小良热带植被生态恢复过程土壤保持的经济价值动态特征

虞依娜[1],杨柳春[2],叶有华[1],陈宝明[1],宋莉英[1],彭少麟[1,*]

(1. 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室,广州 510275;2. 中国科学院科技政策与管理科学研究所,北京 100080)

摘要:以热带植被退化生态系统恢复过程中的长期连续的动态监测资料为基础,应用时空互代法、机会成本法、市场价值法和影子工程法等方法,对小良极度退化生态系统的热带植被恢复中的土壤保持生态经济动态特征进行研究。结果表明:(1)退化森林生态系统恢复到 30a 林龄时土壤保持量已趋于饱和。边际效用递减到 0 时土壤保持总效用达到最高,土壤侵蚀基本控制。(2)土壤保持的经济价值具有时效依赖性。退化生态系统植被在 20a 林龄前恢复经济价值呈快速增长;20a 林龄后增长趋势放缓,人工植被对水土的保持能力基本接近天然混交林;(3)土壤保持的经济价值同生态效应具有一致性。小良退化生态系统恢复到 20a 林龄,林木林冠较茂密,郁密度达到 85% 左右,土壤肥力增加,土壤侵蚀基本得到控制,同时植物多样性和生物多样性指数增高,其经济价值呈快速上升趋势,到 20a 林龄后土壤保持经济价值增长趋势平缓。(4)恢复的森林生态系统在不同林龄时的土壤保持经济价值与一些区域自然森林生态系统具有一致性。

关键词:退化生态系统;生态恢复;经济价值;土壤保持;小良

文章编号:1000-0933(2007)03-0997-08 **中图分类号**:F062.2,Q14,X176 **文献标识码**:A

Dynamic characteristics on the economic value of soil conservation in the process of the tropical vegetation restoration in Xiaoliang

YU Yi-Na [1],YANG Liu-Chun[2],YE You-Hua[1],CHEN Bao-Ming [1], SONG Li-Ying[1], PENG Shao-Lin [1,*]

1 *State Key Laboratory of Biocontrol /School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou* 510275,*China*

2 *Institute of Scientific Policy and Manage, Beijing* 100080,*China*

***Acta Ecologica Sinica*,2007,27(3):0997 ~ 1004.**

Abstract: Based on the data obtained from the process of Tropical Vegetation Restoration in Xiaoliang, the dynamic characteristics of ecological economy of soil conservation were studied in this paper. Methods of space for time, opportunity cost, market valuation, and shadow engineering were used to evaluate the ecological economy of soil conservation. Results showed that: (1) Soil conservation to reach a saturation status when the degradation ecosystem restored for 30 years. (2) Economic value of soil conservation was time-dependent. The economic value increased rapidly when the degradation ecosystem restored at the first 20 years, while, after 20 years, it increased at a relatively slow rate and the potential of soil conservation was close to a natural mixed forest. (3) The economic value of soil conservation was consistent with the ecological effect. When the degraded ecosystem in Xiaoliang restored for 20 years, the vegetation cover reached 85%, in

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30270282);教育部重点资助项目(403037)

收稿日期:2006-11-04;**修订日期**:2007-01-30

作者简介:虞依娜(1973 ~),女,浙江舟山人,博士生,主要从事生态经济学研究. E-mail:gzyyn@163.com

* **通信作者** Corresponding author. E-mail:lsspsl@mail.sysu.edu.cn

致谢:衷心感谢中国科学院小良人工林生态系统定位研究站全体工作人员的支持与帮助.

Foundation item:The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30270282), the Key Program of Ministry of Education of China (No. 403037)

Received date:2006-11-04;**Accepted date**:2007-01-30

Biography:YU Yi-Na, Ph. D. candidate, main engaged in ecological economy. E-mail:gzyyn@163.com

turn the soil fertility increased and the soil erosion was controlled within the ecosystem. Besides, the biodiversity increased, and the economic value increased stably. (4) Economic value of soil conservation at different year in a restored forest ecosystem was consistent with those in some regional natural forest ecosystem.

