

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20200925001

刘阳泽, 刘毅, 李天魁, 等. 部分国家农用地土壤环境质量标准体系研究[J]. 生态毒理学报, 2021, 16(1): 66-73

Liu Y Z, Liu Y, Li T K, et al. Study on soil environmental quality standards systems of agricultural land in several countries [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2021, 16(1): 66-73 (in Chinese)

部分国家农用地土壤环境质量标准体系研究

刘阳泽¹, 刘毅^{1,*}, 李天魁¹, 林斯杰^{1,2}

1. 清华大学环境学院, 北京 100084

2. 南方科技大学环境工程学院, 深圳 518055

收稿日期: 2020-09-25 录用日期: 2021-02-28

摘要: 中国、德国、加拿大、英国、日本和荷兰等国家已有较为完整的农用地土壤环境质量标准体系。笔者在分析这些国家农用地土壤环境质量标准体系的基础上, 梳理了各国制定农用地土壤环境质量标准的方法、考虑因素以及标准的含义, 比较得出各国农用地土壤环境质量标准的异同, 以期为我国农用地土壤风险管控标准的优化提供参考和借鉴。参考各国农用地土壤环境质量标准体系的特点, 基于我国现行标准的不足, 本研究提出以下建议: 我国可以开展农用地土壤环境基准研究; 将人体健康风险纳入考虑范围内, 加强背景值的调查和使用, 考虑土壤、作物及地域差异, 建立土壤-作物点位数据库, 增加污染物项目。

关键词: 农用地污染; 土壤环境质量标准体系; 风险限值; 分级管制

文章编号: 1673-5897(2021)1-066-08 **中图分类号:** X171.5 **文献标识码:** A

Study on Soil Environmental Quality Standards Systems of Agricultural Land in Several Countries

Liu Yangze¹, Liu Yi^{1,*}, Li Tiankui¹, Lin Sijie^{1,2}

1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

2. School of Environmental Science & Engineering, Southern University of Science & Technology, Shenzhen 518055, China

Received 25 September 2020 **accepted** 28 February 2021

Abstract: Quite integrated soil environmental quality standard systems for agricultural land have been established in countries like China, Germany, Canada, the United Kingdom, Japan, and the Netherlands. This study aims to shed light on improving the soil risk management and control standards for agricultural land. We summarize the soil environmental quality standards for agricultural land in these countries, and make comparisons about the methods, considered factors and implications of these standards. Based on our findings, we propose the following suggestions: studies on environmental criteria for agricultural land could be conducted in China; human health risk exposed to polluted agricultural land should be taken into account; the investigation and use of background value must be strengthened; the heterogeneities of soil, crops, and region need to be considered; soil-crop site database has to be built; and more pollutant types should be included.

基金项目: 重点行业企业用地风险筛查模型验证与优化(2018200801); 水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07111004); 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作专项(2016YFE0103100)

第一作者: 刘阳泽(1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为环境系统分析, E-mail: yz-liu18@mails.tsinghua.edu.cn

*** 通讯作者 (Corresponding author),** E-mail: yi.liu@mail.tsinghua.edu.cn

Keywords: agricultural land pollution; soil environmental quality standard systems; risk limits; hierarchical control

为切实加强土壤污染防治,逐步改善土壤环境质量,2016年5月28日,我国国务院印发了《土壤污染防治行动计划》(简称《土十条》)^[1],其中,对于农用地污染防治工作提出2个主要指标:(1)到2020年,受污染耕地安全利用率达到90%左右;(2)到2030年,受污染耕地安全利用率达到95%以上。为了实现改善土壤环境,保障农产品质量的目标,《土十条》提出了加快推进农用地污染防治立法进程和构建系统的农用地土壤质量标准体系,健全污染防治相关标准和技术规范的要求。在立法方面,2017年9月25日,我国环境保护部和农业部联合公开了《农用地土壤环境管理办法(试行)》^[2]。2018年6月22日,我国生态环境部发布了《农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(简称为《标准》)^[3]。在农用地土壤污染防治体系中,《标准》通过风险筛选值和风险管制值建立了农用地土壤质量标准体系,从而实现了对农用地土壤的分类管理。

