

城市绿地土壤特性及人类活动的影响^{*}

卓文珊¹, 唐建锋¹, 管东生²

(1. 中山大学珠海校区实验中心, 广东 珠海 519082; 2 中山大学环境科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 研究了广州市 7 个功能区绿地土壤的特征, 分析其在功能区的分布规律及造成差异的影响因素, 并对土壤肥力进行了综合评价。结果表明: 与自然土壤相比, 城市土壤普遍存在压实现象, 质地以砂质壤土和粉质壤土为主, pH 明显升高, 以中性和碱性所占比例较大, 有机质和全氮含量偏低, 磷含量则略高。土壤肥力以新居住区为最好, 其次为公园, 其后依次为老工业区, 新开发区, 老居住区, 交通区, 商业区。

关键词: 土壤特性; 绿地; 功能区; 广州市

中图分类号: X 173 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) 02-0032-05

城市具有人口密集, 工业发达, 交通拥挤的特征, 这些都对城市土壤带来巨大的冲击。绿地作为城市土壤的主要存在方式, 是城市生态系统的重要组成部分, 其具有的植物、微生物生长功能和污染物过滤、缓冲及转化功能对美化和净化环境有着重要的意义。随着城市化进程的加快, 城市建成区的功能分区也日益强化, 城市土壤对人居环境质量和城市生态功能的重要作用受到了学者的广泛关注。城市土壤的相关研究在我国正在逐渐兴起, 特别是对南京和香港城市土壤的研究已经取得一些有意义的成果^[1-3], 但对珠江三角洲地区和华南地区的研究较少。广州市是珠江三角洲快速城市化的代表地区, 本文旨在通过比较广州市不同功能区的绿地土壤特性, 了解人类活动对土壤的影响规律, 期望为城市土壤性质的认识积累科学数据, 为更加合理地规划和管理、利用城市土壤提供科学依据, 促进城市的可持续发展。

1 材料和方法

1.1 城市功能分区与土样采集

根据土地利用性状和人类活动强度, 将广州市划分为交通区, 商业区, 老工业区, 新开发区, 老居住区, 新居住区和公园 7 个功能区, 在各功能区的绿化带进行布点和采样。共设 36 个采样点, 样点选择在代表性地段, 回避人工填充物。采样深度为 0-10 cm, 多点混合法采样。

1.2 样品分析^[4]

土壤质地用激光粒度仪法测定, 采用国际制土

壤分类; 容重用环刀法测定; 水溶性盐总量的测定用 5:1 水土比浸提-电导法; pH 值测定用 2.5:1 水土比浸提-pH 计法; 有机碳的测定用 K₂C₂O₇-H₂SO₄ 外加热法; 全 N 的测定用半微量凯氏法; 全 P 测定用钼蓝比色法。

2 结果与讨论

2.1 土壤质地

土壤质地对土壤热、水、气、肥力状况和生产性能影响很大。按照国际制土壤分类标准, 供试土壤样品中有 3% 属于砂土类的砂土及壤质砂土, 97% 属于壤土类, 壤土类中有 28% 是砂质壤土, 11% 是壤土, 58% 是粉 (砂) 质壤土。土壤中砂土和偏砂性壤土占样品总数的 31%。由表 1 可看出, 新居住区和新开发区土壤的粘粒和粉粒含量较大, 有较好的机械组成, 这主要是因为这两个区只有 3-5 年的开发时间, 而且土壤大多是客土, 受

表 1 各功能区土壤机械组成

Tab. 1 The physical content of soil in different zones

功能区	< 0.002 mm	0.02 ~ 0.002 mm	2 ~ 0.02 mm
商业区	5.07%	42.30%	52.64%
交通区	5.09%	46.46%	48.45%
老工业区	4.34%	42.51%	53.16%
新开发区	4.76%	52.50%	42.74%
老居住区	4.37%	36.18%	59.46%
新居住区	8.75%	60.29%	30.97%
公园	5.34%	49.64%	45.02%

^{*} 收稿日期: 2006-08-22
基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49571064); “985 工程”和广东省自然科学基金资助项目 (021740)
作者简介: 卓文珊 (1977 年生), 女, 硕士, 助理工程师; 通讯联系人: 管东生; E-mail: zadesw@s@mail.sysu.edu.cn
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

到的人为干扰较少。老居住区、老工业区、商业区的土壤由于长期受人为废弃物、建筑垃圾等侵入物的影响，明显含有较多砂砾，使土壤质地变粗，不利于土壤的保水、保肥和园林植物的生长。

