

黄土沟壑区植被恢复过程中植物群落组成及结构变化

王国梁^{1,2}, 刘国彬², 刘芳³, 侯喜禄², 周生路¹

(1. 南京大学城市与资源学系, 江苏南京 210093; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 3. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北保定 071001)

摘要:在 1981、1988 和 2001 年 3 个时期调查数据的基础上,对纸坊沟流域恢复生态系统中的植物群落的组成和结构进行了对比研究。结果表明:对于中度退化生态系统,短期封禁就能使草本群落得到明显恢复。主要表现在植物种类的增加、植被盖度的提高和生物量的提高,其增加幅度分别为 7%~73%、81%~167% 和 61%~138%。伴随着植被恢复,植被保持水土功能增强。流域土壤侵蚀从封禁前的极强度侵蚀(10000~14000 t/(km²·a))减小到轻度侵蚀(1210.2 t/(km²·a))。中期封禁过程中群落盖度、生物量继续增加,水土保持功能进一步提高,但和短期封禁恢复相比,提高幅度较小,群落盖度和生物量分别增加了 3%~18%、-4%~8%。随着植被水土保持功能的加强,土壤表层养分也逐渐提高。中期封禁后群落结构和短期封禁相比发生较大变化,其中天然草本群落中发生了优势种更替现象,但天然灌木群落和人工乔灌群落优势种变化不大或无变化;群落垂直结构变化表现为:草本群落结构变化最大,人工乔木林次之,但灌丛结构变化相对较小。封禁消除了致使植被退化的影响因子后,促进了群落内物种的正常生长和繁殖,从而使群落生态功能得到恢复;群落生态功能的恢复使群落生境得到改善,从而又促进了植被的进一步恢复。在此相互作用下,群落开始向当地顶级群落发展。此外,组建的群落结构变化系数作为一个衡量群落垂直结构变化状况的指标是合适的,该指标综合考虑群落在垂直结构上不同层的变化情况,能较好的反映群落结构的变化情况。

关键词:黄土沟壑区; 植被恢复; 封禁; 群落组成; 群落结构

Changes in composition and structure of plant communities during the course of restoration at loess gully region

WANG Guo-Liang^{1,2}, LIU Guo-Bin², LIU Fang³, HOU Xi-Lu², ZHOU Sheng-Lu¹

(Urban and Resource Department of Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 3. Resource and Environment Department of Hebei Agriculture University, Baoding 071001, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2550~2557.

Abstract: The changes occurred in composition and structure of plant communities in Zhifanggou watershed

基金项目:中国科学院知识创新资助项目(KZCX1-06);国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018606);国家“十五”科技攻关资助项目(2001BA508B17)

收稿日期:2002-07-05;修订日期:2003-05-15

作者简介:王国梁(1971~),男,陕西西安人,博士生,主要从事土壤污染研究。

Foundation item: Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (KZCX1-06); National Key Basic Research Special Foundation Project (G2000018606); the Loess Programme of National Key Science & Technology Project of China During the 10th Five Year Plan Period (2001BA508B17)

Received date 2002-07-05 **Accepted date** 2003-05-15

Biography: WANG Guo-Liang, Ph. D. candidate, main research field: soil pollution.

at Loess Gully region of China, constitutes major objective for the present study. The ground data was collected through field surveys during 1981, 1988 and 2001 respectively to analyze the significant relationships existing between plant composition, structure and their changes. Based on statistical analysis, the following conclusions could be made such as considerable increase in number of species (7%~73%), coverage (81%~167%) and above ground biomass (7%~73%), decrease in soil erosion modulus of Zhifanguo watershed from 14000 to 1210.2 t/(km²·a) and, possible restoration of moderately degraded plant community by preventing the cattle's grazing at least for shorter periods (7 years) etc. The other findings includes a rise in both coverage (3%~18%) and above ground biomass (-4%~8%) of plant communities in middle of the period owing to the restoration as well as prevention of cattle grazing. It also facilitated the rise of soil nutrients as well. During the same middle period, there also observed remarkable changes in the plant community structure. In the case of natural grass communities, the dominant species were replaced by others through the process of succession. However, there were no domain subrogation species in shrub and forest communities. The changes in vertical structure of grass communities is most significant than of the forest communities. However, the vertical structure of forest communities stands a little higher than shrub communities. Moreover, the prevention of grazing benefits both plant growth as well as propagation which guarantee further restoration ultimately improving the quality of that habitat. The communities will be developed in the direction of climatogenic succession through the interaction of both plants and their habitat qualities. Finally, the formula proved in this paper also useful to measure remarkable changes in the community structure.

