

# 香港土壤研究\*

## iv. 研究现状与展望

骆永明<sup>1, 3</sup> 章海波<sup>1, 3</sup> 赵其国<sup>1, 3</sup> 黄铭洪<sup>2</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所与香港浸会大学土壤与环境联合开放研究实验室, 土壤与环境生物修复研究中心,

土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

(2 香港浸会大学裘撻环境科学研究所, 香港九龙塘)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要** 对近半个世纪以来香港地区的土壤分类、农业和园林绿地土壤的肥力以及土壤环境保护等研究工作进行了系统的回顾和介绍, 为中国香港地区及其他社会经济快速发展地区的土壤资源合理利用、生态环境保护与社会可持续发展提供了科学信息。认为, 高度城市化和国际化的香港地区可以结合香港高科技及新产业的发展目标, 合理利用和开发土地资源, 定向培育中草药产地土壤环境与教育基地; 需要进一步系统研究香港地区土壤发生与系统分类、性状与特征、空间分布与变异规律, 建立香港土壤基础数据库、土壤图和土壤信息与服务系统; 进一步探明污染元素和有益元素的土壤地球化学背景以及持久性有机污染物的环境生物地球化学过程及其生态与健康风险, 建立长期的土壤环境质量动态观测点与研究平台, 以及区域尺度的土壤环境质量信息系统和定量可视化预测预警系统; 研究与发展适合香港地区的有问题土壤的风险评估与修复技术体系。

**关键词** 香港; 土壤分类; 土壤肥力; 土壤污染; 土壤保护

中图分类号 S153 文献标识码 A

香港位于中国南部的珠江口东岸, 三面临海, 北部与广东省深圳市接壤。气候上受到亚热带季风和热带海洋气团的双重影响, 有明显的干、湿季之分。整个香港由香港本岛、九龙、新界和周围 200 多个大小岛屿构成, 土地面积为 1 100 km<sup>2</sup>, 但是其城区的面积只占到 1/4 左右, 其余均为郊野。香港的农业用地面积至 2002 年底已缩减到 2 480 hm<sup>2</sup>, 只占总土地面积的 2.3%<sup>[1]</sup>, 说明香港绝大多数的土壤已经不是作为农用土地资源, 而主要是作为生态环境中的一个重要组成要素。香港的人口从 1941 年的 164 万增加到了 2002 年的 679 万, 人口密度在 2002 年已经达到了 6 300 人 km<sup>-2</sup>, 市区甚至超过了 26 000 人 km<sup>-2</sup><sup>[2]</sup>, 成为世界上人口密度最大的城市。在这种高人口密度和快速城市化发展的情况下, 作为环境介质和农业资源的土壤发生了怎样的变化和需要怎样的维护已经成为一个令人感兴趣的研究课题。自 20 世纪 50 年代以来, 香港本地和英国的一些研究

人员开展了关于土壤与农业、土壤环境污染与生态恢复等研究工作, 这些工作为香港地区的农业生产、生态环境建设、基础教育和社会可持续发展提供了很有价值的资料。

本文对过去 50 年内有关香港土壤研究工作的几个主要方面进行了综述与展望, 为该地区土壤与生态、环境的进一步研究与建设提供参考资料, 同时也为中国内地正在经历着社会经济高速发展的地区如长江三角洲城市群的土壤和生态、环境研究与管理提供鉴示信息。

## 1 香港土壤分类和农业土壤区划研究

香港的土壤类型曾经在世界土壤区划中被粗略地归为砖红壤<sup>[3]</sup>, 后来英国学者 Grant<sup>[3]</sup> 在开展全港范围的土壤调查时提出了新的看法, 他根据 Prescott 和 Pendleton<sup>[4]</sup> 对砖红壤的定义并结合在调查过程中

\* 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410810/09)资助

- 通讯作者, E-mail: ymluo@mail.issas.ac.cn

作者简介: 骆永明(1962-), 男, 浙江义乌人, 研究员, 主要从事土壤污染与修复研究

收稿日期: 2004-05-31; 收到修改稿日期: 2004-11-22

实际分析得到的土壤硅铝率比值, 提出了香港的大多数红色土壤属于红壤和灰化红黄壤的观点。他还撰写了第一本有关香港土壤与农业方面的著作——《The Soils and Agriculture of Hong Kong》。在书中, Grant 运用美国 Marbut 的土壤分类法, 将香港的土壤划分为六大类: 灰化红黄壤 (Red-yellow Podsoilic)、红壤 (Krasnosem)、砖红性红壤 (Lateritic Krasnosem)、水稻土 (Paddy Soils)、盐土 (Solonchak) 和粗骨土 (Lithosols)。此后, 中国科学院南京土壤研究所龚子同研究员在 1998 年根据这个分类体系和国内研究的土壤系统分类的成果进行系统分类与发生分类的土壤命名参比, 提出了以富铁土为主的香港土壤资源概念<sup>[5]</sup>。

事实上, 20 世纪 50、60 年代 Grant 对香港土壤进行的调查是为了更好地为当时的农业生产服务, 即更合理地利用土壤资源。因此, 他还从土壤地理学的角度对香港的水稻土进行了更为细致的研究<sup>[3]</sup>, 根据其母质、地形和沉积物的质地特征划分 9 个土壤组合, 以地理名称命名, 并对其中的 8 个土壤组合进行了制图表征。然后, 他又根据其排水状况, 将这 9 个土壤组合进一步细分为 29 个土系, 土系的命名以地理名称加上排水状况。通过上述这些研究, 基本弄清了当时香港土壤的一些基本性状和农业生产的土壤限制因子, 为指导当时的农业生产做出了重要贡献。20 世纪 60 年代以后, 香港进入工业化发展初期, 农业用地的面积开始萎缩, 并且已转变为以商品蔬菜和花卉种植为主的农业模式<sup>[1]</sup>。目前, 有关香港农业土壤的进一步研究工作鲜见报道。

