

中国南方酸性土壤健康的行政管理策略探讨^①

陈沛沛¹, 赵学强^{2,3}, 陈荣府²

(1 中共杭州市委党校萧山区分校, 杭州 311200; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 211135; 3 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 本文探讨了我国南方酸性土壤健康的行政管理策略。首先, 从行政管理视角出发, 明确了“土壤健康”及“土壤健康管理”的内涵, 强调土壤健康管理对于保障土壤生态系统稳定和可持续利用的重要性。其次, 文章分析了土壤健康行政管理涉及的相关理论基础, 并详细阐述了我国各级行政管理部门在酸性土壤健康管理中的实践和探索, 其中重点以浙江省为例详细介绍了酸性土壤健康的行政管理具体实践措施。最后, 文章提出了酸性土壤健康的行政管理策略建议, 包括完善相关法律及制度建构、加强土壤治理专业化技术介入、突出土壤污染监测与防治管理以及加强社会协作形成治理合力等。上述建议可从行政管理视角为酸性土壤治理提供有效策略, 从而提升我国南方酸性土壤的健康水平, 促进土壤资源的可持续利用。

关键词: 土壤治理; 土壤健康; 酸性土壤; 行政管理; 管理实践与策略

中图分类号: S15; D63 文献标志码: A

Exploration of Administrative Management Strategies for Health of Acidic Soil in Southern China

CHEN Peipei¹, ZHAO Xueqiang^{2,3}, CHEN Rongfu²

(1 The Xiaoshan District Branch of the Party School of CPC Hangzhou Municipal Committee, Hangzhou 311200, China; 2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, China; 3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This article explores administrative management strategies for the health of acidic soils in southern China. Firstly, from the perspective of public administration, the connotations of “soil health” and “soil health management” have been clarified, emphasizing the importance of soil health management in ensuring the stability and sustainable use of soil ecosystems. Subsequently, the paper analyzed the relevant theoretical foundations involved in soil health administrative management, and elaborated on the practices and explorations of various levels of Chinese government in acidic soil health management, with a focus on Zhejiang Province as an example to introduce the specific practical measures for administrative management of acidic soil health. Finally, the paper proposed public administration strategies for the health of acidic soils, which include improving relevant laws and institutional construction, strengthening specialized technical intervention in soil governance, highlighting soil pollution monitoring and prevention management, and strengthening social cooperation to form a governance synergy. The above suggestions can provide effective management strategies for the government to manage acidic soils, thereby improving the health level of acidic soils in southern China and promoting the sustainable use of soil resources.

Key words: Soil remediation; Soil health; Acidic soil; Administrative management; Management practice and strategy

土壤是农业生产的基础, 其健康状况直接关系到粮食安全和生态环境质量。酸性土壤作为我国南方重要的生产资源, 其健康管理策略的制定与实施尤为重要。我国酸性土壤主要分布在南方红黄壤区域及东北地区, 总面积约为 311.1 万 km², 占陆地国土面积的 32.4% 左右^[1]。而在我国南方地区, 由于气候、地形

及长期耕作方式等因素的影响, 土壤酸化问题日益严重, 成为当地农业可持续发展的重要瓶颈。一些区域受到耕地资源紧张的制约, 甚至不得不在酸化问题较为严重的土地上继续从事农业生产。土壤酸化不仅严重损害了农业生产能力, 对农产品的质量以及生态环境构成潜在危害, 还可能通过食物链影响人类健康。

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD1901504)资助。

作者简介: 陈沛沛(1987—), 女, 浙江萧山人, 硕士, 高级讲师, 主要从事行政管理及环境管理研究。E-mail: 609969351@qq.com

同时,酸性土壤的治理与修复是乡村振兴战略的重要组成部分,对于推动农村地区的绿色发展、实现生态宜居具有不可替代的作用。因此,酸性土壤健康的管理策略研究已成为国家重大需求^[2]。

近年来,中央政府高度重视土壤酸化问题,出台了一系列相关法律法规和政策文件,为酸性土壤治理提供了法律保障和政策引导。特别是 2023 年以来农业农村部办公厅发布的关于酸化耕地治理重点县建设的系列通知和 2025 年中央一号文件明确指出加强南方酸化退化耕地治理,更是将酸化土壤治理工作推向了新的高度。这些举措不仅体现了国家对耕地质量提升的坚定决心,也为地方政府提供了清晰的行动指南。在此背景下,根据南方酸性土壤的实际状况,结合相关科学与技术研究现状和行政管理中的问题,探讨酸性土壤健康行政管理的有效策略,以期为推动南方酸性土壤健康恢复、促进农业可持续发展提供有益的参考。

1 基于行政管理视角的土壤健康管理内涵

土壤作为地球的“皮肤”覆盖在陆地表面,供养着无数的陆地生命。“民以食为天,食以土为本”和“万物土中生,有土斯有粮”均阐释了土壤是农业发展和人类生存的基石。同时,土壤与大气圈、水圈、

