

园林绿化用搬迁地土壤肥力综合评价

伍海兵^{1,2}, 何小丽^{1,2}, 梁晶^{1,2}

(1. 上海市园林科学规划研究院, 上海 200232; 2. 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心, 上海 200232)

摘要: 【目的】以上海典型搬迁地为研究对象, 对搬迁地土壤单项肥力指标和土壤综合肥力进行分析, 探讨城中村和工业企业搬迁地土壤肥力质量特征, 为科学指导搬迁地土壤用于园林绿化提供依据。【方法】选取上海典型的 20 个城中村搬迁地样点和 16 个工业企业搬迁地样点, 筛选土壤 pH、电导率、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和容重等 7 项指标作为肥力评价指标, 采用修正的内梅罗法对搬迁地土壤肥力进行综合评价。【结果】搬迁地土壤呈碱性, 电导率适宜, 有机质和碱解氮质量分数相对适宜, 有效磷和速效钾质量分数丰富, 土壤容重大; 上海市搬迁地土壤肥力综合指数均值仅为 0.86; 城中村搬迁地土壤肥力综合指数显著高于工业企业搬迁地 ($P < 0.05$)。【结论】上海搬迁地土壤肥力相对较差, 其中 59.3% 的搬迁地土壤属于差等级, 40.7% 的搬迁地土壤属于一般等级; 城中村搬迁地土壤肥力优于工业企业搬迁地土壤; 搬迁地土壤用于城市园林绿化前, 应通过技术手段提升土壤肥力以满足绿化种植要求。图 5 表 2 参 23

关键词: 园林绿化; 搬迁地; 土壤肥力; 综合评价; 上海

中图分类号: S151.9 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2021)05-1076-06

Comprehensive evaluation of soil fertility in relocated land for landscaping

WU Haibing^{1,2}, HE Xiaoli^{1,2}, LIANG Jing^{1,2}

(1. Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Shanghai 200232, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Landscaping on Challenging Urban Site, Shanghai 200232, China)

Abstract: [Objective] The objective is to analyze soil fertility index and soil fertility quality in typical relocation sites in Shanghai, and to explore the soil fertility quality characteristics of the relocated land in villages and industrial enterprises in the city, so as to provide basis for the use of the relocated soil in landscaping. [Method] The 20 typical relocation sites of urban villages and 16 relocation sites of industrial enterprises in Shanghai were selected, and 7 soil fertility indexes including pH, electrical conductivity(EC), organic matter, hydrolytic nitrogen, available phosphorus, available potassium and bulk density were selected as fertility evaluation indexes. The modified Nemoro method was used to comprehensively evaluate the quality of soil fertility in the relocation sites. [Result] The soil in the relocation site was alkaline, with suitable EC, relatively low contents of organic matter and hydrolytic nitrogen, rich contents of available phosphorus and available potassium, and high soil bulk density. The average comprehensive index of soil fertility in Shanghai was only 0.86. The comprehensive index of soil fertility in the relocation sites of urban villages was significantly higher than that in the relocation sites of industrial enterprises ($P < 0.05$). [Conclusion] The soil fertility in the relocation sites of Shanghai is relatively poor, 59.3% of which belong to “poor” grade and 40.7% belong to “general” grade. The soil fertility of urban villages is better than that of industrial enterprises. Before

收稿日期: 2020-12-07; 修回日期: 2021-04-12

基金项目: 上海市绿化和市容管理局科技攻关项目 (G200202, G190202)

作者简介: 伍海兵 (ORCID: 0000-0001-9382-4532), 高级工程师, 从事城市土壤研究。E-mail: wuhaibing22@163.com。通信作者: 梁晶 (ORCID: 0000-0002-8118-650X), 教授级高级工程师, 从事城市土壤质量评价、修复及有机废弃物再利用研究。E-mail: liangjing336@163.com

the relocated land is used for urban landscaping, soil fertility quality should be improved by technical means to meet the requirements of planting. [Ch, 5 fig. 2 tab. 23 ref.]

