

附件1

轻中度污染耕地安全利用与治理修复 推荐技术名录(2019 年版)

一、概述

(一) 背景情况

当前,我国耕地土壤污染形势总体不容乐观,局部问题突出,特别是重金属等污染已对少数地区农产品质量安全构成严重威胁。2016年,国务院印发《土壤污染防治行动计划》(以下简称“土十条”),要求到2020年底,轻中度污染耕地实现安全利用面积达到4000万亩,治理修复面积达到1000万亩。为科学规范推进轻中度污染耕地安全利用与治理修复,农业农村部组织专家根据近年来耕地污染防治工作中积累的一些好经验、好做法,总结形成了《轻中度污染耕地安全利用与治理修复推荐技术名录(2019年版)》(以下简称《技术名录》)。各地可以根据实际情况,因地制宜选用《技术名录》中的安全利用类与治理修复类措施,并根据当地土壤环境类型、种植作物种类、工作基础等进一步细化,编制适合本地应用推广的措施规范或措施规程,压实工作责任,确保“土十条”相关目标任务按期完成。

(二) 适用范围

《技术名录》适用于轻中度污染耕地,即全国农产品产地土壤

重金属污染普查所划定的低风险、中风险农产品产地,以及全国土壤污染状况详查所划定的安全利用类耕地,不适用于重度污染耕地。《技术名录》中的农艺调控类技术,包括石灰调节、优化施肥、品种调整、水分调控、叶面调控、深翻耕,属于安全利用类措施。土壤改良类技术、生物类技术、“VIP”综合调控技术,属于治理修复类措施。

(三)应用要求

1. 对轻中度污染耕地开展治理时,应当优先采取安全利用类措施,阻断或者减少污染物和其他有毒有害物质进入农作物可食部分,降低农产品超标风险;安全利用类措施难以奏效时,再选取不影响农业生产、不降低土壤生产功能的治理修复类措施。

2. 安全利用与治理修复措施实施时,应避免对种植作物造成影响,同时避免对土壤、地下水、大气等周边环境造成二次污染。实施过程中产生的废水、废气和固体废物,应当按照国家有关规定进行处理或者处置,并达到国家或者地方规定的环境保护标准和要求。实施中所使用的肥料、土壤调理剂等耕地投入品须符合《有机-无机复混肥料(GB 18877-2009)》《肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标(GB/T 23349-2009)》和《肥料合理使用准则 通则(NY/T 496-2010)》等相关标准的规定,禁止使用重金属超标的投入品,禁止施用未经国家或省级农业农村部门登记的肥料。

3. 安全利用与治理修复期间,应定期抽测农产品质量,根据相关标准核算受污染耕地安全利用率,根据农产品质量评价结果及时优化调整治理措施。

二、推荐技术

(一) 农艺调控类技术

农艺调控是指利用农艺措施减少污染物从土壤向作物特别是可食用部分的转移,从而保障农产品安全生产,实现受污染耕地的安全利用。农艺调控技术措施主要包括石灰调节、优化施肥、品种调整、水分调控、叶面调控、深翻耕等。

1. 石灰调节

主要技术要点:石灰是碱性物质,在酸性土壤中适量施用石灰,可以提高土壤 pH 值,促使土壤中重金属阳离子发生共沉淀作用,降低土壤中重金属阳离子的活性,还可为作物提供钙素营养。施用采用人工或机械化的方式,将石灰均匀地撒施在耕地土壤表面(建议施用量见表 1),同时补施硅、锌等元素。石灰施用频率为 1 次/年,且稻田土壤 pH 值达到 7.0 后,需停施 1 年。连年过量施用石灰容易破坏土壤团粒结构,导致土壤出现板结现象。

表 1 治理酸性镉污染稻田石灰(CaO)建议施用量 kg/(亩·年)

土壤镉含量范围	土壤 pH 值	土壤质地		
		砂壤土	壤土	粘土
1-2 倍筛选值(含)	<5.5	100	150	200
	5.5-6.5	75	100	150
2 倍筛选值以上	<5.5	150	200	250
	5.5-6.5	100	150	200