2.2 土壤容重

土壤容重可反映人类活动对土壤的压实作用。压实作用通常导致土壤容重增大、空隙度减少，影响降水和灌溉水的入渗和在土壤中的再分布，地表水易形成地表径流，土壤的蓄水和通气性能变差，不利于植物的生长发育。自然土壤的容重一般为 1.3 g/cm^3 左右，但是大多数城市土壤的容重都高于此值。Craul^[5] 认为黏土的容重超过 1.55 g/cm^3 ，沙土的容重超过 1.75 g/cm^3 将使植物的根系生长受阻，地上部分得不到足够的水分和养分。同样，当土壤容重小于 0.9 g/cm^3 ，也会导致土壤水分和养分匮乏，植物根系生长细弱，出现枝叶焦枯的现象。广州绿地绝大多数属于壤土类，容重的变化幅度为 $0.86\sim1.61\text{ g/cm}^3$ ，平均为 1.38 g/cm^3 ，有 72% 的土样超过自然土壤的平均值。说明广州城市土壤已经受到一定程度的压实作用，但与香港行道树土壤相比（表土容重为 $1.43\sim2.63\text{ g/cm}^3$ ，平均为 1.67 g/cm^3 ），广州市绿地土壤的压实作用相对较小。

各功能区中容重最高的是商业区，其次是公园（表 2）。商业区和公园是城市人流最集中的地方，其土壤容重都是较大的，这也说明人为践踏作用对土壤容重的影响非常明显。新居住区建成的时间只有 2-4 年，而老居住区普遍都有 20 年以上的历史，受人为践踏影响的时间要长得多，所以后者的土壤容重也比前者要大。

2.3 土壤水溶性盐总量

土壤水溶性盐是土壤的一个重要属性，盐分能阻碍水分从土壤中向根内渗透和破坏原生质吸附离子的能力，引起原生质脱水，是限制植物生长的障碍因素。由于我国是水资源缺乏的国家，把城市污水用于园林绿化的比例在不断增加。但城市污水的含盐量较高，容易引起土壤盐渍化，污水中过高的 Na^+ 和 K^+ 还会引起土壤颗粒分散，物理性质恶化^[9]。一般来说，土壤溶液电导率在 $0.30\sim1.50\text{ ms/cm}$ 之间，能满足植物生长发育的需要。实验结果显示，广州土壤的电导率值有 97.2% 落在这个范围内，电导率变化幅度为 $0.18\sim1.26\text{ ms/cm}$ ，平均为 0.47 ms/cm 。可以说目前广州城市土壤并没有出现盐渍化的问题。新居住区的水溶性盐含量最高，这可能与该区绿化土壤主要来源于河涌污泥有关，河涌污泥普遍具有较高含盐量。

2.4 土壤 pH

酸碱性是土壤的一项重要化学性质，它直接影响到土壤中养分元素的存在形态和对植物的有效性，也影响到土壤中微生物的数量、组成和活性。pH 值太高或者太低都会不利于土壤中正常的化学反应。我国土壤的酸碱度分为 7 级：强酸性（ $\text{pH} < 4.5$ ）、酸性（ $\text{pH} 4.5\sim5.5$ ）、弱酸性（ $\text{pH} 5.5\sim6.5$ ）、中性（ $\text{pH} 6.5\sim7.5$ ）和弱碱性（ $\text{pH} 7.5\sim8.5$ ）、碱性（ $\text{pH} 8.5\sim9.5$ ）、强碱性（ $\text{pH} > 9.5$ ）。广州的赤红壤大多是由酸性花岗岩发育，其 pH 值一般在 $4.0\sim5.5$ 属于强酸性或酸性。有报道^[7] 指 1998 年广州城市公园自然森林群落表层土壤的 pH 平均值为 4.18 基本上都在华南红壤的变化范围内，这说明比较接近自然状态的公园土壤是呈酸性的。

从实验结果看，土壤 pH 值变幅为 $5.00\sim8.34$ 中值为 7.15 pH 值相对于自然土壤明显增大，只有 27.8% 的土样呈酸性或弱酸性，中性和弱碱性土样所占的比例皆为 36.1%。此结果与 2003 年胡素英等^[8] 对广州大型园林工程土壤的 pH 值监测结果是相符的，该研究发现被测土样以中性至碱性为主，平均值为 7.1。出现这一现象主要有两方面的原因，一方面，城市绿地土壤绝大多数来源于客土，在园林植物种植之前，工程施工单位普遍采取一些改土措施，可能会把酸性土壤改成碱性土。另一方面，绿地土壤明显受到各种人为废弃物的影响，土壤中常常混有建筑废弃物、水泥和其他碱性混合物等，其中的 Ca 向土壤中释放，从而使土壤化学环境发生演变，背离了同地带自然土壤受酸雨和酸性物质沉降影响而酸化的趋势。在所有的功能区中，公园土壤的 pH 值最低（表 2），可能是因为公园土壤主要来源于原生自然土壤，而且较少受到工业废物和建筑垃圾的直接影响，较好的保持了自然状况下的特点。