Key words: landscaping; relocation site; soil fertility; comprehensive evaluation; Shanghai

随着城市人口不断增加,人民生活要求逐步提高,可持续发展理念逐步深入,改善城市环境质量和提升城市生态功能已成为城市更新的重要目标^[1]。城市园林绿化作为改善城市环境质量和提升城市生态功能的重要基础设施之一,越来越受重视。但由于城市园林绿化需求快速增加与城市土地资源紧缺的矛盾日益严重,越来越多的城市搬迁地被用于园林绿化建设^[2]。对于城市搬迁地用于园林绿化建设的研究主要集中在体现城市绿化景观效果的植物^[3]。对于土壤,学者们更多关注的是搬迁地土壤污染现状及特征^[4-5]、修复技术^[6-7]研究,而对影响其景观效果表达的土壤肥力研究较少。实际上,城市中由于土壤肥力质量退化而影响植物的正常生长,从而导致其绿化景观不能充分发挥的现象较为普遍^[8]。随着城市生态文明建设要求的提高,城市搬迁地用于园林绿化将是未来的主要发展趋势,而搬迁地土壤肥力质量的优劣直接决定园林绿化的成败。为此,本研究以上海市城中村搬迁地和工业企业搬迁地为研究对象,在对上海搬迁地土壤物理性质、化学性质等单项肥力指标进行研究的基础上,对搬迁地土壤肥力质量进行综合评价,探讨不同类型搬迁地土壤肥力质量特征,分析评估搬迁地用于园林绿化的潜力,以期搬迁地用于城市园林绿化提供数据支撑。

1 研究区域和方法

1.1 研究区域概况

上海市地处 30°40'~31°53'N, 120°52'~122°12'E, 属亚热带季风性气候区, 年均气温为 17.6℃, 年均日照为 1 886 h, 年均降水量为 1 173 mm, 全年 60% 以上的降水量集中在 5-9 月, 四季分明, 光照充足, 气候温和湿润, 春秋较短, 冬夏较长。上海位于长江入海口、太湖流域东缘, 成土母质多为浅海相、河湖相沉积物, 地势平坦。

1.2 样品采集和测定

1.2.1 样品采集和处理 选择上海中心城区和郊区典型搬迁地, 以城中村和工业企业搬迁地为研究对象, 共选取了 10 块搬迁地 36 个样地, 其中城中村搬迁地 20 个样地, 工业企业搬迁地 16 个样地, 采集 0~30 cm 的表层土, 每个样地的土壤样品均采用蛇形法由 8 个取样点的样品混合组成, 并采用四分法保留 1 kg 土壤样品带回实验室自然风干备用, 土壤物理性质用环刀现场取原状土, 每个样地取 5 组重复。

1.2.2 测定方法 土壤容重采用环刀法; 土壤 pH 采用电位法; 土壤电导率 (EC) 采用电导法; 土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法; 土壤碱解氮采用碱解-扩散法; 土壤有效磷采用碳酸氢钠浸提-比色法; 土壤速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法。以上详细测定方法均严格按照《森林土壤分析方法》^[9] 测定。

1.3 研究方法

土壤肥力评价参考上海市地方标准《绿化土壤肥力质量综合评价方法》^[10], 并结合城市搬迁地特点, 选择土壤容重、pH、电导率、有机质、碱解氮、有效磷及速效钾等 7 项指标, 分别进行单项指标评价和综合评价。其中单指标评价由高到低依次分 6 个等级 (表 1)。

采用修正的内梅罗 (Nemoro) 法对搬迁地土壤肥力质量进行综合评价, 计算公式为

$$F = \sqrt{\frac{\bar{F}_i^2 + F_{i\min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n}。$$

其中: F 为土壤肥力综合指数; \bar{F}_i 为样品中单项指标标准化的平均值; $F_{i\min}$ 为单项指标标准化的最小值; n 为指标个数。根据土壤肥力综合指数, 将土壤肥力分为 4 个等级: $F \geq 2.7$ 为优; $1.8 \leq F < 2.7$ 为良; $0.9 \leq F < 1.8$ 为一般; $F < 0.9$ 为差。

利用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件分析数据并作图。

表1 土壤肥力单项指标分级^[10]Table 1 Classification of single index of soil fertility^[10]

