《建设用地土壤健康评估技术指南》

（草案）

编制说明

《建设用地土壤健康评估技术指南》编制组

二〇二四年二月

目　录

1 任务来源 1

2 标准制定必要性 1

3 主要工作过程 3

4 国内外相关标准概况 5

4.1 国内相关标准情况 5
4.2 国外相关标准情况 6
4.2.1 欧盟 2030 年土壤战略 6
4.2.2 美国健康土壤管理 ..... 错误!未定义书签。
4.3 土壤健康评估框架 8

5 编制原则 11

6 主要技术内容及说明 11

6.1 资料分析 11
6.1.1 资料收集 11
6.1.2 现场踏勘 12
6.1.3 人员访谈 12
6.1.4 土壤胁迫因子识别 12
6.2 指标体系构建 16
6.2.1 指标筛选原则 16
6.2.2 指标体系构建 17
6.3 调查监测 17
6.3.1 点位布设 17
6.3.2 采样方法 18
6.3.3 检测分析 19
6.4 分层评估 19
6.4.1 指标层评估 19
6.4.2 准则层评估 20
6.4.3 目标层评估 20

7 预期效果 20

1 任务来源

为贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土地管理法》《中华人民共和国土壤污染防治法》和《工矿用地土壤环境管理办法（试行）》等法律法规，为保障土壤生态系统服务功能，保护生态环境，加强建设用地土壤环境保护，指导建设用地土壤健康评价，制定本技术指南。本任务来源于 2022 年科技部重点研发项目“移动式场地污染快速检测与处置技术及其装备”（项目编号：2022YFC3702500），主编单位生态环境部环境规划院作为课题承担单位负责课题“突发事故和工业集聚区分散点状污染场地快速处置技术体系和规范”（课题编号：2022YFC3702505）研究工作。

根据中华环保联合会《关于征集“2023 年度土壤(地下水)治理修复团体标准”的通知》（中环联字〔2023〕150 号）的要求，由生态环境部环境规划院作为项目承担单位，中国科学院南京土壤研究所作为项目协作单位，联合承担《建设用地土壤健康评估技术指南》标准项目的编制工作。

2 标准制定必要性

土壤是陆地生态系统的基础，具有支持农业及林业生产活动、提供养分、其他物质和水的储存过滤和转化、生物多样性、人类活动的物理和文化环境、碳库、地质考古遗产档案等功能；为植物和动物提供栖息场所，是支撑生命体活动和潜在动植物群落发展的重要载体，对于保护和提高生物多样性具有重要作用。开展建设用地土壤健康评价是提高陆地生物多样性、提升土壤碳汇能力、支撑区域绿色可持续发展的必要举措。

联合国粮农组织（FAO)基于千年生态系统评估，在国际土壤年发布的《世界土壤资源状况报告》中厘定了土壤功能及其提供的生态系统服务。土壤生态系统服务是指人类从土壤生态系统获得的惠益，包括支持服务（supporting services)、调节服务（regulating services)、供给服务（provisioning services)和文化服务（cultural services)四类。支持服务是指其他所有生态系统服务实现所必要的服务，对人类的影响通常是间接的，或者影响的时间尺度很长；调节服务是指从生态系统过程调节获得的惠益；供给服务是指从生态系统获得的对人类有直接益处的产

品；文化服务是指人类以精神富足、审美体验、自然和文化遗产保护与重建形式从生态系统获得的非物质惠益。表 1-1 列出了土壤生态系统服务及其实现所需的土壤功能。

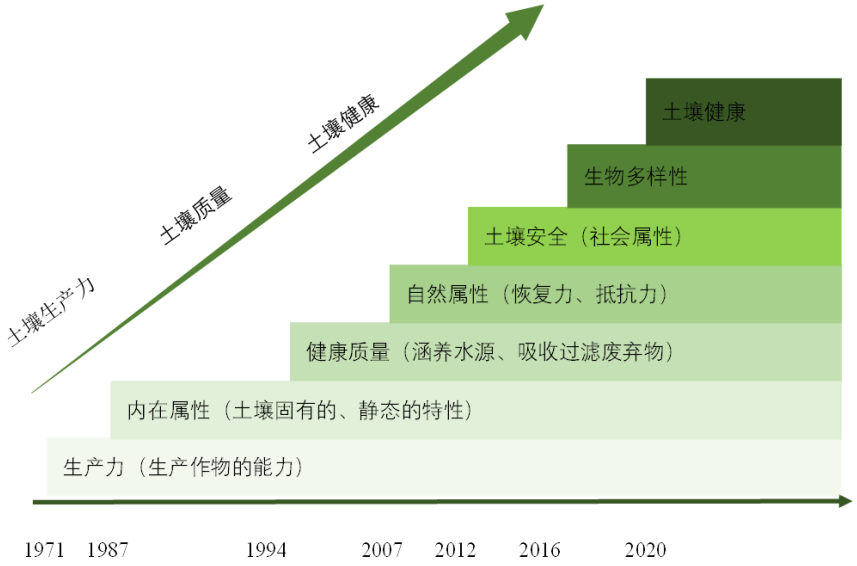

图 1-1 土壤健康内涵的发展

表 1-1 土壤生态系统服务及其实现所需的土壤功能

土壤生态系统服务		土壤功能
支持服务	1 土壤形成	原生矿物风化及养分释放;有机质转化与累积;维持水、气流动和根系生长的结构形成(团聚体、发生层);离子固持和交换的带电表面形成
	2 初级生产	种子萌发和根系生长介质;植物的养分和水分供给
	3 养分循环	土壤生物有机物质转化;带电表面养分固持和释放
调节服务	4 水质调节	土壤水中物质过滤和缓冲;污染物转化
	5 供水调节	土壤水入渗和流动调控;过量的水排出至地下水和地表水
	6 气候调节	CO2、NO 和 CH 释放调节
	7 侵蚀调节	地表土壤保持
供给服务	8 食物供给	为人和动物所需植物的生长提供水、养分和物理支撑
	9 水供给	水资源保蓄和净化
	10 纤维与燃料供给	为生物能源和纤维植物的生长提供水、养分和物理支撑

