

# 半干旱黄土区自然恢复与人工造林恢复 植被群落对比研究

刘中奇<sup>1</sup>, 朱清科<sup>1</sup>, 秦伟<sup>1,2</sup>, 李萍<sup>1</sup>, 王晶<sup>1</sup>, 邝高明<sup>1</sup>

1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室/北京林业大学, 北京 100083; 2. 中国水利水电科学研究院泥沙研究所, 北京 100044

**摘要:** 为研究半干旱黄土区高效植被恢复途径, 选取陕西省吴起县境内的合沟封禁流域和柴沟人工造林流域为研究区, 在两流域内, 沿顺坡和横坡方向, 选择一系列 20 m×20 m 的样地, 各组成 2 条样带。在每个样地内的对角线交点和对角线四分之一处选取 5 个样方进行植被调查, 草本样方和乔灌木样方的尺寸分别为 1 m×1 m 和 5 m×5 m。共获得草本样方 185 个、乔灌木样方 80 个, 其中, 合沟封禁流域 105 个, 均为草本样方, 柴沟人工造林流域草本样方与乔灌木样方各 80 个。运用植物生态学和植物群落学方法, 调查各样方内的植物种类、株数、株高、盖度、地上生物量以及树木基茎、树高、冠幅等植被群落特征指标, 并在此基础上对两流域的植被群落特征进行对比分析。结果表明: (1) 两流域的植被种类共 61 种, 其中柴沟人工造林流域 46 种, 合沟封禁流域 51 种, 共存物种 36 种; (2) 经过 10 年生态恢复, 柴沟人工造林流域已形成乔-灌-草群落, 合沟封禁流域仍为草本群落, 且两流域草本群落均以铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum* Ledeb.) 和芨蒿 (*Artemisiagiraldii* Pamp.) 为主要建群种; (3) 柴沟人工造林流域的植被盖度、平均高、生物量均明显高于合沟封禁流域的相应指标。两流域植物群落 Simpson 指数和 Shannon-Weiner 指数差异较小, Sorensen 指数为 0.742, 主要草本植物种的指标差异不显著。以上特征反映出, 在半干旱黄土区, 适宜的人工造林可加速该区植被恢复的进程。

**关键词:** 生态恢复; 封育; 人工造林; 植物群落; 加速

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0857-07

国际生态恢复 (重建) 学会 (Society for Ecological Restoration) (1995) 提出: 生态恢复 (重建) (Ecological Restoration) 是帮助研究生态整合性的恢复和管理过程的科学, 生态整合性包括生物多样性、生态过程和结构、区域及历史情况、可持续的社会实践等广泛的范围。国内外关于生态恢复的调查研究主要集中在三个方面, 一是受到污染等因素所损坏的水体、土壤及其综合环境的恢复问题<sup>[1-4]</sup>; 二是废弃矿山的生态恢复问题<sup>[5-6]</sup>; 三是在不利气候环境下受到破坏的生态环境恢复问题, 也是研究者关注较多的问题<sup>[7-14]</sup>。

我国陕北半干旱黄土丘陵沟壑区, 是世界上水土流失和生态破坏最严重的地区之一。在不利的历史和地形条件限制情况下, 如何选择当地合理的植被恢复途径是当前关注的研究热点。其中人工造林修复和禁农禁牧封育是两种主要恢复途径, 如何在一个区域内将人力与自然恢复力结合起来, 促使植被生态系统局部快速恢复和区域内生态系统整体恢复是研究的主要课题。黄土高原的植被生态恢复目标是, 通过生态修复, 区域内植物物种多样性平均增加 10%~15%, 地带性植被的典型物种盖度在群落中超过 20%, 植被总

覆盖度为 75%~85%, 水土流失强度有显著减少等<sup>[15]</sup>。在实际评价过程中, 生物多样性、植被群落结构、生态过程等已经成为生态系统恢复评价的主要指标, 而且一般情况下至少会选择其中的两个指标进行生态恢复评价<sup>[16]</sup>。本文以植物群落类型、结构组成、植物多样性指标和生物量积累为研究对象针对陕西北部黄土丘陵沟壑区不同植被恢复途径问题, 从植被生态学和恢复生态学角度探讨自然恢复与人工造林恢复效果的区别, 于 2008 年 7 月至 8 月对陕西省吴起县境内两个小流域进行植被调查, 以探讨和评价不同恢复途径中植被恢复效果及其时效性和可行性, 从而给当地植被生态恢复技术标准体系的建立提供一定理论依据。

