

对放射性污染土壤的治理与修复技术研究

高崇林, 朱宏勇, 杨新领

(78668 部队 四川成都 610203)

摘要: 土壤放射性污染不仅造成了越来越多的经济损失, 同时也引发了一定的社会问题。鉴于土壤界面体系中生命部分和非生命部分互相依存、紧密结合, 共同构成了人类和其他生物生存环境的重要组成部分, 因此, 积极开展对土壤放射性污染与防治技术的研究, 对社会经济的可持续发展及生态环境的平衡具有十分重要的意义。

关键词: 土壤; 放射性污染; 修复技术研究

0 引言

土壤放射性物质的污染, 是指人类活动排放出的放射性污染物, 使土壤的放射性水平高于天然本底值。土壤被放射性物质污染后, 通过放射性衰变, 能产生 α 、 β 、 γ 射线。这些射线能穿透人体组织, 损害细胞或造成外照射损伤, 或通过呼吸系统或食物链进入人体, 造成内照射损伤。对此, 我们必须重视对放射性污染土壤的治理与修复, 以确保环境安全。

1 土壤放射性污染源来源

土壤辐射污染的来源有铀矿和钍矿的开采, 铀矿浓缩, 核废料处理, 核武器爆炸, 核实验, 放射性核素使用单位的核废料, 燃煤发电厂, 磷酸盐矿开采加工等。大气层核试验的散落物可造成土壤的放射性污染, 放射性散落物中, ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 的半衰期较长, 易被土壤吸附, 滞留时间也较长。近几年来, 随着核技术在工农业, 医疗, 地质, 科研等领域的广泛应用, 越来越多的放射性污染物进入土壤中。放射性污染土壤主要存在于核原料开采和大气层核爆炸地区, 以铯和锶等在土壤中生存期长的放射性元素为主。

2 土壤放射性污染的特点

土壤中常见的放射性污染物质包括 ^{238}U 、 ^{40}K 、 ^{210}Po 、 ^{131}I 、 ^{90}Sr 、 ^{89}Sr 、 ^{137}Cs 等, 其中尤以 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 最为普遍。土壤中的放射性污染特点: 一是绝大多数放射性核素的毒性均远远超过一般的化学毒物。二是辐射损伤包括非随机效应和随机效应, 随机效应又分为躯体效应和发生在下一代身上的遗传效应。三是放射性不能由人的感觉器官直接察觉, 而只能依靠辐射探测仪器方可知晓。四是辐射本身具有一定的穿透能力, 特别是 γ 射线的穿透力相当强。五是放射性核素具有可变性, 气态放射性核素易向大气中逸散形成气溶胶, 可以通过呼吸人蜕变成固态子体而在体内器官或组织中沉积。六是放射性活度只能靠自身的自然衰变得以减弱, 不随温度、压力、状态、湿度等变化而变化, 其他方式也无法加速其衰变。七是放射性核素在土壤中的扩散迁移与核素本身的性质和状态、土壤的物理化学特性、地表植被以及气象水文等因素有关。

3 土壤放射性污染的危害

首先是放射性污染对土壤生态系统的影响。土壤放射性污染会危害及土壤生态系统和农业系统的安全与稳定。其中, 长期低剂量辐射的生态效应包括: 引起物种异常变异, 从而对生态系统演替产生影响; 使农产品放射性核素比活度上升, 危害食品安全和人体健康; 影响土壤微生物的生存与种群结构, 继而影响到土壤肥效和土壤对有毒物质的分解净化能力; 土壤中放射性核素会参与水、气循环, 进一步污染水体和大气。土壤中放射性核素会引起土壤生物群落区系成分的改变、生物群落结构的变化。土壤环境中同一群落

