

附件 1

第三次全国土壤普查技术规程

(试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2022 年 7 月

目 次

1 土壤三普的目的与要求.....	8
1.1 普查目的.....	8
1.2 普查的思路与目标.....	9
2 土壤三普的范围与任务.....	9
2.1 普查范围.....	9
2.2 普查内容.....	9
2.3 技术路线与方法.....	10
2.4 普查进度安排.....	12
2.5 普查工作流程.....	12
2.6 主要成果.....	14
3 土壤三普的准备工作.....	15
3.1 制订全国工作方案与省级实施方案.....	15
3.2 制定技术规范.....	15
3.2.1 制定全国土壤三普专项技术规范.....	15
3.2.2 省级土壤普查操作规范.....	16
3.3 筹建三普技术专家组.....	16
3.4 编制土壤普查工作经费预算方案.....	16
3.5 筛选测试化验实验室.....	17
3.5.1 检测实验室.....	17
3.5.2 质量控制实验室.....	17
3.6 数据安全与保密规定.....	18
4 构建土壤普查工作平台.....	18
4.1 制作土壤普查工作底图.....	18
4.1.1 图件等资料收集整理.....	18
4.1.2 生成工作底图.....	18
4.2 样点预布设.....	19

4.2.1 基本方法.....	19
4.2.2 预布设样点省级校核.....	19
4.2.3 样点编码.....	20
4.2.4 土壤类型编码.....	20
4.2.5 样点信息与任务赋值.....	20
4.2.6 样点信息加密分发.....	21
4.2.7 预布设样点省级调整.....	21
4.3 研发土壤普查工作平台系统.....	21
5 组织开展土壤普查试点.....	22
5.1 试点区域选定.....	22
5.2 培训普查技术队伍.....	23
5.3 制定试点工作方案.....	23
5.4 开展试点.....	23
6 外业调查采样.....	24
6.1 外业调查与采样技术规范.....	24
6.2 外业调查采样组织.....	24
6.2.1 人员组织.....	24
6.2.2 工具准备.....	24
6.2.3 培训与指导.....	24
6.3 外业调查采样任务.....	25
6.3.1 样点现场确认.....	25
6.3.2 样点调查信息与填报.....	25
6.3.3 样品采集.....	25
6.3.4 样品量.....	25
6.3.5 样品包装与运输.....	26
6.4 外业调查采样的质量控制.....	26
7 内业测试化验.....	26
7.1 土样制备保存流转检测技术规范.....	26
7.2 样品制备与分发.....	27
7.3 土壤理化测试指标与方法.....	27

7.4 测试数据填报与审核.....	27
7.5 内业测试质量控制.....	27
8 土壤生物调查.....	28
8.1 土壤生物调查任务.....	28
8.2 样点布设与采样测试.....	28
8.3 生物调查的成果汇总.....	29
9 成果汇总.....	29
9.1 样品库建设.....	29
9.1.1 国家级土壤样品库.....	29
9.1.2 省级土壤样品库.....	30
9.2 数据汇交与数据库构建.....	30
9.2.1 数据填报与传输.....	30
9.2.2 数据审核.....	30
9.2.3 数据库构建.....	31
9.3 土壤制图.....	31
9.3.1 数据资料准备.....	31
9.3.2 土壤类型制图与更新方法.....	31
9.3.3 土壤属性图制作方法.....	31
9.3.4 土壤专题图制作方法.....	32
9.3.5 制图结果验证评价.....	32
9.3.6 图件编制与出版.....	32
9.4 总结报告编写.....	32
9.4.1 土壤三普工作报告.....	32
9.4.2 土壤三普技术报告.....	32
9.4.3 土壤三普专题报告.....	33
9.5 土壤普查成果的验收.....	33
9.5.1 省级土壤普查成果验收.....	33
9.5.2 国家级土壤普查成果验收.....	33
9.5.3 土壤普查成果的发布.....	33
附表.....	34

附表 1-1 外业调查指标.....	34
附表 1-2 剖面样点调查指标.....	35
附表 2-1 耕地园地土壤样品检测指标.....	37
附表 2-2 林地草地盐碱荒地土壤样品检测指标.....	40
附表 2-3 盐碱地水样检测指标.....	40

本技术规程统一规范了第三次全国土壤普查（以下简称“土壤三普”）的总体组织与任务要求，包括资料收集整理与准备工作、外业调查采样与内业测试化验等具体操作流程、质量控制体系、成果汇总与验收等。

1 土壤三普的目的与要求

1.1 普查目的

土壤普查是查明土壤类型及分布规律，查清土壤资源数量和质量等的重要方法，普查结果可为土壤的科学分类、规划利用、改良培肥、保护管理等提供科学支撑，也可为经济社会生态建设重大政策的制定提供决策依据。

1.1.1 土壤三普是守住耕地红线确保国家粮食安全的重要基础。随着经济社会发展，耕地占用刚性增加，要进一步落实耕地保护责任，严守耕地红线，确保国家粮食安全，需摸清耕地数量状况和质量底数。全国第二次土壤普查（以下简称土壤二普）距今已 40 年，相关数据不能全面反映当前耕地质量实况，要落实藏粮于地、藏粮于技战略，守住耕地质量红线，需要摸清耕地土壤质量状况。在第三次全国国土调查（以下简称国土三调）已查清耕地数量的基础上，迫切需要开展土壤三普工作，实施土壤的“全面体检”。

1.1.2 土壤三普是落实高质量发展要求加快农业农村现代化的重要支撑。完整准确全面贯彻新发展理念，推进农业发展绿色转型和高质量发展，节约水土资源，促进农产品量丰质优，都离不开土壤肥力或土壤健康指标数据作支撑。推动品种培优、品质提升、品牌打造和标准化生产，提高农产品质量和竞争力，指导农户和新型经营主体因土种植、因土施肥、因土改良，都需要详实的土壤特性指标数据作支撑。发展现代农业，促进农业生产经营管理信息化、精准化，需要土壤大数据作支撑。

1.1.3 土壤三普是保护环境促进生态文明建设的重要举措。随着城镇化、工业化的快速推进，大量废弃物直接或间接影响农用地土壤质量；农田土壤酸化面积扩大、强度增加，土壤中重金属活性增强，土壤污染趋势加重，农产品质量安全受威胁。土壤生物多样性下降、土传病害加剧，制约土壤各项功能发挥，导致土壤健康下降。为全面掌握全国耕地、园地、林地、草地等土壤性状、造林种草用地土壤适宜性，协调发挥土壤的生产、环保、生态等功能，促进“碳中和”，需开展全国土壤普查。

1.1.4 土壤三普是优化农业生产布局助力乡村振兴的有效途径。人多地少是我国的基本国情，需要合理利用土壤资源，发挥区域比较优势，优化农业生产布局，提高水土光热等资源利用率。推进“十四五”规划纲要提出的优化农林牧业生产布局落实落地，因土适种、科学轮作、农牧结合，因地制宜多业发展，实现既保粮食和重要农产品有效供给、又保食物多样，促进乡村产业兴旺和农民增收致富，需要土壤普查基础数据作支撑。

1.2 普查的思路与目标

开展土壤三普是贯彻落实中央领导指示批示精神，全面摸清我国土壤质量家底，服务国家粮食安全、生态安全，促进农业农村现代化和生态文明建设。遵循普查的全面性、科学性原则，以土壤学理论和现代科学技术及手段为支撑，衔接已有成果，借鉴以往经验做法，强化统一工作平台、统一技术规程、统一工作底图、统一规划布设采样点位、统一筛选测试分析专业机构、统一过程质控的“六统一”技术路线，坚持摸清土壤质量与完善土壤类型、土壤性状普查与土壤利用调查、外业调查观测与内业测试化验、土壤表层样与剖面样采集、摸清土壤障碍因素与提出改良培肥措施、政府保障与专业支撑等“六个结合”工作方法，按照“统一领导、部门协作、分级负责、各方参与”组织实施，通过4年左右的时间，实现对耕地、园地、林地、草地与部分未利用地土壤的“全面体检”。

2 土壤三普的范围与任务

2.1 普查范围

覆盖全国耕地、园地、林地、草地等农用地和部分未利用地。林地、草地中突出与食物生产相关的土地，未利用地重点调查与可开垦耕地资源潜力相关的土地，如盐碱地等。

2.2 普查内容

以校核与完善土壤分类系统和绘制土壤图为基础，以土壤理化和生物性状普查为重点，更新和完善全国土壤基础数据，构建土壤数据库和样品库，开展数据整理审核、分析和成果汇总。查清不同生态条件、不同利用类型土壤质量及其障碍退化状况，查清特色农产品产地土壤特征、后备耕地资源土壤质量、典型区域土壤环境和生物多样性等，全面查清农用地土壤质量家底，系统完善我国土壤类型。

2.2.1 土壤类型校核完善。以土壤二普形成的分类成果为基础，通过实地踏勘、剖面观察等方式核实与补充土壤类型，完善土壤发生分类系统，并推进典型区域土壤系统分类。

2.2.2 土壤剖面性状调查。通过主要土壤类型的剖面挖掘观测、剖面样本制作、土壤样品采集和测试分析，普查剖面土壤发生层及其厚度、边界、颜色、质地、孔隙、结持性、新生体、植物根系和动物活动等。对于典型障碍土壤剖面，重点普查 1 米土壤剖面内沙漏、砾石、粘磐、盐磐、铁磐、砂姜层、白浆层、潜育层、钙积层等障碍类型、分布层次等。

2.2.3 土壤理化和生物性状分析。通过土壤样品采集和测试，普查土壤机械组成、土壤容重、有机质、酸碱度、营养元素、重金属、有机污染物、典型区域土壤生物多样性等土壤物理、化学、生物指标。

2.2.4 土壤利用情况调查。结合样点采样，重点调查成土条件、植被类型、植物（作物）产量，以及耕地园地的基础设施条件、种植制度、耕作方式、排灌设施情况等基础信息，肥料、农药、农膜等投入品使用情况，农业经营者开展土壤培肥改良、农作物秸秆还田等做法和经验。

2.2.5 土壤质量状况分析。利用普查取得的土壤理化和生物性状、剖面性状和利用情况等基础数据，开展土壤质量分析，摸清土壤资源质量现状。

2.2.6 土壤数据库构建。建立标准化、规范化的土壤数据库，包括空间数据库和属性数据库。空间数据库包括土壤类型图、采样点点位图、剖面分布图、养分分布图、土壤质量图、土壤利用适宜性评价图、地形地貌图、道路和水系图等。属性数据库包括土壤性状、土壤障碍及退化、土壤利用等指标，土壤利用类型数量、质量等数据。有条件的地方可以建立土壤数据管理中心，对数据成果进行汇总管理。

2.2.7 普查成果汇交与应用。组织开展分级土壤普查成果汇总，包括图件成果、数据成果、文字成果和数据库成果。开展数据成果汇总分析，包括土壤质量状况、土壤改良与利用、土壤利用适宜性评价、农林牧业布局优化等。开展 40 年来全国土壤变化趋势及原因分析，提出防止土壤退化的措施建议。开展土壤盐碱、酸化等专题评价，提出治理修复对策。

2.2.8 土壤样品库构建。依托科研教育单位，构建国家级和省级土壤剖面标本、土壤样品储存展示库，保存主要土壤类型的土壤剖面标本和样品。有条件的市县可建立土壤样品储存库。

2.3 技术路线与方法

以土壤二普、国土三调、全国农用地土壤污染状况详查、农业普查、耕地质量调查评价、

全国森林资源清查固定样地体系等工作形成的相关成果为基础，以遥感技术、地理信息系统、全球定位系统、模型模拟技术、现代化验分析技术等为科技支撑，统筹现有工作平台、系统等资源，建立统一的土壤三普工作平台，实现普查工作全程智能化管理；统一技术规程，实现标准化、规范化操作；以二普土壤图、地形图、土地利用现状图、全国农用地土壤污染状况详查点位图等为基础，统一编制土壤三普工作底图；根据土壤类型、土地利用现状类型、地形地貌等工作底图上统一规划布设外业采样点位；按照检测资质、基础条件、检测能力等，全国统一筛选测试化验专业机构，规范建立测试指标与方法；通过“一点一码”跟踪管理，统一构建涵盖普查全过程质控体系；依托土壤三普工作平台，国家级和省级分别开展数据分析和成果汇总；实现土壤三普标准化、专业化、智能化，科学、规范、高效推进普查工作。

2.3.1 构建平台。利用遥感、地理信息和全球定位技术、模型模拟技术和空间可视化技术等，统一构建土壤三普工作平台，构建任务分发、质量控制、进度把控等工作管理模块，样点样品、指标阈值等数据储存模块，数据分类分析汇总模块等。

2.3.2 制作底图。利用 1:5 万 2000 坐标系二普土壤图、1:1 万 2000 坐标系国土三调土地利用现状图（2019 年 12 月 31 日）、地形图、最新行政区划图等资料，统一制作满足不同层级使用的土壤三普工作底图。

2.3.3 布设样点。在土壤三普工作底图上，根据地形地貌、土壤类型、土地利用类型和种植制度等划分出差异化样点区域，参考全国农用地污染状况详查布点、森林资源清查固定样地等，在样点区域上布设土壤采样点；根据主要土种（土属）的典型区域布设剖面样点。并与其他已完成的各专项调查工作衔接，保障相关调查采样点的统一性。样点样品实行“一点一码”，作为外业调查采样、内业测试化验、成果汇总分析等普查工作唯一信息溯源码。

2.3.4 调查采样。省级统一组织开展外业调查与采样。根据统一布设的样点和调查任务，按照统一的采样标准，确定具体采样点位，调查立地与生产信息，采集表层土壤样品、典型代表剖面样等。表层土壤样品按照“S”型或梅花型等方法混合取样，剖面样品采取整段采集和分层采样。

2.3.5 测试化验。以国家标准、行业标准和现代化验分析技术为基础，规范确定土壤三普统一的样品制备和测试化验方法。其中，重金属指标的测试方法与全国农用地土壤污染状况详查相衔接一致。开展标准化前处理，进行土壤样品的物理、化学等指标批量化测试。充

分衔接已有专项调查数据，相同点位已有化验结果满足土壤三普要求的，不再重复测试相应指标。选择典型区域，利用土壤蚯蚓、线虫等动物形态学鉴定方法与高通量测序技术等，进行土壤生物指标测试。

2.3.6 数据汇总。按照全国统一的数据库标准，建立分级数据库。采用内外业一体化数据采集建库机制和移动互联网技术，以省为单位进行数据汇总，形成集属性、文档、图件、影像为一体的土壤三普数据库。

2.3.7 质量校核。统一技术规程，采用土壤三普工作平台开展全程管控，建立国家和地方抽查复核和专家评估制度。外业调查采样实行“电子围栏”航迹管理，样点样品编码溯源；测试化验质量控制采用标样、平行样、盲样、飞行检查等手段，分级审核测试数据；数据审核采用设定指标阈值等方法进行质控。

2.3.8 成果汇总。采用现代统计方法，对土壤性状、土壤退化与障碍、土壤利用等数据进行分析，利用数字土壤模型等方法进行数字土壤制图，进行成果凝练与总结，阶段成果分段验收。

2.4 普查进度安排

2022 年，完成普查前期准备工作、普查试点等工作。

2023—2024 年，土壤普查工作全面铺开，外业调查采样时间截至 2024 年 11 月底结束；部分地区形成阶段性成果。

2025 年上半年，完成样品测试与数据审核工作；下半年，完成数据汇交与整理分析，成果汇总与验收等。

2.5 普查工作流程

土壤三普按以下工作流程推进（图 1），主要步骤如下：

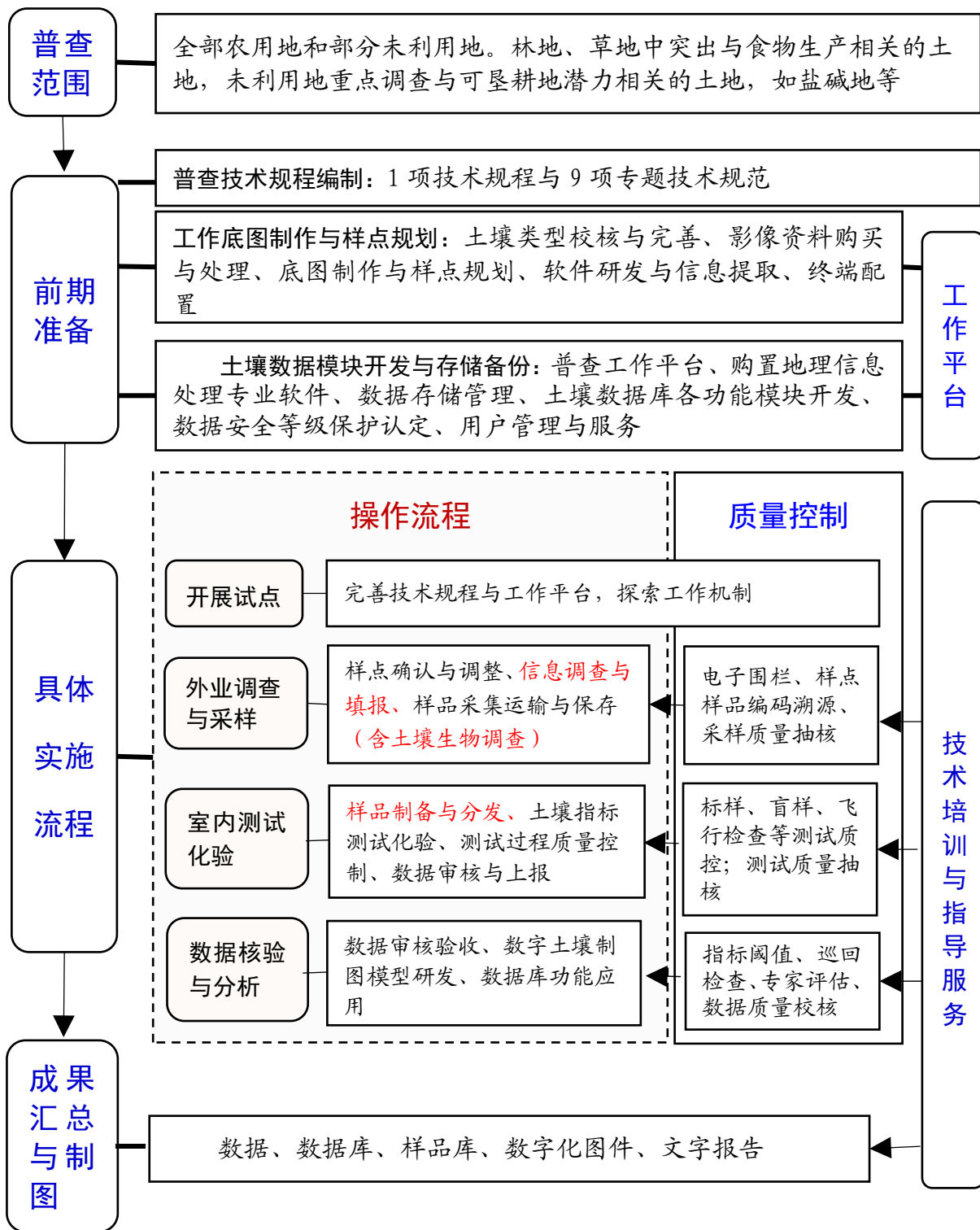


图 1 土壤普查工作流程图

2.5.1 做好前期准备。编制土壤普查技术规程与规范，明确普查内容、指标体系、技术方法、技术要求和质量控制等。收集二普土壤图、国土三调土地利用现状图、地形图、最新行政区划图等资料，制作土壤三普工作底图，布设土壤表层与剖面样点，所有样点/样品实行“一点一码”编码及其任务赋值。建立全国统一指导和管控土壤普查工作平台，实现样点样品信息、外业调查、溯源跟踪、数据传输、质量控制等智能化管理。

2.5.2 组织开展试点。统筹推进省级、县级试点工作。通过试点，总结工作经验，完善技术规程，探索工作机制。

2.5.3 组织外业调查采样。专业调查采样队依据统一规划样点，开展外业实地调查和采样，实时在线填报相关信息，按相关规范科学储运、分发样品至测试单位和样品保存单位。

2.5.4 开展内业测试化验。检测机构按照统一检测标准、检测方法，开展样品测试化验，实时在线填报测试结果。

2.5.5 形成普查成果。国家相关部门负责构建数据库，开展全国范围内普查数据的校核和整理，采用数字土壤模型方法分析制图。各省负责本区域内普查数据的校核、补充完善、整理分析和制图。撰写普查报告，整理共享数据，绘制专业图件，建立土壤样品库。

2.6 主要成果

2.6.1 数据成果。形成全国土壤类型、土壤理化和典型区域生物性状指标数据清单，以及土壤退化与障碍数据、特色农产品区域等土壤专题调查数据、适宜于不同土地利用类型的土壤面积数据等。

2.6.2 数字化图件成果。形成分类土壤普查成果图件，主要包括全国土壤类型图，土壤养分图，土壤质量分布图，黑土耕地退化、耕地土壤盐碱和酸化分布图，土壤利用适宜性分布图，特色农产品生产区域土壤专题调查图等。

2.6.3 文字成果。形成各类文字报告，主要包括土壤三普工作报告、技术报告，全国土壤利用适宜性（适宜于耕地、园地、林地和草地利用）评价报告，全国耕地、园地、林地、草地质量报告，黑土耕地退化、耕地土壤盐碱和酸化、特色农产品区域土壤特征等专项报告。

2.6.4 数据库成果。形成集土壤普查数据、图件和文字等国家级、省级、县级土壤三普数据库，主要包括土壤性状数据库、土壤退化和障碍数据库、土壤利用等专题数据库。

2.6.5 样品库成果。形成国家级和省级土壤样品库，典型土壤剖面标本库。

3 土壤三普的准备工作

3.1 制订全国工作方案与省级实施方案

农业农村部会同自然资源部、生态环保部、水利部、国家林草局、中国科学院等有关部委，就土壤三普工作开展深入研究，编制土壤三普工作方案，明确普查的任务与范围、组织形式、方法步骤、技术路线、经费筹措、工作成果与验收、时限要求、保障措施等。

各省依据全国土壤三普工作方案和技术规程规范，结合本省实际，编制土壤普查实施方案，明确组织方式、队伍组建、技术培训、进度安排、质量控制等，报国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室（以下简称全国土壤普查办）报备。

3.2 制定技术规范

为保障落实土壤普查的专业性、科学性，全国需统一制定土壤普查的技术规程与规范。

3.2.1 制定全国土壤三普专项技术规范

全国土壤普查办负责组织相关科研教育、农技推广等单位专家，制定土壤三普专项技术规范，明确普查内容、指标体系、技术方法、技术要求和质量控制等，统一规范土壤普查工作。

土壤普查平台与数据库建设规范：统一规范土壤普查的工作平台和数据库构建，包括土壤普查平台的结构与功能、数字字典与字段命名、指标阈值、数据库规范等。

土壤类型名称校准与完善工作指南：更新土壤类型图和规范土种剖面描述，完善全国土壤分类系统，包括按照《中国土壤分类及代码》（GB 17296-2009）规范二普土壤类型名称，进行高级土壤分类判定和低级土壤名称归一化和统一命名，以及土壤类型校核，制定土壤三普的土壤分类暂行方案；结合土壤三普调查与数字土壤类型制图，更新完善土壤分类方案、土壤类型图。

土壤普查工作底图制作与采样点布设技术规范：统一规范土壤普查全过程管理和底图制作、样点布设，包括工作底图、样点布设方法、样点校核、样点信息与任务赋值等。

土壤外业调查与采样技术规范：统一规范外业土壤相关信息调查与表层样/剖面样的采集，包括外业调查样点的现场确认、样点采集内容方法和工具、土壤剖面挖掘及整段剖面采集制作方法、样品保存运转等，以及采样点入户调查相关信息等。

土壤样品制备与检测技术规范：统一规范内业测试化验工作，包括土壤样品常规前处理与测试样品留存方法、样品物理化学测试指标与测试方法选择等。

土壤生物调查技术规范：统一规范土壤生物调查工作，包括土壤生物调查样点布设原则、

土壤生物样品采集时序与保存运输方法、土壤生物指标与测定方法等。

土壤制图技术规范：统一规范各种类型成果图的制作，包括集成数字土壤制图模型算法与专家决策、数据土壤制图模型筛选验证、相关专题成果图制图方法与表达等。

土壤普查全程质量控制技术规范：包括外业调查采样的布点确定、采样点“电子围栏”航迹管理、样点样品编码溯源、取样工具和样品储运的监督、样品制备和测试化验质量控制方法、调查和检测数据信息审核等，统一规范普查工作质量控制与抽查监督。

3.2.2 省级土壤普查操作规范

各省级土壤普查办依据土壤三普技术规程和 9 项专题技术规范等，结合本省（区、市）的普查内容和任务，编制本省的操作规范。

3.3 筹建土壤三普技术专家组

全国土壤普查办负责组建第三次全国土壤普查技术专家组，包括咨询组和技术指导组。其中咨询组人员约 10 人，负责研究解决土壤普查中遇到的重大问题，审定技术规程与技术规范；技术指导组人员约 150 人，负责普查工作的技术指导、技术培训、质量监控等；组织筛选专业测试化验机构；组织开展土壤物理、化学、生物等指标的测试化验和数据成果汇总分析；根据普查阶段的任务内容，协调推进不同层次技术与方法的培训。

省级土壤普查办负责组建省级土壤三普技术专家组，根据本省普查任务及其工作量，确定省级专家组的人数；组建各级耕保、农技、林业、草业等机构参与的专业队伍，承担本区域以县级为单位的土壤普查指导工作。

3.4 编制土壤普查工作经费预算方案

全国土壤普查办和省级土壤普查办按照本级土壤三普的工作任务与进度安排，分级编制中央和省级土壤普查工作经费预算方案，并报送财政部或省财政厅审批立项。

土壤普查的工作经费主要包括土壤普查前期准备、外业调查采样、内业测试化验、技术培训、技术指导、质量控制、土壤数据库与样品库建设、成果汇总与验收环节的经费。其中：

（1）土壤普查前期准备的经费包括普查工作平台的研发与 4 年系统维护、技术规程规范编制、工作底图与样点布设方案、外业调查采样设备与试剂耗材等；

（2）外业调查采样经费包括样品制备与分发、表层样调查采样与运输、剖面样调查采样与运输（含整段剖面标本和分段纸盒标本等）；

（3）内业测试化验经费包括土壤物理指标、土壤化学指标（含重金属全量）、土壤生

物（土壤微生物或土壤动物）指标¹的测试；

（4）技术培训经费包括土壤三普技术及管理人员等培训，制作普查工作网络课件等；

（5）技术指导经费包括土壤三普专家组开展外业调查采样、内业测试分析、数据成果汇总、成果图件制作、质量控制等环节技术指导服务以及土壤普查办的工作经费；

（6）质量控制经费包括外业调查采样与内业测试化验的质量抽核、数据质量校核等；

（7）土壤数据库建设包括保密机房设备、数据存储服务器、GIS 软件、防火墙等安全设备；

（8）土壤样品库建设包括剖面整段标本、剖面分段纸盒标本与样品、部分代表性表层土壤样品的制作与保存；

（9）成果汇总与验收经费包括数据校验与分析、土壤制图、文字报告编写，以及成果验收等。

3.5 筛选测试化验实验室

全国土壤普查办负责制定规范筛选土壤三普检测实验室和质量控制实验室技术能力审核工作，明确申请检测实验室和质量控制实验室的准入标准及筛选评审程序，以及土壤三普检测实验室和质量控制实验室管理办法。

3.5.1 检测实验室

各省级土壤普查办，负责从科研教育、第三方检测等机构中，按照检测实验室的组织管理、检测能力、能力验证考核、检测人员、设施环境、仪器设备、工作业绩、违法违规不良信用记录等准入条件，初步筛选出检测实验室，原则上每个省（市、区）初步筛选出的检测实验室数量不超过 30 家，并将初步筛选评审确定的检测实验室、相关申请材料和评审材料上报全国土壤普查办。

全国土壤普查办牵头对各省（区、市）推荐的检测实验室组织专家对检测实验室技术能力进行复核，并发布《第三次全国土壤普查检测实验室名录》，供各省（区、市）在土壤三普工作中选用检测实验室；各省（区、市）在土壤三普工作中，可以选用推荐名录中非本行政区域内的检测实验室。

3.5.2 质量控制实验室

国家级质量控制实验室由全国土壤普查办组织专家，评审筛选出 8-10 家国家级质量控制实验室。

¹ 土壤生物调查，仅限于国家层面组织实施与经费预算，省级没有硬性预算要求

省级质量控制实验室原则上由各省级土壤普查办选定，每省级质量控制实验室 2-3 家，并报全国土壤普查办备案。

3.6 数据安全性与保密规定

严格执行国家信息安全制度，使用国产硬件软件和定位系统，实行数据加密传输、数据库等级保护和数据使用权限管理等，建立普查工作保密责任制。

3.6.1 数据安全存储与传输：建立全流程数据安全管理制度，采用现代密码等算法进行数据传输与存储过程中的主动保护，并进行数据容灾备份等，加强数据分类分级管理。

3.6.2 数据使用保密机制：参与调查、测试与数据汇总等土壤普查各环节的人员，需要签订数据使用保密协议。

3.6.3 数据使用权限管理：参与数据审核、校验与汇总的国家级、省级等专家，需给予一定数据使用权限，进入数据库系统，便于开展数据浏览、审核等工作。

3.6.4 数据发表与公开：在土壤普查结果公布前，区域（如县级或以上行政级）面上普查数据不得用于论文发表等。

4 构建土壤普查工作平台

为提高土壤普查的工作质量与效率，全国土壤普查办组织统一建设土壤三普的工作底图、数据库、工作平台系统。

4.1 制作土壤普查工作底图

全国土壤普查办制作工作底图后，分发给各省级土壤普查办，作为各省、各县土壤三普工作的底图。

4.1.1 图件等资料收集整理

收集整理全国土壤二普 1:5 万土壤图（土种图为主，部分地区为土属图）、国土三调 1:1 万土地利用现状图（2019 年 12 月 31 日）、1:10 万地形图、1:1 万全国行政区划图（国家、省、县、乡、村界）、地质图、气象资料等。

4.1.2 生成工作底图

叠加经过标准化处理的土壤二普 1:5 万土壤图和国土三调 1:1 万土地利用现状图，形成“土壤类型+土地利用类型”的叠加图斑（以下简称“叠加图斑”），形成的耕地园地、林地草地、盐碱荒地叠加图层与地形地貌图，作为三普内业样点预布设、成果汇总等的工作底图。

样点分布图+遥感影像图+行政区划图，作为外业调查采样的工作底图。

4.2 样点预布设

在上述“叠加图斑”上，根据土壤类型、土地利用类型、地形地貌等环境变量，采用差异化密度的方法，布设表层样点和剖面样，赋值样点信息与任务。样点布设的具体方法，详见《土壤普查工作底图制作与采样点布设技术规范》。

4.2.1 基本方法

4.2.1.1 表层样点：将叠加图斑分成两大类图层：一类是耕地、园地图层；另一类是林地、草地和未利用地（含盐碱地）图层；计算叠加图斑的高程变异系数 CV。针对每类图层分别采用网格法初步确定样点数量，耕地园地“叠加图斑”按 1 公里×1 公里规划 1 个样点、林地草地盐碱地“叠加图斑”按 4 公里×4 公里规划 1 个样点，初步计算出入样图斑数量。确定叠加图斑中入样图斑最小面积，选定入样图斑，并增设图斑面积小于入样图斑面积的土壤类型样点。利用叠加图斑高程的变异系数 CV 大小，确定地形起伏较大（高程变化大）“叠加图斑”内加密样点数。入样图斑的 GIS 中心点作为样点位置。

4.2.1.2 剖面样点：以省为剖面样点基本行政单元，有土种图且土壤环境条件没有大的变化情况下，采用“土种图布点法”；无土种图或原有土种环境条件变化较大情况下，采用“环境协变量布点法”。土种图布点法：选择累计面积最大的土种优先布点，以省域内各土种面积从大到小排序选取，直到数目达到计划布点数；本区域内特有的土种，必须布点。环境协变量布点法：将土壤类型图（如土属图）、土壤温度类型图、干燥度类型图、坡度分级图、地貌类型图、成土母质类型图、土地利用类型图等 GIS 进行叠加，筛选得到有效景观综合体，并通过聚类分析，获得计划布点的有效景观综合体，确定样点其在图斑中的位置，计算样点环境协变量统计特征。建立剖面样点与表层样点的关联，并人工校核剖面样点位置。

4.2.2 预布设样点省级校核

样点布设任务单位完成样品预布设与初步校核后，连同工作底图与样点布设信息拷贝给各省级土壤普查办，各省级土壤普查办组织专家与相关县级人员，以地块利用代表性、距离村庄道路等远近、交通通达情况、遥感影像（如天地图）等方面综合考虑进行样点的人工校核，提高布设样点的代表性与合理性，并校核各样点类型及其样品类型、取样量、寄送制样单位（含样品库储存样品）等任务信息。

各省校验后的样点位置与信息，需上报全国土壤普查办与样点布设任务单位，作为各省样点编码、样品编码等普查任务的基础。

4.2.3 样点编码

预布设的每一样点，实行“一点一码”制度，赋予一个 16 位的样点编码，即县级行政区域代码 6 位+土地利用类型 4 位+样品类别 1 位+序号 5 位（00001...）。

编码第 1-6 位为县级的全国各地行政区划代码，含前 2 位的省级编码。

编码第 7-10 位为国土三调土地利用类型编码，第 7-8 位为土地利用类型的一级分类编码，第 9-10 位为土地利用类型的二级分类编码。

编码第 11 位为样品类别，表层样为 0；剖面样由上及下，第一发生层为 1，第二发生层为 2，第三发生层为 3，第四发生层为 4，第五发生层为 5，第六发生层为 6。

编码第 12—16 位为县级样点顺序码，由普查工作平台生成该顺序码。

4.2.4 土壤类型编码

本编码参考 GB/T 17296-2009《中国土壤分类与代码》（以下简称“土壤分类国标”），采用层次编码法对各级土壤从土纲到土种的完整编码，作为三普过程的土壤类型编码。编码由土纲、土类、亚类、土属、土种 5 层代码组成，土纲、土类和亚类 3 层代码与土属、土种层代码间用下横杠相隔，共 7-10 位码，如一个土种名称 ABa_1_5。具体编码规则如下：

（1）土纲和土类编码各 1 位大写英文字母，以“土壤分类国标”土纲与土类顺序编排。如“土壤分类国标”中的铁铝土土纲代码为 A，该土纲下第一个土类为砖红壤，其编码为 AA。

（2）亚类编码取 1-2 位英文小写字母，以国标中各土类下的亚类顺序编排。对“土壤分类国标”中未出现的亚类名称，则在“土壤分类国标”已有亚类名称之后进行字母编排；如某亚类个数超过 26 个字母，则采用双位码顺序编排。如砖红壤土类下第一个亚类为“典型砖红壤”，其编码为 AAa。

（3）土属编码为 1-2 位阿拉伯数字，以“土壤分类国标”中各土类下的土属顺序编排。对“土壤分类国标”中未出现的土属名称，则在已有土属名称之后进行编排，并以在各县面积由大到小为序。如“典型砖红壤”亚类下的第一个土属“红泥质砖红壤”，其编码为 AAa_1。

（4）土种编码为 1-2 位阿拉伯数字，以国标中各土属下的土种顺序编排。如“土壤分类国标”中未出现的土种名称，通过比土评土，消除同土异名、同名异土，在“土壤分类国标”已有土种名称之后编排，并以在各县面积由大到小为序。如“典型砖红壤”亚类下的第一个土属“红泥质砖红壤”土属下第一个土种“景洪砖红土”，其编码为 AA 为 AAa_1_1。

4.2.5 样点信息与任务赋值

每一布设样点赋予现场确认、外业调查、样品流转、内业测试等任务清单，包括经纬度、

土壤类型、土地利用类型、植被类型（种植类型）、遥感影像、行政区划、地形地貌、气候资源等信息，作为样点外业现场确认与样点调查信息填报的参考。

每一样点赋予样点类型（表层样与剖面样）与样品量、样品检测指标与制样分样、检测实验室等任务信息，“调查采样 APP”给出相关的样点任务。

4.2.6 样点信息加密分发

采用单机拷贝或加密网络传输等方式，将制作好的工作底图和样点布设信息分发给各省级土壤普查办。

4.2.7 预布设样点省级调整

全国土壤普查办将布设样点分发给各省级土壤普查办后，预布设样点原则上只增不减（建筑等占用除外）。如有重大调整，须将调整方案、调整原由等报全国土壤普查办审批。

4.3 研发土壤普查工作平台系统

全国土壤普查办组织研发土壤三普工作平台系统，供各省级土壤普查办使用。

省级土壤普查办参照建立本区域的土壤数据管理中心，购置满足土壤外业、内业普查信息化工作的硬件与软件。

4.3.1 国家级土壤普查工作平台系统

国家级土壤普查工作平台系统主要包括土壤三普的软硬件环境、数据层、业务层、移动端 4 个部分。

4.3.1.1 软硬件环境

以国产化软件及硬件为核心，基于云平台技术，按照高安全、高可用、高并发的设计原则，搭建土壤三普的软硬件基础设施环境，并符合网络安全等级保护三级的要求。主要包括购置相应的计算、存储、网络等基础设施，构建配套的安全、容灾、维护体系，为数据存储、检索、计算和分析运行提供环境基础。

4.3.1.2 数据层

数据层包括空间数据库与属性数据库，以及数据保密库与脱密库等，构建数据保密库与脱密库有机结合、空间数据与属性数据无缝对接的时空数据库，建立有序的数据管理体系。详见《土壤普查数据库规范》。

4.3.1.3 业务层

按照“样点管理-调查采样-样品制备—测试化验-质量控制-全程追溯”核心普查业务流程，构建专业高效的业务工作平台，包括任务进展（一张图）、样点任务管理、样品制备管理、

样品检测管理、全程质量控制、技术指导、全程追溯等功能模块，分不同用户层级设置相应权限，实现土壤三普工作全流程、全对象、全用户的数字化管理。

4.3.1.4 移动端

根据外业调查采样和样品接样分样的实时性需求，采用专业的移动设备，定制开发“调查采样 APP”、“样品流转 APP”和“质量控制 APP”，实现在线或离线的方式与业务平台的数据对接。APP 的功能模块如下：

调查采样 APP：主要有样点任务认领、样点任务变更、样点导航、扫码绑定、数据记录、数据离线保存、数据提交、样品装箱、样品寄送等功能模块。

样品流转 APP：主要有样品流转进展查询，样品接收，制备样品装箱、寄送与接收，样品接收反馈等功能模块。

质量控制 APP：主要有调查采样的现场影像与电子围栏等样点信息核对、样品制备检查、测试化验飞行检查、检测指标比对与数据阈值等功能模块。

4.3.2 省级土壤普查工作信息化应用

利用全国统一工作平台为省级用户开放相应的功能及权限，实现各类数据直接上传存储、业务管理实时在线。省级购置与国家级平台配套的移动终端设备，利用终端设备内置的“调查采样 APP”、“样品流转 APP”和“质量控制 APP”模块，完成调查采样、样品管理、质量控制等业务管理工作。

在全国统一工作平台下，省级依据全国工作平台和数据库的规范要求，可开发满足本省特性化的子平台，进行数据的分布存储和成果的扩展应用；同时实现省级平台与全国平台之间的数据共享交换。

省级三普数据库存储环境，存放基础数据（如工作底图、样点等）和普查数据库时，需要有相应的保密环境和硬件设备；部分数据需要使用农业专网进行加密传输。

5 组织开展土壤普查试点

5.1 试点区域选定

全国土壤普查办，在全国筛选几个经济实力、技术力量较强的省份实施包括省、市、县组织机制的不少于 5 个县的省级试点；其他省份各选择不少于 1 个具备条件的县（市、区）开展县级试点，验证和完善土壤三普技术路线方法与技术规程规范。完成校核和完善土壤二普土壤分类成果。推动全国盐碱地普查优先开展。

5.2 培训普查技术队伍

全国土壤普查办组织专家，选择1个或几个试点县，结合试点现场对国家级技术专家组成员、省级普查师资队伍（省级技术专家组成员）、省级技术及管理人员等，开展土壤普查的工作平台、数据库、外业调查采样、内业测试化验、质量控制、成果汇总等环节的技术培训，制作普查工作网络课件等资料，明确普查工作的总体思路、技术路线、重点任务、工作要求等，为省级进一步开展技术培训、技术指导、质量控制等提供技术支撑。

各省根据本区域的试点工作需要，可进一步组织开展普查技术队伍的培训工作。

5.3 制定试点工作方案

全国土壤普查办按照普查试点的目标任务，按照《第三次全国土壤普查工作方案》和土壤三普技术规程规范等要求，制定《第三次全国土壤普查试点工作方案》，明确试点的工作内容、技术路线、技术标准与方法等要求，并督促土壤普查技术支撑单位，落实好普查技术规程与专项技术规范修订、实验室筛选、工作底图、数据库、普查平台等试点前期准备工作。