Key Words: degraded ecosystem; ecological restoration; economic value; soil conservation

经济增长是人类福利增加的基本来源,而且是可持续发展的关键组成部分。然而,经济发展和人类活动对全球生态系统造成了许多破坏。土壤侵蚀是全球生态系统破坏的主要现象之一,作为世界的重大环境问题越来越受到世界各政府及科技工作者的关注[1,2]。对侵蚀的土壤进行控制是生态系统的基本服务功能之一。在土壤侵蚀的控制中,退化生态系统的恢复和重建越来越成为一项重要的应对措施,包括中国在内的许多国家都非常重视并且这一措施得到了普遍实施[3~5]。退化生态系统恢复和重建的首要任务是控制土壤流失,这方面的研究引起了国内外许多学者的深切关注,并取得了一定成果[6~8]。然而,如何对恢复生态系统土壤保持的经济价值进行评估,是影响正确评估恢复生态系统功能大小的重要方面。近年来生态系统服务功能价值评估的研究逐渐成为热点[3,9,10],同时许多学者也对全球和区域的森林生态系统土壤保持价值作了相关研究[1~13]。尽管如此,生态恢复过程中土壤保持的生态经济价值动态特征却没有学者关注。本文从恢复生态动态的角度出发,对退化生态系统整个恢复过程土壤保持经济价值的特征进行了研究,从而为恢复生态学的发展、生态经济学的研究和可持续发展政策提供理论依据。

1 研究区域概况

小良位于广东省电白县,东经 110°54′18″,北纬 21°27′49″,属热带北缘。年平均温度 23℃,最高温度 36.5℃,最低温度 4.7℃,月平均温度在 18℃以上者达 9 个月。年降雨量 1400 ~ 1700mm,分布不均,有明显的干湿季节,干季(0 ~ 4 月份)雨量只有 28.7%,湿季(5 ~ 9 月份)占 71.3%,降雨方式多为暴雨形式的对流雨及台风雨。

小良地带性植被为热带季雨林,但由于人为活动的过度干扰,自然植被已荡然无存,只有少量风水林存在。土壤为花岗岩风化而来的热带砖红壤。表土层的大部分已遭到严重侵蚀,亚土层裸露,地表无植被覆盖。侵蚀土壤的肥力非常低,有机物质含量仅 0.6%,总 N 量仅 0.03%。物理性状恶劣:30 ~ 40cm 处的土壤含水量低于萎蔫点(图 1)[4~16]。1959 年中国科学院华南植物研究所与小良水土保持试验推广站协作,在寸草不长的侵蚀地上开展植被重建试验,第一步就是控制水土流失,提高土壤肥力和改善土壤理化结构。从 1964 年起至 1979 年陆续在光板地上营造 7 片混交林,混交林为按照气候顶极群落——热带季雨林群落的结构而建造的多优群落,经过运用生物措施和工程措施相结合的综合治理方法,所营造的混交林的林分结构均有了很

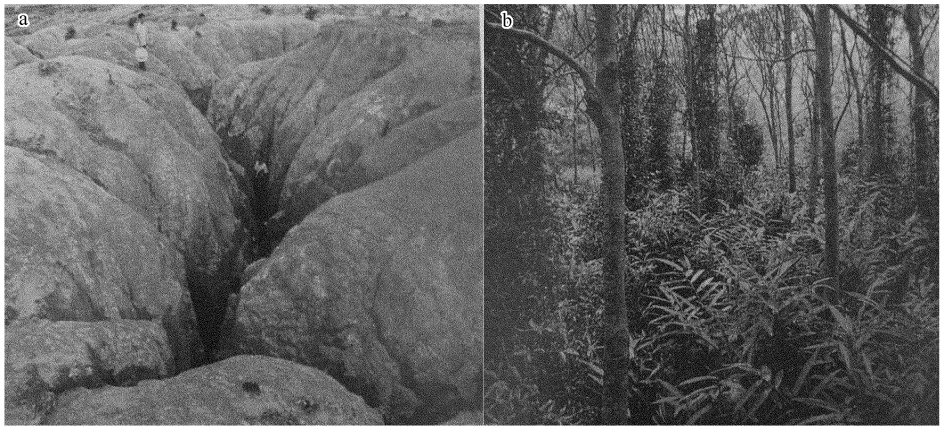

图 1 森林植被恢复前后景观对比

Fig. 1 Comparison of landscape between pre-and post-restoration of the forest vegetation

