

晋北生态脆弱区人工种源补充对植被的影响研究^{*}

张志远

(忻州市水土保持科学研究所, 山西 忻州 034000)

摘要:在晋北干旱半干旱生态脆弱区, 选择宁武县张家山流域开展水土保持生态修复试验, 多方位探讨了生态自然修复下, 辅以人工促进措施, 对植被恢复的定性定量影响。试验选择乡土树种补充种源, 按树种风媒传播范围确定补植密度, 因地制宜配置混交方式, 采用大营养袋定植等综合技术, 提高造林成活率。经过5 a 试验, 当年造林成活率达90%~95%, 保存率达80%~85%, 试验区植被盖度达72.2%, 年均增幅达8.3%, 人工补充种源新增盖度10.6%, 新增生物产量33.72%。植被群落逐渐向物种分布均匀, 高低错落的结构演替。

关键词:晋北; 生态脆弱区; 植被恢复; 种源补充

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)04-0121-06

Research on Influence of Man-added Sources on Vegetation in Vulnerable Area of Northern Shanxi Province

ZHANG Zhi-yuan

(Institute of Soil and Water Conservation of Yizhou City, Yizhou, Shanxi 034000, China)

Abstract: In vulnerable area of arid and semiarid northern Shanxi organism's habits, study on soil and water conservation and ecological restoration was carried out in Zhangjiashan Valley of Ningwu County. Multi-directionally qualitative and quantitative impact to vegetation restoration by artificial measures to promote was discussed. The trial native trees were chosen as the added source of trees. Replanting density was determined according to the wind-borne species scope of the spread. The mixed mode was figured out based on local condition. The integrated technology such as large bags of nutrition field planting was used to improve the survival rate of afforestation. After 5 year test, the survival rate of planted trees has been up to 90%~95%, and the reserved rate has been up to 80%~85%. The vegetation coverage of experimental zone has been up to 72.2%, the growth of average annual has been up to 8.3%, the new increased coverage of man-added sources has been up to 10.6%, the new increased biological production has been up to 33.72%. Vegetation community has been gradually evolved which species distribution was uniform and the structure was scattered.

Key words: northern Shanxi province; vulnerable area; vegetation restoration; man-added source

晋北黄土高原半干旱地区气候干旱, 降水少而集中, 水土流失严重, 生态环境脆弱。多年来的生态建设偏重植被重建, 人为植树种草行为干预自然进程, 对生态系统扰动较多, 相对忽略了生态系统的自身修复能力, 从而没有使生态环境恶化状况得到有效遏制。如造林中要产生30%~40%的林地创面, 破坏了原来下垫面的枯落物和灌草植被以及种子自然萌发更新的环境; 较低的造林保存率又使补植过

程重复扰动下垫面, 使植被生存环境不断受损, 影响了原生植被的恢复更新。而单纯依靠自然演替达到复层植被, 需要太长时间。因此, 必须采取新的措施, 依靠大自然的力量和人工促进相结合, 加快植被恢复^[1]。即充分利用大自然的自我修复能力, 恢复生态系统原有的保持水土、调节小气候、维护生物多样性的生态功能和开发利用等经济功能^[2], 辅以人工补充种源措施, 加快植被演替速率, 促进植被恢

* 收稿日期: 2008-12-11

基金项目: 山西省科技攻关项目(052026)

作者简介: 张志远(1956-), 男, 工程师, 主要从事水土保持生态修复研究。E-mail: zzy100558@163.com

复。为了研究人工补充种源措施对其植被的影响, 2003–2007 年开展了晋北生态脆弱区人工补充种源对植被影响的研究, 以探索退化生态系统在自然演替过程中导入人为手段加以调控, 改变植被演替的方向和速度, 缩短生态恢复的时间过程^[3]。