## 1 研究地区自然概况

吴起县地处黄土丘陵沟壑区, 东经 107°38'57"~108°32'49", 北纬 36°33'33"~37°24'27"之间, 海拔 1 233~1 809 m, 总面积 3 791.5 km<sup>2</sup>, 水土流失面积 3 702.2 km<sup>2</sup>, 占土地总面积的 97.16%。属半温带大陆性季风气候, 春季干旱多风, 夏季旱涝相间, 秋季温凉湿润, 冬季寒冷干燥, 年平均气温 7.8 °C, 极端最高气温 37.1 °C, 极端最低气温 -25.1 °C。年

基金项目: 国家“十一五”林业科技支撑计划专题 (2006BAD03A0302); 中国水利水电科学研究院青年科学基金 (泥集 1008)

作者简介: 刘中奇 (1972 年生), 男, 博士研究生, 主要从事生态恢复、复合农林研究。E-mail: liuzhongqi666@yahoo.com.cn

收稿日期: 2010-01-12

平均降雨量 483.4 mm。年平均无霜期 146 d。是首批实施退耕还林政策的示范县。主要地带性植物种类：主要树种有小叶杨 (*Populus simonii*)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、山桃 (*Prunus davidiana*)、山杏 (*Prunus armniaca*L) 等，灌木主要是柠条 (*Caragana Korshinskii*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)。草本以菊科 (*Compositae*)、禾本科 (*Gramineae*)、豆科 (*Leguminosae*) 为主。主要有铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、茺蒿 (*Artemisia giraldii*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)、星毛委陵菜 (*Potentilla fragarioides*)、达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica*)、狗娃花 (*Heteropappus altaicus*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) 等。

合沟流域和柴沟流域 (如图1) 地形条件相似, 退耕前的土地利用方式均大部分为坡耕地。合沟流域从1999年封育至今大部分处于自然恢复状态, 面积约为0.35 km<sup>2</sup>, 柴沟流域封育后从1999年春季开始造林直至2003年结束, 总面积约为0.3 km<sup>2</sup>, 具体造林面积如表1。

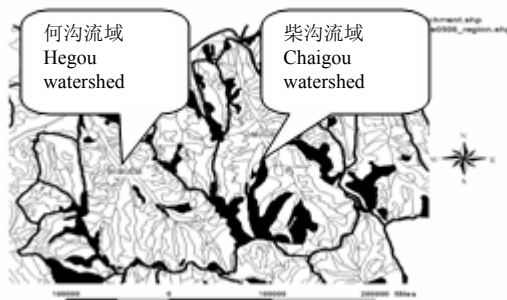


图1 两个相邻小流域遥感图像图

Fig.1 Remote sensing image of two surveyed Watersheds

表1 柴沟流域封育后各年份造林面积

Table 1 Annually afforestation area in Chaigou watershed after enclosure

年份	造林种类	面积/hm <sup>2</sup>
1999	沙棘	2 500~2 600
1999	山杏	260~270
2000	山桃	100
2001—2002	油松	300
2001—2002	松柏	200
2002—2003	刺槐	400

## 2 调查研究方法

分别在2个流域以20 m×20 m的调查样地组成东西走向和南北走向各2条样带, 样带内样地顺序依次为梁顶、梁坡、沟坡、沟底, 另一坡面沟坡、梁

坡、梁顶, 根据坡面长度确定样地间距, 沿样地2条对角线1/2和1/4处机械选取5个1 m×1 m的小样方进行草本植被调查, 乔灌木调查样方选取方法同上, 但样方规格为5 m×5 m。共调查草本样方185个, 其中合沟流域调查样方105个, 均为草本样方, 柴沟流域调查草本样方80个, 乔灌木样方80个, 草本和乔灌木样方在同一个样地内。调查内容为植被的种类、株数、株高、盖度、地上生物量以及树木的基茎、树高、冠幅。通过以上调查指标经计算分析后确定群落类型、建群种、群落多样性指数、重要值等指标, 从而分析两个流域间植物群落的差别。

种类、株数、株高测定方法: 在样方中实地查取和测量, 通过株数权重确定平均高度。

盖度测定方法: 采用样点截取法, 以米尺刻度代替测针。

地上生物量测定方法: 将草本植物和灌木实地收割称取鲜质量后进行烘干(60 ℃), 称其干质量; 乔木则抽取样地中一定株数的标准木, 确定质量与测树指标的关系, 并对照各树种的蓄积量估算表进行单株材积量的测定和总生物量的估算。

相对密度(RD)=[某种植物的个体数目(D)/全部植物的个体数目(∑D)]×100%;

相对优势度(RDE)=相对盖度(RC)=[一个种的盖度(C)/所有种的盖度之和(∑C)]×100%;

相对频度(RF)=[某一种的频度(F)/全部种的频度之和(∑F)]×100%;

相对质量(Rm)=[某个种的质量(m)/所有种的质量之和(∑m)]×100%;

重要值(IV)=相对密度(RD)+相对优势度(RDE)+相对频度(RF);