大发展，1959 年前植被全无的光板地得到了全面绿化（图 1）。通过采取空间代替时间的方法，选择荒坡和混交林等不同植被类型而地貌、岩性、土壤类型和坡度等基本一致的集水区，分别建立森林气候、森林土壤和森林水文的观测点来观测生态环境效应的动态。

2　研究方法

研究方法主要包括资料收集、生态功能估算和生态价值估算 3 个方面。

2.1　基础资料收集

本项研究整理了中国科学院小良热带人工森林生态系统定位站土壤控制等相关方面的研究成果，以及国内外部分地区恢复森林生态系统服务功能的资料。

2.2　恢复的森林生态系统的土壤保持量估算方法

运用时空互代法和土壤保持量的估算方法来估算出恢复的森林生态系统的土壤保持量即减少的土壤侵蚀量。植被恢复所减少的土壤侵蚀量一般用有林地和无林地的侵蚀差异来估算。

$$S_t = \sum_{i=0}^{n} (MS_{ri} - MS_{fi}) \qquad (1)$$

式中，S_t 为土壤保持量（$\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$MS_{ri}$ 为无林地土壤侵蚀量（$\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$MS_{fi}$ 为有林地土壤侵蚀量（$\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$n$ 为 0 ~ 30a 林龄。

2.3　退化生态系统土壤保持价值评估方法

应用时空互代法、机会成本法、市场价值法和影子工程法等方法，从增加土壤肥力和减轻泥沙淤积灾害两个方面，对极度退化森林生态系统的植被恢复过程的土壤保持生态经济动态进行了测定。

2.3.1　土壤肥力保持价值估算

土壤侵蚀使大量的土壤营养物质流失，植被恢复后其土壤肥力则每年增加。依据公式（1）和市场价格法估算出小良退化生态系统保持土壤肥力的经济效益，即：

$$V_{sf} = \sum_{i=0}^{n}\sum_{k=1}^{3} S_{ti}\cdot C_{ik}\cdot P_{ik}/1000 \qquad (k = \text{nutrients}) \qquad (2)$$

式中，V_{sf} 为保护土壤肥力价值（元 $\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$n$ 为 0 ~ 30 年林龄；S_{ti} 为土壤保持量（$\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$C_{ik}$ 为土壤中营养元素的纯含量；P_{ik} 为各营养元素不同时期的价格（元），i 为各类元素。

2.3.2　减轻泥沙淤积的价值估算

按照中国主要流域的泥沙运动规律，全国土壤侵蚀流失的泥沙有 24% 淤积于水库、江河、湖泊[7]，本文根据影子工程法来计算生态系统减轻泥沙淤积灾害的经济效益，即：

$$Vss = \sum_{i=0}^{n} 24\% \cdot S_{ti}/\beta_i \cdot E_i \qquad (3)$$

式中，V_{ss} 为减轻泥沙淤积价值（元 $\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$n$ 为 0 ~ 30a 林龄；St_i 为土壤保持量（$\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$E_i$ 为平均水库工程费用（元 $\cdot m^{-3}$）；β_i 为不同时期的土壤容重（($\cdot m^{-3}$）。

2.3.3　土壤保持的经济价值

$$V_s = \sum_{i=0}^{n} (V_{sfi} + V_{ssi}) \qquad (4)$$

式中，V_s 为保持土壤的价值（元 $\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$n$ 为 0 ~ 30a 林龄；V_{sfi} 为保持土壤肥力价值（元 $\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）；$V_{ssi}$ 为减轻泥沙淤积价值（元 $\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$）。

3　结果与分析

3.1　土壤保持量

土壤保持量一般采用有林地和无林地的侵蚀差异来计算森林所减少的土壤侵蚀量。对小良进行了 10a 的实地观测得到表 1、表 2 资料。

表 1 小良 2 个集水区不同年代的土壤侵蚀率 (·km^{-2}·mm^{-1}) [8]

Table 1 Soil erosion rate of the two catchments for different years in Xiaoliang station (·km^{-2}·mm^{-1}) [8]

