

黄土丘陵区不同树种对土壤适宜性的监测研究

曹世雄¹, 陈 莉², 陈源泉¹, 秦红灵¹

(1. 中国农业大学农业与生物技术学院区域农业发展研究中心, 北京 100094; 2. 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, 由于不同土壤理化性状的巨大差异性, 因此对树种的适应性产生较大影响。研究结果表明, 红胶泥和风化岩沫土土壤地类主要位于沟谷两岸, 地下水供给较为充裕, 是浅根性树木生长发育的良好土壤类型; 而黄绵土土层深厚, 更适宜直根性树木生长发育。

关键词: 适土适树; 因土制宜; 黄绵土; 红胶泥; 风化岩沫土

中图分类号: S 725. 1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 02-0008-04

Research on Supervision to Soil Adjustability by
Different Type of Tree in Loess Hilly-gully Region

CAO Shi-xiong¹, CHEN Li², CHEN Yuan-quan¹, QIN Hong-ling¹
(1. Regional Agriculture R&D Centre, College of Agronomy and Biotechnology,
China Agriculture University, Beijing 100094, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Yan'an 716000, Shaanxi, China)

Abstract: In loess hilly-gully region, there distribute many types of soil, such as loess soil, red clay, mantle rock soil-intergradations between soil and rock, and so on. The different soil physical and chemical characteristics of types of soil affect the sapling adjustability. The research indicates that red clay and mantle rock soil, which distribute both sides of gully and with rich groundwater, are better for shallow-root tree to grow. By contraries, loess soil possessing of deep soil layer, suits for tap-root tree.

Key words: selected tree species suit for soil; adjusting measures to soil; loess soil; red clay; mantle rock soil

1 国内外研究概况

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-nature 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^[1, 2]。

半个世纪以来, 特别是上个世纪 80 年代以后, 在中国各地都开展了大规模造林种草活动, 取得了巨大成就。在中国

的广大黄土高原区, 由于不同土壤的立地条件、土壤水肥状况和物理状态相差悬殊, 因此对植被的生长和分布产生了较大影响^[3]。特别是在黄土丘陵地区, 常常在较小的范围内或一条小流域内分布着不同的土壤类型, 不同的土壤类型差异较大, 对各类树木的生长产生较大的影响, 这是造成单一林种(纯种林、混交林均如此)在同一条流域栽植时出现空斑和治理不完善的主要原因之一^[4, 5]。在这一地区, 从表层向内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(岩石分化后形成的最初土壤类型)。由于长期水土流失的切割作用, 土层依次流失, 使底层土壤逐渐被暴露了出来, 从而形成了从山顶到沟底依次为黄绵土土壤、红胶泥土壤和风化岩沫土土壤三大土壤地类^[6], 据我们调查, 以上 3 类土壤分别占该区域土壤面积的 77.5%、5.6% 和 9.0%。由于不同土壤的立地条件、土壤水肥状况和物理状态相差悬殊, 因此对植被的生长和分布产生了较大影响。尽管红胶泥土壤和风化岩沫土土壤地类所占比例小, 但

¹ 收稿日期: 2004-02-10
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000018606); “十五”国家科技攻关课题“区域农业协调持续发展战略研究”项目; 延河流域世行贷款项目
作者简介: 曹世雄(1965-), 男, 在读博士生, 高级工程师, 发表学术论文 30 余篇, 出版《山地农业》专著一部。

其主要位于沟谷的底部, 是沟蚀和重力侵蚀的活跃地带, 也是泥石流的发源地。这类土壤侵蚀的科学防治, 对防止沟谷下切和山体滑塌危害具有特别重要的意义, 被称为“固基保厦”作用。刺槐、杨树、柠条、沙棘、紫穗槐、柏树、松树等树种是黄土高原地区人工造林常用树种^[7~9], 这类树种造林占人工造林面积的 95% 以上。余清珠、王进鑫等人(1993 年)采用正交试验, 对半干旱黄土丘陵沟壑区集流抗旱造林技术优化模式进行了研究, 得出了影响造林质量的几个因素的优先次序以及一个优化模式, 即造林树种为刺槐, 栽植覆盖材料为农膜, 单株集流面积为 2.5 m², 造林整地工程为反坡梯田, 造林效果最好^[10]。王正秋、郭玉奇(1992 年)对柠条直播与植苗造林效果进行了研究说明植苗造林在平均成活率、保存率以及生长状况上均比直播造林要好^[11]。王光陆等(1994 年)在陕西南郑县对具有较高经济价值的刺梨也进行了栽培试验研究^[12]。根据近期梁一民(1997 年)论述, 要在黄土高原建造类型多样且较稳定的植被, 必须在不同植被带建设相应的复层混交植被结构模式, 并根据一些植物, 如河北杨, 小叶杨, 白榆, 杜梨等乡土树种和刺槐在植被较稀疏的情况下反可以较好生长成材, 提出过去草灌先行的提法欠妥, 此类问题尚需进一步展开系统试验研究^[13]。

