

海南昌江石碌铁矿尾矿库区植被调查

郭 涛¹, 杨小波^{1,3,*}, 廖香俊², 龙文兴¹, 李东海¹

(1. 海南大学生命科学与农学院, 海南海口 570228 2. 海南省地质矿产勘查开发局, 海南海口 570206;
3. 海南大学热带生物资源教育部重点实验, 海南海口 570228)

摘要 实验开展了 3 个不同年代的海南石碌铁尾矿库区植被调查研究, 根据记录数据计算了各样地物种的重要值、物种多样性指数和均匀度等。结果表明, 铁尾矿库区内植物种类总体上来看较为稀少, 不同尾矿库区内植物群落组成成分差异比较大。已经停止使用 20a 的尾矿区 (样地 1) 内, 自然定居的植物仅有 44 种, 其中禾本科植物种类较多, 其次为豆科植物和莎草科植物, 表明这 3 个科的植物种类较其它科植物更容易适应这种环境, 特别是禾本科的水竹 (*Phragmites karka*)、雀稗 (*Paspalum commersonii*) 和豆科的田菁 (*Sesbaniacannabina*) 表现出较强的适应能力。刚停止使用 2a 的尾矿库区 (样地 2) 内, 自然定居的植物有 21 种, 其中硬骨草 (*Panicum repens*)、斑茅 (*Saccharum arundinaceum*) 和芒 (*Miscanthus sinensis*) 等禾本科植物为该样地的优势种群。正在使用的尾矿库区 (样地 3) 内物种单一, 只有水竹 (*Phyllosacys karka*)、芒 (*Miscanthus sinensis*) 和田菁 (*Sesbaniacannabina*) 三种植物能在该恶劣的生境中顽强地生长和发育, 表现出极强的适应能力。结果还表明了 3 个不同年代库区的植物群落的组成与结构存在明显的演替顺序差异, 样地 3 单种优势明显, 从样地 3 到样地 1, 这种优势依次减弱, 物种多样性指数也依次增加, 这表现出由较少先锋物种种类组成的简单群落向稳定复杂群落方向演替的趋势, 反映了植物群落结构随演替时间的延长越来越趋向复杂化。在同一个尾矿库区内土壤的不同水分含量和理化性质会对植物的定居与群落的组成关系密切。

关键词 植被组成 植被演替 尾矿库区 石碌铁矿

文章编号: 1000-0933 (2007) 02-0755-08 中图分类号: Q148, X171.5 文献标识码: A

Investigation on the vegetation of iron tailing wasteland in Shilu, Changjiang, Hainan Province

GUO Tao¹, YANG Xiao-Bo^{1,3,*}, LIAO Xiang-Jun², LONG Wen-Xing¹, LI Dong-Hai¹

¹ College of Life Science and Agriculture Hainan University 570228, China

² Hainan Provincial Bureau of Exploration & Development of Geology & Mineral Resources 507206, China

³ Key Laboratory of Tropic Biological Resources of Ministry of Education, Hainan University, Haigou 570228, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (2): 755 ~ 762.

Abstract: This paper focuses on the research into the vegetation of three iron mine tailing wastelands of Shilu Mining Area (in Changjiang county, Hainan) in different periods. According to the data derived from this on-the-spot investigation into the wastelands, the author of the paper calculated the important value of the plant species, the index of diversity of the plant species as well as the evenness of the plant species.

The findings showed that in each wasteland, the types of plant species on the whole were not many and the composition between the plant communities was relatively different. In No. 1 waste-land, which was deserted two decades ago, there

基金项目 海南省自然科学基金资助项目 (80592)

收稿日期 2005-12-05; **修订日期** 2006-05-07

作者简介 郭涛 (1981 ~), 男, 山东临朐人, 硕士生, 主要从事植被生态学研究. E-mail: gtfree@126.com

* **通讯作者** Corresponding author. E-mail: yangxb62@yahoo.com.cn

Foundation item The project was financially supported by Natural Science Foundation of Hainan Province (No. 80592)

Received date 2005-12-05; **Accepted date** 2006-05-07

Biography GUO Tao, Master candidate, mainly engaged in vegetation ecology. E-mail: gtfree@126.com

were 44 types of native plant species, among which Gramineae family was the most dominant while Leguminosae and Cyperaceae families are less dominant, especially the species like *Phragmites karka* and *Paspalum commersonii* of Gramineae, and *Typhaceae angustifolia* of Cyperaceae were flourishing and more adaptable to the habitat. In No. 2 wasteland, which was abandoned two years ago, 21 types of native plant species had been found, among which the most adaptable were *Panicum repens*, *Saccharum arundinaceum* and *Miscanthus sinensis* that belonged to Gramineae family. The vegetation of No. 3 tailing wasteland, which is still being mined now, was much worse than that of No. 1 and No. 2 wastelands. Because of its poor habitat, only three species could survive, which were *Pyllosacys karka*, *Sesbania cannabina* and *Miscanthus sinensis*.

