

王 朴,康凯丽,金 晶,等. 武汉市园林土壤理化性状的空间分布规律[J]. 江苏农业科学,2020,48(18):256-261.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.18.050

# 武汉市园林土壤理化性状的空间分布规律

王 朴<sup>1</sup>,康凯丽<sup>1</sup>,金 晶<sup>1</sup>,聂 艳<sup>2</sup>

(1. 武汉市园林科学研究院,湖北武汉 430081; 2. 华中师范大学,湖北武汉 430070)

**摘要:**基于湖北省武汉市中心城区及远城区主要园林土壤 412 个采样数据,运用 ArcGIS 技术研究武汉市园林土壤 pH 值、有机质(OM)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、碱解氮(AN)、有效磷(AP)、速效钾(AK)含量的空间分布规律。结果表明,武汉中心城区园林土壤 pH 值在 7.9 以上,远城区土壤 pH 值接近中性,有向碱性发展的趋势。中心城区土壤 OM 含量为 1.9%~2.0%,处于中等水平,远城区为 0.9%~1.4%,含量较低。中心城区土壤 TN 含量的均值为 0.05%,远城区为 0.02%~0.03%,整体全氮含量处在正常范围。中心城区及远城区土壤 TP 含量分别为 0.095%~0.12%,0.017%~0.04%,全磷含量略低于正常水平。土壤 TK 含量为 1.3%~1.4%,属正常范围。整个城区土壤 AN 含量为 16~60 mg/kg,处偏低水平,AP 和 AK 平均含量分别为 15.28、100 mg/kg,含量较高。数据化系统的建立,可以为今后决策部门规划与管理提供科学依据,推动城市绿化事业健康平稳发展。

**关键词:**武汉市;园林土壤;理化性状;空间分布

**中图分类号:**S153 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)18-0256-06

城市是人类文明的产物,是人类生存不可或缺的部分,随着人口增多、经济快速发展,但城市化进程突飞猛进,城市生态环境质量也日益恶化,这受到人们的普遍关注。作为城市生态系统中不可分割的部分,城市园林土壤不但能孕育绿色植物,也是城市污染物的归宿,因此城市园林土壤是城市环境质量和城市生态最基本的保障<sup>[1-3]</sup>,故园林土壤在城市的生态系统中担当着非常重要的服务功能。我国城市土壤研究刚刚起步,研究内容多为城市土壤污染<sup>[4-7]</sup>、概念、形成特征及分类<sup>[8-10]</sup>。

由于人们对城市园林土壤认识不足和肆意破坏,导致其质量下降,使城市绿地生态系统不能发挥正常功能,对整个城市的生态环境产生严重影响<sup>[11-12]</sup>,成为当前不容忽视的问题。在城市生态系统中,土壤的组成、性质及污染状况对绿地建设、城市区域环境质量及人类健康都有十分重要的影响。近年来,随着园林绿化建设的快速发展,园林土壤研究和质量越来越受到重视。为了全面了解武汉市园林土壤的情况,本试验对武汉地区园林土壤进行了取样分析研究,旨在为园林绿化提供

科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样本采集

如图 1 所示,本试验采样点共计 412 个,同步记录采样点的位置及周边环境情况。中心城区采集(包括开发区、武昌区、洪山区、江岸区、江汉区、硚口区、汉阳区、东湖高新区)样点较多,共计 308 个。从各行政区采样点来看,新洲区采集 16 个样点,黄陂区采集 15 个样点,东西湖区采集 14 个样点,蔡甸区采集 16 个样点,汉南区采集 22 个样点,开发区采集 27 个样点,江夏区采集 21 个样点,武昌区采集 50 个样点,洪山区采集 53 个样点,青山区采集 45 个样点,江岸区采集 36 个样点,江汉区采集 35 个样点,桥口区采集 23 个样点,汉阳区采集 23 个样点,东湖高新区采集 16 个样点。

为掌握武汉市园林土壤性状的空间分异规律,重点选择 pH 值、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾含量共 8 个土壤理化性状指标进行分析。

### 1.2 测试方法

土壤 pH 值用电位法测定;有机质含量用重铬酸钾-硫酸氧化法测定;碱解氮含量用扩散法测定;速效磷含量用 NaHCO<sub>3</sub>-钼锑抗比色法测定;速效钾含量用 NH<sub>4</sub>OAc 浸提,火焰光度法测定;全氮含

