

成都西部不同交通环线区域绿地土壤肥力特征比较研究^①

袁大刚, 付 帅, 冯 丕, 曹 萍, 陈 雪, 黄晶晶, 王昌全

(四川农业大学资源环境学院, 成都 611130)

摘 要:以成都市不同交通环线绿地土壤为研究对象,通过对 pH、有机质、N、P、K、Fe 等 10 项指标的比较研究,探讨成都市不同环线绿地土壤的肥力特征,为城市绿地的管理与可持续利用提供依据。结果表明:成都市绿地土壤呈碱性化趋势;全氮、碱解氮和有效铁水平较低,植物易缺;有机质、全磷和有效磷呈累积趋势,速效钾也表现出有效性提高的特征,而全钾和全铁有被外来低含量物质稀释的特征。各肥力指标在不同交通环线区域的分布特征差异明显,土壤 pH 表现出从一环路到绕城高速路逐渐升高的趋势,全钾有从一环路内到三环路逐渐升高的趋势,而土壤全磷、有效磷和速效钾从一环路内到绕城均呈逐渐降低的趋势,碱解氮含量表现出从一环路到绕城高速路逐渐降低的趋势;其他指标无明显规律。土壤综合肥力依次为一环到二环区域 > 一环内区域 > 三环到绕城区域 > 二环到三环 > 绕城以外。

关键词:成都市;交通环线;绿地土壤;肥力特征;主成分分析

中图分类号:S153

城市土壤是分布在城区或城郊,经过人类活动的长期干扰或直接“组装”,并在城市特殊的环境背景下发育起来的土壤^[1]。城市土壤是城市生态系统的组成部分,具有调节水肥气热、维持绿地植物正常生长等生态功能^[2]。然而,随着城市人口急剧增加,工商、建筑、交通运输和旅游业的飞速发展,人类活动对城市土壤干扰不断加剧,城市土壤面临趋向碱性化^[3]、富营养化^[4]及养分失衡^[5]等问题。提高城市土壤肥力质量是保证绿色植物正常生长的前提^[2],必须适时掌握城市绿地土壤肥力状况,及时改良绿地土壤的不良性状,从而维护其生态功能的发挥。

成都是四川省省会,四川省政治、经济、文教中心,也是中国西南地区的科技、商贸、金融中心和交通、通讯枢纽,曾荣获“国家森林城市”荣誉称号。然而,对成都城市绿地土壤肥力质量的研究较少且不深入^[6-8]。鉴于此,本研究选取成都市西部不同交通环线区域绿地土壤为研究对象,探讨土壤 pH、有机质、N、P、K、Fe 等肥力指标的分布特征,为城市绿地的管理与可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于成都西部(图 1)。成都地理位置为

104.06° E、30.67° N,属亚热带湿润季风气候,年均气温 16.7℃,年均降雨量 945.6 mm,年均日照时数 1 071 h;境内地形平缓,由西北向东南微倾,平均坡降在 3‰~10‰ 间;属都江堰自流灌区,河流纵横,河网密布;城市空间布局为典型的单中心、圈层式结构形态,城市交通建成了一、二、三环和绕城高速 4 大环状道路和众多放射形、格网状道路,形成了“环状+放射+格网”的路网布局。研究区成土母质主要为全新统岷江冲积物。

1.2 样品采集

于四川大学沿大学路-滨江西路-锦里路-青羊正街-清华路-光华村街-瑞联路-光华大道至温江区光华大道三段口沿线的一环(指一环路以内区域)、二环(指一环路到二环路区域)、三环(指二环路到三环路区域)、绕城(指三环路到绕城高速路区域)和绕城以外(绕城高速路到光华大道三段成都方向路口)5 个区域(图 1)进行土壤采样,每个区域选择 10 个采样单元(图 1),每个采样单元内设置 5 个采样点,用土铲采集表层(0~20 cm)土壤,混合制样,装入采样袋;共采集土壤样品 50 个。样品带回实验室风干后,研磨,过 2 mm、0.25 mm 和 0.149 mm 筛,装袋备用。

1.3 指标测定

土壤 pH 采用电位法^[9]测定;土壤有机质(SOM)

基金项目:国家自然科学基金项目(41371230、40801079)资助。

作者简介:袁大刚(1975—),男,重庆云阳人,博士,副教授,主要从事土壤资源可持续利用研究。E-mail: gangday@sohu.com



图 1 采样点空间分布概况(空心圆点为采样点)