的生物种经化形成相互影响的复杂关系,包括如竞争、互食和共晒等。不同特种在辐射敏感性和累积放射性程度方面存在差异,任一种群对环境辐射胁迫的反应,取决于自身对辐射的直接应敏反应,也受其他种群以辐射反应的间接影响。其次是放射性污染对植物的危害。急性辐射胁迫常常导致环境中的敏感植物受伤。如松树是对辐射最为敏感的特种之一,在 200h 内接受 $\geq 300R$ 剂量射线后,所有湿地松样本要其后的几个月内相继死亡;接受 $\geq 8300R$ 剂量、树龄小于 5 年的长叶松样本也全部死亡。另外,阔叶树、灌木和草本植物依次表现出较强的辐射抗性。栽培植物对慢性辐射的敏感性与其野生的新源种相似。第三是放射性污染对动物的危害。哺乳动物对 Y 射线的敏感性比昆虫高,昆虫对辐射的敏感性一般远远小于脊椎动物。多数结果表明,出生率是比死亡更具放射敏感性的密度参数。第四放射性污染对人体的危害。土壤被放射性物质污染后,射线对机体即可造成外辐射操作,一部分放射性核素也可经过呼吸道、消化道、皮肤等途径直接进入人体,参与体内生物循环,造成内辐射损伤,使人体出现头昏、疲乏无力、脱发、白细胞减少或增多、发生癌变等。土壤环境中最危险的放射性物质是 ^{137}Cs 和 ^{90}Sr ,其化学性质与生命必需元素 Ca 和 K 相似,进入生物和人体后,在一定部位积累,增加人体的放射性辐射,引起三致效应。大剂量瞬间引起的急性放射性辐射伤害,可使生物或人体在短时间内死亡。

4 对重度大面积放射性污染土壤的治理

所谓重度大面积放射性污染土壤,首先是指核武器地爆试验场地的,其次指核设施发生重大事故造成的大面积放射性污染地区。随着我国核武器试爆基地逐步对外开放、铀矿勘探和采冶活动增加以及越来越多的铀矿退役,放射性核素污染场地的治理与修复问题已初露端倪。对于土壤放射性污染的治理,目前使用最多的方法有:物理法、化学法、物理化学连用法、微生物清除法、铲土去污、森林修复法、剥离性成膜去无法,但这些方法都具有处理成本高、易造成二次污染的特点,不能从根本上解决核素的清除问题。当前,对于核试验场区的大规模污染治理,比较适用的是物理填埋法和植物修复法。物理填埋法,指用机械的方法铲除地表污染土壤,转移至指定的场所填埋。物理填埋法的优点是在技术原理上比较简单,施工周期也较短,尤其适用于面积较小、污染程度高的放射性污染。在经济成本上,污染越集中,比活度越高,这类方法越经济。但物理填埋法在处理大规模、低剂量放射性污染处理时,以下一些缺点是阻碍这种方案的最大障碍:(1)挖掘、运输及深埋含有放射性的沙土,工程量异常浩大,需要消耗巨大的人力、钢铁、能源以及运输成本等,特别是对于偏远地区,后勤保障相当困难;(2)在运输放射性沙土时,有可能因为抛洒和泄漏而造成污染物的进一步扩散;(3)在铲除地表土的同时也会铲掉已有的植被,给现有的生态环境造成毁灭性的破坏;(4)地表土被铲除,又经重型机械的碾轧,土地会更加不适宜植物生存,给生态环境的恢复会造成永久的损害;(5)收集起来的放射性砂土数量巨大,在处置时仍然存在困难,费用巨大令人却步。

5 对一般大面积放射性污染土壤的植物修复

所谓一般大面积放射性污染土壤,是指核武器大气层试验污染区域和工业、农业、科研等领域核与辐射事件造成的污染区域。放射性污染植物修复是利用植物根系吸收水分和养分的过程来吸收、转化污染体(如土壤和水)中的放射性核素,以期达到清除核素、修复或治理目的的一种环境治理技术。植物修复特别适合于低剂量、大面积的放射性污染治理。在自然环境适宜的条件下,植物修复技术具有成本较低、符合生态环境发展的长远利益的优点,属于具有重大价值的高新领域技术,目前已从实验室培养走向了野外试验。在大气层核试验场区开展植物修复技术试验研究,不仅可以提高我国核污染土地植物修复技术的综合水平,解决规模化应用中可能遇到的各种问题,也可进一步提高我国在荒漠化治理、盐生植物开发利用等领域的技术,但核试验场区干旱、盐碱、及生态基础薄弱等是植物修复需要研究解决的难题。目前,放射性核素污染土壤的植物修复技术主要 3 种。一是植物固化技术。即利用耐某种放射性核素的植物降低核素的活性,从而减少放射性核被淋滤到地下水或通过空气扩散进一步污染环境的可能性。植物固定技术,虽然能减少