收稿日期:2019-09-09

基金项目:湖北省武汉市园林和林业局资助项目(编号:武园发[2015]9号)。

作者简介:王 朴(1979—),男,湖北荆州人,硕士,高级工程师,主要从事园林土壤质量研究。E-mail:6207683@qq.com。

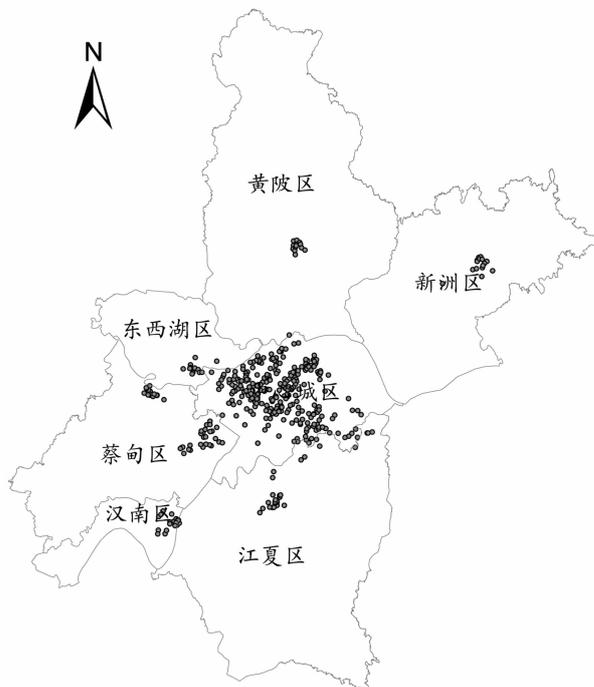


图1 武汉市园林土壤采集样点分布

量采用半微量开氏定氮法测定;全磷含量采用 NaOH 熔融钼锑抗比色法测定;全钾含量采用 NaOH 熔融原子吸收分光光度计法<sup>[13]</sup>测定。

## 2 技术思路

### 2.1 技术路线

土壤特性空间变异的研究是应用地统计学方法对变量空间结构的抽象表达与模拟。特异值的存在、变量的非正态分布、趋势面都会影响地统计学方法的有效性,因此数据预处理是变量空间结构提取的前提;然后,计算、拟合变量的半方差函数,应用克里格(Kriging)插值法获取土壤变量的空间分布图。本试验将武汉市园林土壤 412 个样点的理化性状数据导入 ArcGIS 中,借助克里格法插值法对 pH 值,有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾含量这 8 个土壤理化性状指标的属性数据进行空间插值,获取武汉市园林土壤理化性状的空间分布图,技术路线见图 2。

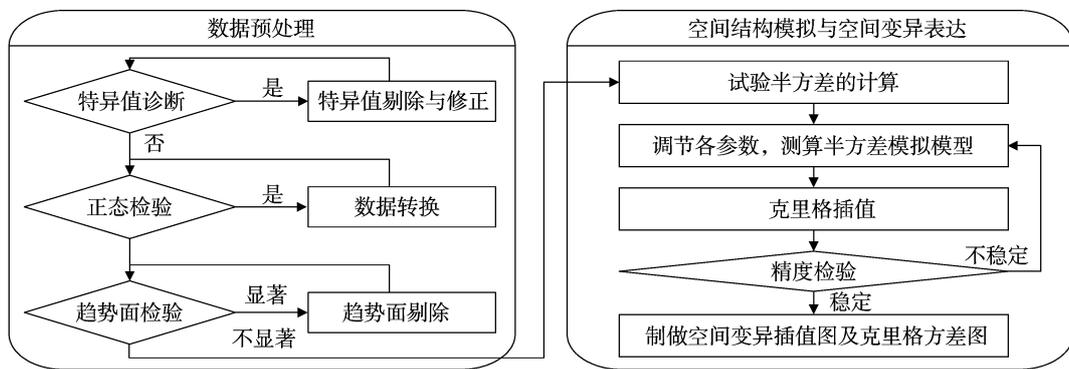


图2 武汉市园林土壤理化性状空间分布规律分析技术路线

### 2.2 克里格法插值法解析

克里格法插值法是地统计中应用最广的最优插值法。它是利用原始数据和半方差函数的结构性,对未采样点进行无偏最优估值的一种方法。设在一区域内位置  $x_0$  处某一变量的估值为  $Z_i^*(x_i)$  ( $i=1,2,3,\dots,n$ ),现通过这  $n$  个测定值的线性组合来求估测值  $Z^*(x_0)$ ,即