土壤生态系统服务		土壤功能
	11 原料供给	供给表土、团聚体、泥炭等
	12 表面稳定性	支撑人类聚居地及相应的基础设施
	13 栖息地	提供土壤动物、鸟类等的栖息地
	14 遗传资源	独特的生物物质资源
文化服务	15 美学与精神	自然和文化景观多样性保持;颜料和染料的原材料
	16 文化遗产	考古文物保存

联合国粮农组织的《世界土壤资源状况》报告确定了有损土壤健康的胁迫因子，包括土壤侵蚀、土壤养分不平衡、土壤中的碳和生物多样性的丧失、土壤酸化、污染、土壤盐渍化和土壤板结。在此背景下，人们从早期的片面追求产量，转变到重视土壤质量，并进一步上升到关注土壤健康问题。

2.1 欧盟 2030 年土壤战略

2021 年 11 月 17 日，欧盟委员会发布《2030 年土壤战略》（Soil Strategy for 2030），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。该战略还宣布到 2023 年将发布新的《土壤健康法》，以确保公平的竞争环境以及高水平的环境与健康保护。

《2030 年土壤战略》提出了到 2050 年土壤健康的愿景和中长期目标。

（1）愿景：到 2050 年，欧盟所有土壤生态系统都处于健康状态，因此可以继续提供其关键服务。

（2）到 2030 年的中期目标：防治荒漠化，恢复退化的土地和土壤，包括受荒漠化、干旱和洪水影响的土地；大量富含碳的土壤生态系统得到恢复；欧盟土地利用、土地利用变化和林业（LULUCF）部门实现每年 3.1 亿吨二氧化碳当量的净温室气体去除量；到 2027 年，地表水达到良好的生态和化学状态；到 2030 年，养分损失至少减少 50%，化学农药的总体使用和风险减少 50%，更危险的农药的使用减少 50%。污染场地的修复取得重大进展。

（3）到 2050 年的长期目标：没有净土地被占用；土壤污染应减少到不再被

认为对人类健康和自然生态系统有害的程度；到 2035 年，欧盟实现陆地气候中和；到 2050 年，完全适应气候变化不可避免的影响。

2.2 美国健康土壤管理

美国土壤健康路线中提出了面向土壤健康的十条对策，包括（1）制定具有成本效益的土壤健康测量标准和工具，创建准确、方便和标准化的方法，以快速测量关键土壤健康指标，其规模影响农民和土地所有者的管理选择；（2）制定业务管理战略，以便自适应地整合土壤健康实践和系统，在农民中积累运营战略和区域变化的证据和理解，以便将多种土壤健康实践纳入农场，包括最佳覆盖作物计划；（3）推进土壤健康效益科学，进一步量化不同管理实践和综合系统（包括有机系统）对土壤健康的经济成本和效益以及环境影响，同时考虑不同地区、土壤类型和耕作系统；（4）协调土地所有者和农民之间的激励措施，培养缺席土地所有者对社会和土地价值的土壤健康效益的理解，并鼓励整合土壤健康系统和实践的新的租赁安排；（5）利用技术创新来克服运营障碍，利用技术创新（如传感器、无人机、覆盖作物播种设备、精准农业软件和硬件）推动土壤健康系统和实践的采用和持续实施；（6）提供更广泛的产品和服务，支持土壤健康，与农业零售商共同开发新的商业模式，为更广泛的新产品和服务提供便利，以加速土壤健康系统和实践；（7）在土壤健康可持续发展计划中培育市场信号，制定改进的指标，奖励可持续性评估计划中的土壤健康管理成果，调整农民和社会的激励措施；（8）奖励那些通过降低农作物保险费来优化长期土壤健康的农民，倡导联邦补贴农作物保险计划，通过降低保险费来评估改善土壤健康状况所产生的效益；（9）支持促进对土壤健康进行更大投资的政策，支持州和联邦政策改进，重点是土壤健康实践的采用，针对实施的优先领域，并全面评估社会价值的影响；（10）为土壤健康政策建立一个更加多元化的支持者，建立一个强大和多样化的土壤健康政策支持者网络，包括农民、土地所有者、农业食品部门、社区领袖和社会利益团体。

3 主要工作过程

本标准由生态环境部环境规划院牵头起草，技术归口单位为中华环保联合会。

2022 年 9 月，标准编制组在北京召开了《建设用地土壤健康评估技术指南》团体标准启动会，主、参编单位确定了标准主要内容和编写框架。

2023 年 6 月，标准编制组在北京召开了《建设用地土壤健康评估技术指南》团体标准编制专家咨询会，就标准草案主要内容、方法体系向有关专家征求咨询建议，形成标准草案稿。

2023 年 9 月，由中华环保联合会组织专家进行立项评审，专家组一致通过《建设用地土壤健康评估技术指南》标准立项。

2023 年 11 月，由中华环保联合会组织专家进行标准草案审查，标准编制组根据评审意见修改并形成《建设用地土壤健康评估技术指南》征求意见稿。

4 国内外相关标准概况

4.1 国内相关标准情况

随着我国对土壤保护工作的重视，对土壤资源的关注从早期的片面追求粮食高产转向重视土壤质量，并逐步关注土壤健康问题。近年来，围绕耕地质量和地力提升、污染耕地修复和安全利用、中低产田改良等工作，我国出台了一系列政策和法律法规，并组织实施了一系列具体行动计划，如测土配方施肥、耕地保护补偿试点、耕地质量保护与提升行动、土壤有机质提升补贴、秸秆综合利用、东北黑土地保护利用试点、重金属污染耕地修复、土壤污染防治行动等，有效防止了耕地退化，促进了耕地地力和生产力不断提升，为耕地健康提供了相应基础。但是，从整体看，由于相关研究和工作主要是围绕耕地地力进行，近年才开始在污染耕地修复等方面开展一些必要的研究，因此，当前土壤健康相关研究缺少真正土壤健康角度的系统研究。

