

DOI: 10.11766/trxb202009220533

胡文友, 陶婷婷, 田康, 赵永存, 黄标, 骆永明. 中国农田土壤环境质量管理现状与展望[J]. 土壤学报, 2021, 58(5): 1094–1109.  
HU Wenyu, TAO Tingting, TIAN Kang, ZHAO Yongcun, HUANG Biao, LUO Yongming. Status and Prospect of Farmland Soil Environmental Quality Management in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 58(5): 1094–1109.

## 中国农田土壤环境质量管理现状与展望\*

胡文友<sup>1</sup>, 陶婷婷<sup>1</sup>, 田康<sup>1</sup>, 赵永存<sup>2</sup>, 黄标<sup>1†</sup>, 骆永明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘要:** 农田土壤环境质量保护与管理是保障粮食安全和农业可持续发展的重要前提。近年来, 随着我国社会经济的快速发展, 农田土壤环境质量退化和土壤污染问题逐渐凸显。经过几十年的努力, 我国目前基本形成以“土壤污染防治法”和“土壤污染防治行动计划”为核心政策, 相关配套管理办法、标准和技术规范等为基础的土壤环境质量管理体系。本文简要梳理了我国农田土壤环境质量状况与污染成因, 回顾了我国农田土壤环境保护及环境管理的发展历程, 总结了我国农田土壤环境质量管理与标准体系建设的最新进展, 对比分析了农田土壤环境管理的国际经验, 针对性地提出了我国农田土壤环境管理的对策与展望, 以期为我国农田土壤环境质量管理及污染防控提供参考和借鉴。

**关键词:** 农田; 环境管理; 土壤污染防治; 标准体系; 国际经验

中图分类号: X53 文献标志码: A

## Status and Prospect of Farmland Soil Environmental Quality Management in China

HU Wenyu<sup>1</sup>, TAO Tingting<sup>1</sup>, TIAN Kang<sup>1</sup>, ZHAO Yongcun<sup>2</sup>, HUANG Biao<sup>1†</sup>, LUO Yongming<sup>1</sup>

(1. CAS Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. State Key Laboratory of Soil & Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** The protection and management of environmental quality in farmland soils is an important prerequisite for food security and sustainable agricultural development. In recent years, with the rapid development of China's society and economy, the problems of degradation of farmland soil quality and soil pollution have become increasingly prominent. After decades of efforts, China has established a soil environmental quality management system with the “Law on Prevention and Control of Soil Pollution” and the “Action Plan for the Prevention and Control of Soil Pollution”. These are the core policies and relevant supporting management methods, standards and technical specifications. This paper briefly (i) states the status and causes of

\* 江苏省生态环境厅环保科研课题(2018013)、国家自然科学基金项目(41877512)、广东省重点研发计划项目(2020B0202010006)和中国科学院青年创新促进会会员项目(2019312)资助 Supported by the Environmental Protection Research Project of Department of Ecology and Environment of Jiangsu Province (No. 2018013), the National Natural Science Foundation of China (No. 41877512), the Key-Area Research and Development Program of Guangdong Province (No. 2020B0202010006), and the Youth Innovation Promotion Association of the Chinese Academy of Sciences (No. 2019312)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: bhuang@issas.ac.cn

作者简介: 胡文友(1983—), 男, 安徽淮南人, 博士, 副研究员, 主要从事区域土壤污染空间过程与风险管理研究。E-mail: wyhu@issas.ac.cn

收稿日期: 2020-09-22; 收到修改稿日期: 2021-02-26; 网络首发日期(www.cnki.net): 2021-03-10

degradation of environmental quality in farmland soils, (ii) reviews the development process of farmland soil environmental protection and environmental management, (iii) summarizes the latest progress of farmland soil environmental quality management and standard system construction in China, (iv) compares and analyzes the international experience of farmland soil environmental management, and (v) proposes strategies and prospects of environmental management of farmland soils in China. This study can provide references for China's farmland soil environmental protection, pollution control and environmental management.

**Key words:** Farmland; Environmental management; Prevention and control of soil pollution; Standard system; International experience

近年来,随着人们对环境问题的不断重视,土壤环境保护开始越来越多地受到政府和民众的关注。由于我国土壤环境保护和污染防治工作长期没有得到应有的重视,潜在的土壤环境问题逐渐凸显,对土壤环境质量、农产品安全和人体健康均造成严重威胁<sup>[1-3]</sup>。加强农田土壤环境质量管理是我国土壤环境保护的一项基础性工作,关系到国家农产品质量安全及人民群众身体健康,具有非常重要的现实意义。农田土壤环境质量保护与管理是有效降低农田土壤污染风险,保障国家粮食安全和农业可持续发展的基础,也是扎实推进国家净土保卫战的重要前提<sup>[4-5]</sup>。围绕土壤环境保护和土壤污染防治,我国相继发布了《土壤污染防治行动计划》(简称“土十条”)、《中华人民共和国土壤污染防治法》、《农用地土壤环境管理办法(试行)》、《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》等重要法律法规及标准体系,为我国农田土壤环境保护与风险管理提供了有效的法律依据和制度保障。

虽然我国目前已基本形成以“土壤污染防治法”和“土壤污染防治行动计划”为核心政策,相关配套管理办法、标准和技术规范等为基础的土壤环境管理体系,但由于我国土壤污染防治工作起步较晚,各项工作基础薄弱,农田土壤污染防治形势依然严峻,相关政策和标准体系尚需进一步健全和完善。本文系统回顾了我国农田土壤环境质量管理历程,总结了我国当前农田土壤环境质量管理现状,并结合发达国家农田土壤环境管理经验,提出了我国农田土壤环境质量管理的发展与展望。通过对我国农田土壤环境质量管理历程及相关背景的梳理和分析,有助于全面了解我国农田土壤环境质量管理现状、需求及存在的主要问题,以期“十四五”国家农田土壤环境管理政策和标准体系的健全和完

善提供参考和决策依据。

## 1 我国农田土壤环境质量状况及其污染成因

我国近年来的快速工业化、城镇化和高强度农业利用等强烈人为活动导致部分区域农田土壤污染问题逐渐凸显。2014年发布的《全国土壤污染状况调查公报》,显示全国土壤环境状况总体不容乐观,部分地区土壤污染较为严重。从污染分布情况看,南方土壤污染重于北方;长江三角洲、珠江三角洲、东北老工业基地等部分区域土壤污染问题较为突出,西南、中南地区土壤重金属超标范围较大。耕地土壤环境质量堪忧,耕地点位超标率为19.4%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为13.7%、2.8%、1.8%和1.1%,主要污染物为镉、镍、铜、砷、汞、铅、滴滴涕和多环芳烃<sup>[6]</sup>。2015年发布的《中国耕地地球化学调查报告》,显示在占全国耕地总面积69%的0.92亿公顷调查耕地面积中,污染耕地占全部调查耕地面积的8%,部分地区,尤其是南方地区耕地重金属超标现象有所增加<sup>[7]</sup>。同时,由于紧张的土地资源和农产品的强烈需求,我国土地利用强度异常高。农田土壤的高强度利用,肥料、农药、农膜等农用投入品的高投入不仅导致农田土壤重金属、农药积累量加重<sup>[8-11]</sup>,也引起农田土壤中抗生素、酞酸酯、微塑料等新型污染物含量增加<sup>[12-15]</sup>,严重影响农田土壤环境质量和农产品安全。我国自“土壤污染防治行动计划”实施以来,开展了一系列根本性、开创性、长远性的工作,推动土壤环境保护发生了历史性、转折性、全局性变化。虽然局部地区农田土壤污染时有发生,但总体上看,我国农田土壤环境质量呈现稳中向好的态势。

我国土壤污染的成因复杂,有自然背景高和人类活动影响两大方面。如我国西南地区土壤重金属背景值含量远高于全国土壤环境背景值平均水平<sup>[3]</sup>。而人类活动包括金属矿冶活动,各类涉及重金属和有机污染物的工业活动,城市和交通建设、农业的不合理和高强度利用等,这些因素交织在一起,使得土壤污染的成因异常复杂。生活垃圾、生活废水和工矿企业生产产生的三废(废水、废气和废渣)不合理排放堆放会对周边农田土壤环境质量造成影响。我国早期城市生活垃圾处理多以填埋为主,但在城镇和乡村缺乏卫生填埋,常以堆放或直接填坑处理,垃圾渗滤液含有大量重金属、有机污染物等有毒物质,随雨水渗流会对周边农田土壤造成严重危害<sup>[16]</sup>。早些年我国污水净化体系不健全,外加北方部分干旱地区农田灌溉用水紧张,未经达标处理的污水曾长期大量灌溉土壤,造成农田土壤大面积污染<sup>[17]</sup>。我国工业能源大多以煤、石油类为主,工业生产过程中部分金属元素和类金属元素随工业废气排放,最终沉降到地面进入农田土壤。目前,通过大气沉降进入农田土壤中的重金属已经成为我国部分区域农田土壤重金属的重要来源之一<sup>[18]</sup>。农业生产活动如污水灌溉、肥料、农药、农膜等农用投入品高投入以及畜禽养殖等也会对农田土壤环境造成威胁。据国家统计局数据显示,我国化肥施用折纯量、农药施用量以及农用塑料膜使用量在2016年以前一直呈逐年增加的趋势,自2016年实施化肥、农药零增长行动后,使用量才逐年下降<sup>[19]</sup>。我国化肥当季利用率只有33%左右,普遍低于发达国家50%的水平,农药有效利用率也只有35%左右<sup>[20]</sup>,加之农业生产中农膜、畜禽粪便等的大量使用,使