乔木生物量(W)=na(D<sup>2</sup>H)<sup>b</sup>

式中: W为样地生物量(t); n为样地林木株数; a, b为无量纲系数; D为样地林木平均胸径(cm); H为样地林木平均树高(m)。

Simpson 指数:  $D = 1 - \sum_{i=1}^s (Ni/N)^2$

Shannon-Weiner 指数:  $H = -\sum_{i=1}^s Pi \log_2 Pi$

Margalef 丰富度指数 R=S, 群落中物种个数

Pielou 均匀度指数(J<sub>sww</sub>)=H/ln(S)

其中: N<sub>i</sub>为种 i 的个体数, N 为群落中全部物种的个体数; S 为物种数目, P<sub>i</sub>为属于种 i 的个体在全部个体中的比例。

β 多样性( between-habitat diversity ) Sorensen

指数:  $SI = \frac{2c}{a+b}$

$a$ 、 $b$  为两群落的物种数， $c$  为两群落共有的物种数。

### 3 结果与分析

通过对4条样带中37个样地265个样方的调查，在2个流域中共调查植物61种，涉及22科，52属，其中菊科(*Compositae*)13种，禾本科(*Gramineae*)9种，豆科(*Leguminosae*)9种，蔷薇科(*Rosaceae*)7种，其它18科植物分别占1~2种。合沟流域内植物种类共51种，柴沟流域内植物种类46种，两流域中共有的物种36种。灌木和小乔木共10种。合沟流域主要为草本群落，并没有任何成林迹象，仅在沟底和部分陷穴中出现少株小叶杨(*Populus simonii*)和旱柳(*Salix matsudana*)。柴沟流域植被为乔-灌-草群落类型，并形成明显的垂直结构。乔木层以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和山杏(*Prunus armniaca*)为主，另有零星山桃(*Prunus davidiana*)，灌木层以沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为主，其间混合分布油松(*Pinus tabulaeformis*)和侧柏(*Platycladus orientalis*)幼林，同时偶见小叶锦鸡儿(*Caragana microphyllia*)和扁核木(*Prinsepia uniflora*)天然植株。林分类型主要以沙棘-刺槐混交林和沙棘-山杏混交林，林下覆盖草本植被。

#### 3.1 植被外貌特征与生物量对比

表2反映出，采用人工造林生态修复的柴沟流域植被盖度高于自然恢复状态的合沟流域植被盖度的11.3%，而且并未包括树木与草本层间重叠部分。柴沟流域植被的平均高度已超过合沟流域植被平均高的3倍多，树木的高度在这里突显出其贡献率。盖度和平均高这两个指标反映出，人工造林后植物所占有的水平和垂直空间面积以及植物同化面积增加速度明显快于自然恢复状态。生物量是两流域差别更加明显的指标，柴沟流域全部生物量已是合沟流域生物量的6.82倍，同时，对表1应做补充的是，柴沟流域中林草生物量比为2.768 3，而合沟流域林草生物量比仅为0.000 6，说明人工造林进行生态修复的柴沟流域中林分生物量贡献率较大，而处于自然恢复的合沟流域林木生物量极小，生物量贡献主要来自草本植物。仅从两个流域的草本生物量来看，柴沟流域也要明显高于合沟流域。说明柴沟流域引入人工林后，充分截留降雨，同时，林木

表2 合沟流域与柴沟流域植物群落指标

Table 2 The major community indexes of vegetation in Chaigou and Hegou watershed

流域	群落类型	盖度/%		平均高/cm		生物量/(t·hm <sup>-2</sup> )	
		<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>
合沟	草本	42.08	15.74	21.35	14.24	1.74	1.13
柴沟	乔-灌-草	53.38	20.34	87.04	51.53	11.87	6.96

*M*为平均值；*S*为标准差

枯枝落叶的覆盖和分解后可改善土壤理化性质，增加肥力，有利的水养环境促使其林下植被生长旺盛，积累有机物质和能量转化的能力更强。

#### 3.2 植被群落多样性指数对比

表3反映出，柴沟流域植物群落的物种Margalef指数略小于合沟流域的这一指数，说明柴沟流域样方中的物种数目和群落内种的绝对密度略小于合沟流域。2个流域植物群落Simpson指数、Shannon-Weiner指数和Pielou指数均很接近，Simpson指数侧重于反映优势植物种类在各个样方中的分布情况，Shannon-Weiner指数则侧重于反映全体植物种类在各个样方中的分布，Pielou指数反映群落内种的相对密度，与物种数目无关，在物种数目一定的情况下均匀度只与个体数目或生物量等指标在各个物种中分布的均匀程度有关。虽然两流域这三个指数很接近，但指数构成的来源是不同的，合沟流域多样性指数构成主要来源于50余种草本植物，而柴沟流域多样性指数构成一方面来源于不足40种的草本植物，另一方面来源于8种乔木和灌木。说明人工林引入后，林下草本植被种类数受到影响，但林木的分布弥补了草本植物多样性构成的不足。两流域间Sorensen指数为0.742，此指数大于0.6时一般认为相似性较大。说明在两个不同环境梯度下，不同生境群落之间主要物种数量组成还是很接近的。

