

# 黄土丘陵区不同土壤地类人工林 土壤物理性状的监测分析

曹世雄<sup>1</sup>, 李德<sup>2</sup>, 陈莉<sup>3</sup>, 张惠茹<sup>3</sup>, 高旺盛<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 农学院区域农业发展研究中心, 北京 100094;

2. 延长县气象局, 陕西 延长 717100; 3. 延安市水土保持研究所, 陕西 延安 716000)

**摘要:** 在我国黄土高原丘陵沟壑区, 分布着黄绵土、红胶泥土以及土壤与岩石过渡类型——风化岩沫土等土壤类型。研究结果表明, 各类树种和配置对以上土壤物理性状均有改良作用, 以浅根性沙棘、刺槐和树根穿透力强的侧柏、杨树及其混交配置表现最好, 乔灌混交在加速成林的同时能有效减少土壤耗水量。同时发现, 造林使风化岩沫土土壤地类孔隙度和 0—80 cm 土层含水量增加, 反映了这类土壤植树造林的潜力较大, 这在我国水土流失不断加剧的今天是非常有意义的发现。

**关键词:** 劣质土壤; 人工造林; 黄绵土; 红胶泥; 风化岩沫土

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2005)03—0061—04

中图分类号: S714.2

## Observation and Analysis on Physical Properties in Different Types of Soil Under Artificial Forests in Loess Hilly-gully Region

CAO Shi-xiong<sup>1</sup>, LI De<sup>2</sup>, CHEN Li<sup>3</sup>, ZHANG Hui-ru<sup>3</sup>, GAO Wang-sheng<sup>1</sup>

(1. Regional Agriculture R and D Centre, College of Agronomy and Biotechnology, China Agriculture

University, Beijing 100094, China; 2. Weather Bureau of Yanchang County, Yanchang County 7171003,

Shaanxi Province, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Yan'an City 716003, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** In loess hilly-gully region, there existing many types of soil, such as loessal soil, red clay, mantle rock soil, and so on. Based on observation and testing after planting different kinds of trees in loessal soil, red clay and mantle rock soil, the results showed that planting different trees can improve the physical properties of soil. Especially, planting *Ippophae rhamnoides*, locust, oriental arborvitae, poplar and mixed planted with these four trees are better than other trees. Mixed planting can accelerate the tree growing, as well as decrease soil water use effectively. And the soil porosity in mantle rock soil and the soil water content between 0—80 cm had increased, this showed that planted trees in mantle rock soil had certain potential, which is very significant for holding back the trend of soil and water loss in loess hilly-gully region.

**Keywords:** poor soil; artificial forests; loessal soil; red clay; mantle rock soil

19 世纪末, 由于人工纯林树种配置和利用的单一性, 导致病虫害加剧, 系统退化和生产力下降, 给林业发展造成一系列负面影响。1880 年, 德国林学家 Gayer 提出了“接近自然林”(Near-natural Forestry) 林业经营理论, 认为人类要尽可能地按照自然规律来从事林业活动。进入 20 世纪 70 年代以后, 由于生态环境恶化和人工林的进一步退化引发的一系列生态、经济和社会问题, 生物多样性的的重要性受到高度重视, “近自然林”的思想在欧洲, 特别是在中欧受到广泛关注, 其技术和理论得到进一步完善。1984 年 10 月在

美国麦迪逊举行了恢复生态学学术研讨会, 1985 年美国学者 Ater 和 Jerden 出版了《恢复生态学》, 近自然修复成为生态学研究的热点<sup>[1-2]</sup>。

随着我国生态环境建设事业的不断发展, 广大科学家和科技工作者在人工造林方面做了很多探索, 如立地条件、气候、土地类型对人工造林的影响等等, 在土地类型方面的着眼点主要放在了前期利用方面——如把土地类型划分为荒地、退耕地等被称作宜林土地, 关于劣质土壤地类自身特点及人工造林对其影响方面的研究尚未引起人们的足够重视。在广大黄

收稿日期: 2004-10-15

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000018606); 延河流域世行贷款项目(3222CHA)

作者简介: 曹世雄(1965—), 男(汉族), 陕西延川人, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为水土保持等。电话: (010) 62731163, E-mail: shixiong-cao@163.com。

土高原丘陵沟壑区,从表层向深层依次分布着黄绵土土层、红胶泥土层以及土壤与岩石过渡类型——风化岩沫土土层(土壤流失后岩石分化形成的最初土壤类型,也称石漠化土壤),由于水土流失的长期切割作用,以上 3 种土壤依次裸露了出来,从而形成 3 种不同的土壤地类<sup>[1-6]</sup>。