得部分农药、肥料、农膜进入和残留在土壤中,造成农田土壤农药、重金属、抗生素、微塑料和酞酸酯等多种污染物污染。

## 2 我国农田土壤环境保护与环境管理历程

我国土壤环境保护与环境管理虽然起步较晚,但一直与时俱进,不断顺应时代的发展。从新中国成立至今,根据我国农田土壤环境管理目标、重点及主要法规和标准的出台时间,土壤环境保护与土壤环境质量管理大致可以分为四个不同发展阶段(图1)。从最开始仅仅关注农田土壤肥力质量到同时关注土壤环境质量与污染,再到关注土壤污染防治、风险管理及分级分类管理,充分体现了我国土壤环境保护与环境管理的不断进步。

### 2.1 第一阶段: 主要关注土壤肥力质量 (1949—1978年)

新中国刚成立时面临稳固社会秩序、发展国民经济等许多问题,这些均与粮食生产有着紧密联系,但当时粮食产量严重不足,且粮食流通不畅<sup>[21]</sup>。在这种历史背景下,我国着重关注如何耕作以带来更大粮食产量问题,土壤肥力是当时重点研究课题。为了保障粮食产量,当时的中国不断提升化肥和农药的产量和使用量以促使亩产大幅增加。20世纪60年代开始,有机氯、有机磷等农药开始大量使用,但是随之而来的是由此产生的环境问题。1973年召开了全国第一次环境保护会议,会议提出加强对土壤和植物的保护,对农业病虫害的防治要推广综合

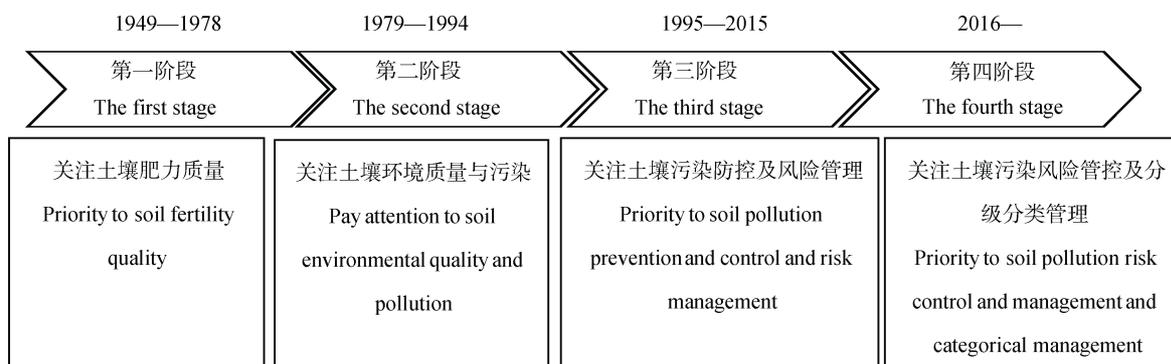


图1 我国土壤环境保护与环境管理发展历程

Fig. 1 Development of soil environmental protection and management in China

防治技术，减少化学农药污染。随后采取了一系列措施如全国重点区域污染源调查、环境质量评价、制定环境保护规划和计划、形成一系列环境管理制度，但是这些保护工作基本针对水、气、固废污染防治，土壤污染问题并未受到关注<sup>[22]</sup>。

## 2.2 第二阶段：开始关注土壤环境质量与污染（1979—1994年）

改革开放以来，随着国民经济和社会的迅速发展，中国的土壤环境保护也开始受到越来越多的重视。1983年第二次全国环境保护会议召开，会议将环境保护确立为我国基本国策，逐步形成和健全了我国环境保护政策和法规体系。1979年《中华人民共和国环境保护法（试行）》颁布，这是第一部涉及土壤污染防治、土壤环境保护的法律。1982年《中华人民共和国宪法》、1986年《中华人民共和国土地管理法》均包含了土地资源合理利用的规定。1989年4月召开了第三次全国环境保护会议，评价了当前的环境保护形势，总结了环境保护工作的经验，提出要加强制度建设，深化环境监管，向环境污染宣战，促进经济与环境协调发展。1989年12月《中华人民共和国环境保护法》正式颁布，环境保护法中正式提出关于土壤污染的相关规定。自1992年联合国环境与发展大会以后，世界进入可持续发展时代，环境原则成为经济活动中的重要原则。在这一阶段，农田土壤环境质量和污染防治问题开始得到关注。

## 2.3 第三阶段：开始关注土壤污染防控及风险管理（1995—2015年）

1995年我国出台了《土壤环境质量标准》（GB15618-1995），该标准在我国土壤环境保护和环境管理上发挥了重要作用。1996年召开了第四次全国环境保护会议，提出要大力建设农业系统各类保护区，积极防治农药和化肥污染。2005年国务院发布《国务院关于落实科学发展观 加强环境保护的决定》，明确要求“以防治土壤污染为重点，加强农村环境保护”。2008年，环境保护部发布《关于加强土壤污染防治工作的意见》，提出了强化土壤污染防治工作的措施。2014年国家发布《全国土壤污染状况调查公报》，调查结果表明我国耕地土壤环境质量堪忧。2015年农业部制定了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》，积极探索产出高效、产品安全、资源

节约、环境友好的现代农业发展之路。同年，农业部印发《耕地质量保护与提升行动方案》，以新建成的高标准农田、耕地退化污染重点区域和占补平衡补充耕地为重点，开展退化耕地综合治理、土壤肥力保护提升、污染耕地阻控修复。

## 2.4 第四阶段：开始强调土壤污染风险管控及分级分类管理（2016年—）

近年来，我国土壤污染防治相关法律法规和标准体系逐步完善，土壤污染的风险管控及分级分类管理也在逐步落实。2016年“土十条”的出台为土壤环境保护工作规划了中长期任务目标。此后在“土十条”的要求下，土壤污染防治相关法律法规、部门规章、标准体系等纷纷开始落实健全。2017年《农用地土壤环境管理办法（试行）》发布，自此我国农用地管理以该管理办法建立的管理流程为框架，针对管理流程的每个步骤中不同的管理内容，逐步分别制订系列的技术文件<sup>[23]</sup>。2018年第十三届全国人民代表大会批准设立生态环境部，新组建的生态环境部整合了分散的生态环境保护职责，统一行使生态和城乡各类污染排放监管与行政执法职责，统一负责生态环境监测和执法工作，进一步提高了生态环境领域国家治理体系和治理能力的现代化水平。2018年《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618-2018）发布，替代了1995年版的《土壤环境质量标准》。新版的农用地土壤污染风险管控标准遵循风险管控的思路，提出了风险筛选值和风险管制值的概念，更符合土壤环境管理的内在规律，更能科学合理指导农用地安全利用，保障农产品质量安全。2018年《土壤污染防治法》正式颁布，是我国第一部专门针对土壤污染防治领域的专项法律，提出了土壤污染风险管控和修复责任制度、农用地分类管理制度、土壤污染防治的保障和监督管理制度等一系列新制度以完善当前的土壤环境质量管理，填补了我国土壤环境管理法律的空白，在我国环境保护史上具有重大意义<sup>[24]</sup>。

# 3 我国农田土壤环境质量管理与标准体系建设

## 3.1 我国农田土壤环境质量管理框架体系

围绕土壤环境保护，我国在不同阶段也采取了

不同的环境管理政策和具体措施,经过多年的不懈努力,目前已基本形成以《土壤污染防治法》和《土壤污染防治行动计划》为核心政策,相关配套管理办法,若干标准、指南和技术规范等为基础的农田土壤环境质量管理框架体系(图2)。《土壤污染防治行动计划》明确提出对农用地土壤实施分类管理与安全利用。《农用地土壤环境管理办法》根据土壤污染程度、农产品质量情况将农田划分为优先保护类、安全利用类和严格管控类。

图3简要展示了我国农田土壤环境质量管理的基本流程及不同类型农田采取的风险管控措施。首先根据《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标

准(试行)》规定的风险筛选值和管制值,对农田土壤进行污染状况调查;再根据《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB2762-2017)进行农产品安全评价;最后依据不同评判标准分别将农田按严格管控类、安全利用类、优先保护类进行分级分类管理(图3)。省级农业主管部门会同环境保护主管部门,按照国家有关技术规范,根据土壤污染程度、农产品质量情况,组织开展农田土壤环境质量类别划分工作,并根据土地利用变更和土壤环境质量变化情况,定期对各类别农用地面积、分布等信息进行更新,数据上传至全国农用地土壤环境管理信息系统。