表3 合沟流域与柴沟流域植物群落多样性指数

Table 3 The diversity indicators of vegetation in Hegou and Chaigou watershed

流域	Margalef 指数(R)	Simpson 指数(D)	Shannon-Weiner 指数(H)	Pielou 指数(J <sub>sw</sub> )	Sorensen 指数(SI)
合沟	9.22	0.84	2.18	0.66	0.742
柴沟	7.56	0.78	2.20	0.73	

#### 3.3 草本群落结构对比

如图2所示，通过盖度—密度双序分析确认。合沟流域中有两个明显的优势种，分别为铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)和芨蒿(*Artemisia giraldii*)这两种植物可确定为主要建群种，植物群落可命名为芨蒿+铁杆蒿群落。另有三种植物也表现了一定的优势，可确定其为次要建群种，这三种植物分别为长芒草(*Stipa bungeana*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)。而代表其它植物种类的散点均集中在坐标圆点附近，其中包涵了多个非建群种和少见种。

在柴沟流域中(如图3)，铁杆蒿和芨蒿仍为两个明显优势种，也是主要建群种，而次要建群种则出现了五个种类，仍有针茅、达乌里胡枝

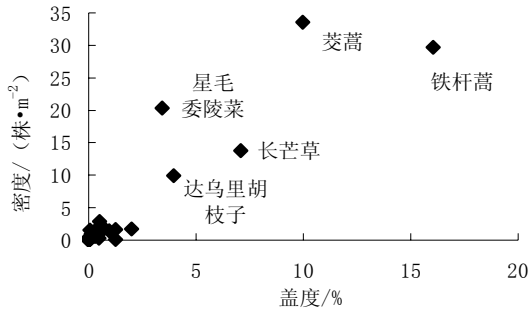


图2 合沟流域植物种类的双因素分布图

Fig.2 The two-factor distribution of plant species in Hegou watershed

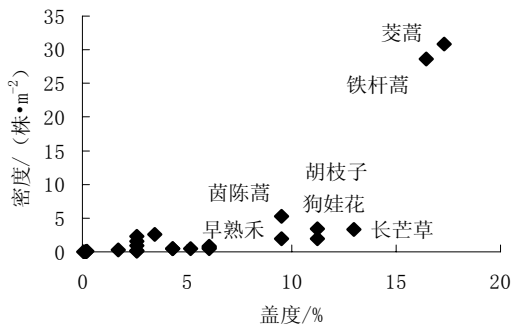


图3 柴沟流域植物种类的双因素分布图

Fig.3 The two-factor distribution of plant species in Chaigou watershed

子、阿尔泰狗娃花，同时增加了早熟禾 (*Poa annua*) 和茵陈蒿 (*Artemisia capillaries*) 两个种类。其它部分种类虽有一定盖度，但其密度很小，是因为柴沟整体植被生长较旺盛的缘故，其单株植物盖度相对较大，但仍不能确定其为建群种类，而是非建群种和其它少见种。

### 3.4 草本群落主要植物组成对比

为对比两个流域草本植物群落中植物种类组成，在表2中排列了两个流域中重要值大于1%的植物种类。从表3中看出，虽然两个流域中草本群落建群种类接近，但两个流域中各植物种重要值的大小顺序差别较大，甚至一些植物种类，如芦苇、甘草、紫花苜蓿、草木樨状黄芪、三亚绣线菊和冷蒿、火绒草、蓬子菜、百里香、糙叶黄芪等物种重要值明显不同。这个结果说明，两个流域草本群落中的植被构成比例有所区别。但通过方差检验可看出，两个流域草本群落中重要值大于1%的各植物种的相对指标间总体差异不显著，说明两个流域的主要草本植物的分布状况仍很接近。进而验证了前面植物多样性指数反映出的林木对草本群落物种分布还没有起到较大影响。

## 4 结论与讨论

自然恢复和人工造林修复均形成了进入一定

演替阶段的植物群落，地带性植被盖度和植被总盖度达到了部分恢复目标水平。两个流域均以地带性旱生植物为主，菊科、禾本科、豆科、蔷薇科这四科植物在两个流域分别占69%和77%。草本群落主要植物种类组成和分布较接近，差异不显著，但柴沟人工造林修复流域中芦苇和甘草等植物在群落中表现出一定优势度，对目前以菊科为主要建群种的群落在今后的演替方向上势必产生影响。同时，物种丰富度在降低，尤其是林下草本植物种类已不足40种。虽然两个流域植物多样性指数较接近，但多样性指数构成来源不同，合沟自然恢复流域多样性指数主要来源于草本植物，柴沟流域多样性指数来源于林下草本植物和乔灌木。

