

# 豫西黄土丘陵区植被恢复与重建的理论基础 及技术体系

刘增进<sup>1, 2</sup>, 李宝萍<sup>2</sup>, 李远华<sup>2</sup>, 崔远来<sup>1</sup>

(1. 武汉大学 水利水电学院, 湖北 武汉 430072; 2. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011;

3. 水利部中国灌溉排水发展中心 北京 100053)

**摘 要:** 通过对豫西黄土丘陵区林草植被现状和治理模式的实地调研, 运用大量基础研究资料, 借鉴生态学的基本理论, 从理论和实践两方面开展了林草植被恢复与重建的理论基础及技术体系的研究; 描述了退耕农田的自然演替过程, 研究和分析了林草植被恢复与重建的机理; 应用最佳平方逼近的数学方法, 提出了林草植被恢复与重建的预测模型和时间表, 构造了主要乡土先锋树种的生长预测模型; 制定了林草植被恢复与重建的目标和程序, 确定了适合本区的林草农田配置模式, 提出了乔灌木的配置方案和牧草的种植模式。其成果对整个黄土高原生态环境建设有重要的指导意义。

**关键词:** 林草植被; 恢复与重建; 生长曲线; 乡土树种; 配置模式

中图分类号: S718.54

文献标识码: A

豫西黄土丘陵区林草植被是黄土高原林草生态系统的重要组成部分, 具有防止土壤侵蚀、调节气候、防风固沙、改善水文循环、涵养水分、改良土壤、吸收各种污染物质、保护生物多样性等多种生态功能, 对人类和生物的生存环境起着不可替代的重要作用<sup>[1-3]</sup>。这里曾经地塬广阔、植被茂密、千里沃野, 黄土、黄河、黄种人孕育了光辉灿烂的中华民族古代文明。然而, 数千年来因战火不断, 乱砍滥伐, 毁林开荒, 人类无休止地索取和掠夺, 已沦为千沟百壑、地瘠民贫、山穷水尽和灾害频繁之地。由于人类活动的干扰侵害和地质年代时间尺度的环境灾变与周期性的气候变迁, 天然植被已不复存在, 代之为天然次生植被与人工植被, 已演替为一种脆弱的林草生态系统<sup>[4]</sup>。因此, 恢复和重建脆弱的林草植被和构建完整健康的林草生态系统是生态环境建设的有效途径, 植被恢复与重建理论及技术体系的研究已成为当前恢复生态学研究中的热点问题<sup>[5, 6]</sup>。但是, 如何恢复与重建, 重构什么样的林草生态系统,

存在着理论和方法上的差异<sup>[7, 8]</sup>, 今天采取的行动, 可能要在 50 a 或 100 a 后才会显露出结果。

由于林草植被是该区最适宜生长、最稳定的植被类型, 决定了林草植被恢复与重建在该区生态环境建设中的主导地位。多年来, 广大科技工作者和当地人民做了大量研究与实践工作, 积累了丰富的经验, 取得初步成果<sup>[4, 9, 10]</sup>, 资料较为完整, 对开展豫西黄土丘陵区植被恢复与重建理论及技术体系的研究工作有重要的参考价值。其研究成果具有典型性和代表性, 对整个黄土高原生态环境建设有重要的指导意义。

## 1 研究区域概况

豫西黄土丘陵区隶属黄河流域的河南省西部地区, 为黄土高原的东部延伸带, 是黄土高原的典型区域之一, 有较好的代表性。主要分布在黄河两岸豫西石质山地与太行山地之间, 黄土覆盖层达数十米

收稿日期(Received date): 2004—02—11; 改回日期(Accepted): 2004—05—20。

基金项目(Foundation item): 河南省重点科技攻关项目(0124020137)。[Key Scientific-technical Project of Henan province (No. 0124020137).]

作者简介(Biography): 刘增进(1961—), 男, 河北新乐人, 副教授, 武汉大学在读博士生, 主要从事旱农生态学的研究。[Liu Zengjin (1961—), male, Xink Hebei, Associate professor, Doctor on the reading in Wuhan University, mainly engaged in the research of dry-land ecology.]