Key words: loess gully; restoration; grazing; composition; structure; community

文章编号:1000-0933(2003)12-2550-08 中图分类号:Q948 文献标识码:A

全球变化、生物多样性丧失、资源枯竭和生态环境退化严重威胁着人类社会的可持续发展。因此,保护现有的自然生态系统,治理和恢复退化生态系统已成为当今社会亟待解决的重要课题,生态恢复研究日益成为世界各国的研究热点。

生态恢复研究的历史大致可以追溯到 20 世纪 50 年代,当时主要是对工农业废弃地等的生态改造研究^[1],我国这一时期主要是从林业角度进行荒山改造,但也开展了一些有关植被恢复演替方面的研究^[2]。20 世纪 80 年代以后,生态恢复的研究领域逐渐向森林、草地、湿地等不同生态系统扩展。此间,国际上一系列学术会议的发展和专著的问世标志着生态恢复工作的不断展开和日益活跃^[3~6]。20 世纪 90 年代以后,生态恢复成为西方国家生态领域的十大研究热点之一。美国生态学会年会把恢复生态学作为应用生态学的五大研究领域之一^[7],我国在这一领域的研究也在不断加强。

黄土丘陵沟壑区位于黄土高原北部,受地理位置的过渡性、气候变化的剧烈性、地形和地貌的复杂性、土壤的易蚀性以及人类活动对植被的破坏等多种因素的影响,该区已成为黄土高原水土流失最严重的地区,同时也是我国生态环境最为脆弱的地区之一。目前,通过恢复植被改善生态环境,治理水土流失已成为该区最重要的治理措施之一。然而,由于我国此前生态恢复研究主要在一些重点地区开展,黄土高原地区的相关研究则相对薄弱,亟待加强。本文通过对植被恢复过程中群落组成及结构的变化研究不仅有助于该区植物群落特征的深入研究,而且有助于揭示群落功能的变化,进而为该区植被建设以至西部地区退耕还林还草提供理论参考。

1 研究区概况

1.1 自然概况

研究区设在陕北安塞县纸坊沟流域(36°51'N,109°19'E),属黄土丘陵沟壑区第二副区。流域面积 8.27 km²,海拔 1000 m。在气候区划上属暖温带半干旱气候。多年平均降雨量 510mm,其中 7~9 月份的降雨占全年的 58%,干燥度指数 1.48,多年平均气温 8.8℃,年日照时数 2300~2400h,无霜期 159d 左右。

1.2 植被恢复历史

纸坊沟流域现为国家级退耕还林还草示范区。从 20 世纪 30 年代后期到现在,流域植被和生态环境经历了一个从破坏到逐渐恢复的过程^[8]。

1938~1958 年为严重破坏期。流域在 1938 年以前是次生林区,流域内人口稀少,林草茂盛,1938 年流域植被盖度在 75% 以上。1938 年以后,随着人口的不断增加,毁林开荒加剧。到 1958 年,森林植被遭到严重破坏,只有缓坡和陡坡上残留有天然灌木和草本植被。垦殖指数高达 42.7%。

1959~1973 年为继续破坏期。缓坡也基本被开垦为农田。森林和灌木基本破坏殆尽。陡坡上天然草本也遭到牲畜啃食破坏,流域植被盖度约为 30%~40%,垦殖指数超过 50%。农林牧比例严重失调,水土流失加剧。

1974~1983 年为不稳定恢复期。对纸坊沟流域开展了水土保持综合治理,实现了川田林网化及造林绿化。使流域植被盖度达到 55% 以上。但 1981 年后,由于实行农业生产责任制,又出现扩大种植和盲目发展畜牧现象,植被再次遭到破坏。至 1983 年末,流域植被盖度降低到 30%~40%,垦殖指数高达 47.9%。

1984 年至今为稳定恢复期。从“六五”到“七五”期间,陕西省和国家重点科技攻关项目的实施使流域植被建设得以落实,土地利用趋于合理,植被得到很大恢复。“八五”至“九五”期间,农林牧比例再次得到优化,林地和牧地比例不断增加,植被得到进一步恢复,生态经济系统进入良性循环。目前,流域植被包括人工重建植被和封禁后恢复的天然植被已呈现出生物多样性的初期景象。

