

## 城市有机废弃物对城市绿地土壤生态功能的维护作用

梁 晶, 方海兰

(上海市园林科学研究所 土壤营养研究部, 上海 200232)

**摘要:** 在阐明城市绿地土壤具有提供植物生长载体、维护城市物质和能量循环、涵养城市水源等生态功能的基础上,总结了国内外城市绿地土壤普遍存在压实严重、通气性差、营养贫瘠和污染严重等现状。并根据城市绿地土壤生态功能的维护可与有机废弃物循环利用相结合的原理,介绍了城市有机废弃物(包括城市污泥、矿化垃圾和绿化植物废弃物)有效利用能促进植物生长、改善土壤和提高雨水渗透能力等重要作用。最后,结合中国实际,提出应从加强政策支持、制定技术指南和加强协调管理等3个方面,促进城市有机废弃物的有效利用。参 49

**关键词:** 城市绿地土壤; 生态功能; 污泥; 矿化垃圾; 绿化植物废弃物; 综述

**中图分类号:** S156.99      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-5692(2010)02-0292-07

## Maintenance of urban organic wastes on ecological function of urban green-belt soils

LIANG Jing, FANG Hai-lan

(Research Department of Soil Nutrition, Shanghai Institute of Landscape Gardening, Shanghai 200232, China)

**Abstract:** On the basis of generalizing the ecological functions of urban green-belt soils, which consist of providing the medium of plant growth, maintaining the cycle of the matter and energy, and retaining water, the status in urban green-belt soils of domestic and abroad is summarized in this paper: severe soil compaction, low porosity, poor nutrition and heavy contamination. According to the theory of maintaining ecological functions of urban green-belt soils by utilizing organic wastes to local condition, the significant effects of organic wastes, such as increasing nutrition, abating contamination and retaining water, were introduced. Finally, in accordance with the conditions in China, some suggestions about the policy, technique, and management of organic matter utilization were put forward. [Ch, 49 ref.]

**Key words:** urban green-belt soil; ecological function; sludge; mineralized waste; green waste; review

绿地作为城市景观的一个元素,是城市中唯一接近于自然的生态系统。有人把城市绿地的这种作用归入生态系统的服务功能或称为自然的服务(nature's service)<sup>[1]</sup>。城市绿地土壤作为植物生长的介质,是整个绿地系统的基础。绿地能产生多大的环境与美学价值,在很大程度上取决于其土壤质量。由于人为干扰严重和养护不到位,城市土壤生态功能逐渐退化或彻底丧失,如果城市土壤长期得不到维护,势必影响到整个城市的生态建设,因此,城市绿地土壤不良性状的改良迫在眉睫<sup>[2]</sup>。随城市化的快速发展,城市废弃物也越来越多。以上海为例,生活垃圾产量高达 1.5 万 t·d<sup>-1</sup>,干污泥产量达到了 772 t·d<sup>-1</sup>,行道树修剪产生约 10 万 t·d<sup>-1</sup>的树枝<sup>[3-4]</sup>。如果这些废弃物处理不妥当,不仅造成资源和财力的浪费,还存在二次污染等潜在危害。如果将这些有机废弃物合理应用到城市绿地土壤上,不但能提高城市绿地土壤肥力,恢复其生态功能,而且可以解决部分城市废弃物处理处置的难题。总之,

收稿日期: 2009-02-23; 修回日期: 2009-06-02

基金项目: 上海市建设委员会绿化局专项资助项目(ZX050205)

作者简介: 梁晶, 硕士, 从事城市土壤质量评价与废弃物土地利用研究。E-mail: liangjing336@136.com。通信作者: 方海兰, 教授级高级工程师, 从事城市土壤质量评价与废弃物土地利用研究。E-mail: fhl\_1969@126.com