各省级土壤普查办根据《第三次全国土壤普查试点工作方案》，制定本省的土壤普查试点工作方案；省级试点工作方案需明确普查各环节任务的时限和质量要求。各省根据实际需要，建立数据传输与存储中心，组建外业调查采样队伍（含采样工具），并组织开展技术培训、业务练兵、质量控制等。

5.4 开展试点

按照土壤三普技术规程与技术规范等要求，2022年开展普查试点。3月底前，完成试点县和盐碱地普查县样点规划布设工作；4-9月底，完成外业调查采样工作；5-10月底，完成内业测试化验工作；9-10月，补充样品采集及分析化验；10-11月，数据审核与整理分析；11-12月，编写试点工作总结和盐碱地普查工作报告。为保障试点工作进度与质量，农业农村系统统筹组织相关工作，试点完善：

（1）外业调查采样。包括表层样与剖面样的调查采样方法，土壤类型外业核实与勾绘，样品包装、标识、运输，专家参与指导等。

（2）内业测试化验。包括样品制备、流转、保存，测试化验指标与方法，数据质控、填报、汇交等。

（3）全程质量控制。包括外业和内业的内部质控与外部质控环节与方法，及其质控效果。

（4）成果汇总。包括县级数据库、图件、专题评价成果，技术与工作总结报告。

(5) 盐碱地调查。完成盐碱荒(草)地的土壤调查工作,摸清盐碱土类型、数量、空间分布、程度、成因等,汇总提交盐碱荒(草)地调查的数据库、图件、总结报告。

6 外业调查采样

6.1 外业调查与采样技术规范

全国土壤普查办,组织编写《土壤外业调查与采样技术规范》,明确样点现场确认、样点信息调查与填报、样品采集、样品包装与寄送等外业调查采样工作。

各省级土壤普查办,落实本技术规范,制定适合本区域的外业调查与采样技术规范,负责组织开展本区域的外业调查采样工作。

6.2 外业调查采样组织

6.2.1 人员组织

各省负责组织开展外业调查与采样工作。各省级土壤普查办根据全国土壤普查办统一布设的样点和调查任务,负责组建专业调查采样队(调查采样队人员组成中至少有1位通过省级土壤普查办统一组织培训,并获得培训证书和1名县级相关专业技术人员),制定外业调查采样计划,按照统一的《土壤外业调查与采样技术规范》,开展样点现场确认、样点信息调查与填报、样品采集、样品包装与寄送等外业调查采样培训,落实外业调查采样的工作进度。

其中采集土壤剖面样点的调查采样队,须由熟悉土壤分类与制图的专家带队,重点负责挖掘土壤剖面、观察与记载剖面形态、采集剖面土壤样品与标本,开展土壤类型校核完善与边界勾绘等。

6.2.2 工具准备

各省(区、市)结合外业调查与采样要求,需准备信息化终端(如“调查采样APP”手持终端等)、摄录装备类、采样工具、样袋、剖面标本盒(整段与分段纸盒)、速测仪器(如土壤紧实度仪)、辅助材料、防护用具等,详见《土壤外业调查与采样技术规范》。

6.2.3 培训与指导

组织开展外业调查采样现场技术培训,熟悉野外实操层面的基本工作流程及可能存在实际问题与解决方案。外业调查采样时,发现与二普土壤类型及其边界不一致时,并在“调查采样APP”中进行土壤类型边界的现场勾绘。针对部分剖面挖掘和土壤类型识别等专业工作,开展在线咨询与指导。

6.3 外业调查采样任务

6.3.1 样点现场确认

外业调查采样队根据统一规划布设样点的目标导航,到达预布设目标样点区域后,在“电子围栏”范围内确定样点点位(中心点),并填报确认样点的经纬度。

如果预布设样点的土地已非农用化、土壤受到重大破坏等原因,失去了代表性,可根据周边的土地利用类型等,重新布设有代表性的样点,并按《土壤外业调查与采样技术规范》的要求,完成样点的变更工作。

6.3.2 样点调查信息与填报

调查样点区域的成土条件、土壤利用等信息,填报“调查采样 APP”。所有样点调查的指标见附表 1-1;剖面样点除调查附表 1-1 信息外,还需调查附表 1-2 的信息。

如果外业没有通信信号无法传输,可将调查与采样信息、图片和视频等存于外业调查采样终端,待外业调查采样队回到上网区域,及时一次性提交。

6.3.3 样品采集

根据预设样点周边的地形地势和土地利用的空间变异程度,选择“S”型或梅花形(5-10 个混样点)、棋盘形(10-15 个混样点)或蛇形(15-20 个混样点)采集表层混合土样²。

按照样点任务清单,完成表层样、剖面样(整段剖面标本与分段纸盒标本)、水稳定大团聚体样、环刀样、生物调查样等样品采集,其中表层样、剖面样、环刀样按照《土壤外业调查与采样技术规范》采集,生物调查样按照《土壤生物调查技术规范》采集。

6.3.4 样品量³

综合制样损耗、样品分发前留存、检测实验室短期保存与样品库(国家级、省级等)长期保存等,确定实际的样品采集数量,下列的样品量仅供参考。每一表层样品约采取“四

² **“S”型或梅花法:** 地形起伏小、土壤理化特征均匀的地块(如农场或种植大户多年种植的地块),以布设样点为中心,在不小于 100m*100m 范围内按对角线法或梅花法取 5-10 个样后混合;

棋盘法: 地势平坦、地形开阔、土壤理化特征变异大的样地,以布设样点为中心,在不小于 100m*100m 范围内按棋盘法取 10-15 个样后混合。

蛇形法: 地势不很平坦、土壤不够均匀的田块,以布设样点为中心,在不小于 100m*100m 范围内按蛇形法取 20 样后混合。

³ 省级与国家级样品库储存的样品,其取样量可能多于列出的样品量,每一具体样点采集的样品量依据“调查采样 APP”任务清单中给出的样品采样量。

分法”剔除多余样品，留取 3 kg（风干重计）；对于需要采集平行样（“调查采样 APP”清单中的平行样样点），取样量 5 kg（风干重计）；每一剖面发生层样品约采集 4.0 公斤（风干重计），作为平行样时约采集 6.0 公斤（风干重计）。整段或分段剖面土壤标本的样品量装满标本盒即可；水稳定大团聚体样需采用木制或铁盒；环刀样，按照任务清单中的环刀样数，装满环刀盒即可。

6.3.5 样品包装与运输

混合土样采集混匀后，放入统一标准的样品袋；分层剖面样需放入剖面样的样品盒；扫描“调查采样 APP”并打印剖面样的样品编码，贴在盛装样品的布袋或密封塑料袋上。封口、贴好打印的标签后，及时寄送到制样实验室。

剖面整段标本与分段纸盒标本放入特制的木盒或铁皮盒，环刀样、剖面标本样需使用固定装置，保证运输期间不会移动。

6.4 外业调查采样的质量控制

外业调查与采样环节的质量控制包括内部质控与外部质控 2 个环节。内部质控包括：每一调查采样队，至少有 1 人接受过国家级或省级土壤普查办统一组织的集中培训，且通过考核获得培训证书；“电子围栏”范围内确认调查采样样点、拍摄样点附近景观照片、检查样品标识清晰完整等。外部质控是国家和省级土壤普查办组织外业质量控制单位，开展采样时间、位置、记录等抽查等外部质量监督检查。详见《土壤普查全程质量控制技术规范》。主要质控内容见下表。

质控环节	内部质控	外部质控
调查采样信息填报	“电子围栏”范围内；调查指标、影像等信息 自查率应达 100%	省级抽查率>采样任务 5% 国家级抽查率>采样任务 2‰
调查采样现场抽查	人员资质； 取样方法（含密码平行样未按要求取样）、深度、取样量等	省级抽查率>采样任务 5% 国家级抽查率>采样任务 2‰

7 内业测试化验

7.1 土样制备保存流转检测技术规范

全国土壤普查办，组织编写《土壤样品制备与检测技术规范》，明确样品制备、分样、保存、流转、检测指标与方法等技术规范。

各省级土壤普查办，参照本技术规范，负责开展区域内土壤样品制备、分样、保存、流

转、检测等工作。

7.2 样品制备与分发

筛选的检测实验室（或专业制样单位）负责样品制备工作，省级质控实验室负责密码样添加、样品转码与分发工作。

样品制备完成后，省级质量控制实验室负责添加标准样品（或参比样品）、平行样等，每 50 个样品（至少含 1 个标样与 1 个平行样）一个批次，按照土壤普查工作平台样品任务清单，分发寄往相应的检测机构或样本库。分发至土壤检测实验室的样品，需进行检测样品的二次编码。

分发样品时，样品制备实验室需要保留一定数量的样品，确认检测实验室收到样品，否则需重新邮递同等批次的样品。

土壤普查工作平台样品任务清单中抽检的质控样品，需流转至质控实验室进行指标测试。

“样品流转 APP”任务清单中流转至样本库的混合土样，需流转至样品库相应的原状样或过筛样。

7.3 土壤理化测试指标与方法

分发的土壤样品，到达检测实验室或质量控制实验室后，采用“样品流转 APP”扫码登记，并在土壤普查工作平台上填报收样的实验室信息，按照土壤普查工作平台样品任务清单中的样品测试指标与测试方法，进行样品的物理、化学指标测定。耕地园地的土壤样品检测指标见附表 2-1，林地、草地、盐碱荒地的土壤样品检测指标见附表 2-2。

7.4 测试数据填报与审核

各检测实验室按照《土壤普查全程质量控制技术规范》中的内部质控要求，对检测数据质量进行审核，并完成数据填报。填报的数据，除了土壤普查工作平台阈值限定外，各省需对本省测试数据的质量进行审核，审核通过后，方可上传至国家土壤普查工作平台的数据库系统。国家级专家，需对各省汇交的数据质量进行审核。

对于不达标的数据项，需开展补测，甚至是重新采样测试。

7.5 内业测试质量控制

内业测试质量控制，包括土壤样品的制备、保存、流转、分析测试、数据审核等环节的内部质控和外部质控。内部质控是检测实验室的内部工作过程自控，外部质控是省级与全国土壤普查办组织质量控制单位，负责对样品测试质量的监督检查。主要质控内容见下表。

质控环节	内部质控	外部质控
运输保存	常温、低温	流转记录、飞行检查
制样	人员资质； 制样场地、工具及包装容器及其视频监控； 样品损失率≤10%，内部抽查率 100%	制样人员培训证书； 影像监控等记录完整性
分样	省级质控实验室添加标样、平行样等，并转码	根据标样、平行样等检测情况，进行评定
分析测试	50 个样品时至少 1 个平行样、1 个标样； 超出正常值范围的样品应 100%进行复检； 实验室内部质量评价报告等	能力验证； 留样抽检：省级≥5%，国家 ≥3%； 飞行检查
数据审核	人员专业背景与培训； 数据完整性、规范性、准确性	数据校核； 入库数据筛查

8 土壤生物调查

仅开展国家级的土壤生物调查，具体由全国土壤普查办委托相关单位组织实施，并按照《土壤生物调查技术规范》执行。

8.1 土壤生物调查任务

8.1.1 调查对象

- (1) 土壤动物：包括土壤线虫、蚯蚓 2 种典型土壤动物；
- (2) 土壤微生物：包括主要优势菌株、土壤微生物生物量、典型土壤酶活性与土壤呼吸速率。

8.1.2 调查内容

- (1) 土壤动物种类、数量与分布；
- (2) 土壤微生物优势种类与分布；
- (3) 典型土壤酶活性与土壤呼吸速率；
- (4) 土壤生物的资源收集与保存（样本、优势菌等）。

8.2 样点布设与采样测试

8.2.1 样点布设

在已布设的剖面样或表层样点中，选择出典型土壤的生物调查样点，并遵循生物气候分区控制，农用地主导、兼顾其他用地类型的样点布设原则。

8.2.2 外业采样工具准备

除了常用土壤采样工具外，需准备塑料镊子、冰袋、小型冷藏箱、以及土壤生物保存溶

液等。

8.2.3 调查采样与保存运输

外业采集的土壤蚯蚓，保存在土壤生物保存溶液中；采集的土壤鲜样（测定线虫与土壤微生物）混合后装袋。土壤生物样品外业采集后，装入低温保存箱，尽快低温运输至相关土壤生物测试实验室。

8.2.4 测试指标与方法

8.2.4.1 土壤动物：土壤线虫、蚯蚓的形态鉴定与分子生物学。

8.2.4.2 土壤微生物：土壤微生物生物量(C、N)、土壤微生物多样性（土壤优势菌株、细菌与真菌的丰度与多样性、功能微生物的宏基因组）、土壤生物活性（酶活性、诱导呼吸速率）。

相关生物调查与测试信息及时填报土壤普查工作平台系统。

8.3 生物调查的成果汇总

8.3.1 建立土壤生物调查数据库

结合传统分类学方法与分子生物学手段，基于我国典型土壤的动物、微生物与酶活性检测数据及其相关环境参数等，建立全国土壤生物资源数据库。

8.3.2 撰写土壤生物调查报告

整理分析土壤生物调查的数据，撰写和提交土壤生物调查总结报告、土壤质量和土壤健康的生物学评价报告。

9 成果汇总

省级与全国土壤普查办组织开展分级成果汇总，形成省级和国家级土壤样品库，以及县级、省级和国家级数据库、图件、文字报告等成果。

9.1 样品库建设

按照“调查采样 APP”中样点的采样任务要求，部分样点（尤其是采集剖面土壤标本），可能需同步采集两份甚至多份用于省级与国家级土壤样品库建设，并给出送样寄样的相应规定与要求。详见《土壤外业调查与采样技术规范》。

9.1.1 国家级土壤样品库

全国土壤普查办依托国家级科研教育单位，负责建设国家级土壤样品库。

9.1.1.1 样品库的建设内容

主要存放全国 638 个典型土属的整段剖面标本、全国约 6 万个剖面土壤的分段纸盒标本

与分层样品。

每个样品需包括编号（如二维码）及样点信息（生境信息、样点照片、景观照片等）基本信息。

剖面分段纸盒标本晾干；剖面整段标本进行晾干土柱、钻孔处理、浸胶处理、粘贴麻布、标本修饰、喷胶定型等标本制作，均保存于专门的标本柜。发生层样品经过筛后，存放在磨口玻璃瓶中，标注出样品目数，存放在样品架中。

9.1.1.2 样品库的存放要求

土壤样品库库房地面（楼板）承重力一般在 $800\text{kg}/\text{m}^2$ 以上（多存放于一楼），环境要保持干燥、通风、无阳光直射、无污染，具备防霉变、防鼠害、防火灾等设施。要求配备智能电动样品架，便于展示和管理。土壤样品分别存放于不同柜体，且根据预估土壤样品数量设置弹性存储空间，便于土壤样品的长期稳定存放。

9.1.2 省级土壤样品库

各省级土壤普查办可参照国家级土壤样品库的建设方案，负责建设本区域内的土壤样品库或土壤样品储存库。

9.2 数据汇交与数据库构建

全国建立统一的数据库标准（详见《土壤普查数据库规范》）。土壤普查过程中，分级开展数据汇交与数据库建设；省级先进行数据审核与土壤普查数据库构建，然后提交至国家土壤普查数据库。

9.2.1 数据填报与传输

土壤普查实行全过程全数据填报，按照全国土壤普查各专项规范要求，外业调查、内业测试、样品流转、数据审核等过程的数据、单位、人员等信息，及时填报全国土壤普查工作平台的相关信息，传输存储至省级数据库与国家级数据库。

参照信息安全管理的需求，部分数据需采用加密或专网的传输方式，上传至省级与国家级数据库。

9.2.2 数据审核

全国和省级土壤普查办，负责组织质量控制单位和各级质量控制实验室，分别进行数据审核，具体方法参照《土壤普查全程质量控制技术规范》。

9.2.2.1 基础数据审核

土壤三普数据库的各项数据，需进行指标数据是否有空项、各土壤指标的计量单位和计

算精度是否符合要求等普查数据审核。

9.2.2.2 异常值的剔除

土壤调查采样中，因采样不当、土样被污染、测试化验误差等原因，出现异常值（可疑值）。应根据误差理论和常用数理统计方法，对异常值进行检验和剔除。

9.2.3 数据库构建

省级与国家级分级进行数据审核和异常值剔除后，导入省级与国家级三普数据库。将形成省级与国家级土壤物理、化学、生物性状指标数据清单，建成土壤普查基础数据、图件和文字等国家级、省级、县级土壤三普数据库，并建立土壤退化与障碍数据库、耕地质量等级、特色农产品区域、后备耕地资源等土壤专题数据库。

9.3 土壤制图

开展县级、省级、国家级土壤类型、土壤属性、土壤专题（土壤功能性评价）制图工作（详见《土壤类型图编制技术规范》和《土壤属性图与专题图编制技术规范》）。

9.3.1 数据资料准备

准备土壤数据和成土环境因素数据。土壤数据包括土壤三普表层土壤调查样点和剖面土壤调查样点数据（立地条件、理化性状、土壤类型等）。成土环境因素数据包括气候、母岩母质、地形地貌、植被作物、土地利用、水文地质等数据。

9.3.2 土壤类型制图与更新方法

采用两个分类系统进行土壤类型制图。对于中国土壤发生分类，开展县级、省级和国家级土壤制图，分类级别原则上分别到土种、土属和亚类；对于中国土壤系统分类，仅开展省级和国家级土壤制图，分类级别原则上分别到土族和亚类。

以土壤二普土种图为基础，主要针对土种图缺失、土壤类型和边界错误、土壤类型发生变化等问题，基于土壤三普剖面调查及所在图斑土壤类型野外校核结果、成土环境因素数据，考虑山地丘陵和平原不同的景观特点，采用数字土壤制图、遥感勾绘和空间分析等相结合的技术方法，把剖面点及所在图斑野外校核结果从点到面推理到整个制图区域范围，形成土壤三普各级土壤类型图。详见《土壤类型图编制技术规范》。

9.3.3 土壤属性图制作方法

土壤属性图包括土壤有机质含量、土壤粘土矿物、土壤养分图（大中微量元素等）、土壤碳库与养分库、土壤退化（盐碱化、酸化等）、土壤障碍、黑土资源分布图等。

利用土壤属性与不同比例尺气候、生物、母质、地形、人为因素等环境变量的相关性，

确定不同土壤属性与比例尺的环境变量，结合平原、丘陵、山地、高原、盆地的地形分区，构建不同土壤属性与比例尺的制图模型。按照方法相对成熟、精度较优的原则，经模型精度比较后，筛选出 2-3 个土壤属性制图模型。相邻地区为了接边的需要，尽量采用同一土壤制图模型。详见《土壤属性图与专题图编制技术规范》。

9.3.4 土壤专题图制作方法

土壤专题图包括耕地质量等级图、退化耕地分布图、后备耕地资源分布图、特色农产品专题图、土壤利用适宜性分布图等。

在完成土壤类型和土壤属性制图成果图基础上，根据各类专题图评价指标与分级标准体系，通过 GIS 软件进行图层空间计算，各评价单元（或像素）通过各属性权重的面积加权平均，获得评价指数；按指标体系的评价标准，最终确定评价单元的评价等级，制作土壤专题图。对于土壤属性和专题图，采取完成大比例尺精度制图，以制图综合的方法，逐级汇总出省级再到国家级的方式。

9.3.5 制图结果验证评价

采用基于调查样点的（交叉）验证评价、不确定性评价、野外路线踏勘验证评价等方法，对土壤类型图、土壤属性图和专题图的制图精度进行评估。

9.3.6 图件编制与出版

统一土壤类型、土壤属性、土壤专题图的编制规范，包括编制单位、图名、普查时间等制图内容与格式。编制内容主要包括：图名、编制单位、制图单位及制图人员、制图时间、土壤调查时间、绘图单位及绘图人员、地图投影、比例尺等。其它说明包括地理要素所采用的地形图比例尺和时间。上述图例与标识放在图廓外的适宜位置，应平衡美观。

按照国家地图出版等相关要求，省级与国家级分别筛选部分成果图件出版发行。

9.4 总结报告编写

分级开展土壤普查报告撰写工作，各省级土壤普查办负责编制县级与省级的总结报告，全国土壤普查办负责编制全国的总结报告。

9.4.1 土壤三普工作报告

包括总体工作进展、任务完成情况、资金安排及使用情况、主要做法、经验成效、土壤存在问题和下一步改良利用对策等方面。

9.4.2 土壤三普技术报告

包括目标与任务、技术路线与方法、技术标准（规范）、技术创新、技术应用成效、普

查过程中解决的技术难题、工作建议等。

9.4.3 土壤三普专题报告

包括全国及区域耕地质量、土壤类型分布、土壤利用适宜性（适宜于耕地、园地、林地和草地利用）评价报告；耕地、园地、林地、草地土壤质量报告，如东北黑土地保护利用、退化耕地改良利用、特色农产品区域土壤特征、土壤生物多样性研究等专项报告。

9.5 土壤普查成果的验收

土壤普查成果实行国家级与省级两级验收，验收内容主要包括土壤样品库、数据库、图件、文字报告等普查成果。

9.5.1 省级土壤普查成果验收

各省级土壤普查办完成数据审核上报、普查报告撰写等工作后，向全国土壤普查办提出验收申请。全国土壤普查办组织专家分省进行验收，验收小组负责人需在成果验收意见表上签名确认通过验收，或提出整改建议。

9.5.2 国家级土壤普查成果验收

全国土壤三普领导小组组织专家，对照全国土壤三普工作任务，对数据和图件的准确性、文字报告科学性、工作任务的完整性等，对全国土壤普查成果进行验收。

9.5.3 土壤普查成果的发布

土壤普查的数据、图件、文件报告等成果，经国务院批准后，向社会公布，满足社会各界的普查成果资料需求，实现普查成果广泛应用。

附表

附表 1-1 外业调查指标

调查指标			适用样点	是否必填项
立地条件 调查	基本信息	样点编码、行政区划、地理坐标、海拔高度	所有样点	系统赋值，外业校核
		日期、天气	所有样点	是
		调查人及所属单位	所有样点	是
	地表特征	侵蚀状况	所有样点	系统赋值，外业校核
		基岩出露	多土层浅薄的山地土壤	是
		地表砾石	多林地草地土壤，少见于耕地	是
		地表盐斑	干旱半干旱地区的盐成土或盐碱地	否
		地表裂隙	砂姜黑土（系统分类中的变性土）分布区	否
		土壤沙化	草地	否
成土环境 信息	地形地貌		所有样点	系统赋值，外业校核
	母岩		所有样点	系统赋值，外业校核
	母质		所有样点	系统赋值，外业校核
	地下水		所有样点	系统赋值，外业校核
土地利用	利用现状分类		所有样点	系统赋值，外业校核
	农林业生产	种植制度	耕地样点	否
		施肥管理	耕地样点	否
		农田建设情况	耕地样点	否
		园地建设情况	园地样点	否
		林草地生产情况	林草地样点	否

附表 1-2 剖面样点调查指标

土壤形态学特征描述项		适用剖面点	是否必填项	
发生层 性状	厚度	所有剖面点	是	
	边界	所有剖面点	是	
	颜色	所有剖面点	是	
	根系	所有剖面点	是	
	质地	所有剖面点	是	
	结构	所有剖面点	是	
	土内砾石	不适用于建设条件较好的农用地	否	
	孔隙	所有剖面点	是	
	结持性	所有剖面点	是	
	新生体	斑纹	地下水位升降频繁的土壤	否
		胶膜	水稻土中的水耕淀积层、旱地耕作淀积层、湿润气候条件下的黏化层(如棕壤、黄棕壤、黄褐土、红壤、黄壤等)	否
		矿质瘤状结核	半湿润、半干旱、干旱地区石灰性土壤具有不同程度的碳酸盐淀积形成的核状、瘤状、块状新生体	否
		层胶结与紧实状况	古河湖盆地等稳定地质体上发育的磐状层(黏磐、盐结壳、钙磐、石膏磐等);人为影响(机械压实)形成的紧实层	否
		滑擦面	变性土	否
	侵入体	城镇地区、受人为活动影响强烈的城市土壤	否	
	土壤动物	所有剖面点	是	
	野外速测特征	石灰反应	所有剖面点	是
		亚铁反应	地下水浸渍土壤或还原性土壤	否
		盐化反应	盐碱类土壤	否
		酚酞反应	盐碱地碱化特征明显的土壤	否
酸碱度		所有剖面点	是	

土壤形态学特征描述项		适用剖面点	是否必填项	
土体性状	有效土层厚度	所有剖面点	是	
	土体厚度	所有剖面点	是	
	土体构型	均质质地剖面构型	所有剖面点	是
		夹层质地剖面构型	所有剖面点	是
		体(垫)层质地剖面构型	所有剖面点	是

附表 2-1 耕地园地土壤样品检测指标

序号	参数	剖面样	表层样	备注
1	土壤容重	√	√	县级农技部门检测
2	机械组成	√	√	
3	土壤水稳性大团聚体	√	√	30%表层土样
4	土壤田间持水量	√		科研部门检测。 黑土、棕壤、潮土、栗钙土、黄绵土、紫色土、红壤、黄壤、灰漠土、水稻土各 100 个土样，环刀法测定。耕地园地采集耕作层、犁底层、心土层 3 个土层环刀样，林草地采集 0-20cm 表层、20-40cm 亚表层土层环刀样。
5	凋萎系数	√		科研部门检测。具体同“4 土壤田间持水量”
6	矿物组成	√		科研部门检测
7	pH 值	√	√	
8	可交换酸度	√		南方酸性土壤区域（pH 小于 6.0）检测
9	阳离子交换量	√	√	
10	交换性盐基及盐基总量（交换性钙、交换性镁、交换性钾、交换性钠、盐基总量）	√	√	
11	水溶性盐（水溶性盐总量、电导率、水溶性钠离子、钾离子、钙离子、镁离子、碳酸根、碳酸氢根、硫酸根、氯根）	√	√	盐碱土普查涉及的县中均需测水溶性盐总量、电导率和 8 大离子。 注：水溶性盐总量小于 0.1% 时，不测电导率和 8 大离子。
12	有机质	√	√	
13	碳酸钙（无机碳）	√		除铁铝土纲不测，其余都测。
14	全氮	√	√	
15	全磷	√	√	
16	全钾	√	√	
17	全硫	√		
18	全硼	√		
19	全硒	√	√	(1) 广西全区； (2) 贵州全省； (3) 四川省：达州市、巴中市、广元市、宜宾市； (4) 湖南省：鼎城区、新化县、南县、沅江市、汉寿县、澧县、隆回县、

序号	参数	剖面样	表层样	备注
				<p>桃源县、邵阳县、洞口县、武冈市、未阳市、华容县、安乡县、祁阳县、新宁县、祁东县、慈利县、溆浦县、常宁市、双峰县、临澧县、东安县、石门县、桃江县、安化县、道县、宁远县、新邵县；</p> <p>(5) 湖北省：竹山县、竹溪县、巴东县、建始县、恩施市、利川市、咸丰县、宣恩县、来凤县、鹤峰县、南漳县、宜城市、随县、屈家岭、钟祥市、京山市、沙阳县、安陆市、天门市、潜江市、仙桃市、蔡甸区、监利县、洪湖市、嘉鱼县、武穴市；</p> <p>(6) 广东省：蕉岭县、平远县、大埔县、梅县区、揭东区、揭西区、普宁县、惠来县、龙门县、博罗县、惠东县、东源县、紫金县、增城区、从化区、番禺区、江门市、中山市、高要区、四会市、雷州市、徐闻县、廉江市、信宜市、化州市、高州市、阳西县、乐昌市、乳源县；</p> <p>(7) 重庆市：江津区、南川区、城口县；</p> <p>(8) 江西省：萍乡市、宜春市、赣州市、新余市、铅山县、玉山县、进贤县、横峰县、余干县、万年县、鄱阳县、乐平市、万安县、安福县、抚州市、井冈山市。</p>
20	全铁	√		
21	全锰	√		
22	全铜	√		
23	全锌	√		
24	全钼	√		
25	全铝	√		
26	全硅	√		
27	全钙	√		
28	全镁	√		
29	有效磷	√	√	
30	速效钾	√	√	
31	缓效钾	√	√	
32	有效硫	√	√	
33	有效硅	√	√	水田区域土壤

序号	参数	剖面样	表层样	备注
34	有效铁	√	√	
35	有效锰	√	√	
36	有效铜	√	√	
37	有效锌	√	√	
38	有效硼	√	√	
39	有效钼	√	√	
40	游离铁	√		仅测定铁铝土纲和淋溶土纲的土样
41	总汞	√	√	
42	总砷	√	√	
43	总铅	√	√	
44	总镉	√	√	
45	总铬	√	√	
46	总镍	√	√	
合 计		46 项	29 项	

附表 2-2 林地草地盐碱荒地土壤样品检测指标

序号	参数	剖面样	表层样	备注
1	土壤容重	√	√	
2	机械组成	√	√	
3	土壤水稳性大团聚体	√		
4	矿物组成	√		
5	pH 值	√	√	
6	可交换酸度	√		pH 小于 6.0 测定
7	水解性酸度	√		
8	阳离子交换量	√	√	
9	交换性盐基总量	√	√	
10	有机质	√	√	
11	碳酸钙（无机碳）	√		除铁铝土纲不测，其余都测
12	全氮	√	√	
13	全磷	√	√	
14	全钾	√	√	
15	全铁	√		
16	全硫	√		
17	有效磷	√	√	
18	速效钾	√	√	
19	游离铁	√		仅测定铁铝土纲和淋溶土纲的土样
合 计		19 项	11 项	

附表 2-3 盐碱地水样检测指标

序号	参数	灌溉水样	地下水样	备注
1	pH 值	√	√	省级质量控制实验室检测
2	水溶性盐总量 （矿化度）	√	√	
3	电导率	√	√	
4	盐分组成（水溶性钠离子、钾离子、钙离子、镁离子、碳酸根、碳酸氢根、硫酸根、氯根）	√	√	
合 计		4 项	4 项	

附件 2

土壤普查工作底图制作与样点布设 技术规范 (试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2022 年 7 月

目 次

1 适用范围.....	44
2 规范性引用文件.....	44
3 术语和定义.....	44
3.1 图斑.....	44
3.2 土壤表层采样.....	44
3.3 入样图斑.....	44
3.4 高程变异系数.....	44
3.5 地表曲率.....	44
3.6 剖面调查.....	44
3.7 剖面调查布点.....	45
3.8 景观综合体.....	45
3.9 缩略语.....	45
4 工作底图制作.....	45
4.1 图件等资料准备.....	45
4.1.1 土壤三普底图要素.....	45
4.1.2 基础地图与专题图.....	45
4.1.3 其他资料.....	46
4.2 普查工作底图的制作.....	46
4.2.1 数据标准化.....	46
4.2.2 工作底图制作.....	46
5 样点预布设.....	47
5.1 表层样点预布设.....	47
5.1.1 表层样预布设原则.....	47
5.1.2 表层样布设工作流程图.....	48
5.1.3 表层样布设操作步骤.....	49

5.2 剖面样点预布设.....	53
5.2.1 剖面调查布点的原则.....	53
5.2.2 样点区域单元与样点数.....	53
5.2.3 布设方法.....	54
a. 土壤类型代表性校核.....	57
b. 样点可达性校核.....	57
c. 样点数量与分配比例校核.....	57
5.3 样点编码.....	59
5.4 样点信息与任务赋值.....	59
5.4.1 样点信息.....	59
5.4.2 任务清单赋值.....	59

1 适用范围

本技术规范明确了第三次全国土壤普查的工作底图制作、样点布设（含编码表、任务清单）等技术性、原则性要求。

本技术规范适用于第三次全国土壤普查（以下简称土壤三普）。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。

GB 17296	中国土壤分类与代码
GB/T 21010-2007	土地利用现状分类
TD/T 1055-2019	第三次全国国土调查技术规程
GB/T 2260-2007	中华人民共和国行政区划代码

3 术语和定义

3.1 图斑

土地利用类型或土壤类型单一的土地单元（地块）。图斑是土地利用现状调查或土壤类型调查的基本单元。

3.2 土壤表层采样

在土壤表层进行样品采集。对于耕地、林地、草地而言，采样深度为 0-20 cm；对于园地，采样深度为 0-40 cm。

3.3 入样图斑

入样图斑是采样点坐落的各个土地利用地块，是叠加图斑的子集。

3.4 高程变异系数

高程变异系数（CV）是指地表一定距离范围内，高程标准差与平均值的比值，反映地表区域高程的相对变化。

3.5 地表曲率

地表曲率是对地形表面起伏变化程度的定量化度量因子。在垂直和水平两个方向上分量分别称为剖面曲率和平面曲率。

3.6 剖面调查

在一定区域内通过观测一定数量的土壤剖面和分层取样分析，了解掌握土壤质量三维空间分布、土壤类型二维空间分布，以及不同土壤类型重要理化指标统计值的土壤调查工作。

3.7 剖面调查布点

为调查、掌握区域内土壤质量而展开剖面调查前，基于土壤发生演变规律和大数据分析，为剖面调查观测点合理分配空间位置的过程。是剖面调查的首要环节，是实现剖面调查整体效率最大化、效益最大化的重要基础。

3.8 景观综合体

在地表、近地表由多种具有明确属性值的环境要素所刻画出来的独立空间。景观综合体与土壤属性、土壤类型存在一定的关联性。

3.9 缩略语

DEM: Digital Elevation Model, 数字高程模型

GIS: Geographic Information System, 地理信息系统

RS: Remote Sensing, 遥感

GPS: Global Position System, 全球定位系统

4 工作底图制作

遵循土壤普查的全面性、科学性原则，以遥感技术、地理信息系统、全球定位系统等技术手段为支撑，以二普土壤图、国土三调土地利用现状图、DEM 数据等为基础图件，统一制作满足不同层级（国家、省、市、县）使用的土壤三普工作底图。

4.1 图件等资料准备

4.1.1 土壤三普底图要素

基础要素包括：土壤图、土地利用现状图、地形图、行政区划图、土地利用类型变更图、气象资料等基础资料。补充要素包括：遥感影像、干燥度等级空间分布、高标准农田、植被类型分布图等资料。

4.1.2 基础地图与专题图

- (1) 土壤图：土壤二普 1:5 万高精度数字土壤图（细分至土种，部分地区土属）。
- (2) 土地利用现状图：国土三调 1:1 万土地利用现状图。
- (3) 地形图：1:10 万或以上大比例尺地形图。
- (4) 水文地质图：1:25 万水文地质图。
- (5) 行政区划图：2020 年 1:1 万全国行政区划图（国家、省、县、乡、村界）。
- (6) 气象资料：中国地面国际交换站气候资料日值数据集。
- (7) 土地利用类型变更矢量图：2009-2020 年 1:1 万土地利用类型变更矢量图（含耕地

类型变更)。

(8) 高标准农田分布图：2020 年全国建成的高标准农田。

(9) 遥感影像：全国天地图遥感影像资料。

4.1.3 其他资料

(10) DEM 数据：全国 ASTER GDEM V3 数据（空间分辨率 30 米，2019 年）。

(11) 干燥度等级空间分布图：1:25-1:50 万干燥度等级（常湿润、湿润、半湿润、半干旱、干旱、常干旱）图。

(12) 土壤温度等级图：1:25-1:50 万土壤温度状况等级（永冻、寒冻、寒性、冷性、温性、热性、高热性）图。

(13) 历史剖面样点分布图：土壤二普剖面样点分布图、近十多年来的剖面调查样点分布图。注：此图非必备，但如果有，可以增强土壤三普工作效率和价值。

(14) 土地利用变化图：近 20 年来的土地利用变化图。

(15) 森林资源清查固定样地布点：国家林草局的森林固定样地分布。

(16) 全国土壤污染调查点位图：生态环境部农用地土壤污染状况调查点位。

4.2 普查工作底图的制作

4.2.1 数据标准化

(1) 数学基础

① 坐标系统。采用“2000 国家大地坐标系”。

② 高程基准。采用“1985 国家高程基准”。

③ 投影方式。采用高斯-克吕格投影。1:10 000、1:50 000、1:250 000 比例尺标准分幅图或数据按 3°分带。

(2) 坐标统一与空间配准

以数学基础为基准，统一各类矢量和栅格数据的地理坐标和投影方式。以 国土三调土地利用图斑数据为参考，对各类数据（专题图、遥感影像及其他数据）进行空间配准，使不同比例尺的基础地图和专题图能够进行空间叠加。

4.2.2 工作底图制作

叠加经过标准化处理的全国土壤二普数字土壤 1:5 万土种图（部分地区为土属图）和第三次全国土地利用调查的 1:1 万土地利用现状图，形成“土壤类型+土地利用类型”的叠加图斑（以下简称“叠加图斑”），形成的耕地、园地、林地、草地、盐碱荒地叠加图层作为土壤

三普的工作底图，并作为样点预布设、成果汇总的基础。

样点分布图+遥感影像图+行政区划图，作为外业调查采样的工作底图。

5 样点预布设

5.1 表层样点预布设

5.1.1 表层样预布设原则

(1) 基本行政单元

以县级或省级行政区为样点布设基本行政单元，进行表层样点布设。

(2) 布样底图

将全国 1:5 万土壤图与国土三调土地利用现状图叠加生成土种（部分地区为土属）+土地利用类型图斑（以下简称“叠加图斑”）作为表层样布设底图。

(3) 差异化样点密度

耕地和园地（简称耕园地）“叠加图斑”按 1 公里×1 公里规划 1 个样点、林地、草地和盐碱地（简称林草盐碱地）“叠加图斑”按 4 公里×4 公里规划 1 个样点。对于耕园地和林草盐碱地地块细碎的地区，可根据实际情况提高布样密度。

(4) 全面性布点原则

遵循在土壤、土地利用类型和空间上全面性布点原则。确保普查县内每种土壤与土地利用类型均有表层样点布设，同时样点在空间上呈全覆盖状态，在普查区域内不能存在较大空白区域未布点。

(5) 代表性布点原则

同一区域内土壤与土地利用类型相同时，选面积最大图斑布设样点。

5.1.2 表层样布设工作流程图

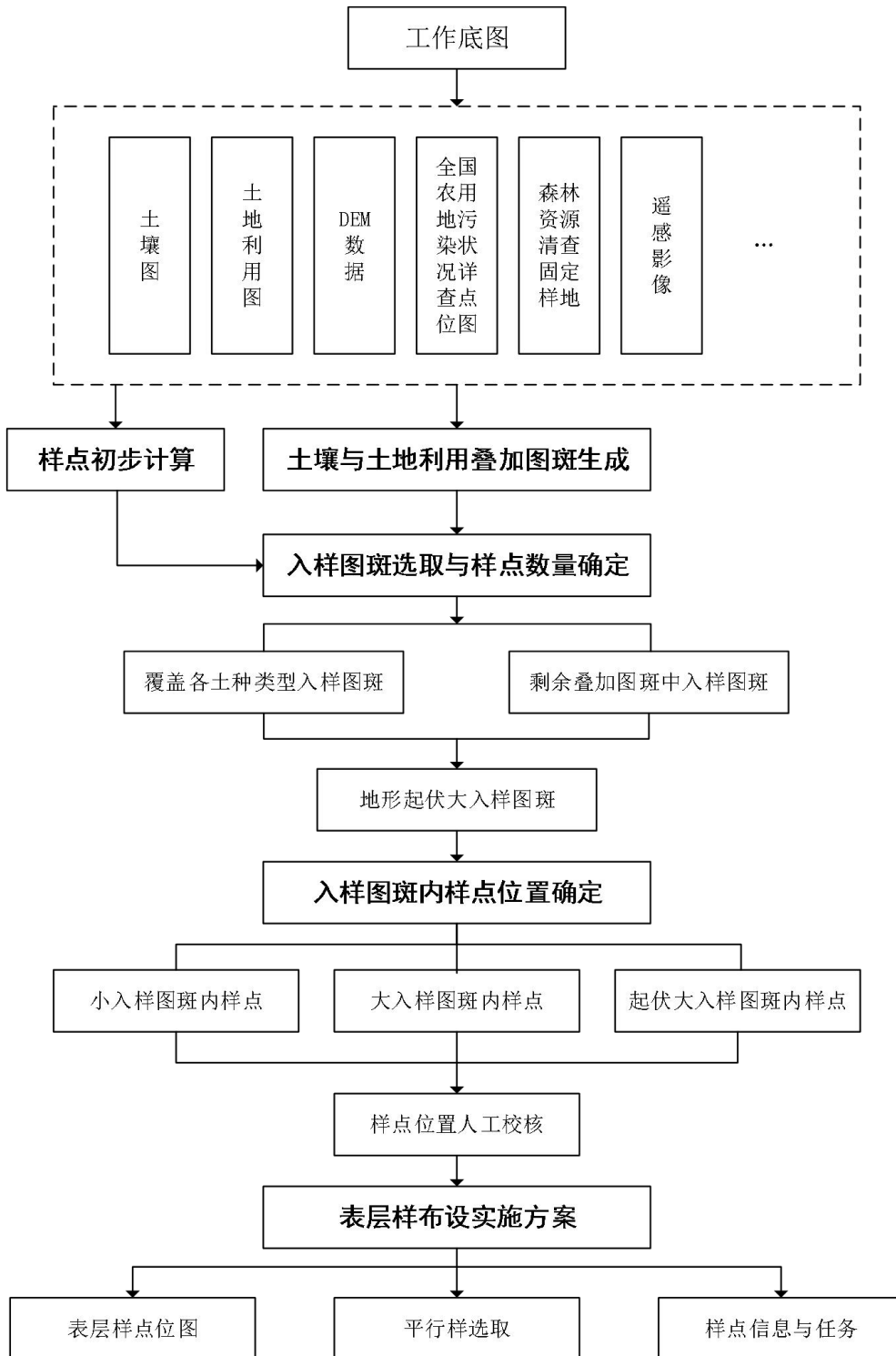


图 1 表层样布设工作流程图

5.1.3 表层样布设操作步骤

(1) 统计叠加图斑土地利用类型面积

①从普查县 1:1 万全要素土地利用图中提取普查县耕地、园地、林地、草地、盐碱地图斑，分别统计全县耕地、园地与林地、草地、盐碱地总面积 (km^2)。

②对土壤图与耕园林草盐碱地图斑进行叠加，形成“叠加图斑”，作为样点布设底图。叠加图斑中耕园地土地利用按二级地类合并，林草盐碱地按一级地类合并。

③将叠加图斑分成两大类图层：一类是耕园地图层；另一类是林草盐碱地图层。

(2) 初步计算样点数

根据耕园地、林草地规划的布样密度，采用面积法确定普查县采样点数量。耕园地和林草盐碱地规划的布样密度分别为 1 个样点/ $1\text{km}\times 1\text{km}$ 与 1 个样点/ $4\text{km}\times 4\text{km}$ 。将普查县耕园地、林草盐碱地总面积乘以相应的规划布样密度，初步确定普查县样点数量。

