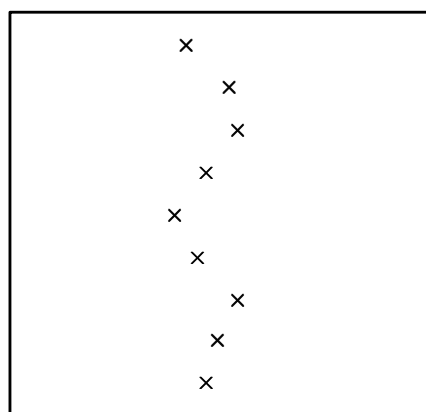


图1 土壤采样点的分布示意图

3 结果与分析

3.1 退耕还林对林地土壤水分的影响

水分是制约黄土高原地区植被恢复与重建的主要限制因子,它是“箍桶”效应中的短板,其沟壑区地形因素对降水起着再分配的决定作用,从而形成了土壤水

分状况不同的小生境,而这些小生境之间在土壤水分等方面的差异,可影响到造林种草的成效。因此研究退耕还林还草、植被恢复过程中地形对土壤水分的影响,可为该地区退耕还林还草工程实施“以水定林”提供科学依据^[9]。

从图2可以明显的看出,不同林地类型的土壤含水量之间存在明显的差异,由于植被类型不同,根系分布深度及密度具有很大的差异,且土壤的蒸发和植被的蒸腾不同,由此引起的土壤干燥化程度和土壤水分的分布也不同。在0~20cm的土层中土壤含水率最高的是天然草地和柽柳,其分别为13.69%和12.91%。明显要高于其他的植被类型,除山杏外,与农田相比,退耕林地的土壤含水量均高于农田。由于退耕还林地植被盖度较大,并且表层的腐殖质含量相对较高,因此其土壤含水量较高。在20~40cm的土层中,柽柳和天然草地的含水量要明显高于其他植被,与农田相比柽柳、刺槐、柠条、天然草地的含水量分别是农田的1.79、1.73、1.68、1.66倍。40~60cm的土层中,土壤含水量由大到小的顺序为:刺槐>柠条>沙棘>天然草地>柽柳>侧柏>山桃>农田>山杏。在20cm以下土壤中,主要是因为草本植物与林木相比具有较浅的根系和较小的地上部分,其蒸腾和耗水较小,而林木根系较深和强烈的树冠蒸腾耗水量较大所致。沙棘、柠条是耗水性相对较强的植物,在生长期耗水量大,导致林地的土壤含水率相对较低。总体来看刺槐、柽柳与其他