至数百米,包括洛阳、三门峡等 15 个县市,人口约 600 万<sup>[10]</sup>。

### 1.1 地貌

豫西黄土丘陵区主要沉积于前第四纪盆地—灵(宝)陕(县)盆地、济(源)洛(阳)盆地及部分山前地带。地貌形态变化较大,可划分为黄土塬、黄土梁和黄土梁峁等。黄土塬位于三门峡盆地之中,沿三门峡盆地南缘呈东西向带状分布,塬面平整,塬间沟深谷宽,沟谷呈“U”字形,宽 200~300 m,深度一般 80~150 m,支沟发育,沟坡边常有崩塌、滑坡和潜蚀洞分布。黄土梁位于洛宁盆地,地势西南高东北低,梁脊多与洛河谷地近于垂直,并由外缘向洛河谷地逐渐变缓,梁的两侧坡度多为 20°~30°,冲沟发育,呈“V”或“U”字形,沟壑密度为 1.5~2.8 km/km<sup>2</sup>,近洛河地带梁间洼地比较宽阔平坦。黄土梁峁位于洛阳—郑州之间及灵宝朱阳盆地,其特点是梁峁兼有之,沟壑发育,其密度为 1.2~3.0 km/km<sup>2</sup>,最大切割深度 60~120 m,冲沟呈“V”或“U”字形,崩塌、滑坡和潜蚀洞发育<sup>[11]</sup>。

### 1.2 气候条件

豫西黄土丘陵区处于暖温带半湿润区气候带,多年平均气温 8~15℃, >10℃的活动积温为 3 600~4 300℃,无霜期 215~218 d,多年平均降雨量 574.0~634.4 mm,干燥度为 1.05,全年日照数 2 200~2 400 h。天然降水和光热资源基本能满足农、林、果和灌草的需要,是黄土高原农林条件较好的“金三角”地带<sup>[11]</sup>。

### 1.3 植被特征

豫西黄土丘陵区植被类型属暖温带落叶阔叶林区,落叶阔叶林层由乔木层、灌木层和草本层组成。乔木层由冬季落叶的阳生阔叶树种组成,栎类(辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、槲栎(*Quercus aliena*)和栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.)是最重要的标志;温性针叶林中以油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) France.)和白皮松(*Pinus bungeana* Zucc.)为主。天然小乔木有桑树(*Morus alba* L.)、榆树(*Ulmus pumila* L.)、旱柳(*Salix matsudana*)、白毛杨(*Populus tomentosa* Carr.)、楸树(*C. bungei* C. A. Mey.)、漆树(*R. verniciflua* Stokes.)、刺槐(*R. pseudoacacia* L.)和臭椿(*A. altissima* Swingle.)等。灌木丛有酸枣(Var. *spinosa* Hu.)、胡枝子(*L. bicolor* Turcz.)、荆条(*Vitex negundo*)和连翘(*F. suspense* (thunb.) Vahl.)等。草本植物有野

菊花(*Dendrathera indicum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、黄背草(*Themeda triandra* var. *japonica*)、白茅(*Imperata cylindrical* var. *major*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、白草(*Potentilla chinensis*)和茼蒿(*Artemisia giradii*)等。经济林木有苹果树(*M. pumila* Mill.)、梨树(*Pyrus* ssp. L.)、桃树(*P. persica* (L.) Batsch.)、柿树(*D. kaki* Thunb.)、枣树(*Zizyphus jujuba* Mill.)、核桃树(*Juglans regia* L.)、板栗树(*Castanea mollissima* Bl.)和山渣树(*Crataegus pinnatifida* L.)等<sup>[10-13]</sup>。

### 1.4 土地资源<sup>[10-13]</sup>

豫西黄土丘陵区总土地面积为 15 578.00 km<sup>2</sup>。耕地为 50.36×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,其中旱地面积 35.35×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占耕地面积的 70%,主要分布在塬、峁、缓岗和阶地上,90%以上为坡耕地,基本上没有灌溉条件;水浇地面积为 15.01×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,占耕地面积的 29.8%,主要分布在伊、洛盆地,水资源相对丰富,灌溉条件较好。园林 2.00×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,林地 31.80×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,牧草 21.53×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,水域面积 5.57×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,宜林荒山荒地 30.50×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>。