2 研究方法

2.1 植被调查方法

2.1.1 短期封禁中群落组成结构变化研究的调查方法 短期封禁调查资料来自 1981 年和 1988 年对同一样地的两次同期对比调查。1981 年的调查方法:在群落分布的典型地段选择样地,在样地内随机设置 4 个样方,样方面积为 1m×1m,调查内容包括植物名称、株(丛)数、每株(丛)高度、冠幅、盖度、频度、地上生物量等,同时对群落样地进行描述(见表 1)并绘制地形简图。1988 年调查时对同一群落所选样地相同,调查方法一致。调查群落有铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)群落、芨蒿(*Artemisia giraldii*)群落、长芒草(*Stipa bungeana* frin)群落、白羊草(*Bothriochloa ischemum*)群落、虎榛子(*Ostryopsis davidiana dcne*)群落、达乌里胡枝子(*Lespedeza dahuricus*)群落。

2.1.2 中期封禁中群落组成结构变化研究的调查方法 2001 年调查时先根据 1981 年调查时绘制的样地位置图以及关于样地坡度、坡向等记录定位调查样地。1981 年调查方法是:对调查的群落选择典型样地一块,在样地内随机设置样方,样方面积为:乔木样方 10m×10m,做两次重复;灌木样方 4m×4m,做 4 次重复;草本样方 1m×1m,做 4 次重复,记录内容同上;2001 年调查方法与 1981 年相同,并选择同一地点以確保数据的可比性。调查群落有刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)群落、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr)群落、沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)群落、柠条锦鸡儿(*C. microphylla*, Lam)群落、灰子(*C. kansuensis* wils.)、黄刺玫(*Rosa hougonis*)群落、铁杆蒿群落、芨蒿群落、白羊草群落。样地描述见表 1。

2.2 相似、相异性系数

将封禁前后的同一群落看作两个不同群落,对群落变化前后的物种相似性用群落相似性系数进行测度。相似性系数用两个群落共有物种数占两个群落中总物种数的比例表示。其中,群落物种数以样方中的物种数合并后获得,对同一群落保证封禁前后两次取样面积和取样次数相同。公式如下:

$$s = a / (b + c - a)$$

由于相异与相似为两个互补的概念,所以群落相异性系数用下式表示:

$$u = 1 - s = (b + c - 2a) / (b + c - a)$$

式中, s 为群落相似性系数, u 为群落相异性系数, a 为两群落共有的物种数, b, c 分别为两群落中的物种数。

2.3 群落结构变化系数

本文将群落结构分为乔木层、灌木层和草本层 3 个层次,将每一层次的物种看作一个群落进行相异系数测定,群落结构变化系数用各层的平均数表示。公式为:

$$cv = (\sum_{i=1}^n d_i) / n$$

式中, cv 为结构变化系数, d_i 为第 i 层的相异系数, 若为多次取样, d_i 取该层多次取样的平均值, n 为总层数, 本文 n 取乔木层、灌木层和草本层 3 个层次, i 从 1 至 3 分别代表乔木、灌木和草本层。特别地, 当某一层次的 b 、 c 值同时为 0 时, 则该层实际没有变化, 此时 d_i 值取 0。

表 1 样地描述

Table 1 The drawing of sampling plots

封禁时间 Period	群落名称 Plant communities	坡度 Gradient	坡向 Slope aspect	坡位 Slope situation	退化程度 Degraded degree
短期封禁 Short period	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	24°	N	沟坡中 Middle gully	中度 Moderate
	芨芨草 <i>Artemisia giraldii</i>	30°	S	沟坡上 Upper gully	中度 Moderate
	长芒草 <i>Stipa bungeana frin</i>	30°	NE	沟坡下 Lower gully	中度 Moderate
	白羊草 <i>Bothriochloa ischemum</i>	32°	S	沟坡中 Middle gully	严重 Severity
	虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana dcne</i>	45°	NW	沟坡下 Lower gully	中度 Moderate
中期封禁 Middle period	达乌里胡枝子 <i>Lespedeza dahuricus</i>	28°	S	沟坡中 Middle gully	中度 Moderate
	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	28°	N	沟坡中 Middle gully	中度 Moderate
	芨芨草 <i>Artemisia giraldii</i>	30°	S	沟坡上 Upper gully	中度 Moderate
	长芒草 <i>Stipa bungeana frin</i>	30°	NE	沟坡中 Middle gully	中度 Moderate
	白羊草 <i>Bothriochloa ischemum</i>	35°	S	沟坡中 Middle gully	中度 Moderate
	茵陈蒿 <i>Artemisia capillaries</i>	0°	—	梁脊顶 Upper hilly	中度 Moderate
	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia L.</i>	32°	NW	梁脊上 Upper hilly	重建 Rebuilding
	油松 <i>Pinus tabulaeformis C.</i>	36°	NE	梁脊中 Middle hilly	重建 Rebuilding
	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides L.</i>	26°	NE	沟坡中 Middle gully	重建 Rebuilding
	柠条锦鸡儿 <i>C. microphylla. Lam</i>	25°	S	梁脊上 Upper hilly	重建 Rebuilding
灰子 <i>C. kansuensis wils</i>	20°	NE	沟坡中 Middle gully	中度 Moderate	
黄刺玫 <i>Rosa hougonis</i>	36°	NE	沟坡下 Lower gully	中度 Moderate	