为推动土壤品质提升，打造可持续生产优质农产品能力的健康土壤，我国部分地市积极开展健康土壤管理实践。2019 年，河北雄安新区党工委管委会党政办公室印发《雄安新区土壤污染综合防治先行区建设方案》提出，雄安新区将强化涉重金属行业企业污染防控和企业拆除活动全过程监管，加快整治固体废物堆存场所，推进“智慧土壤”建设，开展重点区域试点示范，探索建立具有雄安特色的“健康土壤”先行区，促进土壤资源永续利用。浙江桐乡市于 2020 年 5 月在全国率先出台了《健康土壤五年行动计划》，详查全市耕地土壤健康状况，划

定耕地土壤环境质量类别，健全耕地土壤环境质量监测网络，聚焦土壤大数据，实现全市耕地土壤环境信息化管理，启动土壤有机质“一克”攻坚行动，稳步提升农田土壤基础地力，并实施“减肥”“减药”“绿农”行动，加强土壤保护的宣传力度，围绕农业绿色发展要求，不断改善全市耕地土壤健康状况。

2022 年 3 月，浙江省农业农村厅等 5 部门联合出台《土壤健康行动实施意见》，计划通过实施土壤体检、障碍土壤治理、土壤生态修复、健康土壤培育“四大行动”，创新健康土壤培育和保护利用新格局，为新时期全国耕地质量建设贡献浙江智慧。在预期目标中，提出建立土壤健康管理、有效治理障碍土壤、提升土壤健康水平、持续改善生态健康四项要求，包括构建健康土壤“指标、培育、评价和保障”体系，形成健康土壤“诊断、治理、培育和评价”新机制，有效治理障碍土壤，提升土壤健康水平、持续改善生态健康等。

从总体上看，我国开展的土壤健康管理主要以保障土壤生产功能、保障人居环境健康、改善生态健康等为主。但是，对于以城镇建设用地、林地等为主要土地利用方式的中心城区的土壤健康调查评估研究较少。

4.2 国外相关标准情况

美国、欧盟、新西兰等国家和地区的土壤健康相关标准如下表所示：

表 1-2 国外土壤健康相关标准

国家	标准名称	发布时间	涵盖指标
美国	康奈尔土壤健康评价方法	2016	团聚体稳定性、有效含水量、土壤表层硬度、土壤亚表层硬度等
新西兰	SINDI（Soil Indicators）方法	2020	SINDI 综合了土壤物理结构、土壤肥力、养分储存、有机资源和土壤中生物等土壤属性指标，主要包括有效磷、土壤 pH、可矿化氮、总碳、总氮、容重和大孔隙度等 7 个指标。

欧盟（奥地利、德国、丹麦、法国、爱尔兰）投入使用	Soil Navigator 决策支持模型	2020	以土壤管理、气象参数、土壤物理、化学、生物学特性作为模型输入，对上述 5 项土壤功能分别进行等级评价，结果呈现为各项土壤功能的高、中、低三个水平
	Biofunctool	2019	评价体系选取了 12 项可直接现场测量的时间短、成本低、效率高的功能指标，以监测包括碳转化、养分循环和结构维持的土壤功能
美国	土壤管理评估框架（Soil Management Assessment Framework，SMAF）	20 世纪 90 年代	该方法是基于系统工程和生态经验的评分功能，对相关的土壤物理、化学和生物学指标进行标准化，从而得到土壤健康指数。主要评价过程包括：筛选指标形成最小数据集、解释指标以及整合评价指标，最终形成土壤健康指数
德国	Muencheberg Soil Quality Rating（M-SQR）方法	2012	土壤质地、土壤结构、地形和气候方面的 8 个基本指标及 12 项风险指标，利用综合评分分数的高低来表征作物的产量潜力
日本	土壤污染对策法	2003	制定了 26 个土壤污染标准，包括 9 个重金属标准、12 个挥发性有机化合物标准和 5 个农药标准。加上二噁英以及针对农田土壤污染的铜和砷，总共 29 项
	农田土壤污染防治法	1960	

荷兰	新《土壤质量法令》(Soil Quality Decree)	2008	污染物毒性参数、暴露参数、建筑参数等基础数据

4.3 土壤健康评估框架

对土壤健康进行诊断是土壤管理的基础。近年来关于土壤健康的评价逐渐得到人们的重视，但是仍处于发展阶段。结合实际管理需求，土壤健康指标在筛选中应满足代表性强、敏感性高、操作简单、费用低等特点，例如要能反映土壤中复杂的物理、化学和生物变化过程，及与管理目标之间的关系等。上世纪 70 年代以前，一般选择土壤颜色、质地、侵蚀状况、作物生长，或者蚯蚓等大型动物的数量等来判别土壤健康程度；随着测试手段的不断更新，土壤健康评价指标越来越多；到 2010 年之后，随着生物信息技术的快速发展，土壤生物也被作为重要的评价指标。根据分析指标的性质，一般将土壤健康指标分为物理、化学和生物学指标三方面。

（1）物理指标

土壤的物理状况对植物生长和环境质量有直接或间接的影响，例如土壤基质是由不同比例、粒径粗细不一、形状和组成各异的颗粒组成，土壤质地直接影响土壤水、肥、气、热的保持和运行，并与作物的健康生长和发育关系极为密切。因此，将土壤物理状况作为土壤健康的重要评价指标之一。土壤物理指标主要包括：土壤质地及粒径分布、土层厚度与根系深度、土壤容重和紧实度、孔隙度及孔隙分布、土壤结构、土壤含水量、田间持水量、土壤持水特征、渗透率和导水率、土壤排水性、土壤通气、土壤温度、障碍层次深度、土壤侵蚀状况、氧扩散率等。

