

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*

王国庆^{1,3} 骆永明^{1,3} 宋 静^{1,3} 夏家淇²

(1 中国科学院南京土壤研究所土壤与环境生物修复研究中心, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

(2 中国国家环境保护总局南京环境科学研究所, 南京 210042)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 介绍了国际上土壤质量指导值的研究动态、指导原则及应用功能, 提出对中国现行土壤环境质量标准进行修订的若干考虑。基于风险的土壤质量指导值/标准已是国际发展的必然趋势。基于风险的土壤质量指导值/标准的制定, 需考虑不同的土地利用方式, 设置各种土地利用方式下的一般暴露途径、暴露参数(如暴露周期和暴露频率)和临界风险受体。基于风险的土壤质量指导值/标准多用于污染场地/土壤的风险管理, 是潜在污染场地/土壤健康风险初步识别和预测的依据。中国现行土壤环境质量标准的修订, 需对标准的功能和宗旨、制定方法论、土地利用方式、土壤污染物迁移对其他环境介质的影响、污染物的种类等方面予以考虑。现行标准修订的最终目的是要建立保护生态和人体健康的“土壤环境和健康质量指导值/标准”, 服务于污染场地/土壤的识别及风险管理, 同时还需制定保护土壤资源的“土壤自然质量指导值/标准”。

关键词 土壤环境质量标准; 污染场地/土壤; 风险管理; 暴露途径; 中国

中图分类号 X 651

文献标识码 A

近年来, 随着我国土壤污染问题的日益突出和加剧, 持久性有机污染物(POPs)^[1, 2]、石油类化合物^[3]、重金属^[4, 5]和化学类农药^[6]等污染物在区域土壤中的分布特征、降解或反应机理、迁移过程、生态毒性, 以及污染场地土壤的植物修复、微生物修复及其他修复技术^[7-9]的研究迅速增加, 并取得了阶段性研究成果。

当前, 受污染土壤的修复研究已成为国际上土壤环境科学、污染生态学和工程学的学科前沿和重要研究内容, 受污染土壤修复技术获得迅速发展的同时, 也提出了一系列亟需回答的科学、技术与管理问题, 包括不同利用方式下土壤污染物的临界安全浓度、受污染土壤的风险识别准则、受污染土壤修复目标值的确定等, 科学地制定和应用土壤质量指导值/标准, 是解决以上问题的关键所在。

我国于 1995 年颁布实施了《土壤环境质量标准》并沿用至今^[10], 该标准建立了保护土壤资源的背景值, 以及保护土壤农业生产功能和生态环境功能的标准值。8 年来, 随着我国土壤环境及土壤污

染现状研究的深入, 现行标准已经不能满足实际应用的需要, 中国国家环境保护总局已于 2004 年下达了《土壤环境质量标准》修订任务。本文综述了国际上土壤质量指导值的研究动态、指导原则及其应用功能, 为现行中国土壤环境质量标准的修订及今后的研究与发展提供理论参考。

1 土壤质量指导值/标准的国际动态

1.1 概述

美国环保总署(EUSEPA)颁布了旨在保护人体健康的土壤筛选导则(Soil Screening Guidance, SSG)^[11], 以及旨在保护生态受体安全的土壤生态筛选导则(Ecological-Soil Screening Guidance, Eco-SSG)^[12], 美国许多州也据此制订了各州的土壤质量指导值。

英国环境署(Environment Agency, EA)与环境、食品与农村事务部(Department of Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA)于 2002 年 10 月撤销了污染土地再开发部门间委员会(The Interdepartmental

* 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410810)、国家杰出青年科学基金项目(40125005)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-429)资助

- 通讯作者, E-mail: ymluo@mail-issas.ac.cn

作者简介: 王国庆(1978-), 男, 江苏姜堰人, 博士研究生, 主要从事土壤环境质量与修复研究

收稿日期: 2004-11-29; 收到修改稿日期: 2005-03-30

Committee on the Redevelopment of Contaminated Land, ICRCCL) 颁布的土壤触发浓度值 (Trigger Concentration, ICRCCL 59/83), 代之以考虑不同土地利用方式下人体健康暴露风险而制定的土壤质量指导值^[13]。

加拿大环境部长理事会 (The Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME) 在考虑保护生态物种安全和人体健康风险的基础上, 分别制定了保护生态的土壤质量指导值和保护人体健康的土壤质量指导值, 取两者中的最低值作为最终的综合性土壤质量指导值^[14]。

荷兰住房、空间规划和环境部 (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, VROM) 应用基于风险的方法建立了标准土壤 (有机质和粘粒含量分别为 10% 和 25%) 中污染物的目标值 (Target values)、干预值 (Intervention values) 及部分污染物造成土壤严重污染的指示值 (Indicative levels for serious contamination)^[15]。