2.4 物种丰富度指数

以单位面积上某一植被层拥有的物种数表示。

3 结果与讨论

3.1 短期封禁中群落组成及结构的变化

3.1.1 短期封禁对群落盖度及其水土保持功能的影响 植被盖度是衡量群落覆盖地表程度的一个综合性量化指标, 也是反映植被保持水土功能的一个重要指标。从表 2 可以看出, 短期封禁后, 群落内植被盖度由 35%~40% 迅速提高到 70% 以上, 增加幅度达 81%~167%。根据黄土丘陵沟壑区已有研究表明, 当群落盖度达到 50%~70% 时植被能有效防止土壤侵蚀^[9]。当群落盖度达到 80% 时植被保持水土的效益就能达到最大防护效益^[10], 并使土壤侵蚀降低到土壤允许流失量范围之内。

随着群落盖度的增加、植被保持水土能力的增强, 流域土壤流失量随之减小。封禁前流域植被盖度约在 30%~40% 之间, 植被保持水土的功能很差。根据实际测量, 1981 年流域年侵蚀模数在 10000~14000t/(km²·a) 之间^[10], 属于极强度侵蚀^[11]。经过短期封禁(7a), 植被得到明显恢复, 流域植被盖度超过 55%。土壤年侵蚀模数减少到 1210.2 t/(km²·a) 以下, 属轻度侵蚀, 局部地形上土壤流失量已控制在该区土壤允许流失量之内。

随着植被恢复, 植被保持水土功能加强, 植被对土壤养分产生明显影响^[12]: 即在植被作用下, 土壤表层有机质、全氮、水解氮、全磷、速效磷含量明显升高, 但不同植被对土壤养分的影响不同。

3.1.2 短期封禁对群落地上生物量的影响 生物量既是反映植物生产力的重要指标, 也是反映群落功能的指标。表 3 表明, 短期封禁后群落地上生物量有明显提高, 提高幅度达 61%~138%, 说明封禁使群落生产力得到恢复。此外, 由于每年都有一部分地上生物量以枯枝落叶的形式在土壤表面形成枯枝落叶层, 该

层和植被层不仅能防止或减轻雨水对土壤的侵蚀作用,同时枯枝落叶最终在微生物的作用下以有机质的形式进入土壤,对提高土壤养分及团聚体含量,提高土壤的渗透性及增强土壤抗蚀、抗冲能力等方面有明显作用。

表 2 短期封禁对植物群落的影响

Table 2 The effect of short period stopping grazing on plant community composition

群落名称 Plant communities	盖度(%) Coverage degree			地上生物量(g/m ²) Aboveground biomass			物种数(种数/(4m ²)) Number of species (n/(4m ²))			相异系数 Variance coeff. coeff.
	1981	1988	增加(%) Increase	1981	1988	增加(%) Increase	1981	1988	增加(%) Increase	
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	40	75	88	143.58	231.65	61	21	30	43	0.35
艾蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	35	70	100	128.32	217.5	69	18	26	44	0.31
长芒草 <i>Stipa bungeana frin</i>	35	90	157	103.22	224.38	117	12	19	58	0.37
白羊草 <i>Bothriochoa ischemum</i>	35	85	143	113.06	221.75	96	16	21	31	0.32
虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana dene</i>	40	90	125	89.15	188.43	111	11	19	73	0.42
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza dahuricus</i>	30	80	167	83.54	198.72	138	15	16	7	0.18