(3) 确定入样图斑及其样点数

①确定普查县全部土壤和土地利用类型的入样图斑与样点数

统计普查县叠加图斑内每种土种（部分县为土属）类型中面积最大的耕园地或林草地图斑作为入样图斑，确保普查县每种土种（或土属）类型至少能布设 1 个采样点及对应的入样图斑。对每种土种选出的入样图斑按面积按由大到小排序，将面积小于 5ha（1:5 万土壤图最小上图面积）的入样图斑剔除。当入样图斑面积大于 5ha 而小于等于 1km^2 （耕园地）或 16km^2 （林草盐碱地）时，每个图斑内布设 1 个采样点；当耕园地入样图斑面积大于 1km^2 而小于 2km^2 时按 2 个样点布设，林草盐碱地入样图斑面积大于 16km^2 而小于 32km^2 时按 2 个样点布设，以此类推。详见表 1 和表 2。

表 1 耕园地入样图斑内采样点数量布设标准

类别	分类标准	采样点数量
1	$5\text{ha} < \text{入样图斑面积} \leq 1\text{km}^2$	1
2	$1\text{km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 2\text{km}^2$	2
3	$2\text{km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 3\text{km}^2$	3
4	$3\text{km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 4\text{km}^2$	4
5	$4\text{km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 5\text{km}^2$	5

表 2 林草地入样图斑内采样点数量布设标准

类别	分类标准	采样点数量
1	5ha < 入样图斑面积 \leq 16km ²	1
2	16km ² < 入样图斑面积 \leq 32km ²	2
3	32km ² < 入样图斑面积 \leq 48km ²	3
4	48km ² < 入样图斑面积 \leq 64km ²	4
5	64km ² < 入样图斑面积 \leq 80km ²	5

②确定剩余叠加图斑中入样图斑选取与样点数

从普查县全部叠加图斑中，排除上述面积较大的入样图斑即为剩余叠加图斑。剩余图斑内入样图斑选取与样点数量采用两种方法确定：一是面积排序法；二是网格法。

面积排序法具体步骤如下：1)将全部剩余叠加图斑按面积由大到小排序；2)统计面积大于 1 km²（耕园地）或 16 km²（林草盐碱地）叠加图斑总面积，根据表 1 和表 2 中规定布样密度，确定这些面积大的叠加图斑（简称“大入样图斑”）内采样点数量，同时这些大入样图斑也被选为入样图斑；3)确定剩余叠加图斑中面积小于等于 1 km²（耕园地）或 16 km²（林草盐碱地）的所有图斑（简称“小入样图斑”）内的总样点数量。小入样图斑样点数量=普查县初步计算的采样点总量—各土种入样图斑样点数—剩余叠加图斑中大入样图斑样点数；选取小面积叠加图斑中的入样图斑，根据小入样图斑内的采样点数量，按照面积由大到小顺序选取入样图斑。

网格法具体步骤如下：1) 将剩余图斑与 1km×1km(耕园地)和 4km×4km(林草盐碱地)网格叠加，网格起始点相同；2) 选网格内面积最大图斑作为初始入样图斑；3) 根据表 1 和表 2 中采样密度，确定最终入样图斑内样点数量。将两种方法选取的面积小于 5ha 的入样图斑剔除。

③确定地形起伏大的入样图斑内样点加密数

对前两步选取的入样图斑中地形起伏变化大的图斑，需要进行样点加密。采用高程变异系数（CV）作为入样图斑地形起伏变化的评价指标。将入样图斑与 DEM 数据套合，统计每个入样图斑内地表高程的均值和标准差，计算每个入样图斑高程 CV（CV=标准差/均值×100%）。采用绝对高度、相对高度两个指标确定每个入样图斑的地形类型，再根据入样图斑高程 CV 的变化范围确定样点加密标准。表 3 列出了地形分级标准，表 4 列出了县级入样图斑高程 CV 值变化范围及对应的样点加密标准。

表 3 地形分级表

(单位: 米)

序号	地形类型	亚类	绝对高度	相对高度
1	平原	—	< 200	不限
2	丘陵	—	200-500	不限
3	山地	低海拔	500-1000	不限
		中海拔	1000-3500	>200
		高海拔	3500-5000	>200
		极高海拔	>5000	>200
4	高原	—	> 1000	0- 200
5	盆地 (中国四大盆地)	四川盆地	盆西平原、盆中丘陵、盆东及四周边缘为山地	
		柴达木盆地	由边缘向中心依次为山地、丘陵和平原	
		塔里木盆地	边缘为山地和平原, 中心是沙漠	
		准噶尔盆地	边缘为山地、中心是平原和丘陵	

表 4 入样图斑高程 CV 值变化范围及样点加密标准

地形	类别	分类标准	样点加密数量/图斑
平原	1	0<入样图斑高程 CV \leq 30%	0
	2	30%<入样图斑高程 CV	1
丘陵	1	0<入样图斑高程 CV \leq 25%	0
	2	25%<入样图斑高程 CV	1
山地 (低海拔)	1	0<入样图斑高程 CV \leq 20%	0
	2	20%<入样图斑高程 CV	1
山地 (中海拔)	1	0<入样图斑高程 CV \leq 15%	0
	2	15%<入样图斑高程 CV	1
山地 (高海拔)	1	0<入样图斑高程 CV \leq 10%	0
	2	10%<入样图斑高程 CV	1
山地 (极高海拔)	1	0<入样图斑高程 CV \leq 5%	0
	2	5%<入样图斑高程 CV	1
高原	1	0<入样图斑高程 CV \leq 3%	0
	2	3%<入样图斑高程 CV	1

(4) 确定与校核入样图斑内样点位置

①确定小入样图斑内样点位置

小入样图斑只布设 1 个采样点，故选取该图斑的质心点作为外业采样的初始样点位置。利用 GIS 软件提取入样图斑质心点经纬度坐标信息。

②确定大入样图斑内样点位置

大入样图斑且地形起伏小的入样图斑（大面积图斑），需要利用 1km×1km（耕园地）或 4km×4km（林草盐碱地）网格将大入样图斑分解成多个小面积图斑。两种尺度网格均以普查县土壤图西、南至边界作为基准点。统计每个小图斑内的耕园地或林草盐碱地面积，并对这些小面积图斑按面积由大到小排序。根据表 1 和表 2 中规定的大入样图斑内样点布设数量，选择面积排序靠前的耕园地或林草盐碱地的图斑作为大面积图斑中的入样图斑，并将该图斑的质心点作为该大面积入样图斑的样点位置。

③确定地形起伏大入样图斑内样点位置

对于地形起伏大（判断标准参看表 4 中类别 2）的入样图斑，除了选取该图斑质心点作为 1 个样点外，还需加密样点。确定加密样点的位置方法是，将地形起伏大入样图斑（简称“起伏图斑”）与地表曲率图（栅格数据）空间套合，提取起伏图斑内每个像元的曲率值并按由大到小排序，对照起伏图斑内加密样点的数量（参看表 4），选取曲率值排序靠前的像元作为入样像元，以入样像元的中心点作为起伏图斑内加密样点的具体位置。

④人工校核采样点位置

第一、校核样点的土地利用代表性。利用叠加图斑和入样图斑核查表层样点的土壤和土地利用类型。校核布设的表层样点是否落在普查范围内的土地利用类型（耕地、园地、林地、草地、盐碱地）内。

第二、校核样点距离村庄、道路、河流等的远近。利用遥感影像判断样点距离村庄、道路、河流等的远近，原则上需距离村庄 200 米以上，距离河流 50 米以上，距离道路 10 米以上（入户道路、生产道路除外）。如果样点不符合要求，调整选定叠加图斑的样点位置或将样点调整到邻近图斑内。对于农村居民点、乡镇建设用地的空间分布较为密集的地区，各地区可根据本地实际情况，以采样点具有地类土壤典型代表性为原则对距离做弹性调整，且调整前后的点位须保持相同的土壤与土地利用类型。

第三、校核样点的位置同时要考虑交通的通达性。利用遥感影像判断样点的道路通达性。对于到达困难的样点，要就近调整该样点到易于到达的位置。

(5) 形成表层样布设方案

① 采样点空间分布图生成

根据前面 4 个步骤确定的叠加图斑、入样图斑、采样点数量与空间位置，利用 GIS 软件生成普查县采样点空间分布图，包括普查县采样点数量、位置与空间分布、采样地块边界、面积与空间分布、耕园林草盐碱地的面积与空间分布等。

② 平行样抽选

采用简单随机抽样方式从全县或全省采样点中抽选平行样。先将全县或全省样点按 1 到 N（样点总数）编码，针对平行样的数量生成同等数量的伪随机数，当样点编码与伪随机数相同时，该样点即被选为平行样。平行样的抽样比为 1/48，即每 48 个全县或全省样点中抽出 1 个平行样点。

5.2 剖面样点预布设

5.2.1 剖面调查布点的原则

(1) 最大覆盖率原则

要尽可能覆盖布点区域内所有的成土环境类型和土种。

(2) 均衡分布原则

在相同的气候类型、土地利用类型下，在某个成土母质（地质背景）、某个地形类型上的样点数目占比应该与其面积占比大体相同。

(3) 疏密相济原则

样点密度在耕地园地要大于林草荒地，在干旱气候下要小于湿润气候，在寒冷温度下要小于其他温度。

(4) 历史关联性原则

剖面点要尽量靠近土壤二普剖面点，尽量避开近十多年的剖面调查点。

(5) 效率与精度兼顾原则

布点区域单元越大总体效率就越高，区域单元越小精确度越高。平衡两者，以省为布点区域单元。

(6) 最小剖面数原则

要尽量使得分布在重要土种上的样点数目在 3 个以上。

5.2.2 样点区域单元与样点数

省级为基本区域布点单元，并参考全国初步预设的 6 万个剖面样点数，结合土壤环境条

件的变化适当增减剖面样点数。

5.2.3 布设方法

有土种图且土壤环境条件没有大的变化情况下,采用“土种图布点法”;无土种图或原有土种环境条件变化较大情况下,采用“环境协变量布点法”

(1) 土种图布点法

①布点原则

原则 1: 选择累计面积最大的土种优先布点。以省域内各土种面积从大到小排序选取,直到数目达到计划布点数。如果计划布点数多于省内土种数,则按以下情况选点:①各土种面积相近、单个土种的区域面积占比小于 10%的,应将计划布点数量减少到土种数量;②不同土种面积相差 1.5 倍以上,增加在大面积土种上的布点数量,在布点总数量一定的约束条件下,尽可能缩小不同样点所代表面积的差异;③各个土种面积大致相等、单个土种的区域面积占比大于 10%,增加在大面积土种上的布点数量。

原则 2: 本区域内特有的土种,必须布点。

通过以上两个原则,建立区域内计划样点与土种的一一对应关系,一个样点只对应一个土种,但是一个土种可能有多个样点。

②确定土种上的剖面样点数

当样点区域土种数 $N_s \geq$ 计划布点数 N_y 时,先给每个特殊土种分配一个样点,然后以土种累计面积从大到小排序选取,直到数目达到计划布点数。

当土种数 $<$ 计划布点数时,先基于最大覆盖度原则,给每个土种分配一个样点,然后基于最大代表性原则,最大程度地反映土种的主要利用方式、环境条件以及典型剖面性状点,按照一定的权重给各个土种分配布点数。步骤如下:

第一步: 计算土种基础权重和各个环境要素的权重修订系数。

- 土种基础权重 W_b : 某个土种累计面积与区域内总土壤(扣除建设用地、大型水体等)面积之比。

- 权重的土地利用修正系数 K_t : 某土种上所具有的、土壤三普要求调查的土地利用类型数 N_t 就是权重,即: $K_t = N_t$ 。这里的土地利用类型指:农用地的一级类和部分二级类、未利用地(包括其他草地、盐碱地、裸地、沼泽地、沙地),具体为水田、水浇地、旱地、园地、林地、草地、未利用地等 7 个类型, K_t 最大为 7。

- 权重的地形地貌修正系数 K_d : 某土种上所具有的地形地貌类型数 N_d 除以 $10+1$,即:

$K_d=(N_d-1)/10+1$ 。

- 权重的坡度分级修正系数 K_p ：某土种上所具有的坡度分级数 N_p 除以 10+1，即：

$K_p=(N_p-1)/10+1$ 。

- 权重的气候干燥度修正系数 K_g （在县域内布点，不考虑此指标）：某土种上所具有的气候干燥度等级数 N_g 除以 10+1，即： $K_g=(N_g-1)/10+1$ 。

- 权重的气温修正系数 K_w （在县域内布点，不考虑此指标）：某土种上所具有的土壤温度等级数 N_w 除以 10+1，即： $K_w=(N_w-1)/10+1$ 。

第二步：计算土种实际权重。

- 土种综合权重 W_s ：基础权重和各个权重校正系数的乘积，即

$W_z=W_b \times N_t \times N_d \times N_p \times N_g \times N_w$ 。

- 土种实际权重 W_a ：某土种综合权重与所有土种综合权重之和的比值，即 $W_a=W_s/\sum W_s$ 。

第三步：计算土种上的布点数。

- 土种样点数 S_y ：某土种的样点数为区域内总样点数 N_y 减去土种数后与该土种实际权重的乘积+1， $S_y=\text{int}(W_a \times (N_y - N_s)) + 1$ 。

通过以上步骤，建立区域内计划样点与土种的一一对应关系，一个样点只对应一个土种，但是一个土种可能有多个样点。

③确定相同土种上不同样点的成土环境

首先求算某个土种上各个土地利用类型的面积、各个坡度等级的面积、各个地形地貌类型的面积、各个温度等级的面积、各个干燥度等级的面积，并乘以不同等级的面积权重系数表 1，得到各个成土环境等级的有效面积，并从大到小排序，分别到土地利用类型有效面积序列 T_{si} 、坡度等级有效面积序列 P_{si} 、地形地貌类别有效面积序列 D_{si} 、温度等级有效面积序列 W_{si} 、干燥度等级有效面积序列 G_{si} ，以上各式中的 $i=1、2、3、\dots、n$ 。

以某个土种图斑为底图，将土壤温度类型图、干燥度类型图、坡度分级图、地貌类型图、土地利用类型图在 GIS 进行叠加，得到有 5 个属性值的景观综合体。

按照：土地利用类型图→坡度分级图→地貌类型图→干燥度类型图→土壤温度类型图的秩序依次选择。

在第 i ($i \geq 1$ ，小于 N_t) 土地利用类型 T_{si} 上的布点数为： $\text{int}(T_{si}/T_{s(i+1)})$ 。把前 k 个景观总体的布点数相加，直到综述等于该土种上计划布点数。得到各个样点的景观综合体类型及其环境条件参数。

表 5 不同环境条件的布点权重系数

环境协类别	环境变量取值	剖面布点权重系数
土地利用	无变化的耕地园地	1.0
	无变化的耕地园地中的盐碱地	1.2
	无变化的林草地和未利用地	0.1
	有变化的耕地园地	2.0
	有变化的耕地园地中的盐碱地	2.0
	有变化的林草地和未利用地	0.2
坡度	平地、缓坡、中缓坡、中坡、陡坡	1.0
	中坡	0.5
	陡坡	0.2
地形地貌	所有的地形地貌类别	1.0
土壤温度	永冻土温	0.0
	寒冻土温	0.1
	除永冻、寒冻以外的其他土温	1.0
土壤水分	常干旱土壤水分	0.1
	干旱土壤水分	0.8
	除干旱、常干旱以外的其他土壤水分	1.0

注：土地利用的变化是以现在的状态为基准，与过去不同的称之为有变化，很多情况可以综合利用土种和土地利用现状加以判断得到。

④确定样点在土种内样点的图斑

每个样点选择对应景观综合体的最大图斑。如果一个景观综合体类型上有 2 个以上样点，依次选择第 2 大图斑、第 3 大图斑、……。

⑤确定样点在图斑中的位置

如果同一个图斑上有多个样点，先按总周长最短的法则，将图斑切割成数目与计划布点数相等、面积基本相等的子图斑。

对于形状比较规整的图斑（或子图斑），如圆形、方形、三角形等，一般选择其几何中心作为样点位置；对于形状不规整的图斑，如树枝形、S形等，一般选择其最宽处的中心作为样点位置。得到样点空间分布图。

⑥剖面样点与表层样点的关联

预设剖面样点应该与 8-10 个表层样点进行关联，确定的剖面样点应该与 2-3 个确定的表层样点进行关联，并且要给出最佳关联表层样点。

⑦人工校核采样点位置。

a. 土壤类型代表性校核

利用省级土壤普查办掌握的土壤图、最新土地利用图等资料，确定布点土壤类型的面积大小排序或农业重要性排序；有条件地区可结合土地利用、地形、坡度、海拔等环境变量进行代表性校核；实地踏勘过程中进一步考察，判断土壤类型是否正确。

b. 样点可达性校核

将样点与道路叠加，判断样点的道路可达性；实地踏勘过程中进一步考察可达性，了解样点周围是否发生了泥石流、塌方等地质灾害，厂矿、建筑等占用情况，以及水库和河流的淹没情况。

c. 样点数量与分配比例校核

根据本省实际情况，组织农业生产管理、土壤调查等方面的专家，对剖面样点数量及其在不同土地利用类型上的分配比例进行商讨，对布点数量及比例需要调整的，提出调整方案（数量只增不减）。

（2）环境协变量布点法

①建立有效景观综合体

首先将土壤类型图（如果有）、土壤温度类型图、干燥度类型图、坡度分级图、地貌类型图、成土母质类型图、土地利用类型图、植被类型等在 GIS 进行叠加，得到景观综合体。将各种要素都相同的景观综合体视为同一个景观综合体，计算各个景观综合体面积，并乘以不同条件下的权重系数（表 1），得到有效面积，同时计算各个景观综合体的出现频率。将有效出现频率小于 5%而且有效面积不到样点平均代表有效面积 10%的景观综合体删除，剩余的景观综合体即为有效景观综合体。

②建立景观综合体空间分布图

如果有效景观综合体的数目 \leq 计划布点数，每个有效景观综合体视为一个有效景观综合

体类型，如果有效景观综合体的数目 $>$ 计划布点数，先对有效景观综合体进行加权样品聚类分析，类型数目和计划布点数目相同。然后将各类型下的景观综合体在空间上进行合并或者关联和归一化处理，初步得到景观综合体类型空间分布图，并将在上一步中没有进入有效景观综合体的景观综合体融合周围面积最大的景观综合体类型图斑，得到最终的无缝隙景观综合体类型空间分布图。

③选择样点图斑

当景观综合体类型数与计划布点数相同时，每个样点应该选择计划布点的有效景观综合体类型的面积最大图斑。

当景观综合体类型数 $<$ 计划布点数时，先给每个景观综合类型分配一个样点，然后按照各个景观综合体类型有效面积占比确定剩余样点的分配数。

当一个景观综合体类型上的样点数多于1个、但少于该景观综合体类型的图斑数时，按照图斑面积从大到小依次分配样点。当一个景观综合体类型上的样点数 $>$ 该景观综合体类型的图斑数时，先给每个图斑分配一个样点，然后按照各个图斑有效面积占比确定剩余样点的分配数。

④确定样点位置

如果同一个图斑上有多个样点，先按总周长最短的法则，将图斑切割成数目与计划布点数相等、面积基本相等的子图斑。

对于形状比较规整的图斑（或子图斑），如圆形、方形、三角形等，一般选择其几何中心作为样点位置；对于形状不规整的图斑，如树枝形、S形等，一般选择其最宽处的中心作为样点位置。得到样点空间分布图。

⑤计算样点环境协变量统计特征

以样点为中心形成10平方公里的缓冲空间分布图，并将之与土壤类型图、土壤温度空间分布图（注：不是第一步中的类型图，而是有具体数值的渐变栅格图）、干燥度空间分布图、坡度空间分布图、地貌类型图、成土母质类型图、土地利用类型图、植被类型等在GIS进行空间统计分析，得到样点的最可几环境协变量数值。

将景观综合体空间分布图与土壤类型图、土壤温度空间分布图、干燥度空间分布图、坡度空间分布图、地貌类型图、成土母质类型图、土地利用类型图、植被类型等在GIS进行空间统计分析，得到样点的环境协变量统计值。

⑥剖面样点与表层样点的关联

预设剖面样点应该与 8~10 个表层样点进行关联，确定的剖面样点应该与 2~3 个确定的表层样点进行关联，并且要给出最佳关联表层样点。

⑦人工校核采样点位置。同土种图布点法人工校核方法。

5.3 样点编码

根据已有的地理空间编码规则定制化土壤样点编码，形成不同层级的网格编码、采集点编码等具备空间地理信息的样点编码。编码方式为县级行政区域代码（采用 GB/T2260-2007 中华人民共和国行政区划代码，无县级行政区域的采用市级代码）+土地利用类型 4 位+样品类别 1 位+序号 5 位（00001...），共 16 位。每一预设样点，均给予一个编码，该样点编码将作为外业调查采样、内业测试化验、数据汇总分析等普查工作唯一信息溯源码。其编码方法为：

编码第 1-6 位为县级的全国各地行政区划代码（详见附件 1），含前 2 位的省级编码；

编码第 7-10 位为土地利用类型，参照国土三调土地利用类型的 4 位数字编码，即土地利用类型一级分类的 2 位数字，二级分类的 2 位数字。

编码第 11 位为样品类别，农化样或表层样为 0；剖面样第一发生层为 1，第二发生层为 2，第三发生层为 3，第四发生层为 4，第五发生层为 5，第六发生层为 6。

编码第 12—16 位为县级样点顺序码，由普查平台云系统提前生成该顺序码。

※ 样点二维码生成时，需加上样点的土壤类型信息与采样年份。

5.4 样点信息与任务赋值

5.4.1 样点信息

每一预设样点，均给予一个编码，实行“一点一码”制度。预布设的样点编码包含行政区划代码、土地利用类型样品类别信息。同时，每一预设样点属性表中还带有土壤类型、土地利用类型、样点类别、行政区划位置、海拔等多个独立属性字段，作为外业样点现场确认与样点调查信息填报的参考。

5.4.2 任务清单赋值

在赋予样点信息的同时，给出该样点的类型（如表层样、剖面样）、现场确认、外业调查、样品流转、测试指标方法等任务清单。

附件 3

土壤普查数据库规范

(试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2022 年 7 月

目 次

1 范围.....	66
2 规范性引用文件.....	66
3 术语和定义.....	66
3.1 土壤制图单元 soil mapping unit.....	66
3.2 矢量数据 vector data.....	66
3.3 栅格数据 raster data.....	66
3.4 属性数据 attribute data.....	66
3.5 元数据 metadata.....	66
3.6 数据字典 data dictionary.....	66
4 缩略语.....	66
5 数据组织管理.....	67
5.1 分类与编码.....	67
5.2 要素代码与描述.....	68
5.3 空间要素分层.....	69
5.4 非空间数据分类.....	70
6 数据结构定义.....	70
6.1 空间要素属性结构.....	70
6.1.1 境界与管辖区域.....	70
6.1.2 栅格数据属性结构.....	72
6.1.3 底图.....	73
6.1.4 样点.....	75
6.1.5 制图.....	78
6.2 非空间要素属性结构.....	78
6.2.1 调查采样.....	78
6.2.2 样品制备.....	83
6.2.3 检测分析.....	84

6.2.4 样品流转.....	88
6.2.5 质量控制.....	90
6.2.6 样品库.....	92
6.2.7 辅助管理.....	93
7 数据质量检查.....	94
7.1 检查方法.....	94
7.2 质量检查内容.....	94
7.2.1 成果完整性检查.....	94
7.2.2 图形数据检查.....	95
7.2.3 属性规范性检查.....	95
7.2.4 关联关系检查.....	95
8 数据交换内容与格式.....	96
8.1 空间信息数据.....	96
8.2 非空间信息数据.....	96
8.3 元数据.....	97
附录 A 矢量数据元数据.....	98
表 A.1 数据标识（表名：dataIdInfo）.....	98
表 A.2 空间参照系统（表名：refSysInfo）.....	99
表 A.3 数据内容（表名：contInfo）.....	99
表 A.4 数据质量（表名：dqInfo）.....	99
附录 B 属性值字典表.....	100
表 B.1 界表线类型代码表.....	100
表 B.2 界线性质代码表.....	100
表 B.3 坡度级别代码表.....	100
表 B.4 自然植被型代码表.....	101
表 B.5 作物类型代码表.....	102
表 B.6 轮作制度代码表.....	103
表 B.7 复种类型代码表.....	104
表 B.8 布设网格类型代码表.....	104

表 B.9 样点类别代码表.....	104
表 B.10 采样类型代码表.....	104
表 B.11 天气情况代码表.....	104
表 B.12 大地形分类.....	105
表 B.13 中地形分类.....	105
表 B.14 小地形分类.....	105
表 B.15 成土母岩代码表.....	106
表 B.16 成土母质代码表.....	107
表 B.17 侵蚀类型代码表.....	107
表 B.18 侵蚀程度代码表.....	107
表 B.19 主要土壤层次类型代码表.....	108
表 B.20 土壤结构代码表.....	108
表 B.21 耕层质地代码表.....	108
表 B.22 紧实度代码表.....	109
表 B.23 剖面标本类型.....	109
表 B.24 地形部位分类.....	109
表 B.25 坡向分类.....	109
表 B.26 岩石出露-丰度.....	110
表 B.27 岩石出露-间距.....	110
表 B.28 地表砾石程度.....	110
表 B.29 地表砾石大小.....	110
表 B.30 地表盐斑-丰度.....	111
表 B.31 地表盐斑-厚度.....	111
表 B.32 地表裂隙描述-宽度.....	111
表 B.33 地表裂隙描述-长度.....	111
表 B.34 地表裂隙-丰度.....	112
表 B.35 地表裂隙-间距.....	112
表 B.36 地表裂隙-方向.....	112
表 B.37 地表裂隙-连续性.....	112

表 B.38 土壤沙化指标与分级.....	112
表 B.39 植被覆盖度分类(不含农作物).....	113
表 B.40 农田排水条件.....	113
表 B.41 发生层次过渡-明显度.....	113
表 B.42 发生层次过渡-过渡形状.....	113
表 B.43 根系-粗细.....	114
表 B.44 根系-丰度.....	114
表 B.45 土壤结构-形状大小.....	114
表 B.46 土壤结构-发育程度.....	115
表 B.47 岩石和矿物碎屑-丰度.....	115
表 B.48 岩石和矿物碎屑描述-大小.....	115
表 B.49 岩石和矿物碎屑-形状.....	116
表 B.50 岩石和矿物碎屑-风化状态.....	116
表 B.51 岩石和矿物碎屑描述-莫氏硬度.....	116
表 B.52 岩石和矿物碎屑描述-组成物质.....	116
表 B.53 孔隙-总孔隙度.....	117
表 B.54 孔隙-丰度.....	117
表 B.55 孔隙描述-粗细.....	117
表 B.56 孔隙描述-类型.....	117
表 B.57 孔隙描述-分布位置.....	118
表 B.58 斑纹定量描述-丰度.....	118
表 B.59 斑纹定量描述-大小.....	118
表 B.60 斑纹定量描述-位置.....	118
表 B.61 斑纹定量描述-与土壤基质对比度.....	118
表 B.62 斑纹定量描述-边界.....	119
表 B.63 斑纹定量描述-组成物质.....	119
表 B.64 胶膜-丰度.....	119
表 B.65 胶膜-位置.....	119
表 B.66 胶膜-组成物质.....	120

表 B.67 胶膜-与土壤基质对比度.....	120
表 B.68 矿质瘤状结核-丰度.....	120
表 B.69 矿质瘤状结核-种类.....	120
表 B.70 矿质瘤状结核-大小.....	121
表 B.71 矿质瘤状结核-形状.....	121
表 B.72 矿质瘤状结核描述-硬度.....	121
表 B.73 矿质瘤状结核-组成物质.....	121
表 B.74 磐层胶结与紧实状况-连续性.....	121
表 B.75 磐层胶结与紧实状况-内部构造.....	122
表 B.76 磐层胶结与紧实状况-胶结程度.....	122
表 B.77 磐层胶结与紧实状况-组成物质.....	122
表 B.78 磐层胶结与紧实状况-成因或起源.....	122
表 B.79 滑擦面.....	123
表 B.80 土壤侵入体-组成物质.....	123
表 B.81 土壤侵入体描述-丰度.....	123
表 B.82 土壤动物种类.....	123
表 B.83 土壤动物-丰度.....	124
表 B.84 土壤动物-影响情况.....	124
表 B.85 土壤反应-石灰反应.....	124
表 B.86 土壤反应-亚铁反应.....	124
表 B.87 土壤反应-土壤碱化度.....	124
表 B.88 土壤酸碱性分级.....	125
表 B.89 样品类型.....	125
表 B.90 实验室类型.....	125

1 范围

本标准规定了第三次全国土壤普查数据组织与管理、数据结构定义、数据交换内容与格式、数据质量检查等。

本标准适用于第三次全国土壤普查数据库建设与数据交换。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 2260 中华人民共和国行政区划代码

GB/T 10114 县级以上行政区划代码编制规则

GB/T 13923 基础地理信息要素分类与代码

GB/T 17296-2009 中国土壤分类与代码

GB/T 32739-2016 土壤科学数据元数据

GB 15618-2018 土壤环境质量农用地土壤风险管控标准（试行）

TD/T 1057-2020 国土调查数据库标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 土壤制图单元 **soil mapping unit**

反映一种土壤类型或几种土壤组合分布类型的图斑单元。

3.2 矢量数据 **vector data**

以坐标或有序坐标串表示的空间点、线、面等图形数据及与其相联系的有关属性数据的总称。[GB/T 16820-2009]

3.3 栅格数据 **raster data**

按照栅格单元的行和列排列的有不同“灰度值”的像片数据。[GB/T 16820-2009]

3.4 属性数据 **attribute data**

描述地理实体质量和数量特征的数据。[GB/T 16820-2009]

3.5 元数据 **metadata**

关于数据的内容、质量、状况和其他特性的描述性数据。[GB/T 17798-2007]

3.6 数据字典 **data dictionary**

指对数据的数据项、数据结构、数据流、数据存储、处理逻辑等进行定义和描述。

4 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

Char: 字符型数据;

Date: 日期型数据, 默认使用YYYYMMDD格式;

Float: 浮点型数据, 数据长度不包括小数点“.”的位数;

Int: 整型数据;

Varbin: 存储二进制文件所在的物理路径及文件名, 在数据交换时需要将该字段指向的文件复制到存储交换数据文件的物理路径, 同时将该字段的物理路径值转换为存储交换数据文件的物理路径值;

Varchar: 可变长度的文本数据。

数据约束缩略语

M: 必填

O: 可选

C: 条件必填, 在特定的条件下必填。

5 数据组织管理

5.1 分类与编码

土壤数据要素分为3个大类, 并依次细分为小类、一级、二级和三级。要素代码由6位数字码构成, 空位以“0”补齐, 其结构如下:

X	X	X	XX	X
大	小	一	二	三
类	类	级	级	级
码	码	类	类	类
		要	要	要
		素	素	素
		码	码	码

其中:

a) 大类码为专业代码, 设定为1位数字码, 其中: 基础地理专业码为1, 土壤普查专业码为6, 栅格数据专业代码为3;

b) 小类码为业务代码, 设定为 1 位数字码, 空位以 0 补齐;

c) 一级至三级类码为要素分类代码。其中一级类码为1位数字码、二级类码为2位数字码、三级类码为1位数字码, 空位以0补齐;

d) 各要素类中如含有“其它”类，则该类代码直接设为“9”或“99”。

5.2 要素代码与描述

空间信息数据中各要素代码与名称描述见表1。

表 1 土壤普查要素代码与名称描述表

要素代码	要素名称	说明
100000	基础地理信息要素	见本表注 1
160000	境界与管辖区域	见本表注 2
162000	管辖区域	见本表注 2
162010	省级行政区	见本表注 2
162020	地级行政区	见本表注 2
162030	县级行政区	见本表注 2
162040	乡级区域	见本表注 2
162050	村级区域	见本表注 2
162060	区域界线	见本表注 2
600000	土壤普查	
610000	基础要素	
611000	土壤类型	
612000	土地利用类型	
613000	坡度图	
620000	特征要素	
621000	植被优势种群	
622000	作物常年产量水平	
623000	种植制度	
624000	种植结构	
630000	样点要素	
631000	样点布设区	
632000	布设网格	
633000	布设样点	
634000	调查样点	
640000	制图要素	
641000	土壤分类制图单元	
642000	土壤性状制图单元	
300000	栅格数据	
310000	数字正射影像图	
320000	数字栅格地图	
330000	数字高程模型	
390000	其他栅格数据	
注 1：基础地理信息要素参考 GB/T 13923。		
注 2：行政区、行政区界线要素参考 GB/T 13923，各级行政区的信息使用行政区与行政区界线属性表描述。		

5.3 空间要素分层

空间地理信息数据采用分层的方法进行组织管理，层名、层要素、几何特征及属性表名称描述见表2。

表 2 空间要素分层

序号	层名	层要素	几何特征	属性表名	约束条件	说明
1	境界与管辖区域	省级行政区	Polygon	SJXZQ	M	表 4
2		地级行政区	Polygon	DJXZQ	M	表 5
3		县级行政区	Polygon	XJXZQ	M	表 6
4		乡级区域	Polygon	XJQY	M	表 7
5		村级区域	Polygon	CJQY	M	表 8
6		区域界线	Line	QYJX	O	表 9
7	底图	土壤类型	Polygon	TRLX	M	表 11
8		土地利用类型	Polygon	TDLYLX	M	表 12
9		坡度图	Polygon	PDT	O	表 13
10		植被优势种群	Polygon	ZBYSZQ	O	表 14
11		作物常年产量水平	Polygon	ZWCNCLSP	O	表 15
12		种植制度	Polygon	ZZZD	O	表 16
13		种植结构	Polygon	ZZJG	O	表 17
14	样点	样点布设区	Polygon	YDBSQ	M	表 18
15		布设网格	Polygon	BSWG	O	表 19
16		布设样点	Point	BSYD	M	表 20
17		调查样点	Point	DCYD	M	表 21
18	土壤制图	土壤分类制图单元	Polygon	TRFLZTDY	M	表 22
19		土壤性状制图单元	Polygon	TRXZZTDY	M	表 23
20	栅格数据	数字正射影像图	Image	SGSJ	O	表 10
21		数字栅格地图	Image	SGSJ	O	表 10
22		数字高程模型	Image	SGSJ	O	表 10
23		其他栅格数据	Image	SGSJ	O	表 10

5.4 非空间数据分类

非空间数据采用二维表的方式进行组织管理，见表3。

表 3 非空间数据分类管理

序号	类别	属性名称	属性表名	约束条件	说明
1	调查采样	立地条件调查信息	LDTJDCXX	M	
2		剖面形态学调查基本信息	PMXTXDCJBXX	M	
3		剖面形态学调查分层信息	PMXTXDCFCXX	M	
4		采样信息	CYXX	M	
5	样品制备	样品制备	YPZB	M	
6	检测分析	土壤物理性状	TRWLXZ	M	
7		土壤化学性状	TRHXXZ	M	
8		土壤环境性状	TRHJXZ	M	
9		土壤生物性状	TRSWXZ	M	
10	样品流转	样品装运	YPZY	M	
11		样品装运样品清单	YPZYYPQD	M	
12		样品接收	YPJS	M	
13		样品接收样品清单	YPJSYPQD	M	
14	质量控制	质控样品	ZKYP	M	
15	样品库	样品库	YPK	M	
16	辅助管理	实验室	SYS	M	
17		人员	RY	M	

6 数据结构定义

6.1 空间要素属性结构

6.1.1 境界与管辖区域

6.1.1.1 省级行政区属性结构

表 4 省级行政区属性结构描述表（表名：SJXZQ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	行政区名称	XZQMC	Char	100			M	
4	行政区代码	XZQDM	Char	12			M	
5	行政区面积	XZQMJ	Float	15	2	>0	O	单位：km ²
6	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.1.2 地级行政区属性结构

表 5 地级行政区属性结构描述表（表名：DJXZQ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	行政区名称	XZQMC	Char	100			M	
4	行政区代码	XZQDM	Char	12			M	
5	行政区面积	XZQMJ	Float	15	2	>0	O	单位：km ²
6	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.1.3 县级行政区属性结构

表 6 县级行政区属性结构描述表（表名：XJXZQ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	行政区名称	XZQMC	Char	100			M	
4	行政区代码	XZQDM	Char	12			M	
5	行政区面积	XZQMJ	Float	15	2	>0	O	单位：km ²
6	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.1.4 乡级区域属性结构

表 7 乡级区域属性结构描述表（表名：XJQY）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	行政区名称	XZQMC	Char	250			M	
4	行政区代码	XZQDM	Char	12			M	
5	行政区面积	XZQMJ	Float	15	2	>0	O	单位：m ²
6	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.1.5 村级区域属性结构

表 8 村级区域属性结构描述表（表名：CJQY）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YS DM	Char	6		见表 1	M	
3	行政区名称	XZ QMC	Char	250			M	
4	行政区代码	XZ QDM	Char	12			M	
5	行政区面积	XZ QMJ	Float	15	2	>0	O	单位：m ²
6	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.1.6 区域界线属性结构

表 9 区域界线属性结构描述表（表名：QYJX）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YS DM	Char	6		见表 1	M	
3	界线类型	JXLX	Char	6		见表 B.1	M	
4	界线性质	JXXZ	Char	6		见表 B.2	M	
5	界线说明	JXSM	Char	254		>0	O	

6.1.2 栅格数据属性结构

表 10 栅格数据属性结构描述表（表名：SGSJ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10		>0	M	
2	要素代码	YS DM	Char	6		见表 1	M	
3	图幅编号	TFBH	Char	50			M	
4	图幅名称	TFMC	Char	254			M	
5	数据类型	SJLX	Char	20		见本表注 7	M	
6	头文件名	TWJM	Varchar				M	
7	数据文件名	SJWJM	Varchar				M	
8	元数据文件名	YSJWJM	Varchar				M	
9	影像来源	YXLY	Char	254			O	本表注 1
10	影像分辨率	YXFBL	Char	4			M	本表注 2
11	高程基准	GCJZ	Char	254			O	

12	地形类别	DXLB	Char	254			O	
13	成图比例尺	CTBLC	Char	7			M	本表注 3
14	坐标系统类型	ZBXTLX	Char	50			M	本表注 4
15	大地平面坐标投影	DDPMZBTY	Char	50			M	本表注 5
16	中央经线经度	ZYJXJD	Float	20	4		M	本表注 6
17	左下角 X 坐标	ZXJXZB	Float	15	3		M	
18	左下角 Y 坐标	ZXJYZB	Float	15	3		M	
19	右上角 X 坐标	YSJXZB	Float	15	3		M	
20	右上角 Y 坐标	YSJYZB	Float	15	3		M	
21	拍摄时间	PSSJ	Date				M	
22	备注	BZ	Varchar				O	

