**农产品产地土壤重金属安全分级评价技术规定（征求意见稿）**

**编 制 说 明**

**《农产品产地土壤重金属安全分级评价技术规定》制定项目组**

**农业农村部环境保护科研监测所**

**二〇一八年六月**

目 录

[1 制定背景及任务来源 1](#_Toc517854722)

[2 工作过程 1](#_Toc517854723)

[3 标准编制原则和主要技术内容确定的依据 4](#_Toc517854724)

[4 与现行法律法规和强制性标准的关系 73](#_Toc517854725)

[5 标准作为强制性或推荐性标准发布的意见 74](#_Toc517854726)

[6 其他需要说明的问题 74](#_Toc517854727)

[附件1 《农业用地土壤重金属污染防治法律情况综述》及土壤重金属污染相关法律法规名单 76](#_Toc517854728)

[附件2 《国外发达国家农业用地土壤限量标准研究》及土壤限量标准名单 96](#_Toc517854729)

[附件3 文献摘录数据来源汇总表 112](#_Toc517854730)

[附件4 土壤重金属污染防治相关专著及研究报告名单 132](#_Toc517854731)

[附件5 土壤重金属及理化性质与农产品重金属含量之间的关系模型 134](#_Toc517854732)

[附件6 《农产品产地重金属安全评价方法专题研究》专题摘要 197](#_Toc517854733)

[附件7 技术规定编制过程中咨询的专家名单 205](#_Toc517854734)

[附件8 “农产品产地土壤重金属污染控制研究”问卷调查 207](#_Toc517854735)

[附件9 《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》重要事件簿 212](#_Toc517854736)

[附件10 参考初选值测算依据（附图） 213](#_Toc517854737)

# 1 制定背景及任务来源

农产品产地安全是农产品质量安全的源头。由于历史及现实多方面的原因，我国产地安全形势十分严峻，其突出表现是土壤重金属污染危害。作为国务院《重金属污染综合防治“十二五”规划》的内容之一，在财政部的大力支持下，农业部于2012年组织开展了全国农产品产地土壤重金属污染防治工作。其中一项重点任务是，全面摸清农产品产地土壤重金属污染底数，完善产地安全质量档案，建立农产品产地分级管理制度。

然而，由于产地污染物来源、种类的复杂性，污染物-环境行为的特殊性，环境-作物反应、作物-污染物响应的多样性等原因，我国尚未制定专门的农产品产地土壤环境质量标准，也未建立相应的评估方法和标准流程，农产品产地分级管理制度的建立缺乏必要的依据。

为适应我国现阶段土壤环境保护新形势，农业部科技教育司从2014年起组织开展本规定的制定工作，由农业部环境保护科研监测所、农业部环境监测总站担任技术支持，组织整合相关科研力量，研究起草了《全国农产品产地土壤重金属安全评价技术规定》。为我国农产品产地土壤重金属安全评估、等级划分和管理等提供必要的技术支撑。

# 2 工作过程

2012年3月农业部、财政部项目全国“农产品产地土壤重金属污染防治”在北京启动，受农业部科技教育司委托，农业部环境监测总站作为牵头单位为整个项目提供技术支撑，并成立了专门的项目执行组。

2012年-2013年，执行组全面梳理国内外相关法律法规，通过深入分析农产品产地土壤安全利用与管理的实际需求，收集整理了全国46部农产品产地土壤污染防治相关法规、规章或规范性法律文件，以及美国、日本等11个国家和地区的31部相关法律制度，并据此编制了《农业用地土壤重金属污染防治法律情况综述》1份（见附件1）；同时，完成了典型国家农产品产地重金属限量标准调研，共计梳理我国产地环境限量标准35个，国外相关限量标准28个，形成研究报告1份（见附件2）。查阅、整理国内外论文2500余篇（重点摘录文献信息见附件3），专著25部，研究报告21份（专著及报告名单见附件4）。为本技术规定的制定提供了详实的技术资料。

2014年3月农业部环境监测总站在天津成立了《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》编制组，明确该技术规定的作用、适用范围、主要内容。

2014年-2015年编制组梳理了现有的4大类22种土壤重金属评价方法的原理、适用条件和计算方法，摘录了各省（市、区）土壤和农产品一对一重金属检测数据12000条，拟合土壤重金属及理化性质与农产品重金属含量之间的关系模型共计1300个（具体模型见附件5），并设置16项专题研究，形成13.8万字的调研报告（各专题摘要见附件6），系统分析了镉、砷、铅、汞、铬等五种重金属在不同农产品中的累积特性以及关键土壤理化性质对其迁移转化性能的影响，为农产品产地污染分级评价奠定了基础。

通过深入分析比较，选用公益性行业（农业）科研专项“主要农产品产地土壤重金属污染阈值研究与防控技术集成示范”以及质检公益性行业专项“农产品产地土壤食用质量安全等级评价方法及重金属限量标准研究”相关研究成果作为评估参考初选值制定的基本依据。上述项目以我国典型区域粮食和蔬菜产地为研究对象，通过探明农产品产地土壤重金属污染的主控因素，结合模拟模型技术，提出了小麦、玉米、水稻、根菜和叶菜产地的镉、砷、铅、汞、铬土壤重金属安全阈值，并编制了相关标准建议30余套。

同时，以农业部环境监测总站及各省级农业环保站历年大田监测数据为依据，对上述安全阈值进行了验证修正，进而提出本规定中所述参考初选值。最后，选择湖南、江苏、辽宁、重庆、甘肃等典型省份以往监测结果对参考初选值进行检验，分析其能否保护90%以上农产品的质量安全，经验证有效后，最终确定此评估参比值。

同时，为广泛征询业内对本规定的意见和建议，我们从评估方法、评估标准、分级管理等多角度走访相关领域专家学者64人次（咨询专家名单见附件7），召开专家研讨会6次，发放调查问卷160份（调查问卷具体内容见附件8），回收有效问卷115份，涵盖研究机构、高等院校、省级农业主管部门的专家和技术人员，对本分级评估方法的科学性、合理性和可靠性等方面进行了充分的专业评述和论证。

其中，2014年12月，编制组按照全国“农产品产地土壤重金属污染防治”普查工作要求，结合现行标准修订情况，形成了《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》（草稿）；2015年7月召开两次农产品产地土壤重金属安全评估方法研讨会，根据研讨情况及征询专家反馈意见，不断修订完善后最终形成《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》（专家论证稿）及其编制说明；2015年8月《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》通过专家论证，10月农业部办公厅正式发文（农办科【2015】42号），为全国农产品产地土壤重金属污染普查工作提供了技术支撑。

本规定编制过程重要事件薄见附件9。

# 3 标准编制原则和主要技术内容确定的依据

（1）标准编制原则

①突出农业特点

重金属污染评价应综合考虑土壤环境质量现状和农产品受污染风险程度，并区分考量不同种类农产品、不同土壤条件对不同重金属污染物的敏感性，评价的核心问题是农产品质量安全。

②对应管理策略

重金属污染评价应体现不同污染程度农产品产地安全管理的不同诉求，各个污染等级均需对应不同的重金属污染防治策略和管理方法。

（2）主要技术内容确定的依据

①农作物种植类型

我国地大物博，农作物种类繁多，加之耕作制度较多，多数地区为一年两熟、一年三熟等。考虑到不同种类农产品对土壤重金属的敏感性差异较大、大宗农产品种植区域相对稳定、为不同区域不同种类甚至品种农作物单独提出产地土壤风险评估参比值条件不够成熟等原因，我们在查阅大量文献资料的基础上，通过对不同区域不同种类农产品富集系数的统计分析，提出了以作物对重金属敏感性为主要依据的“土壤农作物种植类型”的分类方法。主要依据如下：

**镉**

现有文献报告中对于不同农产品中镉富集能力排序的结论并不一致，虽然从品种上有一些统计学规律，但是难以从农作物大类上区分镉敏感作物和非敏感作物。例如：李铭红等研究表明几种农作物镉的转移系数大小顺序为**玉米>大麦>紫云英>小麦>大豆>水稻**，且这几种农作物对镉的转移系数均在0.50-0.95之间。另一方面，pH=5.6-8.2的浙江省红壤、黄壤和棕黄壤上农作物对镉的富集能力排序为**大麦>大豆>紫云英>水稻>小麦>玉米**。

水稻是目前镉污染关注度最高的农产品，但是对其物种敏感性的表述也有很大差异。如：pH<5.5的云南省红壤上农作物对镉的富集能力排序为**水稻>蚕豆>小麦>玉米**。然而，pH=6.5-7.5的江苏省水利科学研究所实验中心红壤上农作物对镉的富集能力排序为**小麦>水稻>油菜>蚕豆**；pH=6.5-7.5的天津污灌区盐化潮土上农作物对镉的富集能力排序为**小麦>水稻；**沈大高速公路两侧的壤土上农作物对镉的富集能力排序为**玉米>水稻**。

即便是pH相近的地区，其农作物对镉的富集能力也有很大差异性。以蔬菜为例，pH=8.11的国家北京褐潮土土壤肥力和肥料效益检测基地褐潮土上农作物对镉的富集能力排序为**叶菜类>茄果类>甘蓝类>根菜类>葱蒜类>瓜类>豆类。**而pH=7.94-8.48的衡阳市有代表性的连片农作物产地红壤和水稻土上农作物对镉的富集能力排序为**叶菜类>根茎类>其他蔬菜**；pH=7.0-7.5的山西省太原市褐土上农作物对镉的富集能力排序为**叶菜类>茄果类>豆类>根菜类**。

如上所述，各类农作物对镉的富集系数变异幅度较大，很难看出其中是否存在明显差异，因此，本规定中镉的评估参比值制定不区分农作物种类，给出统一评估参比值。

**汞**

考虑到汞在环境中迁移转化规律的特殊性，依据现有文献资料，难以对农作物吸收汞的能力做出准确排序。从大类上看，既有蔬菜强于粮食的报道，也有粮食大于蔬菜的结果。比如：pH=6-7的淮安市绿色食品生产基地黄棕壤上农作物对汞的富集能力排序为**瓜果类蔬菜>茎叶类蔬菜>水稻籽实>果豆类蔬菜>小麦籽实；**pH=6-7的贵州铅锌矿黄壤上农作物对汞的富集能力排序为**萝卜>甘薯>西红柿>红薯>水稻籽>玉米籽=大豆。**H=7-8的淮南矿区水稻土和紫色土上农作物对汞的富集能力排序为**玉米>黄豆>辣椒>萝卜>红薯>雪里蕻；**pH=6.5-7.5的天津盐化湿潮土上农作物对汞的富集能力排序为**蔬菜>水稻。**

**同时，对于蔬菜而言，也是既有叶菜类富集能力较强的观点，又有瓜果类蔬菜污染较严重的说法。比如：**广州蔬菜地的叶菜类、瓜菜类、豆菜类、茄果类4大类作物进行调查，**番茄**对汞的富集能力是最高的(富集系数大于0.0811)，**其次**为**油麦菜，芥菜、小白菜**等蔬菜的富集能力居于中等水平，**菠菜、荷兰豆、生菜、菜心、玉豆**等蔬菜的富集能力则相对较小；pH=5.17-6-32的成都市近郊白马村黄壤上农作物对汞的富集能力排序为**萝卜>莴苣>豌豆尖>空心菜>四季豆**。另一方面， pH<8的保定、石家庄、衡水、沧州污染区栗钙土上农作物对汞的富集能力排序为**叶菜类>根菜类>粮食籽类**；pH=7左右的葫芦岛市连山区、龙港区棕壤上农作物对汞的富集能力排序为**白菜>西红柿>辣椒>韭菜>豆角。**

因此，与镉相同，本规定中汞的评估参比值制订不区分农作物种类，给出统一评估参比值。

**砷**

与其他农作物相比，水稻对砷的累积能力要更强一些。例如：pH<5.5的云南红壤上农作物对砷的富集能力排序为**水稻>玉米>蚕豆**。pH<7的河南省西北部潮土上农作物对砷的富集能力排序为**水稻>花生>玉米**。pH=6-7的淮安市绿色食品生产基地黄棕壤上农作物对砷的富集能力排序为**水稻籽实>茎叶类蔬菜>果豆类蔬菜>瓜果类蔬菜**。pH=6.5-7.5的天津盐化湿潮土上农作物对砷的富集能力排序为**水稻>蔬菜**。pH=6-7的贵州铅锌矿黄壤上农作物对砷的富集能力排序为**水稻籽=大豆>红薯>甘薯>西红柿>玉米籽**。pH=7.0-7.5的山西省太原市褐土上农作物对砷的富集能力排序为**水稻>豆角>西红柿>菠菜>白菜>萝卜>玉米。**

另一方面，蔬菜对砷的累积能力也不容忽视。pH=6.9的徐州市某灌区褐土上农作物对砷的富集能力排序为**蔬菜>小麦>玉米**。pH=7.5-8.5的北京市近郊区砂粉粒和砂粉土上农作物对砷的富集能力排序为**叶菜类>葱蒜类>根茎类>小麦>玉米>果实类**。pH=5.3-6.8的衡阳市有代表性的连片农作物产地红壤和水稻土上农作物对砷的富集能力排序为**稻米>普通蔬菜>叶菜＝根茎类>小麦**。

因此，本规定中砷的评估参比值制订时，将水稻和蔬菜与其他农产品区分开来，单独制订评估参比值。

**铅**

不同农作物对铅的吸收能力差异很大，但是总体而言，与汞类似，蔬菜类，特别是叶菜、根菜、茎菜等，对于铅的富集能力明显高于其他农作物。pH=6-7的淮安市绿色食品生产基地黄棕壤上农作物对铅的富集能力排序为**茎叶类蔬菜>小麦籽实>水稻籽实>瓜果类蔬菜>果豆类蔬菜**。pH=6.94-7.48的广西中部偏南的宾阳县东部棕壤和红壤上农作物对铅的富集能力排序为**水果>蔬菜>薯类>粮食**。pH<8的保定、石家庄、衡水、沧州污染区栗钙土上农作物对铅的富集能力排序为**叶菜类>根菜类>粮食籽类**。pH=5.3-6.8的衡阳市有代表性的连片农作物产地红壤和水稻土上农作物对铅的富集能力排序为**叶菜类＝根茎类>稻米>小麦>普通蔬菜**。

因此，本规定中铅的评估参比值制订分蔬菜和其他农产品两大类，单独制订评估参比值。

**铬**

现有文献报道中，对于农作物对铬的富集能力的相关研究并不常见，但从已搜集的资料来看，蔬菜作物的敏感性要远大于其他农作物，而水稻、小麦、玉米三大主粮作物，其富集能力虽有差异，但并不显著。pH=5.92的哈尔滨平房区黑土上农作物对铬的富集能力排序为**黄瓜>白菜>玉米**。pH为 6.5-7.5的江苏省水利科学研究所实验中心红壤上农作物对铬富集能力排序为**油菜>小麦>蚕豆**。pH为6-7的贵州铅锌矿周围黄壤上农作物对铬的富集能力排序为**西红柿>玉米>大豆>萝卜>水稻>甘薯>红薯**。pH=6.25-7.11的弱酸性土壤上农作物对铬的富集能力排序为**油菜>玉米>大麦>水稻**。pH=6.94-7.48的广西中部偏南的宾阳县东部棕壤和红壤上农作物对铬的的富集能力排序为**蔬菜>水果>粮食>薯类**。

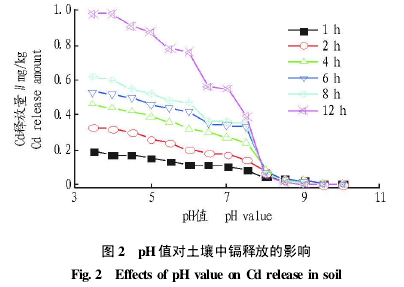
因此，与铅类似，本规定中铬的评估参比值制订分蔬菜和其他农产品两大类，单独制订评估参比值。

②pH分档

影响土壤重金属活性的因素很多，主要包括pH、有机质、阳离子交换量、机械组成等。其中，土壤pH 值不仅直接控制着重金属氢氧化物、碳酸盐、磷酸盐的溶解度，而且还决定着重金属的水解、离子半径的形成、有机物质的溶解及土壤表面电荷的性质等，因而在重金属吸附过程中起着主导作用。通过研究相关材料，并结合已有的大量文献报道，本规定中仍依据土壤pH值划分为三档来制定评估参比值。主要依据如下：

**土壤pH与镉活性的关系**

据报道，土壤中镉的释放量与土壤pH的关系如图1所示。



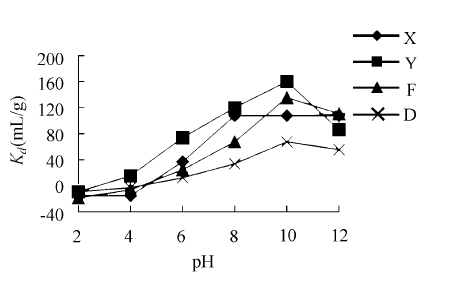
**图1 土壤pH对镉释放量的影响**

如图所示，随土壤pH不断增大，土壤镉的释放量逐渐减少，大致可分为三个阶段，第一阶段是pH<6，随土壤pH不断增大，镉释放量快速降低；第二阶段是从pH=6至pH=8，土壤镉释放量几乎不随pH变化而变化；第三阶段是pH>8，镉释放量随土壤pH增加第二次快速降低。

因此，对于镉而言，依土壤pH分为三段分别制定评估参比值较为适宜。

**土壤pH与汞活性的关系**

土壤pH值是影响重金属汞有效性的最重要因素,因为它不仅影响重金属汞在土壤溶液中的形态,而且通过影响土壤颗粒表面交换性能而影响其有效性。当土壤pH在1～8范围内随pH增加土壤对汞的吸附量也增加，但当pH>8时，对土壤吸附汞量的影响较小，见图2。



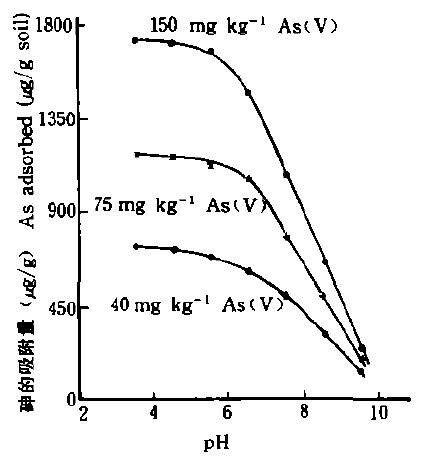
**图2 土壤pH对汞在土壤溶液中分配系数的影响**

因此，对于汞而言，可参照其他重金属分档方式，依土壤pH分为三段分别制定评估参比值。

**土壤pH与砷活性的关系**

一般认为，在相同浓度下，土壤pH对砷吸附的影响呈规律性变化（图3）。在酸性条件下，pH值对砷吸附的影响不大，而当pH升高到一定程度时，砷吸附量随pH增加而锐减。因此，在pH-砷吸附的关系曲线中，都有一个拐点，拐点的pH值在5.5-6.5之间。

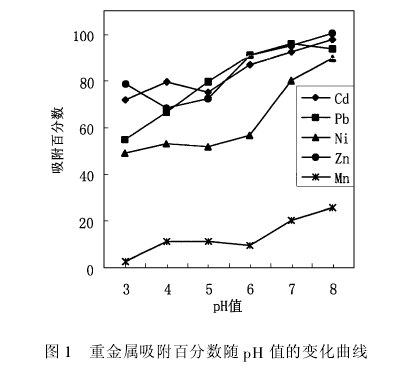
因此，对于砷而言，依土壤pH分为三段分别制定评估参比值较为适宜。但是，需要说明的是，在碱性条件下，砷的吸附量会随土壤pH增大显著降低，考虑到现有pH分档方法和土壤风险管控需要，选择pH接近7.5的条件作为土壤评估参比值制定依据是比较稳妥的，即pH在6.5-7.5之间和pH>7.5制定相同的参比值。



**图3 水稻土中砷的吸附量随pH变化曲线**

**土壤pH与铅活性的关系**

在较低pH 值时，溶液中的铅离子呈阳离子状态，由于H+离子浓度较高，H+离子对铅离子存在竞争吸附，影响重金属离子的交换吸附，此时土壤对铅离子的吸附效果较差；随着体系pH 的升高，土壤中的粘土矿物、水合氧化物和有机质表面的负电荷增加，对铅离子的吸附力加强，而且在氧化物表面的专性吸附、土壤有机质-金属络合物的稳定性随pH 升高而增强，因而，随着pH 增大，土壤对铅吸附量表现出增大趋势。以粘土为例，由图4可以看出，粘土对多种重金属的吸附均随土壤溶液的pH值升高而增强。



**图4 重金属吸附量随土壤pH的变化情况**

因此，对于铅而言，可参照其他重金属分档方式，依土壤pH分为三段分别制定评估参比值。

**土壤pH与铬活性的关系**

依据《土壤环境质量标准详解》，在正常土壤中，铬以四种形态存在：两种三价的形态，即Cr3+阳离子和CrO2-阴离子；两种六价的阴离子形态，即Cr2O72-、CrO42-，其中，三价铬活性与六价铬活性随土壤pH变化情况是完全相反的，而土壤中三价铬是主要形态，因此，土壤铬的环境标准主要依据三价铬性质而定。

一般认为土壤对Cr（Ⅲ）的吸附量随pH 值升高而增加。以振荡平衡法比较了来自中国 15 个省区 16 种土壤对 Cr（Ⅲ）的吸附及其动力学特性，总体上看，土壤溶液中游离的Cr(Ⅲ)含量随pH升高而减少，说明低pH条件下，Cr（Ⅲ）活性更强。

此外，据报道，在酸性介质中由Cr（Ⅵ）转化为Cr（Ⅲ）有利，即Cr2O72-在酸性介质中是强氧化剂，用一般还原剂都可将其转化为Cr（Ⅲ）；在碱性介质中，由Cr（Ⅲ）转化为Cr（Ⅵ）较为有利。所以，考虑土壤pH与铬活性的关系不仅要考虑吸附作用，更要分析氧化还原过程的影响。

总之，现有研究表明，Cr（Ⅲ）在中碱性条件下在土壤中的迁移性很弱。因此，对于铬而言，依然参照其他重金属分档方式，依土壤pH分为三段分别制定评估参比值。

③参比值定值

**定值依据**

本规定首先依据公益性行业（农业）科研专项“主要农产品产地土壤重金属污染阈值研究与防控技术集成示范”相关研究结果确定评估参比值的初步范围（表1），再依据所搜集的大量产地土壤和农产品一对一监测数据，在此范围内充分检验其合理性。

**表1 行业科研专项中重金属污染阈值及评估参比值初筛检验范围**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cd** | | **分段建议标准（mg/kg）** | | | | | | | | |
| **农产品** | **PH<6.5** | | | **6.5<PH<7.5** | | | | **PH>7.5** | | |
| **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** |
| **水稻** | 0.3 | 0.34 | 0.37 | 0.48 | 0.56 | 0.62 | | 0.57 | 0.68 | 0.76 |
| **小麦** | 0.33 | 0.45 | 0.54 | 0.49 | 0.7 | 0.87 | | 0.57 | 0.82 | 1.03 |
| **玉米** | 0.29 | | | 0.39 | | | | 0.52 | | |
| **叶菜** | 0.09 | 0.18 | 0.27 | 0.28 | 0.56 | 0.84 | | 0.42 | 0.83 | 1.24 |
|  | **OC=5** | **OC=10** | **OC=20** | **OC=5** | **OC=10** | **OC=20** | | **OC=5** | **OC=10** | **OC=20** |
| **根菜** | 0.23 | 0.26 | 0.29 | 0.33 | 0.38 | 0.44 | | 0.38 | 0.45 | 0.52 |
| **检验范围** | **0.1-0.4** | | | **0.3-0.6** | | | | **0.4-0.7** | | |
| **Hg** | | **分段建议标准（mg/kg）** | | | | | | | | |
| **农产品** | **PH<6.5** | | | **6.5<PH<7.5** | | | | **PH>7.5** | | |
| **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** |
| **水稻** | 0.56 | 0.74 | 0.87 | 0.79 | 1.05 | 1.25 | | 0.89 | 1.19 | 1.41 |
| **小麦** | 0.56 | | | 0.68 | | | | 0.81 | | |
| **叶菜** | 0.2 | | | 0.5 | | | | 0.6 | | |
|  | **pH=5** | **pH=5.5** | **pH=6** | **pH=6.5** | **pH=7** | **pH=7.5** | | **pH=8** | **pH=8.5** | **pH=9** |
| **玉米** | 0.3 | 0.34 | 0.38 | 0.43 | 0.49 | 0.55 | | 0.62 | 0.7 | 0.79 |
|  | **TALOX=50** | **TALOX=70** | **TALOX=90** | **TALOX=50** | **TALOX=70** | **TALOX=90** | | **TALOX=50** | **TALOX=70** | **TALOX=90** |
| **根菜** | 1.3 | 1.9 | 2.6 | 2.3 | 3.3 | 4.5 | | 2.7 | 4 | 5.4 |
| **检验范围** | **0.2-0.6** | | | **0.4-1.0** | | | | **0.6-1.4** | | |
| **As** | | **分段建议标准（mg/kg）** | | | | | | | | |
| **农产品** | **PH<6.5** | | | **6.5<PH<7.5** | | | | **PH>7.5** | | |
| **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** |
| **水稻** | 25.8 | 30.2 | 33.3 | 20.9 | 24 | 26.2 | | 19.7 | 22.4 | 24.3 |
| **小麦** | 87.6 | | | 52.6 | | | | 44.6 | | |
|  | **pH=5** | **pH=5.5** | **pH=6** | **pH=6.5** | **pH=7** | **pH=7.5** | | **pH=8** | **pH=8.5** | **pH=9** |
| **玉米** | 66 | 60.3 | 55.1 | 50.4 | 46.1 | 42.1 | | 38.5 | 35.2 | 32.1 |
|  | **TFeOX=15** | **TFeOX=25** | **TFeOX=30** | **TFeOX=15** | **TFeOX=25** | **TFeOX=30** | | **TFeOX=15** | **TFeOX=25** | **TFeOX=30** |
| **根菜** | 47 | 95 | 123 | 30 | 62 | 80 | | 26 | 54 | 69 |
| **叶菜** | 19.1 | 37.2 | 55 | 13.7 | | | | 17.7 | | |
| **检验范围** | **20-30（水稻、蔬菜）** | | | **20-30（水稻、蔬菜）** | | | | **20-35（水稻、蔬菜）** | | |
| **40-60（其他）** | | | **30-50（其他）** | | | | **20-40（其他）** | | |
| **Pb** | | **分段建议标准（mg/kg）** | | | | | | | | |
| **农产品** | **PH<6.5** | | | **6.5<PH<7.5** | | | | **PH>7.5** | | |
| **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** |
| **小麦** | 161 | 250 | 327 | 345 | 552 | 730 | | 450 | 724 | 960 |
| **叶菜** | 12.7 | 24.1 | 32.5 | 68.7 | 130.6 | 176 | | 120.7 | 229.3 | 309 |
| **玉米** | 235 | | | 201.8 | | | | 279.1 | | |
|  | **CEC=5** | **CEC=15** | **CEC=25** | **CEC=5** | **CEC=15** | **CEC=25** | | **CEC=5** | **CEC=15** | **CEC=25** |
| **水稻** | 88 | 104 | 114 | 188 | 231 | 255 | | 249 | 308 | 340 |
| **根菜** | 39 | 52 | 63 | 64 | 101 | 129 | | 79 | 132 | 171 |
| **检验范围** | **10-50（蔬菜）** | | | **60-130（蔬菜）** | | | | **80-180（蔬菜）** | | |
| **90-230（其他）** | | | **150-250（其他）** | | | | **200-300（其他）** | | |
| **Cr** | | **分段建议标准（mg/kg）** | | | | | | | | |
| **农产品** | **PH<6.5** | | | **6.5<PH<7.5** | | | **PH>7.5** | | | |
| **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | **OC=10** | **OC=20** | **OC=30** | **OC=10** | | **OC=20** | **OC=30** |
| **水稻** | 140 | 175 | 200 | 210 | 270 | 315 | 245 | | 320 | 375 |
| **玉米** | 0.29 | | | 0.39 | | | 0.52 | | | |
| **叶菜** | 39 | 44.6 | 48.3 | 162.4 | 185.9 | 201.2 | 261.2 | | 299 | 323.6 |
| **小麦** | 231.3 | | | 259.3 | | | 292.3 | | | |
|  | **OC=5** | **OC=10** | **OC=20** | **OC=5** | **OC=10** | **OC=20** | **OC=5** | | **OC=10** | **OC=20** |
| **根菜** | 501 | 526 | 553 | 162 | 170 | 179 | 122 | | 128 | 135 |
| **检验范围** | **50-160（蔬菜）** | | | **160-250（蔬菜）** | | | **130-300（蔬菜）** | | | |
| **150-250（其他）** | | | **210-280（其他）** | | | **240-320（其他）** | | | |

主要判断标准包括保护率和过保护率两个指标，其中，保护率反映的是土壤不超过参比值时农产品安全的概率，以确保参比值的制定不会过松；过保护率反映的是土壤超过参比值但农产品不超标的概率，以确保参比值的制定不会过紧，二者结合使用、综合考虑，其具体计算公式如下：

保护率=N1/(N1+N2）\*100%

过保护率= N4/(N3+N4）\*100%

其中，N1是指土壤中重金属含量不超过参比值且农产品中重金属含量不超过国家限量值的样本数量；

N2是指土壤中重金属含量不超过参比值但农产品中重金属含量超过国家限量值的样本数量；

N3是指土壤中重金属含量超过参比值但农产品中重金属含量不超过国家限量值的样本数量；

N4是指土壤中重金属含量超过参比值且农产品中重金属含量超过国家限量值的样本数量。

一般来说，我们认为任何一项参比值的制定，必须保证每类农产品的保护率不得低于90%（个别元素农产品总体超标率较高时，保护率可放宽到85%），过保护率不应高于30%，最好不超过25%。

**数据情况**

本规定所涉及的评估参比值制定均经过我站历年来土壤和农产品一对一监测数据检验，所需数据共计11817条，按行政区划分，北京市605条、天津市492条、吉林省1059条、辽宁省422条、山西省244条、山东省464条、河南省1576条、浙江省893条、湖北省979条、湖南省3177条、四川省631条、云南省392条、广东省883条；按农产品种类分，水稻4087条、小麦1636条、玉米2177条、叶菜类蔬菜1959条、根茎类蔬菜1392条、其他蔬菜566条；按重金属种类分，镉11788对、汞11358对、砷11628对、铅11478对、铬11611对。

数据分布具体形态见表2-6。

**表2 评估参比值测算数据中镉的数据分布情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **省份** | **农产品** | **样本数** | **最小值** | **最大值** | **算术平均值** | **标准偏差** | **10%分位值** | **25%分位值** | **中位值** | **75%分位值** | **90%分位值** |
| **北京** | 小麦 | 231 | 0.00 | 1.44 | 0.52 | 0.39 | 0.11 | 0.19 | 0.42 | 0.85 | 1.16 |
| 玉米 | 227 | 0.01 | 1.11 | 0.49 | 0.33 | 0.12 | 0.18 | 0.42 | 0.80 | 0.99 |
| 叶菜 | 122 | 0.01 | 1.36 | 0.47 | 0.38 | 0.06 | 0.17 | 0.38 | 0.66 | 1.12 |
| 根茎 | 3 | 0.16 | 0.18 | 0.17 | 0.01 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | -- | -- |
| 其他 | 22 | 0.07 | 0.31 | 0.17 | 0.06 | 0.10 | 0.14 | 0.17 | 0.19 | 0.22 |
| **广东** | 叶菜 | 217 | 0.01 | 19.07 | 0.85 | 2.06 | 0.10 | 0.26 | 0.49 | 0.69 | 0.96 |
| 根茎 | 405 | 0.00 | 16.65 | 1.03 | 1.76 | 0.10 | 0.22 | 0.42 | 0.84 | 3.11 |
| 其他 | 258 | 0.01 | 14.95 | 0.75 | 1.86 | 0.11 | 0.22 | 0.37 | 0.64 | 0.83 |
| **河南** | 小麦 | 1002 | 0.00 | 23.91 | 2.70 | 4.87 | 0.10 | 0.22 | 0.44 | 3.05 | 7.42 |
| 玉米 | 507 | 0.00 | 2.54 | 0.80 | 0.74 | 0.09 | 0.23 | 0.44 | 1.37 | 2.09 |
| 叶菜 | 38 | 0.13 | 1.07 | 0.33 | 0.15 | 0.20 | 0.28 | 0.31 | 0.34 | 0.45 |
| 根茎 | 5 | 0.36 | 0.63 | 0.50 | 0.10 | 0.36 | 0.46 | 0.53 | 0.53 | -- |
| 其他 | 24 | 0.14 | 0.88 | 0.40 | 0.14 | 0.28 | 0.33 | 0.39 | 0.47 | 0.51 |
| **湖北** | 水稻 | 449 | 0.12 | 3.59 | 0.37 | 0.43 | 0.20 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 1.38 |
| 玉米 | 3 | 0.55 | 0.73 | 0.63 | 0.09 | 0.55 | 0.55 | 0.62 | -- | -- |
| 叶菜 | 421 | 0.00 | 4.82 | 1.02 | 1.09 | 0.09 | 0.22 | 0.46 | 1.65 | 2.91 |
| 根茎 | 34 | 0.38 | 4.99 | 1.58 | 1.17 | 0.54 | 0.72 | 1.18 | 2.10 | 3.23 |
| 其他 | 72 | 0.13 | 4.77 | 0.60 | 0.60 | 0.21 | 0.25 | 0.44 | 0.92 | 0.98 |
| **湖南** | 水稻 | 2997 | 0.17 | 4.45 | 0.56 | 0.44 | 0.38 | 0.47 | 0.50 | 0.52 | 0.64 |
| 玉米 | 141 | 0.01 | 7.27 | 2.05 | 2.24 | 0.12 | 0.28 | 1.18 | 3.17 | 6.15 |
| 叶菜 | 7 | 0.45 | 1.43 | 1.03 | 0.33 | 0.45 | 0.83 | 1.03 | 1.34 | -- |
| 根茎 | 24 | 0.10 | 6.81 | 1.61 | 1.24 | 0.78 | 1.09 | 1.44 | 1.94 | 2.25 |
| 其他 | 7 | 0.45 | 2.69 | 1.10 | 0.73 | 0.45 | 0.82 | 0.85 | 1.08 | -- |
| **吉林** | 玉米 | 713 | 0.00 | 2.79 | 0.85 | 0.82 | 0.10 | 0.22 | 0.43 | 1.49 | 2.25 |
| 叶菜 | 344 | 0.00 | 5.41 | 1.44 | 1.66 | 0.09 | 0.22 | 0.42 | 2.64 | 4.26 |
| 其他 | 2 | 0.20 | 0.58 | 0.39 | 0.27 | 0.20 | 0.20 | 0.58 | -- | -- |
| **辽宁** | 水稻 | 402 | 0.13 | 0.94 | 0.33 | 0.08 | 0.25 | 0.28 | 0.33 | 0.37 | 0.40 |
| 叶菜 | 20 | 0.18 | 0.74 | 0.41 | 0.15 | 0.26 | 0.31 | 0.40 | 0.48 | 0.67 |
| **山东** | 叶菜 | 60 | 0.01 | 0.21 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.08 |
| 根茎 | 311 | 0.01 | 0.63 | 0.30 | 0.21 | 0.03 | 0.09 | 0.29 | 0.52 | 0.59 |
| 其他 | 74 | 0.02 | 0.56 | 0.08 | 0.08 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.11 | 0.14 |
| **山西** | 玉米 | 216 | 0.00 | 2.97 | 0.75 | 0.80 | 0.08 | 0.19 | 0.37 | 1.19 | 2.20 |
| 叶菜 | 28 | 0.13 | 0.82 | 0.26 | 0.14 | 0.15 | 0.19 | 0.22 | 0.30 | 0.41 |
| **四川** | 水稻 | 228 | 0.33 | 1.91 | 0.44 | 0.19 | 0.34 | 0.35 | 0.37 | 0.46 | 0.59 |
| 小麦 | 403 | 0.00 | 3.03 | 0.88 | 0.90 | 0.08 | 0.20 | 0.42 | 1.48 | 2.39 |
| **天津** | 叶菜 | 479 | 0.00 | 3.49 | 0.99 | 1.04 | 0.08 | 0.19 | 0.41 | 1.82 | 2.74 |
| 其他 | 13 | 0.13 | 0.63 | 0.28 | 0.13 | 0.15 | 0.19 | 0.25 | 0.32 | 0.41 |
| **云南** | 水稻 | 10 | 0.45 | 9.08 | 2.31 | 3.01 | 0.56 | 0.58 | 0.85 | 1.93 | 9.08 |
| 玉米 | 370 | 0.00 | 12.87 | 1.99 | 2.49 | 0.10 | 0.23 | 0.47 | 3.51 | 6.38 |
| 其他 | 12 | 0.92 | 81.81 | 8.99 | 23.06 | 1.01 | 1.61 | 1.84 | 2.20 | 9.76 |
| **浙江** | 叶菜 | 220 | 0.09 | 9.42 | 0.85 | 1.14 | 0.16 | 0.19 | 0.34 | 1.24 | 2.11 |
| 根茎 | 596 | 0.00 | 9.42 | 0.68 | 0.65 | 0.12 | 0.25 | 0.47 | 1.01 | 1.32 |
| 其他 | 71 | 0.12 | 0.59 | 0.28 | 0.11 | 0.17 | 0.20 | 0.25 | 0.33 | 0.44 |
| **总计** | | **11788** | **0.00** | **81.81** | **0.92** | **1.98** | **0.13** | **0.26** | **0.47** | **0.75** | **2.12** |

**表3 评估参比值测算数据中汞的数据分布情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **省份** | **农产品** | **样本数** | **最小值** | **最大值** | **算术平均值** | **标准偏差** | **10%分位值** | **25%分位值** | **中位值** | **75%分位值** | **90%分位值** |
| **北京** | 小麦 | 231 | 0.001 | 0.674 | 0.172 | 0.126 | 0.034 | 0.074 | 0.141 | 0.255 | 0.359 |
| 玉米 | 227 | 0.001 | 0.405 | 0.182 | 0.112 | 0.037 | 0.078 | 0.178 | 0.275 | 0.347 |
| 叶菜 | 122 | 0.004 | 0.585 | 0.214 | 0.151 | 0.038 | 0.101 | 0.190 | 0.293 | 0.443 |
| 根茎 | 3 | 0.029 | 0.040 | 0.033 | 0.006 | 0.029 | 0.029 | 0.030 | -- | -- |
| 其他 | 22 | 0.017 | 0.583 | 0.094 | 0.132 | 0.026 | 0.029 | 0.053 | 0.099 | 0.138 |
| **广东** | 叶菜 | 213 | 0.014 | 1.248 | 0.225 | 0.209 | 0.055 | 0.102 | 0.151 | 0.284 | 0.487 |
| 根茎 | 403 | 0.003 | 2.879 | 0.308 | 0.402 | 0.052 | 0.094 | 0.170 | 0.281 | 0.803 |
| 其他 | 254 | 0.000 | 3.708 | 0.228 | 0.336 | 0.054 | 0.093 | 0.141 | 0.209 | 0.480 |
| **河南** | 小麦 | 1002 | 0.000 | 3.233 | 0.364 | 0.583 | 0.040 | 0.093 | 0.190 | 0.287 | 0.791 |
| 玉米 | 507 | 0.001 | 0.955 | 0.226 | 0.213 | 0.032 | 0.088 | 0.174 | 0.265 | 0.597 |
| 叶菜 | 35 | 0.012 | 0.261 | 0.063 | 0.056 | 0.016 | 0.029 | 0.048 | 0.069 | 0.122 |
| 根茎 | 4 | 0.028 | 0.091 | 0.062 | 0.032 | 0.028 | 0.041 | 0.087 | 0.091 | -- |
| 其他 | 24 | 0.014 | 0.378 | 0.074 | 0.075 | 0.017 | 0.034 | 0.054 | 0.099 | 0.126 |
| **湖北** | 水稻 | 449 | 0.110 | 0.800 | 0.289 | 0.195 | 0.127 | 0.132 | 0.139 | 0.450 | 0.578 |
| 玉米 | 3 | 0.071 | 0.139 | 0.109 | 0.035 | 0.071 | 0.071 | 0.118 | -- | -- |
| 叶菜 | 389 | 0.001 | 1.167 | 0.263 | 0.261 | 0.040 | 0.105 | 0.181 | 0.279 | 0.696 |
| 根茎 | 14 | 0.100 | 0.284 | 0.160 | 0.049 | 0.100 | 0.129 | 0.160 | 0.180 | 0.212 |
| 其他 | 5 | 0.113 | 0.157 | 0.138 | 0.019 | 0.113 | 0.124 | 0.143 | 0.151 | -- |
| **湖南** | 水稻 | 2997 | 0.062 | 1.315 | 0.202 | 0.099 | 0.119 | 0.136 | 0.214 | 0.225 | 0.232 |
| 玉米 | 141 | 0.004 | 2.539 | 0.413 | 0.557 | 0.054 | 0.105 | 0.235 | 0.455 | 0.795 |
| 叶菜 | 7 | 0.342 | 0.966 | 0.604 | 0.203 | 0.342 | 0.494 | 0.564 | 0.765 | -- |
| 根茎 | 24 | 0.126 | 1.094 | 0.599 | 0.226 | 0.365 | 0.462 | 0.605 | 0.742 | 0.891 |
| 其他 | 7 | 0.296 | 0.765 | 0.609 | 0.160 | 0.296 | 0.495 | 0.667 | 0.693 | -- |
| **吉林** | 玉米 | 713 | 0.002 | 10.386 | 1.089 | 2.349 | 0.043 | 0.095 | 0.186 | 0.280 | 4.708 |
| 叶菜 | 344 | 0.003 | 2.372 | 0.343 | 0.479 | 0.043 | 0.098 | 0.187 | 0.276 | 1.157 |
| 其他 | 2 | 0.779 | 2.260 | 1.520 | 1.047 | 0.779 | 0.779 | 2.260 | -- | -- |
| **辽宁** | 水稻 | 383 | 0.019 | 0.991 | 0.101 | 0.063 | 0.075 | 0.082 | 0.095 | 0.110 | 0.118 |
| **山东** | 根茎 | 246 | 0.006 | 0.601 | 0.191 | 0.139 | 0.040 | 0.079 | 0.165 | 0.259 | 0.369 |
| 其他 | 3 | 0.007 | 0.078 | 0.039 | 0.036 | 0.007 | 0.007 | 0.033 | -- | -- |
| **山西** | 玉米 | 216 | 0.001 | 1.111 | 0.222 | 0.231 | 0.033 | 0.081 | 0.164 | 0.253 | 0.496 |
| 叶菜 | 28 | 0.029 | 0.246 | 0.095 | 0.050 | 0.037 | 0.066 | 0.087 | 0.122 | 0.158 |
| **四川** | 水稻 | 228 | 0.093 | 0.751 | 0.226 | 0.200 | 0.138 | 0.141 | 0.145 | 0.151 | 0.739 |
| 小麦 | 403 | 0.000 | 1.567 | 0.298 | 0.372 | 0.036 | 0.079 | 0.171 | 0.279 | 0.951 |
| **天津** | 叶菜 | 479 | 0.003 | 3.972 | 0.534 | 0.933 | 0.039 | 0.097 | 0.180 | 0.282 | 2.345 |
| 其他 | 13 | 0.058 | 7.028 | 1.394 | 1.952 | 0.077 | 0.399 | 0.765 | 1.054 | 3.732 |
| **云南** | 水稻 | 10 | 0.083 | 0.280 | 0.180 | 0.084 | 0.098 | 0.101 | 0.237 | 0.267 | 0.280 |
| 玉米 | 370 | 0.000 | 1.239 | 0.271 | 0.265 | 0.051 | 0.108 | 0.186 | 0.289 | 0.705 |
| 其他 | 12 | 0.100 | 0.328 | 0.223 | 0.065 | 0.160 | 0.193 | 0.217 | 0.286 | 0.314 |
| **浙江** | 叶菜 | 223 | 0.024 | 13.162 | 0.499 | 1.271 | 0.036 | 0.099 | 0.239 | 0.589 | 1.020 |
| 根茎 | 596 | 0.000 | 1.654 | 0.260 | 0.242 | 0.050 | 0.111 | 0.197 | 0.319 | 0.482 |
| 其他 | 6 | 0.029 | 0.042 | 0.038 | 0.007 | 0.029 | 0.029 | 0.042 | 0.042 | -- |
| **总计** | | **11358** | **0.000** | **13.162** | **0.316** | **0.736** | **0.059** | **0.112** | **0.179** | **0.247** | **0.531** |

**表4 评估参比值测算数据中砷的数据分布情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **省份** | **农产品** | **样本数** | **最小值** | **最大值** | **算术平均值** | **标准偏差** | **10%分位值** | **25%分位值** | **中位值** | **75%分位值** | **90%分位值** |
| **北京** | 小麦 | 231 | 0.8 | 82.5 | 31.8 | 23.7 | 5.8 | 9.4 | 27.1 | 52.1 | 68.0 |
| 玉米 | 227 | 0.3 | 61.0 | 25.5 | 16.6 | 5.9 | 10.2 | 24.0 | 36.6 | 50.5 |
| 叶菜 | 122 | 0.5 | 53.7 | 20.2 | 16.1 | 3.5 | 6.8 | 15.3 | 31.9 | 46.3 |
| 根茎 | 3 | 5.2 | 8.8 | 7.0 | 1.8 | 5.2 | 5.2 | 7.1 | -- | -- |
| 其他 | 22 | 5.2 | 23.2 | 11.0 | 5.2 | 6.5 | 7.3 | 8.3 | 16.0 | 18.4 |
| **广东** | 叶菜 | 212 | 0.9 | 52.6 | 15.1 | 8.6 | 5.6 | 7.9 | 15.2 | 19.8 | 26.9 |
| 根茎 | 404 | 0.2 | 102.1 | 19.9 | 19.8 | 4.4 | 7.7 | 13.8 | 22.4 | 43.1 |
| 其他 | 256 | 2.3 | 72.8 | 14.3 | 10.2 | 5.0 | 7.4 | 11.3 | 19.7 | 23.6 |
| **河南** | 小麦 | 1002 | 0.0 | 779.7 | 88.3 | 141.0 | 5.6 | 14.2 | 26.9 | 78.7 | 296.4 |
| 玉米 | 507 | 0.0 | 74.9 | 30.1 | 20.6 | 5.0 | 13.2 | 27.1 | 41.5 | 62.9 |
| 叶菜 | 38 | 2.2 | 13.3 | 6.2 | 2.4 | 3.1 | 5.2 | 6.0 | 6.3 | 9.2 |
| 根茎 | 5 | 5.8 | 15.2 | 12.1 | 3.7 | 5.8 | 12.3 | 13.3 | 13.8 | -- |
| 其他 | 24 | 2.3 | 16.8 | 9.4 | 3.8 | 4.7 | 5.4 | 10.7 | 11.7 | 14.5 |
| **湖北** | 水稻 | 449 | 4.6 | 31.1 | 13.6 | 7.4 | 6.7 | 8.2 | 11.0 | 15.1 | 28.3 |
| 玉米 | 3 | 9.6 | 14.9 | 12.4 | 2.7 | 9.6 | 9.6 | 12.8 | -- | -- |
| 叶菜 | 421 | 0.3 | 138.4 | 26.8 | 26.5 | 4.8 | 8.9 | 17.1 | 32.0 | 72.4 |
| 根茎 | 34 | 9.6 | 445.6 | 42.4 | 80.3 | 10.0 | 12.1 | 18.4 | 35.4 | 70.9 |
| 其他 | 72 | 6.5 | 55.2 | 13.4 | 7.1 | 6.5 | 8.6 | 12.6 | 16.8 | 20.6 |
| **湖南** | 水稻 | 2995 | 0.9 | 123.5 | 18.4 | 7.8 | 10.1 | 13.0 | 17.0 | 21.9 | 29.4 |
| 玉米 | 141 | 0.3 | 310.3 | 36.5 | 36.1 | 5.8 | 14.9 | 27.1 | 48.5 | 75.4 |
| 叶菜 | 7 | 10.8 | 81.7 | 50.7 | 29.9 | 10.8 | 25.5 | 54.8 | 80.8 | -- |
| 根茎 | 24 | 1.6 | 159.0 | 57.1 | 49.6 | 3.7 | 21.4 | 31.3 | 98.4 | 132.5 |
| 其他 | 7 | 11.6 | 103.9 | 52.9 | 31.2 | 11.6 | 22.9 | 54.8 | 76.3 | -- |
| **吉林** | 玉米 | 713 | 0.0 | 902.4 | 160.6 | 253.3 | 5.2 | 12.9 | 28.4 | 216.3 | 631.5 |
| 叶菜 | 344 | 0.2 | 215.2 | 50.4 | 59.5 | 5.0 | 10.6 | 19.8 | 81.7 | 152.2 |
| 其他 | 2 | 60.0 | 201.0 | 130.5 | 99.7 | 60.0 | 60.0 | 201.0 | -- | -- |
| **辽宁** | 水稻 | 383 | 7.2 | 22.9 | 13.8 | 2.5 | 10.8 | 11.9 | 13.9 | 15.9 | 17.1 |
| **山东** | 叶菜 | 56 | 5.5 | 10.1 | 7.6 | 1.2 | 6.1 | 6.5 | 7.7 | 8.6 | 9.4 |
| 根茎 | 301 | 0.2 | 74.0 | 20.3 | 18.5 | 4.4 | 7.9 | 13.3 | 23.2 | 51.9 |
| 其他 | 43 | 6.4 | 9.3 | 7.6 | 0.6 | 7.1 | 7.2 | 7.5 | 7.9 | 8.6 |
| **山西** | 玉米 | 216 | 0.1 | 94.8 | 29.6 | 22.1 | 6.9 | 12.5 | 25.0 | 37.6 | 63.3 |
| 叶菜 | 28 | 7.8 | 14.4 | 11.2 | 1.7 | 9.6 | 10.0 | 11.0 | 12.4 | 13.8 |
| **四川** | 水稻 | 228 | 2.7 | 25.0 | 7.9 | 6.5 | 3.4 | 4.6 | 5.8 | 7.5 | 24.2 |
| 小麦 | 403 | 0.2 | 67.7 | 30.4 | 19.0 | 6.6 | 13.8 | 28.6 | 45.3 | 59.1 |
| **天津** | 叶菜 | 479 | 0.1 | 126.2 | 30.6 | 33.2 | 3.6 | 8.9 | 17.5 | 34.3 | 90.6 |
| 其他 | 13 | 10.7 | 34.2 | 17.5 | 6.7 | 10.9 | 12.2 | 17.1 | 19.5 | 25.6 |
| **云南** | 水稻 | 10 | 30.9 | 611.0 | 162.1 | 179.3 | 35.5 | 42.0 | 141.9 | 247.3 | 611.0 |
| 玉米 | 370 | 0.4 | 986.0 | 105.1 | 152.8 | 6.6 | 14.0 | 29.2 | 134.0 | 378.5 |
| 其他 | 12 | 57.6 | 873.2 | 181.5 | 250.0 | 59.6 | 73.1 | 90.2 | 116.0 | 503.5 |
| **浙江** | 叶菜 | 219 | 3.6 | 76.2 | 11.0 | 10.1 | 4.2 | 5.2 | 7.9 | 12.2 | 20.0 |
| 根茎 | 596 | 0.1 | 104.6 | 18.1 | 13.8 | 4.3 | 7.7 | 15.3 | 24.4 | 38.8 |
| 其他 | 6 | 5.1 | 5.3 | 5.1 | 0.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.3 | -- |
| **总计** | | **11628** | **0.0** | **986.0** | **39.0** | **91.6** | **6.0** | **10.2** | **17.1** | **29.1** | **58.7** |

