

附件 6

《农用地土壤环境质量标准（三次征求意见稿）》 编制说明

《土壤环境质量标准》修订项目组

二〇一六年二月

项 目 名 称：修订《土壤环境质量标准》（GB 15618-1995）

牵 头 承 担 单 位：环境保护部南京环境科学研究所

项 目 负 责 人：林玉锁

标准所技术责任人：李 敏、王海燕

标准处行政责任人：段光明

目 录

1 任务来源.....	52
2 工作过程.....	52
3 现行标准修订的必要性和可行性.....	54
4 国际土壤环境标准发展状况及经验借鉴.....	56
5 现行标准存在的主要问题.....	59
6 修订工作思路.....	60
7 标准修订方案.....	61
8 农用地土壤环境质量标准主要技术内容.....	62
9 其他需要说明的问题.....	90
10 征求意见和技术审查情况.....	94

1 任务来源

我国现行《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)(以下简称为“现行标准”)于 1995 年发布,至今已有二十年时间。面对现阶段我国土壤环境形势的新变化、新问题和新要求,研究修订该标准的专项工作于 2006 年启动,由现行标准编制单位环境保护部南京环境科学研究所牵头承担。

2 工作过程

2007 年 9 月原国家环保总局科技标准司在江苏溧阳召开土壤环境标准制修订工作会议,包括本标准修订项目组在内的各项土壤环保标准制修订项目承担单位参加,研讨土壤环保标准制修订思路。

2008 年-2013 年,编制组全面梳理国际上土壤环境标准研究状况,广泛调研了美国、加拿大、英国、荷兰等土壤环境标准体系及制定方法,结合中国情况,并陆续提出多版修订方案草稿。环境保护部科技标准司多次组织召开土壤环保标准制修订工作会议,反复研讨包括本标准在内的一系列土壤环保标准作用定位、适用范围、主要内容,梳理土壤环保标准体系建设思路。

其中,2008 年,编制组按照全国土壤污染状况调查工作要求,结合现行标准修订思路,编制了《全国土壤污染状况评价技术规定》,调整了部分技术内容,为全国土壤污染调查工作提供了技术支撑。2009 年印发《关于修订国家环境保护标准<土壤环境质量标准>公开征求意见的通知》(环办函〔2009〕918 号),就现行土壤环境质量标准修订工作的几个关键问题广泛征集了国务院相关部委、各地方、相关科研机构的意见。

2010 年-2012 年,编制组承担了中-荷土壤环境保护国际合作项目“土壤环境质量标准制订方法研究”,系统比较分析了荷兰等发达国家土壤环境标准发展过程和技术方法,为借鉴国际上先进的土壤污染风险评估技术方法奠定了基础。

2010 年-2014 年,根据研讨情况及各方反馈意见,环境保护部科技标准司决定在继续推进本标准修订工作的同时,抓紧制订适用于建设用地中污染场地环境监管所急需的土壤环境调查、监测、风险评估、修复系列标准,与本标准互为补

充。经过反复研讨、公开征求意见、专家审议、行政审查，编制组联合相关标准起草单位完成了《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)、《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)、《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014)、《污染场地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2014)和《污染场地 术语》(HJ 682-2014)等污染场地系列标准，于2014年2月19日正式发布。2014年4月24日，新修订的《环境保护法》第15、18、28、32条分别规定了国家和地方环境质量的制定、实施制度，以及建立大气、水、土壤环境调查、监测、评估和修复制度，实施HJ 25系列标准得到上位法的有力支持。

2014年6月26日，环境保护部科技标准司在北京召开相关科研专家和管理部门代表参加的《土壤环境质量标准》修订专题研讨会，建议修订后的《土壤环境质量标准》继续适用于农用地土壤环境质量评价，另外制订建设用地土壤污染风险筛选值适用于建设用地土壤环境评价，与HJ 25系列标准相补充。

2014年10月31日，环境保护部召开部长专题会议，研究了《土壤环境质量标准》修订工作思路，同意标准名称改为《农用地土壤环境质量标准》，与建设用地土壤污染风险筛选值共同构成土壤环境质量评价标准体系；取消现行标准中的一级标准，不再规定全国统一的土壤环境背景值，由国家制定土壤背景值技术指南，地方政府根据该指南确定本辖区的土壤环境背景值。按照上述会议精神，编制组完成了《农用地土壤环境质量标准（征求意见稿）》和《建设用地土壤污染风险筛选指导值（征求意见稿）》，于2015年1月13日向社会公开征求意见（环办函〔2015〕69号）。

2015年3月，编制组汇总研究了对两项标准征求意见稿的反馈意见，修改了标准草案。3月26日，环境保护部领导和相关业务司局专门听取了本标准修订工作和征求意见情况汇报，对下一步工作提出了意见。

2015年4月2日，环境保护部科技标准司在北京组织召开了两项标准研讨会，专门邀请了来自农业、国土科研机构 and 高校、地方科研单位中高度关注本标准修订工作的专家，听取其意见和建议。在此基础上，编制组完成了《农用地土壤环境质量标准》和《建设用地土壤污染风险筛选指导值》二次征求意见稿，配套编制了《土壤环境质量评价技术规范（征求意见稿）》，于2015年8月14日向社会公开征求第二次意见（环办函〔2015〕1320号）。经研究处理反馈意见，编

制组修改完成三项标准送审稿。

2015年10月23日，环境保护部科技标准司组织召开标准审议会，邀请土壤环境专家、管理部门代表和相关行业、企业代表对三项标准进行技术审查。会议审查通过三项标准，并提出修改意见。编制组按照专家审议意见进一步修改完善形成三项标准报批稿，于2015年11月17日通过科技标准司司务会审议后，上报环境保护部。

2015年12月29日，环境保护部召开部长专题会议，审议并原则同意《农用地土壤环境质量标准》等三项标准草案。会议提出，鉴于土壤标准修订改动大、影响广、社会关注度高，要第三次向社会公开征求意见；征求意见材料要首先说明标准体系框架及各类标准的区别，书面印送全国人大环资委等立法部门和国务院相关部委。

3 现行标准修订的必要性和可行性

3.1 我国土壤环境形势严峻

随着我国经济社会的快速发展，特别是近20年来工业化、城市化、农业现代化过程中，土壤环境形势发生了很大变化，土壤环境问题呈现多样化、复杂化和区域性的发展态势，给我国经济社会发展带来了新威胁、新挑战。环境保护部和国土资源部2014年4月17日发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示，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，工矿业废弃地土壤环境问题突出。

3.2 土壤环境管理要求迫切

土壤环境质量关系到广大人民群众“菜篮子”、“米袋子”和“水缸子”安全，是事关经济社会发展和子孙后代生存安全的重大民生问题。党中央、国务院对此高度重视，作出了一系列重要部署，对完善土壤环境管理法规标准、强化土壤环保制度建设提出了明确要求。

2012年11月，党的十八大报告明确要求“坚持预防为主、综合治理，以解决损害群众健康突出环境问题为重点，强化水、大气、土壤等污染防治”；“建立国土空间开发保护制度，完善最严格的耕地保护制度、水资源管理制度、环境保护制度”。

2013年1月，国务院办公厅印发《近期土壤环境保护和综合治理工作安排》（国办发〔2013〕7号），部署了控制新增污染、加强优先区域监管、强化污染环境风险控制、提升监管能力、开展治理与修复试点示范等一系列任务措施。

2013年11月，党的十八届三中全会公布的《关于全面深化改革若干重大问题的决定》要求建立系统完整的生态文明制度体系，实行最严格的源头保护制度、损害赔偿制度、责任追究制度，完善环境治理和生态修复制度，用制度保护生态环境。

2014年新修订的《环境保护法》第十五条继续明确规定国务院环境保护主管部门和地方省级人民政府分别制定国家和地方环境质量标准，第28条规定“地方各级人民政府应当根据环境保护目标和治理任务，采取有效措施，改善环境质量。未达到国家环境质量标准的重点区域、流域的有关地方人民政府，应当制定限期达标规划，并采取措施按期达标”；第32条规定“国家加强对大气、水、土壤等的保护，建立和完善相应的调查、监测、评估和修复制度”。

2015年10月，党的十八届五中全会《关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》提出，要加大环境治理力度，以提高环境质量为核心，实行最严格的环境保护制度，深入实施大气、水、土壤污染防治行动计划。

因此，修订《土壤环境质量标准》、健全土壤环境质量标准体系，是国务院环境保护主管部门落实《环境保护法》的重要配套措施，也是推进生态文明建设、加大环境治理力度、加强土壤环境保护工作的重要组成部分。

3.3 土壤环境标准研究有新进展

二十多年来，基于风险管理的土壤污染防治理念逐渐被广泛采用，美国、加拿大、英国、荷兰、澳大利亚、台湾等发达国家和地区建立了土壤环境调查、评估与修复制度，发展了土壤污染风险评估方法，制定了土壤污染风险筛选值。

我国在建立和完善土壤环境保护标准体系和标准制定的方法学研究方面也有所进展。国内科研机构积极关注我国土壤污染新形势、新问题，在借鉴国外经验的基础上，结合中国特点，研究建立了土壤污染健康风险评估方法。在土壤环境基准方面也有所研究，对土壤污染物环境过程、形态与有效性、生态毒性等基础理论研究，以及基于室内或田间小区试验和野外大田调查的科学数据等获得一些成果，为制修订土壤环境标准提供支持。

3.4 全国土壤环境基础调查数据

在上世纪八十年代的全国土壤环境背景值调查基础上，2006年环境保护部组织开展了全国土壤环境质量调查和重要类型土壤污染状况调查，调查点位覆盖全部耕地，部分林地、草地、未利用地和建设用地，获得了一批宝贵的全国土壤污染分布数据、近二十年变化数据、主要土壤污染类型数据；国土资源部组织开展了多目标地球化学状况调查，获得了我国主要流域地球化学元素变化状况和异常情况。这些土壤环境基础调查成果为土壤标准制修订提供了重要支持。

4 国际土壤环境标准发展状况及经验借鉴

国外大多数国家和地区制定了各类建设用地土壤环境标准，加拿大、英国、德国、日本和中国台湾制定了适用于部分农用地的土壤环境标准。发达国家和地区的土壤标准大致有以下特点：

1、上位法依据充分

美国根据《综合环境污染响应、赔偿和责任认定法案》（又称《超级基金法案》）、《超级基金增补和再授权法案》和《国家油品和有害物质应急计划》制定了土壤筛选值（1996年）与生态土壤筛选值（2003年）标准。

德国在1998年颁布的《联邦土壤保护法》第八条授权德国联邦政府制定发布土壤环境标准，包括土壤污染启动值和行动值，并对启动值和行动值的功能定位进行了规定。1999年德国联邦政府制定《联邦土壤保护和污染场地条例》，其附件为土壤污染启动值和土壤污染行动值。

荷兰2006年修订的《土壤保护法》第36条规定政府应制定条例，规定土壤污染对人体健康、土壤陆生生态造成危害或严重影响时的判别标准，2007年修订的《土壤质量条例》进一步明确规定制定土壤干预值标准。

我国台湾地区2010年修订的《土壤和地下水整治法》第二条规定制定“土壤污染监测基准”和“土壤污染管制标准”，前者是指基于土壤污染预防目的，所制定的必须进行土壤污染监测的污染物浓度；后者是指为防止土壤污染恶化，所制定的必须进行土壤污染管制的污染物浓度。

2、标准功能定位明确

不同国家和地区土壤环境标准名称各异，如美国环保局于2001年制定了土壤筛选值（SSLs）生态土壤筛选值（Eco-SSLs），加拿大环境部于1999年修订了土

壤质量指导值 (SQGs), 英国环境署于2009年修订了保护人体健康的土壤质量指导值 (SGVs), 荷兰基础设施与环境部于2009年修订了土壤干预值 (IVs), 澳大利亚于1999年制定了土壤调研值 (SILs)。韩国于2010年发布土壤污染预警标准和土壤污染对策标准, 我国香港特别行政区于2007年制订发布了基于风险的污染土地修复目标值, 中国台湾于2001年发布了土壤污染监测基准和管制标准, 2011年修订后为土壤污染监测标准和土壤污染管制标准。

尽管各个国家的标准名称各不相同, 但功能相似, 即用于土壤污染风险的筛查和初步识别, 作为启动土壤污染调查和风险评估的依据。土壤中污染物含量超标, 污染物有显著积累, 需进一步调查评估确定是否已对人体健康和生态环境等造成明显危害, 而非立刻对土壤实施治理与修复, 即上述土壤环境标准多数是启动进一步调查评估的筛查识别值, 而不是土壤环境管理的目标, 不能作为允许土壤污染可达到的最高限值。日本的土壤环境标准以土壤浸提液中污染物的含量限值来表征, 与其他国家的定值方法均不同; 调研表明, 日本近期也在研究尝试采用风险评估的方法对现行土壤环境标准进行修订。

3、按照土壤用途分类定值

国际上普遍根据不同土地利用方式对土壤环境质量的要求, 分别制定标准值。美国根据住宅、商业/工业、建筑施工等用地方式下人群的暴露情景, 分别制定土壤筛选值。加拿大分别考虑了农业、住宅、商业和工业用地方式下人群暴露情景, 分别制定了土壤质量指导值。英国在制定土壤质量指导值是分别考虑了住宅、租赁农地和工业用地。澳大利亚在制定保护人体健康的土壤调研值标准时, 分别考虑了住宅、娱乐、商业/工业用地方式下不同暴露情景。

日本在制定土壤质量标准时, 对镉、砷、铜、特别针对农用地 (水稻田) 制定了标准值。韩国在制定土壤污染预警标准和土壤污染对策标准时, 根据对土壤污染敏感程度从高到低将土壤划分为3类, 一类土壤区包括水稻田和学校所在地, 二类土壤区为森林、仓储和娱乐用地, 三类土壤区包括工业、道路和铁路所在地。我国香港特别行政区在制定土壤修复目标标准值时, 也分别考虑了城市住宅、农村住宅和工业用地等不同用地方式。

