

# 退耕地植被恢复演替的生态环境效应研究进展

李 艳<sup>1</sup>, 李 鹏<sup>1,2</sup>, 赵 忠<sup>1</sup>, 张良恩<sup>3</sup>, 孙 楠<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048;

3 青岛市黄岛区红石崖街道办事处, 山东 青岛 266426)

[摘 要] 通过对植被群落演替过程中植被与土壤等因素相互影响、相互作用过程的相关研究成果的系统分析,揭示了植被恢复改善土壤结构和提高土壤肥力的作用机制,阐明了植被重建的水土环境效应,在此基础上确定了影响植被恢复重建的自然因素及其时间效应,提出了植被恢复的可能途径,同时对植被恢复的基础研究进行了展望。

[关键词] 植被恢复;土壤特性;生态环境效应;退耕还林(草);植被建设

[中图分类号] S781.54<sup>+</sup>1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)08-0155-05

## Advances of the ecological environment effects of vegetation restoration and succession

LI Yan<sup>1</sup>, LI Peng<sup>1,2</sup>, ZHAO Zhong<sup>1</sup>, ZHANG Liang-en<sup>3</sup>, SUN Nan<sup>1</sup>

(1 College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 71100, China; 2 School of Water Resource and Hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 3 Street Daily Affairs Office, Huangdao District, Qingdao, Shandong 266426, China)

**Abstract:** Based on the systematical analysis of the reciprocal process between vegetation and soil and other factors in the succession process, mechanics of vegetation succession on improving soil structure and soil fertility were released, and effects of vegetation restoration on soil conservation and runoff monitoring were stated. Thus, natural factors influencing vegetation restoration and its time effect were determined, and possible methods for vegetation restoration were proposed. Besides, possible directions in future studies were discussed.

**Key words:** vegetation rehabilitation; soil properties; ecological environment effects; returning farmlands to forest (grassland); vegetation construction

植物群落的演替过程,实质是植物与土壤相互影响和相互作用的过程<sup>[1]</sup>,物种之间的直接竞争是演替发生发展的动力<sup>[2]</sup>。植物群落的演替也是群落对其初始阶段异化的过程,不但体现在物种的竞争上,也体现在环境条件的改变上,最终使生境更适合于演替的后来种的生长发育<sup>[3]</sup>。土壤是植物群落的主要环境因子之一,其中土壤肥力是土壤的基本属性和本质特征<sup>[4]</sup>,它对群落演替的影响不容忽视。

某一演替阶段土壤肥力的状况,不仅反映了此前群落与土壤协同作用的结果,也决定了后续演替过程的土壤肥力基础和初始状态。植物演替过程,也是物种对土壤肥力不断适应和改造及不同物种在不同肥力梯度下相互竞争和替代的过程。在植被与土壤互相促进、协调发展的过程中,对其所依赖的环境条件必然产生相应的影响。随着我国西部生态环境建设的逐步实施,退耕还林还草地逐渐成为我国西部

[收稿日期] 2006-07-06

[基金项目] 陕西省自然科学基金项目“退耕生态系统根系动态特征与非线性模拟”(2006C110)

[作者简介] 李 艳(1972-),女,山东烟台人,在读硕士,主要从事森林培育等研究。

[通讯作者] 李 鹏(1974-),男,山东烟台人,副教授,博士,主要从事水土保持和生态环境等研究。E-mail:ttzlp@xaut.edu.cn

地区重要的土地类型,植被恢复过程的生态环境效应研究也逐渐成为研究人员关注的热点问题<sup>[5-11]</sup>。本文在前人研究的基础上,系统分析了植被群落演替过程中植被与土壤环境的相互影响、相互作用过程,阐述了植被恢复演替的生态环境效应,以期为退化环境的生态修复重建提供思路和依据。

## 1 植被恢复的土壤环境效应

土壤是生态系统的重要组成部分,其动态变化也是生态系统动态变化的重要组成部分。作为植物群落的主要环境因子之一,土壤性质影响着植被的变化,同时也因植被的变化而发生改变,它们之间相互作用强烈并有一定规律性。特殊的土壤不但在一定时间内影响着植物群落的发生、发育和演替速度,而且在同一相似的气候带里决定着植被群落的演替方向<sup>[5-7]</sup>。尤其对退化生态系统而言,植被恢复与演替过程对土壤的改善作用是非常明显的。随着退化生态系统植被的恢复,生物的地上部分,主要是植被的发展改善了生态系统的小气候,从而对土壤的物理化学性质产生影响;更为重要的是,植被地下部分的生长发育以及土壤动物和土壤微生物的活动与发展,对土壤性质的改善和提高具有重要作用。