## 2 林草植被恢复与重建的理论基础

### 2.1 弃耕农田的演替过程

实地调查表明,农田弃耕后立刻就会有野生植物(如荠菜、苣荬菜、狗尾草、野菊花、茼蒿等)在农田上定居,一年生植物对新出现的生存环境反应快速,夏季的一年生植物将被在夏季中较早定居的冬季一年生植物所取代,在争夺空间、阳光和其他资源中处于领先地位。2~5 a 后,在自下而上条件不断得到改善的情况下,草本层也逐渐从低草(0.3 m 以下)向中草(0.6 m 左右)和高草(1.0 m 以上)演替,并出现多年生草本植物。草本植物演替后期,会出现喜阳灌木与高草混生的现象,逐渐形成灌木群落。20 a 后出现短叶松和栎树,40 a 后,短叶松在同栎树的竞争中逐渐丧失优势,各种硬木树逐渐在群落中占有优势,达到亚顶极群落至少需要 100 a。演替过程为:一年生禾草→多年禾草→灌木→早期演替乔木→晚期演替乔木→亚顶极群落。可以推论:在适宜的气候和土壤条件下,林草植被有较强的自我修复能力,沿自我修复的方向向顶极群落演替。

### 2.2 林草植被退化与恢复的机理

史料记载 3 000 a 前,黄土高原是林木蔽天、水

草丰美的地方<sup>[4]</sup>。据估算西周时森林面积约  $3\,200 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 森林覆盖率 86.5%。自西汉以后, 由于人口的增加曾进行过 4 次大规模的土地开垦。研究表明, 屯田开发和森林采伐是加速森林植被退化的主要原因<sup>[4]</sup>。

林草植被退化的过程与林草生态系统的逆行演

替相似。若干扰较小, 植被会从顶极逐步退化, 退化过程为阔叶落叶林→针阔混交林→针叶林→灌草丛→荒山荒地; 若干扰较大, 会直接退化成灌草丛或裸地。每向后退化一个阶段, 恢复的投入就越大, 尤其是从荒山荒地开始恢复投入就更大, 其退化与恢复过程如图 1 所示。

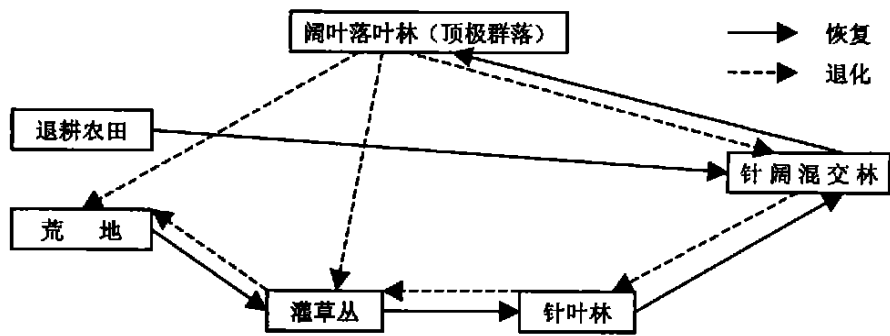


图 1 豫西黄土丘陵区林草植被退化与恢复过程图(仿彭少麟 2001)

Fig. 1 Process of degeneration and restoring of vegetation of Loess Hilly Area in Yuxi(Imitation Peng ShaoLin, 2001)

在遵循自然演替规律的基础上, 通过对林草生态系统施加积极的人工干扰, 可以加速林草植被恢复与重建的进程, 否则将使林草植被出现逆行演替(退化)。若出现生态系统向亚顶极群落或超顶极群落顺行演替, 这种人工作用定义为正向人工干扰( $+\Delta F$ )。亚顶极群落是较长期保持相对稳定的群落状态, 超顶极群落是在人造条件下产生的较优越于气候条件下的顶极群落状态。若出现生态系统向着极度退化状态的方向逆行演替, 这种人工干扰定义为负向人工干扰( $-\Delta F$ )。人工干扰对林草植被恢复的影响机理如图 2 所示。