3.1.3 短期封禁中群落种类组成的变化 从表 2 可以看出,封禁后各植物群落的物种数都有不同程度的恢复,增加幅度为 7%~73%,说明短期封禁后植物种类得到了一定程度的恢复。但是,由于短期封禁后群落建群种并没有发生更替,群落相异性系数也均小于 0.5,可以认为群落虽有变化,但尚未发生质的变化。下面以阴坡分布最广的铁杆蒿群落和阳坡分布最广的艾蒿群落为例来探讨这种变化。

(1)铁杆蒿群落组成的变化 铁杆蒿群落组成的变化首先表现在植物种类的变化。根据 1981 年对铁杆蒿群落 4 个 1m×1m 样方植物种的统计,4 个样方中共有铁杆蒿、长芒草、艾蒿(*Artemisia giraldii* (*vulgaris*))、防风(*Seseloides (hosfm.) volff*)、火绒草(*Leontopodium leontopodioides*)、糙隐子草(*Cl. spuarrosa (Trin.) keng*)、狗尾草(*Setaria viridis(l.) beauv.*)、二色棘豆(*Oxytropis bicolor Bge.*)、西山委陵菜(*Potentilla sischanensis*)、柴胡(*Bupleurum falcatum*)、野葱(*Allium lolidum*)等 21 个种。经 7a 封禁后,群落内增加了中国卷柏(*Selaginella*)、木本铁线莲(*Clematis fruticosa turcz.*)、沙参(*A. elata vamnif.*)、达乌里胡枝子、山丹丹(*Lilium pumilum DC.*)等 9 个物种,物种丰富度指数增加 43%。这些物种的增加,一方面是牲畜啃食和践踏的消除,促进了木本铁线莲、山丹丹等物种的恢复;另一方面是牧压解除后,其它植被的恢复使生境发生改善,如地表遮阴的增强,水分条件变好,促进了另一些物种,如中国卷柏的生长。

此外,群落组成的变化还表现在植株个体高度和数量的变化。对两次调查的对比发现,牲畜喜食的物种,如达乌里胡枝子、糙隐子草、长芒草等无论高度还是数量都有较大增加,其中高度的增加幅度达到了 20%~180%。而牲畜不喜食的艾蒿数量则减少了 8%。

(2)艾蒿群落组成的变化 根据对艾蒿群落中 4 个 1m×1m 样方内植物种的统计,4 个样方中共有艾蒿、白羊草、铁杆蒿、长芒草、远志(*Polygala tenuifolia*)、野葱等 18 个物种,封禁后增加了地锦(*E. humifusa willd.*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*)等 8 个物种,物种丰富度指数增加 44%。蒲公英等牲畜喜食物种的出现显然是禁牧的结果,同时也是群落恢复的标志。而地锦等物种的出现则可能与封禁后生境的改善有关。此外,封禁后群落中牲畜喜食物种在高度和数量上也有不同程度的增加。

3.1.4 短期封禁中群落结构的垂直变化 短期封禁后尽管群落在组成成分和数量上有较大增加,但铁杆蒿、艾蒿、长芒草、白羊草、虎榛子、达乌里胡枝子群落的结构变化系数分别为 0.10、0.11、0.08、0.14、0.13、0.11。这是因为以上群落的变化只有草本层物种的变化,乔灌木层物种没有变化。因而群落结构的变化很小,这也说明短期封禁虽能快速恢复植被,但促使群落结构向结构更复杂的顶级群落过渡还需要一个较长的时间。

万方数据

从上面的分析可以看得出,短期封禁可以使退化植物群落得到迅速恢复。它不但使群落内植物种类增

加,而且使群落盖度、群落内物种平均高度和地上生物量明显提高,群落结构趋向复杂,植被保持水土功能增强。其主要原因是封禁后植被干扰(主要是牧压)因素的解除,促进了牲畜喜食物种和不耐践踏物种的恢复,植被和其所处环境开始向良性方向发展。同时可以发现,以上退化群落中尽管在组成成分和水土保持功能上已发生较大变化,但群落结构变化尚不明显,各群落中优势种仍占有优势地位,群落内尚未发生优势种的更替。

