我国农用地土壤环境基准与标准制定研究

宋 静[1,2]，骆永明[2,3]，夏家淇[4]
（1.中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室 南京土壤研究所，江苏 南京 210008；
2.中国科学院大学，北京 100049；3.中国科学院烟台海岸带研究所，山东 烟台 264003；
4.环境保护部南京环境科学研究所，江苏 南京 210042）

摘 要：在分析我国现行土壤环境质量标准不足的基础上，综述了国外制定农用地土壤环境筛选值的现状，在此基础上提出我国农用地土壤环境基准制定方法学的建议以及我国农用地土壤环境标准体系的框架建议，服务于我国农用地土壤的污染预防、风险筛选和污染农用地的安全利用、修复和风险管控。

关键词：农用地；土壤环境标准；土壤环境基准；风险评估
中图分类号：X53 **文献标志码：**A DOI:10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2016.04.007

Study of the Development of Environmental Criteria and Standards for Agricultural Lands in China

Song Jing[1,2], Luo Yongming[2,3], Xia Jiaqi[4]
(1.Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 4.Nanjing Institute of Environmental Sciences, MEP, Nanjing 210042, China)

Abstract: In this paper, drawbacks of the existing Environmental Quality Standard for Soils in China are analyzed and current status of the derivation of soil screening levels for agricultural lands in foreign countries is summarized. Then, methodologies for development of soil environmental criteria for agricultural lands and framework of the environmental standards for agricultural soils are proposed for the purposes of pollution prevention, risk screening, safe use, remediation and risk management of the agricultural soils in China.

Keywords: Agricultural Soil; Environmental Criteria for Soils; Environmental Standard for Soils; Risk Assessment
CLC number: X53

2014年4月，环境保护部和国土资源部联合发布的《全国土壤污染状况调查公报》指出，“全国土壤环境状况总体不容乐观，部分地区土壤污染较重，耕地土壤环境质量堪忧”。全国土壤总的超标率为16.1%，而耕地土壤点位超标率为19.4%。其中，轻微（超标1~2倍）、轻度（超标2~3倍）、中度（超标3~5倍）和重度（超标5倍以上）污染点位比例分别为13.7%、2.8%、1.8%和1.1%，主要污染物为镉、镍、铜、砷、汞、铅、滴滴涕和多环芳烃[1]。

农用地土壤污染不仅威胁食品安全、人体健康和生态环境安全，还进一步加剧了我国人地矛盾，农用地土壤污染已经成为美丽乡村和全面小康社会建设的突出短板。为切实加强土壤污染防治，2016年5月28日，国务院发布了“以改善土壤环境质量为核心，以保障农产品质量和人居环境安全为出发点”的《土壤污染防治行动计划》（以下称“土十条”），提出要“健全土壤污染

收稿日期：2016-07-20
基金项目：环保公益项目《土壤重金属铅和镉生物有效性评价方法研究》（201409042）；环保公益项目《环境基准制定预研究》（201009032）基金资助
作者简介：宋 静（1974-），男，博士、副研究员。研究方向：土壤污染物形态、生物有效性、土壤环境基准和土壤物化修复技术。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

防治相关标准和技术规范。2017年底前，发布农用地、建设用地土壤环境质量标准”[2]。

土壤环境标准是衡量土壤环境质量的标尺。我国现行的土壤环境质量标准（GB15618—1995）主要依据“六五”、“七五”攻关项目《土壤环境容量》和《土壤环境背景值》的研究结果，采用生态环境效应法制定，它为我国土壤环境质量评价和保护发挥了重要历史作用。但由于受到当时科学水平以及基础资料不足的限制，土壤环境质量标准仍存在诸如污染物指标偏少、未考虑风险评估的方法学以及部分指标定值不合理等问题，亟待修订[3]。2015~2016年，环保部就《农用地土壤环境质量标准（征求意见稿）》三次面向全国征求意见，新的标准调整了pH分档（从三级变为四级），调整了镉和铅的限值，土壤污染物控制项目从10项增至21项，并分为9个基本项目和12个其它项目[4]。

土壤环境标准制定的主要依据是土壤环境基准。然而，总体而言，我国土壤环境基准研究较为滞后、零星，缺乏系统性和顶层设计[5]。近年来，我国已有大量关于居住用地、工商业用地、休闲娱乐用地等建设用地土壤环境基准与标准制定方法学的综述和研究论文[6-11]，但有关农用地土壤环境基准与标准制定方法学相关的综述和研究论文相对较少[12]。

