

采石场悬崖生态系统自然演替初期土壤和植被特征

袁剑刚¹, 周先叶², 陈彦¹, 凡玲¹, 杨中艺^{1*}

(1. 中山大学生命科学学院, 广州 510275; 2. 华南师范大学生物系, 广州 510631)

摘要:对位于珠江三角洲地区的 3 个已关闭 3a、5a 和 6a 的采石场(分别记为 1、2、3 号石场)悬崖上的土壤特征和自然植被进行了调查和分析。结果表明,采石悬崖是非常极端的生境,悬崖上绝大部分地方为裸露岩石,仅在某些凹陷和缝隙处聚集有少量土壤,土层厚度一般小于 1 cm;3 个悬崖上土壤的机械组成以石砾和沙粒为主,约占土壤总颗粒的 94%;虽然土壤肥力指标多属中等偏低水平,但相对于南方荔枝园土壤,3 悬崖土壤的肥力状况并不算差。经过 3~6a 的自然恢复,采石场悬崖上逐步形成有稀疏、丛状分布的草本植物群落,植被盖度和植物种类随恢复时间的推移而有所增加。1 号石场悬崖的植被平均盖度为 10.6%,植物种类有 3 科 8 属 8 种;2 号石场的植被平均盖度为 18.6%,植物种类有 6 科 11 属 11 种;3 号石场的植被平均盖度为 23.4%,植物种类有 7 科 12 属 12 种。早期定居的植物主要是禾本科和菊科的草本植物,其中红毛草和类芦在群落中占绝对优势,恢复 5a 后开始出现马樱丹、野牡丹和岗松等耐旱的阳性灌木。

关键词:生态恢复;采石场;悬崖;土壤;植被

文章编号:1000-0933(2005)06-1517-06 **中图分类号:**Q146,Q948 **文献标识码:**A

Natural vegetation and edaphic conditions on the cliff of abandoned quarries in early restoration

YUAN Jian-Gang¹, ZHOU Xian-Ye², CHEN Yan¹, FAN Ling¹, YANG Zhong-Yi^{1*} (1. School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. Collage of Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1517~1522.

Abstract:Due to the rapid economic development of China since 1980s, a large number of quarries have been exploited around the country to provide large quantities of construction materials for meeting various demands. Quarry cliff face represents a specific and extreme habitat that is often unsuitable for plants growth. Attentions have been paid to their restoration all over the world. In terms of restoration, the knowledge of natural vegetation and edaphic conditions is valuable information. However, previous studies of quarry restoration were mainly focused on the quarry floor, and only very few on the quarrying cliff.

Three representative quarry cliffs at Guangzhou, Dongguan and Zhuhai in the Pear River Delta region, were selected. The quarries had been closed from 3 years to 6 years. The edaphic conditions and natural vegetation at these three quarries were investigated. The three quarries are composed of gneissic granite whose surface was weathered to some extent. All the three cliffs have southern aspects. The slope height ranges from 15 meters to 100 meters. The bottom of slope is in the length of between 250 and 320 meters. The average slope is from 70 degrees to 76 degrees. Because the cliffs were caved irregularly, some hollows and cracks were formed during the progress of exploitation. There were some soils, which were able to gather in these kinds of micro-topographies. This provided the possibility for vegetation to establish. The physical, chemical and biological properties on the cliffs are poor. The soils are mainly composed of gravels and sands (coarse and fine sands), which accounted for 94% of total particles. Gravels and coarse sands are about 35% of total particles. Clay content is very low only

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(031644);广州市科技攻关计划重大资助项目

收稿日期:2004-10-10;**修订日期:**2005-04-20

作者简介:袁剑刚(1967~),男,湖南郴州人,博士,主要从事绿地生态与恢复生态学研究。E-mail:mnslym@zsu.edu.cn

*** 通讯作者** Author for correspondence. E-mail: adszy@zsu.edu.cn

Foundation item:Natural Science Foundation of Guangdong Province(No. 031644) and Major Key Technologies R & D Programme of Guangzhou

