

采石场废弃地的早期植被与土壤种子库

束文圣¹, 蓝崇钰¹, 黄铭洪², 张志权^{1*}

(1. 中山大学生命科学院, 生物防治国家重点实验室, 广州 510275; 2. 香港浸会大学生物系及自然资源与环境管理研究所, 九龙塘, 香港)

摘要:调查了广州市白云山地区一个弃置 2a 的大型采石场的排土场、采石坑以及原用作破碎加工石料和成品贮运的平台等的土壤种子库和自然植被。这些废弃地的基质毫无结构, 质地亦极端, 排土场 60% 的颗粒直径小于 1 mm, 碎石平台则主要由散落的碎石、石粉组成, 粒径大于 5 mm 占 50% 以上。3 种类型废弃地的养分元素含量都很低, 水溶性氮和磷含量分别为 $0.74 \sim 1.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.032 \sim 0.053 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。3 种废弃地在植被自然发生的程度及土壤种子库种子含量上也差异很大。排土场表面极不稳定, 大大小小水蚀沟分布其上, 水蚀和水土流失严重, 基本上没有植物定居, 土壤种子库接近零(所有样品只检测到两种植物各 1 株幼苗, 换算成种子库的大小约当 $33 \text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$); 采石坑废弃地的自然植被较好, 发展成以湿生植物为主的郁闭草地, 边坡较为干旱而以禾草类为主, 盖度亦达 100%, 水环境的多样性促进了植物种类的多样性, 计有 13 科 30 属 31 种植物, 土壤种子库的种子含量为 $193 \pm 46 \text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$, 有 6 个种; 碎石贮运平台废弃地由于经车辆的反复碾压, 表面异常坚实, 废弃后早期只有在周边较疏松处及偶然出现的裂缝中有植物生长, 总植被盖度小于 10%, 种类也较少, 只有 4 科 9 属 9 种, 然而其土壤种子库却是最大的, 达到 $1390 \text{ 粒} \cdot \text{m}^{-2}$, 由 15 种植物种子组成, 这可能是由于来自种子雨的种子与不断散落的碎石、石粉混合积存, 而坚实的地表又不利于种子萌发, 以至较多的种子被保存于土层中。

关键词:废弃采石场; 自然植被; 土壤种子库

Early natural vegetation and soil seed banks in an abandoned quarry

SHU Wen-Sheng¹, LAN Chong-Yu¹, WONG Ming-Hung², ZHANG Zhi-Quan^{1*} (1. School of Life Science and State Key Laboratory for Bio-control, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. Department of Biology, and Institute for Natural Resources and Environmental Management, Hong Kong Baptist University, Hong Kong, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(7): 1305~1312.

Abstract: Due to the rapid economic development during the past twenty years, many quarries surrounding Guangzhou City are excavated to provide large quantities of building materials of various sizes. Most quarries were simply abandoned upon cessation of work and left disused. They could be grouped into three types: A. spoil mound, B. worked-out area and C. terrace for crushing stones and storage of the

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39870145); 广东省自然科学基金资助项目(990259)

收稿日期:2003-02-25; **修订日期:**2003-05-25

作者简介:束文圣(1968~), 男, 安徽庐江人, 博士, 副教授, 主要从事污染生态与恢复生态学研究。E-mail: lssshuws@zsu.edu.cn

* 通讯联系人 Author for correspondence, E-mail: lsszzq@zsu.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 39870145) and Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 990259)

Received date: 2003-02-25; **Accepted date:** 2003-05-25

Biography: 束文圣, 1968 年生, 男, 安徽庐江人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 污染和恢复生态学。E-mail: lssshuws@zsu.edu.cn

products. The knowledge of vegetation and soil seed bank of these disused lands should be acquired for the purpose of reclamation or nature conservation.

The edaphic conditions, vegetation and soil seed bank of a representative quarry which had been abandoned for 2 years at Guangzhou were investigated for revegetation purpose. The physico-chemical properties of the three types of the disused lands of the quarry were poor, the substrates mainly composed of weathered fine overburden and subsoil for the spoil mound (over 60% particles with diameter less than 1mm); and gravels and fragments for the terrace (over 50% particles with diameter more than 5mm). These substrates were deficient of major nutrients, especially nitrogen and phosphorous, with the water soluble nitrogen and phosphorous contents ranged from 0.74 to 1.43 mg kg⁻¹, and 0.032 to 0.053 mg kg⁻¹, respectively.

