

澳门大潭山垃圾填埋场植物群落景观恢复的现状与评价

王琳^{1,2}, 易绮斐¹, 宋贤利¹, 郭菲力³, 陆镇桦⁴, 邢福武^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 仲恺农业工程学院, 广州 510225; 3. 澳门民政总署, 澳门 999078; 4. 澳门地球物理暨气象局, 澳门 999078)

摘要: 为了解澳门大潭山垃圾填埋场的景观恢复情况, 采用样方法调查分析了群落的种类组成、垂直结构、区系成分、群落外貌等特征, 并对景观恢复进行了评价。结果表明, 在 1200 m² 样地中共有维管植物 83 种, 区系成分以泛热带分布属占优势 (38.98%), 群落外貌主要由草质、单叶和小型叶的小、中高位芽植物所决定。植物群落现状的各指标与自然群落相似, 说明自然恢复良好。同时, 提出了垃圾填埋场景观恢复的优选物种和改造建议。建议对垃圾填埋场的景观恢复应分期进行, 在不同的演替阶段进行适当的人工干预, 以加速景观恢复并获得更好的景观效果。

关键词: 垃圾填埋场; 植物群落; 景观恢复; 澳门

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2014.06.003

Current Situation and Evaluation of Landscape Restoration of Landfill in Big Taipa Hill, Macau

WANG Lin^{1,2}, YI Qi-fei¹, SONG Xian-li¹, GUO Fei-li³, LU Zhen-hua⁴, XING Fu-wu^{1*}

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 3. Macau Civil Administration Office, Macau 999078, China; 4. Macau Meteorological and Geophysical Bureau, Macau 999078, China)

Abstract: In order to understand the landscape restoration of landfill in Big Taipa Hill, Macau, the species composition, vertical structure, floristic components, and community appearance were investigated by using sampling method. The results showed that there were 83 vascular plants in 12 plots of 1200 m². The floristic composition of the community was dominated by Pantropical genera, account for 38.98%. The community appearance was determined by the micro- and meso-phanerophyte with herbaceous, simple and micro-monophylls. The indexes of the landfill community were similar to that of nature plant community, indicated that the restoration of landfill was good. Based on the current situation of landfill, some preferred species for landscape restoration were selected, and suggestions were given for improving landscape. It was recommended that the landscape restoration should be carried out in stages. To get faster and better landscape restoration, proper manual intervention should be taken at different stages of community succession.

Key words: Landfill; Plant community; Landscape restoration; Macau

收稿日期: 2014-01-08 接受日期: 2014-04-08

基金项目: 澳门植物监测研究项目资助

作者简介: 王琳, 女, 研究生, 研究方向为园林植物学。E-mail: wanglin@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xinfw@scbg.ac.cn

垃圾作为城市化的必然产物,也随着城市化的进程不断增加。由于土地资源的有限性,对城市垃圾填埋场进行绿化修复,使封场后的垃圾填埋场恢复到当地的生态水平,这通常是城市垃圾填埋场高效合理利用土地花费最小的方案^[1]。澳门开埠较早,地域面积小,每公顷的人口密度达 1.84 万人^[2],人均绿地占有率小。如何在有限的土地面积上,增加城市绿地率是澳门政府关注的问题,也是澳门民众追求良好人居环境的迫切需要。

本研究对澳门大潭山垃圾填埋场的植被现状进行调查,分析了植物群落的种类组成、垂直结构、区系成分、外貌等特征,同时对景观恢复现状进行了评价,旨在为澳门及周边地区垃圾填埋场景观恢复选择适宜的树种和人工改造提供科学参考。

1 自然概况

澳门特别行政区地处中国东南部沿海,珠江三角洲出口,地理位置优越^[3]。澳门包括澳门半岛、氹仔岛和路环岛,三面临海、半岛地形是澳门地形的主要特征^[4]。澳门地域狭小,由于多年的填海造陆,截止 2011 年统计,面积已达 29.9 km²,其中氹仔岛为 7.4 km²^[2]。澳门属亚热带气候,从 1981 年到 2010 年的 30 年内,年平均气温为 21.9℃^[2],春、夏季潮湿多雨,秋、冬季相对湿度较低,且雨量较少。台风季节为 5-10 月,以 7-9 月最为频繁。

澳门地域狭小,对废弃地的二次开发利用是澳门营造景观的重要手段。大潭山位于氹仔岛东部,海拔 158.2 m,是氹仔岛的最高点^[2]。垃圾填埋场位于大潭山东北山坡,堆填成分主要为建筑和生活垃圾,1988 年因堆填达到饱和而停止运作。由于澳门土地资源的有限性,澳门政府决定对垃圾填埋场进行改造,景观恢复的最终目标是符合安全性与景观性的公共休闲绿地。经工程改造和人工绿化后,于 2001 年正式开放予大众使用,目前为澳门主要郊野公园之一。