年序 Year		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	
混交林 Mixed forest	RSER	0.03365	0.02130	0.00155	0.05033	0.12549	0	0	0	0	0.00045	
	RDER	0.05188	0.00826	0.00095	0.04458	0	0	0.00007	0	0	0	
	RER	0.08553	0.02956	0.00249	0.09491	0.12549	0	0.00007	0	0	0.00045	
光板地 Barren land	RSER	1.93166	1.52678	1.46069	1.77085	2.46057	1.97785	2.98329	1.84700	1.42992	1.90037	
	RDER	2.05421	1.30072	1.29366	1.39809	5.86587	2.49305	2.48040	1.86582	2.73599	2.87654	
	RER	3.98587	2.82751	2.74535	3.16894	8.32644	4.47090	5.46369	3.71282	1.42992	1.90037	

RSER:单位雨量下的悬浮质侵蚀率 Rate of suspension erosion per unit rainfall;RDER:单位雨量下的推移质侵蚀率 Rate of bed load erosion per unit rainfall;RER:单位雨量下的总侵蚀率 Total rate of erosion per unit rainfall

表 2 光板地与人工混交林植被类型控制侵蚀对比 [4]

Table 2 Comparing of erosion control effect between barren and artificial mixed forest [4]

年 Year		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	总计 Total	年平均 Average
光板地 Barren land	降雨量 Rainfall (mm)	1560	1962	2369	1402	1348	1289	1255	11185	1598
	流失量 Runoff (m^3·hm^{-2})	3567.4	6022.8	5920.8	2908.1	2946.2	2567.1	2596.9	26524.9	3789.3
	土壤侵蚀 Erosion of soil (·hm^{-2})	29.4	44.3	66.2	58.9	71.0	46.2	50.2	366.2	52.3
混交林 Mixed forest	降雨量 Rainfall (mm)	1494	2040	2431	1400	1368	1313	1257	11303	1615
	流失量 Runoff (m^3·hm^{-2})	43.4	1728.2	1641.2	3.1	5.8	4.5	2.2	3428.4	489.7
	土壤侵蚀 Erosion of soil (·hm^{-2})	0.1	1.0	0.3	0	0	0	0	1.3	0.18

表 1 中的结果表明:1981 ~ 1990 年的 10a 间,混交林平均降雨侵蚀率为 0.02114 (·km^{-2}·mm^{-1}),其中悬浮质占 0.01254 (·km^{-2}·mm^{-1}),推移质占 0.00860 (·km^{-2}·mm^{-1});光板地平均降雨侵蚀率为 4.8271 (·km^{-2}·mm^{-1}),其中悬浮质占 2.0196 (·km^{-2}·mm^{-1}),推移质占 2.8075 (·km^{-2}·mm^{-1})。光板地的降雨侵蚀率是混交林的 228.3 倍。从侵蚀物的构成来看,悬浮质与推移质的比例从混交林到光板地逐渐减少,分别是 1.46 和 0.72。这说明不仅是侵蚀物总量,还是侵蚀物的构成,混交林都更有效益 [8]。

表 2 所示的结果表明:小良退化生态系统有林地单位面积土壤侵蚀量变化范围为 0 ~ 1.0 (·hm^{-2}·a^{-1}),其均值为 0.18 (·hm^{-2}·a^{-1})。光板地土壤侵蚀量变化范围为 29.4 ~ 71.0 (·hm^{-2}·a^{-1}),其均值为 52.3 (·hm^{-2}·a^{-1})。可以看出,小良减少土壤侵蚀总量为 52.12 (·hm^{-2}·a^{-1})。通过计算各期光板地和混交林的土壤保持量,结合时空互代的观点,获得小良退化森林生态系统土壤保持量动态趋势图 2。

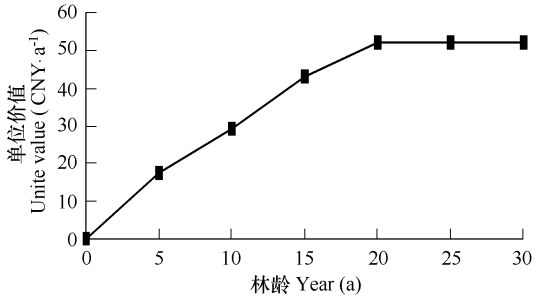

图 2 小良退化森林生态系统土壤保持量动态趋势图

Fig. 2 Dynamic development of soil conservation in the process of the tropical vegetation restoration in Xiaoliang

