

城市土壤重金属污染研究现状与趋势

史贵涛,陈振楼,李海雯,王利,许世远

(华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室,上海 200062)

摘要:阐述了城市土壤重金属的主要来源、空间分布特征、化学形态与影响因素,以及对人体的健康风险与生物效应,指出今后的研究重点与趋势是建立城市土壤重金属污染概念和标准体系,研究其在环境中的迁移转化机制与规律及城市土壤重金属复合污染,发展判源分析新技术。

关键词:城市土壤;重金属污染;土壤环境

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1006-2009(2006)06-0009-04

Situation and Trend of Heavy Metal Contamination in Urban Soil

SHI Gui-tao, CHEN Zhen-lu, LI Hai-wen, WANG Li, XU Shi-yuan

(Key Laboratory of Geographic Information Science of Ministry of Education,
East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Pollution source, distribution, chemical form and its factor, health hazard and biological effect of heavy metals contamination in urban soils are described. The further study should emphasize on establishment of concept on heavy metals pollution in urban soils and detection criterion to find the transform and transport mechanism of heavy metals in environment and on complex contamination of heavy metals in urban soils as well as on development of analysis of pollution source.

Key words: Urban soil; Heavy metal pollution; Soil environment

关于城市土壤目前尚无统一的定义,不同学者所给的定义和分类各不相同^[1]。文中所指的城市土壤指在自然土壤的基础上形成的非农用的受人类活动影响强烈的一类独特土壤,在空间范围主要指城市市区土壤。城市土壤作为城市环境的重要组成部分,是城市污染物重要的源和汇,直接影响到城市生态环境质量和人体健康^[2]。随着我国工业化和城市化进程的加快,工业、交通、生活等所产生的大量污染物进入土壤,使得城市土壤的各种性质发生了变化^[3]。重金属作为一种持久性有毒污染物,进入城市土壤环境后不能被生物降解,并能通过扬尘和手-口直接接触等途径进入人体^[4,5],在人体内积累,危害人体健康。土壤中的重金属还可通过淋洗和径流等作用污染地表水和地下水,对水环境造成潜在危害。因此,近年来城市土壤重金属污染已成为一个研究热点。

1 城市土壤重金属污染研究现状

1.1 城市土壤重金属的主要来源

1.1.1 工业污染

工业活动所排放的重金属一方面赋存在烟尘上,以气溶胶的形式进入大气,经过干湿沉降进入土壤;另一方面,工业活动所产生的废渣是重金属的重要载体,尤其是一些金属冶炼厂,废渣中的重金属含量极高^[6],无处堆放或直接混入土壤,对土壤环境造成潜在危害。因此,在城市土壤中,工业周围土壤重金属污染一般较为显著。

此外,随着城市化发展和旧城区改造,大量的污染企业搬出城区,原有的土地使用性质发生改

收稿日期:2006-01-17;修订日期:2006-11-02

基金项目:上海市基础研究重点基金资助项目(05JC14059);上海市重大科技攻关基金资助项目(05DZ12007);国家自然科学基金重点基金资助项目(40131020);上海市环保局招标项目

作者简介:史贵涛(1982—),男,山东枣庄人,在读研究生,主要从事城市土壤重金属污染研究。

变。城市中已搬迁的污染企业用地成为城市土壤重金属污染的突出问题,如一些冶金行业、电镀行业及大型企业中的电镀工艺等,可以造成较为严重的土壤重金属污染^[7]。2004 年 6 月,国家环境保护总局发出通知,要求切实做好企业搬迁过程中的环境污染防治工作,其中重金属的污染治理成为搬迁企业用地土壤环境治理的重要组成部分。

1. 1. 2 交通污染

汽车轮胎及排放的废气中含有 Pb、Zn、Cu 等多种重金属元素,进入周围的土壤环境,容易造成土壤重金属污染。刘廷良等^[8]研究发现,汽车轮胎添加剂中的 Zn 是城市土壤中 Zn 的重要来源。随着城市化发展,交通工具的数量急剧增加,向周围环境中释放的污染物也逐年增多,造成城市土壤中的重金属不断累积。

