

城市土壤有机碳和黑碳的含量特征与来源分析*

何 跃^{1,2} 张甘霖^{1,2†}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 由于城市化过程中人为活动的深刻影响,城市土壤的一些性质被强烈地改变。城市土壤有机质由于来源的多样性和受到不同程度人为活动的影响,其组成和分布特征表现出异质性和多样性。本研究以南京市为对象,研究了功能区之间土壤有机碳和黑碳含量的差异。与郊区土壤相比,城市土壤的有机碳含量普遍较高。通过对有机碳组成的分析发现其中稳定的黑碳含量较郊区土壤明显偏高,且在不同功能区之间呈现差异性,体现了人为影响过程和污染来源的差别。同时发现路边绿化带土壤正受到来自交通环境的强烈影响,其有机碳和黑碳含量与其他功能区存在显著差异。不同功能区之间因人为影响的差异,土壤中黑碳含量与有机碳含量的比值表现出明显的不同,可以指示黑碳的可能来源。城市土壤环境中黑碳可能构成了总有机碳中的很大部分,这与自然土壤有明显的差别。

关键词 城市化;人类活动;城市土壤;有机碳;黑碳;污染

中图分类号 S153.6

文献标识码 A

黑碳(Black Carbon, BC)是生物质和化石燃料不完全燃烧的产物^[1~4],其来源可分为自然源和人为源两种^[5]。自然源排放如火山爆发、森林大火等具有区域性和偶然性,而人为源排放如汽车尾气、工业排放、火力发电等却是长期和持续的。城市化的过程中,化石燃料燃烧、垃圾焚烧等人为活动已经显著地改变了全球碳循环,最直接的表现是大量温室气体 CO₂ 和黑碳的排放^[1,4]。据估算,黑碳每年形成的速度是 50 ~ 200Tg (1Tg = 10¹² g),其中大部分(>80%)是在燃烧中产生的^[1,2]。由此判断,全球毁林产生的净 CO₂ 的估计量可能偏高 2% ~ 18%;另外,黑碳还可能构成受人类活动影响的全球碳平衡帐中那些“丢失的碳”的相当大一部分^[1,2]。大部分的黑碳会直接进入土壤,一些研究已经发现土壤中有含量黑碳存在^[6~10]。已有研究表明,黑碳在沉积物和冰芯中是记录较大规模火灾历史事件的良好指标^[3,11];在现代沉积物中则是大量有机污染物的优良吸附剂^[12~14];在碳、氧的生物地球化学循环及全球气候变化过程中也起着不容忽视的作用^[15]。因此,有关黑碳的研究已引起众多领域学者的关注。

据联合国数据统计^[16],到 2030 年全世界将约有 60%的人口居住在城市。快速城市化过程的直接后果是大量农田和森林被侵占^[17,18]。土壤作为一种不可再生的自然资源,是人类生存与发展不可缺少的物质基础,也是支撑城市发展的空间和生态基础^[18,19]。城市化过程中剧烈的人类活动正急剧地改变着土壤的一些物理、化学和生物学性质,并由此产生了一类特殊的人为土壤——城市土壤^[17~21]。近年来,有关城市土壤有机质的研究逐渐受到重视^[6,7,20,21]。土壤有机质不仅是土壤肥力的主要指标,也是植物营养元素的源泉之一,而且对土壤的物理、化学和生物学性质有很大的影响^[17,22]。本研究的重要假设之一是城市背景下深刻的人为影响可能显著地改变了土壤中碳的组成,而黑碳可能提供关于人类活动的记录。此外,过去的碳储量研究可能忽略了传统湿烧方法所不能正确得到的黑碳部分,关于土壤黑碳的研究可以为更加精确地计算土壤碳库提供必要的信息。国内目前对城市土壤有机质的组成特征和有机碳库、黑碳的研究还未见报道。

本研究的目的在于了解城市化过程中人类活动作用下不同功能区土壤有机质(有机碳和黑碳)的组

* 国家自然科学基金重点项目(40235054)和中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX3-SW-427)资助