岩石圈以及生物圈之间持续进行的物质与能量交流,对于保持地球复杂生态系统稳定且健康地运行具有至关重要的作用。

对于“土壤健康”这一概念,在不同的历史发展时期,根据人类生产和生活需求以及人类对土壤资源的认知水平,土壤科研工作者对于土壤的优劣给出了不同的定义、评价指标和评价体系,也体现了人类对可持续性发展意识的觉醒与管理的不断深化(表 1)。最初,人们用土壤肥力(Soil fertility)评价土壤提供作物生长所需各种养分的能力,它是反映土壤肥沃性的一个重要指标,注重土壤的生产功能,所以土壤肥力常用来衡量土壤对农业生产的适用性^[3]。20 世纪 70 年代后,随着人口快速增长,人类对土地的过度开发和利用导致土壤资源退化加剧,土壤质量(Soil quality)的概念应运而生。国际上普遍认可的土壤质量定义是指土壤在生态系统中保持生物生产力、维护环境质量以及促进动植物健康成长的能力。随着时代的发展和科学技术水平的提高,土壤质量的概念在不断地发展变化^[4]。20 世纪 90 年代以来,土壤学界一直在争论土壤健康(Soil health)的定义,主要是为了区分土壤健康与土壤质量^[5]。“土壤质量”与“土壤健康”这两个词在科技文献和公众出版物中常常交替出现,多数研究者认为这两个概念可通用。

表 1 土壤健康内涵的发展与特点
Table 1 Development and characteristics of soil health connotation

概念发展	时间	评价指标	土壤功能	管理特点
土壤肥力	1970s 以前	肉眼可见的土壤颜色、结构、大型土壤动物及土壤养分含量分析	土壤的生产功能	实时性状,可定性或定量,粗放管理
土壤质量	1970s—1990s	侧重土壤物理和化学指标	土壤的生产功能和环境功能	土壤固有性状或动态性状,可定性或定量,便于管理
土壤健康	1990s—	除土壤物理和化学指标外,侧重生物指标	土壤的生产功能和生态功能	强调土壤动态性状,可定性或定量,易于管理、数字化管理
土壤安全	21 世纪以来	除土壤理化化和生物指标外,侧重政策法规和社会福祉	土壤的生产和生态功能以及社会功能	强调土壤的可持续性,可定性或定量,统筹管理

关于土壤健康的概念发展(表 1),从最初的土壤肥力,到等同于土壤质量,再到与生态系统健康的关联、着重土壤生物指标的参与以及强调动态过程等,目前,在经济快速发展、土壤退化严重以及极端气候事件频发的背景下,土壤抵御各种环境扰动、保持基本生产和生态功能稳定的能力也必须考虑在土壤健康的范畴内。简言之,土壤健康是动态的、可变的土壤质量,受人类利用和管理方式的影响较大。

而就“土壤健康管理”一词,从狭义的环境管理

的角度而言,土壤健康管理通常侧重于技术维护和观测,是可定性或定量的、可控的。但近 5 年来,学术界对土壤健康管理的研究逐渐从单一的技术视角转向多维度的综合管理视角。特别是在行政管理学领域,土壤健康管理的内涵得到了更为系统的阐释。土壤健康管理不仅涉及土壤的物理、化学和生物特性的维护与改善,还涵盖了政策制定、制度设计、资源配置、公众参与等多方面的管理活动。从管理学的视角来看,土壤健康管理是一种以可持续发展为目标,通

过科学的政策工具和治理机制,协调政府、企业、市场和社会多方利益主体的行为^[6],以实现土壤资源的可持续利用和生态系统的良性循环。其核心在于通过科学的评价体系和有效的管理措施,提升土壤的生态功能和服务价值,以保障农业生产的可持续性、生态环境的稳定性和人类健康的福祉。具体而言,土壤健康管理包括土壤质量的监测与评估、土壤污染的风险防控、土壤修复技术的推广与应用以及相关法律法规的制定与执行等环节。同时,管理学强调在土壤健康管理中引入多元主体参与机制^[6],通过政府主导、企业担责、公众参与、市场激励和社会监督相结合的方式,形成有效的治理网络。此外,土壤健康管理还需注重跨部门、跨区域的协同合作,以应对土壤问题的复杂性和系统性。总体而言,土壤健康管理不仅是对土壤本身的技术性管理,更是一种综合性的公共治理过程,旨在通过科学的行政手段和制度安排,实现土壤资源的可持续利用和生态环境的整体改善。