Because the surface of spoil mound was very loose and unstable, various sizes of gully caused by wind and water erosion spread over the spoil slope, became almost impossible for plant establish. Therefore, there was not vegetation on the surface and seed in the soil. It seemed that slope establishment and erosion control for the spoil mound were the key problems for revegetation.

The worked-out area was a large deep pool with a slope side for removing the excavated stones to terrace for crushing. The surrounding runoff containing soil, sand, fragments and some seeds and propagula of plants was loaded into the disused pool. The bottom of the pool with a higher moisture content had 100% vegetation cover. It composed of totally 31 species, and dominated by hygrophytes such as *Equisetum debile* at the bottom and grasses such as *Imperata cylindrical* var. *major* and *Pogonatherum crinitum* on the slope side. The number of seeds in the soil of the worked-out area amounted to 193±46 seeds m⁻¹ with 6 species.

The surface of the terrace was very hard due to the compression caused by trucks, and the terrace surface of terrace was almost completely devoid of vegetation, with only a few plants occurring on the border and cracks of the terrace. The vegetation cover was less than 10% and composed of 9 species. However, the number of seeds in the soil (substrate) of the terrace was the highest among all disused lands of the quarry and amounted to 1390±312 seeds m⁻¹ with 15 species. The accumulation of the seeds in the soil might be due to water runoff and also dust falls containing seeds. Results presented here indicated that the natural colonization of plants on the abandoned quarry was slow and limited, due to the unfavorable edaphic conditions and limited plant propagates. Therefore, improvement of physico-chemical properties of the substrates, and inputting seed source were necessary for restoration of these quarries.

Key words: abandoned quarry; natural colonization; soil seed bank

文章编号:1000-0933(2003)07-1305-08 中图分类号:Q948 文献标识码:A

由于人类对建筑石料的需求,采石场及弃置的采石坑,就成为人类文明史上各个时期中都存在的,紧邻着民居的一种景观。随着建筑和化学工业(生产水泥、石灰等)对各种各样石料的更大需求,采石越来越机械化,采石场的规模越来越大,对周围环境的破坏也日益严重。弃置后的采石场由于留下的不是采空后的深坑、峭壁,就是坚实的地表,往往被认为是很少或没有什么用途的废弃地,尤其在发展中国家,大都不作任何处理修复工作,常被用作堆放家庭和工业废弃物的场所,这样不仅没有消除采石场原有对环境的影响,而且废弃物的堆填在形成丑陋景观的同时堆填物产生的沼气和渗沥液会更严重地影响环境。在中国,建设部曾发文要求谁开发谁治理,但因实施不力而导致了大量的废弃采石场。人们对在不同年代被废弃的采石场进行调查发现,与其它一些被人类干扰地的情况一样,植物也会入侵这些废弃采石场并进行着一个演替过程,由于采石场所形成的多样地貌及特殊的小生境,还会成为一些稀有或在当地已被认为消失了的动植物的避难所,这些野生生物所需要的正常生长环境已经被集约农业所破坏了^[1,2]。在英国一

些古老的废弃采石场已演替成为林地,甚至被国家或各类自然保护协会划为不同主题的自然保护区^[3]。然而,这个自然入侵和演替成为林地的过程是非常缓慢的,也许要耗费数以百年计的时间^[4]。这样的速度是现代社会的制订任何一个环境整治规划都难于接受的^[5]。因此,许多国家在对采石场进行修复时,针对不同情况而尝试采用各种不同的技术措施,诸如在采石场废弃后覆盖上原有表土^[4,6]、向采石场废弃地引入各种各样的乡土植物尤其是豆科植物^[4]、采用水播方法(the method of hydroseeding)^[7]、表面地形恢复技术(the technique of landform replication)^[5,8]等以促进废弃采石场的植被恢复。无论是要对废弃采石场能否划作保护区而进行评估,或是要制订对废弃采石场的生态修复计划,对采石场废弃地基本情况及早期植被的自然入侵状况的了解都是十分重要的。本研究试图通过对广州市白云山地区一个已弃置 2a,较有代表性和较大的采石场进行调查,了解采石场各类废弃地的性质、自然植被和土壤种子库情况及影响植被恢复因素等,为针对不同类型废弃地采取合理的植被恢复措施提供参考。

