

# 长春市不同利用方式土壤有机碳数量特征的初步研究\*

王永<sup>1</sup>, 李春阳<sup>1,2</sup>, 李翠兰<sup>1</sup>, 韩旖旎<sup>1</sup>, 吕艳<sup>1</sup>, 张晋京<sup>1\*\*</sup>

1. 吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118; 2. 吉林省水利水电勘测设计研究院, 长春 130021

**摘要:** 以吉林省长春市为例, 研究了几种不同利用方式(包括城区街道、城区广场、城区公园、近郊菜地、近郊耕地)表层(0~20 cm)土壤中总有机碳、水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳的数量特征。结果表明:与菜地和耕地相比,城区(即街道、广场、公园)土壤中总有机碳、水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳均存在富集现象,其中街道土壤中总有机碳、颗粒有机碳和黑碳的富集现象更加明显,而广场和公园土壤中水溶性有机碳和易氧化有机碳的富集现象更加明显;从土壤有机碳组分的分配比例(即各组分有机碳占总有机碳含量的百分比)来看,城区土壤中各有机碳组分的分配比例均高于菜地和耕地,其中街道土壤中颗粒有机碳和黑碳的分配比例高于广场和公园,而水溶性有机碳和易氧化有机碳的分配比例则低于广场和公园。城区特殊的环境条件决定了土壤有机碳数量特征不同于近郊的菜地和耕地土壤,而城区土壤中有机碳数量特征亦受到土地利用方式的影响。

**关键词:** 土地利用方式; 土壤有机碳; 数量特征; 长春市

中图分类号: S153.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-5684(2011)01-0051-06

## Preliminary Study on the Quantitative Characteristics of Organic Carbon in Soils under Different Land Use Patterns in Changchun City

WANG Yong<sup>1</sup>, LI Chun-yang<sup>1,2</sup>, LI Cui-lan<sup>1</sup>, HAN Yi-ni<sup>1</sup>, LÜ Yan<sup>1</sup>, ZHANG Jin-jing<sup>1</sup>

1. College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;  
2. Jilin Investigation Design & Research Institute of Water Conservancy & Hydropower, Changchun 130021, China

**Abstract:** Urban soil organic carbon plays an important role in the regional and global carbon cycle. The quantitative characteristics of the total organic carbon (TOC), water soluble organic carbon (WSOC), easily oxidizable organic carbon (EOC), particular organic use patterns (including urban street, urban square, urban park, suburban vegetable land, suburban arable land) in Changchun city, carbon (POC) and black carbon (BC) were analyzed of 95 soil samples collected from 0—20 cm soil layer under five different land Jilin province, China. Compared with the vegetable and arable soils, the TOC, WSOC, EOC, POC and BC were more abundant in the urban soils. Among the urban soils, the TOC, POC and BC were more in the street soils, while the WSOC and EOC were higher in the square and park soils. On the other hand, the proportions of the organic carbon fractions (i.e. WSOC, EOC, POC, BC) to the TOC of soils were also higher in the urban than in the suburban areas. And the proportions of the POC

\* 基金项目: 吉林省科技发展计划项目[吉教科合字(2006)26号]

作者简介: 王永,男,硕士研究生,研究方向:城市土壤。

收稿日期: 2010-04-19 修回日期: 2010-07-12

\*\* 通讯作者

and BC were more in the street than in the square and park soils, but that of WSOC and EOC were less in the former soils. Because of the specific environmental conditions within the urban areas, the quantitative characteristics of organic carbon of urban soils differ from those of the neighboring vegetable and arable soils. And the quantitative characteristics of the soil organic carbon within the urban areas are also different under the different land use patterns.

**Key words:** land use patterns; soil organic carbon; quantitative characteristics; Changchun city

城市土壤是指出现在城市和城郊地区,受多种方式人为活动的强烈影响,原有继承特性得到强度改变的土壤的总称<sup>[1]</sup>。城市土壤碳循环不仅与城市人类生活健康密切相关,而且是影响全球碳循环不可忽视的重要部分,因此关于城市土壤碳循环的研究对于全球生态系统的可持续发展具有重要意义<sup>[2]</sup>。

