

# 长春市城区公园土壤的肥力特征分析与评价

翁悦, 吕竺妍, 李腾, 王琪琪, 王咏, 张刚\*

(东北师范大学环境学院, 长春 130117)

**摘要:**从长春市选择了8个主要的公园作为研究绿地土壤肥力的对象,采集每个公园表层土壤(0~50 cm)用于研究土壤pH、碱解氮、有机质、速效磷等土壤肥力属性,根据全国第二次土壤普查分级标准综合评定了绿地土壤的肥力水平,并采用改进的nemerow index进行分析。结果显示:大部分的土壤pH在7.5~8.5,这表明长春市公园绿地土壤大部分都属于弱碱性,土壤有机质平均含量为39.9 g/kg,变幅为17.1 g/kg~64.8 g/kg。长春市8个公园土壤碱解氮含量均值为42.1 mg/kg,变幅为6.2 mg/kg~191.7 mg/kg。有效磷的含量平均为12.7 mg/kg,变化范围为1.4 mg/kg~75.2 mg/kg之间,两极值相差73.8倍。改进的nemerow index结果显示:长春市公园土壤肥力综合指数在0.578~1.681之间,平均为1.070,说明长春市公园土壤肥力整体上属于中等偏贫瘠。根据研究结果,建议及时清理建筑及种植垃圾,并基于长春市地理位置特点,夏季利用残叶堆肥,冬季合理施肥。

**关键词:**公园;土壤;肥力特征;内梅罗指数;氮磷

中图分类号:S158

文献标识码:A

文章编号:1003-8701(2018)01-0028-06

## Analysis and Evaluation of Soil Fertility of City Parks in Changchun City

WENG Yue, LYU Zhuyan, LI Teng, WANG Qiqi, WANG Yong, ZHANG Gang\*

(School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130117, China)

**Abstract:** 40 surface soil samples of eight main parks including Beihai, Ertong, Youyi, Baihua, Changchun, Chaoyang, Nanhu, Beihu in Changchun City were collected (at a depth of 0-50 cm). Their pH, organic matter, alkali hydrolysis nitrogen, available phosphorus, and other fertility characteristics were analyzed with reference to the 2nd National Soil Survey. The integrated soil fertility characteristics were evaluated by Nemerow Index. Results indicated that the pH value of soil samples were slightly alkaline 7.5-8.5. The soil organic contents ranged from 17.1 to 64.8 g/kg and the average content was 39.9 g/kg. The average alkali hydrolysis N was 42.1 mg/kg, and ranged between 6.2 mg/kg and 191.7 mg/kg. The maximum and minimum value of available phosphorus was 1.4 mg/kg and 75.2 mg/kg and the mean value was 12.7 mg/kg. The improved Nemerow Index method of integrated soil fertility was found between 0.578 and 1.681, and average value was 1.070. The results demonstrated that the soil fertility was at medium to very low level. Therefore, the garbage of planting and construction should be appropriately managed and cleaned regularly. Furthermore, the fallen or shredded leaves should be used as compost in summer, and an appropriate amount of fertilizers should be applied in winter, based on the geographic features of Changchun City.

**Key words:** Parks; Surface soil; Fertility characteristics; Nemerow index; Nitrogen and Phosphorus

作为城市基建中具有生命的载体,城市公园

为市民提供了娱乐和休闲场所,同时可以在很大程度上改善城市生态环境<sup>[1]</sup>。植物的生长过程和园林的绿化效果一直被城市绿地土壤的肥力直接影响着,绿地土壤如果比较肥沃,对城市生态环境的改善起着重要作用<sup>[2]</sup>。而城市具有的一些特征也会给土壤带来巨大的冲击,比如:人口密集、交通拥堵、工业发达等特征<sup>[3]</sup>。受频繁的人类干扰行为影响,公园公共绿地土壤特性发生严重变化,如土壤pH失调、养分流失、微生物活性下降、

收稿日期:2017-09-29

基金项目:中央高校基本科研项目业务专项基金(201710200188);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07201-011);吉林省教育厅项目(JJ-KH20170922kJ)