† 通讯作者, E-mail: glzhang@issas.ac.cn

作者简介:何 跃(1975~),男,硕士研究生,土壤地球化学专业

收稿日期:2005-02-28;收到修改稿日期:2005-06-10

成和分布特征,并试图通过黑碳含量指标来表征城市化过程中土壤受人类活动影响的程度,可为城市土壤有机碳库的研究提供数据支持,对区域/全球碳循环研究提供重要补充,同时对保护城市环境、维护公众健康也具有现实意义。

1 材料与方法

1.1 样点选择及描述

本研究选取南京市作为研究区域。南京市位于北纬 31°13' ~ 32°37', 东经 118°19' ~ 119°14', 地处长江下游,是我国的六大古都之一,具有悠久的历史渊源和深厚的文化底蕴,因此具有一定的代表性。该地区土壤母质主要为黄土、下蜀黄土和冲积物,主要

土壤类型为湿润淋溶土。

城市土壤主要分布在城市公园、居民住宅区、道路绿化带、学校绿地等功能区。为了使采样点更具有代表性,本研究选择的样点是有一定利用历史的城市土壤。根据其不同的形成背景和利用历史,每一类型的功能区选择具有代表性的绿地进行研究。

由于土壤的局部变异性较大,每类功能区选取了 6 个点作为重复。6 点尽量均匀地分布在该功能区中具有代表性的不同绿地或空闲地块上。每个采样点分为两层,即 0~10 cm 和 10~30 cm。这样,共采集了 5 个功能区,30 个样点的 60 个土壤样品。样品自然风干,剔除大于 2 mm 的石子、根茎等杂物,过 100 目筛子待用。各个功能区的具体采样地点、植被类型、利用现状见表 1。

表 1 不同功能区采样点的研究概况

Table 1 General information of the sampling sites in different function zones

功能区 Function zone	采样点位置 Sampling site	植被及利用现状 Vegetation	样点号 Sample number
路边 Roadside	北京东路 East Beijing Road	树下灌木、草坪 Shrub, trees, lawn	J-010, J-011, J-012, J-013, J-014, J-015
公园 Park	午朝门公园 Wuchaomen	草坪、树下裸地 Lawn, trees	J-027, J-028, J-029, J-031, J-032, J-062
学校 University	南京大学 Nanjing University	树下草坪 Lawn	J-033, J-034, J-035, J-036, J-037, J-038
居民区 Residential	公教一村 Gongjiaoyicun	树下草坪 Lawn, trees	J-043, J-044, J-045, J-046, J-047, J-048
郊区菜地 Suburb	顾家营 Gujiaying	蔬菜地 Vegetable	J-052, J-053, J-054, J-055, J-057, J-058

1.2 实验方法

采用重铬酸钾-硫酸消化法测定土壤中有机碳 (Organic Carbon, OC) 含量^[21], 消化温度严格控制在 170~180 °C 之间。

土壤中黑碳含量的测定采用 Lim 等^[8]和 Song 等^[9]介绍的方法。其测定原理和基本过程是:(1)称取 3 g 左右过 100 目的烘干土样;(2)加入 15 ml 3 mol L⁻¹ HCl 除去碳酸盐,反应 24 h;(3)加入 15 ml 10 ml L⁻¹ HF: 1 ml L⁻¹ HCl 除去硅酸盐,反应 24 h;(4)加入 15 ml 10 ml L⁻¹ HCl 反应,除去可能生成的 CaF₂,反应 24 h;(5)加入 15 ml 0.1 mol L⁻¹ K₂Cr₂O₇: 2 mol L⁻¹ H₂SO₄,在 55 ±1 °C 下除去有机碳,反应 60 h;(6)得到的剩余物即为黑碳样品,离心、烘干后直接用 CHN 元素分析仪测定黑碳含量。本研究在制备黑碳样品的过程中也有少量改进,如根据获得的有机碳含量值,对低温氧化过程加入的氧化剂量进行了调整,避免了实验的盲目性和因试剂加入量不够所引起的实验误差。另外,在整个实验过程中改用漩涡混合仪来拌匀试剂和样品,使反应能够更加充分。

到目前为止,国际上有关黑碳的实验室统一方

法和标样还在进一步制定和讨论之中^[23]。据文献报道^[8,9],上述方法测得的黑碳含量应该是其实际含量的绝大部分,其实际回收率在 80% 以上。其原因在于所测得的黑碳含量可能包含有尚未完全被氧化的腐殖酸、部分胡敏素和被黑碳颗粒包裹的植物残体^[8,9],同时,离心和氧化过程也可能造成黑碳的部分损失^[8,9]。