2 研究方法

2.1 调查方法

于 2012 年 10 月对大潭山垃圾填埋场植物群落进行全面的考察和记录,在环山径两侧确定标准样地,设置了 12 个 10 m×10 m 的样方,其中 2 个

样方分布在垃圾填埋场外围,其余样方分布在中间。样方内的乔木采用“每木记账法”,对胸径≥2 cm、高度≥1.5 m 的立木进行调查,记录每株植物的高度、胸径、冠幅、枝下高等;在每个样方内随机选择 2 个 5 m×5 m 的小样方,共计 24 个,记录小样方内所有灌木、草本、藤本植物以及繁殖层^[5]小苗的种类、株数、多度和盖度等。同时观察记录植物的生长状况及景观恢复情况。

2.2 数据分析

分别计算样方中植物的相对多度、相对频度、相对盖度、相对显著度和重要值^[5-9]。其中,乔木重要值(IV)=相对多度(RA)+相对频度(RF)+相对显著度(RD);灌木草本重要值(IV)=相对多度(RA)+相对频度(RF)+相对盖度(RC)。

采用 α -多样性指数^[10-12]计算物种多样性。Magarlef 丰富度指数: $E=(S-1)/\ln N$; Simpson 指数: $D=1/\sum P_i^2$; Shannon 指数: $H'=-\sum P_i \ln P_i$; Pielou 均匀度指数: $J_{sw}=(\sum P_i \ln P_i)/\ln S$ 。式中, S 为样方中植物种类的总和; N 为样方中所有物种的个体数之和; P_i 为种 i 的个体数占有物种个体数的比率。

3 结果和分析

对澳门大潭山垃圾填埋场植物群落进行调查统计,结果表明,该区共有维管植物 83 种,隶属于 41 科 72 属。其中,蕨类植物有 7 科 7 属 9 种,裸子植物有 1 科 1 属 1 种。被子植物有 33 科 64 属 73 种,约占总种数的 87.95%。大戟科(Euphorbiaceae)和茜草科(Rubiaceae)的种类较多,分别有 7 属 8 种和 8 属 9 种,占总种数的 20.48%,仅含有 1 种的科有 22 科,占总科数的 53.66%。

3.1 群落结构

重要值^[13]是用来表示某个物种在群落中的地位和作用的综合数量指标。澳门大潭山垃圾填埋场植物群落乔木层共有 18 种植物(表 1),胸径≥2 cm、高度≥2 m 的乔木有 163 株,平均高度 5.4 m,其中高于 6 m 的乔木共有 74 株,分布较稀疏。灌木层植物共有 28 种(表 2),其中有 7 种乔木层植物的幼苗,高度在 1.5~5 m,盖度为 50%~65%,多数是耐旱常绿植物。草本层植物共有 15 种(表 3),盖度约为 75%,以蕨类植物为主,以芒萁(*Dicranopteris*

表 1 乔木层物种的重要值

Table 1 Importance value of species in tree layer

植物 Species	数量 Number	H (m)	RA (%)	RF (%)	RD (%)	IV (%)
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	31	4.45	19.02	8.74	12.58	40.34
豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	21	4.33	12.88	14.56	7.97	35.41
木荷 <i>Schima superba</i>	13	9.43	7.98	10.68	13.47	32.13
鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	13	4.79	7.98	11.65	12.37	32.00
亮叶猴耳环 <i>Pithecellobium lucidum</i>	25	3.31	15.34	4.85	2.87	23.06
白楸 <i>Mallotus paniculatus</i>	8	7.38	4.91	6.80	8.78	20.48
潺槁树 <i>Litsea glutinosa</i>	8	8.58	4.91	7.77	5.50	18.17
山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i>	6	9.75	3.68	4.85	8.78	17.31
九节 <i>Psychotria asiatica</i>	10	2.28	6.13	6.80	0.16	13.09
银柴 <i>Aporosa dioica</i>	2	2.00	1.23	0.97	9.79	11.99
台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	4	11.00	2.45	3.88	4.57	10.91
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	6	6.83	3.68	4.85	1.22	9.76
乌柏 <i>Triadica sebifera</i>	1	16.00	0.61	0.97	7.82	9.41
天料木 <i>Homalium cochinchinense</i>	5	6.92	3.07	2.91	3.36	9.34
革叶铁榄 <i>Sinosideroxylon wightianum</i>	5	2.54	3.07	4.85	0.14	8.06
变叶榕 <i>Ficus variolosa</i>	3	2.93	1.84	2.91	0.23	4.98
假玉桂 <i>Celtis timorensis</i>	1	9.50	0.61	0.97	0.29	1.87
筋欏花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	1	4.80	0.61	0.97	0.10	1.69

H: 平均株高; RA: 相对多度; RF: 相对频度; RD: 相对显著度; IV: 重要值。下表同。

H: Mean height; RA: Relative abundance; RF: Relative frequency; RD: Relative dominance; IV: Importance value. The same is following Tables.