作者简介:翁悦(1997-),女,在读本科,研究方向为生态学。

通讯作者:张刚,男,博士,副教授,E-mail: zhangg217@nenu.edu.cn

土壤板结等问题<sup>[4]</sup>。综上所述,为了提高土壤质量,需要科学合理地研究评价城市绿地的土壤肥力状况。本研究旨在通过测量长春市区内主要公园土壤的理化性质,了解人类活动对土壤的影响规律,期望为进一步了解长春市公园绿地土壤特性积累数据,为公园更合理地规划管理提供科学依据,促进城市的可持续发展。

吉林省的省会城市是长春市,其本身在生态文明建设上已取得显著成效。全省积极响应“十三五”生态环境保护的号召,以生态文明建设为主线,用生态文明建设统领生态环境保护各项工作<sup>[5]</sup>。城市公园建设在生态文明建设中起到了重要的作用。然而,长春市公园土壤肥力状况调查目前较少,本研究通过对长春市8个公园土壤肥力特性开展调查,用主成分分析和nemerow index对土壤肥力进行综合评价<sup>[6]</sup>,为长春市绿地土壤提升改善以及城市建设发展提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

长春市地处北纬 $43^{\circ}05'$ ~ $45^{\circ}15'$ ,东经 $124^{\circ}18'$ ~ $127^{\circ}05'$ ,位于北半球中纬度北温带。长春市主城区位于松辽平原腹地的伊通河台地之上,其土壤共有12个土类、38个亚类、64个土属和190个土种,土壤的形成与分布具有明显的过渡性。长春东部为暗棕壤地带,中部为黑土地带,西部为黑钙土地带,自东向西更替。受地形分异的影响,地带内的土壤系列各不相同。长春年平均气温 $4.8^{\circ}\text{C}$ ,最高气温 $39.5^{\circ}\text{C}$ ,最低气温 $-39.8^{\circ}\text{C}$ ,日照时间2 688 h,年均降水量在522~615 mm之间,且具有四季分明,雨热同季,干湿适中等显著的大陆性季风气候特征。

### 1.2 样品采集与处理

本次实验采土区为长春市区8个主要公园,选取公园内自然状态下植被覆盖的土壤,根据公园的自然地理状况设置采样点及采样数量。取土壤表面下深度为20或30 cm处(由土层厚度决定)的土壤500 g作为深层土样,将二者混合均匀后装入自封袋中,贴上标签,用记号笔写明编号、采样地点、土壤类型等。共采取40组混合土样。除去小石块、枯枝落叶等杂物后,自然风干,风干土样用四分法进行分样,研磨后分别通过1 mm(18目)和0.025 mm(60目)尼龙筛,用自封袋将筛选下来的土样进行密封保存。各采样点的分布如图1所示。



图1 长春中心城区土壤采样点分布图

### 1.3 分析方法

本研究项目的分析指标包括土壤的pH值、有机质、碱解氮、有效磷、氯离子、硫酸根离子,共计6个。测定方法参照《森林土壤分析方法》<sup>[7]</sup>。其中,土壤容重和自然含水率采用环刀法和重量法分析;pH值采用1:5土水比悬浊液电位测定法;土壤吸湿水采用重量分析法;土壤比重用比重瓶法测定;土壤有机质采用重铬酸钾氧化法;土壤速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;土壤碱解氮采用碱解扩散法;土壤中硫酸根离子采用比浊法;土壤中氯离子用硝酸银滴定法测得。采用Microsoft Excel 2003制图,相关指标的差异显著性检验采用SPSS 13.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤肥力指标综合评价

由表1可知,长春市公园土壤pH平均值为8.0,变幅为6.7~9.4,变异系数为8.5%。长春市公园土壤整体呈弱碱性。土壤有机质平均含量为39.9 g/kg,变幅为17.1 g/kg~64.8 g/kg,变异系数为39.8%,说明长春市不同公园间土壤有机质含量差异明显。土壤碱解氮含量均值为42.1 mg/kg,变幅为6.2 mg/kg~191.7 mg/kg,变异系数为79.0%。公园土壤中速效磷含量平均为12.7 mg/kg,变化范围为1.4 mg/kg~75.2 mg/kg之间,最大与最小之间相差73.8倍。