**表5 评估参比值测算数据中铅的数据分布情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **省份** | **农产品** | **样本数** | **最小值** | **最大值** | **算术平均值** | **标准偏差** | **10%分位值** | **25%分位值** | **中位值** | **75%分位值** | **90%分位值** |
| **北京** | 小麦 | 231 | 0.7 | 365.6 | 137.1 | 99.5 | 23.1 | 41.8 | 125.8 | 198.2 | 289.6 |
| 玉米 | 227 | 0.2 | 204.1 | 99.2 | 63.1 | 13.8 | 37.2 | 101.4 | 153.5 | 185.5 |
| 叶菜 | 122 | 2.1 | 126.8 | 54.4 | 32.8 | 15.7 | 27.7 | 48.2 | 77.7 | 104.1 |
| 根茎 | 3 | 13.4 | 28.4 | 22.3 | 7.9 | 13.4 | 13.4 | 25.0 | -- | -- |
| 其他 | 22 | 5.5 | 99.0 | 32.1 | 25.2 | 9.0 | 17.7 | 27.4 | 29.6 | 83.7 |
| **广东** | 叶菜 | 217 | 4.8 | 617.9 | 57.9 | 65.3 | 23.0 | 32.1 | 40.8 | 62.3 | 86.7 |
| 根茎 | 405 | 0.3 | 480.2 | 51.0 | 63.1 | 9.5 | 20.4 | 33.3 | 53.8 | 119.5 |
| 其他 | 258 | 4.4 | 453.3 | 50.4 | 47.6 | 21.7 | 31.8 | 39.6 | 55.2 | 75.3 |
| **河南** | 小麦 | 1002 | 0.1 | 2265.5 | 332.8 | 535.3 | 27.7 | 67.2 | 132.4 | 192.4 | 1252.5 |
| 玉米 | 507 | 0.0 | 830.2 | 213.4 | 214.5 | 26.5 | 68.7 | 142.7 | 245.0 | 606.8 |
| 叶菜 | 38 | 78.1 | 232.7 | 97.5 | 27.0 | 81.1 | 83.6 | 88.7 | 101.5 | 126.2 |
| 根茎 | 5 | 90.3 | 139.8 | 119.5 | 18.7 | 90.3 | 114.8 | 123.1 | 129.7 | -- |
| 其他 | 24 | 82.4 | 145.7 | 104.8 | 17.8 | 86.1 | 91.7 | 99.1 | 118.4 | 127.1 |
| **湖北** | 水稻 | 449 | 68.4 | 125.9 | 92.3 | 11.8 | 76.9 | 83.7 | 91.6 | 99.4 | 109.3 |
| 玉米 | 3 | 60.0 | 174.5 | 103.0 | 62.4 | 60.0 | 60.0 | 74.3 | -- | -- |
| 叶菜 | 421 | 0.4 | 442.8 | 82.7 | 109.6 | 6.5 | 17.5 | 32.2 | 95.6 | 277.0 |
| 根茎 | 34 | 44.1 | 256.4 | 110.3 | 45.4 | 63.7 | 90.1 | 100.1 | 110.9 | 192.9 |
| 其他 | 72 | 40.0 | 176.0 | 83.2 | 29.3 | 59.6 | 66.7 | 75.8 | 93.0 | 122.4 |
| **湖南** | 水稻 | 2774 | 4.8 | 749.8 | 64.7 | 80.3 | 37.6 | 43.2 | 51.5 | 60.9 | 67.1 |
| 玉米 | 141 | 0.2 | 1376.4 | 227.5 | 309.6 | 26.0 | 45.2 | 82.3 | 258.0 | 748.9 |
| 叶菜 | 7 | 75.3 | 499.4 | 259.2 | 139.3 | 75.3 | 117.8 | 272.0 | 317.5 | -- |
| 根茎 | 24 | 53.1 | 920.6 | 243.3 | 163.1 | 119.9 | 170.6 | 223.1 | 258.8 | 341.7 |
| 其他 | 7 | 123.2 | 520.5 | 266.2 | 147.0 | 123.2 | 143.7 | 197.5 | 375.3 | -- |
| **吉林** | 玉米 | 713 | 0.2 | 553.8 | 132.4 | 145.3 | 15.4 | 39.7 | 74.2 | 165.0 | 380.8 |
| 叶菜 | 344 | 0.1 | 156.4 | 39.8 | 38.9 | 4.6 | 12.6 | 27.4 | 50.0 | 104.0 |
| 其他 | 2 | 28.6 | 84.1 | 56.3 | 39.3 | 28.6 | 28.6 | 84.1 | -- | -- |
| **辽宁** | 水稻 | 402 | 26.0 | 194.1 | 52.2 | 12.7 | 40.9 | 44.9 | 51.6 | 58.9 | 63.8 |
| 叶菜 | 20 | 20.9 | 67.0 | 35.6 | 13.4 | 24.4 | 27.0 | 29.2 | 49.5 | 56.9 |
| **山东** | 叶菜 | 45 | 8.1 | 17.4 | 11.9 | 2.3 | 9.3 | 10.1 | 11.6 | 13.0 | 16.0 |
| 根茎 | 296 | 0.1 | 143.4 | 54.0 | 39.9 | 10.5 | 16.1 | 46.6 | 79.0 | 116.0 |
| 其他 | 36 | 9.5 | 30.3 | 16.4 | 5.2 | 10.8 | 13.3 | 15.4 | 18.7 | 26.9 |
| **山西** | 玉米 | 216 | 7.5 | 399.0 | 162.1 | 109.1 | 31.6 | 73.8 | 145.3 | 236.4 | 345.9 |
| 叶菜 | 28 | 15.4 | 63.8 | 23.6 | 8.6 | 17.9 | 20.0 | 21.9 | 24.8 | 29.0 |
| **四川** | 水稻 | 228 | 3.3 | 138.9 | 60.4 | 38.5 | 17.6 | 26.5 | 54.6 | 88.0 | 125.2 |
| 小麦 | 403 | 0.4 | 714.4 | 155.9 | 192.5 | 14.2 | 32.9 | 70.1 | 220.8 | 494.1 |
| **天津** | 叶菜 | 479 | 0.3 | 506.9 | 110.5 | 132.3 | 11.8 | 29.8 | 53.4 | 114.2 | 360.3 |
| 其他 | 13 | 10.5 | 34.4 | 20.5 | 6.6 | 11.6 | 16.9 | 21.0 | 21.9 | 28.7 |
| **云南** | 水稻 | 10 | 34.1 | 799.8 | 266.2 | 272.4 | 34.3 | 36.7 | 312.7 | 493.7 | 799.8 |
| 玉米 | 370 | 0.1 | 1563.0 | 148.9 | 184.7 | 13.8 | 33.0 | 76.9 | 206.0 | 434.5 |
| 其他 | 12 | 42.2 | 1605.0 | 310.1 | 431.6 | 51.3 | 97.2 | 184.4 | 434.6 | 476.0 |
| **浙江** | 叶菜 | 217 | 4.5 | 481.9 | 68.3 | 85.7 | 17.8 | 23.1 | 34.6 | 55.7 | 171.5 |
| 根茎 | 587 | 0.1 | 481.9 | 54.6 | 55.9 | 9.1 | 19.9 | 37.6 | 62.5 | 139.4 |
| 其他 | 64 | 20.7 | 276.3 | 112.6 | 57.3 | 35.8 | 83.9 | 110.4 | 148.9 | 189.3 |
| **总计** | | **11478** | **0.0** | **2265.5** | **112.5** | **207.4** | **18.2** | **36.5** | **56.9** | **99.8** | **204.6** |

**表6 评估参比值测算数据中铬的数据分布情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **省份** | **农产品** | **样本数** | **最小值** | **最大值** | **算术平均值** | **标准偏差** | **10%分位值** | **25%分位值** | **中位值** | **75%分位值** | **90%分位值** |
| **北京** | 小麦 | 231 | 4.5 | 597.8 | 175.7 | 134.7 | 48.5 | 62.1 | 137.8 | 251.6 | 371.2 |
| 玉米 | 227 | 0.2 | 438.0 | 169.3 | 112.7 | 29.7 | 76.3 | 159.4 | 252.9 | 322.5 |
| 叶菜 | 122 | 2.9 | 461.5 | 120.4 | 85.6 | 36.8 | 58.1 | 108.7 | 171.1 | 226.2 |
| 根茎 | 3 | 56.3 | 62.1 | 59.0 | 2.9 | 56.3 | 56.3 | 58.5 | -- | -- |
| 其他 | 22 | 51.2 | 82.4 | 64.4 | 8.9 | 53.0 | 57.7 | 66.2 | 71.6 | 75.0 |
| **广东** | 叶菜 | 217 | 6.1 | 405.2 | 65.8 | 40.3 | 27.9 | 39.9 | 60.9 | 85.6 | 98.7 |
| 根茎 | 406 | 0.9 | 580.4 | 104.1 | 106.1 | 24.3 | 36.9 | 67.3 | 130.2 | 229.2 |
| 其他 | 258 | 6.2 | 154.5 | 59.4 | 31.7 | 24.0 | 34.3 | 54.5 | 83.7 | 100.9 |
| **河南** | 小麦 | 1002 | 0.0 | 2307.2 | 306.9 | 458.3 | 30.7 | 76.2 | 160.9 | 261.1 | 987.5 |
| 玉米 | 507 | 1.5 | 447.2 | 180.0 | 119.1 | 27.9 | 86.0 | 166.9 | 257.9 | 362.3 |
| 叶菜 | 38 | 22.1 | 73.6 | 39.1 | 16.1 | 23.4 | 26.3 | 29.6 | 48.9 | 64.6 |
| 根茎 | 5 | 27.3 | 51.9 | 44.1 | 9.7 | 27.3 | 45.7 | 47.5 | 48.3 | -- |
| 其他 | 24 | 21.1 | 73.4 | 45.1 | 12.8 | 28.4 | 39.5 | 44.1 | 56.2 | 60.0 |
| **湖北** | 水稻 | 449 | 18.4 | 1313.7 | 53.9 | 75.5 | 30.3 | 33.7 | 38.9 | 44.3 | 60.7 |
| 玉米 | 3 | 33.3 | 42.8 | 38.7 | 4.9 | 33.3 | 33.3 | 40.0 | -- | -- |
| 叶菜 | 421 | 1.3 | 476.2 | 131.7 | 110.9 | 25.7 | 41.0 | 103.1 | 198.6 | 273.7 |
| 根茎 | 34 | 10.4 | 76.1 | 35.9 | 14.5 | 23.9 | 26.8 | 33.4 | 39.8 | 46.4 |
| 其他 | 72 | 19.3 | 87.2 | 43.7 | 11.6 | 30.1 | 34.6 | 41.0 | 51.9 | 56.1 |
| **湖南** | 水稻 | 2864 | 40.3 | 327.3 | 69.5 | 29.4 | 50.7 | 56.8 | 65.1 | 73.1 | 83.0 |
| 玉米 | 141 | 1.6 | 686.9 | 174.2 | 152.9 | 40.7 | 63.2 | 126.0 | 244.3 | 395.7 |
| 叶菜 | 7 | 48.2 | 78.1 | 67.2 | 10.0 | 48.2 | 61.9 | 67.8 | 75.3 | -- |
| 根茎 | 24 | 35.8 | 106.8 | 70.4 | 19.0 | 42.2 | 57.9 | 72.3 | 81.2 | 97.1 |
| 其他 | 7 | 58.1 | 74.1 | 65.6 | 5.3 | 58.1 | 59.9 | 66.5 | 67.9 | -- |
| **吉林** | 玉米 | 713 | 0.2 | 612.2 | 180.2 | 131.9 | 35.6 | 78.8 | 160.2 | 247.0 | 359.4 |
| 叶菜 | 344 | 0.1 | 532.1 | 158.7 | 122.2 | 34.1 | 66.2 | 133.3 | 207.6 | 357.5 |
| 其他 | 2 | 59.7 | 87.8 | 73.7 | 19.8 | 59.7 | 59.7 | 87.8 | -- | -- |
| **辽宁** | 水稻 | 383 | 49.3 | 114.4 | 82.8 | 13.3 | 65.7 | 71.2 | 83.3 | 95.6 | 100.1 |
| **山东** | 叶菜 | 56 | 23.7 | 84.6 | 59.2 | 13.7 | 43.3 | 50.1 | 57.2 | 75.1 | 79.9 |
| 根茎 | 312 | 0.3 | 441.1 | 119.1 | 104.9 | 21.2 | 40.3 | 73.4 | 183.0 | 253.7 |
| 其他 | 69 | 38.3 | 62.1 | 46.2 | 5.4 | 39.3 | 41.9 | 45.9 | 49.8 | 54.2 |
| **山西** | 玉米 | 216 | 0.7 | 662.2 | 178.8 | 141.9 | 22.9 | 67.3 | 149.0 | 261.3 | 343.7 |
| 叶菜 | 28 | 39.3 | 88.8 | 65.6 | 9.5 | 52.3 | 62.2 | 67.2 | 71.4 | 74.6 |
| **四川** | 水稻 | 228 | 50.4 | 390.4 | 92.6 | 71.4 | 58.2 | 64.8 | 74.1 | 83.1 | 90.5 |
| 小麦 | 403 | 0.4 | 597.0 | 193.8 | 144.4 | 35.2 | 80.7 | 169.1 | 265.8 | 437.0 |
| **天津** | 叶菜 | 479 | 0.2 | 548.7 | 157.4 | 122.1 | 26.4 | 64.2 | 128.5 | 218.9 | 329.5 |
| 其他 | 13 | 22.1 | 39.8 | 30.8 | 6.7 | 23.4 | 24.8 | 28.2 | 38.4 | 39.3 |
| **云南** | 水稻 | 10 | 35.1 | 140.8 | 89.3 | 43.6 | 40.6 | 55.8 | 116.8 | 129.5 | 140.8 |
| 玉米 | 370 | 1.0 | 1078.8 | 229.2 | 239.6 | 24.6 | 72.5 | 169.2 | 245.7 | 622.3 |
| 其他 | 12 | 72.4 | 194.2 | 126.5 | 30.6 | 101.0 | 104.1 | 129.3 | 142.8 | 148.2 |
| **浙江** | 叶菜 | 223 | 23.2 | 101.7 | 50.7 | 15.4 | 32.6 | 43.5 | 47.7 | 57.4 | 69.7 |
| 根茎 | 596 | 1.4 | 534.2 | 120.6 | 101.2 | 28.1 | 47.7 | 87.8 | 168.1 | 241.1 |
| 其他 | 70 | 32.2 | 74.0 | 53.1 | 7.7 | 40.3 | 51.6 | 53.8 | 57.6 | 59.6 |
| **总计** | | **11611** | **0.0** | **2307.2** | **131.5** | **180.1** | **34.6** | **52.9** | **73.4** | **157.2** | **266.9** |

**定值详述**

近几十年来，世界各国对重金属污染问题的意识不断加强，对于其污染及危害非常重视。美国、欧盟、日本等发达国家均已制定了相应的土壤重金属环境质量标准，涉及污染物修复指导值、消减要求等指标。

**表7 我国与世界其他国家土壤标准比对**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **元素** | **世界各国土壤标准** | | **我国土壤标准** |
| **范围** | **中值** |
| 镉 | 1—5 | 3 | 0.3-0.5 |
| 汞 | 0.4-2 | 1 | 0.3-1.0 |
| 铜 | 80-280 | 100 | 50-100 |
| 锌 | 150-560 | 300 | 200-300 |
| 镍 | 30-70 | 50 | 40-60 |
| 铅 | 50-550 | 100 | 250-350 |
| 铬 | 50-600 | 120 | 150-350 |
| 砷 | 10-20 | - | 20-40 |

这些标准的特点主要有：

第一，一般都将土壤分为农用土壤、工业土壤、人居土壤，分别规定干扰值、目标值、指导值等，分类细，值级清晰。如德国将土壤分为农田（栽培大田作物的）、菜地、花园、草场和绿地，根据不同的用途给出了相应的重金属含量警戒值和限量值，并特别强调在某种特定环境条件（土壤环境容量较低）下或某种对重金属有强富集作用的农作物的产区，土壤中的重金属含量限值应予以相应的调整；

第二，将标准融入法律之中，使法律更具可操作性。日本依据《农用地土壤污染防治法》，将砷、镉、铜规定为土壤重金属污染物，并配之于检测方法和限量值 ，既增加了法律的执行力，又增加了标准的权威性；

第三，针对不同地区，不同动植物种类，制定不同的限量指标，如美国分区域出台标准，生态土壤筛选值(Ecological-SSLs)主要保护的生态受体有植物、无脊椎动物、鸟类及哺乳动物。植物与无脊椎动物主要评估其对土壤污染物直接摄入的暴露途径，鸟类及哺乳动物评估其对土壤污染物直接摄入值与其对生活在土壤中的动植物的食用暴露途径，不作为全国通用的净化标准。

我国于1995年颁布实施《土壤环境质量标准》（GB15618-1995），并沿用至今。然而，如前所述，该标准是依据土壤重金属的地球化学反应特性以及其生态环境效应而制定的，并未充分考虑农产品的质量安全需要，因此，该标准并不适合农产品产地土壤的安全性评价。2015年1月，环境保护部公布了该标准的修订稿，并将其重命名为《农用地土壤环境质量标准》（征求意见稿），对其中镉、铅两个元素的限量标准进行了修订，比较大的变化之处包括：一个是依据土壤pH对镉限量标准重新分档定值，增加“pH<5.5”一档，并放宽中性条件下镉限量值；再一个是大幅降低铅的限量标准，并不在区分土壤pH条件，统一定值为80 mg/kg。然而，我们认为，该标准依然是基于农田生态环境保护目的，而非基于农产品质量安全目的，与原有标准相比只是进行小修小补，并没有从目的性上进行根本的转变，因此，该标准依然不能作为农产品产地土壤重金属安全性评估的依据。

近年来，国外很多研究人员应用不同方法在不同地区分别测算了土壤重金属的临界值、环境容量、生态阈值等指标。主要研究成果如表8-11所示。

**表8 若干类型土壤重金属的临界含量和环境容量**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **临界含量（mg/kg）** | | | **环境容量（g/ha/year）** | | |
|  | **Cd** | **Pb** | **As** | **Cd** | **Pb** | **As** |
| **砖红壤** | **0.63** | **342** | **45** | **28.50** | **7677.0** | **1012.5** |
| **赤红壤** | **0.46** | **287** | **38** | **26.25** | **6526.5** | **1002.0** |
| **红壤** | **0.56** | **230** | **45** | **25.50** | **7717.5** | **996.0** |
| **黄棕壤** | **0.3** | **586** | **51** | **13.35** | **12828** | **958.5** |
| **棕壤** | **1.31** | **--** | **30** | **36.75** | **9451.5** | **799.5** |
| **褐色土** | **1.57** | **360** | **21** | **42.30** | **6595.5** | **--** |
| **黑土** | **1.3** | **500** | **42** | **36** | **10890.0** | **697.5** |
| **灰钙土** | **2.3** | **300** | **25** | **19.56** | **6351.0** | **417.0** |

数据来源：①《中国主要类型土壤若干重金属临界含量和环境容量区域分异的影响》，夏增禄，1994年，土壤学报。②《中国土壤环境容量》，夏增禄（中国科学院地理研究所），1992年，地震出版社。

**表9 粮食产地土壤中重金属的健康风险基准**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Cd** | **Hg** | **Pb** | **Cr** |
| **大米产地** | 2.3 | 0.2 | 6.5 | 47.2 |
| **小麦产地** | 1.0 | 5.0 | 8.0 | 7.0 |

数据来源：《我国粮食产地土壤重金属健康风险基准值研究》，金芬等（中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所），2008年，农业质量标准。

**表10 蔬菜地土壤重金属的健康风险基准**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cd** | **Hg** | **Pb** | **As** | **Cr** |
| 0.3 | 0.5 | 20 | 15 | 15 |

注：收集小白菜、青菜、菠菜、蒿菜、包菜、莴笋、芹菜、芥菜、辣椒、茄子、番茄、黄瓜、丝瓜、苦瓜、冬瓜、四季豆、豇豆、萝卜、马铃薯、胡萝卜、青蒜、韭菜、大葱共23种蔬菜。

数据来源：《重金属和氟的土壤环境质量评价及健康基准的研究》，李静（浙江大学），2006年，博士论文，指导教师：谢正苗、徐建明。

**表11 灰钙土重金属的生态基准**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Cd** | **Pb** | **As** |
| **普通灰钙土** | 4.5 | 300 | 25 |
| **砂砾灰钙土** | 3.5 | 220 | 25 |

数据来源：《灰钙土重金属生态基准》，杨居荣、许嘉琳（北京师范大学），1995年，中国环境科学。

通过文献分析，现有的土壤环境质量标准的制定方法主要包括以下几种：

第一，建立土壤—农产品—人的系统，应用食品卫生标准推算土壤中有害物质的最高允许浓度；

第二，将作物产量减少10%的土壤有害物质浓度，作为最高允许浓度；

第三，当土壤微生物减少或土壤微生物活性降低到一定程度时，土壤有害物质浓度即为最高允许浓度；

第四，对地面水、地下水不产生次生污染时的土壤有害物质临界浓度，作为最高允许浓度；

第五，人体效应指标方法，基于人体血液中有毒物质含量不得超过规定限度而得出的土壤最高允许浓度。

我们认为，对于农业系统而言，以前两种方法建立的土壤环境质量标准更为适用，再具体到重金属元素的评价，一般来说，中低浓度的重金属元素对于农产品产量的影响不大，甚至适度添加重金属还会导致农产品产量增加，只有土壤重金属含量非常高的时候，才会对农产品表现出生物毒性，造成大规模的减产，甚至绝收。因此，以产量降低作为重金属评判依据显然也是不恰当的。

因此，本规定中我们以土壤和农产品一对一监测数据为基础，建立半定量半定性的对应关系，以保护绝大多数农产品质量安全为目标，应用食品卫生标准，推算土壤重金属的最高允许浓度。

综合考虑农产品产量、面积、对重金属的敏感性，以及数据来源情况等因素，按水稻、小麦、玉米、叶菜类蔬菜、根茎类蔬菜分为五大类进行统计分析和参比值的测算。测算过程中，首先寻找能够实现90%保护率的最大土壤重金属含量值作为参考初选值；保护率相近且均大于90%时，应进一步选择过保护率最低的土壤重金属含量值为参考初选值；若所用数据整体保护率偏低，保护率可放宽到85%以上；若所用数据整体保护率偏高（即均大于90%），以过保护率低于25%为判别条件；若所用数据整体差异不大时，无法进行统计分析，不计算参考初选值。参考初选值测算数据见附件10，测算结果如表12所示。

**表12 评估参比值测算结果汇总表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **镉** | **样本数** | **pH<6.5** | | | **pH=6.5-7.5** | | | **pH>7.5** | | |
| **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** |
| 水稻 | 4086 | 0.32 | 92.24% | 15.00% | 0.42 | 95.04% | 19.28% | 0.54 | 92.68% | 24.37% |
| 小麦 | 1636 | 0.30 | 86.49% | 41.80% | 0.44 | 90.07% | 30.95% | 0.56 | 85.43% | 39.56% |
| 玉米 | 2177 | 0.30 | 86.10% | 43.87% | 0.36 | 85.71% | 39.55% | 0.54 | 85.29% | 23.00% |
| 叶菜 | 1956 | 0.32 | 86.10% | 49.72% | -- | -- | -- | 0.58 | 90.31% | 43.39% |
| 根茎 | 1378 | 0.26 | 91.54% | 65.48% | 0.34 | 90.09% | 44.62% | 0.24 | 85.16% | 65.86% |
| **建议值** | | **0.3** | | | **0.4** | | | **0.5** | | |
| **汞** | **样本数** | **pH<6.5** | | | **pH=6.5-7.5** | | | **pH>7.5** | | |
| **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** |
| 水稻 | 4067 | 0.40 | 91.96% | 13.61% | 0.50 | 94.34% | 21.88% | 0.75 | 90.08% | 40.00% |
| 小麦 | 1636 | 0.35 | 86.28% | 26.32% | 0.45 | 88.01% | 53.85% | 0.70 | 87.90% | 66.32% |
| 玉米 | 2177 | 0.20 | 89.61% | 65.29% | 0.35 | 90.64% | 40.91% | 0.85 | 90.56% | 4.00% |
| 叶菜 | 1840 | 0.50 | 85.09% | 32.52% | 0.35 | 85.07% | 49.33% | 1.00 | 86.14% | 24.62% |
| 根茎 | 1290 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 0.55 | 91.25% | 71.43% |
| **建议值** | | **0.3** | | | **0.5** | | | **0.7** | | |
| **砷** | **样本数** | **pH<6.5** | | | **pH=6.5-7.5** | | | **pH>7.5** | | |
| **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** |
| 水稻 | 4065 | 25.0 | 90.02% | 19.48% | 22.5 | 91.22% | 23.08% | 25.0 | 90.24% | 15.38% |
| 小麦 | 1636 | 40.0 | 85.61% | 19.05% | 32.5 | 85.68% | 33.88% | 32.5 | 90.53% | 56.88% |
| 玉米 | 2177 | 55.0 | 85.10% | 26.54% | 40.0 | 86.71% | 32.69% | 40.0 | 86.44% | 17.03% |
| 叶菜 | 1926 | 37.5 | 85.27% | 28.05% | -- | -- | -- | 20.0 | 90.10% | 50.85% |
| 根茎 | 1367 | 27.5 | 90.00% | 43.53% | 25.0 | 86.23% | 23.39% | 32.5 | 90.37% | 39.47% |
| **建议值（水稻、蔬菜）** | | **25** | | | **20** | | | **20** | | |
| **建议值（其他）** | | **40** | | | **30** | | | **30** | | |
| **铅** | **样本数** | **pH<6.5** | | | **pH=6.5-7.5** | | | **pH>7.5** | | |
| **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** |
| 水稻 | 3863 | 110 | 90.93% | 28.85% | 160 | 91.34% | 16.42% | 200 | 97.14% | 24.00% |
| 小麦 | 1636 | 100 | 95.82% | 19.66% | 150 | 94.71% | 19.57% | 180 | 90.22% | 47.88% |
| 玉米 | 2177 | 110 | 90.38% | 26.67% | 150 | 87.04% | 20.63% | 200 | 89.37% | 23.56% |
| 叶菜 | 1938 | 40 | 89.53% | 67.52% | 40 | 87.13% | 58.97% | 110 | 85.23% | 32.91% |
| 根茎 | 1354 | 60 | 85.38% | 43.86% | -- | -- | -- | 90 | 86.21% | 34.69% |
| **建议值（蔬菜）** | | **40** | | | **60** | | | **80** | | |
| **建议值（其他）** | | **100** | | | **150** | | | **200** | | |
| **铬** | **样本数** | **pH<6.5** | | | **pH=6.5-7.5** | | | **pH>7.5** | | |
| **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** | **初选值** | **保护率** | **过保护率** |
| 水稻 | 3934 | 200 | 99.00% | 24.32% | 240 | 98.74% | 24.14% | 290 | 96.99% | 22.22% |
| 小麦 | 1636 | 250 | 91.96% | 24.58% | 290 | 90.04% | 22.92% | -- | -- | -- |
| 玉米 | 2177 | 260 | 97.87% | 24.44% | 290 | 91.33% | 13.79% | 300 | 90.14% | 19.81% |
| 叶菜 | 1935 | 250 | 91.28% | 23.16% | -- | -- | -- | 250 | 92.66% | 19.23% |
| 根茎 | 1380 | 250 | 92.16% | 20.69% | -- | -- | -- | 240 | 93.27% | 22.50% |
| **建议值（蔬菜）** | | **150** | | | **200** | | | **250** | | |
| **建议值（其他）** | | **200** | | | **250** | | | **300** | | |

**镉参比值的确定**

在pH<6.5的条件下，五大类农产品的参考初选值范围是0.26-0.32 mg/kg，相对集中，因此，**建议以0.3 mg/kg为评估参比值。**与之类似，在pH=6.5-7.5的条件下，五大类农产品的参考初选值范围是0.34-0.44 mg/kg，变化幅度也不大，因此，**建议以0.4 mg/kg为评估参比值。**

在pH>7.5的条件下，除根茎类蔬菜参考初选值较低（0.24 mg/kg）之外，其余四大类农产品的参考初选值均在0.54-0.58 mg/kg范围内，由于全国根茎类蔬菜的产量和种植面积所占比例非常小，按照保护绝大多数农产品的原则，**建议以0.5 mg/kg为评估参比值。**

**汞参比值的确定**

在pH<6.5的条件下，五大类农产品的参考初选值范围是0.2-0.5 mg/kg，只有玉米的参考初选值较低，但是鉴于其较高的过保护率（65.29%），适度放宽参比值也不会有太大问题。因此，**建议以0.3 mg/kg为评估参比值。**

在pH=6.5-7.5的条件下，除根茎类蔬菜之外（根茎类蔬菜数据中保护率均超过90%，且被保护率均大于30%），其余四大类农产品的参考初选值在0.35-0.5 mg/kg之间，考虑到小麦、玉米和叶菜类蔬菜的过保护率较高（大于40%），因此，**选择0.5 mg/kg为评估参比值。**

在pH>7.5的条件下，五大类农产品的参考初选值范围是0.55-1.0 mg/kg，其中，水稻、小麦、玉米三大主粮的参考初选值分别是0.75 mg/kg、0.70 mg/kg、0.85 mg/kg，较为集中，因此，综合考虑，**建议以0.7 mg/kg为评估参比值。**

**砷参比值的确定**

从参考初选值的计算结果可以看出，对于砷而言，水稻、叶菜类蔬菜和根茎类蔬菜较接近，小麦和玉米相差也不大，并且这在三个土壤pH条件下均表现出相似的规律性，因此，砷参比值的制定中，水稻、蔬菜制定一套参比值，其他农产品以小麦和玉米为准另制定一套参比值。

对于水稻和蔬菜来说，在pH<6.5的条件下，参考初选值范围在25-37.5 mg/kg之间，其中水稻与根茎类蔬菜非常接近，因此，按从严处理，**取25 mg/kg为评估参比值。**在中、碱性条件下，参考初选值也在25 mg/kg附近，但是考虑到砷活性随土壤pH升高而增加的规律，**评估参比值适当降低到20 mg/kg。**

对于小麦和玉米来说，在pH<6.5的条件下，参考初选值分别为40 mg/kg、55 mg/kg，按控制风险、从严取值的原则，**取40 mg/kg为评估参比值。**在中、碱性条件下，其最低的参考初选值都是32.5 mg/kg，因此，**取30 mg/kg为评估参比值。**

**铅参比值的确定**

依据参考初选值的计算结果，水稻、小麦、玉米的参考初选值相差不大，酸性、中性、碱性条件下分别为100-110 mg/kg、150-160 mg/kg、180-200 mg/kg，因此，**分别取100 mg/kg、150 mg/kg、200 mg/kg为评估参比值。**

蔬菜（叶菜类、根茎类）的参考初选值明显低于上述三类农产品，酸性条件下为40-60 mg/kg，因此，对于蔬菜而言，土壤pH<6.5时，**建议以40 mg/kg作为评估参比值。**中性条件下，仅有叶菜类蔬菜的初选值数据，为40 mg/kg，但是考虑到铅活性随土壤pH升高而降低的性质，**此时评估参比值适度放宽到60 mg/kg。**碱性条件下，两类蔬菜的评估参比值为90-110 mg/kg，但此时过保护率均超过30%，说明定值偏严，因此，**适度调整为80 mg/kg为评估参比值。**

**铬参比值的确定**

对于铬的参考初选值，五大类农产品相差不大，因此，按照较为敏感的水稻进行定值，在pH<6.5、pH=6.5-7.5、pH>7.5的条件下，其计算值分别是200 mg/kg、240 mg/kg、290 mg/kg，因此，**评估参比值选择为200 mg/kg、250 mg/kg、300 mg/kg。**

如前所述，蔬菜和其他农产品的敏感性应该有明显的差异，但是，我们的数据并不支持这个观点。对所用数据进行分析后发现，当土壤铬含量从100 mg/kg增加到320 mg/kg时，保护率并没有明显变化，初选值的选择是依据过保护率进行判定的。也就是说，以现有数据对铬参比值进行准确定值尚存在一些难度。因此，从控制风险的角度，我们认为，暂以现有二级标准中旱地铬含量限值作为蔬菜的评估参比值比较稳妥，其数值是**150 mg/kg、200 mg/kg、250 mg/kg。**

④评价方法

土壤重金属污染评价的方法很多，大致可以归纳到四个方面：统计学方法、一般指数法、模型指数以及生物有效性方法。

**统计学方法**

根据实验数据的分布特征，利用统计学的方法通过识别离群值来判断土壤的污染的程度。目前，主要有以下几种统计学方法用于土壤重金属污染评价，分别是平均值±标准方差、中位数±中位绝对离差和几何均值±几何标准差、箱式图法、累积频率分析方法、95%置信上限法和多元统计方法。

**A.平均值±标准方差**

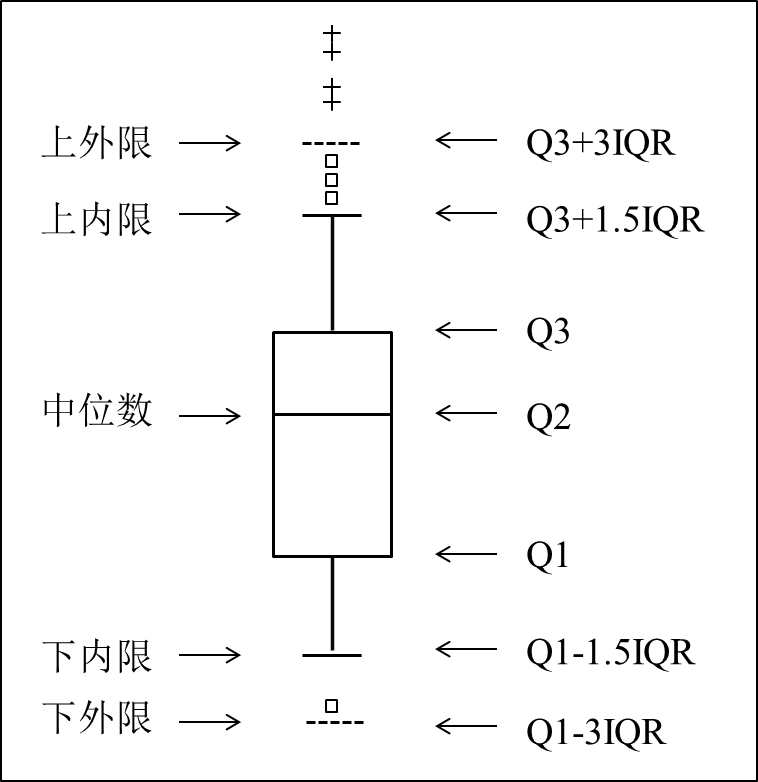
平均值±标准方差方法最先由Hawkes和Webb于1962年提出的(HAWKES 和 Webb，1963)。应用该方法，区域的土壤重金属背景值与异常值的划分原则是：首先检验数据是否服从正态分布，如果服从则直接根据平均值±标准方差计算异常下限，若不服从则将原始数据转化为对数值再检验是否服从对数正态分布，若服从则根据公式求得异常下限(姜振宁，2012)。若对数仍不符合正态分布，那么首先将均值±两倍标准差范围外的数据剔除，然后再检验数据是否服从正态/对数正态分布，重复该步骤，直至数据服从正态/对数正态分布，从而获得污染的起始浓度。

**B.中位数±中位绝对离差和几何均值±几何标准差**

利用中位数±中位绝对离差和几何均值±几何标准差来确定土壤元素背景值时不需对原数据进行剔除处理(王帅等，2009)。对于偏态分布的区域重金属数据而言，中位数±中位绝对离差和几何均值±几何标准差比算术平均值±标准差更能表现数据的分布情况，故可采用中位数±中位绝对离差和几何均值±几何标准差来估算土壤元素背景值，即用中位数+2倍中位绝对离差几何均值+2倍几何标准差来代表区域土壤重金属的污染起始浓度。相对于术平均值±标准差而言，中位数±中位绝对离差和几何均值±几何标准差对数据分布没有要求，且计算过程较前者简便。

**C.箱式图法**

箱式图是由Tukey在1977年首次提出的(Tukey，1977)。该方法是一种用作显示一组数据分散情况资料的统计图。如图所示：Q1为上四分位数，又称“较小四分位数”，等于该样本中所有数值由小到大排列后滴25%的数字。Q2为所有样本的中位数。Q3又称“较大四分位数”，等于该样本所有数值由小到大排列后第75%的数字。IQR为四分位间距，等于Q3-Q1。Q1-1.5\*IQR为所有样本的下内限，Q3+1.5\*IQR为所有样本的上内限；Q1-3\*IQR为所有样本的下外限，Q3+3\*IQR为所有样本的上外限。处于内限以外位置的点表示的数据都是异常值，其中在内限与外限之间的异常值为温和的异常值，在外限以外的为极端的异常值。我们在用箱式图推导重金属异常值的时候，可以采用内限，也可以采样外限。通过该方法就可以划分出区域土壤重金属含量的温和异常值和极端异常值。Reimann和Garrett (2005)利用该方法对来自波罗的海的土壤重金属数据分布特征进行了研究，获得了该区域重金属含量的温和异常值和极端异常值。



**图5 箱式图**

**D.累积频率分析方法**

累积频率分析方法是由地球化学家Tennant等人于1959年首次提出的，该方法的依据是代表区域土壤元素背景含量的数据应呈对数正态分布(Tennant，1959)。在重金属元素的累积频率分布图中，曲线拐点对应的元素含量通常就是该元素背景含量和异常值的分界点，土壤中元素含量高于拐点的样点代表了异常值，元素含量值低于拐点对应含量的样点则代表土壤中元素的背景含量(王登峰等，2013)。低于拐点含量的元素含量数据的均值+两倍标准差可代表该元素的污染起始浓度。拐点的选择仅仅依靠图形难以保证其准确性，需要借助于其他办法。因为低于拐点对应含量的样点数据应近似满足正态分布，因此根据累计频率曲线可估计拐点的近似值，然后以低于拐点的数据样本偏度接近于零为依据来确定拐点值。

**E.95%置信上限法**

单侧置信区间（上限）可以用来表征土壤元素背景值。实际应用中按照正态分布和对数正态分布的不同分布类型采用不同的计算方法，多用于确定区域土壤元素背景值上限。此方法对元素含量数据的分布要求较高（前提是服从正态分布或对数正态分布）。

通常情况下，用95％置信上限来代表区域土壤元素背景值。王登峰等（2013）利用95%置信上限法获得了海南省农田土壤Cr的背景值为54.2 mg/kg。

**F.多元统计方法**

多元统计方法是一种推理的、源解析导向的、定性的判断方法。该方法主要包括聚类分析、主成分分析等方法，通过这些方法可以判断土壤中重金属的来源，从而判断土壤重金属污染程度的方法。

在利用统计学方法来甄别离群值的时候，我们可以直接获得整个区域上的背景值，从而直接评价整个区域尺度上的重金属污染程度，也可以将大区域划分成满足不同条件的小区域，获得不同小区域的重金属背景值，评价每个小区域中重金属的污染程度，从而最终获得的大区域上重金属污染程度。

**一般指数法**

指数法是指将实际测得的污染物浓度值代入到数学公式中,得到污染指数,然后与相应评价标准进行比较以确定污染等级的方法。一般的指数法包括单因子指数法、综合指数法、富集因子法、地累积指数法和潜在生态危害指数法。

**A.单因子指数法**

单因子污染指数法是评价单个重金属污染最常用的一种方法，该方法是将研究区域供试样品中单个重金属的实测含量与某特定标准做对比，大于标准表示已受到污染，小于标准表示未被污染。单因子污染指数法如计算公式（1）所示。

HM*i*=X*i*/S*i*（1）

公式（1）中，HM*i*为第*i*种重金属污染指数，X*i*为第*i*种重金属的实际测定结果，S*i*为第*i*种重金属的评价标准。霍霄妮等(2009)利用单因子污染指数法评价了北京市农业土壤重金属的污染状况，结果表明：所有样点的Cr处于轻度或中度污染状态；50%的样点的As、Cu、Zn和Cd处于轻度污染状态；60%以上的样点的Ni、Pb和Hg处于清洁状态。

**B.综合指数法**

单因子污染指数法只能评估一种重金属的污染状况，而土壤中的重金属污染往往呈现多种重金属交叉复合污染的情况，此时就需要使用综合污染指数法。其中，内梅罗指数法（Nemerow index）是人们在评价土壤重金属污染中运用最为广泛的综合指数法。其计算方法如公式（2）所示：

（2）

式中：Pi为单项污染指数；Ci为污染物实测值；Si为根据需要选取的评价标准；Pi为单项污染指数平均值；Pimax为最大单项污染指数。内梅罗指数法可以避免由于平均作用削弱污染重金属的权值，但是该方法也存在人为夸大或缩小某些因子的影响。陈京都等(2012)利用综合污染指数法评价了江苏典型区农田土壤中重金属的污染状况。结果表明：该地区重金属污染的综合指数为2.84，此地区农田土壤已达到中度污染水平。

**C.富集因子法**

富集因子法是由Zoller等于1974年提出的(Zoller，1974)。富集因子法首先是从土壤中先选择一个参比元素，一般为Al、Fe、Mn和Si等化学性质较稳定元素，然后将所研究重金属与参比元素进行对比，从而判断该重金属是否来自人为污染及污染的程度如何，计算方法如公式（3）：

（3）

其中，Ci表示研究元素在样品中的含量；Cref表示参比元素在样品中的含量；Bi表示研究元素的环境背景值；Bref表示参比元素的环境背景值。富集因子法能够比较准确地判断人为污染状况，但是该方法的局限性是参比元素的选择有待进一步的规范。黄兴星等(2012)等人应用富集因子法评价了密云水库上游某铁矿区土壤重金属污染状况，结果表明：Cd、Pb和Cr富集较为严重，达到显著污染水平。参比元素选择的不规范性、元素背景值的不确定性等是制约富集因子法发展和应用的主要因素。

**D.地累积指数法**

地累积指数法(Igeo)是德国海德堡大学沉积物研究所的Müller教授最早提出的，该方法主要用于评价沉积物中重金属的污染程度，后来也被用于评价土壤重金属的污染(刘敬勇等，2009)。此方法主要考虑的是母质对土壤中重金属含量的影响。依据Igeo分类标准，可以将沉积物中重金属污染状况划分为7个等级。地累积指数法(Igeo)计算方法如公式（4）所示：

（4）

其中，Ci是元素i在土壤中的含量(mg/kg)；Bi采用的是研究区域土壤中重金属的背景值(表3-2)，k 一般取值为1.5。该方法考虑了成岩作用对土壤背景值的影响，应充分注意K值得选择。于洋等(2013)利用地累积指数法评价了北京市潮河流域土壤重金属的污染状况，结果表明：Cr、Hg处于中度污染,Cu、Ni处于无-中度污染,其他重金属无污染。

**E.潜在生态危害指数法**

潜在生态危害指数法是由Hakanson于1980年首次提出的(Hakanson，1984)。该方法在土壤中重金属含量高低的基础上，考虑了重金属的生理毒性，引入了重金属毒性响应系数。潜在生态危害指数法计算公式如下，单一污染元素的潜在生态风险计算方法如公式（5）所示：

（5）

其中，为单一重金属的潜在生态风险指数；为单个重金属的毒性响应参数；为土壤中重金属的实测浓度(mg/kg)；为研究区域土壤中重金属元素的背景值含量。多种污染元素的综合评价方法如公式（6）所示：

（6）

式中，RI为多种重金属的综合潜在生态风险指数，为单项潜在生态风险指数()之和。该方法将环境生态效应与毒理学联系起来，应用该方法是应注意重金属间的毒性加权或拮抗作用。刘勇等 (2011)利用潜在生态危害指数对太原市土壤重金属污染进行了评价，结果表明：在所有重金属中，Hg的潜在生态危害最大，有39%的样点处于中等危害水平。

**模型指数法**

模型指数法是在已有参数基础上，构建比较复杂的数学模型,借助计算软件,评价重金属污染的一种方法。所谓模型指数法其基础仍然是指数法，只不过是对评价方法一种深化和探索，在模糊边界以及土壤质量影响因素灰色性的处理上较上文提到的指数法有一定的优势。现在常用的模型指数法有：模糊数学评价法、灰色聚类评价法、层次分析法、人工神经网络法和物元可拓集法。

**A.模糊数学评价法**

综合污染指数评价法用比较明确的界线对土壤重金属污染程度加以区分和量化，但实际上土壤重金属的污染状况是渐变、模糊的。模糊数学方法可以通过隶属度描述土壤重金属污染状况的渐变性和模糊性。美国控制论专家Zadeh于1965年首次提出了模糊集合的概念，标志着模糊数学的诞生(Zadeh，1971)。它是将系统中的不确定性通过隶属度加以量化，在土壤中重金属污染评价中显现出其优越性。利用模糊数学来评价土壤重金属污染的主要步骤如下(王建国等， 2001)：第一步：建立因素集；第二步：确定评价集；第三步：建立隶属函数，构造模糊关系矩阵；第四步：确定加权模糊向量；第五步：模糊复合运算。模糊评价法虽然考虑了土壤重金属污染系统的模糊性和复杂性，但在复合运算过程中也过多强调了极值的作用，丢失信息较多，使得评价结果受控于个别因素,对结果影响较大。同时,该方法要就每个监测值分别对其相邻两个级别质量标准建立多个隶属函数,过程繁琐，不易掌握。徐鸿志和常江(2008)利用模糊数学评价了安徽省黄褐土、黄红壤和砂浆黑土三种土壤的污染情况，结果表明：黄褐土的污染较为严重，二级和三级土壤的比例占所有采样点的40%左右，而黄红壤和砂浆黑土的则几乎没有受到任何污染。

**B.灰色聚类法**

灰色系统理论是我国学者邓聚龙于1982年提出的(邓聚龙，1988)。这一方法是在模糊数学法的基础上发展起来的。目的同样也是为了解决土壤重金属污染评价中所涉及到的模糊的边界问题。该方法的步骤大致如下(孙维萍等，2009):确定污染级别的划分；确定聚类白数化；数据的标准化处理；确定白化系数；求聚类权；求聚类系数。相对于模糊数学而言，灰色聚类法在处理权重分配的过程中更加客观合理，但是计算过程比模糊数学更为复杂。但该方法需要建立的白化函数比较多，计算过程繁琐，在应用时可以通过计算软件的辅助，是一个值得应用的土壤重金属污染评价方法。李雪梅等(2007)用灰色聚类法评价了天津不同区域的重金属污染程度，结果表明：天津不同区域的重金属污染程度从大到小依次为：宝坻黄庄>东丽>西青=北辰。

**C.层次分析法**

层次分析法（AHP）是美国著名运筹学家Saaty教授20世纪70年代中期创立的(Saaty，1977)。该方法也同样用于重金属复合污染的土壤。不同重金属在土壤中危害程度是不一样的，通过层次分析法可以确定每个重金属元素在土壤污染中的权重。应用层次分析法评价土壤重金属污染一般分为以下几个步骤：建立层次结构模型；构造判断矩阵，求出最大特征根及其特征向量；构造各评价级别的相对重要性的两两比较判断矩阵；采用求和法或者方根法计算层次单排列顺序；计算层次总排列顺序。层次分析法计算简便，适合用于大规模、多因素、多指标的重金属污染评价，该方法的局限性是未能充分利用实测数据，评价结果准确度有多欠缺。李阳 (2012)利用层次分析法评估了某城市不同功能区重金属污染状况，结果表明：该城市不同功能区重金属污染状况从高到低依次是工业区、生活区、交通区、公园绿地区、山区。

**D.人工神经网络法**

人工神经网络（ANN）是一类模拟生物体神经系统结构的新型信息处理系统(李晓峰和刘光中，2000)。它是一种能够建立输入量与输出量之间全局性非线性映射关系的分析方法, 能从已知数据中自动归纳规则并获得数据的内在规律。人工神经网络评价土重金属污染可以分为以下几个步骤：培训数据的选择；网络对象的建立；网络的培训；数据仿真。使用该方法时，隐层神经元数量的确定关系到评价结果的正确性。神经元数量太少，无法实现监测数据的分类，神经元数量太多，不仅网络庞大结果不稳定，而且易产生误差。总之，将B-P人工神经网络应用于土壤重金属污染评价中，不但评价过程简单，而且评价结果只与土壤重金属标准有关，不受人为因素的影响，评价结果真实可靠，具有一定的推广性。杨娟等(2007)利用神经网络法定量研究了某地区社会经济发展影响要素与土壤重金属Cd含量间的内在联系，并预测了Cd在2005年和2010年的污染情况，结果表明：土壤Cd含量主要受到非农人口比例、磷肥使用量、客货运周转量、GDP年增加率等几个方面的影响，2005年该地区Cd含量上升，但均低于国家二级标准；2010年该地区个别区域会出现Cd超标现象。

**E.物元可拓集法**

我国学者蔡文于20世纪80年代初创立的可拓学就是从定性和定量两个角度去研究解决矛盾问题的规律和方法，为土壤重金属污染评价提供了新的途径(蔡文，1994)。该方法以物元为基本元，建立物元模型；以物元为依据，应用物元变换法化矛盾问题为相容问题。具体步骤如下：确定事物的评价指标和评价标准；确定物元的经典域和节域；确定待评物元；确定评价指数的权系数和计算土壤样本的关联度。徐笠等(2009)应用物元分析法评价了安徽省土壤重金属污染现状，结果表明：黄褐土污染最为严重，其次为黄红壤，污染最轻的为砂浆黑土。陈建勇等(2011)利用物元分析法评价了南京某钢铁公司附近土壤重金属的污染状况，结果表明：所有采样点中有1个采样点高于国家一级标准，剩余采样点均低于国家一级标准。

**生物有效性方法**

土壤重金属生物有效性指的是土壤中能被植物或者其它生物在生活期间所能吸收的重金属的形态和含量多少(窦磊等，2007)。重金属生物有效性是个动态过程，可分为三步描述，污染物在土壤中的有效性；污染物被生物体吸收；污染物在生物体内的积累和效应。重金属的生物有效性可以通过两种方法来评价/表征：物理化学法和生物学评价法。

物理化学法主要包括化学浸提法、薄膜扩散梯度法和同位素稀释法。化学浸提法是基于化学测定的重金属含量与效应间的相关性。由于生物对土壤中不同形态重金属的吸收能力是不一样的，所以化学浸提法就是通过化学提取方法来分析土壤中重金属的形态特征，从而判断土壤中重金属的生物有效性。一般来说，重金属的化学浸提剂可分为单一浸提剂和连续浸提剂两种。单一浸提剂包括去离子水、酸性溶液、络合剂和中性盐溶液等方法；连续浸提剂主要有Tessier法和BCR法。Tessier方法是由Tessier在1979年提出的五步顺序提取法，BCR方法是由欧共体标准物质局于1992年提出的一种四步提取法(孔文杰等，2005)。薄膜扩散梯度法是通过模拟实际的金属扩散机制，来研究重金属离子与生物配体之间作用规律的方法(Gimpel 等，2003)。同位素稀释法是向已经平衡的土壤悬浮液添加同位素，从而改变样品中待测元素的同位素的峰度比，最后用质谱法测定同位素比值来确定样品中待测元素的浓度(Oliver 等，2006)。

生物评价法是通过观测重金属对生物生理活动、生理性状的影响程度及生物体内重金属含量的多少来判断重金属污染高低的一种方法，可以分为植物、动物和微生物三种评价方法。目前，生物指示法一般采用盆钵实验和田间实验两种。通过生物实验或者野外样品的采集，通过线性回归等数学方法，我们就能够建立生物体内重金属的含量与土壤中重金属含量以及理化性质的模型。以国家食品污染中限量标准为依据，通过生物体内的重金属含量可以反推出土壤的阈值。李野等(2012)利用该方法对太湖流域水稻禁产区进行了划分，发现0.05%的稻田被划分为禁产区。但是，上述方法并没有考虑到不同基因型水稻之间的差异，且该地区建立起来的土壤-稻米传输模型能够推广估计很难推广到其他区域。而且本研究也没有考虑其他农产品的划分情况。

众所周知，不同生物（农作物）对重金属的敏感性是不一样的，其毒性阈值也差异很大。同一生物，由于土壤理化性质的不同，如土壤pH值、有机质含量和阳离子交换量等等，其重金属毒性阈值也同样会发生较大改变。An (2006)研究了4种植物品种的铜EC50，结果表明：相对于黄瓜、小麦和玉米而言，高粱的铜EC50最低，为48mg/kg。李波 (2010)等研究了3个植物品种在17个中国土壤样本上的生长半抑制浓度，结果表明：在未淋洗不同土壤上，EC50从10mg/kg增加到2519mg/kg。那么该如何合理的解决这些问题呢？物种敏感性分布（Species sensitivity distributions, SSD）是基于不同物种对于污染物敏感性差异提出的，该方法假设生态系统中不同物种对于某一污染物的敏感性能够被一个分布所描述，通过生物测试获得的有限物种的毒性阈值是来自于这个分布的样本，可用来估算该分布的参数(王小庆等，2013)。SSD 法既可从污染物环境浓度出发，计算潜在影响比例PAF（Potential affected fraction），用以表征生态系统或者不同类别生物的生态风险，亦可反向用于确定保护一定范围物种安全的最高污染物浓度(Vighi 等，2006)。其风险水平的选取通常根据土地类型而定，如农业用地选取5%处所对应的浓度HC5（5%毒害浓度），即保护95%生物物种的限量值；商业用地选取保护60%物种的限量值HC40等(王小庆等， 2012)。而且在应用SSD法建立土壤环境质量基准过程中，我们还可以利用某种生物重金属生长毒性预测模型归一化其他生物的毒理学数据，用以消除土壤性质差异的影响，提高物种敏感性分布及环境质量基准值的准确性(Smolders 等，2009)。如欧盟在土壤生态风险评价中，就利用西红柿镍的生长毒性预测模型对所有高等植物的毒理学数据进行归一化处理。Smolders 等(2009)基于SSD法研究推导了欧洲土壤中重金属元素Zn、Cu、Ni、Co、Pb和Cd的生态风险安全阈值。叶新新 (2012)利用SSD和Cd富集方程量化水稻籽粒Cd的吸收并建立了土壤Cd安全阈值模型，并且提出了我国水稻产地Cd阈值的建议标准。

综上所述，每种重金属评价的方法都有自己的优点和局限性，在运用这些方法在评价土壤重金属污染程度时，需要充分利用每种方法的优点，规避缺点才能获得准确的结果。

考虑到全国农产品产地土壤重金属污染防治普查的任务目标与内容，以及农业环境监测系统现有的知识水平、人员素质、作业方式、评价习惯等，结合业内对于土壤重金属评价方法的普遍认知和接受度，本规定选用物种敏感性分布法和单因子指数法结合进行评价，即利用物种敏感性分布法来获得土壤重金属安全评估参比值，然后将安全评估参比值通过单因子指数法来判断产地土壤重金属的安全等级。

⑤等级划分及管理策略

**单项污染**

对于农田土壤环境质量等级划分方法，农业部环境监测总站总结多年工作经验，提出一套以累积性评价和适宜性评价为核心的分级技术体系，并形成《耕地土壤重金属污染评价技术规程》（报批稿）。

其中，耕地土壤重金属累积性评价用土壤重金属全量测定值与累积性评价指标值相比较，以反映耕地土壤重金属累积状况。用当地同一种类土壤背景值或对照点测定值作为耕地土壤重金属累积性评价指标值。其中，土壤背景值参见《中国土壤元素背景值》，对照点的选择及样品采集、测定等按照NY/T395执行。

耕地土壤重金属累积性评价方法采用单项累积指数法与综合累积指数法相结合的方法。其中，单项累积指数计算公式为：

Pi全量=Ci/Si

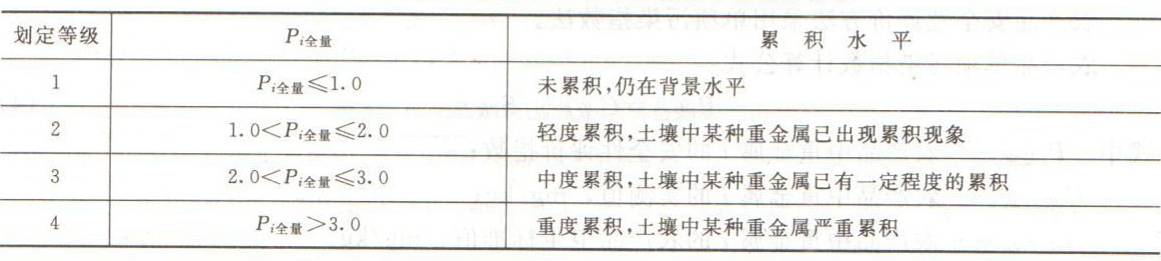
式中，Pi全量——耕地土壤中重金属i的单项累积指数；

Ci——耕地土壤中重金属i的实测浓度；

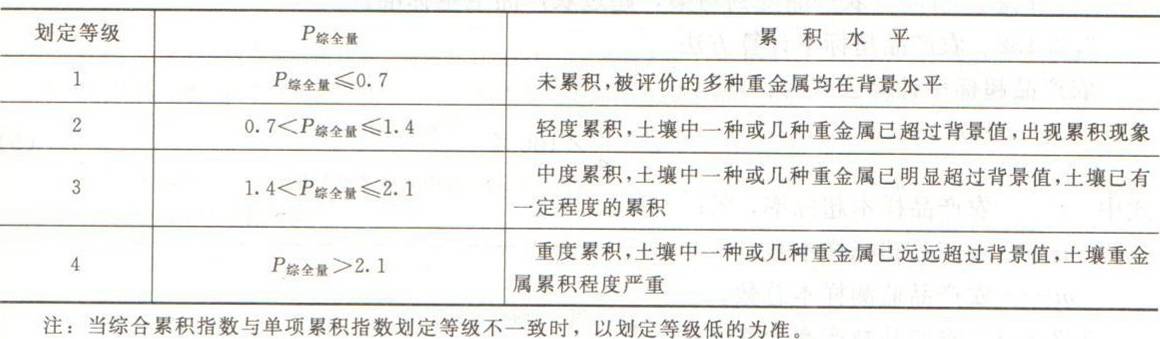
Si——耕地土壤中重金属i的累积性评价指标值。

综合累积指数是在单项累积评价的基础上，运用内梅罗法求得，公式见前述。

**表13 耕地土壤重金属单项累积指数等级划分标准**



**表14 耕地土壤重金属综合累积指数等级划分标准**



农作物对产地土壤环境质量适宜性评价用拟种植农作物土壤中重金属有效态测定值与同一种类型土壤环境质量适宜性评价指标值比较，反映产地土壤环境质量对种植作物的适宜程度。农作物对产地土壤适宜性评价指标值，是用同一种土壤类型（k），同一作物种类（j），同一污染物（i）有效态安全临界值作为适宜性评价指标值。土壤中重金属有效态安全临界值的确定，按照《耕地土壤重金属有效态安全临界值制定技术规范》（报批稿）执行。