（2）化学指标

土壤中各种养分和土壤污染物质等的存在形态和浓度，直接影响植物生长和动物及人类健康。如，土壤 pH 决定了养分有效性，控制着土壤中微生物的多样性，并影响土壤缓冲能力。土壤有机质含量影响着土壤的聚集性和稳定性，并与土壤肥力紧密相关。土壤碳和氮含量，尤其是其中的活性组分含量，通常是影响土壤健康的关键变量，也是土壤中有机质含量的早期指标，对于土壤健康管理至

关重要。土壤健康的化学指标主要包括土壤有机碳和全氮、矿化氮、磷和钾的全量和有效量、CEC、土壤 pH、电导率（全盐量）、盐基饱和度、碱化度、各种污染物存在形态和浓度等。

（3）生物学指标

相对于传统的物理和化学指标，生物学指标能更好地指示土壤健康。据统计，每克土壤中有数以亿万计的微生物，但其中高达 99%的物种及其功能尚属未知，因此被称为地球“微生物暗物质”。微生物作为单细胞生物，繁殖周期短，对环境变化反应敏感，因此是诊断土壤健康的理想指示生物，较土壤物理或化学指标更具优越性。细菌普遍存在于环境中，是环境中生物地球化学循环的驱动因素。真菌可促进植物生长和养分循环，在维持生态系统的可持续发展中发挥着关键作用。土壤健康的生物学指标主要包括：微生物量、细菌、真菌、蚯蚓、磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶、β-葡萄糖苷酶活性和土壤蛋白含量等。但由于微生物群落结构等指标由于采集、保存、测定较为困难，且成本较高，因此选取率并不高。

表 1-2 土壤指标、生态系统服务评估、指标类型和评估方法

名称	纳入程度	生态系统服务				指标类型	评估方法
		植物生产	水质	人体健康	气候控制		
氮-/硫-/磷-矿化酶活性	<20%	+	+	-	+	生物	比色法、萃取法； 芯片实验室； 电化学
氮矿化	>20%	+	+	-	+	生物	孵化；提取法；芯片实验室；电化学
微生物生物质	>20%	+	+	-	+	生物	孵化；提取法；芯片实验室；电化学
病原体	已被提议	+	+	+	-	生物	提取法； 光学分析； 芯片实验室； 颜色反应； DNA 探针； 电化学
生物多样性	已被提议	+	+	+	+	生物	提取法； 生物测定； 宏基因组学； 高通量测序； 磷脂脂肪酸； 芯片实验室
微生物活性	>20%	+	+	+	+	生物	孵化；芯片实验室；电化学；生物传感器
寄生虫	已被提议	−	−	+	−	生物	提取法；生物测定；宏基因组学；高通量测序；筛选致病基因；芯片实验室；电化学；超声波
动物群	已被提议	+	+	+	+	生物	提取法；生物测定；宏基因组学；高通量测序；芯片实验室；电化学；声波
蚯蚓	<20%	+	−	+	−	生物	提取法；芯片实验室；声波
温室气体排放	已被提议	−	−	−	+	生物	现场和实验室温室气体传感器;机器人;芯片实验室；生物传感器

名称	纳入程度	生态系统服务				指标类型	评估方法
		植物生产	水质	人体健康	气候控制		
有机毒素	已被提议	+	+	+	−	化学	提取法；被动采样；芯片实验室；电化学
有机化学成分	<20%	+	+	−	+	化学	近/中红外光谱；密度和尺寸分级分离；氧化法
有机氮成分	<20%	+	+	−	+	化学	蛋白质分析法；近/中红外光谱;；密度和尺寸分级分离
有机碳	>20%	+	+	+	+	化学	近/中红外光谱；燃烧法；超声波法
可利用养分	>20%	+	+	+	+	化学	近/中红外光谱；提取法；被动采样法；比色法；电化学
酸碱度	>20%	+	+	+	+	化学	近/中红外光谱；提取法；被动采样法；比色法；电化学
阳离子交换能力	>20%	+	+	-	−	化学	近/中红外光谱；提取法；被动采样法；比色法；电化学
导电性	>20%	+	+	+	−	化学	近/中红外光谱；提取法；被动采样法；比色法；电化学
化合物多样性	已被提议	−	+	−	+	化学	光谱法
流动养分	>20%	−	+	−	+	化学	近/中红外光谱；提取法；被动采样法；比色法；电化学
重金属毒素	>20%	+	+	+	−	化学	近/中红外光谱；提取法；被动采样法；生物测定；芯片实验室；生物传感器；电化学
孔隙度	已被提议	−	+	−	+	物理	近/中红外光谱；超声波
团聚体	<20%	+	+	−	+	物理	筛选法；近/中红外光谱；超声波；可见光谱成像法；渗透测量法
蓄水能力	<20%	+	+	+	+	物理	近/中红外光谱；压盘法
渗透阻力	>20%	+	+	−	+	物理	透度法；近/中红外光谱；
渗透性	<20%	+	+	+	+	物理	近/中红外光谱；超声波；可见光谱成像法；渗透测量法

5 编制原则

系统性原则。综合考虑建设用地土壤有机质转化与累积、维持水气流动和根系生长、种子萌发和根系生长介质、植物的养分和水分供给、生物多样性保护、土壤水中物质过滤和缓冲、污染物转化、温室气体释放调节、地表土壤保持、自然和文化景观多样性保持等功能，系统评估建设用地土壤生态系统服务能力。

科学性原则。建设用地土壤健康评估指标的选取需满足科学原理可靠、可测量、对外界变化较为敏感、成本较低、具有较高的准确性和精确性等标准，从土壤类型、地理条件、气候条件、胁迫因子等因素，筛选适用指标形成最小数据集、解释指标以及整合评价指标，最终形成土壤健康指数。