表 2 灌木层物种的重要值

Table 2 Importance value of species in shrub layer

植物 Species	数量 Number	H (m)	RA (%)	RF (%)	RC (%)	IV (%)
梅叶冬青 <i>Ilex asprella</i>	69	0.66	20.97	15.44	51.87	88.29
假鹰爪 <i>Desmos chinensis</i>	58	0.30	17.63	11.76	3.28	32.68
九节 <i>Psychotria asiatica</i>	48	0.90	14.59	7.35	7.33	29.27
梔子 <i>Gardenia jasminoides</i>	5	1.78	1.52	2.94	14.87	19.33
石斑木 <i>Rhaphiolepis indica</i>	18	0.72	5.47	7.35	4.31	17.14
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	11	1.80	3.34	5.15	4.69	13.18
黑面神 <i>Breynia fruticosa</i>	12	0.21	3.65	6.62	1.76	12.03
越南叶下珠 <i>Phyllanthus cochinchinensis</i>	25	0.35	7.60	2.94	0.84	11.38
酒饼筋 <i>Atalantia buxifolia</i>	14	0.20	4.26	5.15	1.73	11.13
中华卫矛 <i>Euonymus nitidus</i>	8	0.18	2.43	5.15	0.18	7.76
豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	5	1.36	1.52	2.21	3.94	7.66
朱砂根 <i>Ardisia crenata</i>	12	0.20	3.65	2.94	0.20	6.79
鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	9	1.08	2.74	2.21	0.83	5.77
变叶榕 <i>Ficus variolosa</i>	5	0.25	1.52	3.68	0.13	5.33
亮叶猴耳环 <i>Pithecellobium lucidum</i>	5	1.24	1.52	2.94	0.81	5.27
细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i>	3	0.73	0.91	2.21	0.56	3.68
柳叶石斑木 <i>Rhaphiolepis salicifolia</i>	4	0.21	1.22	2.21	0.05	3.47

续表(Continued)

植物 Species	数量 Number	H (m)	RA (%)	RF (%)	RC (%)	IV (%)
羊角拗 <i>Strophanthus divaricatus</i>	3	0.27	0.91	2.21	0.07	3.19
桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	1	2.10	0.30	0.74	1.85	2.89
破布叶 <i>Microcos paniculata</i>	3	0.27	0.91	1.47	0.23	2.61
浓子茉莉 <i>Fagerlindia scandens</i>	2	0.50	0.61	1.47	0.10	2.18
潺槁树 <i>Litsea glutinosa</i>	2	1.20	0.61	1.47	0.03	2.11
猪肚木 <i>Canthium horridum</i>	2	0.40	0.61	0.74	0.10	1.44
毛果算盘子 <i>Glochidion eriocarpum</i>	1	0.60	0.30	0.74	0.11	1.15
白桐树 <i>Claoxylon indicum</i>	1	0.06	0.30	0.74	0.05	1.09
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	1	0.40	0.30	0.74	0.03	1.07
多花野牡丹 <i>Melastoma affine</i>	1	0.35	0.30	0.74	0.02	1.06
对叶榕 <i>Ficus hispida</i>	1	0.20	0.30	0.74	0.02	1.06

RC: 相对盖度。

RC: Relative coverage.

表 3 草本层物种的重要值

Table 3 Importance value of species in herb layer

植物 Species	株数 Number	RA (%)	RF (%)	RC (%)	IV (%)
芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i>	544	62.89	15.91	80.10	158.90
山麦冬 <i>Liriope spicata</i>	77	8.90	19.32	4.15	32.37
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	105	12.14	12.50	4.25	28.89
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	42	4.86	13.64	2.27	20.76
海芋 <i>Alocasia odora</i>	16	1.85	7.95	1.21	11.02
毛果珍珠茅 <i>Scleria levis</i>	14	1.62	5.68	0.76	8.06
乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	4	0.46	3.41	3.56	7.43
异叶鳞始蕨 <i>Lindsaea heterophyllum</i>	10	1.16	5.68	0.54	7.38
弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>	25	2.89	2.27	0.67	5.84
团叶鳞始蕨 <i>Lindsaea orbiculata</i>	4	0.46	4.55	0.22	5.22
二花珍珠茅 <i>Scleria biflora</i>	6	0.69	3.41	0.32	4.43
剑叶鳞始蕨 <i>Lindsaea ensifolia</i>	12	1.39	2.27	0.65	4.31
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	3	0.35	1.14	0.65	2.13
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	1	0.12	1.14	0.54	1.79
半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>	2	0.23	1.14	0.11	1.48

pedata)的重要值最大,在群落下层成片分布,形成单优层片;淡竹叶(*Lophatherum gracile*)成群丛分布,其他种类呈零星分布。藤本植物共有 23 种,以木质藤本为主,主要有亮叶崖豆藤(*Millettia nitida*)、玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)、蔓九节(*Psychotria serpens*)、土茯苓(*Smilax glabra*)、酸藤子(*Embelia laeta*)等,草质藤本仅有粪箕笃(*Stephania longa*)。繁殖层有阴香(*Cinnamomum burmanni*)、蒲

