

# 云南南涧干热退化山地人工植被恢复 初期生物量及土壤环境动态

盛才余 刘伦辉 刘文耀

(中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 昆明 650223)

**摘 要** 研究了云南南涧干热河谷退化山地人工恢复植被初期阶段(3~5年)主要植物群落的地上生物量和恢复植被后土壤水分及养分的相关动态。结果表明, 几种外来植物的适应性强, 早期生长迅速并能很快郁闭。人工群落生物量都高于当地次生的坡柳灌草丛。引进种的地上生物量和总平均生长量分别是坡柳的3~16倍和5~20倍, 其生长速度也高于乡土树种云南松。雨季人工植被下土壤含水量比光坡地增加约100%, 表土层则增加2倍以上。但在旱季, 林地土壤含水量与光坡地相近甚至低于光坡地。植被的恢复使土壤养分朝着良性循环转变。土壤有机质、速效钾含量提高, 全氮含量稍有降低但不明显, 速效磷含量降低, pH值有所下降。这些变化主要发生在土壤表层, 人工植被及其土壤生态系统的恢复仍处于不稳定状态。

**关键词** 干热河谷 人工植被 生物量 土壤水分和养分 恢复

## BIOMASS AND DYNAMICS OF SOIL ENVIRONMENT DURING THE EARLY STAGE OF VEGETATION RESTORATION IN A DEGRADED DRY-HOT MOUNTAIN AREA OF NANJIAN, YUNNAN

SHENG Cai-Yu LIU Lun-Hui and LIU Wen-Yao

(Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, the Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223)

**Abstract** This paper presents the results of a study on above ground biomass of the major artificial (revegetation) communities at early stage (3-5 years). It also describes the fluctuation of soil moisture and soil nutrients during vegetation recovery in a degraded dry-hot mountain area of Nanjian county, in western Yunnan. It shows that, 1) many introduced plant species (*Tephrosia candida*, *Pueraria wallichii*, *Eucalyptus robusta*, *Acacia richii*, *A. mearnsii*, etc.) were strongly adapted to the dry-hot climate; they grew rapidly during early stages, with a fast canopy closure occurring in 3-4 years; the total biomass of these artificial communities were higher than that of the local secondary shrub (*Dodonaea viscosa*) community; the above ground biomass and gross average productivity of the introduced plants were 3-16 times and 5-20 times, respectively, as much as those of *Dodonaea viscosa*; their growth was also faster than that of the native species *Pinus yunnanensis*; 2) the soil moisture under the artificial community was twice that of bare slopes; topsoil moisture increased by more than 200% during the rainy season, but in the dry season the soil moisture under the introduced vegetation was close to or even lower than that of bare slopes; 3) soil nutrient cycling also improved after vegetation recovery; while organic matter and available K increased, there was no significant change in total N (it dropped slightly); available P and soil pH decreased. Changes of soil nutrients occurred mainly in the topsoil. These results show that restoration of this artificial vegetation community and the associated soil ecosystem was still unstable.

**Key words** Dry-hot valley, Artificial community, Biomass, Soil moisture and nutrients, Restoration

恢复和重建业已退化的生态系统, 维持人类生存 环境的稳定和持续发展, 是现代生态学研究的重要课

题(马世骏,1990)。南涧县位于云南省西部的元江上游河谷区,由于地质和气候等方面的原因,山地环境十分脆弱。长期不合理地开垦坡地和破坏植被,导致山地生态系统急剧退化,造成了严重的水土流失和泥石流灾害,直接威胁当地城镇居民的生命财产安全。为此,从1990年起,我们以土地严重退化、泥石流灾害频繁的小流域为对象,开展了以生物生态工程为主要手段,通过人工恢复植被来改善山地生态环境和防治泥石流的试验研究。经过几年的努力,已经建立起由不同植物种类组成、具有较好生态功能的人工群落。这些人工群落与沟道内的土建工程一道,构成了稳定山坡、调蓄水分、阻止泥石流发生的防卫体系。试验区有关植被恢复途径、植物种类筛选、造林整地技术等已有报道(刘文耀等,1995;刘伦辉等,1998)。本文在对这些人工植物群落基本状况进行调查的基础上,拟对恢复初期群落的地上生物量、土壤水分及养分的相关动态加以研究,为干热河谷地区退化山地植被的恢复和重建提供科学依据。