可比性原则。土壤健康状况是一个长期、动态变化的过程，受城市建设、自然环境、人为活动等影响，因此在建设用地土壤健康评估指标体系构建和具体评估工作中，要体现空间、时间尺度的连续性和可比性，开展长周期连续监测和动态评价。

6 主要技术内容及说明

6.1 资料分析

6.1.1 资料收集

主要包括：区域的自然和社会信息、土地利用资料、生态环境状况资料和建设用地环境资料等。

区域的自然和社会信息包括：自然信息包括地理位置图、地形、地貌、水文、地质、气象资料及土壤资源、森林资源、湿地资源等；社会信息包括人口密度和分布，区域所在地的功能定位、经济现状、发展规划和行业分布特征，国家和地方相关的政策、法规与标准等。

土地利用资料包括：区域土地利用现状、土地利用规划、土地利用强度，地块利用变迁过程变化情况，作物类型，以及相关历史遥感影像。

生态环境状况资料包括：土壤剖面、土壤侵蚀等科学研究数据；水土流失、土壤侵蚀、土壤有机质、土壤压实板结、盐碱化、土壤占压等资料；区域大气、

水、生态环境状况等；自然保护区、重点生态区和生物多样性保护区等分布。

建设用地环境资料包括：土壤普查、土壤质量监测、土壤污染状况调查等有关部门组织的相关调查；地块土壤及地下水污染调查和评估报告，自行监测和监督性监测等环境监测数据，以及政府机关和权威机构所保存和发布的环境资料，公告、企业在政府部门相关环境备案和批复。

6.1.2 现场踏勘

对调查范围内的建设用地开展现场踏勘，包括建设用地利用现状及历史情况、周边敏感受体、周围区域的现状与历史等。

现场踏勘的重点包括：建设用地及周边区域利用现状、建（构）筑物情况；水土流失、土壤侵蚀、盐碱化、土壤占压等；历史污染事故等。

6.1.3 人员访谈

人员访谈是对收集资料和现场踏勘所涉及的疑问，以及补充信息等进行核实。访谈对象包括：

（1）地块管理机构和地方政府的官员，包括生态环境、自然资源、园林绿化、城乡规规划等行政主管部门的官员；

（2）地块过去和现在各阶段的使用者，包括土地使用权人、管理人员和现场工作人员；

（3）周边居民等。

访谈方法包括当面交流、电话交流、电子或书面调查表等方式。

6.1.4 土壤胁迫因子识别

联合国粮农组织的《世界土壤资源状况》报告确定了有损土壤健康的胁迫因子，包括土壤侵蚀、土壤养分不平衡、土壤中的碳和生物多样性的丧失、土壤酸化、污染、土壤盐渍化和土壤板结。在此背景下，人们从早期的片面追求产量，转变到重视土壤质量，并进一步上升到关注土壤健康问题。

土壤侵蚀。土壤侵蚀是土壤或其他地面组成物质在水力、风力、冻融、重力等外营力作用下，被剥蚀、破坏、分离、搬运和沉积的过程。狭义的土壤侵蚀仅

指“土壤”被外营力分离、破坏和移动。根据外营力的种类，可将土壤侵蚀划分为水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀、重力侵蚀、淋溶侵蚀、山洪侵蚀、泥石流侵蚀及土壤坍陷等。土壤侵蚀主要有如下危害：

（1）破坏土壤资源

由于土壤侵蚀，大量土壤资源被蚕食和破坏，沟壑日益加剧，土层变薄，大面积土地被切割得支离破碎，耕地面积不断缩小。

（2）土壤肥力和质量下降

土壤侵蚀使大量肥沃表土流失，土壤肥力和植物产量迅速降低。通过水土流失的土壤，一般是较肥沃的土壤表层，造成大量土壤有机质和养分损失，土壤理化性质恶化，土壤板结，土质变坏，土壤通气透水性能降低，使土壤肥力和质量迅速下降。

（3）对微生物的影响

土壤微生物是土壤碳循环的主要驱动者。土壤侵蚀通过外力作用，破坏水稳性团聚体，优先迁移轻质组分碳，使得侵蚀区环境恶劣，抑制微生物生长。

土壤养分不平衡。土壤养分是由土壤提供的植物生长所必须的营养元素。土壤中能直接或经转化后被植物根系吸收的矿质营养成分。包括氮、磷、钾、钙、镁 、硫、铁、硼、钼、锌、锰、铜和氯等 13 种元素。养分平衡，是指土壤养分的收支状况。它反映土壤中养分的消耗和投入之间的关系，通常用特定时间内单位面积土壤养分的收支状况来表示。土壤养分的收支平衡主要取决于土壤养分的获得和土壤养分的支出状况。土壤养分平衡有三种类型，即养分盈余型、养分亏缺型和养分平衡型。养分盈余型的特点是土壤养分有所积累，大多数情况下土壤养分供应能力提高。养分亏缺型的特点是土壤养分不断被作物消耗，如不采取相应措施。最终将导致土壤养分的耗竭。土壤养分平衡对于农田生态系统养分循环和作物平衡施肥均具有重要意义。

土壤中的碳和生物多样性的丧失。全球土壤碳库总量约为 22000 亿吨，其中有三分之二以有机物形式存在，这一含量是大气中碳含量的三倍多。然而，土壤退化容易引起碳流失，而且土地利用类型的改变和不利于土地可持续生产的管理会导致其加速分解，向大气排放温室气体。土壤碳存量极易受人类活动影响变得异常脆弱。由于土地覆盖和利用的变化，土壤碳存量显著降低，从而导致了农业

和林业的不可持续发展。

土壤有机质是土壤固相部分的重要组成成分，是植物营养的主要来源之一，能促进植物的生长发育，改善土壤的物理性质，促进微生物和土壤生物的活动，促进土壤中营养元素的分解，提高土壤的保肥性和缓冲性的作用。土壤有机质含量对于土壤肥力和植物生长有着十分重要的影响，一旦有机质含量下降，会产生如下问题：

