都市菜园

污染土壤的风险管理

随着市民们不断谋求振兴城市、改善新鲜农产品供应，人们对都市农业的兴趣也日益浓厚。研究人员正在探索如何将园艺的利益最大化，同时将城市污染土壤的风险最小化。

© Siegfried Layda/Getty Images

本文作者Rebecca Kessler对于清理城市肮脏土壤的困难与不确定性再熟悉不过了，她曾参与了一个历时数年的项目，把罗得岛州普罗维登斯市她家旁边一个沥青铺设的停车场改建成一个美丽丰产的菜园。

9月下旬一个晴朗的午后，波士顿市多切斯特社区内，Mary Bleach正在她的公寓附近向访客展示社区菜园。园中秋实累累的向日葵频频点头，深褐色的万寿菊、粉红色的波斯菊、紫红色的牵牛花仍在绽放，几只懒洋洋的蜜蜂在花丛中采蜜。还有羽衣甘蓝、甘蓝、秋葵、卡拉萝（菠菜的近亲植物）、西红柿、洋葱、香草、茄子、豆类、花生，叶子比Bleach脑袋还大的南瓜藤缠绕在15英尺（4.57米）高的铁丝围栏上，这一切都沐浴在秋日的阳光里。Bleach说夏天时她基本上全部吃菜园里生长的食物，然后再冷藏一些，可以一直吃到冬天。

这些丰盛的蔬菜很快就会消失，因为冬天即将来临，而且会有重型机械来把菜园铲平，拖走那些摇摇欲坠的铁丝围栏与木材隔离带。苜蓿街与树脂街拐角处的这个菜园已经历了25年多的风雨，现在终于要旧貌换新颜：残疾人无障碍的水泥通道、坚固的围栏、新的供水系统、花岗岩隔离带重新划分地块。

波士顿大学的毒理学家Wendy Heiger-Bernays以及3名学生来现场查看过，他们要准备一份详细的土壤污染物研究报告，为翻新工程提供信息。如果菜园的土壤像波士顿其他地区一样，就会含有高浓度的铅。在多切斯特社区的居民宅院里，土壤铅含量1500 ppm很常见。最糟糕的情况下菜园里大部分土壤必须移走，然后铺上运来的干净表层土及堆肥。

那些旧的隔离木条该怎样处理？这些木条是经过高压处理的木材，使用了铬铜砷酸盐作防腐剂，当年安装时被认为是木馏油浸泡过的铁路枕木——另一种常见的园林建材——的安全替代品。2009年的一项关于另外3个波士顿社区菜园的研究中，Heiger-Bernays与同事发现砷可以从高压处理的木材渗入园土内，而多环芳烃（PAHs）也可以从旧铁路枕木渗入园土内。

Heiger-Bernays与学生们观察了菜园周边。邻近的房屋是波士顿的标志性3层小楼，大概有100年的历史，被含铅油漆层层粉刷过。现在菜园的位置很久以前也曾是类似的老房子，含铅油漆、石棉、煤灰渣、汽车机油仍然残留在园土内。这块空地多年来杂草丛生垃圾遍地，直到20世纪80年代Bleach与邻居们将其开垦为社区菜园。

学生们将木材隔离带附近、毗邻房屋的围栏一带以及菜园内不同地块的土样装袋，然后把这些样本带回Heiger-Bernays的实验室进行分析。

在过去几年中菜园已被测试过土壤铅含量，也有干净的土壤运进来。近年来政府几乎每年都用卡车运入市政堆肥。这种“黑金”土壤不仅为作物提供养分，也可以稀释污染物，使其与土壤颗粒结合，从而减少人体暴露风险。

在过去10年里，菜园的产权人“波士顿自然区域网络”（Boston Natural Areas Network）选择了一些社区菜园进行系统性翻新，以进一步改善与修复土壤，并以高质量的基础设施美化菜园，增加其公众可及性与持久性。Heiger-Bernays指出，想在钢筋水泥丛林之中“不纯净”的城市土壤内尽可能安全地播种蔬菜，并使园艺活动所带来的愉悦之情在社区内蔓延，是需要花费一番功夫的。“关键在于尽可能将效益最大化，同时认识到风险并将其最小化，”Heiger-Bernays说道。