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z^*(x_i). \quad (1)$$

式中: $\lambda_i$  为与  $Z^*(x_i)$  位置有关的加权系数。要使估测最优,必须满足如下条件:

(1) 无偏估计,即

$$E[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = 0. \quad (2)$$

式中: $Z(x_0)$  为  $x_0$  的实测值。

(2) 方差( $\sigma^2$ )最小,即

$$\sigma^2 [Z^*(x_0) - Z(x_0)] = \min. \quad (3)$$

结合式(1)~(3),利用拉格朗日极小原理,可以导出  $\lambda_i$  与半方差之间的矩阵:

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} & 1 \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{10} \\ r_{20} \\ \vdots \\ r_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

式中: $r_{ij}$  为  $x_i, x_j$  间距  $|x_i - x_j|$  的半方差; $\varphi$  为拉格朗日算子。求解上式方程组和  $\varphi$  值后,由式(4)可得出  $x_0$  点的最优估测值  $Z^*(x_0)$ 。

根据拉格朗日中值定理,如果函数  $f(x)$  在闭区间  $[a, b]$  上连续,在开区间  $(a, b)$  内至少有 1 点

$\zeta(a < \zeta < b)$ , 使等式  $f(b) - f(a) = f'(\zeta)(b - a)$  成立。

### (3) 精度估计

了解空间变量的估值精度, 有利于改进插值条件以及插值结果的进一步应用。克里格法插值法在提供无偏最优估计的同时, 可以给出估值的精度(克里格方差), 其计算方法如下:

$$\sigma_E^2 = E[Z - Z^*]^2. \quad (5)$$

克里格插值可为空间格局(在空间上有规律的分佈)分析提供从取样设计、误差估计到成图的理论和方法, 可精确描述所研究的变量在空间上的分佈、形状、大小、地理位置或相对位置, 这在确定空间定位图式(格局)方面是比较有效的方法。

## 3 结果与分析

针对武汉市园林植物生长需要, 筛选园林土壤养分及相关的物理性状开展空间变异的研究, 能够揭示园林土壤养分的空间分佈规律, 有助于发现和分佈园林生产中存在的养分管理问题, 进而提出有针对性的对策和措施, 全面提升武汉市园林土壤养分管理水平。

### 3.1 武汉市园林土壤 pH 值的空间格局

pH 值对土壤中养分元素的状态和有效性有重要的影响。pH 值过高或过低, 会使一些营养元素变得难溶或存在状态发生改变, 导致养分的流失和固定, 使营养元素有效性降低, 从而不能很好地被根系吸收。因而对武汉市园林土壤 pH 值空间变异的分析有助于理解和发现园林土壤养分空间变异的原因。从图 3 可以看出, 中心城区和汉南区的 pH 值较高, 部分地区 pH 值在 7.90 以上; 蔡甸区、江夏区和中心城区东南部的 pH 值较低, 部分地区在 6.80 以下; 黄陂、新洲、东西湖区的 pH 值接近中性, 武汉市园林土壤整体的 pH 值都处在正常范围。整体上, 武汉市园林土壤 pH 值具有明显的地理规律性, 且图斑边界平滑, 表明土壤 pH 值受区域水热条件等渐变的区域性因素影响较大。

进一步分析中心城区园林土壤的 pH 值, 从图 4 可以看出, 武汉市中心城区的 pH 值从西向东逐渐降低, 从南向北逐渐升高, 沿长江一带地区的土壤 pH 值相对较高, 东南方向九峰乡一带 pH 值较低, 中心城区南部 pH 值接近中性。中心城区园林土壤 pH 值最低为 6.50 左右, 最高为 8.40 左右, 园林土壤 pH 值有向碱性发展的趋势。