由于城市土壤特殊的环境条件,其碳循环过程与非城市土壤有明显的差别。目前,关于城市土壤有机碳数量的研究主要集中于对有机碳总量的研究。与土壤总有机碳相比,土壤有机碳组分更可能作为反映土壤质量变化的敏感性指标<sup>[3]</sup>。目前,对于城市土壤有机碳不同组分数量特征的研究还较少,并且不同研究者的结果也不尽相同<sup>[4-9]</sup>,关于长春市城市土壤有机碳组分数量特征的研究尚未见报道。本研究的目的在于,以吉林省长春市为例,了解当前几种不同利用方式下表层土壤中总有机碳以及有机碳组分(包括水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳)的数量特征,为城市土壤有机碳库和碳循环研究、建设低碳化城市以及保障城市生态系统的稳定和可持续发展提供基础数据和资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土壤采自吉林省长春市(GPS定位),按照利用方式分为街道、公园、广场、菜地和耕地土壤,其中街道土壤取自人民大街和亚泰大街的路边绿化带,公园土壤取自南湖公园、动植物公园、胜利公园、儿童公园、劳动公园和朝阳公园的绿地,广场土壤取自人民广场、世纪广场、新民广场和文化广场的绿地,街道、公园和广场采样点的植被类型为乔木、灌木和草坪;菜地土壤取自近郊的绿园区、上台村、英俊村、宏明村和吉林农业大学菜地,菜地采样点种植的蔬菜有白菜、黄瓜、生菜、芹菜、大葱、西红柿和油菜;耕地土壤取自近郊的

吉林农业大学试验田,耕地采样点种植的作物为玉米。各采样点的具体经纬度及植被状况参见文献<sup>[10-11]</sup>。采样时间为2007年9月,采样深度为表层0~20 cm,采样点数共计95个,其中街道、公园、广场、菜地和耕地的采样点数分别为20,36,14,18,7个,每个采样点采集3~5个样品组成一个混合样。

### 1.2 试验方法

土壤总有机碳用重铬酸钾容量(外加热)法测定<sup>[12]</sup>。水溶性有机碳的测定方法如下:土样用蒸馏水在70℃浸提1 h,吸取部分经离心的浸提液、蒸干,重铬酸钾容量(外加热)法测定其有机碳含量<sup>[13]</sup>。易氧化有机碳用高锰酸钾氧化法测定<sup>[14]</sup>。颗粒有机碳的测定方法如下:土样用5 g/L六偏磷酸钠溶液分散,过筛得到粒径>53 μm的土样,重铬酸钾容量(外加热)法测定其有机碳含量<sup>[15]</sup>。黑碳的测定方法如下:土样用0.1 mol/L重铬酸钾+2 mol/L硫酸混合溶液于55℃下氧化60 h,总有机碳与上述被氧化的有机碳含量之差即为黑碳的含量<sup>[16]</sup>。

数据处理和统计分析采用Microsoft Office Excel 2003和DPSv7.05软件,最小显著差数(LSD)法进行多重比较。对于表格中同一行数据(有机碳平均值),字母相同表示处理间差异不显著,字母不同则表示处理间差异显著( $P \leq 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机碳及其组分的含量

由表1可见,不同利用方式下,表层土壤总有机碳、水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳的含量范围都以城区变化最大,最大值与最小值分别相差36.11, 0.31, 8.81, 30.40, 24.49 g/kg, 变异系数分别为39.1%、39.2%、54.8%、62.2%和54.4%;其次为菜地,最大值与最小值分别相差20.80, 0.21, 3.79, 14.89, 11.75 g/kg, 变异系数分别为30.0%、35.0%、

49.0%、57.4%和40.8%;而耕地变化最小,最大值与最小值分别相差14.70,0.04,0.79,9.84,6.97 g/kg,变异系数分别为31.4%、21.2%、18.4%、84.4%和39.3%。从平均值来看,土壤总

有机碳、水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳的含量均为城区>菜地>耕地,并且城区与耕地间差异都达到了显著性水平。

表1 长春市不同利用方式土壤有机碳及其组分的含量

Table 1. Contents of organic carbon and its fractions in soils under different land use patterns in Changchun city

