

土壤阳离子交换量在上海城市土壤质量评价中的应用

张 琪 方海兰* 黄懿珍 赵小艺 奚有为

(上海市园林科学研究所 上海 200232)

摘 要 上海城市园林土壤的阳离子交换量 (CEC) 多集中在 10 ~ 20 cmol/kg, 与土壤的理化性质: 有机质、pH、黏粒含量、体积质量、通气孔隙度都存在极好的相关关系, 能够综合反映土壤的肥力水平、保肥能力和缓冲能力。在城市绿地土壤的综合评价中应加入 CEC 这一评价指标。上海土壤 CEC 的控制标准可定在 ≥ 14 cmol/kg。

关键词 阳离子交换量; 城市土壤质量; 标准

中图分类号 S158; X825

随着城市化进程不断加快, 城市生态环境质量日益受到广泛关注^[1, 2]。城市土壤是城市生态系统的重要组成部分, 是城市园林植物生长的介质和养分的供应者, 关系到城市生态环境质量和人类健康^[3~5]。因此, 合理评价城市土壤质量, 可为城市园林绿化的规划和管理、城市园林土壤的改良和养护提供理论依据和指导。

在评价城市土壤质量的过程中, 选择和应用合理的评价指标是科学评价的前提, 但目前针对城市土壤的研究较少, 所用的评价指标也基本上沿用农业土壤的指标。上海为了提高园林植物栽植和养护水平, 确保园林植物生长繁茂, 充分发挥园林植物的绿化效能, 制定了园林栽培土质量标准, 分别从 pH、EC、有机质、体积质量、通气孔隙度等几个项目对城市土壤质量进行评价^[6], 但这些检测项目过于简单, 尤其是和国际上土壤质量评价指标相比, 阳离子交换量尚未纳入城市土壤的质量评价体系^[7~9]。土壤的阳离子交换量 (CEC) 是指带负电荷的土壤胶体, 借静电引力而吸附溶液中阳离子的数量, 以每千克干土所含全部代换性阳离子的物质的量 (cmol, 按一价离子计) 表示^[10]。它是评价土壤保水保肥能力、缓冲能力的重要指标, 同时也能反映土壤对酸雨的敏感程度。鉴于该指标是土壤物理、化学性质的综合体现, 且国外城市土壤调查中 CEC 也是必测项目^[11, 12], 因此有必要将 CEC 列为城市土壤的质量评价指标。为此我们对上海几块新建的绿地进行了土壤现状调查, 在原有检测项目的基础上分析了土壤的 CEC, 以便综合评价土壤质量, 为上

海的绿化规划、城市园林土壤改良和养护管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 土样采集

根据不同植被情况, 乔、灌木林下土壤分 0 ~ 30 cm、>30 cm 两层, 地被和草花土壤 0 ~ 30 cm 为一层, 对上海近年来新建的大型景观绿地进行采样, 合计采样 302 份, 采样点见表 1。

1.2 土壤理化性质分析

pH 值用 2.5:1 水浸提电位法; 有机质用 $K_2Cr_2O_7$ 容量法; 体积质量和通气孔隙度采用环刀法; CEC 用乙酸铵交换法; 黏粒用比重计法。以上测定方法均严格按照《森林土壤分析方法》(中华人民共和国林业行业标准 LY/T1210~1275-1999) 操作^[13], 样品的每个测试项目重复 2 次。

1.3 统计分析

应用 The SAS System for Windows V8 统计软件进行数据分析。

2 结果分析

2.1 土壤 CEC

从表 2 可知, 上海绿地土壤 CEC 主要集中在 10 ~ 20 cmol/kg 之间。在所调查的 18 块绿地中, 市中心的精品绿地古城公园、延中三期绿地、闵行体育公园和梦清园绿地的 CEC 较高, 其园林植物长势也较好, 而浦东公路的景观绿地多以本底土为主, 肥力水平和 CEC 较低, 植物长势较差, 黄化、焦叶、

* 通讯作者

表 1 土壤采样点分布

Table 1 Distribution of soil sampling sites

采样地点	采样个数	采样地点	采样个数
延中绿地	26	古城公园	13
凯桥绿地	14	新虹桥绿地	20
华山路绿地	12	长寿路绿地	14
浦东龙东大道	23	延中三期绿地	11
远东大道	18	徐家汇公园	18
黄兴绿地	23	丽蒙新辟绿地	11
奉贤世纪公园	10	闵行体育公园	30
太平桥绿地	22	梦清园绿地	7
扬高北路	9	迎宾大道—环南大道	21