## 1 试验区自然条件

南涧县城的地理位置为 $25^{\circ}03' N$ , $100^{\circ}31' E$ 。试验区选择在县城后山,以泥石流危害最为严重的观音寺沟和大箐河为生物治理区域,两沟流域总面积 $3.01 \text{ km}^2$ 。山体海拔高度 $1380 \sim 2064 \text{ m}$ ,为中切割中山地貌。据县气象站设于海拔 $1382 \text{ m}$ 的观测点30多年的资料统计,年平均气温 $19^{\circ}\text{C}$ ,极端高温 $35.9^{\circ}\text{C}$ ,极端低温 $-1.1^{\circ}\text{C}$ 。年平均降雨量 $729.15 \text{ mm}$ ,降雨集中于每年的6~10月,约占全年降雨量的78%。年蒸发量 $3274.6 \text{ mm}$ ,为降雨量的4.49倍。年均相对湿度62%,而3~4月份仅为46%。属于亚热带干热河谷气候。突出特点是降雨量少,蒸发量大,热量充足,雨热同季,干湿季分明,干季较长。

试验区土壤以砂质燥红土为主,约占该区总面积的90%。成土母质为老冲积物,养分缺乏,具粗骨性,石砾含量占30%~50%。该土壤全剖面无层次分化,随土壤深度增加,石砾增多,粘粒含量减少,土壤肥力亦随之下降(刘文耀等,1995)。由于人为活动和火灾频繁,植被破坏十分严重,土壤侵蚀强烈,“土林”地貌随处可见。人工整治前区内的自然植被是以次生的坡柳(*Dodonaea viscosa*)和扭黄茅(*Heteropogon contortus*)灌丛草地为主,占试验区总面积的66.7%,群落总盖度为10%~30%。其次是云南松(*Pinus yunnanensis*)疏幼林,约占总面积的23.3%。其群落郁闭度为0.1~0.3。其它植被类型如桉树(*Eucalyptus camaldulensis*)林等则呈小片或零散分布。此外,仙人掌(*Opuntia monacana*-

*tha*)、霸王鞭(*Euphorbia royleana*)、龙舌兰(*Agave angustifolia*)等极耐旱植物也有零星生长。

## 2 人工群落和次生植被的基本特征

引进耐旱、耐贫瘠、生长迅速的树种,以种子直播或袋苗移栽的方式,在试验区内按不同立地类型分别种植了20多种植物,营造起由不同植物种类组成的人工群落。成片种植且基本郁闭的包括山毛豆(*Tephrosia candida*)、马鹿花(*Pueraria wallichii*)、大叶桉(*Eucalyptus robusta*)、台湾相思(*Acacia richii*)、黑荆树(*A. mearnsii*)等群落以及这些树种的混交群落。从而完成了流域内大部分次生灌草丛的人工改造和光坡裸地的植被重建。改造后的人工群落除了上述引进的植物种类外,还保留了当地次生灌丛的一些种类,其中以坡柳较多。此外还有余甘子(*Phyllanthus emblica*)、华西小石积(*Osteomeles schwerinae*)、青香木(*Pistacia weinmannifolia*)、山黄麻(*Trema orientalis*)、杭子梢(*Campylotropis polyantha*)等,但数量都很少。林下草本主要有扭黄茅、龙须草(*Eulaliopsis binata*)等种类。

未经改造的次生植被,包括坡柳+扭黄茅灌丛和云南松群落,经过5年的封山育林,至1995年调查时,植物密度增加,林分郁闭度和群落盖度大大提高。主要人工群落和次生植被的面积和基本特征列于表1。