2.5 土壤有机质

土壤有机质常作为反映土壤潜在肥力的主要指标，它是植物氮、磷、钾的主要营养来源。有机质含量不仅取决于自然因素，如气候、地形与土壤质地、生物条件、成土年代，也取决于人类生产活动，如利用方式、施肥与灌溉等管理措施。在自然植被条件下^[9]，砖红壤和赤红壤表土层的有机质平均含量为 $40.4(\pm 14.1)\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。从实验结果看，广州城市绿地土壤有机质的变化幅度很大，变化范围为 $11.96\sim115.76\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，平均值为 $29.28\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，低于 $40.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的土壤所占比例达 86%，也就是大部分被测土壤有机质含量比原赤红

母质土壤低，体现了下降的趋势。这个结果与南京市和开封市城市土壤研究得出有机质具有积累趋势的结论是不相同的^[1]，说明了城市化对土壤影响的复杂性。

表 2 各功能区表层土壤的的若干特性
Tab. 2 The properties of surface soil in different zones

项目	商业区	交通区	老工业区	新开发区	老居住区	新居住区	公园
容重 $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.46	1.37	1.33	1.36	1.39	1.37	1.40
pH 值	6.81	7.34	7.07	7.00	7.16	7.15	6.30
电导率 $(\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1})$	0.65	0.47	0.41	0.47	0.40	0.72	0.42
有机质 $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	21.92	24.00	51.80	29.84	21.56	30.52	30.94
全氮 $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.82	0.91	1.09	0.77	0.76	0.95	1.00
全磷 $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.38	0.31	0.26	0.26	0.42	0.48	0.36

老工业区的有机质含量最高（表 2），显著高于其他功能区，甚至比最接近自然状况的公园土壤还要高 60%，体现了积累的趋势，积累的有机质主要是由于受到化学废弃物的侵入，特别是有机污染物较多。而其它功能区的有机质含量则比公园要低，体现了下降的趋势，可能是由于其它功能区植物的落叶、残枝，常作为垃圾被清除运走，使土壤的营养循环中断，得不到树木凋落物中有机质的补充。

2.6 土壤全氮

氮元素是构成蛋白质的主要元素之一。土壤中的氮供应不足，会影响树木的生长速度，使树木变得矮小，叶子颜色变淡，变黄，影响树木的观赏性。广州绿地土壤全氮含量范围为 0.50~1.98 g·kg⁻¹，平均值为 0.89 g·kg⁻¹，有 97.2% 的土样低于自然植被条件下赤红壤的含氮平均值（1.67 g·kg⁻¹）^[9]。说明广州城市土壤氮素含量非常缺乏，主要原因在于城市土壤少施氮肥，外源氮素较少，且枯枝落叶等有机分解物质较少。由表 2 可知，老工业区的含氮量最高，其次为公园。可能是老工业区的某些样点受到了附近化工厂生产的含氮有机物的污染而检出较高值。

2.7 土壤全磷

磷是重要的生命元素，是构成核酸、卵磷脂等重要物质的成分，对细胞分裂和分生组织的生长是必不可少的。磷元素若供应不足会影响植物的根系发育，延缓树木的成熟。从实验结果看，广州土壤中的全磷含量处于正常偏高水平，与我国南方花岗岩、砂页岩、第四纪红色粘土和红砂岩母质形成的土壤含磷量（范围为 0.13~0.35g·kg⁻¹）相比只是略高些^[9]。全磷含量平均为 0.33g·kg⁻¹，变幅为 0.12~0.77g·kg⁻¹，有 30.6% 样品含磷量高于 0.35g·kg⁻¹，这个结果与南京城区土壤磷元素平

均含量达到约 5g·kg⁻¹是不相同的^[4]。根据实验结果（表 2），新居住区的 P 含量最高，有机质和 N 含量也是仅次于老工业区和公园，这可能与新居住区的园林绿化用土大多取自河涌污泥有关，河涌污泥中的有机质和 N、P 含量都比较丰富。