1 研究场地概况和研究方法

1.1 研究场地概况

位于广州市北郊被喻为广州市市肺的白云山地区,遍布着三百多个大大小小的采石场。经广州市政府整治采石场领导小组决定,关闭一大批严重破坏白云山风景区的采石场。调查的石场被关闭了 2a。弃置后的采石场留下 3 类面积较大的废弃地:A. 排土场,石场露天开采,大量土壳剥离后便就近弃置推向山下,掩埋了原有植被而形成,几个坡向的面积合计约有 15hm²,排土场厚厚的疏松“土层”(实际上是夹杂着大小不等的石块和风化壳)极易被雨水侵蚀,其上布满了深浅、大小不等的侵蚀沟是其最显著的特点;B. 采石坑,是在采石时随着采石面的不断向前推移而形成的深坑,三面是采石面的峭壁,一面是用作将采下的石块运输至平台破碎加工的斜坡路(缓坡地),弃置时的地表面积约有 3hm²;C. 碎石贮运平台,在开采时是用作将石块碎成大小规格不同的建筑用石料及存放、装运的场所,面积约有 3hm²,弃置后便成为一块相对较为平整但表面非常坚实的废弃地。

1.2 植被调查

由于排土场废弃地尚未有出现植被,植被调查只在采石坑和碎石贮运平台废弃地上进行。设置样线,在样线上等距离规则地设置 1m×1m 的调查样方,根据调查地的大小和基质情况定样方的数目,在采石坑废弃地上设 12 个,碎石贮运平台上设 20 个。记录样方内植物种类、盖度或株数、高度等。

1.3 土壤种子库样品的采集

在 3 种废弃地上随机设置样线,然后在样线上等距离设置 10×10 cm² 采样小样方采集土壤种子库检测样品。每个废弃地各采集 12 个小样方,总面积各为 1200 cm²。其中,在 A、B 类型废弃地上,将小样方分 0~2 和 2~5 cm 两个深度层次采集土壤;在 C 类废弃地上则分别采集地表和 0~2 cm 两部分,地表部分样品是以硬毛刷能扫得起的浮土,由于该地经运石车辆反复碾压,以及主要以碎石和粉尘组成,地表非常坚实,所以 0~2 cm 部分是用锤子和木工凿挖取,2~5 cm 太坚实而无法采集。在采集土壤种子库样品同时,分别采集供测定土壤理化性质用的样品。

1.4 样品预处理与萌发检测

用作检测土壤种子库组成的样品在室内风干后过 5 mm 筛以除去石块,同一废弃地上同一层次的样品充分混合并以重量等分成 5 个平行样品,分别装在密封胶袋中置于 5±2℃ 中贮存,3 个月后进行萌发检测试验^[9,10]。萌发检测试验采用由 35×25 cm² 的 4 号塑料盆组成的 Leonard 装置进行^[11]。

用于测定土壤理化性质的土壤样品风干后,先后过 5 mm、2mm 和 1 mm 筛,并将过筛后样品分别称重以确定碎石及各级颗粒比例,测定土壤的 pH、电导率(EC)、有机质、总氮、磷和钾^[12]。

2 结果

2.1 3 种类型废弃地土壤的理化性质

如表 1 所示的结果表明,基质的组成上,碎石贮运平台主要是由大于 5 mm 的碎石组成,占 50% 以上,在采石坑和排土场中较大的颗粒较少,而小于 1 mm 的颗粒分别为 48.9% 和 63%,但是它们来源不一样,采石坑因地势低洼,夹带着泥沙、碎石的地表径流从四周流入和沉积而成,排土场则是一些剥离的底土及