3.2 中期封禁中群落组成及结构的变化

3.2.1 中期封禁对群落盖度及水土保持功能的影响 对铁杆蒿、芨蒿、长芒草、白羊草、虎榛子和达乌里胡枝子 6 个群落中短期封禁效果对比发现,中期封禁后群落盖度比短期封禁有进一步提高,增加量在 3%~18%,其中以铁杆蒿群落和芨蒿提高较大,分别为 18%和 13%。其余群落变化不大。群落盖度增加后,流域土壤年平均侵蚀模数降低到 1100 t/(km²·a)左右,但降低程度很小。原因短期封禁后,在植被的保护下,土壤侵蚀主要由坡耕地和植被盖度较小的局部小地形上产生。就整个流域而言,植被保持水土的功能在短期封禁中已得到很好恢复。

表 3 中期封禁对天然群落组成的影响

Table 3 The effect of middle period stopping grazing on natural plant community composition

群落名称 Community	按重要值大小排列的前 4 种植物(1981 年) The order based on important value (1981)	按重要值大小排列的前 4 种植物(2001 年) The order based on important value (2001)
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	铁杆蒿、芨蒿、狗尾草 (<i>Setaria viridis</i> (L.) <i>beauv.</i>)、艾蒿(<i>Artemisia giraldii</i> (<i>vulgaris</i>))	铁杆蒿、芨蒿、虎榛子 (<i>Ostryopsis davidiana</i> <i>dcne</i>)、狗尾草
芨蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	芨蒿、白羊草、铁杆蒿、阿尔泰狗哇花 (<i>Aster</i> <i>altaicus</i>)	芨蒿、铁杆蒿、狼牙刺 (<i>Sophora vivifolia</i>)、白 羊草
长芒草 <i>Stipa bungeana frin</i>	长芒草、芨蒿、达乌里胡枝子 (<i>Lespedeza</i> <i>dahuricus</i>)、铁杆蒿	长芒草、沙棘 (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)、芨 蒿、达乌里胡枝子
白羊草 <i>Bothriochloa ischemum</i>	白羊草、芨蒿、阿尔泰狗哇花、糙隐子草 (<i>Cl.</i> <i>spuarrosa</i> (<i>Trin.</i>) <i>keng</i>)	白羊草、狼牙刺、达乌里胡枝子、芨蒿
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaries</i>	茵陈蒿、狗尾草、阿尔泰狗哇花、地锦 (<i>E.</i> <i>humifusa willd.</i>)	芨蒿、铁杆蒿、狼牙刺、白羊草
灰子 <i>C. kansuensis wils.</i>	灰子,树锦鸡儿 (<i>Caragana arborescens</i> (<i>Amm.</i>) <i>Lam.</i> 、紫丁香 (<i>Syringa oblata</i> Lindl.), 柳叶鼠李 (<i>Rhamnus erythroxylon</i> Pall.)	灰子,树锦鸡儿,紫丁香,柔毛绣线菊 (<i>Spiraea pubescens</i> Turcz.),
黄刺玫 <i>Rosa hougonis</i>	黄刺玫,紫丁香,灰子,柔毛绣线菊	黄刺玫,灰子,紫丁香,柔毛绣线菊

3.2.2 中期封禁对群落地上生物量的影响 对上述 6 个群落短期封禁效果对比发现,中期封禁后群落生物量比短期封禁有进一步提高的趋势,但提高幅度在 8%以下,其中长芒草群落生物量反而下降 4%。总的来看,中期封禁过程中生物量变化不大。

3.2.3 中期封禁中群落组成的变化

(1)天然草本群落的变化 经中期封禁后,天然草本群落发生了很大变化。一是群落内灌木物种的出现,并且其重要值在群落中开始占有重要地位(表 3)。如阴坡上铁杆蒿群落内出现了虎榛子 (*Ostryopsis davidiana dcne*)物种,阳坡上芨蒿群落和白羊草群落内出现了狼牙刺 (*Sophora vivifolia*)物种,半阴坡上的长芒草群落内出现了沙棘物种,且这些灌木物种的重要值在群落内分别排到第 2、第 3 位;二是撂荒地上的先锋群落向其它群落的演替,如阳坡上的茵陈蒿 (*Artemisia capillaries*)群落在经过中期封禁后被芨蒿群落取代。

中期封禁后,尽管天然草本群落发生了很大变化,但铁杆蒿、芨蒿、白羊草、长芒草在各自的群落内依然占优势地位,即这些地带性物种有较强的竞争能力。

(2)天然灌木群落的变化 中期封禁后天然灌木群落(黄刺玫群落和灰子群落)中优势层中的优势种基本没有发生变化(表 3),群落中重要值在前 4 位的物种在封禁前后的排列顺序基本相同。说明这两个