对于世界各国来说,农用地的土壤环境质量都至关重要,其不仅会影响农作物的产量和农产品的质量,还会影响土壤微生物的活性、地下水或地表水、饮用水的安全。在各国的工业化和现代化过程中,农用地受到了来自各方面的污染威胁,主要以工业污染源^[4]和农药污染物^[5]为主。为了保障农用地的土壤环境质量,进而实现保障农作物产量、农作物质量和人体健康等目标,部分国家和地区基于自身的经济和科技条件,建立了一系列的法律法规^[6-10]。

与我国相似,部分国家和地区为了实现农用地的防治工作,制定了相关的农用地土壤环境质量标准体系。作为农用地土壤污染防治体系中关键的一环,农用地土壤环境质量的制定目的、方法、和使用方式等的差异,很大程度上反映了各国农用地在防治农用地土壤污染方面的理念差异。近年来,我国已有大量关于建设用地的土壤环境质量标准的综述和研究论文^[11-13],但是关于农用地土壤环境质量标准体系相关的综述和研究论文较少。鉴于农用地土壤环境质量标准的重要性,本研究拟通过比较分析中国、加拿大、德国、荷兰和英国等国家的农用地土壤环境质量标准体系制定在考虑因素、方式和限值的意义等方面的特点,归纳得出我国与其他国家之间的主要区别,为我国农用地土壤风险管控标准的优化提供参考。

1 我国现行农用地土壤环境质量标准 (Chinese current soil environmental quality standards of agricultural land)

我国的农用地土壤环境质量标准体系,主要由《标准》中的风险筛选值和风险管制值构成。

由于我国现阶段农用地土壤污染防治工作的目标和任务是确保农产品质量安全,风险筛选值和风险管制值的制定目标也是以保护食用农产品质量安全为主,同时兼顾保护农作物生长和生态环境的需要。基于制定目标,《标准》中规定,我国的农用地土壤筛选值和管制值适用于与食用农产品相关的耕地、园地和牧草地,不包括林地。

在确定土壤安全阈值的方法上,借鉴《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)(简称为“95标准”)^[14],分别计算保护农产品质量安全的土壤阈值、保护农作物生长的生态阈值、保护土壤微生物的生态阈值和保护地下水、地表水的生态阈值,取最小值作为土壤筛选值,其中保护农产品安全为本标准的主要目标。

在推导保护农产品质量安全的土壤阈值时,主要有4种推导方法。方法1是基于土壤与作物的回归模型。采用盆栽、田间小区试验,添加不同剂量的重金属,通过对土壤重金属浓度与作物吸收的剂量-效应关系进行回归,建立预测模型,依据国家规定的食品中重金属限量标准,推导土壤中重金属的临界含量。方法2是基于外源添加试验的物种敏感性分布法(SSD)。采用盆栽实验或者田间小区试验方法,将外源富集系数与土壤性质的关系量化,采用物种敏感性分布法推导不同作物品种累积概率下土壤中污染物危害阈值,并以保护95%的物种安全或95%的物种受到危害的外源添加法阈值加土壤背景值作为土壤阈值。方法3是基于大田调查数据的物种敏感性分布法。根据大田调查数据得到的土壤-作物污染物富集效应敏感性分布,按照保护不同比例的作物品种推导土壤阈值。方法4是基于大田调查数据回归模型。根据土壤-作物的点对点采样数据,建立土壤和作物中重金属含量以及土壤理化性质的多元回归模型,依据国家规定的食品中重金属限量标准,推导土壤重金属阈值。以上4种方法的区别主要体现在:(1)方法1与方法2通过外源添加试验的方式进行推导,数据通过盆栽试验或田间小区试验

获取,而方法3与方法4的数据来源于大田调查;(2)方法1与方法4通过建立作物中的重金属与土壤中的重金属之间的浓度关系,由食品中重金属限量标准推导土壤重金属阈值,而方法2与方法4则通过计算富集系数,应用物种敏感性分布法,以保护一定比例的物种安全为目标推导土壤重金属阈值。在综合以上方法确定保护农产品质量的土壤阈值时,我国优先采用最新的研究结果,优先考虑大田调查数据推导的土壤阈值。在实际执行的过程中,受大田调查数据不足的限制,汞、砷和铅等重金属以保护农产品质量为目的的土壤阈值主要采用盆栽试验的推导结果^[15]。

在推导保护农作物生长的土壤阈值时,采用盆栽或者田间小区试验的方法,改变重金属剂量,建立土壤重金属浓度与作物产量关系的预测模型,推导农作物减产10%时的重金属土壤阈值。