Fig. 1 The spatial distribution of sampling points

采用重铬酸钾容量法^[9]测定；土壤全氮(TN)采用硒粉-硫酸铜-硫酸钾消化，蒸馏法^[9]测定；土壤碱解氮(AN)采用碱解扩散法^[9]测定；土壤全磷(TP)采用高氯酸-硫酸消煮，钼锑抗比色法^[9]测定；土壤有效磷(AP)采用碳酸氢钠浸提，钼锑抗比色法^[9]测定；土壤全钾(TK)采用高氯酸-硫酸消煮，火焰光度法^[9]测定；土壤速效钾(AK)采用乙酸铵浸提，火焰光度法^[9]测定；土壤全铁(TFe)采用氢氟酸-高氯酸消煮，邻菲罗啉比色法^[9]测定；土壤有效铁(AFe)采用 DTPA 浸提，邻菲罗啉比色法^[10]测定。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2007 进行描述性统计，采用 DPS 7.05 进行 LSD 法差异显著性多重比较和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 成都市不同交通环线区域绿地土壤肥力特征比较

2.1.1 pH 土壤 pH 是反映土壤质量的重要指标，对土壤养分有效性和植物生长有重要影响。研究表明，成都市绿地土壤 pH 在 7.04 ~ 7.69(表 1)，其中 5 级水平(pH 7.5 ~ 8.5)的最多，占 72.0%(表 2)，即以碱

性土壤为主。从表 1 还可以看出，成都市绿地土壤 pH 平均值(7.54)高于成都平原第二次土壤普查中农业土壤 pH 平均值 6.95，更高于 2002 年非城市土壤调查结果 6.70^[12]，表现出明显的碱性化趋势。农田土壤酸化是普遍趋势^[13]，而趋向碱性是城市土壤在酸碱度变化方面的显著特征^[3]，南京^[3, 14]、杭州^[15]、武汉^[16]、深圳^[17]、广州^[18]、沈阳^[19]等湿润气候城市均有报道，这与绿地土壤因城市建设而带入的石灰、水泥等碱性物质有关。成都市土壤全钙含量浅层(0 ~ 20 cm)高于深层(80 cm 以下)^[20]，进一步证明了城市化建设进程中石灰性物质的大量使用引起了城市土壤 pH 的升高。

由图 2 可知，从一环路内到绕城高速，绿地土壤 pH 表现逐渐升高的趋势，且一环绿地土壤 pH 显著低于绕城绿地土壤 pH，与沈阳城市土壤 pH 的空间分布呈城区中部高、周边低的特征^[21]不同，这可能是由于沈阳城市同心圆式空间扩张过程中，大量道路、桥梁、房屋建设导致大量石灰、水泥等碱性物质输入引起，而成都老城区所采土样中新铺草坪较多，其中碱性物质较少，从而表现出 pH 从一环到绕城呈逐渐升高的趋势。

表 1 成都市绿地土壤肥力指标基本统计特征

Table 1 The statistical characteristics of green space soil fertility index in Chengdu city

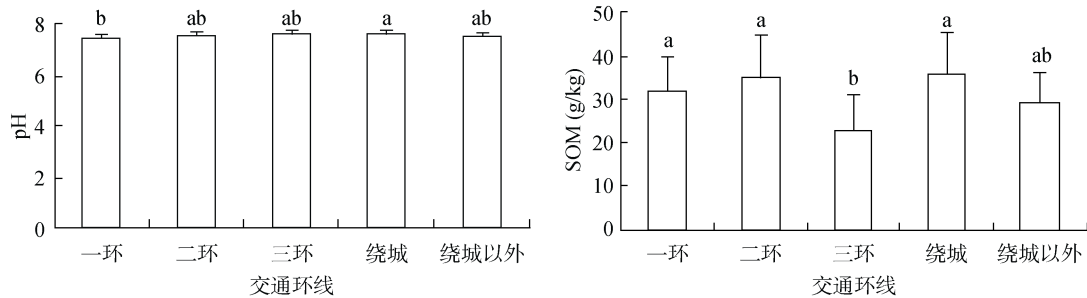
统计指标	pH	SOM	TN	AN	TP	AP	TK	AK	TFe	AFe
最小值	7.04	10.38	0.13	22.1	1.80	1.2	13.09	25.5	26.92	0.3
最大值	7.69	56.50	1.11	80.4	6.84	64.6	49.13	186.6	62.92	12.6
平均值	7.54	31.04	0.56	47.3	2.79	14.1	25.52	79.4	49.83	2.8
标准差	0.15	9.59	0.19	14.4	0.97	15.0	5.73	40.2	5.78	2.5
变异系数	2.0	30.9	34.5	30.5	34.6	106.5	22.5	50.7	11.6	90.6