2 土壤健康中涉及行政管理的相关理论基础

目前,行政管理视角的土壤健康管理涉及的理论基础主要有协同理论、公共管理理论、利益相关者理论和可持续发展理论。

协同理论注重分析各要素间的相互作用,促进整体效益最大化,其在酸性土壤健康管理中的应用主要体现在多主体协作与资源整合上。酸性土壤健康管理涉及土壤改良、作物种植、水资源管理等多个环节,需要政府、科研机构、各类种植农户和企业等多方协同合作。例如,政府通过政策支持(如补贴、法规)提供制度保障,科研机构研发高效改良技术(如精准施肥、生物质炭应用),企业提供改良产品与服务,各类种植农户实施具体管理措施。协同理论还强调信息共享与资源互补,通过建立协作平台(如农业技术推广站、数字化监测系统),促进知识流动与技术创新。

公共管理理论着眼于酸性土壤健康管理涉及的公共资源的利用与保护,为政策制定与执行提供理论支持。例如,政府可通过立法限制化肥使用,通过财政补贴支持土壤改良项目,通过监测与评估确保政策落实。该理论还强调公众参与,鼓励各类种植农户、企业、社会组织共同参与管理决策,提高政策的可行性与有效性。此外,公共管理理论还关注政策的公平性,确保资源分配惠及所有群体。

利益相关者理论认为,酸性土壤健康管理涉及多方利益相关者,包括各类种植农户、政府、科研机构、农业企业等。该理论分析视角有助于识别各方的需求

与矛盾,并促进协作。例如,各类种植农户关注短期经济效益,而政府更注重长期生态效益,科研机构则致力于技术创新。通过该理论,可建立多方参与的协作平台,制定兼顾各方利益的管理政策。例如,政府可通过补贴激励各类种植农户采用土壤改良技术,科研机构提供技术支持,企业提供改良产品,从而实现多方共赢。

可持续发展理论着眼于以公平性、持续性、共同性为三大基本原则的科学发展。土壤健康管理是解决可持续性问题的核心,人类社会如何使用、管理土壤并与之互动是解决当前自然资源保护、气候变化、粮食安全和能源转型等可持续发展问题的关键。联合国针对该问题制定可持续发展目标(Sustainable development goals, SDGs),强调了土壤在考虑粮食生产、水供应、气候缓解和生物多样性保护等方面的重要性^[7]。该理论对酸性土壤管理目标的设定具有重要指导意义。

3 我国各级行政管理部门在酸性土壤健康管理中的实践与探索

3.1 国家层面

我国酸性土壤明显分为南方红黄壤地区和东北地区。在我国南方地区,气候条件适宜植物生长,土壤的酸性及其诱导的一系列胁迫因子是作物产能发挥的主要限制因子^[1],严重制约了农业可持续发展和生态系统的健康。为此,我国政府在酸性土壤治理方面进行了长期的实践和探索,在国家层面的统筹主导下,从政策支持、科学研究、技术推广、生态修复和公众参与等多个方面入手,形成了一套综合性的酸性土壤治理体系,旨在改善土壤质量、提高农业生产力和保障生态环境安全。我国政府在酸性土壤治理方面的实践与探索由 6 个方面构成(图 1)。各级政府对科研、监测、推广和宣传等部门履行指导与引导职能;科研部门肩负着为各级政府建言献策的职责,并为监测和宣传部门提供专业指导;监测、推广和宣传部门之间形成相互反馈、调节和促进的协同机制。各部门通过跨层级、跨领域的协同联动,从制度保障、技术支撑、落地应用、动态调整、社会氛围营造和合作交流等维度,共同推动土壤健康管理体的构建与完善。

3.1.1 政策支持与顶层设计 我国政府高度重视酸性土壤治理工作,将其纳入国家生态环境保护和农业可持续发展的战略规划。近年来,国务院及相关部委陆续出台了一系列政策文件,为酸性土壤治理提供