Received date:2004-10-10;**Accepted date:**2005-04-20

Biography:YUAN Jian-Gang, Ph. D., mainly engaged in greenspace and restoration ecology. E-mail:mnslym@zsu.edu.cn

representing 6% to 7.5% of total particles. These kinds of soils have the features of low water-holding capacity and high air permeability. The organic matter content in these soils varies from 1.14% to 1.28%. Total nitrogen content varies from 0.89 to 1.02 g · kg⁻¹, of which, 28.5 to 35.2 mg · kg⁻¹ is available. Total phosphorous content is in the range between 0.407 and 0.454 g · kg⁻¹, of which 2.3 to 2.9 mg · kg⁻¹ is available. Total potassium content ranges from 4.53 to 5.21 g · kg⁻¹, of which 44.2 to 50.9 mg · kg⁻¹ is available.

Sparse and clumped herbaceous vegetation colonized on the cliffs at the early stage of restoration. The vegetation coverage and plant species increased as the processes of natural restoration went on. For the cliff with three years restoration, the vegetation coverage is 10.6% and composed of 8 species belonging to 8 genera and 3 families. For the quarry of five years restoration, the vegetation coverage is 18.6% and composed of 11 species belonging to 11 genera and 6 families. For the quarry of six-year restoration, the vegetation coverage is 23.4% and composed of 11 species which belong to 12 genera and 7 families. The plants of early establishment were mainly annual or perennial herbaceous species of *Gramineae* and *Compositae*, and dominated by *Neyraudia reynaudiana* and *Phynchelytrum repens*. As time elapses, some drought tolerant and heliophilous shrubs, such as *Lantana camara*, *Melastoma candidum* and *Baeckea frutescens* gradually emerged on the cliff surface.

Results presented here indicated that the natural colonization of plants on the cliff surface of the abandoned quarries was difficult and slow, due to the unfavorable edaphic conditions and steep slope. In the long run, it may only develop into herbaceous shrub community with simple structure in such cliffs. In this regard, some actions on these quarrying cliffs should be made for ecological restoration. Great attention should be paid to the cracks and concaves in the cliffs when restoration measures are being implemented.

Key words:quarry; cliff surface; edaphic conditions; vegetation

20 世纪中叶以来,随着经济的快速发展,各项建设工程相继启动,对于建筑材料、特别是各种石材的旺盛需求,促使各地兴建了许多采石场。据统计,英国有 14000 hm² 的土地受到采石活动的影响^[1];在我国,石材不是传统意义上的大宗矿产,因而缺乏可靠的统计资料,估计我国有各类采石场逾十万家,主要集中在东部沿海经济发达地区,如浙江现有采石场 5000 多个^[2],广东大大小小的采石场则达 12000 家之多^①,涉及土地面积超过 30000 hm²。众多石场虽然满足了经济建设发展的需要,但由于长期以来缺乏对其生态、景观后果的正确认识,采后即弃的传统处置方式常常在其身后形成大量的人为生态荒漠,并由此引发了一系列严峻的环境和社会问题,如造成水土流失、诱发山体滑坡、占用土地资源、破坏自然景观等,已经对社会经济的可持续发展构成了严重威胁^[1,3]。

其实,除了采石场以外,还有一类地貌特征十分相似的生态破坏类型,即修筑道路时形成的高陡边坡。将此类工程遗留地貌与生物的生境联系起来,将其定义为“受损人工悬崖生态系统”,并希望通过包括本研究在内的一系列研究,为此类普遍存在的受损生态系统的恢复提供理论依据。