The analysis of the findings had indicated that the plant community structures of the three mine wastelands were obviously different in succession sequence, single species dominance lowering from No. 3 to No. 1 and species diversity indexes increasing from No. 3 to No. 1. This phenomenon demonstrated that the succession trends changing from simple plant communities composed by few pioneer species to complex and stable communities, and plant community structures become more complex with the succession going on. Besides, the analysis of vegetation of No. 1 wasteland showed that even in the same digging, different water contents and different physical and chemical characters might influence the plant ecesis and community composition at different levels. For this part, a further study is necessary.

Key Words : vegetation composition ; vegetation succession ; mining tailing wasteland ; Shilu iron mine

尾矿场是由于工业采矿所形成的不经改造无法使用的土地。在矿山开采利用过程中,产生了大量尾矿等矿石废弃物,这些堆积在一起,得不到及时处理的废弃物不仅占用大量土地,破坏了景观,同时也带来严重环境问题和生态祸患^[1-3]。尤其是由单一金属矿种开采后形成的尾矿场中单一金属离子浓度非常高,大大超过了植物对这种离子浓度耐受的阈值。高金属离子浓度和高 pH 值会对植物产生非常大毒害作用^[4]。因此,一般的植物很难在此定居繁衍,甚至废弃几十年的尾矿场内的植被覆盖率都很低。还有矿业废弃物的堆积,也是严重的污染源,没有植被来保持水土,淋溶的金属离子会污染下游水源,造成二次污染。在尾矿场上定居植被,进行生态修复,既防治了环境污染,阻止水土的流失,又美化了环境,而且也不会造成二次污染,同时获得生物量,这是目前矿场废弃地开发再利用较为理想的方法^[5]。现在对尾矿场的研究与治理^[6,7]是区域污染治理和生态恢复领域十分重要课题之一,工矿业废弃地的植被恢复^[8]和生态重建^[9,10]也是当前生态学研究的一个重要研究领域。本文调查研究了昌江县城周围 3 个不同铁尾矿场(全国著名的石碌铁矿)的植被状况,旨在为铁尾矿场的污染治理和生态恢复提供基础资料。

1 研究样地及研究方法

1.1 样地情况

昌江县位于 N18°53' ~ 19°30', E108°38' ~ 109°17', 西北部濒临北部湾, 东北部隔珠碧江与儋州市相望。属热带季风气候, 温暖湿润, 雨量充沛, 干湿季明显, 光照充足。年均温度为 17 ~ 22℃, 年均降水量为 1500 ~ 2200mm, 年相对湿度为 80% 左右。每年常有 1 ~ 3 次冷空气入侵, 出现短暂的降温现象, 但终年无霜冻期。

石碌铁矿位于昌江县石碌镇南约 3 公里的金牛岭北麓, 矿区总面积 60km², 铁矿储量为 3 亿 t, 是国内最大的富铁矿, 以其质优而闻名国内外, 它是中国八大露天铁矿之一, 也是亚洲最大的富铁矿场, 主要是赤铁矿, 其储量约占全国的 71%。探明的储量占全国富铁矿总量 12.84%, 仅次于云南、山东。铁矿体下部还有我国规模最大、品位最高的原生钴矿床。此外还有大中型铜、小型黄铁矿床及铜、钴矿伴生的金、银矿。矿层顶部有大型白云岩矿床, 底部有大型硅石矿床。各种矿体位于山区, 开采技术条件好, 大部分可露天开采, 生产全部机械化。石碌铁矿自古代民间手工开采至今约有三、四百年的历史了, 1939 年日本侵略者侵占海南后, 对石碌铁矿进行疯狂掠夺性开发, 解放后被收为国有经营, 现在每年开采 460 万 t 铁矿石, 已经有 3 个大型铁尾矿库。

尾矿库 1 (样地 1) 中心位于 N19°15′13.3″,E109°01′55.5″,海拔 86m,库区面积 1.5km²,1982 年停止使用。二十几年来尾矿库区植被以自然恢复为主,无人工种植植物,偶有放牧现象。矿库区南端有一面积约 1000m²,由山溪水流经此处而形成的沼泽地,常年有浅积水。下游由一条主排水道沿尾矿库区西侧流出该区。此地形特点是库区形成 2 种不同生境的主要原因 ;尾矿库 2 (样地 2) 中心位于 N19°15′22.3″,E109°01′06.3″,海拔 75m,库区面积 1.0km²。该库于 1980 年开始使用,2a 前停止使用。靠近库区北部大坝边约 100m 范围内,植被较稀疏。库区南部低洼处有点状分布的水域 (半沼泽地类型),植被覆盖率较高。从总体地势上看,由高到底处,地面湿度逐渐增大,植被丰富度也随之增加 ;尾矿库 3 (样地 3) 中心位于 N19°15′30.8″,E108°58′21.8″,海拔 53m,库区面积 0.8km²。该尾矿库自 1983 年开始排放矿石粉尘,至今还在使用。库区内,离大坝内侧 50m 范围内几乎没有植被生存,其余部分内植物种类单一。