（1）土壤退化、板结、盐渍化

土壤有机质含量下降，土壤的团粒结构会遭到破坏，土壤会退化，板结，对作物的根系生长及其不利。此外，土壤的保水、保温能力也都会下降，导致植物抗逆能力差。土壤有机质下降也会造成化肥大量元素的吸收利用率下降，为了产量势必多施化肥，这样残留在土壤中的化肥容易让土壤盐碱化，这在农业大棚中表现得尤为突出。

（2）土壤微生物菌群种类和数量下降

土壤有机质是土壤微生物赖以生存的食物，土壤有机质下降了，微生物的种群和数量必然会减少。

（3）土传病害的爆发

土传病害如根线虫的爆发即是土壤有机质下降引起的。在健康的土壤中，土壤微生物定植在农作物根系周围，在植物根系周围形成一层保护层，各司其职，让病菌或者根线虫没有生存的空间和位点。如果因有机质下降引起土壤微生物种群和数量的下降，没有了空间位点的争夺，给土传病害的生长繁殖带来了机会。

土壤生物多样性及其所提供的生态系统服务对全球生态系统至关重要，在解决粮食安全、环境污染、气候变化及公共卫生等全球重大问题方面起着关键作用。由于全球气候变化和人类活动的干扰，土壤生物多样性下降风险加剧，要多管齐下保护土壤生物多样性。

土壤酸化。土壤酸化是指土壤 pH 值在原有基础上逐渐下降的现象，当土壤酸化至影响作物正常生长时就会变成酸性土壤。土壤自然酸化过程一般较为缓慢，但人为因素会加快酸化过程，这些因素主要有：施肥过量，长期施用生理酸性肥料和氮肥会导致或加重土壤酸化。例如长期施用硫酸铵或氯化钾，作物吸收 NH4+或 K+离子后，就会有酸根离子残留于土壤中而使土壤酸化；过量施用氮肥，

经微生物的硝化作用生成的硝酸盐也会导致或加重土壤酸化。灌溉，灌水和降水后，最容易被淋溶的是 Na、K 等一价阳离子和 Ca、Mg 等二价阳离子，它们都是碱性离子，这些离子不断从土壤中流失会造成土壤酸化。酸沉降 酸沉降是指大气中的硫化物、氮氧化物等气体经过扩散、转化与迁移，以酸性降水（pH 值 <5.6）和干沉降等形式降落至地表，从而使土壤酸化。

土壤污染。土壤污染问题已经成为一个全球性问题，且有日益加剧的趋势，土壤健康应当考虑土壤环境质量要素。土壤污染将影响土壤各个生态服务功能，并最终影响人体健康。土壤环境要素是土壤健康的重要组成部分，土壤健康评估中应将土壤环境要素纳入评估范畴。我国已经出台了《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618—2018）《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB36600-2018），对于土壤健康评估具有重要的借鉴意义。此外，污染物在土壤中的迁移、转化特征因种类而异，不同污染物的毒效应又可相互影响，相互叠加，从而对土壤健康状况构成复杂的影响。因此需加大对污染与土壤健康之间关系的研究力度，建立污染物在土壤生态系统中的剂量-效应关系，为土壤健康评估提供依据。

土壤盐渍化。土壤盐渍化是指土壤底层或地下水的盐分随毛管水上升到地表，水分蒸发后，使盐分积累在表层土壤中的过程。是指易溶性盐分在土壤表层积累的现象或过程，也称盐碱化。引起土壤盐碱化的原因众多，主要可概括为两类，即自然因素（如气候降水、地形地貌、水文地质、生物植被等）和人为因素（如水利工程、人为地貌、农田灌溉等）。盐碱化的土壤 pH 一般在 8.2 以上，盐碱化会引起土壤板结和肥力下降，导致植物不能正常生长，农作物减产严重，严重情况下甚至会出现绝收问题。在自然长期积累以及人类活动的综合影响下，盐碱化土壤面积仍在持续扩大，已成为严重制约世界各国、各地区生态、农业、经济发展的世界性生态环境问题。

中国盐渍土或称盐碱土的分布范围广、面积大、类型多，总面积约 1 亿公顷。主要发生在干旱、半干旱和半湿润地区。盐碱土的可溶性盐主要包括钠、钾、钙、镁等的硫酸盐、氯化物、碳酸盐和重碳酸盐。硫酸盐和氯化物一般为中性盐，碳酸盐和重碳酸盐为碱性盐。土壤盐渍化的后果是：对植物生长和产量的不利影响；基础设施受损（道路、砖块、管道和电缆腐蚀）；引发水质、沉淀问题。

土壤板结。土壤压实是指土壤在外力作用下，土壤孔隙空间的降低使土壤颗粒排列紧密容重增加的过程，是土地恶化的综合表征，与土壤侵蚀、有机质下降并称为农业生产的三大威胁。导致土壤压实的原因有多种，常见的原因有自然因素、人工机械压实等。土壤压实会同时改变土壤的物理性状和化学性质，从而对周围环境和生物造成影响，主要有以下几点：

（1）对物理性状的影响

土壤压实会导致土壤孔隙率降低，固相和液相在三相中的比例也相应的增加，自然大孔隙减少，土壤持水能力降低，使土壤趋于厌氧环境，渗透率显著下降。在短时较强降雨情况下，地面径流加大，侵蚀增加，干旱期延长，土壤压实已成为当今水土流失的主要原因之一。

（2）化学性质的影响

土壤压实主要影响作物对土壤养分的吸收，随紧实度增加，作物吸收养分的能力下降。此外，紧实土壤中作物生长消耗的养分比非紧实的作物消耗多，这是因为紧实限制根系生长降低了养分的获取能力，增加了养分流失量，加强了反硝化作用。