## 2 香港园林绿地土壤肥力的调查研究

### 2.1 香港绿地类型

香港的郊野绿地主要由一些次生林和灌木覆盖, 也有一部分草地群落<sup>[6]</sup>。大部分的郊野地区已经被保护起来, 建立了郊野公园和特别保护区, 作为康乐和教育的野外基地, 每年郊野公园的人流量都在 1 000 万人次以上<sup>[1]</sup>。城区绿地主要包括 22 个城区公园, 每个公园的面积一般在 10 hm<sup>2</sup> 左右, 建有游乐场、网球场和草坪等, 承载的人流量也相当大。例如, 在拥有 404 万市民的港九地区, 城区公园仅有 8 个<sup>[7]</sup>。海岸带分布的 380 hm<sup>2</sup> 红树林湿地是热带、亚热带海岸潮间带的一种特殊绿地类型<sup>[1]</sup>, 这些红树林在香港主要分布在西贡、新界东北、吐露港、后海湾、大屿山和香港岛, 其中以后海湾的米浦 (Mai

Po) 面积最大, 是受国际保护的重要湿地。此外, 城区的绿地也包括道路绿化带、交通岛和花坛等。以香港大学地理地质系 Jim 教授为主的研究人员对香港的城市绿化项目作了大量的研究工作, 其中也包括了绿地土壤的调查与研究<sup>[7~11]</sup>。

### 2.2 香港绿地土壤的肥力特征

#### 2.2.1 土壤剖面形态

土壤的剖面形态可以用来描述土壤的发育状况以及作为野外勘查时直观地反映土壤质量好差的线索之一<sup>[12]</sup>。香港的郊野土壤多为自然土壤, 大多数土壤的发生层次都很明显, 土壤厚度达到甚至超出 1 m, 土壤发育完善<sup>[29]</sup>。但在城区绿地中, 其土壤大多由人为堆叠而成, 因而自然的发生层次被阻断或缺失, 代之以各种堆叠层, 人为搅动作用明显。例如, 在对香港路旁种植行道树的土壤剖面调查中发现, 自然土壤中的 O 层和 A 层基本缺失, 仅留有残积层或淀积层, 并且人为堆叠的痕迹明显, 在维多利亚公园的土壤中也发现类似的情况。总之, 城区土壤的厚度一般小于 1 m, 剖面中各种建筑垃圾类侵入体明显可见, 有些剖面的底层甚至可以发现旧建筑的地基<sup>[7,11]</sup>。

#### 2.2.2 土壤理化性质

香港土壤的理化性质在受扰动地区和未受扰动地区的差异明显。郊野土壤的团聚体密度在 1.06~1.90 g cm<sup>-3</sup><sup>[14, 15]</sup>, 普遍比城区土壤的团聚体密度 (1.5~1.8 g cm<sup>-3</sup>) 低, 城区土壤最高可达 2.63 g cm<sup>-3</sup><sup>[11]</sup>, 表层土壤要比底层高些, 一般在 1.8 g cm<sup>-3</sup> 左右<sup>[7]</sup>。表现为土壤结构紧实, 通水通气能力差, 影响植物根系的生长。郊野受扰动地区土壤的有机碳和阳离子交换量 (CEC) 分别为 12.7 g kg<sup>-1</sup> 和 7.62 cmol kg<sup>-1</sup><sup>[13, 15]</sup>, 比正常情况下的热带森林和次生林土壤的有机碳和 CEC 低; 城区土壤则更低, 有机碳含量一般都小于 10 g kg<sup>-1</sup>, CEC 也小于 10 cmol kg<sup>-1</sup>; 此外, 城区土壤的 pH 值和砂砾含量高以及盐基饱和度低的情况也很普遍<sup>[7, 11, 16]</sup>。红树林湿地土壤的理化性质与其他土壤有较大的差异, pH 值和有机质的变化受潮水的影响较大, pH 变化在 3.4~7.7, 有机质含量较高, 变幅在 55~88 g kg<sup>-1</sup> 之间<sup>[17]</sup>。

#### 2.2.3 土壤养分状况

香港的绿地土壤主要是用于种植林木和灌木<sup>[6]</sup>, 管理上主要依靠其自然肥力<sup>[8]</sup>。过去多数研究涉及的土壤养分指标包括总氮、总磷和有效态氮、磷的含量以及土壤的 C/N 比值, 有些也包括 Ca、Mg 和微量元素的含量。从这些调查的结果来看, 香港郊野土壤的有机氮水平较低, 平均只有 1.1 g kg<sup>-1</sup><sup>[13, 15]</sup>; 而城区土壤的总氮基本

都小于  $2.0 \text{ g kg}^{-1}$ , 也低于正常的热带土壤中的总氮含量<sup>[7, 11, 16]</sup>, 且以有机氮为主, 矿质氮只占 1% 左右, 矿质氮中又以铵态氮为主<sup>[16]</sup>, 矿质氮在强淋溶环境下会被部分淋失<sup>[18]</sup>; 另外, 大多数土壤的 C/N 比值大于 10, 因而在热带土壤中可能发生氮的生物固定而使可以被植物吸收利用的有效氮的含量降低<sup>[7]</sup>。土壤中磷素也较缺乏, 郊野土壤中的全磷含量为  $54.3 \text{ mg kg}^{-1}$ <sup>[13]</sup>, 城区的更低, 只有  $6 \text{ mg kg}^{-1}$ <sup>[11]</sup>, 远远小于热带土壤最低临界值水平; 有效磷含量也小于  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  的热带土壤临界水平, 原因是绝大多数的磷被铁铝氧化物固定而难以为植物吸收<sup>[7, 16]</sup>。较低的 CEC 也使土壤的养分难以保持, 有些城区土壤还由于 pH 较高, 导致微量元素的有效性降低, 使植物出现了缺素症状<sup>[9]</sup>。