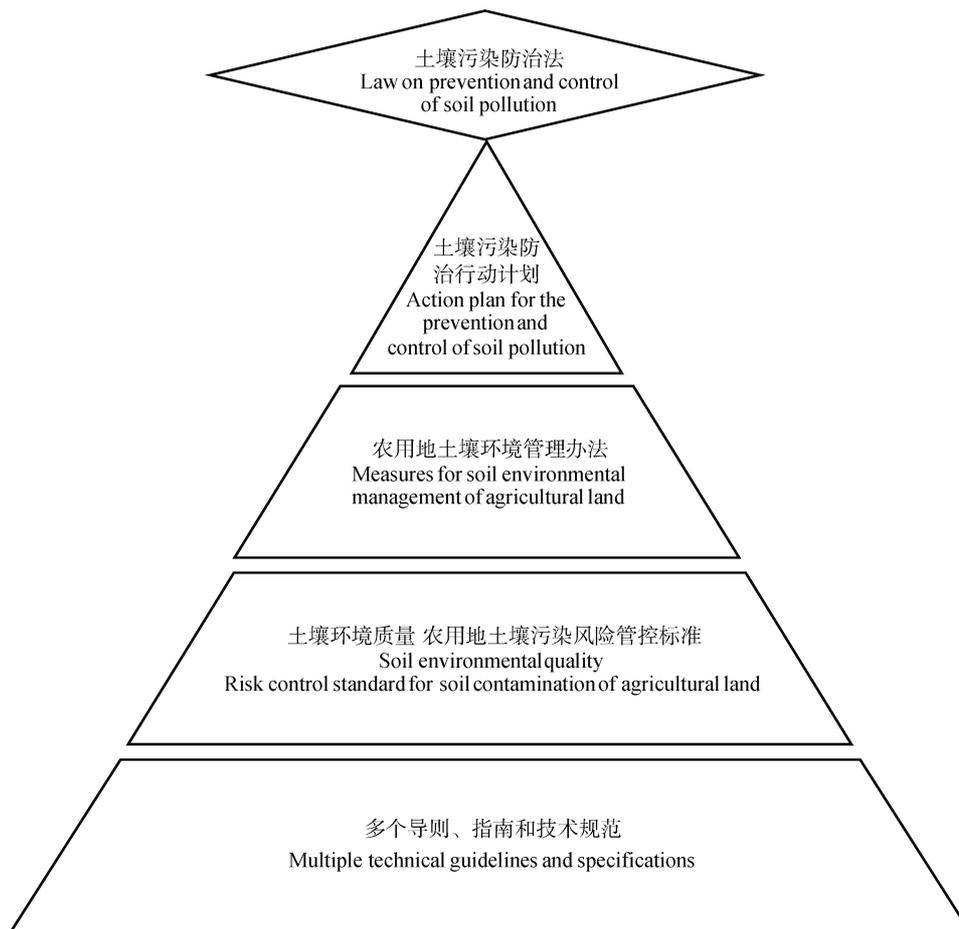


图2 我国农田土壤环境质量管理框架体系

Fig. 2 Framework of farmland soil environmental quality management in China

### 3.2 我国农田土壤环境质量标准体系

土壤环境质量标准是土壤环境质量管理目标的具体体现,也是环境部门进行土壤环境管理的重要手段。我国自《土壤污染防治法》颁布以来,在较短时间内基本建立了土壤环境法规和标准体系,成

为各地、各部门实施土壤污染防治的基础依据。结合我国当前已有标准及相关研究进展<sup>[25-28]</sup>,将我国农田土壤环境质量标准体系分为土壤环境质量标准体系、土壤污染防控标准体系、土壤环境质量配套标准体系和土壤环境质量基础标准体系四个方面

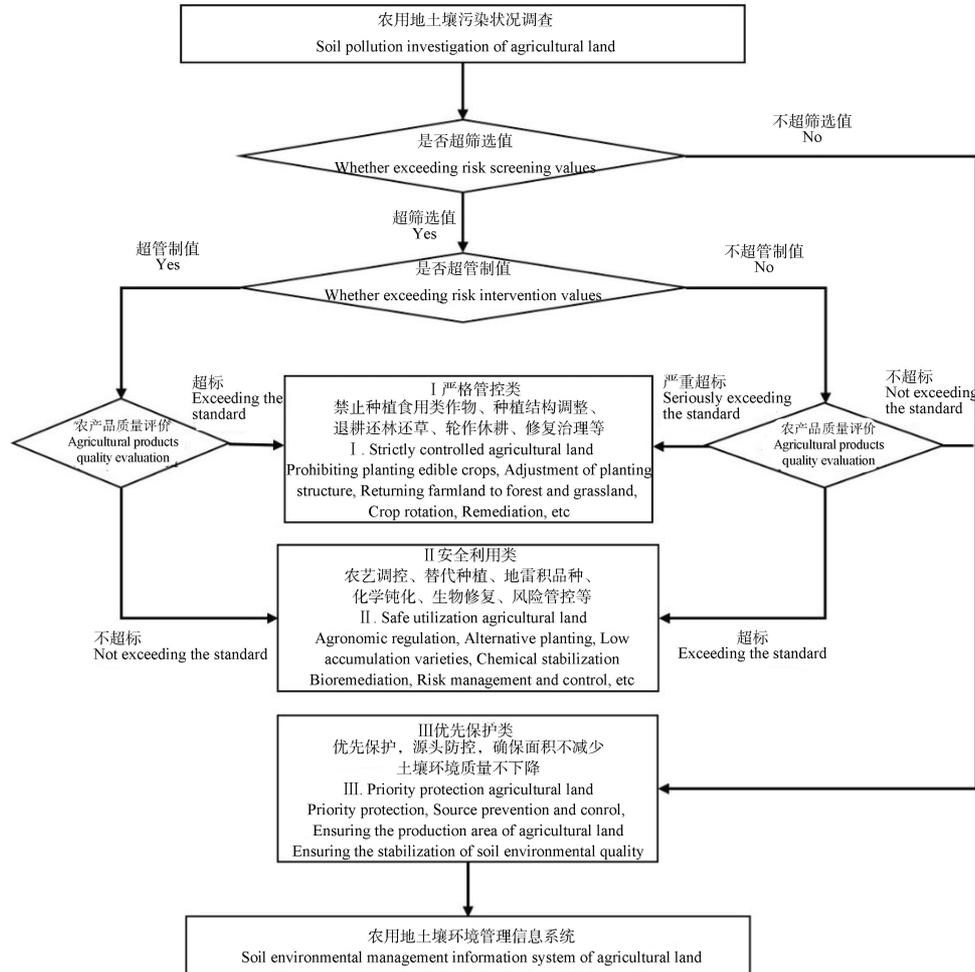


图3 我国农田土壤环境质量管理流程

Fig. 3 Process of farmland soil environmental quality management in China

(表 1)。当前我国虽然已经具备了较为全面的土壤环境质量标准框架体系，但区域土壤环境背景值、农用地土壤环境质量评估、农用地土壤修复目标值等标准体系相对不足，部分标准尚需进一步制修订或完善，以满足我国农田土壤环境质量管理需要。

**3.2.1 土壤环境质量标准体系** 土壤环境质量标准体系可分为三个方面：(1) 土壤背景值：我国土壤环境背景值研究始于 20 世纪 70 年代中期，首先由中国科学院南京土壤研究所等有关科研单位会同环境保护部门开展了土壤环境背景值研究，并于 1990 年出版了《中国土壤元素背景值》<sup>[29]</sup>。2021 年生态环境部发布了《区域性土壤环境背景含量统计技术导则（试行）》（HJ1185-2021），为我国地方区域性土壤环境背景值的确定规范了技术方法。但区域性土壤环境背景值研究和制定工作明显滞后，当前只有深圳市制定了地方的土壤环境背景值。(2) 土壤环境质量：2017 颁布的《农用地土壤环境质量

类别划分技术指南（试行）》为开展农用地分类管理提供了技术支撑，对保障农田土壤环境质量和农产品安全具有重要意义。2018 年实施的《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》充分考虑我国土壤环境的特点和土壤污染的基本特征，创造性提出了两条线（即筛选值和管制值）的标准修订思路，将农用地划分为优先保护类、安全利用类和严格管控类，实施农用地的分类管理。2019 年实施的《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》用于规范和指导我国土壤环境影响评价工作，防止或减缓土壤环境退化，保护土壤环境。我国已有《温室蔬菜产地环境质量评价标准》、《食用农产品产地环境质量评价标准》等多个与农田土壤相关的环境质量评价标准，生态环境部目前正在编制《土壤环境质量评价技术规范》，以期适用于农田在内的不同土地利用类型、不同尺度的土壤环境质量状况评价。在地方标准和规范方面，四川省制定了《四川省农产品

表 1 我国农田土壤环境质量与污染防控标准体系

Table 1 Standard systems of farmland soil environmental quality and pollution prevention and control in China