鉴于上述情况，拟讨论分析我国农田土壤相关标准存在的问题，综述农田土壤环境基准与标准制定的国内外进展，在此基础上提出我国农用地土壤环境标准框架体系以及制定农用地土壤环境基准和标准的建议，服务于农用地土壤污染预防（累积性评价）、风险初步筛选、污染农用地的安全利用（适宜性评价）、风险控制与修复等。

1 我国现行土壤环境质量标准及其不足

我国现行的《土壤环境质量标准》（GB15618—1995）制定的目的是防止土壤污染，保护生态环境，保障农林生产，维护人体健康。它主要依据“六五”、“七五”攻关项目《土壤环境容量》和《土壤环境背景值》的研究结果，将土壤按pH值划分为3组，分别依据各自诸多的土壤质量基准值，取其中最低值制订标准值[3]。

土壤环境质量标准为我国农林用地的土壤环境管理工作提供了依据，发挥了重要的历史作用，但受到当时科学水平和基础资料的局限，土壤环境质量标准存在以下主要不足。

（1）污染物指标：仅包含8种重金属和2种有机氯农药，与其他国家相比，污染物指标偏少，尤其是有机污染物，不能满足我国土壤环境保护工作的实际需要。虽然针对变价元素As和Cr分别制定了旱地和水田标准值，但未能考虑Hg在土壤中的不同形态（如甲基汞）。

（2）制定方法学：《土壤环境质量标准》（GB15618—1995）中的二级标准采用生态环境效应法，基于土壤-植物体系（保护农产品）、土壤-微生物体系（保护生态受体）和土壤-水体系（保护地下水）分别定值，再取其低值制定，但未考虑人体直接接触暴露途径，未能采用人体健康和生态风险评估的方法学。

（3）标准定值：受当时制定时试验数据和文献资料的限制，《土壤环境质量标准》（GB15618—1995）不可能充分考虑我国土壤类型、成土母质、土壤理化性质、种植结构和品种等区域间的巨大差异，全国统一的标准在使用过程中常常会出现土壤质量评价和农产品质量评价不一致的情况。此外，标准值基于土壤污染物的总浓度，而未考虑更能指示污染物溶解性、迁移性和生物有效性的有效态浓度。

2 国外土壤筛选值体系简介

自从20世纪80年代初美国国家研究委员会（National Research Council, NRC）提出风险评估的概念，美国、荷兰等欧美发达国家于20世纪八九十年代起率先开展了污染土壤人体健康和生态风险评估方法学研究，陆续制定出台了风险评估系列技术导则，并颁布了基于风险的土壤污染物限值，统称为土壤筛选值（soil screening levels, SSL）[12]。如美国的区域筛选值（Regional Screening

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Level，RSL）、荷兰的目标值（Target Value，TV）与干预值（Intervention Value，IV）等。

欧美国家土壤筛选值主要用于土壤污染风险的初筛，在制定时考虑一种或多种用地方式（如居住、工业、农业、自然、娱乐等），一种或多种风险类型（人体健康或生态风险）和风险水平（如可忽略风险、中度风险、不可接受风险等）。例如，加拿大土壤筛选值称为土壤质量指导值（Soil Quality Guideline, SQG），包含农业、居住、工业、商业等土地利用方式，每种用地方式均同时考虑人体健康和生态风险[13]。英国土壤筛选值称为土壤指导值（Soil Guideline Value, SGV），包含种植自食蔬菜瓜果的配额地（allotment）、自然、居住、工商业等用地方式。其中，自然用地土壤筛选值是基于中度生态风险制定的，其他用地方式的土壤筛选值是基于不可接受人体健康风险制定的[14]。

欧美国家土壤筛选值的名称和功能各不相同，根据对应的风险水平和功能大致可分为3类：目标值、筛选值和行动值[12]。目标值基于可忽略风险水平制定，是土壤环境保护的长期目标，接近于土壤环境背景值。筛选值基于不同用地方式的中度风险水平制定，若土壤污染物浓度低于相应用地方式的筛选值，则风险仍可以接受。行动值基于不同用地方式的潜在不可接受风险水平制定，若土壤污染物浓度介于筛选值和行动值之间，则需要做进一步调查，仍可能通过调整用地方式等途径规避风险，而不一定要修复。若土壤污染物浓度超过行动值，则需要修复，并根据具体场地的风险评估制定土壤修复目标。国外土壤筛选值体系及其与土壤修复目标之间的相互关系见图1。