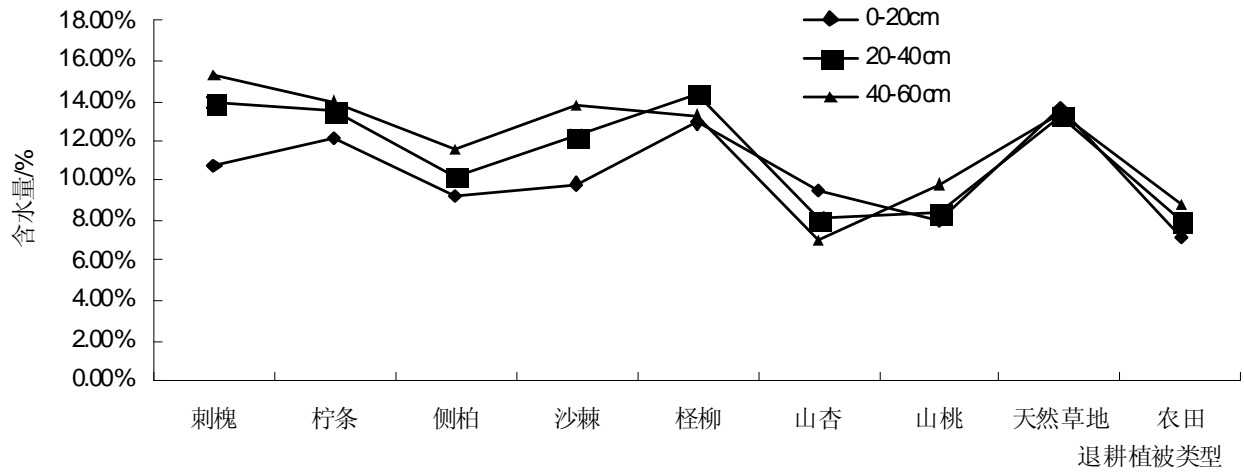


图2 不同退耕还林地不同土层内土壤含水量百分比的变化

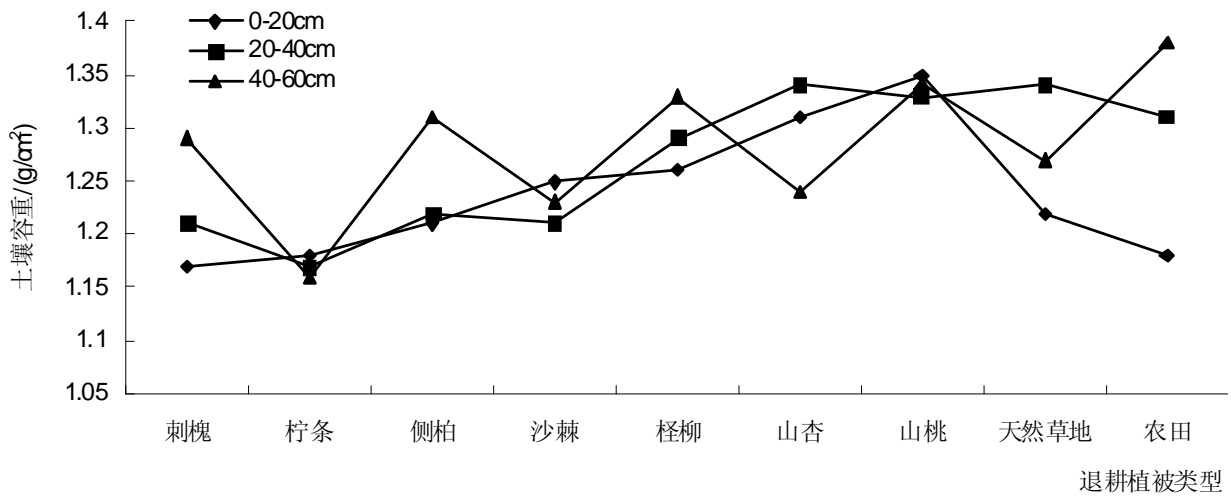


图3 不同土层不同植被容重变化

林种相比的含水率较高,除山杏外退耕林地均高于农田。山杏、山桃的含水率较低,可能与它们的林地林下植被较为匮乏,对降雨量的截留量较小,长期以来可在土壤表层形成土壤干层的缘故和此时正是它们的结果时期,或是其他原因所致,有待于进一步的观察研究。

3.2 退耕还林地对土壤容重的影响

退耕还林后,侵蚀破坏的土体剖面构型渐趋完整,A层开始发育。退耕地的土壤呈现出良好的结构,其土壤容重在1.25~1.35 g/cm³之间。由图3结果表明,柠条的容重最小平均为1.17 g/cm³,是农田1.29 g/cm³的90%。说明柠条的改良效果最好。其次是刺槐,其平均容重为1.22 g/cm³。除了沙棘、山杏和农田外,其他林地上层(0~20 cm)土壤容重明显低于下层(20~40 cm)、(40~60 cm)土壤容重,各标准样地中农田的上下层差异最大,其它标准样地上下层土壤容重差异相对较小。可能因为农田上层土壤由于受人为干扰,土层通透性能良好,非毛管孔隙度大,土壤容重较小,有利于

土壤的气体交换和渗透性的提高。下层为犁底层和心土层,犁底层由于经常受耕畜、耕作机械和犁的压力以及通过降水、灌溉使粘粒沉积,所以土层坚实,孔隙度小,主要为毛管孔隙;该区经过退耕还林还草,植被恢复后,不再对土层进行耕作,加之植被枯枝落叶及根系对土壤的影响,降低了耕作层和犁底层的明显分界,减小了土壤上、下容重的差异。沙棘20~60 cm土层的土壤容重明显低于表层,主要是沙棘的根系发达,向下延伸和扩展的范围大,加之根系的死亡分解,改善了土壤的物理性质,因此可以有效地降低土壤容重。而柠条的0~20 cm土层的土壤容重要高于20~60 cm土层,主要是由于柠条属于豆科,固氮的效果好,其根部的含氮量高,微生物活跃,土壤结构较好,所以物理性状较好。