一旦人工干扰( $+\Delta F$ )迫使系统演替突变增速而偏离了平衡点时, 系统的负反馈作用产生负校正正值将迫使演替重返稳定平衡状态时的值; 当人工干

扰( $-\Delta F$ )迫使系统演替突变减速而偏离平衡点时, 系统的负反馈作用将产生正校正正值也同样迫使系统演替返回平衡值。在平衡点处出现分叉现象, 系统演替过程表现出混沌的特征。

### 3 林草植被恢复与重建的预测模型

限制植被增长量的主导因素是环境负荷量(即  $k$  值)。随着植被种群数量、大小的增加, 植被增长率出现下降趋势, 当接近环境负荷量时, 植被种群数量、大小基本处于稳定状态。其中, Logistic 系数对植被种群的数量、大小变化有一种制动作用, 使种群数量、大小总是趋向于环境负荷量, 形成一条 S 形的增长曲线, 称为 Logistic 生长曲线。

#### 3.1 构造 Logistic 生长曲线模型

##### 3.1.1 定义

用均方误差最小作为度量标准, 若存在  $P_n^*(x) \in H_n'$ , 使  $\|f - p_k^*\|_2^2 = \int_a^b [f(x) - p_n^*(x)]^2 dx = \inf_{p \in H_n} \|f - p\|_2^2$   $p_n^*(x)$  就是  $f(x)$  在  $[a, b]$  上的最佳平方逼近函数。

##### 3.1.2 最佳平方逼近法

给定一组观测数据  $(N_t^*, t = 1, 2, 3, \Delta, n)$ , 要求在函数类中  $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \Delta, \varphi_n)$  找到一个函数  $N_t = f(t)$ , 作误差平方和

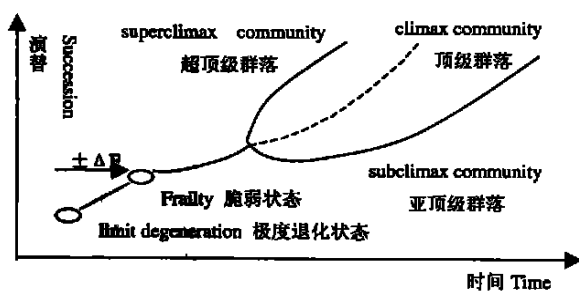


图 2 人工干扰对林草植被演替的影响

Fig. 2 The effect of vegetative succession at the artificial disturbance

$\| \delta \|_2^2 = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 = \sum_{i=1}^n (N_i - N_i^*)^2 = \min_{n \in \varphi} \sum_{i=1}^n (N_i - N_i^*)^2$   
 $N_t$  就是  $N_t^*$  最佳平方逼近函数, 这里

$$N_t = \frac{k}{1 + \left( \frac{k}{N_0} - 1 \right) e^{-n}}$$

以误差平方和  $\| \delta \|_2^2$  最小化为目标, 构造 Logistic 生长曲线模型。求解  $N_0$  和  $r$  的方法有动态规划法和遗传算法, 本文采用了动态规划加电子表格法求解  $N_0$  和  $r$ 。

3 2 林草植被恢复程度预测模型与时间表

通过调研资料<sup>[10, 12 13]</sup>的分析评价可以推论出, 林草植被恢复程度呈 S 型曲线。将基础数据(表 1)采用最佳平方逼近法配线后, 林草植被恢复程度预测模型为

$$N_t = \frac{99}{1 + e^{-0.1536t}}$$

式中  $N_t$ —— $t$  年时恢复程度(%); 99——最大恢复程度(环境负荷量)。

经方差分析, 预测值与调研观测值的均方误差为 0.708 7, 均方误差较小, 预测值与观测值近似的程度好, 林草植被恢复程度预测模型可靠。

预测模型计算结果(见表 1)表明, 0~25 a 为恢复程度的指数增长阶段, 25~50 a 为恢复程度渐近增长阶段, 50~100 a 为恢复程度的稳定阶段。因此, 通过林草植被的演替可以重建本区的林草群落,