鉴于此, 我们从 1996 年起就在延安市宝塔区枣园镇下砭沟小流域选择不同类型土壤和黄土高原丘陵沟壑区主要造林树种——杨树、沙棘、柏树、柠条、刺槐、元宝枫等, 就树木对土壤的适应性进行了研究。

2 项目概况

2.1 试验区自然概况

试验区位于黄土高原陕西省延安市下砭沟小流域, 地处延安市北郊 1.2 km, 设点前流域内植被破坏严重, 两沟两梁地形破碎, 属黄土丘陵区第二副区, 海拔高度 993.7~1 191.2 m。试验区面积 1.21 km², 土壤从沟底至山坡依次为风化岩沫土土壤地类、红胶泥土壤地类、黄绵土土壤地类, 分别占整个试验区的 5.3%、9.2%、85.5%, 以上 3 种土层厚度分别为 0.2~0.5 m、0.5~2.5 m 和 20~150 m, 土壤侵蚀强烈, 年侵蚀模数 15 000 t/km²。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, 1997~2000 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, 干旱霜冻危害较为频繁。试验区地势由低到高, 形成了自然土层立体差异, 具有黄土高原丘陵沟壑区典型地貌特征和典型土壤类型, 在研究不同土壤人工造林树种适应性方面具有较强代表性。1996 年起, 课题组受到世界银行延河项目资助, 开展了“黄土丘陵区劣质土壤地类造林技术”的持续研究。

2.2 主要研究内容

(1) 研究不同土壤地类最佳造林树种及其配置模式, 结合过去造林实践和研究成果, 把适地适树造林技术深化和细化, 做到“适土适树”。突破过去不注重土壤条件集中大面积单一配置(纯林和混交林均如此)造林方式, 最大限度减小成片人工造林因土壤不适造成的参差不齐或空斑现象; (2) 研究红胶泥和风化岩沫土两类劣质土壤地类快速造林树种与配置技术, 防治沟蚀对沟岸冲刷危害。

2.3 主要研究方法

试验选用杨树、沙棘、柏树、柠条、刺槐、元宝枫 6 种树种, 配置方式为单一型(纯种林)和混交林共 9 种配置, 每一种配置方式布设在不同的土壤地类(风化岩沫土土壤、红胶泥土壤、黄绵土土壤)。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。共设两个试验区, 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)。各种土壤地类统一进行宽 1.5 m、边坎 30 cm×30 cm 水平平整地, 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, 即每两行灌木之间插一行乔木与灌木间栽行。栽植时间统一为 1997 年春天。每年定期对各种树种纯林和混交林树木的年生长量、林冠面积、郁闭度、成活率、土壤理化性状进行测量统计分析。主要包括 4 个方面内容: (1) 对同一树种或混交方式在不同土壤上的成活率、年枝条生长量、郁闭度等进行比较分析, 得出该树种纯林或混交林最适宜的土壤类型; (2) 对每一类土壤上的各种配置模式进行比较分析, 包括成活率、林冠面积、生长量、郁闭度等, 得出每种土壤的最适树种和最佳混交配置模式。

2.4 监测方法

(1) 成活率: 所有树种的纯林和混交林 1997 年春天栽植, 1997 年秋季进行实地随机抽样, 测定其成活率; (2) 林冠面积: 每年分别于旺长期(6 月中旬)测定树木林冠面积, 用钢卷尺测定林冠半径进行计算, 每种每次随机取样 20 株以上, 然后取其平均值; (3) 郁闭度: 每年分别于旺长期(6 月中旬)测出树冠面积, 实地根据株行距, 得出郁闭度, 树木相互交叉时, 计算时减去相互重叠部分。