澳大利亚国家环境保护委员会 (National Environmental Protection Council, NEPC) 制定了基于人体健康的调研值 (Health-based Investigation Levels, HILs) 和基于生态的调研值 (Ecologically-based Investigation Levels, EILs)^[16]。澳大利亚和新西兰环境保护委员会/国家健康和医疗研究委员会 (ANZECC/NHMRC) 最早将调研值定义为: 当土壤或地下水中污染物的浓度超过这一浓度时, 需要开展进一步的调研和评估^[17]。由于澳大利亚不同地区的生态多样性, 各地还可建立区域生态调研值 (Regional Ecologically Investigation Levels, REILs)。

此外, 法国^[18]、瑞典^[19]、日本^[20]、越南^[21] 和丹麦^[22] 等国, 也都制定了各自的土壤质量保护值。

目前, 国际上对土壤质量指导值/标准的命名各不相同, 如加拿大的土壤质量指导值、美国的土壤筛选值、英国的土壤指导值、澳大利亚土壤调研值、荷兰的目标值和干预值等, 各国命名中均未直接包括“环境”二字, 而实际上是涵盖了两方面内容: 即一方面保护了土壤的生态功能, 指导值基于生态毒理学数据制定; 另一方面保护了人体, 暴露于土壤污染物的无显著健康风险, 指导值基于人体的健康暴露风险评估制定。对这类命名不同但功能相似的基于风险的土壤质量保护值, 本文中统称为“土壤质量指导值”。

从国际上土壤质量指导值的编制现状可见, 基于暴露风险评估方法, 划分不同土地利用方式, 结合

土壤生态毒理学效应和人体健康暴露风险, 制定保护生态和人体健康的土壤质量指导值, 已是国际发展的必然趋势。

1.2 指导原则及方法论

1.2.1 指导原则 各国在制定基于风险的土壤质量指导值时不外乎三种指导原则: 1) 保护生态受体, 如确保植物/作物、土壤无脊椎动物、土壤微生物过程、野生动物等, 暴露于土壤污染物不至于产生生态风险 (如美国的生态筛选浓度值和澳大利亚的生态调研值等); 2) 保护污染场地/土壤上活动的人群, 暴露于土壤污染物不至于产生健康风险 (如英国的土壤指导值和澳大利亚的健康调研值等); 3) 同时保护生态环境和人体健康, 限制土壤污染物对生态受体和人体产生不可接受的健康风险 (如加拿大的土壤质量指导值)。各国土壤质量指导值多服务于对污染场地/土壤的风险识别、修复和管理。

1.2.2 制定方法论 划分不同的土地利用方式, 应用生态毒理学数据和健康风险评估方法制定土壤质量指导值, 是当前发达国家普遍采用的方法, 相信也将是今后发展的趋势。搜集土壤生态毒理学数据, 定义特定土地利用方式下的通用场地参数、暴露途径、临界人群的健康暴露风险, 应用统计外推法和人体健康暴露风险评估法, 是制定土壤质量指导值的核心内容。

美国环保总署的土壤筛选值 (Soil Screening Levels, SSLs) 将土地利用方式定位为居住用地, 考虑在居住用地条件下, 人体对土壤中污染物的不同暴露途径和暴露参数, 结合人体对各种污染物的毒性临界值进行制定。其他国家也对制定指导值/调研值/目标值的土地利用方式和暴露途径进行了详细定义。表 1 列出了美国、英国、加拿大、澳大利亚, 在制定保护生态受体和人体健康的土壤质量指导值时, 对各类土地利用方式、风险受体及一般性暴露途径的设置^[11-14, 23]。

2 基于风险的土壤质量指导值的应用

基于风险的土壤质量指导值, 是土壤中污染物浓度的指示值或警告值, 是初步判断和识别受污染场地健康风险的依据。美国环保总署在土壤筛选导则中将土壤污染物浓度从低到高分分为 3 个区间 (图 1): 污染物浓度处于背景浓度值 (“Zero” concentration) 到筛选浓度值 (Screening level) 之间, 污染风险可以忽略, 无需进一步场地调研; 从筛选浓度值到响

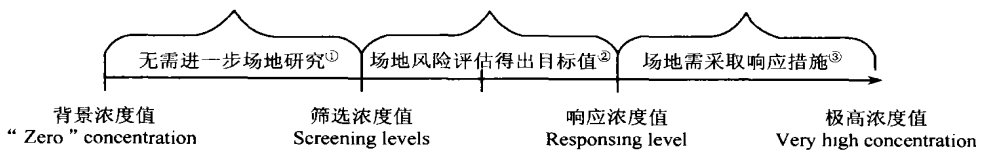
应浓度值(Response level), 土壤污染物含量水平可能会对生态或人体健康产生风险, 但这并非意味着必须采取修复措施, 需根据特定场地的风险评估结

果来决定; 当污染物浓度处于响应浓度值与极高浓度值(Very high concentration) 之间时, 则必须采取响应措施。

表 1 保护生态和人体健康的土壤质量指导值的受体及暴露途径设置

Table 1 Receptors and exposure pathways for soil quality guidelines protecting ecology and human health