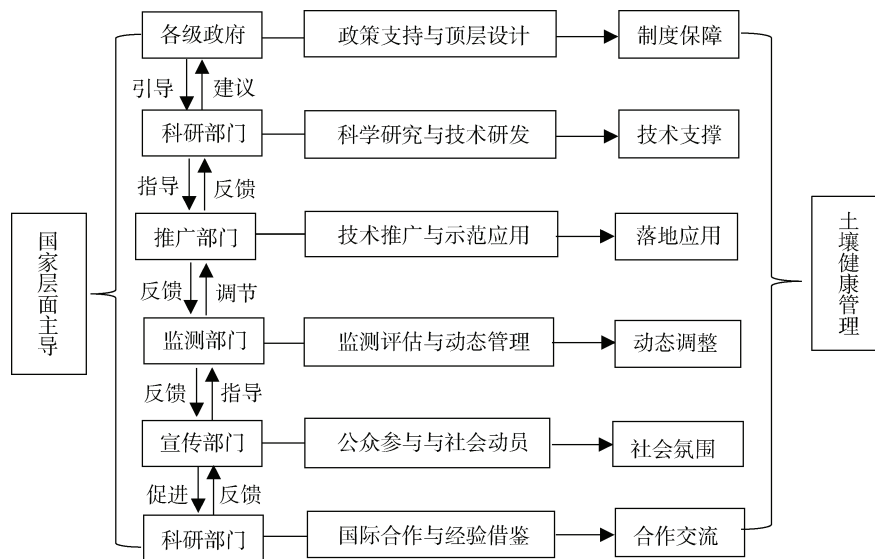


图 1 国家层面土壤健康管理策略框架

Fig.1 Strategic framework for soil health management at national level

了政策保障和行动指南。例如,《中共中央办公厅 国务院办公厅关于加强耕地保护提升耕地质量完善占补平衡的意见》明确提出要实施酸化等退化耕地治理工程,通过施用土壤调理物料等措施改善土壤结构。同时,酸性土壤治理不仅涉及农业生产,还与生态环境保护密切相关。我国政府在治理过程中注重生态修复和综合治理的政策引导,1999年以来的“退耕还林还草”政策以及2021年发布的《国务院办公厅关于鼓励和支持社会资本参与生态保护修复的意见》等为酸性土壤健康管理提供了全方位的指导。此外,《土壤污染防治行动计划》和《中华人民共和国土壤污染防治法》也将酸性土壤治理作为重要内容,要求各地制定具体的治理方案并落实责任。2025年中央一号文件明确指出加强南方酸化退化耕地治理。上述政策文件为酸性土壤治理提供了顶层设计和制度保障。

3.1.2 科学研究与技术研发 我国政府在酸性土壤治理方面投入了大量科研资源,支持高校、科研院所和企业开展相关研究,形成了多项具有自主知识产权的技术成果。早在1985年,全国科技工作者就一起编写了《中国红黄壤地区土壤利用改良区划》专著,明确指出了我国酸性红黄壤的改良利用途径。2024年11月,农业农村部科学技术司会同中国科学院可持续发展局组织全国酸性土壤研究的科技工作者,在江西鹰潭专门召开了“南方耕地土壤酸化治理科技座谈会”,交流耕地土壤酸化治理科技创新的进展成效。例如,通过发展新型酸性土壤改良剂、微生物固氮等调控措施提升土壤微生物功能^[1]。这些科研成果为酸性土壤治理提供了技术支撑。

3.1.3 技术推广与示范应用 为了将科研成果转化为实际生产力,我国政府积极开展了酸性土壤治理技术的推广和示范工作。例如,2023年,农业农村部办公厅发布了关于开展酸化耕地治理重点县建设的通知,在江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、贵州等省(自治区、直辖市)的20个县启动实施酸化耕地治理重点县建设^[8],集中连片开展酸化耕地治理,聚焦耕地质量提升,在南方酸性土壤区域建立了多个治理示范区,推广石灰改良、有机肥施用、秸秆还田等技术,为确保粮食安全夯实基础。这些示范区通过现场培训、技术指导等方式,向各类种植农户普及酸性土壤治理知识,提高了技术的普及率和应用效果。2024年,许多省份也启动了第二批国家酸化耕地治理重点县建设项目。此外,政府还通过补贴政策鼓励各类种植农户使用土壤改良剂和有机肥,降低了治理成本,激发了各类种植农户的积极性。这些措施有效推动了酸性土壤治理技术的落地应用。

3.1.4 监测评估与动态管理 为了科学评估酸性土壤治理效果,我国政府已经初步建立全国耕地质量监测基本网络。例如,农业农村部组织实施了全国耕地质量监测,在南方酸性土壤区域设立了多个监测点,实时掌握土壤质量变化情况。对南方酸性土壤的pH、养分含量、污染物浓度等指标进行定期监测。同时,鼓励科研工作者积极开发土壤质量评价模型和信息系统,通过大数据分析为治理决策提供科学依据。此外,政府还建立了相关动态管理机制,根据监测结果及时调整治理措施,确保治理工作的针对性和

有效性。

3.1.5 公众参与与社会动员 酸性土壤治理不仅是政府的责任,也需要全社会的共同参与。因此,我国政府在治理过程中尤其注重通过科普宣传和业务培训等方式提高公众参与度。例如,农业农村部耕地质量监测保护中心联合广东省农业农村厅在广东省相关地区开展“我帮农民治酸土”行动^[9],举办技术培训,开展技术巡回指导,切实帮助农民群众解决“急难愁盼”的耕地问题。逐步形成了政府主导、多方参与的治理格局。这些举措为酸性土壤治理营造了良好的社会氛围。

3.1.6 国际合作与经验借鉴 我国政府在酸性土壤治理过程中积极借鉴国际先进经验,加强与国际组织以及技术与管理经验先进国家的合作。例如,我国参与了联合国粮农组织(FAO)和全球土壤伙伴关系(GSP)的相关活动,参与全球土壤治理项目,学习国际先进理念和技术。同时,支持我国高校与法国相关研究机构共建的“中-法土壤环境联合实验室”(ECOLAND),开展了技术交流与合作。此外,还通过中非合作等多种渠道和其他国家分享酸性土壤治理经验,为全球土壤环境保护贡献了中国智慧。2023年10月,由中国土壤学会、中国科学院南京土壤研究所共同主办的“第十一届低 pH 值下植物-土壤相互作用国际会议(11th PSILPH2023)”在南京召开,会议的主题是酸性土壤的可持续利用,来自中国、美国、日本、澳大利亚、马来西亚、克罗地亚、德国、印度、俄罗斯、巴西等 10 个国家和地区的 260 余名代表参会。

