

## 绿地土壤孔隙度检测方法及其对土壤肥力评价的重要性

伍海兵<sup>1</sup>, 李爱平<sup>2</sup>, 方海兰<sup>1</sup>, 郝冠军<sup>1</sup>

(1. 上海市园林科学研究所, 上海 200232; 2. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 为研究不同测定方法对土壤孔隙度大小及孔隙度对土壤肥力的影响, 以上海辰山植物园典型绿地土壤和自然土壤为例, 分析农业和林业 2 种检测方法对土壤孔隙度测定结果的影响; 以上海世博会规划区典型土样为例, 分析主要物理指标对绿地土壤评价结果的影响。结果表明: 2 种方法测定绿地土壤孔隙度差异明显, 其中农业方法测定的总孔隙度、非毛管孔隙度均显著高于林业方法 ( $P < 0.05$ ), 但毛管孔隙度差异不显著; 2 种方法测定的自然土壤的孔隙度各组成差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 林业方法更适宜绿地土壤孔隙度的检测; 非毛管孔隙度比土壤容重对绿地土壤肥力影响大 ( $P < 0.01$ ), 应作为绿地土壤肥力评价的重要指标。图 1 表 2 参 22

**关键词:** 土壤学; 绿地土壤; 农业方法; 林业方法; 非毛管孔隙度; 土壤肥力

**中图分类号:** S151.9; S714.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2015)01-0098-06

## Green-belt soil testing methods for porosity and the importance of porosity on soil fertility evaluation

WU Haibing<sup>1</sup>, LI Aiping<sup>2</sup>, FANG Hailan<sup>1</sup>, HAO Guanjun<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institute of Landscape Gardening, Shanghai 200232, China; 2. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

**Abstract:** In order to discuss the influence of different testing methods for soil porosity and the importance of porosity on soil fertility. First, using typical green-belt soils and natural soils from Shanghai Chenshan Botanical Garden, two soil porosity testing methods, the agriculture method (NY) and the forestry method (LY) were compared. Then, the former Shanghai World Exposition Site was used to evaluate the influence on the fertility of green-belt soils by the main physical properties. Results for green-belt soils showed that except for capillary porosity, total porosity and non-capillary porosity with the NY method was much higher than the LY method ( $P < 0.05$ ). For natural soils, no porosity differences were found when comparing the two methods ( $P > 0.05$ ). Thus, in green-belt soils, the LY method was more suitable for testing porosities. Results of the green-belt soil fertility evaluation showed that non-capillary porosity influenced soil fertility evaluation more than soil bulk density ( $P < 0.01$ ). To evaluate the fertility of green-belt soils, non-capillary porosity should be applied as an important index. [Ch, 1 fig. 2 tab. 22 ref.]

**Key words:** soil science; green-belt soil; agriculture method; forestry method; non-capillary porosity; soil fertility

绿地土壤作为城市土壤中受人为严重干扰的特殊土壤类型, 有别于一般自然土壤或农业土壤, 具有自身特有的理化性质<sup>[1]</sup>。尤其是为了满足园林造景或特殊立地条件植物生长的需求, 大多绿地土壤为客土或人工合成土壤, 特别是循环经济理念的发展以及对绿化种植土要求的提高, 绿化植物废弃物、生活

收稿日期: 2014-04-14; 修回日期: 2014-05-27

基金项目: 上海辰山植物园专项基金资助项目(G102402)

作者简介: 伍海兵, 助理工程师, 从事城市土壤物理性质等研究。E-mail: wuhaibing22@163.com。通信作者: 方海兰, 教授级高级工程师, 博士, 从事城市土壤质量评价与有机废弃物土地利用等研究。E-mail: fh1\_1969@126.com