3 土壤肥力评价

城市绿地土壤作为绿色植物生长的介质和养分的供应者，其肥力对植物的生长具有重要意义，也决定了城市绿化建设的成败。本文采用修正的内梅罗综合指数法对土壤肥力进行综合评价，评价的指标主要有：容重、机械组成、pH 值、电导率、有机质、全氮、全磷（表 3~4）。

表 3 评价指标与土壤功能的联系
Tab. 3 The relationship between evaluation factors and soil functions

质量评价指标	与土壤功能的联系
容重	淋溶、生产和侵蚀潜力
机械组成	水分和化学物质的保持和传输
pH 值	定义生物和化学活性阈值
电导率	定义植物和微生物活性阈值
有机质、氮、磷	定义土壤肥力、稳定性和侵蚀范围

表 4 土壤各属性分级标准
Tab. 4 The classification indexes of soil properties

土壤属性	x_a	x_b	x_c
容重 $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.45	1.35	1.25
电导率 $(\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1})$	1.5	0.9	0.3
pH 值	4.5	5.5	6.5
有机质 $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	10	20	30
全氮 $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.75	1.5	2.0
全磷 $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.2	0.4	0.8

3.1 评价方法

对参数进行标准化，处理的方法如下：当属性值属于差的一级，即 $c_i \leq x_a$ 时， $p_i = c_i / x_a$ ($p_i \leq 1$)；当属性值属于中等一级，即 $x_a < c_i \leq x_b$ 时， $p_i = 1 + (c_i - x_a) / (x_b - x_a)$ ($1 < p_i \leq 2$)；当属性值属于较好一级，即 $x_b < c_i \leq x_c$ 时， $p_i = 2 + (c_i - x_b) / (x_c - x_b)$ ($2 < p_i \leq 3$)；当属性值属于好的一级时，即 $c_i > x_c$ 时， $p_i = 3$ 式中， p_i 为属性分系数， c_i 为该属性测定值， x_a, x_b, x_c 为分级指标 (表 4)。通过标准化后，同一级别的各属性分肥力系数比较接近，便于对比分析，当某属性测定值超过好的标准 (即 $c_i > x_c$) 时，分肥力系数也不再提高，这反映植物生长对某属性的要求并不是越高越好，与生产实践是相符的。由于对机械组成分析后给出的是非量化参数，因此分系数确定为：粘壤土、粉 (砂) 质壤土为 $p_i = 3$ ；壤土、砂质壤土为 $p_i = 2$ ；砂土类、粘土类为 $p_i = 1$ 。

采用修正的内梅罗公式计算综合肥力系数： $P = [(n - 1)h] \times [0.5 \times (P_{i平均})^2 + (P_{最小})^2]^{0.5}$ 。式中： P 为土壤综合肥力系数， $P_{i平均}$ 为土壤各属性分肥力系数的平均值， $P_{最小}$ 为土壤各属性分肥力系数的最小值，为了突出土壤属性中最差一项指标对肥力的影响，采用 P_i 最小代替原内梅罗公式中的 P_i 最大。为了反映可信度，增加修正项 $(n - 1)h$ ，即参评土壤属性项目 (n) 越多，可信度越高。假设肥沃这一级别的分肥力系数的平均值和最小值皆为 3 根据综合肥力系数计算公式得到 $P = 2.57$ ，如此类推得到良好级别，一般级别的 P 值分别为 1.71、0.86 因此可以认为， $P > 2.57$ 表示土壤肥沃； $1.71 < P \leq 2.57$ 为良好， $0.86 < P \leq 1.71$ 为一般； $P \leq 0.86$ 为贫瘠。

3.2 土壤肥力评价结果

肥力综合系数变化范围为 1.05 ~ 2.11，平均值为 1.46 有 94.4% 土样的评价结果为一般，5.6% 为良好。整体来说，广州绿地土壤的肥力状况有待改善。各功能区的综合肥力系数差异比较小 (图 1)。新居住区的 P 值最大，为 1.60 仅处于一般的水平，其次为公园，新居住区的肥力系数比公园土壤还高，是因为新居住区的园林土壤主要取自富含氮、磷和有机质的河涌污泥，而且新居住区的物业管理较为规范，有定期的园林施肥，也较少出现人为践踏现象。老工业区的系数与公园几乎相当，主要是由于老工业区的部分土壤受到有机化学污染物的影响使得有机质和全氮的含量较高。老居民区、交通区和商业区由于长期受到人类活动的影响，土壤中建筑垃圾和生活垃圾的侵入对土壤性质