4、污染物项目较多

欧美等发达国家制定的土壤环境标准污染物指标数量较多, 特别是有机污染

物指标明显较多。美国环保局2001年发布的土壤筛选值标准规定了109种污染物指标的限值，包括16种无机元素（物）和93种有机物。美国九区环保局于2012年11月修订发布的区域土壤筛选值标准规定了700多种污染物的含量限值。加拿大土壤质量指导值规定了80多种污染物指标的标准限值。荷兰于2009年修订发布的土壤标准规定了19种无机物（金属等）和67种有机物对于标准土壤的干预值。

澳大利亚1999年发布的保护人体健康的土壤调研值规定了33种污染物指标的含量限值，包括16种重金属、11种有机物和6种无机物。日本土壤环境标准规定了25种污染物指标，包括8种金属和无机物、17种有机物。韩国2010年修订后实施的土壤环境标准规定了21种污染物指标的土壤污染预警标准值和土壤污染对策标准值，包括9种重金属和无机物、12种有机物指标。我国香港特别行政区于2007年制定发布了64种污染物指标的土壤修复目标值标准，包括16种金属和无机物、48种有机物指标。

5、针对不同保护对象分别制定标准

保护人体健康和陆生生态系统健康是土壤环境标准制订的重要依据。在制定土壤环境标准时，欧美等国家分别制定发布了保护人体健康和/或保护陆生生态的土壤环境标准制订方法或导则。美国环保局2001年制定发布了保护人体健康的土壤筛选值制定导则，2003年制定发布了保护陆生生态的土壤筛选值制定导则，加拿大环境部2006年修订发布了保护人体健康和生态环境的土壤质量指导值制订方法，英国环境署2009年修订发布了保护人体健康的土壤质量指导值（SGVs），荷兰1994年提出了保护人体健康的土壤干预值制订方法，2001年提出了保护生态的土壤环境标准制订方法。澳大利亚1999年制定了人体健康风险评估技术导则和生态风险评估技术导则。我国香港特别行政区2007年发布了保护人体健康的土壤修复目标值制订方法。从国际趋势来看，多数国家和地区均将保护人体健康和保护陆生生态作为土壤环境标准制订的重要依据。

6、土壤环境基准研究支撑较强

欧美等国家重视土壤环境标准相关基础支撑性研究。美国环保局于1986年建立了污染土壤人体健康风险评估技术方法，1996年发布了保护人体健康的土壤环境标准的制定方法，2001年发布了补充性技术文件和关注污染物的土壤筛选值标准，针对污染物的理化性质、毒理效应、暴露评估模型方法等开展了大量针对性

的分析与优化研究，为土壤筛选值标准制定所需技术方法和基础数据提供了重要支撑。加拿大在1996年提出土壤环境标准的制定方法，其后针对主要污染物开展专题研究，通过获得文献数据和补充性实验研究，获得必要的支撑性数据，按照污染物逐一编制保护人体健康和保护生态的土壤环境标准定值技术文件，并于2006年修订发布了最新的土壤环境标准制定方法导则。

英国最早于2002年发布了保护人体健康的土壤环境标准制定方法导则，2009年发布了修订后的制定方法导则，期间针对砷、镉、汞、镍、苯系物等污染物开展了系统性研究，并按照污染物逐一编制了土壤环境标准制定技术文件。荷兰是最早开展土壤环境质量标准制修订研究的欧盟国家之一，最早于2000年发布了土壤环境标准，2001年对土壤环境标准制定方法进行了综合性评估，提出了标准修订建议，2009年荷兰基础设施与环境部（原住房、空间规划与环境部）发布了修订后的土壤环境标准。韩国也注重开展土壤环境标准的制修订研究，2010年12月31日，韩国环境部发布了修订后土壤污染预警标准和土壤污染对策标准，以满足土壤环境管理的需求。

7、适时修订、持续改进

总的来看，各发达国家/地区的土壤环境质量标准制订均切合本国国情，应管理及政策需要而制订，应用服务于土壤环境管理及污染防控/整治，注重与相关法规、其它相关标准的协调，并不断随法令政策的调整而更新。同时，标准制订更注重科学性。由于不同时期、不同原因引起的环境污染危害以及人们的认识不同，标准制订的目的、项目、管理对策也均具有阶段性，并受到环境科技发展水平与经济技术支撑能力的限制。为此，各国在制订标准过程中均十分强调通过科学实践对其验证，建立了重审和再评估的机制，以检查、评估标准值制订后的实际可行性，适时进行修正，充分考虑标准与环境问题的新发现及最新科学进展的适应性、追踪性，通过持续改进使标准更切合土壤污染管理的需要。

5 现行标准存在的主要问题

经广泛征集各方面意见，现行标准在实际应用中主要存在以下问题：

一是适用范围小。现行标准仅适用于农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场、林地、自然保护区等的土壤，不适用于当前急需监管的居住用地、工业用地等建设

用地土壤。

二是污染物项目少。现行标准仅规定了 8 项重金属指标和六六六、滴滴涕 2 项农药指标，而工业企业场地土壤环境管理需要评价的污染物项目数量繁多，类型复杂。

三是部分指标定值欠合理。一级标准是依据“七五”全国土壤环境背景研究数据对全国做了“一刀切”规定，不能体现区域差别；二级标准部分指标定值有偏严（镉）、偏宽（铅）的问题；六六六和滴滴涕指标可以取消等。

四是对一些地区的评价结果不佳。现行标准的作用定位与水、气环境质量标准相似，且分类分级较简单，用于一些地区的土壤环境评价后，出现土壤超标而农产品不超标，或者土壤未超标而农产品超标的现象。

五是标准制订方法需完善。发达国家和地区对污染土壤普遍采用风险管理思路，制订了基于风险评估方法的土壤污染风险筛选值。我国正在引进此类方法的理念、模型，尚未结合我国土壤环境特点制订建设用地土壤污染风险筛选值。

6 修订工作思路

本次标准修订工作遵循以下思路：

一是**立足国情、满足管理**。立足于我国现阶段经济社会发展状况，充分考虑我国土壤环境的特点和土壤污染的基本特征，围绕农用地农产品质量、产量安全和建设用地人居环境安全两大问题，落实我国土壤污染“防、控、治”一体化的管理思路，兼顾我国地方土壤环境监管能力及监测条件，注重标准的可操作性。

二是**系统设计、科学修订**。充分吸收国内外土壤环境科研成果，完善我国土壤环境标准制订方法，充分利用全国土壤污染状况调查和多目标地球化学状况调查成果，借鉴国际通行的土壤环境风险管控思路，理清土壤环境质量评价、调查、监测、风险评估、修复等各类标准规范的功能定位，形成可扩充、可完善的土壤环保标准体系新框架。

三是**有限目标、持续改进**。土壤环境地域差异大、借鉴国外基准研究成果难度大，土壤环境保护标准体系建设是一项系统性工作，必须与相关立法工作和政策措施的制定工作相配套。修订现行不能急于求成、搞“大拆大建”，要针对土壤环境形势、土壤环境管理需求，对明显空白的建设用地补充制定新标准、对已

有的农用地标准则适度修改，对缺乏新成果支持修改的技术内容暂不修改。

6.2 主要依据

本次标准修订的主要依据为：

(1)《中华人民共和国环境保护法》(2014年4月24日修订，2015年1月1日起施行)；

(2)《国务院办公厅关于印发近期土壤环境保护和综合治理工作安排的通
知》(国办发〔2013〕7号)；

(3)《环境保护部、工业和信息化部、国土资源部、住房和城乡建设部关于
保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》(环发〔2012〕140号)；

(4)《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治
工作的通知》(环发〔2014〕66号)。

7 标准修订方案

根据标准修订的原则，针对现行标准中存在的问题，结合征求意见情况，确
定的本次标准修订方案如下：

一是完善标准框架体系。对现行标准进行结构性调整，将现行标准修订为农
用地土壤环境质量标准，补充制定建设用地土壤环境质量评价标准，满足土壤环
境分类、分区管理的要求。

二是进一步明确标准定位。针对农用地和建设用地特点，分别制订《农用地
土壤环境质量标准》和《建设用地土壤污染风险筛选指导值》。两个标准的作用
服务于土壤环境管理，定位于识别土壤污染风险、启动土壤环境调查与风险评估
之用，相当于土壤环境的“体检”标准。

三是取消现行标准的一级标准。修订后的标准不统一规定土壤环境背景值，
拟另行制定土壤环境背景值确定技术导则，指导地方分别确定适用本区域的土壤
环境背景值，并报国家备案。

四是科学制修订标准值。对农用地标准，针对反映比较突出的污染物项目标
准存在不合理的问题，重新梳理研究其标准值确定的方法和依据，并结合新的支
撑数据进行合理性分析论证后适度调整。对建设用地标准，根据 HJ 25.3 的方法
进行制订。

五是配套制订《土壤环境质量评价技术规范》。规范不同土地用途土壤环境质量评价的工作程序和内容，从土壤超标评判和土壤污染物累积性评价两个方面对土壤环境质量评价结果进行分类，以满足土壤环境管理的要求。

六是配套制修订土壤环境分析方法、标准样品、基础标准等。

8 农用地土壤环境质量标准主要技术内容

现就修订内容说明理由和依据如下：

8.1 关于标准名称

现行标准名称为《土壤环境质量标准》，修订后采用《农用地土壤环境质量标准》名称，保留原标准号。主要理由：现行标准主要适用于农用地土壤环境质量评价，新标准应充分体现农用地土壤保护和质量管理思路，与土壤污染防治要求相适应，进一步明确标准适用对象，同时保持标准名称的继承性和连续性。

8.2 关于标准适用范围

现行标准适用范围表述为“适用于农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场、林地、自然保护区等地的土壤”，修订后标准仍以适用于农用地耕地、园地、草地和林地为主，具体类型依据《土地利用现状分类》（GB/T 21010-2007）划分。所以，本标准统一表述为“适用于农用地土壤环境质量评估与管理”，对农用地定义在“术语和定义”具体表述。自然保护区等法律上需要特殊保护的土壤评价与管理以所在区域土壤环境背景值为依据。

8.3 关于规范性引用文件

本标准增加了主要规范性引用文件，主要包括：《土地利用现状分类》（GB/T 21010-2007），《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166），《土壤环境质量评价技术规范》（制订中），以及本标准规定的土壤污染物分析方法等。

8.4 关于术语和定义

保留现行标准中“土壤”和“阳离子交换量”两个术语和定义，增加了“农用地”术语和定义。农用地定义表述为：依据 GB/T 21010-2007，特指 01 耕地中的 011 水田、012 水浇地、013 旱地；02 园地中的 021 果园、022 茶园；03 林地和 04 草地中的 041 天然牧草地、042 人工牧草地。其他农用地可以对照执行。

8.5 关于土壤污染物项目确定

现行标准中土壤污染物项目 10 个，其中：8 个为无机污染物（镉、汞、砷、

铜、铅、铬、锌、镍)，2个为有机污染物（六六六、滴滴涕）。随着我国土壤污染的复杂性，土壤中污染物种类及其数量大大增多，为了满足土壤污染防治与管理的需要，本次标准修订将适度增加标准的污染物项目。

土壤污染物项目确定的基本原则是：立足当前我国农用地土壤污染实际情况和土壤环境管理需求。主要考虑以下因素：土壤中检出率和超标率较高的项目；国家食品安全标准中控制项目；相关环境标准中控制项目；当前重点防控环境污染物项目等。确定的主要依据如下：

（1）土壤中污染物检出率情况

为了全面了解和掌握我国土壤污染物种类和数量，筛选确定我国土壤污染控制与管理的优先污染物清单，国家在“七五”、“十一五”期间组织开展了全国范围内土壤环境背景调查和土壤污染状况调查。全国土壤环境质量状况调查监测项目包括必测项目 22 个（含土壤理化性质、无机污染物和有机污染物），选测项目 16 个（含无机污染物有效态、稀土元素总量、多氯联苯和石油烃等）；全国土壤背景点土壤典型剖面监测项目 20 个（含土壤理化性质、无机污染物和有机污染物），土壤主剖面监测项目包括 61 个元素全量、13 个元素有效态、4 类有机污染物和部分土壤理化性质指标。重点区域土壤污染调查必测项目 22 个，选测项目 70 个。无机类项目主要有：砷、镉、钴、铬、铜、氟、汞、锰、镍、铅、硒、钒、锌等；有机类项目主要有：有机氯农药类、多环芳烃类、邻苯二甲酸酯类、多氯联苯类、石油烃类、其他农药类等。

全国土壤污染状况调查结果显示，重金属类污染物在各地土壤中普遍检出，有机污染物则存在区域性分布。有机污染物在土壤中检出率较高的有多环芳烃总量、邻苯二甲酸酯类总量、滴滴涕总量和六六六总量，其他持久性有机污染物检出率极低。

（2）土壤中污染物超标情况

按照在现行标准基础上印发的《全国土壤污染状况评价技术规定》等文件，全国土壤污染状况调查发现，以镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍和六六六、滴滴涕、多环芳烃为评价项目，全国土壤总的超标率为 16.1%，其中轻微（超标倍数在 1 倍至 2 倍之间）、轻度（超标倍数在 2 倍至 3 倍之间）、中度（超标倍数在 3 倍至 5 倍之间）和重度（超标倍数大于 5 倍以上）超标比例分别为 11.2%、2.3%、

1.5%和 1.1%。超标类型以无机型为主，有机型次之，复合型污染比重较小，无机污染物超标点位占全部超标点位的 82.8%。无机污染物中，镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍点位超标率分别为 7.0%、1.6%、2.7%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%、4.8%。有机污染物中，六六六、滴滴涕、多环芳烃 3 类有机污染物点位超标率分别为 0.5%、1.9%、1.4%。

