

The Different Allocation Models and Biological Diversity Analysis of Artificial Vegetation in the Damaged Forestland of Tin Mine*

Guixiang Li¹, Xiangjing Fang¹, Jinping Shao¹, Yong Chai¹, Liping He¹, Zhenghai Zhang¹, Wenhua Zhou²

¹Yunnan Academy of Forestry, Kunming
²Yunnan Yongquan Landscape Engineering Co. Ltd., Kunming
Email: lguixiang7558@126.com

Received: Jun. 24th, 2013; revised: Jul. 10th, 2013; accepted: Jul. 20th, 2013

Copyright © 2013 Guixiang Li *et al.* This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: In the damaged forestland of Gejiu tin mine, some allocation models of typical representative artificial restoring vegetation were selected, and through the sample investigation and analysis, the author proposed several kinds of allocation models: *Tibetan cypress* and *Pyracantha*; *Pinus caribaea*, *Dendrobenthamia capitata* and *Tibetan cypress*; *Alnus nepalensis* and *Mahonia*; *Tibetan cypress* and *Pistacia weinmannifolia*; *Tibetan cypress* and *Silver wattle*; *Tibetan cypress* and *Sequoia sempervirens*; *Alnus nepalensis*, *Sawtooth oak* and *Calluna*; *Tibetan cypress* and *Alnus nepalensis*. There existed some differences in forest growth status among these allocation models with the *Tibetan cypress* growing most rapidly on the whole. From the perspective of different allocation models, the species diversity of the allocation model of *Tibetan cypress* and *Pistacia weinmannifolia* and the allocation model of *Tibetan cypress* and *Sequoia sempervirens* shows the best, and their species diversity index and evenness index are higher, which could reflect the effect of vegetation restoration more obviously.

Keywords: Tin Mine; Damaged Forestland; Vegetation Restoration Model; Biodiversity

锡矿山损毁林地人工植被恢复模式及生物多样性分析*

李贵祥¹, 方向京¹, 邵金平¹, 柴勇¹, 和丽萍¹, 张正海¹, 周文华²

¹云南省林业科学院, 昆明
²云南涌泉园林绿化工程有限公司, 昆明
Email: lguixiang7558@126.com

收稿日期: 2013年6月24日; 修回日期: 2013年7月10日; 录用日期: 2013年7月20日

摘要: 在个旧锡矿山损毁林地上, 选择具有典型代表性的人工恢复植被的不同配置模式, 通过样地调查分析, 提出了藏柏、火棘配置模式, 加勒比松、头状四照花、藏柏配置模式, 旱冬瓜、十大功劳配置模式, 藏柏、清香木配置模式, 藏柏、银荆配置模式, 藏柏、北美红杉配置模式, 旱冬瓜、麻栎、石楠配置模式, 以及藏柏、旱冬瓜配置模式。各种配置模式林木生长状况存在一定的差异, 总体上以藏柏生长最快。从不同配置模式来看, 藏柏、清香木配置模式及藏柏、北美红杉配置模式物种多样性最好, 物种多样性指数及均匀度指数均较高, 反映出植被恢复效果较明显。

关键词: 锡矿山; 损毁林地, 植被恢复模式; 生物多样性

*资助信息: The R&D Special Fund for Forestry Public Welfare Industry "Research and Demonstration of Key technology on re-vegetation of woodland damaged by construction" (200904030)。

1. 引言

个旧矿区是一个以锡为主的超大型多金属矿区，采、选、冶历史悠久，以锡矿生产驰名中外，称之为中国的“锡都”^[1]。矿山资源经过多年开采，创造了巨大的物质财富，推动了个旧矿山城市的形成、发展和繁荣，但同时也给矿山及周边环境带来负面影响和危害，矿区环境污染较为严重^[2]。矿山开发对生态系统的破坏也十分的严重，特别是土壤和植被的丧失，使土地失去利用价值^[3]。

通过人工恢复被破坏的土地来增加土地资源，既是缓解人地矛盾和矿山环境建设的需要，同时又是促进矿山经济开发与环境保护协调发展的主要举措。矿山生态植被的恢复与重建，已被看作是矿区恢复的重要方式，是改善当地居民生活条件的有效途径^[3]。植被重建除了本身起着构建退化生态系统的初始植物群落的作用外，还能促进土壤的结构与肥力以及土壤微生物与动物的恢复，从而促进整个生态系统的结构与功能的恢复与重建^[4]。