注 1: 填写“航空(相机名称“可选择填写”)”或“卫星(卫星名称“可选择填写”)”,如航空(DMC)、卫星(GF-6)等。
注 2: 填写栅格数据的分辨率(原始影像分辨率)“可选择填写”,如:0.2M(0.1M)。
注 3: 填写栅格数据的比例尺分母,如:2000、5000等。
注 4: 2000 国家大地坐标系等。
注 5: 填写“1.5 度带高斯克吕格投影”或“3 度带高斯克吕格投影”。
注 6: 度分秒的小数表达方式。如 117 度 0 分 0 秒,应填写:117.000000;117 度 36 分 0 秒,应填写:117.600000。
注 7: 取值为“数字正射影像图、数字栅格地图、数字高程模型、其他栅格数据”中的一项。其它栅格数据,需要在备注中说明。

6.1.3 底图

6.1.3.1 土壤类型属性结构

表 11 土壤类型属性结构描述表(表名:TRLX)

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	土类	TL	Char	30			M	本表注 1
4	亚类	YL	Char	30			M	本表注 1
5	土属	TS	Char	30			M	本表注 1
6	土种	TZ	Char	30			M	本表注 1
7	面积	MJ	Float	15	2	>0	O	单位: m ²
8	备注	BZ	Varchar				O	

注 1: 依据《土壤类型名称校核与完善规范》和《中国土壤分类与代码》(GB/T 17296-2009)国家标准填写分类名称,且优先采用“完善规范”中的结果。此注解也适用于本规范中其它表格中的相应字段。

6.1.3.2 土地利用类型属性结构

表 12 土地利用类型属性结构描述表（表名：TDLYLX）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Char	18			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	图斑编号	TBBH	Char	8			M	本表注 1
4	地类编码	DLBM	Char	5			M	本表注 2
5	地类名称	DLMC	Char	60			M	本表注 2
6	坐落单位代码	ZLDWDM	Char	19			M	
7	坐落单位名称	ZLDWMC	Char	60			M	
8	图斑面积	TBMJ	Float	15	2	>0	M	单位：m ²
9	坡度级别	PDJB	Char	2		见表 B.3	M	
10	耕地地力等级	GDDLJ	Char	4			O	本表注 3
11	备注	BZ	Varchar				O	

注 1：图斑以村级调查区为单位统一顺序编号。变更图斑号在本村级调查区最大图斑号后续编。
 注 2：地类编码和名称按《第三次全国国土调查技术规程》附录 A 第三次全国国土调查工作分类执行,填写最末级分类。
 注 3：参照《GB/T 33469-2016 耕地质量等级》

6.1.3.3 坡度图属性结构

表 13 坡度图属性结构描述表（表名：PDT）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Char	18			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	坡度级别	PDJB	Char	2		见表 B.3	M	
4	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.3.4 植被优势种群属性结构

表 14 植被优势种群属性结构描述表（表名：ZBYSZQ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6			M	
3	植被类型	ZBLX	Char	5		见表 B.4	M	
4	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.3.5 作物常年产量水平

表 15 作物常年产量水平属性结构描述表（表名：ZWCNCLSP）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6			M	
3	作物类型	ZWLX	Char	5		见表 B.5	M	
4	作物产量	ZWCL	Float	15	2		M	单位：斤/亩
5	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.3.6 种植制度属性结构

表 16 种植制度属性结构描述表（表名：ZZZD）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6			M	
3	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²
4	熟制	SZ	Char	8		见表 B.7	M	
5	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.3.7 种植结构属性结构

表 17 种植结构属性结构描述表（表名：ZZJG）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6			M	
3	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²
4	种植类型	ZZLX	Char	8		见表 B.6	M	
5	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.4 样点

6.1.4.1 样点布设区属性结构

表 18 样点布设区属性结构描述表（表名：YDBSQ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSMDM	Char	6		见表 1	M	
3	土地利用类型	TDLYLX	Char	4			M	本表注 1
4	坡度级别	PDJB	Char	2		见表 B.3	M	
5	土类	TL	Char	30			M	
6	亚类	YL	Char	30			M	
7	土属	TS	Char	30			M	
8	土种	TZ	Char	30			M	
9	中心点经度	ZXDJD	Float	9	6	72.000000-136.000000	M	
10	中心点纬度	ZXDWD	Float	8	6	0.000000-60.000000	M	
11	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²
12	备注	BZ	Varchar				O	

注 1：依据《第三次全国国土调查技术规程》附录 A.2 第三次全国国土调查工作分类执行,填写最末级分类。

6.1.4.2 布设网格属性结构

表 19 布设网格属性结构描述表（表名：BSWG）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSMDM	Char	6		见表 1	M	
3	网格大小	WGDX	Char	2		见表 B.8	M	
4	左下角经度	ZXJJD	Float	9	6		M	单位：度
5	左下角纬度	ZXJWD	Float	8	6		M	单位：度
6	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.4.3 布设样点属性结构

表 20 布设样点属性结构描述表（表名：BSYD）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSMDM	Char	6		见表 1	M	
3	样点编号	YDBH	Char	16			M	本表注 1
4	样点类别	YDLB	Char	2		见表 B.9	M	
5	采样类型	CYLX	Char	2		见表 B.10	M	

6	是否采集水稳性大团聚体	SFCJSWXDTJTT	Char	1			M	
7	坐落单位代码	ZLDWDM	Char	12			M	
8	坐落单位名称	ZLDWMC	Char	60			M	
9	经度	JD	Float	9	6		M	单位：度
10	纬度	WD	Float	8	6		M	单位：度
11	坡度	PD	Char	3		见表 B.3	M	
12	土地利用类型	TDLYLX	Char	4			M	本表注 2
13	土壤类型编码	TRLXBM	Char	12			O	本表注 3
14	土类	TL	Char	30			M	
15	亚类	YL	Char	30			M	
16	土属	TS	Char	30			M	
17	土种	TZ	Char	30			M	
18	备注	BZ	Varchar				O	

注 1：采样点编号采用 16 位编码，由县级行政区划代码（6 位）+土地利用类型 4 位+样品类别 1 位+序号 5 位流水号，共 16 位组成，本规范中其余表中的样点编号也采用此规则。

注 2：根据《第三次全国土壤普查技术规程》中的土壤类型编码规则进行编码。此说明适用于本规范中其它表格中的“土壤类型编码”字段。

注 3：依据《第三次全国国土调查技术规程》附录 A.2 第三次全国国土调查工作分类执行,填写最末级分类。

6.1.4.4 调查样点属性结构

表 21 调查样点属性结构描述表（表名：DCYD）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	样点编号	YDBH	Char	16			M	
4	样点类别	YDLB	Char	2		见表 B.9	M	
5	采样类型	CYLX	Char	2		见表 B.10	M	
6	是否采集水稳性大团聚体	SFCJSWXDTJTT	Char	2			M	
7	坐落单位代码	ZLDWDM	Char	12			M	
8	坐落单位名称	ZLDWMC	Char	60			M	
9	经度	JD	Float	9	6		M	
10	纬度	WD	Float	8	6		M	
11	坡度	PD	Char	3		见表 B.3	M	
12	是否修正	SFXZ	Char	2		见本表注 1	M	
13	修正距离	XZJL	Float	5	2		C	单位：m
14	土地利用类型	TDLYLX	Char	4			M	
15	土壤类型编码	TRLXBM	Char	12			M	
16	土类	TL	Char	30			M	
17	亚类	YL	Char	30			M	

18	土属	TS	Char	30			M	
19	土种	TZ	Char	30			M	
20	备注	BZ	Varchar				O	

注1：是否修正字段取值为“1=是；0=否”中的一项。本规范中其它是否类字段，如无特别说明，都照此处理。

6.1.5 制图

6.1.5.1 土壤分类制图单元

表 22 土壤分类制图单元属性结构描述表（表名：TRFLZTDY）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	土类	TL	Char	30			M	
4	亚类	YL	Char	30			M	
5	土属	TS	Char	30			M	
6	土种	TZ	Char	30			M	
7	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²

6.1.5.2 土壤性状制图单元

表 23 土壤性状专题单元属性结构描述表（表名：TRXZZTDY）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	标识码	BSM	Int	10			M	
2	要素代码	YSDM	Char	6		见表 1	M	
3	指标名称	ZBMC	Char	30			M	
4	指标上限	ZBSX	Float	15	4		M	本表注 1
5	指标下限	ZBXX	Float	15	4		M	本表注 1
6	指标值	ZBZ	Char	60			M	本表注 1
7	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²

注1：指标上限、指标下限用于记录数据值类型的指标数据。指标值用于记录字符类型的指标数据。

6.2 非空间要素属性结构

6.2.1 调查采样

6.2.1.1 立地条件调查信息属性结构

表 24 立地条件调查信息属性结构描述表（表名：LDTJDCXX）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样点编号	YDBH	Char	16			M	
2	海拔高度	HBGD	Float	8	2		M	
3	天气情况	TQQK	Char	2		见表 B.11	M	
4	采样时间	CYSJ	Date	8			M	
5	景观照片东	JGZPD	Varbin				M	
6	景观照片南	JGZPN	Varbin				M	
7	景观照片西	JGZPX	Varbin				M	
8	景观照片北	JGZPB	Varbin				M	
9	侵蚀类型	QSLX	Char	2		见表 B.17	M	
10	侵蚀程度	QSCD	Char	2		见表 B.18	M	
11	基岩出露丰度	JYCLFD	Char	2		见表 B.26	M	
12	基岩出露间距	JYCLJJ	Char	2		见表 B.27	M	
13	地表砾石丰度	DBLSFD	Char	2		见表 B.28	M	
14	地表砾石大小	DBLSDX	Char	4		见表 B.29	M	
15	地表盐斑丰度	DBYBFD	Char	2		见表 B.30	O	
16	地表盐斑厚度	DBYBHD	Char	2		见表 B.31	O	
17	地表裂隙宽度	DBLXKD	Char	2		见表 B.32	O	
18	地表裂隙长度	DBLXCD	Char	2		见表 B.33	O	
19	地表裂隙丰度	DBLXFD	Char	2		见表 B.34	O	
20	地表裂隙间隙	DBLXJX	Char	2		见表 B.35	O	
21	地表裂隙方向	DBLXFX	Char	8		见表 B.36	O	
22	地表裂隙连续性	DBLXLXX	Char	2		见表 B.37	O	
23	土壤沙化	TRSH	Char	4		见表 B.38	O	
24	大地形	DDX	Char	2		见表 B.12	M	
25	中地形	ZDX	Char	2		见表 B.13	M	
26	小地形	XDX	Char	2		见表 B.14	M	
27	地形部位	DXBW	Char	3		见表 B.24	M	
28	坡度	PD	Char	2		见表 B.3	M	
29	坡向	PX	Char	2		见表 B.25	M	
30	母岩	MY	Char	120		见表 B.15	M	可多选
31	母质	MZ	Char	60		见表 B.16	M	可多选
32	设施农业类型	SSNYLX	Char	8		见本表注 2	O	
33	蔬菜种植年限	SCZZNX	Int	4			O	单位：年
34	轮作制度	LZZD	Char	2		见表 B.6	O	
35	轮作制度变更	LZZDBG	Char	100			O	
36	耕地撂荒情况	GDLHQB	Char	4		见本表注 1	O	

37	复种类型	FZLX	Char	2		见表 B.7	O	
38	作物类型	ZWLX	Char	6		见表 B.5	O	
39	产量水平	CLSP	Int	4			O	单位：斤/亩
40	肥料种类	FLZL	Char	30		见本表注 3	O	
41	施用量	SYL	Int	4			O	单位：斤/亩
42	施用方式	SYFS	Char	100			O	
43	培肥措施	PFCS	Char	4		见本表注 4	O	
44	是否高标准农田	SFGBZNT	Char	2			O	
45	灌溉保证率	GGBZL	Float	5	2		O	单位：%
46	农田排水条件	NTPSTJ	Char	4		见表 B.40	O	
47	田间道路工程	TJDLGC	Char	4		见本表注 5	O	
48	田间平整度	TJPZD	Int	4			O	单位：cm
49	园地林龄	YDLL	Int	4			O	单位：年
50	植被类型	ZBLX	Char	4			O	
51	植被覆盖度	ZBFGD	Char	100		见表 B.39	O	
52	调查人	DCR	Char	20			M	
53	调查单位	DCDW	Char	100			M	
54	备注	BZ	Varchar				O	

注 1：取值为“常年、季节性、无撂荒”中的一项。
注 2：取值为“露天蔬菜地、塑料大棚、玻璃温室、其它”中的一项。
注 3：取值为“商品有机肥、化肥、土杂肥、其它”中的一项或多项。
注 4：取值为“秸秆还田、免耕、少耕、休耕、种植绿肥”中的一项。
注 5：取值为“机耕路、生产路”中的一项。

6.2.1.2 剖面形态学调查信息属性结构

表 25 剖面形态学调查基本信息属性结构描述表（表名：PMXTXDCJBXX）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样点编号	YDBH	Char	16			M	
2	剖面照片	PMZP	Varbin				M	
3	有效土层厚度	YXTCHD	Int	4			M	单位：cm
4	土体厚度	TTHD	Int	4			M	单位：cm
5	土体构型	TTGX	Char	4		见本表注 1	M	
6	发生层数	FSCS	Int	1			M	
7	备注	BZ	Varchar				O	

注 1：取值为“通体壤、通体砂、通体黏、通体砾、砂/黏/砂、黏/砂/黏、壤/黏/壤、壤/砂/壤、砂/黏/黏、黏/砂/砂、壤/黏/黏、壤/砂/砂”中的一项。

表 26 剖面形态学调查分层信息属性结构描述表（表名：PMXTXDCFCXX）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样点编号	YDBH	Char	16			M	
2	发生层序号	FSCXH	Int	1			M	从 1 开始
3	发生层类型	FSCLX	Char	2		见表 B.19	M	
4	发生层照片	FSCZP	Varbin				M	可多个
5	新生体照片	XSTZP	Varbin				C	可多个
6	侵入体照片	QRTZP	Varbin				C	可多个
7	动物活动痕迹照片	DWHDHJZP	Varbin				C	
8	发生层厚度	FSCHD	Char	8			M	本表注 1
9	边界明显度	BJMXD	Char	2		见表 B.41	M	
10	边界过渡形状	BJGDXZ	Char	2		见表 B.42	M	
11	根系大小	GXXD	Char	2		见表 B.43	M	
12	根系丰度	GXXFD	Char	2		见表 B.44	M	
13	根系性质	GXXZ	Char	10		见本表注 2	M	可多选
14	质地	ZD	Char	2		见表 B.21	M	
15	土壤结构形状	TRJGXZ	Char	2		见表 B.20	M	
16	土壤结构大小	TRJGDZ	Char	2		见表 B.45	M	
17	发育程度	FYCD	Char	2		见表 B.46	M	
18	土内砾石丰度	TNLSFD	Char	2		见表 B.47	O	
19	土内砾石大小	TNLSZX	Char	2		见表 B.48	O	
20	土内砾石形状	TNLSXZ	Char	4		见表 B.49	O	
21	土内砾石风化程度	TNLSFHCD	Char	4		见表 B.50	O	
22	土内砾石莫氏硬度（估）	TNLSMSYD	Char	6		见表 B.51	O	
23	土内砾石组成物质	TNLSZCWZ	Char	32		见表 B.52	O	可多选
24	总孔隙度	ZKXD	Char	2		见表 B.53	M	
25	孔隙丰度	KXFD	Char	2		见表 B.54	M	
26	孔隙粗细	KXCX	Char	2		见表 B.55	M	
27	孔隙类型	KXLX	Char	4		见表 B.56	M	
28	孔隙分布位置	KXFBWZ	Char	6		见表 B.57	M	
29	结持性	JCX	Char	4s		见本表注 3	M	
30	新生体斑纹丰度	XSTBWF	Char	2		见表 B.58	C	
31	新生体斑纹大小	XSTBWD	Char	2		见表 B.59	C	

32	新生体斑纹位置	XSTBWWZ	Char	6		见表 B.60	C	
33	新生体斑纹与土壤基质对比	XSTBWYTR JZDB	Char	2		见表 B.61	C	
34	新生体斑纹边界	XSTBWBJ	Char	2		见表 B.62	C	
35	新生体斑纹组成物质	XSTBWZCW Z	Char	4		见表 B.63	C	
36	新生体胶膜丰度	XSTJMFD	Char	2		见表 B.64	C	
37	新生体胶膜位置	XSTJMWZ	Char	6		见表 B.65	C	
38	新生体胶膜组成物质	XSTJMZCW Z	Char	8		见表 B.66	C	
39	新生体胶膜与土壤基质对比	XSTJMYTRJ ZDB	Char	2		见表 B.67	C	
40	矿质瘤状结核丰度	KZLZJHFD	Char	2		见表 B.68	O	
41	矿质瘤状结核种类	KZLZJHZL	Char	6		见表 B.69	O	
42	矿质瘤状结核大小	KZLZJHDX	Char	2		见表 B.70	O	
43	矿质瘤状结核形状	KZLZJHXZ	Char	4		见表 B.71	O	
44	矿质瘤状结核硬度	KZLZJHYD	Char	8		见表 B.72	O	
45	矿质瘤状结核组成物质	KZLZJHZC WZ	Char	4		见表 B.73	O	
46	新生体层连续性	XSTCLXX	Char	2		见表 B.74	O	
47	新生体层内部构造	XSTCNBGZ	Char	6		见表 B.75	O	
48	新生体层胶结程度	XSTCJCD	Char	6		见表 B.76	O	
49	新生体层组成物质	XSTCZCWZ	Char	8		见表 B.77	O	
50	新生体层成因或起源	XSTCCYHQ Y	Char	4		见表 B.78	O	
51	滑擦面面积	HCMMJ	Char	2		见表 B.79	O	
52	侵入体种类	QRTZL	Char	4		见表 B.80	O	可多选
53	侵入体丰度	QRTFD	Char	2		见表 B.81	O	
54	土壤动物种类	TRDWZL	Char	6		见表 B.82	C	可多选
55	土壤动物丰度	TRDWFDF	Char	20		见表 B.83	C	

56	土壤动物粪便丰度	TRDWFBFD	Char	2		见表 B.83	O	
57	土壤动物影响情况	TRDWYXQK	Char	4		见表 B.84	C	
58	石灰反应	SHFY	Char	6		见表 B.85	M	
59	亚铁反应	YTFY	Char	2		见表 B.86	O	
60	电导率速测	DDLSC	Char	16			O	本表注 4
61	酚酞反应	FTFY	Char	4		见表 B.87	O	
62	酸碱度	SJD	Char	2		见表 B.88	M	
63	备注	BZ	Varchar				O	

注 1: 发生层的厚度为范围描述, 如: 0~15cm、15~32cm 等。

注 2: 字段取值为“木本植物根系、草本植物根系、活根根系、已腐烂的根系”中的一项或多项。

注 3: 字段取值为“松散、松软、稍坚实、坚硬、很坚硬、极坚硬”中的一项。

注 4: 单位一般为 us/cm, 盐渍程度高时单位为 ms/cm。填写样例“10ms/cm”

6.2.1.3 采样信息属性结构

表 27 采样信息属性结构描述表 (表名: CYXX)

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品编号	YPBH	Char	18			M	本表注 1
2	样点编号	YDBH	Char	16			M	
3	样品类型	YPLX	Char	2		见表 B.89	M	
4	层号	CH	Char	2			C	
5	样品重量	YPZL	Float	8	2		M	单位: g
6	采样人	CYR	Char	20			M	
7	采样机构	CYJG	Char	50			M	
8	采样时间	CYSJ	Date	8			M	
9	备注	BZ	Varchar				O	

注 1: 样品编号规则使用“16 位样点编号+2 位顺序号”。

6.2.2 样品制备

6.2.2.1 样品制备属性结构

表 28 样品制备属性结构描述表 (表名: YPZB)

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品编号	YPBH	Char	18			M	本表注 1
2	加密样品编号	JMYPBH	Char	10			C	本表注 2
3	样品类型	YPLX	Char	2		见表 B.89	M	
4	研磨方式	YMFS	Char	4		见本表	M	

						注 3		
5	仪器编号	YQBH	Char	50			C	
6	仪器名称	YQMC	Char	100			C	
7	接收样品重量	JSYPZL	Float	8	2		M	单位: g
8	风干样品重量	FGYPZL	Float	8	2		M	单位: g
9	粗磨过筛后重量	CMGSHZL	Float	8	2		O	单位: g
10	弃去的碎石和石砾重量	SSSLZL	Float	8	2		M	单位: g
11	碎石和石砾重量百分数	SSSLBFS	Float	3	1	0.0-99.9	M	单位: %
12	发送土壤库样品重量	TRKYPZL	Float	8	2		C	单位: g
13	留存样品重量	LCYPZL	Float	8	2		M	单位: g
14	送检样品重量	SJYPZL	Float	8	2		M	单位: g
15	制备人	ZBR	Char	20			M	
16	制备机构	ZBJG	Char	50			M	
17	制备时间	ZBSJ	Date	8			M	
18	校核人	JHR	Char	20			C	
19	校核时间	JHSJ	Date	8			C	
20	审核人	SHR	Char	20			C	
21	审核时间	SHSJ	Date	8			C	
注 1: 样品编号规则使用“16 位样点编号+2 位顺序号”。								
注 2: 加密样品编号通过加密算法对样品编号进行加密后转换为 10 位编号。								
注 3: 字段取值为“手工研磨、仪器研磨”中的一项。								

6.2.3 检测分析

6.2.3.1 土壤物理性状属性结构

表 29 土壤物理性状属性结构描述表（表名：TRWLXZ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品编号	YPBH	Char	18			M	
2	样品批次	YPPC	Char	50			M	
3	样品类型	YPLX	Char	2		见表 B.89	M	
4	土壤容重	TRRZ	Float	5	1		M	单位: g/cm ³
5	机械组成 1	JXZC1	Float	6	2	见本表注 1	M	单位: % 本表注 1
6	机械组成 2	JXZC2	Float	6	2	见本表注 1	M	单位: % 本表注 1
7	机械组成 3	JXZC3	Float	6	2	见本表注 1	M	单位: % 本表注 1

8	机械组成 4	JXZC4	Float	6	2	见本表注 1	M	单位：% 本表注 1
9	土壤质地	TRZD	Char	2		见表 B.21	M	
10	水稳性大团聚体含量 1	SWXDTJT1	Float	4	1	见本表注 2	C	单位：%
11	水稳性大团聚体含量 2	SWXDTJT2	Float	4	1	见本表注 2	C	单位：%
12	水稳性大团聚体含量 3	SWXDTJT3	Float	4	1	见本表注 2	C	单位：%
13	水稳性大团聚体含量 4	SWXDTJT4	Float	4	1	见本表注 2	C	单位：%
14	水稳性大团聚体含量 5	SWXDTJT5	Float	4	1	见本表注 2	C	单位：%
15	水稳性大团聚体含量 6	SWXDTJT6	Float	4	1	见本表注 2	C	单位：%
16	水稳性大团聚体含量 7	SWXDTJT7	Float	4	1	见本表注 2	C	单位：%
17	水稳性大团聚体总和	SWXDT	Float	4	1	见本表注 2	C	单位：%
18	检测实验室代码	JCSYSDM	Char	8			M	
19	接样日期	JYRQ	Date	8			M	
20	报告日期	BGRQ	Date	8			M	
21	联系人	LXR	Char	20			M	
22	电话	DH	Char	20			M	

注 1：机械组成 1 指 0.002mm 以下颗粒含量，机械组成 2 指 0.02~0.002mm 颗粒含量，机械组成 3 指 0.2~0.02mm 颗粒含量，机械组成 4 指 2~0.2mm 颗粒含量。

注 2：水稳性大团聚体含量 1 指 0.25mm 以下含量，水稳性大团聚体含量 2 指 0.25mm~0.5mm 以下含量，水稳性大团聚体含量 3 指 0.5mm~1mm 含量，水稳性大团聚体含量 4 指 1mm~2mm 含量，水稳性大团聚体含量 5 指 2mm~3mm 含量，水稳性大团聚体含量 6 指 3mm~5mm 以下含量，水稳性大团聚体含量 7 指 5mm 以上含量。

6.2.3.2 土壤化学性状属性结构

表 30 土壤化学性状属性结构描述表（表名：TRHXXZ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品编号	YPBH	Char	18			M	
2	样品批次	YPPC	Char	50			M	
3	样品类型	YPLX	Char	2		见表 B.89	M	
4	pH	PH	Float	8	3		M	
5	可交换酸度	EPH	Float	8	3		C	

6	阳离子交换量	CEC	Float	8	3		M	单位： cmol(+)/kg
7	交换性盐基总量	JHXYJZL	Float	8	3		M	单位： cmol(+)/kg
8	交换性钙	ECA	Float	8	3		M	单位： cmol(+)/kg
9	交换性镁	EMG	Float	8	3		M	单位：单位： cmol(+)/kg
10	交换性钠	ENA	Float	8	3		M	单位： cmol(+)/kg
11	水溶性盐总量	SRXYZL	Float	8	3		M	单位：g/kg
12	电导率	DDL	Float	8	3		M	单位：mS/cm
13	水溶性钠离子	SRXNLZ	Float	8	3		M	cmol(Na ⁺)/kg
14	水溶性钾离子	SRXJLZ	Float	8	3		M	cmol(K ⁺)/kg
15	水溶性钙离子	SRXGLZ	Float	8	3		M	cmol(1/2Ca ²⁺)/kg
16	水溶性镁离子	SRXMLZ	Float	8	3		M	cmol(1/2Mg ²⁺)/kg
17	水溶性碳酸根	SRXTSG	Float	8	3		M	cmol(1/2CO ₃ ²⁻)/kg
18	水溶性碳酸氢根	SRXTSQG	Float	8	3		M	cmol(HCO ₃ ⁻)/kg
19	水溶性硫酸根	SRXLSG	Float	8	3		M	cmol(1/2SO ₄ ²⁻)/kg
20	水溶性氯根	SRXLG	Float	8	3		M	cmol(Cl ⁻)/kg
21	有机质	OM	Float	8	3		M	单位：g/kg
22	碳酸钙	CACO3	Float	8	3		C	单位：g/kg
23	全氮	TN	Float	8	3		M	单位：g/kg
24	全磷	TP	Float	8	3		M	单位：g/kg
25	全钾	TK	Float	8	3		M	单位：g/kg
26	全硫	TS	Float	8	3		C	单位：g/kg
27	全硼	TB	Float	8	3		C	单位：mg/kg
28	全硒	TSE	Float	8	3		C	单位：mg/kg
29	全铁	TFE	Float	8	3		C	单位：mg/kg
30	全锰	TMN	Float	8	3		C	单位：mg/kg
31	全铜	TCU	Float	8	3		C	单位：mg/kg
32	全锌	TZN	Float	8	3		C	单位：mg/kg
33	全钼	TMO	Float	8	3		C	单位：mg/kg
34	全铝	TAL	Float	8	3		C	单位：mg/kg
35	全硅	TSI	Float	8	3		C	单位：mg/kg
36	全钙	TCA	Float	8	3		C	单位：mg/kg
37	全镁	TMG	Float	8	3		C	单位：mg/kg
38	有效磷	AP	Float	8	3		M	单位：mg/kg

39	缓效钾	SK	Float	8	3		M	单位: mg/kg
40	速效钾	AK	Float	8	3		M	单位: mg/kg
41	有效硫	AS1	Float	8	3		C	单位: mg/kg
42	有效硅	ASI	Float	8	3		C	单位: mg/kg
43	有效铁	AFE	Float	8	3		M	单位: mg/kg
44	有效锰	AMN	Float	8	3		M	单位: mg/kg
45	有效铜	ACU	Float	8	3		M	单位: mg/kg
46	有效锌	AZN	Float	8	3		M	单位: mg/kg
47	有效硼	AB	Float	8	3		M	单位: mg/kg
48	有效钼	AMO	Float	8	3		M	单位: mg/kg
49	游离铁	FE2O3	Float	8	3		C	单位: g/kg
50	检测实验室代码	JCSYSDM	Char	8			M	
51	接样日期	JYRQ	Date	8			M	
52	报告日期	BGRQ	Date	8			M	
53	联系人	LXR	Char	20			M	
54	电话	DH	Char	20			M	

6.2.3.3 土壤环境性状属性结构

表 31 土壤环境性状属性结构描述表（表名：TRHJXZ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品编号	YPBH	Char	18			M	
2	样品批次	YPPC	Char	50			M	
3	样品类型	YPLX	Char	2		见表 B.89	M	
4	总铬	CR	Float	8	3		M	单位: mg/kg
5	总镉	CD	Float	8	3		M	单位: mg/kg
6	总铅	PB	Float	8	3		M	单位: mg/kg
7	总砷	AS2	Float	8	3		M	单位: mg/kg
8	总汞	HG	Float	8	3		M	单位: mg/kg
9	总镍	NI	Float	8	3		M	单位: mg/kg
10	检测实验室代码	JCSYSDM	Char	8			M	
11	接样日期	JYRQ	Date	8			M	
12	报告日期	BGRQ	Date	8			M	
13	联系人	LXR	Char	50			M	
14	电话	DH	Char	20			M	

6.2.3.4 土壤生物性状属性结构

表 32 土壤生物性状属性结构描述表（表名：TRSWXZ）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品编号	YPBH	Char	18			M	
2	微生物生物量碳	WSWSWLT	Float	8	3		M	
3	微生物绝对丰度	WSWJDFD	Char	20		见表 B.83	M	本表注 1
4	呼吸强度	HXQD	Float	8	3		M	单位: (mg,h)
5	典型碳转化酶活性	DXTZMHX	Char	60			O	
6	典型氮转化酶活性	DXDZMHX	Char	60			O	
7	典型磷转化酶活性	DXLZMHX	Char	60			O	
8	微生物群落组成	WSWQLZC	Char	40		见本表注 2	O	可多选
9	微生物群落多样性	WSWQLDYX	Char	60			O	
10	微生物功能多样性	WSWGNDYX	Char	60			O	
11	线虫密度	XCMD	Float	8	3		O	
12	线虫组成	XCZC	Char	40		见本表注 3	O	可多选
13	线虫多样性	XCDYX	Char	60			O	
14	蚯蚓生物量	QYSWL	Char	60			O	
15	蚯蚓组成	QYZC	Char	40		见本表注 4	O	可多选
16	蚯蚓多样性	QYDYX	Char	60			O	
17	检测实验室代码	JCSYSDM	Char	8			M	
18	检测人员	JCRY	Char	20			M	
19	检测日期	JCRQ	Date	8			M	

注 1：字典选项值参照附表“B.83”，具体数量按照《土壤生物调查技术规范》处理。

注 2：取值为“细菌、真菌、古菌”中的一项或多项。

注 3：取值为“植食性线虫，食细菌线虫，食真菌线虫，捕食类线虫，杂食性线虫”中的一项或多项。

注 4：取值为“表生型蚯蚓，内生型蚯蚓，深栖型蚯蚓”中的一项或多项。

6.2.4 样品流转

6.2.4.1 样品装运属性结构

表 33 样品装运属性结构描述表（表名：YPZY）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品箱号	YPXH	Char	19			M	本表注 1
2	样品类型	YPLX	Char	2		见表 B.89	M	
3	样品数量	YPSL	Int	8			M	
4	流转环节	LZHJ	Char	1		见本表注 2	M	
5	送达单位	SDDW	Char	100			M	
6	送达期限	SDQX	Date	8			M	
7	交运单位	JYDW	Char	100			M	
8	交运人	JYR	Char	20			M	
9	联系方式	LXFS	Char	11			M	
10	交运日期	JYRQ	Date	8			M	
11	承运单位	CYDW	Char	100			M	
12	运输负责人	YSFZR	Char	20			O	
13	运输车（船）号牌	YSCCHP	Char	20			O	

注 1：样品箱号编号规则为：6 位行政区代码+X+8 位日期+4 位流水号。
注 2：字段取值为“1=采样-制备、2=制备-检测、3=制备-样品库”中的一项。

表 34 样品装运样品清单属性结构描述表（表名：YPZYYPQD）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	序号	XH	Int	4			M	
2	样品编号	YPBH	Char	18			M	
3	样品箱号	YPXH	Char	32			M	
4	保存方式	BCFS	Char	1		见本表注 1	M	
5	有无措施防止沾污	YWCSFZZW	Char	1		见本表注 2	M	
6	有无措施防止破损	YWCSFZPS	Char	1		见本表注 2	M	

注 1：字段取值为“1=常温、2=低温、3=避光”中的一项。
注 2：字段取值为“1=有、0=无”中的一项。另外本规范中其它涉及“有、无”选项的也适用此取值。

6.2.4.2 样品接收属性结构

表 35 样品接收属性结构描述表（表名：YPJS）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品箱号	YPXH	Char	32			M	
2	样品类型	YPLX	Char	2		见表 B.89	M	
3	样品数量	YPSL	Int	8			M	
4	流转环节	LZHJ	Char	1		见本表注 1	M	
5	送样单位	SYDW1	Char	100			M	
6	送样人	SYR1	Char	20			M	
7	送样日期	SYRQ1	Date	8			M	
8	送样联系方式	SYLXFS1	Char	11			M	
9	收样单位	SYDW2	Char	100			M	
10	收样人	SYR2	Char	20			M	
11	收样联系方式	SYRQ2	Date	8			M	
12	收样日期	SYLXFS2	Char	11			M	

注 1：字段取值为“1=采样-制备、2=制备-检测、3=制备-样品库、4=质控-制备”中的一项。

表 36 样品接收样品清单属性结构描述表（表名：YPJSYPQD）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	序号	XH	Int	4			M	
2	样品编号	YPBH	Char	18			M	
3	样品箱号	YPXH	Char	32			M	
4	样品重量是否符合要求	YPZLSFFHY Q	Char	1			M	
5	样品包装容器是否完好	YPBZRQSF WH	Char	1			M	
6	样品标签是否完好整洁	YPBQSF WZHJ	Char	1			M	
7	保存方法是否符合要求	BCFFSFFHY Q	Char	1			M	

6.2.5 质量控制

6.2.5.1 质控样品属性结构

表 37 质控样品属性结构描述表（表名：ZKYP）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	质控样编号	ZKYBH	Char	17			M	本表注 1
2	省份	SF	Char	2			M	
3	质控实验室代码	ZKSYSMDM	Char	20			M	
4	质控样品类型	ZKYPLX	Char	10			M	本表注 2
5	证书号	ZSH	Char	20			C	本表注 3
6	质控样研制单位	ZKYYZDW	Char	200			M	
7	有效期	YXQ	Char	100			M	
8	pH	PH	Float	8	3		O	
9	可交换酸度	EPH	Float	8	3		O	
10	阳离子交换量	CEC	Float	8	3		O	
11	交换性钙	ECA	Float	8	3		O	
12	交换性镁	EMG	Float	8	3		O	
13	交换性钠	ENA	Float	8	3		O	
14	盐基总量	YJZL	Float	8	3		O	
15	水溶性盐总量	SRXYZL	Float	8	3		O	
16	电导率	DDL	Float	8	3		O	
17	水溶性钠离子	SRXNLZ	Float	8	3		O	
18	水溶性钾离子	SRXJLZ	Float	8	3		O	
19	水溶性钙离子	SRXGLZ	Float	8	3		O	
20	水溶性镁离子	SRXMLZ	Float	8	3		O	
21	水溶性碳酸根	SRXTSG	Float	8	3		O	
22	水溶性碳酸氢根	SRXTSQG	Float	8	3		O	
23	水溶性硫酸根	SRXLSG	Float	8	3		O	
24	水溶性氯根	SRXLG	Float	8	3		O	
25	有机质	OM	Float	8	3		O	
26	全氮	TN	Float	8	3		O	
27	全磷	TP	Float	8	3		O	
28	全钾	TK	Float	8	3		O	
29	全硫	TS	Float	8	3		O	
30	全硼	TB	Float	8	3		O	
31	全硒	TSE	Float	8	3		O	
32	全铁	TFE	Float	8	3		O	
33	全锰	TMN	Float	8	3		O	
34	全铜	TCU	Float	8	3		O	
35	全锌	TZN	Float	8	3		O	

36	全铝	TMO	Float	8	3		O	
37	全铝	TAL	Float	8	3		O	
38	全硅	TSI	Float	8	3		O	
39	全钙	TCA	Float	8	3		O	
40	全镁	TMG	Float	8	3		O	
41	有效磷	AP	Float	8	3		O	
42	速效钾	AK	Float	8	3		O	
43	缓效钾	SK	Float	8	3		O	
44	有效硫	AS1	Float	8	3		O	
45	有效硅	ASI	Float	8	3		O	
46	有效铁	AFE	Float	8	3		O	
47	有效锰	AMN	Float	8	3		O	
48	有效铜	ACU	Float	8	3		O	
49	有效锌	AZN	Float	8	3		O	
50	有效硼	AB	Float	8	2		O	
51	有效钼	AMO	Float	8	3		O	
52	碳酸钙	CACO3	Float	8	3		O	
53	游离铁	FE2O3	Float	8	3		O	
54	总汞	HG	Float	8	3		O	
55	总砷	AS2	Float	8	3		O	
56	总铅	PB	Float	8	3		O	
57	总镉	CD	Float	8	3		O	
58	总铬	CR	Float	8	3		O	
59	总镍	NI	Float	8	3		O	

注 1：质控样编号编码规则：8 位质控实验室代码+5 位顺序号。

注 2：字段取值为“标准物质、参比物质、其它”中的一种。

注 3：质控样品类型为标准物质必填。

6.2.6 样品库

6.2.6.1 样品库属性结构

表 38 样品库属性结构描述表（表名： YPK）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	样品编号	YPBH	Char	18			M	
2	样点编号	YDBH	Char	16			M	
3	坐落位置	ZLWZ	Char	100			M	
4	土地利用类型	TDLYLX	Char	5			M	本表注 1
5	土壤类型编码	TRLXBM	Char	12			M	
6	土类	TL	Char	30			M	
7	亚类	YL	Char	30			M	

8	土属	TS	Char	30			O	
9	土种	TZ	Char	30			O	
10	剖面深度	PMSD	Char	20			C	本表注 2
11	标本类型	BBLX	Char	2		见表 B.23	C	
12	入库日期	RKRQ	Date	8			M	
13	入库人	RKR	Char	20			M	
14	存放地点	CFDD	Char	100			M	
15	存放架	CFJ	Char	20			M	
16	存放柜	CFG	Char	20			M	
17	存放层	CFC	Char	20			M	
18	存放行	CFH	Char	20			M	
19	存放列	CFL	Char	20			M	

注 1: 依据《第三次全国国土调查技术规程》附录 A 第三次全国国土调查工作分类执行,填写最末级分类。
注 2: 填各层次深度,中间用-隔开,如 0-20-40,单位: cm。

6.2.7 辅助管理

6.2.7.1 实验室属性结构

表 39 实验室属性结构描述表 (表名: SYS)

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	实验室代码	SYSDM	Char	8			M	本表注 1
2	实验室名称	SYSMC	Char	100			M	
3	实验室类型	SYSLX	Char	2		见表 B.90	M	
4	地址	DZ	Char	20			M	
5	邮编	YB	Char	20			M	
6	电子邮箱	DZYX	Char	20			M	
7	电话	DH	Char	20			M	
8	传真	CZ	Char	20			O	
9	负责人	FZR	Char	20			M	
10	负责人职务	FZRZW	Char	20			M	
11	负责人电话	FZRDH	Char	20			M	
12	联系人	LXR	Char	20			M	
13	联系人职务	LXRZW	Char	20			M	
14	联系人电话	LXRDH	Char	20			M	
15	现有资质认定/ 认可情况	XYZZRDRK QK	Char	255			M	
16	备注	BZ	Varchar				O	

注 1: 实验室代码编码规则: 2 位省级代码+2 位实验室类型+4 位顺序号。质量控制实

6.2.7.2 人员属性结构

表 40 人员属性结构描述表（表名：RY）

序号	字段名称	字段代码	字段类型	字段长度	小数位数	值域	约束条件	备注
1	人员代码	RYDM	Char	12			M	本表注 1
2	人员类型	RYLX	Char	20		见本表注 2	M	可多选
3	姓名	XM	Char	20			M	
4	单位	DW	Char	100			M	
5	电话	DH	Char	20			M	
6	邮箱	YX	Char	20			M	
7	通讯地址	TXDZ	Char	50			M	
8	人员简介	RYJJ	Char	200			M	
9	职称	ZC	Char	2		见本表注 3	O	
10	学历	XL	Char	2		见本表注 4	O	
11	工作经历	GZJL	Char	2		见本表注 5	O	
12	所属机构代码	SSJGDM	Char	8			C	

注 1：人员代码编码规则： 1 位人员类型+7 位顺序号。
 注 2：人员类型为“1=检测人员、2=采样人员、3=质控人员、4=技术专家、5=省级管理人员、6=国家管理人员、9=其他人员”中的一项或多项。
 注 3：职称为“4=正高级、3=副高级、2=中级职称、1=初级、9=其它”中的一项。
 注 4：学历为“4=硕士及以上、3=本科、2=大专、1=中专、9=其它”中的一项。
 注 5：工作经历为“4=5 年以上、3=3-5 年、2=1-3 年、1=少于 1 年”中的一项