其下的风化物质,并经受着严重的侵蚀和水土流失。总体来说,这3类废弃地在养分状况都很差。相对而言,以采石坑稍好,其有机质含量为1.6%,氮、磷、钾三大养分元素的含量也是最高的,这是它承接了四周地表所流失的养分,而碎石贮运平台最差,其有机质含量小于1%,总氮和总磷含量都不足 $1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,尤其是总磷更是只有 $0.03\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

表1 采石场3种不同类型废弃地土壤特性比较

Table 1 The selected physico-chemical properties of three types of disused lands of quarry				
项目 Item		排土场 Spoil mound	采石坑 Worked-out area	碎石贮运平台 Terrace for crush
土壤颗粒组成	($>5\text{ mm}$)(%)	5.4	25.4	50.6
Particle size	($2\sim5\text{ mm}$)(%)	17.4	13.3	10.6
	($1\sim2\text{ mm}$)(%)	14.2	12.8	9.6
	($<1\text{ mm}$)(%)	63.0	48.9	29.1
pH		5.15 ± 0.04	5.88 ± 0.05	6.29 ± 0.05
电导率 EC($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)		438 ± 17.7	240 ± 14.1	350 ± 42.4
有机质 Organic matter (%)		1.15 ± 0.03	1.61 ± 0.04	0.78 ± 0.08
总氮 Total N($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		1.096 ± 0.016	1.43 ± 0.03	0.74 ± 0.10
总磷 Total P($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		0.039 ± 0.003	0.053 ± 0.003	0.032 ± 0.005
总钾 Total K($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		2.60 ± 0.12	23.41 ± 0.05	1.77 ± 0.06

3.2 采石场废弃地的植被

采石场废弃两年后。排土场因表面不稳定,出现了严重的水蚀,基本上没有植被发生,水蚀情况似乎仍要继续下去,表面不稳定是难于形成植被的重要因素,并且互为因果而形成恶性循环。采石坑与碎石平台废弃地的植被情况如表2和表3所示。结果表明,两类废弃地虽然都出现了植物入侵,但在碎石贮运平台废弃地上的植被甚为稀疏,在调查的20个样方中有8个是完全没有植物的,而在有植物的样方中,大都也是以单株或几株出现,总体植物覆盖度小于10%,种类也很单纯,只有4科9属9种植物。相比之下,采石

表2 碎石贮运平台废弃地的植被组成及其特征

Table 2 The species composition and characteristics of vegetation on the terrace of the quarry					
科 Family	种类 Species	生活型 Life form	高度 Height (cm)	相对频度 RF*	平均盖度 AC# %
禾本科 Gramineae	画眉草	一年生草本	20~40	24.14	5
	<i>Eragrostia pilosa</i> Beauv.	Annual herb			
	蟋蟀草	一年生草本	10~35	24.14	2
	<i>Eleusine indica</i> Gaerth.	Annual herb			
	石珍芒	多年生草本	35~60	17.24	1
	<i>Arundinella nepalensis</i> Trin.	Perennial herb			
	类芦	多年生草本	30~90	10.35	1
菊科 Compositae	<i>Neyraudia reynaudiana</i> Keng.	Perennial herb			
	狗牙根	多年生草本	10~15	3.45	<1
	<i>Cynodon dactylon</i> Pers.	Perennial herb			
	牛虱草	一年生草本	20~40	3.45	<1
	<i>Eragrostia unioloides</i> Nees ex Steud.	Annual herb			
	胜红蓟	一年生草本	10~35	3.45	<1
	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Annual herb			
玄参科 Gesneriaceae	冰糖草	多年生草本	10~30	10.35	<1
	<i>Scoparia dulcis</i> L.	Perennial herb			
莎草科 Cyperaceae	莎草	多年生草本	15~60	3.45	<1
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Perennial herb			