3.2 土壤保持的经济价值

根据土壤保持的数量以及公式 (2)、(3) 和 (4),计算小良退化森林生态系统土壤保持的动态经济价值。

3.2.1 土壤肥力保持经济价值

土壤侵蚀导致土壤肥力损失。小良退化森林生态系统通过植被的恢复减少土壤侵蚀量,使其土壤肥力每年增加 (表 3)。由于确定合理的市场价格往往困难,故这里统一以 1990 年不变价 [9~21] 计算,再依据公式 (2),则土壤肥力保持经济价值如表 (4)。

3.2.2　减轻泥沙淤积的经济价值

土壤侵蚀量的减少使淤积于水库、江河和湖泊的泥沙减少，增加了地表有效水的蓄积，因此，可根据蓄水成本法来计算减少泥沙淤积的经济价值。

式（6）中的平均水库工程费用以 1988～1991 全国水库建设投资测算，每年新增投资量除以每年新增库容量，算出建设 $1m^3$ 水库库容需年投入成本 0.67 元（990 年不变价格）。根据影子工程法计算减轻泥沙淤积的经济价值（表 4）。

表 3　小良不同林龄阔叶混交林的土壤肥力动态

Table 3　The dynamics of soil fertility in various forests with different ages [5]

主要土壤肥力指标 Main soil index of fertility	光板地 Barren land	5 年生人工林 Artificial forest of 5a	8 年生人工林 Artificial forest of 8a	15 年生人工林 Artificial forest of 15a	25 年生人工林 Artificial forest of 25a	100 多年生自然次生林 Natural Sub-forest of 100a
有机质（%） Organic matter	0.64	1.34	2.07	2.4	2.68	4.18
全氮（%） All nitrogen	0.031	0.076	0.109	0.141	0.135	0.215
全磷（%） All phosphorus	0.006	0.012	0.020	0.033	0.022	0.054

3.2.3　土壤保持的总经济价值

根据公式（4）和表 4，得到小良退化生态系统不同阶段的土壤保持经济价值动态的整个趋势图（图 3）。

表 4　小良退化森林生态系统土壤保持的经济价值（元·hm^{-2}·a^{-1}）

Table 4　Economic value of soil conservation in Xiaoliang degraded ecosystem （CNY·hm^{-2}·a^{-1}）

指标 Index	光板地 Barren land	5 年生人工林 Artificial forest of 5a	10 年生人工林 Artificial forest of 10a	15 年生人工林 Artificial forest of 15a	20 年生人工林 Artificial forest of 20a	25 年生人工林 Artificial forest of 25a	30 年生人工林 Artificial forest of 30a
土壤肥力保持价值 Value of soil fertility conservation	0	627.17	1646.34	2834.41	3539.18	3782.08	4018.04
减轻淤泥价值 Value of decreased deposition	0	2.77	3.04	4.48	5.40	5.43	5.43
总经济价值 Total value	0	629.94	1649.38	2838.89	3544.58	3787.51	4023.47
与上一阶段比较后的价值增量 Compared with last period	—	629.94	1019.44	1189.51	705.69	242.93	235.96

4　讨论

4.1　退化森林生态系统恢复到 30 年林龄时土壤保持量趋于饱和

图 4 中的横轴表示恢复的时间，纵轴表示效用量，TU 曲线和 MU 曲线分别为总效用曲线和边际效用曲线。在图中，MU 曲线是向右下方逐渐下降的，它反映了小良退化生态系统土壤保持的边际效用递减规律，相应地，TU 曲线是以递减的速度先上升后趋于平稳。也就是说，当土壤保持的边际效用为正值时，土壤保持总效用曲线呈上升趋势；当其边际效用递减为零时，其总效用曲线达到最高点。从恢复生态学意义上来讲，边际