1.2 植被调查方法 [1]

以 3 个不同使用情况的铁质尾矿库区为调查对象,每个库区作为一个研究样地。样地 1 又按不同的生境分了 3 个小样地,小样地 1 为库区南端沼泽地,设 6 个样方,每个样方面积为 1m × 1m,由西北到东南方向排列。小样地 2 是库区主要部分,以该区中心为起点,分别向东、南、西、北 4 个方向设置 4 条样线,沿线每隔 30m 设一个 1m × 1m 的样方,共 12 个 ;小样地 3 位于主库区边缘,高出主库区约 1m,总面积约 500m²,随机设 2 个 1m × 1m 样方。样地 2 和样地 3 都以库中心为交点做 2 条十字交叉线,沿线每隔 30m 设一个样方,分别设了 7 个和 6 个样方,每个样方面积为 1m × 1m。调查记录了每个样方内的所有植物种类、株数和盖度等。最后,记录了除样方外全库区范围内个体数较多的植物种类名称。

1.3 数据处理

各植物物种的综合数量指标用重要值测定,物种多样性用 Simpson 指数大小指示,物种分布均匀度的用 Shannon-Weiner 指数大小指示 [2,13]。

重要值 IV (重要值) = $RD\%$ (相对密度) + $RF\%$ (相对频度) + $RC\%$ (相对盖度)

物种多样性由 Simpson 指数测定 :

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

均匀度由 Shannon-Weiner 指数测定 :

$$E = H / H_{\max}$$

式中, $H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$, $H_{\max} = \log_2 S$ 式中, P_i 是第 i 个种的个数 N_i 占总个体数 N 的比例, S 是群落中的总种数, H 是实际观察的种类多样性, $H_{\max}$ 是最大的种类多样性。

2 结果与分析

2.1 不同尾矿库区植物群落组成成分分析

表 1 为 3 个不同尾矿库区内植物群落组成情况。样地 1 内有 44 种植物,隶属 17 科 41 属。从生活型看,该样地的植被组成以 1、2 年生和多年生草本植物为主,此外还有部分亚灌木、灌木和极少量乔木,如田菁、猪屎豆 (*Crotalaria pallida*)、心叶黄花稔 (*Sida cordifolia*)、肖梵天花 (*Urena lobata*)、艾胶算盘子 (*Glochidion macrophyllum*) 等 ;在 44 种植物中,禾本科种类较多,有 14 种,占 32%,其次是豆科 (蝶形花科和含羞草科) 和莎草科,分别有 8 个种和 4 个种,占 18% 和 9%,说明禾本科、豆科和莎草科植物中有较多的种类适应这样特殊的环境 ;样地 2 的总物种有 14 科 21 属,从生活型看,该样地的植被组成也是以 1、2 年生和多年生草本植物为主,此外还有 1 种亚灌木 (肖梵天花) 和 2 种乔木 (休棉 *Bombax ceiba* 和番石榴 *Psidium. guajava*),不过明显看出它们是由牛粪带入而生长起来的。在该样地中禾本科的植物有 4 个种,占 19%,为优势种群 ;样地 3 内植物共 2 科 3 属 3 种,它们分别是禾本科多年生的草本水竹、芒和蝶形花科的灌木田菁。因此,从 3 个样地的植物组成成分来看,禾本科植物是最适应该铁尾矿库区环境的植物。

2.2 尾矿库区的植被群落结构分析

表 2 为 3 个尾矿库区调查样方内的植物名称和重要值分析。结果表明,样地 1 内优势种为白茅、狭叶香蒲和雀稗,其重要值分别为 58.04、55.69 和 34.16。在样地 1 里分布比较广的植物有狗牙根、含羞草、链荚豆、两歧飘拂草、三叶豆、水竹、芒等。样地 2 内硬骨草的重要值最大 (22.29),其次是斑茅 (45.98),其中常见的植物有芒、雀稗、少穗飘拂草、过江藤和马齿苋。样地 3 内只有 3 个物种,重要值最大的为水竹,达 244.85,芒和田菁的重要值分别为 40.60 和 14.55,单种优势现象明显。群落内优势种重要值的大小,是标志植物群落结构复杂与否的重要性指标。从 3 个样地内植物种类的重要值变化情况来看,明显看出样地 1 要比样地 2 和样地 3 的优势种重要值小,说明样地 1 的群落复杂程度最高。