2. 研究区概况

研究区为云南省个旧市位于北纬 23°18'56"~23°21'39"，东经 103°07'28"~103°09'14"，海拔 1533~2580 m。处于哀牢山山脉之中，北回归线穿境而过，区内山峦叠嶂，河流纵横，地势呈南高北低。个旧属北亚热带山地季风型气候，日照短、温差小、冬暖夏凉。年均日照 1986.6 h，全年日照 1722.0 h，年均气温 11.5℃，≥10℃的积温 2850.8℃，多年平均降雨量 926 mm，土壤类型主要为黄棕壤和山地黄红壤。个旧

具有丰富的矿藏资源、植物资源和动物资源，以锡矿资源及采矿、冶炼、加工而立市的个旧，大量土地被占用，形成很多采空区(部分采空区为上世纪 80 年代采用水采水运后所形成)，岩石裸露率不断加大，地表植被破坏严重，水土流失加剧，生态环境不断恶化。近年来，国家和地方政府高度重视矿区生态环境治理和恢复，废弃矿山植被恢复得到治理，人工恢复了大量的森林植被，矿山生态环境逐渐得到改善，所开展的植被恢复选择水采水运后形成的矿区废弃地。

3. 研究方法

选择典型配置模式藏柏(*Cupressus torulosa*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)配置模式；加勒比松(*Pinus caribaea*)、头状四照花(*Dendrobenthamia capitata*)、藏柏配置模式；旱冬瓜(*Populus purdomii*)、十大功劳(*Mahonia hypoleuca*)配置模式；藏柏、清香木(*Pistacia weinmannifolia*)配置模式；藏柏、银荆(*Acacia dealbata*)配置模式；藏柏、北美红杉(*Sequoia sempervirens*)配置模式；旱冬瓜、麻栎(*Quercus acutissima*)、石楠(*Photinia glomerata*)配置模式；藏柏、旱冬瓜配置模式。设置样地对 3 年生的人工恢复植被进行调查，各配置模式见表 1。

在选取的样地内设置 20 m × 20 m 的标准样地，将标准样地划分成 4 块 10 m × 10 m 的样地调查乔木层，测定乔木层物种多样性；再将 10 m × 10 m 的样地设置 2 m × 2 m、1 m × 1 m 的小样方 4 块，分别调查灌木及草本植物，测定灌木及草本物种多样性。调查时记录样地的生境及群落特征，对样地内乔木进行

Table 1. The various configuration modes
表 1. 各配置模式

配置模式	配置方式	配置密度/株/ha	配置比例
藏柏、火棘	1 行藏柏，1 行火棘	2500	1:1
加勒比松、头状四照花、藏柏	1 行藏柏、1 行加勒比松、1 行四照花带状混交	2500	1:1:1
旱冬瓜、十大功劳	1 行旱冬瓜、1 行十大功劳成行状混交	2500	1:1
藏柏、清香木	1 行藏柏，1 行清香木成行状混交	2500	1:1
藏柏、银荆	2 行藏柏，1 行银荆成行状混交	2500	2:1
藏柏、北美红杉	1 行藏柏，1 行北美红杉成行状混交	2500	1:1
旱冬瓜、麻栎、石楠	3 行旱冬瓜，3 行麻栎，3 行石楠成带状混交	2500	1:1:1
藏柏、旱冬瓜	7 行旱冬瓜，3 行藏柏成带状混交	2500	7:3

每木调查, 调查林木的生长生长情况、成活情况、保存情况, 记录种名、树高、胸径、冠幅及其它一些生态学特征, 计算出生长量、成活率和保存率。灌木、草本着重记录种名、株(丛)数、盖度、高度及其它重要生态特征。

群落多样性的测度选用丰富度指数(S)、物种多样性指数和均匀度指数^[5,6], 计算公式为:

Shannon-Wiener 指数(H')

$$H' = -\sum P_i \ln P_i$$

Simpson 指数(D)