两个流域中的植被盖度、高度、生物量区别明显，柴沟流域植被表现出相对旺盛的生长特征，反映其物质和能量的输入和固定能力很强，具有较强活力<sup>[17-19]</sup>。

通过人工造林途径的柴沟流域已初步形成乔-灌-草群落，自然封育的合沟流域仅有极少量乔灌木种类出现，恢复10年内未表现出成林迹象，也验证了秦伟等<sup>[20]</sup>的研究结论，陕北半干旱黄土区仅靠自然恢复短时期内很难成林，通过适宜的人工造林可缩短其恢复进程，但必须重视林分结构和密度的控制，充分发挥自然恢复力，否则会影响植物丰富度和多样性。但仅靠封育在短时间内未能成林，而单纯的草本群落结构其生态作用相对较小<sup>[21]</sup>，也很难达到黄土高原的植被恢复总体目标。通过人工造林很快形成乔+灌+草群落，在植物多样性没有受到明显影响的情况下植被盖度和高度明显高于单纯封禁的流域，并且已经积累出可观的生物量。说明，合理的人工造林可加速当地的植被恢复进程，同时可以提供更高的生产力价值。但在该地区也有造林不成功的事例和一些林地形成土壤干层现象等<sup>[22]</sup>，甚至有研究者认为在降雨量550 mm以下地区不适宜大面积造林恢复。产生这种负面事例和观点的原因一般是在具体的经营措施上忽视了一定的生态原理和造林原则，没有给自然恢复力留有一定空间，从而使研究者们视线集中在土壤水分问题上。邹厚远<sup>[18]</sup>、刘建军等<sup>[23]</sup>对黄土丘陵沟壑区研究后得出结论：要遵循植被地带性规律，根据气候资源、土壤水分状况和植物的生物生态学特性，实行适地适树适草，采取适宜的技术措施，在陕北黄土丘陵沟壑区恢复和重建植被是完全可行的。黄土区封育不应单纯地“封”，还应因地制宜地补植、抚育、防治病虫害、安排生态用水等，以期尽快恢复植被，改善生态，提高防护功能<sup>[24]</sup>。如偏重人为作用则要

表 4 生态修复流域与生态恢复流域草本植被主要植物种群落指标对比  
Table 4 Comparison of community indexes of major herbaceous species between Chaigou and Hegou watershed

植物种类	相对频度/%		相对密度/%		相对优势度/%		相对质量/%		重要值/%	
	合沟	柴沟	合沟	柴沟	合沟	柴沟	合沟	柴沟	合沟	柴沟
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	30.87	30.47	33.99	35.3	12.49	11.88	37.04	35.25	77.35	77.65
芨芨草 <i>Artemisia giraldii</i>	19.19	28.17	27.12	38.11	9.96	12.5	17.05	18.67	56.27	78.78
长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	13.65	3.26	11.16	4.14	10.55	9.38	9.61	2.44	35.36	16.78
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	0.03	10.6	0.06	0.78	0.02	4.38	0.12	14.31	0.23	15.76
星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>	6.57	0.74	16.45	1.91	4.98	1.88	4.24	0.33	28	4.53
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	7.62	3.04	8.01	2.37	11.62	8.13	7.29	2.77	27.25	13.54
甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	0	6	0	0.99	0	4.38	0	8.6	0	11.37
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	0.95	1.41	2.36	4.18	6.46	8.13	0.95	1.34	9.77	13.72
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	0	4.82	0	2.87	0	1.88	0	5.12	0	9.57
委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	2.41	0.59	1.32	0.57	4.19	3.75	1.52	0.62	7.92	4.91
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	3.85	0.08	1.39	0.07	2.64	0.15	1.51	0.09	7.88	0.39
白羊草 <i>Bothriochloa laschaemum</i>	0.82	0.15	1.45	0.53	4.79	3.13	0.9	0.15	7.06	3.81
早熟禾 <i>Poa annua</i>	1.85	1.93	1.18	2.44	4.01	6.88	1.48	1.18	7.03	11.25
远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	0.24	0.15	1.23	0.6	5.37	4.38	0.42	0.13	6.84	5.13
毛隐子草 <i>Cleistogenes Syuarros</i>	1.17	0.22	1.08	0.57	3.71	3.13	0.8	0.36	5.96	3.92
糙叶黄芪 <i>Astragalus scaberrimus</i>	0.42	0.05	1.02	0.04	3.61	0.12	0.75	0.07	5.05	0.28
百里香 <i>Thymus vulgaris</i>	2.41	0.03	1.24	0.02	1.37	0.11	1.82	0.05	5.02	0.21
窄颖赖草 <i>Leymus angustus</i>	1.18	1.85	1.69	3.22	1.86	2.5	1.85	2.11	4.73	7.57
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>	0.21	2.29	0.8	6.51	3.61	6.88	0.31	1.61	4.62	15.68
二裂叶委陵菜 <i>Potentilla bifurcate</i>	0.49	1.19	0.76	1.13	3.13	1.88	0.46	0.94	4.38	4.2
草木樨状黄芪 <i>Astragalus melilotoides</i>	0.01	1.85	0.01	0.32	0.01	1.25	0.02	2.57	0.05	3.42
火绒草 <i>Leontopodium alpinum</i>	0.59	0.05	0.49	0.04	2.44	0.05	0.61	0.09	3.52	0.22
三亚绣线菊 <i>Spiraea trilobite</i>	0.01	0.74	0.01	0.14	0.01	1.88	0.03	0.15	0.06	2.76
鳍蓟 <i>Olgaea leucophylla</i>	0.89	0.15	0.25	0.18	2.25	1.88	3.17	0.13	3.39	2.21
蓬子菜 <i>Gallium velum</i>	0.15	0.02	0.46	0.02	0.98	0.11	0.21	0.02	1.59	0.17
平均值 ( <i>M</i> )	3.82	3.99	4.54	4.28	4.00	4.02	3.69	3.96	12.37	12.31
均方 ( <i>MS</i> )	53.30	63.98	77.38	98.13	13.62	13.50	63.07	63.97	360.03	422.52
方差检验计算值 ( <i>F</i> )	0.833		0.788		1.009		0.986		0.852	
概率( <i>P</i> )	0.329>0.05		0.282>0.05		0.491>0.05		0.486>0.05		0.349>0.05	