标准体系名称 Name of the standard systems	标准体系组成 Composition of the standard systems	标准名称 Name of the standard		
土壤环境质量标准体系	土壤背景值	中国土壤元素背景值 (1990)		
		深圳市土壤环境背景值 (DB4403/T 68-2020)		
	土壤环境质量	农用地土壤环境质量类别划分技术指南 (试行) (环办土壤[2017]第 97 号)		
		土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准 (试行) (GB 15618-2018)		
		环境影响评价技术导则 土壤环境 (试行) (HJ 964-2018)		
		温室蔬菜产地环境质量评价标准 (HJ 333-2006)		
		食用农产品产地环境质量评价标准 (HJ 332-2006)		
		绿色食品 产地环境质量 (NY/T 391-2013)		
		无公害农产品 种植业产地环境条件 (NY/T 5010-2016)		
		农产品安全质量无公害蔬菜产地环境要求 (GB/T 18407.1-2001)		
		农产品安全质量无公害水果产地环境要求 (GB/T 18407.2-2001)		
		四川省农产品产地土壤环境质量评价技术规程 (DB51/T 2724-2020)		
		土壤污染防控标准体系	农用投入品	农药安全使用规范 总则 (NY/T 1276-2007)
				农药使用环境安全技术导则 (HJ 556-2010)
肥料合理使用准则 通则 (NY/T 496-2010)				
化肥使用环境安全技术导则 (HJ 555-2010)				
肥料合理使用准则 有机肥料 (NY/T 1868-2010)				
绿色食品 肥料使用准则 (NY/T 394-2013)				
肥料中有毒有害物质的限量要求 (GB38400-2019)				
有机肥料标准 (NY525-2012)				
有机-无机复混肥料标准 (GB 18877-2009)				
肥料中砷、镉、铅、铬、汞生态指标 (GB/T 23349-2009)				
农业固体废物污染控制技术导则 (HJ 588-2010)				
农用污泥污染物控制标准 (GB4284-2018)				
农田灌溉水质标准 (GB5084-2005)				
城市污水再生利用农田灌溉用水水质 (GB20922-2007)				
聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜 (GB13735-2017)				
农用薄膜管理办法 (农业农村部令 2020 年第 4 号)				
饲料卫生标准 (GB13078-2017)				
畜禽粪便农田利用环境影响评价准则 (GB/T 26622-2011)				
畜禽粪便还田技术规范 (GB/T 25246-2010)				
土壤污染治理与修复	受污染耕地治理与修复导则 (NY/T 3499-2019)			
	耕地污染治理效果评价准则 (NY/T 3343-2018)			
	土壤污染防治专项资金管理办法 (财资环〔2019〕11 号)			
	受污染耕地安全利用率核算方法 (试行) (农办科[2019]13 号)			

续表

标准体系名称 Name of the standard systems	标准体系组成 Composition of the standard systems	标准名称 Name of the standard
土壤污染防控标准体系	土壤污染治理与修复	土壤污染防治基金管理办法（财资环〔2020〕2号）
		农用地土壤污染责任人认定暂行办法（环土壤[2021]13号）
		耕地土壤重金属污染风险管控与修复风险评价（广东 DB44/T 2263.2-2020）
		农田土壤重金属污染修复技术规范（广西 DB45/T 2145-2020）
土壤环境质量配套标准体系	土壤调查与监测	土壤环境监测技术规范（HJ/T166-2004）
		农田土壤环境质量监测技术规范（NY-T395-2012）
		耕地质量地球化学监测技术规范（江苏 DB32/T 3902-2020）
		农用地污染调查技术规范（河南 DB41/T 1948-2020）
土壤环境质量基础标准体系	土壤分析方法	土壤中无机物、重金属监测分析方法标准（HJ 680-2013，等 45 项）
		土壤中有机物污染物监测分析方法标准（HJ 642-2013，等 24 项）
		土壤理化性状监测分析方法标准（HJ 746-2015，等 8 项）
		土壤中生物、微生物监测分析方法标准（GB/T 32723-2016，等 2 项）
		土壤放射性元素监测分析方法标准（HJ 53-2000，等 2 项）
土壤环境质量基础标准体系	土壤词汇和术语	土壤质量 词汇（GB/T18834-2002）
		中国土壤分类与代码（GB/T17296-2009）
		土地利用现状分类（GB/T 21010-2017）
		其他

产地土壤环境质量评价技术规程》，广西壮族自治区制定了《农田土壤重金属污染修复技术规范》，用于指导地方开展农田土壤环境质量评价或修复工作。

**3.2.2 土壤污染防控标准体系** 土壤污染防控标准体系可分为两个方面：（1）农用投入品：农药、肥料、农膜、农业固体废物、农用污泥、畜禽粪便等中的污染物一旦进入土壤再进行修复就会付出巨大的成本和代价。我国目前已出台一系列肥料、农膜、农田灌溉水、农业固体废物、畜禽粪便等农用投入品相关系列标准，未来还需进一步加强对该系列标准的管控和落实，加快制定肥料等农用投入品投入量的限量标准。（2）土壤污染治理与修复：我国耕地污染修复及治理效果相关导则已经出台，土壤污染防治相关资金管理也有明确规定，提高了土壤污染防治专项资金使用效益<sup>[30]</sup>。针对农田土壤环境补贴，2016年财政部、农业部联合印发了《建立以绿色生态为导向的农业补贴制度改革方案》，以促进农业资源合理利用与农业的生态环境保护。2019年农业农村部发布了《关于进一步做好受污染耕地

安全利用工作的通知》，就部分地区在耕地土壤污染防治上存在责任不清、任务落实不够、资金途径不畅、实施进度滞后等问题提出了任务要求，特别提出根据《受污染耕地安全利用率核算方法（试行）》评估核算当地污染耕地安全利用情况，进一步加强对污染耕地的管理。2020年财政部、生态环境部等六部门联合制定了《土壤污染防治基金管理办法》，以规范土壤污染防治基金的资金筹集、管理和使用。2021年1月，生态环境部等四部门制定了《农用地土壤污染责任人认定暂行办法》，规范了农用地土壤污染责任人的认定。2020年广东省制定了《耕地土壤重金属污染风险管控与修复风险评价》地方标准，适用于开展耕地土壤重金属污染状况评价、风险类型和等级划分和重金属污染风险管控等工作。污染土壤经修复后，目标污染物应达到的规定指标限值称为土壤修复目标值，目前我国尚无明确的土壤修复目标值技术规范，常用做法是采取污染背景浓度分布的95%分布值作为修复目标值，往往导致过度修复而使费用高昂<sup>[31]</sup>。目前我国在农田土

壤污染应急处理方面仍处于空白状态,未来还需进一步制定相关技术规范和管理条例,以加强农田土壤污染的应急处置与管理。

**3.2.3 土壤环境质量配套标准体系** 土壤环境质量相关配套标准是帮助推进土壤环境背景值和风险评价系列标准开展的一系列标准。(1)土壤调查与监测:当前我国已有建设用地土壤污染状况调查技术导则,但国家层面农田土壤污染状况调查的相关技术导则仍处于空白状态,仅有个别省份制定了地方标准和规范,如江苏省于2020年发布了《耕地质量地球化学监测技术规范》,河南省于2020年发布了《农用地土壤污染状况调查技术规范》。我国已有土壤和农田土壤环境监测技术规范,但随着土壤环境监测技术日新月异,包括“3S”技术、生物技术、信息技术等在土壤监测方面的应用不断深入,未来应根据土壤环境监测技术的实际进展,进一步更新完善相关技术规范。(2)土壤分析方法:我国迄今虽然建立了一系列涉及土壤监测和污染物分析的国家标准和行业标准方法,然而一些标准方法长期没有修订,一些新技术和方法没有得到及时补充或更新;如抗生素类、酰胺酯类、微塑料等土壤新型污染物无标准分析方法;在方法的标准化、系统化方面尚有许多工作待开展。

**3.2.4 土壤环境质量基础标准体系** 当前我国土壤环境质量基础标准体系的研究相对较少,仅有《土壤质量词汇》《中国土壤分类与代码》和《土地利用现状分类》这三项基础性标准,对农田土壤环境质量管理及标准体系的完整性、系统性、科学性技术支持不足。《土壤环境 词汇(征求意见稿)》正在由生态环境部公开征求意见,正式颁布和实施以后,将替代目前的《土壤质量 词汇》(GB/T18834-2002)。未来应结合我国土壤环境质量管理需求,有针对性地制定土壤环境质量相关概念、术语、标志与符号等基础标准体系,为农田土壤环境质量管理及污染防控提供基础性支撑。

## 4 农田土壤环境质量的国际经验

加强农田土壤污染防治、保障农田土壤环境质量和农业安全生产是一个世界性问题,发达国家很早就开展了相应的农田土壤污染防治工作,形成了较为完善的法律、法规和管理体系。相比发达国家,

我国农田土壤污染防治工作起步晚、基础弱,虽然已出台了一系列政策法规以完善农田土壤环境质量管理体系,但各级管理部门要想有效落实农田土壤污染防治仍面临诸多问题和挑战。因此,应当在参考和对比国外相对完善的农田土壤环境质量管理法律法规的基础上,构建并逐步完善我国农田土壤污染防治法律法规和标准体系,以促进我国农田土壤环境质量管理体系的健全和相关工作的扎实推进。