万方数据

* RF: Relative frequency ; # AC: Average coverage

表 3 采石坑废弃地的植被组成及其特征

Table 3 The species composition and characteristics of vegetation on the worked-out area					
科 Family	种类 Species	生活型 Life form	高度 Height(cm)	相对频度 RF	平均盖度 AC (%)
禾本科 Gramineae	白茅 <i>Imperata cylindrica</i> Beauv. var. <i>major</i> C. E. Hubb. ex Hubb. et Vaughan	多年生草本 ^①	45~60	8.90	15
	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i> Warb.	多年生草本	60~150	2.92	9
	金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i> Kunth.	多年生草本	15~30	7.44	6
	类芦 <i>Neyraudia reynaudiana</i> Keng.	多年生草本	50~120	2.92	5
	牛虱草 <i>Eragrostia unioloides</i> Nees ex Steud.	一年生草本 ^②	20~35	4.38	1
	弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i> A. Camus	一年生草本	20~45	1.46	<1
	雀稗 <i>Paspalum acrobiculatum</i> L.	多年生草本	20~45	1.46	<1
	红毛草 <i>Rhynchelytrum repens</i> C. E. Hubb.	多年生草本	25~50	1.46	<1
	球穗莎草 <i>Cyperus globosus</i> All.	多年生草本	20~40	2.92	7
莎草科 Cyperaceae	飘拂草 <i>Fimbristylis annua</i> Roem. et Schult.	多年生草本	25~45	8.96	5
	高秆珍珠茅 <i>Seleria terrestris</i> Fassett.	多年生草本	40~60	2.92	1
	水蜈蚣 <i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	多年生草本	10~20	1.46	1
	猴子草 <i>K. monocephala</i> Rottb.	多年生草本	10~20	2.92	<1
木贼科 Equisetaceae	笔管草 <i>Equisetum debile</i> Roxb.	多年生草本	20~60	4.38	26
谷精草科 Eriocaulaceae	谷精草 <i>Eriocaulon buergerianum</i> Koern.	多年生草本	5~15	1.46	<1
灯心草科 Juncaceae	灯心草 <i>Juncus effuses</i> L.	多年生草本	20~50	1.46	<1
菊科 Compositae	香丝草 <i>Erigeron crispus</i> Fourr.	一年生草本	30~60	7.44	6
	胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> L.	一年生草本	15~45	8.90	1
	夜香牛 <i>Vernonia cinerea</i> Less.	一年生草本	15~35	4.38	<1
	一点红 <i>Emilia sonchifolia</i> DC.	一年生草本	15~35	2.92	<1
	野苦蕒 <i>Sonchus arvensis</i> L.	一年生草本	20~50	1.46	<1
	旱莲草 <i>Eclipta prostrata</i> L.	一年生草本	15~45	1.46	<1
	千里光 <i>Senecio scandens</i> Buch. -Ham.	一年生草本		1.46	<1
大戟科 Euphorbiaceae	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i> L.	一年生草本	15~25	1.46	<1
马鞭草科 Verbenaceae	马缨丹 <i>Lantana camara</i> L.	灌木 ^③	25~60	1.46	<1
	五指柑 <i>Vitex negundo</i> L.	灌木	35~50	1.46	<1
苋科 Amaranthaceae	虾钳菜 <i>Alternanthera sessilis</i> DC.	一年生草本	10~25	1.46	<1
木犀科 Oleaceae	山指甲 <i>Ligustrum sinense</i> Lour.	灌木	30~50	1.46	<1
豆科 Leguminosae	网纹山绿豆 <i>Desmodium reticulatum</i> Champ.	亚灌木 ^④	25~40	1.46	<1
柳叶菜科 Onagraceae	丁香蓼 <i>Ludwigia prostrata</i> Roxb.	一年生草本	25~40	1.46	<1
马齿苋科 Portulacaceae	松叶牡丹 <i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	一年生草本	10~20	1.46	<1

①Perennial herb;②Annual herb;③Shrub;④Subshrub

坑废弃地植被覆盖就要好得多,在该地段除了一些散落在当中的巨大石块露出外,其余地方的植被覆盖度达 100%。这是由于采石坑所接纳的地表逕流不仅带来了泥沙,同时也把附近地表上的土壤种子库中的种子和无性繁殖体夹带进来,致使该地段较快出现一个植被覆盖层。采石坑因地势低洼,底部形成潮湿甚至积水,而斜坡面则相对干旱,采石坑废弃地的生境(水因子)多样性也促进了植物种类的多样性,有 13 科 30 属 31 种植物。在湿润环境以一些湿生植物如笔管草(*Equisetum debile*)和莎草科的植物为优势种,在较干旱的边坡部分则以白茅(*Imperata cylindrica* var. *major*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等占优。