农作物对产地土壤环境质量适宜性评价采用单项污染指数法，计算公式为：

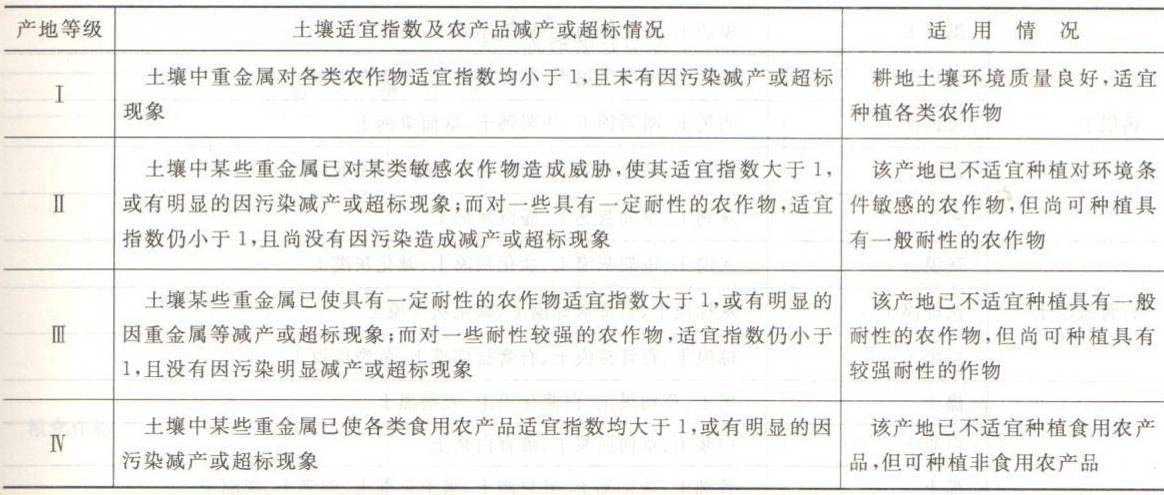
Pijk适宜=Ci有效/Sijk有效

式中，Pijk适宜——土壤中重金属i，土壤类型k，农作物种类j时的适宜性评价指数；

Ci有效——土壤中重金属i有效态的实测值；

Sijk有效——土壤中重金属i，土壤类型k，农作物种类j时适宜性评价指标值。

**表15 农产品产地土壤环境质量等级划分标准（适宜性评价）**



然而，由于种种原因，本次全国农产品产地土壤重金属污染防治普查工作并没有安排测试土壤重金属有效态，加之全国尺度的土壤背景值、安全临界值等数据不系统、不全面等因素，累积性评价和适宜性评价难以应用，但从方法学的角度，上述方法必然是今后农业环境保护中土壤评价工作的发展方向。

因此，本标准里土壤重金属安全性评估方法仍采用单因子指数法，用土壤单因子指数结合农产品单因子指数进行评估。土壤单因子指数记为Pi，农产品单因子指数记为Ei，计算公式如下。

土壤单因子指数：

式中，Pi——土壤中重金属i的单因子项指数；

Ci——土壤中重金属i的实测浓度；

Si——土壤中重金属i的安全评估参比值。

农产品单因子指数：

式中，Ei——一对一点对点农产品中重金属i的单项单因子指数；

Ai——一对一点对点农产品中重金属i的实测浓度；

Li——农产品中重金属i的限量标准值。

农产品单因子指数评价标准按我国现行有效《食品中污染物限量 》中重金属限量标准（GB 2762-2017）执行，标准值如表16。

**表16 农产品中重金属限量标准值（mg/kg）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **项目** | **农产品种类** | | **标准限量值** |
| **镉** | 谷物 | 谷物（稻谷除外） | 0.1 |
| 稻谷、糙米、大米 | 0.2 |
| 蔬菜 | 新鲜蔬菜（叶菜蔬菜、豆类蔬菜、块根和块茎蔬菜、茎类蔬菜、黄花菜除外） | 0.05 |
| 叶菜蔬菜、芹菜、黄花菜 | 0.2 |
| 豆类蔬菜、块根和块茎蔬菜、茎类蔬菜（芹菜除外） | 0.1 |
| 水果 | | 0.05 |
| 豆类 | | 0.2 |
| 花生 | | 0.5 |
| **汞** | 谷物 | | 0.02 |
| 蔬菜 | | 0.01 |
| **砷** | 谷物 | 谷物（稻谷除外） | 0.5 |
| 稻谷、糙米、大米 | 0.2（以无机砷计） |
| 蔬菜 | | 0.5 |
| **铅** | 谷物 | | 0.2 |
| 蔬菜 | 新鲜蔬菜（芸薹类蔬菜、叶菜蔬菜、豆类蔬菜、薯类除外） | 0.1 |
| 芸薹类蔬菜、叶菜蔬菜 | 0.3 |
| 豆类蔬菜、薯类 | 0.2 |
| 水果 | 新鲜水果（浆果和其他小粒水果除外） | 0.1 |
| 浆果和其他小粒水果 | 0.2 |
| 豆类 | | 0.2 |
| 茶叶 | | 5.0 |
| **铬** | 谷物 | | 1.0 |
| 蔬菜 | | 0.5 |
| 豆类 | | 1.0 |

**点位污染**

对于单个点位多种污染指标的综合评价一般采用内梅罗指数法进行，其计算方法为：  
式中：Pi为单项污染指数平均值；Pimax为最大单项污染指数。

内梅罗指数法可以避免由于平均作用削弱污染重金属的权值，但是该方法也存在人为夸大或缩小某些因子影响等问题。特别是对于重金属元素，危害巨大。因此，我们认为，从严控风险的角度，对于特定点位，只要有一个重金属元素超过评估参比值，就应当判定该点位存在安全风险；只要有一个重金属元素超过评估参比值N倍，就应当判定该点位安全风险是标准条件下的N倍。也就是说，**对于点位的重金属安全评价，应以重金属的最大指数进行。**

**风险水平**

土壤重金属安全评价的根本目的是为产地安全管理服务，因此，当土壤重金属含量超过评估参比值时，意味着产地土壤存在着一定的安全风险。超过倍数越多，安全风险越大，因此，按照行业惯例，我们依土壤重金属含量与评估参比值的比值（即风险指数）的大小，将土壤安全性等级划分为四级，见表17，并与不同种类农作物对重金属的敏感性相结合，对土壤安全性进行了等级划分，见表18。最后，从保障农产品质量安全角度，总结各级安全性主要特征，提出相应地管理策略，见表19。

**表17 农产品产地土壤重金属安全划分等级**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **等级** | **划分依据** | | **土壤安全水平** |
| **单项指数** | **点位最大指数** |
| 1 | Pi≤1 | Pimax≤1 | 无风险 |
| 2 | 1< Pi≤2 | 1<Pimax≤2 | 低风险 |
| 3 | 2<Pi≤3 | 2<Pimax≤3 | 中度风险 |
| 4 | Pi>3 | Pimax>3 | 高风险 |

**表18 土壤及农产品同时测试的农产品产地土壤质量划分等级**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **等级** | **土壤指数（Pimax）** | **农产品指数(Ei)** | **土壤安全水平** | **划分依据说明** |
| 1 | Pimax≤1 | Ei≤1 | 无风险 | 土壤重金属含量未超过参比值，农产品达标，表明生产环境对农产品安全未构成危害。 |
| 2 | Pimax≤1 | 1<Ei≤2 | 低风险 | 土壤重金属含量未超过参比值，但农产品重金属含量为限量标准的1~2倍，表明生产环境对农产品安全已造成一定的危害。 |
| 1<Pimax≤2 | Ei≤1 | 土壤重金属含量为参比值的1~2倍，但农产品达标，提示产地环境具有一定的潜在安全风险。 |
| 3 | 1<Pimax≤2 | 1<Ei≤2 | 中等风险 | 土壤重金属含量为参比值的1~2倍，且农产品重金属含量为限量标准的1~2倍，表明生产环境对农产品安全已构成较大的安全威胁。 |
| 2<Pimax≤3 | Ei≤2 | 土壤重金属含量为参比值的2~3倍，但农产品未超标或仅超标1倍以内，提示生产环境对农产品安全的潜在风险很大。 |
| 4 | Pimax>3 | 任意 | 高风险 | 土壤重金属含量为参比值的3倍以上，无论当季农产品质量如何，都表明产地具有极高的风险。 |
| 任意 | Ei>2 | 无论土壤重金属含量如何，农产品中重金属含量为限量标准的2倍以上，都表明农产品安全已受到极大的安全威胁。 |

注：若土壤最大指数（Pimax）对应的重金属元素与农产品超标的重金属元素不一致，土壤安全水平可适当降低一个等级，即由高风险降为中等风险或中等风险降为低风险；若农产品超标的重金属元素为两种或两种以上，其土壤安全水平应评定为高风险。

**表19 土壤安全各等级主要特征及管理策略**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **等级** | **土壤安全水平** | **主要特征** | **管理策略** |
| 1 | 无风险 | 土壤重金属含量较低，土壤及其周边环境污染对农产品质量基本没有影响，农产品中重金属含量符合食品卫生要求。 | 实施重点保护，防止新增污染，维护安全状态。 |
| 2 | 低风险 | 土壤重金属有一定积累，产地周边环境污染较少，农产品中重金属含量总体符合相关限量标准，优化农艺生产措施可确保农产品质量安全。 | 控制污染输入，监视污染动态，优化生产管理。 |
| 3 | 中度风险 | 土壤重金属含量较高，土壤及其周边环境对农产品质量安全已构成明显威胁，并致部分农产品重金属含量超标，需要选择合适的修复方法对土壤进行修复。 | 开展风险评估，实施风险管控，积极进行修复。 |
| 4 | 高风险 | 土壤重金属含量高，并已成为农产品农产品质量安全的主要影响因素，周边环境污染较重，农产品中重金属含量不符合相关限量标准，需要进行综合整治。 | 开展综合整治，调整种植结构，消减污染危害。 |

（3）试用、验证情况

**数据自验证**

各类农产品计算得出的参考初选值不尽相同，我们根据一定的原则统一调整后得出评估参比值。对于此评估参比值，我们又以全部监测数据进行验算，统计四种情况下的样本数量，以验证评估参比值的合理性。

四种情况分别为：

N1是指土壤中重金属含量不超过参比值且农产品中重金属含量不超过国家限量值的样本数量；

N2是指土壤中重金属含量不超过参比值但农产品中重金属含量超过国家限量值的样本数量；

N3是指土壤中重金属含量超过参比值但农产品中重金属含量不超过国家限量值的样本数量；

N4是指土壤中重金属含量超过参比值且农产品中重金属含量超过国家限量值的样本数量。

结果如下：

**图6 基于镉的评估参比值和食品卫生标准的数据样本分类图**

对于镉而言：依据本规定中评估参比值和国家食品卫生标准限量值，保护率为89.6%，过保护率为32.3%。

**图7 基于汞的评估参比值和食品卫生标准的数据样本分类图**

对于汞而言：依据本规定中评估参比值和国家食品卫生标准限量值，保护率为90.5%，过保护率为40.6%。

**图8 基于砷的评估参比值和食品卫生标准的数据样本分类图**

对于砷而言：依据本规定中评估参比值和国家食品卫生标准限量值，保护率为89.8%，过保护率为38.5%。

**图9 基于铅的评估参比值和食品卫生标准的数据样本分类图**

对于铅而言：依据本规定中评估参比值和国家食品卫生标准限量值，保护率为91.2%，过保护率为32.1%。

**图10 基于铬的评估参比值和食品卫生标准的数据样本分类图**

对于铬而言：依据本规定中评估参比值和国家食品卫生标准限量值，保护率为94.9%，过保护率为55.3%。

综上所述，除铬之外，其余四种重金属元素的保护率和过保护率控制得比较不错，说明评估参比值能较准确地反映农产品质量安全状况。铬的评估参比值制定得略严，有一定的放宽空间，但是现有监测数据并不支持，可以待时机和条件成熟后，进一步研究和论证铬的评估参比值。

**典型省份试用情况**

为充分验证本规定的科学性、合理性和可行性。利用湖南、贵州、云南、广西、广东、山东、江苏等省份部分地区的数据，对《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》进行验证，验证的唯一依据是事实，即所做分级是否符合相关各省以往调查情况。结果如下：

**水稻**

重金属污染重点地区为湖南，重中之重是长株潭地区，因此，我们以湖南省湘潭县945个监测点的数据进行验证，种植农作物为水稻。

**表20 湖南湘潭水稻产地安全评估结果**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **水稻** | | **合计** | | **无风险** | | **低风险** | | **中等风险** | | **高风险** | |
| **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** |
| **总计** | **仅土壤** | 945 | 100.0% | 22 | 2.3% | 548 | 58.0% | 228 | 24.1% | 147 | 15.6% |
| **点对点** | 945 | 100.0% | 14 | 1.5% | 245 | 25.9% | 269 | 28.5% | 417 | 44.1% |
| **镉** | **仅土壤** | 945 | 100.0% | 22 | 2.3% | 553 | 58.5% | 227 | 24.0% | 143 | 15.1% |
| **点对点** | 945 | 100.0% | 14 | 1.5% | 261 | 27.6% | 267 | 28.3% | 403 | 42.6% |
| **汞** | **仅土壤** | 945 | 100.0% | 891 | 94.3% | 48 | 5.1% | 3 | 0.3% | 3 | 0.3% |
| **点对点** | 945 | 100.0% | 891 | 94.3% | 48 | 5.1% | 3 | 0.3% | 3 | 0.3% |
| **砷** | **仅土壤** | 945 | 100.0% | 855 | 90.5% | 80 | 8.5% | 7 | 0.7% | 3 | 0.3% |
| **点对点** | 945 | 100.0% | 850 | 89.9% | 84 | 8.9% | 7 | 0.7% | 4 | 0.4% |
| **铅** | **仅土壤** | 945 | 100.0% | 940 | 99.5% | 5 | 0.5% | 0 | 0.0% | 0 | 0.0% |
| **点对点** | 945 | 100.0% | 938 | 99.3% | 4 | 0.4% | 0 | 0.0% | 3 | 0.3% |
| **铬** | **仅土壤** | 945 | 100.0% | 942 | 99.7% | 3 | 0.3% | 0 | 0.0% | 0 | 0.0% |
| **点对点** | 945 | 100.0% | 912 | 96.5% | 25 | 2.6% | 0 | 0.0% | 8 | 0.8% |

从总体情况来看，无风险地区很少，仅占2%左右，中等风险仅用土壤评价和以土壤—水稻共同评价的结果相差不大，为24%-28%。但在低风险和高风险，这两种方法的评价结果相差较大。反推各元素，差异主要体现在镉，其表现是，仅以土壤评价时，可能会降低风险等级，也就是说，在该地区，土壤超过参比值一倍以内时，农产品超标一倍以上或者出现复合污染的概率很高。湘潭当地为酸性水稻土区，加之长期污灌、酸雨、酸性肥料等原因，出现上述结果是正常的。

**蔬菜地**

以山东、广东这两个蔬菜主产地的监测数据为对象，验证其中叶菜类蔬菜（277个样本）和根茎类蔬菜（730个样本）的分级评估结果。

**表21 山东和广东部分地区叶菜类蔬菜产地安全评估结果**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **叶菜** | | **合计** | | **无风险** | | **低风险** | | **中风险** | | **高风险** | |
| **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** |
| **总计** | **仅土壤** | 277 | 100.0% | 114 | 41.2% | 131 | 47.3% | 21 | 7.6% | 11 | 4.0% |
| **点对点** | 277 | 100.0% | 114 | 41.2% | 122 | 44.0% | 26 | 9.4% | 15 | 5.4% |
| **镉** | **仅土壤** | 277 | 100.0% | 162 | 58.5% | 92 | 33.2% | 12 | 4.3% | 11 | 4.0% |
| **点对点** | 277 | 100.0% | 162 | 58.5% | 89 | 32.1% | 14 | 5.1% | 12 | 4.3% |
| **汞** | **仅土壤** | 277 | 100.0% | 251 | 90.6% | 22 | 7.9% | 4 | 1.4% | 0 | 0.0% |
| **点对点** | 277 | 100.0% | 250 | 90.3% | 22 | 7.9% | 5 | 1.8% | 0 | 0.0% |
| **砷** | **仅土壤** | 277 | 100.0% | 239 | 86.3% | 36 | 13.0% | 2 | 0.7% | 0 | 0.0% |
| **点对点** | 277 | 100.0% | 239 | 86.3% | 36 | 13.0% | 2 | 0.7% | 0 | 0.0% |
| **铅** | **仅土壤** | 277 | 100.0% | 212 | 76.5% | 53 | 19.1% | 5 | 1.8% | 7 | 2.5% |
| **点对点** | 277 | 100.0% | 210 | 75.8% | 53 | 19.1% | 5 | 1.8% | 9 | 3.2% |
| **铬** | **仅土壤** | 277 | 100.0% | 275 | 99.3% | 1 | 0.4% | 1 | 0.4% | 0 | 0.0% |
| **点对点** | 277 | 100.0% | 271 | 97.8% | 3 | 1.1% | 1 | 0.4% | 2 | 0.7% |

**表22 山东和广东部分地区根茎类蔬菜产地安全评估结果**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **根茎** | | **合计** | | **无风险** | | **低风险** | | **中风险** | | **高风险** | |
| **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** |
| **总计** | **仅土壤** | 730 | 100.0% | 246 | 33.7% | 270 | 37.0% | 71 | 9.7% | 143 | 19.6% |
| **点对点** | 730 | 100.0% | 176 | 24.1% | 182 | 24.9% | 122 | 16.7% | 250 | 34.2% |
| **镉** | **仅土壤** | 730 | 100.0% | 441 | 60.4% | 191 | 26.2% | 22 | 3.0% | 76 | 10.4% |
| **点对点** | 730 | 100.0% | 370 | 50.7% | 182 | 24.9% | 97 | 13.3% | 81 | 11.1% |
| **汞** | **仅土壤** | 730 | 100.0% | 655 | 89.7% | 34 | 4.7% | 16 | 2.2% | 25 | 3.4% |
| **点对点** | 730 | 100.0% | 616 | 84.4% | 50 | 6.8% | 16 | 2.2% | 48 | 6.6% |
| **砷** | **仅土壤** | 730 | 100.0% | 542 | 74.2% | 104 | 14.2% | 48 | 6.6% | 36 | 4.9% |
| **点对点** | 730 | 100.0% | 487 | 66.7% | 120 | 16.4% | 87 | 11.9% | 36 | 4.9% |
| **铅** | **仅土壤** | 730 | 100.0% | 557 | 76.3% | 126 | 17.3% | 12 | 1.6% | 35 | 4.8% |
| **点对点** | 730 | 100.0% | 536 | 73.4% | 132 | 18.1% | 17 | 2.3% | 45 | 6.2% |
| **铬** | **仅土壤** | 730 | 100.0% | 640 | 87.7% | 74 | 10.1% | 15 | 2.1% | 1 | 0.1% |
| **点对点** | 730 | 100.0% | 606 | 83.0% | 64 | 8.8% | 59 | 8.1% | 1 | 0.1% |

由上表可知，对于叶菜类蔬菜，利用土壤监测结果进行评估和利用土壤—农产品监测结果进行评估的结果差异不大，说明评价技术规定具有较好的适用性；而对于根茎类蔬菜，其五项重金属单独评价的结果来看，这两种方法的评价结果差异也不大，但总体评价（即点位评价）结果差异稍大一些。其原因应该是复合污染的存在，使高风险比例较大。

**高背景地区**

选择贵州、云南、广西三个地质高背景的省份，以其三类重点区水稻产地监测结果为对象进行验证，样本量共计14305个，其中贵州1618个，云南8867个，广西3820个。

**表23 高背景地区水稻产地安全评估结果**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **贵州** | | **云南** | | **广西** | | **合计** | |
| **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** | **点位数** | **比例** |
| **总计** | **小计** | 1618 | 99.3% | 8867 | 100.0% | 3820 | 100.0% | 14305 | 100.0% |
| **无风险** | 452 | 27.7% | 3910 | 44.1% | 1701 | 44.5% | 6063 | 42.4% |
| **低风险** | 734 | 45.0% | 3038 | 34.3% | 989 | 25.9% | 4761 | 33.3% |
| **中风险** | 236 | 14.5% | 889 | 10.0% | 342 | 9.0% | 1467 | 10.3% |
| **高风险** | 196 | 12.0% | 1030 | 11.6% | 788 | 20.6% | 2014 | 14.1% |
| **镉** | **小计** | 1630 | 100.0% | 8867 | 100.0% | 3820 | 100.0% | 14317 | 100.0% |
| **无风险** | 672 | 41.2% | 5679 | 64.0% | 2063 | 54.0% | 8414 | 58.8% |
| **低风险** | 718 | 44.0% | 1933 | 21.8% | 787 | 20.6% | 3438 | 24.0% |
| **中风险** | 171 | 10.5% | 526 | 5.9% | 303 | 7.9% | 1000 | 7.0% |
| **高风险** | 69 | 4.2% | 729 | 8.2% | 667 | 17.5% | 1465 | 10.2% |
| **汞** | **小计** | 1630 | 100.0% | 8867 | 100.0% | 3820 | 100.0% | 14317 | 100.0% |
| **无风险** | 1317 | 80.8% | 8585 | 96.8% | 3146 | 82.4% | 13048 | 91.1% |
| **低风险** | 141 | 8.7% | 204 | 2.3% | 472 | 12.4% | 817 | 5.7% |
| **中风险** | 53 | 3.3% | 38 | 0.4% | 96 | 2.5% | 187 | 1.3% |
| **高风险** | 119 | 7.3% | 40 | 0.5% | 106 | 2.8% | 265 | 1.9% |
| **砷** | **小计** | 1618 | 99.3% | 8867 | 100.0% | 3820 | 100.0% | 14305 | 100.0% |
| **无风险** | 1229 | 75.4% | 5948 | 67.1% | 2926 | 76.6% | 10103 | 70.6% |
| **低风险** | 319 | 19.6% | 2223 | 25.1% | 522 | 13.7% | 3064 | 21.4% |
| **中风险** | 58 | 3.6% | 443 | 5.0% | 138 | 3.6% | 639 | 4.5% |
| **高风险** | 12 | 0.7% | 253 | 2.9% | 234 | 6.1% | 499 | 3.5% |
| **铅** | **小计** | 1630 | 100.0% | 8867 | 100.0% | 3820 | 100.0% | 14317 | 100.0% |
| **无风险** | 1591 | 97.6% | 8436 | 95.1% | 3495 | 91.5% | 13522 | 94.4% |
| **低风险** | 26 | 1.6% | 279 | 3.1% | 148 | 3.9% | 453 | 3.2% |
| **中风险** | 2 | 0.1% | 44 | 0.5% | 46 | 1.2% | 92 | 0.6% |
| **高风险** | 11 | 0.7% | 108 | 1.2% | 131 | 3.4% | 250 | 1.7% |
| **铬** | **小计** | 1630 | 100.0% | 8867 | 100.0% | 3820 | 100.0% | 14317 | 100.0% |
| **无风险** | 1625 | 99.7% | 8683 | 97.9% | 3750 | 98.2% | 14058 | 98.2% |
| **低风险** | 5 | 0.3% | 140 | 1.6% | 63 | 1.6% | 208 | 1.5% |
| **中风险** | 0 | 0.0% | 17 | 0.2% | 6 | 0.2% | 23 | 0.2% |
| **高风险** | 0 | 0.0% | 27 | 0.3% | 1 | 0.0% | 28 | 0.2% |

从上述三省的评估结果来看，总体评估（即点位评估）结果里中、高风险的比例明显大于五项重金属单独评估结果，说明这些地区复合污染情况较多，这点也基本符合相关各省以往调查结果。

通过上述试用过程，并咨询相关各省农业环保站技术人员，认为本规定能比较客观、准确地反映农产品产地重金属安全问题，可在全国范围内应用实施。

# 4 与现行法律法规和强制性标准的关系

本标准系农业行业标准，是在综合考虑土壤环境质量现状和农产品受污染风险程度的基础上，针对农业特点而提出的。

随着《中华人民共和国农产品质量安全法》和《农产品产地安全管理办法》的贯彻执行，继国务院印发的《土壤污染防治行动计划》之后，农业部印发了关于贯彻落实《土壤污染防治行动计划》的实施意见。本标准的制定正顺应了现阶段土壤环境保护新形势的需求，可为我国建立农产品产地分级管理制度，实现农产品产地分级管理提供必要的技术支撑。

我国的《土壤环境质量标准》（GB 15618-1955）于1995年发布，沿用至今已有二十年时间。随着社会经济和科学技术的发展，我国土壤环境形势发生了较大变化，出现了许多新问题，相应地提出了新要求。为提高其适用性，经过几轮修订和征求意见，生态环境部办公厅2018年6月28日印发了《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618-2018）。农用土地，特别是产地对农产品质量安全的影响，受到社会广泛关注，并与农业生产、农村经济发展、农民收入等若干因素密切相关。为了更加符合农业特点，对农产品产地安全施行有效管理，本标准综合考虑农作物种类、土壤理化性质等因素，建立了以保障食用农产品质量安全为主要目的的产地土壤重金属安全评估和等级划分方法，是对现行标准的进一步补充和完善。

# 5 标准作为强制性或推荐性标准发布的意见

有鉴于土壤自身理化性质的复杂性，以及土壤重金属生物有效性的差别，建议本标准作为推荐性标准予以发布。

# 6 其他需要说明的问题

我国幅员辽阔，拥有13个气候带28个气候大区，60 类2608种土壤。土壤类型、作物品种、土壤理化性质以及气候条件等众多因素均会影响作物对土壤中重金属的吸收。因此，制定全国统一的土壤中重金属含量限量值，作为评价农产品产地土壤中重金属污染的标准存在一定的不确定性，而随着环境科学研究特别是土壤环境基准值研究的不断深入，以及各地土壤和农产品协同监测制度的进一步完善，鼓励有条件地区因地制宜地制定适合本地农业特点和地域特征的农产品产地环境管理相关地方标准。

# 附件1 《农业用地土壤重金属污染防治法律情况综述》及土壤重金属污染相关法律法规名单

**农业用地土壤重金属污染防治法律情况综述**

**一、我国关于土壤重金属防治立法**

2000年之后，针对重金属污染的一系列问题，党中央、国务院高度重视，温家宝总理、李克强副总理多次做出重要指示，对加强重金属污染防治工作做出了一系列重要部署。为积极稳妥地处置重金属污染，加大污染防治工作力度，保护人民群众身体健康。2009年11月，国务院转发了环境保护部、发展改革委、工业和信息化部等八部门《关于加强重金属污染防治工作的指导意见》（国办发[2009]61号）。2010年3月5日，温家宝总理在第十一届全国人民代表大会第三次会议所作政府工作报告中提出要加强环境保护，积极推进重点流域区域环境治理及城镇污水垃圾处理、农业面源污染治理、重金属污染综合整治等工作。在我国《国民经济和社会发展“十二五”规划纲要》中，明确提出“加强重金属污染综合治理，以湘江流域为重点，开展重金属污染治理与修复试点示范”。2011年2月，《重金属污染综合防治“十二五”规划》（以下简称《规划》）被国务院正式批复。《规划》作为第一个“十二五”国家规划获批，足见国家对重金属污染防治的高度重视，其实施对重金属污染防治工作将起到“提神醒目”的作用。

（一）国家层面的立法

**我国《土壤质量环境标准》**规定了重金属与其他无机物 总镉、总汞、总砷、总铅、总铬、六价铬、总铜、总镍、总锌、总硒、总钴、总钒、总锑、稀土总量、氟化物、氰化物等 16 项。

**《中华人民共和国农产品质量安全法》第十七条**禁止在有毒有害物质超过规定标准的区域生产、捕捞、采集食用农产品和建立农产品生产基地。第十八条　禁止违反法律、法规的规定向农产品产地排放或者倾倒废水、废气、固体废物或者其他有毒有害物质。第三十三条　有下列情形之一的农产品，不得销售：（一）含有国家禁止使用的农药、兽药或者其他化学物质的；（二）农药、兽药等化学物质残留或者含有的重金属等有毒有害物质不符合农产品质量安全标准的；

（二）地方政府立法层面

**《山东省农产品质量安全条例》第四十条** 下列农产品，不得销售：（一）含有国家禁止使用的农药、兽药或者其他化学物质的；（二）农药、兽药等化学物质残留或者含有的重金属等有毒有害物质，不符合农产品质量安全标准的；　（三）含有的致病性寄生虫、微生物或者生物毒素，不符合农产品质量安全标准的；　（四）使用的保鲜剂、防腐剂、添加剂等材料不符合国家有关强制性技术规范的；（五）其他不符合农产品质量安全标准的。

**《江苏省农产品质量安全条例》第二十八条规定 “**有下列情形之一的农产品，不得销售：（一）含有国家禁止使用的农药、兽药或者其他化学物质的；　（二）农药、兽药、饲料添加剂、生长调节剂等化学物质残留或者重金属等有毒有害物质不符合农产品质量安全标准的；（三）含有的致病性寄生虫、微生物、生物毒素不符合农产品质量安全标准的；（四）使用的包装材料、保鲜剂、防腐剂、添加剂等不符合国家有关强制性技术规范的；（五）依法应当检疫检验而未经检疫检验，或者检疫检验不合格的动植物及其产品，或者未按照规定佩带免疫和检疫标识的畜禽及其产品；（六）病死、毒死或者死因不明的动物及其产品 （七）其他不符合农产品质量安全标准的农产品。”

**《甘肃省农产品质量安全条例》第十六条规定**　“禁止任何单位和个人向农产品生产区排放、倾倒、填埋下列污染物：（一）重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、有毒废物、放射性废物；（二）未达标的工业废渣、废气、废水和含病原体的污水、污物；（三）超过国家规定标准的有毒有害固体废弃物、生活垃圾和其他污染物。”

**《海南省农产品质量安全条例》第三十五条规定**　“有下列情形之一的农产品，不得销售：（一）含有国家和本省禁止使用的农药、兽药或者其他化学物质的；（二）农药、兽药等化学物质残留或者含有的重金属等有毒有害物质不符合农产品质量安全标准的；（三）含有的致病性寄生虫、微生物或者生物毒素不符合农产品质量安全标准的；（四）使用的保鲜剂、防腐剂、添加剂等材料不符合国家有关强制性的技术规范的（五）其他不符合农产品质量安全标准的。”

**《贵州省农产品质量安全条例》第二十七条规定**  “有下列情形之一的农产品，不得销售：　(一)含有国家禁止使用的农药、兽药或者其他化学物质的；　(二)农药、兽药等化学物质残留或者含有的重金属等有毒有害物质不符合农产品质量安全标准的；　(三)含有的致病性寄生虫、微生物或者生物毒素不符合农产品质量安全标准的； (四)使用的保鲜剂、防腐剂、添加剂等材料不符合国家有关强制性技术规范的； (五)其他不符合农产品质量安全标准的。”

**《山西省农业环境保护条例》**第二十条规定 “ 严禁新建土焦、土硫磺、小造纸等污染严重的生产项目。对已建成的，按有关规定责令其限期治理改造。”

**《云南省农产品质量安全条例》第三十二条规定**  “禁止向农产品产地或可能影响农产品产地环境的区域排放、倾倒、填埋下列污染物：(一)重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、有毒废液、放射性废水；(二)未达标的工业废渣、废气、废水和未经处理的含病原体或有毒有害物质的污水；(三)有毒有害物质超过国家规定标准的固体废弃物和生活垃圾；(四)其它超过国家规定标准的污染物。农产品产地中上述有毒有害物质含量超过国家规定标准的，不得进行农产品生产。”

**四川省《中华人民共和国农产品质量安全法》实施办第三十二条规定**　“有下列情形之一的农产品，不得销售：（一）含有国家禁止使用的农药、兽药或其他化学物质的；（二）农药、兽药等化学物质残留或者含有重金属等有毒有害物质不符合农产品质量安全标准的；（三）含有致病性寄生虫、微生物或者生物毒素不符合农产品质量安全标准的；（四）使用保鲜剂、防腐剂、添加剂等材料不符合国家有关强制性的技术规范的；（五）依法应当检疫检验而未经检疫检验或者检疫检验不合格的；（六）其他不符合农产品质量安全标准的。”  
 **《郑州市农产品质量安全条例》第十四条规定**　“禁止向农产品产地排放、倾倒、填埋下列污染物：（一）重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、有毒废液、放射性废水；（二）未经处理的含病原体的污水；（三）有毒有害物质超过国家规定标准的固体废弃物和生活垃圾；（四）其他超过国家规定标准的污染物。　农产品产地的重金属等有毒有害物质含量超过国家规定标准的，不得进行农产品生产。”

**《成都市食用农产品质量安全条例》 第八条规定** “禁止向食用农产品生产场所排放重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、剧毒废液、放射性废水或未经处理的含病原体的污水、废气，或者倾倒、填埋含有有毒有害物质超过国家标准规定的固体废弃物。”  
 **《哈尔滨市农产品质量安全管理办法》第十四条规定** “禁止向农产品产地及其周边排放或者倾倒下列物质：　(一)含有重金属的固体或者重金属含量超标的废水、废气;(二)硝酸盐、酸液、碱液;　(三)超标的医疗污水;　(四)其他影响农产品产地环境的有毒有害物质。”

**《沈阳市农产品质量安全管理办法》第十条规定**　“禁止向农产品产地排放重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、有毒废液、放射性废水或未经处理的含病原体的污水；禁止倾倒、填埋有毒有害物质；禁止倾倒超过国家标准的固体废弃物和生活垃圾。”

**《宁波市食用农产品质量安全管理办法》第十二条规定**　“禁止向食用农产品产地排放重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、剧毒废液、放射性废水或未经处理的含病原体的污水、废气，或者倾倒、填埋含有有毒有害物质超过国家标准的固体废弃物。” **第二十条规定　“**禁止销售有下列情形之一的食用农产品：（一）使用[法律](http://www.110.com/fagui/)、[法规](http://www.110.com/fagui/)或规章明令禁用的农药、肥料、兽药、饲料及饲料添加剂或其他添加物生产的；（二）农药、兽药等化学物质残留或者含有的重金属等有毒有害物质不符合农产品质量安全标准的；（三）含有的致病性寄生虫、微生物或者生物毒素不符合农产品质量安全标准的；（四）使用的保鲜剂、防腐剂、添加剂等材料不符合国家有关强制性的技术规范的；（五）病害、病死动物及其产品；（六）依法应当检疫检测而未经检疫检测以及经检疫检测不符合国家质量安全标准的；（七）其他不符合食用农产品质量安全标准的。”  
 **《西宁市农产品质量安全管理办法》 第八条规定** “环保行政管理部门应加强对农产品产地周边工业企业、其他组织及个人排污行为的监管，禁止向农产品产地排放重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、有毒废液、放射性废水和未经处理的含病原体的污水等有害有毒物质，或者倾倒、填埋有害的废弃物。”

**《南宁市食用农产品质量安全管理办法》 第七条规定 “**食用农产品生产基地和其他生产场所应当符合国家和地方规定的环境质量标准。重金属、抗生素残留、农药残留等有毒有害物质含量不符合标准的，不得进行食用农产品的生产。” **第八条规定** “禁止向食用农产品的生产基地和其他生产场所排放重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、有毒废液、放射性废水和未经处理的含病原体的污水，或者倾倒、填埋有害的废弃物和生活垃圾。”  
 **《鞍山市食用农产品安全监督管理办法》 第十一条规定**　“禁止销售含有甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷、久效磷和磷胺等高毒有机磷农药的复配产品；销售其他限制使用的高毒、高残留农药的，批发、零售单位应当建立进货销售台账制度，并报农业部门备案。”

**《苏州市食用农产品安全监督管理条例》 第九条规定** “食用农产品生产场所应当符合国家和地方规定的环境质量标准。 禁止在重金属、抗生素残留、农药残留等有毒有害物质超标的区域进行食用农产品生产。　各级人民政府应当制定生态农业发展规划，推进无公害农产品、绿色食品、有机食品生产基地（以下简称生产基地）建设。”

**《深圳经济特区食用农产品质量安全条例》 第十二条规定**  “用于农产品生产的土地和生产环境应当符合国家强制性标准。市经贸行政管理部门应当会同环境保护部门和农产品质量安全检测机构对农产品生产场所的土壤、水、大气等生产环境进行重金属、农药残留和致病微生物等有害物质监测。农产品生产场所中的重金属、农药残留或者其他有害物质含量不符合强制性标准的，禁止从事农产品生产。”

**《浙江省食用农产品安全管理办法》第九条规定**“食用农产品的生产灌溉用水、养殖用水的水质应当符合国家或者省规定的标准。禁止向食用农产品生产场所排放重金属废液、放射性废水、未经处理的含病原体的污水、有害气体及其他有毒有害物质或者倾倒废弃物和生活垃圾。”

**《贵阳市食用农产品质量安全监督管理办法(贵阳市人民政府令第20号)》第七条规定**  “食用农产品的生产基地和其他生产场所应当符合国家和地方规定的环境质量标准。重金属、兽药残留、农药残留等有毒有害物质含量不符合标准的，不得进行食用农产品的生产。”　**第八条规定**  “禁止向食用农产品的生产基地和其他生产场所排放重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、有毒废液、放射性废水和未经处理的含病原体的污水，或者倾倒、填埋有害的废弃物和生活垃圾。”

**《乌鲁木齐市农产品质量安全条例》第十四条规定**“禁止向农产品生产区排放、倾倒、填埋下列污染物：（一）重金属、硝酸盐、油类、酸液、碱液、有毒废物、放射性废物；（二）未达标的工业废渣、废气、废水和含病原体的污水、污物；（三）超过国家规定标准的有毒有害固体废弃物、生活垃圾和其他污染物。”

**《天津市环境保护条例》第四十一条规定** “乡镇企业、街道企业、校办企业、私营企业和个体工商户，应当因地制宜地发展符合国家和本市环境保护管理规定的行业和产品，并按照以下规定执行： （一）禁止生产和经营汞制品、砷制品、铅制品、放射性制品、联苯胺、多氯联苯、六六六、滴滴涕等产品； 　（二）生产土硫磺、石棉制品、染料、土磷肥等产品的，以及电镀、制革、造纸制浆、土炼焦、炼油、土法生产沥青、有色金属冶炼等项目，应当具备有效污染治理条件，并严格执行环境影响评价和“三同时”制度。 ”

**《河南省农业环境保护条例》 第十一条规定** “各级人民政府应当采取措施，开发治理荒山、荒地、荒滩，控制风沙危害，预防和治理水土流失，防止土地沙化、盐渍化和贫瘠化。从事采矿、石油勘探开发、挖砂、取土等活动的单位和个人，必须采取治理措施，减少占用耕地和破坏植被。造成破坏的，要复垦还耕、恢复植被并赔偿损失。”

**《内蒙古自治区农业环境保护条例》　第十九条规定**　“各级人民政府要根据农业环境保护的规定，合理规划乡镇企业布局，禁止建设或者引进污染农业环境的生产项目、工艺流程，鼓励发展无污染的行业。禁止新建土硫磺、土炼焦、汞法和氰法炼金等污染农业环境的生产项目。已经建成的，必须限期治理，使排放物不得高于国家和自治区规定的排放标准；在限期内达不到治理要求的，责令其停产整顿。”

**《山东省农业环境保护条例》第十一条规定**　“各级人民政府应当采取措施，开发治理荒山、荒地、荒滩，控制风沙危害，预防和治理水土流失，防止土地沙化、盐渍化和贫瘠化。 从事采矿、石油勘探开发、挖砂、取土等活动的单位和个人，必须采取治理措施，减少占用耕地和破坏植被。造成破坏的，要复垦还耕、恢复植被并赔偿损失。”

**《广西壮族自治区农业环境保护条例(2004修正)》第二十一条规定**“合理规划乡镇企业的布局，发展无污染、少污染的行业。禁止新建土硫磺、土炼焦、小造纸等污染项目，对已建成且污染农业环境的，按有关规定责令其限期治理。逾期未完成治理任务的，由作出限期治理决定的人民政府责令其关闭。”

**《河北省农业环境保护条例》第二十四条规定**　“作为肥料或者用于土壤改良的城市垃圾、粉煤灰、污泥等废物，必须符合国家或者地方标准，并经当地有监测资质证书的环境监测机构监测，不符合标准的不准使用。”

**《广东省农业环境保护条例》第十九条规定**　“作为肥料的城镇垃圾、粉煤灰、污泥，必须符合国家有关标准。”

**《宁夏回族自治区农业环境保护条例》第二十八条规定**　“违反本条例规定，有下列行为之一的，由县级以上人民政府农业行政主管部门协同本级环境保护行政主管部门责令其停止违法行为，并依照有关法律、法规的规定予以处罚：（一）向农用水体、土地倾倒和排放垃圾、废渣、油类、剧毒废液和含病原体废弃物的；在农用水体中浸泡、清洗、丢弃装贮过油类、有毒污染物载体的；（二）排放烟尘、粉尘及有害气体，污染农业环境的。”

通过以上对我国土壤重金属防治方面的立法的总结，我们可以发现在对土壤重金属的防治方面国家层面和地方政府层面都有所规定。但这些规定都是从总的方面强调不得向农用地排放、倾倒、填埋重金属等污染物，缺乏具体的操作办法。

**二、对我国关于土壤重金属防治立法的相关评价**

本文第一部分对我国现阶段土壤重金属防治方面的立法进行了总结，从现阶段我国土壤重金属防治国家层面和地方立法来看。我国有关土壤重金属防治立法主要集中体现在地方立法中，各个省市均有关于这方面的立法规定，体现了各省市充分的贯彻了“十二五”规划。土壤重金属污染日渐提上了国家的立法日程。从国家立法层面，我国《土壤质量环境标准》规定了重金属与其他无机物的标准。在实践中提供了很好的参考依据。从地方立法层面，大部分省市法律中明确提出不得向农用地排放、倾倒、填埋重金属等污染物。但是，从我国目前土壤重金属污染的情况及相关治理来看，我国相关立法还存在以下问题：

( 一) 相关立法的缺失

我国目前环保立法措施主要针对的是大气污染、重点流域和湖泊水污染、电子类产品废物、固体废弃物和危险废物污染。污染治理重点关注在治标上，主要是针对污染面的治理，而对于重金属污染等点源污染，国家还缺乏专门的针对性治理。所以我国关于重金属污染防治的立法还有很多缺失。我们知道由于重金属污染最后集中于土壤，所以对于重金属污染的防治立法应主要表现在土壤污染防治的立法建设上。但是在我国现行的法律体系中，已经有了防治大气污染、水污染、固废污染、海洋污染的法律，防治土壤污染的法律基本上还是一项空白，虽然涉及的相关法律法规很多，有《宪法》、《环境保护法》、《土地管理法》，还有《水污染防治法》、《化学品管理条例》等等，但是不成系统，在立法形式上存在分散立法、附属立法、立法层级较低等缺陷。我国目前还没有重金属污染防治方面的专门立法，重金属污染防治规定只有一些通知，意见等文件，或者笼统适用其他相关法律法规，缺乏适用法律的强制力和执行力。

1. 环保部门的监管缺陷

地方环保部门是承担地方环境管理和执法职责的行政机构，由于环保部门并不属于中央垂直管理模式，因此，地方环保部门又是地方政府的组成部门之一，且其部门排列序位并不靠前。地方政府在相当长的 GDP 作为指挥棒的政绩考核年代，环保被视为一个次要甚至可以忽略不谈的话题，地方政府的盲目招商引资，地方环保部门为兼顾自身受制于地方政府往往采取“只眼闭一只眼”的政策。正是如此身往往处于尴尬境地，环保部门一边看着企业排污，一边向污染企业收取排污费并讨价还价的两难局面( 如大冶境内兴办的一些大中型厂矿企业，上世纪 70 年代以来，一直是全市经济的半壁江山，在 GDP 考核的惯性驱使下，环境成了牺牲品) 。此外，地方环保部门由于人力物力的缺乏、职能权利的限制，常常采取“救火”式的消极监管模式，环境影响评价往也仅仅停留在企业建厂之初的立项审批上，而对企业投产后的环境排污监管能省则省。因此，地方环保部门监管不力是重金属污染的主要原因。除此之外，在对重金属污染企业的监督和查处中，普遍存在执法力度不够，查处不严，没有严格按照法律，法规要求对企业实现审批，整治或关停。地方政府在对重金属污染企业的管理上，往往为了经济利益，而放松其环境保护标准要求。如沭阳当地政府为了追求经济利益而容忍天能电池公司排出超标的重金属铅。环保部门在对污染企业的查处中，往往有心无力，有些企业往往会绕过本级环保部门而直接获得上级环保部门的审批，而上级部门对其情况不了解，这就导致环保部门权力行使混乱，对企业没有约束力。

（三）责任机制欠缺

我国对重金属污染企业的责任规定缺乏。对企业的污染后果经常是在通知或政策性文件中规定，具有运动式执法的特点，对企业的环保责任往往是以行政责任处罚，比如限期整改，罚款金额较低，没有起到对企业的惩戒作用。

1. 土壤重金属环境污染导致的环境公共利益救济不能

2012年新修改的《民事诉讼法》已经规定了环境公益诉讼,并授权实体法对原告资格进行规定。但是,环境保护法目前对环境公益诉讼却缺乏规定,急需建立重金属环境污染导致的自然资源、生态环境公共利益救济制度。

**三、国外关于土壤重金属防治立法及相关借鉴**

近几十年来，世界各国对重金属污染问题的意识不断加强，对于铅、镉的污染及危害非常重视。1981年世界卫生组织开展的全球生物检测，把铅列为重点研究对象之一，美国和英国还成立了铅委员会，进行有关学术研究。镉已被美国毒理委员会(ATSDR)列为第6位危及人体健康的有毒物质，联合国环境规划署(DNFP)和国际职业卫生重金属委员会也把镉列入重点研究的环境污染物，世界卫生组织(WHO)则将其作为优先研究的食品污染物。为了减少和防治重金属污染对人体的伤害，日本、欧盟和美国先后均采取了有力的应对措施防治镉、铅等重金属污染，特别是土壤污染防治与电子废物污染防治。日本重金属污染防治法日本的环境保护在亚洲乃至世界都位居前列。

（一）日本相关土壤重金属防治立法

1、日本相关土壤重金属防治立法综述

从19世纪末到20世纪70年代，伴随经济起飞，同时缺乏有效的环境管理，日本的环境污染严重。20世纪世界八大环境公害事件有一半发生在日本——骨痛病事件（镉中毒造成）、水俣病事件（甲基汞中毒造成）、米糠油事件（多氯联苯污染米糠油造成）、四日市哮喘病事件（工厂排放废气造成），日本人民的健康受到巨大威胁。为防止此类事件的再次发生，日本分阶段制定了一些法律法规和政策，规定了土壤中重金属含量的限值，具体包括《农用地土壤污染防止法律》（1970年）、《市街地土壤污染暂定对策方针》（1986年）、《土壤污染环境标准》（1991年）、《与重金属有关的土壤污染调查•对策方针》、《关于土壤•地下水污染调查•对策方针》（1999年）、《二噁英类物质对策特别措施法》（1999年）、因二噁英类物质而引起的土壤污染的环境标准、《土壤污染对策法》（2002年）。从20世纪80年代开始，日本对土壤污染现状进行监测，从土壤污染的程度、面积、类型等多角度分析土壤污染的原因，防治类似骨痛病、水俣病等事件的再次发生。同时，日本为防治电子废弃物造成的镉、铅重金属污染，出台了一系列法律、法规，具体包括：1970年制定了《废弃物处理法》，1991年10月颁布实施了《促进再生资源利用的相关法律》，2000年日本国会通过了《推进循环型社会形成基本法》的纲领性法律，2001年4月正式施行《家电再生利用法》，推动电子废弃物处理由“大量废弃型”转变为“循环型”处理模式。[[1]](#footnote-2)

1. 日本土壤重金属污染具体立法的规定

**《农业用地土壤污染防治法》第5条** 都、道、府、县知事在指定对策地区时，就该对策地区，为了防止或消除因该区内的农业用地土壤的特定有害物质引起的污染，或者合理利用被污染的农业用地(以下称“污染农业用地”)，应立即制定农业用地土壤污染对策计划(以下称“对策计划”)。在对策计划中，根据总理府令和农林水产省令规定以下事项：1．有关对策地区区域内的某农业用地，在考虑因其土壤的特定有害物质引起的污染程度的基础上，规定出利用上的分类及其有关每种分类农业用地利用的基本方针；2．关于在对策地区的区域内，与某农业用地有关的下列事业中的必要事项：(1)为防止因农业用地土壤的特定有害物质引起污染的灌溉排水设施，及其他设施的新设、管理或者变更； (2)消除因农业用地土壤的特定有害物质引起污染的客土（“客土”是指把受到重金属镉等污染的土壤更换成未受污染的土壤·---译者注。）‘及其他事业；(3)谋求合理利用污染农业用地的地目变换及其他事业。

**《关于制定农用地土壤污染对策地域指定要件铜量的检定方法的省令》**（昭和47年10月27日总理府令第66号）关于农用地土壤的污染防止法律施行令，以（昭和46政令第204号）第二条第2项为依据，制定农用地土壤污染对策的指定要件铜量的检定方法，如下所示。样品的提取 第一条 为了判定是否适合农用地的土壤污染防止法律施行令第二条第一项第三号要件进行铜量的检定（以下称检定）提取样品的地方必须按用地面积大概 每2.5公顷一个比例. 第二条 为了检定提取的样品，根据前项规定在被选定的地方的（水口地点 中央地点 以及水 地点）结线划分为 三等分，在这个线的中央地点（以下简称取样地点 ）进行取样。 第三条 为了检定样品，必须提取从采取地的地表到 大概15厘米的土壤，土壤风干后通（过非金属制的孔径为2毫米的 细筛筛选），提取混合土壤。

**《制定农用地土壤污染对策地域指定要件砷量地检定方法地省令》**（昭和50年4月8日总理府令第31号）关于农用地土壤的污染防止法律施行令，以（昭和46政令第204号）第二条第2项为依据，制定农用地土壤污染对策的指定要件砷量的检定方法，如下所示。提取样品： 第一条 为了判定是否适合农用地的土壤污染防止法律施行令第二条第一项第四号要件作为进行砷量检定的样品（以下称检定）提取土壤的地方，根据检定必须选定用地面积大概 每2.5公顷一个比例.第二条 提取作为检定样品得土壤由于前项规定被选定得（ 水口地点 中央地点 以及水 地点结线划分为三等分），在这个线得中央地点（以下简称样品采取地点）进行提取样品。 第三条 为了检定样品在样品采取地点采取从地表大概15厘米的土壤，风干后，通过非 金属孔径为2毫米得筛子筛选, 必须提取混合土壤 。

检定方法：检定根据刊登在附表中得到的方法进行试剂以及样品液的调制，检定的操作和样品水份的测定，以此结果为依据 必须由附录算式算出。

（二）欧盟关于土壤重金属防治的立法

欧盟重金属污染防治法欧盟为防治土壤中的重金属污染，分阶段颁布了相关法律。1972年颁布了《欧洲土壤宪章》，1983年出台了有关国际标准，2004年欧盟委员会制定了一项土壤保护战略，决定采用土壤信息和监测系统的法律规定，2004年年底制定了《堆肥和其他生物垃圾处理规程》。欧盟还针对重金属镉污染制定了专门指令。欧盟镉指令：将镉列为高危害有毒物质和可致癌物质，并加以严格的管制，欧盟于1991年7月12日发布了91/338/EEC指令，指令要求成品或零件中的塑胶制品及液态涂料（不论是水性或油性涂料）及聚合物安定剂中镉之含量不得超过0.01%，若涂料含有高含量的锌，则镉含量不得超过0.1%。而特定设备的电镀镉则为禁止使用。荷兰镉法令（1999）：扩充了原欧盟指令的要求，其中包括针对颜料（色素）、染料、安定剂规定镉含量不得超过0.01%；电镀层镉禁用；另外石膏中的镉含量不可超过0.0002%；照片底片和荧光灯则禁止使用。同时，对于电子产品废弃物，欧盟国家、欧洲议会及理事会公布了众多的关于电子废弃物立法，其中《废弃电气电子设备令》（WEEE指令）和《禁止在电气电子设备中使《禁止在电气电子设备中使用特定有害物质的指令》（ROHs）极具代表性，被称为“全球最严厉的环保法令”。欧盟规定自2006年7月1日起，投放市场的新的电气电子设备(ROHs附件所列的例外)不得含有汞、镉、铅、六价铬等有毒有害物质。同时，要求从2006年7月1日开始，电子电器设备中禁止使用铅、水银、镉、六价铬；其中，镉限量指标0.01%，其他三种重金属的限量指标为0.1%。日前各国立法的具体措施是：要求生产者承担其产品废弃后的处理责任，从而刺激生产者在产品设计时，更多考虑产品的环境性能，生产对环境友好的产品，通过立法限期淘汰有毒有害物质在产品内的使用。在费用分摊方面，目前收费模式主要有两种：一种是预付费方式，这是一种隐消费者付费模式；另一种是后付费方式，消费者将废旧家电返还时交付收集、运输及回收再利用费。目前欧洲各国多采用预付费方式，如荷兰、挪威、瑞士等。德国根据欧盟的相关指令制定了本国的《废旧家电回收利用法》。从2005年8月13日开始，被称为“全球最严厉的环保法令”的欧盟《废弃电气电子设备指令》开始实施，规定生产商、进口商和经销商要负责回收、处理进入欧盟市场的废弃电器和电子产品。欧盟还做了“扩展的生产者责任的尝试。起草制定了相关法律保证制造商对电脑的整个生命周期负责，并要求他们将回收电脑及配件的费用加到产品成本中。同时，制造商必须同意不添加任何有毒原料。从2003年8月13日起，每一件对欧盟出口的电子电气产品，都会被额外征收一笔10～22欧元的费用，用来处理报废的电子设备。欧盟也在促使制造商开发绿色家电，即从电器的原材料选择和产品设计开始，就为将来的使用和废弃考虑，形成资源—产品—再生资源的良性循环。[[2]](#footnote-3)