在推导保护土壤微生物的土壤阈值时,采用盆栽或田间小区试验的方法,外源添加不同剂量的重金属,建立土壤重金属浓度与土壤微生物数量或者生化指标抑制率的剂量-效应模型,以土壤微生物数量减少50%或生化指标抑制率达到25%时的土壤重金属浓度为土壤重金属阈值。

而风险管制值的制定,主要考虑2个方面:95%的食用农作物品种存在农产品超标风险;基于目前技术水平和经济承受能力难以确保食用农产品质量安全^[15]。

采用盆栽试验、田间小区试验方法时,需要考虑土壤背景值因素。一般采用全国土壤环境背景数据的50%或95%顺序统计值作为背景值取值。根据我国土壤环境背景分布的区域特点,对于水田(主要分布在南方地区)背景值采取95%顺序统计值,对于旱地(主要分布在北方地区),背景值采取50%顺序统计值。

在我国目前的农用地风险标准值体系中,风险筛选值共有11项指标,包括镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍和锌等8类重金属污染物与六六六、滴滴涕和苯并[a]芘3类有机污染物;风险管制值共有5项指标,包括镉、汞、砷、铅和铬等5类重金属污染物。针对重金属污染物的风险筛选值与风险管制值均以pH值5.5、6.5和7.5为界划分出4个范围,针对处于不同pH值范围内的土壤作出了不同的风险筛选值与风险管制值的规定^[3]。

除制定了具体的指标值,《标准》也规定了具体

的实施方法,以实现分类监管的目的。即如果农地的相关污染物浓度低于风险筛选值,则规划为优先保护类,对其实行特别保护,确保面积不减少,土壤环境质量不下降;如果污染物浓度高于风险筛选值,但低于风险管制值,划为安全利用类,采取园艺调控,替代种植等安全利用措施;如果污染物浓度高于风险管制值,则划为严格管控类,采取禁止种植食用农产品、退耕还林等严格管控措施^[3]。

2 部分发达国家的农用地环境质量标准体系 (Soil environmental quality standards systems of agricultural land in several developed countries)

2.1 德国

1998年2月6日,德国联邦议会通过了《联邦土壤保护法》^[6],1999年6月颁布了《联邦土壤保护与污染场地条例》^[7],建立了土壤污染风险评估和治理修复的统一方式和标准。基于上述2项法律法规,德国建立了土壤环境质量标准体系,而德国的农用地环境质量标准体系就是其中的一部分。

《联邦土壤保护与污染场地条例》中规定了3类土壤污染标准值:预防值(precaution value)、触发值(trigger value)和行动值(action value)。3类指标值中,预防值不针对特定的用地方式,是联邦政府依据已有的毒理学研究结果,结合土壤背景值情况和地块调查结果制定^[8],而触发值和行动值则针对不同的用地方式作出了不同的规定。其中农用地相关的用地方式共有3种:农业用地(种植各种农作物,包括蔬菜)、种植食用作物的菜园和草场。

在制定农用地土壤环境质量标准值时,主要考虑“土壤-食用作物”途径^[16],通过这种暴露途径确定的土壤污染标准值构成了德国的农用地环境质量标准体系。

制定标准值的过程中,德国联邦环境部建立了“TRANSFER 数据库”,对数据库中的每对数据的土壤重金属浓度-作物重金属浓度统计学关系进行分析,建立以土壤重金属浓度为自变量,作物重金属浓度为因变量的回归方程,并判断其相关性,对于高相关性的重金属污染物,通过给定作物的可允许最大重金属浓度,即以农产品等质量安全标准中规定的重金属浓度限值,应用回归方程反向推算出土壤中重金属的浓度水平,同时可推算出20%、50%和80%的作物可能超过作物重金属浓度限值时对应的土壤中重金属浓度水平,基于半定量的统计方法制定触发值和行动值。对于低相关性的重金属污染物

则在上述方法推导结果的基础上酌情加大可允许最大土壤重金属浓度。

土壤中污染物浓度值低于预防值则意味着土地不会产生污染问题,超过预防值意味着未来有可能产生土壤污染问题。低于触发值说明当前土壤没有风险,高于该值说明可能存在风险,需要启动调查评估程序以判断土壤污染是否存在风险。如果超过行动值,则意味着风险影响人类健康或环境,存在有害的土壤改变,需要采取行动消除风险。