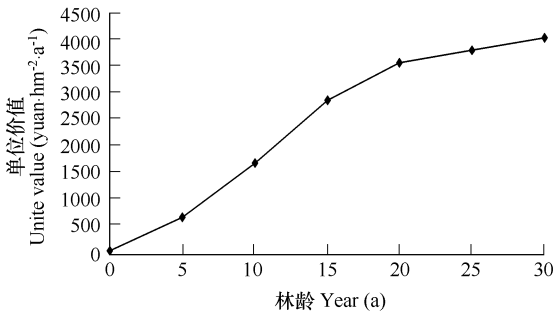

图 3　小良退化生态系统土壤保持经济价值动态趋势图

Fig. 3　Dynamic development of the economic value by way of conservation of soil

效用递减到零时是退化生态系统土壤保持功能恢复到最好的状态,其土壤保持量趋于饱和,土壤侵蚀基本得到控制。

4.2 土壤保持的经济价值具有时效依赖性

小良退化森林生态系统随着植被的恢复,土壤流失基本得到控制,土壤保持的经济价值不断上升,恢复到林龄 20a 时经济价值增长趋势逐渐放缓。林龄 20 年以后的土壤保持经济价值基本接近保护完好的天然林东北长白山(136.30 元·hm^{-2}·a^{-1})和海南岛尖锋岭(55.36 元·hm^{-2}·a^{-1})(表 5)。

4.3 土壤保持的经济价值同生态效应具有一致性

由于环境的改善,小良退化森林生态系统的不断恢复,林木平均树高达到 9 ~ 10m,林冠较茂密,郁密度 85% 左右,土壤肥力增加,土壤侵蚀基本得到控制,植物多样性和生物多样性指数增高(表 6,表 7)。由于退化生态系统生态效应的不断改变,其土壤保持经济价值在前 20a 林龄时快速增加,20a 林龄后增长逐渐趋势平缓,与生态效应基本趋于一致性。

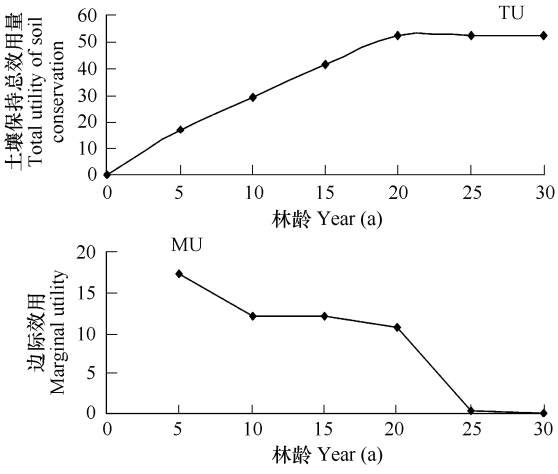

图 4 小良退化生态系统土壤保持的效用曲线

Fig. 4 The utility curve of soil conservation in the process of the tropical vegetation restoration in Xiaoliang

表 5 各地区森林生态系统与小良退化生态系统土壤保持的经济价值比较表

Table 5 Comparison of the economic value of soil conservation between Xiaoliang degraded ecosystem and various forest ecosystem

区域类型 Region type	全球 Globe	东北-长白山(温带) Northeast-Changbai Mountain (Tropical)	海南岛-尖锋岭(热带季雨林、雨林区) Hainan-Jianfengling (Tropical monsoon forest)	黄土高原(安塞县) Loess Plateau (Ansai County)	四川盆地(重庆四面山) Sichuan Basin (Chongqing Simian Mnountain)
单位经济价值 Economic value per unit (RMB·hm^{-2}·a^{-1})	879.8	136.30	55.36	1062.24	1189.83
与小良单位经济价值比较 Compared with Xiaolaing economic value per unit	15 ~ 20a 植被恢复阶段 Vegetation restoration of 15 ~ 20 a	20 ~ 30a 植被恢复阶段 Vegetation restoration of 20 ~ 30a	20 ~ 30a 植被恢复阶段 Vegetation restoration of 20 ~ 30a	10a 植被恢复阶段 Vegetation restoration of 10a	10 ~ 15a 植被恢复阶段 Vegetation restoration of 10 ~ 15a
参考文献 Data resource	[0]	[3]	[2]	[8]	[3]

表 6 小良不同植被类型物种多样性

Table 6 Species diversity in different vegetation types [1]