作为一种重要的生态退化类型,采石场裸露迹地是非常特殊而极端的一类生境,世界各国均对其整治给予了高度重视。由于立面太高、坡度过陡、植物生长环境极度恶劣,采石场整治的难点与重点在于采石悬崖的生态恢复^[4]。对于采石场生态恢复工程,自然植被、土壤发生发展规律是非常重要的第一手资料^[5],但已有的研究主要集中于采石场平面迹地^[6~9],对于采石悬崖的研究很少,国内目前则还没有这方面的研究。其中的部分原因在于调查和取样需要在悬崖峭壁上进行长时间作业,工作难度大、危险性高。由于缺乏对于采石悬崖生态系统基本情况的了解,目前的石壁复绿工程往往带有一定的盲目性和随意性。本文试图通过对珠江三角洲地区几个具代表性意义的新关闭采石场的调查研究,了解采石场悬崖这种严重受损生态系统自然演替早期阶段的土壤和植被特征,以期为采石场悬崖的生态恢复提供参考。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

研究地位处珠江三角洲地区。本区位于北回归线以南,南面是珠江出海口,属典型的南亚热带海洋性季风气候。气温受偏南季风影响,夏季长,并不酷热;冬季短,并不严寒;春季升温早,秋季降温迟。年均气温 21.6~22.6℃,1 月平均气温 13.1~14.5℃,7 月平均气温 27.0~29.0℃,基本无霜。年均降水量 1700~2231 mm,年蒸发量 1432~1738mm,年均日照时数近 2000h。每年自 1 月份起雨量渐增,4 月份激增,5~6 月份雨量最多,雨量主要在 4~9 月份的汛期,10 月份至翌年 3 月份是少雨季节,4~6 月份的前汛期多为锋面雨,7~9 月份的后汛期多为热带气旋雨,风速可急剧增大到 10 级以上,其次为对流雨。旱季

① 广东省副省长许德立于 2004 年 5 月 10 日在广东省全省采石场关闭复绿工作电视电话会议上的讲话

曾连续百日无雨,雨季则有经月淫雨、日降水量近 300 mm 的记录。

母岩以花岗岩、红砂岩为主,地带性土壤为赤红壤,由于发育形成于南亚热带生物气候条件,土壤脱硅富铝化作用强烈,酸度高,盐基饱和度低,粘粒淋移明显,物质循环速度快,土壤肥力较低。

本区地带性植被为南亚热带常绿阔叶林,由于区内光水热条件优越、交通便利、经济相对发达,人为干扰剧烈而频繁,现山地丘陵多被开垦为经济林用地,空闲地则以草灌型植物群落为主,主要植物种为红茅草(*Rhynchelytrum repens*)、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)和马樱丹(*Lantana Camara*)等。

1.2 采石悬崖地貌学特征调查

于 2004 年 1 月对珠三角范围内的已关闭采石场进行初步勘察,最后在广州、东莞和中山 3 地选择了 3 个有代表性意义的新关闭采石场作为研究对象。观测并记录样地悬崖的坡向、坡度、坡高、坡长、面积、母岩及悬崖微地形状况。各样地悬崖基本情况如表 1 所示。

表 1 样地悬崖基本情况

Table 1 Primary conditions of the sampling cliffs						
样地号 Cliff No.	停采时间 Age (a)	坡向 Slope orientation	坡度 Gradient	坡高 (m) Height	面积 Size(m ²)	母岩 Bed rock
1	3	SE 8°	73°	15~100	15000	片麻状花岗岩*
2	5	SE 10°	75°	20~80	11000	片麻状花岗岩*
3	6	S	76°	20~85	18000	片麻状花岗岩*

* Gneissic granite

1.3 植被调查和分析方法

以机械抽样方法在 3 个样地采石场的石壁立面上设置 1m×1m 的调查样方,样方间距为垂直方向 10m、水平方向 20m,按照从上而下、由左而右的顺序进行编号。1、2、3 号采石场分别设置了 75、52 和 80 个调查样方。记录样方内植物种类、盖度、株数、高度等,计算各植物种的密度、相对密度、优势度、相对优势度、频度、相对频度和重要值:

密度=个体数目/样方面积

相对密度=一个种的密度/所有种的总密度

优势度=盖度总面积/样方面积

相对优势度=一个种的优势度/所有种的总优势度

频度=包括某个种的样方数/样方总数

相对频度=一个种的频度/所有种的总频度

重要值=相对密度+相对优势度+相对频度

1.4 土壤样品的采集和分析

在 1.3 所设样方内调查土壤在悬崖表面的覆盖率、土层厚度,收集样方左下角 30 cm×30 cm 范围内的所有土壤,装入无菌封口塑料袋内带回实验室。土壤过 5 mm 筛去除石块和植物残余,称量鲜重后,取部分土样于室内自然风干,研磨、过筛供土样基本理化性质测定;其余土样于 105℃恒重,称量干重后换算为所有土壤的干重。土壤性质测定指标包括土壤机械组成、pH、有机质、全 N、速效 N、全 P、速效 P、全 K 和速效 K^[10,11]

数据处理采用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 采石场悬崖生态系统地貌学特征

地貌学特征调查结果显示,新形成的采石悬崖基本为裸露岩石,表面没有土层;立面较高,一般超过 50 m,高者则在 100 m 以上;崖面陡峭,坡度一般超过 70°,有部分垂直甚至逆向坡,主要是由于不合理的开采方式所致;悬崖表面存在较多因人工开采而形成的不规则凹陷和缝隙。可见采石场悬崖生态系统是非常严酷而极端的生境,立面高、坡度陡、无土层、易淋溶是其普遍特征,但悬崖表面的一些微地形为土壤集聚和植被入侵创造了一定条件。

2.2 土壤特征

2.2.1 土壤分布特征 由于坡度太陡,淋溶、冲刷作用强烈,悬崖上绝大部分地方没有土壤,但悬崖表面存在较多的凹陷和缝隙,在某些凹陷和缝隙处集聚有少量土壤,土层厚度一般小于 1 cm,极少超过 2 cm。1、2、3 号采石悬崖的土壤覆盖率、平均土层厚度和土壤重量(干重)分别为 5%~6%、5.9~7.1mm 和 3.6~4.5kg·m⁻²(表 2),各指标在 3 悬崖间均无显著性差异($p>0.05$)。

2.2.2 土壤理化性质 表 2 列出了土壤理化性质分析结果。结果表明,3 个样地土壤的机械组成以石砾和沙粒(粗沙+细沙)为主,两者之和几乎占到土壤颗粒的 94%,其中石砾和粗沙含量均占总量的三成五左右;而土壤粘粒含量很低,仅为土壤颗粒总量的 6%~7.5%。这种机械结构使得样地土壤的通透性有余,而保水持水能力不足。

3 个样地土壤的有机质、全 N、速效 N、全 P、速效 P、全 K 和速效 K 分别为 1.14%~1.28%、0.89~1.02 g·kg⁻¹、28.5~35.2 mg·kg⁻¹、0.407~0.454 g·kg⁻¹、2.3~2.9 mg·kg⁻¹、4.53~5.21 g·kg⁻¹和 44.2~50.9 mg·kg⁻¹,这些肥力指标虽然在全国土壤标准中多属中等偏低水平,但相对于南方陡峭石壁立面的极端生境,这样的土壤肥力状况并不算差。总体上显示了土壤理化性状随关闭时间的推移有所改善的趋势,但变化的速度比较缓慢,各指标在采石场间的差异均不显著(*p*>0.05)。