2.2 加拿大

2006年,加拿大联邦环境部长委员会颁布了土壤质量指导值(soil quality guidelines, SQGs),针对农用地、住宅用地、商业用地和工业用地等不同的用地类型制定了不同的土壤质量指导值,建立了加拿大的土壤环境质量标准体系,其中农用地的部分由针对农用地的土壤质量指导值确立。

在制定土壤质量指导值的过程中,加拿大政府考虑2个保护目标:保护人体健康与保护生态环境。基于这2个保护目标,通过人体健康风险评估方法和生态风险评估方法分别制定出保护人体健康的土壤质量指导值(human health soil quality guidelines, SQGHH)和保护生态环境的土壤质量指导值(environment soil quality guidelines, SQGE),最后取二者的低值作为土壤质量指导值(SQGS)。在制定农用地土壤指导值的过程中,加拿大通过在特定暴露途径下,计算特定污染物浓度的风险系数,以达到一定风险系数的土壤污染物浓度作为保护人体健康的土壤质量指导值或者保护生态环境的土壤质量指导值,并比较二者以确定最终的土壤质量指导值^[17]。

一般意义上而言,当土壤污染物浓度低于土壤质量指导值时,认为没有污染风险;当土壤污染物浓度高于土壤质量指导值时,土壤可能存在有危险的变化,需要进一步的调查以确定是否需要采取修复措施。但是加拿大联邦环境部长委员会颁布的土壤质量指导值不具有全国范围内的法律约束力,在具体的管控过程中以各省制定的污染场地管理条例中的数值为准。

2.3 英国

英国的土壤环境质量标准体系包括基于人体健康风险评估的土壤指导值(soil guideline values, SGVS)和基于生态风险的土壤筛选值(soil screening values, SSVS)。农用地的土壤筛选值体系作为其中的一部分,只与土壤指导值相关,由针对租赁农地制

定的土壤指导值确立。

英国在制定租赁农地相关的土壤指导值的过程中,首先预设敏感受体,并针对敏感受体预设一系列的标准暴露参数,包括年龄、身高、体重、呼吸速率、单位人体质量的体表面积以及暴露于土壤的皮肤面积分数等^[18],同时对于特定污染物,参考联合国粮农组织、世界卫生组织和美国环境保护局等组织推荐的允许摄入量推算出人体日均允许摄入量,根据污染物特点决定是否扣除背景暴露量后形成健康基准值(health criteria values, HCVs)。之后,将预设的标准暴露参数输入土地暴露评价(CLEA)模型,推导出确定土壤中污染物浓度下的平均每日暴露量(average daily human exposure, ADE),再与HCVs比较,以 $ADE \leq HCVs$ 时的最大土壤污染物浓度作为最终的土壤指导值^[19-20]。

若租赁农地的土壤污染物浓度值高于土壤指导值,则认为土地具有不可接受的风险,需要采取措施^[21]。

2.4 荷兰

荷兰的土壤环境质量标准体系不针对特定的用地方式分类进行规定,对于农业用地和其他用地方式的环境质量标准是相同的,均是基于对生态的风险和对人体的风险所制定的目标值和干预值^[20]。

目标值的制定主要依据2类曲线:土壤污染物总浓度与潜在受影响物种的分数的关系曲线;土壤污染物总浓度与微生物过程或者酶活性受影响的关系曲线。2条曲线上分别取5%的活动受影响的污染物浓度值,进而取二者中的低值,再除以安全系数即为目标值。

荷兰在制定干预值的过程中,主要考虑2个方面:50%的生态物种和微生物过程受到影响;对人体健康可能造成不可接受的风险。分别推算出从这2个方面考虑的值以后,取二者的较低值为干预值,只有当较低值的不确定性很高时,取较高值为干预值^[22]。

荷兰土壤环境质量标准认为,当土壤中污染物浓度低于目标值,对于生态系统的风险可以忽略,当土壤中污染物浓度高于干预值,则认为土地可能会对生态系统和人造成不可接受的风险。而在具体执行的过程中,荷兰提出了中间值的概念。中间值是目标值和干预值的算术平均数。如果场地的土壤污染物浓度低于目标值,则土地适用于各种利用方式;如果土壤污染物浓度高于目标值但是低于中间值,