2 结果与讨论

2.1 有机碳的含量特征和来源分析

由表 2 可以看出,不同功能区的有机碳含量的大体特征是:在表层(0~10 cm),路边 > 学校 > 郊区菜地 > 居民区 > 公园;在亚表层(10~30 cm),路边 > 郊区菜地 > 学校 > 居民区 > 公园。

在表层,就有机碳含量的变幅范围来看,郊区菜地最小(最大值与最小值差约 6 g kg⁻¹),说明菜地土壤在人为耕作条件下土壤有机碳的含量趋于平均;公园土壤有机碳含量的变幅最大(最大值与最小值差约 19 g kg⁻¹),与城市土壤养分元素空间变异大

的特点相一致^[6,7,20]。表 2 中有机碳含量的平均值表明,除公园、居民区、郊区之间无显著差异外,路边与公园及学校、居民区、郊区,公园与学校间差异均达到显著水平,路边与公园及学校、居民区、菜地间

呈极显著差异。路边绿化带表层土壤中有有机碳的含量值高达 29.09 g kg^{-1} ,约是其他功能区土壤的 1~3 倍,说明在路边绿化带表层土壤有机碳有富集趋势,与国外的一些研究结果相同^[18,20]。

表 2 各功能区城市土壤有机碳和黑碳的含量

Table 2 OC and BC contents of urban soils in different function zones (g kg^{-1})

功能区 Function zones	层次 Layer (cm)	有机碳 Organic carbon (OC)			黑碳 Black carbon (BC)			BC/OC
		变幅 Range	平均值 ¹⁾ Average	标准差 SD	变幅 Range	平均值 ¹⁾ Average	标准差 SD	
路边 Roadside	0~10 10~30	21.84~37.21 19.67~33.23	29.09aA 25.38aAB	6.45 5.99	6.40~23.05 6.67~25.91	13.67aA 12.46aA	6.19 7.40	0.45 ±0.13 0.46 ±0.17
公园 Park	0~10 10~30	2.44~21.49 1.74~19.95	10.05cdCD 6.82dD	1.42 7.01	0.50~3.77 0.52~5.67	1.93bB 1.47bB	8.11 2.06	0.26 ±0.22 0.23 ±0.12
学校 University	0~10 10~30	10.93~26.26 8.39~20.83	17.00bBC 12.96bcdCD	3.26 4.85	1.46~10.43 0.55~6.67	4.12bB 2.70bB	5.08 2.53	0.22 ±0.10 0.18 ±0.11
居民区 Residential	0~10 10~30	2.73~17.93 1.67~14.99	11.19bcdCD 10.00cdCD	0.99 4.71	0.37~3.19 0.47~3.09	1.85bB 1.73bB	5.56 0.93	0.16 ±0.05 0.19 ±0.08
郊区菜地 Suburb	0~10 10~30	11.72~17.86 10.37~17.81	14.14bcCD 14.19bcCD	0.49 2.63	0.96~2.48 1.00~1.73	1.60bB 1.39bB	2.39 0.33	0.12 ±0.04 0.11 ±0.03

1) 小写字母表示 $p = 0.05$ 显著水平,大写字母表示 $p = 0.01$ 显著水平 Small letter and capital letter means significant level in $p = 0.05$ and $p = 0.01$, respectively

在亚表层,有机碳含量的变幅范围最小的也是郊区菜地(约 7 g kg^{-1}),最大的是公园(约 19 g kg^{-1}),其他功能区之间相差不大,与表层有机碳的分布特征相似。统计结果也显示,路边与公园及学校、居民区、菜地,公园与郊区间差异显著,路边与公园及学校、居民区、菜地间呈极显著差异。路边绿化带亚表层土壤中有有机碳的含量高达 25.38 g kg^{-1} ,约是其他功能区土壤的 4 倍。路边绿化带亚表层土壤中的有机碳也有富集趋势。^[6,20]