国家	宗旨	用地方式	受体及暴露途径	国家	宗旨	用地方式	受体及暴露途径	
美国	保护 人体 健康	居住用地	直接土壤摄入	加拿大(续)	保护 生态	居住/ 公园、 商业、工 业用地	土壤养分循环过程、土壤无脊椎动物、作物/ 植物、家畜/ 野生动物的接触暴露	
			呼吸摄入含挥发性污染物的降尘			保护 人体 健康	农业用地	直接暴露: 口腔摄入、皮肤接触和呼吸摄入
			摄入土壤污染物迁移污染的地下水 皮肤吸收 摄入受污染土壤污染的自种农产品 挥发性污染物迁移进入地下室			工业用地	直接暴露: 口腔摄入、皮肤接触和呼吸摄入 间接暴露: 地下水、室内空气、自种农产品摄入	
保护 陆地 生态	陆地生态 土壤	鸟类和哺乳动物在进食、整理羽毛时摄入土壤	英国	保护 人体 健康	果蔬类副业 用地、栽培 果蔬类作物 的居住用地	居住/ 公园、 商业用地	摄入污染土壤、摄入室内降尘、摄入污染蔬菜、摄入附着在蔬菜上的污染土壤、皮肤接触污染土壤、皮肤接触室内降尘、呼吸摄入土壤、呼吸摄入室内降尘、呼吸摄入室外污染物蒸气、呼吸摄入室内污染物蒸气	
		鸟类和哺乳动物摄取土壤污染物污染的食物 植物和土壤无脊椎动物的直接接触摄入 土壤无脊椎动物摄入土壤颗粒				工业用地	直接暴露: 口腔摄入、皮肤接触和呼吸摄入 间接暴露: 地下水、室内空气摄入及污染物的迁移	
澳大利 亚	保护 人体 健康	标准居 住用地	直接口腔摄入土壤颗粒和降尘	居住用地	居住用地	摄入污染土壤、摄入室内降尘、皮肤接触污染土壤、皮肤接触室内降尘、呼吸摄入土壤、呼吸摄入室内降尘、呼吸摄入室外污染物蒸气、呼吸摄入室内污染物蒸气		
			直接呼吸摄入土壤颗粒			直接呼吸摄入土壤颗粒		
		直接土壤皮肤接触	直接口腔摄入土壤颗粒和降尘			直接呼吸摄入土壤颗粒	直接呼吸摄入土壤颗粒	
		消耗自种水果和蔬菜	直接呼吸摄入土壤颗粒			直接皮肤接触	直接皮肤接触土壤	
高面积覆盖	公园/ 娱 乐用地	直接口腔摄入土壤颗粒和降尘	商业/ 工 业用地	商业工业地	摄入污染土壤、皮肤接触污染土壤、呼吸摄入土壤、呼吸摄入室外污染物蒸气、呼吸摄入室内污染物蒸气、摄入工作楼区降尘、皮肤接触工作楼区降尘、呼吸摄入工作楼区飘尘			
		直接呼吸摄入土壤颗粒			直接呼吸摄入土壤颗粒	直接皮肤接触土壤		
加拿大	保护 陆地 生态	农业用地	土壤养分循环过程、土壤无脊椎动物、作物/ 植物、家畜/ 野生动物的接触暴露	商业工业地	商业工业地	摄入污染土壤、皮肤接触污染土壤、呼吸摄入土壤、呼吸摄入室外污染物蒸气、呼吸摄入室内污染物蒸气、摄入工作楼区降尘、皮肤接触工作楼区降尘、呼吸摄入工作楼区飘尘		
			草食动物摄入污染土壤和污染食物			直接呼吸摄入土壤颗粒	直接皮肤接触土壤	



① No further study warranted ; ② Site-specific cleanup goal/level ; ③ Response action clearly warranted

图 1 污染土壤风险管理的污染物浓度分区^[11, 24]

Fig. 1 Concentration spectrum of soil contaminants for risk management of contaminated soils

近年来, 丹麦^[22]、加拿大^[25]、英国^[13]及西澳大利亚^[26]等根据各自的污染现状和环境管理模式, 均已建立了系统的污染场地的风险管理方法/ 程序, 基于风险的土壤质量指导值在阶段性风险管理程序中起着重要作用, 主要用于对特定场地/ 土壤的污染状况进行初步的判断和识别; 场地污染物浓度是否超

标, 决定着是否需要进行特定场地的详细调研, 以及是否需要进行特定场地/ 土壤的健康风险评估。污染场地的风险管理程序常为循序渐进的阶段性工作, 对污染场地实施风险管理的步骤、各阶段的总体目标和内容概述见图 2。