张庆费等<sup>[8]</sup>在浙江地区的研究证实,在土壤肥力很低的立地上,如裸地,先锋物种最先出现,通过一定时期的生物积累,对土壤产生一定的改良作用,为耐干旱瘠薄的马尾松的自然侵入创造了条件;在土壤肥力较低的生境中,马尾松种群拓殖能力较强,并占据了优势,同时也促进了土壤肥力的形成;而土壤肥力的形成和提高,为对肥力要求更高的阔叶阳生树种,如木荷和石栎提供了较适宜的土壤环境。阳性阔叶林改良土壤的作用更大,土壤肥力持续提高,为对土壤肥力要求较高的栲树侵入和拓殖创造了条件,最终形成以栲树为建群种的中生性顶极群

落。土壤状况,尤其是肥力状况影响着群落优势种的拓殖和更替,土壤肥力提高有利于演替后续种的生长和发展,促进群落的演替进程及演进方向。

王堃等<sup>[9]</sup>在河北坝上地的研究结果表明,撂荒地植被演替大致经历了 4 个阶段,即“先锋植物阶段

根茎禾草阶段 根茎-丛生禾草阶段 丛生禾草阶段”。其演替轨迹是从次生裸地开始,而随着根茎禾草和杂类草的大量侵入,先锋植物阶段中的 1 年生和 2 年生植物消失,至 8~10 年时,羊草已在群落中占有绝对优势,具有较大的种群数量。由于羊草等根茎禾草本身的生物生态学特性,形成了大量的地下根系群,导致土壤的通透性变差。随着撂荒地植被的演替,土壤理化性状也在发生变化,国内其他一些学者的研究结果<sup>[9-12]</sup>也证实了这一点。

从表 1 可以看出,伴随着撂荒年限的增加,土壤有机质含量增加,土壤坚实度也在增大,而土壤容重和含水量呈下降趋势。这是因为随着撂荒年限的增加,土壤中的植物枯枝落叶量大量累积,有机质含量随之增加。而有机质含量是提高土壤肥力的重要因素,其增加意味着土壤理化性状的改善。其他研究也已经证明,土壤中团粒结构的含量随有机质含量的增加而增大<sup>[10-16]</sup>。

一般来说,农田土壤经过多年耕作以后肥力下降、沙化严重;而随着土壤有机质含量的增加,土壤结构得以改善。总之,随着撂荒年限的增加<sup>[9,11-12]</sup>,土壤理化性状会发生明显的变化,总体上是趋于良性的方向发展,属进展演替。侯扶江等<sup>[13]</sup>的研究结果表明,退耕地恢复 1~7 年,土壤粘粒和粉粒减少,7 年后趋势相反;退耕地 0~100 cm 土层土壤含水量在恢复期间呈上升趋势,中期增幅显著,全 N 和速效 N 在恢复期间减少,后期增加。退耕地恢复到当前稳定的群落所需要的时间:优势种群为 8~9 年,群落为 9~11 年,土壤为 11~12 年。

表 1 坝上撂荒地 0~20 cm 土层土壤理化性状的变化规律<sup>[9]</sup>

Table 1 Changes of soil physical characters in 0~20 cm on abandoned land<sup>[9]</sup>

撂荒年限/年 Abandoned periods	有机质含量/% Organic matters content	坚实度/ (kg·cm <sup>-2</sup> ) Massiness	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> ) Bulk density	含水量/% Soil moisture	撂荒年限/年 Abandoned periods	有机质含量/% Organic matters content	坚实度/ (kg·cm <sup>-2</sup> ) Massiness	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> ) Bulk density	含水量/% Soil moisture
1	1.4	0.8	1.5	11.4	8	1.7	2.8	1.4	9.0
2	1.4	0.9	1.5	9.6	10	2.1	3.0	1.4	8.2
3	1.3	1.4	1.5	9.8	15	2.6	4.9	1.3	7.5
5	1.4	1.6	1.4	8.7	20	2.5	5.3	1.4	6.3