适用范围:适用于偏酸性镉污染稻田,土壤 pH 值一般在 6.5 以下,不适用于存在砷超标风险的稻田。

2. 优化施肥

主要技术要点:施肥是满足作物生长所需养分的重要途径,同时可以对重金属活性产生较大影响。优化施肥是指根据土壤环境状况与种植作物特征,优化有机肥、化肥的种类与施用量。化肥的使用要结合当地耕作制度、气候、土壤、水利等情况,选择适宜的氮、磷、钾肥料品种,避免化学肥料活化重金属污染物。例如氮肥施用时,优化铵态氮与硝态氮的施用比例,可以提高稻田土壤 pH 值,降低重金属活性;磷肥施用时,推荐施用钙镁磷肥;钾肥施用时,推荐施用硫酸钾。肥料施用应把握适度原则,防止过量施肥引起土壤盐化、土壤酸化、养分不平衡等问题以及可能的二次污染。

适用范围:适用于所有耕地土壤。有机肥做基肥,可配合深耕施用。氮肥、磷肥、钾肥的种类和施用量需根据土壤养分丰缺指标、耕作方式、污染物种类确定。

3. 品种调整

主要技术要点:不同作物种类或同一种类作物的不同品种间对重金属的积累有较大差异,在中、轻度重金属污染土壤上种植可食部位重金属富集能力较弱,但生长和产量基本不受影响的作物品种,可以抑制重金属进入食物链,有效降低农产品的重金属污染风险。当前实践中已筛选出多种单一污染源下的重金属低累积作物品种,如镉低

积累水稻、玉米、菜心、苋菜、小白菜、芥菜、番茄、豇豆、小麦等。

适用范围:农作物具有较强的区域性特点,每个作物品种都有其特定的适宜种植区,只能在其适宜种植区推广。

4. 水分调控

主要技术要点:酸性土壤在淹水条件下,土壤环境呈还原状态,土壤 pH 值显著升高,镉容易形成硫化物沉淀,活性也随之降低,从而减少作物对镉的吸收。淹水灌溉期间,应加强灌溉水质监测,确保灌溉水中重金属含量达到农田灌溉水质标准要求。同时,在日常巡查时应加强水稻病虫害的观察与防控。

适用范围:适用于土壤 pH 低于 6.5 的镉污染酸性稻田,不适用于存在砷超标风险的稻田。

5. 叶面调控

主要技术要点:叶面调控是指通过叶面喷施硅、硒、锌等有益元素,提高作物抗逆性,抑制作物根系向可食部位转运重金属,降低可食部位重金属含量。该技术操作简便,主要选用可溶性硅、可溶性锌、可溶性硒等原料,可以根据作物种类、土壤中有效态硅或锌的含量优化组合。

适用范围:适用于镉污染稻田,特别是有效硅、有效锌缺乏的镉污染稻田。

6. 深翻耕

主要技术要点:通过深翻耕,将污染物含量较高的耕地表层土

壤与犁底层甚至是母质层的洁净土壤充分混合,稀释耕地表层土壤污染物含量。深翻耕的实施时间一般为冬闲或春耕翻地时,无需占用农时。深翻耕不适用于连续两年深翻的稻田、沙漏田、潜育性田。深翻耕实施的时间、周期和深度等需根据当地种植习惯、作物类型、土壤类型和耕作层厚度等来确定。由于土壤有机质与养分多集中在耕地表层,深翻耕在降低耕地表层土壤污染物含量的同时,也会降低表层土中有机质和养分含量。因此,深翻耕后应进行配套施肥,满足农作物生长需要。

适用范围:深翻耕技术对于一般耕地均适用,但对于稻田,耕作层加犁底层厚度应在 25cm 以上,且稻田耕作层厚度 $\leq 15\text{cm}$ 、稻田犁底层厚度 $\geq 10\text{cm}$ 。

(二) 土壤改良类技术

通过施用钝化剂、土壤调理剂等,降低污染物在土壤中的活性,阻控作物对土壤污染物的吸收。

7. 原位钝化

主要技术要点:通过向土壤中添加钝化材料,如海泡石、坡缕石、蒙脱土、黏土矿物粉、铁锰氧化物、泥炭等,将土壤中有毒有害重(类)金属离子由有效态转化为化学性质不活泼形态,降低其在土壤环境中的迁移、植物有效性和生物毒性。钝化技术效果和稳定性与土壤类型、土壤理化性质、重金属种类及污染程度、种植农作物品种,以及当地降雨量等密切相关,在大面积应用前,必须加