表 1 林草植被调研值和恢复程度预测时间表

Table 1 Forecast and investigation of restoring vegetation

时间 (a)	1	2	4	10	12	15	20		
调研 值	51.3	56.6	67.5	78.1	86.4	89.1	95.0		
时间 (a)	5	10	15	20	30	50	60	70	100
模拟 值	67.63	81.47	90.01	94.62	98.02	98.95	98.99	99.00	99.00

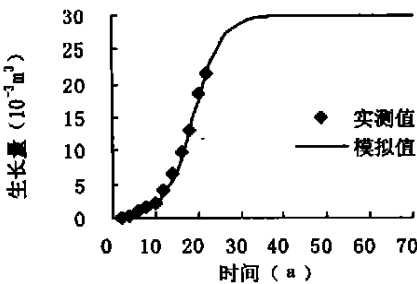


图 3 油松生长曲线

但构成这个林草群落的物种组分功能与天然的林草生态系统略有不同。

3.3 乡土先锋树种的生长曲线

将调研资料<sup>[9 10, 12 13]</sup>分析整理, 得出乡土先锋树种的材积总生长量统计表(表 2)。

表 2 乡土先锋树种的材积总生长量统计表

Table 2 Table of total biomass of the native tree species (10<sup>-3</sup>m<sup>3</sup>)

时间 (a)	2	4	6	8	10	14	16	20	22
油松	0.03	0.35	1.06	1.68	2.14	6.63	9.73	18.47	21.47
时间 (a)	5	10	15	20	25				
侧柏	1.0	4.3	8.6	14.01	9.5				
时间 (a)	3	6	9	12	15	18	21		
小叶 杨	0.29	2.13	8.03	16.85	23.64	30.92	31.54		
时间 (a)	3	5	6	8	10	14	15	18	26
河北 杨	0.29	1.0	1.5	3.0	6.0	13.0	15.0	19.0	20.0

将表 2 中乡土先锋树种的材积总生长量的数据采用最佳平方逼近法配线后, 得出乡土先锋树种的生长量模型。

油松生长量模型为

$$N_t = \frac{30}{1 + 299e^{-0.3011t}}$$

侧柏生长量模型为

$$N_t = \frac{25}{1 + 56e^{-0.2127t}}$$

小叶杨生长量模型为

$$N_t = \frac{32}{1 + 290e^{-0.463t}}$$

河北杨生长量模型为

$$N_t = \frac{20}{1 + 181e^{-0.413t}}$$

油松、侧柏、小叶杨和河北杨生长曲线如图 3~6 所示。

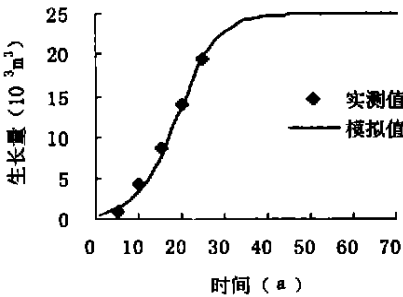


图 4 侧柏生长曲线

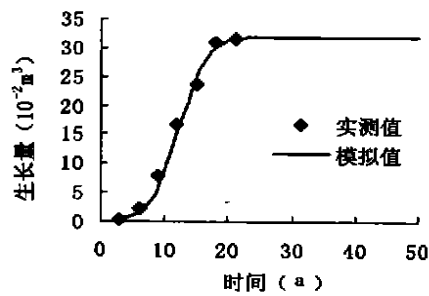


图5 小叶杨生长曲线  
Fig. 5 Growing curve of *Populus simonii*

经方差分析,油松、侧柏、小叶杨和河北杨生长量的预测值与观测值的均方误差分别为 0.171 1, 0.344 2, 0.404 7, 0.182 0, 均方误差较小,预测值与观测值近似的程度好,乡土先锋树种预测模型可靠。同时,由图 3~6 也可以看出,观测值与 Logistic 理论曲线能够吻合得如此好,说明 Logistic 模型是预测树种生长量的一个有效工具。