3 各树种在不同土壤地类生长发育监测分析

3.1 不同土壤地类杨树生长情况监测分析

试验监测结果表明, 杨树纯林在黄绵土土壤地类成活率最高, 为 92.0%, 分别比风化岩沫土和红胶泥高 39.40%、22.67%; 杨树在黄绵土地类生长速度最快, 年平均枝条生长量为 0.67 m, 为红胶泥和风化岩沫土的 1.81、3.83 倍; 黄绵土土壤上成林速度最快, 5 年林冠面积达 1.82 m², 郁闭度达 63.90%, 分别为以上两种土壤的 1.85、3.20 倍(详见表 1)。杨树纯林最适土壤为黄绵土, 其次为红胶泥, 在风化岩沫土生长缓慢甚至死亡。黄绵土土层深厚, 养分含量比较高, 直根系的深根性树种生长发育表现好。

3.2 不同土壤地类沙棘生长情况监测分析

试验监测结果表明, 沙棘纯林在红胶泥土壤地类成活率最高, 为 96.0%, 分别比黄绵土和风化岩沫土高 50.00%、12.94%; 沙棘在红胶泥土壤生长速度最快, 年平均枝条生长量为 0.54 m, 为风化岩沫土和黄绵土的 1.54 和 1.59 倍; 红胶泥土壤上成林速度最快, 5 年林冠面积达 2.69 m², 郁闭度达 82.00%, 其次为以上两种土壤的 1.36 和 1.62 倍(详见表 1)。沙棘具有很旺盛的须根和浅层横向根茎, 其生长对土壤水分和养分都有较高要求, 风化岩沫土土层浅肥力差, 黄绵土土层深厚土壤含水量低, 因此在含水量和肥力相对能满足的红胶泥土壤上生长表现较好。即使肥力不足、土层厚度极浅的风化岩沫土土壤地类, 沙棘由于其豆科固氮作用以及这

类土壤充足的地下水供给,为沙棘生长提供了可能。

表 1 不同树种纯林在不同土壤上的监测分析表

树 种	杨 树			沙 棘			柏 树			柠 条			刺 槐			元宝枫		
	风化岩	红胶	黄绵	风化岩	红胶	黄绵	风化岩	红胶	黄绵	风化岩	红胶	黄绵	风化岩	红胶	黄绵	风化岩	红胶	黄绵
土壤类型	沫土	泥土	土壤	沫土	泥土	土壤	沫土	泥土	土壤	沫土	泥土	土壤	沫土	泥土	土壤	沫土	泥土	土壤
成活率/%	66.0	75.0	92.0	85.0	96.0	64.0	92.0	90.0	91.0	68.0	78.0	92.0	90.0	5.0	94.0	78.9	89.0	75.2
5 年树高/m	2.09	2.78	3.92	1.74	2.54	1.59	1.12	1.12	1.06	0.94	0.98	1.36	4.42	5.36	2.46	1.43	2.24	2.38
5 年树冠/m ²	0.40	0.69	1.82	1.54	2.69	1.17	0.16	0.16	0.16	0.39	0.28	0.46	4.76	4.82	1.98	0.54	1.47	1.63
5 年郁闭度/%	20.00	34.50	63.90	60.40	82.00	50.60	8.00	8.00	8.00	19.50	14.00	23.00	89.90	100.0	70.30	27.00	52.14	57.30

注: 以上数据为不同坡向塌地平均值。

3.3 不同土壤地类柏树生长情况监测分析

柏树为常绿风景树种, 试验监测结果表明, 柏树生长缓慢, 适应性强。柏树纯林相对在风化岩沫土土壤地类成活率较高, 为 92.0%, 分别比黄绵土和红胶泥高 1.10%、2.22%; 风化岩沫土土壤生长速度稍快, 年平均枝条生长量为 0.12 m, 比红胶泥土壤、黄绵土土壤快 9.09% 和 14.29%; 柏树在风化岩沫土土壤、红胶泥土壤、黄绵土土壤上林冠面积和成林速度无明显差异(详见表 1)。柏树对土壤适应性很强, 耐旱、耐瘠薄, 对石灰含量高和 pH 值较高的土壤有很强的适应能力。其根系发达, 穿透能力强, 吸收根上有菌根共生, 因此对以上 3 种土壤地类都很适应, 是山川秀美建设最佳绿化树种之一。