垃圾等有机废弃物改良的比例越来越高，如花坛、花境、屋顶绿化等特殊绿化地带甚至是利用有机基质、草炭、珍珠岩等各种改良材料替代自然土壤进行栽植<sup>[1-2]</sup>。与农业和林业上的自然土壤相比，绿地土壤的研究起步较晚。就研究内容而言，绿地土壤研究基本侧重于城市土壤污染或者土壤养分<sup>[3-4]</sup>，对绿地土壤的物理性质研究相对较少，其实中国园林植物长势不佳主要原因是绿地土壤物理性质不好，特别是土壤通气孔隙不好是引起绿地土壤肥力退化和植物生长不佳的主要原因<sup>[5-6]</sup>。就研究方法而言，绿地土壤的研究方法基本沿用农业或者林业现有的方法，对试验方法是否规范以及是否适宜绿地土壤则相对考虑较少，也很少有学者专门研究适宜绿地土壤的方法<sup>[7]</sup>。当农业和林业上研究方法一致时，绿地土壤只要参考其中一种就行，当农业方法和林业方法有差异时，绿地土壤该选择何种方法就存在歧义。最典型就是土壤孔隙度的测定，虽然原理同为环刀法，但农业土壤孔隙度测定方法是根据土壤风干或烘干的容重占土壤体积质量的比值来计算各种孔隙度组成，由于体积质量测定较为繁琐，体积质量一般取均值为  $2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ <sup>[8]</sup>；而林业土壤孔隙度测定方法则是测定不同时段下土壤所维持的水量来计算对应的土壤孔隙含量组成的<sup>[9]</sup>。由于农业方法采用的体积质量数值是参考农业上自然土壤的平均值，而林业方法是实测值，就理论而言，由于绿地土壤物质组成差异大，林业方法似乎更符合实际情况，但林业方法是通过测定不同时间段的土壤含水量来计算对应的孔隙度的，该方法是否更适宜绿地土壤孔隙度测定至今尚无定论，也直接影响了绿地土壤研究水平提高。由于土壤孔隙是土壤气相和液相物质转移的通道，其大小、数量和空间结构决定了土壤中物质转移的形式和速率，是评价土壤肥力特征和土壤储水性能的重要因素之一<sup>[10]</sup>，也是园林绿化工程设计和建设时必须重点控制的指标<sup>[11]</sup>。为明确适宜绿地土壤孔隙度的测定方法，并探讨孔隙度在绿地土壤肥力评价中重要性，本研究选择上海新建植物园——上海辰山植物园中几种典型的绿地土壤以及没有被人工破坏的自然山地土壤，采取农业和林业等 2 种方法分别测定其孔隙度组成，探讨这 2 种方法对测定土壤孔隙度结果的影响；同时以原上海世博会规划区域的典型绿地土壤为案例，探讨土壤孔隙度在绿地土壤肥力评价中的作用，以期建立适宜绿地土壤孔隙度的测定方法和肥力评价提供技术依据。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域概况

上海辰山植物园坐落于上海市松江区佘山国家旅游度假区内，占地面积 207.6 万  $\text{m}^2$ ，2007 年 3 月动工兴建，2011 年 1 月建成正式对外开放。除园区内原有的辰山山脉仍保持原有林地土壤特点没有人为破坏外，其余区域如各个专类园、温室、绿环均是经过人为改造形成人为土壤。辰山处于北亚热带季风湿润气候区，四季分明，年平均气温为  $15.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ，无霜期为 236.0 d，年平均日照时数为 1 817.0 h，降水量为 1 213.0 mm，年陆地蒸发量为 754.6 mm，最低气温为  $-8.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ，最高气温  $37.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

2010 年上海世博会会址位于距离上海市中心约 5.1 km 的区域，会址横跨黄浦江两岸，介于南浦大桥和卢浦大桥之间，总面积约为 5.3  $\text{km}^2$ ，其中浦西 1.4  $\text{km}^2$ ，浦东 3.9  $\text{km}^2$ 。