（三）美国土壤重金属污染防治法

美国联邦立法从名称上看没有关于土壤污染防治的专门立法，其主要是通过污染物和污染源控制法律以及相应的联邦和州行动计划的制订和实施，来进行土壤污染防治的法律控制的，主要有两部法律：一是1976年颁布的《资源保护和回收法》（RCRA）；二是1980年颁布的《综合的环境反应、补偿和责任法》（CERCLA），据此美国政府建立了名为“超级基金”的信托基金，旨在对实施这部法律提供一定的资金支持，故常将该法称为“超级基金法”。该法主要用于治理全国范围内的闲置不用或被抛弃的危险废物处理场，即所谓的“棕色地块”，并对危险物品泄漏做出紧急响应。“超级基金法”授权美国环保局（EPA）敦促有责任各方予以清理，法案第102条授权环保局局长可以颁布规章，指定只要渗漏到环境中去就可能对公众健康、福利和环境造成“实质性危害”的物质为“危险性物质”。当事人不管有无过错，任何一方均有承担全部清理费用的义务。法案允许EPA先行支付清理费用，然后再通过诉讼等方式向责任方索回。EPA在清理危险物时可以由自己的机构或委托私人机构分析该地区的危险程度，选择、设计清理方案，以进一步采取相应的清理行动。该行动分为清理措施和补救措施。超级基金资金的来源 超级基金的初始基金为16亿美元，来源两个：13.8亿美元来自对生产石油和某些无机化学制品行业征收的专门税；2.2亿美元来自联邦财政。1996年国会修改超级基金法时，将基金总数扩大到85亿美元。其中25亿美元来自年收入在200万美元以上企业的附加税；27.5亿美元来自联邦普通税；3亿美元来自基金利息；3亿美元来自自费用承担着追回的款项等。超级基金支付的对象 主要用于支付以下费用：一是联邦政府实施的，针对那些不符合《全国应急计划》的废物处置进行的迁移和补救行为的全部费用；二是任何个人实施的，针对那些不符合《全国应急计划》的废物处置进行的其他“必需”的责任费用；三是因泄漏危险物质而造成的对“天然资源”的破坏等。 [[3]](#footnote-4)

**世界各国土壤重金属元素的环境标准和最大允许浓度**

**单位：mg/kg**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 国家和地区 | 镉（(Cd） | 铅（(Pb） | 铜（Cu） | 锌（Zn） | 汞（Hg） |
| 德国 | 1.5 | 100 | 60 | 200 | 2 |
| 英国 | 1.75 | 550 | 55 | 200 | 1 |
| 欧洲 | 1~3 | 50~300 | 50~140 | 150~300 | 1~1.5 |
| 美国 | 3.56 | —— | 73 | 730 | 5.34 |
| 加拿大 | 1.6 | 60 | 150 | 300 | 0.5 |
| 前苏联 | 5 | 背景值+20 | —— | —— | 2.1 |
| 中国 | 0.3~1.0 | 30~500 | 50~400 | 200~500 | 0.1~1 |

（四）对国外土壤重金属立法的借鉴

从国际社会的关注和各国实际经验来看，我国应进一步加强对重金属污染的防治工作，加强相关污染调查、标准制定、立法和能力建设等方面的研究。

第一，全面深入调查重金属污染状况。我国重金属污染防治工作既要重视环境介质（包括水体、大气、土壤等）中的重金属污染状况的全面、深入调查及监测工作等，同时要注重产品生产、消费、流通和废弃等全过程的重金属污染问题。

第二，要加强重金属污染防治立法工作的科学性。重金属污染来源复杂，工作基础薄弱，防治技术缺乏，防治工作难度较大。因此，要充分考虑立法工作的复杂性，既要与现有的立法体系相融合，又要选择重点尽快出台单项的法律、法规，成熟一个出台一个。

第三，要加大对重点重金属污染源的执法力度和执法能力建设。重点监管与人民健康密切相关的污染源、风险源，加大科技投入，加强监测和执法能力建设。

第四，重金属污染防治重点就是人民群众反映最强烈的问题。我国重金属种类较多，难以在短期内解决好我国重金属污染的防治问题。当前和“十二五”期间重点要紧密围绕与公众健康最为密切的、对公众健康潜在危害最大的地区进行重点防治；制定重金属污染的防治目标，并列入“十二五”减排目标中；同时，切实严格落实环境影响评价中提出的重金属污染预防措施，从源头上重视重金属的污染防治。

第五，重金属污染防治要有充分的资金和技术保证。重金属污染问题凸显，且与我国重化工为主的经济结构密切相关，是一种“刚性污染”，同时与重金属污染有关的污染源普遍是中小企业，或与农业或百姓生活密切相关的产品，与就业和民生关系密切。因此，中央和省级政府要对于重点污染区域予以资金和技术支持，而不是完全依赖行政命令，减少环境与经济发展、民生等问题之间的冲突。

第六，重金属污染防治不仅需要国内多部门的协作和协调，而且需要加强国际合作。鉴于重金属污染的多介质性和复杂性，需要发改、财政、环保、安全、卫生、科技等多部门的合力，加快重金属污染防治工作；同时要借鉴国外的技术和智力资源,积极跟踪参与汞污染防治等国际进程，以外促内，将国际上的相关要求与国内工作紧密结合，统筹安排考虑。

1. **我国土壤重金属防治的立法建议**

通过前文对我国土壤重金属污染防治立法的评析，我们可以了解现阶段关于土壤重金属污染立法方面，我国还存在许多问题。本部分主要结合我国立法中存在的缺陷以及国外关于土壤重金属污染防治的借鉴，对今后我国土壤重金属防治立法提出相应的对策。

( 一) 尽快制定专门的土壤污染防治法

加紧制定我国的《土壤污染防治法》，在此立法中建立专门的土壤污染防治法律制度，这些制度理应包括: 土壤的规划制度、功能区划制度、特殊土壤保护区、设置土壤整治区、建立修复制度，还有土地保护预警制度、土壤污染突发事件应急机制，土壤污染监管与法律责任、土壤污染整治基金、土壤污染责任保险、土壤污染受害人的法律救济等基本法律制度。并且在此立法中应注意重金属污染的防治标准要与有关人体健康的健康标准衔接( 环境标准主要着眼于环境中的重金属含量标准，而卫生标准则体现的是人体健康受损时的体内重金属含量) ，否则即使环境标准是达标的，也不表明当地的人群不会受到健康危害; 同时在立法中要注意加重责任主体的违法成本，明确各责任主体的责任范围( 包括监管主体) 。有了明确的立法，才能使我国的重金属污染防治工作做到有法可依。

与此同时，地方上可以根据自身特点制定一些配套的地方法规条例，使地方的重金属污染防治工作更具体，更符合地方需要。如对于大冶市来说，如果监管不严制度不力，随着金属价格的上涨，一些无良业主还会卷土重来，因此大冶已编制完成了《大冶市生态环境保护规划》、《大冶市重金属污染调查与防治规划》，使大冶在城市转型战略的推动下，环境质量有了明显好转。当然大冶的生态环境问题是长期、历史积累造成的，包袱沉重。大冶治理重金属污染不仅难在“增量”的控制，也难在“存量”的消化。再加上大冶的经济结构还不太合理，只要采选业存在，镉、铅、铜、砷、汞等重金属污染物就还会出现，治理重金属污染的目标也决非短期内可以实现。这些都需要基本法与地方法的配合才能更好地解决。

( 二) 完善土壤污染防治的行政监管

在土壤污染防治的立法中应规定重金属污染防治工作由地方政府负总责，政府主要领导是第一责任人。各级政府要建立重金属污染防治工作的大格局，建立政府领导、部门联动的防控机制，做到责任到位、排查到位、整改落实到位。要落实地方政府环境质量负责制，因重金属污染造成群发性健康危害事件或重特大环境污染事故的，要对当地政府和有关部门负责人实施问责; 对构成犯罪的，依法移送司法机关处理。对政府有关部门查处环境违法行为不力，甚至包庇、纵容违法排污企业，造成重大重金属污染事件的，要依法依纪严肃追究相关责任人的责任。可以规定各级人民政府的农业行政主管部门根据其职责范围对农用地土地环境进行调查、监测，防治农用地土地污染; 各级人民政府的土地管理部门负责对非农用地，尤其是工矿企业所在地的土壤环境进行调查、监测。同时在立法中要提升环保部门的地位，加强其配备，协调好其与相关部门之间的关系，如此做到职责明确到位，才能搞好重金属污染防治工作。如大冶市就已经在按照属地管理的原则要求各辖区的党政主要负责人对涉及重金属污染的企业负总责，对各相关企业实行“一票否决”制( 即凡因重金属污染专项整治排查不到位、或因监管不力造成重金属污染环境事件的，将给予“一票否决”或黄牌警告，取消评先资格，并依法严肃追究责任。) 便是加强重金属污染环境监管的有力措施。

( 三) 建立完善的重金属污染状况公告制度，鼓励公众参与，加大宣传教育力度，增强社会环保意识

在国外的有益借鉴中我们可以看出政府、企业、个人是整个“重金属污染链”上的重要主体，而从以上分析可知诸多重金属污染事件的发生都与大家的“环保意识薄弱”有关。因此，有必要从全社会的角度加强对重金属污染的危害、根源、防范等知识的宣传力度，加大群众对重金属污染的了解度、关注度和监督力度，增强企业自律观念以及政府部门自省、自察的意识。各级环境保护主管部门应该定期公布本区域内的有没有重金属污染状况，对于被污染的土地等介质应该及时向公众公布、使公众及时了解，参与到环境管理和保护的过程中。应扩大公众的参与权，特别是在重金属污染事故中，对于一些行政主管部门徇私舞弊、偏袒污染企业的行为，应该鼓励公众通过举报、监督等手段，促进执法工作的顺利进行。这些制度应在相关立法中明确地规定出来，才能具体地来指导实践。[[4]](#footnote-5)

(四) 建立我国重金属污染损害救济制度的建议

1、实行环境风险管控原则,保护人群健康与生态系统的安全 重金属污染的发生具有高风险性特点,应实行重金属污染环境风险管控原则,以减轻、转移、避免环境风险为目标,进行管控风险的费用和效益分析,确定可接受风险度和可接受的损害水平,并进行政策分析及考虑社会经济等因素,决定适当的管理措施并付诸实施,以降低或消除事故风险度,保护人群健康与生态系统的安全。

2、实行污染者负担原则,公平环塊污染防治责任 《里约环境与发展宣言》(1992)在原则16中规定考虑到污染者原则上应承担污染费用的观点,国家当局应该努力促使内部负担环境费用。”《21世纪议程》指出:“环境费用应该体现在生产者和消费者的决定上。现在的趋势是把环境作为‘免费品’,并把代价转嫁给社会甚至未来几代人。这种趋势应该逆转。”环境法实行污染者负担原则,促进了污染的外部不经济性内部化。污染者负担原则要求造成环境污染的组织、单位或者个人应该承担防治污染和污染损害赔偿责任。同时,环境污染的外部不经济性不仅产生了如何内部化的问题,还产生了污染的外部不经济性的分担问题。从环境法角度而言,应建立机制不仅使外部性尽量减少,而且应使外部性分配更为合理、公平,通过国家强制力对外部性所造成的损失进行强制性分配,使损失分散化、分担化。

3、完善重金属环境污染人身损害救济机制 完善重金属环境污染人身损害赔偿责任的立法,同时,推进司法实践,总结、发布重金属环境污染损害赔偿指导性案例。应建立我国重金属污染健康危害监测与诊疗体系,研究环境污染病的确诊条件和诊断标准及赔偿办法。同时设立专门的研究、医疗机构,对患者进行治疗和追踪观察,以探明公害病发病机制,寻求规范化治疗方法和根治措施,在完善城乡医疗保障体系中,建立健全重金属环境污染人身损害的救助制度。

4、建立重金属环境污染所致公共利益损害救济制度 建立重金属环境污染导致的自然资源、生态环境公共利益损害赔偿、恢复制度。建立损害评估、损害赔偿以及损害修复技术体系,明确赔偿主体、赔偿对象、损害鉴定评估程序、赔偿范围以及赔偿金的确定、环境污染清除和修复责任、环境污染损害鉴定评估机构、建立环境污染公益诉讼制度等。

5、建立重金属污染事故处置与受污染环境的治理修复机制

应当将有效防范和妥善应对重大突发环境事件作为地方人民政府的重要任务,纳人环境保护目标责任制;建立健全重金属排放等高环境风险企业环境污染责任保险制度;加强受污染环境(主要是水体、土壤、生态环境等)的治理与修复。应确立受污染环境的治理与修复的对象和优先序位、建立受污染环境的治理与修复计划与方案制度、受污染环境的治理与修复责任制度、修复评估与鉴定制度、修复技术开发与应用制度、受污染环境的治理与修复资金制度等。

**土壤重金属污染相关法律法规及标准名单**

**1.国内法律法规**

（1）《中华人民共和国农业法》（2012年修正）

（2）《中华人民共和国农产品质量安全法》

（3）《中华人民共和国土地管理法》（2004年修正）

（4）《中华人民共和国环境保护法》

（5）《中华人民共和国草原法》

（6）《中华人民共和国森林法》

（7）《基本农田保护条例》

（8）《农产品产地安全管理办法》

（9）《甘肃省农产品质量安全条例》

（10）《海南省农产品质量安全条例》

（11）《贵州省农产品质量安全条例》（2012年修正本）

（12）《广东省基本农田保护区管理条例》

（13）《湖南省耕地质量管理条例》

（14）《山西省农业环境保护条例》（2010修正）

（15）《江苏省基本农田保护条例》（2004修正）

（16）《云南省农产品质量安全条例》

（17）四川省《中华人民共和国农产品质量安全法》实施办法

（18）《辽宁省农产品质量安全管理办法》

（19）湖北省实施《中华人民共和国农产品质量安全法》办法

（20）河南省实施《中华人民共和国农产品质量安全法》办法

（21）《哈尔滨市农产品质量安全管理办法》

（22）《西宁市农产品质量安全管理办法》

（23）《鞍山市食用农产品安全监督管理办法》

（24）《山西省农产品质量安全条例》

（25）《本溪市基本农田保护条例》

（26）《深圳经济特区食用农产品质量安全条例》

（27）《珠海市食用农产品质量安全管理办法》

（28）《吉林省耕地质量保护条例》

（29）《浙江省食用农产品安全管理办法》

（30）《乌鲁木齐市农产品质量安全条例》

（31）《甘肃省农业生态环境保护条例》

（32）《湖北省农业环境保护条例》

（33）《天津市环境保护条例》

（34）《辽宁省农业环境保护条例》（2004年修正）

（35）《河南省农业环境保护条例》

（36）《内蒙古自治区农业环境保护条例》

（37）《山东省农业环境保护条例》

（38）《广西壮族自治区农业环境保护条例》

（39）《湖南省农业环境保护条例》

（40）《河北省农业环境保护条例》

（41）《广东省农业环境保护条例》

（42）《云南省农业环境保护条例》

（43）《宁夏回族自治区农业环境保护条例》

（44）《福建省农业生态环境保护条例》

（45）《黑龙江省农业环境保护条例》

（46）《江苏省农业生态环境保护条例》

**2.国外法律法规**

（1）美国农地保护政策法

（2）美国污染防治法

（3）美国土壤和水资源保护法

（4）美国净水法案

（5）美国加利福尼亚食品农业法

（6）美国国家环境政策法

（7）美国农产品安全和农村投资法

（8）美国关于修正联邦农作物保险条例的条令

（9）美国联邦农业改革法

（10）美国食物农业保护和交易法

（11）加拿大农业废物管理法

（12）加拿大环境与健康土壤质量指导值推导规程

（13）日本农林水产省设置法

（14）日本农林水产省组织令

（15）日本食品安全基本法

（16）日本土壤污染对策法

（17）日本土壤污染对策法施行令

（18）日本土壤污染对策法施行规则

（19）日本农业用地土壤污染防治法

（20）日本公害对策基本法

（21）欧盟欧洲土壤宪章

（22）欧盟关于建立对土壤保护的框架的建议及对2004年第35号指令的修订

（23）德国土壤保护和污染区管理法规

（24）德国联邦土壤保护法

（25）德国联邦土壤保护与污染地条例

（26）保加利亚土壤法

（27）挪威土地法

（28）斯洛文尼亚土壤中危险物质的输入和植物营养物质输入法

（29）英国环境保护法

（30）澳大利亚土壤保持法

（31）荷兰镉法

# 附件2 《国外发达国家农业用地土壤限量标准研究》及土壤限量标准名单

**国外发达国家农业用地土壤限量标准研究**

土壤重金属污染的危害

土壤重金属污染问题已经成为当今环境科学研究的重要内容,特别是城市及市郊土坡重金属污染问题受到越来越多的重视。重金属由于不能够被土壤微生物所分解,易在土坡中积累,通过食物链在动物、人体内积累,严重影响人体健康。研究表明,重金属对人体健康的危害是多方面、多层次的。重金属容易造成生殖障碍,影响胚胎正常发育,威胁儿童和成人身体健康。在中国乃至世界范围内,由于重金属污染引起的疾病和环境公害事件相当普遍。如日本汞污染引发的水误病,福造成的骨软化、骨萎缩;瑞典锡、铅、砷造成女工的自然流产率和胎儿畸形比率明显提高;广东翁源新江镇周围受污水影响,皮肤病、肝病和癌症成为高发病症。[[5]](#footnote-6)除此之外，土壤中不论是植物生长必需还是不需的重金属元素的浓度在一定范围内不至于影响到植物的生长,但当浓度过高,植物富集于体内的含量超过了本身的富集阈度值,植物就会发生毒害,甚至死亡。在美国佛罗里达州,土壤的含铜量超过50mg/kg时,柑桔幼苗生长受到影响,土壤含铜量达200mg/kg时,小麦就会枯死。张祖锡的试验表明,污灌小麦3次试验的生物量比对照的分别下降23.3%、28.53%和9.78%。重金属污染的土壤,其作物品质也下降。成都东郊污灌区内,Cd在稻米中积累严重,年富积量达1.549mg/kg,有的已形成镉米,不能食用。对Cd污染条件下小白菜和菜豆幼苗生长的研究,30Lmol/L的Cd使小白菜和菜豆的生长受到抑制,表现为株高、主根长度下降,叶面积锐减等,其原因可能在于Cd对作物光合作用与蛋白质合成的干扰以及膜系统损伤造成的代谢紊乱等。有研究表明,当镉超过一定浓度后,对叶绿素有破坏作用,并促进抗坏血酸分解,使游离脯氨酸积累,抑制硝酸还原酶活性。另外,镉能减少根系对水分和养分的吸收,也可抑制根系对氮的固定。[[6]](#footnote-7)

1、英国土壤指导值（SGVs）

**英国使用的土壤限量指标是土壤指导值（Soil Guideline Values ,SGVs)****，是按照土地利用类型，通过对土壤污染物对人类健康产生长期风险进行评估，并基于通用评估模型建立的科学土壤含量值，并不考虑对土壤环境中其他受体的风险性，如植物、动物、建筑物和受控水体等。SGVs是一个起始浓度值，并不是进行土壤修复的行动值，土壤含量如果超过此值，应予以关注其引起的人体健康风险，并对环境状况进行监测。**

表1 英国土壤指导值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | 土壤指导值（mg/kg） | | | | |
| 元素 | Inorganic As[[7]](#footnote-8) | As[[8]](#footnote-9) | Cd[[9]](#footnote-10) | Se[[10]](#footnote-11) | | Elemental Hg[[11]](#footnote-12) | Inorganic Hg | Methyl Hg | Ni[[12]](#footnote-13) |
| 住宅用地（有植物生长） | 32 | 20 | 10 | 350 | | 1.0 |  | 11 | 130 |
| 住宅用地(无植物生长) | 20 |
| 菜（果）园地 | 43 | 20 | 1.8 | 120 | | 26 | 80 | 8 | 230 |
| 商业/工业用地 | 640 | 500 | 230 | 13000 | | 26 | 3600 | 410 | 1800 |

表2 土壤指导性标准值（mg/kg）[[13]](#footnote-14)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 污染物 | 土地使用类型 | |
| 住宅用地（有植物） | 菜（果）园地 |
| 砷（As） | 20 | 20 |
| 镉（Cd） | pH6:1；pH7:2；pH8:8 | pH6:1；pH7:2；pH8:8 |
| 铬（Cr） | 130 | 130 |
| 无机汞（Hg） | 8 | 8 |
| 镍（Ni） | 50 | 50 |
| 硒 | 35 | 35 |
| 铅 | 450 | 450 |

2、美国土壤标准

**美国土壤限量标准主要有以下分类：**

1. **美国国家环保局(EPA)标准：**

**通用土壤筛选值(generic SSLs)；生态土壤筛选值(Eco-SSLs)；人体健康筛选值； 土壤放射性核素筛选值**

**2）美国区域(region)标准：**

**九区(Region 9) 土壤初级修复目标值(PRGs)；**

**四区(Region 4) 生态筛选值(ESV) ；六区(Region 6) 人体健康指定介质筛选值**

**3）美国各州标准：**

土壤筛选值：soil screening levels (SSLs) ，是针对每个污染物的标准化方程式建立的土壤浓度风险基准值，该方程综合考虑了EPA毒理数据、土壤利用途径及暴露评估因子，包括受体特征及潜在暴露途径。低于此值的土壤不需要开展相关研究工作，如果大于或等于此浓度的土壤，则需要开展进一步研究与监测。但是此值未到进行修复的水平。 另外还有一些区域性及洲立的差异化的土壤筛选值或初级修复目标值。

**通用土壤筛选值**Genetic SSLs：是通过单一的特殊场地暴露途径来计算SSLs，并应用统一的假设。

生态土壤筛选值**(Ecological-SSLs)：限量值的确定独立于genetic SSLs的评估方法，是为保护接触土壤或食用生活在土壤中或土壤表面生物的生物受体而制定的土壤污染物浓度。这个浓度值能够对陆地生态系统提供一定的保护作用，主要保护的生态受体有植物、无脊椎动物、鸟类及哺乳动物。植物与无脊椎动物主要评估其对土壤污染物直接摄入的暴露途径，鸟类及哺乳动物评估其对土壤污染物直接摄入值与其对生活在土壤中的动植物的食用暴露途径。Eco-SSLs不作为全国通用的净化标准。**

表3 美国**生态筛选值(Ecological- SSLs)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Eco-SSLs (mg/kg dry weight in soil)** | | | |
| **元素** | **植物** | **土壤无脊椎动物** | **鸟类** | **哺乳动物** |
| **As**[[14]](#footnote-15) | **18** | **暂无数据** | **43** | **46** |
| **Cd**[[15]](#footnote-16) | **32** | **140** | **0.77** | **0.36** |
| **Cr**[[16]](#footnote-17) | **暂无数据** | **暂无数据** | Cr III - 26  Cr VI - NA | Cr III - 34  Cr VI - 130 |
| **Pb**[[17]](#footnote-18) | **120** | **1700** | **11** | **56** |

表4 美国土壤初级修复目标值[[18]](#footnote-19) **(PRGs)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **元素** | **居住用地** | **商业用地** |
| **As** | **620** | **25** |
| **Cd及其化合物** | **37** | **450** |
| Cr III | **100000** | **100000** |
| Cr VI | **30** | **64** |
| **Pb** | **400** | **800** |
| **Hg及其化合物** | **23** | **310** |

**3、荷兰土壤目标值与干扰值**

荷兰住房、空间规划和环境部基于风险评估的方法建立了标准土壤（有机质和黏粒含量分别为 10%和25%）中污染物的基准值 、干预值及部分污染物造成土壤严重污染的指示值。其中，基准值是指土壤质量具备可持续利用情况下的污染物含量，它也是基于风险的土壤环境质量基准的指示值；土壤修复干预值是指土壤支持人和动植物生存的功能受到严重损害时的污染物含量，该值是基于土壤污染物对人类健康和生态毒理性效应的广泛研究而确定的；部分污染物造成土壤严重污染的指示值是指未规定其修复干预值的污染物引起土壤严重污染时的浓度。标准中规定了限量的污染物包括19 种金属（镉、铬、镍、铅、汞等）。[[19]](#footnote-20)

**荷兰土壤修复政策将本国土壤分为干预值、重要污染物指示值及目标值三类。**

**干预值指对人类、植物及动物来说土壤的功能特征严重退化或受到威胁时的土壤浓度，当高于此值时，表明土壤污染严重。**

**指示值是对没有明确的生态数据支撑的第二、三、四类污染物而制定的土壤浓度，而这些污染物还没有制定干扰值。**

**目标值指在此水平下的土壤质量是可接受的，此值的来源是《荷兰环境质量标准》。荷兰环境质量标准同时规定非污染区域的土壤必须95%满足目标值。荷兰镉法（1999）：扩充了原欧盟指令的要求，其中包括针对颜料（色素）、染料、安定剂规定镉含量不得超过0.01%；电镀层镉禁用；另外石膏中的镉含量不可超过0.0002%；照片底片和荧光灯则禁止使用。**

表5 荷兰土壤目标值与干扰值[[20]](#footnote-21)

**(Target values and soil remediation intervention values)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 金属元素 | 土壤（mg/kg 干物质） | |
| 标准值 | 干预值 |
| 镉（Cd） | 0.8 | 12 |
| 铬（Cr） | 100.0 | 380 |
| 铜（Cu） | 36.0 | 190 |
| 镍（Ni） | 35.0 | 210 |
| 铅（Pb） | 85.0 | 530 |
| 锌（Zn） | 140 | 720 |
| 汞（Hg） | 0.30 | 10.0 |
| 砷（As） | 29.0 | 55.0 |
| 钡（Ba） | 160 | 625 |
| 钴（Co） | 9.0 | 240 |
| 钼（Mo） | 3.0 | 200 |
| 锑（Sb） | 3.0 | 15 |
| 铍（Be） | 1.1 | 30 |
| 银（Ag） | — | 15 |
| 硒（Se） | 0.7 | 100 |
| 碲（Te） | — | 600 |
| 铊（Th） | 1.0 | 15 |
| 锡（Sn） | — | 900 |
| 钒（V） | 42.0 | 250 |

**4、日本**

**日本的《土壤污染对策法》中规定的污染物指标是通过评价土壤污染对人体健康的影响而制定的。《土壤污染环境质量标准（Environmental Quality Standards for Soil Pollution）》以保护地下水涵养功能和水质净化为目标，规定了土壤试样溶出量共27个定值。为了解决“痛痛病”事件在日本引发的强烈的社会不安，日本国会通过表决，扩大了《公害对策基本法》中的典型公害的种类，将“土壤重金属污染”追加为典型公害之一。同时又颁布了《农用地土壤污染防治法》，来作为对农用地土壤重金属污染进行规制主要依据，并将砷、镉、铜规定为土壤重金属污染物。1986年将土壤重金属污染防治的范围扩大到了城市，但是并未作出具体的规定。1992年，发布了《土壤环境标准》，扩大了土壤环境指标的检测内容，并在 1995 年和2002 年两度对该标准进行了修订，追加了 18 种新的土壤环境监测指标。从此就形成了一套完善的土壤重金属污染标准体系，为土壤重金属污染的有效防治提供了可靠的依据。2003 年 5 月，日本国会颁布了《土壤污染对策法》，12 月 26 日又颁布了《土壤污染对策法实施细则》，2004 年 2 月 15 日开始实施，不仅对土壤重金属污染的治理作出了详细的规定，同时也对水体重金属污染作出了规定，另外也建立了一整套的土壤重金属污染防治制度，如：土壤重金属污染区域划定制度，土壤重金属污染区域限制使用制度、土壤重金属污染登记表制度、土壤重金属污染治理制度、重金属污染土壤恢复制度，土壤重金属污染治理基金制度，土壤重金属污染责任保险制度以及土壤重金属污染整治机关的确认。所以便成为日本目前防治土壤重金属污染方面的主要法律。至此，日本就形成了土壤重金属污染规制的基本框架：以《土壤污染对策法》为基础，以土壤环境标准为依据，分别从城市用地和农业用地两个方面规划治理土壤重金属污染。[[21]](#footnote-22)**

表6 日本土壤污染对策法指标[[22]](#footnote-23)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 元素 | **土壤浓度标准**(mg/kg)  **（评估直接摄入风险）** | **土壤溶出标准**[[23]](#footnote-24)**（mg/kg）**  （评估从地下水摄取风险） | 土壤污染环境标准[[24]](#footnote-25)（mg/L） |
| **As** | **150** | **0.01** | **0.01mg / L 及15mg / kg**  **（种植稻米地区）** |
| **Cd** | **150** | **0.01** | **0.01mg / L及0.4 mg /kg（种植稻米地区）** |
| **Cr VI** | **250** | **0.05** | **0.05** |
| **Hg** | **15** | **0.0005** | **0.0005** |
| **烷基Hg** | **低于检出限** | **低于检出限** |
| **Pb** | **150** | **0.01** | **0.01** |

表7 与土壤污染相关的环境标准

(平成3年8月23日环境省厅告示第46号)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 溶出标准  (以试样溶液中含量计,mgPL) | 农用地标准 |
| 镉 | 试样溶液中含量≤0.01 | 米：≤1mg/kg |
| 铅 | 试样溶液中含量≤0.01 |  |
| 六价铬 | 试样溶液中含量≤0.05 |  |
| 砷 | 试样溶液中含量≤0.01 | 农用地土壤≤15mg/kg |
| 总汞 | 试样溶液中含量≤0.005 |  |
| 铜 | —— | 农用地土壤≤125mg/kg |
| 硒 | 试样溶液中含量≤0.01 |  |

注：溶出标准(溶出:洗提-elution):从保护土壤净化水质和涵养地下水功能的角度,制定溶出标准,表中数值以试样溶液中含量计:mg/L

农用地标准:从保护土壤的生产粮食功能的角度制定之标准,表中数值为米和土壤本身所含的有害物质的含量。

5、加拿大的土壤质量指导值

**加拿大土壤质量指导值-无机物及其它有机污染物**

**Canadian Soil Quality Guideline- Inorganics and** [**Organics**](app:ds:organics)

**加拿大环境部长理事会（The Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME）于1996年颁布环境与健康土壤质量指导值推导规程。1997年，CCME颁布基于该规程的加拿大土壤质量推荐指导值，给出20种物质在农业用地、居住/公园用地、商业用地和工业用地4种土地利用方式下的土壤质量指导值（Soil Quality Guideline, SQG）。2006年，CCME对环境与健康土壤质量指导值推导规程进行了修订与完善，对规程缺省参数的设置、分配模型的使用、不同类型化学物质引起暴露的方式、受体情况及暴露途径等内容进行了更新和完善，制定了4种土地利用方式下不同受体-暴露途径土壤质量指导值的推导方法和计算公式。之后CCME对致癌类多环芳烃和其他一些化合物又经多次修正，给出了不同土地利用方式和土壤质地等情况下的土壤质量指导值。考虑到保护生态物种安全和人体健康风险，CCME分别制定了保护环境的土壤质量指导值（SQGE）和保护人体健康的土壤质量指导值（SQGHH）。CCME推荐取两者中的低值作为最终的加拿大土壤质量指导值。加拿大环境部长理事会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。[[25]](#footnote-26)**

**注：以下仅仅是农业重金属方面的浓度限值**

**表8 加拿大土壤质量指导值**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 物质名称 | 化学分类 | 浓度（mg/kg） | 日期 |
| 农业用地 |
| 钒 | 无机物 | 130 | 1997 |
| 锌 | 无机物 | 200 | 1999 |
| 锑 | 无机物 | 20 | 1999 |
| 砷 | 无机物 | 12 | 1997 |
| 钡 | 无机物 | 750 | 1999 |
| 铍 | 无机物 | 4 | 1991 |
| 硼 | 无机物 | 2 | 1991 |
| 镉 | 无机物 | 1.4 | 1999 |
| 总铬 | 无机物 | 64 | 1997 |
| 六价铬 | 无机物 | 0.4 | 1999 |
| 钴 | 无机物 | 40 | 1991 |
| 铜 | 无机物 | 63 | 1993 |
| 铅 | 无机物 | 70 | 1999 |
| 汞 | 无机物 | 6.6 | 1999 |
| 钼 | 无机物 | 5 | 1991 |
| 硒 | 无机物 | 1 | 2009 |
| 银 | 无机物 | 20 | 1991 |
| 锡 | 无机物 | 5 | 1991 |

1. 丹麦土壤必要的污染消减标准

表9 丹麦土壤必要的污染消减标准

Cut-off criteria for soil in Denmark

|  |  |
| --- | --- |
| 污染物 | 污染物消减所需达到的水平（mg.kg） |
| 砷（As） | 20 |
| 镉（Cd） | 5 |
| 铬（Cr） | 1000 |
| 汞（Hg） | 3 |
| PAH | 15 |

1. **德国**

**在土壤污染对植物危害方面，德国联邦政府作了更为细致的工作。德国联邦政府颁布的“土壤保护和污染区管理法规”的附件（技术性文件）中，将土壤分为农田（栽培大田作物的）、菜地、花园、草场和绿地，根据不同的用途给出了相应的重金属含量警戒值和限量值，并特别强调在某种特定环境条件（土壤环境容量较低）下或某种对重金属有强富集作用的农作物的产区，土壤中的重金属含量限值应予以相应的调整。比如，在种植小麦和强富集镉的蔬菜产区，土壤中的限量值应用 0.04 mg·kg-1，而其他情况下应用 0.1mg·kg-1。德国在土壤污染防治及评价方面做了很多深入细致的工作，为了保证农产品安全，对耕地的不同用途进行分类管理，制定出不同的警戒值和限量值，还根据作物对重金属不同的吸收特性和不同土壤的环境容量，对限量值予以相应的调整，以确保农产品安全和标准的可操作性。**[[26]](#footnote-27)

**条例第 4 条规定了评估的相应要求，即解释性的调查要接受评估程序。评估主要是利用条例附件2 中的启动值进行。启动值评价的指标是浓度是否超标，如果浓度大于规定标准，则要依据土地的主要用途对单个地点进行调查，看其情形是否属于土地退化或场地污染。若调查显示浓度低于相关的启动值，则对土壤退化的调查的动机将被判定是没有根据的。为适用启动值的目的，条例的附件明确区分了土壤与人体健康，土壤与植物以及土壤与地表水等路径。在土壤与人体健康的相互关系中，又根据土壤用途的不同将其分为运动场、居民区、公园和娱乐设施、工业和商务用地。每个土壤用途目录配以不同的启动值标准：运动场上铅的物质浓度为每千克200毫克，居住区为每千克400毫克，公园和娱乐设施为每千克1000 毫克，工业和商务用地则是每千克2000 毫克，土壤的用途不同还将决定整治措施的必要性。条例的另外一个细则是有关预防规定的。为此，附件 2 细化了一些金属（镉、铅、铬、铜、汞镍、锌）和有机物质的风险预防值。风险预防值不因为土地用途的不同而产生差异。相反，附件根据《德国地质土壤导图》来区分了土壤的主要类型。考虑到普遍存在以及自然的背景水平，风险预防值建立在生态毒物阙值的基础上。**[[27]](#footnote-28)

**8、欧盟**

**欧盟为防治土壤中的重金属污染，分阶段颁布了相关法律。1972年颁布了《欧洲土壤宪章》，1983年出台了有关国际标准，2004年欧盟委员会制定了一项土壤保护战略，决定采用土壤信息和监测系统的法律规定，2004年年底制定了《堆肥和其他生物垃圾处理规程》。**

9、世界各国和我国的第二级土壤质量标准[[28]](#footnote-29)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 世界各国土壤标准 | | 我国土壤标准 |
| 范围 | 中值 |
| 镉 | 1—5 | 3 | 0.3-0.5 |
| 汞 | 0.4-2 | 1 | 0.3-1.0 |
| 铜 | 80-280 | 100 | 50-100 |
| 锌 | 150-560 | 300 | 200-300 |
| 镍 | 30-70 | 50 | 40-60 |
| 铅 | 50-550 | 100 | 250-350 |
| 铬 | 50-600 | 120 | 150-350 |
| 砷 | 10-20 | - | 20-40 |

**10、国际标准化组织**

**1)ISO 14000 - Environmental management**

**2)ISO 14006:2011-Environmental management systems -- Guidelines for incorporating ecodesign**

**11、世界卫生组织**

**WHO guidelines on environmental health**

[WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould](http://www.who.int/entity/indoorair/publications/7989289041683/en/index.html)

[WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants](http://www.who.int/entity/indoorair/publications/9789289002134/en/index.html)

[WHO handbook on indoor radon: a public health perspective](http://www.who.int/entity/ionizing_radiation/env/9789241547673/en/index.html)

**当前，美国、荷兰、日本、法国、德国、加拿大等国家都出台了土壤环境限量标准，涉及污染物修复指导值、消减要求等指标。其特点主要有：1.一般都将分为农用土壤、工业土壤、人居土壤，分别规定干扰值、目标值、指导值等，分类细，值级清晰。如德国将土壤分为农田（栽培大田作物的）、菜地、花园、草场和绿地，根据不同的用途给出了相应的重金属含量警戒值和限量值，并特别强调在某种特定环境条件（土壤环境容量较低）下或某种对重金属有强富集作用的农作物的产区，土壤中的重金属含量限值应予以相应的调整。2.将标准融入法律之中，使法律更具可操作性。日本依据《农用地土壤污染防治法》，将砷、镉、铜规定为土壤重金属污染物，并配之于检测方法和限量值 ，既增加了法律的执行力，又增加了标准的权威性； 3.针对不同地区，不同种类的农作物，制定不同的限量指标，如美国分区域出台标准，生态土壤筛选值(Ecological-SSLs)主要保护的生态受体有植物、无脊椎动物、鸟类及哺乳动物。植物与无脊椎动物主要评估其对土壤污染物直接摄入的暴露途径，鸟类及哺乳动物评估其对土壤污染物直接摄入值与其对生活在土壤中的动植物的食用暴露途径。不作为全国通用的净化标准。**

**12、中国标准与各国标准比较**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 中国GB 15618-1995 | | | | 荷兰 | | 英国 | 美国 | 日本 |
| **二级标准** | | | 三级标准 | 目标值  （背景值） | 干预值 | 菜（果）园地 | **生态筛选值（植物）** | 土壤污染对策法 |
| **pH﹤6.5** | **pH 6.5-7.5** | **pH**﹥**7.5** | **pH**﹥**6.5** |  |  |  |  |  |
| **Cd** | **0.3** | **0.3** | **0.6** | **1.0** | **0.8** | **12** | **1.8** | **32** | **150** |
| **Hg** | **0.3** | **0.5** | **1.0** | **1.5** | **0.3** | **10** | **26** |  | **15** |
| **As 水田** | **30** | **25** | **20** | **30** | **29** | **55** | **无机43** | **18** | **150** |
| **As 旱地** | **40** | **30** | **25** | **40** |
| **Pb** | **250** | **300** | **350** | **500** | **85** | **380** |  | **120** | **150** |
| **Cr水田** | **250** | **300** | **350** | **400** | **100** | **530** |  |  | **六价250** |
| **Cr旱地** | **150** | **200** | **250** | **300** |  |  |