1 试验区概况

试验示范区设在山西省宁武县汾河上游左岸的张家山流域, 地处黄土丘陵区 and 土石山的过渡带。由三条汾河一级支流组成, 总面积 15.03 km^2 , 地理坐标为北纬 $38^\circ 35' 36'' - 38^\circ 38' 35''$, 东经 $112^\circ 03' 02'' - 112^\circ 06' 46''$ 。气候类型属暖温带半干旱季风气候区, 年平均气温 6.5°C , 极端最高气温 36.7°C , 极端最低气温 -27.2°C , $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $2\,430^\circ\text{C}$, 年日照时数 $2\,849.5 \text{ h}$, 多年平均降雨量 447.1 mm , 年蒸发量 $1\,951.2 \text{ mm}$, 无霜期 123 d 。土壤为山地褐土, 平均土层厚度 $2 \sim 4 \text{ m}$, 林草覆盖率 33.3% 。植被以灌草植被为主, 主要灌木为黄蔷薇、沙棘、虎榛子、山桃、山杏、荆条等, 主要草种有披碱草、蒿草、早熟禾、兰花棘豆、野青茅、狼毒、达呼里胡枝子等。乔木主要有油松、落叶松、山杨、白桦、旱柳等, 零星分布在沟底和阴坡。流域海拔高度 $1\,300 \sim 1\,600 \text{ m}$, 沟壑密度 3.5 km/km^2 , 地形破碎, 土壤瘠薄, 植被稀疏, 水土流失严重, 年均土壤侵蚀模数 $3\,392.5 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。涉及一个乡镇的 9 个自然村, 243 户, 1 037 人, 人口密度 69 人/km^2 。

2 研究方法

围绕建立乡土树草种为主体, 以恢复自然景观为目的, 具有较好水土保持功能和稳定的防护性植被为目标^[4]。在全面实施封禁措施的区域, 按植被地带性分布规律, 选择补充种源建群树种; 按树种风媒传播平均范围确定合理的补植密度; 按树种习性因地制宜配置混交方式; 运用大营养袋定植, 提高造林成活率。采用典型样地法, 按试验区自然地带类设置 4 个试验区: 退耕区、灌草区、裸地区、裸岩区; 以人工种源补充对植被的影响为核心设置植被动态监测指标, 进行观测与实验研究。建立示范区面积 15.03 km^2 , 推广面积 11 km^2 。

2.1 种源补充方法

要补充种源, 使之有利于植被的较快健康恢复, 不仅要考虑未来植物群落的组成、结构等, 也要考虑苗木成活、林木密度以及幼林的水量平衡。因此, 需要采取综合配套措施, 形成较为完善的技术体系。为此, 在种源补充过程中, 采取了多项先进实用技术。

2.1.1 树种选择 为了解决种源分布不均的问题, 选择地带性植被优势种作为种源补充植物种, 模拟天然植被结构, 实行乔灌草复层混交快速建造稳定植被的科学途径^[5]。根据当地退化生态系统植被自然恢复中, 草种种类丰富, 灌木分布不均匀, 乔木树种短缺的状况, 参照当地植被演替顶级群落类型, 选择耐寒、耐旱、易扩散的乡土树种油松、华北落叶松、云杉为乔木种源补充树种。选择沙棘、柠条为灌木种源补充树种。

2.1.2 种源补充密度确定 为了解决适度稀植, 减少对地表扰动的问题, 依据成年树种风媒种子自然扩散和根蘖自然扩散范围, 作为种源补充的适宜密度, 减少补植补种密度, 减轻对生态环境的扰动破坏。在保证生态系统稳定的条件下, 利用种源自然扩散, 加速植被自然演替, 形成新的植被群落。

2.1.3 工程整地措施 为了解决幼树成活所需水分问题, 确保造林成活率及幼龄林正常生长发育, 工程整地依据植物需水量计算和水量平衡分析, 确定工程技术指标。经计算, 坡面整地间距取 $4 \sim 5 \text{ m}$ 。因流域植被分布不均匀, 尽量减少对原有植被的扰动, 工程布置采取灵活的形式。退耕地采取水平沟整地, 水平间距 5 m , 水平沟按 24 h 最大暴雨拦蓄量设计; 其他地类除坡长参照设计外, 工程形式多样, 根据原有植被的疏密见缝插针, 因地制宜, 灵活布设鱼鳞坑。

2.1.4 植被配置 为了解决树种间未来空间结构协调问题, 根据自然植被分布状况, 依据种源补充密度设计, 退耕地类按 $3 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 株行距, 油松、落叶松、云杉株间混交栽植; 行间按 3 m 株距点播柠条、沙棘。灌草植被较好的地类, 以混交方式主要补植乔木树种, 较差的地类主要补植灌木树种。