### 4.1 建立土壤环境质量管理法律法规体系

美国早在1953年就通过了《土壤保护法》,主要用于防治土壤侵蚀问题。1970年美国成立联邦环保总署,从此至70年代末,美国基本建成较为完整且职权分工明确的环境管理体系,与农业土壤相关的环保法律也相继推出,如《清洁空气法》《清洁水法》《联邦杀虫剂、杀真菌剂和灭鼠剂法》《土壤和水资源保护法》和《超级基金法》等<sup>[32]</sup>。德国分别在20世纪80年代和90年代出台了一系列相关法律法规,主要有《德国联邦政府土壤保护战略》《土壤保护行动计划》和《联邦土壤保护法》等。荷兰于1987年颁布了《土壤保护法》,随后又于1994和2006年多次修订完善<sup>[33]</sup>。1999年丹麦出台了《土壤污染法》,建立了适用于所有类型和不同时期土壤污染的法律制度,并于2006年进行了修订。英国于1974年颁布了《污染控制法》,2000年英国政府制定了土壤污染防治最重要的法规《Part 2A 污染场地管理框架》,该法规在2012年更新<sup>[34]</sup>。1970年日本颁布《农业用地土壤污染防治法》,最终修订于2011年;日本还推行了一系列土壤保护相关法案,包括《肥料取缔法》《农药取缔法》《废弃物处理法》《矿山保安法》《大气污染防治法》《二噁英类物质特别对策法》和《水体污染防治法》等,从不同方面阻断土壤污染源,以达到预防及保护土壤的目标<sup>[35]</sup>。韩国于1995年颁布了《土壤环境保护法》,其后多次进行了修订,宗旨是防止污染土壤造成人体健康和环境风险,保护健康的土壤生态系统,提升土壤资源价值,创造健康的人居环境。

### 4.2 制定农田土壤环境质量及风险管控标准

制定适用于不同污染类型、污染程度的农田土壤环境质量及风险管控标准也是土壤环境管理的重要组成部分。国外土壤环境质量与风险管控标准研究与我国相比起步较早。加拿大早在1991年就发布了(污染)土壤临时修复标准,后又在1996年制

定了土壤质量指导值<sup>[36]</sup>。美国通过制定相关法律法规、建立风险交流制度、发展风险防控技术、采用风险保险制度等手段，形成完善的风险管理体系；根据不同用地方式，颁布旨在保护人体健康的《土壤环境风险筛选值》和旨在保护生态受体安全的《土壤生态筛选导则》。针对不同用地方式，采用风险评估模式，计算每一个地块的修复目标值，从而经济有效地控制污染土壤的开发利用风险<sup>[37]</sup>。英国已建立完成了一个围绕防止当前活动造成污染和基于风险的污染管理框架，对确定污染土地的责任方等均有系统的解决办法。外加许多污染土地修复成功案例，这种政策框架和经验丰富的专业知识结合，为土壤污染管理提供了一种有效且可推广的方式<sup>[38]</sup>。荷兰基于全国范围农业用地和自然保护地的调查和监测数据确定了土壤背景值以及评估土壤和地下水质量的目标值、干预值和严重污染指示水平值。基于上述标准，针对土壤污染对人类、生态系统和周边扩散三种风险，建立了适应其国情的 Sanscrit 风险评估模型。还通过发布和制定“荷兰清单”和土壤干涉值来指导修复行动<sup>[36, 39]</sup>。德国形成了欧盟、联邦和州政府逐层递进的土壤环境风险管控体系，在农用地环境风险管控方面，德国出台的《联邦区域规划法》将农用地根据土壤环境质量分为发展区、适度发展区和禁止发展区三个等级，分级管控<sup>[40]</sup>。日本的《农用地土壤污染防治法》规定了风险预防、区域划定、污染监测、责任认定的农用地土壤环境风险管控体系，配合《土壤污染环境质量标准》等多项土壤质量标准和分析方法，保障农用地土壤环境质量<sup>[41]</sup>。丹麦也制定了污染土壤消减标准，为有效实施污染地块监管，制订了敏感土地利用方式下的土壤质量基准。除基于健康风险的土壤质量标准值外，丹麦还采用生态风险评估方法制订了土壤质量基准值<sup>[42]</sup>。韩国环境部于 2012 年颁布了《土壤环境保护法实施规则》，制定了土壤污染关注标准和土壤污染对策标准，土壤污染关注标准是需要对土壤污染加剧情况予以关注的含量限值，土壤污染对策标准是土壤中污染物含量超标后需要采取相应措施的含量限值<sup>[43]</sup>。

#### 4.3 建立农田土壤污染修复资金保障和生态补偿机制

土壤污染修复需要大量资金支持，充裕的资金

来源是土壤污染修复的保障。美国为了使污染严重的土地优先得到治理，建立了国家优先控制场地名录，对土壤污染程度进行排序，优先将资金和人力投入严重污染的土地。通过设立超级基金作为土壤污染治理的启动基金，污染主体不明或难以支付时由超级基金支付。《超级基金法》规定的资金来源包括国内生产石油和进口石油产品税、化学品原料和环境税以及部分回收资金和罚款<sup>[44]</sup>。美国政府通过种田补贴、减免税租、给予贷款等经济措施鼓励农场主积极保护土壤。政府还投资建造大规模的标准土壤保护示范工程，免费向农场主推广对耕地的保护措施，开展教育、科研和培训以及技术类咨询，努力提高农民技术水平、文化素质、环保意识。日本通过建立传统农业区生态修复中的经济补偿机制，向土壤污染治理地区的地方公共机构提供资金以及与土壤污染有关的咨询、建议和宣传等，资金主要通过基金和政府补助捐赠获得<sup>[45]</sup>。欧盟的资金主要来源于废弃物征收税、工业基金、政府津贴、土地退出登录交易费、污染土地拍卖、私人筹措资金等。欧盟国家建立的环境敏感区（ESA）项目中的 14%是关于农用地保护的。会员国通过确定本国最低良好耕作实践水平，农民不断努力提升耕地耕作水平超过基准线，则可获得农业补贴和价格支持，并且耕地质量越好所获得的补偿越高。英国采用环境补偿为基础的补贴政策，除欧盟共同农业政策相关资金外，还定向拨款开展农业环境保护相关的项目，促使农民选择最佳的耕作模式以达到环境保护的目的<sup>[46]</sup>。德国的农业生态补偿方式以政府购买为主，主要是富裕地区向贫困地区进行横向支付，以每公顷土地所获得的经济效益和采取保护措施需要的经费计算出补偿标准<sup>[47]</sup>。

#### 4.4 建立农田土壤环境质量管理监管和信息披露制度

通过调查评估筛选出污染程度不同的污染地块，建立污染地块管理信息档案系统，对污染地块实施分类和动态管理是国际上多个国家的通行做法。发达国家均相继开展了污染土地信息系统建设，向社会公开土壤污染信息。欧盟建立了污染土地名单制度，由成员国确定国内污染场地名单和本国主管机关，开展污染场地风险评估。规定了对污染地块负有调查和修复义务的主体的信息披露义务，这种民事主体的信息披露内容更具体、更有针对性<sup>[48]</sup>。英国规定了登记簿制度，每一执法部门必

须保持对污染场地补救通知、补救申明之类的信息。美国联邦政府以环保署为主导,负责对污染地块进行评估、管理及开发;国会则制定并通过有关土壤修复的政策法规文件;州政府通过制定详细的治理标准监督土壤修复效果;地方政府和社区是土壤管理的主要实施力量;非政府组织作为参与者,参与推进土壤污染的治理<sup>[49]</sup>。日本设立“台账”制度,将受污染的土地划为污染对策区域,进行登记、公告和信息通报。

## 5 中国农田土壤环境质量管理发展与展望

我国开始实施“十四五”规划,在过去的“十三五”期间我国土壤环境管理和污染防治体系经历了巨大变革:深入开展土壤污染调查;推动土壤污染防治法律制度的完善;制定土壤和地下水污染状况调查、监测、风险评估、修复技术等多项国家环境保护标准;规范土壤多种污染物的测定方法;推行基于风险管控的土壤环境质量管理体系;将土壤污染预防、治理修复等实施情况作为考核指标,明确考核责任制度等一系列政策和法律法规<sup>[50]</sup>,为“十四五”时期深化土壤污染防治工作奠定了良好的基础。但随着我国经济由高速增长向高质量发展阶段转变,新的土壤环境问题和需求仍会不断涌现,农田土壤环境质量管理

与污染防治形势依然严峻。基于当前我国农田土壤环境质量管理体系现状及存在问题,结合农田土壤环境质量管理相关国际经验,建议从政策和标准体系建设、监测体系、科技支撑、资金保障和信息公开等五个方面进一步加强我国农田土壤环境质量管理政策体系和应用研究(图4),以期为新时期我国农田土壤环境质量管理的健全与升级提供科学参考和决策依据。

**5.1 完善农田土壤环境管理政策及相关标准体系**

在“土十条”的规划下,我国土壤环境质量管理体系已经逐步搭建,但仍需加强农田土壤环境管理政策与相关标准体系研究,从制度约束、政策扶持及标准完善等方面,构建农田土壤污染调查、质量评估、安全利用与修复等可操作的标准、规范和技术体系,保障我国农产品“从农田到餐桌”的全过程质量安全<sup>[51]</sup>。我国国土幅员辽阔,土壤类型多样,土壤形成过程和土地利用方式各异,不同地区土壤环境背景值各异。现有土壤环境质量标准与我国不同区域特征、土壤类型和土壤利用方式脱钩,区域土壤环境背景值和环境质量标准严重不足,难以支撑我国不同区域土壤环境质量标准化和差异化管理<sup>[52]</sup>。建议由国家规定统一的技术要求和标准,各地区因地制宜制定区域土壤环境背景值和土壤污染物的控制标准。按照“分区、分级、分类”的原则构建不同区域、不同土地利用方式以及不同作物类型的农田土壤环境质量标准体系,以满足我国不