**2.2.4 影响香港绿地土壤肥力的因素** 形成上述的香港绿地土壤性状的原因主要包括自然和人为两方面, 前者譬如强烈的风化淋溶环境使得土壤中的 Fe 和 Al 相对富集, 在成土过程中形成 1:1 高岭类粘粒矿物, 这些对土壤中的养分平衡都有一定的作用; 而后者概括起来主要有以下几个方面:

(1) 行人践踏和建筑施工。香港的郊野和城区公园的人流量很大, 游客的反复践踏使土壤变得更加紧实; 表层的植被遭到破坏, 不仅使土壤表面失去了保护层, 同时还减少了土壤有机质的含量<sup>[14]</sup>。建筑施工也对土壤具有破坏作用。譬如在修路时加固路基以及施工过程中大型机械的碾压都会破坏自然土壤的结构<sup>[9, 10]</sup>; 建筑垃圾进入土壤, 使土壤质地变粗<sup>[7]</sup>; 另外, 一些石灰类废弃物进入土壤, 使土壤 pH 上升, 会阻碍热带林木的生长<sup>[11]</sup>。

(2) 山火焚烧对林地土壤养分的影响。香港的旱季是山火多发季节, 在过去的 10 多年, 平均每年要发生 300 多宗<sup>[1]</sup>, 主要由烧烤、郊游、祭祀等引起。山火对土壤养分的影响在短期内表现明显, 比如, 持续发生(两年一次)山火的林地土壤 pH 略有升高, 矿质氮和交换性 Ca 含量也有上升趋势, 有机质、总氮含量则表现为下降, 但总磷和交换性 Mg、Na、K 的变化不显著<sup>[19, 20]</sup>。山火发生后, 土壤表面的植被受到破坏, 使土壤遭受侵蚀的机会增加, 养分也较易流失<sup>[21]</sup>。

(3) 土地开发的影响。香港政府为弥补建设用地的不足, 一方面通过开山平坡, 使得许多发育完善的山地土壤被移走, 一些残留的岩石风化物 and 碎屑作为植物的生长基质<sup>[7]</sup>; 另一方面也通过填海造地<sup>[22]</sup>, 所用的填料有半数来自香港海域中的海沙,

还有些是公众拆建物料<sup>[23]</sup>。这些新开发土地的土壤质地粗、养分含量低, 同时保蓄养分的能力也有限, 已经成为城市绿化的一个重要限制因子<sup>[9, 24]</sup>。

### 3 香港土壤环境污染与生态恢复研究

香港地区的土壤环境保护研究从 20 世纪 70 年代开始, 其内容主要涉及有毒重金属、持久性有机污染物和废弃地的生态恢复等三个方面的内容。

#### 3.1 香港土壤的重金属污染研究

**3.1.1 污染土壤中重金属的来源** (1) 汽车尾气排放。汽车的尾气排放是路边尘埃和土壤中重金属污染的主要来源。香港是世界上道路交通密度最高的地区之一, 至 2003 年 3 月止, 登记车辆数目高达 524 845 辆, 而全港道路的长度只有 1 928 km<sup>[25]</sup>。对香港路边土壤的许多研究证明, 这些土壤中最突出的污染元素是 Pb<sup>[26-28]</sup>, 其平均含量可高达  $88 \text{ mg kg}^{-1}$ <sup>[18]</sup>; 并且用同位素示踪法也证明其来源主要是汽车尾气的排放<sup>[29]</sup>。但是随着含铅汽油在香港被禁止使用<sup>[30]</sup>, 由汽车尾气排放引起的 Pb 污染问题有所缓解<sup>[31]</sup>。除 Pb 外, Cu、Zn 等重金属元素在城区土壤中的含量也与车流量具有一定的相关性<sup>[32, 33]</sup>。

(2) 废弃的金属尾矿。一些高重金属含量的尾矿废弃物露天堆放后, 会迅速风化, 并通过降雨、风扬等作用向周边地区扩散从而导致了一系列的重金属污染问题。香港唯一的大规模矿场是吐露港东边的马鞍山铁矿场, 它在吐露港附近沿海岸堆积了大量的尾矿, 20 世纪 70 年代, 有一系列的针对该地区的尾矿引起的生态环境影响的研究<sup>[34-38]</sup>。其中在受铁尾矿排放影响的吐露港附近地区土壤中的 Cd、Pb 和 Zn 含量要比对照区土壤中的含量高 1 倍左右, 而 Fe、Mn 的含量要高 2 倍左右<sup>[34]</sup>。

(3) 工业排放。主要发生在一些小型的废弃物回收厂, 由于在排放废水前未经适当的处置致使附近土壤中的重金属, 如 Ni 和 Cu 等严重污染, 对附近的环境产生了严重的危害<sup>[39, 40]</sup>。

(4) 土壤中污泥和肥料施用。香港的农业生产目前主要以种植蔬菜和花卉为主, 并且形成以集约型的生产方式来满足市场的需求<sup>[41]</sup>。通过在菜地里施用大量的化学肥料和畜禽粪肥来提高蔬菜的产量, 同时污泥的农用也较普遍。污泥、一些化学肥料和畜禽粪肥中都含有较高的重金属元素, 如 Cd、Cu、Pb、Zn 等, 不断的加入到土壤会导致这些元素在

土壤中的累积性污染, 同时增加其植物有效性<sup>[42]</sup>, 进而通过食物链危害人的身体健康<sup>[43]</sup>。

(5) 城市垃圾。城市垃圾主要来源于居民生活、商业活动、工业生产和建筑施工等活动。据香港环境保护署的统计, 2002 年香港的总垃圾产量为 2.65 万 t d<sup>-1</sup><sup>[44]</sup>, 这些垃圾主要通过填埋和焚化处理。填埋场的渗滤液通常含有相当高浓度的 Zn、Mn 和 Fe<sup>[45]</sup>, 在对受填埋场渗滤液污染的土壤的调查中也发现有这些金属元素的富集现象<sup>[46]</sup>。