**mg/kg**

**注：国外为起始值，即达到此值后开始采取行动，而我国列出为最高限量值，即超出此浓度不许种植相应作物。**

**国内外相关土壤环境质量限量标准**

**1.国内土壤限量标准**

（1）土壤环境质量标准GB15618-1995

（2）食用农产品产地环境质量评价标准HJ 332-2006

（3）农产品产地安全适宜性评价技术指南NY/T2149-2012

（4）绿色食品 产地环境质量标准NY/T391－2000

（5）温室蔬菜产地环境质量评价标准HJ 333-2006

（6）农产品产地禁止生产区划分技术指南NY/T2150-2012

（7）土壤环境监测技术规范HJ/T 166-2004

（8）农田土壤环境质量监测技术规范 NY/T395-2000

（9）基本农田环境质量保护技术规范NY/T1259-2007

（10）农产品安全质量 无公害蔬菜产地环境要求GB/T18407.1-2001

（11）农产品安全质量 无公害水果产地环境要求 GB/T18407.2-2001

（12）无公害食品 产地环境评价准则 NY/T5295-2004

（13）无公害食品 大田作物产地环境条件 NY/T5332-2006

（14）无公害食品 蔬菜产地环境条件 NY5010-2002

（15）无公害食品 设施蔬菜产地环境条件 NY5294-2004

（16）无公害食品 热带水果产地环境条件 NY5023-2002

（17）无公害食品 林果类产品产地环境条件 NY5013-2006

（18）无公害食品 鲜食葡萄产地环境条件 NY5087-2002

（19）无公害食品 茶叶产地环境条件 NY5020-2001

（20）无公害食品 草莓产品产地环境条件NY5104-2002

（21）无公害食品 猕猴桃产地环境条件NY5107-2002

（22）无公害食品 西瓜产地环境条件NY5110-2002

（23）无公害食品 水稻产地环境条件NY5116-2002

（24）无公害食品 哈密瓜产地环境条件NY5181-2002

（25）有机茶产地环境技术条件 NY5199-2002

（26）油菜产地环境技术条件NY/T846-2004

（27）水稻产地环境技术条件NY/T847-2004

（28）大豆产地环境技术条件NY/T850-2004

（29）小麦产地环境技术条件NY/T851-2004

（30）烟草产地环境技术条件NY/T852-2004

（31）茶叶产地环境技术条件NY/T853-2004

（32）京白梨产地环境技术条件NY/T854-2004

（33）苹果产地环境技术条件NY/T856-2004

（34）葡萄产地环境技术条件NY/T857-2004

（35）人参产地环境技术条件NY/T1604-2008

**2.国外土壤限量标准**

（1）英国土壤指导值

（2）土壤指导性标准值

（3）美国通用土壤筛选值

（4）美国生态土壤筛选值

（5）美国人体健康筛选值

（6）美国土壤放射性核素筛选值

（7）美国土壤初级修复目标值

（8）美国生态筛选值

（9）美国人体健康指定介质筛选值

（10）荷兰土壤目标值

（11）荷兰土壤重要污染物指示值

（12）荷兰土壤目标值

（13）日本土壤污染环境质量标准

（14）日本土壤环境标准

（15）日本土壤污染对策法指标

（16）加拿大土壤质量指导值

（17）丹麦土壤必要的污染消减标准

（18）德国土壤评估启动值

（19）德国土壤风险预防值

（20）香港地区修复目标值

（21）澳大利亚土壤调查值

（22）台湾地区土壤污染管制标准

（23）新西兰土壤指导值

（24）奥地利土壤评估启动值和干预值

（25）比利时弗兰德斯省背景值、调查值和修复标准值

（26）比利时布鲁塞尔市参比值、启动值和干预值

（27）西班牙土壤指导值

（28）意大利土壤限量值

# 附件3 文献摘录数据来源汇总表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 省份 | 研究区域 | 土壤污染程度（土壤二级标准） | 主要污染重金属 | 农作物 | 区域类别 | 文献发表年份 |
| 安徽 | 繁昌县 | 较明显 | Cd、As、Zn、Cr、Hg、Pb | 典型农业区 | 该县狄港镇为联合国环境规划署小城镇建设试点 | 1998 |
| 江淮之间 | Zn、Cu、Ni、Pb、Cd明显积累，Cd最严重 | Cd、Cu、Pb、As | 农田 | 污水灌溉 | 2007 |
| 铜陵 | 严重 | Cd、Cu、Pb、As | 水稻 | 矿区周边、污灌 | 2007 |
| 铜陵 | 不同程度的污染 | Cd、Cu、Pb、As、Zn、Hg、Cr | 农田 | 铜陵矿区 | 2007 |
| 芜湖市 | 复合污染 | Cu、Zn、Pb、Ni、Mn | 农田 | 冶炼厂周边污灌 | 2005 |
| 芜湖市 | 严重 | Cu、Zn | 水稻 | 冶炼厂周边 | 2004 |
| 宿州、五河、太和、濉溪、寿县 | 局部Cd污染严重 | Cd、Cu、Zn | 水稻、油菜 | 大中城市郊区 | 2007 |
| 合肥市 | 无污染和轻度 | Zn、Pb、Cu、Cd、Cr | 小白菜、香葱、芹菜、茄子和韭菜、豆角 | 城市郊区菜园 | 2008 |
| 六安市 | 中度 | Cu、Zn、Pb、Ni、Mn | 蔬菜 | 蔬菜地 | 2005 |
| 徐州市 | 超过背景值，对照二级标准未超标 | Pb、Cd、Hg、As、Cr、Cu | 茄子、辣椒、番茄、黄瓜 | 农产品生产基地 | 2003 |
| 北京 | 通惠河凉水河 | 较严重 | Cd、Hg、Pb | 菜地 | 污灌区 | 2007 |
| 东南郊 | 中度到重度 | Cd、Hg | 菜地 | 原污灌区 | 2007 |
| 凉水河 | 不同程度和复合污染 | Cd、Pb、Cu、Cr | 农田 | 污灌区 | 2008 |
| 大兴、通州、密云 | 中度和低度 | Cd、Hg | 农田 | 整个城区 | 2011 |
| 北野厂 | 存在 | Cd | 小麦 | 再生水灌区 | 2011 |
| 福建 | 兴化平原 | 尚清洁、局部Hg污染 | Hg | 农田 | 一般农区 | 2006 |
| 23个城市46片主要常年蔬菜生产基地，代表蔬菜种植面积1726.67 hm2 | 53个土壤污染调查样中有14个调查样点不合格，污染率 26.4% 其中，重度污染 4个、中度污染1个，轻度污染 9 个 | Cd、Pb、Hg、As、Cr | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2004 |
| 甘肃 | 兰州安宁、西固、城关、七里河、定远、花庄、平安、忠和8个蔬菜基地 | 轻度、Cd最严重 | Sn、Cd、Cr、Cu、pb、Zn | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2010 |
| 白银市 | 轻度和严重 | Cd、Zn | 农田、菜地 | 污灌区 | 2002 |
| 兰州市 | 轻度污染 | Pb、Zn、Cu、Cr、As | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2009 |
| 广东 | 东莞 | 中度和重度 | Cd、Cu、Zn | 菜地 | 不同产业类型城镇周边 | 2009 |
| 佛山 | 轻度和中度 | Cd、Cu | 菜地 | 大面积连片蔬菜种植农田 | 2005 |
| 佛山 | 轻度和中度 | Hg、Cd | 菜地 | 市郊区污灌 | 2009 |
| 佛山市市郊 | 轻度和中度 | Cd、Pb、Cr、Hg | 菜心、西洋菜、白菜 | 污灌区 | 2009 |
| 广州 | 轻度 | Sn、Pb、Cu、Zn | 农田 | 市区 | 2009 |
| 广州 | 不同程度 | Hg、 Pb、Cu、Zn 、 As | 林地 | 市区林地 | 2012 |
| 深圳市 | 轻度和中度 | Ni、Cu、As、Zn | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2011 |
| 汕头 | 严重污染 | Cd、Cr、Cu、Pb、Zn | 农田 | 贵屿电子垃圾处理场 | 2011 |
| 清远市龙塘镇 | 严重 | Cd | 农田 | 电子垃圾回收区 | 2012 |
| 东莞 | 轻度污染 | Cd | 菜地 | 市区 | 2008 |
| 汕头 | 检出率100% | Cu、Zn、Pb、Cd、Hg | 菜园、水稻 | 电子垃圾场 | 2007 |
| 韶关曲江区和五江区 | 严重 | Cd 、Pb 、Hg、As | 稻田 | 冶炼厂周边 | 2010 |
| 梅县白渡镇嵩溪村 | Cd最严重。林地污染最为严重，其次为荒地和农田，果园相对较轻 | Cd 、Ni、Zn、Cr | 荒地、林地、农田、果园 | 银锑矿区周边 | 2009 |
| 广西 | 南宁 | 轻度 | Cd、Hg | 水稻、蔬菜 | 郊区 | 2000 |
| 桂林 | 中、轻、重 | Mn、Cd | 水田 | 矿区周边 | 1998 |
| 八一、荔浦、平乐、全州、板苏和下雷6个锰矿食用农作物恢复区 | 严重 | Mn、Cd | 农田 | 锰矿复垦区 | 2009 |
| 南宁 | 不同程度 | Pb、Cd、Cr、As、Hg | 菜地 | 郊区 | 2004 |
| 环江县 | 轻度 | As、Pb、Cd、Zn | 油麦菜、茼蒿、生菜、小白菜、稻米 | 受污染农田 | 2010 |
| 贵州 | 赫章县 | 严重 | Zn | 农田 | 锌矿矿周边 | 2009 |
| 无具体地点 | 严重 | Pb、Cr、Hg、Cd | 农田水稻、玉米、萝卜、西红柿 | 铅锌矿区 | 2009 |
| 贵阳 | 严重 | As、Cd | 菜地 | 郊区 | 2001 |
| 遵义县 | 严重 | Cd、Hg、As | 菜地 | 郊区 | 2008 |
| 雷山西江、施秉牛大场、惠水摆榜、余庆龙溪镇、荔波驾鸥乡、湄潭洗马乡、风冈绥阳镇、清镇麦格乡、贵阳乌当百宜乡 | 严重 | Cd、Cu | 药材 | 药材基地 | 2006 |
| 黔北 | 安全、未受污染 | Cd、Hg、Pb、Ni | 小麦、高粱 | 一般农区 | 2008 |
| 黔南州８个县（市惠水县、瓮安县、贵定县、都匀市、长顺县、荔波县、平塘县、罗甸县） | 不同程度污染 | As、Pb、Cr | 茶 | 茶园 | 2012 |
| 遵义县15个乡镇 | 轻度和中度 | Cd、Hg、Cr、As | 农田 | 一般农区 | 2009 |
| 清镇市、德江县 | 轻度 | Pb、Cd、Hg | 农田 | 一般农区 | 2008 |
| 遵义县遵义县虾子镇、永乐镇、新舟镇和喇叭镇 | 土壤Cd、Hg、As均有超标,Cd的超标率分别为64.3%、31.3%、23.5%和6.3%,Hg的超标率分别为37.5%、11.8%、12.5%和28.6%,As的超标率分别为6.3%、23.5%、31.3%和28.6% | Cd、Hg、As | 辣椒、西红柿、黄瓜、豇豆 | 一般农区 | 2008 |
| 安顺、黔东南、黔南、铜仁、六盘水、黔西南、毕节、贵阳 | 未污染和轻污染 | As、Hg、Pb、Cr、Cd | 烟叶 | 植烟区 | 2009 |
| 海南 | 全省范围内311个点 | 轻度和中度分布在海口、东方、琼海、三亚、儋州 | Cd、As、Pb | 农田 | 全省范围 | 2013 |
| 万宁市各乡镇 | 未污染 | Hg、Cd、Cr、Pb、As | 水稻 | 一般农区 | 2009 |
| 河北 | 石家庄无极县 | 轻度 | Cr | 农田 | 国家级重金属污染重点防控区农田 | 2013 |
| 15县 | 部分地区轻度 | Cu、Zn、Ni、Pb、Cd、Hg | 农田 | 玉米主产区 | 2005 |
| 石家庄市 | 严重 | Cd | 农田 | 污灌区 | 2010 |
| 保定市 | 严重 | Pb、Cd、Cu、Zn | 芹菜、白菜、大葱；根菜类的芥菜、萝卜和果菜类的辣椒 | 污水灌区 | 2002 |
| 高阳、大名、肥乡、霸州、献县、正定、大名、迁安、清苑、承德等15县 | 轻污染水平的土壤面积占到了总面积的4.6% | Cd、As、Hg、Cu、Cr | 玉米 | 玉米主产区 | 2005 |
| 太行山山前平原区正定、栾城等28个县和燕山山前平原区的丰润等3县 | 达到轻污染水平的土壤面积占到了总面积的4. 3%,中度污染的土壤面积占总面积的0. 07%。 | As、Cd、Hg、Cu | 小麦 | 优势小麦产区 | 2005 |
|  | 2005 年在河北省 13 县( 市) 18.2 万hm2优势小麦产区以及 15 县 20.53 万 hm2玉米主产区监测，优势小麦产区土壤重金属污染水平均未超过国家土壤环境二级标准，但所监测的 8 种重金属在优势小麦产区和玉米主产区均存在不同程度的污染累积现象，小麦、玉米在全省污染面积分别占总面积的11.9%和12.0%; 用综合污染指数法进行评价，小麦、玉米处于警戒限水平的土地分别占监测区面积的41.0% 和 39.8% ，达到轻污染水平的土壤面积分别占总面积的 4.3%和 4.6%，同时小麦区中度污染的土壤面积占总面积的 0.07%。蔬菜产地土壤环境质量总体较好，但个别地区( 如污灌区、某些设施蔬菜区和道路两侧等) 出现轻度污染 | Pb、Cd、Cu、Zn、Cr | 小麦、玉米、蔬菜、果品 | 主要农作物产区 | 2013 |
| 清苑县 | 严重 | Zn、Cu、Cr、Pb、Cd | 玉米 | 一般农区 | 2010 |
| 河南 | 全省范围内102个点 | 部分地区高背景值造成Cr污染 | Cr | 水田、果园、菜地、小麦、玉米 | 一般农区 | 2007 |
| 豫北地区滑县、武陟县、安阳县、新乡县和延津县 | 无污染 | Hg、As超标率2千分之 | 小麦 | 优势农产品产区 | 2003 |
| 焦作博爱农场、煤矿周边 | 严重 | Pb | 玉米 | 农场周边，矿区周边 | 2007 |
| 焦作 | 严重 | Pb、Zn | 玉米 | 矿区煤矸石山周围 | 2009 |
| 焦作朱村矿周边 | 严重 | Pb、Zn | 菜地 | 朱村矿 | 2007 |
| 焦作温县 | 超标 | Cu、Zn、Pb | 怀山药 |  | 2009 |
| 开封市化肥河污灌区 | 重金属累积明显，主要是 Cd 、As污染。Cd 污染指数大于 1 的样点数占土壤样点总数的100%；As 污染指数大于 1 的样点数占土壤样点总数的 76.92%。Cu Zn Pb Cr 和Ni 污染指数均小于 1 底泥以 Cd Cu Pb 和 As 污染为主 其含量已经超出农用污泥的标准 | Cd、As | 小麦 | 污灌区 | 2003 |
| 焦作 | 轻度和中度 | Zn、Cd | 农田小麦 | 矿粮复合区 | 2012 |
| 新乡王村 | 存在 | Cd、Ni、Zn | 农田 | 污灌区-电池废水灌溉 | 2010 |
| 豫北滑县、武陟、安阳、新乡和延津5县 | Hg高潜在生态风险,Cd一般风险。滑县土壤潜在生态高风险,安阳,武陟,新乡3县土壤潜在生态风险中等,接近高风险。 | Cd | 农田 | 一般农区 | 2010 |
| 郑汴公路两侧 | Cd、Pb 和 Zn重度、Cu中度Ni、Cr较轻 | Cd、Pb、Zn、Cu、Ni、Cr | 农田小麦 | 公路两侧 | 2005 |
| 滑县、武陟、安阳、新乡和延津5 县 | 无污染 | Cu、Zn、Cd、Cr、Hg、.As、Ni、Pb | 小麦 | 优势农产品基地 | 2006 |
| 焦作市郊区卢堡村大棚蔬菜种植基地 | 无污染 | Ni、Cu、Pb、Zn、Cr | 蔬菜 | 城市郊区蔬菜基地 | 2010 |
| 豫北地区 | 无污染 | Cu、Zn、Hg、Pb、Cd、Cr | 小麦 | 一般农区 | 2010 |
| 新乡市环宇大道 | 土壤中锌的含量为 225.82-2010.65mg/kg,超标率为 75%,平均含量为 638.54mg/kg,是国家土壤环境质量二级标准的2.13倍。土壤中Cd的含量为10.32-76.12mg/kg,超标率为 100%,平均含量为 19.45,是国家土壤环境二级标准的 31.83 倍,土壤 Cd 污染现象比较严重 | Pb、Cu、Cd、Cr、Ni、Zn | 小麦 | 工业区周边 | 2012 |
| 黑龙江 | 黑河市张地营子乡 | 严重 | Hg | 小麦、大豆 |  | 2003 |
| 哈尔滨市 | 无污染 | Cd、Hg、As、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2007 |
| 湖北 | 黄石市大冶 | 严重 | Cu、 Cd | 农田油菜 | 矿区周边 | 2012 |
| 黄石市大冶市龙角山 | 严重 | Cu、 Cd | 农田 | 矿区周边 | 2009 |
| 恩施 | 重度 | Cd、Mn、Cu | 菜地 | 矿区周边 | 2013 |
| 孝感市孝南区 | 轻度 | Cd、Cu、Pb、Cr、Zn | 农田 | 城市郊区 | 2008 |
| 嘉鱼 | 9.4％的样点有轻微污染，重金属主要污染物为镉（Cd） | Cd、As、Cr、Hg、Pb | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2011 |
| 鄂州市 | 轻度 | Cu、Hg、As、Pb、Cd | 蔬菜 | 城市蔬菜种植区 | 2008 |
| 黄石市花湖农场、南湖乡、江北农场、西塞乡 | 轻度和中度 | Cu、Pb、Zn、Ni、Cd | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2006 |
| 湖南 | 株洲 | 严重 | Cd、Pb、Hg、Zn | 菜地 | 城市不同功能区 | 2010 |
| 某工矿区 | 严重 | Cd、Pb、Zn | 农田蔬菜 | 矿区周边 | 2012 |
| 冷水江市 | 严重 | Sb、Hg、Cd | 萝卜菜地 | 锡矿区周边 | 2007 |
| 湘江流域（郴州、石门、冷水江、衡阳、湘潭、株洲） | 严重 | Cd、Pb、As | 水稻 | 矿区周边 | 2010 |
| 怀化市 | 中度和重度 | Cd、 As、 Cr 、 Hg 、Pb | 菜地 | 城市郊区 | 2011 |
| 株洲市（清水塘） | 严重 | As、Cd、Hg | 稻田、包菜 | 工矿企业周边 | 2004 |
| 花垣 | 严重 | Pb、Zn、Cd、Cu | 农田菜地 | 铅锌矿周边 | 2012 |
| 湘中 | 严重 | Cd、Zn、Pb | 农田水稻 | 冶炼厂区周边 | 2013 |
| 长沙、株洲、衡阳、郴州 | 严重 | Cd、As、Pb、Cu、Zn | 农田菜地、水稻 | 有色金属矿区周边 | 2007 |
| 长沙市 | 严重 | Cd、Hg、Pb、As、Cr | 农田菜地 | 城市郊区 | 2005 |
| 郴州市桂阳县 | 严重 |  | 水稻田 | 宝山矿区 | 2008 |
| 郴州 | 严重 | As | 农田 | 炼砷区 | 2003 |
| 水口山 | 不同程度污染 | Cd 、 Pb 、 Zn 、 Cu 、 Cr 、 Hg | 农田水稻 | 锌矿矿周边 | 2012 |
| 长沙、株洲、衡阳、郴州 | 严重 | Cd、Pb、As、Cu、Zn | 蔬菜、水稻 | 有色金属矿区 | 2007 |
| 衡阳市 | 不同程度 | Cd、As、Pb、Zn、Ni、Cr | 水稻、蔬菜 | 城区农用地 | 2009 |
| 水口山 | 严重 | Pb, Zn, Cr, Cu, Cd 、 Hg | 水稻 | 铅锌矿区周边 | 2012 |
| 株洲市白马乡 | 严重 | Cd、Zn、Hg、Pb、Cu、As | 包菜、水稻 | 金属冶炼区周边 | 2004 |
| 中北部环洞庭湖区 | 严重 | Cd、Cu | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2007 |
| 吉林 | 德惠 | 轻污染 | Cd、Cu、Cr、Zn、Ni | 农田 | 黑土区 | 2008 |
| 皮夹沟金矿区 | 严重 | Hg、Pb、Cd、Cr | 农田 | 工矿周边 | 2013 |
| 长春市西北郊 | Cu轻污染、Pb、Cd、Zn、Ni、Cr都有检出，未污染 | Cu | 农田 | 郊区 | 2013 |
| 5个主要大豆种植区（官地、桦甸、榆树、农安、白城） | 轻度 | Cu、Zn、Pb、Cr、Cd | 大豆 | 大豆种植区 | 2002 |
| 九台市 | 轻度 | Cd、As、Cr、Pb | 玉米 | 玉米高产田 | 2012 |
| 江苏 | 宜兴 | 重度 | Cd、Pb、Cu | 农田水稻 | 冶炼厂周边 | 2008 |
| 沪宁和沪杭高速两侧 | 有一定程度积累，没超过食用农产品环境质量标准 | Pb、Cd、C、Zn、Cu | 农田 | 沪宁和沪杭高速两侧农田 | 2010 |
| 淮安 | 土壤中有残留但未超土壤质量标准 | Zn、Cu、As、Cr | 农田玉米、小麦 | 规模养殖场周边 | 2012 |
| 南京、上海 | 严重 | Pb | 农田小麦 | 沪宁高速两侧 | 2005 |
| 东台、六合-八卦洲、宜兴、昆山 | 清洁，昆山局部轻度污染 | Hg、Ni | 农用地 | 一般农区 | 2008 |
| 如皋市、通州市、南通市、海门市、启东市、海安县、如东县的126个乡镇 | 126个乡镇全部适合开展无公害农业生产，有13个乡镇不适合发展绿色农业,其余113个乡镇都可开展绿色农业生产 | As、Pb | 农田 | 一般农区 | 2005 |
| 沪宁高速、省道连云港段、205国道、104国道、省道徐州徐庄段 | 不同程度污染 | Pb、Cu、Cr | 农田小麦、水稻 | 主要公路两侧 | 2005 |
| 昆山石牌、巴城、陆杨、周市、正仪、蓬朗、陆家、张浦、花桥、千灯、石浦、锦溪、周庄、淀山湖乡（镇） | 不同程度轻微污染，Hg最严重过，水田高于旱地 | Cd、Cr、Cu、Pb、Hg、Zn | 农田 | 一般农区（经济发达） | 2007 |
| 苏州昆山市 | 严重 | Cd、Hg、Cr、Pb | 农田 | 一般农区 | 2006 |
| 南京 | 轻度 | Cd | 农田 | 矿区周边和污灌 | 2006 |
| 南京江北地区 | 中度和重度 | Cd、Cu、Pb和Zn | 菜地 | 城市郊区 | 2009 |
| 南通张芝山、小海、姜灶乡（镇） | 轻微污染 | Cd、Pb、As | 菜地 | 郊区 | 2009 |
| 苏州市7个辖区 | 部分污染严重 | Cu、Cd、Hg | 农田 | 一般农区 | 2010 |
| 太湖地区 | 严重 | Cd、Pb | 菜地、稻田 | 冶炼厂周边 | 2006 |
| 盐城 | 综合污染指数1.6-2.08之间 | Cd、As、Cu、Zn | 农田水稻 | 一般农区 | 2010 |
| 北部 | Cd 的含量均超出标准限值，超标率为 100% | Cd、Zn、Pb、Cr、Cu、Ni 、 As | 小麦 | 一般农区 | 2012 |
| 滁州市 | 严重 | Cd、Cu | 蔬菜 | 污灌区、矿区周边 | 2011 |
| 苏南、苏中、苏北 | 全省土壤重金属平均综合污染指数为0.54,属1级安全。苏北、苏中、苏南分别为0.30、0.29、1.20,即苏南为3级土,属轻污染,苏北、苏中为1级土,属安全。苏中、苏北明显好于苏南。全省有15%蔬菜地土壤已受不同程度重金属污染,主要分布在苏南,且Cd、Hg分担率较高 | Cd、Hg、As、Pb、Cr | 蔬菜 | 蔬菜产地 | 2005 |
| 扬中市 | 对照国家规定的无公害农产品产地的环境质量标准，所有样点的尼梅罗综合污染指数均＞1，按污染等级划分，轻污染 59 个，占 98.3 %；中污染 1 个，仅占 1.7 %，表明扬中农田土壤已受到不同程度的重金属污染。 | As、Pb、Cu、Zn、Cd、Cr、Ni | 小麦、芦蒿、蚕豆、卷心菜 | 一般农区 | 2006 |
| 江西 | 南昌市近郊扬子洲镇、南昌县八一乡、上饶县皂头镇、吉水县八都镇、万载县三兴镇、九江县永安镇、于都县贡江镇 | 清洁 | Hg、 Cd、 Pb、 As、 Cr、 Cu | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2008 |
| 中北部 | 存在明显Cd、Hg、Pb蓄积污染,局部土壤已接近甚至超出无公害食品产地的环境质量标准的临界值 | Cd、Hg、Pb | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2006 |
| 德兴 | 严重 | Cu、 Cd | 农田 | 铜矿周边 | 2010 |
| 九华山 | 中度和重度 | Cu、Pb、Zn、Cd、Cr | 农田菜地 | 铜矿周边 | 2011 |
| 栖霞山 | 存在 | Pb | 农田菜地 | 铅锌矿周边 | 2011 |
| 赣州市大余县 | 严重。另外江西省污染区的土壤重金属超标率大大超过一般农区，江西省污染区土壤的主要污染物为Cd、Cu、As、Pb和Zn；一般农区土壤重金属的主要污染物则是Hg | Cd、Pb、Cu、Zu、As、Hg | 农田 | 一般农区 | 2011 |
| 南昌扬子洲、蒋巷 | 尚未受到污染 | Cu、Zn、Pb、Cd | 蔬菜基地 | 郊区 | 2005 |
| 辽宁 | 葫芦岛 | 中度和重度 | Hg、Pb、Cd、Zn、Cu | 菜地 | 工矿企业周边 | 2009 |
| 葫芦岛 | 严重 | Hg、Cd、Pb、As、Cu、Zn、Cr | 农田 | 钼矿区周边 | 2007 |
| 葫芦岛 | 严重 | Cd、Hg、Ni、Cu、Cr | 污灌菜地 | 钼矿区周边 | 2009 |
| 葫芦岛市 | 严重 | Hg、Pb、Cd、Zn、Cu | 白菜、韭菜、胡萝卜 | 冶炼厂周边 | 2009 |
| 葫芦岛市 | 严重 | Cd、As、Hg、Pb、Zn、Cr、Cu、Ni | 红富士苹果、白梨、锦丰梨 | 钼矿区周边果园 | 2010 |
| 锦州 | 轻度和中度 | Pb、Cu、As、Cd | 农田、菜地 | 铁合金厂区周边 | 2010 |
| 阜新 | 整体尚清洁、局部Ni、Cd污染 | Ni、Cd | 农田土壤 | 矿区周边 | 2009 |
| 沈抚灌区 | 轻微水平 | Cd、Cu、Hg、Ni | 农田 | 污灌区 | 2009 |
| 沈阳 | 不同程度 | Cd、Hg、Pb | 菜地 | 郊区 | 2001 |
| 沈阳市 | 整体清洁、部分Cd、Hg超标 | Cd、Hg | 农田 | 市区农田 | 2010 |
| 沈阳细河沿岸 | 严重 | Hg、Cd、Zn 和 Pb | 菜园、果园、粮食 | 一般农区 | 2007 |
| 卧龙泉河流域 | 轻度和重度 | Pb、Hg、As、Cr、 | 农田水稻、玉米、韭菜 | 一般农区 | 2006 |
| 鞍山市 | 18个点位中有9个点位的Cd污染指数≥1.00,最大的为3.14,即超标2.14倍,其余各项污染指数均<1.00,不超标。Cd的超标率为44.4%。蔬菜基地土壤中重金属的污染分担率以Cd为最大,占41%,其次是Hg,最低是Pb。 | Cd、As、Hg、Pb | 蔬菜基地。白菜、茄子、黄瓜、西红柿、胡萝卜、葱、甘蓝等蔬菜和山菜等, | 城市郊区 | 2005 |
| 辽阳灯塔市 | 无污染 | Cd、Hg、Sn、Cu、Pb、Cr、Zn、Ni | 蔬菜 | 蔬菜种植地 | 2013 |
| 沈阳市沈抚灌区深井子、大台子、麦子屯等 10 个自然村 | 灌区土壤中重金属的平均浓度范围分别为 Cu：22.1-40.8 mg/kg，Hg：0.036-0.310 mg/kg，Ni：29.8-44.4 mg/kg，Cd：0.145-0.956 mg/kg | Cu、Hg、Ni、Cd | 农田 | 污灌区 | 2009 |
| 内蒙古 | 河套地区 | 清洁 | Zn、Cu、Cr、Cd、Pb | 小麦、玉米 | 一般农区 | 2011 |
| 山东 | 东营 | 2006比1996积累显著 | Mn、Cu、Zn、As、 Cd、 Pb、Hg、Cr | 土壤 | 1996年前形成土壤和2006年新形成土壤 | 2008 |
| 青岛、烟台、威海、潍坊、日照、临沂 6 地级市的 46 县 | 莱州—招远—烟台和牟平—乳山金矿集中区以及人口密集的城镇地带，已对农作物安全产生影响 | Hg、Cd | 农田 | 一般农区 | 2012 |
| 东部青岛、烟台、威海、潍坊、日照、临沂等６个地级市的４６个县 | 综合潜在生态风险评价级别为强和很强的土壤面积占13.75％，主要分布在莱州—招远—烟台和牟平—乳山金矿集中区以及人口密集的城镇地带 | Hg、Cd、Cd、Pb、Zn、Cr、As | 小麦 | 一般农区 | 2012 |
| 聊城市 | 清洁 | As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn | 棉、粮 | 粮食主产区 | 2010 |
| 青岛市 | 0-20 cm土层的37份样品中,有4份镉含量不达标样品,超标率10.8% | Pb、Cd、Hg、As、Cr、Cu、Zn | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2011 |
| 新泰市 | Zn、Cd、Cr、Ni、As、Hg 都受到不同程度的污染，Zn 和 Cd 的污染最严重 | Zn、Cd、Cr、Ni、As、Hg、Cu、Pb | 小麦、玉米 | 基本农田 | 2009 |
| 山西 | 大同市 | 中度和轻度 | Hg、Cd | 农田 | 污灌区 | 2007 |
| 灵丘县 | 富集显著 | Hg、Cd、Pb、Zn | 农田菜地 | 蔬菜产区 | 2013 |
| 太原 | 超标 | Cd | 农田荞麦 | 煤矿复垦地 | 2011 |
| 大同、晋中、长治、临汾、忻州、运城 | 忻州地区 Ni 、临汾地区Hg超标，临汾地区轻污染 | Cr、Cu、Zn、Pb、As | 农田蔬菜 | 蔬菜区 | 2010 |
| 太原市小店 | 中度和重度 | Zn、Cd、Hg、Pb、Cr、Cu、As、 | 农田 | 污灌区 | 2011 |
| 大同、晋中、长治、临汾、忻州、运城 | 全省 7 个地市蔬菜区 126 个土壤样品中，Cr、Cu、Zn、Pb、As 含量均未超过国家土壤环境质量二级标准。有 23 个样品 Ni含量超过了国家土壤环境质量二级标准，其中长治和运城地区样品超标比较严重，超标率分别为 33.33％和 27.78％。 | Cr、Ni、Cu、Zn、Pb、As 、 Hg | 蔬菜 | 蔬菜种植区 | 2010 |
| 灵丘县 | 产地中 Hg 中污染和重污染，Cd，Pb，Zn中污染和轻污染 | Cu、Pb、Zn、Ni、Cr、Fe | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2013 |
| 大同、晋中、长治、临汾、忻州、运城 | 全省 7 个地市蔬菜区 126 个土壤样品中，Cr、Cu、Zn、Pb、As 含量均未超过国家土壤环境质量二级标准。有 23 个样品 Ni含量超过了国家土壤环境质量二级标准，其中长治和运城地区样品超标比较严重，超标率分别为 33.33％和 27.78％。 | Cr、Ni、Cu、Zn、Pb、As 、 Hg | 蔬菜 | 蔬菜种植区 | 2010 |
| 灵丘县 | 产地中 Hg 元素表现为显著富集，中污染和重污染，Cd，Pb，Zn 元素在不同地点表现出一定的富集现象，中污染和轻污染 | Cu，Pb，Zn，Ni，Cr，Fe | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2013 |
| 太谷县 | 无污染 | Hg、Cd、Cr、Pb、As | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2009 |
| 大同、晋中、长治、临汾、忻州、运城 | 全省 7 个地市蔬菜区 126 个土壤样品中，Cr、Cu、Zn、Pb、As 含量均未超过国家土壤环境质量二级标准。有 23 个样品 Ni含量超过了国家土壤环境质量二级标准，其中长治和运城地区样品超标比较严重，超标率分别为 33.33％和 27.78％。 | Cr、Ni、Cu、Zn、Pb、As 、 Hg | 蔬菜 | 蔬菜种植区 | 2010 |
| 灵丘县 | 产地中 Hg 元素表现为显著富集，中污染和重污染，Cd，Pb，Zn 元素在不同地点表现出一定的富集现象，中污染和轻污染 | Cu，Pb，Zn，Ni，Cr，Fe | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2013 |
| 陕西 | 潼关县 | 50.4%的样品土壤清洁;13.5%土壤尚清洁;16.5%轻度污染 | Hg、Pb、Cd、Cu、Zn | 小麦、玉米、蔬菜、水果 | 金矿区周边 | 2006 |
| 潼关县中东部 | Hg、Pb样本超标率分别达到了69.60%和34.8%，累积超标倍数计算结果表明,研究区土壤七种重金属累积超标倍数的超标率均大于70%,其中Hg、Pb、Cd、Cr、Cu和Zn的超标率均大于90%，从综合污染指数分析来看,研究区受污土壤面积总计95.95km，是研究区总面积的95.95% | Hg、Pb、Cd、Cr、As、Cu、Zn | 小麦、玉米 | 金矿区周边 | 2010 |
| 关中灌区 | 土壤重金属污染程度处于安全警戒线以下 | Pb、As、Cd、Cr | 农田、果园 | 污灌区 | 2010 |
| 关中灌区 | Pb累计程度高，但污染指数都小于1 | Pb 、As 、 Cr 、 Cd | 农田 | 污灌区 | 2010 |
| 西安市 | 高于背景值，影响不明显 | Cd、Pb、Cu、Zn、Cr | 农田小麦 | 公路路域 | 2012 |
| 蓝田 | 不同程度污染 | Pb、Zn、Cu、Cd | 农田 | 冶炼厂周边 | 2009 |
| 潼关县 | 中度污染 | Hg、Pb、Cd、As、Zn | 农田 | 金矿区周边 | 2006 |
| 咸阳市渭河北岸 | 严重 | Pb、Cd、Cr | 农田 | 污灌区 | 2006 |
| 宝鸡市 | 轻度 | Cu、Pb、Zn、Co、Cr、Mn、Ni | 农田旱地 | 电厂周边 | 2012 |
| 上海 | 宝山区、吴淞区 | 明显 | Zn、Cd、Cr、Hg、Cu、Pb | 小麦 | 城市郊区 | 1992 |
| 崇明岛公路两侧 | 中度和轻度 | Cd、 Pb、Cu、Zn | 农田菜地 | 大中城市郊区 | 2007 |
| 四川 | 成都平原 | 不同程度污染 | Cd、Hg、Pb、Cu | 水稻、小麦、蔬菜 | 一般农区、城市郊区、污灌区 | 2009 |
| 成都市 | 中度和轻度 | Hg、Cd、Pb、As、Cu、Zn、Cr | 农田 | 大中城市郊区 | 2006 |
| 城灌高速公路两侧 | 轻度污染 | Cu、Zn、Cd | 农田 | 高速公路两侧 | 2012 |
| 攀西地区米易县 | 少部分菜地轻度污染 | Cd | 菜地 | 蔬菜基地 | 2008 |
| 彭州 | 轻度污染 | Hg、Cd、Cu | 菜地 | 蔬菜基地 | 2003 |
| 成都市 | 金牛区9个乡主要农作物和城市菜园、果园作物区土壤已经受到了重金属的严重污染。 | Cd、As、Hg、Pb、Cr | 小麦、水稻、莴笋、红薯 | 城区农田、菜园 | 2009 |
| 广元市利州区 | 清洁 | A s、Hg、Cd、Cu、Cr、Pb | 蔬菜、水果 | 农产品基地 | 2010 |
| 冕宁县 | 严重 | Pb、Cu、Cr、Cd、Zn、Cu、Ni | 油菜、大麦、玉米、水稻 | 稀土尾矿坝区域 | 2012 |
| 南充市 | 3.8%的成都市农业土壤为三级水平，即轻度污染 | Pb、Cd、As、Ag 、Cr | 蔬菜 | 城市郊区 | 2009 |
| 越西县 | Cd轻度污染，Cr潜在危害 | Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu | 农田 | 矿区一般农区 | 2012 |
| 天津 | 东丽区大毕庄 | 中度和重度 | Cd、Cu、Zn | 农田 | 工矿企业周边、污灌区 | 2011 |
| 宁河县 | 轻度 | Hg、Cd | 菜地 | 蔬菜种植地 | 2010 |
|  | 中度和重度 | Cd、Hg、As | 农田水稻蔬菜 | 污灌区 | 2005 |
|  | 中度和重度 | Cd、Hg | 农田水稻蔬菜 | 污灌区 | 2005 |
|  | 中度和重度 | Cd、Hg、As、Cu、Pb、Zn 、 Cr | 蔬菜、水稻 | 污灌区 | 2005 |
|  | As、Cd、Hg污染严重 | As、Cd、Cr、Cu、Fe、Hg、Mn、Ni、Pb、Se、Sn、Zn | 农田 | 市郊、污灌 | 2009 |
| 新疆 | 石河子 | 轻度 | As、Cd | 菜地 | 郊区 | 2001 |
| 奎屯垦区 | 严重 | Cd、As | 农田 | 一般农田 | 2007 |
| 米泉市 | 高于背景值1-2倍 | Cd、As、Hg | 农田 | 污灌区 | 2007 |
| 伊犁汉宾乡（简称伊犁）、昌吉园艺场（简称昌吉）、乌鲁木齐雅马里克山（简称雅山）、乌鲁木齐水磨沟（简称水磨沟），东疆的哈密花园乡（简称哈密），南疆的库尔勒老城区（简称库尔勒）、阿克苏乌洽镇（简称阿克苏） | 仅乌鲁木齐雅玛里克山为轻污染 | Cu、Zn、Ni、Cr、Pb | 农田 | 污灌区 | 2006 |
| 云南 | 个旧 | 严重Pb污染，轻微Zn污染 | Pb、Zn | 芦笋 | 芦笋种植点 | 2012 |
| 个旧 | 严重 | Cd、Zn、Pb | 杜仲 | 锡矿废弃区 | 2010 |
| 个旧 | 严重 | Pb、As、Cu | 农田马铃薯豌豆 | 锡矿尾矿周边 | 2008 |
| 个旧市乍甸 | 严重 | As、Cd | 农田油菜籽 | 一般农区 | 2012 |
| 个旧市郊鸡街镇 | 严重 | Pb、Zn、Cu、Cd | 萝卜、甘蓝、花椰菜、甘蔗、薄荷、朝天椒、土豆、大米、玉米 | 矿区周边 | 2011 |
| 个旧市乍甸镇 | 严重 | Pb、Zn、Cu、Cd、As | 蔬菜、油菜籽 | 金属矿区 | 2012 |
| 兰坪矿区 | 严重 | Pb、Cd、Zn、Cr、Cu | 豌豆、番茄、萝卜 | 锡矿区周边 | 2010 |
| 个旧市 | 严重 | Cd、Cu、Pb、Zn、Cr | 玉米 | 锡矿区周边 | 2010 |
| 个旧市 | 重度 | Pb、Cd、Zn | 甘蔗、青菜、豌豆 | 选冶矿区周边 | 2010 |
| 昆明市 | Cd、Ni严重、As、Pb、Cu相对较重 | As、Ni、Cd、Hg、Cu | 芹菜、结荚豌豆、小青菜、白芸豆、豆尖、番茄 | 污灌区 | 2010 |
| 浙江 | 台州市温岭 | 重度 | Cd、Cu、Pb | 农田 | 电子拆解 | 2011 |
| 杭州 | 轻 | Cd、Co、Cr、Cu | 农田 | 郊区 | 2002 |
| 浙北环太湖平原 | 不同程度污染，Hg突出 | Cd、Hg | 农田 | 一般农区 | 2005 |
| 浙北环太湖平原上虞、绍兴、嘉兴新丰县、嘉兴市和崇福镇五个典型地区 | 中度和重度 | Cd、Cu、Hg、Zn | 农田 | 一般农区 | 2008 |
| 台州市路桥区 | 严重 | Cd、Cu、Pb、Zn | 农田 | 电子拆解周边 | 2006 |
| 宁波市象山县、宁海县、奉化市 | 不同程度 | Pb、Cd、Cu、Zn | 蔬菜 | 蔬菜地 | 2012 |
| 慈溪市 | 清洁 | Pb、Cd、Cr、Cu、Hg、As | 蔬菜 | 蔬菜产区 | 2013 |
| 杭州市 | 清洁 | Pb、Zn、Cu | 蔬菜 | 城市郊区 | 2003 |
| 湖州市德清县、长兴县、吴兴区、南浔区 | 轻度 | As 、Cd、Cr、Cu、Hg 、Pb | 蔬菜 | 蔬菜基地 | 2007 |
| 重庆 | 39个区县468个土壤和936个水稻、玉米植株及籽粒样品 | Cd严重、As、Ni中度和轻度 | Cd、As、Ni、Cu | 农田水稻、玉米 | 城市郊区 | 2010 |
| 长寿湖周边 | 严重 | Hg、Cd、As | 农田 | 城市郊区 | 2012 |
| 全境范围内39个区县468个土壤和936个水稻、玉米植株及籽粒样品 | 较为严重 | Pb、Cd、Ni、As、Cu、Zn、Cr | 水稻、玉米 | 一般农区 | 2001 |
| 宁夏 | 石嘴山河滨工业园区 | Zn、Cr、Pb为非污染，Cu、Cd属轻度污染和重度污染 | Cu、Cd、Zn、Cr、Pb | 工业园区周边 | 工矿企业周边 | 2013 |
| 银川兴庆区，包括大新乡、掌政乡共5个村（新渠、塔桥、茂盛、五渡桥、掌政六队） | Pb、Cd、Cr、Cu含量均超过土壤背景值，但均未超过温室蔬菜产地土壤环境质量限制以及土壤环境质量二级标准 | Pb、Cd、Cr、Cu | 农田蔬菜 | 设施蔬菜地 | 2011 |
| 青海 | 湟水流域 | As、Pb、Cr、Cu低度生态危害；Hg、Cd中度生态危害 | Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu | 农田 | 一般农区 | 2012 |
| 西藏 | 藏中矿区 | 不同程度污染 |  | 矿区 | 矿区周边 | 2010 |
| 当雄拉乌矿区 | 严重 | Cu、Zn、Pb、Cd | 矿区 | 矿区周边 | 2010 |
| 珠三角 | 珠三角范围内 | 严重 | As、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb | 农田 | 工矿企业周边 | 2012 |
| 珠三角滩涂 | 广州南沙、中山一带 | 轻度 | Cu、Pb、Cd、Ni、Cr 、Zn | 莲藕、香蕉、木瓜、蔬菜 | 滩涂围垦农田 | 2009 |
| 长三角 | 环太湖地区、浙江南部地区、沿江地区 | Cd污染最严重,Pb、Cu和Zn次之,Cr最轻,几乎不受Hg和As污染,内梅罗污染指数为0.880,属警戒级 | Cd、Pb、Cr、Cu、Zn | 农田水稻 | 一般农田区 | 2010 |
| 全国 | 上海、天津、广州、沈阳、西安 | 中度和重度 | Cd、Pb、Hg、Zn、Cr | 农田菜地 | 郊区 | 2002 |
| 沈阳、广州 | 严重 | Cd | 农田菜地 | 郊区、污灌 | 2006 |
| 上海、程度、贵阳、乌鲁木齐、南京、南宁 | 不同程度 | Cd、Pb、Hg、As、Cr | 菜地 | 郊区 | 2008 |
| 北京、上海、南京、定州 | 不同程度 | As、Cd、、Hg、Pb、Cr | 农田蔬菜 | 蔬菜基地 | 2009 |
| 上海、天津、南京、西安、广州、沈阳、福建 | 普遍和严重 | Pb、Cd、Hg | 农田 | 大中城市郊区 | 2009 |

# 附件4 土壤重金属污染防治相关专著及研究报告名单

**1.学术专著**

（1）刘凤枝等，土壤监测分析实用手册，化学工业出版社，2012.

（2）欧阳喜辉等，农产品产地环境质量监测与评价，中国农业出版社，2013.

（3）周启星等，污染土壤修复原理与方法，科学出版社，2004.

（4）吴次方，土地资源调查与评价，中国农业出版社，2008.

（5）周振民，污水灌溉土壤重金属污染机理与修复技术，中国水利水电出版社，2011.

（6）王敬国，设施菜田退化土壤修复与资源高效利用，中国农业大学出版社，2011.

（7）李健等，环境背景值数据手册，中国环境科学出版社，1989.

（8）周启星、罗义，污染生态化学，科学出版社，2011.

（9）陈维新，农业环境保护，农业出版社，1990.

（10）张立钦、吴甘霖，农业生态环境污染防治与生物修复，中国环境科学出版社，2005.

（11）侯光炯、高慧民，中国农业土壤概论，农业出版社，1982.

（12）潘剑君，土壤资源调查与评价，中国农业出版社，2004.

（13） 何纪力等，江西省土壤环境背景值研究，中国环境科学出版社，2006.

（14）龚宇阳，污染场地管理与修复，中国环境科学出版社，2012.

（15）张夫道等，中国土壤生物演变及安全评价，中国农业出版社，2006.

（16）聂振邦，中国资源信息，中国环境科学出版社，2000.

（17）陈锡文，中国食品安全战略研究，化学工业出版社，2004.

（18）骆永明等，城郊农田土壤复合污染与修复研究，科学出版社，2012.

（19）骆永明等，中国土壤环境质量基准与标准制定的理论和方法，科学出版社，2015.

（20）夏家淇，土壤环境质量标准详解，中国环境科学出版社，1996.

（21）夏增禄，中国土壤环境容量，地震出版社，1992.

（22）刘明光，中国自然地理图集，中国地图出版社，1984.

（23）李其林，区域生态系统土壤和作物中重金属的特征研究——以重庆为例，中国环境科学出版社，2010.

（24）周立三，中国农业地理，科学出版社，2000.

（25）郭书海等，中国土壤环境区划，科学出版社，2014.

**2.研究报告**

（1）第一次全国污染源普查资料文集，2011.

（2）中国区域农业资源合理配置、环境综合治理和农业区域协调发展战略研究,2008.

（3）2011-2020年非常规性控制污染物排放清单分析与预测研究报告，2011.

（4）上海市农田土壤环境质量普查总结材料汇编，2003.

（5）上海郊区农田污染甄别与区域界定总结材料，2003.

（6）环境污染、社会经济发展及农用化学物质对农产品产地安全的影响研究，2013.

（7）农业资源环境保护与可持续发展调研报告，2013.

（8）农产品产地重金属分级评估方法调研报告，2015.

（9）第二次全国土地调查文件汇编，2009.

（10）中国第二次全国农业普查资料汇编，2008.

（11）2014-2019年环保用新材料市场现状趋势战略调查及供需格局分析预测报告，2014.

（12）2014-2018年中国生态农业产业深度评估及投资前景预测报告，2014.

（13）全国生态现状调查与评估，2006.

（14）中华人民共和国土壤环境背景值图集，1994.

（15）中国生态环境地球化学图集，1999.

（16）中国主要农业土壤污染元素背景值图集，2006.

（17）中国的城镇化与粮食安全， 2014.

（18）重庆市永川区农产品产地土壤重金属污染普查报告，2015.

（19）中国国土资源数据集，1989.

（20）第二次中国污水灌溉普查报告，1996.

（21）中国种植业区划，1984.

# 附件5 土壤重金属及理化性质与农产品重金属含量之间的关系模型

第一部分 土壤镉模型

**（叶菜）**

一、pH<6.5

(1)CCd=-0.007pH-0.002OC+0.001CEC+0.041TCd+0.067(R2=0.488;sig0.000)

(2)CCd=-0.007pH-0.009SOM+0.001CEC+0.041TCd+0.067(R2=0.488;sig0.000)

(3)CCd=-0.000pH-0.008SOM+0.042TCd+0.044(R2=0.487;sig0.000)

(4)CCd=-0.005pH+0.042TCd+0.047(R2=0.485;sig0.000)

(5)CCd=0.042TCd+0.024(R2=0.485;sig0.000)

(6)CCd=-0.009pH+0.001CEC+0.042TCd+0.063(R2=0.486;sig0.000)

(7)CCd=-0.000pH-0.001OC+0.042TCd+0.044(R2=0.487;sig0.000)

(8)lg(CCd)=-1.189-0.0150pH-0.408LG(SOM)+0.064LG(CEC)+0.546lg(TCd)(R2=0.287 sig0.000)

(9)lg(CCd)=-0.877-0.0150pH-0.408LG(OC)+0.064LG(CEC)+0.546lg(TCd)(R2=0.287 sig0.000)

(10)lg(CCd)=-1.128-0.0530pH+0.044LG(CEC)+0.541lg(TCd)(R2=0.283 sig0.000)

(11)lg(CCd)=-1.161-0.0080pH-0.395LG(SOM)+0.548lg(TCd)(R2=0.287 sig0.000)

(12)lg(CCd)=-0.859-0.0080pH-0.395LG(OC)+0.548lg(TCd)(R2=0.287 sig0.000)

(13)lg(CCd)=-1.110-0.047pH+0.542lg(TCd)(R2=0.282 sig0.000)

(14)lg(CCd)=-1.468-0.020pH (R2=0.000 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(15)CCd=0.227pH-0.015SOM-0.006CEC+0.049TCd-1.477(R2=0.468;sig0.000)

(16)CCd=0.227pH-0.003OC-0.006CEC+0.049TPb-1.477(R2=0.468;sig0.000)

(17)CCd=0.233pH-0.008CEC+0.047TPb-1.521(R2=0.464;sig0.000)

(18)CCd=0.127pH-0.036SOM+0.060TPb-0.823(R2=0.447;sig0.000)

(19)CCd=0.062pH+0.062TPb-0.417(R2=0.415;sig0.000)

(20)CCd=0.062TPb+0.015(R2=0.368;sig0.000)

(21)lg(CCd)=-10.804+1.441pH-1.582LG(SOM)-0.419LG(CEC)+0.499lg(TCd)(R2=0.343 sig0.000)

(22)lg(CCd)=-9.597+1.441pH-1.582LG(OC)-0.419LG(CEC)+0.499lg(TCd)(R2=0.343 sig0.000)

(23)lg(CCd)=-6.872+0.907pH-0.754LG(OC)+0.517lg(TCd)(R2=0.315 sig0.000)

(24)lg(CCd)=-9.536+1.204pH-1.785LG(SOM)+0.522lg(TCd)(R2=0.339 sig0.000)

(25)lg(CCd)=-8.174+1.204pH-1.785LG(OC)+0.522lg(TCd)(R2=0.339 sig0.000)

(26)lg(CCd)=-3.311+0.294pH+0.568lg(TCd)(R2=0.299 sig0.000)

(27)lg(CCd)=-1.269+0.566lg(TCd)(R2=0.280 sig0.000)

三、pH>7.5

(28)CCd=-0.076pH+0.015SOM+0.000CEC+0.093TCd+0.585(R2=0.261;sig0.000)

(29)CCd=-0.076pH+0.003OC+0.000CEC+0.093TCd+0.585(R2=0.261;sig0.000)

(30)CCd=-0.134pH-0.001CEC+0.093TCd+1.077(R2=0.261;sig0.000)

(31)CCd=-0.152pH+0.093TCd+1.204(R2=0.261;sig0.000)

(32)CCd=0.098TCd+0.005(R2=0.251;sig0.000)

(33)CCd=-0.078pH+0.017SOM+0.093TCd+0.593(R2=0.261;sig0.000)

(34)CCd=-0.078pH+0.003OC+0.093TCd+0.593(R2=0.261;sig0.000)

(35)lg(CCd)=18.280-2.625pH+0.406LG(SOM)+0.827LG(CEC)+0.603lg(TCd)(R2=0.385 sig0.000)

(36)lg(CCd)=17.970-2.625pH+0.406LG(OC)+0.827LG(CEC)+0.603lg(TCd)(R2=0.385 sig0.000)

(37)lg(CCd)=22.221-3.099pH+0.702LG(CEC)+0.602lg(TCd)(R2=0.384 sig0.000)

(38)lg(CCd)=19.194-2.622pH+0.150LG(SOM)+0.603lg(TCd)(R2=0.382 sig0.000)

(39)lg(CCd)=19.079-2.622pH+0.150LG(OC)+0.603lg(TCd)(R2=0.382 sig0.000)

(40)lg(CCd)=20.748-2.816pH+0.602lg(TCd)(R2=0.382 sig0.000)

(41)lg(CCd)=-1.341+0.638lg(TCd)(R2=0.237 sig0.000)

**(根茎)**

一、pH<6.5

(42)CCd=-0.014pH+0.042SOM+0.007CEC+0.042TCd-0.082(R2=0.437, sig0.000)

(43)CCd=-0.014pH+0.007OC+0.007CEC+0.042TCd-0.082(R2=0.437, sig0.000)

(44)CCd=0.014pH+0.004CEC+0.042TCd-0.104(R2=0.425, sig0.000)

(45)CCd=0.027pH+0.024SOM+0.043TCd-0.178(R2=0.421, sig0.000)

(46)CCd=0.027pH+0.004OC+0.043TCd-0.178(R2=0.421, sig0.000)

(47)CCd=0.037pH+0.043TCd-0.171(R2=0.416, sig0.000)

(48)CCd=0.044TCd+0.01(R2=0.409, sig0.000)

(49)lg(CCd)=-2.292+0.203pH-0.905lg(SOM)+0.135lg(CEC)+0.404lg(TCd)(R2=0.243,sig0.000)

(50)lg(CCd)=-1.602+0.203pH-0.905lg(OC)+0.135lg(CEC)+0.404lg(TCd)(R2=0.243,sig0.000)

(51)lg(CCd)=-2.487+0.156pH+0.247lg(CEC)+0.390lg(TCd)(R2=0.230,sig0.000)

(52)lg(CCd)=-2.134+0.206pH-1.027lg(SOM)+0.412lg(TCd)(R2=0.241,sig0.000)

(53)lg(CCd)=-1.350+0.206pH-1.027lg(OC)+0.412lg(TCd)(R2=0.241,sig0.000)

(54)lg(CCd)=-2.214+0.150pH+0.401lg(TCd)(R2=0.221,sig0.000)

(55)lg(CCd)=-1.472+0.414lg(TCd)(R2=0.210,sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(56)CCd =0.033pH+0.04TCd -0.198(R2=0.225 sig0.000)

(57)CCd =0.005OC+0.04TCd -0.003(R2=0.225 sig0.000)

(58)CCd =0.033pH+0.04TCd -0.198(R2=0.225 sig0.000)

(59)CCd =0.027SOM+0.04TCd -0.003(R2=0.225 sig0.000)

(60)CCd =0.005OC+0.04TCd -0.003(R2=0.225 sig0.000)

(61)CCd =0.033pH+0.04TCd -0.198(R2=0.225 sig0.000)

(62)CCd =0.037TCd +0.031(R2=0.215 sig0.000)

(63)lg(CCd)=-1.328+0.196lg(SOM)+0.361lg(TCd)(R2=0.094,sig0.060)

(64)lg(CCd)=-1.478+0.196lg(OC)+0.361lg(TCd)(R2=0.094,sig0.060)

(65)lg(CCd)=-1.899+0.084pH+0.361lg(TCd)(R2=0.094,sig0.060)

(66)lg(CCd)=-1.328+0.196lg(SOM)+0.361lg(TCd)(R2=0.094,sig0.060)

(67)lg(CCd)=-1.478+0.196lg(OC)+0.361lg(TCd)(R2=0.094,sig0.060)

(68)lg(CCd)=-1.899+0.084pH+0.361lg(TCd)(R2=0.094,sig0.060)

(69)lg(CCd)=-1.322+0.346lg(TCd)(R2=0.093,sig0.018)

三、pH>7.5

(70)CCd=0.138SOM+0.014CEC+0.116TCd-0.408(R2=0.338 sig0.000)

(71)CCd=0.024OC+0.014CEC+0.116TCd-0.408(R2=0.338 sig0.000)

(72)CCd=-0.798pH+0.026CEC+0.116TCd+5.948(R2=0.338 sig0.000)

(73)CCd=0.931pH+0.299SOM+0.116TCd-7.832(R2=0.338 sig0.000)

(74)CCd=0.931pH+0.052OC+0.116TCd-7.832(R2=0.338 sig0.000)

(75)CCd=-0.217pH+0.115TCd+1.707(R2=0.338 sig0.000)

(76)CCd=0.116TCd+0.011(R2=0.337 sig0.000)

(77)lg(CCd)=-12.020+8.334lg(SOM)+8.129lg(CEC)+0.590lg(TCd)(R2=0.328,sig0.000)

(78)lg(CCd)=-18.383+8.334lg(OC)+8.129lg(CEC)+0.590lg(TCd)(R2=0.328,sig0.000)

(79)lg(CCd)=107.613-16.311pH+17.708lg(CEC)+0.590lg(TCd)(R2=0.328,sig0.000)

(80)lg(CCd)=-113.558+13.844pH+15.407lg(SOM)+0.590lg(TCd)(R2=0.328,sig0.000)

(81)lg(CCd)=-125.321+13.844pH+15.407lg(OC)+0.590lg(TCd)(R2=0.328,sig0.000)

(82)lg(CCd)=25.045-3.362pH+0.568lg(TCd)(R2=0.308,sig0.000)

(83)lg(CCd)=-1.184+0.582lg(TCd)(R2=0.291,sig0.000)

**(果实)**

一、pH<6.5

(84)CCd=-0.067+0.021pH-0.008SOM+0.001CEC+0.003TCd(R2=0.131)

(85)CCd=-0.067+0.021pH-0.001OC-0.001CEC+0.003TCd(R2=0.131)

(86)CCd=-0.077+0.020pH+0.000CEC+0.003TCd(R2=0.125)

(87)CCd=-0.082+0.025pH-0.007SOM+0.003TCd(R2=0.130)

(88)CCd=-0.082+0.025pH-0.001OC+0.003TCd(R2=0.130)

(89)CCd=-0.087+0.023pH+0.003TCd(R2=0.125)

(90)CCd=0.027+0.023pH+0.003TCd(R2=0.091)

(91)lg(CCd)=-2.241+0.183pH-0.343lg(SOM)-1.171lg(CEC)+0.513lg(TCd)(R2=0.293 sig0.000)

(92)lg(CCd)=-1.979+0.183pH-0.343lg(OC)-1.171lg(CEC)+0.513lg(TCd)(R2=0.293 sig0.000)

(93)lg(CCd)=-2.260+0.168pH-0.191lg(CEC)+0.516lg(TCd)(R2=0.290 sig0.000)

(94)lg(CCd)=-2.280+0.160pH-0.380lg(SOM)+0.516lg(TCd)(R2=0.290 sig0.000)

(95)lg(CCd)=-1.990+0.160pH-0.380lg(OC)+0.516lg(TCd)(R2=0.290 sig0.000)

(96)lg(CCd)=-2.306+0.140pH+0.521lg(TCd)(R2=0.286 sig0.000)

(97)lg(CCd)=-1.605+0.542lg(TCd)(R2=0.276 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(98)CCd=-0.103+0.016pH-0.027SOM+0.004CEC+0.009TCd(R2=0.349)

(99)CCd=-0.103+0.016pH-0.005OC+0.004CEC+0.009TCd(R2=0.349)

(100)CCd=0.046-0.007pH+0.001CEC+0.016TCd(R2=0.236)

(101)CCd=0.028-0.004pH+0.007SOM+0.014TCd(R2=0.151)

(102)CCd=0.028-0.004pH+0.001OC+0.014TCd(R2=0.151)

(103)CCd=-0.103+0.016pH+0.007TCd(R2=0.084)

(104)CCd=0.009+0.009TCd(R2=0.009)

(105)lg(CCd)=-12.404+1.194pH-3.274lg(SOM)+2.780lg(CEC)+0.237lg(TCd)(R2=0.298 sig0.477)

(106)lg(CCd)=-9.904+1.194pH-3.274lg(OC)+2.780lg(CEC)+0.237lg(TCd)(R2=0.298 sig0.477)

(107)lg(CCd)=-3.445+0.158pH+0.593lg(CEC)+0.445lg(TCd)(R2=0.165 sig0.597)

(108)lg(CCd)=-3.866+0.287pH+0.283lg(SOM)+0.405lg(TCd)(R2=0.114 sig0.737)

(109)lg(CCd)=-4.082+0.287pH+0.283lg(SOM)+0.405lg(TCd)(R2=0.114 sig0.737)

(110)lg(CCd)=-5.201+0.480pH+0.359lg(TCd)(R2=0.107 sig0.537)

(111)lg(CCd)=-1.849+0.378lg(TCd)(R2=0.034 sig0.527)

三、pH>7.5

(112)CCd=-0.101+0.005pH+0.025SOM+0.001CEC+0.063TCd(R2=0.170)

(113)CCd=-0.101+0.005pH+0.004SOM+0.001CEC+0.063TCd(R2=0.170)

(114)CCd=1.090-0.144pH+0.004CEC+0.063TCd(R2=0.170)

(115)CCd=-0.492+0.056pH+0.030SOM+0.063TCd(R2=0.170)

(116)CCd=-0.492+0.056pH+0.005OC+0.063TCd(R2=0.170)

(117)CCd=0.398-0.051pH+0.053TCd(R2=0.168)

(118)CCd=0.001+0.064TCd(R2=0.166)

(119)lg(CCd)=-0.406-0.372pH+1.560lg(SOM) +1.176lg(CEC)+0.590lg(TCd)(R2=0.240 sig0.000)

(120)lg(CCd)=-1.597-0.372pH+1.560lg(OC) +1.176lg(CEC)+0.590lg(TCd)(R2=0.240 sig0.000)

(121)lg(CCd)=22.085-3.447pH+3.033lg(CEC)+0.590lg(TCd)(R2=0.227 sig0.000)

(122)lg(CCd)=-9.076+0.885pH+1.886lg(SOM)+0.590lg(TCd)(R2=0.239 sig0.000)

(123)lg(CCd)=-10.516+0.885pH+1.886lg(OC)+0.590lg(TCd)(R2=0.239 sig0.000)

(124)lg(CCd)=6.809-1.085pH+0.590lg(TCd)(R2=0.209 sig0.000)

(125)lg(CCd)=-1.690+0.589lg(TCd)(R2=0.191 sig0.000)

**(水稻)**

一、pH<6.5

(126)CCd=-0.196pH-0.137SOM+0.022CEC+0.002TCd+1.339(R2=0.110, sig0.000)

(127)CCd=-0.196pH-0.024OC+0.022CEC+0.002TCd+1.339(R2=0.110, sig0.000)

(128)CCd=-0.176pH+0.002CEC-0.008TCd+1.151(R2=0.108, sig0.000)

(129)CCd=-0.128pH-0.045SOM-0.009TCd+1.039(R2=0.108, sig0.000)

(130)CCd=-0.128pH-0.008OC-0.009TCd+1.039(R2=0.108, sig0.000)

(131)CCd=-0.162pH-0.009TCd+1.108(R2=0.108, sig0.000)

(132)CCd=0.009TCd+0.276(R2=0.000, sig0.000)

(133)lg(CCd)=-0.149-0.241pH-4.222lg(SOM)+2.174lg(CEC)+0.446lg(TCd)(R2=0.230, sig0.000)

(134)lg(CCd)=3.074-0.241pH-4.222lg(OC)+2.174lg(CEC)+0.446lg(TCd)(R2=0.230, sig0.000)

(135)lg(CCd)=1.243-0.326pH-0.305lg(CEC)+0.195lg(TCd)(R2=0.219, sig0.000)

(136)lg(CCd)=0.853-0.214pH-1.333lg(SOM)+0.230lg(TCd)(R2=0.223, sig0.000)

(137)lg(CCd)=1.870-0.214pH-1.333lg(OC)+0.230lg(TCd)(R2=0.223, sig0.000)

(138)lg(CCd)=1.211-0.381pH+0.224lg(TCd)(R2=0.218, sig0.000)

(139)lg(CCd)=-0.534+0.720lg(TCd)(R2=0.073, sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(140)lg(CCd)=-0.269+1.719lg(TCd)(R2=0.227, sig0.417)

(141)lg(CCd)=-0.269+1.719lg(TCd)(R2=0.227, sig0.417)

(142)lg(CCd)=-0.269+1.719lg(TCd)(R2=0.227, sig0.417)

(143)lg(CCd)=-0.269+1.719lg(TCd)(R2=0.227, sig0.417)

(144)lg(CCd)=-0.269+1.719lg(TCd)(R2=0.227, sig0.417)

(145)lg(CCd)=-0.269+1.719lg(TCd)(R2=0.227, sig0.417)

(146)lg(CCd)=-0.269+1.719lg(TCd)(R2=0.227, sig0.417)

三、pH>7.5

(147)CCd=-0.006CEC+0.445TCd+0.217(R2=0.200, sig0.000)

(148)CCd=-0.014OC+0.445TCd+0.302(R2=0.200, sig0.000)

(149)CCd=-0.006CEC+0.445TCd+0.217(R2=0.200, sig0.000)

(150)CCd=-0.078SOM+0.445TCd+0.302(R2=0.200, sig0.000)

(151)CCd=-0.014OC+0.445TCd+0.302(R2=0.200, sig0.000)

(152)CCd=0.450TCd+0.144(R2=0.198, sig0.000)

(153)CCd=0.450TCd+0.144(R2=0.198, sig0.000)

(154)lg(CCd)=0.696-1.041lg(CEC)+0.888lg(TCd)(R2=0.147, sig0.000)

(155)lg(CCd)=1.422-1.726lg(OC)+0.888lg(TCd)(R2=0.147, sig0.000)

(156)lg(CCd)=0.696-1.041lg(CEC)+0.888lg(TCd)(R2=0.147, sig0.000)

(157)lg(CCd)=0.104-1.726lg(SOM)+0.888lg(TCd)(R2=0.147, sig0.000)

(158)lg(CCd)=1.422-1.726lg(OC)+0.888lg(TCd)(R2=0.147, sig0.000)

(159)lg(CCd)=-0.354+1.015lg(TCd)(R2=0.129, sig0.000)

(160)lg(CCd)=-0.354+1.015lg(TCd)(R2=0.129, sig0.000)

**(小麦)**

一、pH<6.5

(161)CCd=0.001CEC+0.124TCd-0.017(R2=1.000,sig000)

(162)CCd=0.003OC+0.124TCd-0.034(R2=1.000,sig000)

(163)CCd=0.001CEC+0.124TCd-0.017(R2=1.000,sig000)

(164)CCd=0.019SOM+0.124TCd-0.034(R2=1.000,sig000)

(165)CCd=0.003OC+0.124TCd-0.034(R2=1.000,sig000)

(166)CCd=0.033pH+0.124TCd-0.203(R2=1.000,sig000)

(167)CCd=0.099TCd-0.007(R2=1.000,sig000)

(168)lg(CCd)=-0.985+4.793lg(CEC)+7.198lg(TCd)(R2=1.000,sig)

(169)lg(CCd)=-10.884+17.050lg(OC)+7.198lg(TCd)(R2=1.000,sig)

(170)lg(CCd)=-0.985+4.793lg(CEC)+7.198lg(TCd)(R2=1.000,sig)

(171)lg(CCd)=2.133+17.050lg(SOM)+7.198lg(TCd)(R2=1.000,sig)

(172)lg(CCd)=-10.884+17.050lg(OC)+7.198lg(TCd)(R2=1.000,sig)

(173)lg(CCd)=69.093-10.207pH+7.198lg(TCd)(R2=1.000,sig)

(174)lg(CCd)=1.039+4.415lg(TCd)(R2=1.000,sig)

二、pH>7.5

(175)CCd=0.000pH-0.012SOM+0.001CEC-0.010TCd+0.009(R2=0.056,sig000)

(176)CCd=0.000pH-0.002OC+0.001CEC-0.010TCd+0.009(R2=0.056,sig000)

(177)CCd=-0.004pH-7.468E-6CEC-0.012TCd+0.038(R2=0.052,sig000)

(178)CCd=-0.004pH+0.000SOM-0.011TCd+0.039(R2=0.052,sig000)

(179)CCd=-0.004pH-5.457E-5OC-0.011TCd+0.039(R2=0.052,sig000)