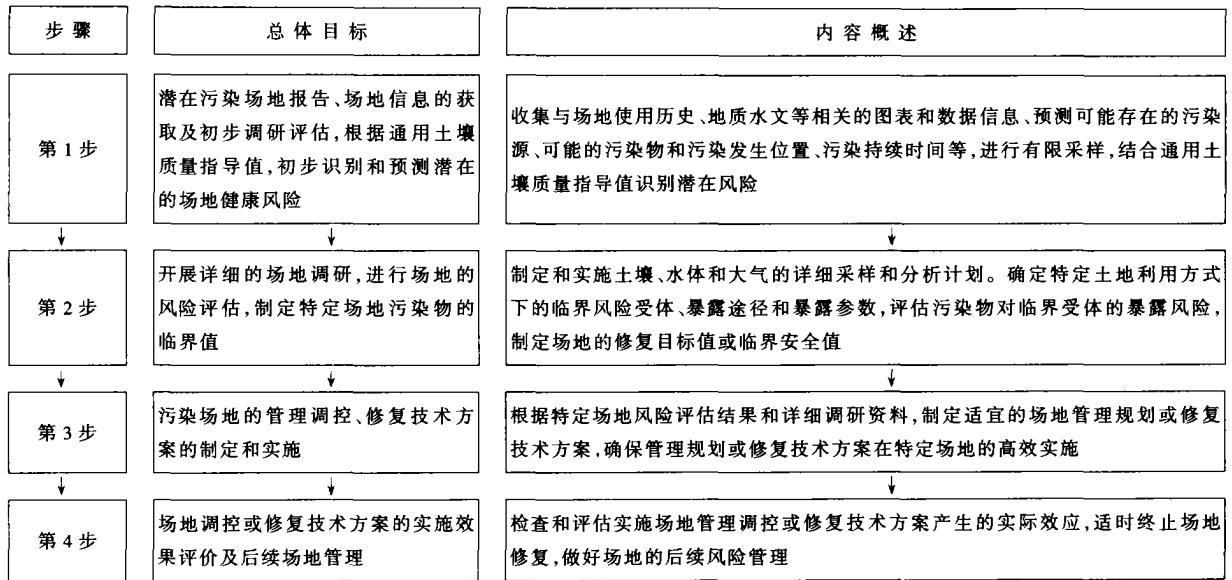


图 2 污染场地管理的一般性流程图

Fig. 2 General flowchart for the management of contaminated sites

加拿大的土壤质量指导值是对污染场地/土壤实施修复/管理的目标值。加拿大污染场地管理程序, 首先根据场地历史信息 and 场地调研信息, 将污染场地划分为不同的风险等级, 确定高风险的优先修复场地, 在此基础上, 比较场地调研结果和通用土壤质量指导值, 如果场地土壤中污染物浓度低于通用土壤质量指导值, 可认为场地土壤污染物对生态和人体无显著健康风险, 无需修复/管理措施; 反之, 则认为场地污染可能产生不可接受的健康风险, 需要采取进一步的响应措施。由于特定污染场地条件可能与制定通用指导值时的场地条件存在差异, 因此, 在制定特定污染场地的修复/管理计划时, 需比较特定污染场地条件和制定通用指导值时的场地条件, 如两者一致, 则可将通用土壤质量指导值作为实施场地修复/管理的目标值; 反之, 必须适当修改通用土壤质量指导值, 建立特定场地的土壤修复目标值^[27], 或根据特定场地的风险评估结果确定修复目标值。

在我国, 由于各地土壤性质变异较大, 给制定全国性通用土壤质量指导值/标准带来很大的挑战, 既不能顾及太多影响因子而使制定方法复杂化, 又必须要求在全国的普遍适用性, 因此全国性通用土壤质量指导值/标准的功能定位很重要。欧美发达国家的经验是, 通用土壤质量指导值只能对特定场地/土壤污染状况进行初步的判断和识别, 不能仅仅根

据土壤中污染物浓度超过通用土壤质量指导值, 就断定场地/土壤已经被污染, 或已经对生态和/或人体带来显著的健康风险, 确定特定场地/土壤是否已经污染并产生显著健康风险, 必须进行具体场地的深入调研和风险评估。因此, 在制定并施行通用指导值的基础上, 必须尽快建立我国污染场地生态和人体健康风险评估方法、以及污染场地的修复和风险管理体系。加强土壤环境保护的法规建设, 促进污染场地/土壤管理的产业化和市场化运营, 是我国今后污染场地/土壤风险管理的发展趋势。此外, 在制定全国性的通用土壤质量指导值/标准后, 加快各省及直辖市等制定地方性土壤质量指导值/标准也十分重要。

3 中国《土壤环境质量标准》的修订考虑

3.1 中国现行《土壤环境质量标准》概况

中国国家环境保护总局和国家技术监督局共同颁布了《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995), 并于 1996 年 3 月 1 日起正式实施^[10], 迄今已达 8 年之久。该标准填补了中国土壤环境质量的空白, 已为各地广泛采用, 也为有关方面制订其他国家标准或行业标准所引用。