注：SOM、TN、TP、TK、TFe 单位为 g/kg，其中，TP、TK 和 TFe 分别以 P₂O₅、K₂O 和 Fe₂O₃ 表示；AN、AP、AK、AFe 单位为 mg/kg；变异系数单位为 %，下表同。

表 2 成都市绿地土壤各肥力指标分级比例
Table 2 The percentages of the samples for green space soil fertility at different grades in Chengdu city

等级	占总样品数的比例(%)								
	pH	SOM	TN	AN	TP	AP	TK	AK	AF _e
1	0	18.0	0	0	4.0	8.0	4.0	0	64.0
2	0	36.0	0	0	14.0	14.0	66.0	8.0	18.0
3	0	38.0	4.0	0	48.0	22.0	20.0	18.0	16.0
4	28.0	8.0	8.0	20.0	34.0	20.0	10.0	44.0	2.0
5	72.0	0	54.0	78.0	0	20.0	0	28.0	0
6	0	0	34.0	2.0	0	16.0	0	2.0	0

注：分级按《中国土壤普查技术》^[11] 标准进行。



(图中小写字母不同表示各交通环线间差异达 $P < 0.05$ 显著水平, 下同)

图 2 成都市不同交通环线 pH 与有机质含量的比较

Fig. 2 Comparison of pH and SOM contents in different ring road districts in Chengdu city

2.1.2 土壤有机质 土壤有机质不仅是植物养分的重要来源,而且影响土壤养分的有效性,对土壤物理、化学和生物学性质也有影响,是土壤肥力的重要指标。成都市绿地土壤有机质含量在 10.38 ~ 56.50 g/kg(表 1),其中,3 级水平最多,占 38.0%;2 级水平其次,占 36.0%(表 2);平均值较高,达 31.04 g/kg(表 1),远高于成都平原区广汉市发育于沱江冲积物的再积黄泥水稻土 0 ~ 25 cm 土层有机质平均含量 15.6 g/kg^[22],也高于成都平原区彭州市第二次土壤普查中发育于岷江冲积物的水田土壤的有机质平均含量 25.65 g/kg^[23]和成都、都江堰、双流和新津 4 个区域发育于岷江冲积物的水稻土 0 ~ 20 cm 土层的有机质平均含量 28.14 g/kg^[24],但略低于 2007 年调查的彭州市水田土壤 0 ~ 20 cm 土层的有机质含量 33.04 g/kg^[23]。

由图 2 可知,成都市绿地土壤有机质含量三环区域较低,显著低于一环、二环和绕城,这可能与新近改造绿地较多而土壤培肥不足有关。水田土壤有利于土壤有机质积累,城市土壤也表现出明显的有机质富集现象,南京^[25]、杭州^[15, 26]、开封^[27]、沈阳^[19]等城市均有报道,这与城市土壤有机质来源、特点和转化条件有关。城市土壤中经常人为无意识混入大量有机废弃物,如食物、燃料、沥青等残余物^[26],其中黑炭比例较高^[25-26],同时由于土壤坚实等恶劣的环境条件不利于微生物对有机质的分解转化,从而有利于有机质的积累^[26]。当然,也有城市绿地土壤有机质

含量较森林土壤或农业土壤低的报道^[28-29]。

2.1.3 全氮和碱解氮 氮是植物生长必需的营养元素。成都市绿地土壤全氮在 0.13 ~ 1.11 g/kg(表 1),其中,5 级水平最多,占 54.0%;其次为 6 级水平,占 34.0%;其他水平较少(表 2);平均值很低,仅 0.56 g/kg(表 1),接近岷江冲积物深层土壤全氮背景值 0.51 g/kg^[30],低于成都平原 2002 年非城市土壤调查结果 1.29 g/kg^[31],也低于根据程励励和文启孝^[24]文中数据计算结果。土壤碱解氮在 22.1 ~ 80.4 mg/kg(表 1),其中,5 级水平最多,占 78.0%(表 2);平均值很低,仅 47.3 mg/kg(表 1),低于成都平原 2002 年非城市土壤调查结果 72.2 mg/kg^[31]。本研究结果与武汉^[16]、深圳^[17]和哈尔滨^[28]城市绿地土壤氮素水平相当,土壤氮素严重缺乏。