表1 公园土壤基本理化性质

	pH	有机质 (g/kg)	土壤比重 (g/cm <sup>3</sup> )	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	自然含水率 (%)
最大值	9.4	64.8	2.8	191.7	75.2	112.6	25.0
最小值	6.7	17.1	1.8	6.2	1.4	15.3	3.8
平均值	8.0	39.9	2.3	42.1	12.7	60.3	11.6
中位数	8.0	40.4	2.3	11.2	0.9	66.5	8.1
标准差	0.7	15.9	0.3	30.8	11.3	32.7	7.7
变异系数(%)	8.5	39.8	13.4	79.0	88.5	54.2	66.0

## 2.2 土壤肥力单项指标评价

### 2.2.1 土壤pH值

土壤的许多理化性质的综合情况都可以体现在pH上,土壤的酸碱状况直接关系到土壤中养分元素的存在形态和植物有效性<sup>[8]</sup>。由表1可知,长春市公园土壤整体pH呈弱碱性。从公园土壤pH分布特征可以看出(图2),35%的土壤pH在7.5

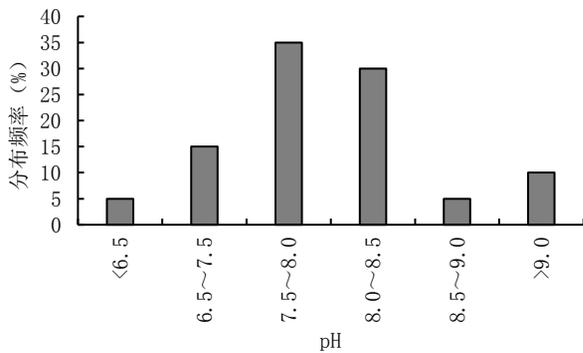


图2 公园土壤pH分布特征

~8.0;其次为pH8.0~8.5占30%,即弱碱性土壤(pH7.5~8.5)占65%;而 $5.5 < \text{pH} < 6.5$ 的弱酸性土壤仅5%。一般pH值在6.5~7.5之间的中性土壤较适合植物生长,若pH值过高,则对土壤微生物活动及养分的释放等都有一定影响<sup>[9]</sup>。而公园内的土壤酸碱水平整体偏高,可能是市区公园人口密集,游客乱扔垃圾等人类活动对环境干扰强度大所造成的。因此,调控土壤pH值,对公园土壤管理举足轻重。和其他北方城市比较,比如哈尔滨,哈尔滨城市绿地中,公园绿地土壤pH为6.6~7.4,属于中偏碱性,和长春市有着相似的情况<sup>[10]</sup>。再对比于南方一些城市的公共绿地,例如成都,成都市交通干道pH平均值为7.9,居住绿地pH平均值为7.8,公共绿地的pH平均值为7.7,以上数据中土壤pH平均值彼此接近并偏碱性<sup>[11]</sup>。且成都市的土壤酸碱度和长春市的比较相近。然而对比再南方一点的城市,比如广东省广州市,

广州市道路绿地土壤平均值为 $7.9 \pm 0.9$ ,总体范围在5.5~8.8之间,其中,pH>7.5的土壤所占比例达到78.3%,这些土壤属于碱性至强碱性,由此可见广州市绿地土壤碱化严重<sup>[12]</sup>。由以上比较可以推断,全国城市绿地土壤都存在着偏碱性的问题。

### 2.2.2 土壤有机质

土壤有机质在植物生长发育过程中起到促进植物生长、为植物提供生长所必需的养料等积极作用。其成分主要来自有机肥料、混杂的底土或母质(生土)、生物残渣等。它是土壤养分中的重要组成部分,更是判断土壤肥瘦标准的重要指标之一。由表2可知,不同公园土壤有机质含量差异显著,这就要求长春市各个公园都应该根据不同的土壤特性施肥。长春公园土壤有机质含量最高,均值为64.8 g/kg,而朝阳公园土壤有机质含量最低,均值为17.1 g/kg,可能是由于长春公园绿化条件较好,大多有成片的林地,枯枝落叶可以回归土壤,经过转化重新补充土壤中的有机质,也可能是与长春公园经常施肥有关。而朝阳公园则有可能是由于人为干扰强度大,并且公园中大片的园林绿地较少,大多为池中绿化带,公园相关部门为了保持环境整洁,林地中枯枝落叶都被很快清理干净。只有少量枯枝落叶可以回归土壤转化为有机质,因此有机质含量偏低。