表 1 石碌 3 个不同铁尾矿库区内的植被物种组成

科属 Genus and family	种名 Species
样地 1 Plot 1	
金星蕨科,毛蕨属	华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i> (Linn.) Farwells
马齿苋科,马齿苋属	多毛马齿苋 <i>Portulaca. pilosa</i> Linn.
紫茉莉科,黄细心属	黄细心 <i>Boerhavia diffusa</i> Linn.
大戟科,算盘子属	艾胶算盘子 <i>Glochidion macrophyllum</i> Muell
含羞草科,金合欢属	大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i> A. cunn. Ex Benth.
含羞草科,含羞草属	含羞草 <i>Mimosa pudica</i> Linn.
含羞草科,含羞草属	无刺含羞草 <i>Mimosa invisa</i> Mart. ex Colla var. inermis Adelh.
蝶形花科,灰叶属	灰叶 <i>Tephrosia candida</i> DC
蝶形花科,链荚豆属	链荚豆 <i>Alysicarpus vaginalis</i> (Linn.) DC.
蝶形花科,木豆属	三叶豆 <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millspaugh
蝶形花科,田菁属	田菁 <i>Sesbania cannabina</i> (Retz.) Pers
蝶形花科,野百合属	猪屎豆 <i>Crotalaria pallida</i> Ait. (C. mucronata Desv.)
木棉科,木棉属	木棉 <i>Bombax ceiba</i> Linn. (B. malabaricum DC.)
锦葵科,梵天花属	肖梵天花 <i>Urena lobata</i> Linn.
锦葵科,黄花稔属	心叶黄花稔 <i>Sida cordifolia</i> Linn.
茜草科,丰花草属	糙叶丰花草 <i>Borreria articulata</i> Linn.
茜草科,小牙草属	长花小牙草 <i>Dentella repens</i> (Linn.) J. R. & J. R. Forst. var. <i>grandis</i> Pierre
菊科,地胆草属	白花地胆头 <i>Elephantopus tomentosa</i> Linn.
菊科,泽兰属	飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i> Linn.
菊科,泽兰属	假臭草 <i>Eupatorium catarium</i> Veldk.
玄参科,野甘草属	野甘草 <i>Scoparia dulcia</i> Linn.
马鞭草科,过江藤属	过江藤 <i>Phyla nodiflora</i> (Linn.) Greene
马鞭草科,假马鞭属	玉龙鞭 <i>Stachytarpheta jamaicensi</i> Vahl.
唇形科,山香属	吊球草 <i>Hyptis rhomboidea</i> Mart. ex Gal.
唇形科,绣球防风属	蜂巢草 <i>Leucas aspera</i> (Willd.) Link.
香蒲科,香蒲属	狭叶香蒲 <i>Typhaceae angustifolia</i> Linn.
莎草科,飘拂草属	两歧飘拂草 <i>Fimbristylis dichotoma</i> (Linn.) Vahl.
莎草科,飘拂草属	少穗飘拂草 <i>Fimbristylis shoenoides</i> (Retz.) Vahl.
莎草科,蒲草属	席草 <i>Lepironia articulata</i> Domin
莎草科,沙草属	香附子 <i>Cyperus rotundus</i> Linn.
禾本科,白茅属	白茅 <i>Imperata cylindrica</i> (Linn.) Beauv.
禾本科,飘拂草属	澄迈飘拂草 <i>Fimbristylis chingmaiensis</i> S. M. Huang.
禾本科,地毯草属	地毯草 <i>Axonopus compressus</i> (Sw.) Beauv.
禾本科,狗牙根属	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.
禾本科,狗尾草属	金色狗尾草 <i>Setaria glauca</i> (Linn.) Beauv.
禾本科,芒属	芒 <i>Miscanthus sinensis</i> Anderss
禾本科,囊颖草属	囊颖草 <i>Sacciolepis indica</i> (Linn.) A. Chase
禾本科,雀稗属	雀稗 <i>Paspalum commersonii</i> Lam.
禾本科,蓉草属	蓉草 <i>Leersia oryzoides</i> (Linn.) Sw.
禾本科,水蔗草属	水蔗草 <i>Apluda mutica</i> Linn.