从 1996 年起,我们在延安市下砭沟流域开展了劣质土壤造林实验,该项研究的着眼点主要放在了土壤特征与树木生长之间的关系方面,研究这一地区人工造林对各类土壤的影响。

## 1 项目概况

### 1.1 试验区自然概况

试验区位于中国黄土高原陕西省延安市下砭沟小流域,东经 109°26′15″,北纬 36°32′30″,流域内植被破坏严重,地形破碎,属黄土丘陵区,海拔高度 993.7~1 191.2 m。

下砭沟试验区面积 1.21 km<sup>2</sup>,土壤类型从沟底至山顶依次为风化岩沫土、红胶泥土和黄绵土土壤,它们分别占整个试验区面积的 5.3%, 9.2%, 85.5%,以上 3 种土层厚度分别为 0.2~0.5, 0.5~2.5 和 20~150 m,土壤侵蚀强烈,年侵蚀模数 15 000 t/km<sup>2</sup>。年平均气温 9.4℃,年平均降水 547.4 mm,多年汛期平均降水 413.6 mm,1997—2001 年汛期降水 364.0 mm,其中 71.2% 集中于 6—9 月份,年无霜期 147 d。

### 1.2 试验材料与方法

1.2.1 树种与土壤类型 试验选用杨树(*Populus davidiana* Dode.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)、柏树(*Biota pseudoacacia* L.)、柠条(*Caragana Korshinskii* Kom.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、元宝枫(*Acer truncatum* Bge.) 6 个树种,配置方式为单一型(纯种林)和混交林,混交配置共 3 种,分别为沙棘与杨树混交、沙棘与柏树混交、刺槐与柠条混交。每 1 种配置方式布设在不同的 3 种土壤地类:黄绵土地类;红胶泥地类;风化岩沫土地类。

1.2.2 试验设计 共设 2 个试验区,背坡、阳坡各一个,每一试验区由 3 个土壤类型小区组成,每一个土壤类型小区上有 9 种配置模式,每种模式面积不小于 5 m×20 m(根据地形条件确定)。各种土壤地类统一按宽 1.5 m,边坎 30 cm×30 cm 水平沟整地,栽植方式为穴植。单一型(纯林)密度统一为行距 2 m,株距 1 m。混交配置乔木行距 4 m,株距 2 m,每 2 株乔木间栽一株灌木。栽植时间统一为 1997 年春天。除土壤类型不同外其它条件力求一致。

1.2.3 观测指标与方法 每年汛期(4—10 月)每月 10, 20, 30 日对各样区和坡耕地土壤含水量进行定期测定,随机选点取土,深度为 20, 40, 60, 80 cm,每个小区每次选 3 个取土点取平均值,每年 4 月 10 日和 10 月 10 日 2 次对各区和坡耕地土壤孔隙度进行定期测定,工具为环刀,取土深度为 20 cm,每个小区每次选 3 个取土点。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 风化岩沫土土壤地类不同林种配置土壤水分和物理性状监测分析

研究测量结果表明,风化岩沫土土壤地类混交林对土壤物理性状的改良作用最明显,5 a 内使土壤孔隙度增加了 12.32%,其次是乔木林和灌木林,分别增加了 10.19%和 9.43%。混交林中沙棘与杨树混交林的改土作用最明显,5 a 内土壤孔隙度增加了 13.2%,沙棘与柏树混交,刺槐与柠条混交分别增加了 12.07%和 11.69%。乔木林中刺槐改土作用最明显,5 a 内使土壤孔隙度增加了 11.32%,其次为柏树、杨树和元宝枫,分别增加了 10.94%, 9.43% 和 9.05%。灌木林中沙棘改土作用较柠条强,5 a 内土壤孔隙度增加了 12.07%,柠条增加了 6.79%。