2.1.5 栽植技术 解决干旱季节造林成活率低的问题, 减少地面重复扰动, 提高造林成活率, 是种源补充的关键。针对试验区生态环境退化严重, 气候干旱寒冷的现状, 苗木中针叶林采用大营养袋蹲苗栽植技术, 即采集森林地面上的 $3 \sim 4 \text{ a}$ 生野生苗, 在苗圃用 $12 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 大号营养袋定植, 归圃培育一年, 使苗木根系发育, 较快渡过缓苗期。造林时, 剥去塑料袋将苗木连同营养土整体移栽到造林地。这种大苗大袋定植, 由于根系未受到损伤, 土体大, 贮存水分、养分多, 抗逆性强, 能较快地适应立地环境生长。此外, 还有效地延长了造林时间, 可根据土壤水分状况选择不同造林时机, 实现春、夏、秋 3 季造林。灌木造林主要采取雨季穴播方式, 条件较差的地类采用一年生营养袋苗定植。

2.2 植被调查和标准地设置

实验区选择 3 条调查路线, 包括梁、峁、坡、沟谷等主要地类, 进行主要群落类型和植物种资源调查; 选择代表性地段建立了 4 个标准地, 标准地大小采用我国常用标准^[6], 按针阔混交林植被设置。面积为 20 m×20 m, 在样地内分坡面上、中、下三个坡位设置样方, 在各坡位随机设置 1 个 2 m×2 m 的植被样方(每年重新设置)。

2.3 植被指标测定

所测定的植被指标有: 植物株(丛)个体数量、高度、地径、胸径、冠幅、盖度、地上部分生物量和枯枝落叶量等。

2.3.1 盖度测定 盖度采用样方对角线法测定, 类似于样点截取法, 是目测法与样点截取法的结合^[7]。即在样方对角线水平放置钢卷尺, 其有刻度的一面朝上, 每隔一定长度用尖钢针垂直刺下, 用肉眼目测下刺点的覆盖物, 分辨植物种。有植被点记为“1”, 无植被记为“0”, 然后统计覆盖频度, 计算覆盖率。

表 1 油松成年母树种源扩散调查观测

| 树龄/ a | 繁殖株 数/株 | 平均 株高/cm | 地 径 /cm | 冠 幅/cm | | | 平均 距离/cm | 母树冠幅外树株 | |
|----------|------------|-------------|------------|--------|------|------|-------------|---------|---------|
| | | | | 纵 | 横 | 平均 | | 株数/株 | 平均距离/cm |
| 1 | 20 | 7.4 | 0.2 | 9.4 | 6.0 | 7.6 | 381 | 8 | 530 |
| 2 | 24 | 10.1 | 0.3 | 7.6 | 8.4 | 8.0 | 360 | 7 | 524 |
| 3 | 32 | 21.0 | 0.5 | 12.1 | 11.8 | 11.9 | 323 | 12 | 504 |
| 4 | 20 | 19.1 | 0.4 | 7.8 | 9.2 | 9.2 | 375 | 10 | 510 |
| 5 | 8 | 47.8 | 1.0 | 31.5 | 31.3 | 31.4 | 421 | 5 | 623 |
| 6 | 5 | 49.5 | 1.0 | 41.0 | 31.0 | 36.0 | 378 | 2 | 535 |
| 7 | 4 | 69.0 | 1.5 | 36.0 | 26.0 | 31.0 | 452 | 3 | 520 |

注: 表内为随机抽样 6 株孤立母树幼苗平均繁殖数, 距离指幼苗距母树中心距离。

从表 1 可看出, 林下油松幼苗主要分布在距母株 5.35 m 的范围内, 每株母树林下幼苗 112 株, 年均 18.7 株。调查过程中发现, 地面幼苗分布不均匀, 多在黄刺玫等灌草丛中。说明油松幼苗喜荫, 林下更新需要适度的庇荫, 油松从松果开裂落到地面, 萌发过程还需要一定的枯落层来改变种子自然催芽和生长的条件, 而林地产生枯落物需要一个积累过程, 因此, 需要地面有一定盖度的灌草丛; 灌草丛从适应性和积累枯落物等方面优于乔木纯林。此外, 从植被的自然演替顺序看, 裸地需经过灌草群落才能到达乔木林群落。可见, 针叶林种源扩散需先形成灌草疏林。因此, 必须保证给林下灌草留出光照空间和适当的发育时期, 形成良好的灌草植被, 为籽种自然萌发创造条件, 让林分按自然规律循序渐进地恢复高级植被。用同样的方法对云杉、落叶松成年母树进行种源扩散调查, 从观测资料推断, 几种树