续表 1	
科属 Genus and family	种名 Species
禾本科, 芦苇属	水竹 <i>Phragmites karka</i> (Retz.) Trin.
禾本科, 肾形草属	四生肾形草 <i>Brachiaria subquadrata</i> (Trin.) Hitchc.
禾本科, 黍属	硬骨草 <i>Panicum repens</i> Linn.
禾本科, 金须茅属	竹节草 <i>Chrysopogon aciculatus</i> (Retz.) Trin.
样地 2 Plot 2	
马齿苋科, 马齿苋属	马齿苋 <i>Portulaca. oleracea</i> Linn.
苋科, 苋属	野苋 <i>Amaranthus viridis</i> Linn.
苋科, 青葙属	青葙 <i>Celosia argentea</i> Linn.
含羞草科, 金合欢属	大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i> A. cunn. ex Benth.
蝶形花科, 乳豆属	乳豆 <i>Galactia formosana</i> Matsum. (<i>G. eliptifoliola</i> Merr.)
桃金娘科, 番石榴属	番石榴 <i>Psidium guajava</i> Linn.
木棉科, 木棉属	木棉 <i>Bombax ceiba</i> Linn. (<i>B. malabaricum</i> DC.)
锦葵科, 梵天花属	肖梵天花 <i>Urena lobata</i> Linn.
茜草科, 小牙草属	长花小牙草 <i>Dentella repens</i> (Linn.) J. R. & J. R. Forst. var. <i>grandis</i> Pierre ex Pitard
菊科, 泽兰属	飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i> Linn.
菊科, 白酒草属	香丝草 <i>Conyza bonariensis</i> (Linn.) Cronq.
茄科, 茄属	少花龙葵 <i>Solanum photeinocarpum</i> Nakamura et Odashima
马鞭草科, 过江藤属	过江藤 <i>Phyla nodiflora</i> (Linn.) Greene
马鞭草科, 假马鞭属	玉龙鞭 <i>Stachytarpheta jamaicensis</i> Vahl
莎草科, 莎草属	香附子 <i>Cyperus rotundus</i> Linn.
莎草科, 水蜈蚣属	水蜈蚣 <i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.
莎草科, 蒲草属	席草 <i>Lepironia articulata</i> Domin
禾本科, 黍属	硬骨草 <i>Panicum repens</i> Linn.
禾本科, 甘蔗属	班茅 <i>Saccharum arundinaceum</i> Retz.
禾本科, 雀稗属	雀稗 <i>Paspalum commersonii</i> Lam.
禾本科, 芒属	芒 <i>Miscanthus sinensis</i> Anderss
样地 3 Plot 3	
蝶形花科, 田菁属	田菁 <i>Sesbaniacannabina</i> (Retz.) Pers.
禾本科, 芦苇属	水竹 <i>Phragmites karka</i> (Retz.) Trin.
禾本科, 芒属	芒 <i>Miscanthus sinensis</i> Anderss

表 2 石碌 3 个铁尾矿库区调查样方内植物名称及其重要值			
Table 2 Species and its importance value in investigation quadrates of three separate iron mining wastelands in Shilu			
种名 Species	重要值 Importance value		
	样地 1 c	样地 2 Plot 2	样地 3 Plot 3
白茅 <i>Imperata cylindrica</i> (Linn.) Beauv.	58.04	—	—
斑茅 <i>Saccharum arundinaceum</i> Retz.	—	45.98	—
澄迈飘拂草 <i>Fimbristylis chingmaiensis</i> S. M. Huang	4.17	—	—
地毯草 <i>Axonopus compressus</i> (Sw) Beauv.	1.80	—	—
吊球草 <i>Hyptis rhomboidea</i> Mart. ex Gal.	2.34	—	—
飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i> Linn.	2.20	—	—
狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers.	15.93	—	—
过江藤 <i>Phyla nodiflora</i> (Linn.) Greene.	1.30	12.52	—
含羞草 <i>Mimosa pudica</i> Linn.	8.57	—	—
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i> (Linn.) Farwell.	2.41	—	—
假臭草 <i>Eupatorium catarium</i>	2.34	—	—
链荚豆 <i>Alysicarpus vaginalis</i> (Linn.) DC.	26.51	—	—
马齿苋 <i>Portulaca. oleracea</i> Linn.	—	12.18	—
芒 <i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.	6.65	38.04	40.60
囊颖草 <i>Sacciolepis indica</i> (Linn.) A. Chase.	1.24	—	—
两歧飘拂草 <i>Fimbristylis dichotoma</i> (Linn.) Vahl.	8.00	—	—
雀稗 <i>Paspalum commersonii</i> Lam.	34.16	37.89	—
三叶豆 <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millspaugh.	17.11	—	—

续表 2

种名 Species	重要值 Importance value		
	样地 1 c	样地 2 Plot 2	样地 3 Plot 3
少穗飘拂草 <i>Fimbristylis shoenoides</i> (Retz.) Vahl.	1.24	—	—
水蜈蚣 <i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	—	31.10	—
水蔗草 <i>Apluda mutica</i> Linn.	1.59	—	—
水竹 <i>Phragmites karka</i> (Retz.) Trin.	25.63	—	244.85
田菁 <i>Sesbaniacannabina</i> (Retz.) Pers.	—	—	14.55
狭叶香蒲 <i>Typhaceae angustifolia</i> Linn.	55.69	—	—
香附子 <i>Cyperus rotundus</i> Linn.	14.01	—	—
心叶黄花稔 <i>Sida cordifolia</i> Linn.	1.24	—	—
硬骨草 <i>Panicum repens</i> Linn.	1.69	122.29	—
玉龙鞭 <i>Stachytarpheta jamaicensis</i> Vahl.	1.24	—	—
竹节草 <i>Chrysopogon aciculatus</i> (Retz.) Trin.	4.89	—	—