如能将城市绿地土壤生态功能的维护与城市有机废弃物的循环利用相结合，将对减轻城市环境压力，提高城市绿地土壤肥力，促进城市节能减排和生态环境建设有非常重要的意义。

## 1 城市绿地土壤生态功能

城市土壤是城市生态系统的重要组成部分，具有以下重要生态功能：①满足园林植物生长的需要。城市绿地土壤是植物生长的载体，可提供植物生长必须的氮磷钾等营养元素，因此，土壤质量决定了植物的长势和绿地的生态景观效果。作为城市生态环境的直接调节者，城市绿地土壤质量直接决定了城市生态环境质量<sup>[5]</sup>。②是城市物质和能量循环过程中的重要组成部分。城市土壤是多种元素的储存库，是土壤微生物的栖息地和能量来源。土壤微生物作为生态系统中的分解者，在有机质的矿化、腐殖质的形成和分解、植物营养的转化等诸多过程中起着不可替代的作用，推动着生态系统的能量流动和物质循环<sup>[2]</sup>。③对城市水源涵养起着重要的调节作用。随着城市规模不断扩大，城市几乎被不透水的表面所覆盖，不仅改变了城市地表生态环境的结构和功能，也改变了自然界水分循环的过程和强度<sup>[6]</sup>。在雨水季节，城市绿地土壤作为雨水下渗的通道，不仅能减弱暴雨灾害，减轻城市排水压力，补充地下水，减少地面沉降，还能对雨水进行过滤和净化<sup>[7]</sup>；在干旱季节，植物或土壤的蒸发作用直接向空气中提供水分，增强空气的湿度。总之，城市绿地土壤通过自身和对绿色植物的各项功能，净化了城市的生态环境，对整个城市的可持续发展有着非常重要的作用。

## 2 城市绿地土壤肥力现状

### 2.1 土壤肥力不能满足园林植物生长的需要

2.1.1 城市绿地土壤物理性质改变 土壤物理性质恶化是导致植物死亡的主因，美国中心公园 95%植物死亡由土壤理化性质较差引起<sup>[8]</sup>。城市绿地土壤大多具有机械组成不合理、容重大、通气性差等特征。自然土壤的容重一般为  $1.30 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  左右，上海市规定绿化种植土的容重应小于  $1.35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。研究发现，上海 42.45%典型绿地土壤容重大于  $1.35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ <sup>[9]</sup>，可见容重偏高是影响其质量的主因之一。

2.1.2 城市绿地土壤养分贫瘠 虽然土壤的养分贫瘠不会直接导致植物的死亡，但对植物的生长势具有严重影响。土壤有机质、氮磷钾等的含量直接影响植物的养分供应。自然土壤中的有机质主要来源于动植物残体及根系分泌物等，而城市绿地土壤中养分的变化比较复杂。一方面，城市绿地土壤的枯枝落叶被当作垃圾清除，中断了土壤与植物间的养分循环；另一方面，城市化导致大量的灰尘进入土壤，为土壤补充养分<sup>[10]</sup>。但总体而言，城市绿地土壤普遍养分缺乏<sup>[10-14]</sup>。重庆、深圳、厦门、广州和香港等绿地土壤氮磷处于缺乏或中等水平，而上海新建绿地土壤碱解氮和有效磷总体上偏低，有机质同样处于较低水平<sup>[9-10]</sup>。钾和全国土壤调查结果相似，一般不缺乏<sup>[9,12]</sup>。土壤酸碱性能影响土壤营养元素的赋存形态及它们对植物的有效性，微生物的数量、组成和活性，植物适宜生长的 pH 值一般为 6.5 ~ 7.5。高 pH 值是城市绿地土壤的共性<sup>[14-15]</sup>。即使地处典型的酸性砖红壤地带的广州，其辖区内大型园林工程土壤的 pH 值也以中性至碱性为主，平均值为 7.1<sup>[16]</sup>；而上海新建绿地土壤 38.37%为碱性，48.11%为强碱性<sup>[9]</sup>，当然这可能和上海是冲击平原的成土因素有关。

### 2.2 城市绿地土壤污染普遍

与农业土壤相比，城市土壤不进行粮食生产，但依然会与人发生接触，从而对人们的身体健康产生不利影响。Bullock 等<sup>[17]</sup>认为，由于高负荷的交通和工业化生产，使城市土壤污染物的含量远远高于一般农业土壤。其中大量碎石、瓦块、水泥、石灰等建筑垃圾的存在是导致植物根系生长受限的首要因素，如深圳部分城市绿地土壤砾石含量高达 91%<sup>[12]</sup>。其次，城市绿地土壤作为城市重要的环境介质之一，也是环境中重金属、多环芳烃等污染物的储存库和中转站。Biols 等<sup>[18]</sup>认为城市中污染源较多，可释放大量重金属和多环芳烃等污染物进入大气和土壤，城市绿地土壤-植物系统受污染较为严重。从空间上看，重金属和多环芳烃均具有沿城区—郊区—乡村逐渐降低的趋势<sup>[19-21]</sup>。在城市的不同功能区，重金属的分布也呈现出一定的规律性，通常表现人类活动密集的闹市区、广场和老工业区污染最为严重，居民区、公园、风景区等污染相对较轻<sup>[22-23]</sup>。对上海世界博览会规划地不同功能区绿