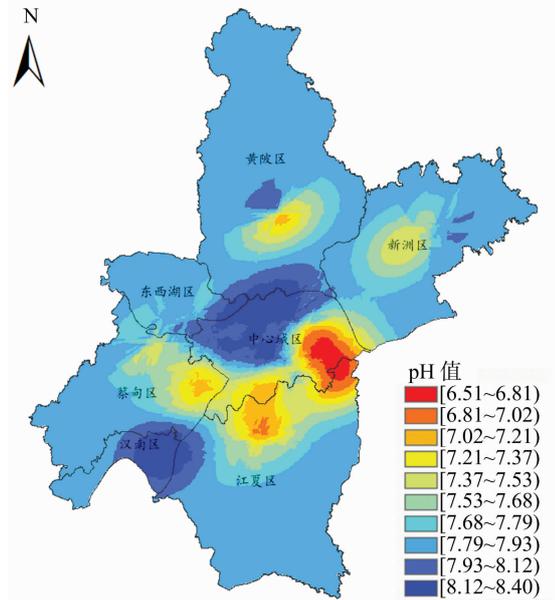


图3 武汉市园林土壤 pH 值空间分佈

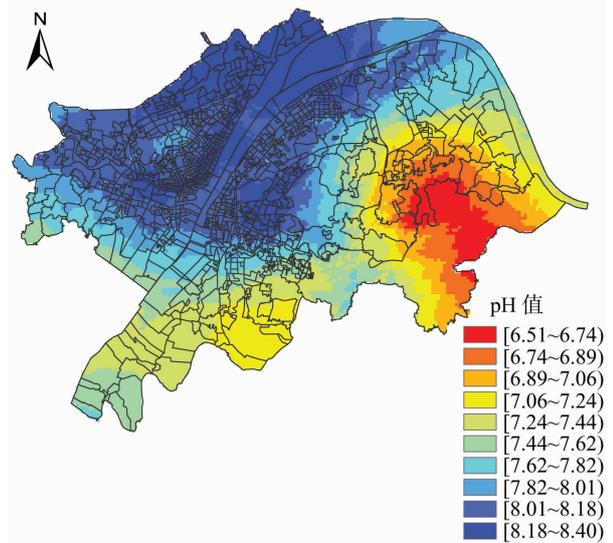


图4 武汉市中心城区园林土壤 pH 值空间分佈

### 3.2 武汉市园林土壤有机质的空间格局

土壤有机质不仅能为植物提供矿质元素, 还能改善土壤理化性质、生物学特性。土壤有机质除了能保持土壤养分, 还能使养分避免淋溶等自然方面的损失。有机质含量的高低决定着土壤的营养水平, 是植物生长过程中氮素、磷素、钾素的重要来源; 土壤有机质还可以吸附土壤中的污染物质, 并在一定程度上改善土壤结构, 保持土壤水分。土壤有机质含量直接或间接影响土壤的许多属性, 是评价土壤质量最重要的一项指标。本研究借助 ArcGIS 获取武汉市园林土壤有机质的空间分佈格局。

从图5可以看出,中心城区的土壤有机质含量较高,平均含量为1.90%~2.00%,中心城区南部靠近蔡甸区和江夏区的有机质含量最低,平均含量为1.0%左右;其他区域有机质平均含量约为1.4%。有机质含量在不同土壤中差异很大,有的含量较高,可达20%或30%以上(如森林表层土壤等);有的含量低,不足1.0%或0.5%(如荒漠土等),一般耕层中有机质含量只有0.5%~2.5%。综上所述,武汉市园林土壤的有机质含量处在正常水平。