$\alpha=0.05$

效益不高、进展缓慢<sup>[25]</sup>。通过人工造林能有效地促进林下物种遗传多样性的恢复<sup>[26]</sup>。对于退化群落而言，封育是一种有效的植被恢复和物种多样性保育方式<sup>[27]</sup>。在陕北黄土高原丘陵沟壑区退耕还林植被恢复建设中，应充分考虑当地降水条件并结合生态效益与经济效益<sup>[28]</sup>。封禁后完全依赖于生态自身的恢复是不能满足人类经济、生存发展的需要，生态系统会按自身的一些演替来完成，但生态恢复需要一个漫长的过程，在短期内不能发挥出良好的生态和经济效益，不能满足我们的现实需求时间尺度，生态经济耦合是生态恢复成败与否及能否持续的关键<sup>[29-30]</sup>。

#### 参考文献：

- [1] 刘加珍, 陈亚宁, 陈永金, 等. 荒漠河岸生态系统退化机理的定量分析[J]. 生态环境学报, 2010, 19(1): 131-139.  
LIU Jiazhen, CHEN Yaning, CHEN Yongjin, et al. Quantitative analysis of the degradation of desert riparian ecosystem[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(1): 131-139.
- [2] MARC D, VINCENT J, JEAN-FRANÇOIS F. Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implications in site restoration[J]. Masfarauad Chemosphere, 2008, 74: 57-63.
- [3] CARREIRA J A, VINEGLA B, GARCIA-RUIZ R, et al.. Recovery of biochemical functionality in polluted flood plain soils: The role of microhabitat differentiation through revegetation and rehabilitation of the river dynamics[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40: 2088-2097.
- [4] HARWELL. SHARFSTEIN B. Submerged aquatic vegetation and bulrush in Lake Okeechobee as indicators of greater Everglades ecosystem restoration[J]. Ecol. Indicat, 2009, 10: 1016.
- [5] MORENO D M, HERAS, NICOLAU J M, et al.. Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment[J]. Ecological Engineering, 2008, 34: 168-178.
- [6] 王志楼, 谢学辉, 王慧萍, 等. 典型铜尾矿库周边土壤重金属复合污染特征[J]. 生态环境学报, 2010, 19(1): 113-117.  
WANG Zhilou, XIE Xuehui, WANG Huiping, et al. Combined pollution character of heavy metals in soils around a typical copper tailing[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(1):