项目 Item	乔木层 Tree layer			灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
	S	*n*	SW	SW	SW
混交林 Mixed forest	11	64	2.176	3.006	4.121
光板地 Barren land	0	0	0	0.201	1.316

4.4 人工土壤保持经济价值的区域性

(1) 小良退化生态系统从光板地恢复到 10a 林龄时,其土壤保持功能逐渐得到改善,土壤保持经济价值 1019.44 元·hm^{-2}·a^{-1})与中国黄土高原(安塞县)的土壤保持经济 1062.24 元·hm^{-2}·a^{-1})比较接近,15a 林龄为 1189.51 元·hm^{-2}·a^{-1})和四川盆地(重庆四面山)1189.83 元·hm^{-2}·a^{-1})比较接近,说明小良退化生态

系统光板地恢复到 10a 林龄和 15a 林龄时其生态环境与中国黄土高原（安塞县）和四川盆地（重庆四面山）的生态环境相似。

表 7　小良不同人工林植物多样性与生物多样性的关系

Table 7　The relation between plant diversity and biodiversity [4]

	混交林 Mixed forest	光板地 Barren land
乔木层 Tree layer（每 $100m^2$）	11	0
昆虫种类 Insect species	300	50
鸟类 Bird species	11	4
微生物数量 Microbe number（0^7/g dry soil）	4.74	0.36
土壤动物优势种 Dominant species of soil animal	7	1

（2）小良植被恢复到 15～20a 林龄时，其土壤保持经济价值 705.69（元·hm^{-2}·a^{-1}）（表 5）与 Costanza 等（1997）估计的全球森林生态系统土壤侵蚀控制、土壤形成的平均经济价值 106（US $·$hm^{-2}$·$a^{-1}$）（相当于 879.9 元·$hm^{-2}$·$a^{-1}$）（表 5）比较接近，说明小良退化生态系统植被恢复到 15～20a 林龄时，其土壤保持经济价值已接近全球森林生态系统土壤保持经济价值。小良植被恢复到 20a 林龄后，植被土壤保持功能已得到恢复，接近保护完好的自然林，如长白山和海南尖锋岭。

References：

[1] Diamond J. Reflections on goals and on relationships between theory and practice, In：Jordon WRIII, Gilpin N and Aber J eds. Restoration ecology：A synthetic Approach to Ecological Research. Cambridge：Cambridge University Press, 1987. 329－336.

[2] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being：biodiversity synthesis. Beijing：China Environment Science Press, 2005. 60－69.

[3] Mitsc W J, Jorgensen S E. Ecological engineering. New York：John Wiley and Sons, 1989. 26－126.

[4] Parham W. Improving degraded lands：promising experience from South China. Honolulu：Bishop Museum Press, 1993. 11－23.

[5] Zhang J S, Xu Q. A Study in some basic problems in the restoration of ecology. China Journal of Applied Ecology, 1999, 10（）：109－112.

[6] Liu L H, Qu L Y. Study on rainfall erosivity index-r and its spatial distribution in Xiamen. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13（）：140－171.

[7] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. Research on the Chinese terestrial ecosystem services and their ecological economic values. Acta Ecological Sinica, 1999, 19（）：607－613.

[8] Gao W S, Chen YQ, Dong X B. Signification and measurements for ecological restoration of ecosystem services in Loess Plateau. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17（）：59－61.

[9] Van Beukering P J H, Cesara H S J, Janssen M A. Economic valuation of the Leuser Nation Park on Sumatra, Indonesia. Ecological Economics, 2003, 44：43－62.

[0] Costanza R, d 'Arge R, Groot R, *et al*. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387（5）：253－260.

[1] Lu S W, Yu X X, Xie Y Y, *et al*. The evaluation of soil conservation of forest ecosystem in China. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3（）：16－21.

[2] Xiao Y, Xie G D, An K. The function and economic value of soil conservation of ecosystems in Qinghai-Tibet Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23（1）：2367－2378.

[3] Wu G, Xiao H, Li J. Research on ecosystem service function, research on typical forest ecosystem service function in Northeast Asia —— take the Changbaishan Mountain forest ecosystem as example. Beijing：Meteorological Press, China, 2002. 204－221.