4 林草植被恢复与重建的目标和程序

4.1 恢复与重建的目标

恢复与重建豫西黄土丘陵区林草植被,必须编制一个切实可行的、科学的中长期发展战略与规划,尤其是要做好以县、乡为单元的小流域规划。规划时间可划分为:近期(2000~2025 年),中期(2025~2050 年),长期(2050~2100 年)3 个阶段。第一阶段以生态效益为中心,以治理水土流失为重点,保一方水土。初期大面积恢复和重建草灌植被,在水土条件较好的退耕农田、川坝沟地恢复和重建森林植被,农林路统一规划,建设农田防护林网;后期在草灌植被上恢复和重建森林植被。第二阶段以提高林草植被的经济效益为中心,对次生林和人工林进行林分改造,加速顺行演替的速度。第三阶段以维持林草植被功能为中心,进行合理利用与保护,维持

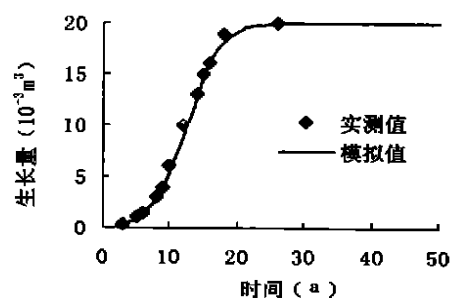


图6 河北杨生长曲线  
Fig. 6 Growing curve of *Populus hopeiensis*

其服务功能,形成良性循环的生态系统。  
4.2 恢复与重建的程序  
提交恢复与重建的项目建议书,明确恢复对象,确定时空范围,评价立地条件,诊断林草植被退化的原因,制定目标和原则并进行决策,林草植被被恢复与重建的实地试验、示范与推广,林草植被恢复与重建过程中的调整与改进,林草植被的后评价与后监测。

5 林草农田的配置模式

5.1 林草农田的配置面积

要达到 60%的林草覆盖率,该区林草面积应达到  $93.61 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。除现有的林草地和宜林荒山荒地,还需退耕还林还草约  $10.00 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。退耕还林后可推行“三一”配置模式,即确保农户每人一亩高效农田,一亩林灌,半亩果林,半亩牧草。林草农田的配置面积见表 3。

5.2 林草农田的配置模式

按照林草植被恢复与重建的目标,结合豫西黄土丘陵区自然条件和地貌特征,形成塬面、塬边、沟坡、沟底 4 个生态经济带梯层开发的配置模式,兼顾生态效益和经济效益,水土保持防护林和人工经济林应区别对待。林草农田配置模式如图 7 所示。

表 3 林草农田配置面积  
Table 3 Arranged area of forest and grass and farmland

项目	人口 (万人)	农业人口 (万人)	农田 (hm <sup>2</sup> )	林地 (hm <sup>2</sup> )	灌木 (hm <sup>2</sup> )	牧草 (hm <sup>2</sup> )	果林 (hm <sup>2</sup> )	水域 (hm <sup>2</sup> )	合计 (hm <sup>2</sup> )
数量	600	390	40.3	41.8	31.15	21.53	15	6.0	155.78
比例/%		35	25.8	26.8	20	13.8	9.6	4	100

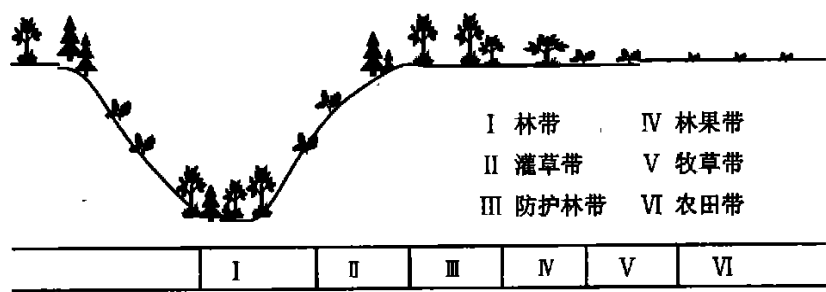


图 7 豫西黄土丘陵区林草农田配置模式示意图

Fig. 7 Schematic diagram of forest and grass and farmland Loess Hilly Area in Yux