灌木群落受放牧影响较小。此外,灌木林下草本物种组成在封禁前后变化也较小(表 4)。

(3)人工乔灌木群落的变化 人工乔灌木群落在营造时均为人工纯林,乔木群落(刺槐群落和油松群落)优势层的优势种(分别为刺槐和油松)在经过中期封禁后没有变化,但其灌木层和草本层的物种组成发生较大变化(表 4)。

表 4 植物群落垂直结构的变化

Table 4 The vertical structure changes of plant communities

群落名称 Plant communities	物种数(种/m ²)(1981年) number of species (n/m ²)(1981)			物种数(种/m ²)(2001年) number of species (n/m ²)(2001)			结构变化 系数 Construc- ture VC.
	乔木层 Forest layer	灌木层 shrub layer	草本层 Grass layer	乔木层 Forest layer	灌木层 shrub layer	草本层 Grass layer	
	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	1±0	0	7±2.0	1±0	0.5±0.5	
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i> C.	1±0	0	8±2.5	1±0	0.5±1.0	9.00±2.0	0.37
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> L.	0	1±0	4±1.5	0	1±0.5	5.50±1.5	0.09
柠条锦鸡儿 <i>C. microphylla</i> , Lam	0	1±0	5±2.0	0	1±0.5	6.25±1.25	0.07
灰子 <i>C. kansuensis</i> wils	0	4±1.0	8±2.5	0	5±3	7.00±1.5	0.11
黄刺玫 <i>Rosa hougonis</i>	0	7±1.5	11±1.5	0	8±2	11.25±1.5	0.05
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	0	0	12±3.0	0	1.5±0.5	18.25±2.5	0.45
芨蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	0	0	10±2.5	0	2±0.5	13.25±2.25	0.42
白羊草 <i>Bothriochloa ischemum</i>	0	0	4±2.0	0	1±0	7.25±1.5	0.48

灌木群落(柠条锦鸡儿群落和沙棘群落)中优势层的优势种仍占有绝对优势地位,但群落中已有新的灌木物种出现,草本层物种变化不大。

3.2.4 中期封禁中群落结构的垂直变化 经中期封禁后,群落结构变化系数由大到小的顺序依次是:天然草本群落(铁杆蒿、芨蒿、白羊草)、人工乔木林(刺槐林、油松林)、天然灌丛(灰子灌丛、黄刺玫灌丛)、人工灌木林(沙棘林、柠条锦鸡儿)(表 4)。同一类型群落(如天然草本群落中的铁杆蒿群落、芨蒿群落、白羊草群落)之间封禁前后结构变化系数差异很小。

天然草本群落结构变化最大。尽管天然草本群落只有灌木层和草本层发生变化,但这两层变化都较大,尤其是灌木层物种的出现对群落结构变化系数贡献很大。由此可以看出,封禁后,由于群落所受的干扰减轻,促进了草本群落内物种,尤其是灌木物种的恢复,群落结构发生明显变化。

人工乔木林结构经过 20 多年后也有了较大的变化,其变化特点与天然草本相似,也是灌草两层的变化。变化原因是乔木林内出现了灌木物种。其次,随着乔木的生长以及后来灌木的出现,林内郁闭度不断增加,林内光照、热量、水分等条件随之发生变化,从而又导致林下草本物种的变化。

天然和人工灌丛结构变化较小,其中人工灌丛结构几乎没有变化。这是因为灌丛本身受放牧影响很小,封禁后灌丛变化的动因主要取决于自身的演替,而所研究的灌丛是流域局部地形上相对稳定的地带性植被,所以其结构变化很小。

从以上研究可以看出,和短期封禁相比,中期封禁中群落盖度、生物量以及群落的水土保持等功能虽有进一步的提高,但提高程度不大;中期封禁后群落结构的变化较明显,但不同群落表现不同,天然草本结构和人工乔木林结构发生较大变化,灌丛(包括人工和天然灌丛)结构变化相对很小。

此外,文中所组建的群落结构变化系数较为客观的反映了经中期封禁后群落结构的变化情况,该系数作为一个衡量群落结构变化状况的指标是适宜的。

4 结论

(1)对于中度退化生态系统,短期封禁就能使草本群落得到明显恢复。主要表现在植物种类的增加、植被盖度的提高和生物量的提高,其增加幅度分别为 7%~73%、81%~167%和 61%~138%。伴随着植被恢复,植被保持功能增强。流域土壤侵蚀从封禁前的极强度侵蚀减小到轻度侵蚀。