并不是只有波士顿在付诸努力。在世界各地的城市，园丁与农民在后院及空地上辛勤劳作，清除影响市容的杂物，换上茂盛多产的植物。但是和波士顿一样，这些城市的土壤往往污染严重，令人对这种有益身心的活动是否存在健康隐患产生疑问。有关人士认为，虽然一些替代种植法例如屋顶菜园与水培法不存在土壤污染问题，但通常比较昂贵，不太可能在短期内取代地面园艺。

在美国，用于播种蔬菜的土壤中的污染物缺乏具体法规管理，而且土壤污染物测试相当昂贵。专家们对问题的严重性各持己见，管辖标准互相冲突，关于如何修复与管理城市土壤的建议不仅支离破碎而且通常很混乱。但是最近人们比较感兴趣利用都市农业来绿化城市、创造就业、帮助缓解城市食品短缺问题，因而迫切需要进行研究以及寻找新的解决方案。

检测土壤健康

在美国历史上，早期城市菜园很普遍，但二战以后几乎消失殆尽。园艺复兴运动在20世纪中后期城市衰落时开始生根发展。虽然鲜有数据显示其趋势，但是在菜园内播种蔬菜的活动大体是在增加。美国国家园艺协会（National Gardening Association）的资料显示，2008年31%的美国家庭种植蔬菜，其园艺活动共花费25亿美元，而2012年则增加到35%的家庭，花费增至33亿美元。根据该协会的最新估计，2008年有100万个家庭参与了社区园艺活动。

随着20世纪70年代后期社区菜园运动的发展，人们逐步意识到城市园丁可能会挖到一些污染严重的土壤。1983年的一项研究表明，巴尔的摩市内菜园土壤的铅、镉、铜、镍及锌含量较高。负责该研究的杜兰大学（Tulane University）医学院教授Howard Mielke指出，虽然一些常见的污染物在土壤中天然存在，但其含量“比农业用地的土

壤含量要高很多，很显然这些土壤有问题。”

随后的一些研究发现，美国各地都存在污染严重的城市宅院与菜园。污染物往往集中在有大量少数族裔的低收入社区，农村地区也未能幸免。

来自旧汽车尾气、油漆以及先前工业活动的铅是最为广泛记录的城市土壤污染物。据美国环保署估计，23%私人拥有的建于1980年以前的民宅内土壤铅含量超过400 ppm——儿童游乐区裸土的现行有害标准，8%的民宅超过2000 ppm。含碳材料如木材与汽油不完全燃烧时释放的多环芳烃也相当普遍。

土地的过往使用情况常常可以提供土壤污染物的线索。曾经是停车场和洗车场的地方通常会含金属、多环芳烃、石油产品、溶剂或表面活性剂。拆除的商业或工业建筑会残留石棉、多氯联苯、石油产品，或含铅油漆碎片、灰尘及碎屑。交通繁忙的公路附近通常会含有来自汽车尾气的铅及多环芳烃，曾经是公园或铁路公共通道附近的土地可能会有杀虫剂残留。

有时候园丁自己也会带入存在健康隐患的化学品。Heiger-Bernays正在研究波士顿一些社区菜园农药使用增加的情况，包括一些禁止使用的限制级化学品。生物炭——部分燃烧的有机物例如木炭——也是一种存在健康隐患的添加剂，这种古老的土壤改良剂，现在被吹捧为通过把碳隔离在地下来应对气候变化的良方。然而Heiger-Bernays指出生物炭含有大量多环芳烃，其中一些可能生物利用度较高。

Mielke与同事最近绘制了一幅整个新奥尔良市土壤铅含量与儿童血铅浓度的详细地图，突显了两者之间的高度相关性。Mielke认为应该在全国范围内对许多污染物进行类似的研究。“我很惊讶几乎没人绘制这种地图，”他说道，“如果每个城市都有这种地图，我们就可以知道需要采取什么行动。”