放射性核素淋滤到地下水或通过空气扩散进一步污染环境的可能性,但不能将土壤中放射性污染物去除,只是暂时将其固定,一旦环境条件发生变化,放射性核素的生物可利用性可能随之而变。二是植物提取技术。即利用某种放射性核素的超积累植物将土壤中的核素转运出来。富集并搬运到植物根部可吸收部位和地上部位,待植物收获后再进行处理,连续种植这种植物,可使土壤中放射性核素的含量降低到可接受的水平。超积累植物一般是指能够超量吸收并在体内积累重金属或放射性核素的植物,该植物地上部分能够积累普通作物 10~500 倍某种放射性核素。如:研究发现,牛角瓜植物在 24 h 内可以吸收 90% 的 ^{90}Sr ,表明牛角瓜对 ^{90}Sr 污染修复具有较大潜力。在含 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 的土壤中,香根草能在 168 h 内去除 94% 的 ^{90}Sr 和 61% 的 ^{137}Cs 。在低浓度 ^{137}Cs 土壤中,飞机草的根部对 ^{137}Cs 的积累比地上部分高;当土壤 ^{137}Cs 浓度较高时,其地上部分对 ^{137}Cs 的积累比根部高,这表明飞机草对修复 ^{137}Cs 污染土壤有潜力。三是植物蒸发技术。即植物从土壤中吸收放射性核素(如铀),然后通过叶面作用将它们蒸发掉。所谓超积累植物一般是指能够超量吸收并在体内积累重金属或放射性核素的植物,该植物地上部分能够积累普通作物 10~500 倍的某种放射性核素。超积累植物通常出现在放射性核素含量比较高的地区,但这些植物不一定是植物修复所理想的植物。适合植物修复的植物最好具有以下特征:即能够超量积累目标污染物,最好是植物的地上部分积累。对目标污染物有较高的耐受力,生长快,有高生物量,易收割。其中,对污染物的耐受性和植物的超积累能力更重要。植物修复是目前提出可用于我国核试验场地污染治理的技术之一。

6 对轻度大面积放射性污染土壤的生物修复

所谓轻度大面积放射性污染土壤,概是指农业土壤中含有的低浓度放射性污染。农业土壤内长期存在着放射性污染物,这样不仅对生态系统造成危害,还对依附生存的人类造成威胁。由于土壤放射性核素一般都属于低放射性,这样微生物的修复也就有很大希望进行实施。微生物虽然个体较小,但是它的比表面积较大,可以把很多污染物进行分解转化,因此微生物吸收放射性核素是非常关键的。微生物繁殖能力快,并且有较高的环境适应能力,因此治理土壤放射物污染通过微生物也是非常具有优势的。随着生物技术的发展,在放射性污染修复中,生物修复技术将会得到更多的重视。近年来,科学发现了一种对放射性具有超强耐受性的耐辐射奇球菌。该菌不但能在高剂量放射性环境中存活,不出现任何致死和诱变,保持原有功能,并且具有在营养极缺乏和干燥环境中生存的能力。因其具有潜在的生物除污功能,可能成为放射性污染场所除污的优良菌种。另外,某些自养微生物,如硫杆菌属和铁杆菌属细菌对矿石,污泥中的重金属和放射性核素具有较好的浸出能力。据资料介绍目前有人研究已获得耐 10000Gy 30000Gy 辐射包括“耐辐射奇球菌”在内的各类耐辐射细菌、放线菌、真菌共 1000 余株。因此,采用含有这些自养微生物和某些嗜重金属微生物菌悬液接种,能够在污染土壤中较快形成稳定的微生物群落,持续使溶解在污染土壤中的核素转移到水相,然后通过其他微生物的作用从水相中予以沉淀或吸附去除。该技术在沙漠等缺水地区植物难以生长,植物修复技术无法施展的特殊情况下,这类微生物修复技术结合土壤分选、反应器和其他原地修复技术用于修复我国西北核试验污染土壤,可能具有较好的应用前景。