**3.1.2 香港土壤重金属污染的现状** (1) 土壤中的重金属全量。从土壤重金属的总量来看, 不同的土地利用方式和距离市区的远近对土壤中重金属的含量和形成的污染类型具有很大的影响(表 1)。由于香港地区还没有自身的土壤环境质量标准, 所以过去的研究人员大都采用荷兰的土壤环境质量标准

Dutch List<sup>[47]</sup>, 其中的 A 值和 B 值表示该土壤可以用于垦殖或限制垦殖的该元素的最高背景值, 相当于中国内地的自然背景值和土壤污染二级标准。从表 1 中可以看出, 香港地区存在重金属污染问题的土壤主要发生在红树林土壤、农业土壤和城区土壤中, 其中尤其以红树林土壤最为严重。Cd、Cu、Pb 和 Zn 四种重金属在表层和底层的含量均超过了 A 值, 其中 Pb 的含量接近 B 值, 其原因可能是一方面红树林附近地区的污水排放引起<sup>[48]</sup>; 另一方面红树林土壤本身的淹水还原条件和富含硫化物的特性使得其对重金属污染物具有截留和富集作用<sup>[49]</sup>。农业土壤和城区土壤的重金属污染问题主要体现在 Cd 和 Pb 两种元素上, 其中城区公园土壤的 Cd 以及果园、运动场土壤的 Pb 含量超过 A 值的 2 倍, 需要引起进一步的关注。

表 1 香港地区不同利用方式下土壤中重金属含量

Table 1 Heavy metals in soils under different land uses in Hong Kong (mg kg<sup>-1</sup>)

	土地利用方式 Land use	Cd	Cu	Pb	Zn	As	文献出处 Sources
郊野土壤 Countryside soil	森林土壤 Woodland soil	0.64	0.77	43.3	33.4	9.53	[50]
	乡村土壤 Rural soil	0.74	9.14	40.6	51.0	10.7	[50]
	郊野公园土壤 Country parks soil	0.15	5.17	8.66	76.6	—	[51]
农业土壤 Agricultural soil	菜园土壤 Vegetable soil	1.27	19.8	38.2	62.4	13.5	[50]
	果园土壤 Orchard soil	1.44	39.0	120	68.9	17.4	[50]
城区土壤 Urban soil	运动场土壤 Playground soil	1.89	27.5	100	93.9	—	[52]
	路边土壤 Roadside soil	0.94	16.1	89.9	58.8	16.5	[50]
	城区公园土壤 Urban parks soil	2.18	24.8	93.4	168	—	[51]
红树林土壤 Mangrove soil	表层 Surface(0~10 cm)	1.2	67.1	135	222	—	[53]
	底层 Deeper(21~30 cm)	1.2	60.3	120	213	—	[53]
Dutch 值	A	1	50	50	200	20	[47]
Dutch List value	B	5	100	150	500	30	

(2) 土壤中提取态重金属的含量。除了土壤重金属的全量外, 过去的研究也涉及到了一些提取态的含量。例如用 0.1 mol L<sup>-1</sup> EDTA 在 pH 为 6.0 的条件下提取土壤的重金属含量过去常常被用来预测土壤中的植物有效态部分的金属含量<sup>[54]</sup>。对香港菜园土壤的 Cd、Cu、Pb 和 Zn 的 EDTA 提取态的研究结果表明<sup>[52]</sup>: 上述四种金属元素的 EDTA 提取态含量占了土壤全量的 34%~44%, 但均低于 New South Wales 州农业部<sup>[55]</sup> 建议的出现毒性症状极限值; EDTA 提取态的 Cu 和 Zn 含量与全量 Cu 和 Zn 的正相关系数分别达到了 0.84( $p < 0.001$ ) 和 0.75( $p <$

0.001), 认为可以用来评价香港菜园土壤中植物有效态含量。此外, Li 等<sup>[56]</sup> 采用 Tessier 五级连续提取法对香港城区公园土壤中 Cd、Cu、Pb 和 Zn 作了形态分析, 认为: 城区公园土壤中 Zn 和 Pb 都以 Fe-Mn 氧化物结合态和残留态为主, Cu 以有机质与硫化物结合态和 Fe-Mn 氧化物结合态为主, 但值得注意的是土壤中有 50% 以上的 Cd 处于交换态部分, 其环境影响还有待作进一步的评价。

### 3.2 香港土壤的 POPs 污染研究

持久性有机污染物(POPs)在香港的大气、水体和港口沉积物中已经进行了较多的研究<sup>[57]</sup>, 但对土

壤中 POPs 污染的调查和研究还没有广泛而深入的展开。过去的一些研究主要体现在对红树林湿地土壤的 POPs 污染调查上。譬如 Tam 和 Yao<sup>[58]</sup> 调查了香港 10 个红树林土壤中的多氯联苯(PCBs) 总量, 结果显示: 大多数的含量在  $0.5 \sim 5.8 \text{ ng g}^{-1}$  之间, 认为并未构成严重的污染问题, 但个别地区的 PCBs 总量达到了  $25 \text{ ng g}^{-1}$ , 成为污染点, 需要引起关注。多环芳烃(PAHs) 的情况则比 PCBs 的要严重些, Tam 等<sup>[59]</sup> 在对米浦等四个地区的红树林土壤调查中发现 PAHs 的总量在  $356 \sim 11\,098 \text{ ng g}^{-1}$  之间, 以二、三环的低分子量化合物为主, 其来源可能有石油泄漏、垃圾填埋产生等多种途径。对土壤中的其他 POPs 污染物例如有机氯农药、二英(如 PCDDs 和 PCDFs) 等还未见有报道。

### 3.3 香港土壤的环境容量研究

土壤环境容量是指土壤环境单元所容许容纳的污染物质的最大数量或负荷量<sup>[12]</sup>。香港土壤的环境容量研究刚刚开始, 主要以红树林土壤作为研究对象, 因为红树林土壤长期处于淹水的还原状态, 并且富含硫化物, 对一些污染物质具有较好的截留和富集作用, 希望利用它们来处理附近排放的污水, 从而起到保护周围海水和海洋生物免遭污染的作用<sup>[49]</sup>。因此, 要明确这种做法是否真正可行就需要研究红树林土壤对污染物质的承载能力和污染物质进入土壤后的生态效应。