该标准的制定反映了我国多年来的土壤科研成果, 统一了全国土壤环境质量标准, 使土壤环境污染

研究、土壤环境质量评估、预测等有法可依,促进了对土壤资源的保护、管理与监督。现行标准是在做了大量调研工作的基础上制定的,在多方面取得了很好的成果^[28]。但另一方面,现行标准的制定是在当时的历史条件下完成的,经费有限,未能进行系统的试验研究,只能作文献调研,而适用于制订该标准的土壤基准资料又很有限。土壤镉、汞、砷、铅、铬、铜标准的制订主要依据国家“七五”科技攻关课题《土壤环境容量研究》提供的资料,而六六六(HCH)、滴滴涕(DDT)、锌、镍是依据零散资料整理的。一些化学农药等有机化合物方面的项目苦于缺乏土壤基准资料而无法订出;土壤重金属也因缺乏土壤有效性资料而只能订出总量数值。

从当前实际需要看:土壤污染物项目少,仅8种重金属和2种有机氯农药(HCH和DDT),特别是有机污染物种类过少^[28-30];土壤铅的标准过宽;土壤重金属未有有效性指标;二级标准值在某些地区感到偏严,这就不能充分利用土壤自净能力,也有的地区感到偏宽,未能达到保护土壤的目的;一级标准的制定过分强调统一等。现行标准的制定未直接考虑土壤污染物对生态受体的毒理效应等。8年来,国内外在这方面工作有了新的进展,可为标准的修订提供一定的依据。因而,对我国《土壤环境质量标准》的修订工作,积极开展系统研究是十分重要和紧迫的。我国土壤类型众多,性质十分复杂,不同土地利用方式下的风险受体(土壤生物和人体等)和暴露途径又是多种多样,制定《土壤环境质量标准》是一项艰巨而复杂的任务。

3.2 对现行中国《土壤环境质量标准》修订的考虑

3.2.1 完善土壤质量指导值/标准体系 中国现行的标准命名为“土壤环境质量标准”,重在保护土壤的农业和生态环境质量。建议我国应尽快制定完善的“土壤质量指导值/标准”体系,这至少包括:1)保护土壤资源自身的“土壤自然质量指导值/标准”;2)保护土壤生态和人体健康的“土壤环境和健康质量指导值/标准”。其中,“土壤自然质量指导值/标准”主要用于保护土壤资源的自然质量,保护土壤不受外来污染物进入,限制清洁区土壤污染的发生,有效地实现土壤资源的可持续安全利用。“土壤环境和健康质量指导值/标准”主要用于初步判断和识别场地/土壤是否已产生显著的健康风险,是否需要场地/土壤的修复和风险管理。文中“指导值/标准”中的“标准”区别于“指导值”,指我国官方机构正式颁布后具有法定效应的指导值。指导值可首

先由国家主管机构委托国内的土壤环境研究机构或研究组织研究制定,然后结合国内外专家同行的评估意见进行修订,其后由国家政府部门发布并进入试行阶段,根据一次或多次试行过程中可能出现的问题再次修订,最终颁布为具有法定效应的标准。指导值/标准颁布后,还需定期进行评估和修订。

3.2.2 制定土壤自然质量指导值/标准 土壤是人类生存和发展所必需的重要自然资源,因而保护土壤资源、促进土壤资源的可持续利用是所有土壤环境工作者面临的迫切任务。中国现行《土壤环境质量标准》I类标准的制定,主要依据全国的土壤地球化学背景值,在实际应用时,显然会出现一些地区土壤自然背景值高,即使土壤没有受到任何外源污染的情况下也会超出标准,而有些地方背景值低于国家标准的土壤可能已有污染物累积,却并不超标,这显然是不合理的^[28]。建议制定“土壤自然质量指导值/标准”,尽可能考虑不同土壤的母质和性质,基于区域内土壤的背景值,利用统计方法制定。

3.2.3 制定土壤环境和健康质量指导值/标准

中国现行㉑、㉒类标准的制定主要依据土壤中有毒物质对植物和其他环境介质不造成危害和污染,即采用生态环境效应法制定。结合污染物在土壤-植物、土壤-微生物、土壤-水等体系内的研究资料,制定出各体系内污染物的土壤环境质量基准,经综合考虑,选择最低值对应的体系作为限制因素,定出土壤环境质量标准,以保护土壤的农业和生态功能,从而保护人体健康。建议我国的保护生态环境和人体健康的土壤质量指导值/标准,应根据保护对象和制定方法论的不同,分为:1)土壤环境质量指导值/标准,以保护土壤中或与土壤相关的生态受体(如植物/作物、土壤无脊椎动物、土壤微生物活性和代谢过程、野生动物等)不会因暴露于土壤污染物而产生显著的健康风险为宗旨,主要基于生态毒理学研究数据,利用统计外推法进行制定;2)土壤健康质量指导值/标准,以保护暴露于污染土壤的临界人群不产生显著的健康风险为宗旨,主要基于各种用地方式下的暴露途径、暴露参数、临界风险人群和场地条件,借助健康风险评估进行制定。