2.3 尾矿库地的植被群落植物多样性与演替规律分析

2.3.1 3 个尾矿库区内植被群落的差异与其使用时间的不同存在很大的相关性,见表 3。样地 2,该库区刚刚停用 2a 时间,距离库区大坝约 100m 范围之内植被稀疏,仅有的少数几棵植物也是长在牲畜粪便上的。该库区植被的平均盖度为 61.4%,生物多样性指数为 0.7185,都较样地 1 低,但是其物种的均匀度在 3 个样地中是最高的,为 0.8086。其主要群落类型为硬骨草+斑茅群落,且分布范围较广。样地 3 现在还在使用的矿砂粉尘排放库区),外来干扰比较严重,平均每周有一次矿砂伴废水一起排放的工业操作,排放时废水横溢,致使地表径流严重,废料堆积量增加。植被种类呈现明显的单一性,唯一的优势种群为水竹,另外还有少量的芒和田菁。排除距离大坝约 50m 边缘裸露区域后,样地平均总盖度为 54.2%,物种多样性指数为 0.1473,均匀度指数为 0.2665,各个指标在 3 个样地中都是最低的。

表 3 各样地物种多样性分析
Table 3 Analysis of species diversity in three plots

样地号 Plot No.	种数 No. of species	盖度 (%) Coverage	多样性指数 Diversity index	均匀度 Evenness	优势种 Dominant species
样地 1plot 1	44	92.8	0.8567	0.7157	白茅,雀稗 <i>I. cylindrical</i> + <i>P. commersonii</i>
样地 2 plot 2	213	61.4	0.7185	0.8086	硬骨草,斑茅 <i>P. repens</i> + <i>S. arundinaceum</i>
样地 3plot 3		54.2	0.1473	0.2665	水竹 <i>P. karka</i>

2.3.2 样地 1,停用时间最长,其物种丰富度也最高,植被平均盖度达到 92.8%,生物多样性指数为 0.8567。该库由多年的地形构成及生态演替形成了 3 种不同的群落类型,分别为位于库区中部,群落面积最大的白茅+雀稗群落(小样地 2),位于库区南端沼泽地内狭叶香蒲群落(小样地 1)和位于库区边缘的雀稗+芒群落(小样地 3)。这 3 个群落的形成与其生境关系密切,就小样地 1 来说,整个群落生境内长年流水,植物基部积水 1~2cm 种群单一,狭叶香蒲种群盖度特别大,达 95% 以上,每个样方 (m×1m) 内只有 1、2 株如雀稗或飘拂草等禾本科植物或莎草科植物;小样地 3 地处高于主库区约 1m 的边缘地,与主库区空间上隔断,而且又能承接其边缘高坡上水土流失下来的相对肥沃的表层土壤,就使得该地的土壤有机质含量比主库区内相对较高,从而相对于主库区的土壤来说更有利于植物的生长,其植被覆盖度达 95% 以上,且有几株 3~5 龄的乔木(如艾胶算盘子)和分布有一定量的灌木个体。而小样地 2 内有较少的灌木,几乎没有乔木,主要群落为白茅+雀稗群落,该群落内的优势物种抗逆境生存能力强,适应了该区相对干旱、土壤贫瘠的环境特点。但不管是从物种丰富度还是多样性指数来说,小样地 3 都比小样地 2 高,而小样地 2 又都比小样地 1 的高(表 4),表现出同年代的尾矿库区内植物群落成分的不同与环境的 关系较为密切。这为以后进一步分析环境条件与尾矿库区自然定居植被的生长发育之间的关系提供了研究思路。

表 4 样地 1 中 3 个不同地段的植物多样性分析
Table 4 Analysis of species diversity of three sub-plots in plot 1

小样地号 Sub-plot No.	种数 No. of species	盖度 (%) Coverage	多样性 Diversity index	均匀度 Evenness	优势种 Dominant species
小样地 1 Sub-plot 1	8	100	0.2557	0.2952	狭叶香蒲 <i>T. angustifolia</i>
小样地 2 Sub-plot 2	14	88	0.7944	0.7351	白茅 <i>I. cylindrical</i>
小样地 3 Sub-plot 3	11	100%	0.8412	0.8752	芒 <i>M. sinensis</i>