### 1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品的采集 辰山植物园：为选取典型绿地土壤，于 2013 年 10 月根据多点混合原则采取了人为践踏少、添加改良材料多的花坛、温室和部分专类园中 0~30 cm 的绿地土壤 10 个；同时采集人为干扰少的辰山山脉中林地自然土壤 10 个，采样方法和深度同绿地土壤。上海世博会原规划区：于 2006 年 7 月，在上海世博会园址规划之后和全面拆迁动工之前，选取厂内园林绿化区、路边绿化带和学校、居民区等园林绿化土壤为研究对象，总共采集 0~30 cm 的表层土壤 80 份<sup>[12]</sup>。

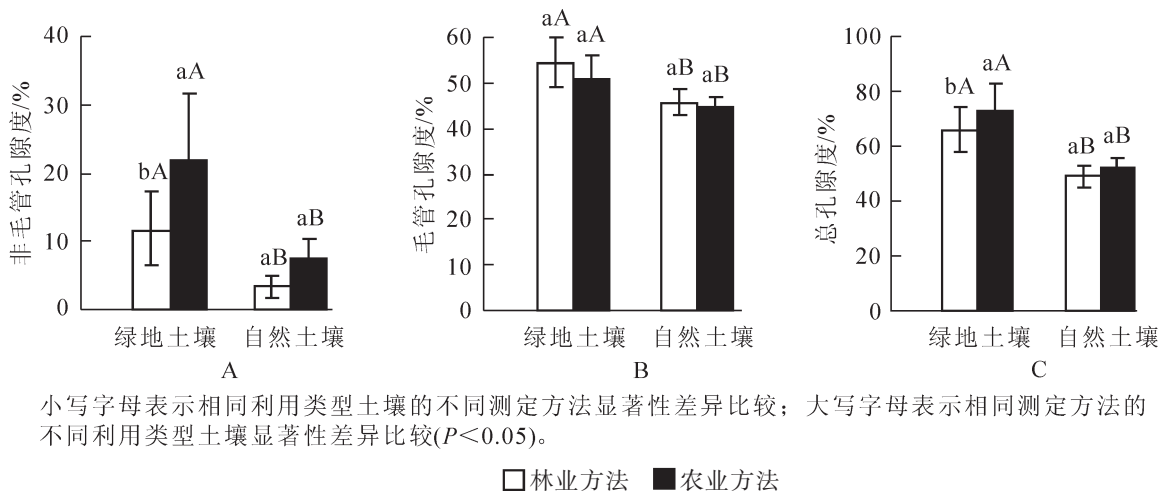
1.2.2 测定方法 农业土壤孔隙度测定方法：用环刀取待测土样，放入盛水培养皿，水深 2~3 mm，放置 8~12 h 或更久，称量，直至前后 2 次质量无显著差异，然后烘干至恒量。主要采用计算法，土壤毛管孔隙度(%)=土壤田间持水量(质量%) $\times$ 容重；土壤总孔隙度(%)=(1-容重/体积质量) $\times$ 100%，一般人为自然土壤的体积质量为  $2.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ；土壤非毛管孔隙度(%)=总孔隙度(%) $-$ 毛管孔隙度(%)；具体实验方法参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[8]</sup>。林业土壤孔隙度测定方法：用环刀取待测土样，放入培养皿，加水至环刀上沿，放置 12 h 或更久，可得最大持水量；放置在铺有干砂的平底盘 2 h，得毛管持水量；再放置 2~3 d，称量，为最小持水量；烘干至恒量。毛管孔隙度(%)=毛管持水量 $\times$ 土壤容重；非毛管孔

隙度(%)=(最大持水量-毛管持水量)×土壤容重；总孔隙度(%)=非毛管孔隙度+毛管孔隙度；具体实验方法参照国家林业行业标准《森林土壤分析方法》<sup>[9]</sup>。数据分析采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同测定方法和土地利用方式对土壤孔隙度影响