从土壤含水量来看,混交林含水量最高,5 a 平均为 12.30%,高出对照 35.02%,其次为灌木林 11.08%和乔木林 10.73%,分别比对照高 21.62%和 21.19%。混交林中,沙棘与柏树混交含水量最高,5 a 平均为 12.60%,其次为沙棘与杨树混交 12.45%和刺槐与柠条混交 11.85%,分别比对照高 38.31%, 36.66%和 30.08%。在乔木林中,刺槐林含水量最高,5 a 平均含水量为 12.52%,其次为柏树林 10.74%、杨树林 10.06%和元宝枫林 9.60%,分别比对照高 37.45%, 17.89%, 10.43%和 5.38%。灌木林中沙棘表现好于柠条,分别为 12.54%和 10.06%,比对照高 37.65%和 10.43%(见表 1)。风化岩沫土土壤地类造林后土壤水分不仅没有减少反而增加,其中具有旺盛生命力的沙棘、刺槐、柏树以及它们的混交林对风化岩沫土的改良作用更为突出,表层土壤水分含量也显著提高,标志着这类土壤在人工造林方面的巨大潜力。

### 2.2 红胶泥土土壤不同林种配置土壤水分和物理性状监测分析

观测研究结果表明,红胶泥土土壤地类混交林对土壤物理性状的改良作用更明显,5 a 内土壤孔隙度增加了 11.57%,其次是灌木林和乔木林,分别增加了 9.06%和 8.49%。混交林中沙棘与杨树混交表现较

好, 5 a 内土壤孔隙度增加了 12.07%, 其次是沙棘与柏树混交和刺槐与柠条混交, 分别增加了 11.69% 和 10.94%。灌木林中沙棘改良效果比柠条明显, 孔隙

度分别增加了 10.94% 和 7.17%。乔木林对土壤改良作用依次为刺槐、杨树、柏树和元宝枫, 5 a 内孔隙度分别增加了 10.18%, 9.05%, 7.92% 和 6.79%。

表 1 不同土壤地类布设前后土壤物理性状监测分析

树种配置	土壤类型	项目	风化石沫土土壤					红胶泥土壤					黄绵土土壤							
			布设前	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	布设前	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	布设前	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年
乔木林	含水量/ 容重/(g cm <sup>-3</sup> ) 孔隙度/%	含水量/%	10.86	10.88	13.12	10.13	9.76	9.78	17.22	10.80	14.43	9.59	9.78	9.65	16.20	10.45	14.39	8.85	8.53	8.13
		容重/(g cm <sup>-3</sup> )	1.54	1.49	1.47	1.44	1.33	1.27	1.46	1.42	1.35	1.34	1.29	1.24	1.27	1.25	1.19	1.19	1.17	1.14
		孔隙度/%	41.89	43.87	44.72	45.85	49.93	52.08	44.91	46.42	48.96	49.62	51.42	53.40	52.08	52.92	55.00	54.99	56.04	56.89
灌木林	含水量/ 容重/(g cm <sup>-3</sup> ) 孔隙度/%	含水量/%	10.86	11.34	13.73	10.40	10.12	9.83	17.22	10.83	14.51	9.64	9.84	9.68	16.20	9.73	13.98	8.57	8.11	7.66
		容重/(g cm <sup>-3</sup> )	1.54	1.50	1.46	1.45	1.36	1.29	1.46	1.39	1.37	1.34	1.27	1.22	1.27	1.24	1.17	1.13	1.13	1.12
		孔隙度/%	41.89	43.40	44.91	45.48	48.87	51.32	44.91	47.55	48.49	49.62	52.27	53.97	52.08	53.40	56.04	57.55	57.55	57.93
混交林	含水量/ 容重/(g cm <sup>-3</sup> ) 孔隙度/%	含水量/%	10.86	12.50	15.38	11.68	11.22	10.71	17.22	10.78	14.47	9.62	9.98	9.66	16.20	10.16	14.12	8.56	8.39	8.02
		容重/(g cm <sup>-3</sup> )	1.54	1.47	1.47	1.43	1.53	1.21	1.46	1.40	1.34	1.35	1.22	1.15	1.27	1.25	1.19	1.19	1.14	1.11
		孔隙度/%	41.89	44.53	44.40	46.16	49.69	54.21	44.91	47.17	49.31	49.06	53.83	56.48	52.08	52.96	54.97	54.97	56.86	58.24
平均	含水量/ 容重/(g cm <sup>-3</sup> ) 孔隙度/%	含水量/%	10.86	11.57	14.08	10.84	10.37	10.11	17.22	10.80	14.47	9.62	9.87	9.66	16.20	10.11	14.16	8.66	8.34	7.94
		容重/(g cm <sup>-3</sup> )	1.54	1.49	1.47	1.44	1.41	1.26	1.46	1.40	1.35	1.34	1.26	1.20	1.27	1.25	1.18	1.17	1.15	1.12
		孔隙度/%	41.89	43.93	44.68	45.83	49.50	52.54	44.91	47.05	48.92	49.43	52.51	54.62	52.08	53.09	55.34	55.84	56.82	57.69
坡耕地	含水量/ 容重/(g cm <sup>-3</sup> ) 孔隙度/%	含水量/%	10.86	9.48	11.51	8.77	8.32	8.07	17.22	11.81	15.83	10.50	10.93	10.63	16.20	11.82	16.06	10.07	9.52	9.23
		容重/(g cm <sup>-3</sup> )	1.54	1.54	1.53	1.54	1.53	1.53	1.46	1.46	1.45	1.46	1.45	1.44	1.27	1.27	1.26	1.27	1.26	1.26
		孔隙度/%	41.89	41.89	42.26	41.89	42.26	42.26	44.91	44.91	45.28	44.91	45.28	45.66	52.08	52.08	52.45	52.08	52.45	52.45