地土壤的重金属<sup>[24]</sup>以及上海3条主要交通干线绿地土壤多环芳烃的调查研究得出了相似的结论<sup>[25]</sup>。

### 3 城市有机废弃物对城市土壤生态功能的维护

众所周知,城市绿地土壤的生态功能非常重要,但鉴于城市绿地土壤质量现状,城市土壤的生态功能发生了转变或丧失<sup>[26]</sup>。因此,如何进行城市绿地土壤功能的维护,保持土壤肥力的可持续发展尤为关键。有机废弃物具有丰富的养分,循环利用能切实可行地提高土壤肥力,在这方面,西方发达国家做出了比较好的典范。在美国等园艺发达国家,城市绿化已经走出了利用自然土壤的传统年代,转而利用枯枝落叶、生活垃圾、生活污水等城乡废弃物来生产堆肥和基质来替代自然土壤,改善了土壤存在的板结、有机质低、通气性和透水性不良的现状,从而促进植物生长,改善土壤,净化污染物及提高雨水渗透能力等生态功能,同时也促进了废弃物循环利用,减轻了废弃物处理处置的压力,最终可以实现整个城市生态系统的良性循环。城市有机废弃物主要有城市污泥、城市矿化垃圾和绿化植物废弃物等,在城市绿地中的利用方式主要有堆肥和覆盖2种,其中堆肥一般针对生活垃圾、生活污水或绿化植物废弃物,而覆盖主要针对绿化植物废弃物,可直接覆盖也可堆肥后再覆盖。

#### 3.1 城市污泥对城市绿地土壤生态功能的维护作用

城市污泥是城市废水处理过程中产生的沉淀物质,含有大量有机质和氮磷钾等植物所需矿质营养元素。在发达国家,污泥的土地利用早已成为一条重要的处置途径,其中污泥林地应用的研究也较多。结果显示,林地施用城市污泥后,土壤水稳定性、团聚体、孔隙度等均有所增加<sup>[27]</sup>。新西兰林地污泥试验表明,施用污泥后森林地表枯枝落叶中氮的积累增加,土壤中可利用性氮含量有较大的提高;Keefe<sup>[28]</sup>指出施用污泥堆肥对土壤磷含量有显著提高作用。近年来,国内污泥堆肥也得到了比较广泛的应用。污泥堆肥用作草皮基质,不但能够提高黑麦草 *Lolium perenne* 生物量、增加草坪的密度和覆盖度,而且黑麦草的品质也得到了很大的改善<sup>[29]</sup>。对上海白龙港、程桥等14个污水处理厂的污泥进行研究发现,大多数污水处理厂污泥的总养分均大于  $40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,达到了农业部的有机肥质量标准。此外污泥的酸性性质(pH 6~7)也可降低上海绿地土壤上的pH值。

污泥也可用于污染的土壤上降解污染物。有研究表明,微生物种群的数量变化与毒性有机污染物的降解呈显著正相关关系<sup>[30]</sup>。而污泥的施用能增加微生物的数量,如Zhman等<sup>[31]</sup>通过施用污泥堆肥改良土壤试验发现,施污泥后细菌数和真菌数分别比不施污泥的高5~10倍和3~4倍,放线菌的数量也有一定的增加。微生物的数量及其活性随堆肥施用量的增加而增加<sup>[32]</sup>。Ten等<sup>[33]</sup>将腐熟堆肥施用在被石油污染的土壤上,石油类物质能很快被微生物降解。

污泥的有效利用能涵养城市的水源。莫测辉等<sup>[34]</sup>提出了利用城市污泥来改良土壤,防治水土流失的可能性和必要性。在28°坡地上施用污泥,发现在模拟降雨条件下,与对照相比土壤侵蚀率均有明显降低(减少侵蚀10%以上),降低程度与污泥的施用量成正比<sup>[35]</sup>。

虽然城市污泥对城市绿地土壤具有改良作用,但城市污泥含水量高,且含有重金属和多环芳烃等有毒物质,在绿地土壤上施用易造成重金属的累积,有二次污染的潜在可能性;而且含有大量的病原菌,因此,应脱水后堆制堆肥方可施用。此外,盐分高也是限制污泥绿地土壤利用的一个因子,所以在盐分含量高的绿地上应禁止施用污泥。