由图 3 可知,成都市绿地土壤全氮含量以二环最高(0.66 g/kg),显著高于绕城以外(0.43 g/kg);碱解氮含量也以二环区域最高(58.0 mg/kg),显著高于三环(39.2 mg/kg)和绕城(39.1 mg/kg),表现出从一路到绕城高速逐渐降低的趋势,与开封市城区土壤表层碱解氮含量高于郊区土壤^[27]的特征相似,而与哈尔滨城市土壤全氮和碱解氮含量低于农业土壤^[28]、上海城市绿地土壤全氮含量低于郊区农田土壤^[29]以及沈阳城市土壤碱解氮“城区中部低于城市周边,城区土壤低于郊区农田土壤”^[32]的特征不同,这可能与成都市三环、绕城等交通环线新建绿地较多而土壤培肥不足有关。

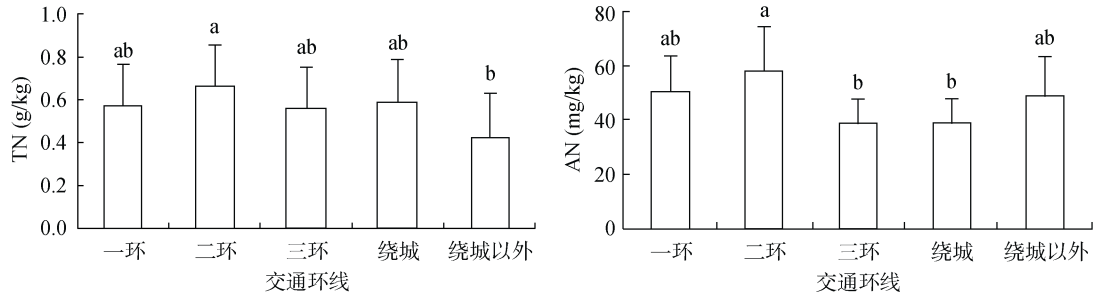


图 3 成都市不同交通环线全氮与碱解氮含量的比较

Fig. 3 Comparison of TN and AN contents in different ring road districts in Chengdu city

2.1.4 全磷和有效磷 磷是植物必需的大量营养元素。由表 1 可知,成都市绿地土壤全磷(以 P_2O_5 计)在 1.80 ~ 6.84 g/kg(表 1), 其中, 3 级水平最多, 占 48.0%; 4 级水平其次, 占 34.0%(表 2); 平均值较高, 达 2.79 g/kg(表 1), 远高于成都平原西部岷江冲积物发育土壤的背景值 1.60 g/kg^[33]。土壤有效磷在 1.2 ~ 64.6 mg/kg(表 1), 其中, 3 级水平最多, 占 22.0%; 其次为 4 级和 5 级水平, 各占 20.0%(表 2); 平均值较高, 为 14.1 mg/kg(表 1), 远高于成都平原第二次农业土壤普查结果 7.1 mg/kg^[34], 也高于成都平原区广汉市发育于沱江冲积物的再积黄泥水稻土 0 ~ 25 cm 土层有效磷平均含量 8.2 mg/kg^[22], 而与 2002 年非城市土壤调查结果 14.3 mg/kg^[34]相当。成都市绿地土壤存在磷素富集现象, 与南京^[3, 35]、杭州^[15]、武汉^[16]、沈阳^[19]、开封^[27]、哈尔滨^[28]、南昌^[36]城市土壤研究结

论一致,这是由于一方面大量外来的生物物质输入城市为土壤提供丰富的磷素来源,另一方面,磷在土壤中难于移动而易于被吸附和固定,从而导致磷素除少部分随径流输出城市生态系统外,大量磷素累积在城市土壤中^[2, 4]。

由图 4 可知,一环绿地土壤全磷含量最高(3.84 g/kg), 显著高于二环、三环、绕城和绕城以外;有效磷含量也以一环含量最高(25.35 mg/kg), 二环含量次之(21.92 mg/kg), 显著高于三环、绕城和绕城以外有效磷含量,这也与新建绿地较多,从而随草皮带入非本区域低磷土壤物质也较多且土壤培肥不足有关。土壤全磷和有效磷从一路内到绕城高速均呈逐渐降低的趋势,表现出城市建成区历史越久土壤磷含量越高的特征,与南京^[35]、沈阳^[21]城市土壤磷素空间分布特征相似。