表 2 采石场悬崖表面土壤特征
Table 2 Properties of the soil on the sample quarrying cliffs

项目 Parameter	1 号采石场 Quarry No. 1	2 号采石场 Quarry No. 2	3 号采石场 Quarry No. 3
样方数(个)Number of sample quadrats	75	52	80
有土样方数(个)Quadrats bore soil	31	23	34
土壤覆盖率 Soil coverage(%)	5	5	6
土壤厚度 Average soil depth(mm)	6.0±4.1	5.9±4.6	7.1±5.8
土壤重量 Soil weight(DW, kg/m ²)	3.8±1.1	3.6±1.7	4.5±2.3
石砾含量 Gravel (>2mm)(g·kg ⁻¹)	345±31	360±29	367±38
粗沙含量 Coarse sand (0.2~2mm)(g·kg ⁻¹)	352±23	376±19	361±30
细沙含量 Fine sand (0.002~0.2mm)(g·kg ⁻¹)	228±16	205±26	209±21
粘粒含量 Clay (<0.002mm)(g·kg ⁻¹)	75±10	59±8	63±7
pH	5.39±0.05	5.10±0.06	5.23±0.04
有机质 Organic matter(%)	1.14±0.19	1.25±0.28	1.28±0.17
全 N Total N(g·kg ⁻¹)	0.89±0.13	0.97±0.14	1.02±0.21
速效 N Available N(mg·kg ⁻¹)	28.5±4.7	31.6±3.6	35.2±4.3
全 P Total P(g·kg ⁻¹)	0.407±0.081	0.454±0.092	0.426±0.083
速效 P Available P(mg·kg ⁻¹)	2.3±0.4	2.9±0.5	2.8±0.5
全 K Total K(g·kg ⁻¹)	4.53±0.63	5.21±0.99	4.87±0.49
速效 K Exchangeable N(mg·kg ⁻¹)	44.2±4.6	50.9±2.2	48.4±3.1
质地 Texture	砂土 Sandy	砂土 Sandy	砂土 Sandy

2.3 植被特征

2.3.1 植被分布特征 采石场停采后,石壁立面逐渐出现植物入侵。但由于严酷的立地条件,加之处于自然演替初期阶段,采石场悬崖生态系统的植物种类组成较为简单,植被甚为稀疏,基本成丛状分布,充分体现岫悬崖立地条件的分布特点。1、2、3 号采石场悬崖的植被平均覆盖率分别为 10.6%、18.6%和 23.4%(表 3),明显随关闭后经历年限的增加而增加。

2.3.2 植物种类组成与植物群落特征 3 样地植被均为结构简单的草本植物群落,以集群形式分布在立面凹陷或稍缓有土壤聚集处,基本为耐旱的阳性先锋植物,主要植物种类有禾本科的红毛草(*Rhynchelytrum repens*)、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*),莎草科的绢毛飘拂草(*Fimbristylis sericea*),菊科的胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)、加拿大飞蓬(*Conyza canadensis*)、三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)和蕨类植物芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、华南毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*)、肾蕨(*Nephrolepis auriculata*)等,间或有少量灌木类植物斑块状分布在立地条件较好的地方,包括马鞭草科的马樱丹

(*Lantana camara*)、野牡丹科的野牡丹(*Melastoma candidum*)和桃金娘科的岗松(*Baeckea frutescens*)。以群落垂直结构而言,类芦构成了群落的第一层(90~150 cm),第二层主要为红毛草+牛筋草+胜红蓟(30~80 cm),狗牙根和蕨类植物(<20 cm)则构成了群落的第三层。

表 4 列出了 3 个采石场石壁立面的植被调查情况。结果表明,经过几年的自然演替,采石场石壁立面逐步形成有稀疏、简单的草本植物群落,这种群落的植物种类组成非常单纯,3 个采石场中,1 号石场的植物种类组成最为简单,只有 3 科 8 属 8 种植

表 3 采石场悬崖植被分布情况

Table 3 Vegetation coverage (VC) of the sample quarrying cliffs			
项目 Parameter	1 号石场 Quarry 1	2 号石场 Quarry 2	3 号石场 Quarry 3
样方数(个) Number of sample quadrats	75	52	80
有植物样方数(个) Quadrats bore vegetation	24	21	34
有植物样方覆盖率 VC of the quadrats bore vegetation(%)	33	46	55
悬崖植被平均覆盖率 Average VC of the cliffs(%)	10.6	18.6	23.4