从土壤含水量角度来看, 树木消耗了更多的水分, 尽管工程和生物措施能有效拦蓄降水, 但其土壤含水量还是低于相同土壤的坡耕地, 混交林、灌木林和乔木林 5 a 平均土壤水分含量分别为 10.90%, 10.90% 和 10.85%, 分别比坡耕地减少 8.71%, 8.71% 和 9.13%, 乔、灌及混交配置之间没有明显差异。混交林中沙棘与杨树混交土壤含水量最低, 为 10.55%, 沙棘与柏树混交和刺槐与柠条混交, 分别为 10.68% 和 11.47%, 比坡耕地少 11.64%, 10.55% 和 3.94%。灌木林中沙棘土壤含水量相对较低, 为 10.59%, 柠条林为 11.21%, 分别比相同土壤坡耕地少 11.31% 和 6.11%。乔木林中杨树林含水量最低, 5 a 平均为 10.46%, 其次为刺槐 10.49%, 柏树 11.15%, 元宝枫 11.21%, 分别比相同土壤坡耕地少 12.40%, 12.14%, 6.62% 和 6.11% (见表 1)。树木生长速度越快, 表层土壤水分亏损越严重。

### 2.3 黄绵土土壤不同林种配置土壤水分和物理性状监测分析

研究观测结果表明, 黄绵土地类混交林对土壤物理性状改良作用最明显, 5 a 内土壤孔隙度增加了 6.16%, 其次是灌木林和乔木林, 分别增加了 5.85% 和 4.81%。混交林中沙棘与杨树混交改土作用最显

著, 其次为刺槐与柠条混交和沙棘与柏树混交, 5 a 内土壤孔隙度分别增加了 7.17%, 6.03% 和 5.28%。在黄绵土地类, 柠条改土作用比沙棘略好, 5 a 内土壤孔隙度分别增加了 6.03% 和 5.66%。乔木林中杨树改土作用略好于刺槐, 其次为元宝枫和侧柏, 5 a 内土壤孔隙度分别增加了 6.79%, 6.03%, 3.77% 和 2.64% (见表 1), 杨树略好于刺槐是因为杨树在塌地上生长优于刺槐的原因。

从土壤含水量来看, 黄绵土造林后土壤含水量也明显低于相同土壤的坡耕地, 混交林、乔木、灌木 0—80 cm 土层含水量分别为 9.85%, 10.07% 和 9.63%, 5 a 平均分别比坡耕地减少 13.14%, 11.20% 和 15.08%。混交林中沙棘与杨树混交土壤含水量最低为 8.63%, 沙棘与柏树混交和刺槐与柠条混交略高, 为 10.03% 和 10.89%, 分别比坡耕地减少 23.90%, 11.55% 和 3.97%。灌木林中沙棘土壤含水量较低, 为 8.56%, 柠条林为 10.65%, 分别比坡耕地减少 24.51% 的 6.08%。乔木林中杨树林含水量最低为 8.54%, 其次为刺槐 9.56%, 元宝枫 11.06% 和柏树 11.11%, 分别比对照减少 24.69%, 15.90%, 2.47% 和 2.03%。林木生长量与土壤水分含量呈明显负相关关系。