那些想知道自家土壤里有什么污染物的人们，大多没有苜蓿街（Lucerne Street）与树脂街（Balsam Street）拐角处（多切斯特社区的一个菜园。编者注）的园丁们那么幸运，他们没有环境科学家团队出手相助。相对便宜的土壤测试往往局限于美国农业部合作推广体系的下属实验室，他们通常检测营养素、酸度、有机质含量，偶尔也检测铅或其它金属，但很少检测其它潜在污染物。如果让他们做这些检测，价格会非常高。例如，宾夕法尼亚州立大学农业科学院测试一个样品中的镉、铜、铅、镍、铬和锌要收费65美元，如果再加上砷、汞、钼和硒，价格就上升到160美元，检测多氯联苯则另收80美元。堪萨斯州立大学的环境化学家Ganga Hettiarachchi指出，多环芳烃不在宾夕法尼亚州立大学的检测名单上，而在其它地方测试环保署监管的16种多环芳烃要花费250美元。

Hettiarachchi认为只检测一个样本根本不够，因为污染物常分散在各处。他正在研究7个城市的菜园土壤污染物，以及各种条件下粮食作物对污染物的吸收。例如，铅常常集中在

城市菜园最佳管理实践

修建菜园时远离公路与铁路，或者修建树篱或栅栏，以阻挡来自车辆与繁忙街道的污染物随风飘入菜园。

用护根、景观布、石头或砖块覆盖裸露土壤与人行道。

用护根覆盖菜园土床以减少灰尘与泥土飞溅、减少杂草生长、调节土壤温度与水分，并添加有机物质。

使用土壤改良剂保持中性 pH 值，添加有机物质，改善土壤结构。

从经过认证的供应商处获取地表土或干净填料。你所在的州或地方环保项目、推广服务、苗圃也许能够推荐土壤与填料的安全供应信息。

修建高位栽培床或盆栽菜园。将泥土简单堆砌成垄或者制作植物盛器即可建成高位栽培床。有护边的栽培床则可以使用木材、合成木材、石材、混凝土、砖块或天然耐腐木材如雪松与红木。

你所在的州或当地市政府可能会建议在高位栽培床底部铺上透水布套或土工布，以进一步减少污染物暴露。

养成良好的习惯：

- 园中劳作时戴手套，园艺活动后以及进食前要洗手。
- 小心不要把菜园泥土带入室内。
- 储存或进食农产品前要清洗，并教会孩子们这样做。
- 根茎作物要去皮，叶类蔬菜要去除外层叶片。

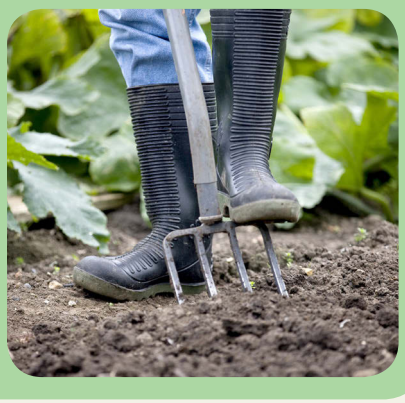

Photo: © I Love Images/Corbis

2008 年 31% 的美国家庭播种蔬菜，其园艺活动共花费 25 亿美元，2012 年增加到 35% 的家庭，花费增至 33 亿美元。据估计在 2008 年有 100 万个家庭参与了社区园艺活动。© John Froschauer/AP Images for Triscuit

老房子地基附近以及宅院内地表径流途经之处，但是任何一个刷漆的旧木板丢弃之处，或者喷过砷酸铅杀虫剂的果树曾经所在地都可以成为一个污染点。

此外，布朗大学最近的一项研究表明，铅污染可以比人们预期的传播得更远、渗入更深的土壤。来自罗德岛州宅院土壤的数据显示，含铅油漆可以从水塔向附近传播400多英尺（122米）远，且通常深入土壤表面12英寸（30.5厘米）以下。“污染物分布的不均衡性是最大的挑战之一，”Hettiarachchi说道，“人们负担不起检测这么多样本。”