（3）对土壤生物的影响

机械压实不但破坏蚯蚓的通道，甚至造成蚯蚓的死亡。此外，有研究表明土壤紧实度过大，也会造成线虫以及鼠类等大型动物数量的下降。对植物作物而言，紧实导致土壤容重、孔隙度、渗透阻力发生不利的变化，会进而对作物生长产生危害，主要表现在对作物根系生长发育的影响，进而涉及到养分吸收、水分利用、植株的生理特征、分子信号传导等，最终影响作物的产量。

评估人员根据资料分析和专业判断，从水土流失、土壤侵蚀、土壤有机质、土壤污染、土壤压实板结、盐碱化、土壤占压等方面，初步识别影响建设用地土壤健康的关键因子，分析资料缺失影响土壤健康评估的数据需求。

6.2 指标体系构建

6.2.1 指标筛选原则

土壤健康状况的评价指标涵盖了物理、化学和生物学特性，筛选原则需遵循以下几方面：

所选指标与土壤功能密切相关，可反映土壤物理、化学或生物学属性；

所选指标具备操作性强、有效性高、准确性强、成本低廉等优势，并可在短时间内帮助决策；

对土壤管理、土地利用、气候变化等因素引起的土壤功能变化较为敏感；

测定指标能反映土壤功能与管理目标之间的关系，可以在相关的时间尺度进行决策，为土壤管理提供重要信息。

6.2.2 指标体系构建

建设用地土壤健康评估的重点是对植物生长的支撑作用、对人体健康的影响、养分循环、水质调节、气候调节等。采用文献分析与专家咨询相结合的方法确定建设用地土壤健康评估指标，包括目标层、准则层和指标层。其中，目标层是指建设用地土壤健康指数；准则层是指土壤理化性状、土壤养分、土壤生物和土壤环境四大类评估指标；指标层是指具体的评估指标。

表 7-1 建设用地土壤健康评估指标体系

目标层	准则层	指标层	指标权重
建设用地土壤健康指数	土壤理化性状指标	土壤质地、土体构型、土壤厚度、土壤容重、土壤含水率、 团聚体稳定性系数、土壤 pH、有机质质量比、阳离子交换量	5 名高级职称以上专家打分确定
	土壤养分指标	全氮、全磷、全钾、有效铁、有效硼、有效硒	5 名高级职称以上专家打分确定
	土壤生物指标	土壤脲酶活性、土壤酸性磷酸酶活性、土壤蔗糖酶活性、可溶性有机碳质量比、土壤呼吸速率、土壤蚯蚓数量	5 名高级职称以上专家打分确定
	土壤环境指标	《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）(GB36600)》规定的污染物	5 名高级职称以上专家打分确定

6.3 调查监测

6.3.1 点位布设

调查对象为评估范围内的建设用地，已有建（构）筑物、路面硬化、地下管线等不具备采样条件的，不进行现场采样。

点位布设原则

全面性原则：布设的点位要全面覆盖不同类型调查监测单元区域。

代表性原则：针对不同调查监测单元区域土壤的污染状况和污染空间分布特征采用不同布点方法，布设的点位要能够代表调查监测区域内土壤健康状况。

客观性原则：具体采样点选取应遵循“随机”和“等量”原则，避免一切主观因索，使组成总体的个体有同样的机会被选入样品，同级别样品应当有相似的等量个体组成，保证相同的代表性。

可行性原则：布点应兼顾采样现场的实际情况，考虑交通、安全等方面情况：保证样品代表性最大化、最大限度节约人力和实验室资源。

连续性原则：布点在满足调查监测要求的基础上，应兼顾以往土壤调查监测布设的点位情况，并考虑长期连续调查监测的要求。

点位布设方法

土壤采样点位包括土壤表层采样点、土壤深层采样点、土壤剖面采样点。水平方向的布设一般采用系统随机布点法，按照 1km×1km 的网格布点。

土壤深层采样点与土壤表层采样点按照 1：8 比例采样，即每 8 个表层样点位中选取一个点位作为深层样采样点位。土壤剖面采样点根据区域面积、土壤类型等综合确定。

根据区域现状分析和点位布设方法，制定建设用地土壤调查监测工作计划，内容包括已有信息核查、点位布设方案、采样方案、健康和安全防护计划、样品分析方案和确定质量保证和质量控制程序等。

6.3.2 采样方法

土壤表层样与深层样采集方法

一般监测采集表层土，采样深度 0～20cm，特殊要求的监测（土壤背景、环评、污染事故等）必要时选择部分采样点采集剖面深层样品。深层样采样深度为 100cm~150cm 左右，样品应自规定的起始深度以下连续采 10～50cm 长的土柱，总量不少于 1000g，避免采集基岩风化层，采样方式可以使用土钻或者人工开挖的办法。

每个采样区的样品为土壤混合样。混合样的采集主要有四种方法：对角线法，梅花点法，棋盘式法，蛇形法。具体见 HJT 166。

土壤剖面挖掘与识别方法

剖面挖掘地点应在景观部位、土壤类型、土地利用等方面具有代表性；剖面的观察面应向着阳光照射的方向，避免阴影遮挡；剖面的观察面上部严禁人员走动或堆置物品，以防止土壤压实或土壤物质发生位移而干扰观察和采样；挖出的表土和心底土应分开堆放于土坑的左右两侧，观察完成后按土层原次序回填，以保持表层土壤的肥力水平。

（1）平原与盆地区。在平原与盆地等平缓地区，剖面尺寸为 1.2 m（观察面宽）× 1.2～2 m（观察面深；如遇岩石，则挖到岩石面）×2～4 m（一般 2m）。

（2）山地与丘陵区。受地形和林灌植被等的影响，在无法选取相对平缓、植被少遮挡的景观部位挖掘剖面时，可选择裸露的断面或坡面作为剖面挖掘的点位，但是为了保证剖面的完整性和样品免受污染，修葺剖面时，应向自然断面或坡面内部延伸 20～40 cm，直至裸露出新鲜、原状土壤。