3.2 其他各级行政管理部门层面

以浙江省为例,作为我国南方酸性土壤分布较为集中的区域之一,长期以来其土壤健康管理需要克服土壤酸化、养分流失等难题。为此,浙江省政府结合区域特点,开展了一系列酸性土壤治理的探索,形成了具有地方特色的治理模式。一是政策支持与规划引领。浙江省将酸性土壤治理纳入生态环境保护 and 农业可持续发展的总体规划,出台了《浙江省土壤污染防治工作方案》《浙江省土壤污染防治条例》《浙江省农业农村厅等 5 部门印发关于土壤健康行动实施意见的通知》,以“健康土壤培育行动”加强土壤酸化遏制,明确了治理目标和措施,确保治理任务落实。二是科学研究与技术推广。浙江省耕地质量与肥料管理总站和相关技术团队开展酸性土壤治理研究,采用绿肥或商品有机肥+土壤调理剂(石灰)+配方肥(水肥一体化)的综合模式进行土壤酸化矫

治。据季卫英等^[10]研究,通过对 92 个相关动态监测点的跟踪监测显示,采用石灰作为土壤改良剂后,土壤 pH 平均值从 5.20 提高到 5.89;在此基础上配合有机替代培肥措施,进一步提升了土壤保肥性能,土壤有机质含量从 25.72 g/kg 提高到 33.62 g/kg。三是生态修复与综合治理。浙江省大力推进农作制度创新,推广应用间种、套种、轮作等方式。深化“肥药两制”改革,推广有机肥、水肥一体化等技术^[11]。针对黄、红壤发育的水稻土“酸、瘦、板、黏”等特性以及化肥过量施用引起的土壤酸化、有机质含量与作物生产力下降等问题,在农闲期开展土壤酸化治理,稳步提高土壤 pH、降低土壤潜性酸、提升土壤缓冲容量,提高肥料利用率,促进作物增产稳产^[12]。四是监测评估与动态管理。在国家监测网络基础上,开展由省生态环境、农业农村、林业、自然资源等多部门统一规划、整合布局的土壤环境监测站(点)谋划布局,进一步完善全省土壤环境监测网络^[13],建立了全国首个省级土壤环境长期观测基地,开展土壤酸度、环境背景值以及土壤污染与农产品质量等方面的基础研究,利用监测数据分析为治理决策提供科学依据。五是公众参与与社会动员。浙江省通过宣传教育、技术培训提高公众环保意识,鼓励各类种植农户、企业和社会组织参与治理项目,并通过专项资金和技术补贴支持治理工作,形成了政府主导、多方参与的治理格局。

杭州市萧山区作为浙江省酸性土壤分布区域之一,当地政府在酸性土壤治理方面同样进行了多方面的实践和探索。一是统筹规划与机制保障。在土壤治理工作中,贯彻落实《杭州市清洁土壤行动方案》《杭州市土壤污染防治“十四五”规划》《杭州市土壤健康行动实施意见》等系列文件要求,紧盯土壤酸化等突出问题,建立健康土壤监测体系,以土壤污染源头治理为切入点,统筹兼顾城镇和农业用地的土壤污染防治,协同推进源头监管、调查评估、监测监控和治理修复,为酸性土壤治理提供科学依据和保障^[14]。并结合萧山区实际,印发实施《土壤、地下水、农业农村和重金属污染防治重点工作任务》。二是技术应用与综合施策。萧山区强化了土壤污染防治的监管能力,完善土壤和地下水环境监测网络^[15]。依托全国土壤信息系统和“浙里净土”系统探索建设用地数字化管理模式,实现管理体系和治理能力现代化,通过网上提交数据,在线质控审查,建立“公开透明、权责清晰、多跨协同、整体智治、精准高效”的运行机制,提升土壤环境监管和执法能力,为酸性土壤治理