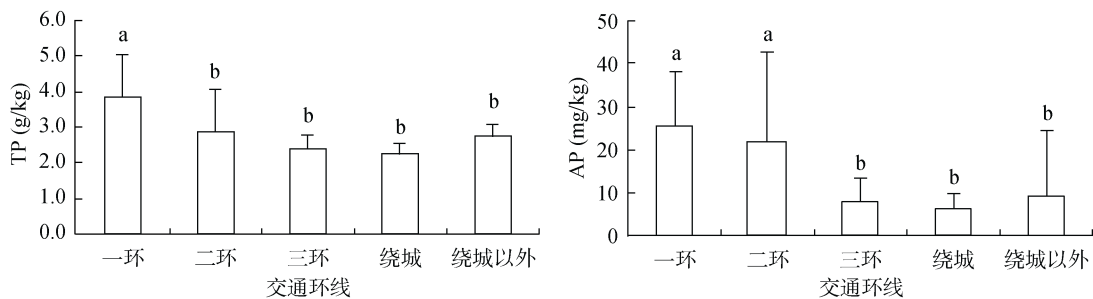


图 4 成都市不同交通环线全磷与有效磷含量的比较

Fig. 4 Comparison of TP and AP contents in different ring road districts in Chengdu city

2.1.5 全钾和速效钾 钾也是植物必需的大量营养元素。成都市绿地土壤全钾(以 K_2O 计)在 13.09 ~ 49.13 g/kg 之间(表 1), 其中, 2 级水平最多, 占 66.0%(表 2); 平均值较高, 达 25.52 g/kg(表 1), 但低于成都平原西部岷江冲积物发育土壤的背景值 28.49 g/kg^[33], 这可能与城市土壤中混入大量外来低钾物质有关。土壤速效钾在 25.5 ~ 186.6 mg/kg(表 1), 其中, 4 级水平最多, 占 44.0%(表 2); 平均值较低, 为 79.4 mg/kg(表 1), 但略高于成都平原区广汉市发育于沱江冲积物的再积黄泥水稻土 0 ~ 25 cm 土层速效钾含量 72.2 mg/kg^[22], 也

高于文献^[37]报道的“成都平原岷江冲积物发育土壤速效钾含量 30 ~ 60 mg/kg, 温江等地速效钾甚至低于 30 mg/kg”。由此可见,成都市绿地土壤表现出全钾被稀释而钾有效性提高的特点,这可能与城市土壤 pH 升高有关,中性及碱性土有效钾含量一般较高^[38]。

由图 5 可知,全钾含量以三环最高(26.83 g/kg), 绕城含量最低(23.97 g/kg),有从一路内到三环路逐渐增加的趋势,但各个圈层土壤全钾含量差异未达显著水平;速效钾含量以一环含量最高(105.06 mg/kg), 二环次之(98.42 mg/kg), 绕城最低(58.91 mg/kg), 显

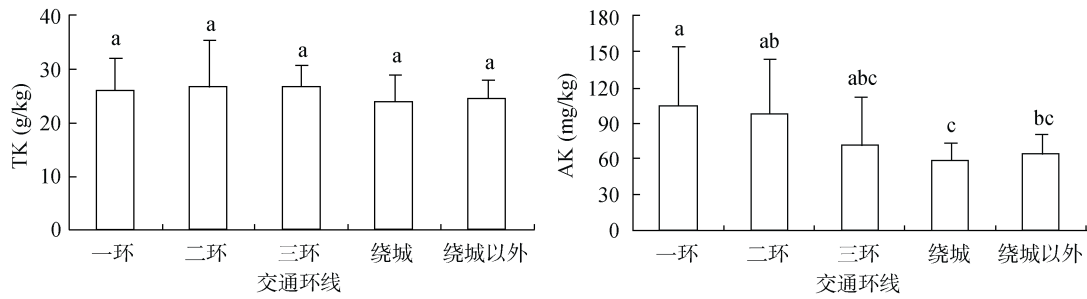


图 5 成都市不同交通环线全钾与速效钾含量的比较

Fig. 5 Comparison of TK and AK contents in different ring road districts in Chengdu city

著低于一环和二环速效钾含量,一环路内到绕城高速公路表现出逐渐降低的趋势,与“沈阳市公园绿地速效钾明显高于非城区土壤^[19],速效钾在市区呈现一定的富集现象^[21]”和“开封城区土壤有效钾也高于郊区土壤^[27]”结论相似,与沈阳城市土壤速效钾在空间上无明显分布规律^[21]不同。

2.1.6 全铁和有效铁 铁是植物必需的微量营养元素。由表 1 可知,成都市绿地土壤全铁(以 Fe₂O₃ 计)在 26.92 ~ 62.92 g/kg,平均值为 49.83 g/kg,低于成都平原西部岷江冲积物发育土壤的全铁含量^[33],也低于成都市浅层(0 ~ 20 cm)或深层(80 cm

以下)土壤全铁含量^[20],与南京城市土壤全铁含量低于成土母质全铁含量^[39]结果一致,这可能与城市土壤中混入大量外来低铁物质有关。土壤有效铁在 0.3 ~ 12.6 mg/kg(表 1),其中,一级水平最多,占 64.0%(表 2);平均值极低,为 2.8 mg/kg,植物容易缺铁^[38]。