则认为土壤轻微污染,可以采取一定的限制措施;如果土壤污染物浓度高于中间值但是低于干预值,则认为土壤轻微污染,需要展开进一步的调查,如果调查结果显示土壤污染物浓度仍然低于干预值,则限制土地利用,例如不种植特定种类的蔬菜等;如果至少有一种污染物浓度高于干预值,表示土壤受到了严重的污染,需要具体的风险评估以确定土壤的修复紧迫性^[23]。

3 各国农用地土壤环境质量标准体系对比 (Comparison of soil environmental quality standards systems of agricultural land in several countries)

经调查研究发现,各国已经建立的对于农用地适用的土壤环境质量标准体系之间,标准的名称、概念和超标的含义与行为等都有一定的异同,本研究作出如下概括。

(1)法律效力。加拿大的土壤质量指导值不具有全国范围内的法律约束力,具体的管控过程中以各省制定的污染场地管理条例中的数值为准。而德国、荷兰、英国和中国的土壤环境质量标准体系都是可以对全国范围内的监管提供依据,是具有法律效力的标准体系。

(2)体系的复杂性。英国的农用地土壤环境质量标准体系只由土壤指导值一个系列的限值构成,加拿大的农用地环境质量标准体系也只由土壤质量指导值一个系列的限值构成,需要对不同情况的农用地所采取的措施也只分超标和未超标2种情况。而德国、荷兰和中国的农用地土壤环境质量标准体系由2~3个系列的值构成,各系列的值是根据土壤中污染物浓度值高低而先后触发,不同系列的值共同划分出了3~4个值域,处在不同值域范围内的农用地将被采取不同的措施。

(3)标准的应用。德国的触发值、荷兰的目标值和中国的筛选值较为接近,其中,德国的触发值与荷兰的筛选值更接近环境基准的概念,即在低于此值的时候,认为土地目前不具有风险。而中国的筛选值则作为分类管控的标准之一,低于此值的时候认为具有风险的可能性较小。三者的共同特点是低于标准值时可以进行安全利用;德国的行动值、荷兰的干预值和中国的管制值较为接近,在高于这3个值的时候,均认为土地具有较为严重的风险,需要采取严格的措施。而德国增加了预防值的概念,以判断土地未来是否具有出现风险的可能,荷兰在具体的执行过程中增加了中间值的概念,细化了限制使用

和采取调查的界限。

(4)制定目的和方式。德国和中国的农用地环境质量标准体系都是以保障人体健康和农产品质量为主,农产品的质量是其制定限值的主要依据,其制定方式主要考虑的也是土壤-作物的污染物传递,兼顾其他生态方面的考虑。而荷兰、加拿大和英国主要考虑的是人体健康风险和生态风险,土壤污染物会导致的相关生物过程和人体的风险是其制定限值的主要依据。荷兰的限值取值来自于土壤污染物总浓度与潜在受影响的物种分布关系曲线,以及土壤污染物总浓度与微生物过程或酶活性受到影响的分布关系曲线,并考虑限制污染物的致癌风险的目标,加拿大和英国则使用风险暴露评估方法和模型确认限值。

(5)适用土地类型。加拿大、英国和荷兰的农用地环境质量标准体系并没有对不同的农用地类型作出不同的值的规定,而德国对于草场、农业用地和菜园作出了不同的值的规定,中国则将土地分为水田和其他2类,并对不同pH范围内的土地有不同的值的规定。

4 对我国农用地土壤环境质量标准体系的建议 (Suggestions for Chinese soil environmental quality standards systems of agricultural land)

4.1 开展农用地土壤环境基准研究

我国在制定农用地土壤环境质量标准的过程中,缺乏充足的相关环境基准的研究基础,而已有的研究多为部分学者独立完成,缺少规范性和权威性。农用地土壤环境基准,即污染物对农用地土壤相关的特定受体不产生危害的最大浓度,是制定农用地土壤环境质量标准的重要依据。为更好地服务于农用地土壤环境质量标准的制定和应用,我国需对农用地土壤环境基准展开系统性的研究和制定。以国家重点研发计划“场地土壤环境风险评估方法和基准”项目为代表,我国土壤环境基准研究工作已逐步展开。

根据现行《标准》的制定方法,建议在以下方面开展基准研究:(1)保护农产品质量的农用地土壤环境基准;(2)保护农作物生长的农用地土壤环境基准;(3)保护土壤微生物的农用地土壤环境基准;(4)保护地下水和地表水的农用地土壤环境基准。