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

Pielou 的均匀度指数(J_{sw} 和 J_{si})

$$J_{sw} = -\sum P_i \ln P_i / nS$$

$$J_{si} = 1 - \sum P_i^2 / (1 - 1/S)$$

式中 P_i 为种 i 的相对重要值, S 为种 i 所在样地的物种总数, 即丰富度指数。

4. 研究结果与分析

4.1. 各配置模式生长状况比较

不同配置模式林木成活率及生长状况差异很大, 各树种间由于树种生物学特性差异, 亦表现出较大差异, 各配置模式生长状况见表 2。

从表中可以看出, 成活率最差的是头状四照花, 其次是十大功劳、石楠、旱冬瓜(旱冬瓜和十大功劳模式)及加勒比松, 其他成活率均在 90%以上。从其成活率情况来看, 旱冬瓜和十大功劳模式成活率较低的原因与土壤条件相对较差具有一定关系, 除水采水运后形成岩石裸露外, 所覆土壤以含石砾较多的砂壤为主, 而其它模式所覆土壤以粘土为主, 因此, 要保证有较高的成活率, 覆土需要保水性相对较好的粘土。

从配置模式及各树种生长状况来看, 生长最快的树种是银荆, 其次藏柏在各模式和各树种中生长状况均是表现最好的, 生长缓慢的树种包括清香木、头状四照花、麻栎、石楠、十大功劳等, 清香木、麻栎等

Table 2. The growth status of various configuration modes

表 2. 各配置模式生长状况

配置模式	树种	成活率/%	平均高/cm	平均地径/cm
藏柏、火棘	藏柏	98	197.3	2.29
	火棘	96	105.3	-
	加勒比松	85	116	2.3
加勒比松、头状四照花、藏柏	头状四照花	50	50	0.49
	藏柏	96	218.5	3.58
旱冬瓜、十大功劳	旱冬瓜	80	67	1.87
	十大功劳	70	90	0.66
	藏柏	97	220	2.93
藏柏、清香木	清香木	91	30	0.42
	藏柏	98	194.3	2.95
藏柏、银荆	银荆	96	228.28	3.3
	藏柏	98	220	1.2
藏柏、北美红杉	北美红杉	92	78	0.81
	旱冬瓜	97	80	1.23
	麻栎	95	40	0.56
旱冬瓜、麻栎、石楠	石楠	80	61	0.66
	藏柏	97	210	1.98
藏柏、旱冬瓜	旱冬瓜	95	95	1.33

树种的生长和其生物学特性有关,在造林初期生长较为缓慢,头状四照花、石楠和十大功劳则表现出不太适应当地的气候环境条件。

4.2. 人工恢复植被不同配置模式生物多样性状况

4.2.1. 藏柏、火棘配置模式生物多样性状况

不同恢复模式生物多样性状况见表 3,在藏柏、火棘配置模式中,草本层植物较多,平均高 25 cm,最高 50 cm,盖度 80%。主要植物种类以禾本科的白茅(*Imperata cylindrica*)、茅叶荩草(*Arthraxon lanceolatus*)及蕨类植物毛轴蕨(*Pteridium revolutum*)较常见,优势明显,其重要值分别高达 27.86%和 9.92%和 9.41%。其余较常见的还有草玉梅(*Anemone rivularis*)、星毛繁缕(*Stellaria patens*)、酢酱草(*Oxalis corniculata*)、蛇莓(*Duchesnea indica*)等,但多属低矮草本植物,重要值较低。一些纤细草本植物如猪殃殃(*Galium aparine*)、匍匐风轮菜(*Clinopodium repens*)等,常紧贴地面生长而不易被发现,但在草丛中其个体数量较多,它们的重要值也较高。草丛中的灌木植物较少,除火棘外,仅有马桑(*Coriaria nepalensis*)、滇榛(*Corylus yunnanensis*)等零星分布于草丛中。在 4 个 1 m × 1 m 的小样方中共调查到 18 种植物,植株个体总数为 187,从各项指数来看,群落物种多样性相对较低,物种分布不均匀。