Tam 和 Wong 等<sup>[60, 61]</sup> 在实验室通过微生态模拟试验证明, 红树林土壤对重金属尤其是 Cu 和引起水体富营养化的 N 和 P 都具有很强的截留能力, 并且主要是富集在土壤的表层, 但不同的含盐量影响到土壤截留污染物质的能力。同时, 该研究也认为一般正常的废水中携带的重金属含量排放到红树林土壤后对土壤中的脱氢酶和碱性磷酸酯酶的活性影响不大, 对土壤微生物的活性也没有明显的抑制作用<sup>[62]</sup>, 但是含有高浓度重金属的废水进入红树林土壤后, 随着时间延长会对红树林植物和土壤中的微生物以及碱性磷酸酯酶的活性产生明显的抑制作用, 从而破坏红树林土壤正常的生态功能<sup>[63]</sup>。

### 3.4 香港地区废弃地的生态恢复

香港不仅采用平坡建房和填海造地来弥补土地利用的不足, 同时还鼓励重新开发一些被废弃的土地, 包括关闭的垃圾填埋场和废弃的矿地等。将这些废弃地开发成运动场、公园和高尔夫球场等公共娱乐场地, 但开发过程需要进行植被的重建和维持。

#### 3.4.1 已关闭垃圾填埋场的植被恢复 最近几

年, 香港环保署推出了一项耗资巨大的庞大计划, 用以修复境内的 13 个早期关闭的垃圾填埋区, 以减少它们对环境的影响并开发这些地区作其他有益的用途。但是要恢复垃圾填埋场的植被覆盖, 需要解决许多不利因素。

(1) 填埋气体各组分对植物的影响。填埋场产生的气体以甲烷和二氧化碳为主, 还有一些微量气体包括硫化氢、氨气和乙炔等。据 Wong 和 Yu<sup>[64]</sup> 在对香港的醉酒湾填埋场的研究中发现, 其最终覆盖层上的植被覆盖与填埋气体的浓度之间呈很强的负相关性; 甲烷、氧气、二氧化碳、乙烯和可提取铅这 5 个参数较好地解释了植物覆盖的总体变化。

(2) 垃圾渗滤液的影响。垃圾渗滤液中含有大量的铵氮, 研究证实铵离子对生物体具有急性毒性效应<sup>[65]</sup>。并且已经发现高浓度的垃圾渗滤液对植物种子的萌发和植物的生长都具有普遍的毒害作用<sup>[66]</sup>。与对照组相比, 接受垃圾渗滤液灌溉的植物 (*Acacia conusa*) 生长明显受到抑制<sup>[67]</sup>。

(3) 最终覆盖层土壤性质的影响。香港在 1973 年后采用的卫生填埋法, 在垃圾填埋场填满封闭后会铺上一层经高度压缩的、由黏性土壤构成的不渗透覆盖层, 以防止填埋气体的溢出和垃圾渗滤液的渗漏。Wong 和 Yu<sup>[68]</sup> 在香港醉酒湾垃圾填埋场开展的生态调查表明, 最终覆盖层土壤的理化参数, 特别是铵氮、总氮和磷酸盐等与垃圾填埋场上的整体植物覆盖密切相关, 其中对杂草类的相关性要比对禾草类更加明显。

鉴于上述的环境压力, 许多研究者都强调了筛选先锋植物的重要性<sup>[46, 69]</sup>, 而开展野外生态调查是获得先锋植物的重要途径。对香港众多垃圾填埋场的调查结果显示禾草类植物<sup>[68]</sup>和豆科植物<sup>[46, 69]</sup>非常适合在香港地区的垃圾填埋场上生长。

#### 3.4.2 其他废弃地的植被恢复 其他的废弃地包括废弃的矿地和采石场等。马鞍山铁矿场在 20 世纪 60 年代关闭后便进行了一系列的生态调查和复垦的研究工作<sup>[34-36]</sup>, 提出了一些可行的复垦建议, 譬如运用有机质、生活污水作为改良基质或者利用筛选出的重金属耐性品种直接垦殖等措施<sup>[37]</sup>。花岗岩采石是目前香港最重要的采掘工业<sup>[70]</sup>, 但是由于过去疏于治理, 从而给美丽的城市景观留下了大量的“疤痕”。因此, 最近政府提出要对这些受扰动地区采用生态学的途径进行景观恢复。Jim<sup>[71]</sup> 通过对将军澳某采石场的调查发现: 采石场坡度过陡、土壤质地过粗、缺少氮磷等养分元素以及土壤保蓄

养分的能力差是采石场植被恢复的主要抑制因素; 针对这些不利因素他们提出对采石场进行修整陡坡、利用污泥等有机物料改良土壤基质以及选择当地具有固氮能力的豆科植物等改良措施。

## 4 香港地区的土壤研究展望

尽管对香港土壤的研究只是断断续续经历了短短 50 年左右的时间, 但却开展了香港土壤肥力维持和土壤环境保护等多方面的研究工作, 初步揭示了城市化发展对土壤环境的一些作用规律。与此同时, 我们也认识到仍然有许多土壤学的基本问题至今还不清楚, 譬如香港土壤的发生特征与系统分类、土壤环境质量及其空间变异等; 土壤的基础数据与资料也相当缺乏, 至今还没有香港土壤图; 土壤学研究方法也有待进一步统一与完善等。而与此相对应的是中国内地已经完成两次土壤普查工作, 取得了丰富的土壤调查和研究成果, 包括不同行政区域土壤普查和研究报告、不同比例尺的土壤系列图件等。因此, 香港地区土壤的基础研究、环境保护以及污染治理问题, 必须整合到整个东南沿海或珠江三角洲地区中才可能得到真正的解决。