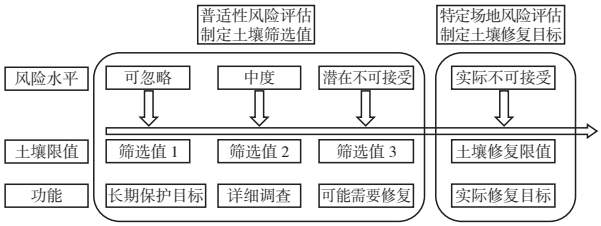

图1　国外土壤筛选值体系及其与土壤修复目标之间的相互关系（改编自文献[14]）

文章以具有代表性的加拿大、英国、中国和日本为例，简要分析各国农用地土壤筛选值制定的技术背景。

加拿大农用地的定义为：从事作物种植和牲畜饲养的多功能农场（默认建有住房，家庭有儿童）以及为迁徙动物和自然植被提供生境的农业土地。从加拿大的定义中可以看出，加拿大给农用地赋予了作物生产、畜禽养殖、人居和生物栖息地等多种内涵。加拿大分别制定保护人体健康的土壤质量指导值（SQG_{HH}）和保护农田生态系统的土壤质量指导值（SQG_{E}），并取其低值作为农用地土壤质量指导值（SQG）[13]。

英国的配额地（allotment）是由地方政府拥有并租给居民用于种植自食蔬菜和水果的一小块土地，面积约250 m^2（其上可能有放置工具的仓库，不住人），多块配额地集中在一起总面积可达1 km^2以上。土地租用人通常是父母或祖父母，周末儿童有时会到配额地上参加劳动。英国配额地土壤指导值（SGV）制定时考虑的敏感受体为0~6岁的女童，考虑的暴露途径包括直接暴露（摄入土壤、皮肤接触、呼吸摄入室外的灰尘和蒸汽）和间接暴露（摄入自产的农产品及其上粘附的土壤）[15]。

我国土壤环境质量标准（GB15618—1995）主要适用于农林用地，但在标准文本中并未给出农用地的定义。在土壤环境质量标准的修订稿《农用地土壤环境质量标准（征求意见稿）》文本中规定，农用地指《土地利用现状分类》（GB/T 21010—2007）中的01耕地（011水田、012水浇地、013旱地）、02园地（021果园、022茶园）、03林地和04草地（041天然牧草地、042人工牧草地）[4]。如前所述，我国土壤环境质量二级标准制定时分别制定了保护农产品安全、保护生态受体和保护地下水的土壤环境基准值并取其低值，再结合考虑社会、经济、技术等诸因素制定二级标准。

日本《农业用地土壤污染防治法》（1970年通过并多次修订）中规定的农用地土壤环境标准只包含镉、砷和铜3项指标，其中镉仅规定了大米中的镉含量限值（1 mg/kg）。而《土壤污染对策法》（2002年）中规定的非农业用地土壤环境标

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

准包含25种污染物的溶出量限值（分为第一和第二溶出量），其中，9种无机污染物（镉、铬、氰化物、汞、硒、铅、砷、氟化物和硼）还制定了土壤含量限值。土壤含量限值是基于直接摄入土壤污染物的风险，而土壤溶出量限值是基于土壤污染物渗入地下水后再通过饮用进入人体的风险[12]。

按保护对象，各国在制定农用地土壤筛选值（标准）时主要考虑4类基准：①保护农用地使用人人体健康的土壤环境基准（如加拿大、英国、日本）；②保护生态受体的土壤环境基准（如加拿大、中国）；③保护地下水的土壤环境基准（如中国、日本）；④保护农产品安全的土壤环境基准（如中国）。保护人体健康的土壤环境基准采用人体健康风险评估方法学制定，保护生态受体的土壤环境基准采用生态风险评估方法学制定。保护地下水的土壤环境基准基于土-水迁移模型和地下水环境质量标准来制定，而保护农产品安全的土壤环境基准基于土壤-作物迁移模型和食品卫生标准来制定[5]。