根据土壤肥力分级标准<sup>[13]</sup>,长春市40%的土壤属于I级土壤,说明长春市公园整体土壤有机质含量较丰富。从空间上看(图3),大部分公园绿地土壤的有机质集中在20 g/kg~40 g/kg之间,达到了第二次土壤普查的II、III级水平,这与王喜宁等研究结果类似<sup>[14]</sup>。相比桂林、济南等城市,长春市公园土壤的有机质含量水平较高<sup>[15-16]</sup>。长春市绿化面积大并且其中的枯枝落叶大部分能够及时回到土壤中转化成养分可能是一方面原

表2 公园土壤肥力特性差异显著性分析

公园	样点数	pH	有机质 (g/kg)	土壤比重 (g/cm <sup>3</sup> )	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	吸湿水含量 (%)
儿童公园	5	7.7±0.3 <sup>c</sup>	41.7±20.4 <sup>ab</sup>	2.3±0.3 <sup>b</sup>	24.8±4.3 <sup>c</sup>	75.2±19.7 <sup>a</sup>	66.6±21.7 <sup>b</sup>	18.0±21.7 <sup>ab</sup>
北海公园	5	8.1±0.1 <sup>bc</sup>	39.1±4.7 <sup>b</sup>	2.5±0.2 <sup>ab</sup>	6.2±3.7 <sup>e</sup>	17.7±14.6 <sup>b</sup>	66.4±20.5 <sup>b</sup>	20.1±24.9 <sup>a</sup>
友谊公园	5	8.0±0.2 <sup>e</sup>	19.9±2.6 <sup>b</sup>	2.8±0.2 <sup>a</sup>	8.3±1.0 <sup>e</sup>	3.4±0.1 <sup>e</sup>	15.3±6.6 <sup>d</sup>	4.6±0.5 <sup>b</sup>
百花公园	5	8.0±0.4 <sup>e</sup>	48.0±18.6 <sup>ab</sup>	2.7±0.1 <sup>a</sup>	14.1±3.9 <sup>e</sup>	8.2±0.1 <sup>e</sup>	19.7±2.0 <sup>d</sup>	5.2±0.3 <sup>b</sup>
长春公园	4	8.5±0.4 <sup>b</sup>	64.8±16.4 <sup>a</sup>	2.3±0.2 <sup>b</sup>	191.7±57.1 <sup>a</sup>	6.7±1.4 <sup>e</sup>	77.6±80.4 <sup>ab</sup>	25.0±19.8 <sup>a</sup>
朝阳公园	4	9.4±0.3 <sup>a</sup>	17.1±6.9 <sup>b</sup>	2.3±0.2 <sup>bc</sup>	59.4±37.4 <sup>b</sup>	1.4±0.8 <sup>e</sup>	112.6±139.6 <sup>c</sup>	9.0±2.7 <sup>b</sup>
南湖公园	6	6.8±0.5 <sup>d</sup>	57.9±29.1 <sup>ab</sup>	1.8±0.2 <sup>c</sup>	26.7±0.1 <sup>c</sup>	17.8±0.1 <sup>c</sup>	91.6±45.2 <sup>a</sup>	3.8±0.2 <sup>b</sup>
北湖公园	6	7.8±0.2 <sup>e</sup>	30.9±12.0 <sup>b</sup>	1.9±0.3 <sup>c</sup>	14.7±0.1 <sup>c</sup>	14.77±0.1 <sup>c</sup>	32.5±10.3 <sup>c</sup>	7.2±1.9 <sup>b</sup>

注:同一列不同字母表示差异在0.05水平显著

因<sup>[14]</sup>。另一方面,市区内高密度人口对公园土壤影响较大,也是造成公园内有机质含量高的重要原因。此外,土壤有机质积累受温度和降水影响大。高降水量与低温均有利于有机质积累,这就使得城市土壤表层有较多有机质累积<sup>[17]</sup>。

