

南方高岭土采矿废弃地生态恢复试验研究

黄义雄¹, 方祖光²

(1. 福建师范大学 地理研究所, 福建 福州 350007; 2. 福州市水土保持办公室, 福建 福州 350001)

摘要: 通过对高岭土矿废弃地土壤理化性质测定, 选择了马尾松、胡枝子和香根草 3 种植物作生物复垦的先锋植物, 并采取不同试验处理。结果表明, 马尾松、胡枝子和香根草乔灌木相结合的群落配置, 结合废弃地熟土回填的处理, 有利于植物较快生长, 能较快地达到培土熟化效果, 恢复受损的生态环境。

关键词: 高岭土矿; 废弃地; 复垦技术; 生态恢复

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)04-0013-04

中图分类号: Q948, X171.1

An Experimental Study of Ecological Restoration of Mining Wasted Lands of Kaolinite Minerals in South China

HUANG Yi-xiong¹, FANG Zu-guang²

(1. Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, Fujian Province, China;

2. Office of Water and Soil Conservation, Fuzhou 350001, Fujian Province, China)

Abstract: Three plants of *Pinus massoniana*, *Elaeagnus pungens* and *Vetiveria zizanioides*, which fitted for growing as the pioneer plants of the ecological restoration, are selected by the different experiments according to the physical and chemical character of mining wasted lands of Kaolinite minerals. According to the experimental results, it was thought that the logical community structure of herbage with shrubs and trees, specially nitrogen-fixing plant of the leguminous plant with the management of the backfilling mature soil, is an effective way for quickly restoring the soil fertility and vegetation growth, and the ecological environmental restoration which had been aggrieved.

Keywords: Kaolinite minerals; mining wasted lands; reclamation technology; ecological restoration

矿山废弃地是指在采矿活动中所破坏的、未经一定处理而无法使用的土地。土壤结构破坏、养分流失、植被丧失是矿山废弃地的共同特征。尾矿场的废渣、酸性废水及矸石堆自然产生的大气污染是周围环境的严重污染源。因此,对矿山废弃地进行土壤改良和生态恢复就显得十分的重要。国外对此十分重视,长期以来在研究和实践上开展了大量的工作,并制定了有关的法律和法规。加拿大、澳大利亚和前苏联等国矿山废弃地的复垦率均在 50% 以上,其中美国达 79.5%,英国达 75.8%(露天煤矿),德国达 85%。这些国家的显著特点是采用综合模式进行,矿山的复垦工程设计严密,多专业联合投入以及高科技指导^[1]。

我国是个矿产资源大国,随着国民经济的快速发展和人口的不断增加,矿产资源开采的速度越来越快,矿山废弃地的数量也越来越多。据统计我国历年采矿占用的土地面积约 2.20×10^6 hm², 目前由于采

矿而废弃的土地为 2.00×10^4 hm²/a, 特别是进入 20 世纪 90 年代以来,矿山开采对土地的破坏的速率在大幅增加^[2]。

我国矿山废弃地生态恢复工作起步于 20 世纪 70 年代末 80 年代初。但是由于政策和技术方面的原因,废弃地的生态恢复工作的总体情况还处于零星、分散、小规模、低水平的状态。据统计,20 世纪 90 年代以来我国矿山废弃地生态恢复率仅为 8.75%。而其中作为我国南方主要矿产资源的高岭土矿尚未见到生态恢复试验的报道。

福建省是我国高岭土矿主要分布区,仅闽清县地质储量就达到 1.50×10^7 t。矿床几乎遍布整个县区。目前,除了为福建省当地的陶瓷、建材行业提供优质的原料外,还售往江西、浙江、江苏、上海、台湾等省区,并部分出口日本和东南亚各国。近年来闽清县大量开采高岭土矿后留下的多是裸露荒芜的排土场、废

收稿日期:2003-04-23

修回日期:2003-05-29

资助项目:福建省水土保持试验站资助项目“福州采矿废弃地生态恢复研究”研究成果之一

作者简介:黄义雄(1960—),男(汉族),福建省闽清县人,硕士,副研究员,主要从事环境生态和水土保持研究,发表论文 20 余篇。电话(0591) 3428385, E-mail:yxhuang1960@vip.sina.com。

弃的采矿场和尾矿场,占用了大量土地,造成了区域生态环境的退化,对这些矿区废弃地的生态恢复和生态重建显得非常紧迫。为探索高岭土矿区废弃地生态恢复的技术途径。笔者从 2000 年 3 月开始在福州市闽清县白中镇普贤村高岭土矿区废弃地进行了生态恢复实验研究。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