利用方式 Use pattern	城区 Urban area			菜地 Vegetable land			耕地 Arable land		
	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值 /(g·kg <sup>-1</sup> ) Average	标准差 Stdev	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值 /(g·kg <sup>-1</sup> ) Average	标准差 Stdev	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值 /(g·kg <sup>-1</sup> ) Average	标准差 Stdev
总有机碳 TOC	9.79~45.90	22.00 <sup>a</sup>	8.60	13.30~34.10	21.70 <sup>ab</sup>	6.50	10.90~25.60	15.70 <sup>b</sup>	4.91
水溶性有机碳 WSOC	0.11~0.42	0.21 <sup>a</sup>	0.08	0.11~0.32	0.19 <sup>a</sup>	0.07	0.06~0.10	0.08 <sup>b</sup>	0.02
易氧化有机碳 ROC	1.07~9.88	3.60 <sup>a</sup>	1.97	0.93~4.72	2.66 <sup>ab</sup>	1.30	1.22~2.01	1.53 <sup>b</sup>	0.28
颗粒有机碳 POC	1.41~31.80	11.20 <sup>a</sup>	6.93	2.51~17.4	8.06 <sup>ab</sup>	4.63	1.96~11.80	4.18 <sup>b</sup>	3.53
黑碳 BC	2.11~26.60	10.70 <sup>a</sup>	5.82	4.65~16.4	9.27 <sup>ab</sup>	3.78	5.13~12.10	6.31 <sup>b</sup>	2.48

由表2可见,在城区范围内,表层土壤总有机碳、水溶性有机碳和易氧化有机碳的含量范围都以公园变化最大,最大值与最小值分别相差36.11,0.30,8.55 g/kg,变异系数分别为45.7%、37.6%和55.8%;其次为广场,最大值与最小值分别相差21.10,0.28,7.11 g/kg,变异系数分别为42.8%、42.2%和54.3%;而街道变化最小,最大值与最小值分别相差19.10,0.22,5.46 g/kg,变异系数分别为15.8%、29.0%和49.2%。土壤颗粒有机碳的含量范围也以公园变化最大,最大值与

最小值相差30.39 g/kg,变异系数为76.2%;其次为街道,最大值与最小值相差18.72 g/kg,变异系数为28.7%;而广场变化最小,最大值与最小值相差15.71 g/kg,变异系数为68.1%。土壤黑碳的含量范围则以街道变化最大,最大值与最小值相差16.10 g/kg,变异系数为21.8%;其次为公园,最大值与最小值相差13.09 g/kg,变异系数为51.2%;而广场变化最小,最大值与最小值相差10.51 g/kg,变异系数为42.6%。

表2 长春市城区不同利用方式土壤有机碳及其组分的含量

Table 2. Contents of organic carbon and its fractions in urban area soils under different land use patterns in Changchun city

利用方式 Use pattern	街道 Street			广场 Square			公园 Park		
	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值 /(g·kg <sup>-1</sup> ) Average	标准差 Stdev	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值 /(g·kg <sup>-1</sup> ) Average	标准差 Stdev	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值 /(g·kg <sup>-1</sup> ) Average	标准差 Stdev
总有机碳 TOC	15.80~34.90	28.00 <sup>a</sup>	4.43	10.60~31.70	19.80 <sup>b</sup>	8.46	9.79~45.90	19.50 <sup>b</sup>	8.91
水溶性有机碳 WSOC	0.11~0.33	0.17 <sup>b</sup>	0.05	0.14~0.42	0.23 <sup>a</sup>	0.10	0.12~0.42	0.23 <sup>a</sup>	0.09
易氧化有机碳 ROC	1.07~6.53	3.11 <sup>b</sup>	1.53	1.62~8.73	4.28 <sup>a</sup>	2.33	1.33~9.88	3.60 <sup>ab</sup>	2.01
颗粒有机碳 POC	6.88~25.60	16.00 <sup>a</sup>	4.59	2.59~18.30	8.80 <sup>b</sup>	6.00	1.41~31.80	9.38 <sup>b</sup>	7.15
黑碳 BC	10.50~26.60	17.60 <sup>a</sup>	3.83	3.89~14.40	8.54 <sup>b</sup>	3.64	2.11~15.20	7.70 <sup>b</sup>	3.95

从平均值来看,表层土壤总有机碳和黑碳含量为街道>广场>公园,水溶性有机碳含量为广场≈公园>街道,易氧化有机碳含量为广场>公园>街道,颗粒有机碳含量为街道>公园>广场。统计结果显示,除易氧化有机碳外,其他有机碳含量街道与广场、公园间差异都达到了显著性水平,

表3 长春市不同利用方式土壤有机碳组分的分配比例

Table 3. Proportions of organic carbon fractions to total organic carbon in soils under different land use patterns in Changchun city