3.3 退耕还林地对土壤孔隙度的影响

土壤孔隙按其当量直径大小可分为毛管孔隙与非毛管孔隙。前者反映土壤吸收和保持水分,用于维持植物生长发育的能力,决定着土壤保(肥)蓄(水)功能

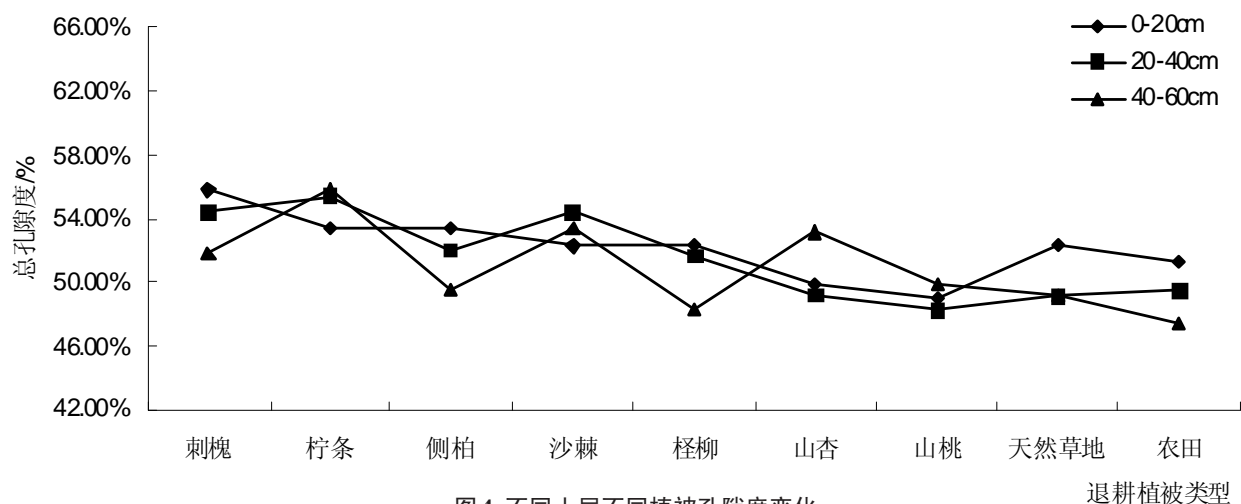


图4 不同土层不同植被孔隙度变化

的高低;后者表征土壤滞留和下渗水分,发挥水源涵养作用的能力,决定着土壤通(气)透(水)功能的强弱^[10-11],两者的数量及比例决定着土壤孔隙与水肥状况。由图4可看出,同一立地条件下的侧柏人工林、沙棘人工林、刺槐人工林、山杏人工林、柽柳人工林、山桃林、柠条林在不同的林种之间存在差异。从不同土地利用类型来看,0~20 cm表层土壤总孔隙度来看除山杏,山桃外,退耕还林人工林地>天然草地>农田。20~40 cm和40~60 cm土层退耕还林人工林地>天然草地>农田。刺槐、柠条、沙棘的平均孔隙度分别是54.1%,54.8%,53.3%,明显大于农田的49.2%。山杏和山桃的孔隙度含量与农田的平均含量相差不大,可能是作为经济林,人为干扰较多的缘故。足见退耕还林后,随着林龄的增长,地表的枯落物层开始增加,增加土壤有机质。同时由于不同植物群落类型根系的穿插作用,使土壤中形成了许多大的孔隙,特别是根系残体、分泌物等对土壤颗粒的胶结作用,促使形成了更多的大孔隙,使其造林8年后20 cm以下的土层土壤孔隙度均高于天然草地和农田,提高了土壤的入渗性能,增强了保育水土的能力。从非毛管孔隙度含量来看,退耕地的非毛管孔隙度和毛管孔隙的比例在1:4左右,毛管孔隙较多,有利于蓄水保肥。除山桃、山杏外,各种地类均为表层大于下层。农田和天然草地的非毛管孔隙度较小且上下层变化大,不利于下渗过程的持续进行,特别是高强度暴雨,将由于层间孔隙锐减剧烈,而形成超渗产流;而退耕地层间变幅较小,可以有效削减径流、蓄水保墒,反过来也促进了植被自身的正常生长发育。