2.3.2 生物产量测定 采用收获法测定, 样方内每种植物分别用感量 0.1 g 的托盘天平称鲜重, 并按植物种抽样风干称重测定含水量, 计算各种样方生物干重。

2.3.3 生物多样性观测 植物多样性调查采用公式(1)计算辛普森指数。

$$\lambda = \sum_{i=1}^s \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \quad i=1, 2, 3, \dots, s \quad (1)$$

式中: n_i ——第 i 个种的个体数; N ——所有种的个体数; λ ——群落的辛普森指数。

2.3.4 植株空间结构调查 植株(丛)高、地径、胸径、冠幅等指标的动态变化, 采用钢卷尺、千分卡等测量。

3 结果与分析

3.1 补充种源密度成果分析

对种源补充树种, 选择自然生长的成年孤立母树进行种源扩散调查, 分析确定种源补充密度。其油松成年树种源扩散调查见表 1。

种源补充密度宜在 500~ 800 株/hm², 届时成林可达林冠郁闭。通过对 5 a 生柠条、沙棘单株最佳自然扩散范围调查, 其自然扩散范围为 1.5~ 1.7 m, 种源补充密度宜在 1 000~ 1 500 株/hm²。

3.2 种源补充树种生长状况

2007 年, 对定植 5 a 的补充种源树种和采取常规方法造林树种的植株生长情况进行了观测, 结果见表 2。

从表 2 可以看出, 生态修复区种源补充树种, 成活率、保存率、生长量都明显高于常规造林。其主要原因: 一是采取大营袋栽植, 苗木前期生长环境改善, 促进了苗木生长发育; 二是生态修复区, 立地环境逐步改善, 土壤水分、养分明显提高, 为苗木的后期发育创造了条件。

3.3 流域生物产量和盖度变化

3.3.1 盖度动态观测结果分析 分 4 种地类对流

域实施生态修复后的植被盖度进行了逐年观测,其 汇总结果见表 3。

表 2 树种生长状况观测

| 树种 | 生态修复区 | | | | | 对照区 | | | | | | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| | 树高/ cm | 地径/ cm | 冠幅/ cm | 当年新梢/ cm | 成活率/ % | 保存率/ % | 树高/ cm | 地径/ cm | 冠幅/ cm | 当年新梢/ cm | 成活率/ % | 保存率/ % |
| 油松 | 110.5 | 2.5 | 56.4 | 45.0 | 92.3 | 87.0 | 53.2 | 1.5 | 40.3 | 25.3 | 56.1 | 40.0 |
| 云杉 | 72.3 | 2.2 | 45.4 | 20.1 | 88.7 | 81.0 | 35.1 | 1.6 | 32.1 | 11.4 | 60.1 | 34.1 |
| 落叶松 | 143.3 | 3.5 | 82.7 | 81.3 | 95.6 | 90.5 | 61.4 | 1.9 | 44.4 | 28.5 | 65.6 | 45.8 |
| 沙棘 | 150.3 | | 103.2 | 28.4 | 98.4 | 95.4 | 67.0 | | 70.5 | 19.6 | 70.5 | 45.8 |
| 柠条 | 120.5 | | 98.4 | 25.4 | 92.4 | 97.2 | 80.1 | | 50.7 | 17.9 | 80.1 | 61.0 |

表 3 流域平均植被盖度汇总

| 区域 | 分区面积/ hm ² | 占总面积 权重 | 基础 盖度/% | 期末 盖度/% | 增长 总量/% | 增长 年数/a | 年均 增量/% | 面积加 权增量/% | 加权 总盖度/% |
|-----|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|
| 退耕区 | 729.87 | 0.49 | 27.78 | 76.67 | 48.89 | 5 | 9.78 | 4.79 | 37.57 |
| 阳坡区 | 567.67 | 0.38 | 34.44 | 73.33 | 38.89 | 5 | 7.78 | 2.96 | 27.87 |
| 裸地区 | 116.63 | 0.08 | 41.01 | 64.44 | 23.43 | 5 | 4.69 | 0.37 | 5.16 |
| 裸岩区 | 43.74 | 0.03 | 30.00 | 53.33 | 23.33 | 5 | 4.67 | 0.14 | 1.60 |
| 加权值 | 1503.00 | 0.97 | 33.31 | | | | | 8.26 | 72.2 |