提供有力保障。同时,通过建立农田土壤污染常规监测点和农田土壤污染综合监测点,搭建较为完善的土壤质量监测体系^[16],实时监测土壤的 pH、有机质含量等指标,及时掌握土壤酸化动态。利用数字化技术定期开展土壤质量检测工作,实现了土壤信息的实时更新与共享,提升了管理效率和服务水平,实现对土壤健康的动态管理和精准评估。在此基础上,萧山区在酸性土壤治理中,运用优良作物品种、科学水管理(合理灌溉)、合理调节土壤酸碱度(pH),以及采取包括施用土壤调理剂等多项农艺技术措施^[17],提升土壤有机质含量,增强土壤的酸碱缓冲能力。推广秸秆还田技术,增加土壤有机质,改善土壤结构,从而缓解土壤酸化。针对不同酸化程度的土壤,因地制宜地采用不同的治理模式。三是示范推广与社会参与。萧山区依托辖区内自然资源部全域土地综合整治试点、健康土壤示范基地等示范载体,展示酸性土壤治理的效果,带动周边农户积极参与治理工作。通过组织宣传培训工作,开展技术辅导工作等方式,向各类种植农户普及科学施肥和酸性土壤治理的知识和技术。利用微信、电视、报刊等媒介,宣传土壤健康行动的重要意义,形成“培育健康土壤、发展绿色健康农业、倡导健康生活”的社会氛围^[18]。截至 2025 年 5 月,萧山区已面向各类种植农户开展技术辅导 20 余次,培育市级土壤健康示范基地 5 个。2021 年以来,累计推广应用商品有机肥 15 t、土壤调理剂 1 853.8 t。通过连续 4 年推广应用商品有机肥,截至 2025 年 5 月,区内化肥用量减少 9.8%,土壤有机质含量提高 2.75 g/kg。四是宣传教育与培训动员。积极宣贯省生态环境厅、自然资源厅关于印发《浙江省建设用地土壤污染风险管控和修复监督管理办法》的通知,组织召开相关单位参加《浙江省土壤污染防治条例》宣贯培训会,发放 500 余份《浙江省土壤污染防治条例》宣传手册到相关部门、镇街和单位。通过对土壤治理重要性的持续宣教,不断提升群众参与度和社会支持度,确保酸性土壤治理工作的顺利开展。

4 酸性土壤健康的行政管理策略建议

4.1 完善相关法律及制度建构

在自然资源管理领域中,土壤健康维护、耕地保护、生态保护与修复等工作彼此紧密关联,相互依存。当前,进一步从政府层面为酸性土壤治理提供顶层设计,完善相关法律及制度建构尤为重要。国外在土壤战略方面所采取的众多措施,为我国土壤资源管理工作的优化提供了有价值的参考和启示。2010 年 11 月

美国大自然保护协会制定《美国土壤健康路线图》,该路线图以美国农业现状为基础参考,提出了土壤健康的新愿景:转变美国耕地管理模式,使土壤健康成为农场运营决策的优先指标,到 2025 年,50% 以上的美国农田要采用土壤健康管理措施,为实现该愿景,需要利用现有的最佳科学信息和工具来设定目标、制定战略、采取行动并评价结果,即采用基于科学的“设计保护”方法解决围绕土壤健康的复杂问题^[19]。澳大利亚于 2021 年 5 月发布了《国家土壤战略》(2021—2041 年),赋予土壤健康优先权,这意味着澳大利亚的公共与私营部门,以及从联邦至地方各级政府和土地管理者,均必须将土壤健康视为核心关注点,并在制定国家政策、开展科学研究及推动实践创新时,将可持续的土壤管理作为关键的考量要素,制定国家行动计划并实施动态调整,列明各种项目和活动的清单,详细指导各州及领地政府具体实施,使得为期 20 年的国家土壤战略能够被各类利益相关者理解并有效落实^[20]。欧盟于 2021 年 11 月发布了《欧盟土壤 2030 年战略》,提出了欧盟到 2050 年实现土壤健康的愿景和目标,以及在 2030 年前采取的具体行动,包括调动财政资源、促进知识交流并推广可持续方法的应用和监测,将自愿性措施和法律强制性措施相结合。2024 年的《非洲肥料和土壤健康宣言》,已将重点从肥料扩展至土壤健康^[21]。

我国也逐渐重视健康土壤管理,2018 年,中国土壤学会组建了土壤健康工作组,其核心任务是深入探索并制定健康土壤的培育策略及实施路径^[22]。2023 年 3 月全国两会期间,已有相关与会专家表示,“党的二十大提出的保障粮食安全和绿色低碳发展战略,必须统筹管理耕地的粮食产能、环境质量、生物多样性和生态服务功能,亟须开展我国健康耕地培育重大科技攻关行动”^[7]。土壤健康调查与评价被列为我国正在开展的第三次全国土壤普查的关键目标之一,其中土壤生物指标的调查是其与第二次全国土壤普查的主要区别之一。但是,目前我国尚未形成系统的关于土壤健康的法律法规或战略行动方案等。鉴于粮食安全、生态安全以及全球变化等多元且紧迫的需求,从国家层面出发,加大土壤健康维护的法治力度,推动制定支持土壤健康实践的政策和法规,包括提供经济激励和补贴,以及制定土壤健康保护和恢复的标准与指南,显得至关重要。