## 3 研究方法

### 3.1 群落样地调查

在各群落有代表性地段进行样方调查,各类型调查3~8个样方不等。样方面积为:乔木(云南松林) $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ ,灌木 $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 。测定样方内每株木本植物的基径、高度等项目。按径级比例选取样株5~8株,测基径和树高,然后贴地表锯下。乔木分为主干、枝、叶3部分称鲜重,灌木则按枝干(包括枝条和主干)、叶两部分称鲜重。在各样方内设置2个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的小样方测定草本层生物量,割取所有草本和层间植物,称其鲜重。在各样方的四角和中央圈定5个 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 的小样方,测定凋落物厚度,收集全部凋落物称重。各类样品均在 $85^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒重后求出含水率换算为干重。

### 3.2 优势器官生物量优化回归模型的建立及样地生物量的推算

以D(基径)、 $D^2H$ 等为自变量,以各器官生物量为因变量,用4种常用的回归模型即1)  $y=a+bx$ 、2)  $y=ax^b$ 、3)  $y=ae^{bx}$ 、4)  $y=a+b\log x$ 加以模拟。以相关系数最大且在0.05的水平上达到显著相关者,作为推算器官生物量的最优模型,求出各样地优势

表 1 南涧县城后山主要人工植物群落和次生植被的基本特征(1995年7月)

Table 1 Characteristics of the major man-made and secondary plant communities in the back hills of Nanjian (July, 1995)

群落名称 Community	种植方式 Planting method	面积 Area (hm <sup>2</sup> )	林龄 Stand age (a)	密度 Density (ind. · 100 m <sup>-2</sup> )	平均基径 Mean basal diameter (cm)	平均高 Mean height (m)	总盖度 Total coverage (%)
坡柳+扭黄茅灌草丛 <i>Dodonaea viscosa</i> + <i>Heteropogon contortus</i> community	天然 Natural regeneration	3.2	5	92	1.6	1.3	60
云南松群落 <i>Pinus yunnanensis</i> community	天然 Natural regeneration	5.6	16	79	8.0	5.3	60
山毛豆群落 <i>Tephrosia candida</i> community	直播 Direct seeding (DS)	12.0	4	215	3.1	3.0	100
马鹿花群落 <i>Pueraria wallichii</i> community	袋苗移栽 Bagged stock transplant (BS)	2.1	3	138	3.3	3.5	100
大叶桉群落 <i>Eucalyptus robusta</i> community	袋苗移栽 BS	2.3	3	169	3.6	2.7	70
台湾相思群落 <i>Acacia richii</i> community	袋苗移栽 BS	4.7	3	206	2.4	1.6	40
大叶桉+山毛豆混交群落 <i>Eucalyptus robusta</i> + <i>Tephrosia</i> <i>candida</i> community	袋苗+直播 BS + DS	3.0	4	131+213	4.2, 1.8	4.0, 2.6	100
黑荆树+坡柳混交群落 <i>Acacia mearnsii</i> + <i>Dodonaea</i> <i>viscosa</i> community	袋苗+直播 BS + DS	2.7	3	117+175	2.4, 1.1	2.0, 1.1	50
台湾相思+坡柳混交群落 <i>Acacia richii</i> + <i>Dodonaea</i> <i>viscosa</i> community	袋苗+直播 BS + DS	4.3	3	200+275	1.5, 1.2	1.6, 1.1	50

种的地上部分生物量。个别树种回归模型的相关系数太小,则采用该树种各径级样株生物量的平均值来估算样地生物量。群落中其他灌木的生物量也按此法估算。最后由样地数据折算出单位面积的生物量。

### 3.3 土壤水分的测定

于旱季的1、3、5月和雨季的8、10月,在坡向、坡位和土壤类型等条件类似的山毛豆人工群落、云南松林、次生灌草丛和光坡地内各挖取4个土壤剖面,分0~20 cm, 20~40 cm, >40 cm 3层取样,置于小铝盒中密封称重。带回室内烘干称重,计算出土壤的含水率并对分析结果进行 *t* 检验。