但是,仍然是由草本层和高草层为主,尚无乔木出现,结构较为简单。

3.3 土壤种子库的种类组成和种子含量

对3种废弃地土壤种子库的调查结果列于表4、5和6中。结果表明,排土场的土壤种子库接近零。事实上,在排土场上所采集的全部样品中只检测到两种植物各1株幼苗,换算成土壤种子库的大小约当33粒·m⁻²。这说明,尽管附近的山坡上都有较好的植被,其种子雨对采石场的各个废弃地具有相似影响,但是由于排土场上没有任何植被,表面不稳定,易于风蚀和水蚀,落下的种子很难聚积与保存于土层中形成较大的土壤种子库。采石坑和碎石贮运平台上的土壤种子库则相对较大,分别有6种植物、193粒·m⁻²和15种植物、1390粒·m⁻²。碎石贮运平台废弃地土壤种子库,无论在种类和种子数量上都最大。形成这种现象,相信是碎石贮运平台地势较为平整,在废弃前的作业过程中,产生大量的粉尘及运输过程落下的碎石,在沉降过程中把种子雨落下的种子较好地掩埋,而坚实的表面又使绝大部分的种子都得不到萌发的条件,以致于大部分种子被保存于土层中(碎石与石粉组成的基质中)。

表4 排土场废弃地土壤种子库组成及种子含量(粒·m⁻²)

Table 4 The species composition and seed content (seed · m ⁻²) of soil seed bank in the spoil mound						
种 Species	科 Family	生活型 Life form	0~2 (cm)	2~5 (cm)	合计 Total	占% Percentage
飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> Cronq.	菊科 Compositae	一年生草本 Annual herb	25	0	25	75.8
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i> L.	酢浆草科 Oxalidaceae	多年生草本 Perennial herb	0	8	8	24.2
合计 Total			25	8	33	100

表5 碎石贮运平台废弃地土壤种子库的组成和种子含量(粒·m⁻²)

Table 5 The species composition and seed content (seed · m ⁻²) of soil seed bank in the terrace						
种 Species	科 Family	生活型 Life form	地表 Surface	0~2 (cm)	合计 Total	占% Percentage
冰糖草 <i>Scoparia dulcis</i> L.	玄参科 Scrophulariaceae	多年生草本 Perennial herb	0	390	390	28.1
叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i> L.	大戟科 Euphorbiaceae	一年生草本 Annual herb	185	90	275	19.8
驳骨丹 <i>Buddleja asiatica</i> Lour.	马钱科 Loganiaceae	灌木 Shrub	5	235	240	17.3
马唐 <i>Digitaria saguinalis</i> Scop.	禾本科 Gramineous	一年生草本 Annual herb	70	85	155	11.2
蝗蜂草 <i>Eleusine indica</i> Gaertn.	禾本科 Gramineous	多年生草本 Perennial herb	20	20	40	2.9
金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i> Kunth.	禾本科 Gramineous	多年生草本 Perennial herb	20	0	20	1.4
飘拂草 <i>Fimbristylis</i> sp.	莎草科 Cyperaceae	多年生草本 Perennial herb	60	20	80	5.8
斑种草 <i>Bothriospermum chinense</i> Fisch	紫草科 Boraginaceae	一年生草本 Annual herb	75	10	85	6.1
胜红蓊 <i>Ageratum conyzoides</i> L.	菊科 Compositae	一年生草本 Annual herb	0	35	35	2.5
飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> Cronq.	菊科 Compositae	一年生草本 Annual herb	5	25	30	2.2
熊耳草 <i>Ageratum houstonianum</i>	菊科 Compositae	一年生草本 Annual herb	0	5	5	0.4
草龙 <i>Jussiaea linifolia</i> Vahl	柳叶菜科 Onagraceae	一年生草本 Annual herb	0	20	20	1.4
水蛇麻 <i>Fatoua pilosa</i> Gaud.	桑科 Moraceae	一年生草本 Annual herb	0	5	5	0.4
哈氏榕 <i>Ficus harlandii</i> Benth.	桑科 Moraceae	乔木 tree	0	5	5	0.4
白花蛇舌草 <i>Oldenlandia diffusa</i> Roxb.	茜草科 Rubiaceae	一年生草本 Annual herb	0	5	5	0.4
合计 Total			440±214	950±278	1390±312	100