以上农用地土壤环境基准在研究和制定的过程中,我国可基于具有中国本土特性的物种和土壤种类,系统性地收集数据,建立生态毒性数据库,继而

采用 SSD 法等方法制定基准值。在保护地下水和地表水的农用地土壤环境质量基准的过程中,我国可基于土壤-地下水系统中污染物的迁移转化规律,在水文地质模型和包气带迁移模型等研究的基础上开展研究。

4.2 考虑人体健康风险

现行《标准》主要以农产品质量、农作物生长、土壤微生物、地下水和地表水等为保护目标,并考虑现阶段“确保农产品质量安全”的农用地土壤污染防治工作的目标,保护的是消费者的健康。而在实际生产生活的过程中,与农用地直接接触的农用地使用人也是重要的污染物受体,现行标准缺乏考虑暴露途径下,采用人体健康风险评估法推导的阈值。而以荷兰为例,其在制定过程中采用的暴露模型同时考虑了呼吸摄入、皮肤接触和农产品食用等多个途径。

后续的工作中,可开展考虑多种暴露途径下,以保护农用地使用人为目标的基准和标准研究。由于不同国家居民的饮食结构和耕作形式等国情不同,直接使用国外的暴露模型可能存在一定的误差,具体的暴露场景、暴露途径和暴露参数等需在实际调查数据的支撑下确定,进而制定符合我国农用地使用情况的基准和标准。

4.3 加强背景值的调查和使用

现行《标准》制定过程中,仅在采用盆栽试验和田间小区试验方法时考虑土壤背景值的影响,由于小麦多种植于北方,水稻多种植于南方,且一般来说南方背景值大于北方,因此,以全国土壤环境背景值数据的中位数作为旱地的背景值,以 95% 顺序统计值作为水田的背景值,数据来源于“七五”期间的全国土壤环境背景值的研究成果。在实际情况中,我国的作物种植情况复杂,作物种类分布与背景值情况并不完全一致。以云南为例,由于具有丰富的矿产资源,土壤中背景值较高,而其土壤类型以红壤为主,主要种植作物为茶叶、水果和蔬菜等,以全国土壤环境背景值数据的中位数作为背景值进行推导和应用可能会高估当地受污染的土壤面积,且当前所采用的背景值数据距离其出版已经过近 30 年,在我国经济和人口等都发生了较大变化的情况下,原有的背景值数据可能无法反映实际情况。

后续的工作中,我国可展开新一轮的土壤背景值数据调查,以获得最新的背景值情况,在此基础上考虑地域间的土壤类型和作物类型等差异,精细化

背景值的选用情景,继而在标准制定所采用的多种方法中将背景值纳入考虑。

4.4 考虑土壤、作物和地域差异

由于水稻和小麦是主要保护目标,现行《标准》仅对水田和其他 2 种情况制定了不同的标准值,且一套标准适用于全国的耕地。实际情况下,我国的耕地分布广泛,种植的作物种类多样,不同地区的土壤类型和作物种类差异较大,而受矿产等重要污染源分布的影响,不同地区所面临的潜在风险不同。结合前述背景值的差异,我国在管控的过程中采用统一的标准可能高估或低估部分地区受污染耕地的面积,进而导致忽略比较重要的、需加强管控的地区,或增加人力和物力的消耗,影响正常耕作。

后续的工作中,我国可首先建立起基准与标准制定的方法体系,包括制定过程中所需的数据库类型、所采用的方法以及相关参数的确定方法等。继而在全国范围内,通过采样和实验等方法进行制定基准与标准所需的数据收集,以完成国家层面的基准和标准制定,为后续工作提供参考。进而从土壤种类、作物种类和地域 3 个维度对基准和标准进行细分研究,优先针对重要的粮食产地和出现过污染事件的地区出台相关基准和标准,逐步以省市或其他区划方式为基础,在各地制定符合当地情况的基准和标准,覆盖不同的土壤种类和作物种类,最终建立起适用于精细化管理的、具有较高准确度的基准和标准值体系。

4.5 建立土壤-作物点位数据库

现行《标准》制定过程中,基于保护农产品质量的目标,我国采用了大田数据推导和盆栽、田间小区试验推导等方法,综合国内已开展的研究调查成果和“95 标准”中的二级标准得到最终结果。制定过程中,相比我国广大的耕地面积和大量的粮食产出,我国可供使用的大田土壤-作物点位数据有限,限制了大田数据推导这一基于更接近于真实情况的方法的使用。且如前所述,现行《标准》的准确度可能需要进一步的证明和优化,此证明和优化过程也需要充足的土壤-作物点位数据作为基础。