1. 1. 3 城市堆放的废弃物

城市是人口的主要聚集区,同时也集中了大量的工矿企业,其产生的大量废弃物经常未经处理随意堆放,其中的重金属元素向四周环境扩散,对城市土壤环境造成了污染。同时,这些堆放的废弃物在雨水的淋洗下会向土壤释放其有效态部分,使得重金属元素的迁移能力增强,增加了对地下水的危害^[9]。因此,城市垃圾堆放场和填埋场成了重金属污染的潜在来源。有学者曾对垃圾填埋场渗滤液的有害成分监测,发现存在着数十种重金属元素,并属于毒性较大的优先污染物,其中 Cr 和 Zn 的质量浓度都超过了 $100 \mu\text{g/L}$ ^[10]。不同种类废弃物产生的重金属污染程度也不相同,一般来说,工业废弃物重金属含量较高,对环境的危害也更大^[11]。

1. 2 城市土壤重金属的空间分布

城市土壤受到高强度人类活动的影响,重金属污染分布也呈现出显著的人为特点。从空间上看,人类活动较为密集的城市中心区土壤重金属含量相对较高,一般高于郊区和农田。张金屯等^[12]通过对纽约市“市区-郊区-农区”140 km 生态样带、9 个样地、26 个样方落叶阔叶林土壤重金属的分析发现,重金属离子总量、重金属离子多样性等随着距市中心距离的增加而降低,重要污染重金属 Pb、Cu、Ni、Cr 的含量下降非常明显。

在城市不同的功能区,重金属分布呈现出一定的规律性。一般来说,工业区和商业区重金属污染最为严重,其次为居民区,风景娱乐区和新开发区

重金属含量一般较低,污染也相对较轻。吴新民等^[13]研究发现,南京市不同功能区土壤重金属污染指数表现为矿冶区 > 老居民区 > 商业区 > 城市绿地(风景区) > 新开发区。

城市土壤重金属污染的另一特征是沿交通干道两侧呈现出较严重的带状污染,公路两侧一般为城市土壤重金属污染最严重的地带^[14]。距交通干道距离不同,重金属含量也存在差异。有研究发现,汽车废气中铅污染公路两侧的土壤主要分布在 50 m ~ 80 m 内,100 m 外土壤中的铅含量没有明显增加^[15]。

城市土壤是人类扰动最为严重的土壤^[3],人为产生的废弃物严重破坏了土壤结构,土壤层次凌乱,基本上没有发生相学上的联系,从而使重金属含量在垂直剖面方向分布变异较大,不同功能区重金属元素在土壤中各层的聚集状况也不相同,没有一致的规律性^[6]。

1. 3 城市土壤重金属的化学形态及影响因素

重金属总量虽然是评价土壤生物效应和环境效应的前提,但研究结果表明,仅以土壤中重金属总量并不能很好地预测和评估土壤重金属的生物效应和环境效应^[16]。因此,研究土壤中重金属的形态特征具有重要的实际意义。目前常用的重金属形态分析方法是化学分级提取法,也有学者用植物培养法进行土壤重金属有效态的提取^[17]。目前国内学者采用化学分级提取法,一般将土壤中的重金属分为 4 种形态:可交换态、有机结合态、无定形氧化铁和锰结合态及残渣态,将非残渣态总量作为生物有效态重金属的一项指标^[18]。

重金属的各种形态并非固定不变,土壤物理组成及化学性质的变化直接影响其赋存形态,其中有机质含量和 pH 值是对重金属形态影响最主要的因素。研究表明,随着土壤有机质含量和 pH 值的上升,大部分重金属元素会因吸附或形成络合物而导致浓度降低,土壤中重金属的生物有效性降低^[19-21]。朱亮等^[22]研究发现,土壤 pH 值对红壤中 Cd 形态的影响最为显著,pH 值从 4.56 增至 7.80 后,红壤中交换态 Cd 比率由 89.0% 降至 5.0%,络合态 Cd 比率由 8.8% 增至 30.2%,残渣态 Cd 比率由 3.1% 增至 65.1%。