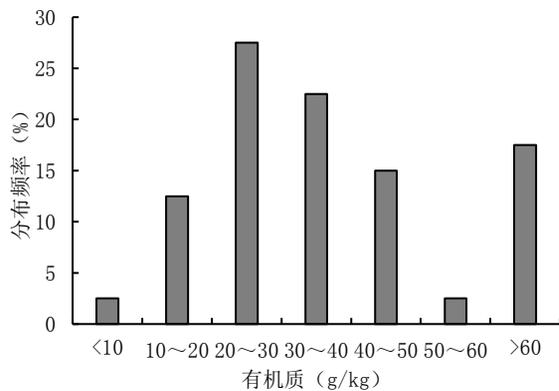


图3 公园土壤有机质分布特征

### 2.2.3 土壤碱解氮

土壤碱解氮是土壤肥力评判的重要因素之一,了解土壤碱解氮含量的高低可以为长春市公园土壤施肥提供合理的建议<sup>[18]</sup>。从表2可以看出,碱解氮含量最低的为北海公园,均值为6.2 mg/kg,最高的为长春公园,达到191.7 mg/kg。依据“全国第二次土地调查报告”的土壤肥力分级标准<sup>[13]</sup>,从公园土壤碱解氮分布特征(图4)可以看出,土壤碱解氮含量主要分布在中下等水平,<30 mg/kg占82.50%,整体上属中低等水平。碱解氮含量在90 mg/kg以上的占15%,若把碱解氮标准含量定为50 mg/kg,即超过标准的都为供应能力中等<sup>[19]</sup>,那么长春这8个公园中85%土壤供氮能力不足。对比东北一些城市,沈阳市公园绿地土壤中碱解氮含量平均值为45 mg/kg,这和长春市差别不大,都是属于大部分城市公园土壤供氮能力不足<sup>[20]</sup>。

哈尔滨的城市公园土壤情况为公园广场绿地土壤碱解氮范围<sup>[10]</sup>,高于长春市,可以看出长春市园林绿化质量还有待提高。

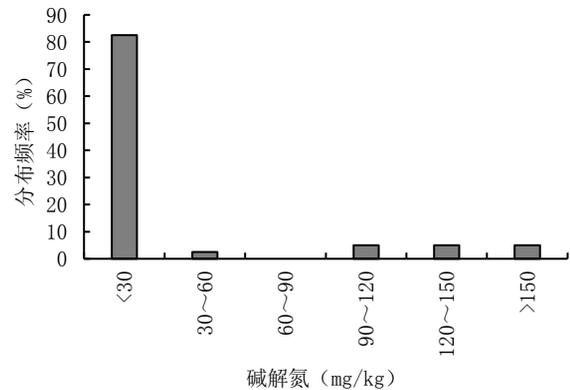


图4 公园土壤碱解氮分布特征

### 2.2.4 土壤速效磷

土壤速效磷含量的高低可以作为一项指标直接反映土壤可供应的磷素养分。由表2可以看出,儿童公园土壤速效磷含量最高,均值为75.2 mg/kg,并且与其他公园之间差异显著,这说明在对长春市的土壤进行施肥时,要以其本身特性为基础再进行管理与施肥。以全国第二次土壤普查的肥力分级标准<sup>[13]</sup>对长春市城市公园土壤进行分析,所研究的8个公园中,有15%的公园土壤速效磷含量达到很高或极高水平(>20 mg)只有5%的土壤在10~20 mg/kg,属于中等含量水平,绝大多数都是处于速效磷缺乏的情况(如图5)。长春市土壤的速效磷含量情况和沈阳、哈尔滨、广州<sup>[10,12,20]</sup>等城市均不一样,后几者的城市土壤速效磷含量几乎都远高于长春,处于较高水平。

### 2.3 土壤肥力综合评价

为了衡量土壤肥沃性、分析城市绿地土壤能否为植物生长提供所需的养分,笔者将土壤一植

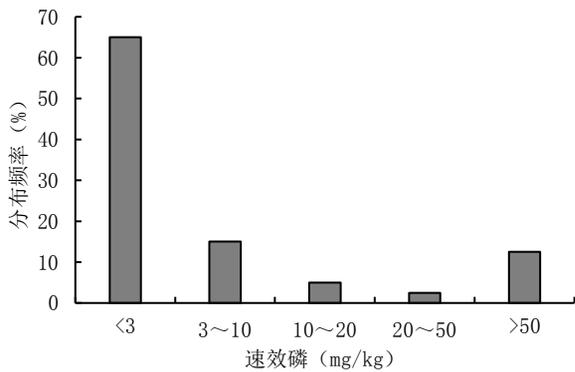


图5 公园土壤速效磷分布特征

物—环境看成一个整体,而土壤肥力是一项重要指标,能够在环境条件上体现土壤养分供给到植物的能力,所以土壤肥力与土壤养分、植物和环境条件之间呈现相互影响促进的关系,一个地区土壤肥力的高低会受到土壤理化性质、土壤养分含量、环境条件等单项指标的影响,同时还会受这些因素的综合作用影响,而要更准确地评价土壤肥力,就需要获取影响土壤肥力各项变量的综合指数,土壤环境中各单项肥力指数因量纲无法进行加总,不能反映不同因素的综合结果,为了进行数据同趋化处理和无量纲化处理,所以需要各项指标的数据进行标准化处理。标准化的常见