园丁如果做土壤测试的话经常会只检测铅含量，Heiger-Bernays说这可以作为其他污染物存在的预警信号。她建议园丁在最有可能受污染的区域进行测试，例如房基地或刷漆的老式结构附近，还可以把一个种植区的多个土壤样本合并为一个样本进行测试以降低成本，或者干脆跳过测试假定土壤已被污染。

暴露与健康影响

根据环保署的城市园艺安全暂行准则，园艺活动时的污染物暴露主要是在菜园中劳作时，或泥土粘在衣服、鞋子及工具上带入室内后人们意外摄入土壤或吸入受污染的尘土。幼童的风险更大，因为他们不但最容易受毒物影响，还喜欢直接把脏手指放入口中。

只要不是生长在严重污染的土壤里并且食用前清洗干净，农产品本身是相对安全的。多数粮食作物通常不吸收污染物，即使吸收很少量也大多储存在根部（注意稻米是一个例外，它非常容易吸收砷）。美国农业部的农业学家Rufus Chaney指出，某些污染物例如锌在达到有害人体健康的含量之前就足以杀死作物。

随着都市农业的蓬勃发展且日渐多元化，至少有一个新的暴露途径已经明了：卫生部门官员近期报道，纽约市社区菜园内饲养的鸡所产鸡蛋的铅含量升高。这些饲养场的土壤铅含

一块场地的过往使用情况通常可以提供土壤污染物的线索。曾经是停车场或洗车场的地方通常含有金属、多环芳烃、石油产品、溶剂或表面活性剂。拆除的商业或工业建筑会残留石棉、多氯联苯、石油与机油、或含铅油漆碎片、灰尘及碎屑。交通繁忙的公路附近通常会含有来自汽车尾气的铅及多环芳烃。曾是公园或铁路公共通道邻近的土地可能会有农药残留。

© Micah Young/iStockphoto

量最高达600 ppm。该报道作者说这些鸡蛋不大可能对健康构成威胁，但土壤铅含量更高的饲养场中的鸡所产鸡蛋很可能会危害健康。但是Chaney认为总体而言关注的重点在于意外摄入土壤，而不是食物。

这篇报道中接受采访的专家指出，还没有一个病例可以直接溯源到污染的菜园土壤——当然任何情况下都很难证实这种联系。Heiger-Bernays认为对于铅和其它污染物来说，儿童的暴露风险本来就高，受污染园土及其它暴露源只会雪上加霜。“我们知道城市中心比如.....多切斯特社区的一些儿童有顽固性高血铅，”她说道，“我们认为通过调节土壤铅含量，可以降低总体暴露程度，因为室内灰尘中的铅来自于土壤。”

儿童血铅水平升高与认知、运动、行为及生理问题——包括学习成绩差及犯罪行为风险增加——有很强相关性。一系列类似研究——大多是由Mielke及其同事完成——显示，土壤铅含量升高与儿童血铅水平升高之间有很强相关性。1998年12项研究的综合分析发现，地板尘铅污染比土壤铅污染对儿童血铅水平升高的影响更大，尽管如此，他们得出了家中宅院土壤铅含量为500 ppm而地板尘铅含量非常低时的儿童血铅水平几何平均值为3.5 μg/dL。而美国疾病控制中心（CDC）目前认为血铅水平“升高”的阈值为5 μg/dL，并指出“儿童血铅安全水平尚未确定”。

至于园丁们究竟是否需要担心土壤铅含量的问题，专家们争论不休。环保署对儿童游乐区裸土的现行有害标准为400 ppm，通常也被视为未修复土壤可以安全从事园艺活动的阈值。该标准是基于环保署的综合暴露吸收生物动力学模型（IEUBK）设定的，该模型用于评估暴露于环境中多个铅源的儿童血铅升高的风险，并假设7岁以下儿童摄入的土壤铅与灰尘铅的