#### 3.2 城市矿化垃圾对城市绿地土壤生态功能的维护作用

矿化垃圾是一个广义的概念,至今尚无统一标准,与垃圾在填埋场中的稳定化过程密切相关。主要指基本稳定或部分稳定化的垃圾,可资源化利用的部分,并非指完全无机化或矿化的垃圾。由于矿化垃圾经过多年的厌氧发酵,除一些难降解的玻璃、金属、橡胶、塑料等物之外,大部分有机质得到了较充分降解,使垃圾变为了一种类似腐殖质的颗粒状土壤物质,且含一定的氮磷钾等营养元素,所以矿化垃圾可以进行土地利用。目前,矿化垃圾农用的研究较多,上海老港填埋场6a和10a矿化垃圾的研究表明,6a矿化垃圾细料中有机质和营养物质满足《GB 8172-1987 城镇垃圾农用的控制标准》<sup>[36]</sup>。矿化垃圾在园林绿化上运用的研究并不多见,本课题组的研究表明,矿化垃圾对园林植物的生长有利,但须与污泥等有机废弃物合理混配使用<sup>[37]</sup>。因此,城市矿化垃圾可以用于园林绿化,但矿

化垃圾的粒径、有机质含量、营养元素含量及重金属含量是限制它们广泛应用的因素。

### 3.3 城市绿化植物废弃物对城市绿地土壤生态功能的维护作用

绿化植物废弃物主要是指园林植物自然凋落或人工修剪所产生的植物残体，主要包括树叶、草屑、剪枝等，也有研究者称之为园林垃圾。其主要成分为木质纤维素。目前，国外绿化植物废弃物的循环利用已相当普遍，如将绿化植物废弃物堆制后用于改良土壤、覆盖、盆栽等。美国就是通过绿化植物废弃物覆盖来改良土壤的典型国家之一，也拥有相应的园林覆盖技术规范<sup>[3]</sup>。

目前，北京、深圳、上海等已开始重视绿化植物废弃物的处理处置，主要是将绿化植物废弃物收集进行粉碎堆制后作为基质用于园林绿化。事实上，绿化植物废弃物堆肥也是一种非常有价值的有机肥料和土壤调节剂，能提供营养元素和腐殖质<sup>[38]</sup>。De Bertoldi 等<sup>[39]</sup>认为绿化植物废弃物堆肥在城市绿地土壤上的合理运用有利于植物生长。研究已经表明<sup>[40-41]</sup>，有机废弃物堆肥在给植物提供营养的同时，也可以通过增加水分渗透和持水力，减少蒸发，抑制杂草等多种作用。另外，有机覆盖物可比裸地增加土壤含水量 35% 至 2 倍以上<sup>[42-43]</sup>。我们在上海华上路绿地实验也得出了相似的结果<sup>[44]</sup>，绿化植物废弃物堆肥可以提高土壤持水能力，降低强碱性深层土壤 pH 值，增加土壤有机质、氮磷等养分含量，土壤微生物也有明显增加。此外，园林废弃物覆盖对地表径流有明显的拦阻效应<sup>[45]</sup>。由于绿化植物废弃物在分解过程中能形成丰富的微生物群落，因此，对除草剂、杀虫剂等土壤有害化学物质有一定的降解作用<sup>[46-47]</sup>。最新研究还表明，木片和堆肥混合物还能通过配位固定作用减少土壤重金属污染的毒害作用<sup>[48]</sup>。绿化植物废弃物与污泥、生活垃圾等有机废弃物相比更具有土地利用优势。污泥和生活垃圾等城市固体有机废弃物堆肥中铅镉汞等重金属污染物含量高<sup>[49]</sup>，其土地利用的风险性也大，相比较而言，绿化植物废弃物更加清洁安全，因此，土地利用的价值更高。