方法有:z-score 标准化、对变量的离差标准化、Decimal scaling 小数定标标准化等,以上3种方法并不适用于本次实验,本次实验采用方法如下:

当  $C_i \leq X_a$  时,该项指标属于差一级,此时该项土壤肥力指数  $P_i = C_i / X_a, (P_i \leq 1)$  .....(式1)

当  $X_a < C_i \leq X_c$  时,该项指标属于中等一级,此时该项土壤肥力指数  $P_i = 1 + (C_i - X_a) / (X_c - X_a), (1 < P_i \leq 2)$  .....(式2)

当  $X_c < C_i \leq X_p$  时,该项指标属于较好一级,此时该项土壤肥力指数  $P_i = 2 + (C_i - X_c) / (X_p - X_c), (2 \leq P_i < 3)$  .....(式3)

当  $C_i > X_p$  时,该项指标属于好一级,此时该项土壤肥力指数  $P_i = 3$ 。

在此方法中  $P_i$  为土壤环境中各单项肥力系数,  $C_i$  为该项变量实际测得值,  $X_i$  为参照第二次全国土壤普查分级标准(表3)得到的分级指标。将所测得数据通过此方法标准化后的数据具有无量纲的特点,可用于比对和综合处理,为了模拟植物生长过程中对各影响因子的需求存在临界饱和现象,在标准化中设置各属性评测值超过分级标准中最高肥力系数 ( $X_p$ ) 后的肥力系数恒为3,通过此方法使得各项指标在土壤肥力中的作用更具有合理性。

表3 土壤各属性分级标准

土壤属性	速效氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	全氮 (mg/kg)	全磷 (mg/kg)
$X_a$	60	5	10	0.75	0.7
$X_c$	90	10	20	1	1.5
$X_p$	150	20	30	1.5	2

依据已有资料,对比分析土壤肥力的各单项指标,综合评价土壤肥力仍不具说服力。所以为了通过最小限制因子来反映土壤肥力影响因素对植物生长的限制,采用改进的内梅罗公式对土壤肥力进行综合评价。该方法通过突出最小限制因子在土壤肥力表达中的作用,能够更准确直观地用于土壤肥力评价。修正的内梅罗(Nemerow)公式为:

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

式中:  $P$ -土壤肥力综合指数;  $\bar{P}_i$ -土壤环境中各单项肥力指数的平均值;  $P_{i\min}$ -土壤环境中各单项肥力指数中的最小值;  $n$ -参评土壤环境影响因子个数。修正式中采用  $P_{i\min}$  代替原内梅罗公式中的  $P_{i\max}$  (土壤环境中各单项肥力指数中的最大值)

是为了将土壤属性中最差一项指标作为限制性因子,来考察对肥力的影响。因为考虑到参评土壤环境影响因子个数越多,反映可信度越高,所以增设修正项  $(n-1)/n$ 。通过此公式计算出的土壤肥力指数可以将土壤肥力分为5种:  $P \geq 2.12$  为很肥沃土壤、 $1.42 < P < 2.12$  为肥沃土壤、 $0.72 < P < 1.42$  为一般土壤、 $0.47 < P < 0.72$  为贫瘠土壤、 $P \leq 0.47$  为极度贫瘠土壤。

综上得到长春市公园土壤肥力综合评价结果(表4),根据表中数据分析,长春市公园土壤环境肥力综合指数最大为1.681,肥力综合指数最小为0.578,肥力综合指数平均为1.070,整体土壤环境肥力水平认定为中等偏低。对表4中土壤肥力综合指数进行分类评定,62.5%土壤肥力综合指数为0.9~1.8,37.5%土壤肥力综合指数低于0.9,实