从表 3 看出,流域原植被盖度平均为 33.31%。项目实施后平均盖度达到 72.2%。5 a 内年均净增 8.3%。

通过样方资料分析,以人工补充种源树种的所占盖度统计结果推算了其在植被恢复中的贡献率。人工补充种源可新增盖度 10.6%,流域在不补充种

源时盖度仅可达 61.59%。人工补充种源新增盖度高于流域年均盖度增量,即采取补充种源可提前一年达到 60%的盖度。

3.3.2 生物产量动态观测结果分析 在汇总样方生物量资料基础上,计算了人工植被的生物产量,结果见表 4。

表 4 种源补充对流域生物量(风干重)影响分析

| 项目 | 样方增量/(t·hm ⁻²) | | | | 流域加权增量/(t·hm ⁻²) | | | | 面积/ hm ² | 流域总产量/t | | | |
|------|----------------------------|-----|-----|-----|------------------------------|-----|-----|-----|------------------------|---------|--------|--------|---------|
| | 乔木 | 灌木 | 草 | 权重 | 乔木 | 灌木 | 草 | 小计 | | 乔木 | 灌木 | 草 | 合计 |
| 人工植被 | 1.7 | 3.8 | | 0.6 | 0.9 | 2.1 | | 3.0 | 1503 | 1427.2 | 3191.3 | | 4618.5 |
| 自然植被 | | 3.6 | 0.8 | | | 5.2 | 0.8 | 6.0 | 1503 | | 7841.3 | 1237.2 | 9078.5 |
| 生物总量 | 1.7 | 7.3 | 0.8 | 1 | 0.9 | 7.3 | 0.8 | 9.1 | 1503 | 1427.2 | 11033 | 1237.2 | 13697.1 |

从表 4 可知,经加权计算,4 a 内流域片封禁自然恢复新增生物量 9 078.5 t,其中灌木 7 841.3 t,草 1 237.2 t;人工补充种源新增生物量 4 618.5 t,其中乔木 1 427.3 t,灌木 3 191.3 t。期末流域生物总

增量为 13 697.1 t,其中人工补充种源占 33.72%,自然修复的新增生物量 66.28%。为了分析人工补充种源对各种地类生物产量的影响,将 2003 年和 2007 年分区资料做了统计检验,分析结果见表 5。

表 5 流域片生物产量测定 t/hm²

| 样地 | 2003 年 | | | | | 2007 年 | | | | |
|-----|--------|-----|-----|------|-----|--------|-----|-----|-----|------|
| | 乔木 | 灌木 | 草 | 枯落物 | 合计 | 乔木 | 灌木 | 草 | 枯落物 | 合计 |
| 退耕区 | 0 | 0 | 2.4 | 0 | 2.4 | 0.9 | 1.8 | 2.2 | 1.4 | 6.4 |
| 阳坡区 | 0 | 0.4 | 1.1 | 0 | 1.5 | 0 | 4.7 | 1.5 | 1.1 | 7.3 |
| 裸地区 | 0 | 0 | 1.0 | 0.03 | 1.0 | 0.7 | 0.7 | 1.5 | 0.6 | 3.46 |
| 裸岩区 | 0 | 0.1 | 0.5 | 0.10 | 0.7 | 0 | 0.6 | 0.7 | 0.2 | 1.5 |

表 5 分析结果表明,各地类样方平均(全重)生物产量有明显增长,经显著性 t 检验,增长显著。其中退耕坡地增加 4 t/hm²,阳坡灌草区增加 5.80 t/hm²,裸地区增加 2.46 t/hm²,裸岩区增加 0.8 t/hm²。说明生态自然修复加人工促进作用,在短期

内就能遏止这些地类植被退化,实现植被快速恢复。

3.4 种群结构变化结果分析

通过人工补充种源,植被的不均匀性有效改善,植物种多样性增加,植被类型丰富多样,种群结构逐步向高低错落的复层结构演替,即植物群落的组成、

水平分布和垂直结构均有一定的优化。

3.4.1 物种组成变化分析 流域样地物种多度及辛普森指数观测结果见表 7。

从表 7 可以看出: 流域总体生物多样性平稳, 呈逐年趋好, 生态系统开始向良性转化。

3.4.2 空间结构变化分析 为了监测补充种源对流域片植被内部结构的影响, 进行了物种饱和度和垂直空间结构变化观测。分析中空间结构将植被先按乔木、灌木、草分为 3 个层次, 再根据当地未退化植被的各类植物天然层次的一般高度划分亚层, 其中灌木、草各划分 2 个亚层。因当地为疏林灌草植被, 所以, 乔木普遍垂直层次不明显, 没有分层。分析资料来自样方观测, 各地类植物种统计为坡上、中、下 3 个样方的总数, 植株高为各层次 3 个样方的均值。数据分析表明: 人工补充种源促进措施与自然恢复相结合, 植物种饱和度增加, 群落结构趋于优