## 4 中国城市有机废弃物利用存在的问题及发展对策

有机废弃物土地利用对维护城市土壤生态功能有重要作用，但若有机废弃物使用不当反而会带来各种危害。有机废弃物质量直接关系到其利用效果，如含有一定盐分和有毒有害物质(如重金属等)的污泥等堆肥，施用不当会引起土壤的盐渍化或二次污染的潜在可能；有机废弃物不合理利用也会给生态环境带来一些负面影响，如有机废弃物覆盖太厚，大气和土壤之间的气体、水分交换降低，导致植物根部窒息死亡；覆盖材料太小，往往易被风刮走或被雨水冲走，起不到覆盖的作用。因此，要实现有机废弃物对城市土壤生态功能的促进作用，必须确保有机废弃物的质量和恰当的使用方法。在国外，有机废弃物利用率高、环境效益显著的一个重要原因是有一系列的技术标准和政策措施作为保障。美国关于城市固体废弃物土地利用的 EPA - 1993 法则，对立法保障、激励政策、技术加工工艺、产品质量标准以及应用技术规范等都有严格规定。中国城市有机废弃物利用率之所以低的重要原因是缺少相应的技术标准和产业政策。庆幸的是，近年来随着中国对城市生态环境的逐步重视，相应的工作已经开展，如颁布实施了《应用于园林绿化的城市生活污水污泥技术要求》《循环经济法》。有些城市还针对各自区域实情，制定了相应的有机废弃物土地利用政策。为加强对有机废弃物的合理利用，提高城市绿地生态功能，还需做好以下工作。

### 4.1 加强政策的扶持

循序渐进，先从政策引导，并早日立法禁止有机废弃物焚烧或减少填埋，从政策法规的角度确保有机废弃物土地利用的有效实施，规定有机废弃物土地利用的质量要求，并指定专门的出售点，从立法的角度为有机废弃物的土地利用提供政策保障，给经营有机废弃物处理的厂家提供购买机械所用贷款，同时降低税收和给予一定的政策性补贴，从而促进有机废弃物循环产业的形成。

### 4.2 加强城市有机废弃物土壤利用的研究，制定系列标准作为技术指南

如上所述，有机废弃物在城市土壤上利用的研究多集中植物营养和重金属污染上，对多环芳烃等有机污染物的研究相对较少，这方面的研究还有待加强。应制定有关城市绿地土壤的统一质量标准，分别就养分和污染进行规定。许多城市如上海和广州都有绿地土壤质量标准，但全国缺少一个比较系统的标准。目前，废弃物的标准只涉及污泥，绿化植物废弃物特别是系统的土壤改良材料、栽培基质

都缺少准入的技术标准,也应制定相应的技术标准,防止一些质量不合格的有机废弃物进入城市绿地土壤系统,给环境容量有限的绿地增添消纳的难题。

#### 4.3 加强协调管理

有机废弃物的处理处置涉及到各个行业,应该协调管理。如废弃物的分类处置,并非所有有机废弃物都能土地利用,只有污染物含量低养分含量高的废弃物才有土地利用的价值。绿化部门根据有机废弃物土地利用的准入标准加强检测和监督。另外,在土方施工时应控制机械和人群对城市绿地土壤过度压实和践踏,防止土壤通透性的恶化;尽可能避免城市建筑垃圾进入城市绿地土壤,一旦发现要尽早清除,减轻它们对土壤性质的破坏。