验中大部分公园土壤的肥力水平认定为一般土壤到贫瘠土壤的水平,肥力水平达肥沃的土壤仅占所测公园土壤 25% 左右,说明长春市中心城区公园土壤肥力水平整体较差。

表 4 公园土壤肥力综合评价结果

地点	肥力综合指数	分类
儿童公园	1.681	肥沃
北海公园	1.334	一般
友谊公园	0.716	贫瘠
百花公园	0.979	贫瘠
长春公园	1.400	肥沃
朝阳公园	1.071	一般
南湖公园	0.805	贫瘠
北湖公园	0.578	贫瘠

### 3 结 论

(1) 长春市中心城区公园土壤以弱碱性(pH 7.5~8.5)为主,而呈酸性的土壤仅占 5%,这也是全国大部分城市土壤所存在的问题。土壤有机质平均含量为 39.9 g/kg,属中等水平;碱解氮以中等到低水平为主,公园土壤碱解氮含量均值为 42.1 mg/kg,变幅为 6.2 mg/kg~191.7 mg/kg,变异系数为 79.0%。公园土壤中有效磷含量平均为 12.7 mg/kg,变化范围为 1.4~75.2 mg/kg 之间,最大与最小之间相差 73.8 倍。不管是对比北方城市还是南方城市,长春市都存在大多数土壤磷素缺乏的问题。

(2) 根据改进的内梅罗指数法评价可知,长春市 8 个公园土壤肥力综合指数最小为 0.578,最大为 1.681,平均为 1.070,整体肥力水平认定为中等偏低。在未来土壤养护和利用过程中需要针对长春公园土壤养分含量差距较大,土壤总体呈弱碱性,氮和磷缺乏的特点,进行有针对性的改良。

根据研究结果,建议及时清理建筑及种植垃圾,并基于长春市地理位置特点,夏季利用残叶堆肥,冬季合理施肥。

#### 参考文献:

[1] 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.

- [2] 卢 璞,冯 宏,甘海华.广州城市公园绿地土壤肥力及酶活性特征[J].水土保持学报,2007,21(1):160-163.
- [3] 卓文珊,唐建锋,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.
- [4] 殷金岩,姜 林,王海涛,等.西安市浐灞生态区绿地土壤肥力调查与评价[J].北京林业大学学报,2012,34(4):93-98.
- [5] 包艳丽,张 亮.浅析吉林省“十三五”环境保护规划总体思路[J].环境与可持续发展,2015,4(4):152-156.
- [6] 郝瑞军,方海兰,沈烈英,等.上海中心城区公园土壤的肥力特征分析[J].中国土壤与肥料,2011,20(5):20-26.
- [7] 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)[S].北京:中国标准出版社,2000.
- [8] 彭 娜,王开峰,谢小立,等.长期有机无机肥配施对稻田土壤基本理化性状的影响[J].中国土壤与肥料,2009(2):6-10.
- [9] 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.
- [10] 路雪梅,王 欢,钱挽鹏,等.哈尔滨市主要绿地类型土壤肥力特征比较[J].森林工程,2015,31(6):1-4.
- [11] 陈 雪,郎春燕.成都市城市绿地土壤理化性质研究[J].广东微量元素科学,2011,18(6):52-57.
- [12] 胡彦辉,熊咏梅,徐志平,等.广州市道路绿地土壤肥力特征研究[J].亚热带植物科学,2013,42(2):109-112.
- [13] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,2002:886-961.
- [14] 王喜宁,武春阳,孙亚楠,等.长春市城市土壤特性研究[J].内蒙古农业科技,2011(3):35-37.
- [15] 韩 冰,刘 毓,赵凤莲,等.济南市公园绿地土壤肥力特征及综合评价[J].园林科技,2012(1):18-22.
- [16] 成兆文,孙晓杰,李冬秀,等.桂林市公园土壤肥力调查与评价[J].桂林理工大学学报,2015(5):370-374.
- [17] 李立平,邢维芹,刘 顺,等.郑州市城市土壤理化性质[J].城市环境与城市生态,2010,23(2):18-22.
- [18] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:193-198.
- [19] 姚春霞,陈振楼,许世远.上海市郊旱作农田土壤养分资源状况[J].水土保持学报,2007,21(1):131-134.
- [20] 边振兴,王秋兵.沈阳市公园绿地土壤养分特征的研究[J].土壤通报,2003,34(4):284-290.

(责任编辑:王 昱)