7 数据质量检查

7.1 检查方法

数据库质量检查方法包括计算机自动检查与和人工交互检查。

——计算机自动检查：按照空间数据质量检查规则，由专用软件进行自动检查，并记录数据错误，形成错误报告。

——人机交互检查：质检人员按照质检规则，复核质检结果，形成人工复核报告。

7.2 质量检查内容

7.2.1 成果完整性检查

主要检查以下内容：

——检查数据库成果、数字正射影像图（DOM）、图片视频、扫描资料、其他资料及成果目录是否满足命名要求；

——检查成果数据是否能够正常打开；

——检查必选图层齐全，基础地理、土壤、样点等要素是否完整。

7.2.2 图形数据检查

7.2.2.1 空间参考系检查

检查空间数据的坐标系统、高程基准、投影参数是否符合要求。

7.2.2.2 规范性检查

——检查数据中是否存在命名与类型不符的图层；

——相邻图幅自然接边，逻辑无缝，同时其属性和拓扑关系是否保持一致。

7.2.2.3 图形精度检查

——检查图形采集精度是否满足要求，图内各要素与数字正射影像图吻合，无图形错误和丢漏；

——检查矢量数据节点疏密程度是否符合要求；

——检查公共边采集是否满足本要求。

7.2.2.4 拓扑检查

——检查同一图层内是否存在面与面重叠，包括完全重叠与部分重叠（即面相交）；

——检查同一面内不同面要素之间是否存在缝隙；

——检查同一图层内不同要素间线要素是否有重叠或与自身重叠；

——检查同一图层内线要素是否有自身相交；

——检查同一图层内线要素是否存在悬挂线；

——检查数据中是否存在的伪节点；

——检查数据中的碎片多边形；

——检查核心图层中是否存在的组合要素。

7.2.3 属性规范性检查

——检查数据属性结构定义是否正确，即多余或缺失字段检查、字段名称、字段类型、字段长度、字段值域、小数位数等检查；

——按照数据库规范要求，根据相关调查资料检查字段值的正确性。

7.2.4 关联关系检查

——检查各图层间空间范围与属性的一致性；

——图形要素与属性表记录对应关系正确。

8 数据交换内容与格式

数据交换内容与格式依据《地理空间数据交换格式》（GB/T 17798）。

数据交换时以县级行政区为交换单元，数据文件采用目录方式存储，一个交换单元一个目录。根目录命名方式为6位县级区划代码+县级行政区名称。数据交换单元的文件夹结构如下图所示。



图 8-1 数据交换单元文件夹结构

8.1 空间信息数据

空间信息数据包括矢量数据和栅格数据2种类型。

a) 矢量数据采用标准Shapefile格式。同一个县级行政区内的矢量文件拼接后，存放在“矢量数据”目录中。矢量数据文件命名，根据“6.1空间要素属性结构”中规定的数据表表名+6位县级区划代码+4位年份代码”的规则产生。所有矢量文件放置在“矢量数据”目录下。

b) 栅格数据采用GeoTIFF格式，其中数字高程模型采用IMG或GRID格式。以县级行政区为基础，栅格数据文件的名称命名规则为6位县级行政区代码+4位年份代码。存放在“栅格数据”目录中。

8.2 非空间信息数据

非空间信息数据包括表格数据、文档资料和图件3种类型。表格数据采用MDB格式保存，存放到“属性数据”目录中，文件命名采用10位数字型代码，即6位县级行政区代码+4位年份代码。文档资料存放到“文档资料”目录中。相关图件放在“图件”文件夹中。

8.3 元数据

元数据采用XML格式存放到“元数据”目录中。

附录 A 矢量数据元数据

土壤普查矢量数据元数据是描述土壤普查矢量数据集或数据集系列所需的基本元数据元素的集合。表 A.1 至表 A.4 给出了本规范中表述的矢量数据的元数据结构。

表A.1 数据标识（表名：dataIdInfo）

序号	中文名称	缩写名	定义	约束条件	最多出现次数	数据类型	备注
1	名称	title	数据集名称	M	1	字符型	自由文本
2	日期	date	数据集发布或最近更新日期	M	1	日期型	YYYYMMDD
3	行政区代码	geoID	定位名称的唯一标识	M	1	字符型	按照 GB/T 2260 的 6 位数字码
4	版本	dataEdition	数据集的版本	C/数据集有新版?	1	字符型	自由文本
5	语种	dataLang	数据集使用的语种	M	N	字符型	按照 GB/T4880 用两位小写字母表示
6	摘要	idAbs	数据集内容的概要说明	M	1	字符型 (300 字左右)	自由文本
7	现状	status	数据集的现状	M	1	字符型	001.完成; 002.作废; 003.连续更新; 004.正在建设中
8	终止时间	ending	数据集原始数据生成或采集的终止时间	M	1	日期型	YYYYMMDD
9	负责单位名称	rpOrgName	数据集负责单位名称	M	1	字符型	自由文本
10	联系人	rpCnt	数据集负责单位联系人姓名	M	1	字符型	自由文本
11	电话	voiceNum	数据集负责单位或联系人的电话号码	M	N	字符型	自由文本
12	传真	faxNum	数据集负责单位或联系人的传真号码	O	N	字符型	自由文本
13	通信地址	cntAddress	数据集负责单位或联系人的通信地址	M	1	字符型	自由文本
14	邮政编码	cntCode	数据集负责单位邮政编码	M	1	字符型	自由文本
15	电子信箱地址	cntEmail	数据集负责单位或联系人的电子信箱地址	O	N	字符型	自由文本
16	安全等级代码	classCode	出于国家安全、保密或其他考虑, 对数据集安全限制的等级名称	M	1	字符型	001.绝密; 002.机密; 003.秘密; 004.限制; 005.内部; 006.无限制

表A.2 空间参照系统（表名：refSysInfo）

序号	中文名称	缩写名	定义	约束条件	最多出现次数	数据类型	备注
1	大地坐标参照系统名称	coorRSID	大地坐标参照系统名称	M	1	字符型	采用 2000 国家大地坐标系
2	中央经线	centralMer	中央经线参数信息	M	1	数值型	单位：度
3	东偏移	eastFAL	东偏移参数信息	M	1	数值型	单位：千米
4	北偏移	northFAL	北偏移参数信息	M	1	数值型	单位：千米
5	分带方式	coorFDKD	说明分带宽度	M	1	字符型	001. 1.5°； 002. 3°

表A.3 数据内容（表名：contInfo）

序号	中文名称	缩写名	定义	约束条件	最多出现次数	数据类型	备注
1	图层名称	layName	数据集所包含的图层名称	M	N	字符型	自由文本
2	数据集要素类型名称	catFetTypes	具有同类属性的要素类名称	M	N	字符型	自由文本
3	与数据集要素类名称对应的主要属性列表	attrTypList	要素类主要属性内容的文字表述	M	N	字符型	自由文本
4	数据量	capacity	数据集所占存储空间的大小	O	1	字符型	自由文本

表A.4 数据质量（表名：dqInfo）

序号	中文名称	缩写名	定义	约束条件	最多出现次数	数据类型	备注
1	数据质量概述	dqStatement	数据集质量的定性和定量的概括说明	M	1	字符型	自由文本
2	数据志	dqLineage	数据生产过程中数据源、处理过程（算法与参数）等的说明信息	M	1	字符型	自由文本

附录 B 属性值字典表

表B.1 界表线类型代码表

界线类型代码	界线类型名称
250200	海岸线
250201	大潮平均高潮线
250202	零米等深线
250203	江河入海口陆海分界线
620200	国界
630200	省、自治区、直辖市界
640200	地区、自治州、地级市界
650200	县、区、旗、县级市界
660200	乡、街道、镇界
670200	国有农场界
670402	开发区、保税区界
670500	街坊、村界
670900	组界

表B.2 界线性质代码表

界线性质代码	界线性质名称
600001	已定界
600002	未定界
600003	争议界
600004	工作界
600009	其他界线

表B.3 坡度级别代码表

代码	坡度名称(°)
I	平地(≤ 2)
II	微坡(2-6)
III	缓坡(6-15)
IV	中缓坡(15-25)
V	极陡坡(> 25)

表B.4 自然植被型代码表

自然植被型代码	自然植被型名称
1101	寒温带、温带山地落叶针叶林
1102	温带山地常绿针叶林
1103	温带草原沙地常绿针叶疏林
1104	温带常绿针叶林
1105	亚热带、热带常绿针叶林
1106	亚热带、热带山地常绿针叶林
1207	温带落叶阔叶树—常绿针叶树混交林
1208	温带、亚热带落叶阔叶林
1209	温带、亚热带山地落叶小叶林
1210	温带落叶小叶疏林
1211	亚热带石灰岩落叶阔叶树—常绿阔叶树混交林
1212	亚热带山地酸性黄壤常绿阔叶树—落叶阔叶树混交林
1213	亚热带常绿阔叶林
1214	热带雨林性常绿阔叶林
1215	亚热带硬叶常绿阔叶林
1216	亚热带竹林
1217	热带半常绿阔叶季雨林及次生植被
1218	热带常绿阔叶雨林及次生植被
1319	温带、亚热带落叶灌丛、矮林
1320	亚热带、热带酸性土常绿、落叶阔叶灌丛、矮林和草甸结合
1321	亚热带、热带石灰岩具有多种藤本的常绿，落叶灌丛、矮林
1322	热带海滨硬叶常绿阔叶灌丛、矮林
1323	热带珊瑚礁肉质常绿阔叶灌丛，矮林
1324	亚热带高山，亚高山常绿革质叶灌丛矮林
1325	温带、亚热带亚高山落叶灌丛
1326	温带高山矮灌木苔原
1327	温带、亚热带高山垫状矮半灌木、草本植被
1428	温带矮半灌木荒漠
1429	温带多汁盐生矮半灌木荒漠
1430	温带灌木、半灌木荒漠
1431	温带半乔木荒漠
1432	温带高寒匍匐矮半灌木荒漠
1533	温带禾草、杂类草草原
1534	温带丛生禾草草原
1535	温带山地丛生禾草草原
1536	温带丛生矮禾草、矮半灌木草原
1537	温带山地矮禾草、矮半灌木草原
1538	温带、亚热带高寒草原
1539	亚热带、热带稀树灌木草原
1540	温带草甸

1541	温带、亚热带高寒草甸
1542	温带草本沼泽
1543	温带高寒草本沼泽

表B.5 作物类型代码表

作物类型代码	作物类型名称
10	基准作物
10001	春小麦
10002	冬小麦
10003	春玉米
10004	夏玉米
10005	一季稻
10006	早稻
10007	晚稻
10008	马铃薯
20	经济作物
201	蔬菜作物
20101	西红柿
20102	茄子
20103	辣椒
20104	黄瓜
20105	丝瓜
20106	豆角
202	纤维作物
20201	棉花
20202	麻类
20203	蚕桑
203	油料作物
20301	花生
20302	油菜
20303	芝麻
20304	大豆
20305	向日葵
20306	橄榄
204	糖料作物
20401	甜菜
20402	甘蔗
205	饮料作物
20501	茶叶
20502	咖啡

20503	可可
206	嗜好作物
20601	烟叶
207	药用作物
20701	人参
20702	灵芝
20703	贝母
208	热带作物
20801	橡胶
20802	椰子
20803	油棕
20804	剑麻
20805	蛋黄果
90	其它，选择后，需要在备注中说明具体类型

表B.6 轮作制度代码表

轮作制度代码	轮作制度名称
01	稻麦轮作
02	油菜-水稻
03	油菜-棉花
04	小麦-豆类
05	小麦-薯类
06	小麦-玉米
07	甘薯-玉米（旱）
08	早稻-晚稻
09	小麦-春玉米/甘薯
10	春小麦
11	棉花
12	马铃薯
13	冬小麦-春玉米-马铃薯
14	冬小麦-水稻
15	甘薯-早稻-晚稻
16	春花生-秋甘薯
17	其它，选择后，需要在备注中说明具体类型

表B.7 复种类型代码表

复种类型代码	复种类型名称
1	一年一熟
2	一年二熟
3	一年三熟
4	二年三熟

表B.8 布设网格类型代码表

布设网格类型代码	布设网格类型名称
01	0.5Km*0.5Km
02	1Km*1Km
03	4Km*4Km

表B.9 样点类别代码表

样点类型代码	样点类型名称
0	表层样
1	剖面样

表B.10 采样类型代码表

采样类型代码	采样类型名称
1	普通样
2	平行样

表B.11 天气情况代码表

天气情况代码	天气情况名称
01	晴或极少云
02	部分云
03	阴
04	雨
05	雨夹雪或冰雹
06	雪

表B.12 大地形分类

代码	名称	海拔高度(m)	相对高差(m)
MO	山地	>500	>100
HI	丘陵	<500	<200
PL	平原		
PT	高原	>500	
BA	盆地		

表B.13 中地形分类

代码	名称	描述
AP	冲积平原	
CP	海岸(海积)平原	
LP	湖积平原	
PE	山麓平原	
DF	洪积平原	
WI	风积平原	
DU	沙丘	
DT	三角洲	
TF	河滩/潮滩	
LH	低丘	相对高差 <200m
HH	高丘	相对高差 200-500m
LM	低山	绝对高程 500-1000m
MM	中山	绝对高程 1000-3500m
OM	高山	绝对高程 3500-5000m
EM	极高山	

表B.14 小地形分类

代码	名称
IF	河间地
VA	沟谷地
VF	谷底
CH	河道
LE	河堤
TE	阶地
FP	泛滥平原
PF	洪积扇
AF	冲积扇
PA	盘状凹地
CO	珊瑚礁

CA	火山口
DE	洼地
DU	沙丘
LD	纵向沙丘
ID	沙丘间洼地
SL	坡
LA	泻湖
RI	山脊
BR	滩脊

表B.15 成土母岩代码表

代码	母岩名称
01	花岗岩
02	流纹岩
03	闪长岩
04	安山岩
05	正长岩
06	粗面岩
07	辉长岩
08	玄武岩
09	橄榄岩
10	脉岩
11	块集岩
12	火山角砾岩
13	凝灰岩
14	角砾岩
15	砾岩
16	砂岩
17	页岩
18	化学石灰岩
19	生物石灰岩
20	白云岩
21	白垩
22	片麻岩
23	石英岩
24	板岩
25	结晶片岩
26	大理岩

表B.16 成土母质代码表

代码	母质名称
AS	风积沙
LO	原生黄土
LOP	黄土状物质（次生黄土）
LI	残积物
LG	坡积物
MA	洪积物
FL	冲积物
PY	海岸沉积物
AL	湖沉积物
VA	河流沉积物
CO	火成碎屑沉积物
WE	冰川沉积物
SA	有机沉积物
CD	崩积物
QR	红黏土
OT	其它

表B.17 侵蚀类型代码表

侵蚀类型代码	侵蚀类型名称
W	水蚀
W1	片蚀
W2	细沟侵蚀
W3	浅沟侵蚀
W4	切沟侵蚀
M	重力侵蚀
A	风蚀
WA	水蚀与风蚀复合
P	冻融侵蚀

表B.18 侵蚀程度代码表

侵蚀程度代码	侵蚀程度名称
N	无明显侵蚀
S	轻度侵蚀
M	中度侵蚀
V	强
E	剧烈

表B.19 主要土壤层次类型代码表

代码	描述
O	有机层（包括枯枝落叶层、草根密集盘结层和泥炭层）
A	腐殖质表层或受耕作影响和表层
E	淋溶层、漂白层
B	物质淀积层或聚积层，或风化 B 层
C	母质层
R	基岩
G	潜育层
K	矿质土壤 A 层之上的矿质结壳层（如，盐结壳、铁结壳等）

表B.20 土壤结构代码表

土壤结构代码	土壤结构名称
A	片状
B	鳞片状
C	棱柱状
D	柱状
E	棱块状
F	团块状
G	核状
H	粒状
I	团粒状
J	屑粒状
K	楔状

表B.21 耕层质地代码表

耕层质地代码	耕层质地名称
1	砂土
2	砂壤
3	轻壤
4	中壤
5	重壤
6	黏土

表B.22 紧实度代码表

紧实度代码	紧实度名称
1	松散
2	疏松
3	稍坚实
4	极紧

表B.23 剖面标本类型

剖面标本代码	剖面标本名称
1	整段标本
2	纸盒标本

表B.24 地形部位分类

编码	名称
丘陵山地起伏地形	
CR	顶部
UP	上坡
MS	中坡
LS	下坡
BOf	坡麓(底部)
平原或平坦地形	
IN	高阶地 (洪-冲积平原)
LO	低阶地 (河流冲积平原)
RB	河漫滩
BOI	底部(排水线)

表B.25 坡向分类

编码	坡向名称
E	东 East (68~113)
SE	东南 Southeast (113~158)
S	南 South (158~203)
SW	西南 Southwest (203~248)
W	西 West (248~293)
NW	西北 Northwest (293~338)
N	北 North (23~338)
NE	东北 Northeast (23~68)

表B.26 岩石出露-丰度

编码	岩石出露-丰度	占地表面积 (%)	特别说明
N	无	0	对耕作无影响
F	少	<5	对耕作有一定影响
C	中	5-15	对耕作影响严重
M	多	15-50	一般不宜耕作,但对小农具尚可局部使用
A	很多	>50	不宜农用

表B.27 岩石出露-间距

编码	岩石间距	距离 (m)
VF	很远	>50
F	远	20-50
M	中	5-20
C	较近	2-5
VC	近	<2

表B.28 地表砾石程度

编码	地表砾石程度	占地表 (%)	说明
N	无	0	对耕作无影响
F	少	<5	对耕作有影响
C	中	5-15	对大田工作影响严重
M	多	15-50	不宜耕作,但对小农具尚可局部使用
A	很多	>50	不能利用

表B.29 地表砾石大小

编码	地表砾石大小	优势成分直径 (cm)
F	细砾石	<2
C	粗砾石	2-6
S	石块	6-20
B	巨砾	>20

表B.30 地表盐斑-丰度

编码	地表盐斑-丰度	占地表面积 (%)
N	无	0
L	低	<15
M	中	15-40
H	高	40-80
V	极高	≥80

表B.31 地表盐斑-厚度

编码	地表盐斑-厚度	厚度 (mm)
N	无	
Ti	薄	<5
M	中	5-10
Tk	厚	10-20
V	很厚	≥20

表B.32 地表裂隙描述-宽度

编码	地表裂隙描述-宽度	宽度 (mm)
VF	很细	<1
FI	细	1-3
ME	中	3-5
WI	宽	5-10
VW	很宽	≥10

表B.33 地表裂隙描述-长度

编码	地表裂隙描述-长度	长度 (cm)
SH	短	<10
ME	中	10-30
LO	长	30-50
VL	很长	≥50

表B.34 地表裂隙-丰度

编码	地表裂隙描述-丰度
VM	很多
MA	多
MI	中
F	少
N	无

表B.35 地表裂隙-间距

编码	地表裂隙描述-间距	间距 (cm)
VS	很少	<10cm
SM	小	10-30cm
ME	中	30-50cm
LA	大	50-100cm
VL	很大	≥100cm

表B.36 地表裂隙-方向

编码	地表裂隙-方向
V	垂直和接近垂直
H	水平和接近水平
R	任意

表B.37 地表裂隙-连续性

编码	地表裂隙-连续性
B	间断
C	连续

表B.38 土壤沙化指标与分级

编码	土壤沙化指标与分级
0	未沙化, 沙生植物为一般伴生种或偶见种
1	轻度沙化, 沙生植物为主要伴生种
2	中度沙化, 沙生植物为优势种
3	重度沙化, 植被稀疏, 仅存少量沙生植物
参照《天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标》(GB 19377-2003)	

表B.39 植被覆盖度分类(不含农作物)

编码	植被覆盖度 (%)
0	0
1	<15
2	15-40
3	40-80
4	≥80

表B.40 农田排水条件

编码	农田排水条件	说明
A	充分满足	具备健全的干、支、斗、农排水渠道(包括人工抽排),无洪涝灾害
B	满足	排水体系基本健全,丰水年暴雨后有短时间洪涝灾害(田间积水时长 1-2 天)
C	基本满足	排水体系一般,丰水年大雨后有洪涝发生(田间积水时长 2-3 天)
D	不满足	无排水系统,一般年份在大雨后发生洪涝灾害(田间积水大于 3 天)

表B.41 发生层层次过渡-明显度

编码	明显度	交错区厚度 (cm)
A	突变	<2
C	清晰	2-5
G	渐变	5-12
F	模糊	≥12

表B.42 发生层层次过渡-过渡形状

编码	过渡形状	说明
S	平滑	指过渡层呈水平或近于水平
W	波状	指土层间过渡形成凹陷,其深度<宽度
I	不规则	指土层间过渡下次凹陷,其深度>宽度
B	间断	指土层间过渡出现中断现象

表B.43 根系-粗细

编码	粗细	直径 (mm)
VF	极细	<0.5
F	细	0.5-2
M	中	2-5
C	粗	5-10
VC	很粗	≥10

表B.44 根系-丰度

编码	丰度	VF&F	M&C&VC
N	无	0	0
V	很少	<20	<2
F	少	20-50	2-5
C	中	50-200	≥5
M	多	>200	

表B.45 土壤结构-形状大小

编码	土壤结构形状大小	说明
PL	1) 片状	最大尺度 (mm)
VF	很薄	<1
FI	薄	1-2
ME	中	2-5
CO	厚	5-10
VC	很厚	≥10
PR	2) 棱柱状	最大尺度 (mm)
VF	很小	<10
FI	小	10-20
ME	中	20-50
CO	大	50-100
VC	很大	≥100
BL	3) (棱) 块状	最大尺度 (mm)
VF	很小	<5
FI	小	5-10
ME	中	10-20
CO	大	20-50
VC	很大	≥50
GR	4) 粒状 (或单粒状)	最大尺度 (mm)
VF	很小	<1

FI	小	1-2
ME	中	2-5
CO	大	5-10
VC	很大	≥10
MA	5) 整体状 (或整块状)	
FS	细沉积层理	
FMA	分风矿物结晶	

表B.46 土壤结构-发育程度

编码	土壤结构发育程度
VW	很弱 (保留大部分母质特性)
WE	弱 (保留部分母质特性)
MO	中 (保留少量母质特性)
ST	强 (基本没有母质特性)
VS	很强 (没有母质特性)

表B.47 岩石和矿物碎屑-丰度

编码	岩石和矿物碎屑丰度	占土体体积 (%)
F	少	<25
C	中	25-50
M	多	50-75
A	很多	≥75

表B.48 岩石和矿物碎屑描述-大小

编码	岩石和矿物碎屑大小	直径 (mm)	与地表砾石相当等级
A	很小	<5	细砾
B	小	5-20	中砾
C	中	20-75	粗砾
D	大	75-250	石块
E	很大	≥250	巨砾

表B.49 岩石和矿物碎屑-形状

编码	岩石和矿物碎屑形状
P	棱角状
SP	次棱角状
SR	次圆状
R	圆状

表B.50 岩石和矿物碎屑-风化状态

编码	岩石和矿物碎屑风化状态	说明
F	微风化（包括新鲜）	没有或仅有极少的风化证据
W	中等风化	砾石表面颜色明显变化，原晶体已遭破坏，但部分仍保新鲜状态，基本保持原岩石强度
S	强风化	几乎所有抗风矿物均已改变原有颜色，施加一般压力即可把砾石弄碎
T	全风化	所有抗风矿物均已改变原有颜色

表B.51 岩石和矿物碎屑描述-莫氏硬度

编码	岩石和矿物碎屑莫氏硬度
1	滑石
2	石膏
3	方解石
4	氟石
5	磷灰石
6	正长石
7	石英
8	黄晶
9	刚玉
10	金刚石

表B.52 岩石和矿物碎屑描述-组成物质

编码	岩石和矿物碎屑组成物质
QU	石英(颗粒)
WZ	石英岩
FE	长石
GR	花岗岩
CH	燧石
MI	云母
OT	其它，选择后，需要在备注中说明具体类型

表B.53 孔隙-总孔隙度

编码	总孔隙度	体积 (%)
1	很低	<2
2	低	2-5
3	中	5-15
4	高	15-40
5	很高	≥40

表B.54 孔隙-丰度

编码	孔隙丰度	VF&F	M&C&VC
N	无	0	0
V	很少	<20	<2
F	少	20-50	2-5
C	中	50-200	5-20
M	多	≥200	≥20

表B.55 孔隙描述-粗细

编码	孔隙粗细	直径 (mm)
VF	很细	<0.5
F	细	0.5-2
M	中	2-5
C	粗	5-20
VC	很粗	20-50

表B.56 孔隙描述-类型

编码	孔隙类型
I	粒间孔隙 (蜂窝状)
B	气孔 (气泡状)
R	根孔 (管道状)
A	动物穴 (孔洞状)

表B.57 孔隙描述-分布位置

编码	孔隙分布位置
I	结构体内
O	结构体外
IO	结构体内外

表B.58 斑纹定量描述-丰度

编码	斑纹定量丰度	占面积 (%)
N	无	0
V	很少	<2
F	少	2-5
C	中	5-15
M	多	15-40
A	很多	≥40

表B.59 斑纹定量描述-大小

编码	斑纹定量大小	直径 (mm)
V	很小	<2
F	小	2-6
M	中	6-20
C	大	≥20

表B.60 斑纹定量描述-位置

编码	斑纹定量位置
A	结构体表面
B	结构体内
C	孔隙周围
D	根系周围

表B.61 斑纹定量描述-与土壤基质对比度

编码	斑纹定量与土壤基质对比度
F	模糊
D	明显
P	显著

表B.62 斑纹定量描述-边界

编码	斑纹定量边界	扩散距离 (mm)
S	鲜明	0-0.5
C	清楚	0.5-2
D	扩散	≥2

表B.63 斑纹定量描述-组成物质

编码	斑纹定量组成物质
D	铁
E	锰
F	铁/锰
B	高岭
C	二氧化硅
G	石膏
OT	其它

表B.64 胶膜-丰度

编码	胶膜丰度
N	无
V	很少
F	少
C	中
M	多
A	很多
D	极多

表B.65 胶膜-位置

编码	胶膜位置
P	结构面
PV	垂直结构面
PH	水平结构面
CF	粗碎块
LA	薄片层
VO	孔隙
NS	无一定位置

表B.66 胶膜-组成物质

编码	胶膜组成物质
C	黏粒
CS	黏粒-铁锰氧化物
H	腐殖质(有机质)
CH	黏粒-腐殖质
FM	铁-锰
SIL	粉砂
OT	其它

表B.67 胶膜-与土壤基质对比度

编码	与土壤基质对比度	说明
F	模糊	只有用 10 倍的放大镜才能在近处的少数部位看到，与周围物质差异很小。
D	明显	不用放大镜即可看到，与相邻物质在颜色、质地和其它性质上有明显差异。
P	显著	胶膜与结构体内部颜色有十分明显的差异。

表B.68 矿质瘤状结核-丰度

编码	矿质瘤状结核-丰度	体积 (%)
N	无	0
V	很少	<2
F	少	2-5
C	中	5-15
M	多	15-40
A	很多	40-80
D	极多	≥80

表B.69 矿质瘤状结核-种类

编码	矿质瘤状结核-种类
T	晶体
C	结核
S	软质分凝物
B	假菌丝体
L	石灰膜
N	瘤状物
R	残留岩屑

表B.70 矿质瘤状结核-大小

编码	矿质瘤状结核-大小	直径 (mm)
V	很小	<2
F	小	2-6
M	中	6-20
C	大	≥20

表B.71 矿质瘤状结核-形状

编码	矿质瘤状结核-形状
R	球形
E	管状
F	扁平
I	不规则
A	角块

表B.72 矿质瘤状结核描述-硬度

编码	矿质瘤状结核描述-硬度
H	用小刀难易破开
S	用小刀易于破开
B	硬软兼有

表B.73 矿质瘤状结核-组成物质

编码	矿质瘤状结核-组成物质
K	碳酸盐
CA	碳酸钙 (镁)
Q	二氧化硅
FM	铁锰 (R2O3)
GY	石膏
OT	其它

表B.74 磐层胶结与紧实状况-连续性

编码	磐层胶结与紧实状况-连续性
B	间断
C	连续

表B.75 磐层胶结与紧实状况-内部构造

编码	磐层胶结与紧实状况-内部构造
N	无
P	板状
V	气孔状
P	豆粒状
D	不规则瘤状

表B.76 磐层胶结与紧实状况-胶结程度

编码	磐层胶结与紧实状况-胶结程度
N	无
Y	紧实但非胶结
W	弱胶结
M	中胶结
C	胶结

表B.77 磐层胶结与紧实状况-组成物质

编码	磐层胶结与紧实状况-组成物质
K	碳酸盐
Q	二氧化硅
KQ	碳酸盐-二氧化硅
F	铁
FM	铁锰氧化物
FO	铁锰-有机质
GY	石膏
C	黏粒
CS	黏粒-铁锰氧化物

表B.78 磐层胶结与紧实状况-成因或起源

编码	磐层胶结与紧实状况-成因或起源
NA	自然形成
AM	人为形成
AM	机械压实
AP	耕犁
OT	其它

表B.79 滑擦面

编码	滑擦面	占观察面的面积 (%)
N	无	0
V	少	<5
C	中	5-15
M	多	15-50
A	很多	≥50

表B.80 土壤侵入体-组成物质

编码	土壤侵入体-组成物质
CH	草木炭
CF	陶瓷碎片
ID	工业粉尘
BF	贝壳
CC	煤渣
WL	废弃液
PS	砖、瓦、水泥、钢筋等建筑物碎屑

表B.81 土壤侵入体描述-丰度

编码	土壤侵入体-丰度	体积 (%)
N	无	0
V	很少	<2
F	少	2-5
C	中	5-15

表B.82 土壤动物种类

编码	土壤动物种类
EW	蚯蚓
AT	蚂蚁/白蚁
FM	田鼠
BT	甲虫
OT	其它

表B.83 土壤动物-丰度

编码	土壤动物-丰度	动物个数
N	无	0
F	少	<2
C	中	3-10
M	多	≥10

*如观察到动物粪便，其丰度描述由观察者自己决定，编码和描述同动物个数。

表B.84 土壤动物-影响情况

编码	土壤动物-影响情况
A	动物孔穴
B	蚯蚓粪

表B.85 土壤反应-石灰反应

编码	土壤反应-石灰反应	等级
N	无	()
SL	轻度石灰性	(+)
MO	中度石灰性	(++)
ST	强石灰性	(+++)
EX	极强石灰性	(++++)

表B.86 土壤反应-亚铁反应

编码	土壤反应-亚铁反应	等级
N	无	无色()
SL	轻度	微红或微蓝 (+)
MO	中度	红或蓝 (++)
ST	强度	深红或深蓝 (+++)

表B.87 土壤反应-土壤碱化度

编码	土壤反应-土壤碱化度	等级
N	无	无色()
SL	轻度碱化	淡红 (+)
MO	中度碱化	红 (++)
ST	强度碱化	紫红 (+++)

表B.88 土壤酸碱性分级

编码	土壤酸碱性分级	pH
IAc	强酸	<4.5
Ac	酸	4.5-5.5
LAc	微酸	5.5-6.5
M	中性	6.5-7.5
LAl	微碱	7.5-8.5
Al	碱	8.5-9.5
IAl	强碱	≥9.5

表B.89 样品类型

编码	名称
01	表层样品
02	剖面样品
03	水稳性大团聚体样品

表B.90 实验室类型

编码	名称
ZK	质量控制实验室
JC	检测实验室（仅承担样品检测任务）
JZ	检测实验室（承担样品制备和检测实验室）”中的一项。

附件 4

土壤属性图与专题图编制技术规范

(试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2022 年 7 月

目 次

1 适用范围.....	129
2 制图对象和目的.....	129
3 制图原则与主要方法.....	129
3.1 数字土壤制图的原则.....	129
3.2 数字土壤制图的主要方法.....	130
4 制图数据准备及要求.....	131
4.1 土壤制图的数据、基础资料.....	131
4.2 样点数据整理及处理.....	131
4.3 环境变量制备及质量检测.....	131
5 制图思路.....	135
5.1 土壤属性制图.....	135
5.2 土壤专题制图.....	135
6 土壤属性图与专题图制图要求.....	136
6.1 土壤属性制图.....	136
6.2 土壤专题图.....	140
6.3 土壤属性制图相邻区处理.....	141
6.4 土壤制图结果的验证评价.....	141
7 制图比例尺/分辨率与数据质量要求.....	141
7.1 制图比例尺（分辨率）.....	141
7.2 制图成果数据质量要求.....	142
8 专题图表达与质量要求.....	143
8.1 专题图编制方案设计.....	143
8.2 专题内容的表达.....	143
8.3 基础地理要素的选取和表达.....	144
9 制图设备与场所要求.....	145

附录 数字土壤制图的理论基础与主要方法.....	146
1 数字土壤制图的理论基础.....	146
2 数字土壤制图的主要方法.....	146
2.1 地统计学方法.....	146
2.2 机器学习模型.....	147
2.3 专家知识模型.....	147
2.4 确定性插值法.....	148
2.5 数理统计方法.....	148

1 适用范围

本规范适用于第三次全国土壤普查中的土壤属性和专题图制图工作。统一规定了这两类制图的目的、原则、主要方法、制图思路、结果验证、成果图编制要求等。面向有一定数字土壤制图理论和实践基础的科研或技术人员。

2 制图对象和目的

本规范包括本次普查成果图中的两类图：（1）土壤属性图，即土壤理化性状图，包括土壤表层质地、pH、盐碱度、有机质、全量和速效养分含量、有机/无机碳、全量中微量元素含量、重金属元素含量等；（2）土壤专题图，包括耕地质量等级图、有效土层厚度、土壤障碍类型图、退化土壤（盐碱化、酸化等）分布图、黑土资源分布图等专题调查评价图。

制图目的是通过数字土壤制图方法，采用统一的专题图评价指标，掌握土壤性状底数，评价土壤质量和适宜性，编制统一规范的普查成果图。

3 制图原则与主要方法

3.1 数字土壤制图的原则

数字土壤制图（Digital soil mapping）方法作为一种新兴的、高效表达土壤及其性状空间分布的方法，较传统手工土壤制图更加高效。尤其在土壤属性制图方面，研究和应用也相对深入和广泛。鉴于数字土壤制图方法仍在不断发展完善，采用该方法制图，需遵循以下原则：

3.1.1 土壤空间变异尺度效应原则

制图精确度要与制图空间尺度相对应。土壤的空间变化具有尺度效应，并以空间格局的形式呈现，即某一尺度只能揭示相应的变化规律，而某一空间结构只能在某一尺度下体现。在进行大尺度（大空间范围）土壤空间变异分析时，可得到整个区域土壤的空间分布规律，较小尺度下的空间分布特征往往被掩盖；而在小尺度分析时，大多体现的是土壤在微域环境内的变化。不同尺度下其主要影响因子也不尽相同。大尺度土壤空间分布主要与生物气候条件相适应；在较小范围内，土壤形成和发育主要受局部地形、母质等因素的影响。

3.1.2 因地制宜原则

选用相对成熟、区域较优的方法。现有方法均基于一定的数学假设，尚无单一方法或统一固定的环境辅助变量，可以适合不同地貌类型区域。因此，针对制图对象，选择适用的制图方法类别；针对具体土壤属性，根据制图区域特征和范围（尺度），结合样点的密度和均匀度，选用相对成熟的，精度检验较优的方法，且方法不宜过于繁杂。

3.1.3 精度保障原则

建立制图模型前，数据检验须符合制图模型的数学假设。制图方法多采用数学模型，基于统计均值和平均关系的制图方法，要求样本符合相应的数学假设，例如符合正态分布。样本需验证并符合相关数学假设条件，方可进行模型制图。

数字土壤制图结果，需要进行预测样点验证，评估模型的制图精度。随机选取 20% 的样点，比较实测值与预测值；也可以采取全样点交叉验证，来验证制图的精度，通过相应的验证指标评估后，制图结果方可采用作为数据成果。对于争议比较大或与专家经验出现巨大差异的图斑区域，需进行实地勘察验证。

3.2 数字土壤制图的主要方法

数字土壤制图方法已广泛用于土壤属性制图。该方法是根据已知点的土壤信息通过数字手段推测其他点土壤特征的过程，以土壤—景观模型为理论基础，以空间分析和数学方法为技术手段，生成数字格式（栅格）的土壤属性空间分布图。

在数字土壤制图领域比较常用的方法可分为五类：地统计方法、确定性插值、数理统计、机器学习和模糊推理方法。

地统计方法，包括克里格插值及其衍生方法，有普通克里格、泛克里格、经验贝叶斯克里格、回归克里格、地理加权克里格、协同克里格模型等，除普通克里格、泛克里格、经验贝叶斯克里格外，其余的克里格衍生模型是利用所预测土壤属性与环境辅助变量（成土因素）之间的相关性（要素相关性）来提高预测精度。普通克里格应用早而广泛，但其与泛克里格、反距离加权、最邻近法等模型均仅利用变量空间自相关关系，适合较均一、土壤属性变化不强烈的环境。普通克里格会产生平滑效应，对于局部变异较大地区的预测可能会与实际情况不符。

确定性插值法包括反距离加权、最邻近法和样条插值法等模型，是以区域内部的相似性或平滑度为基础，由已知样点来创建表面，其使用环境与普通克里格相近。

数理统计方法通过已知样点的土壤属性与环境辅助变量之间的统计关系建立函数，用来预测土壤属性的空间分布制图，包括多元线性回归、广义多元线性回归，判别分析，目前应用已较少。

机器学习模型利用机器学习与数据挖掘方法，提取土壤属性与环境变量之间的关系用来预测土壤属性的空间分布，可以解决土壤属性与环境变量的非线性问题，包括随机森林、人工神经网络、分类与回归树等。目前随机森林法进行属性制图在数据挖掘方法中应用最广泛。

上述方法有两个制约：第一需要大量的土壤样点来提取统计关系；第二需要具有较好的空间代表性，除机器学习模型外，其它模型制图区域通常不宜过大。

模糊推理是将土壤与环境关系表达为隶属度值,利用单个土壤样点在空间上的代表性推测土壤目标变量的空间变化。该方法制图效果依赖于单个样点的可靠性,要求对样点的可靠性进行质量检查。

目前地统计、确定性插值、数理统计和模糊推理方法在中小尺度取得了较高的精度,大尺度下机器学习方法的优势更明显。

4 制图数据准备及要求

4.1 土壤制图的数据、基础资料

调查数据:第三次全国土壤普查表层样点理化性状测试数据、剖面样点的土壤类型数据,为模型构建使用的目标变量数据和环境变量数据—基础数据。

环境变量数据源:“二普”的 1:5 万县域高精度数字土壤图、1:1 万土地利用现状图、1:5 万地形图、1:25 万地质图、气象资料以及高分辨率的遥感影像等。

其它数据:相应比例尺的行政区划图等,用于成果图的边界。

4.2 样点数据整理及处理

4.2.1 剖面样点数据整理

有效土层厚度等数据,需从剖面点信息中提取,作为这两个属性制图的样点基础数据层。

对于耕层点位不足的地区,可由剖面点数据补充。将剖面发生表层土壤属性数据,或者发生表层与亚顶层土壤属性数据经厚度加权平均,转换为耕层数值,加入到耕层点该属性基础数据中。

4.2.2 表层样点数据处理

第一,异常值检验。由于样点采集与化学分析过程的不确定性,需对土壤属性数值进行正态分布检验后做异常值剔除处理,结合数据的常规统计学特征和空间位置,将每个样点的属性值与总体及其邻近 8 个样点的均值和标准差进行比较,如果样点值在总体均值的五倍标准差之外,且大于或是小于邻近样点均值的三倍标准差,则视为异常值剔除。

第二,测试方法分区标注,对不同地区采用不同测试方法的指标,标注其所在区域,用于分别成图。

4.3 环境变量制备及质量检测

4.3.1 不同尺度的精度要求

环境变量提取栅格数据精度,要优于表 1 或表 2 的像素(像元)分辨率。其中,表 1 精度适用于大范围土地利用、种植结构比较单一区域,例如平原粮食作物区;表 2 精度适用于种植结构复杂的小范围地区或地块破碎区域。

表 1 制图比例尺及对应的栅格数据像素（像元）分辨率

（适用于大范围土地利用、种植结构比较单一区域）

比例尺类型	成图比例尺	栅格数据 建议像素分辨率 m
大比例尺	1:1 万	5
	1:5 万	30
	1:10 万	50
中比例尺	1:25 万	90
	1:50 万	250
小比例尺	1:100 万	1000

表 2 制图比例尺及对应的栅格数据像素分辨率

（适用于小范围种植结构复杂或地块破碎区域）

比例尺类型	成图比例尺	栅格数据 建议像素分辨率 m
大比例尺	1:1 万	2.5
	1:5 万	10
中比例尺	1:25 万	30
	1:50 万	90
小比例尺	1:100 万	250
	1:400 万	1000

4.3.2 环境变量的提取

利用土壤属性与环境辅助变量之间的相关性模型，需使用环境变量数据。目前主要利用除时间因素外的成土因素信息。特别是在地面有起伏的区域，因样点数量的局限，可采用此类模型提高制图精度。这类模型均需提取栅格格式图层数据参与模型制图。