桃(*Syzygium jambos*)、朴树(*Celtis sinensis*)、罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)、山牡荆(*Vitex quinata*)、楝叶吴茱萸(*Tetradium glabrifolium*)等,这些物种的小苗均≤5 株,为新近定居到该群落中的物种。目前垃圾填埋场植物群落已经形成乔木、灌木、草本与藤本植物相结合的群落类型,垂直结构完整,各层次的优势种明显,并且繁殖层中幼苗已定居,为群落向更高的演替阶段演替提供可能性。

表 4 群落的物种多样性

Table 4 Species diversity of communities

	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>J_{sw}</i>
乔木层 Tree layer	3.3374	0.8865	2.5068	0.8673
灌木层 Shrub layer	4.6583	0.8966	2.5829	0.7751
草本层 Herb layer	2.0702	0.5776	1.3894	0.5131
藤本层 Liana layer	3.5683	0.8867	2.5344	0.8083
大潭山群落 Big Taipa Hill community	10.9134	0.8949	3.2100	0.7264
松山群落 Guia Hill community	11.6168	0.8886	2.8627	0.6410

E: 丰富度指数; *D*: Simpson 指数; *H'*: Shannon 指数; *J_{sw}*: 均匀度指数。

E: Margalef index; *D*: Simpson index; *H'*: Shannon index; *J_{sw}*: Pielou index.

3.2 物种多样性分析

从物种丰富度(表 4)来看,灌木层的物种数量最多,这是由于灌木层不仅具有灌木种类,也包括部分乔木层种类的幼苗。从 Simpson 和 Shannon 指数(表 4)来看,也是灌木层最高,乔木层次之,草本层最低,这是因为乔木层物种分布比较均匀,而草本层物种的个体数量不均匀。从均匀度指数来看,也表现为乔木层分布最均匀,草本层最不均匀,主要是草本层中芒萁个体占绝对优势,其他种类的个体数较少。这与鼎湖山亚热带森林的物种多样性^[14]一致。另外,该群落与澳门松山自然群落相比,在物种丰富度上虽然稍低,但物种多样性指数与均匀度指数均高于松山群落^[15],总体来说各个指标相差不大,说明该群落的自然恢复良好,是由人工群落向自然群落发展比较理想的群落。

3.3 区系成分

调查样地中栽培的树种有罗汉松、枫香(*Liquidambar formosana*)、油茶(*Camellia oleifera*)、台湾相思(*Acacia confusa*)和蒲桃等 5 种,栽培种与自然定居植物之比为 1:15.6。根据李锡文^[16]的观点,对样地中的 69 种野生种子植物进行区系成分分析。在科级水平上,种子植物 32 科中世界分布科有 4 科,占总科数的 12.50%,包括蔷薇科(Rosaceae)、禾本科(Gramineae)、莎草科(Cyperaceae)和百合科(Liliaceae);泛热带分布科有 24 科,占总科数的 75.00%,其中大戟科、茜草科、山茶科(Theaceae)、芸香科(Rutaceae)、桑科(Moraceae)等为优势科;热带亚洲,大洋洲(至新西兰)和中、南美(或墨西哥)间断分布的有椴树科(Tiliaceae)、桃金