由于城市土壤利用方式的特殊性,无意经口摄入和用皮肤接触被污染的土壤成为城市居民吸收重金属的重要途径^[23]。有研究表明,儿童经口无

意的土壤摄入量可达 50 mg/d ~ 200 mg/d, 有意经口摄入的土壤量甚至可能高达 60 g/d^[24,25]。因此, 近年来有学者通过模拟人或动物的胃液来评价土壤中重金属的有效性, 并取得了一定进展^[26]。生物有效态的提取方法更能真实地反映土壤中重金属对人体的危害程度, 因而将在城市土壤重金属污染风险评估和控制措施评价中得到更广泛的应用^[27]。

1.4 城市土壤重金属对人体的健康风险及生物效应

城市土壤尤其是表层土壤中的重金属极易进入人体, 直接对人体健康造成威胁, 近年来也出现了一些因土壤污染造成的环境污染事故^[28]。对于重金属元素, 有些是人体生命活动不需要的, 如 Pb、Hg 等, 而有些则是正常人体生命活动所必需的, 但当摄入过量时, 又会对人体产生一定的毒害作用。针对重金属元素对人体健康的危害, 近年来国内外学者作了一系列研究, 发现不同重金属元素对人体所产生的毒害及其机理存在差异。当重金属元素在人体内积累达到一定程度, 便会引起人体各项生理特征的变化, 从而表现为“三致”效应; 同时, 一些重金属还会对人体的内分泌系统造成干扰, 如 As、Cd、Cu、Pb、Mn、Sn 和 Hg 被美国环保局列入环境内分泌干扰物名单重点监测。当人体摄入或吸入过量的 Cd, 会引起身体各器官一系列的病变, 生活在 Cd 污染区的一般人群可发生以骨矿密度降低和骨折发生率增加为特征的骨效应, 当人体长期暴露于低剂量的 Cd 环境中可引起肾功能损伤、骨矿密度降低、钙排泄增加及生殖毒性^[29,30]; 当人体内血铅质量比达到 600 μg/g ~ 800 μg/g 时会表现为头晕、头疼、记忆力减退和腹痛等一系列症状, 不同水平身高、体重儿童的血铅水平不同, 且统计学上有显著性差异^[31]; 长期暴露于含 Cr 环境中的人群, 都会出现不同程度的皮肤和呼吸道系统病变, 并且出现溃疡和炎症^[32]; 当金属 Hg 进入人体后, 可与体内酶或蛋白质中许多带负电的基团如巯基等结合, 使能量生成、蛋白质和核酸合成受到影响, 从而影响细胞正常的功能和生长^[33]。目前国内外学者对重金属的毒理研究基本上基于动物试验, 所得出的许多结论也仅仅针对试验动物的生理状况, 其结论对人体的适用程度如何, 还有待于更深一步的研究。

对于城市土壤重金属污染, 不同生物在生理特

征反应上存在差异; 对于同种生物, 不同重金属对其生理影响也不相同。城市土壤重金属对植物和微生物的影响较为显著, 如土壤中的重金属会对植物产生一定的毒害作用, 进而引起株高、主根长度、叶面积等一系列生理特征的改变^[34]; 重金属的复合污染可导致原生动物种减少, 群落多样性下降, 污染土壤中原动物群落呈现简单化和不稳定化, 群落演替呈次生演替趋势^[35]; 重金属元素积累较严重的城市土壤与积累相对较轻的农村土壤相比, 微生物基底呼吸作用明显增强, 但微生物生物量却显著降低^[36]。此外, 重金属对土壤酶活性存在一定的抑制作用, 如 Hg 对脲酶的抑制作用最为敏感, 其余依次为转化酶、磷酸酶和过氧化氢酶^[37]。由于土壤重金属污染程度可通过植物、动物和微生物生理特征的变化得到较好表现^[38], 因而可以借助生物生理特征的变化监测土壤中的重金属污染状况, 从而为城市土壤重金属污染监测提供一种高效的方法, 同时还可从中选取对重金属具有特殊忍耐或超积累作用的生物, 为土壤重金属污染的生物修复寻找更高效的物种。