4.2.2. 加勒比松、头状四照花、藏柏配置模式生物多样性状况

加勒比松、头状四照花、藏柏配置模式除所栽植

的树种外,灌木植物未形成明显的层次,仅有少量的臭荚迷(*Viburnum foetidum*)、火棘零星分布于草丛中。草本植物平均高 40 cm,最高为 70 cm,盖度 90%种类以野古草(*Arundinella setosa*)、地石榴(*Ficus tikoua*)等为主,重要值分别高为 34.84%和 11.71%,其余常见的还有喜阴悬钩子(*Rubus mesogaesus*)、茅叶荩草(*Arthraxon lanceolatus*)、茜草(*Rubia edgeworthii*)、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、匍匐风轮菜等,但重要值均较低。在 4 个 1 m × 1 m 的小样方中共调查到 14 种植物,植株个体总数为 184,从各项指数来看,该配置模式物种多样性表现最低,物种分布参差不齐。

4.2.3. 旱冬瓜、十大功劳配置模式生物多样性状况

旱冬瓜、十大功劳配置模式下灌木较多,但仍未形成明显的层次,盖度不到 5%,高亦不超过 1.5 m,常见的种类有火棘、水红木(*Viburnum cylindricum*)、鬼吹箫(*Leycesteria formosa*)、沙针(*Osyris wightiana*)等。草本植物平均高 30 cm,最高的 60 cm,盖度 30%,局部地段盖度可达 70%。草本植物种类以紫茎泽兰、野古草、野把子(*Rabdosia irrorata*)等较多,其重要值分别为 18.48%、16.99%和 9.68%。其它有青蒿(*Artemisia carvifolia*)、白茅、蜈蚣草(*Pteris vittata*)等,但在草丛中不太明显。在 4 个 1 m × 1 m 的小样方中共调查到 20 种植物,植株个体总数为 130,辛普森指数 0.134,香浓-威纳指数为 1.002,均匀度指数 0.771,从各项指数来看,该配置模式物种数较多而其个体数较少,特别是其中紫茎泽兰的优势度相当集中,对小生境影响较大。

Table 3. Biological diversity of different configuration patterns
表 3. 不同配置模式生物多样性

配置模式	丰富度	样方内个体数	辛普森指数	香浓-纳指威数	均匀度指数
藏柏、火棘	18	187	0.152	0.99	0.789
加勒比松、头状四照花、藏柏	14	184	0.257	0.811	0.708
旱冬瓜、十大功劳	20	130	0.134	1.002	0.771
藏柏、清香木	19	188	0.089	1.107	0.866
藏柏、银荆	18	140	0.118	1.054	0.839
藏柏、北美红杉	23	281	0.111	1.098	0.806
旱冬瓜、麻栎、石楠	18	239	0.102	1.078	0.859
藏柏、旱冬瓜	4	122	0.144	0.962	0.839

4.2.4. 藏柏、清香木配置模式生物多样性状况

藏柏、清香木配置模式下灌木植物较多,如滇榛(*Corylus yunnanensis*)、臭荚迷、马桑、火棘等,滇榛在局部地段可成群丛状分布,高度约 1 m,盖度达 90%。草本植物平均高 40 cm,盖度达 95%,植物种类以白茅、毛轴蕨菜、喜阴喜钩子较多,重要值分别为 13.03%、10.85%和 10.70%,其余常见的还有茅叶荩草、猪殃殃、井栏边(*Pteris multifida*)及酢酱草等,但其重要值均在 10%以下。在 4 个 1 m × 1 m 的小样方中共调查到 19 种植物,从各项指数来看,该配置模式物种多样性最好,物种多样性指数及均匀度指数均较高,反映出植被恢复效果较明显。

4.2.5. 藏柏、银荆配置模式生物多样性状况

藏柏、银荆配置模式林下灌木种类较多,如滇榛、火棘、臭荚迷、野花椒(*Zanthoxylum simulans*)、华灰木(*Symplocos chinensis*)、南烛(*Vaccinium bracteatum*)等,不过这些灌木种类仍没形成灌丛,仅在草丛中零星分布。草本植物较多,其盖度接近 100%,以蕨类植物毛轴蕨菜分布最多,在生长高度(可达 70 cm)及植株数量上的优势均较明显,草丛中生长较多的还有白茅,其高度在 30~40 cm,是组成整个草本层的主要种类,其它种类有野古草、草玉梅、糯米团等,但数量均不多。在 4 个 1 m × 1 m 的小样方中共调查到 18 种植物,植株个体总数为 140,从各项指数来看,该配置模式物种多样性表现一般。