娘科(Myrtaceae)和紫金牛科(Myrsinaceae);旧世界热带分布只有番荔枝科(Annonaceae)。

按吴征镒等^[17]对中国种子植物属的分布区类型的划分方法,该区种子植物属可以划分为 11 个分布区类型(表 5)。该区野生种子植物有 60 属,以泛热带分布属最多,如苹婆属(*Sterculia*)、乌柏属(*Triadica*)、叶下珠属(*Phyllanthus*)、九节属(*Psychotria*)等;其次为热带亚洲至热带大洋洲分布属,包括假鹰爪属(*Desmos*)、桃金娘属(*Rhodomyrtus*)、黑面神属(*Breynia*)、银柴属(*Aporosa*)等;旧世界热带分布有 7 属,包括弓果藤属(*Toxocarpus*)、娃儿藤属(*Tylophora*)、弓果黍属(*Cyrtococcum*)等;东亚(中国-日本)分布属有石斑木属(*Rhaphiolepis*)、四数花属(*Tetradium*)、芒属(*Miscanthus*)和山麦冬属(*Liriope*)。热带亚洲和热带美洲间断分布属有木姜子属(*Litsea*)、木防己属(*Cocculus*)和柃木属(*Eurya*);热带亚洲至热带非洲分布属有羊角拗属(*Strophanthus*)、玉叶金花属(*Mussaenda*);热带亚洲(印度-马来西亚)分布属有破布叶属(*Microcos*)、鸡矢藤属(*Paederia*)、浓子茉莉属(*Fagerlindia*);匙羹藤属(*Gymnema*)为热带亚洲、非洲(或东非、马达加斯加)和大洋洲间断分布;木荷属(*Schima*)为爪哇(或苏门答腊)、喜马拉雅间断或星散分布到华南、西南;铁榄属(*Sinosideroxylon*)为越南或中南半岛至华南(或西南)分布。世界广布属仅有卫矛属(*Euonymus*)。可见,该植物群落与世界热带植物区系,特别是泛热带植物区系和热带亚洲区系有密切关系,而与温带和东亚植物区系联系不密切。

表 5 垃圾填埋场植物群落中种子植物属的区系成分类型

Table 5 Areal-types of genera of seed plants in landfill plant community

分布区类型 Areal-type	属数 Number of genera	%
1. 世界分布 Cosmopolitan	1	—
2. 泛热带分布 Pantropic	23	38.98
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布 Trop. Asia & Trop. Amer. disjunct	3	5.08
4. 旧世界热带 Old World Tropics	7	11.86
4.1 热带亚洲、非洲(或东非、马达加斯加)和大洋洲间断分布 Trop. Asia., Africa (or E. Afr., Madagascar) & Australasia disjunct	1	1.69
5. 热带亚洲至热带大洋洲 Trop. Asia & Trop. Australasia	13	22.03
6. 热带亚洲至热带非洲 Trop. Asia to Trop. Africa	3	5.08
7. 热带亚洲(印度-马来西亚) Trop. Asia (Indo-Malesia)	3	5.08
7.1 爪哇(或苏门答腊)、喜马拉雅间断或星散分布到华南、西南 Java (or Sumatra), Himalaya to S., SW. China disjunct or diffused	1	1.69
7.4 越南或中南半岛至华南(或西南)分布 Vietnam (or Indo-Chinese Peninsula) to S. China (or SW. China)	1	1.69
14. 东亚和北美洲间断分布 East Asia & N. Amer. disjunct	4	6.78

—: 不包括世界分布类型

—: Cosmopolitan excluded

3.4 群落外貌

目前植物生活型运用得最为普遍的是 Raunkiaer 的系统^[18], 然而仅以休眠芽的位置进行植物生活型的划分难以全面反映植物对外界综合环境的适应方式或能力, 因为植物在生长季节中的状态被忽略了^[19]。因此本文采用高贤明等^[19]修订过的生活型分类系统, 既能够较好地反映植物与环境关

系又方便运用。结果表明(表 6), 该群落中高位芽植物占绝对优势, 共有 58 种, 占总种数的 69.88%, 其中常绿阔叶小型地上芽植物最多, 包括有假鹰爪(*Desmos chinensis*)、黑面神(*Breynia fruticosa*)、越南叶下珠(*Phyllanthus cochinchinensis*)等; 常绿阔叶中高位芽植物有阴香、潺槁树(*Litsea glutinosa*)、豺皮樟(*L. rotundifolia* var. *oblongifolia*)等。根茎地

表 6 垃圾填埋场群落植物的生活型谱

Table 6 Life form spectrum of the landfill plant community

生活型 Life form	种数 Number	%
常绿阔叶矮高位芽植物 Evergreen broad-leaved nanophanerophyte	5	6.02
常绿阔叶小高位芽植物 Evergreen broad-leaved microphanerophyte	25	30.12
落叶阔叶小高位芽植物 Deciduous broad-leaved microphanerophyte	1	1.20
落叶阔叶中高位芽植物 Evergreen broad-leaved mesophanerophyte	19	22.89
常绿针叶中高位芽植物 Evergreen needle mesophanerophyte	1	1.20
落叶阔叶中高位芽植物 Deciduous broad-leaved mesophanerophyte	6	7.23
落叶阔叶大高位芽植物 Deciduous broad-leaved macrophanerophyte	1	1.20
簇生地面芽植物 Caespitose hemicryptophyte	3	3.61
茎叶地面芽植物 Cormophytic hemicryptophyte	4	4.82
根茎地下芽植物 Rhizome geocryptophyte	8	9.64
一年生草本植物 Therophyte	1	1.20
木质藤本植物 Ligneous liana	8	9.64
草质藤本植物 Herbaceous liana	1	1.20