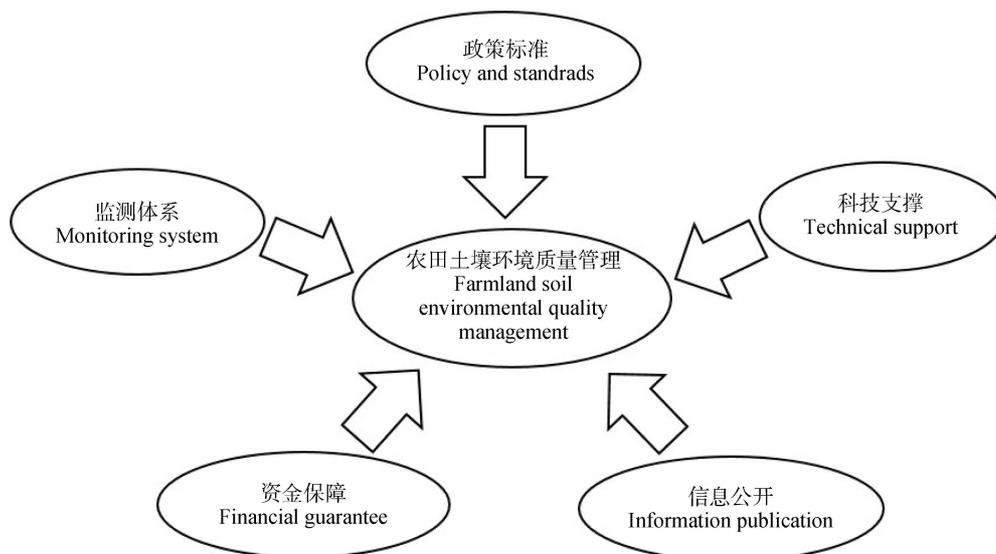


图4 我国农田土壤环境质量管理对策与展望

Fig. 4 Strategies and prospects of farmland soil environmental quality management of China

同地区和土地利用方式下的土壤环境质量管理需求<sup>[53]</sup>。此外，针对我国农田土壤中的新型污染物，如抗生素、酞酸酯、微塑料等，开展土壤环境标准制订或修订所需支撑性研究，为农田土壤环境标准的合理定值和可行性论证提供科学依据。

## 5.2 建立农田土壤环境质量管理监测体系和土壤环境管理信息系统

为了有效地加强农田土壤环境质量管理，建立全国农田土壤环境监测体系和土壤环境管理信息系统尤为必要。我国于 20 世纪 80 年代开展的第二次全国土壤普查和 2005 年启动的全国土壤污染状况调查，已经积累了大量的全国土壤环境质量相关数据。2006 年，原国家环境保护部与国土资源部组织各地环境监测站采用 GPS 定位、网格化采样方式对全国土壤污染进行了调查，共采集土壤、农产品等样品 213 754 个，获得有效调查数据 495 万个，初步建立了全国土壤污染状况调查数据库和样品库<sup>[51]</sup>。2016 年底，全国土壤污染状况详查正式启动，其中农用地详查是在已有调查基础上，以耕地为重点，进行全面深入、重点突出、针对性强的调查。详查历时两年，共布设 55.8 万个详查点位。目前，我国环保部门已完成 2 万个左右土壤环境监测国控点位布设，覆盖我国 99% 的县、98% 的土壤类型和 88% 的粮食主产区，初步建成了国家土壤环境质量监测网络。未来我国应继续以农田土壤环境质量及有毒有害污染物为监测重点，建立以地市级环境监测中心为主的监测网络，开展土壤环境质量定期调查、常规监测与评价。同时为已修复农田土壤建档，明确责任人，加强已修复农田土壤的监测，防止二次污染。在对农田土壤环境质量进行调查、监测和建档的基础上，制定土壤监测的数据管理、数据报送、信息通报等管理规范，逐步完善土壤环境质量监测信息网络体系<sup>[54]</sup>，不断探索新技术和新方法，加强人工智能、物联网、遥感、5G 等技术运用，完善土壤环境质量监测技术体系和数据共享机制，建立基于多源数据融合的国家农田土壤环境质量管理信息系统及智能化服务平台<sup>[51]</sup>，为我国农田土壤环境管理与决策提供科学依据和数据支撑。

## 5.3 加强农田土壤环境质量管理相关支撑技术研究

立足于“防重于治”的基本方针，在制定各种农田土壤污染防治措施之前，首先需要查明污染物在土壤-作物系统中迁移转化的影响因素，准确识别

污染来源。根据农田土壤污染特征，在区域尺度和田间自然条件下开展污染物多介质迁移转化、来源及循环过程研究，结合同位素示踪、多元统计和数学模型等技术手段解析不同污染来源及贡献，绘制农田土壤污染源图谱，识别重要敏感区、空间分布及演变趋势，针对性地制定农田土壤污染预警和防控技术措施<sup>[55]</sup>。研究并建立农产品产地环境质量等级分类管理和污染源头防控技术，研发针对不同区域特征和农产品类型的重金属等污染物分类管理和肥料减量增效技术体系<sup>[56]</sup>。研发和推广高精度、集成化、智能化的土壤快速检测技术及检测设备，大力发展土壤多参数同时测定的高效方法<sup>[57]</sup>。同时加大农田土壤环境质量管理与污染防控科技研发，研究并建立有效保障土壤生态安全和农产品安全的农田土壤环境质量综合评估方法，研发和筛选适合不同区域和土地利用方式下的农田土壤污染高效绿色修复及安全利用技术，构建精细调查、精准评估、精准修复“三精”修复技术体系以及农田土壤环境质量差异化管理与安全利用技术模式，为我国农田安全利用和土壤污染防治法律法规的实施提供技术支撑。

## 5.4 建立农田土壤污染生态补偿与修复资金保障机制

农田土壤污染往往难以找到污染当事人或当事人难以履行责任，而土壤污染的治理和修复需要大量的资金，建立完善的资金保障机制极为关键。美国的《超级基金法》通过各项资金来源保障了政府土壤环境污染管理的执行力，也维护了法律和政府的权威。但由于我国与国外土地所有制不同，国外大多数土地是私有的，而我国土地是“国有”的，大部分土地持有者只有使用权，因此土地使用者对土壤环境质量和土壤污染防治的关注度不够。当前形势下，仅靠国家拨款无法解决土壤污染的历史遗留问题<sup>[58]</sup>。目前我国正尝试采取激励政策以鼓励农民采取绿色生态的耕作方式，国家农业农村部结合农业“三项补贴”改革，将种粮农民直接补贴、农资综合补贴和农作物良种补贴合并为农业支持保护补贴，引导农民综合采取轮作休耕、秸秆还田、深松整地、科学施肥用药、病虫害绿色防控、减少秸秆焚烧等措施，自觉提升耕地地力等。生态补偿是一项庞大的系统性工程，公共利益和相关利益必定会发生冲突，要想搭建并完善这个庞大的工程，需要我国立法完善相关法律法规和政策依据，并制定

完备的生态补偿条例和实施细则,使生态补偿的各个环节、各个阶段、各个要素行为均有法可依。与此同时,还应建立多样的资金补偿渠道,优化产业布局,促进经济绿色发展,建立补偿标准的严格指标体系,加强生态补偿的监督和评估。