从全国土壤污染格局分布情况看，南方土壤污染重于北方；长江三角洲、珠江三角洲、东北老工业基地等部分区域土壤污染问题较为突出，西南、中南地区土壤重金属超标范围较大；镉、汞、砷、铅 4 种无机污染物含量分布呈现从西北到东南、从东北到西南方向逐渐升高的态势。

从不同土地利用类型看，耕地土壤点位超标率为 19.4%，其中轻微、轻度、中度和重度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。林地土壤点位超标率为 10.0%，其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为 5.9%、1.6%、1.2% 和 1.3%，主要污染物为砷、镉、六六六和滴滴涕。草地土壤点位超标率为 10.4%，其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为 7.6%、1.2%、0.9% 和 0.7%，主要污染物为镍、镉和砷。未利用地土壤点位超标率为 11.4%，其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为 8.4%、1.1%、0.9% 和 1.0%，主要污染物为镍和镉。

从典型污染类型土壤污染状况看，在调查的 690 家重污染企业用地及周边的 5846 个土壤点位中，超标点位占 36.3%，主要涉及黑色金属、有色金属、皮革制品、造纸、石油煤炭、化工医药、化纤橡塑、矿物制品、金属制品、电力等行业。在调查的 81 块工业废弃地的 775 个土壤点位中，超标点位占 34.9%，主要污染物为锌、汞、铅、铬、砷和多环芳烃，主要涉及化工业、矿业、冶金业等行业。在调查的 146 家工业园区的 2523 个土壤点位中，超标点位占 29.4%。其中，金属冶炼类工业园区及其周边土壤主要污染物为镉、铅、铜、砷和锌，化工类园区及周边土壤的主要污染物为多环芳烃。在调查的 188 处固体废物处理处置场地的 1351 个土壤点位中，超标点位占 21.3%，以无机污染为主，垃圾焚烧和填埋场有机污染严重。在调查的 13 个采油区的 494 个土壤点位中，超标点位占 23.6%，主要污染物为石油烃和多环芳烃。在调查的 70 个矿区的 1672 个土壤点位中，超标点位占 33.4%，主要污染物为镉、铅、砷和多环芳烃。有色金

属矿区周边土壤镉、砷、铅等污染较为严重。在调查的 55 个污水灌溉区中，有 39 个存在土壤污染。在 1378 个土壤点位中，超标点位占 26.4%，主要污染物为镉、砷和多环芳烃。在调查的 267 条干线公路两侧的 1578 个土壤点位中，超标点位占 20.3%，主要污染物为铅、锌、砷和多环芳烃，一般集中在公路两侧 150 米范围内。

(3) 重金属污染重点防控项目

近 10 年，我国重金属污染事件呈高发态势，《重金属污染综合防治“十二五”规划》提出了重金属污染防控的重点行业和重点防控的重金属污染物。依据重金属污染物的产生量和排放量，确定重金属污染防控的重点行业是：重有色金属矿（含伴生矿）采选业（铜矿采选、铅锌矿采选、镍钴矿采选、锡矿采选、锑矿采选、汞矿采选业等）、重有色金属冶炼业（铜冶炼、铅锌冶炼、镍钴冶炼、锡冶炼、锑冶炼、汞冶炼等）、铅蓄电池制造业、皮革及其制造业（皮革鞣制加工等）、化学原料及化学制品制造业（基础化学原料制造和涂料、油墨、颜料及类似产品制造等）。重点防控的重金属污染物是铅、汞、镉、铬、砷、镍、铜、锌、银、钒、锰、钴、铊、锑等其他重金属污染物。

(4) 农产品质量标准污染物控制项目

《食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB 2762-2012）规定了食品中限量指标中涉及污染物项目有：铅、镉、汞、砷、锡、镍、铬、苯并[a]芘、多氯联苯等。《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》（GB 2763-2014）中规定的食品中污染物限量指标中涉及六六六和滴滴涕。

(5) 其他相关标准污染物控制项目

《农灌水水质标准》（GB 5084）中污染物控制项目：镉、汞、砷、铬、铅、铜、锌、硒、氟化物和石油烃。《地表水环境质量标准》（GB 3838）中污染物控制项目：镉、汞、砷、铬、铅、铜、锌、硒、氟化物、苯并[a]芘和石油烃。《地下水质量标准》（GB/T 14848）中污染物控制项目：镉、汞、砷、铬、铅、铜、镍、锌、锰、钴、硒、钼、氟化物、六六六和滴滴涕。《环境空气质量标准》（GB 3095）中污染物控制项目：铅和苯并[a]芘。

(6) 依据土壤中污染物环境基准数据的状况、土壤环境管理的普遍性和特殊性，并兼顾节约成本等因素。

根据标准制定的原则和依据（主要 8 项依据汇总见表 8-1），筛选出 32 项指标，是其中两项依据控制指标的，就作为本标准的控制指标。邻苯二甲酸酯类因其与农用薄膜使用的残留有关，在土壤污染调查中检出率较高，纳入本标准。

本次标准修订，暂未列入农业生产中正在使用的化学农药类、二恶英类等持久性有机污染物、土壤盐分等项目。主要理由是：对于目前农业生产中正在使用的化学农药，大多为高效、低毒、低残留的农药品种，一般情况下，在土壤中消解速度较快，不会长期在土壤中残留累积，目前出现的农产品中农药超标问题主要因农药使用不当造成的；从施药后在整个药效期过程中变化较快，监测数据不具有稳定性和重复性。对于二恶英类污染物，考虑到目前掌握的总体情况不清，采样测定方法复杂且成本高，纳入标准的条件尚不具备，需要加强基础研究和监测。对于其他持久性有机污染物，因大多存在于某些特定的工业污染场地及周边土壤中，在农用地土壤中非广泛分布污染物，本次修订暂未考虑。土壤盐分是影响土壤生产力的重要指标，建议不列入土壤环境质量标准，通过相关行业废水排放标准、农业灌溉水质要求、肥料中含盐量等标准限制含盐物质进入土壤环境。

表 8-1 土壤污染物项目确定依据汇总

污染物	检出和超标	现行土壤标准	农产品质量标准	农灌水标准	空气标准	地表水标准	地下水标准	重金属防控项目
镉	√	√	√	√		√	√	√
汞	√	√	√	√		√	√	√
砷	√	√	√	√		√	√	√
铬	√	√	√	√		√	√	√
铅	√	√	√	√	√	√	√	√
铜	√	√		√		√	√	√
镍	√	√	√				√	√
锌	√	√		√		√	√	√
锰	√						√	√
钴	√						√	√
硒	√			√		√	√	
钒	√							√
铋	√							√
铊	√							√
钼	√						√	
氟化物	√			√		√	√	
苯并[a]芘	√		√		√	√		

污染物	检出和超标	现行土壤标准	农产品质量标准	农灌水标准	空气标准	地表水标准	地下水标准	重金属防控项目
六六六	√	√	√				√	
滴滴涕	√	√	√				√	
石油烃	√			√		√		
邻苯二甲酸酯类	√							
多氯联苯	√							
六氯苯	√							
艾氏剂	√							
氯丹	√							
硫丹 I	√							
硫丹 II	√							
狄氏剂	√							
异狄氏剂	√							
七氯	√							
灭蚊灵	√							
毒杀芬	√							

经综合考虑，在现行标准 10 个项目的基础上，增加了总锰、总钴、总硒、总钒、总锑、总铊、总钼、氟化物（水溶性氟）、苯并[a]芘、石油烃类总量、邻苯二甲酸酯类总量等 11 种污染物项目。

本标准对农用地土壤环境质量标准的项目分了基本项目和其他项目两类。

一类为基本项目。指农用地土壤中普遍存在土壤污染问题，对保护农用地土壤环境安全意义重大，适用于所有农用地土壤环境保护与污染防治优先控制和管理的污染物项目，主要有镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍和苯并[a]芘。

另一类为其他项目。指在某些特定地区土壤中存在土壤污染问题，对当地公众健康和生态环境安全等意义重大，适用于特定地区土壤污染风险管控的污染物项目，本次标准主要确定了锰、钴、硒、钒、锑、铊、钼、氟化物、六六六、滴滴涕、石油烃类、邻苯二甲酸酯类等项目。

两类项目确定标准值的方法不同，详见“8.7 标准制订方法和依据”。

8.6 关于土壤酸碱度分区

土壤酸碱度是土壤形成过程中所产生的一种属性，具有区域性。我国土壤酸

碱度区域性差异极大，我国主要土类的 pH 范围见表 8-2。我国土壤酸碱度的地理分布与海洋—大陆相的降雨量有密切关系。随着降雨量的减少和蒸发量的增大，土壤酸碱度也随之由酸变碱，土壤酸碱度也有自南向北增高的趋势。我国土壤的酸碱度呈现“南酸北碱，沿海偏酸，内陆偏碱”的特点，南部的热带、亚热带湿润铁铝土，如砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤等是我国酸性土壤区，pH 最低（pH4.5-5.5）；北亚热带—寒温带湿润淋溶土，如黄棕壤、棕壤和暗棕壤等多为微酸性土壤区（pH5.0-6.5）；半湿润区的半淋溶土和钙层土，如褐土、黑土等为中性土壤区（pH6.0-7.5）；半干旱的钙层土，如黑钙土、栗钙土和黑地方性垆土属微碱性土壤区（pH8.0-8.5）；干旱和极端干旱的干旱土和漠土，如棕钙土、灰钙土、灰漠土、灰棕漠土和棕漠土等属于碱性土壤区（pH8 以上，盐碱化土壤 pH 可达 9 以上）。成土母质、生物气候是决定土壤酸碱度的关键因素，但是长期的耕作历史和耕作管理也是影响土壤酸碱度短期变化的重要因素，如灌溉、施肥，尤其我国南方水稻区地过去有施用石灰的习惯，都可以引起土壤酸碱度在一定范围内的变化。

表 8-2 我国土壤的酸碱度

序号	土壤	pH	序号	土壤	pH
1	砖红壤	4.5-5.5	29	火山灰土	6.0-7.0
2	赤红壤	4.5-5.5	30	紫色土	5.0-7.5
3	红壤	4.5-6.0	31	磷质石灰土	8.0-9.5
4	黄壤	4.5-5.5	32	石质土	<6.5
5	黄棕壤	5.0-6.0	33	粗骨土	6.5-8.0
6	黄褐土	6.0-7.0	34	草甸土	4.5-9.0
7	棕壤	6.0-7.0	35	砂姜黑土	7.0-9.0
8	暗棕壤	5.5-6.5	36	山地草甸土	6.5-8.5
9	白浆土	5.5-6.5	37	林灌草甸土	8.5
10	棕色针叶林土	4.5-5.5	38	潮土	7.0-9.0
11	漂灰土	4.5-6.0	39	沼泽土	5.5-9.0
12	燥红土	6.0-7.0	40	泥炭土	4.0-7.0
13	褐土	7.0-7.5	41	草甸盐土	8.0-9.0
14	灰褐土	7.0-8.0	42	滨海盐土	7.5-8.5
15	黑土	6.0-6.5	43	酸性硫酸盐土	3.0-6.0
16	灰色森林土	6.0-7.0	44	漠境盐土	>8.5
17	黑钙土	7.0-7.5	45	碱土	>9.0
18	栗钙土	8.0-8.5	46	水稻土	5.0-8.0
19	黑垆土	7.5-8.5	47	灌淤土	8.5
20	棕钙土	8.0-9.0	48	灌漠土	8.0-8.5

序号	土壤	pH	序号	土壤	pH
21	灰钙土	8.5-9.0	49	草毡土	6.0-8.0
22	灰漠土	>8.0	50	黑毡土	6.5-7.5
23	灰棕漠土	8.0-9.5	51	寒钙土	8.0-9.0
24	棕漠土	8.0-9.5	52	冷钙土	7.5-8.5
25	黄绵土	7.8-8.5	53	冷棕钙土	7.5-8.5
26	红粘土	>8.3	54	寒漠土	7.8-9.2
27	风沙土	-	55	冷漠土	8.0-8.5
28	石灰(岩)土	7.0-8.0	56	寒冻土	7.0-8.5

土壤 pH 是影响土壤中重金属活性的首要因子。通常情况下，土壤 pH 值越低，重金属活性越强、越容易在土壤中迁移，并被农作物吸收。土壤 pH 也影响土壤固相表面电荷，尤其对于我国南方红壤地区的酸性土壤，pH 越低，土壤固相表面正电荷增多，从而影响土壤固相对重金属的吸附与解吸。土壤 pH 也影响重金属在土壤中的化学沉淀与溶解过程。同时，土壤 pH 对植物生长、土壤微生物、动物等有影响。相关研究显示，近 20 年来降水、大气沉降等长期积累加剧土壤酸化，我国南方地区土壤酸化面积增加、程度增大，有些地区土壤 pH 下降了接近 1 个单位。土壤酸化结果进一步加剧了土壤重金属（尤其是镉）的活性和生物有效性，这与目前我国南方地区的大米镉超标现象关联性强。

对全国土壤污染调查采集的土壤样品 pH 分组进行统计的结果显示，土壤 pH 大于 7.5 的土壤样品比例占 45.5%，土壤 pH6.5~7.5 的土壤样品比例占 15.6%，土壤 pH6.5~5.5 的土壤样品比例占 16.7%，土壤 pH 小于 5.5 的土壤样品比例占 22.2%。因此，有必要在土壤标准中细化 pH5.5 以下分档，增强对酸化地区土壤评价的针对性。结合土壤 pH 条件开展土壤环境质量评价是体现土壤分区评价的重要方式。

8.7 标准制订方法和依据

现行标准对第二级和第三级标准制订方法采用生态环境效应法（见表 8-3）。生态环境效应法主要考虑土壤—植物体系、土壤—微生物体系和土壤—水体系三大体系，分别依据实验研究或调查获得的各个体系中不同危害影响的临界含量或浓度，取其中最小数值作为标准定值的基准值，同时结合土壤环境管理目标、社会经济技术等情况综合确定标准值。