分级	pH	电导率/(mS·cm ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	容重/(Mg·m ⁻³)
一级	6.5~7.5	0.30~0.50	≥40	≥200	≥60	≥300	1.00~1.15
二级	5.5~6.5	0.10~0.30	30~40	120~200	20~60	200~300	1.15~1.25或0.90~1.00
三级	7.5~8.0	0.50~0.70或0.07~0.10	20~30	90~120	15~20	100~200	1.25~1.35或0.80~0.90
四级	8.0~8.5或4.5~5.5	0.70~0.90	12~20	60~90	10~15	60~100	1.35~1.45或0.70~0.80
五级	8.5~9.0	0.90~1.20或0.05~0.07	6~12	40~60	5~10	30~60	1.45~1.55或0.60~0.70
六级	>9.0或≤4.5	>1.20或≤0.05	<6	<40	<5	<30	>1.55或≤0.60

2 结果与分析

2.1 搬迁地土壤单项肥力指标评价

搬迁地土壤 pH 为 7.8~9.2, 均值为 8.8, 土壤呈碱性, pH 主要分布在五级和六级, 占比分别为 63.0% 和 25.9%(图 1), 明显高于城市绿地土壤^[11]。搬迁地土壤电导率为 0.06~0.63 mS·cm⁻¹, 均值为 0.15 mS·cm⁻¹, 土壤电导率适宜, 主要分布在二、三级, 占比分别为 48.1% 和 37.0%。搬迁地土壤有机质质量分数为 5.5~40.7 g·kg⁻¹, 均值为 15.5 g·kg⁻¹, 有机质质量分数低于城市公园绿地土壤^[12], 主要分布在四级和五级, 占比分别为 37.0% 和 33.3%。

由图 2 可见: 搬迁地土壤速效养分中有效磷和速效钾较丰富, 尤其是有效磷, 质量分数为 7.3~314.6 mg·kg⁻¹, 均值高达 81.6 mg·kg⁻¹, 土壤有效磷主要分布在一级, 占比达 44.4%。搬迁地土壤速效钾为 41.8~336.6 mg·kg⁻¹, 均值达 151.4 mg·kg⁻¹, 土壤速效钾主要分布在三级, 占比达 51.9%。搬迁地土壤碱解氮为 11.7~76.2 mg·kg⁻¹, 均值为 33.2 mg·kg⁻¹, 土壤碱解氮质量分数低, 仅为上海公园绿地土壤碱解氮质量分数的 35.4%^[12], 土壤碱解氮主要分布在六级、五级和四级, 占比分别为 74.1%、14.8% 和 11.1%。

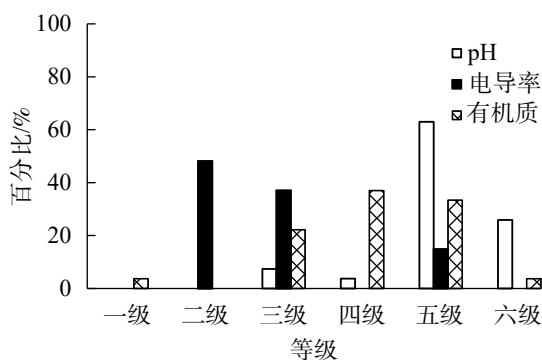


图 1 搬迁地土壤 pH、电导率及有机质质量分数等级分布

Figure 1 Distribution of soil pH, EC and organic matter mass fraction grades in the relocated site

由图 3 可见: 搬迁地土壤容重为 0.90~1.63 Mg·m⁻³, 均值为 1.42 Mg·m⁻³, 土壤容重较大, 压实严重。搬迁地土壤容重主要分布在四级、五级和六级, 占比分别为 29.6%、25.9% 和 22.2%, 而二级和三级占比均为 11.1%, 没有样点分布在一级。

2.2 搬迁地土壤肥力质量综合评价

2.2.1 搬迁地土壤肥力指标标准化 如表 2 所示: 各指标的标准化值从大到小依次为有效磷、速效钾、有机质、容重、电导率、碱解氮、pH。其中, 有效磷标准化值最高, 均值高达 2.38, 其次是速效