3.4 退耕还林地对土壤微团聚体含量、机械组成的影响

土壤水稳性团聚体的含数量是土壤好坏的关键,决定着土壤抗冲蚀性的好坏。林地可以通过改良土壤

的团粒结构,增加土壤水分入渗,减少地表径流,增加土壤抵抗雨滴、径流的分散、悬浮、迁移的能力。所以说水稳性团聚体是土壤抗侵蚀性的重要指标。

从表2土壤机械组成分析看,不同的植被类型作用于不同的土层,所以对土壤水稳性团聚体的含量存在着差异。定西市退耕还林地的土壤主要以粗粉粒为主。无论何种退耕模式,退耕还林区的粘粒总体含量均高于农田和天然草地。在>0.25 mm的水稳性团聚体的0~20 cm土层中,刺槐、柠条和柽柳的含量是最多的。分别是农田的3.4、2.8和2.4倍。其含量相对高的原因可能是地表枯落物的较多,且分解较好,减小了雨滴的打击和增加了地表的有机质含量。20~40 cm土层中柠条的水稳性团聚体的含量最多,达到了39.15%。可能是由于柠条是豆科植物,其固氮菌较多,养分含量相对较高,团聚体的含量也相对较多。40~60 cm的土层中,各植被的含量相差不是很明显。在相同植被不同土层中,0~20 cm土层与20~60 cm土层的水稳性团聚体的含量有明显的差别,表层粘粒的含量要高于下层。20~60 cm的水稳性团聚体的变化不是很大。

可以看出研究区土壤水稳性团聚体的含数量均超过对照农田、天然草地。且各土层增加显著,表明退耕还林能迅速增加土壤团聚体的数量,改善土壤的结构性能,特别是刺槐、柠条、柽柳的作用更为明显,这是因为土壤有机质较多,加上植物根系的分裂挤压和土壤生物活动的结果。这主要是由于不同退耕模式有机质的数量、组成、性质,根系作用状况和分泌产物及其土壤酸度的不同所致。由表显示土壤结构体特征,与对照农耕地相比,退耕后的各样地表层、亚表层土壤的结构性能有所提高,团聚度、团聚状况、结构性颗粒指数大体呈上升趋势。虽然促进了土壤物理性质的改善,但是由于时间短和前期的工程措施破坏及早期的土壤

表2 不同样不同土层水稳性团聚体含量百分比

样地编号	退耕类型	土层厚度 /cm	不同样地水稳性团聚体含量百分比: 粒径/mm				
			>2	1~2	1~0.5	0.5~0.25	>0.25
806001	刺槐	0-20	10.72	11.22	18.73	10.97	51.64
		20-40	4.72	3.21	17.32	7.15	32.4
		40-60	3.9	4.29	8.15	11.89	28.23
806002	柠条	0-20	8.81	9.67	17.35	8.73	44.56
		20-40	6.93	7.98	17.42	6.82	39.15
		40-60	7.84	6.54	14.82	5.71	34.91
806003	侧柏	0-20	7.76	5.38	8.01	12.35	33.5
		20-40	5.81	2.66	12.76	7.98	29.21
		40-60	5.68	4.15	10.14	6.85	26.82
806004	沙棘	0-20	6.75	3.27	5.2	13.71	28.93
		20-40	4.67	3.17	10.09	11.53	29.46
		40-60	4.59	2.81	7.86	12.82	28.08
806005	怪柳	0-20	6.78	6.55	13.29	11.54	38.16
		20-40	3.82	4.48	12.61	7.72	28.63
		40-60	3.81	3.52	15.12	13.84	36.29
806006	山杏	0-20	4.71	3.23	6.13	8.84	22.91
		20-40	3.65	2.05	4.86	5.69	16.25
		40-60	2.67	2.04	5.41	7.67	17.79
806007	山桃	0-20	3.74	2.34	5.42	6.91	18.41
		20-40	2.72	2.21	8.12	5.98	19.03
		40-60	2.63	1.95	5.44	7.75	17.77
808008	天然草地	0-20	1.21	1.56	6.35	10.36	19.48
		20-40	1.72	1.28	2.91	5.9	11.81
		40-60	0.68	0.15	3.86	5.8	10.49
806009	农田	0-20	0.84	0.75	3.74	10.58	15.91
		20-40	0.78	0.76	1.62	8.23	11.39
		40-60	0.75	0.39	3.71	7.12	11.97

裸露受水蚀和风蚀的影响,且土壤的形成和演化是个漫长的物理化学过程,导致其粘粒、细粉粒的含量相对还是较低。但造林可以促进土壤环境的改善,并且随着时间的增加效果越明显^[12-13]。

4 结论与讨论

通过对甘肃省定西市安定区进行实地考察和不同样地土壤物理性质的测定和分析,作为黄土高原丘陵沟壑典型区,安定区实施退耕还林还草后土壤质量将在某种程度上得以恢复,不同类型植被土壤质量恢复还具有明显差异,并且随恢复时间土壤物理结构不断改善。