表 8-3 现行标准确定土壤重金属标准值的依据

体系	土壤-植物体系		土壤-微生物体系		土壤-水体系	
内容	农产品卫生质量	作物生长	微生物效应		环境效应	
			生化指标	微生物计数	地下水	地面水
目的	防止污染食物链,保证人体健康	保持良好的生产力和经济效益	保持土壤生态处于良性循环		不引起次生的水环境污染	
标准	食品卫生标准、饲料卫生标准或茶叶卫生标准	按减产10%以上为准	凡一种以上的生化指标出现的变化)25%	微生物计数指标出现的变化)50%	生活饮用水卫生标准(GB5749-85)	地面水环境质量标准(GB3838-88)

现行标准值确定的主要依据和数据支撑主要根据当时国内开展的“六五”和“七五”国家科技攻关项目“土壤环境背景值研究”和“土壤环境容量研究”的成果；当时开展的相关土壤污染调查数据，特别是针对六六六和滴滴涕农药残留调查数据；当时国家规定的食品卫生标准、饲料卫生标准、茶叶卫生标准、生活饮用水卫生标准、地面水环境质量标准等。表 8-4、表 8-5 和表 8-6 为现行标准确定时的食品、饲料或茶叶等的卫生标准。

表 8-4 现行标准确定时的食品卫生标准(mg/kg)

项目	粮食	蔬菜	水果	标准代码	标准名称
Cd	大米 0.2	0.05	0.03	GB15201-94	食品中镉限量卫生标准
Hg	成品粮 0.02	0.01	0.01	GB2762-81	食品中汞允许量标准
As	原粮 0.7			GB2715-81	粮食卫生标准
		0.5	0.5	GB4810-84	食品中总砷允许量标准
Cu	粮食 10	10	10	GB15199-94	食品中铜限量卫生标准
	豆类 20				
Pb	1.0			GB2713-81	淀粉类制品卫生标准
		1.0	1.0	GB11671-89	果蔬类罐头食品卫生标准
Cr	1.0	0.5	0.5	GB14961-94	食品中铬限量卫生标准
Zn	成品粮 50	20	5	GB13106-91	食品中锌限量卫生标准
六六六	成品粮 0.3	0.2	0.2	GB2763-81	粮食、蔬菜等食品中六六六、滴滴涕残留量标准
滴滴涕	成品粮 0.2	0.1	0.1	GB2763-81	粮食、蔬菜等食品中六六六、滴滴涕残留量标准

表 8-5 现行标准确定时的饲料卫生标准 GB13078-91

项目	适用范围	允许量(mg/kg)
----	------	------------

Cd	米糠	≤1
	鸡配合饲料, 猪配、混合饲料	≤5
Hg	鸡配合饲料, 猪配、混合饲料	≤0.1
As	同上	≤2
Pb	同上	≤5
Cr	生长肥育猪配、混合饲料	≤275
六六六	米糠、小麦麸、大豆饼、粕	≤0.05
	肉用仔鸡、生长鸡配合饲料	≤0.3
	产蛋鸡配合饲料	≤0.3
	生长肥育猪配、混合饲料	≤0.4
滴滴涕	米糠、小麦麸、大豆饼、粕	≤0.02
	鸡配合饲料, 猪配、混合饲料	≤0.2

表 8-6 现行标准确定时的茶叶卫生标准(mg/kg) GB9679-88

项 目	标准值
铅	≤2 (紧压茶: 3)
铜	≤60
六六六	≤0.2 (紧压茶: 0.04)
滴滴涕	≤0.2

经系统分析, 对于农用地, 从保护土壤环境质量角度, 采用生态环境效应法作为确定土壤标准定值的方法体系总体上是科学合理的。本次标准修订将继承该方法体系, 并对支撑标准制订的土壤基准(临界含量)确定依据和标准值取值方法进行完善。

一是土壤基准确定依据。20 多年来, 国家相关标准发生了很大的变化。现行《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762-2012)和《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》(GB 2763-2014)中规定的食品中污染物限量与当时国家规定的食品卫生标准的比较见表 8-7。由表中可见, 铅和六六六、滴滴涕的变化最大, 铅由原来的 1.0mg/kg、0.4mg/kg 加严至 0.2mg/kg; 六六六和滴滴涕标准加严近 1 个数量级。

表 8-7 近 20 年国家标准规定的食品中污染物限量的变化

污染物	食品类别	原标准 (发布时间)	现标准 (发布时间)
铅	谷物	1.0 (1981), 0.4 (1994)	0.2 (2012)
	蔬菜	1.0 (1981), 0.2 (1994)	0.1 (2012)
	水果	1.0 (1981), 0.2 (1994)	0.1 (2012)
镉	稻谷、糙米、大米	0.2 (1994)	0.2 (2012)
	蔬菜	0.05 (1994)	0.05 (2012)
	水果	0.03 (1994)	0.05 (2012)

汞	谷物	0.02 (1981, 1994)	0.02 (2012)
	蔬菜	0.01 (1981, 1994)	0.01 (2012)
	水果	0.01 (1981, 1994)	未规定
砷	谷物	0.7 (1981, 1994)	0.5 (2012)
	蔬菜	0.5 (1984, 1994)	0.5 (2012)
	水果	0.5 (1984, 1994)	未规定
铬	谷物	1.0 (1994)	1.0 (2012)
	蔬菜	0.5 (1994)	0.5 (2012)
	水果	0.5 (1994)	未规定
铜	谷物	10 (1994)	未规定
	蔬菜	10 (1994)	未规定
	水果	10 (1994)	未规定
锌	谷物	50 (1991)	未规定
	蔬菜	20 (1991)	未规定
	水果	5 (1991)	未规定
六六六	谷物	0.3 (1981)	0.05 (2014)
	蔬菜	0.2 (1981)	0.05 (2014)
	水果	0.2 (1981)	0.02 (2014)
滴滴涕	谷物	0.2 (1981)	0.1 (2014)
	蔬菜	0.1 (1981)	0.05 (2014)
	水果	0.1 (1981)	0.05 (2014)

二是标准值取值原则和方法。限于当时的条件，现行标准采用最小值原则，即在生态环境效应法体系中取最小值确定为标准值。这是一种最保守的做法，最大程度保护了农作物生长和农产品质量安全以及其他环境效应，与我国上世纪八十年代土壤环境状况也是适应的。此后，我国土壤环境状况发生变化，污染物在土壤中含量分布、种类增加，最小值原则对应的分档方法有必要进一步细化，更准确地反映我国土壤污染形势和主要问题。同时，土壤环境基准值不确定性大，影响因素多，基于室内盆栽试验获得的研究结果难以预测野外田间实际情况。因此，需要建立基于野外大数据获得的剂量—效应关系模型，从统计学意义上确定最大概率保护大部分农作物生长和农产品质量安全以及其他环境效应的标准值。目前完善定值方法的土壤污染风险管理理念逐步成熟，但基于野外大数据获得的剂量—效应关系模型还不能有效建立，限制本次修订改变取值方法的程度。

8.8 关于土壤镉含量限值调整

8.8.1 现行标准中土壤镉标准的确定依据

现行标准中土壤镉含量限值确定，是根据表 8-3 分别考虑对作物生长的影响、对农产品卫生质量的影响、对微生物效应的影响和对环境效应的影响，获得土壤

镉的临界含量值，最后取最小值作为确定标准值的依据。

(1) 对作物生长的影响

土壤镉对作物减产 10%的临界值列于表 8-8。由此可见，临界值变化范围很大，石灰性和中性土壤均大于 10mg/kg，酸性土壤的水田大于 3mg/kg。

表 8-8 作物减产 10%的土壤镉临界含量

土壤	pH	作物	临界含量(mg/kg)
草甸褐土（北京）	8.0~8.1	水稻	30
		冬小麦	10
灰钙土（甘肃）	8.7	春小麦	10
		玉米	10
石灰性紫色土（重庆）	8.2	水稻	13
草甸棕壤（辽宁）	6.5~6.8	水稻	200
		大豆	10
黑土（黑龙江）	6.9~7.2	春小麦	10
		大豆	10
黄棕壤（江苏）	6.5~7.2	水稻	10
		冬小麦	10
中性紫色土（重庆）	6.6	水稻	16
红壤（韶关）	5.0~5.3	水稻	3
赤红壤（广州）	4.5~5.1	水稻	3
		花生	1
砖红壤（湛江）	5.4~5.8	水稻	10
		花生	15
酸性紫色土（宜宾）	5.7	水稻	8

(2) 对农产品质量的影响

①粮食。食品中镉限量卫生标准（GB 15201- 94）规定：大米≤0.2mg/kg。由表 8-9 可见，作物籽实超标的土壤镉临界含量值：石灰性土壤，水田为 2.8mg/kg，旱地 0.6mg/kg；中性土壤，水田 0.9mg/kg，旱地 0.3mg/kg；酸性土壤，水田 0.3mg/kg，旱地 0.3mg/kg。

表 8-9 作物籽粒超标的土壤镉临界含量值

土壤	pH	作物籽实	土壤临界含量值(mg/kg)
草甸褐土（北京）	8.0~8.1	糙米	2.8
		冬小麦	1.0
潮土（北京）	7.8	糙米	1.8
		冬小麦	1.0
灰钙土（甘肃）	8.7	春小麦	2.4
草甸褐土（北京）*	7.8~8.2	冬小麦	0.60
草甸棕壤（辽宁）	6.5~6.8	糙米	2.0

土 壤	pH	作物籽实	土镉临界含量值(mg/kg)
		大豆	0.90
黑土（黑龙江）	6.9~7.2	春小麦	1.92
		大豆	1.27
黄棕壤（江苏）	6.5~7.5	糙米	0.95
		冬小麦	0.30
红壤（韶关）	5.6	糙米	0.56
赤红壤（广州）	4.5~5.1	糙米	0.46
		花生仁	0.59
砖红壤（湛江）	5.4	糙米	0.63
		花生仁	0.39
潮土（广州）	4.8~5.4	糙米	0.64
酸性紫色土（宜宾）	5.7	糙米	0.56
水稻土（大冶）*	4.7~6.5	糙米	0.26

②蔬菜、水果。食品中镉限量卫生标准(GB 15201- 94)规定蔬菜 $\leq 0.05\text{mg/kg}$ ，水果 $\leq 0.03\text{mg/kg}$ 。蔬菜以青菜为代表，根据上海市青菜中镉浓度与土壤中镉浓度的回归方程为：菜镉（mg/kg）=0.0180×土镉（mg/kg）+0.021，由此进行推算。按蔬菜中镉允许浓度 0.05mg/kg 计，则土镉临界含量值为 1.6mg/kg。这一数值宽于上述粮食作物（中性、旱作）的 0.3mg/kg。

由于各种蔬菜的生物学特性的差异，蔬菜的污染状况也有差异。常采用蔬菜中污染物浓度与土壤中污染物浓度的比值（即富集系数）来衡量蔬菜对重金属的吸收能力。上海市 19 种蔬菜中叶菜类富集系数平均为 5.28%，根茎类为 5.27%，茄果类为 3.37%（其中瓜类为 1.27%），以菠菜、土豆、辣椒、茄子、青菜等的富集系数为高。按菠菜的最高富集系数 15.3%计，若土壤镉允许浓度值为 0.3mg/kg，则菠菜含镉浓度达 0.046mg/kg，未超标。据广州市对郊区土壤（pH5~6）调查，早生叶菜富集系数为 1.4%，芋头 2.7%。按土壤镉允许浓度值 0.3mg/kg，则早生叶菜、芋头含镉浓度均未超标。据北京市丰台区菜田土壤（石灰性土壤）和大白菜调查，大白菜对土壤镉的富集系数为 3.14%~7.01%，平均 5.43%。按土壤镉允许浓度 0.6mg/kg 计，则大白菜含镉浓度为 0.019~0.042mg/kg。在丰台区的 58 个样点中，土镉浓度 0.096~0.219mg/kg（未超过临界含量值 0.6mg/kg），大白菜含镉 4~12 $\mu\text{g/kg}$ ，未超标。宁夏银川地区（石灰性土壤）蔬菜富集系数：大白菜为 3.94%，青萝卜 3.79%，西红柿 2.59%，茄子 2.33%，黄瓜 0.56%，按土壤镉 0.6mg/kg 计，蔬菜也未超标。据济南郊区蔬菜调查，土壤镉 0.059~0.256mg/kg，菠菜等 10 种蔬菜均未超标。

含镉浓度过高的土壤生产蔬菜有超标现象。据上海郊区蔬菜调查，土壤含镉浓度 0.065~13.5mg/kg (229 个样点，平均值 0.494mg/kg)，除苞菜、辣椒、黄瓜外，菠菜、莴苣、茄子、青菜、土豆都有超标，其中菠菜、莴苣、茄子的平均值超标。据武汉市郊调查，土壤镉 0.185~3.870mg/kg (平均值 0.846/kg)，白菜、蕃茄有超标。据广东经济较发达的四市调查，土壤镉浓度范围，四市都有超过 0.3mg/kg，糙米、蔬菜都有超标；从土壤镉的平均浓度来看，韶关、佛山、江门三市 >0.3mg/kg，其蔬菜含镉平均浓度值均超标，糙米 (除江门) 也超标，而土壤镉平均浓度 <0.3mg/kg 的汕头，蔬菜、糙米含镉平均浓度值未超标。据广西东北地区果园土壤和水果重金属浓度的调查，土壤和水果样点数均为 97 个，其中柑桔园 45 个、橙子园 18 个、沙田柚园 16 个、金桔园 6 个、荔枝园、龙眼园、西瓜园各 4 个，土壤采样深度 0~30cm，水果卫生标准为 ≤0.3mg/kg，所测水果均未超标。