## 2 植被恢复的侵蚀环境效应

土壤侵蚀引发的水土流失导致了土壤水分、养

分的流失,不同程度的土壤侵蚀对土壤的破坏程度也不尽相同。郭志民<sup>[14]</sup>和王伯荪等<sup>[17]</sup>的研究证实,在侵蚀严重地区,>0.25 mm 的团聚体有减少的趋

势,特别是 >2 mm 团聚体的减少最为明显,而 2 ~ 0.25 mm 的团聚体却呈增加趋势;同时,土壤中粉砂减少,砂粒增加明显,土壤容重增大,田间持水量减少,土壤团聚体结构受到破坏,土壤砂化加剧,持水性能衰减(表 2)。郭志民<sup>[14]</sup>在研究中进一步发现,随着土壤侵蚀程度的加剧,土壤中盐基离子减

少,土壤酸度增加,有机质明显减少,土壤全氮、水解氮、速效磷、速效钾减少明显,表明土壤侵蚀造成的土壤肥力低下问题更加显著。总之,随着土壤侵蚀的加剧,土壤物理结构日益恶化,交换性盐基减少,土壤酸化,土壤肥力降低,“砂、酸、瘠”问题突出。

表 2 土壤侵蚀对土壤理化性状的影响<sup>[14]</sup>

Table 2 Influence of erosion on soil physical and chemical characters<sup>[14]</sup>

处理 Treatment	团聚体/ %Aggregate contents			颗粒组成/ %Mechanical composition			土壤容重/ (g · cm <sup>-3</sup> ) Soil bulk density	田间持水量/ % Field moisture capacity
	>2 mm	2 ~ 0.25 mm	>0.25 mm	2 ~ 0.02 mm	0.02 ~ 0.002 mm	<0.002 mm		
微度侵蚀区 Slight erosion area	42.86	39.20	82.06	23.1	53.7	23.2	1.24	21.24
轻度侵蚀区 Light erosion area	32.75	40.94	73.69	32.2	47.8	20.0	1.29	18.33
中度侵蚀区 Medium erosion area	28.97	43.11	72.08	41.3	35.4	23.3	1.33	15.87
强度侵蚀区 Intensive erosion area	21.14	44.94	66.08	50.6	24.9	24.5	1.38	11.26

经过恢复与重建,土壤结构得到改善,土壤肥力正向演替。随着生态系统的恢复与发展,土壤的物理和化学性状都将得到改善(表 3)<sup>[18-19]</sup>。根系生长提高了土壤对侵蚀动力的抵抗能力;同时有机质的逐渐累积使得土壤团聚体,特别是水稳性团聚体含量的逐渐增加,土壤性质的变化必然会对土壤的可蚀性等产生影响<sup>[18,20-22]</sup>。进一步的研究表明,随着退化生态系统的恢复,土壤的渗透性能也有所不同,

在不同演替阶段的不同群落中,植被根系在土壤中穿插和固结的土壤面积不同,根系残孔的大小和数量不同,从而直接影响着水分的入渗;而且土壤本身的蒸发减少,保水性能增加,土壤水分的有效性增加<sup>[19]</sup>。阮伏水等<sup>[23]</sup>在侵蚀坡地上的研究也证实了这一点,其在低丘红壤地区的研究表明,植被的恢复不仅有利于水土保持,降低养分流失,提高土壤肥力,而且能够调节小气候,改善生态环境。

表 3 植被恢复与重建对土壤物理性质的影响<sup>[18-19]</sup>

Table 3 Influence of ecological restoration on soil physical characters<sup>[18-19]</sup>

处理 Treatment	团聚体/ % Aggregate contents			颗粒组成/ % Mechanical composition			土壤容重/ (g · cm <sup>-3</sup> ) Soil bulk density	田间持水量/ % Field moisture capacity
	>2 mm	2 ~ 0.25 mm	>0.25 mm	2 ~ 0.02 mm	0.02 ~ 0.002 mm	<0.002 mm		
封禁治理前 Before grazing ban	33.52	41.23	74.75	35.80	45.3	19.9	1.29	16.72
封禁治理 8 年后 After 8 years' grazing ban control	43.4	40.83	84.23	26.60	51.2	22.2	1.22	21.31
强化治理前 Before intensified management	22.01	47.20	69.21	51.6	25.7	22.7	1.39	10.83
强化治理 5 年后 After 5 years' intensified management	34.97	41.35	76.32	42.3	37.5	20.2	1.28	18.72
强化治理 15 年后 After 15 years' intensified management	45.66	39.83	85.49	29.1	47.4	23.5	1.24	23.12