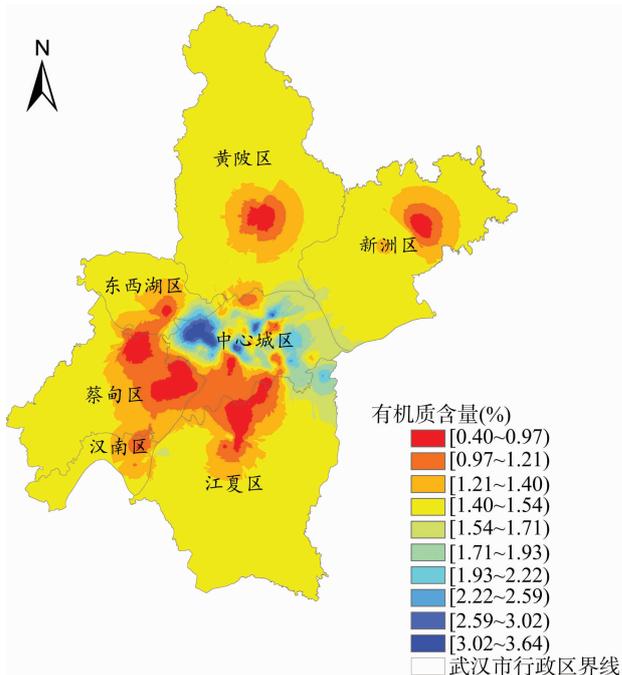


图5 武汉市园林土壤有机质含量空间分布

### 3.3 武汉市园林土壤全量养分(氮、磷、钾)空间格局

氮、磷、钾均是植物需要的大量矿质元素,但也是自然生态系统尤其是农业生态系统中植物生长的限制性因子。全氮、全磷、全钾含量是指土壤中所含的植物可利用和不可利用的各种形态氮、磷、钾的总量。

从图6可以看出,武汉市中心城区土壤全氮含量整体较高,达到了0.050%水平,中心城区东部全氮含量较低,含量为0.025%左右。汉南区和江夏区部分地区全氮含量较高,达到0.035%~0.040%,远城区的全氮含量整体较中心城区偏低,含量大致为0.020%~0.030%。土壤中的氮含量一般为0.020%~0.500%。因此,武汉市园林土壤整体的全氮含量处在正常范围。

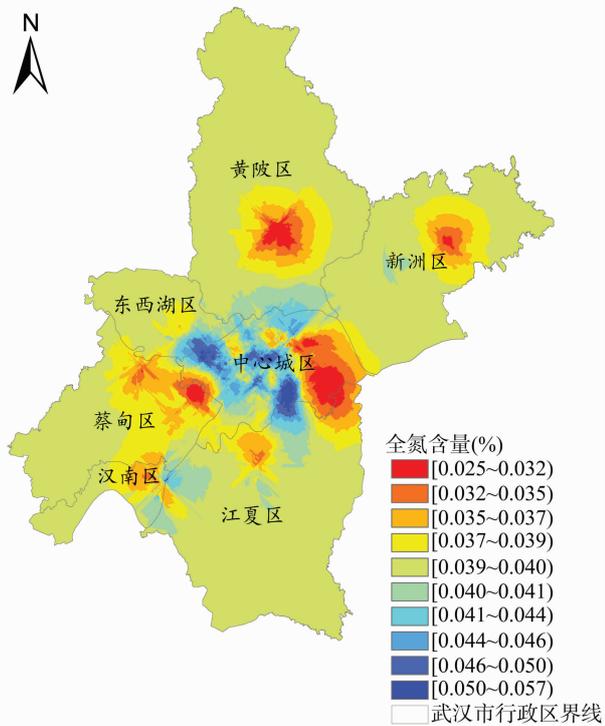


图6 武汉市园林土壤全氮含量空间分布

从图7可以看出,武汉市中心城区的中部地带全磷含量为全市最高,达到0.095%~0.120%,而蔡甸、江夏、东西湖、黄陂和新洲等地的全磷含量较中心城区偏低,平均为0.017%~0.040%,汉南区和江夏区的交界部分全磷含量较高,达0.060%左右。土壤中全磷含量一般为0.040%~0.250%。因此,武汉市园林土壤的全磷含量略低于正常水平。