据此，土壤镉临界含量值确定为 0.3mg/kg (酸性、中性土壤) 和 0.6mg/kg (石灰性土壤)。

(3) 对微生物效应的影响

土壤中的镉对微生物的影响，在低浓度时表现出刺激作用，较高浓度时表现抑制作用。但这种抑制作用并不随土壤浓度增高而增强。由于微生物抗性种的产生与增殖，其抑制率会随浓度的增高而又复减小。如表 8-10，在低浓度时，镉对真菌、细菌+放射菌和固氮菌有刺激作用，其浓度界限分别为 30、3 和 7mg/kg。在此浓度以上，镉对几种微生物都表现有抑制作用。这种抑制作用并不随浓度的增高而相应递增，至一定浓度还会减弱，并出现负值。但其抑制率是有一个明显转折。如真菌在 30~60mg/kg 时，固氮菌在 7~10mg/kg 时的变化非常显著。这转折可以作为镉对微生物影响的一个指标。考虑到结果的灵敏性和稳定性较差，以抑制率 50% 作为影响的一个临界指标，则镉对真菌影响的临界含量为 60mg/kg，固氮菌为 10mg/kg。

表 8-10 镉对土壤微生物的影响 (草甸褐土，水稻盆栽)

投入浓度 (mg/kg)	真 菌		细菌+放射菌		固 氮 菌	
	菌 数 (×10 ³ /克 土)	抑制率 (%)	菌 数 (×10 ³ /克 土)	抑制率 (%)	菌 数 (×10 ⁷ /克 土)	抑制率 (%)
0	131	—	39.9	—	85.9	—

投入浓度 (mg/kg)	真 菌		细菌+放射菌		固 氮 菌	
	菌 数 ($\times 10^3$ /克 土)	抑制率 (%)	菌 数 ($\times 10^3$ /克 土)	抑制率 (%)	菌 数 ($\times 10^7$ /克 土)	抑制率 (%)
1	966	-637.4	44.7	-12.0	173.3	-101.7
3	409	-212.0	48.0	-20.3	407.8	-374.7
5	165	-25.9	36.6	8.3	474.1	-451.9
7	214	-63.4	33.7	15.5	528.8	-515.6
10	224	-71.0	42.9	-7.5	64.3	25.1
30	236	-80.2	38.5	3.5	1.0	98.8
60	67	48.9	27.8	30.3	0.0	100.0
100	77	41.2	37.9	5.0	31.6	63.2
200	295	-125.2	58.3	-46.1	43.2	49.7

盆栽小麦土壤中的不同浓度镉对微生物数量的影响研究表明，土壤含镉 1mg/kg 时，细菌和固氮菌数稍有增加，显示轻度刺激作用，其 50%抑制率的相应土壤镉浓度为 3mg/kg。将小麦盆栽结果与水稻盆栽结果相比较，在旱作（小麦）条件下产生微生物 50%抑制率的土镉浓度比水作（水稻）条件下的要低。即镉在旱作条件下比在水作条件下对土壤微生物的影响大。这与镉对作物的影响规律是一致的。

在对上述盆栽土壤进行微生物测定的同时，也对土壤的尿酶、碱性磷酸酶、蛋白酶进行了测定。其影响的临界含量以 $\geq 25\%$ 抑制率为线。表 8-11 为草甸褐土镉对土壤微生物和酶影响的临界含量值。

表 8-11 草甸褐土镉对土壤微生物和酶影响的临界含量 (mg/kg)

真 菌		细菌+放射菌		固 氮 菌		尿酶	碱性磷酸酶	蛋白酶
水 稻	小 麦	水 稻	小 麦	水 稻	小 麦			
60	3	—	5	10	3	3	60	10

各类土壤测定数据汇于表 8-12。从微生物影响角度，镉的临界含量值：石灰性和中性土壤为 3 mg/kg，酸性土壤为 1 mg/kg。

表 8-12 土壤镉对微生物和生化指标影响的临界含量 (mg/kg)

土 壤	pH	微生物		生化指标	
		水稻	旱作物	水稻	旱作物
草甸褐土（北京）	8.0~8.1	10	3	3	
灰钙土（甘肃）	8.7		50		10~50
石灰性紫色土（重庆）	8.2			3	
草甸棕壤（辽宁）	6.5~6.8	5~60	5~30	100	10
黑土（黑龙江）	6.9~7.2			3	3~4
中性紫色土（重庆）	6.6			3	

土 壤	pH	微生物		生化指标	
		水稻	旱作物	水稻	旱作物
红壤（赣南）	5.7	1~3		3	
红壤（韶关）	5.0~5.3			2.07	46.1
赤红壤（广州）	4.5~5.1			4.53	64.2
砖红壤（湛江）	5.4~5.8			1.53	
潮土（广州）	4.8~5.4			16.69	68.2
酸性紫色土（宜宾）	5.7			1	

（4）对水环境效应影响

由于土壤对重金属具有较强吸附固定能力，在通常情况下，重金属在土壤中迁移性差，除地质因素或特殊情景下发生的重度污染情况外，土壤中重金属难以进入地下水和地表水。在农用地土壤标准中主要以生物效应为限制因子。

综上所述，在生物效应中，农产品质量是制订土壤镉标准值的主要制约因素，以农产品卫生质量的临界含量为最小值作为制定标准的主要依据。现行土壤镉标准值确定为：pH 值 7.5 以下土壤为 0.30mg/kg；pH 值 7.5 以上土壤为 0.60mg/kg。

8.8.2 基于野外数据的土壤-作物效应关系模型建立

本次标准修订过程中，普遍反映现行标准中镉限值偏严。土壤镉标准制订过程也充分说明，我国现行土壤镉标准是偏保守的，从全国来看，对土壤 pH5.5 以上地区或非敏感性作物的确评价过严。为此，本次标准修订时，充分利用近年来我国在野外调查的研究成果，建立基于野外大数据获得的土壤镉与农产品中镉含量之间关系模式，直接推导具有统计学意义的土壤标准值。编制组在总结国内已有工作的基础上，结合环保公益性课题“我国土壤镉环境质量标准定值合理性分析及其修订建议”研究取得的成果，以现行食品安全标准为依据推导得到的土壤中镉临界含量表明，pH5.5-6.5 和 pH6.5-7.5 的土壤镉标准值宜适度调整。

从广东、广西、湖南、湖北、福建、安徽、辽宁、浙江、江西、江苏等 10 个省的 30 多个市，采集到土壤与农产品（主要为水稻）“点对点”样品 258 对。对土壤与水稻样品分析测定结果表明，获得的数据完成满足建立模型的需要。土壤样品 pH 变化范围 3.7-8.34 之间，土壤有机质含量变化范围为 1.24% -8.96%，土壤样品粘粒（ $<2\mu\text{m}$ ）含量变化范围为 6.6%-61.8%，土壤样品镉含量变化范围为 0.007-17.336 mg/kg，稻米样品镉含量变化范围为 0.000-4.866 mg/kg，土壤和水稻样品镉浓度分布范围较广，从清洁到重度污染都有一定的样本数，具有很好的代表性。

土壤镉含量、pH、有机质含量、粘粒含量是影响水稻吸收富集镉的重要因子。为此，进行多元回归分析，建立稻米镉含量与土壤镉含量、土壤 pH、有机质含量、粘粒含量之间的预测模型。公式（1）为以土壤镉含量与土壤 pH 为变量，公式（2）为以土壤镉含量、pH、土壤有机质为变量，公式（3）为以土壤镉含量、pH、有机质含量、粘粒含量为变量。

$$\lg[\text{Crice}] = 0.6673 \lg[\text{Csoil}] - 0.1010 \text{pH} + 0.2027 \quad (\text{R}=0.55) \quad (1)$$

$$\lg[\text{Crice}] = 0.7349 \lg[\text{Csoil}] - 0.0955 \text{pH} - 0.4885 \text{OM} + 0.4410 \quad (\text{R}=0.56) \quad (2)$$

$$\lg[\text{Crice}] = 0.7326 \lg[\text{Csoil}] - 0.0965 \text{pH} - 0.4905 \text{OM} + 0.3065 \text{Clay} + 0.4410 \quad (\text{R}=0.56) \quad (3)$$

式中：Crice 为稻米镉含量 (mg/kg)； Csoil 为土壤镉含量 (mg/kg)； pH 为土壤 pH 值 (无量纲)； OM 为土壤有机质含量 (%)； Clay 为土壤粘粒含量 (%)。

以我国食品安全国家标准《食品中污染物限量》中规定的稻米中镉的限值为 0.2 mg/kg，代入以上三个公式，得到不同土壤理化参数下土壤镉含量值，见表 8-13。

表 8-13 基于野外土壤-水稻关系模型推导的土壤镉临界含量值

pH 值	Csoil (mg/kg)		
	公式 (1)	公式 (2)	公式 (3)
	Crice=0.2	Crice=0.2 OM=3	Crice=0.2 OM=3 Clay=30
5.5	0.30	0.30	0.30
6.5	0.43	0.41	0.41
7.5	0.61	0.55	0.55
8.5	0.86	0.74	0.75

综合考虑其他作物因素，本次修订将其细化为四档，土壤 pH5.5 以下保持现行标准值不变 (0.3mg/kg)，pH5.5-6.5 调整为 0.4mg/kg，pH6.5-7.5 调整为 0.5mg/kg，pH7.5 以上保持现行标准值不变 (0.6mg/kg)。

现行标准中林地土壤镉标准为 1.0mg/kg，考虑到林地不涉及农产品质量安全问题，土壤镉对林木影响可以参考对农作物生长影响的临界含量水平 (大多在 10mg/kg 左右)，同时考虑与建设用地住宅类用地土壤污染筛选值相一致，取值为 7.0mg/kg。

8.9 关于土壤铅含量限值调整

8.9.1 现行标准中铅标准值确定

铅在土壤中易被固定，进入植物体后易淀积在根部，所以铅在土壤和植物体

中迁移性较差，而转移到植株的其他部位是有限的。然而，土壤中含铅过量也会带来对作物的危害，造成作物减产。

(1) 对作物生长的影响

土壤铅对作物减产 10%的临界含量值于表 8-14。可见，土壤铅的临界含量值：对石灰性土壤，水田为 500mg/kg，旱地为 350mg/kg；对中性土壤，水田为 1500mg/kg，旱地 500mg/kg；对酸性土壤，水田为 287mg/kg。

表 8-14 作物减产 10%的土壤铅临界含量

土壤	pH	作物	临界含量(mg/kg)
草甸褐土（北京）	8.0~8.1	水 稻	500
		冬小麦	356
灰钙土（甘肃）	8.7	春小麦	346
		玉 米	480
石灰性紫色土（重庆）	8.2	水 稻	524
草甸棕壤（辽宁）	6.5~6.8	水 稻	1500
		大 豆	500
黑土（黑龙江）	6.9~7.2	春小麦	2132
		大 豆	1640
中性紫色土（重庆）	6.6	水 稻	4000
红壤（韶关）	5.0~5.3	水 稻	345
赤红壤（广州）	4.5~5.1	水 稻	287
砖红壤（湛江）	5.4~5.8	水 稻	342
酸性紫色土（宜宾）	5.7	水 稻	494

(2) 对农产品质量的影响

①粮食。食品卫生标准（淀粉制品，GB 2713-81）规定铅为≤1.0mg/kg。作物籽实达标的土壤铅临界含量值见表 8-15。由表 8-15 可见，土壤铅的作物籽实超标的临界含量值：对石灰性土壤，水田为 429mg/kg，旱地 600mg/k；对中性土壤，水田为 434mg/kg，旱地 505mg/kg；对酸性土壤，水田为 255mg/kg。

②蔬菜、水果。食品卫生标准（果蔬类罐头食品，GB11671- 89）规定蔬菜、水果含铅为≤1.0mg/kg。根据上海农科院土壤肥料所提出的上海青菜铅浓度与土壤铅浓度之间的回归方程为：菜铅（mg/kg）=0.00109×土铅（mg/kg）+0.156,按蔬菜中铅允许值 1.0mg/kg 计，则土壤铅临界含量值为 774mg/kg。据北京市丰台区大白菜对土壤铅的富集系数为 0.06%-0.22%，平均 0.14%。按蔬菜铅允许浓度 1.0mg/kg 计，则土壤铅可达 455~1667mg/kg，平均 714mg/kg。

表 8-15 作物籽实超标的土壤铅临界含量值

土壤	pH	作物	临界含量(mg/kg)
草甸褐土（北京）	8.0~8.1	水 稻	4600
		冬小麦	600
灰钙土（甘肃）	8.7	春小麦	880
		玉 米	1625
石灰性紫色土（重庆）	8.2	水 稻	429
草甸棕壤（辽宁）	6.5~6.8	水 稻	1500
		大 豆	2000
黑土（黑龙江）	6.9~7.2	春小麦	1473
		大 豆	3731
中性紫色土（重庆）	6.6	水 稻	434
红壤（韶关）	5.0~5.3	水 稻	357
赤红壤（广州）	4.5~5.1	水 稻	500
砖红壤（湛江）	5.4~5.8	水 稻	1492
酸性紫色土（宜宾）	5.7	水 稻	255

从北京、上海、济南郊区土壤和蔬菜含铅浓度的实际调查结果，除上海土豆有少量样品超标外，其余蔬菜均未超标。据广东四市的调查结果，蔬菜、糙米含铅浓度均未超标。据广西 97 个果园调查结果，土壤铅 11.5~145.9mg/kg，水果铅 0.02~0.58mg/kg，未超标。

(3) 对微生物效应的影响

表 8-16 为土壤铅对微生物影响的临界含量值。对石灰性土壤，水田为 500mg/kg，旱地 325mg/kg；对中性土壤，水田为 300mg/kg，旱地 300mg/kg；对酸性土壤，水田为 500mg/kg。