化。植物群落结构分析见表 8。

表 7 流域样地多度及辛普生指数汇总表

| 样地名称 | 年度 | 多度/% | | | 辛普森指数 |
|------|------|------|-------|--------|-------|
| | | 乔木 | 灌木 | 草 | |
| 退耕区 | 2003 | | | 100.00 | 2.30 |
| | 2006 | 0.21 | 0.39 | 99.41 | 1.71 |
| | 2007 | 0.24 | 0.60 | 99.16 | 1.60 |
| 阳坡区 | 2003 | | 3.50 | 96.50 | 5.60 |
| | 2006 | 0.08 | 4.12 | 95.80 | 3.65 |
| | 2007 | 0.12 | 7.10 | 92.78 | 2.50 |
| 裸地区 | 2003 | | | 100.00 | 5.30 |
| | 2006 | | 14.37 | 85.6 | 3.43 |
| | 2007 | 0.1 | 8.23 | 91.67 | 3.12 |
| 裸岩区 | 2003 | | 16.70 | 83.30 | 6.20 |
| | 2006 | | 50.10 | 49.90 | 3.70 |
| | 2007 | | 25.50 | 74.50 | 3.35 |

表 8 植物群落结构分析表

| 地类 | 植被 | 亚层/cm | 均高/cm | | | 种数 | | |
|-----|----|-------|--------|--------|------|--------|--------|----|
| | | | 2003 年 | 2007 年 | 增加 | 2003 年 | 2007 年 | 增加 |
| 退耕区 | 乔木 | | | 102.0 | | | 1 | 1 |
| | 灌木 | > 50 | | 108.0 | | | 1 | 1 |
| | | < 50 | | | | | | |
| | 草本 | > 30 | 47.0 | 60.2 | 13.2 | 2 | 7 | 2 |
| | | < 30 | 21.0 | 11.6 | - | 3 | | |
| 阳坡区 | 乔木 | | | | | | | |
| | 灌木 | > 50 | 56.0 | 101.5 | 45.5 | 2 | 2 | 0 |
| | | < 50 | 27.0 | 23.0 | - | 1 | 1 | |
| | 草本 | > 30 | 36.6 | 53.2 | 16.6 | 2 | 4 | 2 |
| | | < 30 | 15.4 | 13.5 | - | 11 | 11 | |
| 裸地区 | 乔木 | | | | | | | |
| | 灌木 | > 50 | | 51.3 | | | 1 | 2 |
| | | < 50 | | 24.4 | | | 1 | |
| | 草本 | > 30 | 38.8 | 42.1 | 3.4 | 3 | 1 | 0 |
| | | < 30 | 21.9 | 14.5 | - | 14 | 16 | |
| 裸岩区 | 乔木 | | | 0 | | | | |
| | 灌木 | > 50 | | 66.3 | | | 2 | 3 |
| | | < 50 | 33.0 | 14.6 | - | 2 | 2 | |
| | 草本 | > 30 | | 35.0 | | | 1 | 0 |
| | | < 30 | 32.0 | 13.5 | - | | | |

从表 8 可知, 通过人工补充种源, 使流域退耕地植被的层次包括了乔木层、灌木层、草本层 3 层。其他区形成了灌、草层次。通过封禁和植被自然恢复, 减少了牲畜的啃食和践踏, 植株平均高度发生了层次的分化。表现在上层植被均高增加, 而下层植被平均高度比原来有所减小。表 8 中标有“-”者为负增长, 表明本层中的亚层发生了小幅空间高度分化。如退

耕坡地区, 草本层中, 上层灌木 2003 年均高 47.0 cm, 而经过 4 a 封禁和自然恢复, 均高达到了 60.2 cm, 净增加 13.2 cm, 年均增加 3.3 cm。阳坡灌草区因灌木的遮荫作用, 在灌木层发生分化的同时, 草本层内也发生了相应的分化, 向多层次结构变化。