为更有效地以保护农产品质量为目标开展管控工作,我国应建立类似于德国“TRANSFER 数据库”的全国性数据库,其中,每个点位的数据应包含土壤中污染物浓度、作物中污染物浓度和 pH 值等土壤理化性质的数值。在此数据库的基础上,研究人员可通过拟合回归和机理模型研究等方法,分析土壤-

作物之间污染物含量的关系,以实现对现行《标准》的检验和优化。

4.6 增加污染物项目

现行《标准》中所涉及污染物主要以重金属为主,仅对六六六、滴滴涕和苯并[a]芘3类有机污染物制定了风险筛选值,仅对镉、汞、砷、铅和铬制定了风险管制值。实际情况下,农用地中的污染物种类众多,二噁英类、氟化物和石油烃等有机污染物对于人体健康同样具有威胁,铍等重金属污染物也有必要纳入考虑范围。现行《标准》中,受数据和技术等因素的限制,污染物项目覆盖范围较小,为更全面地防治农用地土壤污染,应逐步增加筛选值与管制值中的污染物项目。

后续的工作中,我国可参考各国相关土壤环境质量标准的项目内容,结合我国农用地中的污染物分布情况制定出我国农用地的污染物清单,并根据各类污染物对于农产品、人体等保护目标的毒性大小、分布范围等,确定各污染物在纳入基准与标准制定过程中的优先级顺序,进而通过完善相关机理研究、提高监测技术等方式增加筛选值与管制值所涉及的污染物项目。

5 讨论 (Discussion)

当前各国已建立的农用地土壤环境质量标准体系中,采用的方法主要有:(1)基于健康风险,设置暴露参数,使用风险评估的方法反推土壤最终的污染物浓度限值;(2)基于保护农产品质量,建立土壤中污染物浓度与作物中污染物浓度的数量关系,通过作物中污染物浓度限值推导土壤中污染物浓度限值。在污染物限值的设定上,多数国家采用2个污染物限值,以此对污染情况进行分级,并采取不同措施,少数国家增设了第3个限值以进一步细化管控措施。当前各国对农用地污染物指标的考量主要集中在重金属上,略有涉及农药等有机污染物。我国在对土壤污染风险的管控中,将土地分为建设用地和农用地2类设置不同的质量标准,以方便进行有效的管控。而对于农用地土壤污染风险的管控,除了增加污染物指标以外,分作物种类设置不同的质量标准也是管控精细化的发展方向。

基于各国农用地土壤环境质量标准体系的特点和我国现行标准的不足,本研究建议后续在农用地土壤环境基准、人体健康风险、土壤背景值、精细化管控以及土壤-作物点位数据库和增加污染物项目等方面加强研究与应用,以完善农用地土壤环境质

量标准相关的基础研究,制定准确有效的标准体系,建立持续优化调整的基础。

通讯作者简介:刘毅(1975—),男,博士,教授,主要研究方向为环境系统分析与战略环境影响评价。

参考文献 (References):

- [1] 中华人民共和国国务院. 关于印发土壤污染防治行动计划的通知[EB/OL]. (2016-05-28) [2020-09-25]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-05/31/content_5078-377.htm. 2016-5-28
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 农用地土壤环境管理办法(试行)[EB/OL]. (2017-09-25) [2020-09-25]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2017/content_5248223.htm
- [3] 中华人民共和国生态环境部, 中华人民共和国国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行): GB 15618—2018[S]. 北京: 中国标准出版社
- [4] 施加春, 徐建明, 吴劳生, 等. 污染场地周边农田土壤重金属污染源识别研究[C]// 中国土壤学会. 中国土壤学会第十二次全国会员代表大会暨第九届海峡两岸土壤肥科学术交流研讨会论文集. 成都: 中国土壤学会, 2012: 479-480
- [5] 杨振华, 臧广鹏. 我国基本农田土壤污染源分析[J]. 现代农业科技, 2012(9): 297-298,301
Yang Z H, Zang G P. Analysis on main pollution source of basic farmland in China [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2012(9): 297-298,301 (in Chinese)
- [6] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Federal Soil Protection Act [S]. Berlin: BMU, 1998
- [7] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance [S]. Berlin: BMU, 1995
- [8] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). German Federal Government Soil Protection Report[R]. Berlin: BMU, 2002
- [9] The Environment Agency (EA), Department of Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). CLEA Software Handbook [EB/OL]. (2009-09-01) [2020-09-25]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/455747/LIT_10167.pdf
- [10] Swartjes F A, Rutgers M, Lijzen J P A, et al. State of the art of contaminated site management in the Netherlands: Policy framework and risk assessment tools [J]. Science of the Total Environment, 2012, 427-428: 1-10