本研究试验区地处福建省东南部的闽清县,地理位置为北纬 $25^{\circ}55' - 26^{\circ}33'$,东经 $118^{\circ}30' - 119^{\circ}01'$ 。闽江自西向东深切戴云—鹭峰山带,将该县分为南北两部:南部低山丘陵,为戴云山脉东北麓,山岭绵亘于边境,由于梅溪强烈下切,丘陵广布,白云山为南部最高峰,海拔 1267 m。有塔庄、池园、田中—湖头等河谷平原;北部中低山地,系鹭峰山脉南麓,地势急剧上升,面积虽不及全县 1/3,而千米山峰遍布,须弥山海拔 1369 m 为该县最高山峰。山岭逼岸,坡陡壁峭,盆谷相间,东桥谷地最大。岩石多属中生代火山岩。

闽清县属中亚热带气候,闽江谷地夏长冬短、温暖湿润。年平均气温 19.7°C ,1 月平均气温 10.0°C ,7 月平均气温 28.9°C 。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 6435°C 。年降水量 1494 mm。无霜期 294 d。境内气候差异悬殊,自闽江谷地由南往北朝着春秋长夏季渐短、温凉潮湿的山地气候渐变。试验区位于白中镇普贤村南部闽江支流之一的芝溪—重山的高岭土矿废弃地排土场堆积物上,地貌类型为低丘,由于长期以来对植被的破坏,植被条件较差,主要为马尾松 (*Pinus massoniana*) 和一些较耐旱的灌木和草本植物,如桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*)、胡秃子 (*Elaeagnus pungens*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*)、白茅 (*Imperata cylindrical var. major*)、铁芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 等。表层土壤为红壤,1~2 m 以下为高岭土矿,厚度为 20~30 m。自 20 世纪 70 年代初零星开采到 90 年代大规模开采,已有 30 a 多时间,目前已形成了近 3 hm^2 的采矿场和 5 hm^2 的废弃排土场,开采面高 20~30 m,宽 550 m,斜度 70° 。

由于没有采取有效的水土保持防护措施,废弃地水土流失较为严重,在开采矿产过程中大量的废弃岩土往坡下排放,对植被造成较大破坏,堆积物时常出现滑坡,进而使得芝溪淤积、淹没周边农田。矿区废弃地对周边生态环境造成较大破坏,是闽清县强度水土流失区之一。

1.2 研究方法

1.2.1 废弃地整理 生态重建的前期处理主要包括

排土场的工程处理和熟土覆盖,采矿场的修整和填埋^[4]。由于试验区采矿场位于丘陵地段,采石过程剥离的大量岩土基本是往坡下排放,排弃物粗细不一、松散,所以稳定化问题是必须首先考虑的。采取工程措施和生物措施相结合的方法。工程措施为在排土场坡底修坝、设栏等方式加固,以避免滑坡、崩塌、泥石流等灾害;该区废弃的采矿场坡度较大,由于裸露岩土较为松动,造成很大的安全隐患,需要对坡面进行清理,清除掉松动、不稳定的破碎岩土。

1.2.2 适生植物筛选及其配置和观测 植物引种的过程以生态恢复学、植物生态学为指导,综合考虑废弃地排土场的物理条件、土壤养分状况、水分条件等进行适当的植物种类选择。由于风化作用时间短,又无生物作用,所以氮、磷及有机质含量较低,土壤物理性状较差,缺肥、缺水。为了观测在废弃地土壤上植物生长能力和对土壤的改良作用。我们选择了较为耐贫瘠、耐干旱的乔木马尾松 (*Pinus massoniana*)、豆科灌木固氮植物胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 和禾本科草本植物香根草 (*Vetiveria zizanioides*) 进行种植。分成 3 个试验小区,每区中种植马尾松 280 株、胡枝子 260 株、香根草 260 株。第 1 小区为未采取任何复垦方式;第 2 小区为采取挖穴,然后用附近的原矿区表层 2 kg 熟土堆放其中;第 3 小区设在相邻废弃地外围的荒草地上。各区面积为 600 m^2 ($20\text{ m} \times 30\text{ m}$),各区区内采取同一种植措施,沿下坡方向种植马尾松—胡枝子—香根草—马尾松,行与行之间和列与列之间间距均为 0.5 m。试验小区外围均种上马尾松、胡秃子 (*Elaeagnus pungens*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*)、白茅 (*Imperata cylindrical var. major*)、铁芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)、龙舌兰 (*Agave americana*),在坡底种植绿竹 (*Sinocalamus oldhami*) 等,以减少外界条件对试验小区的影响。采用对比法观测植物生长状况,而废弃地理化性质及土壤营养成分分析主要参考 L. Walsh 主编“土壤测定与植物分析”中所述方法进行测定。