利用方式 Use pattern	城区 Urban area			菜地 Vegetable land			耕地 Arable land		
	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值/% Average	标准差 Stdev	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值/% Average	标准差 Stdev	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值/% Average	标准差 Stdev
水溶性有机碳/ 总有机碳 WSOC/TOC	0.37~1.77	1.06 <sup>a</sup>	0.37	0.58~1.61	0.88 <sup>b</sup>	0.22	0.39~0.87	0.54 <sup>c</sup>	0.16
易氧化有机碳/ 总有机碳 ROC/TOC	3.81~27.50	16.70 <sup>a</sup>	5.83	3.97~24.40	12.50 <sup>b</sup>	5.90	6.30~11.30	10.20 <sup>b</sup>	1.82
颗粒有机碳/ 总有机碳 POC/TOC	12.80~89.10	46.10 <sup>a</sup>	17.90	17.20~52.90	34.60 <sup>b</sup>	11.00	15.00~46.10	24.40 <sup>b</sup>	11.80
黑碳/ 总有机碳 BC/TOC	20.10~79.40	46.30 <sup>a</sup>	12.40	34.90~62.00	42.70 <sup>b</sup>	6.16	39.70~50.70	40.20 <sup>b</sup>	3.80

由表3可见,长春市(包括城区、菜地和耕地)表层土壤中,以黑碳和颗粒有机碳的分配比例较高,而易氧化有机碳和水溶性有机碳的分配比例较低。不同利用方式下,土壤水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳分配比例的范围都以城区变化最大,最大值与最小值分别相差1.41%、23.70%、76.20%和59.30%,变异系数分别为34.5%、34.8%、38.7%和26.9%;其次为菜地,最大值与最小值分别相差1.03%、20.40%、35.70%和27.20%,变异系数分别为25.3%、47.2%、31.6%和14.4%;耕地变化最小,最大值与最小值分别相差0.48%、5.05%、31.20%和11.00%,变异系数分别为30.3%、17.9%、48.4%和9.5%。从平均值来看,土壤水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳的分配比例均表现为城区>菜地>耕地,并且城区与菜地、耕地间差异都达到了显著性水平。

由表4可见,在城区范围内,表层土壤中也以黑碳和颗粒有机碳的分配比例较高,而易氧化有机碳和水溶性有机碳的分配比例较低。土壤水溶

而广场与公园间差异均不显著。

## 2.2 土壤有机碳组分的分配比例

不同利用方式土壤有机碳组分的分配比例(或称相对含量,即各组分有机碳占总有机碳含量的百分比)见表3。

性有机碳、颗粒有机碳和黑碳分配比例的范围以公园变化最大,最大值与最小值分别相差1.08%、58.70%和34.90%,变异系数分别为22.1%、42.1%和19.7%;其次为街道,最大值与最小值分别相差0.96%、55.50%和27.60%,变异系数分别为41.2%、25.6%和10.1%;而广场变化最小,最大值与最小值分别相差0.54%、42.60%和15.00%,变异系数分别为12.6%、40.4%和10.8%。易氧化有机碳分配比例的范围以街道变化最大,最大值与最小值相差18.59%,变异系数为48.6%;其次为公园,最大值与最小值相差17.91%,变异系数为21.8%;而广场变化最小,最大值与最小值相差13.80%,变异系数为23.4%。从平均值来看,土壤水溶性有机碳的分配比例为公园>广场>街道,易氧化有机碳的分配比例为广场>公园>街道,颗粒有机碳的分配比例为街道>公园>广场,黑碳的分配比例为街道>广场>公园。统计结果显示,街道与广场、公园间差异都达到了显著性水平,除黑碳外,其他有机碳的分配比例广场与公园间差异均不显著。

表 4 长春市城区不同利用方式土壤有机碳组分的分配比例

Table 4. Proportions of organic carbon fractions to total organic carbon in urban area soils under different land use patterns in Changchun city

利用方式 Use pattern	街道 Street			广场 Square			公园 Park		
	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值/% Average	标准差 Stdev	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值% Average	标准差 Stdev	测定值/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Measured value	平均值/% Average	标准差 Stdev
水溶性有机碳 / 总有机碳 WSOC/TOC	0.37~ 1.33	0.64 <sup>b</sup>	0.27	0.99~ 1.53	1.19 <sup>a</sup>	0.15	0.69~ 1.77	1.25 <sup>a</sup>	0.28
易氧化有机碳 / 总有机碳 ROC/TOC	3.81~ 22.40	11.30 <sup>b</sup>	5.47	13.70~ 27.50	20.90 <sup>a</sup>	4.90	9.39~ 27.30	18.20 <sup>a</sup>	3.95
颗粒有机碳/ 总有机碳 POC/TOC	33.60~ 89.10	57.20 <sup>a</sup>	14.60	20.30~ 62.90	40.20 <sup>b</sup>	16.20	12.80~ 71.50	42.20 <sup>b</sup>	17.80
黑碳/ 总有机碳 BC/TOC	51.80~ 79.40	62.50 <sup>a</sup>	6.33	36.60~ 51.60	43.40 <sup>b</sup>	4.71	20.10~ 55.00	38.40 <sup>a</sup>	7.57