表 8 还可看出, 通过封禁和补充种源, 各地类样地内的植物种饱和度均有不同程度的增加, 其中退

耕地增加最多,为 4 种,该地类的乔木和灌木均为人工补充;草种为天然增加种。阳坡灌草区只有草种增加,灌木种未变;其他两区增加的均为灌木,草种维持原状。可见,由于自然选择的原因,在植被自然恢复过程中,物种的增加往往表现在那些原来具有优势的层次上的植被类型方面。如,在裸岩区,因立地条件较差,优势种类为灌木,因而,封禁后灌木种饱和度增加,而草种未增减。

从上述分析可知,不论在物种水平分布上或是垂直空间结构上,通过自然恢复和补充种源,在 5 a 后,生态系统的群落结构都向优化方面演化。

4 结 论

(1) 依靠生态系统的自然恢复能力,加以人工补充种源促进措施,可以实现植被的较快修复。5 a 内植被盖度可达 72.2%,年均增长幅度为 8.3%。人工补充种源可新增盖度 10.6%,比生态自然修复年均提高植被度 2%。

(2) 利用树种风媒传播和根蘖扩散调查,确定针叶树种源密度为 500~800 株/hm²,灌木林种源补植密度为 1 000~1 500 株/hm²。经 5 a 的试验观测,种群结构配置合理,林分表现出较快的生长态势,为生态修复区种源补充提供了科学依据。

(3) 采用大营养袋蹲苗补植技术,不仅拓宽了造

林时间,而且大大提高了造林成活率。经试验,造林成活率达到 90%~95%,保存率达到 80%~85%,可作为生态修复区种源补植的重要措施推广。

(4) 试验结果显示:采取生态自然修复与人工补充种源促进措施相结合,人工植被与自然植被相辅相成,植物种生长量加快,物种饱和度增加,5 a 内部分地类可新增物种 1~2 种。林层结构得到优化,植被的亚层出现复层结构,生态系统的群落结构向优化方面演化,植被恢复效果显著。

参考文献:

- [1] 刘震. 利用生态的自我修复能力防治水土流失[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 13-16.
- [2] 胡晓静, 吴斌. 水土保持的可持续发展: 生态建设到生态修复的转向[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 172-176.
- [3] 舒俭民, 刘晓春. 恢复生态学的理论基础、关键技术与应用前景[J]. 中国环境科学, 1998, 18(6): 68-71.
- [4] 刘国彬, 李敏, 上官周平, 等. 西北黄土区水土流失现状与综合治理对策[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 16-21.
- [5] 陈云明, 梁一民, 程积民. 黄土高原林草植被建设的地带性特性[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 80-90.
- [6] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 37-40.
- [7] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 39-41.
- [8] 张荣群, 林培. 论土地利用规划的研究模式[J]. 中国土地科学, 2000, 14(2): 22-25.
- [9] 刘彦随. 区域土地利用系统优化调控的机理与模式[J]. 资源科学, 1999, 21(4): 60-65.
- [10] Schmidt-Renner G. 经济地理学基础理论[M]. 经济地理研究会译, 东京: 古今书院, 1970: 11-17.
- [11] 吕鸣伦, 刘卫国. 区域可持续发展的理论探讨[J]. 地理研究, 1998, 17(2): 131-137.
- [12] 熊健. 影响我国粮食生产主要因素的灰色关联动态分析[J]. 农业经济问题, 1997(1): 42-44.
- [13] 王学萌, 张继忠, 王荣. 灰色系统分析及实用计算程序[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001: 34-51.
- [14] 戚威, 李海东. 中部地区县域经济发展模式成因的灰色关联分析[J]. 价值工程, 2007(10): 10-13.
- [15] 王丽娟, 陈兴鹏, 庞芳兰, 等. 兰州市土地利用变化及其社会驱动力研究[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(2): 88-92.
- [16] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 40-70.
- [17] 房世波, 杨武年, 潘剑君, 等. 应用灰色理论研究南京市城市化进程对耕地数量的影响[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2002, 25(4): 432-434.
- [18] 蔡建明. 中国城市化发展动力及发展战略研究[J]. 地理科学进展, 1997, 16(2): 9-14.
- [19] Zhang Wenzhong, Liu Yansui. Study on land resource problems and countermeasures in the process of urbanization in China[J]. Regional Views, 2001(14): 1-8.

(上接第 120 页)