### 3.4 土壤养分的测定

在同一山坡,于改造前(稀疏草丛半裸地,1990年3月)和人工恢复植被后(山毛豆群落,1998年1月),分别挖掘4个土壤剖面,按0~10、10~20、20~40和>40 cm 4个层次采集土样。风干,进行5项化学分析:pH值、有机质、全氮、速效磷、速效钾。

## 4 结果与分析

### 4.1 引进种的生长状况及群落生物量

以试验区内原有的次生灌丛坡柳和乔木树种云南松作为对照,来比较引进植物(即人工群落优势种)的生长情况及群落地上部分总生物量大小。

林木总平均生长量(即平均生长量)是指开始生长到调查时整个期间累积生长的总量被总年龄所除之商。林业上可根据这一指标来比较不同树种在一定条件下生长的快慢和好环。表2的结果显示,在大致相同的生长期,引进种的平均生长量是坡柳的5~20倍。山毛豆、马鹿花和大叶桉的平均生长量也大大高于云南松,台湾相思、黑荆树则与云南松接近。说明这些引进种的适应性较强,它们在幼林阶段生长迅速,能较快地覆盖地面。表现出耐干旱、耐贫瘠、生长快的特点。

引进种早期阶段的生物量都高于坡柳,其值为坡柳的3~16倍。群落地上部分总生物量也都高于坡柳+扭黄茅群落。各人工群落都以木本优势种(即引进种)的生物量所占比例最大,达到地上总生物量的77%~99%。与此相反,坡柳+扭黄茅群落则以草本层的生物量最高,达到群落总生物量的68%,坡柳的生物量仅占28%。表2还表明,人工群落和云南松林凋落物现存量也都高于坡柳+扭黄茅灌草丛。凋落

物占林分总生物量的比例为7%~27%不等。光坡地经整治改造种植树木后,恢复了地面覆盖,凋落物现存量也高于次生群落。

4.2 恢复植被后土壤水分的季节动态

从表3看出,光坡地的土壤含水量,雨季高于旱季。在全年大部分时间内,下层土壤水分高于中上

层,这种状态从雨季一直持续到旱季的中期(3月)。至旱季末期(5月),土壤各层之间含水量无明显差异。因为没有植物根系的穿透作用,土壤上下层之间水分的渗透输导较慢。在雨季,光坡地下层土壤含水量达到最高值的时间要落后于有植被土壤。同样,旱季时土壤下层水分的蒸发也有一个滞后的过程。

表 2 人工群落和次生植被地上部分各层次生物量及优势种总平均生长量

Table 2 Above ground biomass allocation in different layers of the man-made and secondary plant communities and average productivity of dominant species

群 落 名 称 Community	优势种 Dominant species (t·hm <sup>-2</sup> )	其它灌木 Other shrubs (t·hm <sup>-2</sup> )	草本层 Herbs (t·hm <sup>-2</sup> )	地上总量 Total above ground (t·hm <sup>-2</sup> )	凋落物 Litter (t·hm <sup>-2</sup> )	林分总量 Total biomass (t·hm <sup>-2</sup> )	优势种总平均 生长量 Average productivity of dominant species (t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
坡柳+扭黄茅群落 <i>Dodonaea viscosa</i> + <i>Heteropogon contortus</i> community	1. 919	0. 295	4. 75	6. 964	1. 20	8. 164	0. 384
云南松群落 <i>Pinus yunnanensis</i> community	40. 251	0. 706	0. 02	40. 977	14. 88	55. 857	2. 516
山毛豆群落 <i>Tephrosia candida</i> community	26. 124	0. 075	1. 56	27. 759	4. 68	32. 493	6. 531
马鹿花群落 <i>Pueraria wallichii</i> community	17. 676	0. 615	0. 94	19. 231	4. 00	23. 231	5. 892
大叶桉群落 <i>Eucalyptus robusta</i> community	12. 224	1. 663	1. 85	15. 737	3. 36	19. 097	4. 075
台湾相思群落 <i>Acacia richii</i> community	8. 125	0	0. 89	9. 015	2. 40	11. 415	2. 708
大叶桉+山毛豆混交群落 <i>Eucalyptus robusta</i> + <i>Tephrosia candida</i> community	30. 543	0	0. 33	30. 873	2. 52	33. 393	7. 636
黑荆树+坡柳混交群落 <i>Acacia mearnsii</i> + <i>Dodonaea viscosa</i> community	7. 741	0	2. 08	9. 821	3. 04	12. 861	2. 580
台湾相思+坡柳混交群落 <i>Acacia richii</i> + <i>Dodonaea viscosa</i> community	6. 298	0	1. 07	7. 368	2. 52	9. 888	2. 099