表 6 采石坑废弃地土壤种子库组成及种子含量(粒·m⁻²)

Table 6 The species composition and seed content (seed · m ⁻²) of soil seed bank in the worked-out area						
种 Species	科 Family	生活型 Life form	0~2 (cm)	2~5 (cm)	合计 Total	占 % Percentage
飘拂草 <i>Fimbristylis annua</i> Roem. et Schult.	莎草科 Cyperaceae	多年生草本 Perennial herb	73	0	73	38.0
金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i> Kunth.	禾本科 Gramineous	多年生草本 Perennial herb	13	33	47	24.1
马唐 <i>Digitaria saguinalis</i> Scop.	禾本科 Gramineous	一年生草本 Annual herb	7	0	7	3.4
驳骨丹 <i>Buddleja asiatica</i> Lour.	马钱科 Loganiaceae	灌木 Shrub	27	13	40	20.7
斑种草 <i>Bothriospermense chinense</i> Fisch.	紫草科 Boraginaceae	一年生草本 Annual herb	13	0	13	6.9
冰糖草 <i>Scoparia dulcis</i> L.	玄参科 Scrophulariaceae	多年生草本 Perennial herb	13	0	13	6.9
合计 Total			147±46	47±26	193±46	100

4 讨论

弃置采石场的 3 种类型废弃地在早期的植被和土壤种子库方面都有所差异,这是由于它们在基质、影响植物生长的环境条件和植物繁殖体来源等方面都存在着差异所至。除了都表现为植物养分缺乏而阻碍植物生长这一共同特点外,每一类废弃地都各自存在影响植被自然演替的障碍。在排土场影响植物入侵与演替的主要障碍是表面既有坡度又非常疏松,易于发生风蚀和水蚀。这种不稳定性使得落下的种子难于积累,萌发的植物难于扎根和定居。这与其它露天矿的排土场所存在的问题是一样的。进行表面稳定和控制水蚀是治理排土场的关键问题^[13]。如进行一些工程上的措施,修建环山梯台以稳定表面,遏制水土流失,再结合种草植树等生物措施,营造一个植物群落环境,加速系统内养分的累积和其它种类的入侵,从而促进群落的演替。

碎石贮运平台虽然较为平整,但是其基质主要是由石粉、碎石组成,产品的堆放及车辆的碾压,使得表面非常坚实,种子难以得到萌发所需的条件,即使在地表的种子萌发了也难以扎根。因此,尽管有较大的土壤种子库也无法发挥促进自然植被的出现和发展的作用,碎石平台废弃 2 年后的植被还是非常稀疏,只有在一些裂缝或地块边缘积累较厚粉尘的地方才有较多的植物出现。对这类废弃地,必须通过开挖甚至爆破的表面修复,使表面疏松,或者在其表面铺上较厚一层土层,才能谈得上种草植树等生物措施以营造一个植物群落环境,促进演替。

采石坑由于有沙泥的积聚及植物繁殖体的入侵,早期的植被恢复较好,这对土壤中养分和有机质的积累是十分有利的。不过,Salonen 和 Setälä^[14]在测定种子供应和土壤基质差异上那个因子更为重要地影响植被恢复的研究中发现,种子的供应看来是控制植物入侵的更为重要因素。而对采石坑废弃地的调查结果则显示,其地上植被仍以草本植物为主,在边坡上有零星少数灌木,而土壤种子库中则完全没有灌木和乔木种类种子出现。因此,适当引入一些乔灌木种类,无论是种子或是种植幼苗,相信都会有助于加快该废弃地的群落演替和自然植被的恢复。另外,采石场其实还有另一类废弃地,这就是由采石面所形成的峭壁。在国际上对废弃采石场峭壁的处置似乎有一个共识,就是不必花费人力物力去改造,更千万不要用填平的方法进行修复。因为,尽管峭壁的自然植被恢复很慢,但它一方面对周围环境影响很少而却是一些珍稀动植物,尤其是鸟类如各类鹰隼难得的栖息场所;二是当采石场其它废弃地的植被恢复后,峭壁还是一个有价值的景观^[15]。但在广东尤其是珠江三角洲地区,正在致力于峭壁绿化以改善景观,如果能在峭壁绿化的同时引入土壤种子库,可能也有助于峭壁的长期植被效果。