### 3 植被恢复的水文效应

由前人的研究结果可知,植被与土壤特性之间的相互作用改善了草地的人文条件,主要表现在降雨入渗特征和细沟间侵蚀速率的改变等方面<sup>[24]</sup>。草原的水文特征与植被的覆盖度及种类等成正相关关系,植被生长形态是决定草原水文特征的关键因素。一般来说,在乔木和灌木林地上的径流量和侵

蚀量最小,多年生草和裸地依次增加<sup>[24-25]</sup>。在由草原或稀树大草原演替而来的以乔木或灌木为优势种的立地上,其所产生的变化首先是由于树木的存在而引起了地面覆盖的变化<sup>[26]</sup>,改善了立地的人文特性<sup>[27]</sup>,同时也引起了土壤水分空间分布特征的变化<sup>[28-29]</sup>。土壤有机质的累积改善了土壤的微环境,有利于土壤动物和微生物的活动,并使土壤水稳性团粒的含量增加<sup>[30]</sup>。植被冠层和枯落物对降雨的

截留作用,降低了雨滴动能,避免了其对土壤团聚体的破坏。土壤结构的改善提高了土壤入渗性能,一般地,土壤的入渗速率以乔木或者灌木林最高,而草地则相对较低<sup>[24-25,31-33]</sup>。

在北美地区,人口增长对水资源提出了越来越高的要求<sup>[34]</sup>,促使人们越来越重视对草原地区的水资源进行更为科学的管理<sup>[35]</sup>。如果草本植被成为植被的主体,那么许多流域都具有增加地表径流的潜力。这种增加主要是由于草本植被取代而乔灌等成为主体后,降低了入渗率和蒸发量<sup>[34-36]</sup>。因此,控制灌木等植被的生长以增加地表径流量,应该成为水源区草原管理的主要目标,当然径流的增加也增加了植被恢复之前暴雨侵蚀发生的可能<sup>[28]</sup>。

#### 4 退耕地的植被恢复重建

生态系统各要素之间存在着广泛而复杂的联系,其中植物和土壤之间相互联系、相互制约的有机联系是其中最重要的关系之一。土壤是植被赖以存在的物质基础,植物的繁茂生长又有效地保护土壤免遭雨滴打击、径流冲刷等各种侵蚀营力的破坏,从而促进土壤的形成<sup>[37]</sup>。然而,在人类开发和利用自然资源的过程中,最容易发生和最明显的标志就是植被的破坏和消失,进而产生土壤的侵蚀、退化等一系列问题。退耕还林还草是实施西部大开发和生态环境建设的切入点,但退耕后还林还是还草,是广大退耕区面临的一个实际而又必须尽快解决的问题。

黄土高原土地退化的根本原因,在于人口压力之下的生态功能与经济功能的失衡<sup>[13]</sup>。在退耕地的自然恢复过程中,进行刈割等轻度利用,以寻求二者之间的平衡点,可以达到植被与土壤同步进化的目的。退耕地中由于植被与土壤子系统特征的差异,其恢复时间也有所差异,其中植被优势种群的恢复时间为 8~9 年,群落为 9~11 年,而土壤的恢复时间为 11~12 年<sup>[13]</sup>。鉴于土壤对植物生长的重要性,确定退耕地恢复时间为 11~12 年。邹厚远等<sup>[38]</sup>在黄土高原地区的研究证明,从弃耕地香茅草群落恢复演替到长芒草原生植被,需要四五十年时间,而通过补播优良牧草可以大大加速植被的恢复,只需要 10 年左右的时间,就可以由弃耕地或者退化香茅草群落恢复演替到长芒草群落。

在深入调查和系统分析的基础上,研究人员提出了植被恢复和建设的策略及原则,如群落演替原则、生物多样性原则、生态系统原则和群落稳定原则等<sup>[37]</sup>。在水土流失区的陡坡耕地,退耕后的还林还