2 今后的研究展望

2.1 城市土壤重金属污染概念和标准体系的建立

目前国内外土壤学界对城市土壤重金属污染做了大量的研究工作, 也取得了许多成果, 但城市土壤重金属污染是一个极其复杂的物理化学过程, 对其概念还没有统一的明确表述。另外, 土壤重金属污染标准基本上局限于农业用地土壤, 对于城市土壤重金属污染还没有制定出针对城市居民健康的土壤环境标准。因此, 今后应结合人体健康评估和土地的不同利用方式来制定相应的标准, 以此为参考, 将会有利于城市土地的合理利用, 并为城市土壤重金属污染防治提供科学依据。

2.2 城市土壤重金属在环境中的迁移转化机制与规律

目前对城市土壤重金属的研究主要集中在含量、空间分布及评价等方面, 但土壤中的重金属可以在水—土—气—生等界面迁移转化, 重金属在这几种复杂界面的转化机制及循环规律方面的研究相对比较薄弱, 也是今后城市土壤重金属污染研究的一个重点。此外, 目前所研究的城市土壤重金属污染建立在重金属稳定存在的条件下, 基本上不考虑其含量随时间的变化情况。城市土壤中的重金

属含量是否具有季节变化性,或受到其他因素影响从而具有不同的时间变化规律,还有待于进一步探讨。

2.3 城市土壤重金属复合污染

土壤中往往同时存在多种重金属元素,存在着一定的相互作用,因而对土壤生物的影响也比较复杂。因此,今后应加强多种重金属复合作用下污染机理和生物效应的研究。此外,目前城市土壤重金属污染研究主要集中在几种常规元素,如 Cu、Zn、Fe、Pb、Cr 等,今后应着重研究 Hg、As、Cd 等对生物毒害作用较大的重金属元素。

2.4 城市土壤重金属的判源分析及技术发展

城市土壤重金属的来源非常复杂,目前其判源分析主要局限于定性描述和相关分析,如何对其来源定量分析,对于控制日益严重的城市土壤重金属污染具有重要意义,也是今后土壤重金属判源分析的重点。此外,一些新技术在土壤重金属污染监测和判源方面的应用有待于进一步拓展。有学者利用同位素法针对具体地点作了土壤中重金属的来源分析^[39,40],也有学者运用磁化率技术对土壤重金属监测进行了有益的尝试^[41],但这些技术在城市土壤重金属污染研究中的应用范围还比较狭窄,今后应作进一步研究,使更多的新技术能够应用到土壤重金属污染研究领域。

[参考文献]