实际上，国外在制定保护农地使用人人体健康的土壤环境基准时往往已经把摄食自产的农产品作为间接暴露途径予以考虑。保护农产品安全的土壤环境基准保护的主要不是土地使用人本身的健康，而是购买农产品的普通消费者的健康。由于普通消费者并没有直接暴露于污染的农用地，因此，对于普通消费者而言，食用污染农用地生产的污染农产品属于背景暴露。事实上，在制定保护农用地使用人人体健康的土壤环境基准时也需要考虑背景暴露。这也许是国外在制定农用地土壤环境基准时很少像我国一样基于食品中污染物限量标准来制定的原因。

综上所述，各国农业用地的定义和默认假设不同，在制定农用地的土壤筛选值（标准）时，保护对象、制定方法、所用模型和参数也各不相同，因此，即使针对同一用地方式，各国土壤筛选值也可能存在数量级上的差异。

3 对建立我国农用地土壤环境基准和标准体系的建议

3.1 加强农用地土壤环境基准研究

3.1.1 土壤环境基准制定方法 如前所述，农用地土壤环境基准可分为①保护（农用地使用人）人体健康的土壤环境基准；②保护生态受体的土壤环境基准；③保护地下水的土壤环境基准；④保护农产品安全（普通消费者人体健康）的土壤环境基准。

制定保护人体健康的土壤环境基准，旨在保护农用地使用人。需要考虑直接暴露途径（口腔摄入、皮肤接触和呼吸摄入）和间接暴露途径（摄食自产的农产品）。目前，我国的风险评估技术导则未考虑农业用地方式。虽然有的国家制定了农业用地的土壤筛选值，但由于不同国家农用地的内涵、基准类型以及国情不同，国外的暴露模型和参数不能直接为我所用。因此，制定保护（农用地使用人）人体健康的土壤环境基准，需要根据我国国情，确定农用地的默认暴露场景和暴露途径，制定敏感受体的暴露参数。了解我国居民饮食结构和自产比例，开展背景暴露调查。

制定保护生态受体的土壤环境基准，旨在保护农田土壤的关键生态受体及土壤生态功能。目前，我国虽然制定或等效采用不少生态毒性测试方法，也有土壤生态风险评估相关的研究[8]，但尚未制定土壤生态风险评估的技术导则。对于我国而言，制定保护生态受体的土壤环境基准难点在于缺乏基于我国本土模式生物和土壤类型，采用标准生态毒性测试方法获得的有效毒性数据。因此，我国需要筛选确定更多的本土模式生物，如小白菜、东洋棘跳等，建立标准化的生态毒性测试技术平台[16]，系统收集、积累、评估和筛选陆地植物、无脊椎动物、土壤微生物等关键农田生态受体的土壤生态毒性数据，建立我国土壤生态毒性数据库，探索不同的生态毒性效应外推模型和方法，如物种敏感性曲线法（SSD）、评价系数法等。在此基础上，制定农用地土壤生态风险评估技术导则，推导典型污染物农用地的生态筛选值。

制定保护地下水的土壤环境基准，旨在保护农田及其周边的地下水水质，制定时主要针对易于发生土-水迁移的污染物，通过建立污染物土-水迁移方程并基于地下水水质标准反推制定。目前，我国保护地下水的土壤环境基准研究相对较

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

少[17]。制定保护地下水的土壤环境基准，需要建立区域水文地质概念模型，确定包气带迁移模型及参数以及考虑地下水稀释过程等。由于污染物在土壤–地下水中迁移转化过程很复杂，影响因素众多，为了便于推导，边界条件和模型需要简化，其结果是制定保护地下水的土壤环境基准值往往会非常保守。

保护农产品安全的土壤环境基准，旨在保护普通消费者的人体健康。制定时，主要通过生物富集系数（BCF）模型或建立土壤污染物浓度和作物可食部分浓度之间的回归模型并依据食品中污染物限量标准（GB 2762—2012）反推制定。制定保护农产品安全的土壤环境基准的难点在于：受到污染来源、土壤理化性质和污染程度、作物类型和品种等诸多因素的影响，有时很难建立相关性很高的土壤–作物可食部分污染物迁移的单因子或多因子回归模型。因此，利用土壤–作物可食部分污染物迁移模型和食品中污染物限量标准来反推保护农产品安全的土壤环境基准时需要考虑模型的预测能力[18]和基准值的置信度[19]。此外，我国食品中污染物限量标准规定的污染物类型仅有十余种，也限值了该方法的应用范围。对于食品中污染物限量标准中未限定的污染物，只能通过风险评估制定保护农用地使用人或普通消费者的土壤环境基准。