### 5.5 建立农田土壤环境质量信息公开和公众参与制度

我国一直重视公众知情权,但在环境问题方面,由于各种原因政府公开信息相对滞后,且缺乏对公众正确的舆论引导。土壤污染具有潜伏性和滞后性,缺乏政府对土壤污染防治信息的有效引导,使得公众降低了对土壤污染的重视和关注。一方面不利于公众和企业对土壤污染的预防,另一方面也使得已被污染的土壤持续恶化,从而易引起大规模群体事件。我国在参考国外土壤污染防治经验的同时,也应结合我国的具体国情和实际特点,发挥社会主义制度优势,建立适应我国国情和不同发展阶段的土壤环境质量信息公开、信息发布和公众参与制度,加强政府各部门之间的沟通与协作,通过信息公开、共享等方式,不断提高政府和民众对土壤环境质量的监管力度,确保国家“净土、洁食、居安、健康”的战略目标顺利实现。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Zhao F J, Ma Y B, Zhu Y G, et al. Soil contamination in China: Current status and mitigation strategies[J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, 49 ( 2 ): 750—759.
- [ 2 ] Liu Y L, Wen C, Liu X J. China's food security soiled by contamination[J]. *Science*, 2013, 339 ( 6126 ): 1382—1383.
- [ 3 ] Luo Y M, Teng Y. Regional difference in soil pollution and strategy of soil zonal governance and remediation in China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33 ( 2 ): 145—152. [骆永明, 滕应. 我国土壤污染的区域差异与分区治理修复策略[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33 ( 2 ): 145—152.]
- [ 4 ] Shen R F, Yan X Y, Zhang G L, et al. Status quo of and strategic thinking for the development of soil science in China in the new era[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, 57 ( 5 ): 1051—1059. [沈仁芳, 颜晓元, 张甘霖, 等. 新时期中国土壤科学发展现状与战略思考[J]. *土壤学报*, 2020, 57 ( 5 ): 1051—1059.]
- [ 5 ] Xu J M, Liu X M. Frontier trends and development strategies of soil quality and food safety in the 14th five-year plan[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, 57 ( 5 ): 1143—1154. [徐建明, 刘杏梅. “十四五”土壤质量与食物安全前沿趋势与发展战略[J]. *土壤学报*, 2020, 57 ( 5 ): 1143—1154.]
- [ 6 ] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Bulletin of the national survey on soil pollution status. ( 2014-04-17 ) [2020-08-31] [http://www.gov.cn/foot/2014-04/17/content\\_2661768.htm](http://www.gov.cn/foot/2014-04/17/content_2661768.htm). [环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报. ( 2014-04-17 ) [2020-08-31] [http://www.gov.cn/foot/2014-04/17/content\\_2661768.htm](http://www.gov.cn/foot/2014-04/17/content_2661768.htm).]
- [ 7 ] China Geological Survey Bureau, Ministry of land and resources, Geochemical survey of cultivated land in China. ( 2015-06-29 ) [2020-08-31]. <http://www.cgs.gov.cn/upload/201506/20150626/gdbg.pdf>. [国土资源部中国地质调查局. 中国耕地地球化学调查报告. ( 2015-06-29 ) [2020-08-31]. <http://www.cgs.gov.cn/upload/201506/20150626/gdbg.pdf>.]
- [ 8 ] Hu W Y, Zhang Y X, Huang B, et al. Soil environmental quality in greenhouse vegetable production systems in Eastern China: Current status and management strategies[J]. *Chemosphere*, 2017, 170: 183—195.
- [ 9 ] Kopittke P M, Menzies N W, Wang P, et al. Soil and the intensification of agriculture for global food security[J]. *Environment International*, 2019, 132: 105078.
- [ 10 ] Huang B, Hu W Y, Yu Y L, et al. Variability of soil environmental quality, environmental risk and management strategies in greenhouse vegetable production system[M]. Beijing: Science Press, 2018. [黄标, 胡文友, 虞云龙, 等. 设施农业土壤环境质量变化规律、环境风险与关键控制技术[M]. 北京: 科学出版社, 2018.]
- [ 11 ] Zhao L, Teng Y, Luo Y M. Present pollution status and control strategy of pesticides in agricultural soils in China: A review[J]. *Soils*, 2017, 49 ( 3 ): 417—427. [赵玲, 滕应, 骆永明. 中国农田土壤农药污染现状和防控对策[J]. *土壤*, 2017, 49 ( 3 ): 417—427.]
- [ 12 ] Sun J T, Zeng Q T, Tsang D C W, et al. Antibiotics in the agricultural soils from the Yangtze River Delta, China[J]. *Chemosphere*, 2017, 189: 301—308.
- [ 13 ] Wang C, Luo Y, Mao D Q. Sources, fate, ecological risks and mitigation strategies of antibiotics in the soil environment[J]. *Environmental Chemistry*, 2014, 33 ( 1 ): 19—29. [王冲, 罗义, 毛大庆. 土壤环境中抗生素的来源、转归、生态风险以及消减对策[J]. *环境化学*, 2014, 33 ( 1 ): 19—29.]
- [ 14 ] Yu H, Zhang Q M, Dai H X, et al. The research progress of pollution and main influencing factors of phthalate acid esters in soil[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 42 ( 2 ): 113—120. [余涵, 张清明, 戴华鑫, 等. 土壤酞酸酯污染及主要影响因素研究进展[J]. *环境科学与技术*, 2019, 42 ( 2 ): 113—120.]

- [ 15 ] Li P F, Hou D Y, Wang L W, et al. ( Micro ) plastics pollution in agricultural soils: Sources, transportation, ecological effects and preventive strategies[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2021, 58 ( 2 ): 314—330. [李鹏飞, 侯德义, 王刘炜, 等. 农田中的(微)塑料污染: 来源、迁移、环境生态效应及防治措施[J]. *土壤学报*, 2021, 58 ( 2 ): 314—330.]
- [ 16 ] Bao D D, Li L Q, Pan G X, et al. Analysis and pollution evaluation of farmland heavy metal content around the dump[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42 ( 1 ): 185—189. [包丹丹, 李恋卿, 潘根兴, 等. 垃圾堆放场周边土壤重金属含量的分析及污染评价[J]. *土壤通报*, 2011, 42 ( 1 ): 185—189.]
- [ 17 ] Chen T, Chang Q R, Liu J, et al. Pollution and potential environment risk assessment of soil heavy metals in sewage irrigation area[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31 ( 11 ): 2152—2159. [陈涛, 常庆瑞, 刘京, 等. 长期污灌农田土壤重金属污染及潜在环境风险评价[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31 ( 11 ): 2152—2159.]
- [ 18 ] Liu P, Hu W Y, Huang B, et al. Advancement in researches on effect of atmospheric deposition on heavy metals accumulation in soils and crops[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56 ( 5 ): 1048—1059. [刘鹏, 胡文友, 黄标, 等. 大气沉降对土壤和作物中重金属富集的影响及其研究进展[J]. *土壤学报*, 2019, 56 ( 5 ): 1048—1059.]
- [ 19 ] Ministry of Agriculture. Notice of the Ministry of Agriculture on printing and distributing the action plan of zero growth of fertilizer use by 2020 and the action plan of zero growth of pesticide use by 2020. 2017. [农业部. 农业部关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知. 2017.]
- [ 20 ] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Bulletin on the state of the environment in China, 2014. ( 2016-05-19 ) [2021-02-01]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201605/P020160526564730573906.pdf>. [环境保护部. 2014 中国环境状况公报. ( 2014-05-19 ) [2021-02-01]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lnzghjzkgb/201605/P020160526564730573906.pdf>.]
- [ 21 ] China Council for International Cooperation on Environment and Development. Soil environmental protection policy in China. ( 2016-10-26 ) [2020-08-31]. <http://www.cciced.net/zcyj/yjbg/zcyjbg/2010/201610/P020170814554902119131.pdf>. [中国环境与发展国际合作委员会. 中国土壤环境保护政策研究. (2016-10-26) [2020-08-31]. <http://www.cciced.net/zcyj/yjbg/zcyjbg/2010/201610/P020170814554902119131.pdf>.]
- [ 22 ] Ma S L. The practices and experience on solving the grain problems of the communist party of China in the early period after the founding of the People's Republic of China[D]. Ningbo, China: Ningbo University, 2014. [马双龙. 新中国成立初期中国共产党解决粮食问题的实践和经验[D]. 宁波: 宁波大学, 2014.]
- [ 23 ] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Management measures for soil environment on agricultural land (trial)( 2017-11-07 ) [2020-08-31]. [http://www.chinalaw.gov.cn/Department/content/2017-11/07/594\\_204739.html](http://www.chinalaw.gov.cn/Department/content/2017-11/07/594_204739.html). [中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国农业部. 农用地土壤环境管理办法(试行). (2017-11-07)[2020-08-31]. [http://www.chinalaw.gov.cn/Department/content/2017-11/07/594\\_204739.html](http://www.chinalaw.gov.cn/Department/content/2017-11/07/594_204739.html).]
- [ 24 ] Standing Committee of the National People's Congress. Law of the People's Republic of China on the prevention and control of soil pollution. ( 2018-08-31 ) [2020-08-31]. [http://www.npc.gov.cn/zgrdw/npc/lfzt/rlyw/2018-08/31/content\\_2060840.htm](http://www.npc.gov.cn/zgrdw/npc/lfzt/rlyw/2018-08/31/content_2060840.htm). [全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国土壤污染防治法. ( 2018-08-31 ) [2020-08-31]. [http://www.npc.gov.cn/zgrdw/npc/lfzt/rlyw/2018-08/31/content\\_2060840.htm](http://www.npc.gov.cn/zgrdw/npc/lfzt/rlyw/2018-08/31/content_2060840.htm).]
- [ 25 ] Li M, Li Q, Zhao L N, et al. Optimizing the soil environmental protection standard system and suggestions[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29 ( 12 ): 1799—1810. [李敏, 李琴, 赵丽娜, 等. 我国土壤环境保护标准体系优化研究与建议[J]. *环境科学研究*, 2016, 29 ( 12 ): 1799—1810.]
- [ 26 ] Wu B, Wang B, Gu Q B. Study on the construction of soil environmental standard system in China. Joint Symposium of Soil Environment Committee and Soil Chemistry Committee of Soil Science Society of China in 2019. Chongqing, China, 2019. [伍斌, 王斌, 谷庆宝. 我国土壤环境标准体系建设研究. 2019 年中国土壤学会土壤环境专业委员会、土壤化学专业委员会联合学术研讨会. 中国重庆, 2019.]
- [ 27 ] China Council for international cooperation on environment and development. Special policy report on soil pollution management. ( 2015-06-15 ) [2020-08-31]. <http://www.cciced.net/zcyj/yjbg/zcyjbg/2015/201607/P020160708363312778681.pdf>. [中国环境与发展国际合作委员会. 土壤污染管理研究专题政策报告. ( 2015-06-15 ) [2020-08-31]. <http://www.cciced.net/zcyj/yjbg/zcyjbg/2015/201607/P020160708363312778681.pdf>.]
- [ 28 ] Luo Y M, Li G H, Li F S, et al. Researches on supporting technology system of soil environmental management in China [M]. Beijing: Science Press, 2018. [骆永明, 李广贺, 李发生, 等. 中国土壤环境管理支撑技术体系研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.]
- [ 29 ] State Environmental Protection Administration, China National Environmental Monitoring Centre. The backgrounds of soil environment in China[M]. Beijing:

- China Environmental Science Press, 1990. 国家环境保护总局, 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [ 30 ] Ministry of Finance of the People's Republic of China. Management measures for special funds for soil pollution prevention and control. (2020-04-30)[2020-08-31]. [http://zyhj.mof.gov.cn/gjz/zcfg/202004/t20200403\\_3493354.htm](http://zyhj.mof.gov.cn/gjz/zcfg/202004/t20200403_3493354.htm). [中华人民共和国财政部. 土壤污染防治专项资金管理办法. (2020-04-30) [2020-08-31] [http://zyhj.mof.gov.cn/gjz/zcfg/202004/t20200403\\_3493354.htm](http://zyhj.mof.gov.cn/gjz/zcfg/202004/t20200403_3493354.htm).]
- [ 31 ] Yao Y J, Chen Q, Long T, et al. Determining the remediation target of contaminated soil based on the background level[J]. *Environmental Protection*, 2018, 46 ( 18 ): 66—69. [尧一骏, 陈樯, 龙涛, 等. 利用背景水平确定污染土壤修复目标的新思路[J]. *环境保护*, 2018, 46 ( 18 ): 66—69.]
- [ 32 ] Wang Q G. The influence of American modern environmental protection movement on the governance of agricultural environmental problems[J]. *Agro- Environment & Development*, 2009, 26 ( 6 ): 17—19. [王庆国. 美国现代环保运动对农业环境问题治理的影响[J]. *农业环境与发展*, 2009, 26 ( 6 ): 17—19.]
- [ 33 ] Wang G Q. Netherlands' experience in soil/site contamination control[J]. *World Environment*, 2016( 4 ): 25—26. [王国庆. 荷兰土壤/场地污染治理经验[J]. *世界环境*, 2016 ( 4 ): 25—26.]
- [ 34 ] Wang S J, Xu Z. The legislation of soil pollution prevention and control in the United States and Britain and its reference to China [J]. *Agricultural Archaeology*, 2007 ( 6 ): 81—85. [王世进, 许珍. 美、英两国土壤污染防治立法及其对我国的借鉴[J]. *农业考古*, 2007( 6 ): 81—85.]
- [ 35 ] Chen P, Li J X. Overview on the formation process of soil environmental quality standard system of Japan[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2015, 40 ( 2 ): 105—111. [陈平, 李金霞. 日本土壤环境质量标准体系形成历程及特点[J]. *环境与可持续发展*, 2015, 40 ( 2 ): 105—111.]
- [ 36 ] Zhou Q X, Teng Y, Zhan S H, et al. Fundamental problems to be solved in research on Soil-environmental Criteria/standards[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33 ( 1 ): 1—14. [周启星, 滕涌, 展思辉, 等. 土壤环境基准/标准研究需要解决的基础性问题[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33 ( 1 ): 1—14.]
- [ 37 ] Chen Z W. Index system of soil environmental risk management and control[D]. Jinan : Shandong University, 2020. [陈仲文. 土壤环境风险管控指标体系研究[D]. 济南: 山东大学, 2020.]
- [ 38 ] Coulon F, Jones K, Li H, et al. China's soil and groundwater management challenges: Lessons from the UK's experience and opportunities for China[J]. *Environment International*, 2016, 91: 196—200.
- [ 39 ] Ying R R, Lin Y S, Duan G M. Research on the standard system frame of soil environmental protection[J]. *Environmental Protection*, 2015, 43 ( 7 ): 60—63. [应蓉蓉, 林玉锁, 段光明. 土壤环境保护标准体系框架研究[J]. *环境保护*, 2015, 43 ( 7 ): 60—63.]
- [ 40 ] Gao Y, Liu L L, Wang Z T, et al. Research and experience of soil pollution control system—Taking Germany as an example[J]. *Environmental Protection*, 2019, 47 ( 13 ): 27—31. [高阳, 刘路路, 王子彤, 等. 德国土壤污染防治体系研究及其经验借鉴[J]. *环境保护*, 2019, 47 ( 13 ): 27—31.]
- [ 41 ] Yin L. Farmland soil pollution legal countermeasures comparative study between China and Japan[D]. Jinan: Shandong University, 2014. [尹力. 中日农用地土壤污染法律对策比较研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.]
- [ 42 ] Danish EPA ( Environmental Protection Agency ). Soil quality criteria for selected compounds ( Working Report no. 831997 ) [R]. Copenhagen: Danish EPA, 1997.
- [ 43 ] Ministry of Environment of the Republic of Korea. Soil environment conservation act enforcement regulations[Z]. Seoul: Ministry of Environment of the Republic of Korea, 2012.
- [ 44 ] You Y X. CERCLA and its experience in the soil pollution prevention legislation of our country[D]. Qingdao, China: Ocean University of China, 2008. [游彦霞. 美国 CERCLA 及其对我国土壤污染防治立法的借鉴[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.]
- [ 45 ] Wang D, Lin X Q, Yu J H, et al. Adjustment of payments for ecological benefits in traditional agricultural areas: Case study on SADO island, Japan[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2012, 3 ( 1 ): 1—7.
- [ 46 ] Lai X, Sun G F, Liu J, et al. British agricultural environmental protection policy, measures and its enlightenment [J]. *Agro-Environment & Development*, 2012, 29 ( 2 ): 16—19. [赖欣, 孙桂凤, 刘江, 等. 英国农业环境保护政策、措施及其启示[J]. *农业环境与发展*, 2012, 29 ( 2 ): 16—19.]
- [ 47 ] Zhang Q. Law with regulations on farmland ecological compensation for cultivated land protection in China[D]. Yangling, China: Northwest A & F University, 2012. [张齐. 我国耕地生态补偿法律法规研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.]
- [ 48 ] Zhou Y, Liu M Y, Xu X J, et al. The polluted soil treatment and relevant laws & policies[J]. *Environment and Development*, 2014, 26 ( 5 ): 32—36. [周昱, 刘美云, 徐晓晶, 等. 德国污染土壤治理情况和相关政策法规[J]. *环境与发展*, 2014, 26 ( 5 ): 32—36.]
- [ 49 ] Zhao Q N, Yang K, Xu Q X. Comparative study on urban soil pollution control and management systems in China and USA[J]. *Soils*, 2006, 38 ( 1 ): 6—10. [赵沁娜, 杨

- 凯,徐启新.中美城市土壤污染控制与管理体系的比较研究[J].土壤,2006,38(1):6—10.]
- [ 50 ] Zhang H Z, Deng J F, Li S P, et al. Suggestions on the protection and development of soil ecological environment during the 14th five-year plan in China[J]. Environmental Protection, 2020, 48(8): 39—41. [张红振,邓璟菲,李书鹏,等.我国“十四五”土壤生态环境保护发展建议[J].环境保护,2020,48(8):39—41.]
- [ 51 ] Xu J M, Meng J, Liu X M, et al. Control of heavy metal pollution in farmland of China in terms of food security[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 153—159. [徐建明,孟俊,刘杏梅,等.我国农田土壤重金属污染防治与粮食安全保障[J].中国科学院院刊,2018,33(2):153—159.]
- [ 52 ] Luo Y M, Teng Y. Research progresses and prospects on soil pollution and remediation in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(5): 1137—1142. [骆永明,滕应.中国土壤污染与修复科技研究进展和展望[J].土壤学报,2020,57(5):1137—1142.]
- [ 53 ] Wang G Q, Lin Y S. Soil environmental standard values (SESV) and their development: A proposed SESV framework serving the needs of soil environmental management[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2014, 30(5): 552—562. [王国庆,林玉锁.土壤环境标准值及制订研究:服务于管理需求的土壤环境标准值框架体系[J].生态与农村环境学报,2014,30(5):552—562.]
- [ 54 ] Wang Y Y, Zhao X J, He L H. The research of technique route for national soil environment monitoring[J]. Environmental Monitoring in China, 2012, 28(3): 116—120. [王业耀,赵晓军,何立环.我国土壤环境质量监测技术路线研究[J].中国环境监测,2012,28(3):116—120.]
- [ 55 ] Chen W P, Yang Y, Xie T, et al. Challenges and countermeasures for heavy metal pollution control in farmlands of China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2018, 55(2): 261—272. [陈卫平,杨阳,谢天,等.中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J].土壤学报,2018,55(2):261—272.]
- [ 56 ] Zeng X B, Xu J M, Huang Q Y, et al. Some deliberations on the issues of heavy metals in farmlands of China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(1): 186—194. [曾希柏,徐建明,黄巧云,等.中国农田重金属问题的若干思考[J].土壤学报,2013,50(1):186—194.]
- [ 57 ] Zhou Y, Ji R P, Hu W Y, et al. Advancement and prospect in methods and techniques for soil multi-parameter rapid detection of China[J]. Soils, 2019, 51(4): 627—634. [周怡,纪荣平,胡文友,等.我国土壤多参数快速检测方法和技术研发进展与展望[J].土壤,2019,51(4):627—634.]
- [ 58 ] Zhou Y, Wan J Z, Lin Y S, et al. Discussion on characteristics of soil environmental problems in China and foreign experience reference on soil environmental management[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2016, 8(3): 95—100. [周艳,万金忠,林玉锁,等.浅谈我国土壤问题特征及国外土壤环境管理经验借鉴[J].中国环境管理,2016,8(3):95—100.]

(责任编辑:檀满枝)