#### 参考文献:

- [1] DAILY G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* [M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [2] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤的特性及其管理[J]. 土壤与环境, 2002, **11** (2): 206 - 209.  
LU Ying, GONG Zitong, ZHANG Ganlin. Characteristics and management of urban soils [J]. *Soil Environ Sci*, 2002, **11** (2): 206 - 209.
- [3] 吕子文, 方海兰, 黄彩娣. 美国园林废弃物的处置及对我国的启示[J]. 中国园林, 2007, **23** (8): 92 - 96.  
LÜ Ziwen, FANG Hailan, HUANG Caidi. The disposing of green waste in USA and the inspiration for its utilization in China [J]. *J Chin Landscape Archit*, 2007, **23** (8): 92 - 96.
- [4] 王秀珍, 方海兰, 史志华. 城市生活污水和矿化垃圾中氮磷淋失的模拟研究[J]. 环境污染与防治, 2007, **29** (5): 336 - 339.  
WANG Xiuzhen, FANG Hailan, SHI Zhihua. Simulation on the movement of nitrogen and phosphorus in living sewage sludge from municipal and aged refuse [J]. *Environ Pollut & Control*, 2007, **29** (5): 336 - 339.
- [5] 项建光, 方海兰, 杨意, 等. 上海典型新建绿地的土壤质量评价[J]. 土壤, 2004, **36** (4): 424 - 429.  
XIANG Jianguang, FANG Hailan, YANG Yi, et al. Soil quality evaluation of some typical newly-established green belts in Shanghai [J]. *Soils*, 2004, **36** (4): 424 - 429.
- [6] SIEKER H, KLEIN M. Best management practices for stormwater-runoff with alternative methods in a large urban catchment in Berlin, Germany [J]. *Water Sci Technol*, 1998, **38** (10): 91 - 97.
- [7] 严晓, 王希华, 刘丽正. 城市绿地系统生态效益评价指标体系初报[J]. 浙江林业科技, 2003, **22** (2): 68 - 72.  
YAN Xiao, WANG Xihua, LIU Lizheng. Inquiry into ecological indicator system of urban greenland system [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2003, **22** (2): 68 - 72.
- [8] CRAUL P J. *Urban Soil in Landscape Design* [M]. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- [9] 方海兰, 陈玲, 黄懿珍, 等. 上海新建绿地的土壤质量现状和对策[J]. 林业科学, 2007, **43** (增1): 89 - 94.  
FANG Hailan, CHEN Lin, HUANG Yizhen, et al. Current situation and strategy for the soil quality of newly-established green belts in Shanghai [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43** (supp 1): 89 - 94.
- [10] 王良睦, 王文卿, 林鹏. 城市土壤与城市绿化[J]. 城市环境与城市生态, 2003, **16** (6): 180 - 181.  
WANG Liangmu, WANG Wenqing, LIN Peng. Urban soil and its relationship to landscape planting [J]. *Urban Environ & Urban Ecol*, 2003, **16** (6): 180 - 181.
- [11] 包兵, 吴丹, 胡艳燕, 等. 重庆主城区市街绿地土壤肥力质量评价及管理对策[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, **29** (11): 100 - 105.  
BAO Bing, WU Dan, HU Yanyan, et al. Assessment of soil fertility quality for urban green spaces in Chongqing City and measures for their management [J]. *J Southwest Univ Nat Sci Ed*, 2007, **29** (11): 100 - 105.
- [12] 卢瑛, 甘海华, 史正军, 等. 深圳城市绿地土壤肥力质量评价及管理对策[J]. 水土保持学报, 2005, **19** (1): 153 - 156.  
LU Ying, GAN Haihua, SHI Zhengjun, et al. Soil fertility quality assessment and managing measures for urban green space in Shenzhen City [J]. *J Soil Water Conserv*, 2005, **19** (1): 153 - 156.
- [13] 卓文珊, 唐建峰, 管东生. 城市绿地土壤特性及人类活动的影响[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, **46** (2): 32 - 35, 58.  
ZHUO Wenshan, TANG Jianfeng, GUAN Dongsheng. A study on the soil properties of urban green space in Guangzhou and the impact of human activities on them [J]. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni*, 2007, **46** (2): 32 - 35, 58.