鉴于此, 建议尽快开展香港地区土壤发生与系统分类、性状与特征、空间分布与变异规律的研究, 建立详尽、完备的土壤环境数据库系统和土壤图库; 并整合环境科学、生命科学、信息科学等多学科理论与方法, 从土壤圈角度开展生态环境保护 and 污染治理修复研究。概括起来包括以下几个方面:

(1) 建立详尽的香港土壤基础资料库。土壤基础资料库的内容包括相对统一的土壤研究的基本方法, 土壤基本性质、肥力质量和环境质量数据库, 土壤系统分类体系, 香港地区的土壤分类图和各种土壤质量指标专题图件等。最终形成一个由“3S”集成的香港土壤信息与技术服务体系。

(2) 建立区域尺度的土壤环境质量动态变化观察平台和定量可视化预测预警系统。从香港区域的尺度上揭示土壤环境污染物质的时空分布规律及其变化趋势, 结合区域地表系统科学的指导思想, 从土壤圈的角度出发联系香港地区乃至整个珠江三角洲地区的水、土、气、生物环境以及社会经济发展和人文活动, 开展动态观察与研究, 并通过数学模型与“3S”等信息技术途径的结合, 建立定量可视化的预测预警系统。

(3) 结合香港高科技及新产业的发展, 合理利用

和开发土壤资源。目前, 香港地区经济发展中的高科技及新兴产业创新目标的主要内容有“硅港”、“数码港”和“中药中心”三大项目。其中, “中药中心”项目与土壤科学技术有密切关系。许多中药中含有特定的有益元素如 Se 等。阐明中草药的产地环境质量和有益元素的土壤生物地球化学过程, 实现中草药的“土壤定向培育”, 使其按人类需要的目标生长与富集有益元素, 这是值得当地探索的土壤科学研究工作。

(4) 研究与发展适合香港地区域情的土壤风险评估与修复技术体系。香港人多地少, 土地扩展空间有限, 因此废弃地的再利用已成为香港土地规划的一个重要方面。在开发利用一些垃圾填埋场或有污染风险的抛荒地时, 政府或开发商需要实施环境风险评价和土壤修复措施。研究并发展出经济、高效且环境良好的土壤修复技术是极具市场化前景的技术创新研究工作。

总之, 过去对香港土壤的许多研究成果为我们进一步开展香港土壤研究及其学科建设奠定了良好的基础。香港地区的土壤发生、发育、制图、自然质量及其与华南其他地区土壤的联系与区别, 以及高强度人类活动、高度城市化和高速社会经济发展背景下的香港地区土壤环境质量的演变规律、定量关系和警示意义都有待在这一基础上不断系统和深入。随着香港与内地资源、生态、环境领域的科学技术合作研究与交流的不断加强, 香港地区的土壤研究及土壤科学与生态环境保护事业必将得到进一步的推动和发展。

致谢 香港中文大学地理系的邹桂昌教授和香港浸会大学的吴胜春博士为本文提供资料, 在此深表谢意!

## 参考文献

- [1] Agriculture, Fisheries and Conservation Department of Hong Kong SAR Government. Department Annual Report 2001~2002. Hong Kong SAR, 2002
- [2] Census and Statistics Department of Hong Kong SAR Government. Department Annual Report 2001~2002. Hong Kong SAR, 2002
- [3] Charles J Grant. The Soils and Agriculture of Hong Kong. Hong Kong: Government Printer, 1963
- [4] Prescott J A, Pendleton R L. Laterite and Latentic Soils. C. A. B. Tech. Com., 1952. 47
- [5] 龚子同. 香港土壤和土壤学科特点. 土壤, 1998, 30(3): 121~124. Gong Z T. Hong Kong soil and its characters of soil science (In Chinese). Soils, 1998, 30(3): 121~124
- [6] Corlett R T. Environmental forestry in Hong Kong: 1871~1997. Forestry Ecology and Management, 1999, 116: 93~105