2.1.1 非毛管孔隙度 非毛管孔隙度是土壤空气流动的通道，是土壤快速储水的场所，非毛管孔隙度越大，表明土壤中可能吸持的无效水容量小，有效水的储存容量越大，是衡量土壤质量优劣的指标之一，尤其对绿地土壤质量评价具有重要意义<sup>[13-14]</sup>。从图 1A 可以看出：绿地土壤林业方法测定的非毛管孔隙度为 11.63%±5.33%，而农业方法测定结果为 21.97%±5.34%，是林业方法的 1.89 倍，两者存在显著差异( $P<0.05$ )。自然土壤非毛管孔隙度的林业方法是农业方法的 0.46 倍，2 种测定方法差异不显著( $P>0.05$ )。由此可见：不同测定方法对绿地土壤非毛管孔隙度测定结果影响较大，但对自然土壤影响较少。从图 1A 还可以看出：不同土地利用方式之间非毛管孔隙度差异显著，不管是林业方法还是农业方法测定的非毛管孔隙度，绿地土壤均显著高于自然土壤( $P<0.05$ )。



小写字母表示相同利用类型土壤的不同测定方法显著性差异比较；大写字母表示相同测定方法的不同利用类型土壤显著性差异比较( $P<0.05$ )。

□林业方法 ■农业方法

图 1 不同测定方法和土地利用方式对土壤孔隙度的影响

Figure 1 Effect of soil capillary porosity of different testing methods and land utilization types

2.1.2 毛管孔隙度 毛管孔隙度是土壤毛管水所占据的孔隙，主要用于植物根系吸收和土壤蒸发，是土壤孔隙的重要组成部分之一<sup>[15]</sup>。2 种方法测定的土壤毛管孔隙度分别为：绿地土壤，林业方法为 54.36%±5.48%，农业方法为 50.85%±5.34%，林业方法略高于农业方法，但差异不显著( $P>0.05$ )；自然土壤，林业方法为 45.65%±2.81%，农业方法为 44.49%±2.52%，林业方法略高于农业方法，差异不显著 ( $P>0.05$ )。林业方法测定的土壤毛管孔隙度略高于农业方法，但两者差异不显著，这与农业方法方法中没有引用体积质量平均值而是通过直接测定有关的。同样，不管是林业方法还是农业方法测定的毛管孔隙度，绿地土壤均显著高于自然土壤( $P<0.05$ ) (图 1B)，原因与非毛管孔隙度相同<sup>[14,16]</sup>。

2.1.3 总孔隙度 土壤总孔隙度是非毛管孔隙度和毛管孔隙度之和，是评价土壤储水性和肥力特性的基本特性之一<sup>[17]</sup>。从图 1C 可以看出：绿地土壤林业方法测得土壤总孔隙度为 66.01%±8.28%，而农业方法为 72.82%±9.72%，林业方法略低于农业方法，且 2 种方法差异显著( $P<0.05$ )；自然土壤，林业方法测定为 49.00%±3.82%，农业方法为 51.83%±4.16%，林业方法略低于农业方法，且两者差异不显著( $P>0.05$ )。由此可见：农业方法和林业方法对绿地土壤总孔隙度影响较大，但对自然土壤影响较少。同样，不管是林业方法还是农业方法测定的土壤总孔隙度均是绿地土壤显著高于自然土壤( $P<0.05$ ) (图 1C)。

### 2.2 非毛管孔隙度作为绿地土壤肥力评价的重要性评价

国际上常用的土壤肥力评价模型为内梅罗(Nemoro)综合指数法<sup>[18]</sup>。本研究利用郝冠军等<sup>[12]</sup>对上海世博会规划区 80 个典型绿地土壤的分析结果，采用修正的内梅罗公式计算<sup>[19-20]</sup>，如下：