整个城区土壤有机碳的含量最高为 37.21 g kg^{-1} ,最低为 1.67 g kg^{-1} ,平均 15.31 g kg^{-1} ;而菜地土壤中最高 17.81 g kg^{-1} ,最低 10.37 g kg^{-1} ,平均 14.16 g kg^{-1} 。以前的研究表明,城市土壤存在比较明显的有机碳富集现象^[21],但城区土壤不同功能区之间有机碳的含量特征和富集程度不一样,有时候还表现出有机碳含量偏低的现象。如在公园和居民区,研究发现,一些裸地土壤由于经常的垃圾清扫使得有机物质输入的数量有限,而表现出有机碳含量有所下降的趋势。因此,这一部分城市土壤面临着因有机质含量减少引起的土壤退化现象,如压实问题^[17]。

2.2 黑碳的含量特征和来源分析

在以往的土壤有机质研究中,人们很少关注黑碳物质的含量,最近的研究结果表明部分土壤含有

相当比例的黑碳^[10,14,23],它们进一步氧化降解还可能成为某些土壤腐殖酸的重要来源^[24]。

从表 2 和图 1 可以看出,在城市土壤中存在一定含量的黑碳。不同功能区之间黑碳含量的总体特征是:在表层,路边 > 学校 > 公园 > 居民区 > 郊区菜地;在亚表层,路边 > 学校 > 居民区 > 公园 > 郊区菜地。

从表 2 黑碳含量的平均值来看,无论是表层还是亚表层,路边与公园及学校、居民区、菜地间呈极显著差异,但公园、学校、居民区、菜地间无显著差异。研究发现,路边绿化带土壤中黑碳含量无论在表层还是亚表层都异常的高,分别为 13.67 g kg^{-1} 和 12.46 g kg^{-1} ,与郊区菜地土壤相比,分别是其含量值的 8.5 倍和 9 倍。由此可以看出,从郊区到城区土壤中黑碳含量有增加趋势,除去成土母质的影响因素,造成这种现象的原因可能是受到人为活动的作用和影响。

引起路边城市土壤黑碳含量异常的原因可能是受到来自交通环境的影响^[25~27]。特别是由于我国的汽车保养维修和日常检查系统不完善,单车排放污染物比国际水平高出数十倍。汽车排放污染已是我国大城市空气污染的重要来源^[27,28],进而影响到城市空气质量和大众健康^[14,28]。从上述结果可以看出,路边土壤受到来自交通环境的重金属污染外(如

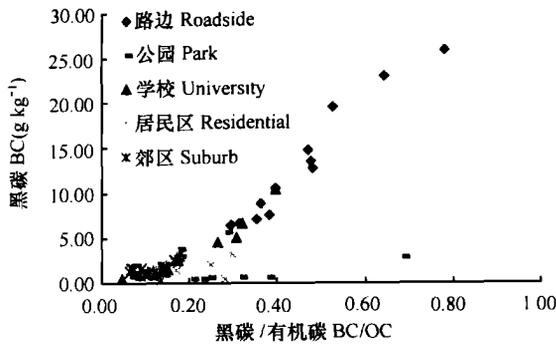


图1 不同功能区城市土壤的BC含量和BC/OC比值图

Fig. 1 BC contents and BC/OC ratios of urban soils in different function zones

铅等),一些燃油不完全燃烧所释放的有机污染物和颗粒物也值得关注^[25~28]。这些含有黑碳物质的颗粒物会直接落入土壤中或路边的植被上,最终以向下迁移或径流方式进入土壤或水体,土壤黑碳含量的异常正是这种污染的重要标志。

2.3 城市功能区土壤BC/OC值及其指示意义

BC/OC值指土壤中黑碳与有机碳(湿烧法测定)含量之间的相对比值,其大小在一定程度上反映了土壤的污染程度^[29,30],同时也与特定的人为活动过程相关^[29]。表2的统计结果显示:在表层,BC/OC值是路边>公园>学校>居民区>郊区菜地;在亚表层,路边>公园>居民区>学校>郊区菜地,与有机质和黑碳的变化顺序一致,说明与郊区土壤相比,城区土壤受到了一定程度的污染。由图2可知,