- [ 7 ] Jim C Y. Soil characteristics and management in an urban park in Hong Kong. *Environmental Management*, 1998, 22(5): 683~ 695
- [ 8 ] Jim C Y. A planning strategy to augment the diversity and biomass of roadside trees in urban Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 1999, 44: 13~ 32
- [ 9 ] Jim C Y. Managing urban trees and their soil envelopes in a contiguously developed city environment. *Environmental Management*, 2001, 28(6): 819~ 832
- [ 10 ] Jim C Y. Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth. *Urban Ecosystems*, 1998, 2: 171~ 181
- [ 11 ] Jim C Y. Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 40: 235~ 249
- [ 12 ] 李天杰主编. 土壤环境学. 北京: 高等教育出版社, 1995. 298~ 307. Li T J. ed. *Soil Environmental Science (In Chinese)*. Beijing: Higher Education Press, 1995. 298~ 307
- [ 13 ] Jim C Y. Conservation of soils in culturally protected woodlands in rural Hong Kong. *Forest Ecology and Management*, 2003, 175(1/3): 339~ 353
- [ 14 ] Jim C Y. Camping impacts on vegetation and soil in a Hong Kong country park. *Applied Geography*, 1987, 7: 317~ 332
- [ 15 ] Jim C Y. Soil recovery from human disturbance in tropical woodlands in Hong Kong. *Catena*, 2002, 743: 1~ 19
- [ 16 ] Chau K C, Chan W Y. Planter soil in Hong Kong: I. Soil properties and characterization. *Arboricultural Journal*, 2000, 24: 59~ 74
- [ 17 ] Tam N F Y, Wong Y S. Variations of soil nutrient and organic matter content in a subtropical mangrove ecosystem. *Water, Air and Soil Pollution*, 1998, 103(1/4): 245~ 261
- [ 18 ] Chau K C, Chan W Y. Planter soil in Hong Kong: II. Fluxes of nitrogen and phosphorus. *Arboricultural Journal*, 2000, 24: 189~ 208
- [ 19 ] Marafa L M, Chau K C. Effect of hill fire on upland soil in Hong Kong. *Forest Ecology and Management*, 1999, 120: 97~ 104
- [ 20 ] Marafa L M, Chau K C. Morphological and chemical properties of soil along a vegetation gradient affected by fire in Hong Kong. *Soil Science*, 1999, 164(9): 683~ 691
- [ 21 ] Chau K C, Marafa L M. Vegetation chronosequence in Hong Kong: Soil properties and successional development. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 1999, 20(1): 24~ 35
- [ 22 ] 陈朝辉. 香港的土地利用与环境保护. *热带地理*, 1997, 17(2): 149~ 155. Chen C H. Land use and environmental protection in Hong Kong (In Chinese). *Tropical Geography*, 1997, 17(2): 149~ 155
- [ 23 ] 张乔民. 香港海沙资源的勘探开发与管理. *自然资源学报*, 2003, 18(4): 385~ 393. Zhang Q M. Exploration, exploitation and management of marine sand resource in Hong Kong of China (In Chinese). *Journal of Natural Resource*, 2003, 18(4): 385~ 393
- [ 24 ] Jim C Y. Soil compaction as a constraint to tree growth in tropical & subtropical urban habitats. *Environmental Conservation*, 1993, 20(1): 35~ 49
- [ 25 ] Highway Department of Hong Kong SAR Government. Department Annual Report 2001~ 2002. Hong Kong SAR, 2002
- [ 26 ] Lau W M, Wong M H. An ecological survey of lead contents in roadside dusts and soils in Hong Kong. *Environ. Res.*, 1982, 28: 39~ 54
- [ 27 ] Wong M H. A review on lead contamination of Hong Kong's environment. In: Hutchinson T C, Memma K M. eds. *Occurrence and Pathways of Leads, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment*. John Wiley & Sons, 1987. 217~ 234
- [ 28 ] Wong M H, *et al.* Lead contamination of soil and vegetables grown near motorways in Hong Kong. *J. Environ. Sci. Health Part A*, 1978, 13(1): 13~ 22
- [ 29 ] Wong C S C, Li X D. Pb contamination and isotopic composition of urban soils in Hong Kong. *The Science of the Total Environment*, 2004, 319: 185~ 195
- [ 30 ] Environment, Transport and Works Bureau of Hong Kong SAR Government. Department Annual Report 2000~ 2001. Hong Kong SAR, 2001
- [ 31 ] Chan G Y S, Chui V W D, Wong M H. Lead concentration in Hong Kong roadside dust after reduction of lead level in petrol. *Biomed. & Environ. Sci.*, 1989, 2: 131~ 140
- [ 32 ] Li X D, Lee S L, *et al.* The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environmental Pollution*, 2004, 129: 113~ 124
- [ 33 ] Tam N F Y, Liu W K, Wong M H, *et al.* Heavy metal pollution in roadside parks and gardens in Hong Kong. *The Science of the Total Environment*, 1987, 59: 325~ 328
- [ 34 ] Wong M H, Tam F Y. Soil and vegetation contamination by the iron ore tailings. *Environ. Pollut.*, 1977, 14: 241~ 254
- [ 35 ] Wong M H, Yip S W, Fan K Y. *Chlorella* cultivation in sludge extracts. *Environ. Pollut.*, 1977, 12: 205~ 209
- [ 36 ] Wong M H, Yeung Y F, Wong K S, *et al.* A preliminary survey of organic pollution in Tolo Harbour, Hong Kong. *Hydrobiol.*, 1977, 54: 141~ 143
- [ 37 ] Wong M H. Environmental impacts of iron ore tailings. The case of Tolo Harbour, Hong Kong. *Environ. Management*, 1981, 5: 135~ 145
- [ 38 ] Yip S W, Wong M H. The effects of sewage sludge on the growth rate of carp *Cyprinus carpio*. *Environ. Pollution*, 1977, 14: 127~ 132
- [ 39 ] Chui V W D, Cheung Y H, Wong M H. Contamination of soil and plant by recycling of scrap plastics. *Environ. International*, 1988, 14: 525~ 529
- [ 40 ] Wong M H. An ecological survey of the effect of SO<sub>2</sub> emitted from an acid work factory. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1978, 19: 715~ 723
- [ 41 ] Agriculture, Fisheries and Conservation Department of Hong Kong SAR Government. Department Annual Report 1981~ 1982. Hong Kong SAR, 1982
- [ 42 ] Wong J W C, Lai K M, Su D S, *et al.* Availability of heavy metals for *Brassia chinensis* grown in an acidic loamy soil amended with a domestic and an industrial sewage sludge. *Water, Air and Soil Pollution*, 2001, 128(3/4): 339~ 353
- [ 43 ] Wong M H. Heavy metal contamination of soils and crops from auto traffic, sewage sludge, pig manure and chemical fertilizer. *Agric.*