### 3 结 论

植树造林对土壤有明显的改良作用, 研究结果表明, 无论什么树种, 也无无论在什么样的土壤地类, 造林后土壤孔隙度呈逐年增大趋势, 容重呈逐年缩小趋势(见表 1), 其中 5 a 内红胶泥土壤地类土壤孔隙度增加了 16.92%, 风化岩沫土土壤增加了 11.32%、黄绵土土壤增加了 9.02%; 从含水量角度来看, 树木耗水量大于作物, 林地土壤中含水量低于相同土壤的坡耕地, 5 a 平均黄绵土地类减少了 3.4%, 红胶泥地类减少了 2.28%。相反, 风化岩沫土土壤地类含水量增加了 2.17%, 这可能是人工植树造林时对土壤扰动和树木对土壤的改良作用, 一方面大大提高了土壤的持水能力, 另一方面树木根系深入岩石缝隙, 促进了地下水的供给(或叫提吸作用)。造林使风化岩沫土土壤孔隙度和 0—80 cm 土层含水量增加, 反映了这类土壤植树造林的潜力较大, 这在我国基本建设大发展和水土流失不断加剧的今天是非常有意义的发现。土壤水分含量受降水、地下水位高度、地表蒸发等多种因素的影响, 研究结果表明, 风化岩沫土土壤分布在沟谷的最底部, 地下水位最高, 因此 0—80 cm 表层土壤含水量随降雨量变化的变化幅度最小, 5 a 内林地土壤水分变化幅度为 3.97%, 对应坡耕地变化幅度为 3.42%; 而红胶泥土壤变化幅度分别为 7.60% 和 6.72%; 黄绵土变化幅度最高, 分别为 7.86% 和 6.97%。风化岩沫土土壤地类较为稳定的含水量为造林树种的选择提供了更大可能。

从林种类型来看, 各类树种和配置对土壤物理性状均有改良作用, 以浅根性沙棘、刺槐和树根穿透力强的侧柏、杨树及其混交配置表现最好, 乔灌混交在加速成林的同时能有效减少土壤耗水量。随着我国基本建设的进一步发展和水土流失长期性的基本国情, 风化岩沫土和红胶泥土壤地类的面积呈快速增加趋势, 这两类土壤位于黄绵土的底部和沟谷两岸, 是发生沟蚀和泥石流最严重的土壤类型, 这两类土壤地

类的治理具有成效快和效益高特点, 填补了一些学者认为这 2 种土壤地类不宜造林的空白, 建议进一步加强对这 2 类土壤水土保持工作的研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] Mosdnal R. Waldbau zwischen Okonomie und Okologie. Rundgesprache der Kommission fur Okologie. Forstwirtschaft im Konfliktfeld Okologie—Okonomie, 2000. Bd. 12.
- [2] Peng H. Robinien—und Kiefernauaufforstungen auf demchinesischen Weiwei Loessplateau [M]. Shaker Verlag, Aachen, 2001.
- [3] 王楚人, 陈红跃, 许炼烽, 等. 混交林的改土效益及其在防止地力衰退上的应用[J]. 土壤与环境, 1999, 8(1): 58—60.
- [4] 闫殿利, 蔡培印. 在劣质土壤下造林[J]. 林业月报, 1999(1): 15.
- [5] 赵忠, 李鹏. 渭北主要造林树种根系抗旱性研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 92—94, 108.
- [6] 李晶. 扁柏林混交阔叶树对林地土壤化学性质的影响[J]. 林业科技, 1998, 23(6): 58—59.
- [7] 张方春, 巩树山. 干旱瘠薄土壤引种沙棘造林试验[J]. 林业科技, 1999, 24(3): 14—14.
- [8] 王楚荣, 陈红跃. 混交林的改土效益及其在防止地力衰退上的应用[J]. 土壤与环境, 1999, 8(1): 58—60.
- [9] 沈国航, 贾黎明. 沙地杨树刺槐人工混交林的改良土壤功能及养分互补关系[J]. 林业科学, 1998, 34(5): 12—20.
- [10] 潘洪泽, 聂媛. 混交林土壤养分效益的初步分析[J]. 辽宁林业科技, 1997(6): 57—60.
- [11] 刘艾琴, 罗雪妹. 马尾松林下不同混交模式对土壤肥力的影响[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(3): 250—255.
- [12] 彭鸿. 陕北黄土高原森林植被的性质和当前森林培育的策略[J]. 水土保持通报, 2002, 22(6): 2—6.
- [13] 曹世雄. 山地农业[M]. 中国农业科技出版社, 2002, 5.
- [14] 曹世雄. 论山区持续发展的农业技术——山地农业复式生态技术[J]. 生态经济, 1995(4): 39—42.
- [15] 陈莉. 试论水土资源整治技术[J]. 人民黄河, 2002, 24(3): 18—20.