表 8-16 土壤铅对微生物影响的临界含量值

土 壤	pH	微生物效应的土铅临界值（mg/kg）	
		水稻	旱作物
草甸褐土（北京）	8.0~8.1	500	1000
灰钙土（甘肃）	8.7	-	325~525
石灰性紫色土（重庆）	8.2	2000	-
草甸棕壤（辽宁）	6.5~6.8	300~500	300~500
薄层黑土（榆树）	6.9	-	473
中厚黑土（哈尔滨）	7.1	-	530
深厚黑土（海伦）	7.0	-	622
黄棕壤（下蜀）	6.5	587	919
黄棕壤（盱眙）	7.2	-	888
黄棕壤（孝感）	7.5	488	919

中性紫色土（重庆）	6.6	1000	-
红壤（岳阳）	5.4~6.0	500	-
赤红壤（广州）	4.5~5.1	552	-
砖红壤（湛江）	5.4~5.8	611	-
红壤（韶关）	5.0~5.3	548	-
潮土（广州）	4.8~5.4	732	-
酸性紫色土（宜宾）	5.7	500	-

（4）对土壤水环境效应的影响

土壤中铅的移动性极小，主要积累在土壤表层。在草甸褐土等八个类型土壤地区，土壤铅未造成地下水和地面水的污染。

综上所述，各体系的土壤铅临界含量值列于表 8-17。由此现行标准中的二级土壤铅标准值定为：pH>7.5 的土壤，350mg/kg；pH6.5~7.5 的土壤，300mg/kg；pH<6.5 的土壤，250mg/kg。三级标准中的林地土壤标准定为 500mg/kg。

表 8-17 各体系的土壤铅临界含量值（mg/kg）

土 壤	水田			旱地		
	影响作物 产量	影响农产品 卫生质量	影响微生物 物效应	影响作物 产量	影响农产品 卫生质量	影响微生物 物效应
石灰性土壤	500	429	500	350	600	325
中性土壤	1500	434	300	500	505	300
酸性土壤	287	255	500	-	-	-

8.9.2 标准调整及其合理性分析

现行标准以铅对农作物生长影响为依据，按 pH 条件规定了三档限值。总体上看，铅的含量限值偏松，从现在各方面情况来看，有必要对铅标准收严。主要理由：

（1）现行标准发布于 1995 年，此后国内外农产品中铅含量限值标准均有所收严。例如，当时的淀粉制品食品卫生标准（GB 2713-81）规定的铅含量限值为 1.0 mg/kg，而现行的《食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB 2762-2012）规定谷物及其制品中铅含量限值为 0.2 mg/kg。

根据上述上海青菜铅浓度与土壤铅浓度之间的回归方程为：菜铅（mg/kg）=0.00109×土铅（mg/kg）+0.156，如果按现行食品标准中蔬菜铅限量标准 0.2mg/kg 计，则土壤铅临界含量值为 40.4mg/kg。据北京丰台区大白菜对土壤铅的富集系数为 0.06%-0.22%，平均 0.14%。若按现在标准 0.2mg/kg 计，则土铅临界含量为 333.3-90.9mg/kg，平均为 142.8 mg/kg。

(2) 我国土壤铅环境背景含量。我国土壤铅的 95%范围值为 10.0-56.1 mg/kg, 中位值为 23.5 mg/kg, 算术平均值为 26.0 mg/kg, 几何平均值为 23.6 mg/kg。现行标准与背景相差悬殊, 失去了标准对控制土壤累积污染物的警示作用。近 10 年, 我国铅污染事件频发, 儿童血铅高引发社会广泛关注, 这些血铅污染的直接来源多为大气、水环境中的铅污染, 从防范健康风险角度, 对土壤中铅的标准适度收严, 可以及时反映土壤中铅累积趋势和污染特征。

(3) 2006 年制定的《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ 332-2006) 规定食用农产品产地土壤中的铅含量限值为 80 mg/kg, 全国土壤污染状况评估中土壤铅的评价标准也采用 80mg/kg。

相关研究显示, 土壤铅污染临界值也随着土壤 pH 升高而变化, 标准两次征求意见过程中均有反馈意见要求在 80mg/kg 基础上, 增加按 pH 分档设置的标准值。综合考虑以上情况, 本次修订按 $\text{pH} \leq 5.5$, $5.5 < \text{pH} \leq 6.5$, $6.5 < \text{pH} \leq 7.5$, $\text{pH} > 7.5$, 分别规定为 80、120、160、200mg/kg; 林地保持现行标准值 500mg/kg。

8.10 关于土壤中六六六和滴滴涕含量限值调整

8.10.1 现行标准中六六六和滴滴涕标准值确定依据

六六六(六氯环己烷)和滴滴涕(双对氯苯基三氯己烷)都是广谱性、价廉、长效的有机氯杀虫剂。我国自 1949 年建国初期起至 1983 年底止, 化学农药累计总产 815 万 t(原药), 其中六六六(HCH)占 63.22%, 滴滴涕(DDT)占 5.41%。截止 1982 年底, HCH 原药累计投放量达 400 多万 t, DDT 原药也在 50 万 t 以上, 按每亩耕地计平均承受有机氯(HCH、DDT)合计 3.20kg。1983 年我国停止生产 HCH 和 DDT, 库存 40-60 万 t 继续投放, 耕地实际承受量达每亩 4kg 左右。

HCH、DDT 理化性能比较稳定、脂溶性强、难分解、持留期长。DDT 在土壤中的残留率高于 HCH 的残留率, 以京津地区为例, DDT 施药一年后, 残留率 83%-84%, 而 HCH 为 15.3%。厌氧环境有利于有机氯农药分解, 同一地区水田土壤尽管施药量高于旱地, 但残留量却是水田低于旱地。当时全国各地调查结果表明: HCH、DDT 对环境和食品的污染已较普遍, 有相当数量的食品样品超过当时的食品卫生标准。

HCH 有甲体、乙体、丙体和丁体四种异构体。DDT 有 p,p'-DDE、o,p'-DDT、p,p'-DDD 和 p,p'-DDT 四种衍生物。在这些农药中, 分子结构对称性越好, 化学

性质越稳定,其异构体或衍生物的残留量也就越高。根据当时对京津地区和浙江等地调查,乙体 HCH 在土壤中的残留量占 HCH 总残留量的 53%-65%, p,p'- DDT 残留量占 DDT 总残留量的 70%左右(在原粉中前者占 HCH 总残留量的 5%-14%,后者占 DDT 总量的 70%-80%)。

一般来说,我国土壤中的 DDT 残留量:果园土壤>棉田土壤>麦田土壤>稻田土壤;HCH 残留量:果园土壤>棉田土壤>稻田土壤>麦田土壤。

(1) 对作物生长的影响

据北京等地试验,投加 HCH 量 10mg/kg,不致影响作物生长。浙江农大进行的水稻盆栽试验,在海涂土(pH8.3)、红壤、青紫泥土,投加 HCH 量有达 10.67 mg/kg,水稻生长正常。但是,在砂土上进行出苗试验,土壤 HCH<1mg/kg 时,对小麦、高粱根系发育有刺激作用;高于此浓度则表现出抑制现象;达到 4.0mg/kg 时则产生强烈的抑制作用;达到 8.0mg/kg,出现根端肿大的毒害症状。可见,对于砂土来说,作物生长的土壤 HCH 临界含量值不大于 1mg/kg,而对于一般土壤可投加达 10mg/kg。

(2) 对农产品质量的影响

GB 2763-81 规定食品卫生标准:HCH 成品粮为 $\leq 0.3\text{mg/kg}$,蔬菜水果为 $\leq 0.2\text{mg/kg}$;DDT 成品粮为 $\leq 0.2\text{mg/kg}$,蔬菜水果为 $\leq 0.1\text{mg/kg}$ 。GB 9679-88 规定茶叶中的 HCH、DDT 卫生标准为 $\leq 0.2\text{mg/kg}$ 。根据 1983 年对全国粮食调查结果:我国粮食 HCH 检测率达 90.9%,超标率为 7.4%,超标粮食达 286.5 亿 kg;粮食中 HCH 平均残留量(mg/kg):小麦 0.19,晚稻 0.13,中稻 0.07,玉米 0.07,早稻 0.06,粮食总体 0.11;DDT 检出率达 4.5%,超标率为 0.2%,小麦超标率较高为 0.6%,玉米 0.2%,晚稻 0.1%,早、中稻不超标,超标粮食达 7.75 亿 kg;各种粮食中 DDT 平均残留量均 $< 0.02\text{mg/kg}$ 。蔬菜、水果也有有机氯的检出和超标。1978-1979 年,蔬菜 HCH 检出率 99.6%,超标率 14.15%,DDT 分别为 89.52%和 3.81%。水果 1978 年超标率:HCH 为 7.79%,DDT 为 30.43%。1975-1980 年全国 13 个产茶省的 1296 批茶叶样品分析,HCH 检出率为 99.23%,超标率为 43.31%;DDT 分别为 98.83%和 44.21%。1975-1980 年全国 11 个产烟省 256 批烟叶样品检测,HCH 检出率为 100%,超标率 98.83%;DDT 分别为 97.95%和 63.65%。由此看来,当时农产品卫生质量确是一个值得重视的问题。

(3) 对微生物效应的影响

土壤中 HCH 残留量在 $\leq 26\text{mg/kg}$ 时, 对土壤微生物数量没有明显的影响, 在一个月后测定还表现出一定的刺激作用。各种土壤微生物对 HCH 的敏感程度差异很大, 固氮菌最不敏感, 当土壤中 HCH 浓度高达 1000mg/kg 时, 才表现较强的抑制作用。而枯草杆菌最敏感, 当土壤中 HCH 浓度为 70mg/kg 时, 就不能存活。土壤中 HCH 浓度 ($0-100\text{mg/kg}$) 对微生物的呼吸强度、纤维分解强度、解磷强度等都没有明显的影响。可见, 一般农田土壤中 HCH 含量不致对土壤中有益微生物、生化特性产生毒害影响。

(4) 对水环境效应的影响

对南方和中原的 98 个井水的测定, HCH $0.0001-4.5000\mu\text{g/L}$, 平均 $0.5510\mu\text{g/L}$, 检出率 100%; DDT $0.0000-0.8525\mu\text{g/L}$, 检出率 50%。无论是 HCH 或 DDT, 均未超过生活饮用水标准的规定 (HCH 为 $\leq 5\mu\text{g/L}$, DDT 为 $\leq 1\mu\text{g/L}$)。

综上所述, HCH、DDT 的土壤环境质量标准制订依据, 农产品卫生质量是一个很重要的因素。以食品卫生标准和饲料卫生标准等为准则。

据农业部环境监测总站的全国农业环境质量报告书 (1991), 1988-1989 年调查, 粮食中 HCH 残留量与 1980 年相比较, 一般下降水平达一个数量级, DDT 也大致如此, 经济作物 (茶叶、果品) 也有明显下降。1988-1989 年河南对 12 个地市的粮食、蔬菜、瓜果、植物油、烟叶、肉、蛋、奶进行了监测。在监测的 880 个农畜产品中 DDT 检出率为 48.5% (1978 年 79.6%), 平均残留范围痕量至 0.911mg/kg (1978 年 $0.058-6.293\text{mg/kg}$), 除鱼类有超标外, 其他产品未超标, 总超标率为 0.3% (1978 年 19.5%); HCH 检出率为 95.8% (1978 年 100%), 平均残留范围为 $0.001-0.675\text{mg/kg}$ (1978 年 $0.002-4.167\text{mg/kg}$), 总超标率为 10.6% (1978 年 36.8)。

可见, 土壤中的 HCH、DDT 已有明显下降。至 1990 年, 一般降低一个数量级, 很多地区土壤平均值已降为几十个 $\mu\text{g/kg}$, 但一些地方污染仍相当严重。

采用卫生标准、富集系数和土壤残留率作为参数, 可以计算得出土壤临界含量。HCH 富集系数: 粮食选为 25%, 蔬菜选为 25%, 饲料选为 63%。土壤 HCH 残留率: 选为 71%。DDT 富集系数: 粮食、蔬菜选定 10%, 饲料假定 25%。土壤 DDT 富集系数应大于 HCH, 假定 90%。土壤中 HCH、DDT 残留临界含量值

的计算如下式：

土壤临界值 (mg/kg) = 卫生标准 (mg/kg) ÷ 富集系数 (%) ÷ 土壤残留率 (%),
计算结果列于表 8-18。

表 8-18 土壤 HCH、DDT 残留临界含量值的计算

农药	农产品	卫生标准 (mg/kg)	富集系数 (%)	土壤残留率 (%)	土壤残留临界含量计算值 (mg/kg)
HCH	粮食	0.30	25	71	1.69
	蔬菜	0.20	25	71	1.13
	饲料	0.30	63	71	0.67
DDT	粮食	0.20	10	90	2.22
	蔬菜	0.10	10	90	1.11
	饲料	0.20	25	90	0.89

采用前苏联推荐的农药土壤卫生标准的数学模型：

$$y=0.195+3.298x-2.234x^2$$

y 为农药的土壤标准值，mg/kg；x 为农药的食品卫生标准值，mg/kg。按果菜类允许残留标准值（HCH0.2mg/kg、DDT0.1mg/kg）计，计算得到土壤标准值为 HCH0.8mg/kg、DDT0.5mg/kg。

经综合考虑，现行标准中二级土壤标准值：六六六和滴滴涕均定为 0.5mg/kg。三级标准中，六六六和滴滴涕均定为 1.0mg/kg。

8.10.2 标准调整及其合理性分析

现行标准中六六六和滴滴涕限值为 0.5mg/kg，主要根据上世纪八十年代我国土壤六六六和滴滴涕污染状况和残留水平确定的。我国从 1983 年起禁止使用六六六和滴滴涕，经过 30 多年自然消解，土壤中六六六和滴滴涕含量水平已显著降低。根据“十一五”全国土壤污染调查数据显示，耕地土壤中六六六检出率为 59.8%，含量范围为 0.006-533μg/kg，75%分位数值为 4.01μg/kg。滴滴涕检出率 64%，含量范围为 0.01-1720μg/kg，75%分位数值为 12.4μg/kg。因此，我国农业土壤中六六六和滴滴涕残留量不存在大面积污染问题，只在局部地区或区域还有一定检出率。保留土壤中六六六和滴滴涕农药项目，继续监控特定地区土壤中六六六和滴滴涕残留变化及其对公众健康的影响仍具有一定的意义。根据目前土壤中六六六和滴滴涕农药残留的水平，适当加严六六六和滴滴涕含量限值是可行的。《食用农产品产地环境质量评价标准》（HJ 332-2006）规定为 0.1mg/kg，全