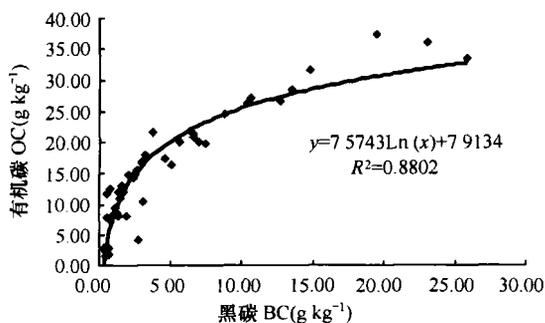


图2 城市土壤中OC和BC的相关性

Fig. 2 Correlation of OC and BC contents in urban soils

路边绿化带中的BC/OC值与其他功能区相比都有明显的差异性。这可能与这些土壤中黑碳和有机碳的输入和来源有关。

据报道^[29,30],在城市大气气溶胶里面,如果BC/OC值在 0.11 ± 0.03 之间则认为黑碳的主要来源是生物质的燃烧;如果在0.5左右,则认为黑碳的来源主要是化石燃料的燃烧。而对土壤中BC/OC值是否也反映了黑碳的这种不同来源,值得研究。但从目前对城市土壤有机碳和黑碳的研究发现,得到的结果与上述假设非常吻合。比较不同功能区土壤中BC含量以及BC/OC值,可以发现:路边土壤不但具有较高的BC含量,而且BC/OC值也较高,平均值在表层是 0.45 ± 0.13 ,在亚表层是 0.46 ± 0.17 ,反映了化石燃料燃烧的结果。而受城市环境影响相对较小的郊区菜地,BC含量较低,基本上在 2.5 g kg^{-1} 以下,BC/OC在表层是 0.12 ± 0.04 ,亚表层是 0.11 ± 0.03 ,表明BC的主要来源是生物质(秸秆等)的燃烧。

研究发现(图1),在不同功能区的城市土壤之间BC/OC值也表现出不同的特征。路边土壤的BC/OC值相对较高而与其他功能区存在明显的分离,这是直接受到交通环境影响的结果;公园和学校土壤的BC/OC值分布的范围比较宽而分散,这与实际所处的环境复杂有关,说明既有来自交通环境的影响也有来自居民燃烧生物质的影响(如燃烧垃圾、秸秆等);居民区土壤的BC/OC值则表现出相对集中的分布,这与生活区一般远离交通环境的事实相一致,其黑碳的主要来源是生物质的燃烧;郊区菜地的BC/OC值则分布最集中,且表现出基本上不受密集交通环境影响的特征,其黑碳来源是生物质燃烧的结果。因此,在城市土壤研究中,BC/OC值可以大致判断黑碳的主要来源。

2.4 城市功能区土壤有机碳和黑碳的含量关系

通过不同功能区土壤的有机碳和黑碳的相关分析(见表3)发现:路边绿化带、公园、学校、居民区土壤中的有机碳和黑碳含量之间存在极显著相关,间接说明城市土壤有机质构成中黑碳成分占据重要地位;而郊区菜地土壤的有机碳和黑碳含量之间关系不显著。

表3 不同功能区土壤有机碳(y)和黑碳(x)的关系

Table 3 Correlation between OC (y) and BC (x) of urban soils in different function zones

功能区 Function zones	样本数 Number	拟合曲线 Correlation	R
路边绿化带 Roadside	12	$y = 0.84x + 16.26$	0.9126***
公园 Park	12	$y = 3.497x + 2.4842$	0.8017**
学校 University	12	$y = 1.7022x + 9.1835$	0.9446***
居民区 Residential	12	$y = 4.3137x + 2.8816$	0.7986**
郊区菜地 Suburb	12	$y = -0.41x + 14.777$	-0.0707

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$

图 2 的结果显示,就所有城市土壤来看,OC 和 BC 的含量之间具有显著的相关性 ($R^2 = 0.8802$, $p < 0.01$)。城市土壤中 BC 含量较高以及与 OC 良好的相关性表明,城市土壤能够固定较多碳与黑碳组分存在有关,或者是城市土壤有机碳的固定过程中黑碳扮演了重要的作用。城市环境下土壤所表现出的黑碳含量的特征在自然土壤中是很少出现的^[7]。