目前常用的环境变量主要包括：

4.3.2.1 气候变量的表征与数据选取

气候因素在较大范围内主要考虑大气候，通常选择年均温、年降水、积温或相对湿度等因子，并根据制图比例尺选用，或利用气象站点生成相应像素分辨率的气象因子栅格数据。

而在较小的气候范围内，大气对土壤的影响基本是均值的，可以忽略。相比之下，小范

围内的地形地貌信息可体现小气候对土壤的影响。

4.3.2.2 母质变量的表征与数据处理

土壤母质是土壤形成的物质基础,通常直接获得母质信息非常困难,实际制图中,常以地质图或地貌图来代替土壤母质分布图,这些地图上的信息通常为矢量化表达的地质类型。也可以从分级到土种的大比例尺土壤图中,通过土壤类型信息提取,提取方法参考 4.3.2.5。

4.3.2.3 地形地貌变量的表征与数据处理

地形因素是最常用的环境变量,主要包括描述地形特征的地形属性和描述地貌部位信息的指标。地形属性可利用数字高程模型栅格数据(Digital elevation model, DEM)提取:高程、坡度、坡向、平面曲率、剖面曲率、地形湿度指数、与河流的距离、与山脊的距离等,可通过 GIS 软件计算获得。地貌部位通常用坡位表达,可用于小流域土壤属性的空间分布推测。也可通过基于相似度的模糊推理方法,通过计算坡面上任一位置与各类坡位的典型位置在属性域与空间域上的相似度,对坡位在空间上的渐变信息进行定量描述。获得研究区中每一类坡位的空间渐变图,作为土壤制图的环境协变量。

其中,地形湿度指数的计算公式为:

$$TWI=\ln\left(\frac{\alpha}{\tan\beta}\right) \quad (1)$$

式中, α 指垂直于水流方向的汇流面积,面积为 m^2 , β 表示坡度(弧度)。

4.3.2.4 植被变量的表征与数据处理

定量的植被状况空间信息主要通过遥感影像数据的计算获取植被指数和生物物理参数,包括归一化植被指数(NDVI)、叶面积指数(LAI)、郁闭度(CC)等。其中,NDVI 是土地覆盖植被状况应用最广的一种遥感指标,能够检测植被生长状态、植被覆盖度和消除部分辐射误差等,定义为近红外通道与可见光通道反射率之差与之和的商。其计算公式为:

$$NDVI=(NIR-VIS)/(NIR+VIS) \quad (2)$$

NIR 为近红外波段的反射值, VIS 为红光波段的反射值。

NDVI 的取值范围为-1 和+1 之间:若 $NDVI<0$,表示地面覆盖着云、水、雪等,对太阳辐射中的可见光反射率较高;若 $NDVI=0$,表示地表裸露的岩石或戈壁等处;若 $NDVI>0$,则表示地表有植被覆盖,且植被覆盖密度越大,其值越高。

4.3.2.5 土地利用变量的表征与数据处理

土地利用方式也是影响土壤养分分布的重要因素。但土地利用方式为类别变量,不能直接用于回归分析,可采用两种方法为其赋值引入回归方程。

(a)哑变量方法 是应用比较普遍类别变量处理方式。赋值方法如下：对 $n+1$ 个土地利用方式，定义 n 个哑变量 ($X_{81}, X_{82}, \dots, X_{8n}$)，以哑变量组合表示土地利用方式。

(b)算术平均值变换 算术平均值变换是用动态思维(类别自变量与定量因变量的关系)建立起自变量各水平与定量结果变量之间的数量关系，以不同土地利用方式下定量因变量的算术平均值(如面积百分比)代替该土地利用方式。

4.3.2.6 其他变量的表征与数据处理

地表动态反馈：在平原或地形平缓的地区，采用地表动态反馈模式来解决基于土壤—景观关系的制图方法推测平缓区土壤空间分布。将太阳辐射作为对地表的输入，捕捉 1 天内地表热状态的动态反馈特征，利用时序遥感数据(如 MODIS，每日过境)获得陆地表面发生的动态变化作为平缓区土壤制图的环境变量。

在平原或地形平缓的地区，也可以通过温度植被干旱指数(TVDI)，得到土壤湿度变化指数(HCI)作为环境变量，获取 HCI 与土壤质地等土壤属性相关性。

4.3.2.7 已有土壤图数据处理与知识提取

通过两种方法从土壤图中提取隐含的土壤与环境关系，主要用于：一是在土壤分布范围内构建环境协变量的频率分布曲线，以此来代表土壤与环境关系；二是基于已有土壤图提取训练样点，然后使用统计或机器学习算法归纳出样点所代表的土壤与环境关系。

4.3.2.7.1 从已有土壤图中提取土壤与环境频率曲线的方式

将已有土壤图与土壤形成具有协同变化关系的变量进行叠加，针对每一个环境协变量，为各制图单元构建环境频率曲线，用于代表土壤与环境关系。即对每种土壤类型所对应的环境协变量，对其像元数直方图拟合得到环境频率曲线。在空间推测时，通过计算待推测像元的环境值在各制图单元所对应的土壤与环境关系曲线上的频率值，来代表该像元在该环境协变量上隶属于各制图单元的程度(隶属度)。最后通过对所有环境协变量上的隶属度进行综合得到该像元对各制图单元的相似度，选择最高相似度的类型作为最终的推测结果，完成对已有土壤图的更新。

4.3.2.7.2 从已有土壤图中提取训练样点的方式

该类方法首先按照一定的方式从土壤图中选择训练样点，利用统计或机器学习算法根据选择的训练样点和研究区的环境协变量获取土壤与环境关系，通常采用线性或非线性的形式表达这一关系。从土壤图中选择训练样点的方式主要有三种：(1)在各制图单元中随机选择相同数量的样点；(2)在各土壤多边形中随机选择相同数量的样点；(3)各制图单元中训练

样点的数量按其研究区所占的面积比例选择。然后使用统计或机器学习模型算法归纳出样点所代表的土壤与环境关系。

5 制图思路

5.1 土壤属性制图

5.1.2 选择较优制图模型

划分典型地貌区，每区对一类土壤指标，推荐 2-3 个制图模型。操作时，按照方法相对成熟、精度较优的原则，从推荐模型中筛选。经模型精度比较后，也可采用其它精度更高、应用相对成熟的模型进行制图，但必须考虑相邻地区的接边。

5.1.2 县级、省级、国家级成果图逐级汇总

县级成果图（大比例尺），建议采取同地貌区、同一模型、多县统一制图的方式完成，不采用单县逐一制图。省级和国家级制图（分别为中、低比例尺），主要以制图综合的方法完成。

原则上以典型地貌区为单位，样点数量和密度达到模型要求，应在该地貌区范围内进行大比例尺精度的制图。这既减少逐县制图的工作量，也尽量减少了分县接边的不确定性。制图成果数据作为县级大比例尺空间图数据库。功能性评价图在县级精度上完成评价制图。

省级、国家级成果图在县级成果图基础上，通过 GIS 栅格数据精度转换的功能，以省级、国家级比例尺对应像素精度进行转换。像素精度转换主要体现了制图综合中“图斑合并”、“图斑取舍”和“轮廓简化”的方法，取像素面积最大值作为转换后像素属性值。逐级汇总保证了县级与省级成果图图面的趋势一致性。特殊区域的处理见 5.1.3。

对样点相对少的区域，经检验后采用适合的精度（比例尺）进行制图。

土壤属性及评价结果的统计，须以最高精度，即县级制图成果数值为基准。

5.1.3 特殊区域的制图综合

土壤属性和功能性评价图中，对面积小但有特殊指示作用的区域，如敏感元素属性极高区，或评价图中的极不适宜区、严重退化区等，如需在中、小比例尺图中予以体现，这类区域需根据原区域长度和面积，事先计算可显示的长度和面积大小，通过模型处理，单独进行像素转换，并将其替换到制图综合后数据图层中。制图综合后数据图层，不宜作为各类上报的数据统计基础图层。

5.2 土壤专题制图

5.2.1 建立评价指标

根据需评价的专题，建立评价指标体系，依照国家标准规范或本领域普遍认可的研究研究方法，确定土壤相关属性及权重系数等指标，建立评价指标体系。

完成土壤属性等相关数据图层制图，依指标体系，进行空间计算，各评价单元通过各属性权重的面积加权平均，获得评价指数，按指标体系的评价标准，最终确定评价单元的评价等级，完成制图。

5.2.2 县级、省级、国家级成果图逐级汇总

同 5.1.2。

5.2.3 特殊区域的制图综合

同 5.1.3。

6 土壤属性图与专题图制图要求

6.1 土壤属性制图

数字土壤属性制图包括四个环节：样点数据的获取、环境变量的生成、制图模型或方法的建立、土壤制图结果的产生及验证。样点数据的获取、各种环境变量涉及的指标在“4 制图数据准备及要求”中已有介绍，本节从制图流程做说明。

6.1.1 数据制备

6.1.1.1 数据制备

GIS 软件可以完成样点数据（目标变量）和大部分环境变量栅格数据的制备；源自遥感影像的环境变量数据，需要采用专业遥感图像处理软件，全部数据最终统一到模型制图的 GIS 软件数据格式。

其中，环境变量的多种地形要素，可通过数字高程模型（DEM）栅格数据，在 GIS 软件相应功能模块中提取：高程、坡度、坡向、平面曲率、剖面曲率、地形湿度指数等分别作为一个环境变量数据参与相关模型的分析。其它非遥感影像数据也均可在 GIS 软件中进行栅格数据的制作和转换。利用专业遥感图像处理软件处理遥感影像，包括图幅镶嵌、计算，最终提取植被指数数据。

6.1.1.2 样点数据检验

相关性分析、正态分布检验采用常规统计软件，如 SPSS、SAS。普通商业 GIS 软件可进行半方差函数分析等数据检验，也可采用其它软件如 GS+。

6.1.1.3 数据坐标系

成果图统一采用 2000 国家大地坐标系，与三调成果一致。相关数据图层需以投影坐标

系的方式进行运算和制图，不得以经纬度坐标进行制图。

制图前将各图层数据统一到 2000 国家大地坐标系后制图。也可先统一到一个坐标系(如北京 54 或西安 80 坐标系) 进行制图，最后将成果图按要求转换到 2000 国家大地坐标系。

6.1.1.4 制图模型相关软件

一般商业 GIS 软件均具有多种地统计模型，具有自动构建训练集和验证集，以及计算均方根误差和决定系数的功能。可调用其相应模型的功能模块，按照操作说明进行预测制图，并检验其模型精度。

随机森林等机器学习模型，可采用开源软件 R 或自行编程完成模型预测，将预测结果值导入 GIS 软件，进行空间数据图层的制作而最终成图。

6.1.2 主要环境变量的选择

6.1.2.1 不同尺度的主要环境变量

基于不同制图尺度与地形分区的土壤属性图类型，选择不同的环境变量，见表 3。

表 3 不同尺度的备选环境变量

主导因素	制图尺度	
	大尺度（小比例尺）	小尺度（大比例尺）
气候	气候区、年均温、年降水、相对湿度、太阳辐射量等	
生物	植被类型、植被物候期	归一化植被指数（NDVI）等植被指数、叶面积指数（LAI）、林冠郁闭度（CC）等
母质	母岩类型	母质、土壤类型、地表动态反馈、土壤湿度变化指数（HCI）等
地形	地形地貌	高程、坡度、坡向、曲率、地形湿度指数、坡位等各种地形因子
人为因素	土地利用	土地利用

6.1.2.2 目标变量数据分析与环境变量筛选

(1) 符合数学假设检验

对样点数据（目标变量）进行正态分布检验。

(2) 半方差函数（空间自相关）分析

采用地统计模型方法（包括克里格插值及其衍生方法）之前，需通过半方差函数确定土壤属性具有空间自相关性。其表达式为：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (3)$$

其中 $\gamma(h)$ 表示间距为 h 的点对之间的平均半方差， $N(h)$ 表示距离为 h 时的所有点对数目， $Z(x_i)$ 则表示点 x_i 的观测值。比较常用的半方差拟合模型主要包括了高斯模型、指数模型、球状模型和线性模型。

块金效应反映了随机因素对变量空间自相关性的影响程度，其适用性见表 2。块金效应小于 75%，空间自相关距离（样点距离）在变程内，表明样点属性具有空间自相关性，可以进行地统计模型制图。

表 4 块金效应与空间自相关对应关系

块金效应（系数）	空间自相关
<25%	强烈
25%~75%	中等
≥75%	弱性

(3) 环境变量筛选—相关性分析

对利用土壤属性与环境变量关系的制图方法，进行土壤属性与环境变量之间的相关性分析，保证两者之间存在显著相关性，以判断哪些环境变量可以保留在模型中，并去除环境变量之间的共线性。

6.1.3 不同地形分区的推荐模型与备选模型

制图模型的选择基于一定的样点密度，当小尺度范围内样点密度较高时，相对简单的模型也可达到符合要求的精度。样点密度较低，特别是地形复杂地区，借助多种环境变量的模型则可以提高制图精度。

表 5 土壤制图地形分区

序号	地形	分区规则	可选环境变量	推荐模型	备选模型 ^注
1	平原	海拔: ≤200m 地貌: 宽广平坦, 起伏很小	主因素: 气候、植被、土地利用 次因素: 母质、地形	地理加权回归克里格、普通克里格	随机森林, 反距离加权
2	丘陵	海拔: >200m, 且≤500m 地貌: 高低起伏, 坡度较缓, 由连绵不断的低矮山丘组成	主因素: 地形、母质、植被 次因素: 气候、土地利用	随机森林、地理加权回归克里格	回归克里格、径向基函数神经网络等其它机器学习方法
3	山地	海拔: >500m 地貌: 表面形态奇特多样, 或相互重叠, 犬牙交错, 或彼此平行, 绵延千里	主因素: 地形、气候、植被 次因素: 母质、土地利用	随机森林、地理加权回归克里格	回归克里格、径向基函数神经网络等其它机器学习方法
4	高原	海拔: >1000m 地貌: 面积较大, 顶面起伏较小, 周围形成陡坡的高地	主因素: 气候、植被、地形 次因素: 母质、土地利用	随机森林、地理加权回归克里格、普通克里格	回归克里格、径向基函数神经网络等其它机器学习方法
5	盆地	地貌: 四周高(山地或高原)、中部低(平原或丘陵)的盆状地形	主因素: 气候、植被、土地利用、地形 次因素: 母质	随机森林、地理加权回归克里格	径向基函数神经网络等其它机器学习方法

注: 其它机器学习方法: 分类回归树、卷积神经网络模型。

模型选用原则

- (1) 研究区域平稳: 推荐普通克里格模型;
- (2) 环境变量少, 主导因素确定(如平原和地势和缓区的土壤盐碱性): 推荐随机森林、地理加权回归模型;
- (3) 环境变量复杂, 研究区域地形地貌复杂: 推荐随机森林、地理加权回归克里格, 备选其它机器学习方法: 如径向基函数神经网络、分类回归树。
- (4) 成分数据(如机械组成), 可采用随机森林、成分克里格、普通克里格模型及模糊推理模型。

主要数字土壤制图方法介绍详见附录。

6.1.4 制图模型的训练和评估

6.1.4.1 构建训练集和验证集

验证样点的获取有两种途径：第一种途径是把已有样点集按照 4:1 的比例随机划分为训练集和验证集两个部分，其中训练集用于构建预测模型，验证集用于检验模型的预测精度。第二种途径是在野外采集验证样点，通常使用随机采样方法采集。

6.1.4.2 模型评估

土壤属性数字制图模型精度的验证指标主要有均方根误差（RMSE）、决定系数等。其中，对一般面积大小的农业区县，表层样点数平均达 1000 个以上，一般决定系数 R^2 应大于 0.5 以上；均方根误差数值越小越好。

6.2 土壤专题图

第三次全国土壤普查形成的专题调查评价图主要有：耕地质量等级图、酸化土壤分布图、盐碱化土壤分布图、黑土资源退化分布图、土壤碳库与养分库贮量图、土壤利用适宜性分布图，特色农产品生产区域土壤专题调查图等。

6.2.1 土壤质量等级图

《耕地质量等级》（GB/T33469-2016）以及分区指标权重、土壤强酸性—强碱性分级、土壤盐碱度或碱化度等评价指标体系较为明确，这为编制县级、省级或国家级耕地质量等级图，酸化土壤、盐碱化土壤、黑土资源退化等分布图的提供了很好的指标评价体系。

6.2.2 土壤碳库与养分库贮量图

利用土壤剖面发生层及表层样点的土壤碳和养分含量的化验结果，分区构建表层土壤与剖面土壤碳和养分含量的量化关系，建立土壤碳库与养分库贮量图。

6.2.3 土壤适宜性评价图

本次普查主要涉及土壤利用适宜性分布图、特色农产品生产区域土壤专题调查图等土壤适宜性评价类制图。包括：

筛选土壤适宜性评价的最小参评因素集，主要包括土壤的气候、地质地貌、土壤、水文、植被等要素。同时土壤质量还受社会经济和技术条件的影响，在自然地理和社会经济等要素中选取参评因素是评价的关键。

构建土壤资源适宜性分级指标体系：反映现阶段土壤资源对不同土地利用（宜农、宜果、宜林、宜草）的适宜程度和生产能力。根据影响土壤生产力的主导限制因素（如坡度、土层厚度、土壤肥力、水源保证率等），进行各因素评级，分为高度适宜、中等适宜、基本适宜、当前不适宜、永久不适宜等级别。

此外，考虑到土壤资源对不同土地利用的适宜程度和生产能力，应该为现阶段或短期的评级，若经过一定时期的改良治理后，适宜程度和生产能力发生较大变化，可重新进行评级。

6.2.4 制图方法

在完成土壤类型和土壤属性成果图基础上，根据各类评价图的指标体系，通过 GIS 软件进行图层空间计算，各评价单元（或像素）通过各属性权重的面积加权平均，获得评价指数，按指标体系的评价标准，最终确定评价单元的评价等级，完成制图。

6.3 土壤属性制图相邻区处理

土壤属性多为数值，在空间上是连续的，并无界线截然分开。采用数字土壤模型制图方法进行土壤属性制图，输出结果为数值型的栅格地图。每个栅格像素为一个土壤属性值，像素之间不存在接边问题。但由于不同地貌区域最终采用的适宜模型可能不同，特别是在本区域制图而在区外无样点时，对区界处的预测属性值精确度会降低，可能会造成两区相邻处像素属性值出现相差较大的情况。为避免、减少此类情况，模型制图时，需增加域外样点，即区域制图时，将与本区相邻地区的区界样点补充进训练集进行模型制图，然后以区界裁切获得本区成果图。

6.4 土壤制图结果的验证评价

除模型评估外，也可利用推测不确定性指标对土壤属性制图的结果进行评价，用于指示推测结果的可靠程度。该图为研究区的每个像元给出不确定性值，以体现推测不确定性的空间变化。由于不确定信息与精度具有相关关系，因此可以通过推测不确定性间接指示制图精度。

7 制图比例尺/分辨率与数据质量要求

7.1 制图比例尺（分辨率）

7.1.1 国家级、省级、县级的制图比例尺（分辨率）及上图面积

普查成果图，一般按照国家基本比例尺成图。国家级成果图比例尺 1:100 万~1:400 万，省级成果图比例尺一般为 1:25~1:50 万，县级成果图比例尺一般为 1:1 万~1:5 万。省级和县级也可根据本行政区域范围大小，选择适当比例尺成图。以数字模型方法制作的成果图为栅格图，需达到相应的像素分辨率。与比例尺对应的栅格数据像素分辨率详见表 1。

不同比例尺上图面积可参照第二次土壤普查中关于各比例尺土壤图上图面积的规定，详见表 6。

表 6 各种比例尺土壤图的最小面积

引自《中国土壤普查技术》1992，农业出版社

制图比例尺	土壤图的最小面积			
	可达到的		适当的	
	在图上	在实地中	在图上	在实地中
1:2000	所有比例尺当面积为长形,其长轴为 0.2cm (2*10mm) 时或当面积为圆形,直径为 5mm	80m ²	1cm ²	400m ² (0.6 亩)
1:5000		500m ²	1cm ²	2500m ² (3.75 亩)
1:1 万		0.2hm ² (3 亩)	0.5cm ²	0.5 hm ² (7.5 亩)
1:2 万		1.25 hm ² (18.75 亩)	0.5cm ²	2 hm ² (30 亩)
1:5 万		5 hm ² (75 亩)	0.5cm ²	12.5 hm ² (197.5 亩)

7.1.2 环境变量栅格数据分辨率

数字模型制图过程中,需要制备地形参数、土地利用、植被等环境变量栅格数据,其像素分辨率应不低于成图比例尺对应的像素分辨率。应根据土壤采样点密度、运算速度、计算机容量,选择可满足精度要求的像素分辨率。

7.2 制图成果数据质量要求

7.2.1 数据精度、数据结构、元数据及拓扑要求

数字模型方法制作的成果图,以栅格数据格式汇交的,应满足以下要求:

- (1) 栅格数据像素分辨率,需符合表 1 要求;
- (2) 数据格式,以普查统一要求的数据格式提交,中英文图层名与数据内容相符合。如中国土壤有效磷含量图(或 CN_AP)、河北省土壤有效磷含量图(或 Hebei_AP)等;
- (3) 数据字典,须包括图层名,字段名、字段释义、字段类型、字段长度等,属性字段名称、类型、长度、小数位数符合《土壤普查数据库规范》要求;
- (4) 元数据,须包括土壤普查时间、制图时间、模型制图方法、模型精度(平均绝对误差(MAE)、均方根预测误差(RMSE)、平均 Aitchison 距离(MAD))、区域范围、元素形态、计量单位、大地坐标系、投影、分辨率、制图单位、制图负责人等信息。

元数据信息符合 GB/T32739 土壤科学数据元数据的相关规定。

矢量格式制作的面状成果图,除符合(2)、(3)、(4),还应满足以下要求:

- (5) 关键界线和面积的容差:如成果图含有土地利用界线时,对照已有土地利用界线,

界线移位容差为 0.0001 米。成果图以行政区域为单元的，其成果图面积与县域面积一致。

(6) 无拓扑错误：(a) 同一图层内不存在面与面重叠，包括完全重叠与部分重叠（即面相交），容差为 0.0001 米；同一面内不同面要素之间不存在缝隙，面裂隙容差为 0.0001 米；(b) 同一图层内不同要素间线要素不存在重叠或与自身重叠；(c) 同一图层内线要素不存在自相交；(d) 同一图层内线要素不存在悬挂点；(e) 同一图层内线要素不存在伪节点；(f) 面内不存在不规则图斑。(g) 面内不存在碎片多边形；(h) 面内要素不允许存在组合图斑；(i) 同一线层内不存在碎线（长度小于 0.2 米）；(j) 图形节点密度符合规范要求，不能过于稀疏、稠密（平均节点密度大于 70 米，或小于 1 米）；(k) 图形不存在面自相交、环方向错误等不符合入库要求的错误。

7.2.2 区域不合理性专业检查

对成果图，在一定区域范围内，某些土壤属性如出现明显不同于周边的情况，应说明原因。

7.2.3 投影与坐标系

平面坐标系统：采用“2000 国家大地坐标系”；

高程系统：采用“1985 国家高程基准”；

投影方式：大于 1:50 万比例尺（不含 1:50 万），采用高斯—克吕格投影，大于 1:1 万比例尺按 3°分带，1:2.5~1:50 万比例尺按 6°分带。小于 1:100 万比例尺，采用正轴等角割圆锥投影。

7.2.4 图分幅

图的分幅应符合《土壤普查数据库规范》要求。

8 专题图表达与质量要求

8.1 专题图编制方案设计

图件历来是土壤普查的重要成果。在编制单位、图名、普查时间等制图内容，文字内容、位置、字体大小等，各地方必须采用全国统一方案。

编制内容主要包括：图名、编制单位、制图单位及制图人员、制图时间、土壤调查时间、绘图单位及绘图人员、地图投影、比例尺。其它说明包括地理要素所采用的地形图比例尺和时间。这些内容在图廓外的位置应平衡美观。

8.2 专题内容的表达

8.2.1 专题制图表达

土壤专题图采用质底法。

土壤属性图，图面表达包括属性配色；如为属性分级图，图面表达还包括分级编号。原则上一个土壤属性对应一个色调，从颜色上区分土壤属性类别。此外，以颜色深浅表示含量大小。15种土壤养分图用色依照《1:25 000~1:500 000 土壤养分图用色与图例规范》（GB/T 41475-2022）进行制图。

其它专题图，颜色的选择应避开已有标准指定的土壤属性颜色，选用新的色调及符号。

8.2.2 图例要求

对于土壤属性分级图，专题图例由计量单位、分级代码、色块、分级的养分含量范围和测试分析方法五部分组成。对于土壤属性栅格渐变图图例，由计量单位、养分含量上下限、渐变色带和测试分析方法四部分组成。

15种土壤养分图图例要求细则依照《1:25 000~1:500 000 土壤养分图用色与图例规范》GB/T 41475-2022 制图。其它专题图可参考执行。

8.3 基础地理要素的选取和表达

地理底图是专业地图的骨架，根据专题图特点，对地理要素进行必要的选取，保留具有体现土壤类型或属性特征的要素，舍去干扰专题特征的地理内容，有利于突出土壤专业内容。

8.3.1 要素选取

根据成图比例尺，选择相对应或更小比例尺的地理要素。

水系：适当选取以反映河网密度和结构。包括河流（常年河、时令河、消失河等）、湖泊、水库、坎儿井、水渠、运河、咸水湖括注（咸）。

居民地（点）：根据比例尺，选择相应行政级别的居民地或居民点上图。小比例尺图，原则上选取县以上级别居民地/点，中等比例尺原则上可选择到乡镇级，大比例尺，可选择到村级，并根据居民地密度适当取舍。

交通：原则上铁路均可上图；公路则依据比例尺大小，相应地选取国家级、省级和县乡级公路。

境界：小比例尺显示国界和省界；大中比例尺显示省界和县界，地处边疆省区，需显示国界。

8.3.2 制图表达要求

公共地理信息通用地图符号等相应国家标准制作。

9 制图设备与场所要求

鉴于制图所需大量高精度图层数据，制图单位需设定专用场所，准备相应级别配置的专用计算机，仅内网相连，单机设备不得与互联网链接；拆除其它拷贝接口，仅留一个接口用于数据拷贝，并做好使用数据的登记管理。制图单位制定保密规定，相关人员签订保密协议。

附录 数字土壤制图的理论基础与主要方法

1 数字土壤制图的理论基础

数字土壤制图反映的是土壤的空间分布特征和规律，主要基于两个理论基础，第一是土壤成土因子学说，即某一地区的土壤，是土壤母质在一定水热条件和生物因素、人为因素作用下，经过一系列物理、化学和生物化学过程所形成，其土壤的空间分布与环境因子的空间分布具有协同变化的关系；特定的环境条件组合形成特定的土壤，相似的环境因子组合下分布着相似的土壤，环境组合越相似，其对应的土壤越相似。第二个理论基础是地理学第一定律，即环境因子的连续性造成土壤空间分布呈现连续渐变的特征，表现为空间上距离越近的点土壤属性越相似；相邻两种土壤类型间在空间上往往没有明显的界线，而是呈现出一个过渡区。

2 数字土壤制图的主要方法

数字土壤制图基于二个理论基础：一是土壤成土因子学说；二是地理学第一定律，即土壤属性在空间分布上呈现连续渐变的特征，空间上的点相距越近土壤属性越相似。目前，在数字土壤制图领域比较常用的方法可分为五类：地统计学方法、确定性插值、数理统计、机器学习和模糊推理方法。

2.1 地统计学方法

地统计学方法的核心是区域化变量，基本工具为变异函数，利用样本信息进行空间插值，最后获得变量的空间分布（HILLEL, 1991）。该方法于 20 世纪 70 年代末 80 年代初被引入到土壤学的研究工作中（CAMPBELL, 1978; YOST et al., 1982），其中以克里格插值及其衍生方法最具代表性。

普通克里格（Ordinary Kriging, OK）由于简单易操作被广泛应用于早期的土壤物理和化学性质以及土壤养分的空间制图中。OK 对变量的空间自相关进行了假设，因此适用于较均一、土壤属性变化不强烈的环境，在小尺度和均质景观区域取得了较好的效果，对区域变异大、面积覆盖广的区域，OK 的制图精度不太理想。泛克里格（Universal Kriging, UK）在 OK 的基础上，引入趋势面方程分离土壤属性与空间位置的趋势项来消除不平稳性，在一定程度上可以减小 OK 的局限性。但这两种方法均忽视了土壤属性与环境要素之间的关系。协同克里格（Co-Kriging, CK）和回归克里格（Regression Kriging, RK）均利用所预测土壤属性与环境辅助变量之间的相关性来提高预测精度，不同的是，CK 将预测变量的空间自相关性及其与辅助变量间的交互相关性结合起来用于无偏最优估计；RK 则将常规统计学与地

统计相结合,先用回归模型拟合土壤属性与辅助变量之间的关系,然后对回归残差应用克里格法插值,最后将回归预测结果与残差插值结果结合起来得到最终预测结果。

关于 CK 和 RK 两种方法的精度对比,有研究表明,结合地形属性的 RK 预测精度高于 CK。当辅助变量较多时, RK 的预测精度高于 CK。除此之外,较新近的经验贝叶斯克里格(Empirical Bayesian Kriging, EBK)也被证明是一种可对非均质景观区域进行空间预测的插值方法,它在 OK 的基础上发展而来,可以通过构造子集、建立局部模型对非平稳数据进行空间插值。EBK 由于考虑了空间异质性,可以更好地揭示土壤属性的空间变异结构。但目前该方法应用较少。

尽管地统计学方法被证明是一种易操作且结果较为可靠的数字土壤制图的方法,但其要求数据满足地统计学相关假设,给实际应用带来一定困难。此外,插值过程需要利用预测变量的空间自相关性,而地学现象的复杂性和独特性使得一个地区的模型很难直接应用到其他地区。

2.2 机器学习模型

机器学习模型利用机器学习与数据挖掘方法,提取土壤属性与环境变量之间的关系用来预测土壤属性的空间分布。与前两种方法相比,机器学习模型可以解决土壤属性与环境变量的非线性问题,且对数据分布没有要求,因此被越来越多地应用于数字制图领域。常用的机器学习模型包括人工神经网络(Artificial neural networks, ANN)、分类与回归树(Classification and regression tree, CART)、随机森林(Random forest, RF)等。

ANN 可以模拟人脑神经网络对信息进行处理工作,建立某种简单模型,按不同的连接方式组成不同的网络,对连续型变量和类别变量均有很好的预测效果。研究表明,BP-ANN 比 OK 法更适用于大区域小样本下的土壤属性预测。虽然机器学习模型有易过度拟合、不易解释等不足,但该类方法能够有效地解决土壤属性与环境因子之间的非线性问题,且在大范围区域表现良好,已经逐渐成为土壤数字制图的主流方法。

2.3 专家知识模型

专家知识模型是基于地理相似性原理的土壤—景观推理模型。一般首先将土壤与环境条件关系的知识表达为隶属度函数,然后根据多个因子的隶属度函数来综合评价某点的土壤属于某种土壤类型的隶属度值,因此某点的土壤可与多个土壤类型具有隶属度(相似度),根据这些隶属度可确定该点的土壤的类型和属性,隶属度的利用可以使土壤空间变化的连续性得到较好的体现。即利用样点与待推测点之间的地理相似性来刻画单个样点对待推测点的代

表程度，然后将代表程度作为权重参与推测待推测点的土壤目标变量的值。同时，这些代表程度还体现了样点对推测区域的推理能力，代表性高则表示现有样点能较好地推测待推测点的地理变量值，代表性低则说明现有样点对待推测点的推测的具有较高的不确定性，利用代表程度度量的推测不确定性可有效指示推测结果的精度。

2.4 确定性插值法

包括反距离加权法、最邻近法和样条插值法等，是以区域内部的相似性或以平滑度为基础，由已知样点来创建表面。其使用环境与普通克里格相近。

2.5 数理统计方法

数理统计方法通过探索已知样点的土壤属性与环境辅助变量之间的统计关系并建立函数表达式，用来预测土壤属性的空间分布，完成空间制图。常用于数字土壤制图的数理统计方法包括多元线性回归（Multiple linear regression, MLR）、广义多元线性回归（Generalized multiple linear regression, GMLR）、判别分析（Discriminant analysis, DA）等。数理统计方法简单直观，且能表达土壤属性与环境因子之间的相关关系。但此类方法均假设土壤属性与辅助变量是线性相关，且需要较大的样本量来提取这种线性关系，因此在小尺度区域预测精度较高。大尺度区域，土壤属性与环境变量不一定是简单的线性关系。

综上所述，基于土壤属性与环境变量要素相关性的方法是现有数字土壤制图方法中应用最广泛的方法，其中随机森林方法在数据挖掘方法中应用越来越普遍。基于空间自相关推测土壤属性空间分布的方法应用也很广泛，克里格插值法应用最多，这类方法要求样本密度高，且需要样本能很好捕捉土壤属性的空间自相关特征。由于基于要素相关性和空间自相关的方法，需同时考虑空间自相关性和环境变量相关性，一定程度上能提高土壤推测的精度，缺点是对样本数量与分布要求较高，需满足二阶平稳的假设并要求要素相关性稳定，往往在实践应用中很难得达到。基于地理相似性的土壤—景观推理模型是基于知识的制图方法的代表方法，但制图效果依赖于单个样点的可靠性。

附件 5

土壤类型图编制技术规范

(试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2022 年 7 月

目 次

1 适用范围.....	152
2 总则.....	152
2.1 土壤类型制图目的和原则.....	152
2.2 土壤类型制图的技术方法.....	152
2.3 分类、比例尺及坐标系统.....	152
2.3.1 土壤分类系统.....	152
2.3.2 制图比例尺与空间分辨率.....	153
2.3.3 地理坐标与投影系统.....	153
2.4 总体思路框架.....	154
2.5 组织实施.....	155
3 数据准备.....	156
3.1 土壤数据.....	156
3.1.1 剖面调查及土壤图野外校核结果.....	156
3.1.2 二普土壤剖面点.....	156
3.1.3 二普土壤类型图.....	156
3.2 环境要素数据.....	157
4 县级土壤类型制图.....	158
4.1 有土种图的情形.....	158
4.1.1 基本思路.....	158
4.1.2 更新内容.....	159
4.1.3 技术步骤.....	160
4.2 无土种图但有粗略土属图的情形.....	161
4.2.1 基本思路.....	161
4.2.2 技术步骤.....	162
5 省级土壤类型制图.....	162
5.1 基本思路.....	162

5.2 土属制图（发生分类）	162
5.2.1 有土属图的情形	163
5.2.2 无土属图但有粗略亚类图的情形	164
5.3 土族制图（系统分类）	164
6 国家土壤类型制图	165
6.1 基本思路	165
6.2 亚类制图（发生分类）	165
6.3 亚类制图（系统分类）	166
7 土壤类型专题图设计表达	167
7.1 背景要素	167
7.2 色彩设计	168
7.3 图例制作	168
7.4 图面配置	168
8 验证评价与质量控制	169
8.1 验证评价	169
8.2 质量控制	169

1 适用范围

本规范明确了土壤类型制图的原则、要求和技术方法，适用于第三次全国土壤普查（以下简称“三普”），主要面向有一定的土壤调查制图理论与实践基础的人员。

2 总则

2.1 土壤类型制图目的和原则

土壤类型制图的目的是，反映土壤发生、发育、演变及其空间分布规律，表征土壤资源的数量和质量，摸清土壤资源的家底，为我国土壤资源可持续利用、保护、管理和相关决策提供科学依据。

土壤类型制图遵循科学性原则。一方面，应在研究土壤及其与成土环境因素之间发生学关系的基础上确定土壤类型分布，反过来获得的土壤类型分布也要反映这种发生学关系。另一方面，应反映土壤科学的发展认识成果。近四十年，土壤发生从主要关注自然环境因素到更加强调自然因素和人为活动的共同作用对土壤发育和演变的影响，土壤分类从定性逐步走向量化，土壤制图也从依赖专家经验和手工勾绘走向定量模型和数字化。

土壤类型制图也遵循实用性原则。一方面，制图比例尺的设置要满足不同层次或尺度的应用，但同时考虑成本效益，不盲目追求过大的比例尺。另一方面，制图要面向实际的生产、管理和应用，包括农田管理、种植结构调整、农业生态区划和政策制定等。

2.2 土壤类型制图的技术方法

传统调查制图技术是土壤制图的基本方法。它依据土壤发生学理论，依赖大量的调查样本和调查者个人经验知识，手工勾绘土壤边界，编制土壤图。美国等国家土壤普查与我国第二次全国土壤普查均采用这种技术，需要的人力多、成本高、耗时长。

数字土壤调查制图技术是近二十年逐渐兴起的制图方法，仍然依据土壤发生学理论，又称预测性土壤制图，是利用遥感和地理信息系统等现代地理信息技术对成土环境进行刻画，结合土壤调查观测、土壤知识和数据分析，建立土壤类型及与成土环境之间关系的定量模型，在计算机辅助下进行土壤推测，生成土壤类型分布图。

2.3 分类、比例尺及坐标系统

2.3.1 土壤分类系统

采用中国土壤发生分类和中国土壤系统分类两套分类系统进行土壤制图。表 2-1 列出了采用的土壤分类系统和原则上使用的分类级别。对于中国土壤发生分类，开展县级、省级和国家土壤制图，分类级别原则上分别到土种、土属和亚类；对于中国土壤系统分类，仅开

展省级和国家级土壤制图，分类级别原则上分别到土族和亚类。

中国土壤发生分类，依据国标《中国土壤分类与代码》GB/T 17296-2009。现有国标仅收入了部分土种，存在不完善问题。在普查前期，将组织土壤分类专家对第二次全国土壤普查（以下简称“二普”）全国县级土种进行全面梳理归并和标准化，对同名异土、同土异名等分类问题进行校核修订，形成统一的完备的土壤分类清单，完善国标。

中国土壤系统分类，依据《中国土壤系统分类检索》（第三版），中国科学技术大学出版社，2001。

表 2-1 土壤分类系统和类型级别

	土壤发生分类	土壤系统分类
县级	（原则上）土种	
省级	（原则上）土属	（原则上）土族
国家	（原则上）亚类	（原则上）亚类

2.3.2 制图比例尺与空间分辨率

表 2-2 列出了本次普查县级、省级和国家级土壤类型制图采用的制图比例尺和空间分辨率。对面积大的县域和省域可根据实际情况采用较小的比例尺和较粗的空间分辨率。

表 2-2 制图比例尺及空间分辨率

	制图比例尺	空间分辨率
县级土壤图	（原则上）1:5 万	≈30 m
省级土壤图	（原则上）1:50 万	≈250 m
国家土壤图	（原则上）1:100 万	≈1000 m

2.3.3 地理坐标与投影系统

本次普查统一采用 2000 国家大地坐标系。二普土壤图的坐标系是 1954 年北京坐标系，成土环境因素数据大多用的是 WGS-84 坐标系，二者应转为 2000 国家大地坐标系。

本次普查制图最大比例尺是 1:5 万，对于这个比例尺，WGS-84 坐标系与 2000 国家大地坐标系近似等同，可直接把 WGS-84 坐标系信息替换为 2000 国家大地坐标系即可，不需要做地理坐标系数学转换。

1954 年北京坐标系的椭球体与 2000 国家大地坐标系有较大差异，需进行地理坐标系数学转换。方法是，从省测绘局获取基准点信息，利用基准点，通过仿射变换求解四参数或七参数，进行地理坐标系之间的转换。

县级 1:5 万和省级 1:50 万土壤图，一般采用等角横切圆柱投影，即高斯-克吕格投影，6 度分带。国家土壤图，采用正轴双标准纬线割圆锥投影，即阿尔伯斯（Albers）投影。

表 2-3 国家土壤制图采用的地图投影参数

参数名称	数值
投影名称	Albers
中央经线	东经 105°
原点纬度	0°
南标准纬线	北纬 25°
北标准纬线	北纬 47°
假东	0 m
假北	0 m
单位	m

2.4 总体思路框架

土壤类型制图与更新工作的总体思路是，以二普土壤图为基础，结合本次新的土壤调查资料和数字高程模型、遥感影像等成土环境因素图层数据，开展制图与更新，继承和发展二普成果，形成本次普查的各级土壤类型图。

二普土壤图，无疑是宝贵的历史调查成果，代表了八十年代土壤科学和技术发展的最好水平。然而，对于现阶段社会经济建设对土壤信息的应用需求而言，二普土壤图存在五个主要问题亟待解决：第一，约有 200 个县缺失县级土种图；第二，约有 300 个县土壤类型已发生了变化，变化的原因有很多，各种自然和人为成土因素的变化都可能引起土壤类型的变化，其中最主要的是土地利用的变化；第三，土壤类型错误；第四，同土异名、异土同名和分类标准不一致；第五，图斑边界勾绘偏差和图幅之间接边偏差（图 2-1）。