- 113-117.
- [7] 焦巨仁. 生态修复的要点与思考[J]. 中国水土保持, 2003, 2: 1-2.  
Jiao Juren. The main points of ecological restoration and Thinking[J]. Soil And Water Conservation in China, 2003, 2: 1-2.
- [8] 梁宗锁, 左长清, 焦巨仁. 生态修复在黄土高原水土保持中的作用[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(1): 20-24.  
Liang Zongsuo, Zuo Changqing, Jiao Juren. The role of ecology restore on soil and water co-nsternation in Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry College, 2003, 18(1): 20-24.
- [9] WHICKERA J J, PINDER J E, BRESHEARS D D. Thinning semiarid forests amplifies wind erosion comparably to wildfire: Implications for restoration and soil stability[J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72: 494-508.
- [10] SHINNEMANA D J, BAKERB W L, LYONC P. Ecological restoration needs derived from reference conditions for a semi-arid landscape in Western Colorado USA[J]. Journal of Arid Environments, 2008, 72: 207-227.
- [11] 常兆丰, 韩福贵, 仲生年, 等. 民勤荒漠草场植物群落自然更新和退化演替初探[J]. 草业科学, 2008, 25(8): 13-18.  
CHANG Zaofeng, HAN Fugui, ZHONG Shengnian, et al. Preliminary study on the natural regeneration and degenerated succession of the plant community of desert grassland in Minqin[J]. Pratacultural Science, 2008, 25(8): 13-18.
- [12] 邹厚远. 陕北黄土高原植被区划及与林草建设的关系[J]. 水土保持研究, 2000, (2): 96-101.  
ZOU Houyuan. A study on correlation between vegetation division and construction of forest and grass-lands in Loess Plateau of Northern Shannxi[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(2): 96-101.
- [13] 唐进年, 张晓明, 徐先英. 不同人工措施对沙质荒漠生态恢复与重建初期效应的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1748-1753.  
TANG Jinnian, ZHANG Xiaoming, XU Xianyinf. Effect of different artificial measures on restoration and reconstruction of desert ecosystem at preliminary stage[J]. Ecology and Environment, 2007, 16(6): 1748-1753.
- [14] 王文颖, 王启基, 王刚, 等. 高寒草甸土地退化及其恢复重建对植被碳、氮含量的影响[J]. 植物生态学报, 2007, 31(6): 1073-1078.  
WANG Wenying, WANG Qiji, WANG Gang, et al.. Effects of land degradation and rehabilitation on vegetation carbon and nitrogen content of alpine meadow in China[J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(6): 1073-1078.
- [15] 张文辉, 刘国彬. 黄土高原地区植被生态修复策略与对策[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(3): 114-118.  
ZHANG Wenhui, LIU Guobin. Countermeasures and strategy to vegetation rehabilitation in Loess Plateau, China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7(3): 114-118.
- [16] 於方, 周昊, 许申来. 生态恢复的环境效应评价研究进展. 生态环境学报 2009, 18(1): 374-379.  
YU Fang, ZHOU Hao, XU Shenlai. Progresses of environmental effect evaluation on ecological restoration[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(1): 374-379.
- [17] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京: 科学出版社. 2002: 117-122.  
REN Hai, PENG Shaolin. Introduction to Restoration Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2002: 117-122.
- [18] 邹厚远, 关秀琦, 韩蕊莲, 等. 关于黄土高原植被恢复的生态学依据探讨[J]. 水土保持学报, 1995, (4): 1-4.  
ZOU Houyuan, GUAN Xiuqi, HAN Ruilian, et al. The probe of ecological basis of vegetation-renewing in Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 9(4): 1-4.
- [19] 郝璐, 王静爱, 张化. 北方草地畜牧业生态系统健康综合评价与诊断[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1456-1465.  
HAO Lu, WANG Jingai, ZHANG Hua. Comprehensive assessment and diagnosis of the health of animal husbandry ecosystems in north China pastures[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1456-1465.
- [20] 秦伟, 朱清科, 刘中奇, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被自然演替系列及其植物物种多样性特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(4): 507-513.  
QIN Wei, ZHU Qingke, LIU Zhongqi, et al. Study on natural seers of vegetation and plant species diversity on returning land for farming to forests and grassplots in the hilly-gully regions of the Loess Plateau[J]. Arid Zone Research, 2008, 25(4): 507-513.
- [21] 关君蔚. 水土保持原理[M]. 北京林业大学, 1986: 55-60.  
GUAN Junwei. Principle of Soil and Water Conservation[M]. Beijing Forest University, 1986: 55-60.
- [22] 王延平, 邵明安, 张兴昌. 陕北黄土区陡坡地人工植被的土壤水分生态环境[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 6769-3778.  
WANG Yanping, SHAO Mingan, ZHANG Xingchang. Soil moisture ecological environment of artificial vegetations in steep slope of loess region in North Shaanxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 6769-3778.
- [23] 刘建军, 王得祥, 雷瑞德, 等. 陕北黄土丘陵沟壑区植被恢复与重建技术对策[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(3): 12-15.  
LIU Jianjun, WANG Dexiang, LEI Ruide, et al. Strategy on reconstruction of vegetation on hill-gully area of Loess Plateau in Northern Shaanxi[J]. Journal of Northwest Forestry College, 2002, 17(3): 12-15.
- [24] 杜晓军, 姜凤岐, 焦志华. 辽宁西部低山丘陵区植被恢复研究: 基于演替理论和生态系统退化程度[J]. 应用生态学报, 2004, 9: 1508-1511.  
DU Xiaojun, JIANG Fengqi, JIAO Zhihua. Vegetation restoration in western Liaoning hilly region: A study based on succession theory and degradation degree of ecosystem[J]. Journal of Applied Ecology, 2004, 9: 1508-1511.
- [25] 刘震. 发挥生态的自我修复能力加快水土流失防治步伐[J]. 中国水土保持, 2001, 12: 3-5.  
LIU Zhen. Developing the self-restoration capability of ecology and speeding up the control and management of soil and water loss[J]. Soil and Water Conservation in China, 2001, 12: 3-5.
- [26] 李启森, 赵文智. 论退耕还宜[J]. 世界林业研究, 2004, 5: 52-54.  
LI Qisen, ZHAO Wenzhi. Discussing about proceeding scientific renew and suitable using after- stop farming[J]. World Forestry Research, 2004, 5: 52-54.
- [27] 冯珏, 王中生, 安树青. 人工与自然恢复条件下地被层优势种大羽藓的遗传多样性比较[J]. 武汉植物学研究, 2006, 24(3): 201-206.  
FANG Yu, WANG Zhongsheng, AN Shuqing. A comparison of genetic diversity of the ground layer dominant species thuidium cymbifolium in planted and naturally regenerated forests[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2006, 24(3): 201-206.
- [28] 张炜银, 陶建平. 岷江上游大沟流域自然封育灌丛群落特征[J]. 林业科学研究, 2007, 20(4): 515-519.  
ZHANG Weiyin, TAO Jianping. Community characteristics of shrub vegetation by forest closing in Dagou catchment upper