$$P_0 = \sqrt{\frac{(\bar{P}_i)^2 + (P_{\min})^2}{2}} \times \frac{(n-1)}{n}$$

其中： $P_0$  为土壤肥力综合系数， $P_i$  为土壤肥力各分级系数的平均值； $P_{\min}$  为分级系数中的最小值， $n$  为土壤肥力评价因子数。利用  $P_i$  代替原内梅罗公式中  $P_{\max}$ ，突出了土壤属性中最差一项指标对土壤肥力的影响，为了反映可信度增加了修正项  $(n-1)/n$ 。根据城市绿地土壤特点，选取土壤 pH 值、电导率、阳离子交换量、碱解氮、速效钾、有效磷、有机质、质地、容重以及非毛管孔隙度等 10 项指标构成土壤肥力评价因子(即表 1 中的处理 1)<sup>[7,12]</sup>。为进一步验证土壤物理指标在绿地土壤肥力评价中重要性，对各项物理指标在评价中重要性逐一进行分析。由于 80 种土壤基本为上海典型砂壤土，所以物理指标中没有考虑质地的影响；其他分别设置了不包含非毛管孔隙度的另外 9 种评价因子(处理 2)；不包含容重的另外 9 种评价因子(处理 3)；同时，不包含容重和非毛管孔隙度的另外 8 种评价因子(处理 4)(表 1)。根据修正的内梅罗公式计算出不同处理的土壤综合系数，结果见表 2。其中处理 1 得出的土壤肥力综合系数均值为  $0.97 \pm 0.19$ ，土壤肥力为“一般”；而处理 2 土壤肥力综合系数为  $1.02 \pm 0.21$ ，土壤肥力虽然也为“一般”，但处理 2 与处理 1 相比土壤肥力综合系数提高了 5.15%，两者差异极显著( $P < 0.01$ )。由此可得：非毛管孔隙度对绿地土壤肥力综合系数影响显著，再次验证了非毛管孔隙度对绿地土壤肥力评价的重要性。处理 3 土壤肥力综合系数均值  $0.95 \pm 0.19$  与处理 1 相比无明显变化，而与处理 2 相比显著降低，两者差异极显著( $P < 0.01$ )。由此可见：土壤容重对绿地土壤肥力评价结果影响不明显，没有非毛管孔隙度对绿地土壤肥力评价影响大。处理 4 土壤肥力综合系数为  $1.01 \pm 0.21$ ，与处理 2 差异不显著( $P > 0.05$ )，而与处理 3 差异极显著( $P < 0.01$ )，进一步证明土壤非毛管孔隙度对绿地土壤肥力评价的重要性。

表 1 绿地土壤肥力不同评价因子

Table 1 Different evaluation factors for green-belt soil fertility

处理	因子数	绿地土壤肥力评价因子组成
1	10	pH 值, 电导率, 有机质, 碱解氮, 有效磷, 速效钾, 阳离子交换量, 质地, 容重, 非毛管孔隙度
2	9	pH 值, 电导率, 有机质, 碱解氮, 有效磷, 速效钾, 阳离子交换量, 质地, 容重
3	9	pH 值, 电导率, 有机质, 碱解氮, 有效磷, 速效钾, 阳离子交换量, 质地, 非毛管孔隙度
4	8	pH 值, 电导率, 有机质, 碱解氮, 有效磷, 速效钾, 阳离子交换量, 质地

进一步分析表 2 中不同处理的土壤肥力综合系数，虽然上海世博会原规划区域绿地土壤肥力基本上为“一般”或“贫瘠”，但不同处理对结果影响较大。如处理 1 中 43.57% 土壤肥力为“一般”，56.43% 为“贫瘠”；处理 2 土壤肥力为“一般”占 68.03%，较处理 1 提高了 56.76%；而处理 3 较处理 1 仅提高了 24.46%；但处理 4 与处理 2 土壤肥力综合系数的频率分布无明显变化。由此可见：土壤非毛管孔隙度对土壤肥力评价结果影响较大，而土壤容重相对较少。

表 2 不同处理的土壤肥力综合系数比较

Table 2 Soil fertility comprehensive coefficient comparison of different treatments