生物利用度为30%，即30%被吸收到血液中。但是模型对血铅升高的定义为10 μg/dL，是疾病控制中心阈值的2倍。

一些州包括马萨诸塞、明尼苏达与加利福尼亚已经规定了较低的土壤铅标准来保护儿童，许多欧洲国家土壤铅的法定标准为100 ppm。（平均而言，美国环保署与其它政府部门规定的土壤铅、镉、砷、镍、铬、汞、铜及锌的法定标准比其它国家高出10倍。）“400 ppm根本不解决问题，”Heiger-Bernays说道。

她在一份新的城市园艺安全实用指南中建议，不要在土壤铅含量超过200 ppm的地方直接从事园艺活动，甚至建议在铅含量超过100 ppm的土壤中混入干净的修复土壤。她在严格基于风险设定的铅含量2～50 ppm与园丁所能实际达成的铅含量之间取得平衡，得出了这些“只需简单措施即可达成”的铅含量标准。但她认为即便如此，这些标准仍然低得“近乎极端”，肯定会遭到监管机构的责备。

然而Chaney认为环保署的400 ppm标准足以保证园艺活动的安全。他本人尚未发表的研究结果表明，城市菜园土壤铅的生物利用度低于5%～10%，低于综合暴露吸收生物动力学模型的假设值30%。然而在污染的矿场地区，未经修复的土壤内铅的平均生物可接受率约为90%。

Hettiarachchi与Chaney认为，由于菜园土壤中定期添加堆肥与其它修复土壤而补充了磷，从而加快了一种不溶性铅化合物磷氯铅的形成，所以比其它城市土壤更安全。Hettiarachchi与同事的一篇即将发表的研究发现，与未经修复的土壤相比，在土壤中添加堆肥可以将铅的生物利用度降低20%～30%。Chaney还指出，人们在饭后几个小时内摄入铅比空腹状态下吸收的铅要少得多。

相当数量的研究已经开始寻求一种廉价易行的铅生物利用度检测法，这也是寻求通过改良而非更换土壤来增加安全性的行之有效方法的步骤之一。然而现在这种检测法仍处于开发阶段，仅限于实验室研究，所以园丁还无法确定家中高铅含量的土壤是否安全。

测试单个土壤样品很难提供一个宅院或菜园内土壤污染的全面信息。例如，铅通常集中在老房子地基附近以及宅院内地表径流途经之处，但是污染热点也可以出现在任何地方。© AP Photo/Journal Inquirer, Jared Ramsdell

净化土壤

清理菜园最彻底的解决方案就是去除污染土壤，铺上特殊面料的隔离层，再铺上干净土壤。然而，即使对一个小型菜园来说这也是一个非常艰巨的任务，而且成本高达数千美元，大多数园丁无法承受。

在原有土壤上铺设隔离层及新

对于园丁来说，污染物暴露途径主要是在菜园中劳作时，或者泥土粘在衣服、鞋子及工具上带入室内后，意外摄入土壤或吸入受污染的尘土。只要不是生长在严重污染的土壤里而且食用前洗干净，农作物本身一般是相对安全的。绝大部分的蔬菜通常不吸收污染物，即使吸收少量也仅储存在根部。© Paul Burns/Corbis

土壤更具可行性，或者修建高位栽培床然后填上洁净土壤——尤其是对根茎类作物，再用护根或草将外露的污染土壤覆盖。污染不严重的土壤可以混入大量堆肥以稀释污染物，使其与土壤颗粒结合。园丁还可以采取以下措施进一步降低暴露风险：削除根茎作物的外皮、去除叶类作物的外层叶片、食用前清洗农产品与双手、把脏的菜园工具留在户外。

Heiger-Bernays认为，虽然比较麻烦，但是园丁们最好能够测试一下混入的堆肥或新土，因为无法保证它们会比原有土壤好多少。她与学生们发现，虽然有一些自愿性标准，例如美国堆肥委员会的测试保证印章，但是很少有政府部门执行堆肥原料的监管法规或对堆肥成品进行检测。