(180)CCd=-0.004pH-0.012TCd+0.036(R2=0.052,sig000)

(181)CCd=-0.011TCd+0.004(R2=0.052,sig000)

(182)1)lg(CCd)=-223.193-21.241pH-58.969lg(SOM)-43.107lg(CEC)-1.099lg(TCd)(R2=0.096,sig0.641)

(183)2)lg(CCd)=-178.173-21.241pH-58.969lg(OC)-43.107lg(CEC)-1.099lg(TCd)(R2=0.096,sig0.641)

(184)3)lg(CCd)=-2.154-0.318pH-0.077lg(CEC)-1.553lg(TCd)(R2=0.047,sig0.746)

(185)4)lg(CCd)=-1.968-0.350pH-0.253lg(SOM)-1.531lg(TCd)(R2=0.047,sig0.744)

(186)5)lg(CCd)=-1.775-0.350pH-0.253lg(SOM)-1.531lg(TCd)(R2=0.047,sig0.744)

(187)6)lg(CCd)=-2.968-0.229pH-1.567lg(TCd)(R2=0.047,sig0.534)

(188)7)lg(CCd)=-4.813-1.546lg(TCd)(R2=0.045,sig0.267)

**(玉米)**

一、pH<6.5

(189)CCd=-0.029-0.008pH+0.035SOM-0.002CEC-0.001TCd(R2=0.169, sig0.000)

(190)CCd=-0.029-0.008pH+0.006OC-0.002CEC-0.001TCd(R2=0.169, sig0.000)

(191)CCd=0.194-0.037pH+0.004CEC-0.002TCd(R2=0.132, sig0.000)

(192)CCd=0.074-0.017pH+0.026SOM-0.001TCd(R2=0.166, sig0.000)

(193)CCd=0.074-0.017pH+0.005SOM-0.001TCd(R2=0.166, sig0.000)

(194)CCd=0.164-0.023pH-0.003TCd(R2=0.060, sig0.000)

(195)CCd=0.039+0.000TCd(R2=0.000, sig0.000)

(196)lg(CPb)=0.825-0.783pH-2.294lg(SOM)+2.361lg(CEC)+0.333lg(TPb)(R2=0.383 sig0.000)

(197)lg(CPb)=2.576-0.783pH-2.294lg(OC)+2.361lg(CEC)+0.333lg(TPb)(R2=0.383 sig0.000)

(198)lg(CPb)=-0.360-0.356pH+0.480lg(CEC)+0.409lg(TPb)(R2=0.329 sig0.000)

(199)lg(CPb)=-0.300-0.284pH+0.026lg(SOM)+0.428lg(TPb)(R2=0.314 sig0.000)

(200)lg(CPb)=-0.320-0.284pH+0.026lg(OC)+0.428lg(TPb)(R2=0.314 sig0.000)

(201)lg(CPb)=-0.284-0.286pH+0.428lg(TPb)(R2=0.314 sig0.000)

(202)lg(CPb)=-1.793+0.652lg(TPb)(R2=0.314 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(203)CCd=-0.012+0.018SOM+0.000CEC-0.003TCd(R2=0.746, sig0.000)

(204)CCd=-0.012+0.003OC+0.000CEC-0.003TCd(R2=0.746, sig0.000)

(205)CCd=0.318-0.044pH+0.000CEC-0.003TCd(R2=0.745, sig0.000)

(206)CCd=0.992-0.133pH-0.036SOM-0.003TCd(R2=0.746, sig0.000)

(207)CCd=0.992-0.133pH-0.006OC-0.003TCd(R2=0.746, sig0.000)

(208)CCd=0.039-0.005pH+0.002TCd(R2=0.730, sig0.000)

(209)CCd=0.005+0.003TCd(R2=0.729, sig0.000)

(210)lg(CCd)=-1.987-19.285lg(SOM)-4.570lg(CEC)+3.798lg(TCd)(R2=0.941 sig0.305)

(211)lg(CCd)=12.737-19.285lg(OC)-4.570lg(CEC)+3.798lg(TCd)(R2=0.941 sig0.305)

(212)lg(CCd)=-83.825-11.786pH+1.844lg(CEC)+3.798lg(TCd)(R2=0.941 sig0.305)

(213)lg(CCd)=-139.196+19.760pH+13.048lg(SOM)+3.798lg(TCd)(R2=0.941 sig0.305)

(214)lg(CCd)=-149.158+19.760pH+13.048lg(OC)+3.798lg(TCd)(R2=0.941 sig0.305)

(215)lg(CCd)=-43.247+6.123pH+1.911lg(TCd)(R2=0.802 sig0.198)

(216)lg(CCd)=-2.022+0.391lg(TCd)(R2=0.572 sig0.139)

三、pH>7.5

(217)CCd=-0.671+0.073pH+0.133SOM-0.003CEC-0.044TCd(R2=0.971, sig0.000)

(218)CCd=-0.671+0.073pH+0.023OC-0.003CEC-0.044TCd(R2=0.980, sig0.000)

(219)CCd=2.841-0.333pH-0.011CEC-0.039TCd(R2=0.928, sig0.000)

(220)CCd=-1.584+0.178PH+0.166SOM-0.044TCd(R2=0.976,sig0.000)

(221)CCd=-1.584+0.178PH+0.029-0.044TCd(R2=0.976,sig0.000)

(222)CCd=1.601-0.198PH-0.007TCd(R2=0.475,sig0.000)

(223)CCd=0.009+0.019TCd(R2=0.139,sig0.000)

(224)lg(CCd)=146.463-17.155pH-9.560lg(SOM)-10.709lg(CEC)-0.370lg(TCd)(R2=0.788 sig0.004)

(225)lg(CCd)=153.761-17.155pH-9.560lg(OC)-10.709lg(CEC)-0.370lg(TCd)(R2=0.788 sig0.004)

(226)lg(CCd)=65.167-7.521pH-7.386lg(CEC)-0.682lg(TCd)(R2=0.788 sig0.004)

(227)lg(CCd)=-79.266+9.434pH+15.428lg(SOM)-0.756lg(TCd)(R2=0.646 sig0.013)

(228)lg(CCd)=-91.045+9.434pH+15.428lg(OC)-0.756lg(TCd)(R2=0.646 sig0.013)

(229)lg(CCd)=16.880-2.381pH+0.884lg(TCd)(R2=0.412 sig0.054)

(230)lg(CCd)=-1.828+1.431lg(TCd)(R2=0.361 sig0.023)

**(水果)**

木本水果

一、pH>7.5

(231)CCd=0.464+0.055pH+0.030SOM-0.006TCd(R2=0.286)

(232)CCd=0.464+0.055pH+0.005OC-0.006TCd(R2=0.286)

(233)CCd=0.464+0.056pH+0.001CEC-0.006TCd(R2=0.286)

(234)CCd=0.464+0.055pH+0.030SOM-0.006TCd(R2=0.286)

(235)CCd=0.464+0.055pH+0.005OC-0.006TCd(R2=0.286)

(236)CCd=-0.134+0.017pH-0.006TCd(R2=0.142)

(237)CCd=0.003+0.008TCd(R2=0.018)

(238)lg(CCd)=-159.362+19.527pH+28.956lg(SOM)+0.772lg(TCd)(R2=0.432 sig0.148)

(239)lg(CCd)=-181.469+19.527pH+28.956lg(OC)+0.772lg(TCd)(R2=0.432 sig0.148)

(240)lg(CCd)=-221.460+24.855pH+17.357lg(CEC)+0.772lg(TCd)(R2=0.432 sig0.148)

(241)lg(CCd)=-159.362+19.527pH+28.956lg(SOM)+0.772lg(TCd)(R2=0.432 sig0.148)

(242)lg(CCd)=-181.469+19.527pH+28.956lg(OC)+0.772lg(TCd)(R2=0.432 sig0.148)

(243)lg(CCd)=-19.116+2.089pH+0.551lg(TCd)(R2=0.076 sig0.674)

(244)lg(CCd)=-1.994+0.994lg(TCd)(R2=0.042 sig0.504)

草本水果

一、pH>7.5

(245)CCd=0.000+2.908E-5CEC+0.005TCd(R2=1.000)

(246)CCd=-0.001+0.000OC+0.005TCd(R2=1.000)

(247)CCd=0.000+2.908E-5CEC+0.005TCd(R2=1.000)

(248)CCd=-0.001+0.001SOM+0.005TCd(R2=1.000)

(249)CCd=-0.001+0.000OC+0.005TCd(R2=1.000)

(250)CCd=-0.006+0.000pH+0.005TCd(R2=1.000)

(251)CCd=0.000+0.005TCd(R2=0.945)

(252)lg(CCd)=-2.928+1.251lg(CEC)+2.928lg(TCd)(R2=1.000 sig)

(253)lg(CCd)=-3.661+2.785lg(OC)+2.928lg(TCd)(R2=1.000 sig)

(254)lg(CCd)=-2.928+1.251lg(CEC)+2.928lg(TCd)(R2=1.000 sig)

(255)lg(CCd)=-1.535+2.785lg(SOM)+2.928lg(TCd)(R2=1.000 sig)

(256)lg(CCd)=-3.661+2.785lg(OC)+2.928lg(TCd)(R2=1.000 sig)

(257)lg(CCd)=10.785-1.535pH+2.928lg(TCd)(R2=1.000 sig)

(258)lg(CCd)=-1.499+3.124lg(TCd)(R2=0.878 sig0.227)

**(杂粮)**

一、pH>7.5

(259)CCd=0.351-0.220pH-0.030CEC+10.000TCd(R2=1.000)

(260)CCd=-1.325+0.029OC-0.048CEC+10.000TCd(R2=1.000)

(261)CCd=0.351-0.220pH-0.030CEC+10.000TCd(R2=1.000)

(262)CCd=3.050-0.575pH-0.269SOM+10.000TCd(R2=1.000)

(263)CCd=3.050-0.575pH-0.046OC+10.000TCd(R2=1.000)

(264)CCd=-0.066+0.045pH-1.576TCd(R2=0.776)

(265)CCd=-0.004+0.083TCd(R2=0.010)

**第二部分 土壤汞模型**

**(叶菜)**

一、pH<6.5

(266)CHg=-0.072pH-0.013OC+0.01CEC+0.029THg+0.518(R2=0.064;sig0.000)

(267)CHg=-0.072pH-0.075SOM+0.01CEC+0.029THg+0.518(R2=0.064;sig0.000)

(268)CHg=0.086pH-0.034SOM+0.026THg-0.530(R2=0.039;sig0.000)

(269)CHg=-0.093pH+0.006CEC+0.029THg+0.614(R2=0.044;sig0.000)

(270)CHg=0.33pH+0.0279THg-0.205(R2=0.033;sig0.000)

(271)CHg=0.034THg+0.023(R2=0.031;sig0.000)

(272)lg(CHg)=-1.650-0.236pH+0.862LG(SOM)+0.229LG(CEC)+0.621lg(THg)(R2=0.237 sig0.000)

(273)lg(CHg)=-2.308-0.236pH+0.862LG(OC)+0.229LG(CEC)+0.621lg(THg)(R2=0.237 sig0.000)

(274)lg(CHg)=-1.633-0.178pH+0.249LG(CEC)+0.638lg(THg)(R2=0.214 sig0.000)

(275)lg(CHg)=-1.521-0.216pH+0.884LG(SOM)+0.645lg(THg)(R2=0.231 sig0.000)

(276)lg(CHg)=-2.195-0.216pH+0.884LG(OC)+0.645lg(THg)(R2=0.231 sig0.000)

(277)lg(CHg)=-1.491-0.155pH+0.664lg(THg)(R2=0.206 sig0.000)

(278)lg(CHg)=-2.273+0.662lg(THg)(R2=0.206 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(279)CHg=-0.072pH-0.075SOM+0.01CEC+0.029THg+0.518(R2=0.064;sig0.000)

(280)CHg=-0.072pH-0.013SOM+0.01CEC+0.029THg+0.518(R2=0.064;sig0.000)

(281)CHg=-0.093pH+0.006CEC+0.029THg+0.614(R2=0.044;sig0.000)

(282)CHg=0.086pH-0.034SOM+0.026THg-0.530(R2=0.039;sig0.000)

(283)CHg=0.086pH-0.006OC+0.026THg-0.530(R2=0.039;sig0.000)

(284)CHg=0.033pH+0.027THg-0.205(R2=0.033;sig0.000)

(285)CHg=0.034THg-0.023(R2=0.031;sig0.000)

(286)lg(CHg)=5.635-1.576pH-5.091LG(SOM)+4.168LG(CEC)+0.838lg(THg)(R2=0.499 sig0.000)

(287)lg(CHg)=9.522-1.576pH-5.091LG(OC)+4.168LG(CEC)+0.838lg(THg)(R2=0.499 sig0.000)

(288)lg(CHg)=15.729-2.928pH+3.075LG(CEC)+0.820lg(THg)(R2=0.450 sig0.000)

(289)lg(CHg)=-2.700+0.160pH-1.306LG(SOM)+0.813lg(THg)(R2=0.360 sig0.000)

(290)lg(CHg)=-1.703+0.160pH-1.306LG(OC)+0.813lg(THg)(R2=0.360 sig0.000)

(291)lg(CHg)=1.213-0.416pH+0.809lg(THg)(R2=0.356 sig0.000)

(292)lg(CHg)=-1.721+0.732lg(THg)(R2=0.350 sig0.000)

三、pH>7.5

(293)CHg=0.016pH+0.009SOM+0.001CEC+0.012THg-0.145(R2=0.006;sig0.000)

(294)CHg=0.016pH+0.002OC+0.001CEC+0.012THg-0.145(R2=0.006;sig0.000)

(295)CHg=-0.019pH+0.000CEC+0.012THg+0.148(R2=0.006;sig0.000)

(296)CHg=0.018pH+0.008SOM+0.012THg-0.152(R2=0.006;sig0.000)

(297)CHg=0.018pH+0.001OC+0.012THg-0.152(R2=0.006;sig0.000)

(298)CHg=-0.015pH+0.012THg+0.123(R2=0.006;sig0.000)

(299)CHg=0.013THg+0.004(R2=0.005;sig0.000)

(300)lg(CHg)=-17.975+1.618pH+1.522LG(SOM)+2.056LG(CEC)+0.099lg(THg)(R2=0.045 sig0.020)

(301)lg(CHg)=-19.137+1.618pH+1.522LG(SOM)+2.056LG(CEC)+0.099lg(THg)(R2=0.045 sig0.020)

(302)lg(CHg)=-2.997-0.206pH+1.737LG(CEC)+0.088lg(THg)(R2=0.030 sig0.053)

(303)lg(CHg)=-16.561+1.728pH+1.025LG(SOM)+0.071lg(THg)(R2=0.013 sig0.339)

(304)lg(CHg)=-17.343+1.728pH+1.025LG(OC)+0.071lg(THg)(R2=0.013 sig0.339)

(305)lg(CHg)=-6.096+0.423pH+0.067lg(THg)(R2=0.006 sig0.467)

(306)lg(CHg)=-2.802+0.032lg(THg)(R2=0.001 sig0.684)

**(根茎)**

一、pH<6.5

(307)CHg=-0.003pH+0.001SOM+0.000CEC+0.002THg+0.013(R2=0.114, sig0.000)

(308)CHg=-0.003pH+9.904e-5OC+0.000CEC+0.002THg+0.013(R2=0.114, sig0.000)

(309)CHg=-0.002pH+8.520E-5CEC+0.002THg+0.013(R2=0.108, sig0.000)

(310)CHg=-0.002pH+0.000SOM+0.003THg+0.011(R2=0.101, sig0.000)

(311)CHg=-0.002pH+3.666e-5OC+0.003THg+0.011(R2=0.101, sig0.000)

(312)CHg=-0.002pH+0.003THg+0.011(R2=0.100, sig0.000)

(313)CHg=0.003THg+0.002(R2=0.050, sig0.000)

(314)lg(CHg)=-1.211-0.262Ph+0.071lg(SOM)-0.054lg(CEC)+0.402lg(THg)(R2=0.153,sig0.001)

(315)lg(CHg)=-1.265-0.262Ph+0.071lg(OC)-0.054lg(CEC)+0.402lg(THg)(R2=0.153,sig0.001)

(316)lg(CHg)=-1.191-0.259Ph-0.065lg(CEC)+0.405lg(THg)(R2=0.153,sig0.001)

(317)lg(CHg)=-1.277-0.266Ph+0.137lg(SOM)+0.393lg(THg)(R2=0.153,sig0.001)

(318)lg(CHg)=-1.381-0.266Ph+0.137lg(OC)+0.393lg(THg)(R2=0.153,sig0.001)

(319)lg(CHg)=-1.259-0.259Ph+0.397lg(THg)(R2=0.152,sig0.000)

(320)lg(CHg)=-2.536+0.414lg(THg)(R2=0.107,sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(321)CHg =0.001CEC+0.011THg -0.001(R2=0.250 sig0.000)

(322)CHg =0.002OC+0.011THg -0.008(R2=0.250 sig0.000)

(323)CHg =0.001CEC+0.011THg -0.001(R2=0.250 sig0.000)

(324)CHg =0.012OC+0.011THg -0.008(R2=0.250 sig0.000)

(325)CHg =0.012OC+0.011THg -0.008(R2=0.250 sig0.000)

(326)CHg =0.014pH+0.011THg -0.092(R2=0.250 sig0.000)

(327)CHg=0.014THg +0.003(R2=0.220 sig0.000)

(328)lg(CHg)=2.399-0.613pH+0.770lg(THg)(R2=0.342,sig0.000)

(329)lg(CHg)=-0.675-1.433lg(OC)+0.770lg(THg)(R2=0.342,sig0.000)

(330)lg(CHg)=2.399-0.613pH+0.770lg(THg)(R2=0.342,sig0.000)

(331)lg(CHg)=-1.769-1.433lg(SOM)+0.770lg(THg)(R2=0.342,sig0.000)

(332)lg(CHg)=-0.675-1.433lg(OC)+0.770lg(THg)(R2=0.342,sig0.000)

(333)lg(CHg)=2.399-0.613pH+0.770lg(THg)(R2=0.342,sig0.000)

(334)lg(CHg)=-1.905+0.637lg(THg)(R2=0.303,sig0.000)

三、pH>7.5

(335)CHg=0.008SOM+0.002CEC-2.326E-6THg-0.036(R2=0.131 sig0.000)

(336)CHg=0.001OC+0.002CEC-2.326E-6THg-0.036(R2=0.131 sig0.000)

(337)CHg=-0.043pH+0.003CEC-2.326E-6THg+0.309(R2=0.131 sig0.000)

(338)CHg=0.138pH+0.031SOM-2.326E-6THg-1.139(R2=0.131 sig0.000)

(339)CHg=0.138pH+0.005OC-2.326E-6THg-1.139(R2=0.131 sig0.000)

(340)CHg=0.018pH-2.695E-5THg-0.137(R2=0.056 sig0.000)

(341)CHg=0.000THg+0.001(R2=0.001 sig0.000)

(342)lg(CHg)=-12.381+3.481lg(SOM)+8.087lg(CEC)+0.004lg(THg)(R2=0.028,sig0.412)

(343)lg(CHg)=-15.039+3.481lg(OC)+8.087lg(CEC)+0.004lg(THg)(R2=0.028,sig0.412)

(344)lg(CHg)=37.594-6.814pH+12.089lg(CEC)+0.004lg(THg)(R2=0.028,sig0.412)

(345)lg(CHg)=-113.395+13.772pH+10.518lg(SOM)+0.004lg(THg)(R2=0.028,sig0.412)

(346)lg(CHg)=-121.425+13.772pH+10.518lg(OC)+0.004lg(THg)(R2=0.028,sig0.412)

(347)lg(CHg)=-18.997+2.055pH-0.003lg(THg)(R2=0.011,sig0.572)

(348)lg(CHg)=-2.976-0.022lg(THg)(R2=0.000,sig0.882)

**(果实)**

一、pH<6.5

(349)CHg=0.000+5.146E-5pH-9.559E-5SOM+5.006E-5CEC-1.032E-5THg(R2=0.029)

(350)CHg=0.000+5.146E-5pH-1.648E-5OC+5.006E-5CEC-1.032E-5THg(R2=0.029)

(351)CHg=0.000+4.111E-5pH+4.786E-5CEC-1.660E-5THg(R2=0.028)

(352)CHg=-0.001+0.000pH-5.105E-5SOM-6.559E-6THg(R2=0.015)

(353)CHg=-0.001+0.000pH-8.801E-6OC-6.559E-6THg(R2=0.015)

(354)CHg=-0.001+0.000pH+2.728E-6THg(R2=0.015)

(355)CHg=0.001+4.858E-5THg(R2=0.000)

(356)lg(CHg)=-3.728+0.106pH-0.724lg(SOM)+0.275lg(CEC)+0.059lg(THg)(R2=0.049 sig0.220)

(357)lg(CHg)=-3.175+0.106pH-0.724lg(OC)+0.275lg(CEC)+0.059lg(THg)(R2=0.049 sig0.220)

(358)lg(CHg)=-3.812+0.074pH+0.271lg(CEC)+0.042lg(THg)(R2=0.029 sig0.334)

(359)lg(CHg)=-3.639+0.144pH-0.718lg(SOM)+0.088lg(THg)(R2=0.035 sig0.248)

(360)lg(CHg)=-3.091+0.144pH-0.718lg(OC)+0.088lg(THg)(R2=0.035 sig0.248)

(361)lg(CHg)=-3.723+0.111pH+0.071lg(THg)(R2=0.016 sig0.396)

(362)lg(CHg)=-3.152+0.088lg(THg)(R2=0.004 sig0.396)

二、6.5≦pH≦7.5

(363)lg(CHg)=-24.233+2.961pH-0.187lg(SOM) +0.041lg(THg)(R2=0.714 sig0.138)

(364)lg(CHg)=-24.090+2.961pH-0.187lg(OC) +0.041lg(THg)(R2=0.714 sig0.138)

(365)lg(CHg)=-23.468+2.870pH-0.177lg(CEC) +0.041lg(THg)(R2=0.714 sig0.138)

(366)lg(CHg)=-24.233+2.961pH-0.187lg(SOM) +0.041lg(THg)(R2=0.714 sig0.138)

(367)lg(CHg)=-24.090+2.961pH-0.187lg(OC) +0.041lg(THg)(R2=0.714 sig0.138)

(368)lg(CHg)=-23.167+2.807pH+0.061lg(THg)(R2=0.712 sig0.044)

(369)lg(CHg)=-3.368+0.330lg(THg)(R2=0.417 sig0.083)

三、pH>7.5

(370)CHg=-0.029+0.002pH+0.003SOM+0.001CEC-0.002THg(R2=0.004)

(371)CHg=-0.029+0.002pH+0.000OC+0.001CEC-0.002THg(R2=0.016)

(372)CHg=0.068-0.009pH+0.001CEC-0.002THg(R2=0.014)

(373)CHg=-0.106+0.013pH+0.002SOM-0.002THg(R2=0.011)

(374)CHg=-0.106+0.013pH+0.000OC-0.002THg(R2=0.011)

(375)CHg=-0.010+0.002pH-0.003THg(R2=0.008)

(376)CHg=0.002-0.003THg(R2=0.008)

(377)lg(CHg)=-36.009+4.338pH+1.619lg(SOM) -1.698lg(CEC)-0.435lg(THg)(R2=0.240 sig0.000)

(378)lg(CHg)=-37.245+4.338pH+1.619lg(OC) -1.698lg(CEC)-0.435lg(THg)(R2=0.154 sig0.000)

(379)lg(CHg)=-11.135+0.944pH+0.255lg(CEC)-0.463lg(THg)(R2=0.141 sig0.000)

(380)lg(CHg)=-26.025+2.845pH+1.235lg(SOM)-0.435lg(THg)(R2=0.151 sig0.000)

(381)lg(CHg)=-26.969+2.845pH+1.235lg(OC)-0.435lg(THg)(R2=0.151 sig0.000)

(382)lg(CHg)=-11.978+1.085pH-0.465lg(THg)(R2=0.141 sig0.000)

(383)lg(CHg)=-3.509-0.522lg(THg)(R2=0.120 sig0.000)

**(水稻)**

一、pH<6.5

(384)CHg=-0.007pH-0.002SOM+0.001CEC+0.001THg+0.036(R2=0.008, sig0.000)

(385)CHg=-0.007pH+0.000OC+0.001CEC+0.001THg+0.036(R2=0.008, sig0.000)

(386)CHg=-0.007pH+0.001CEC+0.001THg+0.035(R2=0.007, sig0.000)

(387)CHg=-0.004pH+0.003SOM+0.000THg+0.024(R2=0.006, sig0.000)

(388)CHg=-0.004pH+0.000OC+0.000THg+0.024(R2=0.006, sig0.000)

(389)CHg=-0.002pH+0.001THg+0.019(R2=0.005, sig0.000)

(390)CHg=0.002THg+0.008(R2=0.000, sig0.000)

(391)lg(CHg)=-2.860-0.023pH-2.145lg(SOM)+1.371lg(CEC)-0.043lg(THg)(R2=0.017, sig0.277)

(392)lg(CHg)=-1.223-0.023pH-2.145lg(OC)+1.371lg(CEC)-0.043lg(THg)(R2=0.017, sig0.277)

(393)lg(CHg)=-2.209-0.095pH+0.299lg(CEC)-0.105lg(THg)(R2=0.007, sig0.574)

(394)lg(CHg)=-2.259-0.002pH-0.268lg(SOM)-0.096lg(THg)(R2=0.006, sig0.654)

(395)lg(CHg)=-2.055-0.002pH-0.268lg(OC)-0.096lg(THg)(R2=0.006, sig0.654)

(396)lg(CHg)=-2.188-0.037pH-0.104lg(THg)(R2=0.005, sig0.479)

(397)lg(CHg)=-2.345-0.071lg(THg)(R2=0.002, sig0.424)

二、6.5≦pH≦7.5

(398)lg(CHg)=-3.722-1.689lg(THg)(R2=0.450, sig0.215)

(399)lg(CHg)=-3.722-1.689lg(THg)(R2=0.450, sig0.215)

(400)lg(CHg)=-3.722-1.689lg(THg)(R2=0.450, sig0.215)

(401)lg(CHg)=-3.722-1.689lg(THg)(R2=0.450, sig0.215)

(402)lg(CHg)=-3.722-1.689lg(THg)(R2=0.450, sig0.215)

(403)lg(CHg)=-3.722-1.689lg(THg)(R2=0.450, sig0.215)

(404)lg(CHg)=-3.722-1.689lg(THg)(R2=0.450, sig0.215)

三、pH>7.5

(405)CHg=0.000SOM+0.004THg+0.007(R2=0.001, sig0.000)

(406)CHg=0.000OC+0.004THg+0.007(R2=0.001, sig0.000)

(407)CHg=-5.635E-5CEC+0.004THg+0.007(R2=0.001, sig0.000)

(408)CHg=0.000SOM+0.004THg+0.007(R2=0.001, sig0.000)

(409)CHg=0.000OC+0.004THg+0.007(R2=0.001, sig0.000)

(410)CHg=0.004THg+0.006(R2=0.001, sig0.000)

(411)CHg=0.004THg+0.006(R2=0.001, sig0.000)

(412)lg(CHg)=-2.183-0.332lg(CEC)+0.237lg(THg)(R2=0.018, sig0.106)

(413)lg(CHg)=-1.952-0.549lg(OC)+0.237lg(THg)(R2=0.018, sig0.106)

(414)lg(CHg)=-2.183-0.332lg(CEC)+0.237lg(THg)(R2=0.018, sig0.106)

(415)lg(CHg)=-2.371-0.549lg(SOM)+0.237lg(THg)(R2=0.018, sig0.106)

(416)lg(CHg)=-1.952-0.549lg(OC)+0.237lg(THg)(R2=0.018, sig0.106)

(417)lg(CHg)=-2.485-0.183lg(THg)(R2=0.013, sig0.075)

(418)lg(CHg)=-2.485-0.183lg(THg)(R2=0.013, sig0.075)

**(小麦)**

一、pH<6.5

(419)lg(CHg)=-50.582+5.263lg(CEC)-12.312lg(THg)(R2=1.000,sig)

(420)lg(CHg)=-9.346-8.791lg(OC)-12.312lg(THg)(R2=1.000,sig)

(421)lg(CHg)=-50.582+5.263pH-12.312lg(THg)(R2=1.000,sig)

(422)lg(CHg)=-16.058-8.791lg(SOM)-12.312lg(THg)(R2=1.000,sig)

(423)lg(CHg)=-9.346-8.791lg(OC)-12.312lg(THg)(R2=1.000,sig)

(424)lg(CHg)=-50.582+5.263pH-12.312lg(THg)(R2=1.000,sig)

(425)lg(CHg)=-7.628-4.380lg(THg)(R2=0.805,sig0.291)

二、pH>7.5

(426)CCd=0.010pH-0.022SOM+0.001CEC+0.009TCd-0.071(R2=0.154,sig000)

(427)CCd=0.010pH-0.004OC+0.001CEC+0.009TCd-0.071(R2=0.154,sig000)

(428)CCd=0.002pH-7.382E-5CEC+0.008TCd-0.016(R2=0.132,sig000)

(429)CCd=0.002pH-0.002SOM+0.009TCd-0.017(R2=0.135,sig000)

(430)CCd=0.002pH+0.000OC+0.009TCd-0.017(R2=0.135,sig000)

(431)CCd=0.004pH+0.008TCd-0.032(R2=0.125,sig000)

(432)CCd=0.007TCd+0.001(R2=0.077,sig000)

(433)1)lg(CHg)=-335.03-32.407pH-90.713lg(SOM)+65.082lg(CEC)+1.221lg(THg)(R2=0.326,sig0.043)

(434)2)lg(CHg)=-265.775-32.407pH-90.713lg(OC)+65.082lg(CEC)+1.221lg(THg)(R2=0.326,sig0.043)

(435)3)lg(CHg)=6.938-0.921pH-1.497lg(CEC)+1.143lg(THg)(R2=0.180,sig0.168)

(436)4)lg(CHg)=0.159-0.283pH-2.280lg(SOM)+1.160lg(THg)(R2=0.187,sig0.153)

(437)5)lg(CHg)=1.899-0.283pH-2.280lg(OC)+1.160lg(THg)(R2=0.187,sig0.153)

(438)6)lg(CHg)=-8.499-0.778pH+1.022lg(THg)(R2=0.187,sig0.153)

(439)7)lg(CHg)=-2.260+0.950lg(THg)(R2=0.130,sig0.054)

**(玉米)**

一、pH<6.5

(440)CHg=0.005+0.000pH+0.001SOM+0.000CEC+0.004THg(R2=0.164, sig0.000)

(441)CHg=0.005+0.000pH+9.895e-5OC+0.000CEC+0.004THg(R2=0.164, sig0.000)

(442)CHg=0.008-0.001pH-1.498e-5CEC+0.004THg(R2=0.161, sig0.000)

(443)CHg=0.008-0.001pH+7.364e-5SOM+0.004THg(R2=0.161, sig0.000)

(444)CHg=0.008-0.001pH+1.270e-5OC+0.004THg(R2=0.161, sig0.000)

(445)CHg=0.008-0.001pH+0.004THg(R2=0.161, sig0.000)

(446)CHg=0.008+0.004THg(R2=0.110, sig0.000)

(447)lg(CHg)=-1.844-0.107pH+0.308lg(SOM)-0.467lg(CEC)+0.412lg(THg)(R2=0.106 sig0.153)

(448)lg(CHg)=-1.712-0.153pH-0.242lg(CEC)+0.433lg(THg)(R2=0.105 sig0.082)

(449)lg(CHg)=-2.079-0.107pH-0.467lg(CEC)+0.308lg(OC)+0.412lg(THg)(R2=0.106 sig0.153)

(450)lg(CHg)=-1.664-0.198pH-0.154lg(SOM)+0.414lg(THg)(R2=0.103 sig0.086)

(451)lg(CHg)=-1.546-0.198pH-0.154lg(OC)+0.414lg(THg)(R2=0.103 sig0.086)

(452)lg(CHg)=-1.745-0.195pH+0.380lg(THg)(R2=0.103 sig0.037)

(453)lg(CHg)=-2.707+0.488lg(THg)(R2=0.075 sig0.029)

二、6.5≦pH≦7.5

(454)CHg=-0.008+0.008SOM+6.550E-6CEC-0.045THg(R2=0.994, sig0.000)

(455)CHg=-0.008+0.001OC+6.550E-6CEC-0.045THg(R2=0.994, sig0.000)

(456)CHg=0.132-0.019pH+5.261E-5CEC-0.045THg(R2=0.994, sig0.000)

(457)CHg=-0.028+0.003pH+0.009SOM-0.045THg(R2=0.994, sig0.000)

(458)CHg=-0.028+0.003pH+0.001OC-0.045THg(R2=0.994, sig0.000)

(459)CHg=0.284-0.040Ph-0.094THg(R2=0.976, sig0.000)

(460)CHg=0.003-0.014THg(R2=0.695, sig0.000)

(461)lg(CHg)=-16.613+23.759lg(SOM)+0.231lg(CEC)-5.798lg(THg)(R2=0.959 sig0.255)

(462)lg(CHg)=-34.752+23.759lg(OC)+0.231lg(CEC)-5.798lg(THg)(R2=0.959 sig0.255)

(463)lg(CHg)=84.214-14.520pH+3.589lg(CEC)-5.798lg(THg)(R2=0.959 sig0.255)

(464)lg(CHg)=-23.542+0.998pH+25.392lg(SOM)-5.798lg(THg)(R2=0.959 sig0.255)

(465)lg(CHg)=-42.928+0.998pH+25.392lg(OC)-5.798lg(THg)(R2=0.959 sig0.255)

(466)lg(CHg)=-69.012+10.289pH+3.398lg(THg)(R2=0.883 sig0.117)

(467)lg(CHg)=-3.990-0.952lg(THg)(R2=0.665 sig0.093)

三、pH>7.5

(468)CHg=-2.369+0.274pH+0.084SOM+0.007CEC+0.004THg(R2=0.825, sig0.002)

(469)CHg=-2.369+0.274pH+0.014OC+0.007CEC+0.004THg(R2=0.825, sig0.000)

(470)CHg=-0.110+0.012pH+0.001CEC+0.011THg(R2=0.175, sig0.000)

(471)CHg=0.053-0.006pH-0.003SOM+0.006THg(R2=0.017, sig0.000)

(472)CHg=0.053-0.006PH+0.000C+0.006THg(R2=0.017, sig0.000)

(473)CHg=-0.022+0.003PH+0.004THg(R2=0.008, sig0.000)

(474)CHg=0.004+0.002THg(R2=0.005, sig0.000)

(475)lg(CHg)=-201.069-23.650pH+20.874lg(SOM)+8.187lg(CEC)+0.725lg(THg)(R2=0.386 sig0.304)

(476)lg(CHg)=-217.006-23.650pH+20.874lg(OC)+8.187lg(CEC)+0.725lg(THg)(R2=0.386 sig0.304)

(477)lg(CHg)=-14.421+1.614pH-0.114lg(CEC)+1.077lg(THg)(R2=0.174 sig0.573)

(478)lg(CHg)=-35.634+4.218pH+2.829lg(SOM)+0.957lg(THg)(R2=0.205 sig0.493)

(479)lg(CHg)=-37.794+4.218pH+2.829lg(OC)+0.957lg(THg)(R2=0.205 sig0.493)

(480)lg(CHg)=-14.881+1.657pH+1.085lg(THg)(R2=0.173 sig0.351)

(481)lg(CHg)=-2.114+0.639lg(THg)(R2=0.127 sig0.211)

**(水果)**

木本水果

一、pH>7.5

(482)lg(CHg)=-181.907+22.214pH+33.018lg(SOM)+0.015lg(THg)(R2=0.700 sig0.010)

(483)lg(CHg)=-207.166+22.214pH+33.018lg(OC)+0.015lg(THg)(R2=0.700 sig0.010)

(484)lg(CHg)=-252.717+28.290pH+19.792lg(CEC)+0.015lg(THg)(R2=0.700 sig0.010)

(485)lg(CHg)=-181.907+22.214pH+33.018lg(SOM)+0.015lg(THg)(R2=0.700 sig0.010)

(486)lg(CHg)=-207.116+22.214pH+33.018lg(OC)+0.015lg(THg)(R2=0.700 sig0.010)

(487)lg(CHg)=-14.719+1.605pH+0.970lg(THg)(R2=0.210 sig0.307)

(488)lg(CHg)=-1.752+1.038lg(THg)(R2=0.177sig0.153)

草本水果

一、pH>7.5

(489)lg(CHg)=-7.201+2.356lg(CEC)-0.916lg(THg)(R2=1.000 sig)

(490)lg(CHg)=-8.580+5.242lg(OC)-0.916lg(THg)(R2=1.000 sig)

(491)lg(CHg)=-7.201+2.356lg(CEC)-0.916lg(THg)(R2=1.000 sig)

(492)lg(CHg)=-4.578+5.242lg(SOM)-0.916lg(THg)(R2=1.000 sig)

(493)lg(CHg)=-8.580+5.242lg(OC)-0.916lg(THg)(R2=1.000 sig)

(494)lg(CHg)=18.615-2.889pH-0.916lg(THg)(R2=1.000 sig)

(495)lg(CHg)=-4.499-0.664lg(THg)(R2=0.439 sig0.539)

**(杂粮)**

一、pH>7.5

(496)CHg=0.048-0.003pH-0.002CEC+0.100THg(R2=1.000)

(497)CHg=0.023+0.000OC-0.002CEC+0.100THg(R2=1.000)

(498)CHg=0.048-0.003pH-0.002CEC+0.100THg(R2=1.000)

(499)CHg=0.204-0.024pH-0.016SOM+0.100THg(R2=1.000)

(500)CHg=0.204-0.024pH-0.003OC+0.100THg(R2=1.000)

(501)CHg=0.025-0.003pH+0.093THg(R2=0.402)

(502)CHg=0.003+0.071THg(R2=0.310)

**第三部分 土壤砷模型**

**(叶菜)**

一、pH<6.5

(503)CAs=-0.072pH-0.013OC+0.013CEC+0.002TAs+0.497(R2=0.218;sig0.000)

(504)CAs=-0.072pH-0.077SOM+0.013CEC+0.002TAs+0.497(R2=0.218;sig0.000)

(505)CAs=-0.054pH+0.007CEC+0.001TAs+0.351(R2=0.141;sig0.000)

(506)CAs=0.151pH-0.028SOM+0.000TAs-0.965(R2=0.120;sig0.000)

(507)CAs=0.101pH+0.000TAs-0.650(R2=0.106;sig0.000)

(508)CAs=0.001TAs+0.043(R2=0.016;sig0.000)

(509)lg(CAs)=-2.212-0.058pH+0.233LG(SOM)+0.240LG(CEC)+0.507lg(TAs)(R2=0.110 sig0.000)

(510)lg(CAs)=-2.390-0.058pH+0.233LG(OC)+0.240LG(CEC)+0.507lg(TAs)(R2=0.110 sig0.000)

(511)lg(CAs)=-2.224-0.039pH+0.251LG(CEC)+0.498lg(TAs)(R2=0.108 sig0.000)

(512)lg(CAs)=-2.098-0.046pH+0.276LG(SOM)+0.545lg(TAs)(R2=0.103 sig0.000)

(513)lg(CAs)=-2.308-0.046pH+0.276LG(OC)+0.545lg(TAs)(R2=0.103 sig0.000)

(514)lg(CAs)=-2.105-0.023pH+0.537lg(TAs)(R2=0.100 sig0.000)

(515)lg(CAs)=-2.211+0.529lg(TAs)(R2=0.100 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(516)CAs=-0.072pH-0.077SOM+0.013CEC+0.002TAs+0.497(R2=0.218;sig0.000)

(517)CAs=-0.072pH-0.013OC+0.013CEC+0.002TAs+0.497(R2=0.218;sig0.000)

(518)CAs=-0.054pH+0.007CEC+0.001TAs+0.351(R2=0.141;sig0.000)

(519)CAs=0.151pH-0.028SOM+0.000TAs-0.965(R2=0.120;sig0.000)

(520)CAs=0.151pH-0.005OC+0.000TAs-0.965(R2=0.120;sig0.000)

(521)CAs=0.101pH+0.000TAs-0.650(R2=0.106;sig0.000)

(522)CAs=0.001TAs+0.043(R2=0.016;sig0.000)

(523)lg(CAs)=8.767-2.100pH-1.394LG(SOM)+4.345LG(CEC)+0.217lg(TAs)(R2=0.403 sig0.000)

(524)lg(CAs)=9.831-2.100pH-1.394LG(OC)+4.345LG(CEC)+0.217lg(TAs)(R2=0.403 sig0.000)

(525)lg(CAs)=11.459-2.447pH+3.997LG(CEC)+0.166lg(TAs)(R2=0.394 sig0.000)

(526)lg(CAs)=-2.844+0.214pH+1.841LG(SOM)-0.386lg(TAs)(R2=0.132 sig0.000)

(527)lg(CAs)=-4.250+0.214pH+1.841LG(OC)-0.386lg(TAs)(R2=0.132 sig0.000)

(528)lg(CAs)=-8.719+1.077pH-0.382lg(TAs)(R2=0.112 sig0.000)

(529)lg(CAs)=-1.608+0.047lg(TAs)(R2=0.000 sig0.818)

三、pH>7.5

(530)CAs=-0.001pH+0.020SOM+0.000CEC+0.001TAs+0.005(R2=0.062;sig0.000)

(531)CAs=-0.001pH+0.004OC+0.000CEC+0.001TAs+0.005(R2=0.062;sig0.000)

(532)CAs=-0.074pH-0.002CEC+0.001TAs+0.622(R2=0.061;sig0.000)

(533)CAs=0.003pH+0.024SOM+0.001TAs-0.042(R2=0.062;sig0.000)

(534)CAs=0.003pH+0.004OC+0.001TAs-0.042(R2=0.062;sig0.000)

(535)CAs=-0.098pH+0.001TAs+0.787(R2=0.059;sig0.000)

(536)CAs=0.001TAs+0.018(R2=0.037;sig0.000)

(537)lg(CAs)=2.772 -0.495pH+2.232LG(SOM)-1.242LG(CEC)+0.599lg(TAs)(R2=0.185 sig0.000)

(538)lg(CAs)=2.595 -0.495pH+2.232LG(OC)-1.242LG(CEC)+0.599lg(TAs)(R2=0.185 sig0.000)

(539)lg(CAs)=5.045 -0.767pH-1.318LG(CEC)+0.592lg(TAs)(R2=0.184 sig0.000)

(540)lg(CAs)=0.987 -0.452pH+0.638LG(SOM)+0.630lg(TAs)(R2=0.175 sig0.000)

(541)lg(CAs)=0.500 -0.452pH+0.638LG(OC)+0.630lg(TAs)(R2=0.175 sig0.000)

(542)lg(CAs)=7.642 -1.280pH+0.617lg(TAs)(R2=0.173 sig0.000)

(543)lg(CAs)=7.642 -1.280pH+0.617lg(TAs)(R2=0.173 sig0.000)

**(根茎)**

一、pH<6.5

(544)CAs =-0.038pH+0.008SOM+0.002CEC+0.000TAs +0.180(R2=0.047 sig0.000)

(545)CAs =-0.038pH+0.001OC+0.002CEC+0.000TAs +0.180(R2=0.047 sig0.000)

(546)CAs =-0.033pH+0.002CEC+0.000TAs +0.176(R2=0.046 sig0.000)

(547)CAs =-0.022pH+0.001SOM+0.000TAs +0.141(R2=0.042 sig0.000)

(548)CAs =-0.022pH+0.000OC+0.000TAs +0.141(R2=0.042 sig0.000)

(549)CAs =-0.021pH+0.000TAs +0.142(R2=0.042 sig0.000)

(550)CAs =0.000TAs +0.036(R2=0.035 sig0.000)

(551)lg(CAs)=-2.084-0.018Ph-0.400lg(SOM)-0.162lg(CEC)+0.672lg(TAs)(R2=0.260,sig0.000)

(552)lg(CAs)=-1.779-0.018Ph-0.400lg(OC)-0.162lg(CEC)+0.672lg(TAs)(R2=0.260,sig0.000)

(553)lg(CAs)=-2.173-0.040pH-0.117lg(CEC)+0.683lg(TAs)(R2=0.257,sig0.000)

(554)lg(CAs)=-2.235-0.025pH-0.266lg(SOM)+0.654lg(TAs)(R2=0.256,sig0.000)

(555)lg(CAs)=-2.033-0.025pH-0.266lg(OC)+0.654lg(TAs)(R2=0.256,sig0.000)

(556)lg(CAs)=-2.270-0.039pH+0.666lg(TAs)(R2=0.254,sig0.000)

(557)lg(CAs)=-2.459+0.661lg(TAs)(R2=0.253,sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(558)CAs =0.003CEC-0.005TAs +0.089(R2=0.049 sig0.000)

(559)CAs =0.01OC-0.005TAs +0.053(R2=0.049 sig0.000)

(560)CAs =0.003CEC-0.005TAs +0.089(R2=0.049 sig0.000)

(561)CAs =0.057SOM-0.005TAs +0.053(R2=0.049 sig0.000)

(562)CAs =0.01OC-0.005TAs +0.053(R2=0.049 sig0.000)

(563)CAs =0.069pH-0.005TAs-0.361(R2=0.049 sig0.000)

(564)CAs =-0.004TAs +0.115(R2=0.029 sig0.000)

(565)lg(CAs)=-1.588+1.124lg(CEC)-0.950lg(TAs)(R2=0.159,sig0.008)

(566)lg(CAs)=-2.440+2.360lg(OC)-0.950lg(TAs)(R2=0.159,sig0.008)

(567)lg(CAs)=-1.588+1.124lg(CEC)-0.950lg(TAs)(R2=0.159,sig0.008)

(568)lg(CAs)=-0.638+2.360lg(SOM)-0.950lg(TAs)(R2=0.159,sig0.008)

(569)lg(CAs)=-2.440+2.360lg(OC)-0.950lg(TAs)(R2=0.159,sig0.008)

(570)lg(CAs)=-7.501+1.009pH-0.950lg(TAs)(R2=0.159,sig0.008)

(571)lg(CAs)=-0.703-0.736lg(TAs)(R2=0.041,sig0.123)

三、pH>7.5

(572)CAs=0.033SOM+0.000CEC+0.002TAs-0.055(R2=0.256 sig0.000)

(573)CAs=0.006OC+0.000CEC+0.002TAs-0.055(R2=0.256 sig0.000)

(574)CAs=-0.190pH+0.002CEC+0.002TAs+1.462(R2=0.256 sig0.000)

(575)CAs=-0.032pH+0.027SOM+0.002TAs+0.200(R2=0.256 sig0.000)

(576)CAs=-0.032pH+0.005OC+0.002TAs+0.200(R2=0.256 sig0.000)

(577)CAs=-0.137pH+0.002TAs+1.073(R2=0.255 sig0.000)

(578)CAs=0.002TAs+0.003(R2=0.249 sig0.000)

(579)lg(CAs)=8.507-1.070lg(SOM)-10.496lg(CEC)+0.965lg(TAs)(R2=0.387,sig0.000)

(580)lg(CAs)=9.324-1.070lg(OC)-10.496lg(CEC)+0.965lg(TAs)(R2=0.387,sig0.000)

(581)lg(CAs)=-6.848+2.094pH-11.726lg(CEC)+0.965lg(TAs)(R2=0.387,sig0.000)

(582)lg(CAs)=139.608-17.875pH-10.202lg(SOM)+0.965lg(TAs)(R2=0.387,sig0.000)

(583)lg(CAs)=147.397-17.875pH-10.202lg(OC)+0.965lg(TAs)(R2=0.387,sig0.000)

(584)lg(CAs)=48.120-6.520pH+0.973lg(TAs)(R2=0.373,sig0.000)

(585)lg(CAs)=-2.747+0.965lg(TAs)(R2=0.281,sig0.000)

**(果实)**

一、pH<6.5

(586)CAs=-0.076+0.024pH-0.011SOM+0.000CEC+6.791E-5TAs(R2=0.159)

(587)CAs=-0.076+0.024pH-0.002OC+0.000CEC+6.791E-5TAs(R2=0.159)

(588)CAs=-0.086+0.021pH+8.361E-5CEC+7.272E-5TAs(R2=0.159)

(589)CAs=-0.082+0.025pH-0.011SOM+6.631E-5TAs(R2=0.158)

(590)CAs=-0.082+0.025pH-0.002OC+6.631E-5TAs(R2=0.158)

(591)CAs=-0.088+0.022pH+7.209E-5TAs(R2=0.123)

(592)CAs=0.018+8.111E-5TAs(R2=0.036)

(593)lg(CHg)=-4.027+0.363pH-1.149lg(SOM)-0.007lg(CEC)+0.464lg(THg)(R2=0.187 sig0.000)

(594)lg(CHg)=-3.150+0.363pH-1.149lg(OC)-0.007lg(CEC)+0.464lg(THg)(R2=0.187 sig0.000)

(595)lg(CHg)=-4.089+0.293pH-0.015lg(CEC)+0.511lg(THg)(R2=0.163 sig0.000)

(596)lg(CHg)=-4.029+0.362pH-1.149lg(OC)+0.464lg(THg)(R2=0.187 sig0.000)

(597)lg(CHg)=-3.152+0.362pH-1.149lg(OC)+0.464lg(THg)(R2=0.187 sig0.000)

(598)lg(CHg)=-4.093+0.291pH+0.511lg(THg)(R2=0.163 sig0.000)

(599)lg(CHg)=-2.717+0.570lg(THg)(R2=0.124 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(600)CAs=-0.106+0.017pH-0.002SOM+0.000CEC+0.000TAs(R2=0.769)

(601)CAs=-0.106+0.017pH+0.000OC+0.000CEC+0.000TAs(R2=0.769)

(602)CAs=-0.105+0.017pH+0.000CEC+0.000TAs(R2=0.769)

(603)CAs=-0.099+0.016pH-0.006SOM+0.000TAs(R2=0.753)

(604)CAs=-0.099+0.016pH-0.001OC+0.000TAs(R2=0.753)

(605)CAs=0.037-0.005pH+0.001TAs(R2=0.473)

(606)CAs=0.000+0.001TAs(R2=0.442)

(607)lg(CAs)=-7.305+0.649pH-1.359lg(SOM) +0.744lg(TAs)(R2=0.800 sig0.070)

(608)lg(CAs)=-6.268+0.649pH-1.359lg(OC) +0.744lg(TAs)(R2=0.800 sig0.070)

(609)lg(CAs)=-1.759-0.007pH-1.283lg(CEC) +0.744lg(TAs)(R2=0.800 sig0.070)

(610)lg(CAs)=-7.305+0.649pH-1.359lg(SOM) +0.744lg(TAs)(R2=0.800 sig0.070)

(611)lg(CAs)=-6.268+0.649pH-1.359lg(OC) +0.744lg(TAs)(R2=0.800 sig0.070)

(612)lg(CAs)=-3.046-0.012pH+0.939lg(TAs)(R2=0.489 sig0.187)

(613)lg(CAs)=-3.124+0.934lg(TAs)(R2=0.489 sig0.054)

三、pH>7.5

(614)CAs=-0.243+0.030pH+0.014SOM+0.000CEC+0.000TAs(R2=0.074)

(615)CAs=-0.243+0.030pH+0.002OC+0.000CEC+0.000TAs(R2=0.074)

(616)CAs=0.290-0.035pH+0.000CEC+0.000TAs(R2=0.071)

(617)CAs=-0.196+0.023pH+0.014SOM+0.000TAs(R2=0.074)

(618)CAs=-0.196+0.023pH+0.002OC+0.000TAs(R2=0.074)

(619)CAs=0.334-0.041pH+0.000TAs(R2=0.071)

(620)CAs=0.012+0.000TAs(R2=0.062)

(621)lg(CAs)=0.427-0.178pH+0.341lg(SOM) -1.799lg(CEC)+0.606lg(TAs)(R2=0.124 sig0.000)

(622)lg(CAs)=0.167-0.178pH+0.341lg(OC) -1.799lg(CEC)+0.606lg(TAs)(R2=0.124 sig0.000)

(623)lg(CAs)=4.674-0.719pH-1.723lg(CEC)+0.597lg(TAs)(R2=0.124 sig0.000)

(624)lg(CAs)=7.614-1.337pH+0.254lg(SOM)+0.610lg(TAs)(R2=0.121 sig0.000)

(625)lg(CAs)=7.420-1.337pH+0.254lg(OC)+0.610lg(TAs)(R2=0.121 sig0.000)

(626)lg(CAs)=10.587-1.708pH+0.603lg(TAs)(R2=0.120 sig0.000)

(627)lg(CAs)=-2.852+0.665lg(TAs)(R2=0.090 sig0.000)

**(水稻)**

一、pH<6.5

(628)CAs=0.156pH+0.254SOM-0.055CEC+0.000TAs-0.643(R2=0.133, sig0.000)

(629)CAs=0.156pH+0.044OC-0.055CEC+0.000TAs-0.643(R2=0.133, sig0.000)

(630)CAs=0.138pH-0.021CEC+0.000TAs-0.348(R2=0.064, sig0.000)

(631)CAs=-0.042pH+0.064SOM+0.001TAs+0.165(R2=0.049, sig0.000)

(632)CAs=-0.042pH+0.011OC+0.001TAs+0.165(R2=0.049, sig0.000)

(633)CAs=0.006pH+0.000TAs+0.070(R2=0.041, sig0.000)

(634)CAs=0.000TAs+0.101(R2=0.040, sig0.000)

(635)lg(CAs)=0.299+0.313pH+4.778lg(SOM)-4.393lg(CEC)-0.083lg(TAs)(R2=0.126, sig0.000)

(636)lg(CAs)=-3.349+0.313pH+4.778lg(OC)-4.393lg(CEC)-0.083lg(TAs)(R2=0.126, sig0.000)

(637)lg(CAs)=-1.205+0.438pH-1.924lg(CEC)-0.060lg(TAs)(R2=0.070, sig0.000)

(638)lg(CAs)=-1.786+0.091pH+0.093lg(SOM)+0.195lg(TAs)(R2=0.029, sig0.038)

(639)lg(CAs)=-1.857+0.091pH+0.093lg(OC)+0.195lg(TAs)(R2=0.029, sig0.038)

(640)lg(CAs)=-1.800+0.102pH+0.189lg(TAs)(R2=0.029, sig0.015)

(641)lg(CAs)=-1.218+0.127lg(TAs)(R2=0.008, sig0.135)

二、6.5≦pH≦7.5

(642)lg(CHg)=-1.072+0.092lg(THg)(R2=0.047, sig0.727)

(643)lg(CHg)=-1.072+0.092lg(THg)(R2=0.047, sig0.727)

(644)lg(CHg)=-1.072+0.092lg(THg)(R2=0.047, sig0.727)