4.2 加强土壤治理专业化技术介入

在生态环境角度,酸性土壤不同于其他土壤的地方在于它不仅固有属性存在“先天不足”(pH 偏低的

自然属性), 还存在一系列人为扰动下的土壤生产与生态环境问题。因此, 要促进技术集成与创新, 以开发更有效的土壤健康管理方法, 包括使用大数据和人工智能等专业技术。这里需要密切注意土壤 pH 检测。土壤 pH 不仅直接影响土壤养分和重金属的有效性, 还直接影响土壤胞外酶活性以及土壤微生物群落的组成和活性, 进而影响微生物对有机质分解和养分循环等重要生态过程。对于不同酸化程度的土壤, 根据土壤 pH 的不同, 可实施分级管理。我国酸性土壤区 pH ≤ 5.0、5.0~5.5、5.5~6.5 的酸性土壤面积分别占酸性土壤总面积的 4.3%、10.1%、85.6%^[1]。对于轻度酸化(pH 5.5~6.5)土壤, 主要通过适量施用石灰等改良剂和有机肥调节^[1-2]。对于中度至重度酸化(pH ≤ 5.5)土壤, 除上述措施外, 可能需要更深入的土壤综合改良, 如添加含钙镁的碱性矿物材料与生物质炭^[23], 以及采用农业管理措施如种植绿肥、覆盖耕作等, 促进土壤自我修复。

酸性土壤健康管理的核心在于“降酸增碳”。降酸的主要措施是施用石灰等碱性物质来调理。增加土壤碳汇切实可行的途径包括施用有机肥和生物质炭等有机物料, 培育地下生物量高的新品种, 或者通过工程手段调整土壤微生物群落以促进碳稳定等^[22]新技术, 促进当前土壤固碳措施的采用, 将更多有机碳保留在土壤中。农用地酸性土壤健康管理则更为复杂, 需要考虑作物生长、肥料有效性、土壤微生物活性等多个因素。农用地酸性土壤管理侧重于提高土壤肥力和作物产量。根据土地利用方式进一步细分为旱地和水田, 旱地重点在于通过施用石灰、有机肥等措施调节土壤 pH, 改善土壤结构, 提高保水保肥能力, 同时合理轮作和种植绿肥以提高土壤有机质^[1]。水田需注意排水与灌溉系统的优化, 防止水旱交替过程中的土壤酸化加剧。水田中可实施水稻与冬季绿肥的轮作, 以及使用耐酸性水稻品种, 以提高作物适应性和产量。

4.3 突出土壤污染监测及防治管理

土壤酸化会导致土壤重金属的活性急剧升高。对于受到重金属或其他污染物污染的酸性土壤, 应首先进行污染评估, 明确污染源和污染程度, 核心任务是解决突出的土壤环境问题, 主要任务是源头控制, 减少污染物输入。然后采取针对性的污染修复措施, 结合土壤酸度改良, 推动土壤健康管理从末端治理向源头防控转变, 逐步改善生态环境质量。我国南方酸性土壤区面积大, 各地自然和社会经济条件有差异, 可采取区域化管理策略, 针对土壤生态环境优良的区

域, 率先探索并实施健康土壤管理模式, 依据当地实际情况构建健康管理框架及实施步骤, 随后逐步推广, 最终实现健康管理的全面覆盖。

此外, 要重点抓好数字赋能土壤监测工作。制定县域/省域的土壤健康管理规划, 推广适宜当地的农业技术和改良措施, 建立协调统一的土壤监测系统, 统一监测评估的标准和方法, 提高土壤数据和信息的可获取性及时间连续性, 及时准确地了解各地土壤状况和变化趋势。寻找和开发能够更准确地反映土壤健康状况和功能的指标, 这些指标应易于测量且能够适用于不同地理和气候条件。

4.4 加强社会协作形成治理合力

对于土壤健康管理现有的行政管理模式的系统性尚存在不足。在政府发挥主导作用的前提下, 需要协调各方资源, 鼓励社会力量参与, 形成治理合力。首先, 要积极引入市场机制, 吸引社会资金投入, 激发社会各界参与土壤健康管理技术研发的积极性, 鼓励企业和社会资本参与酸性土壤治理, 推动技术创新和成果转化, 形成政府引导、科技融入、企业主体、社会参与的多元共治格局。其次, 要加强与科研机构、高校等合作, 开展联合攻关, 提升治理技术的针对性、实效性和落地性。就土壤本身而言, 需要加深对土壤属性、土壤过程与生态系统功能之间联系的理解^[24], 持续支持土壤健康的各个方面纵深研究, 包括物理、化学和生物过程, 以及它们如何影响土壤生产和生态系统服务功能。但从更大的土壤管理视域而言, 更需加强跨学科合作, 深化科学研究, 促进土壤科学家、农学家、经济学家、社会学家和政策制定者之间的跨学科合作, 以综合解决土壤健康面临的挑战, 同时, 应强化土壤健康管理研究支持的连续性和持续攻关。只有这样, 才能改进维持生产力、生物多样性和保护环境的方法。第三, 强化行政管理部门的协调功能, 对企业、科研部门和各类种植农户个体之间利益等方面的冲突可通过税收支持、政策补贴等策略调节, 以支持战略目标实现。最后, 由于土壤健康管理属于知识密集型技能, 还要强化公众教育和宣传, 运用多种激励政策, 鼓励公众参与土壤健康保护工作。尤其是要提高各类种植农户、农业顾问和政策制定者对土壤健康重要性的认识。通过媒体和公共活动提高人们的土壤素养, 提升公众对土壤健康及其重要性的认识。通过提供技能和知识培训, 帮助各类种植农户和社会各界参与到酸性土壤治理中, 形成全社会共同关注和支持的良好氛围, 从而有效推动我国南方酸性土壤健康恢复, 保障农业可持续发展, 实现经济效益、生态