由图 6 可知,土壤全铁含量以三环含量最高(51.52 g/kg),二环含量最低(47.12 g/kg),但不同交通环线区域之间无显著差异;有效铁含量以二环最高(4.48 mg/kg),三环最低(1.51 mg/kg),显著低于一环和二环。

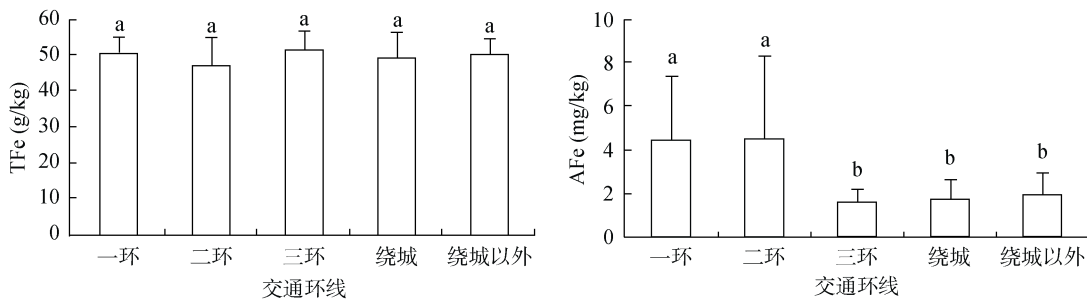


图 6 成都市不同交通环线全铁与有效铁含量的比较

Fig. 6 Comparison of TFe and AFe contents in different ring road districts in Chengdu city

2.2 成都市不同交通环线区域绿地土壤肥力的主成分分析

2.2.1 特征值与方差贡献率 由图 2 ~ 6 可知,成都市绿地土壤各肥力指标在不同交通环线分布特征存在差异,不能简单地通过几个指标对土壤肥力进行评价,有必要探寻一种有效的方法进行综合评价。主成分分析是将多个变量通过线性变换以选出较少个数重要变量的一种多元统计分析方法。运用主成分分析,可汇集各单项指标的全部信息,从而全面衡量土壤质量的总体水平^[40-41]。本研究以土壤 pH,有机质、全氮、全磷、全钾、全铁及碱解氮、有效磷、速效钾和有效铁含量为原始变量进行主成分分析,得到 4 个主成分,其特征值和贡献率见表 3。

表 3 特征值与方差贡献率
Table 3 Eigenvalues and cumulative variance proportion

主成分	特征值	方差贡献率 (%)	累积方差累计贡献率 (%)
PC1	5.732 9	57.329 0	57.329 0
PC2	2.410 1	24.101 0	81.430 0
PC3	1.302 7	13.027 2	94.457 2
PC4	0.554 3	5.5428	100

由表 3 可知,各主成分评价土壤肥力的影响力依次为主成分 1(PC1)>主成分 2(PC2)>主成分 3(PC3)>主成分 4(PC4)。前 2 个主成分的累计贡献率为 81.43%,表明它们能把土壤肥力 80% 以上的信息反映出来。

2.2.2 各主成分得分和综合得分 根据各变量在相应主成分上的因子载荷,可分别获得各主成分得分的函数表达式,将经标准化处理的肥力指标数据代入相应的函数表达式便可得到各主成分得分(表 4)。

在计算各主成分得分的基础上,根据综合主成分函数模型 $F = b_1Z_1 + b_2Z_2 + \dots + b_mZ_m$ (式中 Z 为主成分得分, b 为主成分贡献率),可计算出综合得分(表 4)。

表 4 各主成分得分和综合得分
Table 4 Principal component scores and comprehensive scores

交通环线	$Y(i, 1)$	$Y(i, 2)$	$Y(i, 3)$	$Y(i, 4)$	综合得分
一环	2.934 0	-1.416 7	-0.643 4	0.864 4	1.304 7
二环	2.893 8	1.707 4	0.713 3	-0.721 5	2.123 4
三环	-1.828 5	-1.661 9	1.709 0	-0.126 4	-1.233 2
绕城	-2.412 7	1.994 4	-0.152 0	0.854 2	-0.875 0
绕城以外	-1.586 7	-0.623 2	-1.627 0	-0.870 7	-1.320 1