5.3 乔、灌树种的配置方案

营造水土保持林或重建类似潜在植被的乡土森林是最为重要和必不可少的，以强调和提倡用乡土先锋树种营造乡土森林的宫胁造林法<sup>[14, 15]</sup>，对林草植被恢复与重建很有借鉴和帮助。阳生阔叶树种栎类(辽宁栎、槲栎和栓皮栎)是本区最重要的乡土先锋树种。乔、灌树种的配置方案见表 4。

表 4 乔、灌树种的配置方案

Table 4 Arranged planning of timber-forest and shrubbery

立地条件	适生树种	伴生树种和灌木
黄土沟坝川地	河北杨、小叶杨、合 作杨	旱柳、油松、刺槐、华山 松、银杏、酸枣
黄土塬面、宽梁顶	油松、刺槐、小叶杨、 栎类	侧柏、臭椿、楸树、酸 枣、荆条、连翘
黄土阳坡	油松、刺槐、白皮松、 栎类	侧柏、臭椿、楸树、酸 枣、荆条、连翘
黄土阴坡	油松、侧柏、刺槐、栎 类	华山松、银杏、漆树、酸 枣、荆条、连翘
农田防护林	小叶杨、新疆杨、河 北杨	侧柏、油松

5.4 牧草种植模式

退耕还草是豫西黄土丘陵区生态建设工程的重要组成部分。特别是在一些土壤瘠薄、土层较薄、坡度较大的退耕地和宜草荒地，种草比植树适应性更强。先种植牧草覆盖地表，防止水土流失和培肥地力，数年后栽种灌木或乔木树种。禾本科牧草及饲料作物羊草、老芒麦、披碱草、元芒雀麦、鸭茅、紫羊茅、苇状羊茅、苏丹草、燕麦、扁穗冰草、冬牧 70 黑麦、茭蒿等。豆科牧草及饲料作物紫花苜蓿、沙打旺、红豆草、小冠花、百脉根、草木樨、豌豆、毛苕子、饲用大豆等。牧草种植模式可选用草种纯播模式、豆科草种和禾本科草种混播模式、林灌草立体混交

模式、林带+牧草带混交模式、果林带+牧草带间作套种模式、林草粮间作套种模式、草粮间作套种模式等。通过人工种草、青草加工和牲畜养殖促进草业、草加工业和畜牧业的共同发展，提高豫西黄土丘陵区水土资源的生产率。

6 结 论

1. 豫西黄土丘陵区降水、光热条件和立地条件都说明该区恢复和重建林草植被在技术上和经济上是可行的。但从恢复和重建的时间表上看出，至少需要 30~50 a 的时间才能使林草植被恢复到气候顶极群落状态或亚顶极群落，这是一项长期而又艰巨的任务，应加大植被恢复与重建基础理论和技术体系的研究力度。

2. 依据豫西黄土丘陵区林草植被的调研资料和研究成果，借鉴生态学的基本理论，对林草植被恢复与重建的一些基础理论进行了系统和深入的研究，其成果拓宽了已有的基本理论框架，具有很好的使用价值。

3. 方差分析结果表明，应用数学的方法，采用统计资料构造的林草植被恢复与重建 logistic 预测模型和主要乡土先锋树种的 logistic 生长模型比较可靠，精度较高；从拟合图形可以看出，拟合程度较好，比较合理。

4. 以黄土沟壑区典型小流域(黄土塬)为主要研究对象，按照林草植被恢复与重建的目标和程序，注重综合效益，以提高水土资源利用率，防止水土流失为综合指标，通过林草植被恢复与重建技术的筛选与集成，确定了适应于该区林草配置面积和林草配置模式，其实施方案克服了传统水保措施突出经济效益的局限性，具有可持续性，对本区现阶段开展的小流域水土保持生态环境建设具有一定的指导意义。