国土壤污染状况评价也以其为评价标准。结果显示，土壤中六六六的点位超标率为 0.5%，滴滴涕为 1.9%。综上，本次标准调整为 0.1mg/kg。

8.11 关于土壤中苯并[a]芘含量限值确定

现行标准中没有对土壤中苯并[a]芘规定含量限值。国内对农用地土壤苯并[a]芘污染危害临界含量值的研究较少，本标准主要参照加拿大的农用地土壤标准 0.1mg/kg。

根据全国土壤调查数据显示，我国土壤中苯并[a]芘的含量最小值为 0.005 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，最大值为 750 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，顺序统计量 75%的值是 4.14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、95%的值是 9.33 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。全国土壤污染调查采用 0.1mg/kg 为评价标准，结果显示，总点位超标率为 1.4%。其中轻微超标为 0.8%，轻度超标为 0.2%，中度超标为 0.2%，重度超标为 0.2%。综上，农用地土壤苯并[a]芘的限值暂订为 0.1mg/kg。

8.12 关于其他项目土壤污染物含量限值

本标准新增了总锰、总钴、总硒、总钒、总铋、总铊、总钨、氟化物、石油烃类、邻苯二甲酸酯类等 10 种土壤污染物项目。在全国尺度上，这些污染物项目的含量和分布不均匀，不具有全国普遍性，此外目前国内对这些污染物的生态环境效应研究成果较少，因此这些污染物项目只是参考限值，为特定地区进行污染源防控、污染事件执法和污染纠纷处理等提供技术支撑。

这些项目的参考限值规定原则：

首先，以我国“七五”土壤环境背景值数据和“十一五”全国土壤污染状况调查数据为依据，采用顺序统计值的 95%的分位值作为主要依据；

其次，参考国际上有些国家（加拿大、德国、荷兰等）的农用地土壤标准；

再次，对国内已有的研究资料成果的项目，采用研究建议值。

（1）锰

“七五”土壤环境背景调查数据显示，我国土壤中锰的含量最小值 1mg/kg，最大值 5888mg/kg，顺序统计量 75%的值是 711mg/kg、95%的值是 1227mg/kg。“十一五”土壤调查数据显示，土壤中锰的含量最小值 69.8mg/kg，最大值 3847mg/kg，顺序统计量 75%的值是 722mg/kg、95%的值是 1130mg/kg。澳大利亚保护土壤及地下水调研值为 1500mg/kg。综上，农用地土壤锰的参考限值为 1200mg/kg。

(2) 钴

“七五”土壤环境背景调查数据显示,我国土壤中钴的含量最小值 0.01mg/kg,最大值 93.9mg/kg,顺序统计量 75%的值是 15.4mg/kg、95%的值是 24.3mg/kg。“十一五”土壤调查数据显示,土壤中钴的含量最小值 2.40mg/kg,最大值 59.9 mg/kg,顺序统计量 75%的值是 15.8mg/kg、95%的值是 24.0mg/kg。加拿大农业土壤标准限值为 40mg/kg。捷克农业土壤标准限值:轻质土壤为 25mg/kg,非轻质土壤为 50mg/kg;波兰农业土壤标准限值为 20mg/kg;瑞典敏感土地土壤标准限值为 30mg/kg。综上,农用地土壤钴的参考限值暂订 24mg/kg。

(3) 硒

硒是人体健康需要的微量元素,我国是土壤缺硒的国家,农产品中适度补硒有利于健康,但过量也对人体产生不良影响。“七五”土壤环境背景调查数据显示,我国土壤中硒的含量最小值 0.006mg/kg,最大值 9.13mg/kg,顺序统计量 75%的值是 0.35mg/kg、95%的值是 0.83mg/kg。“十一五”土壤调查数据显示,土壤中硒的含量最小值 0.02mg/kg,最大值 2.43 mg/kg,顺序统计量 75%的值是 0.32mg/kg、95%的值是 0.74mg/kg。加拿大农业土壤标准限值为 1.0 mg/kg,丹麦土壤生态毒理基准限值为 1.0 mg/kg,意大利公共绿地土壤标准限值为 3 mg/kg,立陶宛土壤最大允许量为 5 mg/kg。国内有研究建议土壤硒临界值为 3 mg/kg。综上,农用地土壤硒的参考限值暂订 3.0mg/kg。

(4) 钒

“七五”土壤环境背景调查数据显示,我国土壤中钒的含量最小值 0.46mg/kg,最大值 1264mg/kg,顺序统计量 75%的值是 96.6mg/kg、95%的值是 148.2mg/kg。“十一五”土壤调查数据显示,全国土壤中钒的含量最小值 17.7mg/kg,最大值 343mg/kg,顺序统计量 75%的值是 99.0mg/kg、95%的值是 148mg/kg。荷兰规定的土壤临界暴露值(微克/千克体重·天)为 2.0。加拿大农业用地土壤标准限值为 130mg/kg。奥地利农业用地土壤标准限值为 50mg/kg。;捷克农业土壤标准限值:轻质土壤为 150mg/kg,非轻质土壤为 220mg/kg;立陶宛土壤标准值为 150mg/kg;瑞典敏感土地土壤标准限值为 120mg/kg;意大利公共绿地土壤标准限值为 90 mg/kg;芬兰土壤临界限值为 100 mg/kg。综上,农用地土壤钒的参考限值暂订 150mg/kg。

(5) 铈

“七五”土壤环境背景调查数据显示，我国土壤中铈的含量最小值 0.002mg/kg，最大值 87.6mg/kg，顺序统计量 75%的值是 1.42mg/kg、95%的值是 2.89mg/kg。“十一五”土壤调查数据显示，全国土壤中铈的含量最小值 0.07mg/kg，最大值 8.33mg/kg，顺序统计量 75%的值是 1.14mg/kg、95%的值是 2.58mg/kg。加拿大农业用地土壤标准限值为 20mg/kg。奥地利农业用地土壤标准限值为 2mg/kg；意大利公共绿地土壤标准限值为 10mg/kg；芬兰土壤临界限值为 2mg/kg。综上，农用地土壤铈的参考限值暂订 3.0mg/kg。

(6) 铊

“七五”土壤环境背景调查数据显示，我国土壤中铊的含量最小值 0.036mg/kg，最大值 2.38mg/kg，顺序统计量 75%的值是 0.737mg/kg、95%的值是 1.04mg/kg。“十一五”土壤调查数据显示，土壤中铊的含量最小值 0.19mg/kg，最大值 2.6mg/kg，顺序统计量 75%的值是 0.86mg/kg、95%的值是 1.31mg/kg。荷兰规定土壤临界暴露值（微克/千克体重·天）为 0.2。加拿大农业用地土壤标准限值为 1mg/kg。综上，农用地土壤铊的参考限量为 1.0mg/kg。

(7) 钼

“七五”土壤环境背景调查数据显示，我国土壤中钼的含量最小值 0.10mg/kg，最大值 75.1mg/kg，顺序统计量 75%的值是 2.3mg/kg、95%的值是 7.0mg/kg。“十一五”土壤调查数据显示，土壤中钼的含量最小值 0.081mg/kg，最大值 9.62mg/kg，顺序统计量 75%的值是 1.22mg/kg、95%的值是 3.04mg/kg。荷兰规定土壤临界暴露值（微克/千克体重·天）为 10。国内有人研究了 20 多种作物对土壤钼的富集能力，不同作物钼富集系数（有效量计）从大到小依次为：稻米>大豆>豇豆>花生>扁豆>丝瓜>芥菜>小白菜>茄子>芹菜>花菜>番薯>黄瓜>芋头>苦瓜>菠菜>包菜>西红柿>甜椒>白萝卜>六角瓜>莴苣。水稻是对土壤钼富集能力较强的作物。计算得出相应的土壤有效钼临界值为 0.8mg/kg，相当于全钼 5.8 mg/kg。综上，农用地土壤钼的参考限量为 6mg/kg。

(8) 氟化物

“七五”土壤环境背景值调查显示，我国土壤中氟化物的最小值为 50 mg/kg，最大值为 3467mg/kg，90%分位值为 721mg/kg，95%分位值为 850mg/kg。“十一

五”土壤调查数据显示，土壤中氟化物的含量最小值 115mg/kg，最大值 2183mg/kg，顺序统计量 75%的值是 652mg/kg、95%的值是 926mg/kg。

氟是人和动物必需的微量元素，适量的氟对维持人体正常钙、磷代谢，对神经传导、细胞酶活性等有一定的作用；但过量氟会使人和牲畜发生氟中毒，危害人和动物健康。土壤中氟的存在形态，一般可分为水溶态、交换态、铁锰氧化物态、有机束缚态和残余固定态。其中，水溶态、交换态对生物有较高的有效性，有机束缚态对生物的有效性较低，而铁锰氧化物态和残余固定态对生物为非有效性。一般土壤中残余固定态含量占绝大数量，约占总量的 99%以上。耕作土壤水溶性氟的含量 0.27-5.39 mg/kg 之间，几何平均值为 1.4 mg/kg，耕作土壤的水溶性氟在总氟中所占的比例很小，在酸性土壤中，该比值平均为 0.1%左右，最低为 0.03%；碱性土壤比值较高，大部分在 1-3%左右，个别土壤可高达 6.22%。土壤中的氟，以水溶性氟与环境的关系最为密切，能直接对地表水、地下水、植物、人畜产生影响。土壤中水溶性氟含量高的地区可影响植物的生长，发生地方性氟疾病，损害人体健康。地氟病是一种严重危害人民生命和健康的地方病，轻者患氟斑牙，重者患氟骨病、肾损伤及诱发心血管病等。国内有人研究得出植物叶氟含量不超过对食草动物产生氟中毒浓度(40-50mg/kg)时的土壤允许的氟量，其土壤氟的环境质量指标为水溶性氟含量 5 mg/kg。斯洛伐克制定(2004)的土壤-食用植物途径的农业土壤氟标准限值为水溶性氟为 5 mg/kg。综上，农用地土壤氟化物标准限值暂订土壤水溶性氟物（以氟计）5.0mg/kg。

（9）石油烃类

石油烃污染主要发生在油田及周边土壤、污灌区等。“十一五”对污灌区土壤中石油烃总量含量调查结果显示，中值为 21.9mg/kg，几何均值为 15.2mg/kg。国内对农用地石油烃污染研究相对较少。全国土壤污染状况调查建议的评价标准为 500mg/kg。中国台湾地区土壤污染管制标准为 1000mg/kg。综上，农用地土壤石油烃总量参考限值暂订 500mg/kg。

（10）邻苯二甲酸酯类

“十一五”土壤调查数据显示，我国土壤中邻苯二甲酸酯类总量最小值 0.0001 mg/kg，最大值 40.698mg/kg，顺序统计量 75%的值是 0.3mg/kg、95%的值是 1.406mg/kg。国内对农用地土壤中邻苯二甲酸酯类的污染影响研究较少，全国土

壤污染调查建议的评价标准为 10mg/kg，现仍暂订为 10mg/kg。

8.13 关于土壤监测方法

现行标准规定的土壤污染物分析方法基于当时的情况，除六六六和滴滴涕执行标准方法外，其他 8 个重金属只给出方法要求，如土壤样品前处理方法、检测限等。现行标准发布实施后，我国陆续发布了一批土壤环境分析方法标准，本次修订更新了土壤污染物分析方法。农用地土壤环境质量监测点位布设和样品采集等要求应执行《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166) 相关规定，土壤污染物分析方法应执行相应的国家环境保护标准。以上监测标准更新时，农用地土壤环境质量的监测要求随之更新。

8.14 关于标准实施与监督

本标准补充了实施与监督要求，规定了本标准实施时间、范围。本标准表 1 中的基本项目在全国范围内实施，表 2 中的其他项目由国务院环境保护主管部门或者省级人民政府根据具体情况确定实施范围。对于暂无标准分析方法的项目，可待国务院环境保护主管部门确认其标准方法后实施。作为环境质量标准，其实施主体是县级以上地方人民政府，因此本标准规定：县级以上地方人民政府应依据本标准及《土壤环境质量评价技术规范》开展农用地土壤环境质量评价。作为环境保护标准，本标准由各级环境保护及相关主管部门监督实施。

9 其他需要说明的问题

9.1 关于土壤标准的定位

本次标准修订必须充分认识土壤环境问题特点，以及由此造成的土壤环境质量标准不同于大气、水环境质量标准的特殊性。不能简单采用大气、水环境评价的“达标”或“不达标”概念来评判土壤污染，更不能将土壤环境保护规划目标简单设置为“达标率”。农用地土壤环境质量评价要依据土壤环境背景和土壤污染物含量限值两个方面进行综合评判；必要时，要进一步结合土壤污染物的活性和生物有效性研究、生物试验结果和大田调查数据等进行综合判断，最后依据评估结果实施分类管理或修复措施。

9.2 关于土壤环境背景值

我国土壤类型繁多，土壤环境背景和土壤性质空间差异性大，土壤环境背景值标准不能简单采用“一刀切”的方法。为了配合土壤环境质量评价，需要采用土

壤环境背景值作为土壤污染的评判依据。结合本次土壤标准修订，建议同时编制土壤环境背景值确定技术导则。该导则规定土壤环境背景调查及背景值确定的原则、工作内容和技术要求，由地方根据实际情况，按照统一技术方法和要求制定地方土壤环境背景值标准。在没有制定地方土壤环境背景值标准之前，可以参考“七五”土壤环境背景调查成果，按照行政区或土壤类型统计获得的土壤环境背景数据使用。