4.2.6. 藏柏、北美红杉配置模式生物多样性状况

藏柏、北美红杉配置模式灌木植物仅有灰毛钝叶栒子(*Cotoneaster hebephyllus*)1 种,高 1.2 m;草本植物平均高 30 cm,盖度 90%,种类以白茅、野古草、毛轴蕨菜、糯米团(*Gonostegia hirta*)、猪殃殃等较常见,其中白茅、野古草的重要值分别为 16.19%和 12.94%,为草丛中重要值较高的种类。其余较常见的还有匍匐风轮菜、草玉梅(*Anemone rivularis*)、香青(*Anaphalis virens*)、川续断(*Dipsacus asperoides*)、星毛繁缕等。在 4 个 1 m × 1 m 的小样方中共调查到 23 种植物,植株个体总数为 281,从各项指数来看,该配置模式物种多样性表现较好。

4.2.7. 旱冬瓜、麻栎、石楠配置模式生物多样性状况

旱冬瓜、麻栎、石楠配置模式下几乎不见有灌木

生长。草本植物平均高 20 cm,最高 60 cm,盖度 90%,种类以野古草、青蒿、香青等较多,其重要值分别为 15.78%、13.58%和 11.63%。其余草本植物的重要值均在 10%以下,如毛轴蕨菜、猪殃殃、川继断、黄毛草莓(*Fragaria nilgerrensis*)等。在 4 个 1 m × 1 m 的小样方中共调查到 18 种植物,植株个体总数为 239,从各项指数来看,该配置模式物种数较少,而个体数较多,且一些种的优势度较高,在局部地段可能对造林树种产生影响。

4.2.8. 藏柏、旱冬瓜配置模式生物多样性状况

藏柏、旱冬瓜配置模式下灌木植物仅有马桑 1 种,高 1.5 m。草本植物平均高 20 cm,盖度约 50%~60%,植物种类以白茅、野古草等较常见,重要值分别为 17.91%和 11.81%,其余还有星毛繁缕、井栏边、紫茎泽兰、草玉梅、糯米团、小叶三点金(*Desmodium microphyllum*)等。在 4 个 1 m × 1 m 的小样方中共调查到和 4 种植物,植株个体总数为 122,从各项指数来看,该配置模式物种多样性表现较差,植被恢复效果较差。

5. 结论与讨论

针对水采水运后形成的个旧锡矿山损毁林地植被恢复较为困难的特点,提出了不同树种配置的人工植被恢复模式,包括藏柏、火棘配置模式,加勒比松、头状四照花、藏柏配置模式,旱冬瓜、十大功劳配置模式,藏柏、清香木配置模式,藏柏、银荆配置模式,藏柏、北美红杉配置模式,旱冬瓜、麻栎、石楠配置模式,以及藏柏、旱冬瓜配置模式。通过设置样地对不同配置模式中的树种成活率,生长状况开展了调查,各种配置模式林木生长状况存在一定的差异,总体上以藏柏生长最快。从生物多样性来看,藏柏、清香木配置模式及藏柏、北美红杉配置模式物种多样性最好,物种多样性指数及均匀度指数均较高,反映出植被恢复效果较明显,影响群落多样性的主要原因是立地条件,此外,植被处于恢复初期,群落尚处于不稳定的过程,有待进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] 贺胜娜,罗显辉,尚卫.个旧矿山环境地质问题及治理建议[J].云南环境科学,2006,25(增刊):94-96.

- [2] 张德刚, 刘艳红, 张虹等. 个旧矿区土壤重金属污染研究进展[J]. 金属矿山, 2009, 11(增刊): 807-810.
- [3] 杨修, 高林. 德兴铜矿矿山废弃地植被恢复与重建研究[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1932-1940.
- [4] 魏艳, 侯明明, 王宏斌等. 矿业废弃地的生态恢复与重建研究[J]. 矿业快报, 2006, 451(11): 36-39.
- [5] 马克平, 黄建辉, 于顺利等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度、和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [6] 李贵祥, 方向京, 何林等. 磷矿山不同年度人工恢复植被的林分特征研究[J]. 西部林业科学, 2012, 41(5): 36-40.