2.3.3 由表 3 还可见到,3 个样地分别停用 20a、2a 和 0a,地域上相差不远,尾矿库的使用情况也很相似,这样也可基本反映为同一个尾矿库区内植物不同演替时间的总体植被情况。比较样地 2 和样地 3 的总体植被情况可见,在海南植物生长总体气候条件比较优越的前提下,尾矿库区内只要停止较强的人为干扰,就会快速繁衍植被。另外通过比较样地 2 和样地 1 发现,18a 的演替时间内物种多样性指数才由 0.7185 上升到 0.8567,说明虽然停止人为干扰的库区内能快速的繁衍先锋植被,但是物种的多样性却不会随演替时间的增长呈现直线性上升的趋势,

3 结论与讨论

3.1 结论

() 总的来说由于石碌铁矿尾矿库区内土壤贫瘠,环境较为恶劣,植物种类较为稀少。样地 1 中仅有植物 44 种,其中禾本科植物种类最多,其次为豆科植物和莎草科植物,表明这 3 个科的某些物种比其它科植物更容易适应这类环境,特别是禾本科的水竹、雀稗,豆科的田菁 样地 2 内有植物 21 种,硬骨草、斑茅和芒等禾本科植物有较强的适应性 样地 3 内物种稀少,只有水竹、芒和田菁能在此定居。只有样地 1 中发现蕨类植物 1 种,所有样地内没有发现裸子植物,说明蕨类植物和裸子植物是不适应这类环境的。

ℓ) 3 个不同年代样地内植物群落组成与结构差别明显。样地 3 单种优势明显,最优势种水竹的重要值达 244.85。样地 2 的主要群落类型为硬骨草 + 斑茅群落,最优势种硬骨草的重要值为 122.29。样地 1 存在 3 种不同的群落类型,分别为位于库区中部群落面积最大的白茅 + 雀稗群落,位于库区南端沼泽地内狭叶香蒲群落和位于库区边缘的雀稗 + 芒群落,样地内最优势种白茅的重要值仅为 58.04。这种差别标志着植物群落结构由样地 3 到样地 1 趋向更为复杂化。同时,3 个样地的植物物种多样性指数差距也较大。样地 1 的生物多样性指数为 0.8567,样地 2 和样地 3 生物多样性指数分别为 0.7185 和 0.1473。20a 的演替时间能很好的体现出尾矿库区的植被由较少物种的先锋种群向多物种稳定群落方向演替的趋势。

3.2 讨论

() 禾本科植物是适应性较广的植物,前人 [5,6] 调查的铜尾矿植被和我们的调查的铁尾矿植被都发现禾本科植物是主要的种类成分,例如,定居在石碌铁尾矿库区的禾本科植物有水竹、雀稗、硬骨草、白茅、芒等,定居在铜陵铜尾矿库区的禾本科植物有狗牙根、白茅、狗尾草、早熟禾等,说明了禾本科植物最能适应该类恶劣的土壤环境,但是在不同废弃时间和不同自然环境条件的尾矿库内特定物种的适应性是不同的,环境条件决定了定居其中的植物种类 (各样地不同禾本科植物种类见表 1)。

ℓ) 豆科植物对这类恶劣的环境也比较适应,例如,在调查的 3 个样地中,也都发现了豆科植物的分布,在演替初期库区内豆科植物只有田菁,随演替时间的延长,逐渐定居其他豆科物种如乳豆、含羞草、无刺含羞草、链荚豆、三叶豆,最后乔木大叶相思也出现在样地内。这与他人 [4] 调查铜尾矿内发现有一定的豆科植物:天蓝苜、三叶草、鸡眼草等是相似的。如同张志权 [5] 等人所解释,这与豆科植物共生的根瘤菌同化大气中的 N 元素供给豆科植物在 N 含量低的土壤基质中生长所需。其的凋落物又提供给其他物种生存所需要的 N 元素,使其成功繁衍。

ℓ) 样地 1 内小样地 1 中铁离子含量高、湿地积水的特殊环境给喜生于池沼或积水湿地,对金属抗性很

强的狭叶香蒲的定居繁衍提供了较好的生境条件。这与戴晶平^[6]对香蒲植物生理特性及其对矿山尾矿的环保作用的研究结果一致,这里再次验证了香蒲科植物对不同基质尾矿废弃地的广适性,只是具体的种属有所差别,可能是由于在不同地区的尾矿库区内自然条件差异决定的。

另外,样地 1 内存在 3 个不同群落类型说明同年代的尾矿库区内植物群落组成成分的不同与环境的关系较为密切。下一步将要开展铁尾矿库区土壤理化性质和这些具有一定抗性的植物生理特性的研究,以期分析环境条件与尾矿库区自然定居植被的生长发育之间的关系。

References :

[1] Liu D Y, Tian S N, Yang S Y. Effects of copper mine tailings on seed germination and seeding growth of five Legumes Species. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13 (6) :596—600.

[2] Kulbhushan Balooni. Economics of wastelands afforestation in India, a review. New Forests, 2003, 26 (1) :101—136.