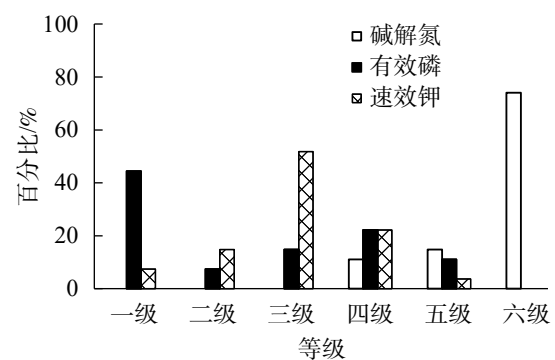


图 2 搬迁地土壤速效养分质量分数等级分布
Figure 2 Distribution of soil available nutrient mass fraction grades in the relocated site

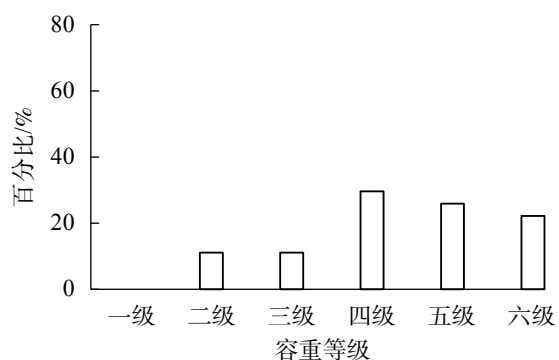


图 3 搬迁地土壤容重等级分布
Figure 3 Distribution of soil bulk density grades in the relocated site

钾，均值为 2.29，而 pH 标准化值最小，均值仅为 0.46。

2.2.2 搬迁地土壤肥力质量 上海市搬迁地土壤肥力综合指数 (F) 为 0.38~1.42，均值为 0.86，且不同样点土壤肥力综合指数变化较大，变异系数达 0.29。此外，从搬迁地土壤肥力质量等级分布图 (图 4) 可以看出：搬迁地土壤肥力质量主要为差和一般等级，59.3% 的搬迁地土壤属于差，40.7% 的搬迁地土壤属于一般等级，调查的搬迁地中未发现良或优等级的土壤。由此可见，上海市搬迁地土壤肥力相对较差。

2.3 不同搬迁地土壤肥力比较

由图 5 可见：不同类型搬迁地土壤肥力存在一定差异，城中村搬迁地土壤肥力综合指数均值达 0.97 ± 0.27 ，属于一般等级，而工业企业搬迁地土壤肥力综合指数均值仅为 0.76 ± 0.18 ，属于差等级，且城中村搬迁地土壤肥力综合指数显著高于工业企业搬迁地 ($P < 0.05$)；此外，城中村搬迁地土壤肥力质量属于差等级占比 38.5%，而工业企业搬迁地土壤肥力质量属于差等级占比高达 78.6%。可见，城中村搬迁地土壤肥力明显优于工业企业搬迁地土壤。

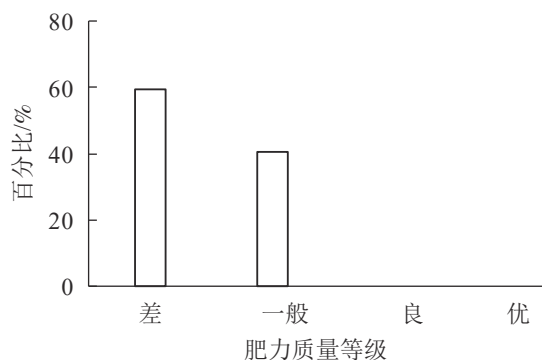
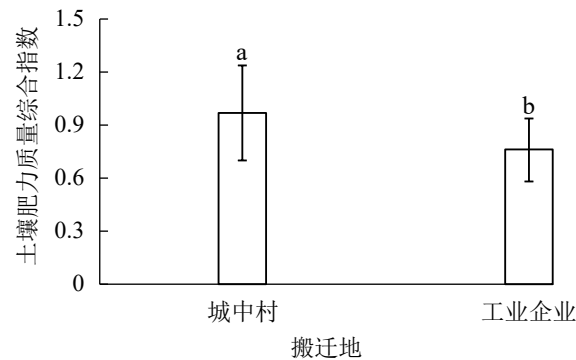