下芽植物有乌毛蕨(*Blechnum orientale*)、华南毛蕨(*Cyclosorus parasiticus*)等。大高位芽植物仅有枫香。落叶阔叶中高位芽植物有天料木(*Homalium cochinchinense*)、山乌柏(*Triadica cochinchinensis*)、乌柏(*Triadica sebifera*)等。一年生植物稀少,仅有弓果黍(*Cyrtococcum patens*) 1种。可见,该群落以常绿中高位芽植物与常绿小型地上芽植物占优势,常绿阔叶矮高位芽植物与藤本植物也占一定比例,但缺乏常绿阔叶大高位芽植物。群落一年四季林相略有变化,假苹婆(*Sterculia lanceolata*)的重要值及相对多度较大,春季叶片有集中变色和落叶期,使群落呈现较大的黄色斑块。山乌柏和乌柏的春、秋色叶颜色不同,使群落外貌出现黄色、红色斑块。

叶的性质是构成群落外貌的重要方面,它既可以反映群落的生态,也反应其历史^[15]。结果表明(表7),小型叶和中型叶植物远多于大型叶和微型叶植物。在叶型上,单叶植物远多于复叶植物。在叶质上,以草质叶和革质叶为主,而膜质叶和厚革质叶较少,这与常绿阔叶林的叶型和叶质比较一致。在叶缘方面,以全缘叶为主,这与常绿阔叶林有差异,但与王发国等^[20]报道的澳门路环岛灌丛群落相一致,这可能是由于生境的异质性以及种群的差异性造成的。

3.5 景观恢复评价

澳门民政总署园林绿化部反馈的历史资料

显示,1991年在大潭山种植了23种植物,共计77408株;2003年在大潭山东北部种植了阴香、破布叶(*Microcos paniculata*)、白楸(*Mallotus paniculatus*)、鸭脚木(*Schefflera heptaphylla*)、山牡荆等15种乔木。在本次的调查样地内有台湾相思、枫香、山乌柏、木荷(*Schima superba*)、假苹婆和白楸6种人工种植树种。调查样地位于大潭山东北山坡基部,临近大潭山最高点,坡度较大,因此推测可能有一些物种的种子或其他繁殖体在重力、风力或雨水的作用下到达山坡基部,然后定居生长。经过人工造林及多年的自然恢复,目前该区植物群落种类达到83种,这些物种能够较好地适应修复后的垃圾填埋场生境,已经形成了乔灌木及藤本相结合的群落类型。根据物种重要值、生态习性及其景观特性^[21],提出了垃圾填埋场景观恢复的优选物种名录(表8)。从物种多样性水平来看,该植物群落与鼎湖山南亚热带森林及澳门松山自然群落较为接近;从区系成分来看,该群落以泛热带分布属占优势,与南亚热带常绿阔叶林成分非常相似;从群落外貌来看,植物的生活型和叶的性质与常绿阔叶林基本一致,这表明大潭山垃圾填埋场植物群落是人工向自然转化较为理想的植物群落。

然而,该群落景观恢复效果还有一些需要优化的地方。调查样地位于大潭山郊野公园内环山径两侧,是观光游客和健身人群的必经之路,群落显示出的景观效果对目标使用人群会产生直接的影

表7 垃圾填埋场植物群落叶片的性质

Table 7 Leaf characteristics of landfill plant community

叶的性质 Leaf characteristics		大潭山群落 Big Taipa Hill community		常绿阔叶林群落 Evergreen broad-leaved forest	
		种数 Number	%		%
叶级 Leaf size	大型叶 Macrophyll	3	3.60		8.80
	中型叶 Mesophyll	38	45.80		42.80
	小型叶 Microphyll	39	47.00		46.90
	微型叶 Nanophyll	3	3.60		1.50
叶型 Leaf shape	单叶 Simple	70	84.30		78.60
	复叶 Compound	13	15.70		21.40
叶质 Leaf texture	膜质 Membranous	5	6.00		—
	草质 Herbaceous	37	44.60		56.90
	革质 Leathery	39	47.00		30.50
	厚革质 Thick leathery	2	2.40		12.60
叶缘 Leaf margin	全缘 Entire margin	51	61.40		45.00
	非全缘 Unentire margin	32	38.60		55.00