处理	土壤肥力综合系数	分布频率/%			
		$\geq 2.7$ 很肥沃 <sup>[18]</sup>	2.7~1.8 肥沃	1.8~0.9 一般	$< 0.9$ 贫瘠
1	$0.97 \pm 0.19$ bB	0	0	43.57	56.43
2	$1.02 \pm 0.21$ aA	0	0	68.03	31.97
3	$0.95 \pm 0.19$ bB	0	0	54.23	45.77
4	$1.01 \pm 0.21$ aA	0	0	66.14	33.86

说明：同列数据后不同大、小写字母分别表示  $P < 0.01$  和  $P < 0.05$ 。

### 3 结论与讨论

通过对上海辰山植物园典型绿地土壤孔隙度的研究表明：绿地土壤的非毛管孔隙度、毛管孔隙度以及总孔隙度均显著高于自然土壤( $P < 0.05$ )，这跟本次选择的绿地土壤改良力度大，人为践踏少直接相



关；而一般园林绿地调查中，绿地土壤往往较自然土壤质地黏重和非毛管孔隙小，这可能与绿地土壤本身改良力度小、土壤严重压实有关<sup>[5]</sup>。

对于自然土壤，林业方法和农业方法等2种方法测定的土壤孔隙度差异不显著；但绿地土壤差异显著，其中农业方法测定绿地土壤的非毛管孔隙度和总孔隙度显著高于林业方法( $P < 0.05$ )，但毛管孔隙度差异不明显。这是因为绿地土壤作为一种比较特殊的城市土壤，大多属于客土或人造土，其物质组成复杂，体积质量差异大，如果采样农业方法对所有土样均进行体积质量的测定，则比较繁琐，增加实验难度；如果直接取自然土体积质量的平均值  $2.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，由于绿地土壤中添加各种改良材料，则与绿地土壤的实际情况出入较大。综合而言，林业方法测定孔隙度时不需要引用体积质量数值是直接测定，故更接近实际值。所以在研究绿地土壤等人为土壤的孔隙度时，应优先选择林业方法。

利用修正的内梅罗公式计算上海世博会原规划区域典型绿地土壤的肥力综合系数，结果也表明：土壤物理性质显著影响绿地土壤肥力，其中非毛管孔隙度对土壤肥力评价的影响显著大于土壤容重，非毛管孔隙度直接影响着绿地土壤肥力评价结果，是评价绿地土壤肥力不可忽视的主要因子之一。

鉴于不同的检测方法对绿地土壤毛管孔隙度检测结果的影响以及非毛管孔隙度对绿地土壤肥力评价的重要性，建立适宜绿地土壤孔隙度检测方法并了解这些方法对绿地土壤肥力评价的重要性对提高城市绿地土壤的研究水平和管理肥力有积极作用，希望为园林绿化行业工作者提供借鉴。