草措施应该遵循以下原则<sup>[39]</sup>:首先应符合当地天然植被分布及其生长发育规律;其次是符合自然生态进展演替的规律;第三是符合当地的产业调整规划;第四是要符合市场经济的发展规律。此外,不同发育阶段群落的种类组成<sup>[40]</sup>、结构有明显差异。因此,随着植被覆盖度的增加,应该因地制宜地配置不同的种群结构组合,对先锋植被群落应该逐渐更新,并套种较高发育阶段的优势植物以缩短植被恢复的进程。同时,由于在不同侵蚀强度和侵蚀类型土地上,土壤物理化学性质存在较大的差异,植被的恢复过程相应也就存在较大的不同。因此,在植被恢复过程中,应根据不同地区水土流失的特点,因势利导采取不同的措施以促进植被的恢复<sup>[41]</sup>。

总之,在水土流失区植被恢复与重建的研究及实践中,应该深入了解土壤类型、土壤侵蚀强度以及以土壤水分和养分为主要特征的土壤退化规律,认识相对应阶段群落优势种的生物学特性及其对环境的适应性,通过揭示植物发生发展过程中的胁迫因素及控制方法,探求适宜于不同土壤类型、不同土壤侵蚀强度区的植被恢复与重建方法,建立适合当地自然条件的植被恢复与建设模式。

#### 5 研究展望

目前,退耕还林还草已经成为我国西部地区生态环境建设的主要措施,进一步深入揭示植被与环境之间的动态作用方式与作用机理,对于促进西部地区的生态环境建设具有非常重要的意义。在今后的探索中,应加强以下几个方面的研究:

1) 在植被恢复演替过程中,由于植被与土壤之间的相互作用,不同演替阶段的植被及其土壤的水土保持作用是不同的。不同植被水土保持作用的变化与该种植被的类型及其立地的土壤特性等密切相关,应对不同植被类型覆盖下的植被根系分布特征、土壤特性等进行深入研究,进一步揭示植被变化与土壤特性之间的相互作用机制。

2) 植被恢复与演替有效地改善了原来土壤的物理化学性质,提高了土壤对侵蚀动力的抵抗能力。但对植被演替过程中的水文效应和水沙效应的研究,目前还很少有报道,对这方面的研究工作应予以加强。

3) 在植被的水土保持作用的研究中,一般采用植被的覆盖度来描述植被与土壤侵蚀之间的关系。但是,随着研究的逐渐深入,人们逐渐关注到植被的生理生态特征及与其相关的微生物特征和演替动态等,均对植被的生态功效产生了深刻的影响,如何更