3.2.4 土壤质量指导值/标准的功能定位 中国现行《土壤环境质量标准》按土壤应用功能划分为3类:iv类为国家规定的自然保护区、集中式生活饮用水源地和其他保护地区土壤标准,旨在保护土壤环境质量基本保持自然背景水平;㉑类为一般农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场等土壤,土壤环境质量基本不

对植物和环境造成危害和污染; ㉔类为林地土壤及污染物容量较大的高背景值土壤和矿区附近的农田土壤(蔬菜地除外), 与㉓类标准相比较宽松, 但也要求土壤环境质量基本不对植物和环境造成危害和污染。㉒类旨在保证农产品可食部分符合食品卫生标准, 饲料部分符合饲料卫生标准, 不导致土壤生物和肥力性质恶化, 同时保证不会因土壤污染造成地表水、地下水 and 大气污染, 间接地保护人体和畜禽的健康; 此外还通过保证对植物生长、土壤微生物活性及微生物过程的正常进行, 保护土壤生态安全^[10]。

建议制定的“土壤自然质量指导值/标准”相对于其他“土壤质量指导值/标准”可以更为严格, 旨在保护土壤资源处于自然清洁状态或免受外来污染物的入侵, 警示特定土壤受到外来物质沾污的程度, 反映土壤质量的演变趋势和规律, 对于及时遏制土壤污染的发生和持续, 保护自然土壤资源具有重要意义。“土壤自然质量指导值/标准”特别地适用于一些自然保护区或饮用水水源区的土壤。功能类似于现行 I 类标准, 但在方法论上予以改进。

建议制定的“土壤环境和健康质量指导值/标准”主要服务于污染场地/土壤的判断和识别, 这一直是多年来土壤环境学研究最为关注的关键科学问题之一, 也是当前我国土壤环境保护和污染场地/土壤的修复和管理中急需解决的问题。一般认为, 通用的土壤质量指导值势必存在普遍适用性差的问题, 对具体的场地/土壤而言, 利用方式、土壤性质、污染物来源、临界健康风险受体都与制定通用指导值/标准时存在一定的差异, 因此应用通用土壤质量标准来绝对地判断具体场地/土壤是否已经污染, 或是否已经产生显著的健康风险有欠科学性。基于风险的通用“土壤环境和健康质量指导值/标准”, 定义当特定场地/土壤污染物浓度超过通用指导值时, 并不认为土壤污染物一定会产生显著的健康风险, 需要对特定污染场地/土壤进行风险评估, 具体情况具体分析, 这种做法更加实事求是。

3.2.5 制定土壤质量指导值/标准的方法论 现行 IV 类标准的制定主要依据土壤背景值, 即根据地球化学法进行制定, 建议未来的“土壤自然质量指导值/标准”应尽可能基于区域土壤背景值资料进行制定。现行 ㉒、㉓类标准的制定, 主要依据土壤中有害物质对植物和其他环境介质不造成危害和污染, 从而保护人体健康, 即采用生态环境效应法制定。现行标准的制定未考虑人和生态受体对土壤污染物的

取食摄入、皮肤接触和呼吸摄入等引起的直接暴露风险, 因此尚没有一些发达国家那么全面。建议制定基于风险的“土壤环境和健康质量指导值/标准”时, 可吸收欧美等发达国家的经验, 划分典型的土地利用方式, 考虑土壤污染物对生态受体的毒理学效应, 考虑人体暴露于土壤污染物的健康风险, 利用统计外推法和人体健康暴露风险评估法进行。这一制定过程是由具体场地条件到一般性指导值/标准的科学抽象和权衡的过程, 可以确保通用“土壤环境和健康质量指导值/标准”用于特定场地/土壤污染及健康风险的初步判断和识别的科学性。

3.2.6 对其他环境介质的考虑 现行标准的制定也考虑了土壤污染对其他环境介质的影响。在地下水方面, 采用了一些污水灌区的调查和土柱试验资料; 地表水方面采用了一些模拟的人工降雨农田径流试验资料; 对于有机污染物如六六六(HCH) 则因缺乏大气标准, 未曾评判其挥发进入大气的风险。从国际土壤质量指导值制定的经验来看, 一些国家在标准制定时, 特别考虑了某些土壤污染物因侵蚀、地表径流或淋溶进入地表水体或地下水; 挥发性有机污染物(如苯及苯酚化合物和多环芳烃) 进入地下水或室内空气、土壤污染物的迁移等带来的潜在风险, 并通过模型进行了量化表征。例如, 在加拿大土壤质量指导值制定过程中, 通过模型计算量化了苯并[a]芘、五氯苯酚、苯酚、甲苯和二甲苯进入地下水, 苯并[a]芘、五氯苯酚和苯酚挥发进入室内空气, 以及砷、苯并[a]芘、镉、铬、铜、氰化物、铅、五氯苯酚、苯酚、四氯乙烷、甲苯和二甲苯的发生迁移等过程的健康风险^[14, 31]。