有机碳和黑碳含量的这种相关性除与有机物质的输入来源有关以外,还可能存在特殊的固定积累机制:一方面由于黑碳类物质的存在,其特殊的化学和生物惰性使得土壤中的有机碳得以保存下来;另一方面,由于黑碳的存在,吸附和固定了有机物质、粘土矿物^[14],并起到稳定和固持有机质的作用^[10]。当然,这其中可能还有某些生物因素的作用。另外,黑碳对一些非极性有机污染物(如 PAH 等^[14])也起到了同样的吸附和固持作用。到目前为止,我们还没有合适的方法把有机污染物和有机质完全提纯和分离开来,因而有机污染物对测得的 OC、BC 值的实际贡献率也无法准确得到,还需进一步研究。

3 结 论

因城市不同功能区之间人为作用的方式、强度的不同,土壤有机碳和黑碳含量在城市不同功能区之间表现出差异性。研究发现,城市功能区之间土壤有机碳和黑碳含量表现出差异。路边土壤有机碳含量显著高于公园、学校、居民区、郊区菜地土壤;黑碳含量表现出同样的趋势。BC 含量以及 BC/OC 值能较好地反映各功能区土壤的差异,其中路边土壤显著区别于其他功能区,说明城市交通污染对土壤黑碳含量有显著的影响。城市土壤中 BC 含量较高以及与 OC 良好的相关性表明,城市土壤能够固定较多碳与土壤有机碳的组成特征有关,黑碳组分的存在可能起着重要作用。

参 考 文 献

- [1] Kuhlbusch T A J. Black carbon and the carbon cycle. *Science*, 1998, 280:1 903 ~ 1 904
- [2] Masiello C A, Druffel E M. Black carbon in deep-sea sediment. *Science*, 1998, 280:1 911 ~ 1 913
- [3] Dickens A F, Gelin Y, Masiello C A, *et al.* Reburial of fossil organic carbon in marine sediments. *Nature*, 2004, 427 (6972): 336 ~ 339
- [4] Jacobsen, M Z. Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming. *Journal Geophysical Research*, 2002, 107: 4 410 ~ 4 431
- [5] 秦世广,汤洁,温玉璞.黑碳气溶胶及其在气候变化研究中的意义. *气象*, 2001, 27(11): 3 ~ 7. Qin S G, Tang J, Wen Y P. Black carbon and its importance in climate change studies (In Chinese). *Meteorological Monthly*, 2001, 27(11): 3 ~ 7
- [6] Wu Q, Blume H P, Beyer L, *et al.* Method for characterization of inert organic carbon in urbic anthrosols. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1999, 30 (9/10): 1 497 ~ 1 506
- [7] Schleuss U, Wu Q, Blume H P. Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany. *Catena*, 1998, 33:255 ~ 270
- [8] Lim B, Cachier H. Determination of black carbon by chemical oxidation and thermal treatment in recent marine and lake sediments and Cretaceous-Tertiary clays. *Chemical Ecology*, 1996, 131 (1 ~ 4): 143 ~ 154
- [9] Song J Z, Peng P A, Huang W L. Black carbon and kerogen in soils and sediments, 1. Quantification and characterization. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36 (18): 3 960 ~ 3 967
- [10] Gaser B, Balashov E, Haumaier L, *et al.* Black Carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, 2000, 31 (7/8): 669 ~ 678
- [11] Gonzalez-Perez J A, Gonzalez-Vila F J, Almendros G, *et al.* The effect of fire on soil organic matter —A review. *Environment International*, 2004, 30:855 ~ 870
- [12] Gustafsson O, Gschwend P M. The flux of black carbon to surface sediments on the New England continental shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62 (3): 465 ~ 472
- [13] Hedges J I, Eglinton G, Hatcher P G, *et al.* The molecularly-uncharacterized component of nonliving organic matter in natural environments. *Organic Geochemistry*, 2000, 31:945 ~ 958
- [14] Bucheli T D, Blum F, Desaulles A, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons, black carbon, and molecular markers in soils of Switzerland. *Chemosphere*, 2004, 56:1 061 ~ 1 076
- [15] Kuhlbusch T A J, Crutzen P J. Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric CO₂ and a source of O₂. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9: 491 ~ 501
- [16] UN World Urbanization Prospects: The 2001 Revision. Source: <http://www.un.org>
- [17] Bullock P, Gregory P J. *Soils in Urban Environment*. London: Blackwell Scientific Publications, 1991. 1 ~ 192
- [18] Bouyat R, Goffman P, Yesilonis I, *et al.* Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems. *Environmental Pollution*, 2002, 116: 107 ~ 118
- [19] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Chang Biology*, 2000, 6: 317 ~ 327
- [20] Beyer L, Kahle P, Kretschmer H, *et al.* Soil organic matter composition of man-impacted urban sites in North Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2001, 164 (4): 359 ~ 364
- [21] 张甘霖,何跃,龚子同.人为土壤有机碳的分布特征及其固定意义. *第四纪研究*, 2004, 24(2): 149 ~ 159. Zhang G L, He Y, Gong Z T. Characteristics of organic carbon distribution in anthro-