图 4 搬迁地土壤肥力质量等级分布

Figure 4 Distribution of soil fertility quality grades in the relocated site

表 2 土壤肥力质量统计分析

F_i	最小值	最大值	均值	中位数	标准差	变异系数
容重	0.00	3.00	1.20	1.04	1.05	0.88
pH	0.00	2.26	0.46	0.25	0.61	1.32
电导率	0.00	2.60	1.17	1.67	1.10	0.94
有机质	0.46	3.00	1.40	1.09	0.69	0.49
碱解氮	0.29	2.28	0.92	0.67	0.62	0.67
有效磷	0.73	3.00	2.38	3.00	0.82	0.34
速效钾	0.70	3.00	2.29	2.49	0.65	0.28
F	0.38	1.42	0.86	0.83	0.25	0.29



不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 5 不同类型搬迁地土壤肥力综合指数

Figure 5 Soil fertility composite index in different relocated sites

3 结论与讨论

城市搬迁地土壤作为城市土壤的一部分，既保留了城市土壤的特性，也有其自身的特性。对上海典型搬迁地土壤单项肥力指标研究表明：搬迁地土壤 pH 较高，明显高于上海公园绿地土壤 (均值为 8.1)^[12]，这可能是由于搬迁地土壤中存在大量的建筑垃圾，加剧了对土壤 pH 的碱化^[13-14]。土壤电导率适宜，均值符合《绿化种植土壤》标准要求。土壤有机质质量分数偏低，四级和五级占比则达 70% 以上，仅为上海公园绿地土壤有机质的 61.6%^[12]，这可能是由于搬迁地土壤缺少外源有机质供给所致。搬迁地土壤速效养分中有效磷和速效钾较丰富，而碱解氮偏低；土壤有效磷较丰富可能有两方面原因：一方面可能由于城中村搬迁地土壤部分样点位于农田、菜地，与人为施用含磷肥料有关，另一方面可能是由于工业企业生产排放含磷化合物^[15]或修复过程中采用了含磷材料导致搬迁地土壤磷富集^[16]。而有 74.1% 的样点土壤速效钾质量分数达到了三级及以上，这主要与上海本底土壤有效钾含量丰富有关^[17-18]。土壤碱解氮质量分数低，分布在六级的比例高达 74.1%，这与方海兰等^[11]对上海新建绿地土壤的研究结果一致。此外，土壤容重较大，分布在四级及以下占比高达 77.8%，土壤压实较普遍，这与当前城市土壤普遍存在的压实情况一致^[19-20]。由此可见，搬迁地土壤有效磷、碱解氮及土壤容重受城市人为活动及土地利用方式影响较大，而速效钾受成土母质影响较大，这与王辛芝等^[21]研究南京城市土壤结果类似。

采用修正的内梅罗法对上海搬迁地土壤肥力质量进行综合评价。结果表明：上海搬迁地土壤肥力质量相对较差，其中差等级占比达 59.3%，而一般等级占比为 40.7%，且不同土壤样点土壤肥力质量综合指数变异系数大，空间异质性较强，原因可能与人类活动影响有关^[18, 22-23]。但城中村搬迁地土壤肥力质量综合指数显著高于工业企业搬迁地 ($P < 0.05$)，其土壤肥力质量综合指数高出 27.6%，这可能是由于城中村搬迁地含有部分菜园地、农田、果园和绿地等用地类型，受人为耕作、培肥等影响，土壤肥力质量相对较好，而工业企业搬迁地土壤受生产运营过程碾压、侵蚀等影响，其土壤化学性质和土壤物理结构同时也遭到了不同程度破坏，土壤肥力质量相对较差。

上海市一般等级搬迁地土壤在绿化质量要求不高时，可直接用于园林绿化种植，而对绿化质量要求较高时，则需要进行改良；差等级的搬迁地土壤在用于园林绿化种植前，应先有针对性的对其土壤肥力质量障碍因子进行改良，可通过降低搬迁地土壤 pH 和提高土壤碱解氮等技术手段来提升搬迁地土壤肥力质量，再根据不同园林绿化质量等级要求，不同程度改良土壤肥力质量，从而达到城市绿化种植所需的土壤肥力质量等级要求。总之，在城市土壤质量普遍不佳、城市绿化需求快速增加、城市土地及土壤资源紧缺等日益突出的背景下，越来越多的城市搬迁地被用作园林绿化用地，应收集和保护土壤肥力质量较好的搬迁地土壤，改良肥力质量差或一般的搬迁地土壤，以满足快速增长的城市绿化种植需求。