- Ecosys. & Environ., 1985, 13: 139~ 148
- [44] Environmental Protection Department of Hong Kong SAR Government. Department Annual Report 2001~ 2002. Hong Kong SAR, 2002
- [45] Chu L M, Cheung K C, Wong M H. Variations in the chemical properties of landfill leachate. *Environ. Manage.*, 1994, 18: 105~ 117
- [46] Chan G Y S, Wong M H, Whitton B A. Effects of landfill gas on subtropical woody plants. *Environ. Manage.*, 1991, 15: 411~ 431
- [47] ANZECC/NHMRC. Australian and New Zealand Guidelines for the Assessment and Management of Contamination Sites. Canberra: Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and National Health and Medical Research Council, 1992. 159
- [48] Che R G O. Concentration of 7 heavy metals in sediments and mangrove root samples from Mai Po, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, 39(1/12): 269~ 279
- [49] Tam N F Y, Wong Y S. Mangrove soils as sinks for wastewater borne pollutants. *Hydrobiologia*, 1995, 295: 231~ 242
- [50] Chen T B, Wong J W C, Zhou H Y, *et al.* Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. *Environ. Pollut.*, 1997, 96: 61~ 68
- [51] Li X D, Poon C S, Liu P S. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, 2001, 16: 1361~ 1368
- [52] Wong M H, Wong J W C, Chen T B. Trace metal contamination of the Hong Kong soil environment—A review. *In: Naidu R, Kookuna R S, Oliver D P, et al. eds. Contaminants in the Soil Environment in the Australia Asia-Pacific Region.* London: Kluwer Acad. Pub., 1996. 501~ 511
- [53] Tam N F Y, Yao M W Y. Normalization and heavy metal contamination in mangrove sediments. *The Science of the Total Environment*, 1998, 216: 33~ 39
- [54] Clayton P M, Tiller K G. A Chemical Method for the Determination of the Heavy Metal Content in Environmental Studies. Technical Paper, No. 41. Australia: Division of Soils, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1979. 17
- [55] Chamman P E V, Murphy B A. Soils—Their Properties and Management. A Soil Conservation Handbook for New South Wales. Sydney: Sydney University/Oxford University Press, 1993. 363
- [56] Li X D, Coles B J, *et al.* Sequential extraction of soils for multi-element analysis by ICP-AES. *Chemical Geology*, 1995, 124: 109~ 123
- [57] Wong M H, Poon H T. Sources, fates and effects of persistent organic pollutants in China with emphasis on the Pearl River Delta. *In: Fiedler H. ed. Persistent Organic Pollutants. Vol. I. International Negotiations.* Heidelberg: Springer, 2002. 355~ 370
- [58] Tam N F Y, Yao M W Y. Concentrations of PCBs in coastal mangrove sediments of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 44: 642~ 651
- [59] Tam N F Y, Ke L, *et al.* Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of mangrove swamps. *Environ. Pollut.*, 2001, 114: 255~ 263
- [60] Tam N F Y, Wong Y S. Mangrove soils in removing pollutants from municipal wastewater of different salinities. *Journal of Environmental Quality*, 1999, 28 (2): 556~ 564
- [61] Tam N F Y, Wong Y S. Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils receiving wastewater. *Environmental Pollution*, 1996, 94(3): 283~ 291
- [62] Tam N F Y. Effects of wastewater discharge on microbial populations and enzyme activities in mangrove soils. *Environmental Pollution*, 1998, 102(2/3): 233~ 242
- [63] Yin M W, Tam N F Y. Effects of wastewater borne heavy metals on mangrove plants and soils. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, 39: 179~ 186
- [64] Wong M H, Yu C T. Monitoring of Gin Drinkers' Bay Landfill, Hong Kong. I. Landfill gas on top of the landfill. *Environ. Manage.*, 1989, 13: 743~ 752
- [65] Ruffier P J, Boyle W C, Kleinschmidt J. Short-term acute bioassays to evaluate ammonia toxicity and standards. *J. Wat. Pollut. Cont. Fed.*, 1981, 53: 367~ 377
- [66] Wong M H, Leung C K. Phytotoxicity of landfill leachate (Gin Drinkers' Bay Landfill, Hong Kong). *In: Panswad T, et al. eds. Water Pollution Control in Asia.* Oxford: Pergamon Press, 1988. 707~ 716
- [67] Wong M H, Leung C K. Landfill leachate as irrigation water for tree and vegetable crops. *Waste Manage. Res.*, 1989, 2: 341~ 357
- [68] Wong M H, Yu C T. Monitoring of Gin Drinkers' Bay Landfill, Hong Kong. II. Gas contents, soil properties and vegetation performance on the side slope. *Environ. Manage.*, 1989, 13: 753~ 762
- [69] Chan G Y S, Wong M H, Whitton B A. Effects of landfill factors on tree cover: A field survey at 13 landfill sites in Hong Kong. *Land Contam. Reclam.*, 1996, 4: 115~ 128
- [70] 钱俊生主编. 香港环境与环境保护. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 107~ 110. Qian J S. ed. *Hong Kong Environment and Its Protection (In Chinese).* Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1997. 107~ 110
- [71] Jim C Y. Ecological and landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong. *Restoration Ecology*, 2001, 9(1): 85



## HONG KONG SOIL RESEARCHES iv. AN OVERVIEW

Luo Yongming<sup>1,3</sup> Zhang Haibo<sup>1,3</sup> Zhao Qiguo<sup>1,3</sup> Wong Minghung<sup>2</sup>

(1 *Soil and Environment Joint Open Laboratory between Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Sciences and Hong Kong Baptist University, Soil and Environment Bioremediation Research Center,*

*Key State Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Nanjing 210008, China*)

(2 *Croucher Institute for Environmental Science, Hong Kong Baptist University, Kowloon Tong, Hong Kong, China*)

(3 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract** This paper attempts to review research work conducted on Hong Kong soils, including soil classification, soil fertility, and soil environmental protection. It is hoped to provide some insights into rational use of the soil resource, ecological and environmental protection, and sustainable development of modern societies for other areas of China, which are also undergoing rapid economic development. In order to rationalize exploitation of the land resource in Hong Kong, it is important to conduct systematic research covering soil genesis, soil taxonomy, soil characteristics, soil spatial distribution and variable pattern, and to establish soil information (including soil database and soil atlas) and service system. Furthermore it is also essential to acquire a sound knowledge of the geochemical background of harmful and beneficial trace elements in Hong Kong soil. This should include environmental biogeochemistry of persistent organic pollutants (POPs) for assessment of their potential risks to the ecology and human health. Based on these studies, a long-term workstation for Hong Kong soils can be established for assessing and forecasting the soil environmental quality in Hong Kong. In addition, it is necessary to form a risk assessment system and a remediation technology system for contaminated soil in Hong Kong.

**Key words** Hong Kong; Soil taxonomy; Soil fertility; Soil pollution; Soil protection