#### 4 参考文献

- [1] 方海兰. 城市土壤生态功能与有机废弃物循环利用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2014: 21 - 54.
- [2] 陈祥, 包兵, 张晓艳. 园林土壤质量管理现状分析及其对策探讨[J]. 农技服务, 2008, **25**(3): 32 - 33.  
CHEN Xiang, BAO Bing, ZHANG Xiaoyan. Present situation analysis and countermeasures of gardening soil quality management [J]. *Serv Agric Technol*, 2008, **25**(3): 32 - 33.
- [3] de KIMPE C R, MOREL J L. Urban soil management: a growing concern [J]. *Soil Sci*, 2000, **165**(1): 31 - 40.
- [4] 方海兰, 郝冠军, 彭红玲, 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 metals 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.
- [5] 伍海兵, 方海兰, 彭红玲, 等. 典型新建绿地上海辰山植物园的土壤物理性质分析[J]. 水土保持学报, 2012, **26**(6): 85 - 90.  
WU Haibing, FANG Hailan, PENG Hongling, *et al.* Soil physical properties analysis of the typical newly-established green belt of Shanghai Chenshan Botanical Garden [J]. *J Soil Water Conserv*, 2012, **26**(6): 85 - 90.
- [6] 张波, 史正军, 张朝, 等. 深圳城市绿地土壤孔隙状况与水分特征研究[J]. 中国农学通报, 2012, **28**(4): 299 - 304.  
ZHANG Bo, SHI Zhengjun, ZHANG Zhao, *et al.* Study on soil porosity and water characteristics of urban green space in Shenzhen City [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, **28**(4): 299 - 304.
- [7] 方海兰. 园林土壤质量管理的探讨: 以上海为例[J]. 中国园林, 2000, **16**(6): 85 - 87.  
FANG Hailan. Probe the quality management of gardening soil: take Shanghai as an example [J]. *J Chin Landscape Arch*, 2000, **16**(6): 85 - 87.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 270 - 271.
- [9] 张万儒. 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 22 - 24.
- [10] VOGEL H J, ROTH K. Quantitative morphology and network representation of soil pore structure [J]. *Adv Water Resour*, 2001, **24**(3/4): 233 - 242.
- [11] 上海市绿化和市容管理局, 上海市园林科学研究所, 上海市园林绿化工程安全质量监督站, 等. CJ/T 340-2011 绿化种植土壤[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 4 - 6.
- [12] 郝冠军, 郝瑞军, 沈烈英, 等. 上海世博会规划区典型绿地土壤肥力特性研究[J]. 上海农业学报, 2008, **24**(4): 14 - 19.  
HAO Guanjun, HAO Ruijun, SHEN Lieying, *et al.* Study on the soil fertility characteristics of Shanghai World Exposition site [J]. *Acta Agric Shanghai*, 2008, **24**(4): 14 - 19.

- [13] 彭达, 张虹爱, 杨加志. 广东省林地土壤非毛管孔隙度分布规律初探[J]. 广东林业科技, 2006, **22**(1): 56 – 59.  
PENG Da, ZHANG Hong'ai, YANG Jiazhi. Studies on the non-capillary porosity of woodland soil of Guangdong Province[J]. *J Guangdong For Sci Technol*, 2006, **22**(1): 56 – 59.
- [14] 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**(增刊1): 89 – 94.  
FANG Hailan, CHEN Ling, 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): 89 – 94.
- [15] 熊顺贵. 基础土壤学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 101 – 102.
- [16] 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.
- [17] POESEN J, INGELMO-SANCHEZ F. Runoff and sediment yield from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position [J]. *Catena*, 1992, **19**(5): 451 – 474.
- [18] 阐文杰, 吴启堂. 一个定量综合评价土壤肥力的方法初探[J]. 土壤通报, 1994, **25**(6): 245 – 247.  
CHAN Wenjie, WU Qitang. A quantitative method of comprehensive evaluation of soil fertility [J]. *Chin J Soil Sci*, 1994, **25**(6): 245 – 247.
- [19] 张庆利, 潘贤章, 王洪杰, 等. 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价[J]. 土壤通报, 2003, **34**(6): 493 – 497.  
ZHANG Qingli, PAN Xianzhang, WANG Hongjie, *et al.* Study on spatial distribution of soil quality and quantitative evaluation of soil fertility quality under middle spatial scale [J]. *Chin J Soil Sci*, 2003, **34**(6): 493 – 497.
- [20] 吴志峰, 文雅, 张坚. 广州市长虹苗圃的土壤质量评价[J]. 中国园林, 2001, **17**(5): 69 – 70.  
WU Zhifeng, WEN Ya, ZHANG Jian. The evaluation of soil quality for Changhong Nursery in Guangzhou City [J]. *J Chin Landscape Arch*, 2001, **17**(5): 69 – 70.
- [21] 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: 以广州市长虹苗圃为例[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.
- [22] 陈旭彤. 杭州城市绿地土壤肥力质量评价[J]. 贵州农业科学, 2012, **40**(11): 148 – 150.  
CHEN Xutong. Soil fertility quality assessment for urban green space in Hangzhou City [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2012, **40**(11): 148 – 150.