在成都市 5 个不同区域绿地中,二环综合得分最高,达 2.123 4;一环次之,综合得分 1.304 7;绕城以外综合得分最低,仅 -1.320 1。即土壤肥力水平表现为二环>一环>绕城>三环>绕城以外。二环绿地土壤肥力较高,这可能是由于该区域形成稳定格局的历史较久,绿地土壤上栽植的树木等经过长时间的适应,已经郁郁葱葱,对土壤质量的改善起到了积极作用^[42]。一环略低于二环,可能是由于该区域人口、建筑、车流密度大,植被覆盖率低,随之而来的践踏、“三废”排放和“热岛效应”等对土壤肥力质量产生负面影响,而二环以外由于大规模的工程建设带来的建筑垃圾等废弃物排放、光华大道高负荷的交通运输产生的汽车尾气及疏于培肥等多因素的综合作用,使成都城市绿地土壤结构被破坏,土壤生物多样性降低,土壤肥力下降。

3 结论

1) 成都市不同交通环线绿地土壤呈中性或碱性,以碱性为主,有碱性化的趋势;有机质含量以中上水平为主,有积累趋势;全氮和碱解氮含量以低水平为主,土壤严重缺乏;全磷和有效磷含量以中等水平为主,表现富集特征;全钾和全铁表现出被外来低含量物质稀释的特征;速效钾含量以中下水平为主,但仍表现积累特征;有效铁含量以低水平为主,植物容易缺铁。

2) 各肥力指标在成都市不同交通环线区域的分布特征有差异:土壤 pH 表现出从一环路内到绕城高速路逐渐升高的趋势,全钾有从一环路内到三环路逐渐升高的趋势,而土壤全磷、有效磷和速效钾从一环内到绕城均呈逐渐降低的趋势,碱解氮含量有从一环

路到绕城高速路表现出逐渐降低的趋势;其他指标无明显规律。

3) 成都市不同环线绿地土壤综合肥力依次为二环>一环>绕城>三环>绕城以外。

参考文献:

- [1] 章家恩,徐琪.城市土壤的形成特征及其保护[J].土壤,1997,29(4):189-193
- [2] 张甘霖.城市土壤的生态服务功能演变与城市生态环境保护[J].科技导报,2005,23(3):16-19
- [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[J].土壤,2001,33(1):47-51
- [4] 张甘霖,吴运金,龚子同.城市土壤——城市环境保护的生态屏障[J].自然杂志,2006,28(4):205-209
- [5] 袁大刚,张甘霖.不同利用方式下南京城市土壤碳、氮、磷的化学计量学特征[J].中国土壤与肥料,2013(3):18-25
- [6] 尹幸福,陈修富,邓涤生.四川不同城市园林土壤的性状分析[J].四川林业科技,2004,25(1):40-54
- [7] 庞学勇,丁建林,吴福忠,王红梅,吴宁,包维楷.避灾露营对城市公共绿地土壤呼吸的短期影响[J].生态学报,2008,28(2):5884-5891
- [8] 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
- [9] 张甘霖,龚子同.土壤调查实验室分析方法[M].北京:科学出版社,2012
- [10] 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,1999
- [11] 全国土壤普查办公室.中国土壤普查技术[M].北京:农业出版社,1992
- [12] 李婷,张世熔,干文芝.成都平原土壤 pH 的时空分布特征及影响因素研究[J].四川农业大学学报,2006,24(3):313-318
- [13] Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, Christie P, Goulding KWT, Vitousek PM, Zhang FS. Significant acidification in major Chinese croplands[J].