表 3 不同群落内土壤含水量季节动态(1997年)

Table 3 Seasonal variation of soil moisture under different communities (1997)

群落类型 Community	土壤深度 Depth (cm)	土壤含水量(占烘干土重 %) Soil moisture (% of dry weight, Mean ±SD)				
		1月 Jan.	3月 Mar.	5月 May	8月 Aug.	10月 Oct.
光坡地 Bare slope	0~20	2. 77±0. 16	2. 87±0. 23	3. 23±0. 20	4. 52±0. 29	4. 93±0. 28
	20~40	4. 24±0. 09	3. 66±0. 15	3. 08±0. 09	5. 42±0. 31	5. 20±0. 09
	>40	6. 67±0. 22	4. 53±0. 12	2. 94±0. 18	6. 08±0. 11	9. 56±0. 21
坡柳+扭黄茅灌草丛 <i>Dodonaea viscosa</i> + <i>Heteropogon contortus</i> community	0~20	2. 41±0. 07	3. 41±0. 12	4. 04±0. 13	12. 97±0. 17	12. 69±0. 22
	20~40	3. 09±0. 13	3. 13±0. 15	3. 19±0. 14	12. 27±0. 11	11. 72±0. 27
	>40	3. 33±0. 17	3. 69±0. 11	3. 69±0. 14	12. 91±0. 12	13. 12±0. 26
山毛豆群落 <i>Tephrosia candida</i> community	0~20	4. 30±0. 13	3. 85±0. 22	4. 38±0. 13	14. 45±0. 28	13. 79±0. 52
	20~40	4. 66±0. 13	3. 66±0. 35	4. 12±0. 15	12. 59±0. 67	14. 96±0. 83
	>40	3. 91±0. 18	2. 98±0. 19	3. 46±0. 09	12. 36±0. 77	14. 44±0. 60
云南松林 <i>Pinus yunnanensis</i> community	0~20	3. 36±0. 15	2. 68±0. 27	2. 22±0. 17	10. 16±0. 37	11. 62±0. 44
	20~40	3. 70±0. 23	2. 11±0. 17	1. 64±0. 23	8. 38±0. 57	13. 02±0. 39
	>40	3. 66±0. 21	2. 32±0. 23	2. 21±0. 17	9. 47±0. 56	12. 24±0. 56

表 4 山毛豆群落恢复 8 年后土壤养分变化 (1990~1998)<sup>1)</sup>Table 4 Changes of soil nutrients in *Tephrosia candida* community (1990~1998)

土壤深度 Depth (cm)	pH 值		有机质 Organic matter (%)		全氮 Total N (%)		速效磷 Available P ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )		速效钾 Available K ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	
	1990	1998	1990	1998	1990	1998	1990	1998	1990	1998
0~10	6.74 (0.12)	6.18 <sup>a</sup> (0.09)	2.06 (0.07)	3.05 <sup>a</sup> (0.09)	0.119 (0.012)	0.116 (0.014)	19.70 (1.88)	7.40 <sup>a</sup> (0.66)	46.81 (2.05)	180.65 <sup>a</sup> (7.62)
10~20	6.20 (0.11)	5.95 <sup>c</sup> (0.10)	1.22 (0.08)	1.33 (0.12)	0.085 (0.010)	0.052 <sup>c</sup> (0.013)	8.56 (0.71)	6.00 <sup>b</sup> (0.60)	22.81 (2.98)	90.89 <sup>a</sup> (4.66)
20~40	6.16 (0.07)	6.05 (0.08)	0.87 (0.07)	0.92 (0.10)	0.063 (0.015)	0.041 (0.010)	6.68 (0.52)	3.50 <sup>a</sup> (0.23)	27.40 (2.16)	49.70 <sup>a</sup> (3.91)
>40	6.10 (0.09)	6.23 (0.08)	0.62 (0.07)	0.64 (0.09)	0.046 (0.007)	0.039 (0.005)	3.38 (0.27)	2.50 <sup>b</sup> (0.25)	29.44 (3.09)	40.98 <sup>b</sup> (2.55)