(2)中期封禁过程中群落盖度、生物量继续增加,水土保持功能进一步提高,但和短期封禁恢复相比,

提高幅度较小,群落盖度和生物量分别增加了 3%~18%和—4%~8%。随着植被对水土保持作用的加强,土壤表层养分也逐渐提高。

(3)中期封禁后群落结构和短期封禁相比发生较大变化,其中天然草本群落中的优势种发生了物种更替现象,但天然灌木群落和人工乔灌群落中优势种变化不大或无变化;群落垂直结构变化表现为:草本群落结构变化最大,人工乔木林次之,灌丛结构变化相对较小。

(4)封禁消除了致使植被退化的影响因子后,促进了群落内物种的正常生长和繁殖,从而使群落生态功能得到恢复,群落生态功能的恢复使群落生境得到改善,从而又促进了植被的进一步恢复。在此良性相互作用下,群落开始向当地顶极群落发展。

(5)本研究组建的群落结构变化系数作为一个衡量群落垂直结构变化状况的指标是合适的,该指标综合考虑群落在垂直结构上不同层的变化情况,能较好的反映群落结构的变化情况。

References:

- [1] Bradshaw A D. The restoration and management of abandoned land in West Europe. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, **10**(1):28~35.
- [2] Zhang G F,Guo C Y. study on the history of restoration ecology. *Acta of Anhui Normal University*,2000,**23**(4): 395~398.
- [3] Yu Z Y,Peng S L. *A study on restoration ecology of degraded ecosystem in tropic and sub-tropic zone*. Guangzhou: Guodong science & technology press, 1996. 1~35.
- [4] Cairns J,*et al* ed. *Rehabilitation Damaged Ecosystems*. Boca Raton: CRC Press, 1988. 1~220.
- [5] Freedman B. *Environmental Ecology; the impact of pollution and other stresses on ecosystem structure and function*. London: Academic Press, 1989. 116.
- [6] Zhang Y Z,Wang X. A review of ecological restoration studies on natural wetland. *Acta Ecologica Sinica*,2001,**21**(2):309~314.
- [7] Zhang J N,Xu Q. Major issues in restoration ecology researches. *Chinese Journal of Applied Ecology*,1999,**10**(1): 109~114.
- [8] Lu Z F,Liang Y M,Liu G B. *The ecological agriculture on the Loess plateau*. Xi'an:Shaanxi science &technology press,1997. 15~16.
- [9] Guo Z S. The valid, critical and potential coverage degree of soil and water conservation. *Bulletin of Soil and Water Conservation*,2000,**20**(2):60~62
- [10] Jiang D S. *The soil and water loss and control model in the Loess Plateau*. Beijing:Water resource and electricity press, 1997. 266~299.
- [11] Liu B Z,Wu F Q. *Soil erosion*. Xi'an:Shaanxi people press,1996. 17~19.
- [12] Wang G L,Liu G B. The effect of vegetation restoration on changes of soil nutrient in Chinest loess hilly region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002,**21**(1):1~5.

参考文献:

- [2] 张光福,郭传友. 恢复生态学研究历史. 安徽师范大学学报. 2000, **23**(4):395~398.
- [3] 余作岳,彭少麟. 热带亚热带退化生态系统恢复生态学研究. 广州:广东科技出版社,1996. 1~35.
- [6] 张永泽,王垣. 自然湿地生态恢复研究进展. 生态学报,2001,**21**(2):309~314.
- [7] 章家恩,徐琪. 恢复生态学研究的一些基本问题探讨. 应用生态学报,1999,**10**(1): 109~114.
- [8] 卢宗凡,梁一民,刘国彬. 黄土高原生态农业. 西安:陕西科技出版社,1997. 15~16.
- [9] 郭忠升. 水土保持植被的有效盖度,临界盖度和潜势盖度. 水土保持通报. 2000,**20**(2):60~62.
- [10] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式. 北京:中国水利水电出版社,1997. 266~299.
- [11] 刘秉正,吴发扁. 土壤侵蚀. 西安:陕西人民出版社,1996. 17~19.
- [12] 王国梁,刘国彬,许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应. 水土保持通报, 2002,**21**(1):1~5.