效益和社会效益的协调统一。

参考文献:

- [1] 赵学强, 潘贤章, 马海艺, 等. 中国酸性土壤利用的科学问题与策略[J]. 土壤学报, 2023, 60(5): 1248–1263.
- [2] 沈仁芳, 赵学强. 酸性土壤可持续利用[J]. 农学学报, 2019, 9(3): 16–20.
- [3] Patzel N, Sticher H, Karlen D L. Soil fertility—Phenomenon and concept[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2000, 163(2): 129–142.
- [4] 路鹏, 苏以荣, 牛铮, 等. 土壤质量评价指标及其时空变异[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 190–194.
- [5] Bünenmann E K, Bongiorno G, Bai Z G, et al. Soil quality—A critical review[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 120: 105–125.
- [6] 王红旗, 刁硕. 土壤环境质量管理体系构建的战略思考[J]. 中国环境管理, 2016, 8(5): 26–30.
- [7] 赵瑞. 基于多功能性的耕地土壤健康评价与应用研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2023.
- [8] 农田建设管理司. 农业农村部办公厅关于开展酸化耕地治理重点县建设的通知: 农办建〔2023〕3号[Z]. 北京: 农业农村部办公厅, 2023–03–28.
- [9] 王澎. 推广集成技术模式 带动农户参与酸土治理[N]. 农民日报, 2023–07–01(6).
- [10] 季卫英, 柴有忠, 童文彬, 等. 浙江省土壤酸化治理试点成效与对策建议[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(10): 1960–1962, 1966.
- [11] 浙江省人民政府. 浙江省人民政府关于印发浙江省实施科技强农机械强农行动大力提升农业生产效率行动计划(2021—2025年)的通知[Z]. 浙政发〔2021〕39号, 2021–12–10.
- [12] 浙江省农业农村厅. 关于发布2022年土壤健康培育十项关键技术的通知[Z]. 2022–11–23.
- [13] 浙江省人民代表大会常务委员会. 浙江省土壤污染防治条例[Z]. 2023–11–24.
- [14] 杭州市人民政府. 关于印发杭州市清洁土壤行动方案的通知[Z]. 杭政函〔2012〕79号, 2012–06–25.
- [15] 美丽杭州建设领导小组土壤和固体废物污染防治办公室. 关于印发《杭州市土壤污染防治“十四五”规划》的通知[Z]. 杭土固办〔2022〕1号, 2022–01–04.
- [16] 萧山区农业农村局. 关于做好2021年萧山区省区级农田土壤污染监测调查工作的通知[Z]. 萧农种养〔2021〕372号, 2021–11–11.
- [17] 萧山区农业农村局. 关于做好2021年萧山区受污染耕地水稻种植安全利用的通知[Z]. 萧农种养〔2021〕181号, 2021–05–24.
- [18] 杭州市农业农村局(杭州市乡村振兴局)等. 杭州市土壤健康行动实施意见的通知[Z]. 杭农〔2023〕15号, 2023–04–27.
- [19] The Nature Conservancy. Rethink soil: A roadmap to U.S. soil health [EB/OL]. 2016. [2023–09–25]. <https://www.nature.org/ourinitiatives/regions/northamerica/rethink-soil-external-paper-103116.pdf>.
- [20] Department of Agriculture, Water and the Environment, Australia. National soil strategy [EB/OL]. 2021. <https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/documents/national-soil-strategy.pdf>.
- [21] Johnson K, Kihara J, Fan M S, et al. Understanding soil health[J]. *One Earth*, 2024, 7(12): 2088–2091.
- [22] 张桃林. 守护耕地土壤健康 支撑农业高质量发展[J]. 土壤, 2021, 53(1): 1–4.
- [23] 袁金华, 徐仁扣. 生物质炭对酸性土壤改良作用的研究进展[J]. 土壤, 2012, 44(4): 541–547.
- [24] Wolfe D W. The soil health frontier: New techniques for measurement and improvement. *Proceedings: New England Vegetable and Fruit Conference*[R]. Univ. Maine Coop. Ext. Pub., Portland, ME, 2005: 158–163.

(责任编辑: 毛小芳)