- [1] 卢瑛,龚子同. 城市土壤分类概述 [J]. 土壤通报, 1999, 30 (专辑): 60 - 64.
- [2] DEKMPLE C R, MOREL J - L. Urban soil management: a growing concern [J]. Soil Sci, 2001, 65 (1): 31 - 40.
- [3] 李敏,林玉锁. 城市环境铅污染及其对人体健康的影响 [J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18 (5): 6 - 10.
- [4] LANPHEAR B P, ROGHMANN K J. Pathways of Lead exposure in urban children [J]. Environmental Research, 1997, 74: 67 - 73.
- [5] 宋书巧,吴欢,黄胜勇. 重金属在土壤 - 农作物系统中的迁移转化规律研究 [J]. 广西师院学报 (自然科学版), 1999, 16 (4): 87 - 92.
- [6] 徐东慧,陈志宾,蔡固平. 硫酸锰废渣特性及综合利用研究 [J]. 湖南有色金属, 2005, 21 (1): 32 - 35.
- [7] 孙俊,陈晓东,常文越,等. 搬迁企业环境遗留问题分析及修复对策研究 [J]. 环境保护科学, 2003, 29 (118): 40 - 42.
- [8] 刘廷良,高松武次郎,左瀚裕之. 日本城市土壤的重金属污染研究 [J]. 环境科学研究, 1996, 9 (2): 47 - 51.
- [9] 张辉,马东升. 城市生活垃圾向土壤释放重金属研究 [J]. 环境化学, 2001, 20 (1): 43 - 47.
- [10] 杨志泉,周少奇. 广州大田山垃圾填埋场渗滤液有害成分的检测分析 [J]. 化工学报, 2005, 56 (11): 2183 - 2188.
- [11] 潘海峰. 铬渣堆存区土壤重金属污染评价 [J]. 环境与开发, 1994, 9 (2): 268 - 270.
- [12] 张金屯,POUYATR. “城 - 郊 - 乡”生态样带森林土壤重金属变化格局 [J]. 中国环境科学, 1997, 17 (5): 410 - 413.
- [13] 吴新民,潘根兴. 城市不同功能区土壤重金属分布初探 [J]. 土壤学报, 2005, 42 (3): 513 - 517.
- [14] 管东生,陈玉娟,阮国标. 广州市及近郊土壤重金属含量特征及人类活动的影响 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2001, 40 (4): 93 - 97.
- [15] 师利明,郭军庆,罗德春. 对公路两侧土壤中铅积累模式的理论探讨 [J]. 西安公路交通大学学报, 1998, 18 (3): 13 - 15.
- [16] CAMPBELL P G C. Interactions between trace metals and aquatic organisms: a critique of the free-ion activity model [C] // TESSIER A, TUMER D R. Metal speciation and bioavailability in aquatic systems New York: Wiley, 1995: 45 - 102.
- [17] 孟昭福,张增强,薛澄泽,等. 替代黑麦幼苗测定土壤中重金属生物有效性的研究 [J]. 农业环境保护, 2001, 20: 337 - 340.
- [18] 孔文杰,鲁洪娟,倪吾钟. 土壤重金属生物有效性的评价方法 [J]. 广东微量元素科学, 2005, 12 (2): 1 - 6.
- [19] 韩凤祥,胡霭堂,秦怀英. 不同土壤环境中镉的形态分配及活性研究 [J]. 环境化学, 1990, 9 (1): 49 - 53.
- [20] 廖敏,黄昌勇,谢正苗. pH对镉在土水系统中的迁移和形态的影响 [J]. 环境科学学报, 1999, 19 (1): 81 - 86.
- [21] 陈英旭,林琦,陆芳,等. 有机酸对铅、镉植株危害的解毒作用研究 [J]. 环境科学学报, 2000, 20 (4): 467 - 472.
- [22] 朱亮,邵孝侯. 耕作层中重金属 Cd形态分布规律及植物有效性研究 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 1997, 25 (3): 50 - 56.
- [23] ABRAHAMS P W. Soils: their implications to human health [J]. Sci Total Environ, 2002, 291: 1 - 32.
- [24] VAN W J H, CLAUSNG P, BRUNEKREEF B. Estimated soil ingestion by children [J]. Environ Res, 1990, 51: 147 - 162.
- [25] DAVIS S, WALLER P, BUSCHBOM R, et al Quantitative estimates of soil ingestion in normal children between the ages of 2 and 7 years: population-based estimates using aluminium, silicon, and titanium as soil tracer elements [J]. Arch Environment Health, 1990, 45: 112 - 122.
- [26] 黄勇,郭庆荣,任海,等. 城市土壤重金属污染研究综述 [J]. 热带地理, 2005, 25 (1): 14 - 18.
- [27] 唐翔宇,朱永官. 土壤中重金属对人体生物有效性的体外试验评估 [J]. 环境与健康杂志, 2004, 21 (3): 183 - 185.
- [28] 温志良,莫大仑. 土壤污染研究现状与趋势 [J]. 重庆环境科学, 2000, 22 (3): 55 - 57.
- [29] ChinaCad Group. Cadmium and human health: A perspective based on recent studies in China [J]. J Trac Elem Exp Med, 2003, 16: 307 - 319.

(下转第 24 页)

表 7 各元素在水稻中的吸收系数

元素	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
区	0.007	0.467	0.036	0.054	0.063	0.059	0.002	0.135
区	0.009	0.073	0.009	0.011	0.067	0.024	0.001	0.027
区	0.008	0.082	0.009	0.187	0.059	0.010	0.004	0.078

的金属质量比有关,土壤中元素质量比高,则水稻中的吸收系数小。如总体污染最为严重的 区,其各元素的吸收系数大多小于第 区,这些特征说明水稻对土壤中元素的吸收作用是有限度的,其吸收主要与元素的质量比和元素种类有关。

3 结论

(1)大宝山矿山固体废弃物与水的相互作用比较强烈,并引起了尾矿中金属元素的释放和迁移,元素的水迁移强度由大至小顺序为 Cr、Cu、Zn、Ni、Cd、As、Pb、Hg。