3.2.7 土地利用方式和污染物种类 现行中国《土壤环境质量标准》主要基于对农业用地的保护, 结合国际趋势和国内土壤污染现状特点, 在对现行标准进行修订时, 考虑农业、居住区、工业和商业、饮用水水源等土地利用方式十分必要。在土壤污染物种类方面, 应结合目前国内土壤环境研究报道及土壤污染现状, 制定土壤中持久性有机污染物(如多环芳烃、多氯联苯等) 和石油类化合物等的指导值/标准。

总之, 现行标准的修定应对我国土壤类型、土壤性质、区域特殊环境因素(如土壤氡污染)、相关环境介质、土地利用方式和污染物种类进行合理考虑。对现行标准的修订, 选择性地借鉴国外的经验很重要, 可以开阔思路, 更加全面和深入地考虑问题, 但同时必须保证制定方法论和最终指导值/标准适合

我国国情,如我国是农业大国,农业用地是标准制定的重点。标准的修订,还应权衡土壤污染现状和当前社会经济发展水平及其趋势,在保证经济持续发展的基础上,确保生态/环境和人体的健康安全。此外,需要逐步加强我国土壤环境保护的法制建设,确保指导值/标准在土壤保护中的切实应用与实际效应。同时,鉴于我国生态毒理学等方面资料十分缺乏,应尽快开展土壤质量指导值/标准制定所需的支撑性研究,广泛、系统地积累数据资料,为指导值的确立和标准的进一步修订打好科学基础。

参考文献

- [1] 汤莉莉,唐翔宇,朱永官,等. 北京地区土壤中多环芳烃的分布特征. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2004, 5(2): 95~99. Tang L L, Tang X Y, Zhu Y G, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil of Beijing (In Chinese). Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2004, 5(2): 95~99
- [2] 储少岗,杨春,徐晓白,等. 典型污染地区底泥和土壤中残留多氯联苯(PCBs)的情况调查. 中国环境科学, 1995, 15(3): 199~203. Chu S G, Yang C, Xu X B, *et al.* Polychlorinated biphenyl congener residues in sediment and soil from pollution area (In Chinese). China Environmental Science, 1995, 15(3): 199~203
- [3] 宋雪英,宋玉芳,孙铁珩,等. 矿物油污染土壤中芳烃组分的生物降解与微生物生长动态. 环境科学, 2004, 25(3): 115~119. Song X Y, Song Y F, Sun T H, *et al.* Biodegradation of aromatic hydrocarbons and dynamics of microbe growth in soils contaminated with mineral oil (In Chinese). Environmental Science, 2004, 25(3): 115~119
- [4] 滕应,黄昌勇,骆永明,等. 铅锌银尾矿区土壤微生物活性及其群落功能多样性研究. 土壤学报, 2004, 41(1): 113~119. Teng Y, Huang C Y, Luo Y M, *et al.* Microbial activities and functional diversity of community in soils polluted with Pb-Zn-Ag mine tailings (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(1): 113~119
- [5] 姜理英,杨肖娥,石伟勇,等. 植物修复技术中有关土壤重金属活化机制的研究进展. 土壤通报, 2003, 34(2): 154~157. Jiang L Y, Yang X E, Shi W Y, *et al.* Activation of soil heavy metals for phytoremediation (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(2): 154~157
- [6] 朱雪梅,陶澍,林健枝. 根际土壤中DDTs的残留与转化. 环境化学, 2004, 23(2): 157~162. Zhu X M, Tao S, Lin J Z. Variation of DDTs residues in wheat rhizosphere (In Chinese). Environmental Chemistry, 2004, 23(2): 157~162
- [7] 周启星,宋玉芳,等. 污染土壤修复原理与方法. 北京: 科学出版社, 2004. Zhou Q X, Song Y F, *et al.* eds. Principle and Methods of Contaminated Soil Remediation (In Chinese). Beijing: Science Press, 2004
- [8] Hao X Z, Zhou D M, Si Y B. Revegetation of copper mine tailings with ryegrass and willow. Pedosphere, 2004, 14(3): 283~288
- [9] 骆永明. 金属污染土壤的植物修复. 土壤, 1999, 31(5): 261~266. Luo Y M. Phytoremediation of metals contaminated soils (In Chinese). Soils, 1999, 31(5): 261~266
- [10] 夏家淇主编. 土壤环境质量标准详解. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. Xia J Q. ed. An Introduction to Soil Environmental Quality Standard in China (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 1996
- [11] USEPA (United States Environmental Protection Agency). Soil Screening Guidance: User's Guide. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, 1996
- [12] USEPA (United States Environmental Protection Agency). Guidance for Developing Ecological Soil Screening Levels. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, 2003
- [13] EA (The Environment Agency), DEFRA (Department of Environment, Food and Rural Affairs). The Contaminated Land Exposure Assessment (CLEA) Model: Technical Basis and Algorithms. London, 2002
- [14] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines. Winnipeg, 1996
- [15] VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment). Annexes Circular on Target Values and Intervention Values for Soil Remediation. The Hague, 2000
- [16] NEPC (National Environmental Protection Council). Schedule B(1) Guideline on the Investigation Levels for Soil and Groundwater. National Environmental Protection (Assessment of Site Contamination). Canberra, 1999
- [17] ANZECC/NHMRC (Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, National Health and Medical Research Council). Australian and New Zealand Guidelines for the Assessment and Management of Contaminated Sites. Canberra, 1992
- [18] Damendrail D. The French Approach to Contaminated-land Management. Revision 1. BRGM/RP-52276-FR, 2003
- [19] Swedish Environmental Protection Agency. Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites: Swedish Guideline Values for Levels in Polluted Soils. 2002. <http://www.intemat.naturvardsverket.se/>
- [20] Japanese Ministry of the Environment. Environmental Quality Standards for Soil Pollution. 1994. <http://www.env.go.jp/en/lar/regulation/sp.html>
- [21] Vietnamese Directorate for Standards and Quality. Soil Quality: Maximum Allowable Limits of Pesticide Residues in the Soil (TCVN 5941-1995). 1995. <http://sunsite.nus.edu.sg/apcel/dbase/vietnam/regs/virsp.html>
- [22] DEPA (Danish Environmental Protection Agency). Guidelines on Remediation of Contaminated Sites. Copenhagen, 2002
- [23] NEPC (National Environmental Protection Council). Schedule B(7b) Guideline on Exposure Scenarios and Exposure Settings. Canberra, 1999
- [24] USEPA (United States Environmental Protection Agency). Soil Screening Guidance: Technical Background Document. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, 1996