9.3 关于土壤有效态标准

许多建议提出，对于土壤重金属应该制定有效态标准。这从理论上说更严谨、科学，但可操作性差：

首先，土壤重金属生物有效性是受很多因素影响的，所采用的土壤有效态提取方法只是模拟生物吸收利用土壤中污染物能力、具有一定适用规律的方法，目前国内外的相关研究还没有找到一种普遍适用不同土壤、不同作物和不同污染物种类的提取剂或提取方法。其次，土壤重金属生物有效性是动态变化的，相对来说，土壤中重金属总量是绝对量，具有判别土壤污染责任行为的仲裁意义。再次，土壤有效态提取方法的重现性差，不同实验室测定结果差异大，难以质控。

因此，从标准的实施角度，目前还不具备制定土壤重金属有效态标准的条件。

9.4 关于土壤评价结果的不确定性

土壤评价结果不确定性来源于所有影响生态环境效应的因素。主要影响效应的因素有：土壤本身因素，进入土壤的污染物因素，植物因素以及气候因素等。

(1) 土壤因素

一是重金属存在的化学形态。当某种重金属进入土壤中，它会与土壤发生相互作用；这个作用过程，往往是较长时间的，并逐步达到动态平衡。在土壤中，重金属可能以不同的形态存在：溶解在土壤溶液中；吸附在无机、有机组分的交换位上；由于铁、锰氧化物、有机质等的配位络合作用而被吸附在专性吸附位上；进入矿物晶格中；与土壤中其他物质发生沉淀。其中前两种形态活性较大，对植物是有效的，专性吸附中的弱专性吸附态也属有效；而强专性吸附态和后二种形态属固定态，但有时也会因条件改变而转化为植物可利用的形态。

国内外对土壤重金属有效态进行了很多的测定方法研究，大多采用化学试剂提取法。土壤重金属有效态的提取，除了提取水溶态外，一般是利用提取剂的离

子交换、溶解（酸溶或碱溶）和螯合等作用来提取的。常用的提取剂有弱酸溶液、弱碱溶液（提取砷）、缓冲溶液、中性盐溶液和螯合剂。但是，对于土壤污染评判的有效态测定方法尚未研究建立。从已有的研究状况来看，大多是针对局部地区的土壤进行的，并受当地土壤性质的制约，各个研究者所采用的提取剂种类、浓度和提取条件往往因区域的不同而不同，其应用有较大局限性。

二是土壤性质。影响土壤中重金属有效性和迁移性的土壤性质主要有：

①土壤 pH 值。土壤 pH 值是土壤性质的一项十分重要的指标，它制约着土壤中的成分和化学反应。通常，土壤对大多数重金属元素的容量，随 pH 值升高而增大，在中性和微碱性土壤条件下容量较大。其中例外的是砷、钼、硒以及六价铬，这些元素通常在碱性或石灰性土壤条件下活性较大。在酸性土壤中，Cd、Hg、Ni、Zn 等相对活性较大，As、Cr 等活性中等；在中性—碱性土壤中，As、Cr⁶⁺等活性较大，Cd、Hg、Zn 等活性中等。

在注意到土壤 pH 值对重金属活性影响的同时，还应看到土壤酸碱性直接对植物生长的影响。各种植物对土壤酸碱性的适应性不同；对一般作物而言，土壤过酸、过碱均不适。在酸性土壤中，土壤 pH5.0 以下时，一般作物生长会受到土壤酸度的显著影响；pH4.5 以下时，受害较重。在碱性土壤中，如易溶性盐中总碱度达 1cmol (+) /kg 以上，往往伴有碱化，土壤含有一定数量的交换性钠，pH 可达 9.0 以上，对作物有严重的危害。因此，对于过酸、过碱的土壤，不仅要注意土壤重金属的环境标准值，也要注意酸、碱对作物的危害。

②土壤固相载体。土壤中的粘土矿物、有机质、铁、锰、铝等的水合氧化物，以及碳酸盐、磷酸盐等与外来的重金属会在固液界面上发生相互作用。它们对重金属具有一定的交换吸附作用和专性吸附作用，或是化学沉淀反应，从而使重金属在土壤中存在的化学形态有所变化，对植物的效应也有所不同。不同的粘土矿物、有机质的种类和数量，具有不同的阳离子交换量（CEC），它在一定程度上反映保持养分能力的大小。不同的铁、锰、铝等的水合氧化物、有机质等，具有不同的专性吸附量。专性吸附是由于与重金属的配位络合作用而产生的，它对重金属有着较大的固定性。土壤中的碳酸盐、磷酸盐也能与外来的重金属发生化学反应，从而降低其可溶性。

③氧化还原状况。重金属在不同土壤条件下往往可有多种价态存在。土壤重

金属的迁移特性和对作物的危害性常与其本身存在价态密切有关。重金属的价态变化是通过氧化还原反应实现的。当六价铬进入水田土壤时，就会还原成难溶的三价铬而固定在土壤中，从而减轻了铬对作物的危害。就土壤中砷的价态而言，主要有三价和五价之分，亚砷酸比砷酸危害性大许多倍；可见砷与铬等相反，当土壤处于氧化状态时，它的危害比较轻，而当土壤淹水还原时，随着氧化还原电位的下降，砷酸还原成亚砷酸，加重了砷对水稻的危害。镉在淹水条件下，有利于难溶性硫化镉的形成，从而可能降低糙米含镉量。铜、铅在淹水还原条件下也易形成难溶性硫化铜、硫化铅。所以对于有些污染物项目，氧化还原状况不同，重金属危害性的差别还是很大的，标准有必要划分旱地、水田两类分别予以制订。但是，在实际制订中，有些污染物项目的水田与旱地数值相近，似无必要区分。因此，只对砷、铬的水田和旱地分别订出标准值。水旱轮作的土壤，执行较严的标准值。

④土壤物理性状。土壤孔隙性、持水性、透水性等在一定程度上制约着水分运行，也影响着污染物对地下水或地表水的污染问题。地面径流和土壤侵蚀，与土壤表层物理性状（土壤结构性、结持性等）有关，也涉及地表水污染问题。因此，标准的制订中，特别考虑砂性、低有机质含量土壤（透水性强、结持性差），采取前面所述的 CEC 指标，规定 $CEC \leq 5 \text{cmol (+) / kg}$ 土壤，标准值减半。

（2）污染物因素

由于污染物各自本身特性的不同，与土壤的相互作用也有很大差异，因而它们在土壤中的活性也有所不同。例如铜、铅较易固定，镉的活性较大。重金属存在的化学形态、价态也影响甚大。三价铬的活性要小于六价铬活性，五价砷的活性没有三价砷的大。污泥或尾矿砂中的重金属活性要小于污水中的重金属活性。当不同来源（污水、污泥、垃圾、肥料、尾矿砂等）的重金属进入土壤后，由于它原有的活性不同，因而在土壤中与其他组分的相互作用而形成的结合形态也会有所不同，从而土壤环境基准值也会不同。但标准中不可能过细地按不同来源给予分别制定，往往同一土壤也可能有多种来源。因此，标准中主要依据污水为来源（或水溶性污染物试验）所得的基准值为依据而予以制订。

在自然条件下，单一重金属污染虽有发生，但通常发生多种重金属元素的复合污染。有些重金属元素之间有拮抗作用，有些有协同作用，情况较为复杂。在

制订标准时理应考虑多元素的复合影响问题。但是，关于复合污染的研究，目前国内外尚在研究阶段，难于提供依据资料。因此，标准中暂时未考虑复合污染的影响。

（3）植物因素

土壤中污染物对植物的影响，各种植物是不一样的。有的植物较易从土壤中吸收，有的则较难。植物生长期有不同，生长期短的，富集量较少。有的植物对污染物较敏感，有的则不然。植物生长茁壮，抗逆性强。可见，土壤中污染物对植物的危害，是因植物而异的。

大多数植物的各部位的重金属浓度是：根>茎叶>籽实，也有的植物并不如此。土壤中镉对蔬菜的影响，以叶菜类为大，果菜类次之，根菜及豆角类最次。所以蔬菜类农产品安全问题与各种可食部位有关，情况相当复杂。因此，土壤标准的制订，旱地主要以一般生长的小麦、叶菜类蔬菜等旱作物为对象，水田以水稻为对象。

（4）气候因素

年际之间，因气温、降水等的差异可造成土壤性质和植物生长的差异，以及植物对污染物的吸收和污染物在植物体内迁移、积累与分布的差异。在不利的湿热条件下生物对重金属的抗性降低，从而得出的土壤重金属最高允许浓度与在有利的水热状况下求得的最大允许浓度是不同的。限于资料的局限性，标准制订中只能适当考虑气候因素。

综上，土壤标准值是从生态环境效应体系中综合考虑取保守值而制订的。一般来说，低于土壤标准值，说明在大多数情况下土壤均不会产生污染危害，而高于土壤标准值，说明在有些情况下会产生污染危害，所以依据土壤标准的评判实际上存在一个概率的问题。土壤是否实际存在污染危害，尚须进一步具体调查核实，解决土壤标准应用中存在的不确定性。

10 征求意见和技术审查情况

10.1 第一次征求意见

2015年1月13日，环境保护部向社会第一次公开征求意见（环办函〔2015〕69号）。第一次征求意见材料书面印发国务院相关部委，各省、自治区、直辖市

环境保护局（厅）及其环境监测中心站，各环境保护重点城市环境保护局，相关科研院所，环境保护部相关直属单位等 245 家单位，并在环境保护部政府网站和《中国环境报》上公布征求意见文件，回复情况如下：

《农用地土壤环境质量标准》共有 96 个单位回函反馈了书面意见，其中提出书面修改意见的单位 52 个；另有 20 个单位或个人通过电子邮件或公开评论等方式提出了意见。编制组共收到 298 条意见，主要涉及标准制订的目的、标准名称和作用、标准体系结构、土壤污染物控制项目、标准确定方法和依据、土壤 pH 分区、土壤镉、铅、六六六和滴滴涕标准值调整、新增土壤污染物项目标准值确定、土壤重金属有效性、土壤污染物分析方法和实施与监督等内容。标准编制组逐条讨论和处理这些意见，除少量超出标准修订工作范围的意见外，研究采纳、部分采纳和原则采纳 230 条，占 87.1 %。

2015 年 4 月 2 日，环境保护部科技标准司在北京组织召开了上述两个标准征求意见稿专家研讨会，专门邀请了来自农业、国土部门和高校、科研机构的关注本标准修订工作的专家，听取其修改意见和建议。在此基础上，编制组完成了《农用地土壤环境质量标准》二次征求意见稿，配套编制了《土壤环境质量评价技术规范（征求意见稿）》。

10.2 第二次征求意见

2015 年 8 月 14 日向社会公开征求第二次意见（环办函[2015]1320 号）。征求意见单位数量 245 个，共有 58 个单位回函提出了意见，其中：回函提出书面修改意见的单位数量 17 个；回函未提出书面修改意见的单位数量 41 个。另有其他非主送单位/个人 5 个提出了意见。编制组对 105 条意见（包括无意见）进行了逐条处理，其中对标准肯定及提出问题的 64 条，问题已回答，采纳或部分采纳 49 条，未采纳 15 条。有 85.7 % 的意见（占 105 条意见）得到采纳或部分采纳（包括无意见）。

第二次征求意见的反馈意见大部分为标准文本中相关表述的准确性和理解性等问题。未采纳的意见及理由如下：

一是建议增加其他用地类型。如：食用型林地、养殖用地。编制组认为，本次标准中农用地分类严格按照国家标准划分，园地、草地等类型已经包括食用型林地、养殖用地，目前分类中尚未包括其他特殊用地类型，可参照执行。

二是建议增加标准项目。如：稀土元素、铝、当前正在使用的农药、二恶英类、挥发性有机污染物（苯、甲苯、二甲苯等）、铍、钡、钛、银、狄氏剂等。编制组认为本次适当增加了当前环境管理与执行中急需的污染物项目，按照上文所说的污染物项目筛选原则，这些污染物项目暂不纳入本标准。

三是关于六六六和滴滴涕标准值调整。认为我国土壤中六六六和滴滴涕污染已不严重，不需要再加严标准值。编制组认为土壤中六六六和滴滴涕加严与食品中六六六和滴滴涕含量限值国家标准加严保持同步，有利于与相关国家标准的衔接。另有建议分别规定六六六和滴滴涕各种组分的标准值，编制组认为以规定总量限值、与食品中标准相一致为宜。

10.3 专家审议

2015年10月23日，环境保护部科技标准司组织召开标准审议会，形成如下技术审查意见：

一是本标准的制定对于保护农用地土壤环境，控制土壤污染风险，保障农产品质量安全具有重要意义。标准主编单位开展了大量的支撑性研究，对我国土壤环境现状及管理需求进行了深入分析，系统研究了世界上主要国家和地区农用地土壤环境质量标准现状，提供的标准编制材料完整，内容详实。

二是本次标准修订后适用于耕地、园地、林地和草地等农用地的土壤环境质量评价与管理，标准修订的总体思路和技术路线科学合理，充分利用了全国土壤污染状况调查数据和最新的科研成果，充分考虑各部门和单位关于标准修订的意见和建议，选择的基本项目和其他项目及其限定值符合我国现实情况，总体上合理可行，可满足当前土壤环境管理的迫切需求。

三是同意标准通过审议，建议进一步修改完善标准文本及编制说明相关表述。

编制组根据专家意见和建议，修改完善了土壤评价不确定性分析的相关表述，对林地土壤镉和汞的标准值可以依据对作物生长的临界含量值进行了调整，分别为7.0和5.0mg/kg。对新增项目钴和钒的参考限值，统一调整为“七五”土壤环境背景数据的95%分位数（分别为24mg/kg和150mg/kg）。