- pogenic soils and its implication on carbon sequestration (In Chinese). *Quaternary Science*, 2004, 24(2): 149 ~ 159
- [22] 文启孝. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984. 19 ~ 38.
Wen Q X. The Study Methods of Soil Organic Matter (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1984. 19 ~ 38
- [23] Schmidt M W I, Skjemstad J O, Czimczik C I, *et al.* Comparative analysis of black carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15 (1): 163 ~ 167
- [24] Haumaier L, Zech W. Black carbon—possible source of highly aromatic components of soil humic acids. *Organic Geochemistry*, 1995, 23(3): 191 ~ 196
- [25] Fenger S. Urban air quality. *Atmospheric Environment*, 1999, 33: 4 877 ~ 4 900
- [26] Miguel A H, Kirchstetter T W, Harley R A, *et al.* On-road emissions of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon from gasoline and diesel vehicles. *Environmental Science and Technology*, 1998, 32: 450 ~ 455
- [27] Fruin S A, Winer A M, Rodes C E. Black carbon concentrations in California vehicles and estimation of in-vehicle diesel exhaust particulate matter exposures. *Atmospheric Environment*, 2004, 38: 4 123 ~ 4 133
- [28] Gaffney J S, Marley N A. Megacities as Sources of Black Carbon. Source: <http://ams.confex.com/ams/84Annual/techprogram/paper-69753.htm>
- [29] Muri G, Cernelj B, Faganeli J, *et al.* Black carbon in Slovenian alpine lacustrine sediments. *Chemosphere*, 2002, 46(8): 1 225 ~ 1 234
- [30] Catari M J, Boman J. Black carbon and total carbon measurements at urban and rural sites in Kenya, East Africa. *Atmospheric Environment*, 2003, 37(8): 1 149 ~ 1 154

CONCENTRATION AND SOURCES OF ORGANIC CARBON AND BLACK CARBON OF URBAN SOILS IN NANJING

He Yue^{1,2} Zhang Canlin^{1,2†}

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract Soil properties change dramatically during urbanization. However, recent knowledge about properties of urban soils is still scarce. The purpose of this paper is to deliver some data of soil organic matter (SOM) properties of urban soils and to describe environmental consequences of human activities in urban environment. For the above objectives, organic carbon (OC) and black carbon (BC) were analyzed of 60 soil samples collected from 0 ~ 10 cm and 10 ~ 30 cm soil layers in five different function zones in Nanjing city, China. The method used to analyze OC and BC is chemical oxidation treatment (acid dichromate), in which removal of OC is a critical process in determination of BC. The results suggest that SOM (e. g. OC and BC) is significantly different among function zones in chemical nature and concentration. The highest concentration of OC reaches 29.09 g kg⁻¹ (0 ~ 10 cm layer), and the highest concentration of BC 13.67 g kg⁻¹ (0 ~ 10 cm layer) in roadside soils, suggested its substantially different human activity and pollution source. Especially, pollution compounds emitted from gasoline and diesel vehicles are found to be the main source of BC in roadside soils. The BC/OC ratio may be related to changing pollution intensity due to local biomass and fossil fuel burning. Based on the present data, the high BC/OC ratios and BC concentrations observed in roadside soils indicate that they are the result of direct human activity (e. g. vehicles). In other words, the BC/OC ratio in different functional zones may show different intensity of human activities. Further comparison shows that BC is probably the main part of total organic carbon in urban soils, contrary to that in natural soils. This knowledge is essential for qualitative assessment of SOM properties of urban soils and urban environment.

Key words Urban soils; Organic carbon; Black carbon; Urbanization; Human activity; Pollution