## 参考文献(References):

- [1] Constanza, R. R. & R. Arge & R. Groot. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253~259.
- [2] Daily, G. C. Restoring value to the degraded lands[J]. *Science*, 1995, 269: 350~354.
- [3] Daily, G. C. & P. R. Alexander & P. R Ehrlich. Ecosystem services: Benefit supplied to human societies by natural ecosystem[J]. *Issue in Ecology*, 1997, 3: 1~6.
- [4] Yang Jiping. Theory and practice of the forest and grass' vegetation construction in western China. Beijing: China forestry publishing house, 2001. 8: 45~74. [杨继平. 西部林草植被建设理论与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 8: 45~74.]
- [5] Ren Hai, Peng Shaolin. Introduction of restoration ecology. Beijing: Science press, 2001. 4: 3~46. [任海, 彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 4: 3~46.]
- [6] Yu Gaoni, Xie Gao, Wang Qiufeng, *et al.* Considerations to some issues on vegetation rehabilitation in western China. Journal of Natural Resources, 2002, 17(2): 216~220. [于贵瑞, 谢高地, 王秋凤, 等. 西部地区植被恢复重建中几个问题思考[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 216~220.]
- [7] Miyawaki, A. Restoration of urban green environments based on the theories of vegetation ecology [J]. *Ecological Engineering*, 1998, 11: 157~165.
- [8] Palmer, M. A., R. F. Ambrose & N. L. Puff. Ecological theory and community restore ecology [J]. *Restoration Ecology*, 1997, 5: 291~300.
- [9] Hu Jianzhong. Regional environmental adaptability of ecologic and economic timber-forest of key soil and water loss in loess plateau. Zhengzhou: Yellow river water conservancy press, 2000. 6: 61~90. [胡建忠. 黄土高原重点水土流失区生态经济型乔木树种的区位环境适宜性[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000. 6: 61~90.]
- [10] Yellow River Conservancy Commission, Ministry of Water Resources. Yellow Yearbook. Zhengzhou: Yellow Yearbook Press, 2000. 12: 87~90. [水利部黄河水利委员会. 黄河年鉴[M]. 郑州: 黄河年鉴社, 2000. 12: 87~90.]
- [11] Wei Kexun. Henan soil geography. Zhengzhou: Henan Science and Technology Publishing House, 1995. 1: 2~36. [魏克循. 河南土壤地理[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1995. 1: 2~36.]
- [12] Yellow River Conservancy Commission, Ministry of Water Resources. Atlas of Yellow Basin. Beijing: China Maps Press, 1989. 12: 6~132. [水利部黄河水利委员会. 黄河流域地图集[Z]. 北京: 中国地图出版社, 1989. 12: 6~132.]
- [13] Henan Economic Maps Compilation Commission. Atlas of Henan Economy (internal maps). Zhengzhou: 1994. 8. 1~60. [河南省经济地图集编纂委员会. 河南省经济地图集(内部用图)[Z]. 郑州, 1994. 8: 1~60.]
- [14] Miyawaki, A. Creative ecology: Restoration of native forests by native trees [J]. *Plant Biotechnology*, 1999, 16: 15~25.
- [15] Khor, K. Restoring American's forests to their natural roots [J]. *Science*, 2000, 287: 573~575.

## Theory and Techniques of Restoring and Reconstructing Vegetation in Loess Hilly Area in Yuxi

LIU Zengjin<sup>1,2</sup>, LI Baoping<sup>2</sup>, LI Yuanhua<sup>3</sup>, CUI Yuanlai<sup>1</sup>

(1. Wuhan University, School of Water Conservancy and Hydropower, Wuhan 420073, China;

2. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450008, China;

3. National Center of Irrigation and Drainage Development, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

**Abstract:** Based on field investigation of forest and grass vegetation and small watershed comprehensive harness projects of loess hilly area in Yuxi, theory and technical system of restoration and reconstruction of vegetation are discussed. The natural succession from returning farmland to woodland and grassland is described. The mechanism of restoration and reconstruction of vegetation is analyzed. The predicting model and time table of restoration and reconstruction are presented. The growing curve of countryside tree is drawn. The aims and programs of restoration and reconstruction are constructed and their distributive model is portrayed. This paper gives comprehensive technical system of restoration and reconstruction of vegetation of loess hilly area in Yuxi, which is important to practice.

**Key words:** forest and grass' vegetation, restoration and reconstruction, growing curve, native tree species, distributive model.