7 对一般小范围放射性污染土壤的清除技术

所谓小范围放射性污染土壤概指放射性面积有限的区域。对小范围污染土壤治理,世界各国大多采用铲土去污、深翻客土、可剥离性膜法等对其进行去污处理铲土去污将被核物质污染的土壤(一般是表层土)铲走运至专门的核处置场地进行处理和处置,可从根本上杜绝放射性元素进一步扩散和进入食物链。但劳动强度大,操作人员易遭受核辐射;大量的铲土会增加处理和处置成本。另外,表层土中还含有可供作物生产的大量有机物质,全部铲走又进一步加剧了土地危机。当前比较成熟的技术主要有:

7.1 烘烤分离技术

据《朝日新闻》网站报道,26日,日本福岛县饭馆村公开进行了分离实验,希望通过烘烤法将核电站事故造成的污染土壤中含有的铯分离出来。如果能将放射性铯从除污工作中产生的土壤等废弃物中分离出

来,便可将土壤等放回原地,如此一来,就可以减少需处理的废弃物的量。日本原子能研究开发机构和农业及食品产业技术综合研究机构在饭馆市垃圾焚烧设施“饭馆清洁中心”进行了分离试验。据悉,这样的分离试验在日本国内尚属首次。试验中使用电加热器对饭馆村耕地中取来的 10 公斤土壤进行加热,在 800 摄氏度的高温下烘烤 10 个小时。由于铯在超过 640 度左右的高温时会蒸发气化,因此将使用特殊布料制成的过滤器和核电站中使用的玻璃纤维过滤器进行过滤采集。

7.2 可剥离性膜法技术

将带有多种官能团的高分子化合物去污液通过陆地喷洒机械进行快速喷洒,将成膜去污材料覆盖在污染物上,并迅速固定核污染物,在最短时间内控制污染源的转移和扩散。材料凝固成膜后,污染表面的核污染物在剥离粘附的作用下迅速集结成型,利用机械或人工对成型的膜体进行回收清除,从而达到对现场自然环境的恢复和战场环境的净化。此法经济成本相对较低。但对已渗入土壤内部的核污染物质基本没有去除作用

7.3 螯合剂对核素污染土壤植物修复研究

研究发现,添加不同种类不同浓度的螯合剂和有机酸,植物(向日葵、印度芥菜)干物质产量与铯积累量会随着土壤污染率、添加剂的类别和浓度以及土壤类型的不同而变化。在试验中,施用柠檬酸以提高 4 种作物不同器官吸收铯的能力,结果发现印度芥菜叶部吸收铯可达 2000 mg/kg ,油菜根部吸收的铯则高达 3500 mg/kg 。供试植物各器官转移铯的能力为根>枝,枝与叶相当。向日葵的花瓣铯含量与枝相比相近或略高,而其种子中铯质量分数接近零。由于印度芥菜地上部分生物量较大,因而累积了较多的铯(2200 ug/株)从而显示了其在铯污染土壤植物修复方面的应用潜力。

参考文献:

- [1] 孙赛玉,周青. 土壤放射性污染的生态效应及生物修复. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 33-36.[本文转自: lunwen.lkejian.com]
- [2] 董武娟,吴仁海. 土壤放射性污染的来源、积累和迁移. 云南地理环境研究, 2003(02).
- [3] 杨俊诚,朱永懿,陈景坚,等. 粉煤灰的农业应用及其环境放射性污染评价. 核农学报, 1999(05).
- [4] 孙兴滨,等, 环境物理性污染控制, 化学工业出版社, 2010
- [5] 龚宇阳. 污染场地管理与修复. 中国环境出版社, 2012.
- [6] 譙华,周从直,敖澹,等. 核污染的危害及其去除方法[J]. 后勤工程学院学报, 2007, (1): 66 - 69.
- [7] 冷鹏,揭雨成,许英. 植物治理重金属污染土壤的研究现状及展望[J]. 土壤通报, 2002, 33(6): 467 - 470.
- [8] 周启星,宋玉芳. 植物修复的技术内涵及展望[J]. 安全与环境学报, 2001, 1(3): 48 - 53.
- [9] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 北京:科学出版社, 2005: 315 - 347.
- [10] 董武娟,吴仁海. 土壤放射性污染的来源、积累和迁移[J]. 云南地理环境研究, 2003, 15(2): 83 - 87.