(645)lg(CHg)=-1.072+0.092lg(THg)(R2=0.047, sig0.727)

(646)lg(CHg)=-1.072+0.092lg(THg)(R2=0.047, sig0.727)

(647)lg(CHg)=-1.072+0.092lg(THg)(R2=0.047, sig0.727)

(648)lg(CHg)=-1.072+0.092lg(THg)(R2=0.047, sig0.727)

三、pH>7.5

(649)CAs=0.025SOM+0.001TAs+0.034(R2=0.034, sig0.000)

(650)CAs=0.004OC+0.001TAs+0.034(R2=0.034, sig0.000)

(651)CAs=0.002CEC+0.001TAs+0.061(R2=0.034, sig0.000)

(652)CAs=0.025SOM+0.001TAs+0.034(R2=0.034, sig0.000)

(653)CAs=0.004OC+0.001TAs+0.034(R2=0.034, sig0.000)

(654)CAs=0.001TAs+0.084(R2=0.010, sig0.000)

(655)CAs=0.001TAs+0.084(R2=0.010, sig0.000)

(656)lg(CAs)=-1.656-0.463lg(CEC)+0.064lg(TAs)(R2=0.018, sig0.114)

(657)lg(CAs)=-1.979+0.768lg(OC)+0.064lg(TAs)(R2=0.018, sig0.114)

(658)lg(CAs)=-1.656-0.463lg(CEC)+0.064lg(TAs)(R2=0.018, sig0.114)

(659)lg(CAs)=-1.392+0.768lg(SOM)+0.064lg(TAs)(R2=0.018, sig0.114)

(660)lg(CAs)=-1.979+0.768lg(OC)+0.064lg(TAs)(R2=0.018, sig0.114)

(661)lg(CAs)=-1.152+0.049lg(TAs)(R2=0.001, sig0.552)

(662)lg(CAs)=-1.152+0.049lg(TAs)(R2=0.001, sig0.552)

**(小麦)**

一、pH<6.5

(663)CAs=0.041pH-0.030TAs-0.030(R2=1.000,sig000)

(664)CAs=-0.004OC-0.030TAs+0.263(R2=1.000,sig000)

(665)CAs=0.041pH-0.030TAs-0.030(R2=1.000,sig000)

(666)CAs=-0.024SOM-0.030TAs+0.263(R2=1.000,sig000)

(667)CAs=-0.004OC-0.030TAs+0.263(R2=1.000,sig000)

(668)CAs=0.041pH-0.030TAs-0.030(R2=1.000,sig000)

(669)CAs=-0.018TAs+0.142(R2=1.000,sig000)

(670)lg(CAs)=32.020-3.741lg(CEC)-35.189lg(TAs)(R2=1.000,sig)

(671)lg(CAs)=39.747-13.309lg(OC)-35.189lg(TAs)(R2=1.000,sig)

(672)lg(CAs)=32.020-3.741lg(CEC)-35.189lg(TAs)(R2=1.000,sig)

(673)lg(CAs)=29.587-13.309lg(SOM)-35.189lg(TAs)(R2=1.000,sig)

(674)lg(CAs)=39.747-13.309lg(OC)-35.189lg(TAs)(R2=1.000,sig)

(675)lg(CAs)=-22.681+7.968pH-35.189lg(TAs)(R2=1.000,sig)

(676)lg(CAs)=-7.988+5.950lg(TAs)(R2=0.002,sig0.975)

二、pH>7.5

(677)CAs=0.006pH+0.039SOM+0.002CEC+0.001TAs-0.063(R2=0.121,sig000)

(678)CAs=0.006pH+0.007OC+0.002CEC+0.001TAs-0.063(R2=0.121,sig000)

(679)CAs=0.020pH+0.000CEC+0.002TAs-0.161(R2=0.121,sig000)

(680)CAs=0.019pH+0.004SOM+0.002TAs-0.157(R2=0.116,sig000)

(681)CAs=0.019pH+0.001OC+0.002TAs-0.157(R2=0.116,sig000)

(682)CAs=0.015pH+0.002TAs-0.122(R2=0.112,sig000)

(683)CAs=0.001TAs+0.005(R2=0.047,sig000)

(684)1)lg(CAs)=78.923.03-7.834pH+22.890lg(SOM)-16.663lg(CEC)+0.692lg(TAs)(R2=0.103,sig0.607)

(685)2)lg(CAs)=61.448-7.834pH+22.890lg(OC)-16.663lg(CEC)+0.692lg(TAs)(R2=0.103,sig0.607)

(686)3)lg(CAs)=-7.738+0.591pH+0.137lg(CEC)+0.932lg(TAs)(R2=0.063,sig0.645)

(687)4)lg(CAs)=-7.237+0.548pH+0.240lg(SOM)+0.925lg(TAs)(R2=0.064,sig0.641)

(688)5)lg(CAs)=-7.421+0.548pH+0.240lg(OC)+0.925lg(TAs)(R2=0.064,sig0.641)

(689)6)lg(CAs)=-6.333+0.433pH+0.944lg(TAs)(R2=0.062,sig0.435)

(690)7)lg(CAs)=-2.668+0.792lg(TAs)(R2=0.031,sig0.364)

**(玉米)**

一、pH<6.5

(691)CAs=0.047-0.070pH-0.029SOM+0.004CEC-1.462e-5TAs(R2=0.151, sig0.000)

(692)CAs=0.047-0.070pH-0.005OC+0.004CEC-1.462e-5TAs(R2=0.151, sig0.000)

(693)CAs=0.333-0.046pH-0.001CEC-7.244e-6TAs(R2=0.140, sig0.000)

(694)CAs=0.376-0.052pH-0.010SOM-1.213e-5TAs(R2=0.145, sig0.000)

(695)CAs=0.376-0.052pH-0.002OC-1.213e-5TAs(R2=0.145, sig0.000)

(696)CAs=0.341-0.050pH-4.270e-6TAs(R2=0.138, sig0.000)

(697)CAs=0.076+3.364e-5TAs(R2=0.005, sig0.000)

(698)lg(CAs)=1.199-0.499pH-0.558lg(SOM)+0.149lg(CEC)+0.082lg(TAs)(R2=0.450 sig0.000)

(699)lg(CAs)=1.625-0.499pH-0.558lg(SOM)+0.149lg(CEC)+0.082lg(TAs)(R2=0.450 sig0.000)

(700)lg(CAs)=0.924-0.401pH-0.303lg(CEC)+0.091lg(TAs)(R2=0.444 sig0.000)

(701)lg(CAs)=1.134-0.469pH-0.410lg(SOM)+0.084lg(TAs)(R2=0.450 sig0.000)

(702)lg(CAs)=1.448-0.469pH-0.410lg(OC)+0.084lg(TAs)(R2=0.450 sig0.000)

(703)lg(CAs)=0.843-0.440pH+0.093lg(TAs)(R2=0.434 sig0.000)

(704)lg(CAs)=-1.689+0.220lg(TAs)(R2=0.073 sig0.031)

二、6.5≦pH≦7.5

(705)CAs=0.039+0.000CEC+0.000TAs(R2=0.956, sig0.000)

(706)CAs=-0.042-0.002CEC+0.014OC(R2=0.956, sig0.000)

(707)CAs=0.039+0.000CEC+0.000TAs(R2=0.956, sig0.000)

(708)CAs=0.084-0.045SOM+0.000TAs(R2=0.956, sig0.000)

(709)CAs=0.084-0.008OC+0.000TAs(R2=0.956, sig0.000)

(710)CAs=-1.135+0.165pH+0.000TAs(R2=0.977, sig0.000)

(711)CAs=0.008+0.000TAs(R2=0.944, sig0.000)

(712)lg(CAs)=-21.809-75.886lg(SOM)+18.329lg(CEC)+11.040lg(TAs)(R2=0.996 sig0.083)

(713)lg(CAs)=36.127-75.886lg(OC)+18.329lg(CEC)+11.040lg(TAs)(R2=0.996 sig0.083)

(714)lg(CAs)=-343.840+46.376pH+7.603lg(CEC)+11.040lg(TAs)(R2=0.996 sig0.083)

(715)lg(CAs)=-1.051-10.143lg(SOM)+1.559lg(TAs)(R2=0.963 sig0.037)

(716)lg(CAs)=6.693-10.143lg(OC)+1.559lg(TAs)(R2=0.963 sig0.037)

(717)lg(CAs)=-93.525+12.838pH+3.114lg(TAs)(R2=0.973 sig0.027)

(718)lg(CAs)=-2.641+0.666lg(TAs)(R2=0.759 sig0.054)

三、pH>7.5

(719)CAs=3.455-0.400pH-0.03SOM-0.012CEC-0.003TAs(R2=0.660, sig0.000)

(720)CAs=3.455-0.400pH-0.007OC-0.012CEC-0.003TAs(R2=0.660, sig0.000)

(721)CAs=2.374-0.275pH-0.009CEC-0.003TAs(R2=0.655, sig0.000)

(722)CAs=-0.703+0.079PH+0.103SOM-0.002TAs(R2=0.584, sig0.000)

(723)CAs=-0.703+0.079PH+0.018OC-0.002TAs(R2=0.584, sig0.000)

(724)CAs=1.318-0.161PH+0.000TAs(R2=0.347, sig0.000)

(725)CAs=0.008+0.002TAs(R2=0.139, sig0.000)

(726)lg(CAs)=332.707-39.307pH-33.560lg(SOM)-17.070lg(CEC)-0.040lg(TAs)(R2=0.745 sig0.009)

(727)lg(CAs)=358.328-39.307pH-33.560lg(OC)-17.070lg(CEC)-0.040lg(TAs)(R2=0.745 sig0.009)

(728)lg(CAs)=10.782-1.335pH-2.783lg(CEC)+1.009lg(TAs)(R2=0.321 sig0.257)

(729)lg(CAs)=-13.453+1.182pH+0.764lg(SOM)+2.047lg(TAs)(R2=0.226 sig0.442)

(730)lg(CAs)=-14.036+1.182pH+0.764lg(OC)+2.047lg(TAs)(R2=0.226 sig0.442)

(731)lg(CAs)=-8.365+0.536pH+2.157lg(TAs)(R2=0.225 sig0.246)

(732)lg(CAs)=-3.806+1.880lg(TAs)(R2=0.221 sig0.090)

**(水果)**

木本水果

一、pH>7.5

(733)CAs=0.076+0.009pH-0.147SOM+0.001TAs(R2=0.864)

(734)CAs=0.076+0.009pH-0.025OC+0.001TAs(R2=0.864)

(735)CAs=0.080+0.001pH-0.006CEC+0.001TAs(R2=0.864)

(736)CAs=0.076+0.009pH-0.147SOM+0.001TAs(R2=0.864)

(737)CAs=0.076+0.009pH-0.025OC+0.001TAs(R2=0.864)

(738)CAs=-1.316+0.166pH+0.000TAs(R2=0.827)

(739)CAs=0.025+0.000TAs(R2=0.058)

(740)lg(CAs)=56.761-7.550pH-19.210lg(SOM)+1.977lg(TAs)(R2=0.494 sig0.092)

(741)lg(CAs)=71.427-7.550pH-19.210lg(OC)+1.977lg(TAs)(R2=0.494 sig0.092)

(742)lg(CAs)=97.957-11.085pH-11.515lg(CEC)+1.977lg(TAs)(R2=0.494 sig0.092)

(743)lg(CAs)=56.761-7.550pH-19.210lg(SOM)+1.977lg(TAs)(R2=0.494 sig0.092)

(744)lg(CAs)=71.427-7.550pH-19.210lg(OC)+1.977lg(TAs)(R2=0.494 sig0.092)

(745)lg(CAs)=-24.203+2.757pH+0.110lg(TAs)(R2=0.322 sig0.143)

(746)lg(CAs)=-1.523-0.395lg(TAs)(R2=0.029 sig0.581)

草本水果

一、pH>7.5

(747)CAs=0.828-0.081pH-0.023TAs(R2=1.000)

(748)CAs=0.107-0.013OC-0.023TAs(R2=1.000)

(749)CAs=0.828-0.081pH-0.023TAs(R2=1.000)

(750)CAs=0.107+0.074SOM-0.023TAs(R2=1.000)

(751)CAs=0.107-0.013OC-0.023TAs(R2=1.000)

(752)CAs=0.031-0.004TAs(R2=0.689)

(753)lg(CAs)=61.053+29.399lg(SOM)-72.389lg(TAs)(R2=1.000 sig)

(754)lg(CAs)=38.608+29.399lg(OC)-72.389lg(TAs)(R2=1.000 sig)

(755)lg(CAs)=46.342+13.212lg(CEC)-72.389lg(TAs)(R2=1.000 sig)

(756)lg(CAs)=61.053+29.399lg(SOM)-72.389lg(TAs)(R2=1.000 sig)

(757)lg(CAs)=38.608+29.399lg(OC)-72.389lg(TAs)(R2=1.000 sig)

(758)lg(CAs)=191.130-16.206pH-72.389lg(TAs)(R2=1.000 sig)

(759)lg(CAs)=3.996-7.525lg(TAs)(R2=1.000 sig)

**(杂粮)**

一、pH>7.5

(760)CAs=-0.086-0.012SOM+0.004CEC+0.009TAs(R2=1.000)

(761)CAs=-0.086-0.002OC+0.004CEC+0.009TAs(R2=1.000)

(762)CAs=-0.201+0.015pH+0.002CEC+0.009TAs(R2=1.000)

(763)CAs=-0.413+0.043pH+0.021SOM+0.009TAs(R2=1.000)

(764)CAs=-0.413+0.043pH+0.004OC+0.009TAs(R2=1.000)

(765)CAs=-0.149+0.014pH+0.007TAs(R2=0.926)

(766)CAs=-0.032+0.006TAs(R2=0.524)

**第四部分 土壤铅模型**

**(叶菜)**

一、pH<6.5

(767)Cpb=-0.051pH-0.012OC+0.009CEC+0.004TPb+0.28(R2=0.413;sig0.000)

(768)Cpb=-0.051pH-0.071SOM+0.009CEC+0.004TPb+0.28(R2=0.413;sig0.000)

(769)Cpb=-0.002pH-0.063SOM+0.004TPb+0.103(R2=0.411;sig0.000)

(770)Cpb=-0.037pH+0.004TPb+0.137(R2=0.407;sig0.000)

(771)Cpb=0.675pH+0.27CEC-0.002TPb-4.484(R2=0.055;sig0.000)

(772)Cpb=-0.037pH+0.004TPb+0.137(R2=0.407;sig0.000)

(773)Cpb=0.004TPb-0.053(R2=0.406;sig0.000)

(774)lg(CPb)=-1.619-0.186pH+0.07lg(SOM)-0.221lg(CEC)+0.980lg(TPb)(R2=0.399 sig0.000)

(775)lg(CPb)=-1.619-0.186pH+0.07lg(OC)-0.221 lg(CEC)+0.980lg(TPb)(R2=0.399 sig0.000)

(776)lg(CPb)=-1.632-0.180pH-0.219LG(CEC)+0.982lg(TPb)(R2=0.399 sig0.000)

(777)lg(CPb)=-1.656-0.214pH+0.045LG(SOM)+0.982lg(TPb)(R2=0.395 sig0.000)

(778)lg(CPb)=-1.656-0.214pH+0.045LG(OC)+0.982lg(TPb)(R2=0.395 sig0.000)

(779)lg(CPb)=-1.663-0.210pH+0.963lg(TPb)(R2=0.395 sig0.000)

(780)lg(CPb)=-2.767+0.988lg(TPb)(R2=0.365 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(781)CPb=0.828pH-0.151OC+0.087CEC-0.002TPb-5.077(R2=0.089;sig0.000)

(782)CPb=0.828pH-0.875SOM+0.087CEC-0.002TPb-5.077(R2=0.089;sig0.000)

(783)CPb=2.557pH-0.639SOM-0.006TPb-16.389(R2=0.076;sig0.000)

(784)CPb=1.353pH-0.003TPb-8.877(R2=0.053;sig0.000)

(785)CPb=0.002TPb+0.364(R2=0.002;sig0.000)

(786)lg(CPb)=-7.856+0.762pH-3.804LG(SOM)+2.347LG(CEC)-0.100lg(TPb)(R2=0.241 sig0.000)

(787)lg(CPb)=-4.952+0.762pH-3.804LG(OC)+2.347LG(CEC)-0.100lg(TPb)(R2=0.241 sig0.000)

(788)lg(CPb)=2.532-0.725pH+1.704LG(CEC)+0.107lg(TPb)(R2=0.143 sig0.000)

(789)lg(CPb)=-16.349+2.362pH-2.742LG(SOM)-0.405lg(TPb)(R2=0.141 sig0.000)

(790)lg(CPb)=-14.256+2.362pH-2.742LG(OC)-0.405lg(TPb)(R2=0.141 sig0.000)

(791)lg(CPb)=-6.423+0.859pH-0.178lg(TPb)(R2=0.086 sig0.001)

(792)lg(CPb)=-1.038+0.224lg(TPb)(R2=0.011 sig0.189)

三、pH>7.5

(793)Cpb=-0.175pH+0.053SOM-0.012CEC+0.000TPb+1.501(R2=0.049;sig0.000)

(794)Cpb=-0.175pH+0.009OC-0.012CEC+0.000TPb+1.501(R2=0.049;sig0.000)

(795)Cpb=-0.214pH+0.014OC+0.000TPb+1.620(R2=0.048;sig0.000)

(796)Cpb=-0.214pH+0.084SOM+0.000TPb+1.620(R2=0.048;sig0.000)

(797)Cpb=-0.373pH-0.014CEC+0.000TPb+3.175(R2=0.049;sig0.000)

(798)Cpb=-0.578pH+0.000TPb+4.616(R2=0.046;sig0.000)

(799)Cpb=0.000TPb+0.081(R2=0.007;sig0.000)

(800)lg(CPb)=27.008-3.242pH+0.296LG(SOM)-3.418LG(CEC)+0.330lg(TPb)(R2=0.395 sig0.000)

(801)lg(CPb)=26.782-3.242pH+0.296LG(OC)-3.418LG(CEC)+0.330lg(TPb)(R2=0.395 sig0.000)

(802)lg(CPb)=29.899-3.592pH-3.496LG(CEC)+0.333lg(TPb)(R2=0.395 sig0.000)

(803)lg(CPb)=23.954-3.339pH+1.273LG(SOM)+0.301lg(TPb)(R2=0.362 sig0.000)

(804)lg(CPb)=22.982-3.339pH+1.273LG(OC)+0.301lg(TPb)(R2=0.362 sig0.000)

(805)lg(CPb)=37.079-4.978pH+0.316lg(TPb)(R2=0.357 sig0.000)

(806)lg(CPb)=-1.855+0.217lg(TPb)(R2=0.009 sig0.074)

**(根茎)**

一、pH<6.5

(807)CPb=-0.187pH+0.159SOM+0.021CEC+0.001TPb+0.408(R2=0.205, sig0.000)

(808)CPb=-0.187pH+0.027OC+0.021CEC+0.001TPb+0.408(R2=0.205, sig0.000)

(809)CPb=-0.082pH+0.013CEC+0.001TPb+0.336(R2=0.179, sig0.000)

(810)CPb=-0.045H+0.096SOM+0.001TPb+0.059(R2=0.180, sig0.000)

(811)CPb=-0.045H+0.017OC+0.001TPb+0.059(R2=0.180, sig0.000)

(812)CPb=-0.011pH+0.001TPb+0.109(R2=0.168, sig0.000)

(813)CPb=0.001TPb+0.056(R2=0.168, sig0.000)

(814)lg(CPb)=-2.962+0.067pH+0.303lg(SOM)-0.048lg(CEC)+0.781lg(Tpb)(R2=0.342,sig0.000)

(815)lg(CPb)=-3.193+0.067pH+0.303lg(SOM)-0.048lg(CEC)+0.781lg(Tpb)(R2=0.342,sig0.000)

(816)lg(CPb)=-2.903+0.082pH-0.088lg(CEC)+0.787lg(Tpb)(R2=0.341,sig0.000)

(817)lg(CPb)=-3.005+0.064pH+0.350lg(SOM)+0.777lg(Tpb)(R2=0.342,sig0.000)

(818)lg(CPb)=-3.272+0.064pH+0.350lg(OC)+0.777lg(Tpb)(R2=0.342,sig0.000)

(819)lg(CPb)=-2.975+0.082pH+0.780lg(Tpb)(R2=0.340,sig0.000)

(820)lg(CPb)=-2.589+0.792lg(TPb)(R2=0.337,sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(821)CPb =-0.002CEC+0.001TPb +0.242(R2=0.001 sig0.000)

(822)CPb =-0.006OC+0.001TPb +0.264(R2=0.001 sig0.000)

(823)CPb =-0.002CEC+0.001TPb +0.242(R2=0.001 sig0.000)

(824)CPb =-0.034SOM+0.001TPb +0.264(R2=0.001 sig0.000)

(825)CPb =-0.006OC+0.001TPb +0.264(R2=0.001 sig0.000)

(826)CPb =-0.041pH+0.001TPb +0.511(R2=0.001 sig0.000)

(827)CPb =0.000TPb+0.232(R2=0.000 sig0.000)

(828)lg(CPb)=-1.402-0.080pH+0.273lg(CEC)+0.138lg(TPb)(R2=0.015,sig0.672)

(829)lg(CPb)=-1.609+0.574lg(OC)+0.138lg(TPb)(R2=0.015,sig0.672)

(830)lg(CPb)=-1.402+0.273lg(CEC)+0.138lg(TPb)(R2=0.015,sig0.672)

(831)lg(CPb)=-1.171+0.574lg(SOM)+0.138lg(TPb)(R2=0.015,sig0.672)

(832)lg(CPb)=-1.609+0.574lg(OC)+0.138lg(TPb)(R2=0.015,sig0.672)

(833)lg(CPb)=-2.840+0.245pH+0.138lg(TPb)(R2=0.015,sig0.672)

(834)lg(CPb)=-1.314+0.261lg(TPb)(R2=0.011,sig0.446)

三、pH>7.5

(835)CPb =0.532SOM+0.045CEC+0.002TPb-1.478(R2=0.097 sig0.000)

(836)CPb =0.092OC+0.045CEC+0.002TPb-1.478(R2=0.097 sig0.000)

(837)CPb =-3.074pH+0.091CEC+0.002TPb+23.020(R2=0.097 sig0.000)

(838)CPb =3.043pH+1.059SOM+0.002TPb-25.730(R2=0.097 sig0.000)

(839)CPb =3.043pH+0.183OC+0.002TPb-25.730(R2=0.097 sig0.000)

(840)CPb =-1.006pH+0.002TPb+7.898(R2=0.093 sig0.000)

(841)CPb =-0.002TPb+0.054(R2=0.093 sig0.000)

(842)lg(CPb)=146.801-21.870pH+20.549lg(CEC)+0.747lg(TPb)(R2=0.193,sig0.000)

(843)lg(CPb)=-22.132+7.707lg(CEC)+11.174lg(OC)+0.747lg(TPb)(R2=0.193,sig0.000)

(844)lg(CPb)=146.801-21.870pH+20.549lg(CEC)+0.747lg(TPb)(R2=0.193,sig0.000)

(845)lg(CPb)=-109.862+13.125pH+17.880lg(SOM)+0.747lg(TPb)(R2=0.193,sig0.000)

(846)lg(CPb)=-123.513+13.125pH+17.880lg(OC)+0.747lg(TPb)(R2=0.193,sig0.000)

(847)lg(CPb)=50.425-6.757pH+0.683lg(TPb)(R2=0.168,sig0.000)

(848)lg(CPb)=-2.282+0.672lg(TPb)(R2=0.108,sig0.000)

**(果实)**

一、pH<6.5

(849)CPb=-0.391+0.090pH-0.092SOM+0.020CEC+0.000TPb(R2=0.200)

(850)CPb=-0.391+0.090pH-0.016OC+0.020CEC+0.000TPb(R2=0.200)

(851)CPb=-0.510+0.078pH+0.018CEC+0.000TPb(R2=0.172)

(852)CPb=-0.889+0.225pH-0.077SOM+0.000TPb(R2=0.155)

(853)CPb=-0.889+0.225pH-0.013OC+0.000TPb(R2=0.155)

(854)CPb=-0.946+0.203pH+0.000TPb(R2=0.135)

(855)CPb=0.052+0.000TPb(R2=0.048)

(856)lg(CPb)=-3.696+0.279pH-1.297lg(SOM)+0.356lg(CEC)+0.650lg(TPb)(R2=0.229 sig0.000)

(857)lg(CPb)=-2.979+0.279pH-1.297lg(OC)+0.356lg(CEC)+0.650lg(TPb)(R2=0.229 sig0.000)

(858)lg(CPb)=-4.048+0.225pH+0.320lg(CEC)+0.626lg(TPb)(R2=0.194 sig0.000)

(859)lg(CPb)=-3.896+0.328pH-1.259lg(SOM)+0.663lg(TPb)(R2=0.219 sig0.000)

(860)lg(CPb)=-2.935+0.328pH-1.259lg(OC)+0.663lg(TPb)(R2=0.219 sig0.000)

(861)lg(CPb)=-3.980+0.270pH+0.638lg(TPb)(R2=0.185 sig0.000)

(862)lg(CPb)=-2.683+0.657lg(TPb)(R2=0.150 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(863)CPb=-0.588+0.087pH-0.004SOM-0.001CEC+0.000TPb(R2=0.832)

(864)CPb=-0.588+0.087pH+0.000OC-0.001CEC+0.000TPb(R2=0.832)

(865)CPb=-0.579+0.086pH-0.002CEC+0.000TPb(R2=0.830)

(866)CPb=-0.592+0.088pH-0.012SOM+0.000TPb(R2=0.827)

(867)CPb=-0.592+0.088pH-0.002OC+0.000TPb(R2=0.827)

(868)CPb=-0.334+0.049pH+0.000TPb(R2=0.666)

(869)CPb=0.014+0.000TPb(R2=0.326)

(870)lg(CPb)=-10.694+1.483pH+3.859lg(SOM)-4.324lg(CEC)+1.368lg(TPb)(R2=0.907 sig0.001)

(871)lg(CPb)=-13.640+1.483pH+3.859lg(OC)-4.324lg(CEC)+1.368lg(TPb)(R2=0.907 sig0.001)

(872)lg(CPb)=-17.491+2.224pH-1.483lg(CEC)+1.035lg(TPb)(R2=0.846 sig0.001)

(873)lg(CPb)=-19.355+2.362pH-1.638lg(SOM)+0.867lg(TPb)(R2=0.774 sig0.001)

(874)lg(CPb)=-18.104+2.362pH-1.638lg(OC)+0.867lg(TPb)(R2=0.774 sig0.006)

(875)lg(CPb)=-12.025+1.278pH+0.887lg(TPb)(R2=0.602 sig0.016)

(876)lg(CPb)=-2.736+0.640lg(TPb)(R2=0.329 sig0.051)

三、pH>7.5

(877)CPb=3.315-0.424pH-0.002SOM+0.002CEC+0.001TPb(R2=0.049)

(878)CPb=3.315-0.424pH-0.000OC+0.002CEC+0.001TPb(R2=0.049)

(879)CPb=3.220-0.412pH+0.002CEC+0.001TPb(R2=0.049)

(880)CPb=2.631-0.336pH+0.007SOM+0.001TPb(R2=0.048)

(881)CPb=2.631-0.336pH+0.001OC+0.001TPb(R2=0.048)

(882)CPb=2.859-0.363pH+0.001TPb(R2=0.048)

(883)CPb=0.030+0.000TPb(R2=0.017)

(884)lg(CPb)=50.863-7.571pH+0.296lg(SOM) +5.115lg(CEC)+0.720lg(TPb)(R2=0.304 sig0.000)

(885)lg(CPb)=50.637-7.571pH+0.296lg(OC) +5.115lg(CEC)+0.720lg(TPb)(R2=0.304 sig0.000)

(886)lg(CPb)=55.101-8.150pH+5.444lg(CEC)+0.729lg(TPb)(R2=0.304 sig0.000)

(887)lg(CPb)=13.927-2.206pH+1.664lg(SOM)+0.733lg(TPb)(R2=0.272 sig0.000)

(888)lg(CPb)=12.656-2.206pH+1.664lg(OC)+0.733lg(TPb)(R2=0.272 sig0.000)

(889)lg(CPb)=28.811-4.072pH+0.813lg(TPb)(R2=0.252 sig0.000)

(890)lg(CPb)=-2.505+0.461lg(TPb)(R2=0.042 sig0.001)

**(水稻)**

一、pH<6.5

(891)CPb=-0.032pH+0.545SOM-0.064CEC-4.018E-5TPb-0.330(R2=0.396, sig0.000)

(892)CPb=-0.032pH+0.094OC-0.064CEC-4.018E-5TPb-0.330(R2=0.396, sig0.000)

(893)CPb=-0.153pH+0.022CEC+0.000TPb+0.548(R2=0.159, sig0.000)

(894)CPb=-0.209pH+0.250SOM+0.000TPb+0.505(R2=0.300, sig0.000)

(895)CPb=-0.209pH+0.043OC+0.000TPb+0.505(R2=0.300, sig0.000)

(896)CPb=-0.015pH+0.000TPb+0.103(R2=0.119, sig0.000)

(897)CPb=0.000TPb+0.026(R2=0.119, sig0.000)

(898)lg(CPb)=1.677-0.198pH+9.649lg(SOM)-5.715lg(CEC)+0.084lg(TPb)(R2=0.183, sig0.000)

(899)lg(CPb)=-5.689-0.198pH+9.649lg(OC)-5.715lg(CEC)+0.084lg(TPb)(R2=0.183, sig0.000)

(900)lg(CPb)=-2.179-0.058pH-0.184lg(CEC)+0.613lg(TPb)(R2=0.108, sig0.000)

(901)lg(CPb)=-1.699-0.302pH+1.655lg(SOM)+0.594lg(TPb)(R2=0.119, sig0.000)

(902)lg(CPb)=-2.963-0.302pH+1.655lg(OC)+0.594lg(TPb)(R2=0.119, sig0.000)

(903)lg(CPb)=-2.209-0.094pH+0.625lg(TPb)(R2=0.108, sig0.000)

(904)lg(CPb)=-2.751+0.655lg(TPb)(R2=0.094, sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(905)lg(CPb)=0.117-0.924lg(TPb)(R2=0.204, sig0.445)

(906)lg(CPb)=0.117-0.924lg(TPb)(R2=0.204, sig0.445)

(907)lg(CPb)=0.117-0.924lg(TPb)(R2=0.204, sig0.445)

(908)lg(CPb)=0.117-0.924lg(TPb)(R2=0.204, sig0.445)

(909)lg(CPb)=0.117-0.924lg(TPb)(R2=0.204, sig0.445)

(910)lg(CPb)=0.117-0.924lg(TPb)(R2=0.204, sig0.445)

(911)lg(CPb)=0.117-0.924lg(TPb)(R2=0.204, sig0.445)

三、pH>7.5

(912)CPb=0.000CEC+0.001TPb+0.026(R2=0.165, sig0.000)

(913)CPb=-0.001OC+0.001TPb+0.035(R2=0.165, sig0.000)

(914)CPb=0.000CEC+0.001TPb+0.026(R2=0.165, sig0.000)

(915)CPb=-0.008SOM+0.001TPb+0.035(R2=0.165, sig0.000)

(916)CPb=-0.001OC+0.001TPb+0.035(R2=0.165, sig0.000)

(917)CPb=0.001TPb+0.018(R2=0.163, sig0.000)

(918)CPb=0.001TPb+0.018(R2=0.163, sig0.000)

(919)lg(CPb)=-0.980-0.696lg(CEC)+0.086lg(TPb)(R2=0.026, sig0.150)

(920)lg(CPb)=-0.494-1.154lg(OC)+0.086lg(TPb)(R2=0.026, sig0.150)

(921)lg(CPb)=-0.980-0.696lg(CEC)+0.086lg(TPb)(R2=0.026, sig0.150)

(922)lg(CPb)=-1.375-1.154lg(SOM)+0.086lg(TPb)(R2=0.026, sig0.150)

(923)lg(CPb)=-0.494-1.154lg(OC)+0.086lg(TPb)(R2=0.026, sig0.150)

(924)lg(CPb)=-1.758+0.112lg(TPb)(R2=0.003, sig0.482)

(925)lg(CPb)=-1.758+0.112lg(TPb)(R2=0.003, sig0.482)

**(小麦)**

一、pH<6.5

(926)CPb=0.211SOM+0.000TPb-0.234(R2=1.000,sig000)

(927)CPb=0.036OC+0.000TPb-0.234(R2=1.000,sig000)

(928)CPb=0.007CEC+0.000TPb-0.049(R2=1.000,sig000)

(929)CPb=0.211SOM+0.000TPb-0.234(R2=1.000,sig000)

(930)CPb=0.036OC+0.000TPb-0.234(R2=1.000,sig000)

(931)CPb=-0.363pH+0.000TPb+2.355(R2=1.000,sig000)

(932)CPb=-0.005TPb+0.118(R2=1.000,sig000)

(933)lg(CPb)=-8.007+22.236lg(SOM)+3.285lg(TPb)(R2=1.000,sig)

(934)lg(CPb)=-24.984+22.236lg(OC)+3.285lg(TPb)(R2=1.000,sig)

(935)lg(CPb)=79.321-13.312pH+3.285lg(TPb)(R2=1.000,sig)

(936)lg(CPb)=-8.007+22.236lg(SOM)+3.285lg(TPb)(R2=1.000,sig)

(937)lg(CPb)=-24.984+22.236lg(OC)+3.285lg(TPb)(R2=1.000,sig)

(938)lg(CPb)=79.321-13.312pH+3.285lg(TPb)(R2=1.000,sig)

(939)lg(CPb)=2.818-3.869lg(TPb)(R2=0.948,sig0.147)

二、pH>7.5

(940)CPb=0.051pH-0.027SOM+0.002CEC+0.000TPb-0.386(R2=0.043,sig000)

(941)CPb=0.051pH-0.005OC+0.002CEC+0.000TPb-0.386(R2=0.043,sig000)

(942)CPb=0.042pH+0.001CEC+0.000TPb-0.319(R2=0.042,sig000)

(943)CPb=0.034pH+0.019SOM+0.000TPb-0.263(R2=0.041,sig000)

(944)CPb=0.034pH+0.003OC+0.000TPb-0.263(R2=0.041,sig000)

(945)CPb=0.015pH+0.000TPb-0.091(R2=0.028,sig000)

(946)CPb=0.000TPb+0.033(R2=0.028,sig000)

(947)lg(CPb)=85.743-8.529pH+22.875lg(SOM)-16.752lg(CEC)-0.391lg(TPb)(R2=0.035,sig0.927)

(948)lg(CPb)=68.279-8.529pH+22.875lg(OC)-16.752lg(CEC)-0.391lg(TPb)(R2=0.035,sig0.927)

(949)lg(CPb)=-0.619-0.112pH+0.056lg(CEC)-0.402lg(TPb)(R2=0.017,sig0.935)

(950)lg(CPb)=-0.550-0.112pH+0.135lg(SOM)-0.404lg(TPb)(R2=0.017,sig0.934)

(951)lg(CPb)=-0.653-0.112pH+0.135lg(SOM)-0.404lg(TPb)(R2=0.017,sig0.934)

(952)lg(CPb)=-0.040-0.177pH-0.400lg(TPb)(R2=0.017,sig0.805)

(953)lg(CPb)=-1.518-0.372lg(TPb)(R2=0.014,sig0.536)

**(玉米)**

一、pH<6.5

(954)CPb=-0.247+0.029pH+0.183SOM-0.018CEC+0.000TPb(R2=0.108, sig0.000)

(955)CPb=-0.247+0.029pH+0.032OC-0.018CEC+0.000TPb(R2=0.108, sig0.000)

(956)CPb=0.611-0.120pH+0.016CEC+0.000TPb(R2=0.079, sig0.000)

(957)CPb=0.136-0.044pH+0.107SOM+0.000TPb(R2=0.102, sig0.000)

(958)CPb=0.136-0.044pH+0.018OC+0.000TPb(R2=0.050, sig0.000)

(959)CPb=0.492-0.068pH+0.000TPb(R2=0.050, sig0.000)

(960)CPb=0.121+0.000TPb(R2=0.036, sig0.000)

(961)lg(CPb)=-1.152-0.211pH-1.326lg(SOM)+0.289lg(CEC)+0.591lg(TPb)(R2=0.343 sig0.000)

(962)lg(CPb)=-0.140-0.211pH-1.326lg(OC)+0.289lg(CEC)+0.591lg(TPb)(R2=0.343 sig0.000)

(963)lg(CPb)=-1.930+0.039pH-0.797lg(CEC)+0.633lg(TPb)(R2=0.323 sig0.000)

(964)lg(CPb)=-1.332-0.146pH-1.036lg(SOM)+0.605lg(TPb)(R2=0.342 sig0.000)

(965)lg(CPb)=-0.541-0.146pH-1.036lg(OC)+0.605lg(TPb)(R2=0.342 sig0.000)

(966)lg(CPb)=-1.799-0.098pH+0.562lg(TPb)(R2=0.281 sig0.000)

(967)lg(CPb)=-2.499+0.648lg(TPb)(R2=0.274 sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(968)CPb=0.150+0.016SOM-0.003CEC+0.000TPb(R2=0.984, sig0.000)

(969)CPb=0.150+0.003OC-0.003CEC+0.000TPb(R2=0.984, sig0.000)

(970)CPb=0.440-0.039pH-0.003CEC+0.000TPb(R2=0.984, sig0.000)

(971)CPb=9.396-1.228pH-0.483SOM +0.000TPb(R2=0.984, sig0.000)

(972)CPb=9.396-1.228pH-0.083OC +0.000TPb(R2=0.984, sig0.000)

(973)CPb=-2.093-+0.311pH+0.000TPb(R2=0.486, sig0.000)

(974)CPb=0.063+9.976E-6TPb(R2=0.005, sig0.000)

(975)lg(CPb)=2.850+2.565lg(SOM)-2.453lg(CEC)-0.851lg(TPb)(R2=0.995 sig0.086)

(976)lg(CPb)=0.891+2.565lg(OC)-2.453lg(CEC)-0.851lg(TPb)(R2=0.995 sig0.086)

(977)lg(CPb)=13.734-1.567pH-2.091lg(CEC)-0.851lg(TPb)(R2=0.982 sig0.086)

(978)lg(CPb)=76.500-10.606pH-14.791lg(SOM)-0.851lg(TPb)(R2=0.995 sig0.086)

(979)lg(CPb)=87.792-10.606pH-14.791lg(OC)-0.851lg(TPb)(R2=0.995 sig0.086)

(980)lg(CPb)=-19.475+2.542pH+0.612lg(TPb)(R2=0.702 sig0.298)

(981)lg(CPb)=-1.275+0.039lg(TPb)(R2=0.046 sig0.729)

三、pH>7.5

(982)CPb=85.244-9.79pH-3.494SOM-0.246CEC+0.008TPb(R2=0.953, sig0.000)

(983)CPb=85.244-9.79pH-0.602OC-0.246CEC+0.008TPb(R2=0.953, sig0.000)

(984)CPb=-7.743+0.951pH-0.010CEC+0.007TPb(R2=0.904, sig0.000)

(985)CPb=-2.316+0.295pH-0.279SOM+0.007TPb(R2=0.906, sig0.000)

(986)CPb=-2.316+0.295pH-0.048OC+0.007TPb(R2=0.906, sig0.000)

(987)CPb=-8.443+1.022pH+0.007TPb(R2=0.903, sig0.000)

(988)CPb=-0.258+0.007TPb(R2=0.887, sig0.000)

(989)lg(CPb)=180.138-20.960pH-15.799lg(SOM)-13.109lg(CEC)+0.526lg(TPb)(R2=0.818 sig0.002)

(990)lg(CPb)=192.200-20.960pH-15.799lg(OC)-13.109lg(CEC)+0.526lg(TPb)(R2=0.818 sig0.002)

(991)lg(CPb)=47.027-5.107pH-7.275lg(CEC)+0.017lg(TPb)(R2=0.783 sig0.001)

(992)lg(CPb)=-96.082+11.776pH+16.202lg(SOM)-0.373lg(TPb)(R2=0.660 sig0.010)

(993)lg(CPb)=-108.452+11.776pH+16.202lg(OC)-0.373lg(TPb)(R2=0.660 sig0.010)

(994)lg(CPb)=9.852-1.591pH+0.755lg(TPb)(R2=0.290 sig0.152)

(995)lg(CPb)=-3.345+1.074lg(TPb)(R2=0.267 sig0.058)

**(水果)**

木本水果

一、pH>7.5

(996)CPb=-9.602+1.156pH+0.375SOM+0.000TPb(R2=0.930)

(997)CPb=-9.602+1.156pH+0.065OC+0.000TPb(R2=0.930)

(998)CPb=-9.613+1.178pH+0.016CEC+0.000TPb(R2=0.930)

(999)CPb=-9.602+1.156pH+0.375SOM+0.000TPb(R2=0.930)

(1000)CPb=-9.602+1.156pH+0.065OC+0.000TPb(R2=0.930)

(1001)CPb=-5.326+0.673pH+0.000TPb(R2=0.882)

(1002)CPb=0.094-0.001TPb(R2=0.205)

(1003)lg(CPb)=-140.888+17.495pH+23.678lg(SOM)-1.031lg(TPb)(R2=0.872 sig0.000)

(1004)lg(CPb)=-158.965+17.495pH+23.678lg(OC)-1.031lg(TPb)(R2=0.872 sig0.000)

(1005)lg(CPb)=-191.666+21.853pH+14.193lg(CEC)-1.031lg(TPb)(R2=0.872 sig0.000)

(1006)lg(CPb)=-140.888+17.495pH+23.678lg(SOM)-1.031lg(TPb)(R2=0.872 sig0.000)

(1007)lg(CPb)=-158.965+17.495pH+23.678lg(OC)-1.031lg(TPb)(R2=0.872 sig0.000)

(1008)lg(CPb)=-22.018+2.800pH-1.383lg(TPb)(R2=0.532 sig0.022)

(1009)lg(CPb)=0.730-1.569lg(TPb)(R2=0.422 sig0.016)

草本水果

一、pH>7.5

(1010)CPb=-0.028+0.001CEC+0.001TPb(R2=1.000)

(1011)CPb=-0.045+0.006OC+0.001TPb(R2=1.000)

(1012)CPb=-0.028+0.001CEC+0.001TPb(R2=1.000)

(1013)CPb=-0.045+0.036SOM+0.001TPb(R2=1.000)

(1014)CPb=-0.045+0.006OC+0.001TPb(R2=1.000)

(1015)CPb=0.308-0.040pH+0.001TPb(R2=1.000)

(1016)CPb=-0.012+0.001TPb(R2=0.815)

(1017)lg(CPb)=-6.183+1.509lg(CEC)+1.992lg(TPb)(R2=1.000 sig)

(1018)lg(CPb)=-7.066+3.357lg(OC)+1.992lg(TPb)(R2=1.000 sig)

(1019)lg(CPb)=-6.183+1.509lg(CEC)+1.992lg(TPb)(R2=1.000 sig)

(1020)lg(CPb)=-4.503+3.357lg(SOM)+1.992lg(TPb)(R2=1.000 sig)

(1021)lg(CPb)=-7.066+3.357lg(OC)+1.992lg(TPb)(R2=1.000 sig)

(1022)lg(CPb)=10.352-1.851pH+1.992lg(TPb)(R2=1.000 sig)

(1023)lg(CPb)=-4.459+1.842lg(TPb)(R2=0.750 sig0.334)

**(杂粮)**

一、pH>7.5

(1024)CPb=0.049-0.008SOM-0.004CEC+0.001TPb(R2=1.000)

(1025)CPb=0.049-0.001OC-0.004CEC+0.001TPb(R2=1.000)

(1026)CPb=-0.027+0.010pH-0.005CEC+0.001TPb(R2=1.000)

(1027)CPb=0.421-0.049pH-0.045SOM+0.001TPb(R2=1.000)

(1028)CPb=0.421-0.049pH-0.008OC+0.001TPb(R2=1.000)

(1029)CPb=-0.134+0.013pH+0.002TPb(R2=0.760)

(1030)CPb=-0.027+0.002TPb(R2=0.608)

**第五部分 土壤铬模型**

**(叶菜)**

一、pH<6.5

(1031)CCr=-0.144pH-0.372SOM+0.053CEC+0.000TCr+1.296(R2=0.139;sig0.000)

(1032)CCr=-0.144pH-0.064OC+0.053CEC+0.000TCr+1.296(R2=0.139;sig0.000)

(1033)CCr=-0.144pH-0.372SOM+0.053CEC+0.000TCr+1.296(R2=0.117;sig0.000)

(1034)CCr=0.803pH-0.211SOM-0.002TCr-4.833(R2=0.117;sig0.000)

(1035)CCr=0.374pH+0.053CEC-0.002TCr-2.152(R2=0.090;sig0.000)

(1036)CCr=0.374pH-0.002TCr-2.444(R2=0.090;sig0.000)

(1037)CCr=-0.002TCr+0.461(R2=0.034;sig0.000)

(1038)lg(CCr)=-0.916-0.103pH+0.984LG(SOM)+0.147LG(CEC)-0.104lg(TCr)(R2=0.039 sig0.064)

(1039)lg(CCr)=-1.667-0.103pH+0.984LG(OC)+0.147LG(CEC)-0.104lg(TCr)(R2=0.039 sig0.064)

(1040)lg(CCr)=-0.997-0.029pH+0.180LG(CEC)-0.088lg(TCr)(R2=0.006 sig0.736)

(1041)lg(CCr)=-0.826-0.092pH+1.005LG(SOM)-0.110lg(TCr)(R2=0.036 sig0.042)

(1042)lg(CCr)=-1.593-0.092pH+1.005LG(OC)-0.110lg(TCr)(R2=0.036 sig0.042)

(1043)lg(CCr)=-0.888-0.013pH-0.096lg(TCr)(R2=0.001 sig0.887)

(1044)lg(CCr)=-0.955-0.095lg(TCr)(R2=0.001 sig0.646)

二、6.5≦pH≦7.5

(1045)CCr=-0.144pH-0.372SOM+0.053CEC+0.000TCr+1.296(R2=0.139;sig0.000)

(1046)CCr=-0.144pH-0.064OC+0.053CEC+0.000TCr+1.296(R2=0.139;sig0.000)

(1047)CCr=0.374pH+0.002CEC-0.002TCr+1.296(R2=0.090;sig0.000)

(1048)CCr=0.803pH-0.211SOM-0.002TCr-4.833(R2=0.117;sig0.000)

(1049)CCr=0.803pH-0.036OC-0.002TCr-4.833(R2=0.117;sig0.000)

(1050)CCr=0.419pH-0.002TCr-2.444(R2=0.090;sig0.000)

(1051)CCr=-0.002TCr+0.461(R2=0.034;sig0.000)

(1052)lg(CCr)=-2.078-0.159pH-3.901LG(SOM)+2.635LG(CEC)+0.183lg(TCr)(R2=0.222 sig0.000)

(1053)lg(CCr)=0.900-0.159pH-3.901LG(OC)+2.635LG(CEC)+0.183lg(TCr)(R2=0.222 sig0.000)

(1054)lg(CCr)=6.385-1.228pH+1.516LG(CEC)+0.042lg(TCr)(R2=0.064 sig0.015)

(1055)lg(CCr)=-9.632+1.444pH-2.810LG(SOM)-0.500lg(TCr)(R2=0.118 sig0.000)

(1056)lg(CCr)=-7.486+1.444pH-2.810LG(OC)-0.500lg(TCr)(R2=0.118 sig0.000)

(1057)lg(CCr)=-0.090+0.013pH-0.378lg(TCr)(R2=0.025 sig0.136)

(1058)lg(CCr)=0.002-0.378lg(TCr)(R2=0.025 sig0.045)

三、pH>7.5

(1059)CCr=-0.156pH+0.056SOM-0.006CEC+0.000TCr+1.318(R2=0.014;sig0.000)

(1060)CCr=-0.156pH+0.010OC-0.006CEC+0.000TCr+1.318(R2=0.014;sig0.000)

(1061)CCr=-0.355pH-0.009CEC+0.000TCr+3.006(R2=0.014;sig0.000)

(1062)CCr=-0.131pH+0.079SOM+0.000TCr+1.014(R2=0.014;sig0.000)

(1063)CCr=-0.131Ph+0.014OC+0.000TCr+1.014(R2=0.014;sig0.000)

(1064)CCr=-0.467Ph+0.000TCr+3.785(R2=0.013;sig0.000)

(1065)CCr=0.000TCr+0.112(R2=0.001;sig0.000)

(1066)lg(CCr)=9.644 -1.287pH-0.434LG(SOM)-0.853LG(CEC)+0.124lg(TCr)(R2=0.041 sig0.006)

(1067)lg(CCr)=9.976 -1.287pH-0.434LG(OC)-0.853LG(CEC)+0.124lg(TCr)(R2=0.041 sig0.006)

(1068)lg(CCr)=5.397 -0.778pH-0.721LG(CEC)+0.134lg(TCr)(R2=0.041 sig0.006)

(1069)lg(CCr)=8.718 -1.292pH-0.172LG(SOM)+0.122lg(TCr)(R2=0.037 sig0.005)

(1070)lg(CCr)=8.849 -1.292pH-0.172LG(OC)+0.122lg(TCr)(R2=0.037 sig0.005)

(1071)lg(CCr)=6.921 -1.069pH+0.126lg(TCr)(R2=0.037 sig0.001)

(1072)lg(CCr)=-1.530 +0.162lg(TCr)(R2=0.004 sig0.247)

**(根茎)**

一、pH<6.5

(1073)CCr =-0.107pH+0.044SOM+0.004CEC+0.000TCr +0.509(R2=0.024 sig0.000)

(1074)CCr =-0.107pH+0.008OC+0.004CEC+0.000TCr +0.509(R2=0.024 sig0.000)

(1075)CCr =-0.078pH+0.002CEC+0.000TCr +0.492(R2=0.017 sig0.000)

(1076)CCr =-0.078pH+0.031SOM+0.000TCr +0.439(R2=0.020 sig0.000)

(1077)CCr =-0.078pH+0.005OC+0.000TCr +0.439(R2=0.020 sig0.000)

(1078)CCr =-0.067pH+0.000TCr +0.455(R2=0.016 sig0.000)

(1079)CCr =5.472E-5TCr +0.132(R2=0.000 sig0.000)

(1080)lg(CCr)=-1.178-0.080pH+0.620lg(SOM)-0.253lg(CEC)+0.215lg(TCr)(R2=0.024,sig0.482)

(1081)lg(CCr)=-1.651-0.080pH+0.620lg(OC)-0.253lg(CEC)+0.215lg(TCr)(R2=0.024,sig0.482)

(1082)lg(CCr)=-1.048-0.048pH-0.329lg(CEC)+0.215lg(TCr)(R2=0.018,sig0.482)

(1083)lg(CCr)=-1.414-0.094pH+0.851lg(SOM)+0.204lg(TCr)(R2=0.017,sig0.491)

(1084)lg(CCr)=-2.064-0.094pH+0.851lg(OC)+0.204lg(TCr)(R2=0.017,sig0.491)

(1085)lg(CCr)=-1.324-0.051pH+0.200lg(TCr)(R2=0.017,sig0.491)

(1086)lg(CCr)=-1.553+0.185lg(TCr)(R2=0.003,sig0.511)

二、6.5≦pH≦7.5

(1087)CCr =-0.027CEC+0.001TCr +0.587(R2=0.057 sig0.000)

(1088)CCr =-0.088OC+0.001TCr +0.906(R2=0.057 sig0.000)

(1089)CCr =-0.027CEC+0.001TCr +0.587(R2=0.057 sig0.000)

(1090)CCr =-0.510SOM+0.001TCr +0.906(R2=0.057 sig0.000)

(1091)CCr =-0.088OC+0.001TCr +0.906(R2=0.057 sig0.000)

(1092)CCr =-0.616pH+0.001TCr +4.582(R2=0.057 sig0.000)

(1093)CCr =0.001TCr +0.344(R2=0.000 sig0.000)

(1094)lg(CCr)=-0.023-0.564lg(CEC)-0.075lg(TCr)(R2=0.039,sig0.326)

(1095)lg(CCr)=0.404-1.184lg(OC)-0.075lg(TCr)(R2=0.039,sig0.326)

(1096)lg(CCr)=-0.023-0.564lg(CEC)-0.075lg(TCr)(R2=0.039,sig0.326)

(1097)lg(CCr)=-0.500-1.184lg(SOM)-0.075lg(TCr)(R2=0.039,sig0.326)

(1098)lg(CCr)=0.404-1.184lg(OC)-0.075lg(TCr)(R2=0.039,sig0.326)

(1099)lg(CCr)=2.944-0.506pH-0.075lg(TCr)(R2=0.039,sig0.326)

(1100)lg(CCr)=-0.541-0.089lg(TCr)(R2=0.000,sig0.869)

三、pH>7.5

(1101)CCr=0.082SOM-0.006CEC+0.002TCr-0.046(R2=0.016 sig0.000)

(1102)CCr=0.014SOM-0.006CEC+0.002TCr-0.046(R2=0.016 sig0.000)

(1103)CCr=-0.473pH+0.001CEC+0.002TCr+3.723(R2=0.016 sig0.000)

(1104)CCr=-0.435pH+0.007SOM+0.002TCr+3.419(R2=0.016 sig0.000)

(1105)CCr=-0.435pH+0.001OC+0.002TCr+3.419(R2=0.016 sig0.000)

(1106)CCr=-0.460pH+0.002TCr+3.629(R2=0.016 sig0.000)

(1107)CCr=0.002TCr+0.039(R2=0.014 sig0.000)

(1108)lg(CCr)=-5.318+0.976pH-4.192lg(CEC)+0.470lg(TCr)(R2=0.038,sig0.125)

(1109)lg(CCr)=2.222-3.619lg(CEC)-0.499lg(OC)+0.470lg(TCr)(R2=0.038,sig0.125)

(1110)lg(CCr)=-5.318+0.976pH-4.192lg(CEC)+0.470lg(TCr)(R2=0.038,sig0.125)

(1111)lg(CCr)=47.039-6.162pH-3.647lg(SOM)+0.470lg(TCr)(R2=0.038,sig0.125)

(1112)lg(CCr)=49.824-6.162pH-3.647lg(OC)+0.470lg(TCr)(R2=0.038,sig0.125)

(1113)lg(CCr)=14.326-2.103pH+0.473lg(TCr)(R2=0.037,sig0.062)

(1114)lg(CCr)=-2.081+0.473lg(TCr)(R2=0.030,sig0.034)

**(果实)**

一、pH<6.5

(1115)CCr=0.215-0.024pH-0.013SOM+0.003CEC+0.000TCr(R2=0.055)