强该技术的适应性试验研究,做到先小规模示范,再大面积推广应用。一方面,在实际大田推广应用中,要正确选择钝化材料种类,精准把握施用剂量,避免过度钝化和造成二次污染;另一方面,要避免对土壤理化性质及环境质量等带来负面影响。同时,钝化后需继续跟踪监测土壤重金属有效态含量及农作物可食部位重金属含量的变化,以及土壤质地、理化性质、微生物群落结构及生物多样性的变化情况,评估钝化的长期效应与可能产生的负面影响。

适用范围:原位钝化技术较少受农业生产、农时、地域和气候的影响,适宜于一般重金属污染农田。

8. 定向调控

主要技术要点:基于土壤化学或微生物原理,通过调节土壤中的氧化还原、吸附、沉淀等过程,促进重金属污染物由高有效性向低有效性转化、由高毒性向低毒性转化,定向控制土壤中重金属元素的迁移以及农作物的富集。例如,镉污染稻田,提高土壤 pH 值或降低 Eh 值有利于降低稻米镉积累;砷污染稻田,提高土壤 Eh 值、施加铁锰材料有利于降低稻米砷积累。实践中,通常采用具有特殊功能的材料配置成土壤调理剂,实现土壤重金属污染的定向调控。调理剂对重金属污染土壤的治理效果因土壤中重金属种类和污染水平而差异显著,因此,利用调理剂开展污染治理应建立在完善的试验基础上。

适用范围:适用于一般重金属污染农田。

(三)生物类技术

生物类技术是利用天然或人工改造的生物的生命代谢活动来降低土壤中污染物浓度或者使污染物达到无害化的技术,主要包括微生物修复和植物提取等。

9. 微生物修复

主要技术要点:利用天然或人工驯化培养的功能微生物(藻类、细菌、真菌等),通过生物代谢功能,降低污染物活性,防控生态风险。微生物修复材料包括微生物菌剂、微生物接种剂、复合微生物肥料和生物有机肥等,施用种类和施用量需根据当地土壤类型和作物类型确定。微生物修复技术比较安全,二次污染问题较小,对环境的影响较小,费用较低。

适用范围:适用于农药或重金属污染耕地。

10. 植物提取

主要技术要点:植物提取是当前受污染耕地土壤治理修复主要采用的一类植物修复技术,是指利用超富集(高富集)植物或络合诱导植物高效吸收污染土壤中的重金属并在地上部积累,收割植物地上部分从而达到去除土壤中重金属污染物的目的。植物提取分为两类,一类为持续型植物萃取,直接选用超富集植物吸收积累土壤中的重金属;另一类是诱导性植物提取,在种植植物的同时添加某些可以活化土壤重金属的物质,提高植物萃取重金属的效率。在应用超富集植物修复重金属污染土壤时,应选择合适的栽培措施,包括育苗、翻耕、种

植密度、除草、间套作、刈割等。根据植物的特点与当地气候结合做到科学种植,提高污染土壤的修复效率。

适用范围:植物修复技术成本较高,一般适用于小面积重金属污染耕地。特别需要注意修复植物的生长适宜温度与季节安排。

(四) 综合类技术

农田作物生长期间,田间环境因素复杂多变,加之土壤污染的复杂性,当单一措施难以保障农作物可食部位污染物含量达标时,需要结合农产品产地土壤污染类型、污染程度,集成优化物理-化学-生物联合技术措施,建立适合当地实际情况的农田安全利用模式。

11. “VIP”综合治理技术

主要技术要点:“VIP”或“VIP+n”是一种重金属污染耕地综合治理技术,是指在低镉水稻品种(V)、淹水灌溉(I)、施用石灰等调节土壤酸度(P)的基础上增施(采用)土壤调理剂、钝化剂、叶面调控剂、有机肥等降镉产品或技术(n)。“VIP”综合治理技术克服了单一治理技术在污染耕地治理中存在的治理效率低,且可能影响正常农作物种植和粮食生产的缺点,实现不改变原种植习惯、边生产边治理的目的。“VIP”技术与其他技术(n)集成时应遵循大面积施用、衔接农时、经济高效、科学规范等基本原则,进行各项技术的组合和排序,并根据土壤污染程度,适当调整综合技术中集成技术的数量和单项技术的实施强度。

适用范围:酸性镉污染稻田,稻米镉含量 $>0.2\text{mg/kg}$ 。