### 3 讨论

#### 3.1 土壤有机碳及其组分的含量

本研究结果(表 1)表明,人为耕作条件下表层土壤总有机碳、水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳含量都趋于平均,而城区表层土壤总有机碳、水溶性有机碳、易氧化有机碳、颗粒有机碳和黑碳均趋于分散且存在富集现象,这主要与城区土壤的有机物质来源广泛以及受人为耕作影响较小等因素有关<sup>[6,7]</sup>。我们的研究结果与何跃和张甘霖对南京市<sup>[4]</sup>、章明奎和周翠对杭州市<sup>[6]</sup>、张小磊等对开封市<sup>[7]</sup>以及国外一些城市<sup>[9]</sup>表层土壤总有机碳的研究结果一致。但张小磊等对开封市表层土壤的研究表明,水溶性和易氧化有机碳平均含量为菜地>城区<sup>[7]</sup>,与我们的研究结果有所不同,这可能是由于本研究采集的城区表层土壤均为绿地土壤,受人为耕翻扰动较少,每年植物残体的分解较多地增加了土壤中活性有机碳的含量;而菜地土壤因受人为耕翻等生产性活动的影响较大,土壤通透性较高使得活性有机碳组分易于淋失,同时每年地上收获物的移出也减少了活性有机碳组分向土壤的输入。有关城市绿地在城市生态系统碳循环中的作用,还有待进一步评价。

城区范围内的研究结果(表 2)表明,街道表层土壤总有机碳的富集现象更加明显;同时,街道表层土壤颗粒有机碳和黑碳的富集程度也较高,而广场和公园表层土壤水溶性有机碳和易氧化有

机碳的富集程度较高。街道表层土壤黑碳富集程度高,主要是由于街道受交通环境影响较大的缘故<sup>[17]</sup>;而颗粒有机碳的富集,则很可能是由于街道土壤受重金属污染物等的影响较严重<sup>[18]</sup>,改变了土壤中微生物的数量、活性和群落组成,使得进入其中的有机物质不易分解,导致了大颗粒轻组有机碳的积累,另外也可能是由于黑碳通过吸附等方式进入了颗粒有机碳所致<sup>[6,19]</sup>。全川等对福州市城市表层土壤的研究表明,公园表层土壤水溶性有机碳平均含量高于路边绿化带<sup>[5]</sup>;段迎秋等对沈阳市城市表层土壤的研究表明,公园表层土壤易氧化有机碳平均含量高于路边绿化带,而颗粒有机碳平均含量低于路边绿化带<sup>[8]</sup>;何跃和张甘霖对南京市城市表层土壤的研究表明,路边绿化带表层土壤总有机碳的富集趋势更加明显,且黑碳平均含量高于公园<sup>[4]</sup>,这些与我们的研究结果都一致。但段迎秋等对沈阳市城市表层土壤的研究表明,公园表层土壤黑碳平均含量高于路边绿化带<sup>[8]</sup>,与本研究结果不同,其原因可能是由于沈阳市为重工业城市,公园采样点受城市工业污染物影响较大的缘故。

#### 3.2 土壤有机碳组分的分配比例

从本研究结果(表 3、表 4)来看,人为耕作条件下表层土壤有机碳组分的分配比例都趋于集中,而城区表层土壤有机碳组分的分配比例均较高且趋于分散;在城区范围内,街道表层土壤水溶性有机碳和易氧化有机碳的分配比例低于广场和公园,而颗粒有机碳和黑碳的分配比例则高于广

场和公园, 这些与上述土壤有机碳组分的含量规律一致。一般认为, 水溶性有机碳、易氧化有机碳和颗粒有机碳的活性较大, 属于非稳态有机碳; 而黑碳的活性较低, 属于稳态有机碳。因此, 上述结果意味着, 长春市城区表层土壤中既含有较高比例的稳态有机碳, 同时也含有较高比例的非稳态有机碳, 而城区内的街道表层土壤中则含有较高比例的稳态有机碳。何跃和张甘霖对南京市表层土壤的研究表明, 黑碳/总有机碳为路边>公园<sup>[4]</sup>; 章明奎和周翠对杭州市表层土壤的研究表明, 颗粒有机碳/总有机碳和黑碳/总有机碳均为城区>近郊菜地>远郊耕地<sup>[6]</sup>, 这些与本研究结果相同。但另一方面, 章明奎和周翠对杭州市<sup>[6]</sup>、张小磊等<sup>[7]</sup>对开封市表层土壤的研究表明, 易氧化有机碳/总有机碳和水溶性有机碳/总有机碳为近郊菜地>城区, 与我们的研究结果不同。