3.4 不同土壤地类柠条生长情况监测分析

试验监测结果表明, 柠条纯林在黄绵土土壤地类成活率最高为 92.0%, 分别比风化岩沫土和红胶泥高 35.29% 和 17.95%; 柠条在黄绵土土壤生长速度最快, 年平均枝条生长量为 0.24 m, 为风化岩沫土火热红胶泥的 1.55 和 1.74 倍; 黄绵土土壤成林速度最快, 5 年林冠面积达 0.46 m²、郁闭度达 23.00%, 依次为以上两种土壤的 1.18 和 1.64 倍(详见表 1)。柠条为耐旱、不耐水湿的强阳性树种, 根系发达, 幼苗根系生长为苗高的 7~10 倍, 7 龄柠条根深可达 5 m 以上, 因此在干旱、土层深厚的黄绵土上成活率高、生长性好。

3.5 不同土壤地类刺槐纯林生长情况监测分析

试验监测结果表明, 刺槐纯林在红胶泥土壤地类成活率最高, 为 95.0%, 分别比风化岩沫土、黄绵土高 5.55% 和 1.06%; 刺槐在红胶泥土壤生长速度最快, 年平均枝条生长量为 1.04 m, 为风化岩沫土和黄绵土的 1.25、2.60 倍; 红胶泥土壤成林速度最快, 5 年林冠面积达 4.82 m², 郁闭度达 100%, 别为以上两种土壤的 1.11、1.42 倍(详见表 1)。刺槐为浅根性树种, 根系发达, 主根不明显, 根上有瘤菌, 对土壤适应性很广, 喜湿润, 怕涝, 一定范围内耐干旱, 在持水力强, 土层较浅的红胶泥土壤上生长表现较好。黄绵土地类地理位置较高, 土壤水分含量较低, 这是影响刺槐生长的重要原因之一。

3.6 不同土壤地类元宝枫生长情况监测分析

试验监测结果表明, 元宝枫纯林在红胶泥土壤地类成活率最高, 为 89.0%, 比风化岩沫土和黄绵土高 12.80% 和 18.67%; 元宝枫在黄绵土生长速度最快, 年平均枝条生长量为 0.48 m, 分别为红胶泥土壤和风化岩沫土土壤地类的 1.05 和 1.66 倍; 黄绵土成林速度最快, 5 年林冠面积达 1.63 m², 郁闭度达 57.30%, 依次为以上两种土壤地类的 1.10 和

2.12 倍(详见表 1)。元宝枫为阳性耐旱直根系树种, 其发达的根系在土层较厚的黄绵土地类和红胶泥地类生长迅速, 是一个值得推广的风景树种。

4 混交林在不同土壤地类生长情况监测分析

4.1 沙棘与杨树混交林生长情况监测分析

试验监测结果表明, 沙棘与杨树混交林在红胶泥土壤地类成活率最高, 为 92.0%, 比黄绵土和风化岩沫土高 13.58% 和 23.49%; 混交配置在黄绵土土壤生长速度最快, 年枝条平均生长量为 0.54 m, 为红胶泥和风化岩沫土的 1.10、1.93 倍; 红胶泥土壤成林速度最快, 5 年林冠面积平均达 1.88 m², 郁闭度达 78.98%, 为黄绵土和风化岩沫土的 1.20 和 1.43 倍(详见表 2)。沙棘与杨树混交为乔、灌配置, 也是深根性树种和浅根性树种配置, 能充分利用土壤中的水分、养分和不同元素; 沙棘有根瘤菌, 促进了杨树的生长; 沙棘与杨树混交为喜光与耐荫配置, 乔木杨树比沙棘高大起遮荫作用, 满足了沙棘的喜阴生长习性。因此在黄绵土和风化岩沫土沙棘比其单一配置生长表现好, 生长速度分别快 13.50% 和 4.60%; 由于沙棘的根瘤菌固氮作用提高了土壤肥力, 改变了土壤理化状态, 使杨树在混交林中比单一配置中生长表现要好。其在红胶泥、黄绵土、分化岩沫土土壤地类生长速度分别提高了 10.81%、6.94% 和 5.97%。