表 2 绿地土壤 CEC 比较

Table 2 Comparison in soil CEC between greenlands

取样地区	CEC (cmol/kg)		SD	分布概率 (%)		
	均值	大小分布		<10	10 ~ 20	≥20
延中绿地	15.0	8.0 ~ 33.5	7.12	20.0	64.0	16.0
凯桥绿地	17.6	11.3 ~ 36.2	7.67	0.0	85.7	14.3
华山绿地	14.0	7.1 ~ 25.1	4.62	16.7	75.0	8.3
黄兴绿地	12.7	6.2 ~ 27.6	4.73	22.7	68.2	9.1
浦东龙东大道	13.5	9.5 ~ 16.2	1.92	13.0	87.0	0.0
浦东远东大道	11.5	8.5 ~ 17.8	2.72	38.9	61.1	0.0
奉贤世纪公园	10.6	8.3 ~ 13.3	1.60	40.0	60.0	0.0
太平桥绿地	13.9	5.8 ~ 31.4	5.55	14.6	77.3	8.1
扬高北路	15.0	11.6 ~ 18.9	2.26	0.0	100.0	0.0
古城公园	23.0	13.1 ~ 43.2	10.93	0.0	53.8	46.2
新虹桥绿地	13.0	7.2 ~ 14.5	1.93	10.0	80.0	10.0
长寿路绿地	7.9	2.2 ~ 11.7	2.10	92.9	7.1	0.0
延中三期绿地	25.1	8.5 ~ 41.0	11.96	9.1	36.4	54.5
徐家汇公园	16.5	11.3 ~ 23.3	3.50	0.0	77.8	22.2
丽蒙新辟绿地	9.0	7.4 ~ 11.6	1.42	72.7	27.3	0.0
闵行体育公园	19.4	12.3 ~ 25.0	10.39	0.0	93.3	6.7
梦清园绿地	19.2	12.1 ~ 28.0	6.21	0.0	57.1	42.9
迎宾—环南大道	11.7	7.2 ~ 15.8	3.01	22.6	77.4	0.0

落叶、早衰等现象普遍。由表 2 还可看出, CEC 在单块绿地中的变异很大, 这是由于城市绿地土壤不同于自然土壤, 受人为影响较大, 即便是在同一块绿地, 由于改土、施肥措施不一样, 土壤的空间变异仍然很大。对上海土壤来说, CEC>20 cmol/kg 的园林土壤主要是由于使用了山泥和泥炭等改良材料, <10 cmol/kg 的土壤多为有机质含量极低的砂壤土。

2.2 土壤有机质与 CEC 的关系

CEC 由土壤胶体表面性质决定, 由有机的交换基和无机的交换基所构成, 前者主要是腐殖酸, 后

者主要是黏土矿物。它们形成的有机-无机复合体所吸附的阳离子总量包括交换性盐基和水解性酸, 两者的总和即为 CEC^[10]。其中腐殖质胶体具有特别高的 CEC, 因此提高土壤有机质含量是提高 CEC 的重要途径。我们对上海新建绿地的土壤调查数据进行统计分析, 有机质含量与 CEC 呈正相关关系, 相关系数为 0.743, 达极显著相关水平 ($P<0.01$)。这说明对于上海土壤, 增加土壤有机质含量, 可以显著提高土壤的 CEC, 增强土壤的保水、保肥能力及缓冲能力。

表3 CEC与土壤理化性质的相关关系 (n = 302)

Table 3 Correlativity between CEC and soil properties

理化性质	相关系数	Pr > r	回归方程	R ²
有机质 (X1)	0.743	<0.0001	Y=0.2674X1+9.3570	0.5533**
黏粒 (X2)	0.680	<0.0001	Y=0.5069X2-0.0071	0.4629**
pH (X3)	-0.305	<0.0001	Y=-2.7747X3+37.6427	0.0929**
体积质量 (X4)	-0.468	<0.0001	Y=-14.7918X4+33.2218	0.2186**
通气孔隙度	0.115	0.0525		

* 表示达到 $P < 0.05$ 的显著水平；** 表示达到 $P < 0.01$ 的极显著水平。

2.3 黏粒含量与 CEC 的关系

黏粒具有较强的吸附能力，是土壤中主要的无机交换基。黏粒越多，土壤的保肥能力及缓冲能力越强。对土壤黏粒含量与 CEC 作相关分析，相关系数为 0.680，达极显著相关水平。

2.4 土壤 pH 与 CEC 的关系

对土壤 CEC 与 pH 做相关分析，相关系数为 -0.305，达极显著相关水平。这说明对于上海土壤 CEC 越高，土壤 pH 越低。这可能是由于 CEC 越高，土壤中有机质和腐殖酸越多，从而导致 pH 的下降。对于上海的土壤，pH 大多高于 8.0，这也是制约上海绿地建设质量的重要影响因子，很多喜酸的植物如杜鹃、毛竹、香樟大多生长不好。pH 与 CEC 的关系说明，增施有机肥可以降低土壤的盐基饱和度，提高土壤有机酸含量和 CEC，降低土壤 pH，这对偏碱的上海土壤意义重大。

2.5 体积质量与 CEC 的关系

对体积质量与 CEC 作相关分析，相关系数为 -0.468，达极显著相关水平。这说明 CEC 越高，体积质量越小。上海土壤 CEC 的增加，主要是由于土壤中有有机质含量的增加，而有机质疏松多孔的性质，降低了土壤体积质量。