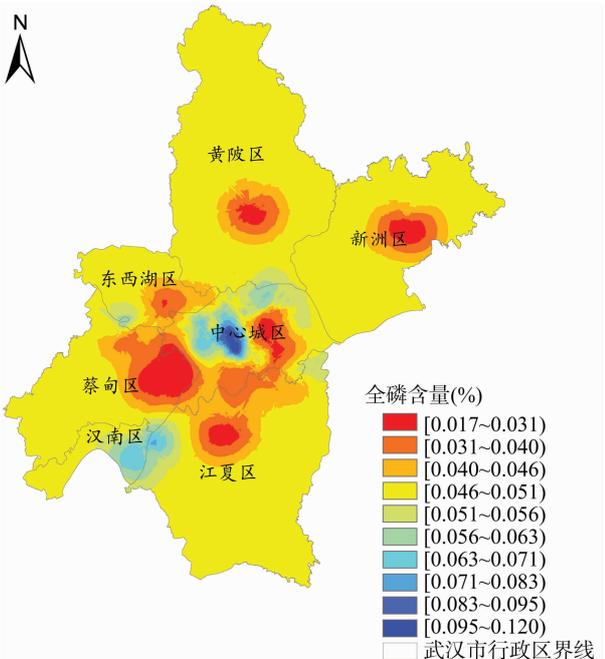


图7 武汉市园林土壤全磷含量空间分布

从图8可以看出,中心城区、东西湖区、蔡甸区、汉南区、江夏区等地的全钾含量整体较高,大致为1.30%~1.40%,中心城区有部分地带全钾含量处在一个较低水平,含量为0.20%~1.00%左右,黄陂和新洲2个区的全钾含量处于中间水平,为1.00%~1.20%,土壤全钾含量一般为0.30%~3.60%。因此,武汉市园林土壤的全钾含量也处在正常范围。

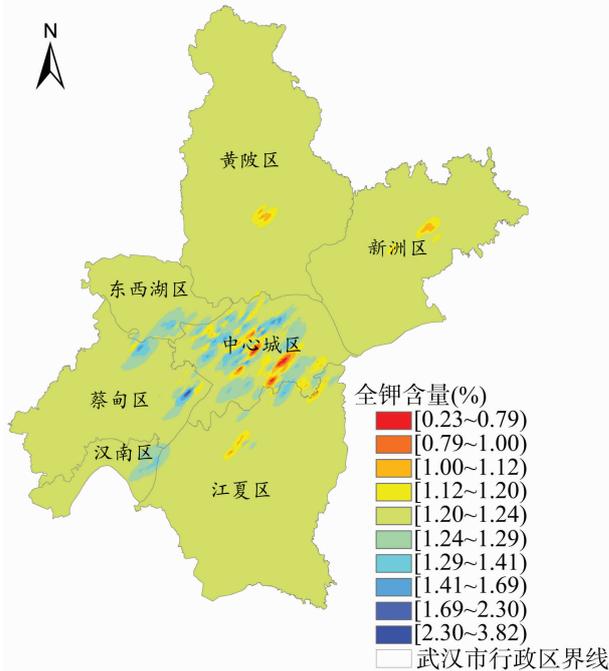


图8 武汉市园林土壤全钾含量空间分布

### 3.4 武汉市园林土壤速效养分空间格局

土壤碱解氮是可以直接被植物根系吸收的有效性氮。从图9可以看出,武汉市中心城区南部园林土壤碱解氮含量较高,达50.00~60.00 mg/kg,中心城区北部的园林土壤碱解氮含量较低,为16.00~25.00 mg/kg;汉南区和江夏区的部分地区碱解氮含量较高,达到40.00 mg/kg,而蔡甸、东西湖、黄陂、新洲区的园林土壤碱解氮含量较低,大致为30.00 mg/kg左右。土壤碱解氮含量小于45.00 mg/kg时为缺乏,达45.00~100.00 mg/kg时为良好,可以看出,武汉市园林土壤整体的碱解氮含量不高,略低于良好水平。

速效磷是指土壤中能被植物吸收利用或易被植物吸收利用的磷,可用来表征最近一段时间或一个生长季可被植物利用的磷含量。土壤速效磷含量可表征土壤的供磷能力。武汉市土壤速效磷含量为1.63~38.03 mg/kg,平均含量为15.28 mg/kg。从图