在制定具体污染物的农用地土壤环境基准时，应在消化文献资料的基础上判断污染物的主导危害途径，优先选择较敏感的途径开展土壤环境基准研究，而非敏感途径可作为基准值的检验。例如，对于Cd而言，保护农产品安全是最敏感的途径，其次是保护生态安全。对于As，最敏感的途径是保护人体健康，其次是保护农产品安全。而对于Pb，最敏感的途径是保护人体健康，其次是保护生态安全[5]。

3.1.2　控制指标　《农用地土壤环境质量标准（征求意见稿）》已经将我国农用地土壤污染物控制项目从10项增至21项，并分为9个基本项目（含8项重金属和苯并[a]芘）和12个其它项目（含8项金属和无机物以及滴滴涕、六六六、石油烃和邻苯二甲酸酯类总量）。相比而言，我国农用地土壤污染物控制项目仍偏少。例如，加拿大农用地土壤质量指导值（SQG）中污染物有97项，包括无机物、重金属、苯系物、酚类、多环芳烃、卤代烃、多氯联苯、农药、酞酸酯和二噁英。泰国栖息地和农业用地土壤标准控制项目也有36项，包括无机物、重金属、苯系物、酚类、多环芳烃、卤代烃、多氯联苯和农药。虽然当前我国农用地环境管理的重点是重金属，但实际上，受到污泥农用、农膜残留、油田开采、电子垃圾焚烧、电力电容器拆卸、危险废物非法填埋、交通事故等影响，我国农田土壤中可能出现的有机污染物越来越多，目前由于没有相关有机物的标准，给农用地环境质量评价、环境损害评估和治理修复带来困扰。因此，从长远来看，逐渐增加多环芳烃、多氯联苯、抗生素类、苯系物、酚类、卤代烃等有机污染物指标非常有必要。

3.2　完善农用地土壤环境标准体系

《土壤污染防治行动计划》（土十条）明确提出“实施农用地分类管理，保障农业生产环境安全”，未污染和轻微污染的进行优先保护，轻度和中度污染的进行安全利用，重度污染的进行严格管控。为了开展上述工作，需要建立和完善我国农用地土壤环境标准体系，包括农用地土壤环境背景值、土壤筛选值和安全利用标准，分别服务于农用地土壤污染预防（累积性评价）、风险初筛以及污染土壤的安全利用（适宜性评价）。这种新型三级标准的框架、制定方法、用途及管理要求见图2，这与我国现行土壤环境质量三级标准的含义是有很大区别的。

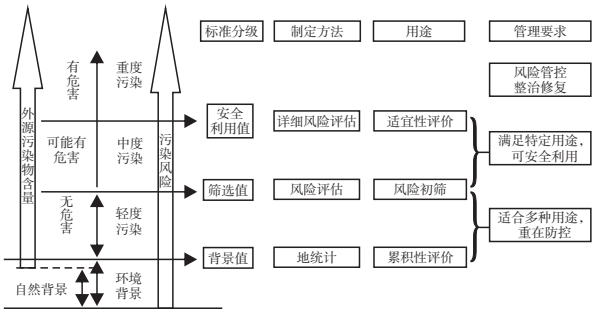

图2　我国农用地土壤环境标准体系（建议）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

农用地土壤环境背景值是采用地统计学方法制定的土壤环境的基线水平，是判断土壤是否受到外源污染的重要依据。我国目前发布的中国土壤元素背景值是基于“六五”和“七五”期间的研究结果，近30年我国经济的快速发展对土壤元素环境背景值可能会产生影响。2005~2013年完成的全国土壤污染现状调查项目中也包含了土壤环境背景值的调查内容，目前新的土壤元素环境背景值尚未发布。此外，考虑到土壤类型、成土母质、气候条件等区域间的巨大差异，制定地方性农用地土壤环境背景值更能准确地反映当地土壤环境基线水平，对于农用地污染物累积性评价，风险评估和修复更具有指导意义。我国应尽快发布新的土壤环境背景值并出台区域土壤环境背景值制定技术导则，指导地方制定农用地土壤环境背景值。