物,2、3号石场的组成稍为复杂,开始有耐旱、耐贫瘠的阳性灌木植物种出现,亦分别只有6科11属11种和7科12属12种植物;所有定居植物中,红毛草和类芦的重要值在3个样地中均远远超过其他植物,显示出它们在植物群落中的重要性;1号石场中,红毛草的重要值为86.9,远超过类芦的52.2,到了第2、3号石场,类芦取代红毛草,成为群落中的优势种,这种变化产生的主要原因是类芦的成熟植株较高,当其生长起来以后,逐渐对下层的红毛草形成了一定的荫蔽,从而使得喜阳的红毛草的生长受到了一定的影响;灌木植物虽然数量还很少,但已经在群落中表现出重要的生态和景观功能。

表4 1号、2号和3号采石场石壁立面的植被组成及特征

Table 4 The species composition and characteristics of vegetations on the cliff of quarry No. 1, No. 2 and No. 3

种类 Species	生活型* Life form	高度 Height (cm)	相对密度 Relative density (%)			相对优势度 Relative dominance (%)			相对频度 Relative frequency (%)			重要值 Important value		
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
类芦 <i>Neyraudia reynaudiana</i>	PH	80~150	14.6	17.0	20.8	21.8	39.5	35.5	15.8	16.5	16.6	52.2	73.0	72.9
红毛草 <i>Rhynchelytrum repens</i>	PH	45~100	41.3	19.8	18.5	23.2	21.8	15.7	22.4	16.5	15.3	86.9	58.1	49.5
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	PH	10~20	7.3	9.3	7.2	10.9	15.6	8.6	7.9	11.0	7.6	26.1	35.9	27.4
蟋蟀草 <i>Eleusine indica</i>	AH	20~50	7.8	6.5	8.2	10.0	8.8	8.1	10.5	8.8	10.2	28.3	24.1	26.5
绢毛飘拂草 <i>Fimbristylis sericea</i>	PH	40~100	—	3.2	2.3	—	3.3	3.4	—	5.5	6.4	—	12.0	12.1
胜红蓊 <i>Ageratum conyzoides</i>	AH	30~80	11.7	5.2	10.3	10.9	5.3	6.2	15.8	8.8	11.5	38.4	19.3	28.0
加拿大飞蓬 <i>Conyza canadensis</i>	AH	25~75	8.8	3.9	8.0	12.7	5.3	5.5	15.8	8.8	9.6	37.3	18.0	23.1
三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	AH	30~80	3.5	2.0	2.3	5.9	2.6	3.4	6.6	6.6	6.4	16.0	11.2	12.1
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	F	15~30	4.9	9.7	13.7	4.5	8.8	6.8	5.3	11.0	9.6	14.7	29.5	30.1
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	F	10~30	—	8.1	—	—	6.6	—	—	5.5	—	—	20.2	—
肾蕨 <i>Nephrolepis auriculata</i>	F	15~30	—	—	8.0	—	—	4.6	—	—	6.4	—	—	19.0
马樱丹 <i>Lantana Camara</i>	SH	60~150	—	0.1	—	—	2.2	—	—	1.1	—	—	3.4	—
岗松 <i>Baeckea frutescens</i>	SH	50~140	—	—	0.4	—	—	1.4	—	—	0.6	—	—	2.4
野牡丹 <i>Melastoma candidum</i>	SH	45~90	—	—	0.1	—	—	0.9	—	—	0.0	—	—	1.0

* PH 多年生草本 Perennial herb;AH 1年生草本 Annual herb;F 蕨类植物 Fern;SH 灌木 Shrub

3 讨论

调查结果表明,现有采石悬崖的坡度往往在60°以上,一般超过70°,甚至有部分垂直的峭壁或逆向坡。虽然岩石表面温差大(夏季日较差甚至可达40℃以上,另文报道)、机械崩解作用强烈,亦存在较强的风、雨蚀与化学风化作用,土壤的集聚极为不易,但由于存在不规则的微凹地形或缝隙,岩面凹陷平缓处常聚集有少量土壤。由于强烈的冲刷淋溶作用,这种土壤的颗粒粗细不匀,石砾和沙粒含量极高,粘粒含量极低,因而通透性有余,保水持水能力不足,是典型的坡积母质特征。