已有的研究认为, 黑碳/总有机碳的大小在一定程度上反映了土壤的污染程度, 同时也与特定的人为活动过程相关, 可以反映城市黑碳的来源<sup>[4, 17]</sup>。从本研究结果(表3)来看, 尽管城区和近郊区土壤的黑碳/总有机碳有一定的差异, 但均为40%~50%, 说明这些土壤中黑碳的来源相似, 即都主要来自于化石燃料的燃烧, 其原因主要是(1)近年来城市化的迅速发展, 近郊菜地和耕地土壤多离公路较近, 因而受交通环境的影响较大; (2)东北严寒冬季持续的时间较长, 居民取暖燃煤过程所产生的黑碳的影响; (3)近年来加强了农田秸秆的综合利用, 秸秆焚烧现象明显减少, 使得生物质来源的黑碳亦明显减少。另外, 从城区的研究结果(表4)可以推断出, 长春市城区内的街道表层土壤受污染程度较高, 且受化石燃料燃烧的影响更大; 而广场因交通较为密集, 其黑碳/总有机碳也比城市公园高。由此可见, 如何减少化石燃料的燃烧是实现长春市低碳化城市的关键。

#### 4 小结

本研究发现, 长春市表层土壤中有机碳及其组分的含量随利用方式的不同而有差别。与菜地和耕地相比, 城区土壤中有机碳及其组分均存在富集现象, 且城区土壤中有机碳组分的分配比例均较高; 街道土壤中颗粒有机碳和黑碳的富集程度与分配比例高于广场和公园, 而水溶性有机碳和易氧化有机碳的富集程度与分配比例则低于广

场和公园。这些不同利用方式的土壤在有机碳质量(即组成结构)上是否也存在差异, 是我们下一步研究的重点。

#### 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] 叶红, 黎慧娟. 城市土壤碳循环特征研究进展[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1134-1138.
- [3] 杨长明, 欧阳竹, 杨林章, 等. 农业土地利用方式对华北平原土壤有机碳组分和团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4148-4155.
- [4] 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.
- [5] 全川, 董艳, 杨红玉. 福州市绿地景观土壤溶解性有机碳、微生物量碳及酶活性[J]. 生态学杂志, 2009, 28(6): 1093-1101.
- [6] 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.
- [7] 张小磊, 何宽, 安春华, 等. 不同土地利用方式对城市土壤活性有机碳的影响——以开封市为例[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1220-1223.
- [8] 段迎秋, 魏忠义, 韩春兰, 等. 东北地区城市不同土地利用类型土壤有机碳含量特征[J]. 沈阳农业大学学报, 2008, 39(3): 324-326.
- [9] Lorenz K, Lal R. Biogeochemical C and N cycles in urban soils[J]. Environment International, 2009, 35: F8.
- [10] 李春阳. 长春市主要公园和广场绿地土壤腐殖质数量与特性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2009.
- [11] 王永. 长春市不同利用方式土壤理化特征研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2010.
- [12] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [13] 张晋京, 窦森, 江源, 等. 玉米秸秆分解期间土壤中有机碳数量的动态变化研究[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(3): 67-72.
- [14] 张璐, 张文菊, 徐明岗, 等. 长期施肥对中国3种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5): 1646-1655.
- [15] 龚伟, 颜晓元, 蔡祖聪, 等. 长期施肥对小麦—玉米作物系统土壤颗粒有机碳和氮的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2375-2381.
- [16] 张履勤, 章明奎. 土地利用方式对红壤和黄壤颗粒有机碳和黑碳积累的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 662-665.
- [17] He Y, Zhang G L. Historical record of black carbon in urban soils and its environmental implications[J]. Environment International, 2009, 157: 2684-2688.
- [18] 郭平, 张毅军, 万婷婷, 等. 长春市土壤中Pb含量、化学形态和空间分布及其影响因素[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(增刊): 113-118.
- [19] 全川, 董艳. 城市生态系统土壤碳库特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1616-1621.