加科学客观的反映二者之间的关系,也将是下一步有待研究的方向之一。

### [参考文献]

- [1] West D C. Forest succession concept and applications[M]. New York: Springer-Verlag, 1981:185-211.
- [2] Pickett S T A. Models, mechanisms and pathways of succession [J]. Botanical Review, 1987, 3:335-342.
- [3] Odum E P. The strategy of ecosystem development [J]. Science, 1969, 164:262-270.
- [4] 熊毅,李庆奎. 中国土壤[M]. 2版. 北京:科学出版社, 1987:306-320.
- [5] Bormann B T, Sidle R C. Changes in productivity and distribution of nutrient in chronosequence at Glacier Bay, National Park, Alaska[J]. Journal of Ecology, 1990, 78:561-578.
- [6] Crocker R L, Major J. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska[J]. Journal of Ecology, 1995, 43:427-488.
- [7] 高贤明,马克平,黄建辉. 北京东灵山植物群落多样性研究——高山草甸多样性指数[J]. 生态学报, 1998, 18(2):24-32.
- [8] 张庆费,宋永昌,由文辉. 浙江天童山植物群落次生演替与土壤肥力的关系[J]. 生态学报, 1999, 19(2):174-178.
- [9] 王堃,吕进英. 退耕地的自然恢复与人工演替[J]. 中国农业资源与区划, 2000, 21(4):51-55.
- [10] 张全发,郑重,金义兴. 植物群落演替与土壤发展之间的关系[J]. 武汉植物学研究, 1990, 8(4):325-334.
- [11] 李进,赵雪,宝音. 河北坝上弃耕地植被的演替特征及环境因子的影响[J]. 中国沙漠, 1994, 14(1):15-22.
- [12] 田洪艳,周道玮,郭平. 不同撂荒年限的草原农田土壤及植被的变化规律研究[J]. 东北师范大学学报:自然科学版, 2001, 33(4):72-77.
- [13] 侯扶江,肖金玉,南志标. 黄土高原退耕地的生态恢复[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8):923-929.
- [14] 郭志民. 土壤侵蚀与恢复重建对土壤性质的影响[J]. 福建水土保持, 1999, 11(2):49-51.
- [15] 刘勇,王凯博,上官周平. 黄土高原子午岭退耕地土壤物理性质与群落特征[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(2):42-46.
- [16] 韦兰英,上官周平. 黄土高原不同演替阶段草地植被细根垂直分布特征与土壤环境的关系[J]. 生态学报, 2006, 26(11):3741-3748.
- [17] 王伯荪,彭少麟. 植被与生态系统恢复重建的生态效应[M]. 北京:中国环境出版社, 1997:312-325.
- [18] 杨玉盛,何宗明,林光耀,等. 不同治理模式对严重退化红壤抗蚀性影响的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2):32-37.
- [19] David J, Brian R. Regrowth and erosion in the semi-arid woodlands of NSW:report to the NVAC[R]. New York:Centre for Natural Resources, 1980.
- [20] 程洪,谢涛,唐春,等. 植物根系力学与固土作用机理研究综述[J]. 水土保持通报, 2006, 26(1):97-102.
- [21] 毛瑛,孟广涛,周跃. 植物根系对土壤侵蚀控制机理的研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2):241-243.
- [22] 吕春娟,白中科,陈卫国. 黄土区大型排土场植被根系的抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究, 2006, 20(2):35-38.
- [23] 阮伏水,周伏建. 花岗岩侵蚀坡地重建植被的几个关键问题[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2):19-25.
- [24] Thurow T L, Blackburn W H, Taylor C A. Hydrologic characteristics of vegetation types as affected by livestock grazing systems, Edwards Plateau, Texas[J]. Journal of Range Manage, 1986, 39:505-509.
- [25] Blackburn W H. Factors influencing infiltration and sediment production of semiarid rangelands in evada [J]. Water Resources Research, 1975, 11:929-937.
- [26] Prinsley R T, Swift M J. Amelioration of soil by trees-A review of current concepts and practices[M]. London:Marlborough House, 1986.
- [27] Thurow T L. Grazing management: an ecological perspective [M]. Portland: Timber Press, 1991:141-159.
- [28] Tiedemann A R, Conrad C E, Dieterich J H, et al. Effects of fire on water: a state of knowledge in review [R]. Washington:USDA Forest Service, 1979.
- [29] 刘美珍,孙建新,蒋高明,等. 植物-土壤系统中水分再分配作用研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(5):1551-1557.
- [30] La R. Tropical ecology and physical edaphology [M]. Wiley: John Wiley and Sons Chichester, 1987.
- [31] Box T W. Relationships between plants and soils of 4 range plant communities within south Texas[J]. Ecol, 1961, 42:794-810.
- [32] Wood M K, Blackburn W H. Grazing systems: their influence on infiltration rates in the rolling plains of Texas[J]. Journal of Range Manage, 1981, 34:331-335.
- [33] Knight R W, Blackburn W H, Merrill L B. Characteristics of oak mottes, Edwards Plateau, Texas [J]. Journal of Range Manage, 1984, 37:534-537.
- [34] Hibbert A R. Managing vegetation to increase flow in the Colorado River Basin [R]. Washington: USDA Forest Service, 1979.
- [35] Van der Leeden F, Troise F L, Todd D K. The water encyclopedia [M]. Chelsea: Lewis Publishers, 1990:85-87.
- [36] Hibbert A R. Water yield improvement potential by vegetation management on western rangelands [J]. Water Resour Bull, 1983, 19:375-381.
- [37] 牛德奎,郭晓敏. 红壤侵蚀区植被重建与可持续发展[J]. 水土保持研究, 1998, 5(2):90-94.
- [38] 邹厚远,程积民,周麟. 黄土高原草原植被的自然恢复及调节[J]. 水土保持研究, 1998, 5(1):126-138.
- [39] 柴发熹. 退耕后的还林还草[J]. 草业科学, 2001, 18(4):36-38.
- [40] 谢宝平,牛德奎,杨先锋. 赣南红壤侵蚀区植被退化和恢复演替的初步研究[J]. 江西林业科技, 2001, 6(3):4-7.
- [41] 王衡芽,贺遵平. 衡阳市水蚀地植被恢复过程及演替趋势浅析[J]. 林业资源管理, 2001, 6(2):69-73.