令人稍感意外的是3个样地土壤的肥力特性,有机质、全N、速效N、全P、速效P、全K和速效K等肥力指标虽然在全国土壤标准中多属中等偏低水平,但相对于南方荔枝园土壤^[12],这样的土壤肥力状况并不算差,是陡峭石壁立面的极端生境中难得的生境要素。究其原因,可能与其形成机制有关。我们推测采石悬崖土壤的主要来源是坡顶的成熟土壤,通过风吹雨淋作用而聚集在石壁立面中下部的凹陷微地形或缝隙处,这样的微地形使得地表径流流经和汇集时,其中的部分有机质和其他肥力相关颗粒有可能沉积并聚集起来,基质因而得以保有一定的肥力状况。据此,进一步推测这种基质特性也很有可能是某些陡峭石壁立面的个别地方,能够支撑长势良好的小植物群落的原因;同时,植物群落能够在这些基质上迅速发展起来,也是这些基质中的养分得以保存并有所改善的决定性因素,因此,石壁上土壤肥力的改善是与植被的发育相同步的。

采石场石壁立面是非常特殊而极端的一类生境,植物生长环境极端恶劣,不惟植物自然生长不易,人工植被修复亦很困难并须相当耗费。但多数采石场石壁立面所存在的不规则的微凹地形或缝隙及其凹陷平缓处聚集的少量土壤使得植物的自然入侵成为可能。有鉴于此,有观点认为不应该花费人力物力对这类峭壁进行人工干预,而应将其保留作为地质公园,让它们慢慢进行自然恢复,不但可为地质教学和生态教育之用,亦可为某些野生生物提供栖息场所^[7,13]。这种观点及做法确实相当诱人,在某些发达国家也有成功案例,但由于以下原因,在我国目前情况却并不可行:①基础不同。很早以前,许多国家便已认识到采石场迹地的环境影响及绿化的难度和艰巨,从20世纪70年代起,各发达国家便已纷纷立法,要求对所有石壁裸地进行综合治理,凡工程中的石质边坡,一律采用台阶式作业方法,边开采边垦复。由于处置得当,目前发达国家的采石场问题并不突出。我国以往则基本是掠夺性开采、随意性废弃,使得采石场悬崖生态系统的立地条件更为恶劣,要想在这种极端生境中实现植被自然恢复,必将是一个极其缓慢的过程,需要花费很长的时间。本研究所调查的3号采石场关闭时间已经6a,加上许多石壁立面是在关闭前早已形成的,已有10多年历史,但现有植被覆盖率也仅为23.4%,而且就采石场石壁立面整体而言,在相当长的时期里能够支撑植物生长的立地条件也仅仅存在于极其有限的局部。②改革开放以来,我国经济的跨越式大发展,在全国各地产生了大量

的采石场。出于经济方面的考虑,往往就近开采,其中不少更位于民航航线、主干公路的可视范围和居民区附近,不仅在亮丽山水之中形成了道道刺眼疤痕,靠近居民生活圈的采石场还构成了严重的环境和安全隐忧。而国际上通常的做法是对采石场进行科学选址,尽量使其对人居的影响减少到最低。也正是由于以上这些原因,目前全国许多地方,尤其是珠江三角洲地区已经开始开展投入大量的人力物力进行大规模的采石场整治复绿工作。

但采石悬崖的立地条件实在太过恶劣,人工复绿的耗费相当惊人。以广东为例,目前的工程成本大概在 80~150 元/m² 之间,如果所有采石悬崖都按现行方法进行复绿,则广东一省的耗费便需数百亿元之巨。本研究结果表明,虽然条件恶劣,采石场石壁立面所存在的微凹地形或缝隙及其凹陷平缓处仍然使土壤的聚集和植物的自然入侵成为可能,并可进而发生自然生态演替。这一结果为采石悬崖的生态恢复提供了一个重要启示,即人们或许可以通过人为的方法,在悬崖上构筑大量的微凹地形或小平台,并在其上引入周围表土,则既可改善悬崖立地条件,又可引入当地植物种子库,如此可望以较少成本在较短时间内在悬崖上形成适当的植物群落。根据这个思路,开展了一些相关试验,初步结果令人鼓舞。