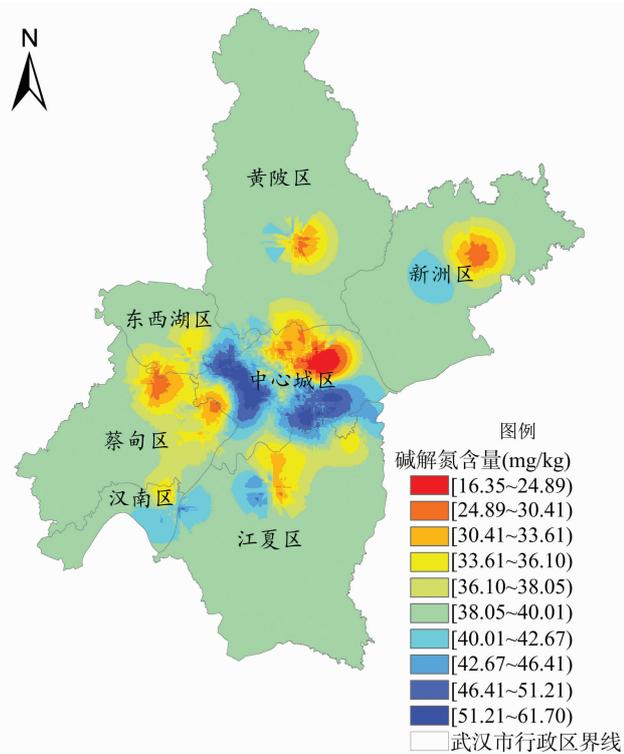


图9 武汉市园林土壤碱解氮含量空间分布

10可以看出,速效磷的空间变异以团块状为主,整体上有一定的渐变趋势,然而图斑较零散,受方向的影响不大。中心城区以及江夏区东北部、汉南区东部的速效磷含量较高,达到22.00 mg/kg以上水平,蔡甸、江夏、东西湖、黄陂和新洲等地的速效磷含量较低,大致为5.00~10.00 mg/kg,土壤速效磷含量一般为10~20 mg/kg,可以看出,武汉市园林土壤的速效磷含量略低于正常水平。

钾是作物不可缺少的大量营养元素。近年来,随着农业生产的发展,在我国不少地区,特别是南方,土壤缺钾面积日益扩大,缺钾程度不断加深。从图11可以看出,武汉市园林土壤的速效钾含量较高,平均含量超过了100.00 mg/kg,根据农作物施肥经验,速效钾含量超过80.00 mg/kg时,无需再对作物施钾肥。中心城区中部的速效钾含量最高,超过了170.00 mg/kg,中心城区四周的速效钾含量也较高,平均超过了100.00 mg/kg,黄陂和新洲2地的园林土壤速效钾含量较低,在90.00 mg/kg左右,东西湖区和汉南区速效钾含量较高,达到了110.00 mg/kg的水平。