基于人体健康或生态环境风险制定的农用地土壤筛选值主要用于相关风险的初步筛选。若土壤污染物含量介于背景值和土壤筛选值之间，仅表明污染物在土壤中有积累（轻微污染），但一般不会产生不可接受的风险。应采取针对性控源措施，避免外源污染物在土壤中进一步积累。我国《农用地土壤环境质量标准（征求意见稿）》的作用相当于农用地土壤筛选值，因此，当土壤污染物含量低于土壤环境质量标准时，绝大多数情况下不会出现污染危害（如农产品超标）。但需要指出的是，这并不能排除在少数不利情况下（如土壤呈酸性、有机质及粘粒含量低，敏感作物等），土壤达标，农产品中重金属（如Cd）仍然可能超标。这种“假阴性”的情况是制定土壤标准时希望尽量避免出现的情形，为了降低“假阴性”出现的概率，只能进一步降低土壤标准值，但这样做又会导致土壤标准趋于保守。另一方面，当土壤污染物含量高于土壤环境质量标准时，也不一定立即就出现污染的危害,但出现污染危害的概率（即风险）会增加。因此，土壤环境质量评价中常用的超标倍数或污染指数等指标并不能说明风险水平。由于农用地土壤环境质量标准作为国家环境质量标准的法律地位，土十条中规定“各地可制定严于国家标准的地方土壤环境质量标准”。这可能会打击地方政府因地制宜地制定地方性土壤环境质量标准的积极性，也不符合土壤环境标准具有显著的区域性的特点。事实上，由于各地土壤环境背景值、种植的作物类型和品种对污染物的敏感性和富集程度、水肥管理、消费习惯等都存在巨大差异，因此，国家土壤环境质量标准在应用时出现误判（如假阴性或假阳性）的可能性更大。因此，建议国家鼓励有条件的省区制定地方性农用地土壤筛选值（质量标准），若地方性土壤筛选值比国家筛选值更为宽松，需进行充分科学论证。

安全利用标准是针对敏感性和富集能力不同的作物分别制定的土壤污染物限量，主要用于具体污染地块土壤安全利用（适宜性评价）。当土壤污染物含量介于土壤筛选值和安全利用标准之间时，土壤属于轻度至中度污染，土壤环境质量只能满足特定类型作物的安全生产，这时需要制定受污染耕地安全利用方案，采取植物吸取、生物降解、低积累品种生物阻隔、水肥调控等综合措施，降低农产品超标风险。2015年农业部发布的《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》中镉、汞、砷、铅和铬五种重金属水稻、蔬菜及其他农产品产地土壤安全评估参比值，主要用于农产品产地土壤重金属安全性评估、等级划分和区域安全性划定[20]。在省级层面，2008年福建省就制定出台了包含9种重金属（镉、铅、砷、汞、铬、铜、锌、镍、硒）的《福建省农业土壤重金属分类标准》（DB35/T 859—2008），可用于指导福建省农业土壤以及可农业利用的土壤资源的土壤适宜性评价和污染土壤修复[21]。该标准制定了自然背景水平（一级）的土壤重金属总量标准和满足无公害农产品生产（二级）的土壤重金属总量和有效态标准（基于化学提取的有效态标准优先），对于敏感作物生长受到抑制或重金属含量超过食品卫生标准的土壤阈值上限（三级标准）则需要通过实地测评来制定。可以看出，福建省土壤一级和二级标准分别属于土壤环境背景值和土壤筛选值，但针对污染土壤的安全利用标准（三级）仍需要通过实地测评来制定。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

此外，贵州省也在着手制定农用地土壤铅和镉分类标准，包括总量和有效态的标准。从国内外的实践看，安全利用标准既可以基于土壤污染物总量，也可以基于土壤污染物的有效态。

当土壤污染物含量超过非敏感受体（作物）的土壤安全利用标准，土壤属于重度污染，风险不可接受，需要采取严格管控措施，如种植结构调整（依法划定特定农产品禁止生产区域，严禁种植食用农产品，退耕还林还草等），对威胁地下水、饮用水水源安全的，需制定环境风险管控方案。考虑到农用地污染的复杂性、修复的艰巨性和现阶段修复资金来源的不确定性，在农用地分类管理、风险管控和修复实践中，仍应该基于实际场地的健康与生态环境风险评估，而不应仅仅基于超标的倍数。