4 参考文献

- [1] 李锋, 王如松, 赵丹. 基于生态系统服务的城市生态基础设施: 现状、问题与展望[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 190 - 200.
LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan. Urban ecological infrastructure based on ecosystem services: status, problems and perspectives [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, 34(1): 190 - 200.
- [2] 张浪, 曹福亮, 张冬梅. 城市棕地绿化植物物种优选方法研究: 以上海市为例[J]. 现代城市研究, 2017(9): 119 - 123.
ZHANG Lang, CAO Fuliang, ZHANG Dongmei. Research on selection method of plant species in brownfield greening: a case study of Shanghai [J]. *Mod Urban Res*, 2017(9): 119 - 123.
- [3] 张冬梅, 林奕成, 张浪, 等. 城市搬迁地适生绿化树种生长模型构建: 以上海为例[J]. 上海农业科技, 2021(1): 84 - 87.
ZHANG Dongmei, LIN Yicheng, ZHANG Lang, et al. Construction of growth model of suitable greening tree species in urban relocation: a case study of Shanghai [J]. *Shanghai Agric Sci Technol*, 2021(1): 84 - 87.
- [4] 丛鑫, 朱书全, 薛南冬, 等. 有机氯农药企业搬迁遗留场地土壤中污染物的垂向分布特征[J]. 环境科学研究, 2009, 22(3): 351 - 355.
CONG Xin, ZHU Shuquan, XUE Nandong, et al. Vertical distribution of pollutants in soils of a former organochlorine pesticide manufacturing field [J]. *Res Environ Sci*, 2009, 22(3): 351 - 355.
- [5] 梁立成, 余树全, 张超, 等. 浙江省永康市城区土壤重金属空间分布及潜在生态风险评价[J]. 浙江农林大学学报, 2017, 34(6): 972 - 982.
LIANG Licheng, YU Shuquan, ZHANG Chao, et al. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in Yongkang City [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, 34(6): 972 - 982.
- [6] 孙涛, 陆扣萍, 王海龙. 不同淋洗剂和淋洗条件下重金属污染土壤淋洗修复研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(1): 140 - 149.
SUN Tao, LU Kouping, WANG Hailong. Advance in washing technology for remediation of heavy metal contaminated soils: effects of eluants and washing conditions [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2015, 32(1): 140 - 149.
- [7] 侯淑贞. 城市镉污染土壤生态修复及景观营建技术研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018.
HOU Shuzhen. *Ecological Restoration of Urban Cadmium Contaminated Soil and Plant Landscape Construction Technology*[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2018.
- [8] 李丽雅, 丁蕴铮, 侯晓丽, 等. 城市土壤特性与绿化树生长势衰弱关系研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2006, 38(3): 124 - 127.
LI Liya, DING Yunzheng, HOU Xiaoli, et al. Study on the relationship between the urban soil and the weak growing tendency of the afforestation [J]. *J Northeast Norm Univ Nat Sci Ed*, 2006, 38(3): 124 - 127.
- [9] 张万儒. 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [10] 上海市园林绿化标准化技术委员会. 绿化土壤肥力质量综合评价方法: DB/T 1191-2019[S]. 上海市市场监督管理局,