产生了不良影响，对绿地过度的压实和践踏也使土壤结构发生退化，所以土壤肥力都处于较低水平，其中以商业区的肥力系数为最低。

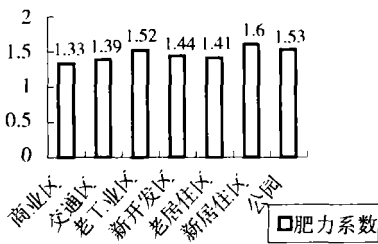


图 1 各功能区土壤肥力系数
Fig. 1 Soil quality coefficient in different zones

4 结 论

(1) 城市土壤来源复杂，剖面层次混乱，与自然土壤相比 pH 值趋向中性或碱性。除了公园土壤呈弱酸性外，其他功能区土壤皆呈中性或碱性，说明城市土壤表层明显受到人为废弃物的影响，使城市土壤化学环境向石灰性演变。

(2) 城市土壤压实现象严重，主要是受到人为践踏和车辆碾压。商业区的容重最大，其次为公园。受到人为废弃物和建筑垃圾的影响，广州绿地土壤以偏砂性壤土为主，部分土壤明显富含砂粒，呈现不良的质地构型。

(3) 与自然土壤相比城市土壤有机质和全氮含量有下降的趋势，全磷含量则略高，除了老工业区由于受到化学废弃物污染而导致有机质和全氮含量显著高于自然土壤外，其他功能区土壤都低于比较接近自然状况的公园土壤。

(4) 城市土壤肥力状况有待改善，综合肥力系数普遍不高。新居住区的园林土壤主要取自含氮、磷和有机质丰富的河涌污泥，所以肥力系数最高。老工业区的部分土壤由于受到了有机化学污染物的影响，使有机质和氮、磷含量变得异常，其肥力系数也较高。

参考文献:

[1] 吴新民, 潘根兴, 姜海洋, 等. 南京城市土壤的特性和重金属污染的研究 [J]. 生态环境, 2003 12(1): 29 - 23
[2] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤的特性及其分类的初步研究 [J]. 土壤, 2001(1): 47 - 51.
[3] JM C Y. Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth [J]. Urban Ecosystems 1998 2 171 - 178. (下转第 58 页)

Synthesis and Preliminary Optical Study of Coumarin Derivatives

SUN Yi-feng¹, XU Yan-mei², LIANG Hui-fei¹, ZHANG Dong-di³,
LU Jing-rong³, PAN Wei-bing¹, SONG Hua-can¹

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China
2. College of Materials and Chemical Engineering Zhengzhou University of Light Industry
Zhengzhou 450002, China
3. Department of Chemistry, Taishan University Taian 271024, China)

Abstract Twelve compounds containing coumarin fragment were synthesized. Their structures were established by ¹H NMR, ¹³C NMR and MS methods. Their optical behaviors were investigated preliminarily by their λ_a , ϵ , λ_e and Stokes shift. The results showed that these compounds possess a high ϵ values and a low Stokes shift values, it is worthy for them to be investigated further as optical emission materials.

Key words synthesis; coumarin; λ_a ; λ_e .

(上接第 35 页)

[4] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000. 178

[5] CRAUL P J. A description of urban soil and their desire characteristics [J]. Journal of Agriculture, 1985, 11 (11): 330 - 339

[6] 廖金凤. 城市化对土壤环境的影响 [J]. 生态科学, 2001, 20 (1): 91 - 95.

[7] 管东生, 何坤志, 陈玉娟. 广州城市绿地土壤特征及其对树木生长的影响 [J]. 环境科学研究, 1998, 11 (4): 51 - 54

[8] 胡素英, 刘豫明. 广州地区园林土壤质量现状分析 [J]. 广东农业科学, 2003 (5): 36 - 38

[9] 文启孝, 林心雄. 红壤地区土壤有机质的含量特征 [M]. /李庆逵. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1983. 119 - 127.

A Study on the Soil Properties of Urban Green Space in Guangzhou and the Impact of Human Activities on Them

ZHUO Wei-shan¹, TANG Jin-feng¹, GUAN Dong-sheng²
(1. Laboratory Center Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082, China
2. Department of Environmental Science Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract The soil properties of Guangzhou urban vegetation and the distribution regulations in different functional zones were studied to analyze the possible influence of human activities and assessed the soil quality. The results indicated that the surface soil was dominated by sandy loam and light bam. Surface soil had high gravel content, high bulk density. The pH values of soil were distinctly high as compared with natural soils and dominated by neutrality and alkali. Soil organic matter and total N were low, but total P was a little higher than natural soils. The order of soil quality coefficient in functional zones was new residence > old industry > newly developed > old residence > traffic area > inner commercial > park.

Key words soil properties; green space; functional zones; Guangzhou city