(1)天然草地表层的含水量在此地区是最大的,明显要高于其他的样地,其含量达到13.69%,其中农田的最小为7.14%,在20~60 cm中,与农田相比怪柳、刺

槐、柠条、天然草地的含水量都是农田的1.6倍以上。含水量的多少在干旱区直接影响着各种植被的生长状况,在含水量方面,退耕还林地的改良效果初见成效。

(2)坡耕地实施退耕还林后,侵蚀破坏的土体剖面构型渐趋完整,A层开始发育。土壤容重逐渐减小,其中以柠条林的改良效果最好,0~60 cm土层中,由上到下层容重的大小分别是农田的100%、89%和84%。农田的三层的土壤容重的平均值是1.29 g/cm³,且上下变化最大。从总体来看,退耕还林植被不同土层土壤容重变化,出现逐渐变大的趋势,但同种植物的变化不是很大。

(3)实施退耕还林以后,退耕地的孔隙度较农田和天然草地有所变化。孔隙度最大的是柠条林,其0~60 cm土层的孔隙度大小分别是53.47%,55.39%,

55.77%,但与其他植被相比相差不是很大。可能是柠条属于灌木,且根系较其他植被发达,其小根系通常要比茎干更容易形成气穴。各种样地孔隙度上下层变化不明显,天然草地和农田的上下层变化比较明显,尤其是非毛管孔隙度变化大,不利于土壤入渗,容易造成超渗产流,造成水土流失。各林地的孔隙度变化不大的原因可能是造林时间短,其林地的改良孔隙度的作用还没有充分的显现。

(4)以粗粉沙为主的黄土丘陵地区,水稳性团聚体的含量普遍较低,其可能是退耕年限时间较短的缘故。在 $>0.25\text{ mm}$ 的水稳性团聚体最多的林地是刺槐林地,其 $0\sim 60\text{ cm}$ 土层的含量分别是51.64%,32.4%,28.23%。其次是柠条,这两种都是豆科植物,其根瘤菌的固氮作用,微生物丰富,使林地的养分较多,易形成微团粒体,有利于植被的生长和提高土壤的抗冲、抗蚀性。不同土层的团聚体含量有所差别,表层的含量普遍大于下层。

综上所述,近十年来,退耕还林工程的实施,极大地促进了土壤质量的改善,特别是水土流失严重的黄土丘陵沟壑区定西市。不同的退耕还林植被不同程度影响着土壤的性质。做好退耕还林工作,就要保护好现有的植被,建设人工林植被,以生态林为主,兼顾经济林,保护好林下的枯落物,减少人为干扰。充分了解当地的土壤环境情况,因地制宜,适地适树。

参考文献

- [1] 彭文英,张科利,陈瑶,等.黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J].自然资源学报,2005,20(2):272-278.
- [2] 曹世雄,段岁芳,陈莉,等.黄土丘陵区软埂梯田埂坡种草与土壤性状研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(6):133-136.
- [3] 马琨,何宪平,马斌,等.宁南黄土高原不同土地利用模式对土壤的影响研究[J].生态环境,2006,15(6):1231-1236.
- [4] 杨光,丁国栋,常国梁,等.黄土高原不同退耕还林地森林植被改良土壤特性研究[J].水土保持研究,2006,13(3):204-210.
- [5] 孙利军,张仁陟,黄高宝.保护性耕作对黄土高原旱地地表土壤理化性状的影响[J].干旱区农业,2007,25(6):207-211.
- [6] 杨冰.定西市退耕还林(草)工程建设回顾与展望[J].甘肃林业科技,2008,33(3):55-59.
- [7] 马祥华,焦菊英,温仲明,等.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[J].水土保持研究,2005,12(1):17-21.
- [8] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J].应用生态学报,2004,15(12):2292-2296.
- [9] 张治国,张云龙,刘徐师.林业生态工程学[M].北京:中国林业出版社,1999:63-65.
- [10] 于志民,余新晓.水源涵养林效益研究[M].北京:中国林业出版社,1999:45-55.
- [11] 郭静,姚孝友,刘霞,等.不同生态修复措施下鲁中山区土壤的水文特征[J].浙江林学院学报,2008,25(3):342-349.
- [12] 苏静,赵世伟.植被恢复对土壤团聚体分布及有机碳、全氮含量的影响[J].水土保持研究,2005,12(3):44-46.
- [13] 张金铭,王小平.定西黄土丘陵沟壑区不同土地利用类型水土流失研究[J].中国水土保持,2008,(8):31-38.