(1116)CCr=0.215-0.024pH-0.002OC+0.003CEC+0.000TCr(R2=0.055)

(1117)CCr=0.198-0.026pH+0.003CEC+0.000TCr(R2=0.049)

(1118)CCr=0.149-0.005pH-0.011SOM+0.000TCr(R2=0.045)

(1119)CCr=0.149-0.005pH-0.002OC+0.000TCr(R2=0.046)

(1120)CCr=0.138-0.008pH+0.000TCr(R2=0.041)

(1121)CCr=0.100+0.000TCr(R2=0.040)

(1122)lg(CCr)=-1.066-0.036pH+0.379lg(SOM)+0.299lg(CEC)-0.363lg(TCr)(R2=0.032 sig0.111)

(1123)lg(CCr)=-1.356-0.036pH+0.379lg(OC)+0.299lg(CEC)-0.363lg(TCr)(R2=0.032 sig0.111)

(1124)lg(CCr)=-1.004-0.019pH+0.315lg(CEC)-0.382lg(TCr)(R2=0.029 sig0.078)

(1125)lg(CCr)=-0.897+0.005pH+0.421lg(SOM)-0.418lg(TCr)(R2=0.025 sig0.114)

(1126)lg(CCr)=-1.219+0.005pH+0.421lg(OC)-0.418lg(TCr)(R2=0.025 sig0.114)

(1127)lg(CCr)=-0.818+0.026pH-0.442lg(TCr)(R2=0.025 sig0.114)

(1128)lg(CCr)=-0.695-0.440lg(TCr)(R2=0.021 sig0.114)

二、6.5≦pH≦7.5

(1129)CCr=-0.040+0.012pH-0.044SOM+0.004CEC+0.001TCr(R2=0.531)

(1130)CCr=-0.040+0.012pH-0.008OC+0.004CEC+0.001TCr(R2=0.531)

(1131)CCr=-0.095+0.016pH-0.002CEC+0.001TCr(R2=0.463)

(1132)CCr=-0.244+0.038pH-0.022SOM+0.001TCr(R2=0.509)

(1133)CCr=-0.244+0.038pH-0.004OC+0.001TCr(R2=0.509)

(1134)CCr=0.393-0.053pH+0.000TCr(R2=0.429)

(1135)CCr=0.004+0.001TCr(R2=0.285)

(1136)lg(CCr)=-1.739-0.083pH-1.653lg(SOM) +1.043lg(CEC)+0.112lg(TCr)(R2=0.624 sig0.047)

(1137)lg(CCr)=-0.477-0.083pH-1.653lg(OC) +1.043lg(CEC)+0.112lg(TCr)(R2=0.624 sig0.047)

(1138)lg(CCr)=-1.421-0.100pH-0.535lg(CEC)+0.745lg(TCr)(R2=0.552 sig0.039)

(1139)lg(CCr)=-2.660+0.050pH-0.722lg(SOM)+0.620lg(TCr)(R2=0.597 sig0.023)

(1140)lg(CCr)=-2.109+0.050pH-0.722lg(OC)+0.620lg(TCr)(R2=0.597 sig0.023)

(1141)lg(CCr)=2.396-0.594pH+0.220lg(TCr)(R2=0.504 sig0.021)

(1142)lg(CCr)=-2.445+0.650lg(TCr)(R2=0.240 sig0.075)

三、pH>7.5

(1143)CCr=0.481-0.066pH+0.037SOM+0.000CEC+0.000TCr(R2=0.015)

(1144)CCr=0.481-0.066pH+0.006OC+0.000CEC+0.000TCr(R2=0.015)

(1145)CCr=2.311-0.296pH+0.010CEC+0.000TCr(R2=0.014)

(1146)CCr=-1.534+0.194pH+0.064SOM+0.000TCr(R2=0.014)

(1147)CCr=-1.534+0.194pH+0.011OC+0.000TCr(R2=0.014)

(1148)CCr=0.364-0.034pH+0.000TCr(R2=0.008)

(1149)CCr=0.098+0.000TCr(R2=0.007)

(1150)lg(CCr)=-10.283-1.053pH+1.356lg(SOM)+0.688lg(CEC)-0.288lg(TCr)(R2=0.038 sig0.031)

(1151)lg(CCr)=-11.318+1.053pH+1.356lg(OC)+0.688lg(CEC)-0.288lg(TCr)(R2=0.038 sig0.031)

(1152)lg(CCr)=9.932-1.708pH+2.413lg(CEC)-0.346lg(TCr)(R2=0.024 sig0.080)

(1153)lg(CCr)=-15.397+1.788pH+1.546lg(SOM)-0.263lg(TCr)(R2=0.038 sig0.015)

(1154)lg(CCr)=-16.577+1.788pH+1.546lg(OC)-0.263lg(TCr)(R2=0.038 sig0.015)

(1155)lg(CCr)=-2.431+0.179pH-0.255lg(TCr)(R2=0.010 sig0.261)

(1156)lg(CCr)=-1.024-0.257lg(TCr)(R2=0.009 sig0.114)

**(水稻)**

一、pH<6.5

(1157)CCr=-0.601pH-0.422SOM+0.114CEC-0.008TCr+3.773(R2=0.036, sig0.000)

(1158)CCr=-0.601pH-0.073OC+0.114CEC-0.008TCr+3.773(R2=0.036, sig0.000)

(1159)CCr=-0.589pH+0.061CEC-0.008TCr+3.336(R2=0.035, sig0.000)

(1160)CCr=-0.239pH+0.046SOM-0.008TCr+2.165(R2=0.034, sig0.000)

(1161)CCr=-0.239pH+0.008OC-0.008TCr+2.165(R2=0.034, sig0.000)

(1162)CCr=-0.204pH-0.008TCr+2.094(R2=0.034, sig0.000)

(1163)CCr=-0.008TCr+1.042(R2=0.028, sig0.000)

(1164)lg(CCr)=0.703-0.168pH+0.732lg(SOM)+0.902lg(CEC)-0.960lg(TCr)(R2=0.100, sig0.000)

(1165)lg(CCr)=0.144-0.168pH+0.732lg(OC)+0.902lg(CEC)-0.960lg(TCr)(R2=0.100, sig0.000)

(1166)lg(CCr)=0.480-0.148pH+1.274lg(CEC)-0.959lg(TCr)(R2=0.100, sig0.000)

(1167)lg(CCr)=1.088-0.137pH+1.875lg(SOM)-0.970lg(TCr)(R2=0.098, sig0.000)

(1168)lg(CCr)=-0.344-0.137pH+1.875lg(OC)-0.970lg(TCr)(R2=0.098, sig0.000)

(1169)lg(CCr)=0.622+0.097pH-0.990lg(TCr)(R2=0.085, sig0.000)

(1170)lg(CCr)=1.162-1.018lg(TCr)(R2=0.075, sig0.000)

二、6.5≦pH≦7.5

(1171)lg(CCr)=-4.478+1.911lg(TCr)(R2=0.008, sig0.887)

(1172)lg(CCr)=-4.478+1.911lg(TCr)(R2=0.008, sig0.887)

(1173)lg(CCr)=-4.478+1.911lg(TCr)(R2=0.008, sig0.887)

(1174)lg(CCr)=-4.478+1.911lg(TCr)(R2=0.008, sig0.887)

(1175)lg(CCr)=-4.478+1.911lg(TCr)(R2=0.008, sig0.887)

(1176)lg(CCr)=-4.478+1.911lg(TCr)(R2=0.008, sig0.887)

(1177)lg(CCr)=-4.478+1.911lg(TCr)(R2=0.008, sig0.887)

三、pH>7.5

(1178)CCr=-0.001CEC+0.000TCr+0.344(R2=0.001, sig0.000)

(1179)CCr=-0.003OC+0.000TCr+0.365(R2=0.001, sig0.000)

(1180)CCr=-0.001CEC+0.000TCr+0.344(R2=0.001, sig0.000)

(1181)CCr=-0.019SOM+0.000TCr+0.365(R2=0.001, sig0.000)

(1182)CCr=-0.003OC+0.000TCr+0.365(R2=0.001, sig0.000)

(1183)CCr=0.000TCr+0.323(R2=0.000, sig0.000)

(1184)CCr=0.000TCr+0.323(R2=0.000, sig0.000)

(1185)lg(CCr)=-0.999-0.244lg(CEC)-0.004lg(TCr)(R2=0.003, sig0.790)

(1186)lg(CCr)=-1.169-0.404lg(OC)-0.004lg(TCr)(R2=0.003, sig0.798)

(1187)lg(CCr)=-0.999-0.244lg(CEC)-0.004lg(TCr)(R2=0.003, sig0.790)

(1188)lg(CCr)=-0.861-0.404lg(SOM)-0.004lg(TCr)(R2=0.003, sig0.798)

(1189)lg(CCr)=-1.169-0.404lg(OC)-0.004lg(TCr)(R2=0.003, sig0.798)

(1190)lg(CCr)=-0.688-0.033lg(TCr)(R2=0.000, sig0.916)

(1191)lg(CCr)=-0.688-0.033lg(TCr)(R2=0.000, sig0.916)

**(小麦)**

一、pH<6.5

(1192)CCr=0.000CEC+0.002TCr-0.101(R2=1.000,sig000)

(1193)CCr=-0.004OC+0.002TCr-0.082(R2=1.000,sig000)

(1194)CCr=0.000CEC+0.002TCr-0.101(R2=1.000,sig000)

(1195)CCr=-0.021SOM+0.002TCr-0.082(R2=1.000,sig000)

(1196)CCr=-0.004OC+0.002TCr-0.082(R2=1.000,sig000)

(1197)CCr=0.036pH+0.002TCr-0.336(R2=1.000,sig000)

(1198)CCr=0.002TCr-0.126(R2=1.000,sig000)

(1199)lg(CCr)=-14.364-0.865lg(CEC)+7.485lg(TCr)(R2=1.000,sig)

(1200)lg(CCr)=-12.579-3.076lg(OC)+7.485lg(TCr)(R2=1.000,sig)

(1201)lg(CCr)=-14.364-0.865lg(CEC)+7.485lg(TCr)(R2=1.000,sig)

(1202)lg(CCr)=-14.927-3.076lg(SOM)+7.485lg(TCr)(R2=1.000,sig)

(1203)lg(CCr)=-12.579-3.076lg(OC)+7.485lg(TCr)(R2=1.000,sig)

(1204)lg(CCr)=-27.005-1.841pH+7.485lg(TCr)(R2=1.000,sig)

(1205)lg(CCr)=-19.147+9.750lg(TCr)(R2=1.000,sig)

二、pH>7.5

(1206)CCr=0.247pH-0.140SOM+0.006CEC-0.001TCr-1.807(R2=0.036,sig000)

(1207)CCr=0.247pH-0.024OC+0.006CEC-0.001TCr-1.807(R2=0.036,sig000)

(1208)CCr=0.199pH-0.001CEC+0.002TCr-1.454(R2=0.036,sig000)

(1209)CCr=0.207pH-0.030SOM-0.001TCr-1.511(R2=0.036,sig000)

(1210)CCr=0.207pH-0.005OC-0.001TCr-1.511(R2=0.036,sig000)

(1211)CCr=0.237pH-0.002TCr-1.776(R2=0.035,sig000)

(1212)CCr=-0.002TCr+0.189(R2=0.002,sig000)

(1213)lg(CCr)=-176.239+17.864pH-43.485lg(SOM)+32.740lg(CEC)-3.473lg(TCr)(R2=0.069,sig0.777)

(1214)lg(CCr)=-143.040+17.864pH-43.485lg(OC)+32.740lg(CEC)-3.473lg(TCr)(R2=0.069,sig0.777)

(1215)lg(CCr)=-10.588+1.886pH+0.823lg(CEC)-4.406lg(TCr)(R2=0.046,sig0.751)

(1216)lg(CCr)=-5.944+1.421pH+1.010lg(SOM)-4.401lg(TCr)(R2=0.045,sig0.758)

(1217)lg(CCr)=-6.715+1.421pH+1.010lg(OC)-4.401lg(TCr)(R2=0.045,sig0.758)

(1218)lg(CCr)=-2.513+0.933pH-4.134lg(TCr)(R2=0.040,sig0.585)

(1219)lg(CCr)=5.738-4.501lg(TCr)(R2=0.018,sig0.489)

**(玉米)**

一、pH<6.5

(1220)CCr=0.632-0.122pH+0.008SOM+0.033CEC-0.001TCr(R2=0.406, sig0.000)

(1221)CCr=0.632-0.122pH+0.001OC+0.033CEC-0.001TCr(R2=0.406, sig0.000)

(1222)CCr=0.672-0.128pH+0.034CEC-0.001TCr(R2=0.406, sig0.000)

(1223)CCr=-0.165+0.017pH+0.165SOM+0.000TCr(R2=0.370, sig0.000)

(1224)CCr=-0.165+0.017pH+0.028OC+0.000TCr(R2=0.370, sig0.000)

(1225)CCr=0.423-0.013pH-0.001TCr(R2=0.155, sig0.000)

(1226)CCr=0.355-0.001TCr(R2=0.154, sig0.000)

(1227)lg(CCr)=-1.447-0.161pH+2.028lg(SOM)+0.396lg(CEC)+0.189lg(TCr)(R2=0.494 sig0.000)

(1228)lg(CCr)=-2.996-0.161pH+2.028lg(OC)+0.396lg(CEC)+0.189lg(TCr)(R2=0.494 sig0.000)

(1229)lg(CCr)=-0.035-0.502pH+1.967lg(CEC)-0.054lg(TCr)(R2=0.447 sig0.000)

(1230)lg(CCr)=-1.706-0.082pH+2.448lg(SOM)+0.232lg(TCr)(R2=0.491 sig0.000)

(1231)lg(CCr)=-3.575-0.082pH+2.448lg(OC)+0.232lg(TCr)(R2=0.491 sig0.000)

(1232)lg(CCr)=0.891-0.252pH-0.264lg(TCr)(R2=0.112 sig0.027)

(1233)lg(CCr)=-0.476-0.243lg(TCr)(R2=0.015 sig0.330)

二、6.5≦pH≦7.5

(1234)CCr=0.417-0.426SOM+0.005CEC+0.003TCr(R2=0.988, sig0.000)

(1235)CCr=0.417-0.074OC+0.005CEC+0.003TCr(R2=0.988, sig0.000)

(1236)CCr=-7.494+1.051pH+0.002CEC+0.003TCr(R2=0.988, sig0.000)

(1237)CCr=0.014-0.015SOM+0.001TCr(R2=0.980, sig0.000)

(1238)CCr=0.014-0.003OC+0.001TCr(R2=0.980, sig0.000)

(1239)CCr=0.703+0.099pH+0.001TCr(R2=0.981, sig0.000)

(1240)CCr=0.008+0.000TCr(R2=0.978, sig0.000)

(1241)lg(CCr)=-31.830-69.501lg(SOM)+6.214lg(CEC)+21.951lg(TCr)(R2=0.992 sig0.111)

(1242)lg(CCr)=21.232-69.501lg(OC)+6.214lg(CEC)+21.951lg(TCr)(R2=0.992 sig0.111)

(1243)lg(CCr)=-326.768+42.474pH-3.610lg(CEC)+21.951lg(TCr)(R2=0.992 sig0.111)

(1244)lg(CCr)=-218.385+26.866pH-25.540lg(SOM)+21.951lg(TCr)(R2=0.992 sig0.111)

(1245)lg(CCr)=-198.887+26.866pH-25.540lg(OC)+21.951lg(TCr)(R2=0.992 sig0.111)

(1246)lg(CCr)=-8.350+0.544pH+1.610lg(TCr)(R2=0.887 sig0.113)

(1247)lg(CCr)=-4.115+1.324lg(TCr)(R2=0.887 sig0.017)

三、pH>7.5

(1248)CCr=-16.454+1.875Ph+0.726SOM+0.044CEC+0.002TCr(R2=0.503, sig0.000)

(1249)CCr=-16.454+1.875Ph+0.125OC+0.044CEC+0.002TCr(R2=0.503, sig0.000)

(1250)CCr=3.923-0.476Ph-0.009CEC+0.001TCr(R2=0.392, sig0.000)

(1251)CCr=3.923-0.476Ph-0.009CEC+0.001TCr(R2=0.392, sig0.000)

(1252)CCr=-0.797+0.074Ph+0.030OC+0.002TCr(R2=0.433, sig0.000)

(1253)CCr=3.579-0.448Ph+0.002TCr(R2=0.359, sig0.000)

(1254)CCr=-0.024+0.002TCr(R2=0.114, sig0.000)

(1255)lg(CCr)=-265.301+31.266pH+32.708lg(SOM)+9.612lg(CEC)+0.739lg(TCr)(R2=0.339 sig0.392)

(1256)lg(CCr)=-290.273+31.266pH+32.708lg(OC)+9.612lg(CEC)+0.739lg(TCr)(R2=0.339 sig0.392)

(1257)lg(CCr)=43.413-4.794pH-3.890lg(CEC)-1.555lg(TCr)(R2=0.248 sig0.395)

(1258)lg(CCr)=-60.685+7.461pH+11.278lg(SOM)-0.814lg(TCr)(R2=0.297 sig0.298)

(1259)lg(CCr)=-69.296+7.461pH+11.278lg(OC)-0.814lg(TCr)(R2=0.297 sig0.298)

(1260)lg(CCr)=31.462-3.884pH-1.301lg(TCr)(R2=0.160 sig0.383)

(1261)lg(CCr)=-0.214-0.879lg(TCr)(R2=0.008 sig0.761)

**(水果)**

木本水果

一、pH>7.5

(1262)CCr=-19.855+2.530pH-0.003SOM-0.005TCr(R2=0.944)

(1263)CCr=-19.855+2.530pH+0.000OC-0.005TCr(R2=0.944)

(1264)CCr=-19.855+2.530pH+0.000CEC-0.005TCr(R2=0.944)

(1265)CCr=-19.855+2.530pH-0.003SOM-0.005TCr(R2=0.944)

(1266)CCr=-19.855+2.530pH+0.000OC-0.005TCr(R2=0.944)

(1267)CCr=-19.855+2.533pH-0.005TCr(R2=0.944)

(1268)CCr=1.052-0.014TCr(R2=0.222)

(1269)lg(CCr)=-266.324+38.147pH+58.490lg(SOM)-23.371lg(TCr)(R2=0.773 sig0.006)

(1270)lg(CCr)=-310.979+38.147pH+58.490lg(OC)-23.371lg(TCr)(R2=0.773 sig0.006)

(1271)lg(CCr)=-391.761+48.911pH+35.061lg(CEC)-23.371lg(TCr)(R2=0.773 sig0.006)

(1272)lg(CCr)=-266.324+38.147pH+58.490lg(SOM)-23.371lg(TCr)(R2=0.773 sig0.006)

(1273)lg(CCr)=-310.979+38.147pH+58.490lg(OC)-23.371lg(TCr)(R2=0.773 sig0.006)

(1274)lg(CCr)=-28.158+5.390pH-9.364lg(TCr)(R2=0.365 sig0.103)

(1275)lg(CCr)=20.452-12.289lg(TCr)(R2=0.252 sig0.081)

草本水果

一、pH>7.5

(1276)CCr=0.019+0.000CEC-4.368E-20TCr(R2=1.000)

(1277)CCr=0.026-0.003OC+0.000TCr(R2=1.000)

(1278)CCr=0.019+0.000CEC-4.368E-20TCr(R2=1.000)

(1279)CCr=-0.123+0.017pH+0.000TCr(R2=1.000)

(1280)CCr=0.026-0.015SOM+0.000TCr(R2=1.000)

(1281)CCr=0.026-0.003OC+0.000TCr(R2=1.000)

(1282)CCr=0.000+0.000TCr(R2=0.262)

(1283)lg(CCr)=-1.452-0.479lg(CEC)-2.105E-16lg(TCr)(R2=1.000 sig)

(1284)lg(CCr)=-1.171-1.065lg(OC)+0.000lg(TCr)(R2=1.000 sig)

(1285)lg(CCr)=-1.452-0.479lg(CEC)-2.105E-16lg(TCr)(R2=1.000 sig)

(1286)lg(CCr)=-1.984-1.065lg(SOM)+0.000lg(TCr)(R2=1.000 sig)

(1287)lg(CCr)=-1.171-1.065lg(OC)+0.000lg(TCr)(R2=1.000 sig)

(1288)lg(CCr)=-6.696+0.587pH-2.105E-16lg(TCr)(R2=1.000 sig)

(1289)lg(CCr)=-3.638+0.948lg(TCr)(R2=0.260 sig0.659)

**(杂粮)**

一、pH>7.5

(1290)CCr=3.414-0.208pH+0.036CEC-0.038TCr(R2=1.000)

(1291)CCr=1.831+0.027OC+0.018CEC-0.038TCr(R2=1.000)

(1292)CCr=3.414-0.208pH+0.036CEC-0.038TCr(R2=1.000)

(1293)CCr=0.165+0.219pH+0.324SOM-0.038TCr(R2=1.000)

(1294)CCr=0.165+0.219pH+0.056OC-0.038TCr(R2=1.000)

(1295)CCr=2.910-0.143pH-0.030TCr(R2=0.746)

(1296)CCr=1.215-0.019TCr(R2=0.616)

# 附件6 《农产品产地重金属安全评价方法专题研究》专题摘要

**农产品产地土壤重金属安全评估方法**

**专题调研报告摘要汇总**

**第一部分 农产品对土壤重金属的敏感性**

农作物类型和品种对土壤重金属敏感性不同，会影响农作物对重金属的积累及其重金属污染程度。农作物对重金属污染的敏感性包括两个方面的内容，一是同等条件下，不同农作物对同种重金属的敏感性，即根据各类农作物分别对Cd、Pb、Hg、As、Cr等的敏感性对农作物进行排序；二是同等条件下，同种农作物对不同土壤重金属的敏感性，即根据每种农作物对Cd、Pb、Hg、As、Cr等重金属的敏感程度对重金属进行排序。

**专题一：不同种类谷类作物对土壤重金属污染物的敏感性排序**

依据现有文献资料，从作物种类敏感性、作物品种敏感性和作物器官敏感性三个方面，梳理出以水稻、小麦、玉米三大主粮为代表的谷类作物对土壤Cd、Pb、Hg、As、Cr等5种重金属的敏感性排序。

对于镉而言，水稻和小麦的敏感性在不同土壤、气候、区域条件下表现出不同规律，总体而言，水稻和小麦对镉的敏感性比较接近。与之相比，玉米对于土壤镉具有较强的耐受性。

对于汞而言，中碱性土壤条件下，谷类作物敏感性的总体规律与镉类似，水稻和小麦较接近，均强于玉米。但是，有报道表明，酸性条件下，玉米对汞的敏感性会有所增强。

对于砷而言，大量样本的统计表明，水稻对于砷的敏感性要显著高于小麦和玉米。对于小麦和玉米的砷敏感性比较，目前数据样本过少，还难以下结论。但徐州某地土壤（pH=6.9）的资料显示，小麦的敏感性要稍强于玉米。

对于铅而言，玉米的敏感性要强于水稻和小麦，但对于水稻与小麦的铅敏感性比较，在相似的土壤条件下，现有文献中出现了相反的结论。

对于铬而言，虽然文献报道的敏感性排序不尽相同，但总体而言，水稻最强，小麦次之，最弱的是玉米。

此外，同种谷类作物对不同重金属元素的敏感性排序几乎无稳定规律，是土壤性质、气候情况、作物品种等多种因素共同作用的结果，但从其富集系数来看，总体而言， Cd、Pb、Hg、As、Cr等5种重金属元素之间基本不会出现数量级的差异。

**专题二：不同种类蔬菜对土壤重金属污染物的敏感性排序**

我国蔬菜种类众多，对土壤重金属的富集能力差异很大。通过对文献资料的梳理，对广东、山东、浙江等地的蔬菜样品进行统计分析，其对土壤Cd、Pb、Hg、As、Cr等5种重金属的敏感性排序总结如下：

一般而言，叶菜类蔬菜对土壤重金属的敏感性要明显高于其他蔬菜。此外，对于镉、砷、铬而言，根茎类一般强于茄果类，但是对于铅和汞而言，茄果类和根茎类的敏感性依地区表现出很大的差异性。考虑到大田条件下，上述两种元素会有一定比例的起源污染干扰，而盆栽条件下结果差异较大，因此，很难判断其富集能力排序。

蔬菜对于镉、砷的吸收能力比较强，对于铅、汞，随其试验所在地区不同而表现出很大的差异性，对于铬的吸收一般较弱。

**专题三：不同种类水果对土壤重金属污染物的敏感性排序**

水果重金属污染相关的报道较少，但从总体上看，草本植物对于土壤重金属的敏感性明显强于木本植物。此外，重金属在水果体内器官中的分配累积顺序均为根>枝>叶>果实，且各器官间含量均差异显著。

**专题四：茶叶对土壤重金属污染物的敏感性排序**

选择国内多个茶园为研究对象，结果表明，同一生境下不同茶树品种，铅在茶树中含量从根部至嫩叶自下而上依次递减。茶树各部位重金属含量与土壤重金属含量间有极显著正相关关系。研究认为，进入茶树的重金属元素大部分被根固定，但其在茶树体内还是具有一定迁移能力的，迁移到新梢中的重金属含量与土壤外源添加量呈显著正相关。此外，复合污染下，重金属Cd对吸收根、嫩茎、春茶、夏茶累积Pb的能力具有协同作用。

**专题五：不同油料作物对土壤重金属污染物敏感性排序**

通过对文献资料中大豆、花生、油菜、蓖麻、油葵等油料作物累积重金属性能的分析，我们发现，油料作物对镉、砷的富集能力较强，对铅、铬的富集能力较弱。特别是，在较为严重的污染地区，油料作物对镉、砷的富集能力甚至会超过禾谷类作物。此外，不同油料作物根中重金属向籽粒迁移最大的是蓖麻。

**专题六：不同种类糖料作物对土壤重金属污染物的敏感性排序**

糖料作物主要包括甜菜和甘蔗。目前，关于甜菜吸收重金属的报道较少，因此，选择甘蔗作为专题研究的主要对象进行分析。相关结果显示，随着甘蔗的生长,其体内As和Pb分布为：根>叶>茎,而Cd为：根>茎>叶。不同甘蔗品种对不同重金属吸收能力具有一定的差异性，但整体来说差异性较弱。蔗茎中Pb、As和Cd的含量以及叶中Cd含量均表现为成熟后期的含量高于成熟前期的含量,宿根蔗的含量高于新植蔗的含量；叶中Pb和As的含量均表现为成熟后期的含量低于成熟前期的含量,宿根蔗的含量低于新植蔗的含量。

**第二部分 土壤重金属活性的影响因素**

**专题七：土壤理化性质对土壤重金属活性的影响**

通过查阅大量文献资料，从土壤pH、有机质、阳离子交换量和机械组成四个方面，梳理土壤理化性质对土壤中镉、汞、砷、铅、铬等重金属活性的影响。

对于土壤pH而言，①随土壤pH不断增大，土壤镉的释放量逐渐减少，大致可分为三个阶段，第一阶段是pH<6，随土壤pH不断增大，镉释放量快速降低；第二阶段是从pH=6至pH=8，土壤镉释放量几乎不随pH变化而变化；第三阶段是pH>8，镉释放量随土壤pH增加第二次快速降低。②当土壤pH在1～8范围内随pH增加土壤对汞的吸附量也增加，但当pH>8时，对土壤吸附汞量的影响较小。③在酸性条件下，pH值对砷吸附的影响不大，而当pH升高到一定程度时，砷吸附量随pH增加而锐减。因此，在pH-砷吸附的关系曲线中，都有一个拐点，拐点的pH值在5.5-6.5之间。④在较低pH 值时，溶液中的铅离子呈阳离子状态，由于H+离子浓度较高，土壤对铅离子的吸附效果较差；随着体系pH 的升高，土壤对铅吸附量表现出增大趋势。⑤一般认为土壤对Cr（Ⅵ）的吸附量随pH 值升高而减少。然而，在酸性介质中由Cr（Ⅵ）转化为Cr（Ⅲ）有利，在碱性介质中，由Cr（Ⅲ）转化为Cr（Ⅵ）较为有利。因此，考虑土壤pH与铬活性的关系不仅要考虑吸附作用，更要分析氧化还原过程的影响。现有研究表明，Cr（Ⅵ）在中碱性条件下在土壤中的迁移性很强。

对于土壤有机质而言，有机质对重金属离子的作用，主要是离了交换吸附和络合作用，因此，有机质对重金属离子具有很强的吸附作用。据报道，Pb、Cd、Hg、As、Cr等5种重金属的离子交换态与有机质均呈负相关关系。除交换态外，有机质与重金属其他形态负相关关系不明显，总体呈正相关关系。特别是，有研究表明，在一定土壤条件和时间限制下，土壤有机质增加1%，汞的固定率可提高30%。

对于土壤阳离子交换量而言，CEC反映了土壤胶体的负电荷量，CEC越高，负电荷量越高，通过静电吸引而吸附的重金属离子也越多。其中，Pb、Cd、Hg、As、Cd等 5种重金属与CEC呈明显正相关关系的有：Cr的强有机结合态和残渣态，As的离子交换态、腐植酸结合态、残渣态，Hg的腐植酸结合态、残渣态。CEC和5种重金属元素的水溶态和残渣态均呈正相关关系。

对于土壤机械组成而言，一般地说，土壤矿物粒径越小，与重金属结合越稳定，越不易解吸或挥发，因此，土壤质地越粘，矿质结合重金属的活性就越低；土壤质地越粗，土壤重金属临界含量就越低。其中，小于0.001mm粒径的粘粒质量分数与重金属在土壤中的富集量呈显著正相关。

**专题八：水稻籽粒中重金属含量与土壤pH之间的关系**

水稻对Cd的吸收和积累主要受土壤中有效态Cd含量的影响。大量研究表明，在水稻生长适应的酸碱度范围内，随pH值增大，有效态Cd含量降低，水稻吸收和积累的Cd也减少。铅、汞等元素也表现出相似的规律性，但一定条件下，水稻籽粒中砷的含量随pH增大而增加。

**专题九：小麦籽粒中重金属含量与土壤pH之间的关系**

通过对我国若干小麦主产区的数据比对发现，全部重金属元素的富集系数与土壤pH 值均成负相关关系, 其中Zn 和Ni 的富集系数与土壤pH 值的相关系数最大, Cd、Cu、Pb、Cr 与土壤的相关系数很小。由于所选样本大多来自山东、河南、河北等中碱性土壤条件，因此，所得结果受pH 值的影响较小。此外，以酸性条件下小麦监测数据进行拟合，其籽粒重金属含量受pH的影响程度明显增强。

**专题十：玉米籽粒中重金属含量与土壤pH之间的关系**

一般认为，提高土壤pH,能够显著降低土壤有效态重金属含量,并抑制茎叶Cd、Cu、Pb、Hg等重金属向玉米籽粒的转移,从而造成玉米籽粒重金属含量的降低。此外，通过关系模型的建立和分析，发现土壤pH是控制玉米籽粒吸收Cd、Cr、Hg等重金属元素的主要因素，土壤pH和有机质是控制玉米籽粒吸收Pb的主要因素。

**专题十一：水稻籽粒中重金属含量与土壤有机质、阳离子代换量（CEC）、质地（土壤机械组成）之间的关系**

土壤有机质含量对土壤中重金属生物有效性有着深刻的影响，其含量的多少影响着重金属元素的吸附、络合性能，进而影响土壤中重金属的移动性及其生物有效性，影响水稻对重金属的吸收。此外，亦有研究发现，有机质对水稻重金属吸收的影响还可以通过增强水稻抗逆能力减少重金属从土壤向籽粒中的迁移。

土壤阳离子代换量和粘粒含量与水稻对Cd的吸收呈显著负相关，这种现象，可能是因为阳离子代换量低，粘粒含量少，土壤对Cd的吸附较少，增大了土壤溶液中Cd的浓度而造成的。

土壤颗粒对稻米重金属元素含量有一定的影响，稻米Cd、Pb、Cr和Ni含量高低与水稻土细颗粒结果有关，即土壤颗粒越细，稻米Cd、Pb、Cr和Ni含量相对越高，而稻米Zn含量与较粗颗粒的土壤有关。

**专题十二：小麦籽粒中重金属含量与土壤有机质、阳离子代换量（CEC）、质地（土壤机械组成）之间的关系**

对于小麦产地而言，土壤Cd的生物有效性受有机质影响较大；Cu的生物有效性受有机质的影响最大，受全盐量和PH值的影响很小；Pb的生物有效性主要受有机质的影响；Zn的生物有效性主要受PH值的影响，其次受全盐量的影响；Cr的生物有效性主要受全盐量的影响，其次受PH值的影响；Ni的生物有效性主要受有机质的影响，其次受PH值影响。

对不同潮土土壤质地上小麦穗实中重金属的富集系数进行比较：Cd和Ni在砂质潮土和壤质潮土中的富集系数较高，在粘质潮土中的富集系数较低；Cu、Pb和Cr在砂质土中富集系数最高，粘质土中富集系数最低，壤质土中含量居中，表现为，粒度越细，含量越低；Zn在壤质潮土中的富集系数最高，在砂质潮土上的富集系数最低。

**专题十三：玉米籽粒中重金属含量与土壤有机质、阳离子代换量（CEC）、质地（土壤机械组成）之间的关系**

据相关文献研究结果显示，在低浓度处理和高浓度处理中玉米籽粒中重金属的富集与土壤 pH 均呈现出显著的负相关关系，但与土壤有机质和 CEC 间无显著的相关性。只有铅是例外，其富集能力与土壤pH和土壤有机质均相关。

**第三部分 分级评价基础素材**

**专题十四：土壤农产品一对一监测数据收集整理**

查找农业部环境监测总站历年积累的农田环境监测数据，以及摘录近10年（不同年份同一区域的取最近年份）不同区域（同一区域同一地点不同文献报道的不得重复）针对大田监测所报道的文献中土壤和农产品食用部分Pb、Cd、Hg、As、Cr各个污染物的测定情况。

根据我部多年来的调查，我国农产品产地土壤重金属污染总体超标率约为10%，主要区域分布在：工矿企业周边农区、污水灌区、大中城市郊区和南方酸性水稻土区。广大农区污染程度较轻，北方中、碱性土壤区问题不大，但一些高投入的设施蔬菜基地问题不容小觑。就污染物种类和污染程度而言，在所做出评价的8种重金属元素中，镉污染最为普遍，其次是砷、汞，再次是铜、铅，其余超标率较低。工矿企业周边农区污染物种类因企业而异，相对的超标污染物种类较少，但超标倍数很高；污水灌区污染物种类因污水来源而异，超标污染物数量、超标倍数等因水污染程度和污灌时间变化较大；大中城市郊区主要受城市垃圾、污水和畜禽粪便污染影响，一般污染物种类相对较多，但超标倍数较低。

农产品方面，稻米镉超标问题较为严重，铅、无机砷、汞、铬也存在一定程度超标；小麦重金属污染情况总体较轻，属于偶发状态，但在局部地区镉超标相对突出；玉米铅超标较严重，但其耐镉污染能力强。蔬菜存在铅、镉超标现象，总体超标不严重。但叶菜类和根菜类等部分品种重金属超标相对突出，局部地区超标问题较为严重。

**专题十五：土壤重金属污染评价（评估）方法的收集整理**

收集整理了目前各种土壤污染评价（评估）分析方法，指出各个方法适用条件与范围；评价（评估）计算公式，公式中各个符号的准确含义和要求；有常数的，指出常数的取值范围或要求等。共计，梳理了现有的4大类22种土壤重金属评价方法，并将其优缺点、适用范围等信息汇总成表。

**专题十六：必备基础图件的搜集整理**

搜集了全国分县行政区划图、综合自然区划图、种植业区划图、pH值分布图、有机质分布图、CEC分布图、污染源分布图、成矿带分布图、背景值图、土地利用类型图、土壤类型图等图件。对纸质版图件进行数字化，所有图件统一了坐标和投影。

**专题十七：土壤及农产品重金属污染与自然及社会经济发展状况关系研究**

土壤重金属大多数或在相当大的程度上随土壤类型由南向北、由东向西分布而分异,具有一定的地带性分异特征。Cd、Cu是由南到北、由东到西增大；而As则相反。

此外，土壤中重金属会随着土壤水分、土壤表面径流等产生迁移，或者土壤中重金属挥发入大气后随风力迁移，或大气中重金属随风力迁移沉降入土壤等，这些都会造成土壤重金属含量的空间分布差异。

还有，土地利用、耕作、灌溉、矿业污染、工业污染、交通污染、废弃物的堆放等均会影响土壤中重金属的含量。若土壤中长期种植对重金属吸收能力较强的作物，那么土壤中重金属含量则会逐渐降低，若土壤受到污水灌溉，则受污水灌溉的土壤中重金属含量增高。区域农田土壤中金属含量也会受到其他人为活动例如交通的影响，多种重金属在土壤表层明显富集的现象与人口密集区、工矿业区存在密切相关性。加之，城市化快速发展地区由于人类活动的长期影响使得土壤中重金属元素的相对富集，人为因素对于土壤产生的外来作用不可忽视。

# 附件7 技术规定编制过程中咨询的专家名单

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **姓名** | **单位** | **职称** | **研究方向** | **咨询次数** |
| 1 | 陈怀满 | 中国科学院南京土壤研究所 | 研究员 | 环境化学 | 2 |
| 2 | 郭书海 | 中国科学院沈阳应用生态研究所 | 研究员 | 区域污染防治与环境地理信息系统 | 5 |
| 3 | 胡克林 | 中国农业大学 | 教授 | 土壤质量时空变异 | 1 |
| 4 | 黄道友 | 中国科学院亚热带农业生态研究所 | 研究员 | 农田环境保育与污染土壤防控 | 1 |
| 5 | 纪雄辉 | 湖南省土壤肥料研究所 | 研究员 | 农业环境与植物营养 | 1 |
| 6 | 李文西 | 扬州市土壤肥料站 | 高级农艺师 | 农业信息技术 | 5 |
| 7 | 李颖明 | 中国科学院科技政策与管理科学研究所 | 副研究员 | 绿色低碳发展战略与政策 | 3 |
| 8 | 李岳 | 南开大学 | 副教授 | 数据挖掘与分析 | 2 |
| 9 | 梁成华 | 沈阳农业大学 | 教授 | 土壤环境与生态 | 2 |
| 10 | 梁永红 | 江苏省农业环境监测与保护站 | 研究员 | 农田土壤环境治理 | 1 |
| 11 | 刘凤枝 | 农业部环境保护科研监测所 | 研究员 | 农田环境监测 | 3 |
| 12 | 刘钦云 | 湖南省农业资源与环境保护管理站 | 研究员 | 农田土壤环境治理 | 1 |
| 13 | 刘绍贵 | 扬州市土壤肥料站 | 高级农艺师 | 农业信息技术 | 2 |
| 14 | 刘潇威 | 农业部环境保护科研监测所 | 研究员 | 农田环境监测 | 1 |
| 15 | 刘扬 | 中国科学院科技政策与管理科学研究所 | 副研究员 | 可持续发展管理学 | 1 |
| 16 | 刘仲齐 | 农业部环境保护科研监测所 | 研究员 | 农田环境生态毒理 | 1 |
| 17 | 陆安祥 | 国家农业信息化工程技术研究中心 | 副研究员 | 遥感监测技术 | 4 |
| 18 | 马锦秋 | 南开大学 | 教授 | 分析化学 | 2 |
| 19 | 马义兵 | 中国农科院农业资源和农业区划研究 | 研究员 | 土壤重金属环境风险评价和治理 | 3 |
| 20 | 史国良 | 南开大学 | 副教授 | 环境数学模型 | 5 |
| 21 | 铁柏清 | 湖南农业大学 | 教授 | 环境生态毒理 | 1 |
| 22 | 王纪华 | 国家农业信息化工程技术研究中心 | 研究员 | 信息技术与作物栽培生理的集成 | 2 |
| 23 | 王玮 | 南开大学 | 副教授 | 数据挖掘与分析 | 2 |
| 24 | 王毅 | 中国科学院科技政策与管理科学研究所 | 研究员 | 可持续发展公共政策及发展战略研究 | 1 |
| 25 | 许皞 | 河北农业大学 | 教授 | 农业地质 | 1 |
| 26 | 杨新萍 | 南京农业大学 | 副教授 | 环境污染控制 | 2 |
| 27 | 张月平 | 扬州市土壤肥料站 | 研究员 | 农业信息技术 | 7 |
| 28 | 赵方杰 | 南京农业大学 | 教授 | 环境生物学与植物营养学 | 2 |

# 附件8 “农产品产地土壤重金属污染控制研究”问卷调查

**“农产品产地土壤重金属污染控制研究”调查问卷**

您好，我们是农产品产地土壤重金属污染防治工作团队，感谢您在百忙之中接受这份调查问卷。

本问卷旨在为进一步完善农产品产地土壤重金属污染控制研究，为后续土壤重金属污染治理以保障农产品安全提供更加可靠、详实的数据分析材料，同时也为组织吸引更多专家学者及在各个方面关注农产品安全的有识之士参与到该项工作中来。填写该问卷，一定会耽误您的宝贵时间，我们将以最大的努力争取给予您最为满意的回报。在此，首先向您对该项调研做出的努力表示诚挚的感谢。恭候您的回复！

以下是希望您填写的内容：

**工作单位：**□高等院校 □科研机构 □政府机关 □监测机构 □其他

**本人学历：**□本科 □硕士研究生 □博士研究生 □其他

重金属污染所熟悉**领域**（可多选）：

□教学 □环境监测 □机理研究 □污染防治 □环境管理

□产品开发 □其他

**据您所了解或掌握的信息，希望完成对以下问题的回答**（不填，我们将视为不了解或不掌握）**：**

1、您所熟悉的农田重金属污染区域是（尽可能具体） ，主要的重金属污染物为 ，主要的超标农产品为 。

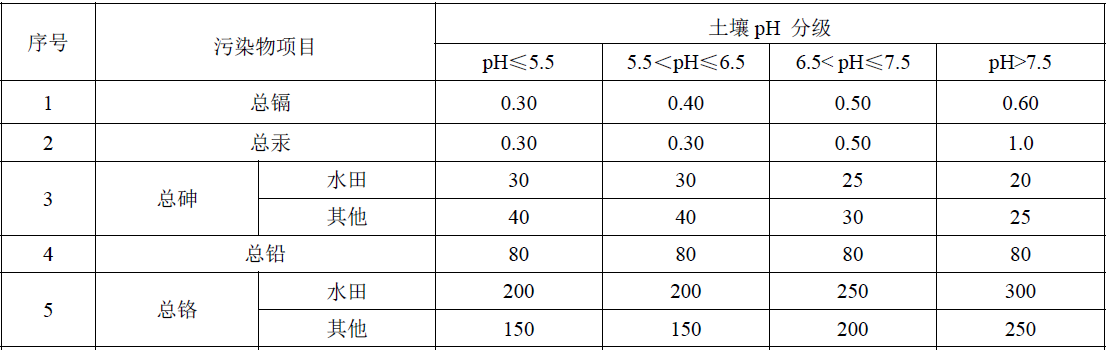
2、对于环保部日前提出的《农用地土壤环境质量标准》（征询意见稿）：

（1）农用地土壤环境质量按土壤pH划分为四档是否合适？

□A.合适 □B.不合适

如果您认为“不合适”，您认为合适的分档方法是 ，应考虑的其他指标有 。

（2）以下对农用地重金属标准限量值的设定是否合理？



汞：□过严 □偏严 □基本合理 □偏宽 □过宽

镉：□过严 □偏严 □基本合理 □偏宽 □过宽

铅：□过严 □偏严 □基本合理 □偏宽 □过宽

铬：□过严 □偏严 □基本合理 □偏宽 □过宽

砷：□过严 □偏严 □基本合理 □偏宽 □过宽

*\*\*严，指所给标准数值小了，应该增大；宽，指所给标准数值大了，应该减小。*

3、就您所掌握的数据信息，对于南方酸性土壤：

（1）当土壤中镉的含量超过 mg/kg时，会造成大面积稻米镉超标；

（2）对于土壤镉浓度为0.3～1.0mg/kg的污染地区，选用低积累品种及增加淹水时间以降低水稻对镉的吸收时，适用该方法的土壤镉的含量不能大于

mg/kg。该方法对水稻产量的影响是□增加 □减少 □几乎不变；

（3）您认为当土壤镉含量高于 mg/kg时，必须使用钝化修复方法方可使农产品达标，您推荐使用的钝化剂为 ？材料成本约 元/（亩·年）。

（4）您认为当稻米镉含量最高为 mg/kg时，可采用喷施叶面肥方法使农产品达标，您推荐使用的叶面肥为 ？材料成本约 元/（亩·季）。

（5）您认为当土壤镉含量高于 mg/kg时，必须使用高富集植物移除法以降低耕地土壤中镉的含量？推荐使用的高富集植物为 ，材料成本约 元/（亩·年）， 年可使土壤镉含量下降到0.3mg/kg以下。

（6）您认为解决酸性水稻土区稻米镉含量超标问题的最佳技术措施为：

A.

B.

C.

*\*\*参考数据：根据现行标准，土壤(pH<6.5)中镉的限量值为0.3 mg/kg，稻米中镉的限量值为0.2 mg/kg。*

4、就您所掌握的数据信息，对于北方中碱性土壤：

（1）引起农产品超标的重金属突出污染物有： ，超标的主要农产品有： 。

（2）当土壤中的：

A. 重金属镉含量超过 mg/kg时，会造成农产品 超标，超标地点为 ，超标面积约 亩，土壤pH值为 ;

B. 重金属汞含量超过 mg/kg时，会造成农产品 超标，超标地点为 ，超标面积约 亩，土壤pH值为 ;

C. 重金属铅含量超过 mg/kg时，会造成农产品 超标，超标地点为 ，超标面积约 亩，土壤pH值为 ;

D. 重金属铬含量超过 mg/kg时，会造成农产品 超标，超标地点为 ，超标面积约 亩，土壤pH值为 ;

E. 重金属砷含量超过 mg/kg时，会造成农产品 超标，超标地点为 ，超标面积约 亩，土壤pH值为 。

5、重金属从土壤向作物的迁移过程中：

对**镉**影响最显著的土壤理化性质（自选三个以下）的排序是 ；

对**汞**影响最显著的土壤理化性质（自选三个以下）的排序是 ；

对**铅**影响最显著的土壤理化性质（自选三个以下）的排序是 ；

对**砷**影响最显著的土壤理化性质（自选三个以下）的排序是 ；

对**铬**影响最显著的土壤理化性质（自选三个以下）的排序是 。

土壤理化性质主要指：（A）pH （B）有机质 （C）阳离子交换量 （D）土壤质地 （E）其它 。

6、您认为同样的土壤污染条件下，最容易超标的食用性农产品的排序（按食用部分）是：

镉污染为主的土壤，农产品超标的排序是 ；汞污染为主的土壤，农产品超标的排序是 ；铅污染为主的土壤，农产品超标的排序是 ；砷污染为主的土壤，农产品超标的排序是 ；铬污染为主的土壤，农产品超标的排序是 ；主要农产品指：（A）水稻 （B）小麦 （C）玉米 （D）杂粮 （E）油料作物（F）糖料作物（G）叶菜类蔬菜（H）根菜类蔬菜（I）茎菜类蔬菜（J）花菜类蔬菜（K）果菜类蔬菜（L）草本性水果（M）木本性水果（N）茶叶

*\*\*请从以上农产品中选出您所了解的农产品并进行排序。*

7、您认为在重度污染区实施种植结构调整，最严重的**三个方面**阻力来自于：

□农户不愿意改变现有种植习惯  □农民对于收入降低的担忧

□留守农民难以学习新的种植技术  □新作物的配套产业链不完善

□政府部门粮食产量指标的压力  □相应技术培训和指导不到位

8、据您了解，在环保部发布的《污染场地土壤修复技术应用指南》中，其16种修复技术，哪些可直接应用于农用地 ，其成本可以承受吗？□可以 □不可以

其16种修复技术为：（1）土壤混合/稀释技术（2）填埋法（3）固化稳定化技术（4）土壤淋洗技术（5）化学萃取技术（6）土壤气相抽提技术（7）热解吸修复技术（8）焚烧（9）微生物降解（10）生物通风（11）生物堆（12）泥浆相生物处理（13）植物修复技术（14）氧化还原技术（15）电动力学修复技术（16）玻璃化

# 附件9 《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》重要事件簿

2012年3月 全国农产品产地土壤重金属污染防治工作在北京启动；

2012年5月 完成普查基础资料调查系列表格的设计和培训；

2012年9月-2013年12月 调研国内外现有的土壤重金属污染防治相关法律法规及限量标准；

2014年3月 农业部环境监测总站成立《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》编写组；

2014年4月-2014年9月 搜集产地土壤和农产品一对一监测数据，以及相关基础数据和图件；

2014年10月 以酸性条件下水稻产地镉污染为例，探索评估方法，形成《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》（草稿）及演示案例；

2014年11月-2014年12月 征询专家意见，调整思路，确定以单因子指数法和物种敏感性分布法相结合作为分级评估核心方法；

2015年3月-2015年6月 利用搜集的监测数据，完成数据分析，编制《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》（征询意见稿）；

2015年7月 召开两次农产品产地土壤重金属安全评估方法研讨会，修订方案，并形成《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》（专家论证稿）及其编制说明；

2015年9月 通过《全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定》专家论证。

2015年10月 农业部办公厅正式发文（农办科【2015】42号）。

# 附件10 参考初选值测算依据（附图）

**水稻-酸性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-酸性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-酸性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-酸性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-酸性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-中性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-中性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-中性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-中性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-中性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-碱性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-碱性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-碱性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-碱性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**水稻-碱性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-酸性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-酸性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-酸性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-酸性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-酸性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-中性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-中性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-中性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-中性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-中性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-碱性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-碱性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-碱性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-碱性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**小麦-碱性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-酸性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-酸性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-酸性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-酸性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-酸性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-中性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-中性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-中性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-中性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-中性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-碱性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-碱性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-碱性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-碱性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**玉米-碱性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-酸性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-酸性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-酸性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-酸性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-酸性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-中性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-中性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-中性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-中性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-中性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-碱性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-碱性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-碱性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-碱性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**叶菜类蔬菜-碱性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-酸性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-酸性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-酸性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-酸性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-酸性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-中性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-中性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-中性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-中性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-中性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-碱性-镉**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-碱性-汞**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-碱性-砷**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-碱性-铅**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

**根茎类蔬菜-碱性-铬**

**数据分布图**

**样本测算图**

**样本验证图**

1. 国冬梅、张立、周国梅.重金属污染防治的国际经验与政策建议[J].环境保护.2010（1），74-75. [↑](#footnote-ref-2)
2. 安桂林、林琳.重金属污染防治法律问题的思考[J].经济与法.2012（2）,54. [↑](#footnote-ref-3)
3. 国冬梅、张立、周国梅.重金属污染防治的国际经验与政策建议[J].环境保护.2010（1），74-75. [↑](#footnote-ref-4)
4. 史玉成.论环境保护公众参与的价值目标与制度构建[J].法学家，2005（1）. [↑](#footnote-ref-5)
5. 张国印，王丽英，孙世友，王志军：《土壤的重金属污染及其防治》，载《河北农业科学》2003年9月第7卷，第59页。 [↑](#footnote-ref-6)
6. 杨苏才,南忠仁,曾静静：《土壤重金属污染现状与治理途径研究进展》，载《安徽农业科学》2006年34卷第3期，第549页。 [↑](#footnote-ref-7)
7. Environment agency:Science Report SC050021/ arsenic SGV,2009 [↑](#footnote-ref-8)
8. Environment agency:Soil guideline values for lead contamination，2004 [↑](#footnote-ref-9)
9. Environment agency:Science Report SC050021 / Cadmium SGV ，2009 [↑](#footnote-ref-10)
10. Environment agency: Science Report SC050021 / Selenium SGV，2009 [↑](#footnote-ref-11)
11. Environment agency: Science Report SC050021 / Mercury SGV,2009 [↑](#footnote-ref-12)
12. Environment agency:Science Report SC050021 / Nickel SGV，2009 [↑](#footnote-ref-13)
13. [刘志全](http://search.cnki.com.cn/Search.aspx?q=author:刘志全)，[石利利](http://search.cnki.com.cn/Search.aspx?q=author:石利利)，[刘济宁](http://search.cnki.com.cn/Search.aspx?q=author:刘济宁)：《英国的土壤污染指导性标准》，载《环境保护》2006年17期，第78页。 [↑](#footnote-ref-14)
14. OSWER Directive 9285.7-62，2005 [↑](#footnote-ref-15)
15. OSWER Directive 9285.7-65,2005 [↑](#footnote-ref-16)
16. OSWER Directive 9285.7- 66，2005 [↑](#footnote-ref-17)
17. OSWER Directive 9285.7-70，2005 [↑](#footnote-ref-18)
18. The 2004 version of the Region 9 PRG Table，考虑直接暴露途径 [↑](#footnote-ref-19)
19. 于国光，张志恒，叶雪珠，杨桂玲，张永志，赵首萍：《关于我国土壤环境标准的思考》，载《现代农业科技》2010年第9期，第291页。 [↑](#footnote-ref-20)
20. ANNEXES Circular on target values and intervention values for soil remediation，2000 [↑](#footnote-ref-21)
21. 高丽丽：《土壤污染防治法律制度研究》，载山东大学硕士学位毕业论文，2010 年3 月 ，第17页。 [↑](#footnote-ref-22)
22. Soil Contamination Countermeasures，http://www.env.go.jp/en/water/soil/contami\_cm.pdf [↑](#footnote-ref-23)
23. 土壤溶出标准：soil leachate standards 指土壤淋洗重金属含量，主要考虑对地下水的影响。 [↑](#footnote-ref-24)
24. http://www.env.go.jp/en/water/soil/sp.html [↑](#footnote-ref-25)
25. 于国光，张志恒，叶雪珠，杨桂玲，张永志，赵首萍：《关于我国土壤环境标准的思考》，载《现代农业科技》2010年第9期，第291页。 [↑](#footnote-ref-26)
26. 刘凤枝，师荣光，徐亚平，蔡彦明，刘 铭，战新华，王跃华，刘保锋，赵玉杰，郑向群：《农产品产地土壤境质量适宜性评价研究》，载《农业环境科学学报》2007年第26卷第1期，第8页。 [↑](#footnote-ref-27)
27. 秦天宝：《德国土壤污染防治的法律与实践》，载《国际眺望》2007年第5期，第69页。 [↑](#footnote-ref-28)
28. 王绛辉，陈 凯，马义兵，刘洪对：《土壤环境质量标准的有关问题探讨》，载《山东农业科学》2007年第5期，第132页。 [↑](#footnote-ref-29)