[3] Bhatia N P, Adholeya A, Sharma A. Biomass production and changes in soil productivity during long term cultivation of *Prosopis juliflora* (Swartz) DC inoculated with VA mycorrhiza and *Rhizobium* spp. in a semi-arid wasteland. Biology and Fertility of Soils, 1998, 26 (3) :208—214.

[4] Kong X H. Toxicity of heavy metal ions to plants and their *Toxicological mechanism*. Journal of Longyan University, 2005, 23 (1) :83—87.

[5] Chu L, Wang Y B, Li D Y. Investigation on the vegetation condition of copper tail mining wasteland in Tongling (Wugongli). Journal of Biology, 2003, 1 (10) :15—19.

[6] Li Y, Wang Y B, Li D Y. Investigation on the vegetation of copper tailing wasteland in Shizuishan, Tongling, Anhui Province. Chiese Journal of Applied Ecology, 2003, 14 (1) :1981—1984.

[7] Bhoopander Giri, Rupam Kapoor K G, Mukerji. Effect of the arbuscular mycorrhizae *Glomus fasciculatum* and *G. macrocarpum* on the growth and nutrient content of *Cassia siamea* in a semi-arid Indian wasteland soil. New Forests, 2005, 29 (1) :63—73.

[8] Sahadeb De, Arup K Mitra. Reclamation of mining-generated wastelands at Alkusha-Gopalpur abandoned open cast project, Raniganj Coalfield, eastern India. Environmental Geology, 2002, 43 (2) :39—47.

[9] Yu Y J, Lin Q G, Shi Q, *et al.* Changes of Habitat and Vegetation in Man-made Vegetation Area of Shapotou Section Along Baotou-Lanzhou Railway. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (10) :433—439.

[10] Yang X, Gao L. A study on re-vegetation in mining wasteland of Dexing copper mine, China. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (1) :1932—1940.

[11] Zhang G F, Jiang X H. Analysis of vetiver for mine tail re-vegetation. Environment Pollution and Protection, 2004, 26 (6) :458—463.

[12] Wang B S, Yu S X, Peng S L, *et al.* Plant Sociology Experiment Handbook. Guangzhou :Guangdong Higher Education Press, 1996.

[13] Wang B S. Plant Sociology. Beijing :Higher Education Press, 1987. 14—106.

[14] Ma K P. Measurement of biodiversity. In :Qian Y Q ed. principle and methods of biodiversity studies. Beijing :Chinese Scientific &Technological Press, 1994. 141—165.

[15] Zhang Z Q, Shu W S, Liao W, *et al.* Role of Legume species in revegetation of mined wastelands. Chinese Journal of Ecology, 2002, 21 (1) :47—52.

[16] Dai J P, Hu Y H. Physiological characteristics of *Typha Latifolia* and its environmel effect on tailing disposal. Mining and Metallurgical Engineering, 2003, 23 (6) :32—34.

参考文献：

[1] 刘登义, 田胜尼, 杨世勇. 铜尾矿对 5 种豆科植物种子萌发和幼苗生长影响的初步研究. 应用生态学报, 2002, 13 (6) :596—600.

[4] 孔祥海. 重金属离子对植物的毒害及其机理. 龙岩学院学报, 2005, 23 (1) :83—87.

[5] 储玲, 王友保, 刘登义. 安徽铜陵五公里铜尾矿废弃地的植被调查. 生物学杂志, 2003, 1 (10) :15—19.

[6] 李影, 王友保, 刘登义. 安徽铜陵狮子山铜尾矿场植被调查. 应用生态学报, 2003, 14 (1) :1981—1984.

[9] 于云江, 林庆功, 石庆辉, 等. 包兰铁路沙坡头段人工植被区生境与植被变化研究. 生态学报, 2002, 22 (10) :433—439.

[10] 杨修, 高林. 德兴铜矿矿山废弃物地植被恢复与重建研究. 生态学报, 2001, 21 (1) :1932—1940.

[11] 张国发, 姜旭红. 利用香根草进行尾矿植被恢复初探. 环境污染与防治, 2004, 26 (6) :458—463.

[12] 王伯荪, 余世孝, 彭少麟, 等. 植物群落学实验手册. 广州 :广东高等教育出版社, 1996.

[13] 王伯荪. 植物群落学. 北京 :高等教育出版社, 1987. 14—106.

[14] 马克平. 生物多样性的测定. 见 :钱迎倩主编. 生物多样性研究的原理与方法. 北京 :中国科学技术出版社, 1994. 141—165.

[15] 张志权, 束文圣, 廖文波, 等. 豆科植物与矿业废弃物地植被恢复. 生态学杂志, 2002, 21 (1) :47—52.

[16] 戴晶平, 胡岳华. 香蒲植物生理特性及其对矿山尾矿的环保作用. 矿冶工程, 2003, 23 (6) :32—34.