- 2019.
- [11] 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**(suppl 1): 89 – 94.
- [12] 骆玉珍, 张维维, 李雅颖, 等. 上海市公园绿地土壤肥力特征分析与综合评价[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 86 – 93.
LUO Yuzhen, ZHANG Weiwei, LI Yaying, *et al.* Analysis and comprehensive evaluation of soil fertility characteristics for the urban park in Shanghai [J]. *Soil Fert Sci China*, 2019(6): 86 – 93.
- [13] 刘兴诏, 黄旻, 黄柳菁. 中国部分大中城市居住区园林土壤碱化现状及主要成因[J]. 西北林学院学报, 2019, **34**(6): 202 – 207.
LIU Xingzhao, HUANG Min, HUANG Liujing. The present situation and main causes of garden soil alkalization in residential area of large and medium-sized cities of China [J]. *J Northwest For Univ*, 2019, **34**(6): 202 – 207.
- [14] 秦娟, 许克福. 我国城市绿地土壤质量研究综述与展望[J]. 生态科学, 2018, **37**(1): 200 – 210.
QIN Juan, XU Kefu. Research summary and prospect of urban green space soil quality in China [J]. *Ecol Sci*, 2018, **37**(1): 200 – 210.
- [15] 冯慕华, 李文朝, 李海英, 等. 云南抚仙湖流域磷化工对农田土壤和农作物的影响[J]. 环境科学与技术, 2009, **32**(3): 83 – 86.
FENG Muhua, LI Wenchao, LI Haiying, *et al.* Impact of phosphate industry on agricultural soil and crops in Fuxianhu watershed in Yunnan Province [J]. *Environ Sci Technol*, 2009, **32**(3): 83 – 86.
- [16] 丁苏苏, 李凯华, 黄瑀瑛, 等. 含磷材料修复铅、镉污染农田土壤效果及影响因素研究进展[J]. 环境污染与防治, 2020, **42**(7): 929 – 936.
DING Susu, LI Kaihua, HUANG Jueying, *et al.* Research progress on the effect and influencing factors of remediation of Pb/Cd contaminated farmland soil by phosphorus-containing materials [J]. *Environ Pollut Control*, 2020, **42**(7): 929 – 936.
- [17] 郝瑞军. 上海城市绿地土壤肥力特征分析与评价[J]. 上海农业学报, 2014, **30**(1): 79 – 84.
HAO Ruijun. Analysis and evaluation of soil fertility characteristics of Shanghai urban green area [J]. *Acta Agric Shanghai*, 2014, **30**(1): 79 – 84.
- [18] 刘婵. 上海城郊土壤肥力质量时空变化特征研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2014.
LIU Chan. *Study on Variation Characteristics of Space-Time Suburban Soil Quality in Shanghai*[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2014.
- [19] 王辛芝, 张甘霖, 俞元春, 等. 南京城市土壤 pH 和养分的空间分布[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, **30**(4): 69 – 72.
WANG Xinzhi, ZHANG Ganlin, YU Yuanchun, *et al.* Spatial distribution of soil pH and nutrients in urban Nanjing [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2006, **30**(4): 69 – 72.
- [20] 伍海兵. 上海中心城区典型绿地土壤物理性质特征研究[J]. 土壤, 2018, **50**(1): 155 – 161.
WU Haibing. Study on soil physical properties of green belts in central urban area of Shanghai [J]. *Soils*, 2018, **50**(1): 155 – 161.
- [21] 杨金玲, 张甘霖. 城市功能区、植被类型和利用年限对土壤压实的影响[J]. 土壤, 2007, **39**(2): 263 – 269.
YANG Jinling, ZHANG Ganlin. Effects of function zone, vegetation type and land use age on soil compaction in urban Nanjing [J]. *Soils*, 2007, **39**(2): 263 – 269.
- [22] 赵兴征, 朱国营, 刘晨峰, 等. 杭州城市区域土壤性状的空间变异[J]. 城市环境与城市生态, 2011, **24**(3): 23 – 25, 29.
ZHAO Xingzheng, ZHU Guoying, LIU Chenfeng, *et al.* Spatial heterogeneity and distribution pattern of urban soil characteristics in central city of Hangzhou [J]. *Urban Environ Urban Ecol*, 2011, **24**(3): 23 – 25, 29.
- [23] 马想, 张浪, 黄绍敏, 等. 上海城市绿地土壤肥力变化分析[J]. 中国园林, 2020, **36**(5): 104 – 109.
MA Xiang, ZHANG Lang, HUANG Shaomin, *et al.* Analysis on the change of soil fertility in shanghai urban green space [J]. *Chin Landscape Archit*, 2020, **36**(5): 104 – 109.