4.2 沙棘与柏树混交林生长情况监测分析

试验监测结果表明, 沙棘与柏树混交林在风化岩沫土和红胶泥土壤地类成活率最高, 都为 89.0%, 比黄绵土高 14.84%; 混交林在红胶泥土壤生长速度最快, 年枝条平均生长量为 0.62 m, 在风化岩沫土和黄绵土生长速度无明显差异, 比红胶泥土壤生长速度慢 32.35%; 沙棘与柏树混交林在红胶泥土壤成林速度最快, 5 年林冠面积达 1.54 m², 郁闭度达 75.25%, 为风化岩沫土和黄绵土的 1.56 和 1.97 倍(详见表 2)。沙棘和柏树都为耐盐碱树种, 沙棘根系上生有根瘤, 改土能力强, 土壤的氮、磷含量大大提高, 促进了柏树的生长; 沙棘与柏树混交为乔灌混交, 增加了生物立体利用层次; 沙棘为浅根性树种, 柏树根系发达, 根系可延伸到石缝中, 穿透钙质淀积层, 混交后可充分利用土壤中的水分、养分和不同元素。在各种土壤上沙棘比其单一配置生长均好, 在风化岩沫土、红胶泥、黄绵土上分别比单一配置生长速度加快 4.0%、5.5% 和 5.0%, 柏树树种对土壤有很强的适应能力, 在与沙棘的混交中, 由于沙棘对土壤的改良作用, 其生长也比单一配置表现好。红胶泥和黄绵土分别提高了 3.6% 和 9.4%, 风化岩沫土差异不明显。由于沙棘生长速度明显快于

柏树, 因此在幼林期对沙棘平茬可促进柏树生长。

表 2 混交林在不同土壤上的监测分析表

混交林种	沙棘与杨树						沙棘与柏树						刺槐与柠条					
	风化岩沫土壤		红胶泥土壤		黄绵土土壤		风化岩沫土壤		红胶泥土壤		黄绵土土壤		风化岩沫土壤		红胶泥土壤		黄绵土土壤	
树 种	沙棘	杨树	沙棘	杨树	沙棘	杨树	沙棘	柏树	沙棘	柏树	沙棘	柏树	刺槐	柠条	刺槐	柠条	刺槐	柠条
成活率/ %	82	67	98	86	64	98	84	93	93	84	66	89	99.6	73	98	88	96	96
五年树高/m	1.82	2.18	2.67	2.97	1.68	4.51	1.81	1.10	2.68	1.16	1.67	1.07	4.51	0.92	5.45	0.87	2.52	1.32
五年树冠/m ²	1.72	0.49	2.88	0.87	1.33	5.02	1.74	0.19	2.89	0.18	1.36	0.17	5.02	0.36	4.90	0.26	2.30	0.44
五年郁闭度/ %	55.25		78.98		65.55		48.25		75.25		38.25		100.00		100.00		65.46	

备注: 以上数据为不同土地类型的平均值。

4.3 刺槐与柠条混交林生长情况监测分析

试验监测结果表明, 刺槐与柠条混交在黄绵土土壤地类成活率最高, 为 96.0%, 比风化岩沫土和红胶泥高 11.63%、3.23%; 混交林在红胶泥土壤地类生长速度最快, 年枝条平均生长量为 0.59 m, 为风化岩沫土和黄绵土的 1.18 和 1.69 倍; 风化岩沫土和红胶泥土壤成林速度最快, 5 年林冠面积达 2.69 m² 和 2.58 m², 郁闭度达 100%, 为黄绵土的 1.53 倍 (详见表 2)。刺槐为适应性强、生长快、成林快的浅根性树种, 其喜湿、怕涝、耐干旱。在一定范围内, 土壤含水量越高生长越快, 因此在风化岩沫土和红胶泥土壤上成林速度较快; 柠条为深根性树种, 喜深厚土层, 不耐水湿, 因此在风化岩沫土土壤上生长缓慢。在与刺槐的混交中, 由于刺槐的遮荫作用影响了其生长, 使其在混交林中比单一配置中生长速度减慢了。尽管在黄绵土肥力较高, 土壤通透性较好, 但其位于其它两种土壤地理位置的上方, 土壤含水量低, 影响了各类树木的生长, 这是造林中需要注意的问题之一。