1): 土壤养分含量按其粘粒部分分析 Soil nutrients are relative quantity to the clay particles 括号内为标准差,平均数比较用  $t$  检验 The value in the brackets are standard deviation  $t$ -test: a.  $p \leq 0.001$  b.  $p \leq 0.01$  c.  $p \leq 0.05$

有植被覆盖的土壤,无论是草丛、灌木林,还是乔木林,其土壤水分的季节动态基本一致,在旱季的 3~5 月土壤含水量降至最低,至雨季末期(10 月)达到最高,雨季土壤含水量明显高于旱季,其差异达 3~4 倍。全年土壤含水量上下层差异较小;进入雨季,土壤各层的含水量都能达到较高值;而在旱季,土壤下层与中上层一样,都变得较干燥。

与光坡地相比,恢复植被后,由于地表凋落物的增加和植物根系的穿透作用,使林地土壤在雨季能蓄积更多的降水,土壤含水量比光坡地增加约 100%,表土层则比光坡地高出 2 倍以上;但在旱季,由于植物根系吸收大量水分用于蒸腾作用,而使林地土壤含水量与光坡地相接近,甚至低于光坡地(如 5 月份的云南松林)。

总之,恢复植被后林地土壤的蓄水保水能力增强,山地水分的循环状况大大改善,有利于土壤朝着良性方向恢复发展。这一过程反过来又能促进植物的生长,从而加快退化生态系统的恢复。

#### 4.3 人工恢复植被后土壤养分的变化

重建植被后地表的光热水条件发生了很大变化。土壤-植被生态系统得以恢复,形成土壤养分循环的动态平衡。新的动向往往与植被的恢复和物种的定居有关。山毛豆群落生长 8 年后测得的土壤养分与恢复前的数据进行比较后可以发现,恢复植被后土壤化学性质发生了一些变化。土壤有机质、速效钾含量提高,全氮含量稍有降低但不明显,速效磷含量降低,pH 值有所下降,土壤趋于酸化。这些变化主要发生在土壤的表层(表 4)。1) 恢复植被后土壤的 pH 值有所降低,在表土层更明显。这表明枯枝落叶的分解在干旱情况下进行得很弱也很不彻底,从而

形成粗腐殖质,使土壤表层环境呈酸性反应(张万儒,1997)。植物根系本身也有改变土壤酸碱性的能力,如茶树根区土壤 pH 值较土体低 0.2~1.2 单位(熊毅等,1987)。2) 土壤有机质含量的增加也是在表土层。草本植物的死根和木本植物的枯枝落叶所提供的腐殖化有机质都集中在土壤上层和地表。随着土层的加深,草本根系渐少,而木本根系是多年生的。3) 土壤各层中速效钾的大量增加,反映出干热气候条件下土壤的阳离子交换量较高。由于淋溶作用较弱,又受旱季水分蒸发和生物富集的影响,导致表层有效态钾的聚积(Foth, 1984;熊毅等,1987)。4) 土壤全氮含量并没有因有机质含量的增加而提高,而速效磷含量明显比 8 年前还低,这与植被的吸收利用有关。由于处于恢复早期阶段的木本植物生长迅速,大量的氮、磷养分元素转移到活树中,使土壤全氮和速效磷含量始终未能恢复提高。