表 8 澳门地区垃圾填埋场景观恢复的适宜物种

Table 8 Species suitable for landfill landscape restoration in Macau

植物 Species	类型 Form	特性 Character
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	乔木 Tree	抗风力强 Wind-resisting
木荷 <i>Schima superba</i>	乔木 Tree	耐火,先锋树种 Fire-resisting, pioneer species
亮叶猴耳环 <i>Pithecellobium lucidum</i>	乔木 Tree	耐荫蔽,适应性强 Resistant shade, strong adaptability
潺槁树 <i>Litsea glutinosa</i>	乔木 Tree	抗旱耐瘠,适应性强 Resistant drought and infertile, strong adaptability
山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i>	乔木 Tree	抗旱耐瘠,秋色叶 Resistant drought and infertile, autumn-color leaf
台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	乔木 Tree	耐瘠薄,抗风力强 Resistant infertile and wind
天料木 <i>Homalium cochinchinense</i>	乔木 Tree	耐旱,适应性强,秋色叶 Drought-resistant, strong adaptability, autumn-color leaf
九节 <i>Psychotria asiatica</i>	灌木或小乔木 Shrub or small tree	耐荫蔽,耐寒 Resistant shade and cold
石斑木 <i>Raphiolepis indica</i>	灌木 Shrub	耐阴、耐盐、抗风 Resistant shade, salt and wind
假鹰爪 <i>Desmos chinensis</i>	灌木 Shrub	耐瘠薄,耐阴 Resistant infertile and shade
亮叶崖豆藤 <i>Millettia nitida</i>	攀援灌木 Climbing shrub	耐瘠薄 Resistant infertile
芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i>	蕨类 Fern	先锋物种 Pioneer species

响。群落外貌虽略有季相变化,而对游人产生直接感官感受的观赏价值高的灌木层植物较少,草本层中芒萁借助其孢子的易传播性和根茎扩展定居的双重繁殖方式,在该群落中形成密集郁闭的单优势种斑块的分布格局,抑制了乔木层和灌木层植物幼苗的生长发育,这在一定程度上限制了其他树种的定居与更新过程;层间植物由于缺乏良好的攀援条件,大部分均在地面攀爬生长。自然教育径路面为夯实土路,游客经过时会带起部分尘土,且道路两侧缺乏枝叶细密、滞尘能力强的树种。

4 结论和讨论

澳门大潭山垃圾填埋场植物群落为经人工绿化后的自然恢复群落,目前植物种类已增至 83 种,物种多样性、区系成分、群落外貌等均与邻近的南亚热带森林和松山自然群落相似,是人工向自然转化较为理想的植物群落。景观恢复初期人工种植的 5 种植物长势良好,且从周边自然入侵定植的豺皮樟、九节等也已成为群落的优势种。这一方面可能是因为前期对垃圾填埋场的场地防渗、安装倒排系统等工程做得比较到位,减少了渗滤液和填埋气等有害物质对环境的污染,生态环境适合植物生长;另一方面是因为地势和小环境影响,周边的植物可以在此定居,并且生长良好。

人工干预下的植被恢复既是加速废弃垃圾场

达到理想景观的有效手法之一,又是植物景观的构成基础,在景观恢复中起着至关重要的作用^[22]。因此建议对该群落进行适当的改造:(1) 对芒萁单优层片进行适当的人工干预,为其他植物的的定居创造条件,促进群落发展成为由当地物种组成的完整生态系统;(2) 在林分改造上,应着重增加适应性强、观赏价值高的灌木树种数量,随着灌木层的郁闭度增大,使下层的草本种类也发生变化,丰富游客的感官感受,从而使群落向自然林方向演变,加速景观恢复。

大潭山垃圾填埋场植物群落景观恢复现状对临近地区垃圾填埋场废弃地改造具有一定的借鉴和启示意义。垃圾填埋场景观恢复最好是分期进行^[1]:(1) 初期以自然恢复的野生先锋草本植物为主体开始缓慢的次生演替。同时为了改善和美化景观质量,需要投入一定的人工绿化,选择适合当地气候特征的乔木树种,营造良好的林下环境,利于灌木树种的定居,以加速并优化生态恢复的进程。(2) 中期可以逐渐引入生态效益及观赏性高的植物类群,使恢复后的群落向理想的景观效果发展。(3) 由于景观的异质性有利于生物多样性和提高景观生态元的稳定性^[23],因此后期可以对先锋植物形成的同质性单优层片进行适当的人工干预,增加景观的异质性,缩短演替时间,提高群落的生物多样性和稳定性,从而获得更好的景观效果。