5 结论与建议

(1) 树种对土壤具有选择性, 这是由各自生态位决定的。深根性树种一般要求土壤具有良好的通透性和较厚的土壤层, 而浅根性树种一般抗旱性较差, 要求土壤有较高的含水量。研究结果表明, 直根性的柠条、杨树和元宝枫更适宜在黄参考文献:

绵土地类生长发育; 而浅根性的刺槐和沙棘横向根系发达, 在厚度较薄的红胶泥土壤地类生长发育最好, 即使在土层极薄的风化岩沫土土壤地类生长发育也比黄绵土地类好; 侧柏是耐瘠耐碱性极强的先锋树种, 其在风化岩沫土土壤地类生长发育最好。由此可见, 人工造林应充分考虑树种生态位对土壤的适应性, 不仅要做到“适地适树”、“因地制宜”, 更要做到“适土适树”、“因土制宜”。

(2) 混交配置的优越性已被广泛认可, 浅根性与深根性、阳性乔木与阴性灌木之间的混合配置能充分利用各自生态位优势, 从而达到良好效果。从研究结果来看, 风化岩沫土土壤地类沙棘与柏树混交、柠条与刺槐混交、沙棘与元宝枫混交均可。在红胶泥土壤地类和黄绵土塌地, 阴坡沙棘与杨树、沙棘与柏树、沙棘与元宝枫混交效果较好, 阳坡沙棘与柏树、沙棘与元宝枫、柠条与刺槐混交配置效果显著, 在梁峁黄绵土土壤地类柠条与刺槐混交表现最好。由于随土壤地类海拔升高, 土壤水分和肥力呈下降趋势, 因此在配置中, 从沟底到山峁应逐渐减少乔木比例, 增加灌木比例, 形成沟道乔木为主、山坡灌木为主的立体混交配置模式, 并依据不同土壤进行不同树种的混合配置, 形成多树种“带状镶嵌式”立体混交配置模式。沙棘生长迅速, 在混交配置幼林期要及时做好平茬工作。

[1] Mosdnal R Waldbau zwischen Okonomie und Okologie· Rundgesprache der Kommission fur Okologie[M]· Okonomie: Forstwirtschaft im Konfliktfeld Okologie, 2000. Bd. 12.

[2] Peng H. Robinien—und Kiefernauufforstungen auf demchinesischen Weiwei Loessplateau[M] . Aachen: Shaker Verlag, 2001.

[3] 代亚丽. 水土保持林学[M]. 陕西杨陵: 西北农业大学出版社, 1993.

[4] 曹世雄. 山地农业[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002.

[5] 陈莉. 试论水土资源整治技术[J]. 人民黄河, 2002, (3): 18– 20.

[6] 李菊香. 黄土丘陵区土壤分布规律及其与林业生产关系——以延安地区为例[J]. 水土保持通报, 1995, 15(5): 47– 50.

[7] 刘景发. 黄土高原沟壑区抗旱造林技术探讨[J]. 中国水土保持, 1994, (3): 31– 32.

[8] 王华田, 张光灿, 刘霞. 论黄土丘陵区造林树种选择的原则[J]. 世界林业研究, 2001, 14(5): 74– 78.

[9] 杨光, 薛智德, 梁一民. 陕北黄土丘陵区植被建设中的空间配置及其主要建造技术[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 136– 139.

[10] 余清珠, 王进鑫, 高文秀, 等. 集流抗旱造林技术优化模式的研究[J]. 水土保持通报, 1993, 13(4): 15– 19.

[11] 王正秋, 郭玉奇. 柠条直播与植苗造林效果[J]. 中国水土保持, 1992, (6): 35– 37.

[12] 王光陆. 水土保持植物—刺梨的早实丰产研究[J]. 水土保持通报, 1994, 14(3): 25– 28.

[13] 梁一民. 加速植被建设再造山川秀美的黄土高原[J]. 水土保持通报, 1997, 7(3): 封三.