## 5 结 论

南涧干热退化山地的次生植被坡柳灌草丛,是该区生态平衡受到严重破坏的结果和资源枯竭的可见标志。此类次生植被的覆盖度很低,群落生物量小,生产力极低。通过引进外来种和采用适当的技术措施人工造林成功,是恢复和重建退化生态系统最重要的一步。

试验研究的结果表明,以引进种为优势的人工林,其群落早期阶段地上生物量和平均生长量都高于当地的次生灌草丛和云南松林,表现了这些外来种耐旱耐瘠薄的生态生物学特性。这些人工群落早期生长迅速,能很快覆盖地面,并产生大量凋落物,从而在改造环境,控制水土流失,培肥林地土壤等方

面起到了重要作用。退化山地人工植被的恢复,使群落地上截留雨水和林地土壤的蓄水保水能力大大增强,土壤的水分状况大为改善。恢复植被8年后,土壤有机质和速效钾已有所积累,土壤肥力有所提高,植被-土壤养分体系也开始朝着良性循环方向转变。但这些变化是初步的。土壤全氮和速效磷含量的降低,又表明人工林及其土壤生态系统的恢复仍处于不稳定状态。

美国生态学家 Ewel (1987) 认为,新建生态系统的持续性,抗外来物种侵入的能力,较高的生产力,较高的养分保持能力和生态系统中不同生物组成成分之间的协调关系,是退化生态系统得到成功恢复的标志。评价南涧干热退化山地重建的人工林生态系统是否成功仍尚需时日。由于外来种的作用,生态系统中的互惠共生关系将发生改变,进而影响土壤资源的有效性和群落的演替方向与速度(韩兴国, 1995)。

### 参 考 文 献

- Ewel, J. J. 1987. Restoration is the ultimate test of ecological theory. In: Jordan, W. R. III., M. E. Gilpin & J. D. Aber eds. Restoration ecology. Cambridge: Cambridge University Press. 31~33.
- Foth, H. D. (translated by Tang, Y. X. (唐耀先), S. W. Tan (谭世文), B. Q. Zhang (张伯泉), T. K. Hu (胡童坤), J. C. Lao (劳家桢), X. C. Xu (须湘成) & X. X. Chen (陈小萱). 1984. Fundamentals of soil science. Beijing: China Agriculture Press. 249. (in Chinese)
- Han, X. G. (韩兴国). 1995. Theories of ecological succession for the restoration and rehabilitation of degraded ecosystems. In: Chen, L. Z. (陈灵芝) & W. L. Chen (陈伟烈) eds. Studies on degraded ecosystems in China. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 1~15. (in Chinese)
- Liu, L. H. (刘伦辉), C. Y. Sheng (盛才余) & W. Y. Liu (刘文耀). 1998. The fundamentals and technical essentials of ecological controlling for debris flow—a case study in the back mountain of Nanjian. In: Zhong, D. L. (钟敦伦), C. H. Wang (王成华), H. Xie (谢洪) & Y. Li (李泳) eds. Catalogue, database, regional rules of debris flow and landslide. Chengdu: Sichuan Publishing House of Sciences and Technology. 119~123. (in Chinese)
- Liu, W. Y. (刘文耀), L. H. Liu (刘伦辉), X. Z. Qiu (邱学忠) & X. N. Zhao (赵学农). 1995. Experimental studies on ways of water storage and vegetation restoration in dry-hot degenerative mountainous area in Nanjian, Yunnan. Journal of Natural Resources (自然资源学报), 10: 35~42. (in Chinese)
- Ma, S. J. (马世骏). 1990. Prospects for ecology in 1990s. In: Ma, S. J. (马世骏) ed. Perspective of contemporary ecology. Beijing: Science Press. 1~4. (in Chinese)
- Xiong, Y. (熊毅) & Q. K. Li (李庆远). 1987. The soil of China. Beijing: Science Press. 66, 445. (in Chinese)
- Zhang, W. R. (张万儒). 1997. Forest site of China. Beijing: Science Press. 109. (in Chinese)

责任编辑:周玉荣