对于缺失土种图的问题，采用数字土壤制图或结合遥感勾绘技术解决；对于土壤类型变化和错误的问题，采用外业土壤图校核与数字土壤制图和遥感勾绘结合的方法解决；对于分类不一致问题，通过土壤分类专家对全国县级土种进行梳理和标准化解决；对于图斑边界勾绘偏差和图幅之间接边偏差问题，需要室内和室外工作相结合把土壤图斑边界线叠加在高分辨率数字高程模型、遥感影像、土地利用现状和母质图上，对丘陵山区室内容易纠正偏差，对平原地区通常还需要结合野外踏勘和挖掘剖面（打土钻）检查进行纠偏。通过这些途径，对二普县级、省级、国家级土壤图进行制图更新，生成本次普查的县级、省级和国家级土壤图。

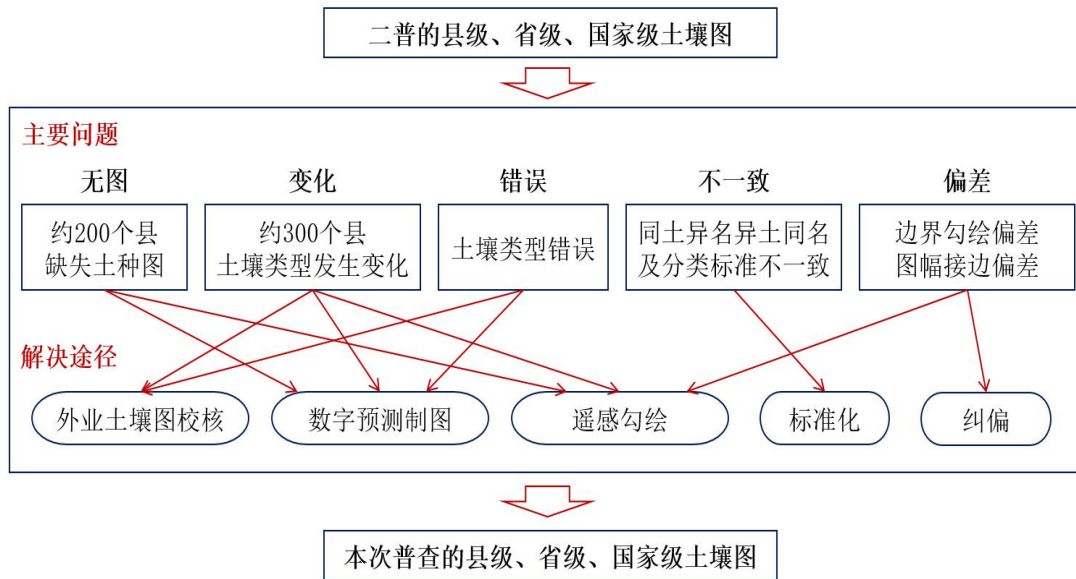


图 2-1 二普土壤图的问题与三普土壤图的生成

2.5 组织实施

土壤类型制图工作涉及的外业与内业流程繁杂、专业性和技术交叉性强。在国家层面，全国土壤普查办外业工作组会同外业技术组和平台技术组，分区指导省级土壤普查办组织土壤类型鉴定与制图更新工作，组织审核土壤类型鉴定和制图更新结果。外业技术组负责牵头，主要从第三次全国土壤普查专家技术指导组成员中，遴选实质参加过二普土壤制图的专家和土壤制图领域骨干，负责指导、监督和审核验收各省土壤类型制图更新工作，组织解决土壤制图中遇到的专业技术问题。

在省级层面，省级土壤普查办组织基础数据准备、土壤类型鉴定，开展土壤类型制图更新工作。主要从省级专家技术指导组中遴选土壤类型制图专家，建立专业队伍，负责省级、县级土壤类型制图工作。县级及以下土壤普查办和农业、土肥部门积极支持和配合，包括组织力量收集整理近四十年土地利用变化、土壤改良、土地平整、新增耕地等农田建设方面的数据资料等。对于部分缺少土壤调查与制图方面专业技术人员的省级区域（尤其是西部），可由省级土壤普查办向全国土壤普查办提出申请，协调东部和中部技术力量进行支援。

国家级和省级专家都应接受统一的《土壤类型图编制技术规范（试行）》培训。经过系统培训和实操学习后，在统一规范下完成各级土壤类型制图工作。

土壤类型制图更新工作，与剖面布点、外业调查、土壤分类校核等密切相关和衔接。在组织实施中，一定要坚持剖面布点、外业调查、土壤分类校核与土壤类型制图各项工作全链

条统筹考虑，一体实施，防止脱节。

3 数据准备

3.1 土壤数据

3.1.1 剖面调查及土壤图野外校核结果

(1) 剖面调查数据

土壤剖面调查数据包括每个剖面样点的坐标位置、成土环境和土壤类型分类鉴定信息。

表 3-1 列出了每个土壤剖面的数据信息。

表 3-1 土壤剖面的调查数据信息

坐标位置	成土环境	土壤类型	
经度、纬度、采集地点（省、市、县区、乡镇、行政村）等	气候、母岩母质、地形地貌、侵蚀状况、土地利用类型、植被类型、种植制度、施肥管理、农田建设情况等	土壤发生分类： 土纲、亚纲、土类、亚类、土属、土种的类型名称和编号	土壤系统分类： 土纲、亚纲、土类、亚类、土族的类型名称和编号

(2) 土壤图野外校核结果

土壤图野外校核，是以土壤剖面调查为依托对二普土壤图图斑进行校核，包括土壤类型、图斑边界和图斑纯度的校核，目的是为二普土壤图更新提供调查资料基础。校核结果包括图件和文档。图件是带有野外修正和标识的野外校核工作底图图件；文档是校核结果、原因分析、案例归纳的文字描述及表格等（详见《土壤外业调查与采样规范（试行）》）。

3.1.2 二普土壤剖面点

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所系统地整理了全国范围的二普剖面调查点数据，许多省份相关单位也整理了省区范围的二普剖面调查点数据。从中筛选出土壤类型没有发生变化的二普剖面点，作为本次普查土壤类型制图与更新工作可以利用的一部分样点数据。二普剖面点的数据信息见同表 3-1。

二普剖面点的地理坐标，通常是现在根据行政区划和方位等位置描述信息，结合成土环境条件如地形地貌、母质和历史土地利用等，通过空间分析确定。应对二普剖面点的位置不确定性进行评估，剔除不确定性较大的剖面点。二普剖面点的土壤类型名称存在同土异名、同名异土等分类问题，依据完善之后的国标进行标准化处理。

3.1.3 二普土壤类型图

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、扬州市耕地质量保护站、中国科学院南京土壤研究所以及各省市农业部门等单位，对二普 1:5 万县级土种图、1:50 万省级土属图和 1:100 万国家级亚类图等已做了系统地收集整理和数字化建库工作，为土壤类型制图更新工作提供了的图件资料基础。

二普土壤图在使用之前需要做三个预处理：一是将 1954 年北京坐标系通过地理坐标数学变换统一转换为 2000 国家大地坐标系；二是依据完善之后的国标进行土壤类型名称的标准化，对图斑进行归并处理；三是把土壤图斑边界线叠加在高分辨率数字高程模型、遥感影像、土地利用图和母质图上，首先在室内对图斑边界勾绘偏差和图幅接边偏差进行检查、纠偏和修正处理，然后结合野外剖面调查和土壤图图斑校核工作进一步做纠偏修正。

在县级土种制图中，若可获得使用的二普剖面点数量少或不足以覆盖主要景观条件，可考虑从土壤类型未变化区域的土种图斑提取代表性样点（非实际野外调查点），用于建模制图。提取方法有目视判别和直方图分析。目视判别是根据高分辨率遥感影像和数字高程模型，判别每个图斑的优势景观，在图斑中设置代表性样点；直方图分析是综合成土环境因素变量数据的直方图分布，识别主要环境变量数值区间，在图斑中设置代表性样点。

3.2 环境要素数据

环境变量的选取原则是：基于土壤发生学理论，考虑制图区域的土壤景观特点和成土环境条件，选取与土壤类型形成与演变相关或协同的环境因素变量。除了气候、母质、地形、植被和水文地质等常规因素之外，还需要收集：近四十年土地利用变化及变化年限；土壤改良措施、范围和时间；土地平整范围和时间；以及通过覆土、填埋方式建成的新增耕地等数据，可通过走访调查、各级农业部门收集、时空数据分析等方法获取。对于地形平缓地区，考虑使用 ≤ 10 m 分辨率的数字高程模型、详细地貌类型图或大比例尺第四级地质图、遥感动态观测与水体距离等图件。

表 3-2 列出了环境因素变量的类别、数据来源和预处理方法。县级、省级和国家土壤类型制图更新分别制备 30 m、250 m 和 1000 m 三个分辨率的环境变量图层数据集，采用 GeoTIFF 数据格式。按上述地理坐标和投影系统规定，进行坐标系、投影变换和剪裁处理。在图层制备时，应在空间范围上比实际制图范围（如县域行政边界）外扩 5 个像元的距离（例如，对于 30 m 分辨率，外扩 150 m），防止矢栅转换处理后的土壤类型图与实际制图区矢量边界（如县域边界）之间有缝隙。

表 3-2 环境因素变量、数据来源和预处理

类别	环境变量	时间	数据来源	预处理
气候	年均气温、年降水量、太阳辐射量、蒸散量、干燥度、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温等	近 30 年	WorldClim v2 气候变量图层,分辨率为 1 km; 中国气象数据共享网气象站点数据	气象站点数据空间插值处理
母质	地质岩性、母质类型	无	地貌图或大比例尺第四纪地质图(部分地区有); 中国地质调查局全国 1:50 万和 1:25 万地质图数据库	按照 2009 年修订版的岩性分类体系, 分类归并
地形	高程、坡度、坡向、剖面曲率、平面曲率、地形湿度指数、径流强度指数等	无	国家基础地理信息中心全国 1:25 万、1:5 万数字高程模型 (DEM); SRTM DEM 90 m; ASTER GDEM 30 m; ALOS DEM 12 m	去噪、填洼等预处理和数字地形分析
植被	植被类型、归一化植被指数	近 10 年	中国科学院植物研究所 2020 年制作发布的 1:100 万中国植被类型图; MODIS 250 m、TM/ETM/OLI 30 m、Sentinel-2 10 m/20 m 的归一化植被指数数据	无
水文地质	地下水类型、埋深	无	中国地质科学院水文地质环境地质研究所 1:25 万水文地质图	无
人类活动	土地利用现状及变化、种植制度、土壤改良、土地整理等	近 40 年	1:5 万第二次和第三次国土调查的土地利用数据; 中国科学院地理科学与资源研究所的 30 m 分辨率的时序土地利用数据; MODIS、TM 和 Sentinel 系列等遥感数据	走访调查、时空数据分析、各级农业部门收集等
综合地表环境	可见光、近红外波段、遥感衍生变量	近 10 年	MODIS、TM/ETM/OLI 和 Sentinel 遥感数据	辐射和几何校正; 遥感信息提取

4 县级土壤类型制图

4.1 有土种图的情形

4.1.1 基本思路

在有县级土种图时,主要针对土壤类型发生变化和土壤类型错误等问题对县级土种图进行更新。思路是,采用数字制图和遥感勾绘技术,把剖面调查及土壤图野外校核结果,从点到面推理到整个县域范围,识别变化的土壤类型及边界,并与县级土种图进行叠加分析,实现更新。

其它可利用的样本信息包括:

- (1) 本县域: 土壤类型未变化区域的二普剖面点、从土壤类型未变化区域的二普土种

图斑提取的代表性样点（若二普剖面点数量多且覆盖主要景观类型，则不需要）。

（2）土壤景观相似的邻近县域：本次剖面调查及土壤图野外校核结果、土壤类型未变化区域的二普剖面点、从土壤类型未变化区域的二普土种图斑提取的代表性样点。

（3）基于专家经验的虚拟样本点。某些偏远或可达性差、缺少调查样点的区域，经验丰富的土壤调查专家可根据高分辨率遥感影像和数字高程模型较为肯定地判别某些特定景观（如沙地等）的土壤类型，可设置虚拟样本点。

4.1.2 更新内容

更新主要涉及三个内容：土壤类型、图斑边界和图斑纯度。

土壤类型发生变化的原因很多，各种自然和人为成土因素的变化都可能引起土壤类型的变化。其中最主要的是土地利用的变化，如旱改水、水改旱、水改园、垦荒等，以及农田建设措施，如土壤改良、矿区复垦、坑塘填埋等。还有气候变化、地下水位下降或自然的土壤发生过程，如腐殖质积累迁移、脱盐过程等。

土壤类型之间的边界，很少是截然分明的一条线，大多是具有一定宽度的过渡带。确定土壤边界的过程，本质上是理解变化着的环境因素如何综合影响土壤形成的过程，重点抓地形地貌、母质、植被、土地利用等在地理景观上的明显变异点，这是确定土壤边界的依据，也是遥感勾绘技术和土壤景观模型识别土壤类型边界的基础。例如，地形控制着地表水热条件的再分配，影响土壤形成过程，不同土壤类型界线，常随地形的变化而变化。水田的边界通常就是水稻土与其它土壤类型的边界，但利用方式之间边界并不一定是土壤类型边界，例如，生态公益林改为果园，土种没变。在自然植被保存好的地方，植被类型结合一定生境条件，可判断土壤边界，特别是一些指示性植物，比如指示盐碱土的盐蓬、碱蓬和枸杞等，指示酸性的马尾松、映山红、茶树等，指示褐土的酸枣和荆条等。

土壤制图单元可以是以某一主要土种为代表的优势土壤单元，也可以是组合制图单元、复区（大范围小比例尺时称为复域）制图单元，三者说明如下。

优势土壤单元：其图斑内的土壤以某一土壤类型占绝对优势，制图单元的名称就以这个占优势的土壤类型名称命名，其所包含的土壤大多数与主要土壤在性质上相似；非类似的土壤类型，如果与命名土壤性质上差异不大，最多不能超过 25%，与命名土壤性质完全不同的土壤最多不能超过 10%。

组合制图单元：主要用于当一个自然地理景观单元内有两个以上的非类似的土壤类型有规律组合出现，而由于制图比例尺不能单独表示时。命名组合单元的土壤类型所占的比例不

小于 75%，可以是两个或三个，一般按其比重依次排列，面积占比最多的放在第一位。

复合制图单元：主要用于土壤类型呈交叉分布的情况，其与组合制图单元的含义类似。

4.1.3 技术步骤

(1) 据县土种志、土壤图、农业生产和农田建设资料等，了解制图区自然地理和耕作历史与现状，理解主要成土过程及其与土壤类型之间发生关系，熟悉土种的分类诊断指标和成土环境条件。

(2) 准备环境因素变量：母质岩性、地貌类型、高程、坡度、坡向、坡位、平面曲率、剖面曲率、地形湿度指数、遥感光谱、植被指数、轮作方式、近四十年土地利用变化及变化年限、土壤改良、土地平整、复垦等图层数据。对于地形起伏较小的平缓地区，关键是环境变量的使用，应挖掘与土壤类型变异空间协同的环境变量，使用高分辨率（≤10 m）数字高程模型、地貌类型或大比例尺第四纪地质图、遥感影像及衍生变量（波段、指数、地表动态反馈变量）、与水体距离等。

(3) 准备土壤类型案例。表 4-1 列出了可利用的样本数据，包括样点和图斑校核结果两种形式。其中，样点可视为特定位置上土壤类型与成土环境之间关系的案例，记为第 1 类案例，即成土环境条件 e_1 发育土壤类型 A，数据形式上可表示为 $\{e_{11}, e_{12}, \dots, e_{1n}; A\}$ ， n 表示环境变量个数， e_{1n} 表示第 n 个环境变量的数值。图斑校核结果可视为特定制图单元上土壤类型演化与成土环境条件变化之间关系的案例，记为第 2 类案例，即二普土壤类型 B 在环境条件 e_2 （除一般成土因素之外，还包含某些关键成土因素的变化及年限，如旱改水 20 年等）下现在变成土壤类型 C，数据形式上可表示为 $\{B; e_{21}, e_{22}, \dots, e_{2n}; C\}$ 。

表 4-1 可利用的土壤样本数据

区域	土壤样本数据
本县域	剖面调查点
	土壤图野外校核结果
	土壤类型未变化区域的二普剖面点
	土壤类型未变化区域从二普图斑提取的代表性样点（若二普剖面点多且覆盖主要土壤景观则不需要）
邻近县域	剖面调查点
	土壤图野外校核结果
	土壤类型未变化区域的二普剖面点
	土壤类型未变化区域从二普图斑提取的代表性样点（若二普剖面点多且覆盖主要土壤景观则不需要）

(4) 建立推理模型。使用 R 软件，分别基于每类案例建立相似推测模型和随机森林分类模型，确定模型参数。相似推测模型是根据成土环境条件相似程度进行土壤类型推测，随机森林可理解为由多个分类决策树组成的模型。

(5) 进行推理制图。将环境变量图层输入第 1 类案例的模型，进行空间推理，根据推理结果的不确定性大小对两个模型的结果进行集成，生成一幅土种分布图(与二普图斑叠加，可揭示图斑纯度信息)，栅格格式。类似地，将二普土壤图和环境变量图层输入第 2 类案例的模型，根据推理结果的不确定性对两个模型结果集成，生成一幅土种分布图(主要用于揭示发生变化的土壤类型及边界)，栅格格式。

(6) 采用 3×3 平滑窗口对土种分布栅格图层进行平滑滤波处理，去除那些与周围土壤类型不同、面积微小的、无意义的独立像元或多个聚合像元，突出土壤类型变异规律，净化图面。用 GIS 软件的矢栅转换工具 Raster to Polygon，将平滑之后的栅格图层转为多边形矢量图层，再用平滑工具 Simplify Polygon、Smooth Polygon、Simplify Line 等，对多边形图斑边界线进行简化与平滑，同时消除矢量化产生的细碎图斑(与邻近面积大的图斑合并)。

(7) 将处理后的土种矢量图与二普土种图进行叠加，更新发生了变化的土壤类型和图斑边界，增加图斑纯度信息，生成最终的土种分布图，最小上图单元控制在图上 0.5 cm²，实地面积 0.125 km²。

4.2 无土种图但有粗略土属图的情形

4.2.1 基本思路

在缺失县级土种图时，采用数字制图和遥感勾绘技术，基于剖面调查样点，建立土壤类型与成土环境因素之间的定量关系，识别土种分布边界，生成土种分布图。

无土种图的县域，通常有较为粗略的土属图。对于数字制图，土属图可作为一个分区变量，在各区内进行土种空间预测，识别土种边界，亦可将土属图作为一个类型变量，参与建模制图；对于遥感勾绘，可据土属图斑内景观差异，结合剖面调查和路线踏勘，对土属图斑进行空间分解，识别土种分布边界。遥感勾绘主要适用于山地丘陵等地形起伏较大、环境梯度差异明显的地区。

其它可利用的样点信息包括：

- (1) 本县域：土壤类型未变化区域的二普剖面点。
- (2) 土壤景观相似的邻近县域：本次剖面调查点、土壤类型未变化区域的二普剖面点、从土壤类型未变化区域的二普土种图斑提取的代表性样点。
- (3) 基于专家经验的虚拟样本点。

4.2.2 技术步骤

(1) 和 (2) 两个步骤：同 4.1.3 中 (1) 和 (2)。

(3) 准备土壤样点，包括本县域和邻近县域的剖面调查样点、土壤类型未变化区域的二普剖面点、以及邻近县域的从土壤类型未变化区域的二普土种图斑提取的代表性样点。

(4) 根据土属类型对县域进行分区，对于每个分区，基于样点建立土壤类型与地形、母质、植被、土地利用、遥感光谱等环境变量之间的相似推测模型和随机森林分类模型；若样点数量较少，不宜分区时，则把土属类型分布图作为一个类型变量，直接参与建模；然后把环境变量作为模型输入，生成土种空间分布图，栅格格式。

(5) 步骤，同 4.1.3 中 (6)。

(6) 对样点缺少的山地丘陵地区，以遥感勾绘为主。这类地区主导土壤空间变异的环境因素通常是梯度变化较大且易观测的地形和植被，可在遥感影像与数字高程模型的空间叠加图上勾绘土壤类型图斑边界。可据土属图斑内景观差异，结合剖面调查和路线踏勘，对土属图斑进行分解，识别土种分布边界。最终生成的土种分布图，最小上图单元控制在图上 0.5 cm^2 ，实地面积 0.125 km^2 。

5 省级土壤类型制图

5.1 基本思路

对于发生分类，在有 1:50 万二普土属图的省域，采用数字制图和遥感勾绘技术，把剖面调查及所在图斑野外校核结果，从点到面推理到整个省域范围，识别变化的土属类型及边界，并与二普土属图进行叠加分析，实现更新。在无 1:50 万土属图的省域，往往有粗略亚类图，在亚类图基础上结合数字制图和遥感勾绘技术进行图斑分解，识别土属边界，当然也可通过合并全省所有土种图，先进行制图综合生成二普土属图，再利用剖面调查及土壤图野外校核结果对其进行更新，生成省级土属图。

对于系统分类，采用数字制图和遥感勾绘技术，基于调查剖面样点，建立土族类型与成土环境因素之间的定量关系，识别土族边界，生成土族分布图。

其它可以利用的样本信息：

(1) 本省域：土壤类型未变化区域的二普剖面点。

(2) 省界附近（30 km 距离范围）邻省：本次调查剖面及所在图斑野外校核结果、土壤类型未变化区域的二普剖面点。

(3) 基于专家经验的虚拟样本点。

5.2 土属制图（发生分类）

5.2.1 有土属图的情形

在有 1:50 万省级二普土属图的情形，进行土属图更新，涉及土壤类型、图斑边界和图斑纯度的更新。主要技术步骤如下：

(1) 据省土种志和土壤图等资料，了解省域自然地理概况和农业耕作历史与现状，理解成土过程及其与土壤类型的发生关系，熟悉不同土属的分类诊断特征。

(2) 准备环境变量：年均气温、年降水量、母质岩性、地貌类型、高程、坡度、坡向、剖面曲率、地形湿度指数、植被指数、地下水、种植制度、遥感光谱、近四十年土地利用变化及变化年限、土壤改良、土地平整、以及复垦等。对于地形起伏较小的平缓地区，关键是环境变量的使用，应挖掘与土壤类型变异空间协同的环境变量，使用高分辨率 ($\leq 10\text{ m}$) 数字高程模型、地貌类型或大比例尺第四纪地质图、遥感影像及衍生变量（波段、指数、地表动态反馈变量）、与水体距离等。

(3) 准备土壤类型案例。类似县级土种图更新，归纳为两类案例样本。第 1 类案例来自调查剖面点，即成土环境条件 e_1 发育土壤类型 A，数据形式上可表示为 $\{e_{11}, e_{12}, \dots, e_{1n}; A\}$ ， n 表示环境变量个数， e_{1n} 表示第 n 个环境变量的数值。第 2 类案例来自图斑校核结果，即二普土壤类型 B 在环境条件 e_2 （除一般成土因素之外，还包含某些关键成土因素的变化及年限，如旱改水 20 年等）下现在变成土壤类型 C，数据形式上可表示为 $\{B; e_{21}, e_{22}, \dots, e_{2n}; C\}$ 。

(4) 建立推理模型。使用 R 软件，分别基于每类案例建立相似推测模型和随机森林分类模型，确定模型参数。

(5) 进行推理制图。将环境变量图层输入第 1 类案例的模型，进行空间推理，根据推理结果的不确定性大小对两个模型的结果进行集成，生成一幅土属分布图（与二普图斑叠加，可揭示图斑纯度信息），栅格格式。类似地，将二普土壤图和环境变量图层输入第 2 类案例的模型，根据不确定性对两个模型结果集成，生成一幅土属分布图（主要用于揭示发生变化的土壤类型和边界），栅格格式。

(6) 采用 3×3 平滑窗口对土属分布栅格图层进行平滑滤波，去除那些与周围土壤类型不同、面积微小的、无意义的独立像元或多个聚合像元，突出土壤变异规律，净化图面。用 GIS 软件的矢栅转换工具 Raster to Polygon，将平滑之后的栅格图层转为多边形矢量图层，再用平滑工具 Simplify Polygon、Smooth Polygon、Simplify Line 等，对多边形图斑边界线进行简化与平滑，同时消除矢量化产生的细碎图斑（与邻近面积大的图斑合并）。

(7) 将处理后的土属矢量图与二普土属图进行叠加，更新发生了变化的土属类型和图斑边界，增加图斑纯度信息，生成最终的土属分布图，最小上图单元控制在图上 0.2 cm^2 ，

实地面积 5 km²。

5.2.2 无土属图但有粗略亚类图的情形

在缺失 1:50 万省级二普土属图的省域，往往有粗略的（如 1:100 万）土壤亚类图。对于这种情形，进行土属制图的主要技术步骤如下：

（1）和（2）两个步骤：同 5.2.1 中（1）和（2）。

（3）准备土壤样点，包括本省域和邻省（省界 30 km 距离范围内）的剖面调查样点、土壤类型未变化区域的二普剖面点。

（4）根据粗略亚类图的亚类类型对省域进行分区，对于每个分区，基于样点建立土属类型与地形、母质、植被、土地利用、遥感光谱等环境变量之间的相似推测模型和随机森林分类模型；若样点数量较少，不宜分区时，则把亚类分布图作为一个类型变量，直接参与建模。然后把环境变量作为模型输入，根据不确定性对两个模型结果集成，生成土属分布图，栅格格式。

（5）步骤，同 5.2.1 中（6）。

（6）对样点缺少的山地丘陵地区，以遥感勾绘为主，将遥感影像与数字高程模型和母岩母质图空间叠加，据亚类图斑内景观差异，结合剖面调查和路线踏勘，对亚类图斑进行分解，勾绘土属分布边界。最终生成的土属分布图，最小上图单元控制在图上 0.2 cm²，实地面积 5 km²。

5.3 土族制图（系统分类）

在省级，除了土壤发生分类的土属制图，也进行土壤系统分类的土族制图。主要技术步骤如下：

（1）据省土种志和土壤图等，了解省域自然地理和耕作历史与现状，理解成土环境、成土过程及其与土壤类型的发生关系，熟悉每个土族的分类诊断特征指标。

（2）准备环境变量，同 5.2.1 中步骤（2）。

（3）准备土壤样点，包括本省域和邻省（省界 30 km 距离范围内）的剖面调查样点、土壤类型未变化区域的二普剖面点。

（4）建立推理模型。使用 R 软件，基于样点建立土族类型与气候、地形、母岩母质、植被、土地利用、遥感光谱等环境变量之间的相似推测模型和随机森林分类模型，确定模型参数。

（5）进行推理制图。将环境因素变量图层输入模型，推测每个像元位置的土族类型，根据推理结果的不确定性大小对两个模型结果集成，生成土族分布图，栅格格式。

(6) 采用 3×3 平滑窗口对土族分布栅格图层进行平滑滤波, 去除那些与周围土壤类型不同、面积微小的、无意义的独立像元或多个聚合像元, 突出土壤变异规律, 净化图面。用 GIS 软件的矢栅转换工具 Raster to Polygon, 将平滑之后的栅格图层转为多边形矢量图层, 再用平滑工具 Simplify Polygon、Smooth Polygon、Simplify Line 等, 对多边形图斑边界线进行简化与平滑, 同时消除矢量化产生的细碎图斑(与邻近面积大的图斑合并)。生成最终的土族分布图, 最小上图单元控制在图上 0.2 cm^2 , 实地面积 5 km^2 。

(7) 对样点缺少的山地丘陵地区, 以遥感勾绘为主, 将遥感影像与数字高程模型和母岩母质图空间叠加, 据景观差异, 结合剖面调查和路线踏勘, 勾绘土族图斑边界。

6 国家级土壤类型制图

6.1 基本思路

对于发生分类, 已有 1:100 万二普全国土壤亚类图, 采用数字制图和遥感勾绘技术, 把剖面调查及所在图斑野外校核结果, 从点到面推理到全国范围, 识别变化的亚类类型及边界, 并与二普亚类图进行叠加分析, 实现更新。对于系统分类, 采用数字制图和遥感勾绘技术, 基于剖面调查建立土壤亚类与成土环境因素之间的定量关系, 识别亚类边界, 生成国家级土壤亚类分布图。

其它可以利用的样点信息:

- (1) 全国范围土壤类型未变化区域的二普剖面点;
- (2) 基于专家经验的虚拟样本点。

6.2 亚类制图(发生分类)

对 1:100 万二普全国土壤亚类图进行更新, 涉及土壤类型、图斑边界和图斑纯度的更新。主要技术步骤如下:

(1) 据《中国土壤》和《中国土壤地理》等, 了解我国自然地理概况和农业耕作历史与现状, 理解成土环境、成土过程的地理分异及其与土壤发生关系, 熟悉土壤亚类的分类诊断特征指标。

(2) 准备环境变量, 包括年均气温、年降水量、母质岩性、地貌类型、高程、坡度、坡向、剖面曲率、地形湿度指数、植被指数、地下水、种植制度、遥感光谱、近四十年土地利用变化及变化年限、土壤改良、土地平整、以及复垦等。

(3) 准备土壤类型案例。类似县级和省级土壤图更新, 归纳为两类案例样本, 建立国家范围的案例库。第 1 类案例来自调查剖面点, 即成土环境条件 e_1 发育土壤类型 A, 数据形式上可表示为 $\{e_{11}, e_{12}, \dots, e_{1n}; A\}$, n 表示环境变量个数, e_{1n} 表示第 n 个环境变量的数值。

第 2 类案例来自图斑校核结果，即二普土壤类型 B 在环境条件 e_2 （除一般成土因素之外，还包含某些关键成土因素的变化及年限，如旱改水 20 年等）下现在变成土壤类型 C，数据形式上可表示为 $\{B; e_{21}, e_{22}, \dots, e_{2n}; C\}$ 。

(4) 建立推理模型。使用 R 软件，分别基于每类案例建立相似推测模型和随机森林分类模型，确定模型参数。

(5) 进行推理制图。将环境变量图层输入第 1 类案例的模型，进行空间推理，根据推理结果的不确定性大小对两个模型的结果进行集成，生成一幅亚类分布图（与二普图斑叠加，可揭示图斑纯度信息），栅格格式。类似地，将把二普亚类图和环境变量图层输入第 2 类案例的模型，根据不确定性对两个模型结果集成，生成一幅亚类分布图（主要用于揭示发生变化的土壤亚类及边界），栅格格式。

(6) 采用 3×3 平滑窗口对亚类分布栅格图层进行平滑滤波，去除那些与周围土壤类型不同、面积微小的、无意义的独立像元或多个聚合像元，突出土壤变异规律，净化图面。用 GIS 软件的矢栅转换工具 Raster to Polygon，将平滑之后的栅格图层转为多边形矢量图层，再用平滑工具 Simplify Polygon、Smooth Polygon、Simplify Line 等，对多边形图斑边界线进行简化与平滑，同时消除矢量化产生的细碎图斑（与邻近面积大的图斑合并）。

(7) 将处理后的亚类矢量图与二普土属图进行叠加，更新发生了变化的亚类类型和图斑边界，增加图斑纯度信息，生成最终的亚类分布图，最小上图单元控制在图上 0.2 cm^2 ，实地面积 20 km^2 。

6.3 亚类制图（系统分类）

在国家级，除了土壤发生分类的亚类制图，也进行土壤系统分类的亚类制图。主要技术步骤如下：

(1) 和 (2) 步骤，同 6.2 中 (1) 和 (2)。

(3) 准备土壤样点，包括全国范围的剖面调查样点、土壤类型未变化区域的二普剖面点、专家经验虚拟样本点。

(4) 建立推理模型。使用 R 软件，基于样点建立土壤亚类与气候、地形、母岩母质、植被、土地利用、遥感光谱等环境变量之间的相似推测模型和随机森林分类模型，确定模型参数。

(5) 进行推理制图。将环境因素变量图层输入模型，推测每个像元位置的亚类类型，根据推理结果的不确定性大小对两个模型结果集成，生成亚类分布图，栅格格式。

(6) 步骤，同 6.2 中 (6)。

(7) 对样点缺少的山地丘陵地区，以遥感勾绘为主，将遥感影像与数字高程模型和母岩母质图空间叠加，据景观差异，结合剖面调查和路线踏勘，勾绘亚类图斑边界。最终生成的亚类分布图，最小上图单元控制在图上 0.2 cm^2 ，实地面积 20 km^2 。

7 土壤类型专题图设计表达

土壤类型专题图设计表达的原则要求：

(1) 在主题内容、背景要素、图例、色彩、比例尺等设计上要统一、标准化，可形成风格一致的土壤类型专题图集；

(2) 在遵循地图通用国家标准的基础上，应主题突出，清晰易读，美观大方，力求达到浅而素雅、深而明快的可视效果，有助于认识各类土壤分布及其与成土环境之间的关系以及进行面积量算统计，保证成图质量。

7.1 背景要素

背景要素包括地形、水系、居民点、交通线和境界线等。一般而言，大比例尺土壤图的背景要素表示详细些，小比例尺应概略些，专题内容详细程度大时背景要素要相对减少，减轻土壤图的负载量，参照《第三次全国国土调查技术规程》(TD/T 1055-2019) 进行背景要素符号样式的设计和绘制。

(1) 地形

1:5 万县级土壤类型图，用等高线详细反映制图区域的地形特点，其等高距由地貌类型和等高线疏密程度而定，一般平原 20-50 m，丘陵 50-100 m，山区 100-200 m。1:50 万省级土壤类型图和 1:100 万国家土壤类型图上，类型数量多，图斑密度大，不用等高线表示地形背景，而用山线区分山地土壤，在山脉表面注记山峰符号、山头名称及海拔高度，参考国标《基础地理信息 1:10000 地形要素数据规范》(GB/T 33462-2016) 进行要素规范化。

(2) 水系

湖泊、水库、灌渠应尽可能在土壤图上标识。在 1:50 万省级土壤类型图上，河流应表示到二、三级支流，对再次一级支流根据河网密度的差异确定取舍程度。对 1:100 万国家土壤类型图上，应表示大型流域水系的干流和二级支流。

(3) 居民点

1:5 万县级土壤类型图上，居民点应表示到自然村；1:50 万省级土壤类型图上，居民点应表示到乡镇级别；1:100 万国家土壤类型图上，居民点应表示到县级。

(4) 道路

1:5 万县级土壤类型图上，应表示全部道路；在 1:50 万省级土壤类型图和 1:100 万国家

土壤类型图上，应表示全部铁路和主要公路。

(5) 境界线

参照自然资源部地图技术审查中心提供的标准地图，正确表示县界、市界、省界、国界，反映土壤的行政归属，便于统计不同行政区域土壤资源情况，指导农业生产和宏观决策。国界的表示，涉及国家领土主权，应清楚表示敏感地区和海洋岛屿的归属。

7.2 色彩设计

土壤类型图色彩设计的原则：

(1) 突出主题内容。制图区域宜用明色相，邻区用浅灰色相，以邻区底色为背景衬托制图区域。

(2) 反映土壤类型的分类分级系统和制图区域土壤类型的空间分异规律。

(3) 模仿自然色。反映土壤类型本身的颜色，如土壤发生分类的红壤，土壤系统分类的富铁土和铁铝土等。

(4) 尽量使用习惯色。有些土壤有长久以来的习惯用色，如盐土用紫色、水稻土用蓝色、潜育土用深蓝色，色彩定义中应尽可能使用。

(5) 高寒地区土壤。以地势和气温设计颜色，一般用冷色。

这些原则只是给出各种土壤类型的基本色相，在具体设计色样时，应反复尝试调整，达到和谐美观的效果。按照国标《土壤制图 1:25000 1:50000 1:100000 中国土壤图用色和图例规范》（GB/T 36501-2018）进行规范化。

7.3 图例制作

不同比例尺，图例内容不同。1:5 万县级土壤类型图，要用代号、颜色和几何图形表示制图单元，还要包括地形、地下水位、农业利用等内容，不仅反映土壤类型分布规律，还反映与土壤形成分布有关的自然因素和农业利用状况。1:50 万省级和 1:100 万国家土壤类型图，图例较为简单，只标出制图单位的符号或颜色、土壤名称和使用的土壤分类系统等，可用颜色和数字表明主要土壤类型。图例编排顺序，应按照分类系统中各级土壤类型的检索顺序排布。

7.4 图面配置

图面配置包括主图内容、图名、图例、比例尺、编图单位、人员、时间、地图投影、专题内容与背景要素关系、图廓设计等。

主图应占有突出位置和较大的图面空间，增强主图区域的视觉对比度，主图方向一般为上北下南。

图名应体现专题的区域和主题信息，如蒙城县土种分布图等，多位于图幅上方中央，以横排为主。

图例集中放在一起，以正确表示土壤类型分布规律和图幅内容清晰为前提，按土壤分类系统各类型检索顺序布置。

制图时间和单位等文字说明，一般在图幅右下方或外图廓的右下方。

比例尺一般在图名或图例的下方，形式可以是直线或数字等。

图廓多以直线表示，一般内细外粗常有经纬度坐标注记。

8 验证评价与质量控制

8.1 验证评价

(1) 基于样点的验证评价

验证人员：验证区域的土壤类型制图专家。

技术方法：样点数量较少时（ ≤ 50 ），采用留一交叉验证方法；样点数量较多时（ > 50 ），采用 10 折交叉验证方法。根据样点土壤类型的预测值和观测值，建立混淆矩阵，计算生产者精度、用户精度、总精度和 Kappa 系数等误差指标，评价制图结果的准确性。

(2) 野外路线踏勘验证

验证人员：第三方土壤调查专家（要求：未参与验证区域的制图工作）。

技术方法：根据制图区土壤景观格局，设计至少 3 条踏勘路线，对土壤类型发生了变化的区域有所侧重，要求沿线土壤景观有明显梯度变化，按景观部位或固定距离预先设置一系列勘验点。沿途观察气候、母质、地形、植被、水文地质等与土壤的关系，土壤调查专家现场判别勘验点的土壤类型，与生成的土壤类型分布图进行对比，计算路线勘验正确率（类型制图正确的勘验点数量与勘验点总数的比值）。

8.2 质量控制

土壤制图的质量与许多因素有关，包括制图者的工作态度、对具体区域土壤类型时空变异的认识水平、土壤景观特点、剖面调查点数量与分布、环境因素变量、模型算法、空间尺度等。原则上，第三方野外踏勘验证的准确度，县级土种制图结果应不低于 70%，省级土属或土族制图结果应不低于 80%，国家级土壤亚类制图结果应不低于 90%。采用三层检查验收制度进行质量控制，不符合质量要求的统一返工。

第一层，（省级）制图人员自检。制图人员对整个制图过程中所有环节工作是否符合技术规程规范的要求进行自我检查，发现问题和不足，及时改进，以高度的责任感，努力提高制图质量，精益求精。

第二层,从国家级专家技术指导组抽调相关土壤制图专家在各省的制图过程中进行抽查性监督检查,并提交监督检查报告。主要检查项目见表 8-1。

第三层,全国土壤普查办外业工作组会同外业技术组和平台技术组组织对土壤类型制图结果进行最终的审查验收。重点检查制图成果图是否达到精度和质量要求。对于制图精度较差、质量评价较低的工作,应积极研讨改进途径,直至达到质控线。若制图各环节都已尽力做到最好仍不能达到质控线,应提交详细原因分析报告,并由分区负责专家对制图过程和结果进行审核确认。审查验收合格才能签字通过。

表 8-1 土壤类型制图质量监督检查项

序号	质量检查项	检查内容
1	制图人员	是否培训后持证上岗;对制图区域土壤景观关系是否熟悉,对土壤类型变异是否有深入理解;制图工作态度是否端正、认真
2	制图过程	检查制图过程中各个环节的处理记录,是否按照统一的技术规程规范开展工作
3	比例尺/分辨率	土壤类型栅格图的分辨率是否与目标分辨率一致,反映了该分辨率下土壤类型空间变异;土壤类型矢量图详细程度包括图斑数量和最小上图单元面积等是否符合目标比例尺要求
4	坐标系和投影	是否符合技术规范的规定
5	土壤类型分布与图斑边界	土壤类型分布是否与地貌、水文、植被、土地利用等空间变异相符,是否正确反映土壤空间分布规律;图斑边界是否有偏差
6	土壤类型名称	土壤类型名称的正确性以及土壤分类系统的一致性
7	数据缺失情况	是否有栅格像元空洞或图斑缺失遗漏的情况
8	制图结果验证	制图结果验证方法是否符合规范要求,路线与勘验点设计是否合理,野外路线踏勘验证的准确度是否达到质控线
9	接边偏差	不同图幅之间土壤类型和图斑是否无缝拼接
10	土壤类型专题图	专题图设计与表达是否统一、符合规范

附件 6

土壤外业调查与采样技术规范

(试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2022 年 7 月

目 次

1 前言.....	175
2 编制说明.....	175
2.1 普查对象.....	175
2.2 规范性引用文件.....	175
2.3 技术路线.....	177
3 野外调查的前期准备.....	178
3.1 工作准备.....	178
3.1.1 工作计划制定.....	178
3.1.2 调查队伍组建.....	178
3.1.3 外业调查培训.....	178
3.1.4 调查时间确定.....	179
3.2 调查物资筹备.....	179
3.2.1 图件文献类.....	179
3.2.2 摄录装备类.....	180
3.2.3 采样工具类.....	180
3.2.4 速测仪器类.....	181
3.2.5 辅助材料类.....	181
3.2.6 生活保障类.....	181
3.2.7 集成软件类.....	181
4 预设样点的外业定位.....	181
4.1 样点定位.....	181
4.2 样点局地代表性核查.....	181
4.3 预设样点的现场调整.....	182
5 成土环境与土壤利用.....	182
5.1 样点基本信息.....	183
5.1.1 基本信息.....	183
5.1.2 地表特征.....	183

5.2 成土环境.....	187
5.2.1 气候.....	187
5.2.2 地形地貌.....	187
5.2.3 母岩母质.....	189
5.2.4 植被.....	190
5.3 土壤利用.....	191
5.3.1 土地利用.....	191
5.3.2 农田建设.....	191
5.3.3 耕地利用.....	192
5.3.4 园地利用.....	194
5.3.5 林草利用.....	194
5.4 景观照片采集.....	195
6 表层土壤调查与采样.....	196
6.1 采样深度.....	196
6.2 耕层厚度观测.....	196
6.3 表层土壤混合样品采集.....	196
6.4 表层土壤容重样品采集.....	197
6.5 表层土壤水稳性大团聚体样品采集.....	198
6.6 表层土壤样品标签.....	198
6.7 表层土壤样品交接.....	198
7 剖面土壤调查与采样.....	198
7.1 剖面设置和挖掘.....	198
7.1.1 剖面设置.....	198
7.1.2 剖面挖掘.....	199
7.1.3 剖面照片拍摄.....	200
7.2 土壤发生层划分与命名.....	202
7.2.1 发生层划分.....	202
7.2.2 发生层命名.....	202
7.3 土壤剖面形态观察与记载.....	204
7.3.1 发生层性状.....	204

7.3.2 土体性状.....	214
7.3.3 土壤类型野外判断.....	215
7.3.4 土壤剖面野外评述.....	215
7.4 剖面土壤样品采集.....	215
7.4.1 土壤发生层样品采集.....	215
7.4.2 土壤发生层容重样品采集.....	216
7.4.3 土壤水稳性大团聚体样品采集.....	216
7.4.4 纸盒土壤标本采集.....	216
7.4.5 整段土壤标本采集.....	216
7.4.6 剖面样点地下水与灌溉水样品采集.....	217
7.4.7 剖面土壤样品标签与包装.....	217
7.4.8 剖面土壤样品交接.....	217
8 土壤图的野外校核.....	218
8.1 工作底图制备.....	218
8.2 图斑边界校核.....	218
8.3 图斑类型与纯度校核.....	219
8.4 校核结果分析、记述和整理提交.....	220
9 外业调查采样质量控制.....	221
9.1 调查人员培训与专家技术指导.....	221
9.2 样点定位与信息描述质量控制.....	221
9.3 外业样品采集质量控制.....	221
9.4 样品交接检查.....	221
9.5 数据提交质量控制.....	221
附表 外业调查与采样相关表格.....	222
表一 成土环境与土壤利用调查信息采集项目清单及填报说明.....	222
表二 剖面形态学调查信息采集项目清单及填报说明.....	227
表三 土壤样品交接表.....	230
表四 土壤主要发生层命名与符号标准.....	231
表五 母质类型的划分.....	233
表六 土地利用现状分类（GB/T21010-2017）.....	234

1 前言

根据《国务院关于开展第三次全国土壤普查的通知》（国发〔2022〕4号）有关要求，为全面组织和实施第三次全国土壤普查工作（以下简称“土壤三普”）中野外调查和样品采集等相关工作，制定本规范。

本规范涉及的调查流程与技术说明，具体适用于土壤三普工作中野外调查前期准备、预设样点的外业定位、成土环境与土壤利用调查、表层和剖面土壤采样、剖面形态描述、二普土壤图野外校核、样品包装与交接、全流程调查与采样质量控制等相关工作。

2 编制说明

土壤野外调查是以土壤地理学理论为指导，通过对土壤成土环境、土壤利用及土壤剖面形态调查与分析，了解土壤的基本特征、形成和演变过程，查明土壤类型及其分布规律，查清各类土壤资源的数量和质量，为土壤资源利用、改良、保护和管理提供科学依据。

为保证土壤三普野外工作全流程的规范性和可操作性，本规程对野外调查操作流程的设计、技术方法的选择、普查成果产出等进行了详细分解与说明；同时，将野外调查的技术说明与内业测试方法的选择进行了有效衔接。

2.1 普查对象

主要调查全国耕地、园地、林地、草地等农用地和部分未利用的土壤。其中，林地、草地重点调查与食物生产相关的土地，未利用地重点调查与可开垦耕地资源相关的土地，如盐碱地等。

调查土壤成土环境、土壤利用情况、土壤剖面形态、土壤类型等。

2.2 规范性引用文件

GB 19377-2003 天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标

GB/T 13923-2006 基础地理信息要素分类与代码

GB/T 17296-2009 中华人民共和国国家标准中国土壤分类与代码

GB/T 25529-2010 地理信息分类与编码规则

GB/T 32722-2016/ISO 18512:2007 土壤质量土壤样品长期和短期保存指南

GB/T 21010-2017 土地利用现状分类

GB/T 36197-2018/ISO 10381-2: 2002 土壤质量土壤采样技术指南

GB/T 36393-2018/ISO 10381-4:2003 土壤质量自然、近自然及耕作土壤调查程序指南

ISO 3166-1:2006 国家及下属地区名称代码第 1 部分：国家代码

ISO 3166-2:2007 国家及下属地区名称代码第 2 部分：国家下属地区代码

SL 190-20078 土壤侵蚀分类分级标准

中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组.
中国土壤系统分类检索(第三版)[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.