- [14] JIM C Y. Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth [J]. *Urban Ecosyst*, 1998, **2**: 171 – 178.
- [15] 邓南荣, 吴志峰, 刘平, 等. 城市园林绿化用地土壤肥力诊断与综合评价[J]. 土壤与环境, 2000, **9** (4): 287 – 289.  
DENG Nanrong, WU Zhifeng, LIU Ping, *et al.* Diagnosis and integrated evaluation on soil fertility of urban garden land -A case study of Changhong Nursery of Guangzhou City [J]. *Soil Environ Sci*, 2000, **9** (4): 287 – 289.
- [16] 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.  
HU Suying, LIU Yuming. Analysis of garden soil quality status in Guangzhou[J]. *Guangdong Agric Sci*, 2003 (5): 36 – 38.
- [17] BULLOCK P, GREGORY P J. *Soils in the Urban Environment* [M]. Oxford: Blackwell, 1991.
- [18] BILOS C, COLOMBO J C, SKOURPKA C N, *et al.* Soucre, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata City area, Arigentina [J]. *Environ Pollut*, 2001, **111**: 149 – 158.
- [19] LAGERWERFF J V, SPECHT A W. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc [J]. *Environ Sci Technol*, 1970, **4**: 583 – 586.
- [20] 赵琦, 李萍, 周平. 成都市生态环境地球化学特点[J]. 四川地质学报, 2002, **22** (4): 231 – 235.  
ZHAO Qi, LI Ping, ZHOU Ping. Geochemical features of ecologic environment in Chengdu City [J]. *Acta Geol Sichuan*, 2002, **22** (4): 231 – 235.
- [21] WANG Zhen, CHEN Jingwen, QIAO Xianliang, *et al.* Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons from urban to rural soils; a case study in Dalian, China [J]. *Chemosphere*, 2007, **68**: 965 – 971.
- [22] 吴新民, 李恋卿, 潘根兴, 等. 南京市不同功能区土壤中重金属 Cu, Zn, Pb 和 Cd 的污染特征[J]. 环境科学, 2003, **24** (3): 105 – 111.  
WU Xinmin, LI Lianqing, PAN Genxing, *et al.* Soil pollution of Cu, Zn, Pb and Cd in different city zones of Nanjing [J]. *Chin J Environ Sci*, 2003, **24** (3): 105 – 111.
- [23] 陈立新, 赵淑萍, 段文标. 哈尔滨市不同绿地功能区土壤重金属污染及评价[J]. 林业科学, 2007, **43** (增刊 1): 65 – 71.  
CHEN Lixin, ZHAO Shuping, DUAN Wenbiao. Heavy metal contamination of soils and its evaluation in different green-belt region of harbin [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43** (supp 1): 65 – 71.
- [24] 方海兰, 郝冠军, 彭红岭, 等. 上海世博会规划区不同土地利用方式下附属绿地的重金属分布[J]. 生态学杂志, 2008, **27** (3): 439 – 446.  
FANG Hailan, HAO Guanjun, PENG Hongling, *et al.* Heavy meatal distribution in green-belt soils under different land use patterns in planning site of 2010 Shanghai World Exposition [J]. *Chin J Ecol*, 2008, **27** (3): 439 – 446.
- [25] 马光军, 梁晶, 方海兰, 等. 上海市主要道路绿地中多环芳烃的分布特征[J]. 土壤, 2009, **41** (5): 738 – 743.  
MA Guangjun, LIANG Jing, FANG Hailan, *et al.* Distribution characteristics of PAH, in green-belt soils from main roads of Shanghai [J]. *Soils*, 2009, **41** (5): 738 – 743.
- [26] 张甘霖, 朱永官, 傅伯杰. 城市土壤质量演变及其生态环境效应[J]. 生态学报, 2003, **23** (3): 539 – 546.  
ZHANG Ganlin, ZHU Yongguan, FU Bojie. Quality changes of soils in urban and suburban areas and its eco-environmental impacts —— a review [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23** (3): 539 – 546.
- [27] 周立祥, 胡霁堂, 戈乃玢, 等. 城市污泥土地利用研究[J]. 生态学报, 1999, **19** (2): 185 – 193.  
ZHOU Lixiang, HU Aitang, GE Naifen, *et al.* Study on utilization of municipalvseeage sludge in farmland and forest land [J]. *Acta Ecol Sin*, 1999, **19** (2): 185 – 193.
- [28] KEEFER R F. Meal-organic association in two extracts from nine amended with there sewage sludge [J]. *Agric Ecosyst Environ*, 1994, **5**: 151 – 165.
- [29] 李艳霞, 赵莉, 陈同斌. 城市污泥堆肥用作草皮基质对草坪草生长的影响[J]. 生态学报, 2002, **22** (6): 797 – 801.  
LI Yanxia, ZHAO Li, CHEN Tongbin. The municipal sewage sludge compost used as lawn medium [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, **22** (6): 797 – 801.
- [30] 刘余庆, 谢军, 周颖辉, 等. 城市污泥发酵处理中微生物对有机物的降解[J]. 中国环境科学, 1995, **15** (3): 215 – 218.  
LIU Yuqing, XIE Jun, ZHOU Yinhu, *et al.* Study of microbial degradation of organic compounds in fermentation treatment of urban sewage sludge [J]. *China Environ Sci*, 1995, **15** (3): 215 – 218.
- [31] ZHMAN M, DI H J, SAKAMOTO K. Effects of sewage sludge compost and chemical fertilizer application on micorbial biomase and N mineralization rates [J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 2002, **48** (2): 195 – 201.