[4] Yu Z Y, Peng S L. The artificial and natural restoration of tropical and subtropical forests. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15（）：1－17.

[5] Peng S L. Study and application of restoration ecology in tropical and subtropical China. Beijing：Science Press, 2003. 109－146.

[6] Yu Z Y, Peng S L. Ecological study of vegetation restoration of degraded ecosystem in tropical and subtropical area. Guangzhou：Guangdong Science Press, 1996. 31－35.

[7] Xue D Y, Bao H S, Li W H. A valuation study on the indirect values of forest ecosystem in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve of China. China Environmental Science, 1999, 19（）：247－252.

[8] Zhou G Y, Yu Z Y, Peng S L. A study on the erosion of surface soil in three ecosystems of Xiaoliang Experimental Station. Journal of Tropical and

Subtropical Botany, 1995, 3 (2): 70 - 76.
[9] Department of Rural Surveys, National Bureau of Statistics. China Rural Statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 1988.
[10] Department of Rural Surveys, National Bureau of Statistics. China Rural Statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 1989.
[11] Department of Rural Surveys, National Bureau of Statistics. China Rural Statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 1990.
[12] Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, *et al*. Ecosystem service function search: preliminary discussion on forest ecosystem service function and its ecosystem economic value assessment — take the Hainan Jianfeng mountain tropical forest as example. Beijing: Meteorological Press, 2002. 222 - 238.
[13] Rao LY, Zhu J Z. Evaluation of forest ecosystem services in Simian mountain of Chongqing City. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17 (6): 5 - 6.

参考文献：

[2] 千年生态系统评估 (MA). 生态系统与人类福祉——生物多样性综合报告. 中国环境科学出版社, 2005. 60 ~ 69.
[5] 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 (): 109 ~ 112.
[6] 刘廉海, 曲丽英. 水土保持研究. 水土保持研究, 2006, 13 (2): 140 ~ 171.
[7] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19 (5): 607 ~ 613.
[8] 高旺盛, 陈源泉, 董孝斌. 黄土高原生态系统服务功能的重要性与恢复对策探讨. 水土保持学报, 2003, 17 (2): 59 ~ 61.
[1] 鲁绍伟, 靳芳, 余新晓, 等. 中国森林生态系统保护土壤的价值评价. 中国水土保持科学, 2005, 3 (6): 16 ~ 21.
[2] 肖玉, 谢高地, 安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值. 生态学报, 2003, 23 (1): 2367 ~ 2378.
[3] 吴钢, 肖寒, 李静. 生态系统服务功能研究: 东北亚典型森林生态系统服务功能研究——以长白山森林生态系统为例. 北京: 气象出版社, 2002. 204 ~ 221.
[4] 余作岳, 彭少麟. 热带亚热带生态系统的植被恢复及其效应. 生态学报, 1995, 15 (增刊 A 辑): 1 ~ 17.
[5] 彭少麟. 热带亚热带恢复生态学研究与实践. 北京: 科学出版社, 2003. 4 ~ 17.
[6] 余作岳, 彭少麟. 热带亚热带退化生态系统植被恢复学研究. 广州: 广东科技出版社, 1996. 31 ~ 35.
[7] 薛达元, 包浩生, 李文化. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估. 中国环境科学, 1999, 19 (3): 247 ~ 252.
[8] 周国逸, 余作岳, 彭少麟. 广东小良水保站三种生态系统地表侵蚀的研究. 热带亚热带植物学报, 1995, 3 (2): 70 ~ 76.
[9] 国家统计局农村调查队. 中国农村统计年鉴, 北京: 中国统计出版社, 1988.
[10] 国家统计局农村调查队. 中国农村统计年鉴, 北京: 中国统计出版社, 1989.
[11] 国家统计局农村调查队. 中国农村统计年鉴, 北京: 中国统计出版社, 1990.
[12] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 生态系统服务功能研究: 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖锋岭热带森林为例. 北京: 气象出版社, 2002. 222 ~ 238.
[13] 饶良懿, 朱金兆. 重庆四面山森林生态系统服务功能价值的初步评估. 水土保持学报, 2003, 17 (6): 5 ~ 6.