2.6 通气孔隙度与 CEC 的关系

对通气孔隙度与 CEC 作相关分析，相关系数为 0.115，显著水平为 94.75 %。这一正相关关系同样是由于有机质的增加，降低了土壤体积质量，增加了土壤的通气孔隙度。pH、体积质量、通气孔隙度与 CEC 的相关系数较低，但它们也具有较好的相关关系，这是由于本研究所采用的样本量较大所致。

2.7 CEC 的控制标准

由表 3 可知上海城市园林土壤的有机质、pH、体积质量与 CEC 的相关系数、回归方程均达极显著相关水平，因此可根据这些指标现有的控制标准计

算得到 CEC 的控制值。上海出台的园林绿化土壤强制性检测指标的控制标准是有机质 ≥ 10 mg/kg，pH ≤ 8.3 ，体积质量 ≤ 1.35 g/cm³。根据回归方程计算所得 CEC 的控制值分别为 ≥ 12.03 cmol/kg， ≥ 14.61 cmol/kg， ≥ 13.25 cmol/kg。目前农业上一般认为 CEC < 10 cmol/kg 为保肥力弱的土壤，在 10 ~ 20 cmol/kg 的为保肥力中等、 > 20 cmol/kg 的为保肥力强的土壤^[14]。对城市园林土壤来说，为达到园林植物较好的观赏效果，对土壤理化性质的要求就更高，CEC 的控制标准也可适当提高。参照上述计算所得的控制值，CEC 的园林土壤控制标准可考虑定在 ≥ 14 cmol/kg，而且根据我们的调查，满足这一指标的土壤，其理化性质均较好，基本上能达到园林植物的正常生长要求。

3 结论

(1) 对上海城市园林土壤来说，CEC 与土壤有机质、pH、黏粒含量、体积质量、通气孔隙度都存在极好的相关关系，能够综合反映土壤的肥力水平、保肥能力和缓冲能力。因此，在城市绿地土壤的综合评价中应考虑加入 CEC 这一评价指标。

(2) 参照农业标准、实验统计数据和园林植物长势的实地调查，可将土壤 CEC 的农业标准适当提高到 ≥ 14 cmol/kg，并将其作为上海园林土壤的质量控制标准。

参考文献

- 1 De Kimpel CR, Morel JL. Urban soil management: A growing concern. Soil Sci., 2000, 165 (1): 31 ~ 40
- 2 Zhang MK, Wang MQ, Liu XM, Jiang H, Xu JM. Characterization of soil quality under vegetable production along an urban-rural gradient. Pedosphere, 2003, 13 (2): 173 ~ 180

- 3 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. 土壤, 2001, 33 (1): 47 ~ 51
- 4 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤磷素特性及其与地下水磷浓度的关系. 应用生态学报, 2001, 12 (5): 735 ~ 738
- 5 Hu XF, Wu HX, Hu X, Fang SQ, Wu CJ. Impact of urbanization on Shanghai's soil environmental quality. Pedosphere, 2004, 14 (2): 151 ~ 158
- 6 项建光, 方海兰, 杨意, 黄懿珍, 张琪, 赵晓艺, 奚有为. 上海典型新建绿地的土壤质量评价. 土壤, 2004, 36 (4): 424 ~ 429
- 7 张华, 张甘霖. 土壤质量指标和评价方法. 土壤, 2001, 33 (6): 326 ~ 330
- 8 张华, 张甘霖, 漆智平, 赵玉国. 热带地区农场尺度上土壤质量现状的系统评价. 土壤学报, 2003, 40 (2): 186 ~ 193
- 9 Singer MJ, Ewing S. Soil quality. In: Interdisciplinary aspects of soil science, 1999 于天仁, 王振权. 土壤分析化学. 北京: 科学出版社, 1988
- 10 于天仁, 王振权. 土壤分析化学. 北京: 科学出版社, 1988
- 11 USEPA. Soil Sampling Quality Assurance User's Guide. EPA/600/8-89/046, 1989
- 12 British Standards Institution. Code of Practice for the identification of potentially contaminated land and its investigation, DD175: 1998
- 13 国家林业局. 森林土壤分析方法(中华人民共和国林业行业标准). 北京: 中国标准出版社, 2000
- 14 黄昌勇. 土壤学. 北京: 农业出版社, 2000

APPLICATION OF SOIL CEC TO EVALUATION OF SOIL QUALITY IN SHANGHAI

ZHANG Qi FANG Hai-lan HUANG Yi-zhen ZHAO Xiao-yi XI You-wei

(Shanghai Institute of Landscape Gardening, Shanghai 200232)

Abstract CECs of garden soils in Shanghai ranges between 10 ~ 20 cmol/kg and are significantly correlated with OM, pH, clay content, bulk density and soil aeration, so CEC is a good indicator of soil fertility, nutrient retention capacity and buffering capacity. It is, therefore, necessary to add CEC as an item to the index system for evaluation of urban garden soil quality and CEC of the gardens soils in shanghai should be controlled ≥ 14 cmol/kg.

Key word CEC, City soil quality, Standard