从本研究的数据看来,物理性质恶劣、极端贫瘠和缺少植物繁殖体是采石场这类废弃地植物自然定居的限制因素,因此,改良其理化性质,引入植物繁殖体对于采石场的生态恢复来说都是必要的。撒播一

层较薄的表土层,利用其种子库加速采石场废弃地的植被重建是一个可供选择的方法,而我们以前的研究也表明,捐赠土壤种子库对铅锌尾矿的植被重建是非常有效的^[16]。同时,植被恢复中应尽可能选用采石场自然演替植被的优势种,能更好地适应其极端环境。

References:

- [1] Ratcliffe D A. Ecological effects of mineral exploitation in the United Kingdom and their significance to nature conservation. *Proceedings of the Royal Society A*, 1974, **339**: 355~372.
- [2] Holliday R J and Johnson M S. The contribution of derelict mineral and industrial sites to the conservation of rare plants in the United Kingdom. *Minerals and the Environment*, 1979, **1**: 1~7.
- [3] Ranson C E and Doody J P. Quarries and nature conservation-Objectives and management. In: Davis B N K ed. *Ecology of Quarries*. Cambridge: Institute of Terrestrial Ecology, 1982. 20~26.
- [4] Bradshaw A D and Chadwick M J. *The Restoration of Land*. Oxford: Blackwell Scientific Publishers Ltd. , 1980.
- [5] Cullen W R, Wheeler C P and Dunleavy P J. Establishment of species~rich vegetation on reclaimed limestone quarry faces in Derbyshire. *Biological Conservation*, 1998, **84**: 25~33.
- [6] Harris J A, Birch P and Palmer J P. *Land Restoration and Reclamation: Principles and Practice*. Singapore: Longman, 1996.
- [7] Humphries R N. Landscaping hard rock quarry faces. *Landscape Design*, 1979, **127**: 34~37.
- [8] Bailey D E, Gunn J, Handley J, *et al*. The construction of limestone ecosystems on quarried rock slopes. In: *Proceedings of the Environmental Workshop*. Perth: Australian Mining Industry Council, 1991. 13~25.
- [9] Pratt D W, Black R A and Zamora B A. Buried viable seed in a ponderosa pine community. *Canadian Journal of Botany*, 1984, **62**: 44~52.
- [10] Johnson E A. Buried seed populations in the subarctic forest east of Great Slave Lake, Northwest Territories. *Canadian Journal of Botany*, 1975, **53**: 2933~2941.
- [11] Zhang Z Q. Application of the Leonard Jars for germination test in soil seed bank research. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, **18**(3): 70~74.
- [12] Page A L, Miller R H and Keeney D R. Methods of Soil Analysis. Part 2. *Chemical and Microbiological Properties*, 2nd Ed. Wisconsin: ASA and SSSA, 1982.
- [13] Down C G. Problems in vegetating metal~toxic mining wastes. In: Jones M J ed. *Minerals and the Environment* London: Inst. Of Mining and Metallurgy, 1974. 395~408.
- [14] Salonen V and Setälä H. Plant colonization of bare peat surface relative importance of seed availability and soil. *Ecography*, 1992, **15** (2): 199~204.
- [15] 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.
- [16] Zhang Z Q, Shu W S, Lan C Y, *et al*. Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings, *Restoration Ecology*, 2001, **9**: 378~385.

参考文献:

- [11] 张志权. 土壤种子库与矿业废弃地植被恢复研究 I. Leonard 瓶-罐装置在土壤种子库检测中的应用. 生态学杂志, 1999, **18**(3): 70~74.