## 4 结论与讨论

本试验对武汉市园林土壤理化性状进行了摸底调查,主要结论如下:(1)研究范围内远城区土壤

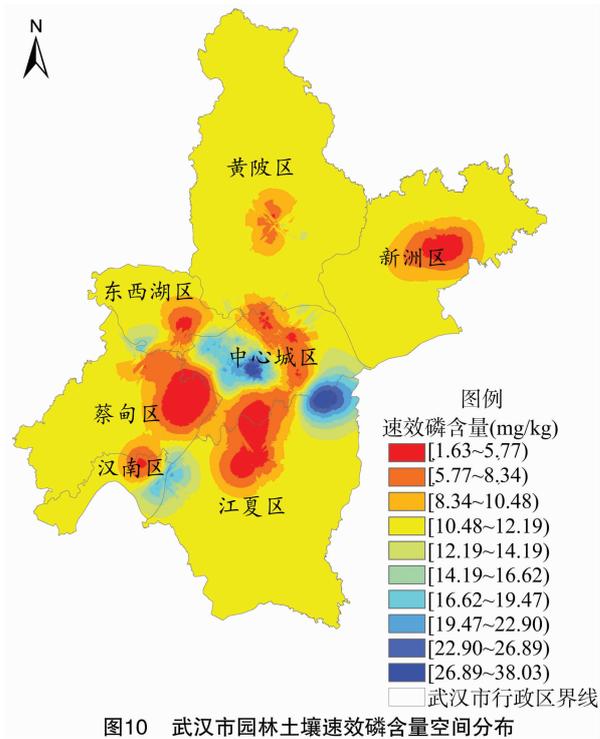


图10 武汉市园林土壤速效磷含量空间分布

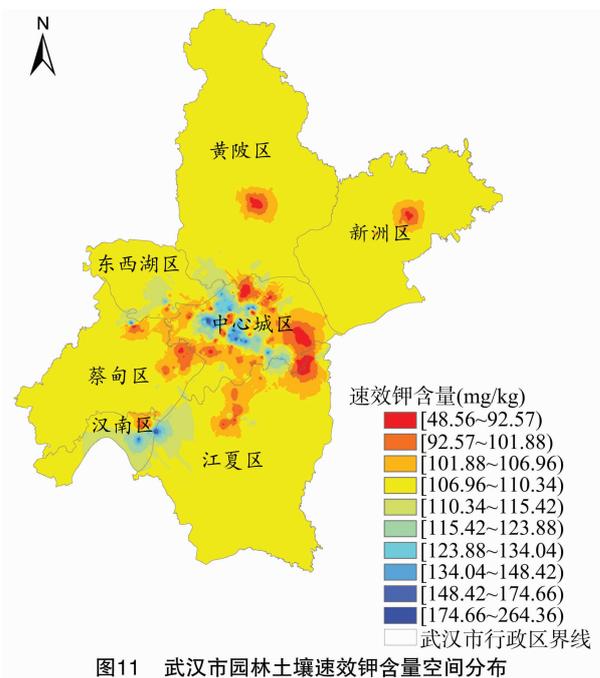


图11 武汉市园林土壤速效钾含量空间分布

pH 值为 5.89 ~ 8.63, 均值为 7.50; 中心城区土壤 pH 值为 5.53 ~ 9.57, 均值为 8.06, 可以看出整个园林土壤受人为影响非常严重, 局部地区碱性污染较明显。(2) 园林绿地土壤速效磷和速效钾含量较高, 有机质含量中等, 全效养分和碱解氮含量偏低, 养分分布不均衡。

由于受人类活动的影响, 尤其是经历过特殊的人为成土过程, 武汉市绿地土壤形成了与自然土壤不同的特殊性状。以遥感和地理信息系统为手段, 获取所需信息, 将生态学原理与方法和土壤分布格局分析结合起来, 用景观格局指数来量化园林土壤理化性状的空间分布规律, 为园林土壤类型分布格局的定性理解和定量分析提供了相关的理论依据。由此获得的各种分布格局数据揭示了武汉市园林土壤理化性状的分布规律, 为今后武汉市城市整体规划, 植物选择和园林植物养护、施肥和改良等提供有用的参数。

参考文献:

[1] 苏泳娴, 黄光庆, 陈修治, 等. 城市绿地的生态环境效应研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7287 - 7300.

[2] Carrus G, Scopelliti M, Laforteza R, et al. Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas[J]. Landscape and Urban Plan, 2015, 134: 221 - 228.

[3] Vrščaj B, Poggio L, Ajmone - marsan F. A method for soil environmental quality evaluation for its management and planning in urban areas[J]. Landscape and Urban Planning, 2008, 88(2/3/4): 81 - 94.

[4] 王 朴, 杜丽君, 金 晶, 等. 第十届中国(武汉)国际园林博览会建设区域土壤重金属含量及污染评价[J]. 河北农业科学, 2017, 21(5): 73 - 80.

[5] 张甘霖, 赵玉国, 杨金玲, 等. 城市土壤环境问题及其研究进展[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 925 - 933.

[6] 陈同斌, 黄铭洪, 黄焕忠, 等. 香港土壤中的重金属含量及其污染现状[J]. 地理学报, 1997, 52(3): 228 - 236.

[7] 张淑洁, 何云玲, 李同艳, 等. 昆明市中部城-郊-乡梯度上土壤重金属分布特征及其污染评价[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(12): 302 - 306.

[8] 李玉和. 城市土壤形成特点、肥力评价及利用与管理[J]. 中国园林, 1997, 13(3): 20 - 23.

[9] 卢 瑛, 龚子同. 城市土壤分类概述[J]. 土壤通报, 1999(增刊1): 60 - 64.

[10] 章家恩, 徐 琪. 城市土壤的形成特征及其保护[J]. 土壤, 1997(4): 189 - 193.

[11] Ajmone - marsan F, Biasioli M. Trace elements in soils of urban areas[J]. Water Air & Soil Pollution, 2010, 213: 121 - 143.

[12] Ellis E C. Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A, Mathematical, Physical & Engineering Sciences, 2011, 369(1938): 1010 - 1035.

[13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.