- [11] 贾琳, 武雪芳, 胡茂桂. 制定我国污染场地土壤筛选值的建议[J]. 土壤, 2015, 47(4): 740-745
Jia L, Wu X F, Hu M G. Proposal on establishing soil screening levels of contaminated sites in China [J]. Soils, 2015, 47(4): 740-745 (in Chinese)
- [12] 宋静, 陈梦舫, 骆永明, 等. 制订我国污染场地土壤风险筛选值的几点建议[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(3): 26-33
Song J, Chen M F, Luo Y M, et al. Suggestion on derivation of soil screening values and remediation goals for contaminated sites in China [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2011, 23(3): 26-33 (in Chinese)
- [13] 周友亚, 颜增光, 周光辉, 等. 制定场地土壤风险评价筛选值中关注污染物的预筛选方法[J]. 环境工程技术学报, 2011, 1(3): 264-269
Zhou Y Y, Yan Z G, Zhou G H, et al. Contaminants of concern screening method in establishing screening levels for soil risk assessment of contaminated sites [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2011, 1(3): 264-269 (in Chinese)
- [14] 中华人民共和国国家环境保护局, 中华人民共和国国家技术监督局. 土壤环境质量标准: GB 15618—1995 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006
- [15] 中华人民共和国环境保护部. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)(征求意见稿)编制说明 [EB/OL]. (2018-01-22) [2020-09-25]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201801/t20180124_430241.htm?keywords=%E7%BC%96%E5%88%B6%E8%AF%B4%E6%98%8E
- [16] 李佳, 林斯杰, 汪安宁, 等. 德国农用地土壤污染触发值和行动值制定经验及启示[J]. 环境保护, 2017, 45(23): 74-76
Li J, Lin S J, Wang A N, et al. Experience of agricultural soil pollution trigger value and action value in agricultural land in Germany and its enlightenment to China [J]. Environmental Protection, 2017, 45(23): 74-76 (in Chinese)
- [17] 王国庆, 骆永明, 宋静, 等. 土壤环境质量指导值与标准研究 I. 国际动态及中国的修订考虑[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 666-673
Wang G Q, Luo Y M, Song J, et al. Study on soil environmental quality guidelines and standards I. International trend and suggestions for amendment in China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(4): 666-673 (in Chinese)
- [18] 刘志全, 石利利, 刘济宁. 英国的土壤污染指导性标准[J]. 环境保护, 2006(17): 74-78
Liu Z Q, Shi L L, Liu J N. Guiding standards for soil pollution in the United Kingdom [J]. Environmental Protection, 2006(17): 74-78 (in Chinese)
- [19] 张敏, 蔡五田, 孙琳, 等. CLEA 模型及其在中国应用典型案例剖析[J]. 中国科学院大学学报, 2013, 30(6): 779-785
Zhang M, Cai W T, Sun L, et al. Introduction of CLEA model and analysis of its application to a case in China [J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2013, 30(6): 779-785 (in Chinese)
- [20] The Environment Agency. Updated Technical Background to the CLEA model [R]. London: The Environment Agency, 2009
- [21] 宋静, 骆永明, 夏家淇. 我国农用地土壤环境基准与标准制定研究[J]. 环境保护科学, 2016, 42(4): 29-35
Song J, Luo Y M, Xia J Q. Study of the development of environmental criteria and standards for agricultural lands in China [J]. Environmental Protection Science, 2016, 42(4): 29-35 (in Chinese)
- [22] The Netherlands Ministry of Infrastructure & the Environment (Previous Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, VROM). Soil remediation circular 2009 [R]. Hague: VROM, 2009
- [23] The Netherlands Ministry of Infrastructure & the Environment (Previous Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, VROM). Circular on target values and intervention values for soil remediation [R]. Hague: VROM, 2000