出于商业和应用方便的考虑,以往的石质边坡绿化工程多采用外来的草本植物^[2],这样形成的人工植被虽然早期效果不错,但由于外来物种对陡峭石壁立面恶劣环境的抗逆性较弱,生物群落稳定性差,往往在短期内出现植被退化现象。在广东省范围内进行的采石场迹地植被的调查结果表明,虽然植物生长环境极端恶劣,许多采石场石壁立面的适宜微地形上仍可发生植物的自然入侵和定居,并逐步在峭壁上形成稀疏、简单的草本基或草灌型植物群落,这些植物往往都是乡土物种或乡土化物种如红毛草、类芦、斜叶榕(*Ficus gibbosa*)、马樱丹、岗松、山黄麻(*Trema orientalis*)等,如果对这些植物种进行系统的研究开发,对于采石悬崖的生态恢复,势将具有非常重要的意义。

References:

[1] Cullen W R, Wheeler C P and Dunleavy P J. Establishment of species-rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire, UK. *Biological Conservation*, 1998, **84**:25~33.

[2] Tang H J and Hu Z Q. On the ecological restoration of quarry. *China Mining Magazine*, 2004, **13**(7):38~42.

[3] Ratcliffe D A. Ecological effects of mineral exploitation in the United Kingdom and their significance to nature conservation. *Proceedings of the Royal Society*, 1974, **339**:355~372.

[4] Coppin N J and Bradshaw A D. *Quarry Reclamation*. London : Mining Journals Books, 1982.

[5] Khater C, Martin A and Maillet J. Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestone quarries in Lebanon. *Applied Vegetation Science*, 2003, **6** (2):199~204.

[6] Wang X H and Song Y C. Dynamics of population and biomass at early natural recovery stage of vegetation on abandoned quarry of Tiantong. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(5):545~548.

[7] Shu W S, Lan C Y, Wang M, *et al.* Early natural vegetation and soil seed banks in an abandoned quarry. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(7):1305~1312.

[8] Novak J and Prach K. Vegetation succession in basalt quarries: Pattern on a landscape scale. *Applied Vegetation Science*, 2003, **6** (2): 111~116.

[9] Clemente A S, Werner C, Maguas C, *et al.* Restoration of a limestone quarry: Effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs. *Restoration Ecology*, 2004, **12** (1):20~28.

[10] Page A L, Miller R H and Keeney D R. *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed. Wisconsin: ASA and SSSA, 1982.

[11] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Analytical Methods of Chemical and Physical Properties of Soil*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978.

[12] Lin L W, Zheng Y J, Luo W, *et al.* Soil fertility status and its improving countermeasure of lichi garden in Guangdong. *Tropical and subtropical Soil Science*, 1998, **7**(4): 334~336.

[13] Ursic K A, Kenkel N C and Larson D W. Revegetation dynamics of cliff face in abandoned limestone quarries. *Journal of Applied Ecology*, 1997, **34**: 289~303.

参考文献:

[2] 汤惠君, 胡振琪. 试论采石场的生态恢复. 中国矿业, 2004, **13**(7):38~42.

[6] 王希华, 宋永昌. 天童国家森林公园废弃采石场植被自然恢复早期阶段的种群动态及生物量的研究. 应用生态学报, 1999, **10**(5): 545~548.

[7] 束文圣, 蓝崇钰, 黄铭洪, 等. 采石场废弃地的早期植被与土壤种子库. 生态学报, 2003, **23**(7): 1305~1312.

[11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海:上海科学技术出版社, 1978.

[12] 林兰稳, 郑煜基, 罗薇, 等. 广东红壤赤红壤荔枝园土壤肥力状况及改良对策. 热带亚热带土壤科学, 1998, **7**(4): 334~336.