2 结果与分析

2.1 废弃地土壤理化性质分析

经对试验区废弃地土壤理化性质调查与采样分析,该土壤外观呈软质粉状,呈白色或桃红色。其化学组成和颗粒组成见表 1。该废弃地土壤主要化学成分为 SiO_2 ,占 69.21%,其次为 Al_2O_3 ,占 19.25%,而 Fe_2O_3 和 MgO 含量较少,分别只占 0.37% 和 0.42%。由于废弃地土壤中含有高岭土矿物,受地表水的影响,其接近地表部分含铁镁的土壤大都风化剥

蚀或淋滤去掉,所以含铁较低。此外,因水的影响,含铁、镁、锰成分的土壤变成桃红色或玫瑰色。

表1 废弃地土壤化学组成 %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量
69.21	19.25	0.37	0.86	0.42	1.72	0.97	7.20

表2 废弃地土壤颗粒组成

粒径/ μm	>63	63~20	20~10	10~5	5~2	2~1	<1
比例/%	7.72	27.10	20.01	14.68	10.05	6.09	14.35

从土质颗粒来看,颗粒细有滑腻感,有黏性和可塑性软质块。从颗粒组成来看,以63~20 μm 和20~10 μm 为主,分别占27.01%和10.01%,其次为10~5 μm 和<1 μm 的颗粒,分别占14.68%和14.35%。这种颗粒组成表明该区废弃地土壤以粗粒土和砂粒土为主。这不利于土壤保水,在旱季时植物因为土壤缺水而容易死亡。这也无疑增加了植被恢复的难度。

2.2 土壤肥力变化状况

矿山废弃地土壤理化性质差,肥力缺乏,有机质、

全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾含量都较低。土壤pH仅为6.1,使得许多植物难以生长。我们选择的3种植物其共性是耐贫瘠、耐旱,对酸性土壤有较强的适应能力。

通过3a植物生长对土壤的改良作用试验,结果表明,这3个小区试验对土壤均有不同程度的改善和培肥效果(表3)。其中未复垦试验小区有机质从0.76%提高到0.92%,其余增加较多的速效磷从22.10 mg/kg增加到25.60 mg/kg,全钾从0.98%增加到1.13%,其余全氮、全磷、速效氮、速效钾等都有不同程度提高。pH值从6.1提高到6.5,虽只增加了6.56%,但对改变土壤酸性有重大意义,酸性程度的降低,意味着更多种类的植物可以生长;在经过治理的表层用熟土填穴的试验小区,各养分因子都有较大增长,有机质从1.15增加到2.37,增长了106.10%,其余养分因子除pH外,增长率都在23%~58%之间;相邻荒地试验小区有机质从3.76%增加到4.09%,增长率为8.76%,全氮从0.07%增加到0.08%,增长了19.7%,其余养分因子除pH外,都在3%~17%之间。

表3 种植植物3a后不同实验小区土壤改良效果

土壤肥力	测定时间	有机质/ %	全氮/ %	全磷/ %	全钾/ %	速效氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	pH (水浸)
未复垦	200004	0.76	0.032	0.030	0.975	27.50	22.10	65.50	6.10
	200303	0.92	0.035	0.032	1.131	30.70	25.60	69.20	6.50
熟土填穴	200004	1.15	0.043	0.033	1.193	28.20	25.50	77.60	6.40
	200303	2.37	0.068	0.048	1.838	45.60	33.60	95.70	6.80
相邻荒地	200004	3.76	0.066	0.047	1.932	45.50	35.60	109.40	6.90
	200303	4.09	0.079	0.055	2.007	46.90	37.30	121.30	6.90

这3个试验小区对比,用熟土填穴的小区改善土壤肥力最为明显(图1),平均改善幅度为48.34%,其次为未复垦试验小区,改善幅度平均达到11.60%,而相邻荒地试验小区平均改善幅度为8.51%。这表明利用周边熟化土壤进行回填矿区废弃地,可较快改善土壤肥力状况,是一种行之有效的方法,这与相关作者研究结论是一致的^[4-7]。而相邻荒地试验小区对土壤肥力改善效果不明显,我们认为其原有土壤肥力已较高,要增加土壤肥力需要较好的植被条件和有机质积累。特别是pH值已达到该地森林土壤pH的水平,接近稳定状态。

土壤pH值是植物生长重要限制因子,废弃地土质pH平均为6.1,限制了许多植物生长。在废弃地堆积物种植耐酸先锋植物,经过3a生长,能较大改善土壤pH。使土壤pH值达到6.5以上,为今后种植其它树种或经济作物提供基本生长条件。