另外堆肥受污染的情况并非园丁所希望的那么少见。例如，Heiger-Bernays的研究表明2011年波士顿的市政堆肥铅含量激增至大约350 ppm，导致市政府暂停为全市菜园供应这些珍贵的堆肥。铅含量激增的原因一直没有确定，有人推测可能是旧的刷漆木材被扔进了堆肥原料中，也可能吹叶机把房基地周围的旧油漆颗粒吹入了落叶堆（波士顿新的堆肥承包商“城市土壤”似乎已经解决了这些问题）。Heiger-Bernays说波士顿一度把街道清扫物也混入堆肥中，致使其中多环芳烃含量也升高，但这种行为已经杜绝了。自2000年以来，由

于持久性除草剂吡啶与嘧啶羧酸的使用，而且它们在堆肥过程中不降解，已经在10多个州出现了堆肥导致植物死亡的现象。

更糟糕的是，有证据表明菜园中的新鲜干净土壤也可以被污染，例如从周围菜园中随风飘来的高铅土壤可以污染高位栽培床。

波士顿是个园艺中心，大概有175个社区菜园，大约3500个家庭每年在这些菜园里种出价值150万美元的农产品。该市每年花费约30万美元修建新的社区菜园或翻新旧菜园，在此经费的基础上，还有私人与基金会通过“波士顿自然区域网络”等组织提供匹配资金。正因为如此，该市近期大力发展商业性园艺以带动就业、提供经济实惠的农产品以及刺激市区经济，似乎是顺理成章的一步。在城区范围内开辟农场的新区划法规已经拟定，并于2013年12月提交即将离任的市长Thomas M. Menino签署。

波士顿与同样热衷都市农业的大部分其它城市的区别是，其新法规中有一个条款专门针对土壤污染。“由于波士顿的工业历史、考古学及其房屋陈旧，总会存在土壤重金属含量高的问题。因此我们认为人们在从事园艺活动时要谨慎一些，不仅保护自己也要保护其他人免受有毒金属危害，”波士顿公共健康委员会（土壤污染条款起草者）的特别项目主任Thomas Plant说道。

一个市议员要求市政府在市属农业用地上进行现场专业环境评估，大范围测试土壤并更换所有受污染土壤。但是Plant认为这个代价高昂的要求“会扼杀波士顿的都市农业”。法规终稿为那些打算务农的人们提供了更为实际的选择：假定土壤已受污染，盖上隔离层，再铺上运入的洁净土壤。大多数园丁应该都会这样做。

Heiger-Bernays的学生们于9月份在苜蓿街与树脂街菜园采样后，很快就完成了土壤样本测试。他们高兴地发现即使在老房子附近铅含量最高也只有220 ppm，从一堆新的市政堆肥采集的样本铅含量也很低，只有120 ppm。整个菜园土壤的砷与其他金属含量也很低或检测不到。

“这真是一个惊喜，”Heiger-Bernays说道，并指出在毗邻含铅油漆粉刷的房子的其它社区菜园中，她曾检测到土壤铅含量高达3000 ppm。她认为正是由于Bleach与其他园丁年复一年努力为菜园施肥，才培育了这么健康的土壤。进一步测试以及对该地历史的研究可以提供更多信息，但现在负责翻新的人似乎只需要在一些选定的地块更换土壤并添加一些堆肥，就可以使苜蓿街与树脂街的菜园达到安全种植的标准。

由于菜园土壤中定期添加堆肥与其它修复土壤而补充了磷，从而加快了一种不溶性铅化合物磷氯铅的形成，所以比其它城市土壤更安全。然而在污染的矿场地区，未经修复的土壤内铅的生物可接受率可达 90%。© wasja/iStockphoto

Rebecca Kessler是来自罗德岛普罗维登斯市的科学与环境记者。

译自*EHP* 121(11): A326–A333(2013)
翻译：周 江

***本文参考文献请浏览英文原文**

原文链接

http://dx.doi.org/10.1289/ehp.121-A326