- [25] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Guidance Document on the Management of Contaminated Sites in Canada. Winnipeg, 1997
- [26] DEPW (Department of Environmental Protection Government of Western Australia). Reporting on Site Assessment. Perth, 2001
- [27] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Guidance Manual for Developing Site-Specific Soil Quality Remediation Objectives for Contaminated Sites in Canada. Winnipeg, 1999
- [28] 袁建新, 王云. 我国《土壤环境质量标准》现存问题与建议. 中国环境监测, 2000, 16(5): 41~44. Yuan J X, Wang Y. Existing problems of soil environment quality standard in China and its proposals (In Chinese). Environmental Monitoring in China, 2000, 16(5): 41~44
- [29] 陈怀满, 郑春荣, 周东美, 等. 关于我国土壤环境保护研究中一些值得关注的问题. 农业环境科学学报, 2004, 23(6): 1244~1245. Chen H M, Zheng C R, Zhou D M, *et al.* About some problems worthy of concern in soil environmental protection in China (In Chinese). Journal of Agro-Environmental Science, 2004, 23(6): 1244~1245
- [30] Chen H M, Zhou D M, Luo Y M, *et al.* The progresses and problems in soil environment protection in China. In: Luo Y M, *et al.* eds. Proceedings of SoilRem: the 2nd International Conference on Soil Pollution and Remediation. 2004. 129~131
- [31] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health: Summary of A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines. In: Canadian Environmental Guidelines, Chapter 7. Winnipeg, 1999

STUDY ON SOIL ENVIRONMENTAL QUALITY GUIDELINES AND STANDARDS

I. INTERNATIONAL TREND AND SUGGESTIONS FOR AMENDMENT IN CHINA

Wang Guoqing^{1, 3} Luo Yongming^{1, 3} Song Jing^{1, 3} Xia Jiaqi²

(1 Soil and Environment Bioremediation Research Centre, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Nanjing Institute of Environmental Sciences, State Environment Protection Administration of P R China, Nanjing 210042, China)

(3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract A general introduction is given to trend of the research in the world on soil quality guidelines/ standards, and the principle as well as application function, and several suggestions for amendment of the existing soil environmental quality standards in China. Derivation of risk-based soil quality guidelines/ standards has been an international trend, which takes into consideration land uses, and settings of generic exposure pathways, exposure scenario (e. g. exposure period and frequency) and critical receptors associated with various types of land uses. Risk-based soil quality guidelines/ standards are mostly applied to risk management, serving as critical values for identification of contaminated sites/ soils. To amend the existing soil environmental quality standards in China, it is essential to take into consideration function and objectives of the standards, methodologies, land uses, effect of the transport of soil contaminants on other environmental media, and categories of soil contaminants. The standards are to be amended to set up “soil environmental and healthy quality guidelines/ standards” for protection of the ecology and human health, which will serve for risk identification and comprehensive management of contaminated sites, and meanwhile to set up “soil native quality guidelines/ standards” for protection of soil resource.

Key words Soil environmental quality guidelines/ standards; Contaminated sites/ soils; Risk management; Exposure pathways; China