2.3 植物生长状况

笔者于2003年3月对试验区小内植物的生长高度、地径(仅限马尾松)、最长根、覆盖度和成活率进行测定(表4)。从成活率来看,相邻荒地试验小区马尾松、胡枝子和香根草的成活率分别达到96%,77%和100%;进行熟土填穴试验小区成活率分别为85%,55%和100%;未复垦处理的试验小区成活率分别为58%,35%和95%。除相邻荒地外,熟土填穴的3种植物中成活率明显高于未复垦处理的小区,表明前者处理方式对植物的生长更有利。这从植株的平均生长高度、平均地径(仅限马尾松)、最长根和覆盖度都优于未复垦处理方面皆可反映出来。试验小区也说明这一问题。3种植物中香根草在各处理试验小区中成活率都最高,其次为马尾松,而胡枝子成活率较低。香根草耐旱和耐贫瘠能力更强与它的较好的根系生长能力有关。测定结果显示,种植3a香根草根系最长根

可达到 1.22 m 以上,比其它 2 种植物都长出许多。较好的根系生长能力,保证了在旱季时水分供给能力,因而也提高了植株的成活率。胡枝子成活率虽较低,但因其是豆科固氮植物,对废弃地土壤培肥效果明

显,所以仍是应选植物。关于马尾松,作为乔木植物,其成活率在 58% 以上,还是较为理想的,更由于其具有速生、耐贫瘠和适应酸性土壤能力,对矿区废弃地植被恢复和生态环境改善具有重要作用。

表 4 试验区植物生长状况

生长因子	未复垦			熟土填穴			相邻荒地		
	马尾松	胡枝子	香根草	马尾松	胡枝子	香根草	马尾松	胡枝子	香根草
成活率/%	58.00	35.00	95.00	85.00	55.00	100.00	96.00	77.00	100.00
平均高度/cm	1.32	1.45	0.73	1.75	1.77	1.21	2.34	1.88	1.25
平均地径/cm	3.15	—	—	3.32	—	—	3.47	—	—
最长根/cm	0.51	0.65	1.22	0.55	0.71	1.46	0.62	0.79	1.57

注:试验区未复垦覆盖度为 45%,熟土填穴覆盖度为 58%,相邻荒地覆盖度为 75%。

2.4 试验区与相邻废弃地水土流失状况比较

试验区总用地 0.50 hm²,目前植被覆盖率达 75%,水土流失减少 70%,已由原强度水土流失降至轻度。而相邻未进行治理的废弃地,侵蚀沟不断扩张,已由原先的 10~20 cm 宽和深的小沟,变成 80~100 cm 的大侵蚀沟。并时常发生滑坡现象,堆积物使得芝溪河道变小,流水侵蚀对岸,常有崩岸发生。

3 结 论

通过 3 a 来在高岭土采矿废弃地土壤上不同处理的复垦种植试验,我们认为对于采矿废弃地生态恢复应以改善废弃地的植物生长基本条件为前提,可选择原矿区表层土壤作为坑穴回填物为先锋植物快速生长提供较好的土壤条件,此种方式投资约增加 1500 元/hm²,原有表层土壤又得到利用。由于高岭土矿废弃地土壤一般土质呈酸性,应选择一些耐旱、耐贫瘠和耐酸的植物;在南方高岭土废弃地,选用马尾松、胡枝子和香根草,是一种合适的乔灌木相结合的群落配置,通过适当管理,能达到较高的群落覆盖度,从而尽快达到培肥熟化采矿废弃地土壤效果,为以后

经济植物生长创造较好条件,逐步恢复业已退化的生态环境。在试验中香根草在未复垦原土上耐贫瘠、耐旱,表现最佳,成活率高达 95%。笔者认为,在废弃地原土上也可种植香根草,并配套合理施肥,也是一种快速覆盖废弃地表层土壤的好办法。

[参 考 文 献]

- [1] 高国雄,高保山,周心澄,等. 国外工矿区土地复垦动态研究[J]. 中国水土保持,2001,8(1):98—103.
- [2] 凌婉婷,贺纪正,高彦征. 我国矿区土地复垦概况[J]. 农业环境与发展,2000(4):34—36.
- [3] 胡振琪. 土地复垦学研究现状与发展[J]. 中国科学基金,1997(1):17—22.
- [4] 舒俭民,刘连贵,张岱松,等. 石墨矿废弃地生态复垦研究[J]. 中国环境科学,1996,16(3):191—194.
- [5] 谢英荷,洪坚平,金志南,等. 山西矿区退化土地复垦途径的试验研究[J]. 自然资源学报,1997,12(3):288—291.
- [6] 李玉臣,吉日格尔. 矿区废弃地的生态恢复研究[J]. 生态学报,1995,15(3):339—343.
- [7] 张雪华. 废弃金矿区生物工程复垦技术研究[J]. 苏州城建环保学院学报,2000,13(3):74—78.