具体见《第三次全国土壤普查技术规程：土壤外业调查与采样技术规范（试行）》。样品采集参照《土壤外业调查与采样技术规范》《土壤生物调查技术规范》等，开展样点现场确认、样点信息调查与填报、样品采集、样品包装与寄送等工作。

6.3.3 检测分析

检测指标

土壤监测指标包括理化性状指标、养分指标、生物指标、环境指标。

数据评估

（1）实验室检测分析。委托有资质的实验室对土壤样品进行检测分析。

（2）数据评估。整理调查信息和检测结果，评估检测数据的质量，分析数据的有效性和充分性，确定是否需要补充采样分析等。

6.4 分层评估

6.4.1 指标层评估

根据土壤检测结果，参照附录 A 对土壤健康指标进行分级赋分。其中，对土壤理化性状指标、土壤养分指标、土壤生物指标三类指标，采用直接赋分法；

对土壤环境指标，参照 HJ25.3 计算单一污染物可接受致癌风险，再对照赋分表进行赋分。

采用所有检测样品检测结果的平均值作为各项指标的评估结果。

6.4.2 准则层评估

根据指标层评估结果，采用加权平均值分别确定准则层评估结果，即土壤理化性状指标、土壤养分指标、土壤生物指标、土壤环境指标的评估结果。计算方法：

$$F = \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + \ldots + x_i f_i}{n}$$

式中，F 为准则层评估结果，xi 为第 i 个土壤健康指标分值，fi 为第 i 个土壤健康指标权重。

6.4.3 目标层评估

目标层评估结果为建设用地土壤健康指数。计算公示为：

$SHI = \sum Fi \cdot Wi$式中，SHI 为土壤健康指数，Fi 为第 i 个土壤健康指标准则层分值，Wi 为第 i 个指标权重。

本指南确定的评估指标体系中，设置了具有一票否决权的指标。若土壤环境指标中污染物含量超过 GB36600 规定的管制值，则土壤健康指数不得高于 60。

7 预期效果

本指南的实施应与生态环境部颁布的《建设用地土壤污染状况调查技术导则》(HJ 25.1-2019)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)、《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3-2019)、《建设用地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2019)、《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ 682-2019)、《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》（HJ 25.5-2018）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）等污染场地相关标准相配套。

本标准建议在实际应用中不断修订完善。

附录 A 土壤健康指标分级赋分表

评价指标			指标分级及赋值					
			100	**90**	**80**	**70**	**60**	**40**
理化性状指标	土壤质地		壤土	黏土	黏土	砂土	砂土	砾质土
	土体构型		均质质地剖面		夹层质地剖面		体(垫)层质地剖面	
	土壤厚度/cm		≥150	[100,150)	[60,100)	[60,100)	[30,60)	[0,30)
	土壤容重/ (g·cm $^{-3}$)		[1,1.25)	[1.25,1.35)	[1.25,1.35)	[1.35,1.45)	[1.45,1.55)	≥1.55 或 0 ~1
	土壤含水率/%		壤土：[15,25)，粘土：[25,30)		壤土：[10,15)，粘土：[20,25)		壤土：<10 或≥25，粘土：<20 或≥30	
	团聚体稳定性系数/%		>45		(30,45]		[0,30]	
	土壤 pH 值		[6.0,7.9)	[5.5,6.0)或[7.9,8.5)	[5.0,5.5)或[8.5,9.0)		[4.5,5.0)	0~4.5 或 >9.0
	有机质质量比/ (g·kg $^{-1}$)		≥40	[30,40)	[20,30)	[10,20)	[6,10)	[0,6)
	阳离子交换量/ (cmol·kg $^{-1}$)		>20	(15,20]		(10,15]		0 ~10
养分指标	土壤养分元素含量	全氮质量比/ (g·kg $^{-1}$)	>2	1.5 ~2		1 ~1.5	0.75 ~1	0 ~0.75
		全磷质量比/ (g·kg $^{-1}$)	>1	0.8 ~1		0.6 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	0 ~0.4
		全钾质量比/ (g·kg $^{-1}$)	>25	20 ~25		15 ~20	10 ~15	0 ~10
	土壤有益微量元素含量	有效铁质量比/ (mg·kg $^{-1}$)	>20	10.0 ~20.0		4.5 ~10.0	2.5 ~4.5	0 ~2.5
		有效硼质量比/ (mg·kg $^{-1}$)	>2.0	1.0 ~2.0		0.5 ~1.0	0.2 ~0.5	0 ~0.2

	有效硒质量比/ (mg·kg^{-1})	>3.0	0.40 ~3.0		0.18 ~0.40	0.13 ~0.18	0 ~0.13
生物指标	土壤脲酶活性/（U/g）	>1000		700~1000		500~700	0~500
	土壤磷酸酶活性/（U/g）	>10		7~10		5~7	0~5
	土壤蔗糖酶活性/（U/g）	>50		30~50		20~30	0~20
	可溶性有机碳质量比/ (mg·kg^{-1})	≥100	[80,100)	[60,80)	[40,60)	[20,40)	[0,20)
	土壤呼吸速率/ (μg·(g·h)$^{-1}$)	> 1	(0.8,1]	(0.4,0.8]	(0.2,0.4]	(0.1,0.2]	[0,0.1]
	土壤蚯蚓数量/条每平方米	>20	(15,20]	(10,15]	(10,15]	(5,10]	[0,5]
环境指标	致癌风险	(0,10^{-6}]	(0,10^{-6}]	(10^{-6},10^{-5}]	(10^{-6},10^{-5}]	(10^{-5},10^{-4}]	≥10^{-4}
	是否超过建设用地土壤污染风险管制值	若污染物含量超过建设用地土壤污染风险管制值，则目标层土壤健康指数不得高于 60。					