- reaches of Minjiang River[J]. Forest Research, 2007, 20(4): 515-519.
- [29] 党小虎, 刘国彬, 赵晓光. 黄土丘陵区县南沟流域生态恢复的生态经济耦合过程及可持续性分析[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6322-6332.
- DANG Xiao, LIU Guobin, ZHAO Xiaoguang. Ecological-economic coupling process and sustainability for ecological rehabilitation of Xiannangou catchment in the Loess Hilly Region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6322-6332.
- [30] 张新时. 关于生态重建和生态恢复的思辨及其科学涵义与发展途径[J]. 植物生态学报 2010, 34(1): 112-118.
- ZHANG XinShi. An intellectual enquiring about ecological restoration and recovery, their scientific implication and approach[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 112-118.

## Comparison of vegetation community between natural recovery and artificial restoration in semiarid loess area

LIU Zhongqi<sup>1</sup>, ZHU Qingke<sup>1</sup>, QIN Wei<sup>1,2</sup>, LI Ping<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>, KUANG Gaoming<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating, Ministry of Education//Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Ministry of Education, Beijing 100044, China

**Abstract:** Aimed to study the effective approach of vegetation restoration in semiarid loess area, two watersheds in Wuqi county, Shannxi province, one of which used the vegetation restoration methods of enclosed and another artificial afforestation, were taken as survey area. In growing season, two transect lines consisted of plots of 20×20 m, and along the direction of down and cross slope respectively, were set up in each of the two survey watershed. In each plot, five square quadrates were selected, which located in the center and quadrant of diagonals respectively, and with the size of 1×1m for herbaceous vegetation and 5×5m for tree vegetation. The total 185 herbaceous quadrates and 80 tree-shrub quadrates were obtained, 105 herbaceous quadrates of which in Hegou watershed, the rest all in Chaigou watershed. Using the method of phytocoecology and phytocoenology, vegetation community attributes including plant species, number, height, cover of every species, aboveground biomass, basal diameter, tree height and crown diameter were measured in each quadrate. Based on this, vegetation communities in the two watersheds were compared and analyzed. The results show: (1) There are 61 species altogether in two surveyed watersheds, 51 of which in Hegou watershed and other in Chaigou watershed. Besides, 36 species are in the tow watersheds meanwhile. (2) After 10 years restoration, trees-brushes-grasses community has formed in Chaigou watershed while still herbaceous community in Hegou. The main constructive species of herbaceous community in the tow watersheds all are *Artemisia sacrorum* Ledeb. and *Artemisiagiraldii* Pamp. (3) The average cover, average height and total biomass of vegetation community in Chaigou are significantly larger than Hegou watershed. Simpson index and Shannon-Weiner index of vegetation community in two watersheds are similar, and Sorensen index between two watersheds is 0.742. Differences of importance index of the main herbaceous plant species between two watershed were not significant. All of this suggests that the process of vegetation restoration in semiarid loess area can be accelerated by appropriate artificial afforestation.

**Key words:** ecological restoration; enclosure; artificial afforestation; vegetation community; accelerated