- [32] GARCF-GIL J C, PLAZA C, SOLER-ROVIRA P. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass [J]. *Soil Biol Biochem*, 2000, **32**: 1907 – 1913.
- [33] TEN K H, KIRIENKO O A, IMORANOVA E L. Effect of photosynthetic bacteria and compost on degradation of petroleum products in soil [J]. *Appl Biochem Microbiol*, 2004, **40** (2): 181 – 185.
- [34] 莫测辉, 吴启堂, 蔡全莫, 等. 论测绘女冠是污泥农用资源化与可持续发展[J]. *应用生态学报*, 2000, **11** (1): 157 – 160.
- MO Cehui, WU Qitang, CAI Quanmo, *et al.* Utilization of multicpal sludge in agriculture and sustainable development [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2000, **11** (1): 157 – 160.
- [35] SORT X, ALCANIZ J M. Contribution of sewage sludge to erosion control in the rehabilitation of limestone quarries [J]. *Land Degrad Dev*, 1996, **7** (1): 69 – 76.
- [36] 詹艳慧, 王里奥, 林建伟. 生活垃圾堆放场及填埋场矿化垃圾综合利用研究进展[J]. *环境卫生工程*, 2005, **13** (6): 52 – 55, 58.
- ZHAN Yanhui, WANG Li'ao, LIN Jianwei. Research development of comprehensive utilization of stabilization refuse in domestic waste dumpling sites and landfill sites [J]. *Environ Sanitation Eng*, 2005, **13** (6): 52 – 55, 58.
- [37] 袁文, 张琪, 方海兰, 等. 矿化垃圾混配种植介质的盆栽实验研究[J]. *环境污染与防治*, 2008, **30** (1): 52 – 56, 71.
- YUAN Wen, ZHANG Qi, FANG Hailan, *et al.* Use of aged refuse as growing medium in potted greenery plants [J]. *Environ Pollut & Control*, 2008, **30** (1): 52 – 56, 71.
- [38] VOGTMANN H, FRICKE K, TURK T. Quality, physical characteristics, nutrient content, heavy metals and organic chemicals in biogenicwaste compost [J]. *Compost Sci Util*, 1993, **1** (4): 69 – 87.
- [39] DE BERTOLDI M, VALLINI G, PERA A. The biology of composting: A review[J]. *Waste Manage Resour*, 1983, **1**: 57 – 76.
- [40] HARTZ T K, COSTA F J, SCHRADER W L. Suitability of composted green waste for horticultural uses [J]. *Hortscience*, 1996, **31** (6): 961 – 964.
- [41] HOITINK H A J, STONE A G, HAN D Y. Suppression of plant diseases by composts [J]. *Hortscience*, 1997, **32** (1): 184 – 187.
- [42] GREENLY K M, RAKOW D A. The effect of wood mulch type and depth on weed and tree growth and certain soil parameters [J]. *J Arboric*, 1995, **21** (5): 225 – 232.
- [43] GLEASON M L, ILES J K. Mulch matters [J]. *Am Nurseryman*, 1998, **187** (4): 24 – 31.
- [44] 顾斌, 吕子文, 方海兰, 等. 绿化植物废弃物堆肥对城市绿地土壤的改良效果[J]. *土壤*, 2009, **41** (6): 940 – 946.
- GU Bin, LÜ Ziwen, FANG Hailan, *et al.* Effects of green plant waste compost on soil remediation in urban green belts [J]. *Soils*, 2009, **41** (6): 940 – 946.
- [45] 何常清, 于澎涛, 管伟, 等. 华北落叶松枯落物覆盖对地表径流的拦阻效应[J]. *林业科学研究*, 2006, **19** (5): 595 – 599.
- HE Changqing, YU Pengtao, GUAN Wei, *et al.* The effect of ground covering by litter of *larix principis-rupprechii* to reducing velocity of surface runoff [J]. *For Res*, 2006, **19** (5): 595 – 599.
- [46] 黄利斌, 李荣锦, 王成. 国外城市有机地表覆盖物应用研究概况[J]. *林业科技开发*, 2008, **22** (6): 1 – 8.
- HUANG Libin, LI Rongjin, WANG Cheng. Review on organic matters for soil cover in cities of foreign country [J]. *China For Sci Technol*, 2008, **22** (6): 1 – 8.
- [47] CHALKER-SCOTT L. Impact of mulches on landscape plants and the environment: a review [J]. *J Environ Hortic*, 2007, **25** (4): 239 – 249.
- [48] STINSON J M, BFINEN G H, MCCONNEL D B, *et al.* Evaluation of landscape mulches [J]. *Proc Florida State Hortic Soc*, 1990, **103**: 372 – 377.
- [49] HOGG D, BATH J, FAVOINO E, *et al.* *Comparison of Compost Standards Within the EU, North America and Australasia* [R]. Oxon: Waste and Resources Action Programme Committee, 2002: 37.