- Science, 2010, 327: 1 008–1 010
- [14] 王辛芝, 张甘霖, 俞元春, 张金池. 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
- [15] 王美青, 章明奎. 杭州市城市和郊区各功能区土壤的性质比较[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(6): 377–380
- [16] 王朴, 胡红青, 丁昭全. 武汉城市园林绿地土壤现状分析[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(1): 78–80
- [17] 卢瑛, 甘海华, 史正军, 刘振良. 深圳城市绿地土壤肥力质量评价及管理对策[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 153–156
- [18] 卢瑛, 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
- [19] 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
- [20] 朱礼学, 刘志祥, 陈斌. 四川成都土壤地球化学背景及元素分布[J]. 四川地质学报, 2004, 24(3): 159–164
- [21] 张宏伟, 魏忠义, 王秋兵. 沈阳城市土壤 pH 和养分的空间变异性研究[J]. 江西农业学报, 2008, 20(5): 102–105
- [22] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 孙锡发. 成都平原水旱轮作种植下土壤养分特性空间变异研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 355–359
- [23] 杨刚, 张翼, 陶由之, 叶小丽, 伍钧. 成都平原水田土壤有机质时空变异分析——以彭州市为例[J]. 四川农业大学学报, 2012, 30(4): 445–450
- [24] 程励励, 文启孝. 成都平原几种水稻土的固定态铵及其有效性[J]. 土壤, 1999, 31(3): 132–135
- [25] 何跃, 张甘霖. 城市土壤有机碳和黑碳的含量特征与来源分析[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 177–182
- [26] 章明奎, 周翠. 杭州市城市土壤有机碳的积累和特性[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 19–21
- [27] 马建华, 张丽, 李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(2): 93–96
- [28] 陈立新. 城市土壤质量演变与有机改土培肥作用研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 36–39
- [29] 郝瑞军, 方海兰, 沈烈英. 上海城市绿地土壤有机碳、全氮分布特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, 35(6): 49–52
- [30] 陈国光, 冯小铭, 郭坤一, 张德存, 陈德友, 赖启宏, 梁晓红. 广州、武汉、成都地区的生态地球化学特征[J]. 地质通报, 2007, 26(11): 1 418–1 423
- [31] 陈肖, 张世熔, 黄丽琴, 代英, 吴若玉. 成都平原土壤氮素的空间分布特征及其影响因素研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 1–7
- [32] 张宏伟, 魏忠义, 王秋兵. 沈阳城市土壤全钾和碱解氮的空间变异性[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1 517–1 521
- [33] 朱礼学. 成都平原西部元素的分布特征及其与农业、环境的关系[J]. 物探化探计算技术, 1999, 21(4): 295–300
- [34] 肖鹏飞, 张世熔, 黄丽琴, 李婷, 干文芝, 吴德勇. 成都平原区土壤速效磷时空变化特征[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 89–92, 99
- [35] Yuan DG, Zhang GL, Gong ZT, Burghardt W. Variation of soil phosphorus accumulation in Nanjing, China as affected by urban development[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2007, 170(2): 244–249
- [36] Chen FS, Li X, Greg N, Zhan SX. Topsoil phosphorus signature in five forest types along an urban-suburban-rural gradient in Nanchang, southern China[J]. Journal of Forestry Research, 2010, 21(1): 39–44
- [37] 朱礼学, 姚学良, 游再平, 邓泽锦. 成都平原土壤中钾元素分布特征与农业可持续发展[J]. 四川地质学报, 2001, 21(2): 110–112
- [38] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983
- [39] 袁大刚, 张甘霖. 不同土地利用方式下城市土壤铁形态的分布特征[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 5 046–5 050
- [40] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 沈林林, 王芳, 钦绳武. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2010, 42(3): 415–420
- [41] Yuan DG, Yang DD, Pu GL, Zhang Q, Chen X, Peng W, Sun J, Xiong SY, Li JZ. Fertility dynamics of three types of tea garden soils in western Sichuan, China[J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 2013, 50(1): 29–35
- [42] 胡卫萱, 丁峰, 宋文华. 绿化配置对城市土壤酶活性和有机质质量分数的影响[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(9): 115–116

Soil Fertility Characteristics of Urban Green Space Among Different Ring Road Districts in West Chengdu

YUAN Da-gang, FU Shuai, FENG Pi, CAO Ping, CHEN Xue, HUANG Jing-jing, WANG Chang-quan
(College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to provide the basis for the management and sustainable utilization of urban green space, urban green space soils between different ring roads in Chengdu city were taken as the study object, and the soil fertility characteristics was discussed based on the comparative study of 10 indicators including soil pH value, soil organic matter, N, P, K, Fe, etc. The results showed that these soils had alkaline trend. The total content of nitrogen (TN), the content of alkaline hydrolyzed nitrogen (AN) and the content of available iron (AF_e) were mainly at a low levels, susceptible for plant. There was accumulation trend on soil organic matter (SOM), total phosphorus (TP) and available phosphorus (AP), and the content of available potassium (AK) increased. However, the total potassium (TK) and total iron (TFe) showed the dilution characteristics by foreign matter with low content. There were obvious differences in the distribution characteristics of soil fertility indexes among different ring road districts. The soil pH value gradually increased from inner the first ring road to the beltway, and TK gradually increased from inner the first ring road to the third ring road, however, the TP, AP and AK all gradually decreased from inner the first ring road to the beltway, the AK showed gradually decreased from the first ring road to the beltway. Other indexes didn't show such obvious rules. The comprehensive soil fertility of urban green space among different ring road districts was as follows: from the first ring road to the second ring road > inner the first ring road > from the third ring road to the beltway > from the second ring road to the third ring road > outer the beltway.

Key words: Chengdu city; Traffic loop line; Green space soil; Fertility characteristics; Principal component analysis