(2)固体废弃物导致了对水、土壤的重金属污染,主要污染元素为 Cd、Cu、Pb、Zn 等,其在土壤中的污染程度主要与其在矿山的总体质量比有关;虽然水稻糙米中的重金属质量比没有超过国家标准,但是 Cd、Cr 两种元素质量比已远远超出了植物中毒量的下限值。

(3)生物吸收系数较大的元素主要有 Cd、Zn 等,其大小与元素的污染强度和水迁移系数不完全一致。影响水稻中金属元素浓度的主要因素为土壤中元素质量比和元素种类。

(4)因为此区水体被直接用于灌溉和饮用,水

稻茎叶等用于喂养家畜或施肥,所以此地存在较大的环境风险。

[参考文献]

[1] 陆书玉. 环境影响评价 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 160 - 161.

[2] 廖自基. 环境中微量重金属元素的污染危害与迁移转化 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986.

[3] 林炳营. 环境地球化学简明原理 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.

[4] 韩爱民, 蔡继红, 屠锦河, 等. 水稻重金属含量与土壤质量的关系 [J]. 环境监测管理与技术, 2002, 14 (5): 27 - 28.

[5] SHOMAR B H, MULLER G. Geochemical features of topsoils in the Gaza Strip: Natural occurrence and anthropogenic inputs [J]. Environmental Research, 2005 (98): 372 - 382.

[6] CAEIRO S, COSTA M H. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach [J]. Ecological Indicators, 2005 (5): 151 - 169.

[7] WONG H K T, GAUTHIER A. Dispersion and toxicity of metals from abandoned gold mine tailings at Goldenville, Nova Scotia, Canada [J]. The Science of the Total Environment, 1999 (228): 35 - 47.

[8] WILSON B, LANG B. The dispersion of heavy metals in the vicinity of Britannia Mine, British Columbia, Canada [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005 (60): 269 - 276.

[9] MADEJON P, MURILLO J M. Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcollar mine spill (SW Spain) [J]. The Science of the Total Environment, 2002 (290): 105 - 120.

[10] ALLOWAY B J. Heavy metals in soils [M]. London: Blackie Academic and Professional, 1995.

(上接第 12 页)

[30] 秦俊法, 李增禧. 镉的人体健康效应 [J]. 广东微量元素科学, 2004, 11 (6): 1 - 10.

[31] 康如彤, 钟燕, 刘康香. 学龄儿童血铅与身高、体重发育等级的关系 [J]. 实用预防医学, 2005, 12 (3): 610 - 611.

[32] 徐衍忠, 秦绪娜, 刘祥红, 等. 铬污染及其生态效应 [J]. 环境科学与技术, 2002, 25 (增刊): 8 - 9, 28.

[33] 万双秀, 王俊东. 汞对人体神经的毒性及其危害 [J]. 微量元素与健康研究, 2005, 22 (2): 67 - 69.

[34] 周青, 张辉. 镉对 Cd 胁迫下菜豆幼苗生长的影响 [J]. 环境科学, 2003, 24 (4): 48 - 52.

[35] 牛世全, 宁应之, 马正学, 等. 重金属复合污染土壤中原生动物的群落特征 [J]. 甘肃科学学报, 2002, 14 (3): 44 - 48.

[36] 杨元根, PATERSON E, CAMPBELL C. 城市土壤中重金属元素的积累及其微生物效应 [J]. 环境科学, 2001, 22 (3): 44 - 48.

[37] 和文祥, 黄英锋. 汞和镉对土壤脲酶活性影响 [J]. 土壤学报, 2002, 39 (3): 412 - 416.

[38] RUBY M V. Advances in evaluation the oral bioavailability using a physiological based extraction test [J]. Environmental Science and Technology, 1999, 33: 3697 - 3705.

[39] GRANEY J R. Isotopic record of Lead pollution in lake sediments from the northeastern United States [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59 (9): 1728 - 1751.

[40] 王亚平, 鲍征宇. 土壤及沉积物中重金属的环境地球化学研究 [J]. 环境科学与技术, 1998 (1): 18 - 21.

[41] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤磁化率特征及其环境意义 [J]. 华南农业大学学报, 2001, 22 (4): 26 - 28.

本栏目责任编辑 姚朝英