参考文献

- [1] Liu Y H, Wei T X, Sun Y. Review on municipal refuse landfills virescence [J]. Res Soil Water Conserv, 2007, 14(2): 108–111.
刘艳辉, 魏天兴, 孙毅. 城市垃圾填埋场植被恢复研究进展 [J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 108–111.
- [2] Government of Macau Special Administrative Region Statistics and Census Service. Macao Yearbook 2012 [M]. Macao: Government of Macau Special Administrative Region Statistics and Census Service, 2012: 35–38.
澳门特别行政区政府统计暨普查局. 澳门年鉴2012 [M]. 澳门: 澳门特别行政区政府统计暨普查局, 2012: 35–38.
- [3] Liu N W, He G C. Geografia Natural de Macau [M]. Guangdong: Guangdong Map Publishing House, 1992: 169–203.
刘南威, 何广才. 澳门自然地理 [M]. 广东: 广东省地图出版社, 1992: 169–203.
- [4] Zhen J W. Environment and sustainable development in Macau [J]. Trop Geogr, 2002, 22(2): 135–137.
甄宏伟. 澳门环境与可持续发展 [J]. 热带地理, 2002, 22(2): 135–137.
- [5] Wang B S, Yu S X, Peng S L. Laboratory Manual of Phytocoenology [M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1996: 8–30.
王伯荪, 余世孝, 彭少麟. 植物群落学实验手册 [M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1996: 8–30.
- [6] Fang J Y, Wang X P, Shen Z H, et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. Biodiv Sci, 2009, 17(6): 533–548.
方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范 [J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533–548.
- [7] Lin P. Phytocoenology [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1986: 45–67.
林鹏. 植物群落学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986: 45–67.
- [8] Qiao Q, Xing F W, Chen H F, et al. Characteristics of community and in situ conservation strategy of *Bretschneidera sinensis* in Nankun Mountain, Guangdong Province [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin, 2010, 30(2): 377–384.
乔琦, 邢福武, 陈红锋, 等. 广东省南昆山伯乐树群落特征及其保护策略 [J]. 西北植物学报, 2010, 30(2): 377–384.
- [9] Wang B S. Phytopopulology [M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1995: 8–20.
王伯荪. 植物种群学 [M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1995: 8–20.
- [10] Simpson E H. Measurement of diversity [J]. Nature, 1949, 163(4148): 688.
- [11] Magurran A E. Ecological Diversity and Its Measurement [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988: 1–179.
- [12] Qian Y Q, Ma K P. Principles and Methods of Biodiversity Research [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 141–165.
钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141–165.
- [13] Sun R Y, Li B Z, Ge Y, et al. General Ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 1993: 1–242.
孙儒泳, 李博诸, 葛阳, 等. 普通生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 1–242.
- [14] Huang Z L, Kong G H, He D Q. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve [J]. Acta Ecol Sin, 2000, 20(2): 193–198.
黄忠良, 孔国辉, 何道泉. 鼎湖山植物群落多样性的研究 [J]. 生态学报, 2000, 20(2): 193–198.
- [15] Song X L, Xing F W, Yi Q F, et al. Characteristics and species diversity of *Cinnamomum burmannii* community on Song Mountain, Macao [J]. J Fujian For Sci Techn, 2013, 40(3): 1–7.
宋贤利, 邢福武, 易绮斐, 等. 澳门松山阴香群落特征及物种多样性研究 [J]. 福建林业科技, 2013, 40(3): 1–7.
- [16] Li X W. Floristic Statistics and analyses of seed plants from China [J]. Acta Bot Yunnan, 1996, 18(4): 363–384.
李锡文. 中国种子植物区系统分析 [J]. 云南植物研究, 1996, 18(4): 363–384.
- [17] Wu Z Y. The areal-types of Chinese genera of seed plants [J]. Acta Bot Yunnan, 1991(Supp. IV): 1–139.
吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型 [J]. 云南植物研究, 1991(增刊IV): 1–139.
- [18] Raunkiaer C. The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography [M]. Oxford: Clarendon Press, 1934: 1–632.
- [19] Gao X M, Chen L Z. The revision of plant life-form system and an analysis of the life-form spectrum of forest plants in the warm temperate zone of China [J]. Acta Bot Sin, 1998, 40(6): 553–559.
高贤明, 陈灵芝. 植物生活型分类系统的修订及中国暖温带森林植物生活型谱分析 [J]. 植物学报, 1998, 40(6): 553–559.
- [20] Wang F G, Xing F W, Ye H G, et al. Studies on the characteristics of shrub communities in Coloane, Macau [J]. Bull Bot Res, 2005, 25(2): 236–241.
王发国, 邢福武, 叶华谷, 等. 澳门路环岛灌丛群落的特征 [J]. 植物研究, 2005, 25(2): 236–241.
- [21] Xing F W, Zeng Q W, Chen H F, et al. Landscape Plants of China [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2009: 1–1765.
邢福武, 曾庆文, 陈红锋, 等. 中国景观植物 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2009: 1–1765.
- [22] Yu S J, Ding S G. Lifescape: From landfills to fresh kills landscape [J]. Landscape Archit, 2006(6): 26–31.
虞蔚君, 丁绍刚. 生命景观——从垃圾填埋场到清泉公园 [J]. 风景园林, 2006(6): 26–31.
- [23] Deng Y. The ecological design of urban landscape [J]. Urban Probl, 2002(6): 17–20.
邓毅. 城市景观的生态化设计 [J]. 城市问题, 2002(6): 17–20.