4　结语

农用地土壤环境系列标准是开展农用地环境管理的重要依据，土壤环境标准制定的基础是土壤环境基准。我国应进一步加强农用地土壤环境基准的基础性和创新性研究，制定完善农用地土壤环境基准中长期发展路线图，整合全国不同系统的研究力量，开展顶层设计，有步骤、有计划的设置相关研究计划，建设一批土壤环境基准研究实验室和试验平台，稳步推进农田土壤环境基准研究，为我国土壤环境标准体系的完善奠定科学基础。

对农用地的土壤环境背景值、土壤筛选值和安全利用标准分别用于农用地土壤污染预防（累积性评价）、风险初筛和安全利用（适宜性评价）。国家应尽快发布农用地土壤环境质量标准，制定出台土壤元素背景值制定技术导则、农用地土壤人体健康和生态风险评估技术导则。我国地域辽阔，土壤类型、土壤理化性质、种植结构和品种等空间变异巨大，制定全国统一的土壤环境标准很容易出现过度保护或保护不够的两难境地，应分区分类制定区域农田土壤环境质量基准和标准；鼓励制定地方性土壤元素背景值、农用地土壤筛选值和安全利用标准。在土壤总量标准的基础上，鼓励制定土壤有效态标准。土壤标准应定期修订，在科学研究和实践的基础上不断加以完善。

参 考 文 献

[1]环境保护部，国土资源部.《全国土壤污染状况调查公报》[R/OL]. http://www.cenews.com.cn/sylm/jsxw/201404/t20140418_772973.htm

[2]国务院.《土壤污染防治行动计划》[S/OL].国发〔2016〕31号，2016年5月28日http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201605/31/t20160531_12368188.shtml.

[3]夏家淇,骆永明. 关于土壤污染的概念和3类评价指标的探讨[J]. 生态与农村环境学报，2006,22(1):87–90.

[4]环境保护部.《农用地土壤环境质量标准（征求意见稿）》[EB/OL].http://www.mep.gov.cn/gkml/nbb/bgth/201501/w020150115340486559262.pdf.

[5]吴丰昌，孟伟编著.中国环境基准体系中长期路线图[M].北京:科学出版社, 2014.

[6]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.

[7]李志博, 骆永明, 宋　静,等.土壤环境质量指导值与标准研究II.污染土壤的健康风险评估[J].土壤学报，2006,43(1):142–151.

[8]章海波,骆永明,李志博,等.土壤环境质量指导值与标准研究III：污染土壤的生态风险评估[J].土壤学报,2007,44(2):338–349.

[9]王国庆,骆永明,宋　静,等.土壤环境质量指导值与标准研究IV:保护人体健康的土壤苯并[a]芘的临界浓度[J].土壤学报, 2007, 44(4): 603–611.

[10]张红振, 骆永明, 章海波, 等.土壤环境质量指导值与标准研究V. 镉在土壤–作物系统中的富集规律与农产品质量安全[J].土壤学报, 2010, 47(4):628–638.

[11]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.

[12]骆永明,夏家淇,章海波,等.中国土壤质量环境基准与标准制定的理论与方法[M].北京: 科学出版社:2015.

[13]CCME. A protocol for the derivation of environmental and human health soil quality guidelines[R]. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment, 2006.

[14]European Commission JRC ISPRA. Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization[R]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007.

[15]Jeffries J, Martin I. Using science to create a better place. Updated technical background to the CLEA model[R]. Bristol: Environment Agency, Science Report – SC050021/SR3, 2009.

[16]颜增光,谷庆宝,周　娟,等.构建土壤生态筛选基准的技术关键及方法学概述[J].生态毒理学报, 2008,(3)5:417–427.

[17]朱菲菲,侯　红,赵　龙,等.以保护地下水为目标的Ag土壤环境基准推导案例[J].环境科学研究,2014,27(12):1556–1563.

[18]Römkens P F A M, Guo H Y, Chu C L, et al. Prediction of Cadmium uptake by brown rice and derivation of soil – plant transfer models to improve soil protection guidelines[R]. Environmental Pollution, 2009, 157(8–9):2435–2444.

[19]Römkens P F, Brus D J, Guo H Y, et al. Impact of model uncertainty on soil quality standards for cadmium in rice paddy fields[R]. Science of the Total Environment, 2011, 409(17):3098–3105.

[20]农业部，农业部办公厅关于印发《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》的通知（农办科2015[42号]）[Z]，2015年10月

[21]福建省质量技术监督局.《福建省农业土壤重金属污染分类标准》(DB35/T 859–2008)[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net