张甘霖, 王秋兵, 张凤荣, 等. 中国土壤系统分类土族和土系划分标准[J]. 土壤学报, 2013, 50(4): 826-834.

张甘霖, 李德成等. 野外土壤描述与采样手册[M]. 科学出版社, 2021.

2.3 技术路线

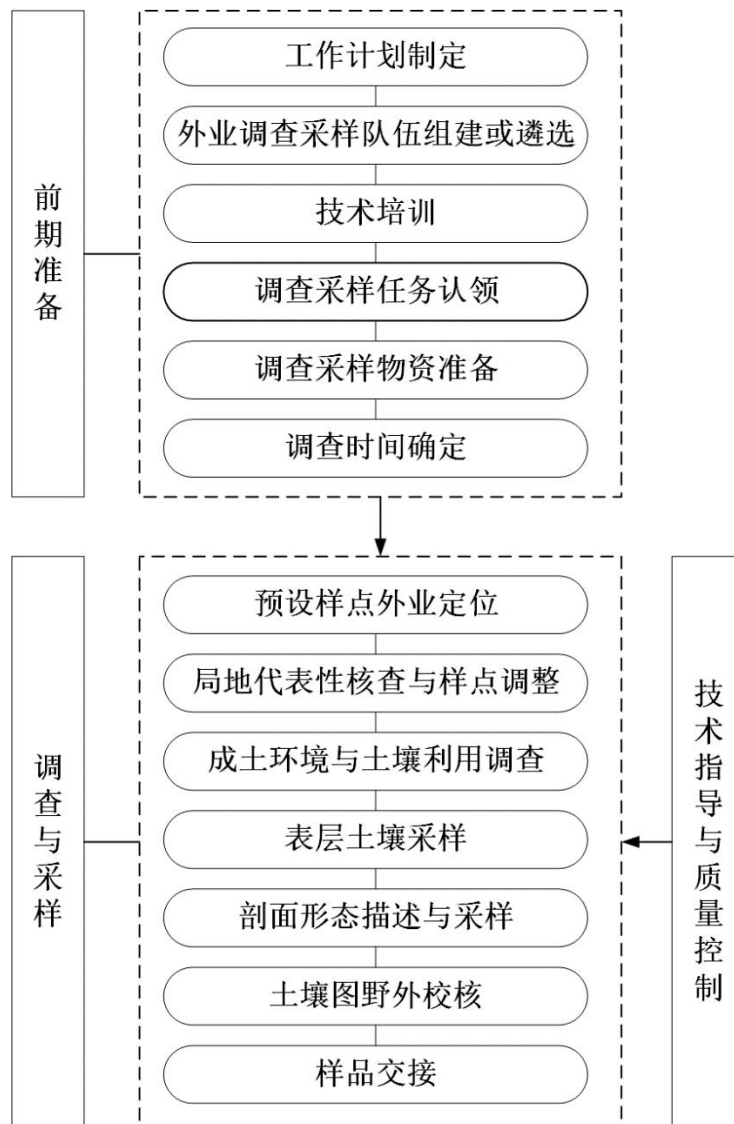


图 2.1 外业调查与采样技术路线图

3 野外调查的前期准备

3.1 工作准备

3.1.1 工作计划制定

地方各级土壤普查办要根据土壤普查的要求，结合本地的具体情况，制定本地区的野外调查工作计划，内容包括：

明确野外调查的任务、内容、工作量——结合布点方案，调查人员在内业完成调查区资料整合、剖面样点和表层样点分布、数量及其属性信息（二普土壤类型、土地利用现状等）梳理、工作量和工作时间的预估以及调查队分组等。

准备所需物资材料和人员队伍——组织调查队全体人员学习梳理工作区材料，掌握该地区土壤及其利用基本情况，筹备调查物资、科学搭配调查队人员。

在布点方案明确、人员和物资配置完成的基础上，设计调查路线、预期完成时间。提前落实样品交接和流转流程，保证样品安全无遗失。

如果条件允许，建议调查队就工作区的成土环境、土壤类型、人为影响等情况，进行现场踏勘，了解样区或景观单元内土壤成土环境或成土要素信息，还要综合目标区域的交通、采样工作便利性等其他因素，进行工作区集中试点培训，熟悉实操、磨练队伍，做好人力、物力筹备和工作调度计划。

3.1.2 调查队伍组建

地方各级土壤普查办依据土壤三普相关技术规范等，结合本地实际，组建野外调查队伍。表层土壤调查一般以县为单元组建队伍，剖面土壤调查由省级土壤普查办统一组织具有土壤调查、分类、制图工作经验的专业队伍开展。每个野外调查队伍至少包含一名具有土壤学专业背景、并受过土壤三普外业培训的技术人员作为技术负责人。需有县、乡级等基层农技人员参与野外调查，负责一线质控，并与农户对接。根据实际工作需要，野外调查队一般还应配备联络、后勤保障、劳务等人员。

各地要充分发挥高校和科研院所土壤调查专业技术人员的技术骨干作用。

3.1.3 外业调查培训

对实际参与外业调查的工作人员开展业务培训，主要涉及以下几个方面的内容：

（1）在明确土壤调查工作任务基础上，开展调查区域自然地理状况（成土因素，土壤类型、特征与分布情况，土壤利用状况等）的学习；

(2) 开展普查工作需要的基础土壤学知识(包括基于土壤二普的调查区主要成土条件、成土过程、土壤类型与划分、野外土壤调查与采样、主要形态学特征的识别与描述)、土壤利用状况(包括土地利用现状分类方法、农用地利用情况与农田建设情况)等培训和学习;

(3) 熟悉野外实操层面的基本工作流程及可能存在的实际问题与解决方案;

(4) 针对地方各级野外调查实操人员的专业知识水平与设备操控技能水平,有针对性地开展土壤发生与土壤分类培训与考核、设备实操训练等。

3.1.4 调查时间确定

依据全国土壤普查办规定的土壤普查总体进度与时间节点,进行野外调查。

考虑到不同区域气候条件、土地利用方式等因素,应因地制宜地安排调查工作,避免施肥、灌水、降雨以及其他耕作措施的影响。耕地土壤应在播种和施肥前或在作物收获后采集;园地土壤应在果品采摘后至施肥前采集;盐碱土调查和采样应尽可能在旱季进行。

3.2 调查物资筹备

按功能用途划分,筹备的调查物资可以大致分为图件文献类、摄录装备类、采集工具类、速测仪器类、辅助材料类、生活保障类、集成软件类。具体说明如下:

3.2.1 图件文献类

图件: 预布设采样点分布图、土壤图、地形图、地质图、土地利用现状图、交通图、行政区划图等。上述资料一般由全国土壤普查办和省级土壤普查办统一制作,下发使用。

有条件的县域,尽可能收集气候区划图、植被类型图或归一化植被指数图、农用地整理复垦规划或现状图、土地利用规划图、国土空间规划图等,以供普查工作需要及总结时参考。

文献资料: 土壤外业调查与采样技术规范(试行)、中国土壤系统分类检索(第三版)、中国土壤分类与代码(GB/T 17296-2009)、第二次全国土壤普查文献资料;同时,应当注重自然成土环境资料、农业生产资料的收集与整理。

(1) 野外调查技术规范(附《立地条件调查信息采集项目清单及填报说明》《剖面形态学调查信息采集项目清单及填报说明》《土壤样品交接表》等)。

(2) 自然成土环境资料:收集和掌握调查区气温、降水(尤其是影响主要作物生育和产量的关键阶段的热量和降水的分布特征)数据,以及对旱涝等灾害的影响;水文和水文地质资料的收集,主要用于了解本地区水系分布、水利资源禀赋、地下水水量和水质、土壤沼泽化和盐渍化等潜在土壤利用问题等,为解决土壤盐渍化、旱、涝问题,提供参考;对于园地,应了解和收集园地利用与变更历史、作物类型、产量和经济效益等。

(3) 农业生产资料(近5年):县域内,农田基本建设情况,包括农田平整情况、水利水电设施情况、沟渠灌排设施等;土地利用现状与历史情况,包括现有耕地、园地、林地或草地生产布局,主要作物类型与耕作制度、土地平整、改土或侵蚀状况;农业生产水平,包括历年产量变化、障碍因素种类与影响情况、复种情况、施肥水平、自然灾害类型与影响情况、灌溉水平等。

3.2.2 摄录装备类

(1) 数码相机:主要用于拍摄调查样点的剖面照、土壤形态特征照、景观照等。

(2) 无人机:主要用于航拍样点所在景观或地块单元的俯拍视角景观图,相对数码相机拍摄,无人机拍摄更能宏观反应景观或地块单元的整体地貌、植被、土地利用等立地条件信息。

3.2.3 采样工具类

(1) 表层土壤混合样品和容重样品采集

不锈钢质刀、锹(注意:避免使用铁质、铝质、铜质等材质的工具直接接触样品,造成污染)、塑料簸箕、环刀、环刀托、橡皮锤、地质锤、尼龙筛、弹簧秤或便携电子秤等。

(2) 剖面样品采集

剖面挖掘和样品采集主要工具:不锈钢质锹和镐、土钻(冲击钻)、塑料簸箕、尼龙筛、塑料水桶、喷水壶、弹簧秤或便携电子秤等。

剖面样品采集工具集成于工具箱中,主要的工具包括:帆布质标尺(统一定制)、剖面刀(不锈钢质)、地质锤、橡皮锤、环刀与环刀托、放大镜($\geq \times 10$)、剪刀(林地区根系较粗,建议备用“果树剪”)、去离子水、滴管、10%稀盐酸试剂、邻菲罗啉试剂等。

(3) 整段剖面采集

挖土坑工具:锹、镢、镐、铲等工具;

修土柱工具:剖面刀、油漆刀、平头铲、木条尺、手锯、修枝剪、绳子、宽布条、泡沫塑料“布”;

装标本的木盒或铁皮盒:内径高100 cm×宽22 cm×厚5 cm,其框架和后盖板用2 cm厚木板制成,前盖板稍薄。前后盖板用螺钉固定在框架上,可随时卸离。

(4) 地下水或灌溉水水样采集

地下水和灌溉水样品采集相关工具,包括硬质塑料瓶等。

(5) 水稳性大团聚体样品的采集

固定形状容器：硬质塑料盒、广口塑料瓶等。

(6) 纸盒标本的采集

统一定制的纸盒（长 32.5 cm×宽 8.5cm×高 3.5 cm）、不锈钢刀（小号，便于修饰）等，每个剖面均需要纸盒标本。

3.2.4 速测仪器类

(1) 地质罗盘（主要用于测量方位角、坡度、坡向等，若手机 APP 或其他手持终端设备可以使用，则不必购置）；

(2) 手持式土壤 pH 计（可选）；

(3) 电导率速测仪（可选，用于盐碱土区域）；

3.2.5 辅助材料类

装土布袋、自封袋、记录本、橡皮筋、记号笔、铅笔、胶带纸、标签等。

3.2.6 生活保障类

太阳帽、太阳镜、雨伞、雨靴、手套、常规和急救药品、创口贴、卫生纸、压缩食品和饮用水、急救包、荧光背心等。

3.2.7 集成软件类

野外样点成土环境、土壤利用、剖面形态、土壤类型等调查信息统一填报至调查采样 APP 中，并经审核后，将信息上传至桌面端土壤普查工作平台。

同时，通过调查采样 APP 在调查样点附近一定范围内，设定“采样电子围栏”，约束野外调查工作人员在限定范围内完成野外调查、采样工作。

4 预设样点的外业定位

外业定位工作，基于全国统一的规划布点方案。在定位过程中，通过全国统一的工作平台和终端 APP，结合二普土壤图土壤类型信息、地形地貌、水文地质、气象数据、土地利用现状等自然和社会经济数据，开展外业调查。

本部分内容仅对内业预设样点的野外定位流程进行说明。

4.1 样点定位

通过手持终端 APP，导航逼近预设样点位置，不要求到达准确点位坐标，到达预设样点电子围栏范围内，即可进行“样点局地代表性核查”，必要时进行样点现场调整。

4.2 样点局地代表性核查

野外调查人员进入预设样点电子围栏范围内，现场确定预设样点是否符合目标景观和土壤类型的要求，主要参考以下标准：

(1) 表层样点调查：以预设样点为中心，100 m 半径的电子围栏范围内，无明显修建沟渠、道路、机井、房屋等人为影响，土地利用方式（包括耕作模式、作物类型）具有代表性。如明确在电子围栏范围内，无符合条件的采样点，则应该调整预设样点的位置，方法参见 4.3。

样点通过代表性核查、或必要位置调整后，在电子围栏内选择合适采样位置作为梅花法等混样方法的中心点，并读取坐标、高程等基本信息，进行成土环境、土壤利用调查与土壤样品采集工作。耕地采样中心点一般定在电子围栏内较大田块的中央。

(2) 剖面样点调查：电子围栏限定范围为剖面样点所在的土壤二普县级土壤图图斑边界（大部分是土种图斑，部分为土属图斑），要求剖面样点所处田块、景观单元在该范围内具有代表性，地形地貌、土地利用及其组合模式、土壤类型相对一致。

4.3 预设样点的现场调整

如果预设样点未通过局地代表性核查，需按下述要求进行现场样点调整，以达到 4.2 所述要求。并现场将调整理由以图片、文字等形式上报省级土壤普查办审核。

(1) 对于表层样点，若其所在图斑未被建设占用，且可到达，原则上不允许调整。若一定要调整，必须给出明确理由和现场佐证材料。

(2) 必须在二普县级土壤图同一图斑范围内调整。除该图斑已被建设占用外，只要满足道路可达性，即使土壤类型已发生变化，或二普土壤图图斑存在边界偏差、土壤类型错误，预设样点的调整仍然限定在该图斑范围内。

(3) 在平原、盆地地区：土壤类型、地形地貌和土地利用方式分异较小，最大调整距离一般在 300 m 以内（以预设样点为起点）。

(4) 在岗地、丘陵或山地区：土壤类型空间分异随地形起伏变化较平原地区大，最大调整距离一般在 200 m 以内（以预设样点为起点），并寻找相似的地形部位。

(5) 如果该预设样点所在图斑完全或绝大部分被建设占用，图斑内已无合适位置调整，或整个图斑范围内均不可达，须在相同土壤类型的其他图斑里，布设替代样点，沿用原样点编号，此种情况还需上报全国土壤普查办审定。

5 成土环境与土壤利用

包括样点基本信息、自然成土环境、土壤利用和人为影响、景观照片采集等。每个调查点位（包含表层样点和剖面样点）均须采集成土环境与土壤利用信息。

信息采集项目清单，见附表，具体内容如下：

5.1 样点基本信息

5.1.1 基本信息

记录调查样点的行政区划、地理坐标、海拔高度、采样日期、天气情况、调查人及其所属单位等，均为必填项。除天气状况、调查人、调查机构需现场填报外，其他项均已统一赋值，野外进行核定。

(1) 样点编码

统一编码，已经赋值，以下所有工作流程均使用同一编码。

(2) 行政区划

依据“省（自治区、直辖市）-市-区（县）-乡（镇）-行政村”顺序，记录采样点所在地。代码按照 ISO 3166-2:2007（最新版）规定执行。

每个样点已经赋值，野外核查无误确认。

(3) 地理坐标

参照国家网格参考系统（CGCS2000 国家大地坐标系），经纬度格式采用“十进制”，单位：度。每个样点确定位置后，由手持设备自动采集坐标信息和赋值。

(4) 海拔高度

每个样点确定位置后，由手持设备采集和赋值。单位：米。

(5) 日期

采用“202X年XX月XX日”格式，如“2022年08月05日”，自动赋值。

(6) 天气状况

从“晴或极少云、部分云、阴、雨、雨夹雪或冰雹、雪”选项中选择。

(7) 调查人

填写现场技术领队姓名及所属单位。

(8) 调查机构

填写调查任务承担机构全称。

5.1.2 地表特征

(1) 侵蚀

观察和记述样点所在景观单元内是否存在侵蚀，以及侵蚀类型、侵蚀强度，具体标准如下表：

表 5.1 侵蚀类型

成因	描述
W.水蚀	以降水作为侵蚀营力，与坡度关系较大，并随坡度增加而加剧。
M.重力侵蚀	在重力和水的综合作用下发生的土体下坠或位移的侵蚀现象，包括崩塌、滑坡、崩岗等。
A.风蚀	在风力作用下发生的侵蚀，在降雨量少的干旱和半干旱地区明显，与植被关系甚大。
F.冻融侵蚀	土壤及其母质孔隙中或岩石裂缝中的水分在冻结时，体积膨胀，使裂隙随之加大、增多所导致整块土体或岩石发生碎裂，消融后其抗蚀稳定性大为降低，在重力作用下岩土顺坡向下方产生位移的现象。
WA.水蚀与风蚀复合	

表 5.2 地表侵蚀程度

编码	名称	描述
N	无	A 层没有受到侵蚀
S	轻	地表 1/4 面积的 A 层受到损害，但植物还是能够正常生长
M	中	地表 1/4-3/4 面积的 A 层明显被侵蚀，植物生长受到较大影响
V	强	A 层丧失，B 层出露并也受到侵蚀，植物较难生长
E	剧烈	C 层也被侵蚀，植物无法生长

(2) 基岩出露

样点所在景观单元内，是否有基岩（或大块岩石）裸露，对耕作产生直接影响，应当记录基岩出露丰度和间距信息。

注意，区别于“（3）地表砾石”，基岩是“根植于”土壤深处，无法移动且影响耕作。

- 丰度（基岩出露占景观单元内地表面积比例，%）：记录数据范围。

表 5.3 基岩出露丰度

编码	描述	占地表面积 (%)	说明
N	无	0	对耕作无影响
F	少	< 5	对耕作有一定影响
C	中	5~15	对耕作影响严重
M	多	15~50	一般不宜耕作，但对小农具尚可局部使用
A	很多	> 50	不宜农用

- 间距：记录数据范围（距离，米）。

表 5.4 基岩出露间距

编码	描述	间距 (m)	编码	描述	间距 (m)
VF	很远	> 50	C	较近	2~5
F	远	20~50	VC	近	< 2
M	中	5~20			

(3) 地表砾石

指分布在地表除出露基岩以外的砾石、石块、巨砾等，对表层的适耕性产生影响，记录其丰度、大小等信息。

- 丰度（砾石覆盖地表面积的占比，%）：记录数据范围。

表 5.5 地表砾石丰度

编码	描述	占地表 (%)	说明
N	无	0	对耕作无影响
F	少	< 5	对耕作有影响
C	中	5~15	对大田耕地影响严重
M	多	15~50	不宜耕作，但对小农具尚可局部使用
A	很多	> 50	不能利用

- 大小（占优势丰度的砾石直径范围，厘米）：记录数据范围。

表 5.6 地表砾石大小

编码	描述	直径 (cm)	编码	描述	直径 (cm)
F	细砾石	< 2	S	石块	6~20
C	粗砾石	2~6	B	巨砾	> 20

(4) 地表盐斑

由大量易溶性盐胶结成的灰白色或灰黑色盐斑，记录其丰度、厚度两个指标。

- 丰度（占地表面积，%）：记录数据范围。
- 厚度（毫米）：记录数据范围。

表 5.7 地表盐斑丰度和厚度

盐斑丰度			盐斑厚度		
编码	描述	占地表面积 (%)	编码	描述	厚度 (mm)
N	无	0	Ti	薄	< 5
L	低	< 15	M	中	5~10
M	中	15~40	Tk	厚	10~20
H	高	40~80	V	很厚	≥ 20
V	极高	≥ 80			

(5) 地表裂隙

富含黏粒的土壤由于干湿交替造成土体收缩而在地表形成的空隙，记录其丰度、宽度、长度、间距等指标。

- 丰度（描述）：记录具体描述信息。
- 宽度（毫米）：记录数据范围。
- 长度（厘米）：记录数据范围。
- 间距（厘米）：记录数据范围。

表 5.8 地表裂隙描述

1) 丰度			2) 宽度		
编码	描述	(条/m ²)	编码	描述	(mm)
N	无		VF	很细	< 1
F	少		FI	细	1~3
MI	中		ME	中	3~5
MA	多		WI	宽	5~10
VM	很多		VW	很宽	≥ 10
3) 长度			4) 间距		
编码	描述	(cm)	编码	描述	(cm)
SH	短	< 10	VS	很少	< 10
ME	中	10~30	SM	小	10~30
LO	长	30~50	ME	中	30~50
VL	很长	≥ 50	LA	大	50~100
			VL	很大	≥ 100

(6) 土壤沙化

不同气候带具有沙质地表环境的草地受风蚀、水蚀、干旱、鼠虫害和人为不当经济活动等因素影响，致使原非沙漠地区的草地，出现以风沙活动为主要特征的类似沙漠景观的草地退化过程。野外记载沙化程度等级，参考标准如下表：

表 5.9 土壤沙化指标与分级

项目	沙化程度分级			
	未沙化	轻度沙化	中度沙化	重度沙化
植物群落特征	植被组成 沙生植物为一般伴生种或偶见种	沙生植物为主要伴生种	沙生植物为优势种	植被稀疏，仅存少量沙生植物
地形特征	草地总覆盖度相对百分数的减少率 (%)	0~5	5~20	20~50 > 50
裸沙面积占草地地表面积相对百分数的增加量 (%)	未见沙丘或风蚀坑	较平缓的沙地，固定沙丘	平缓沙地，小型风蚀坑，基本固定或半固定沙丘	中、大型沙丘，大型风蚀坑，半流动沙丘
	0~10	10~15	15~40	> 40

注：参照《天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标》（GB 19377-2003）

5.2 成土环境

5.2.1 气候

各个样点均已赋值，野外不做记录。

5.2.2 地形地貌

地形是影响区域性景观分异、水热条件再分配的主要因素，土壤普查时，应对每个样点所在的地形地貌进行准确记述。

具体分为大地形、中地形和小地形三个级别，附加以地形部位、坡度、坡型、坡向四个辅助特征，野外加以描述。

在野外调查使用的集成软件 APP 中，各样点的大地形已经赋值，野外需要进行校核确认，修正明显错误。并实际填报中地形、小地形、部位、坡度、坡型、坡向等信息。

(1) 大地形分类

大地形分为：山地、丘陵、平原、高原、盆地。

表 5.10 大地形分类

编码	名称
MO	山地
HI	丘陵
PL	平原
PT	高原
BA	盆地

(2) 中地形分类

中地形分为：极高山、高山、中山、低山、高丘、低丘；冲积平原、海积平原、湖积平原、山麓平原、洪积平原、风积平原；沙地，三角洲，河滩/潮滩。

表 5.11 中地形分类

编码	名称	编码	名称	描述
AP	冲积平原			
CP	海岸(海积)平原	LH	低丘	相对高差 < 200m
LP	湖积平原	HH	高丘	相对高差 200-500m
PE	山麓平原	LM	低山	绝对高程 500-1000m
DF	洪积平原	MM	中山	绝对高程 1000-3500m
WI	风积平原	OM	高山	绝对高程 3500-5000m
SL	沙地	EM	极高山	绝对高程 > 5000m
DT	三角洲			
TF	河滩/潮滩			

(3) 小地形分类

表 5.12 小地形分类

编码	名称	编码	名称
IF	河间地	CO	珊瑚礁
VA	沟谷地	CA	火山口
VF	谷底	DE	洼地
CH	河道	DU	沙丘
LE	河堤	LD	纵向沙丘
TE	阶地	ID	沙丘间洼地
FP	泛滥平原	SL	坡
PF	洪积扇	LA	潟湖
AF	冲积扇	RI	山脊
PA	盘状凹地	BR	滩脊

(4) 地形部位

表 5.13 地形部位分类

丘陵山地起伏地形		平原或平坦地形	
编码	名称	编码	名称
CR	顶部	IN	高阶地（洪-冲积平原）
UP	坡上	LO	低阶地（河流冲积平原）
MS	坡中	RB	河漫滩
LS	坡下	Bol	底部（排水线）
BOf	坡麓（底部）		

(5) 坡度

是指样点所处地形部位的整体坡度。如样点处于坡麓部位，则测量整个坡麓坡度，不是上中下坡的平均坡度，也不是样点局部的坡度。如果是梯田，记录样点田块所处地形部位的自然坡整体坡度，而不是平整后的田块内部坡度。野外用罗盘测量可得到较为精确的数据。

表 5.14 坡度分级

编码	坡度 (°)	名称
I	≤2	平地
II	2-6	微坡
III	6-15	缓坡
IV	15-25	中缓坡
V	> 25	极陡坡

(6) 坡型

在本次调查中，坡型的变化，被描述为在垂向上的拱起、凹陷和平直，构成 3 种主要的坡型类型——凸坡、凹坡和直坡。

(7) 坡向

坡向是指样点所处的从坡顶到坡麓一个整坡的朝向，用 GPS 或者手机 APP 确定坡向。

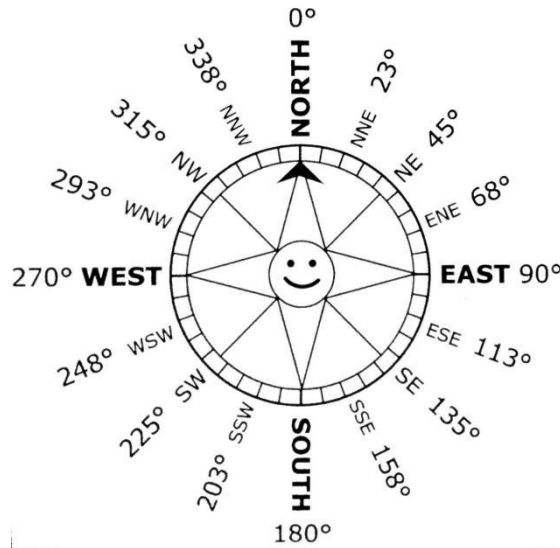


图 5.1 罗盘中的方向

表 5.15 坡向分类

角度范围 (°)	坡向	角度范围 (°)	坡向
68~113	东	248~293	西
113~158	东南	293~338	西北
158~203	南	338~360 (0) ~23	北
203~248	西南	23~68	东北

5.2.3 母岩母质

(1) 母岩类型

下伏或出露母岩常见于山地丘陵区，已赋值，野外进行校核确认，空缺者补填。

(2) 母质类型

需野外判断并填报，具体母质类型的划分，参见下述类型，详细内容见附表。

原位风化类型：残积物、坡残积物、残坡积物；

水运积物类型：坡积物、洪积物、冲积物、河流沉积物、湖沉积物、海岸沉积物；

风运积物类型：风积沙、原生黄土、黄土状物质（次生黄土）；

其他类型：崩积物、冰川沉积物、火成碎屑沉积物、有机沉积物、（古）红黏土、其他（需注明）。

5.2.4 植被

填报调查样点周边（以电子围栏范围或景观单元范围为准）的植被类型以及植被覆盖度等信息。

（1）植被类型

表 5.16 植被分类

编码	植被类型	编码	植被类型
1	针叶林	7	草丛
2	针阔混交林	8	草甸
3	阔叶林	9	沼泽
4	灌丛	10	高山植被
5	荒漠	11	栽培植被
6	草原	12	无植被地段

（2）植物优势种

调查样点周边的植物群落的优势种，如马尾松、嵩草等，野外可以利用相关植物识别APP协助辨识。耕地此处统一填报“农作物”，具体信息在 5.3.3 耕地利用中填报。

（3）植被覆盖度

适用于耕地类型外其他土地类型。样点周边乔灌草植被（包括叶、茎、枝）在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比，用“%”表示。野外估算以 5%为等级间隔，填报具体数值。耕地样点不填报植被覆盖度。

表 5.17 植被覆盖度

编码	植被覆盖度（%）	分项覆盖度（%）		
		乔木	灌木	草本
0	0	0	0	0
1	< 15	< 15	< 15	< 15
2	15~40	15~40	15~40	15~40
3	40~80	40~80	40~80	40~80
4	≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80

注：分项覆盖度之和应≥植被覆盖度。

5.3 土壤利用

5.3.1 土地利用

(1) 土地利用现状

已根据第三次全国国土调查结果，对调查点位土地利用现状进行赋值，野外调查时根据实际调查情况进行确认，如果与已赋值信息不同，填报调查时的实际土地利用类型。具体土地利用现状分类，参考附表。

(2) 土地利用变更

2000 年至今，一级类间的变更（草转耕、耕转园、耕转草、耕转林等）、一级类内二级类间的变更类型（如一级类耕地的水改旱、旱改水）及变更年份，如果存在多次变更，均需填报。

(3) 蔬菜种植

属于蔬菜用地（根据现场调查结果），填报蔬菜地设施农业状况。包括设施农业类型：露天蔬菜地、塑料大棚、玻璃温室。

蔬菜种植年限：填报连续种植蔬菜的年限（单位，年）。

(4) 特色农产品

属于全国农产品地理标志、农业农村部特色农产品优势区登记产地的，填写“是”。

5.3.2 农田建设

适应于 5.3.1 土地利用的 01 耕地、02 园地类型，其他类型不需填写本节内容。

(1) 高标准农田

确定样点所在田块是否是高标准农田，并记录 2011 年以来，是否实施过高标准农田建设项目。

高标准农田是指，土地平整、集中连片、设施完善、农机配套、土壤肥沃、生态良好、抗灾能力强，与现代农业生产和经营方式相适应的旱涝保收、高产稳产，划定为永久基本农田实行永久保护的耕地。

(2) 灌溉条件

使用灌溉保证率来表征灌溉条件。灌溉保证率是指预期灌溉用水量在多年灌溉中能够得到充分满足的年数出现的概率，用百分率（%）表示。

(3) 排水条件

系指受地形起伏、水文地质和人工排水设施状况共同决定的雨后地表积水、排水情况。

农田排水条件可分为四个等级：

充分满足：具备健全的干、支、斗、农排水渠道（包括人工抽排），无洪涝灾害；

满足：排水体系基本健全，丰水年暴雨后有短时间洪涝灾害（田间积水时长 1~2 天）；

基本满足：排水体系一般，丰水年大雨后有洪涝发生（田间积水时长 2~3 天）；

不满足：无排水系统，一般年份在大雨后发生洪涝灾害（田间积水大于 3 天）。

（4）田间道路

观察样点所在田块的到达道路条件，记录其最高等级道路。田间道路包括机耕路和生产路，机耕路指 3 m~6 m 可供大型生产机械通行的道路；而生产路指路面宽度小于 3 m 的田间道路。

（5）梯田建设

是否是梯田，适用于丘陵、山地区。

5.3.3 耕地利用

适用于 5.3.1 土地利用类型中 01 耕地类型的，填报本节信息。

（1）熟制类型

一年一熟、一年两熟、两年三熟、一年三熟。蔬菜地按当地粮食作物熟制填报。

（2）休耕与撂荒

记录样点所在田块最近 5 个熟制年度的休耕与撂荒情况，具体包括：

休耕类型：无、季节性休耕、全年休耕；

休耕频次：5 年内休耕的累计频次（如一年两熟、且全年休耕，则该年度休耕频次为 2）。

撂荒类型：无、季节性撂荒、全年撂荒；

撂荒频次：5 年内撂荒的累计频次（如一年两熟、且全年撂荒，则该年度撂荒频次为 2）。

（3）轮作制度

轮作制度按自然年内作物的收获时序进行填报，分为第一季、第二季、第三季收获作物类型。注意，是填报样点所在田块最近 5 个熟制年度的主要轮作作物；蔬菜收获超过三季的按三季填写。

第一季收获作物类型参考：水稻、玉米、小麦、春小麦、大麦、燕麦、黑麦、青稞、谷子、豆类、高粱、油菜、棉花、花生、烟草、马铃薯、甘薯、甘蔗、甜菜、木薯、芝麻、蔬菜、中药材、休耕、撂荒、其他（填报具体名称）。

第二、三季收获作物类型：水稻、玉米、谷子、豆类、高粱、油菜、棉花、花生、烟草、马铃薯、甘薯、甘蔗、甜菜、木薯、芝麻、蔬菜、中药材、休耕、撂荒、其他（填报具体名称）。

（4）轮作变更

调查 5 个熟制年度内是否存在轮作变更，如果有，以上述轮作制度为基准，填报次要轮作作物，同样分为第一季、第二季、第三季收获作物类型（如双季稻休耕为变为单季稻，则轮作制度为“水稻-水稻”，轮作变更为“水稻-休耕”）。

（5）当季作物

填报样点所在田块采样时的当季作物类型（指待收获或刚收获的）。

注意，中药材要细化到品种，如黄芪，特色农产品要填报作物类型。

（6）产量水平

调查样点所在田块最近一个熟制年度作物产量。分季分作物填报全年的作物产量。单位：kg/亩。

（7）施肥管理

调查样点所在田块分季分作物施用的肥料种类（化肥、有机无机复混肥、商品有机肥、土杂肥、厩肥等）、肥料用量、肥料施用方式。

化学肥料用量（含有机-无机复混肥中的无机肥部分）调查实物用量（kg/亩）和有效养分含量（%），并折算为纯氮（N）、五氧化二磷（ P_2O_5 ）、氧化钾（ K_2O ）填报；

商品有机肥折算为有机质量（kg/亩）填报；

土杂肥、厩肥等填报用量体积（ m^3 /亩）；

施用方式分为沟施、穴施、撒施、水肥一体化、其他（需注明）。

（8）秸秆还田

调查样点所在田块是否实施了秸秆还田，并调查秸秆还田比例和还田年限。

还田比例：调查样点所在田块 1 个熟制年度内的秸秆还田情况。还田比例以 10%为等级间隔填报具体数字，分季填报。

还田年限：近 10 年实施秸秆还田的年数。

（9）少耕免耕

调查样点所在田块是否实施了少耕免耕，填报近 5 年实施少耕免耕的季数之和。

（10）绿肥种植

调查样点所在田块是否实施了绿肥种植,填报绿肥品种及季节。常见绿肥品种有紫云英、草木樨、苜蓿、肥田萝卜、油菜、巷子、豆科绿肥、田菁、其他(需注明)。季节分为夏季、冬季、多年生、其他(需注明)。

5.3.4 园地利用

(1) 园地作物类型

属于《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)中园地类型的,此处填报具体作物类型,如茶叶、柑橘等,特色农产品要填报作物类型。

(2) 园地作物林龄

记录作物生长年龄,单位:年。

(3) 产量水平

调查样点所在田块全年作物产量,单位:kg/亩。

(4) 施肥管理

调查样点所在田块全年施用的肥料种类(化肥、有机无机复混肥、商品有机肥、土杂肥、厩肥等)、肥料用量、肥料施用方式。

化学肥料用量(含有机-无机复混肥中的无机肥部分)调查实物用量(kg/亩)和有效养分含量(%),并折算为纯氮(N)、五氧化二磷(P_2O_5)、氧化钾(K_2O)填报;

商品有机肥折算为有机质量(kg/亩)填报;

土杂肥、厩肥填报用量体积(m^3 /亩);

施用方式分为沟施、穴施、撒施、水肥一体化、其他(需注明)。

(5) 绿肥种植

调查样点所在田块是否实施了绿肥种植,填报绿肥品种及季节。常见绿肥品种有紫云英、草木樨、苜蓿、肥田萝卜、油菜、巷子、豆科绿肥、田菁、其他(需注明)。季节分为夏季、冬季、多年生、其他(需注明)。

5.3.5 林草利用

适用于国标《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)里的林地、草地、沼泽地、盐碱地、沙地等与林业、草业生产相关的区域。植被类型和覆盖度等已在5.2.4中出现。此处填报:

(1) 林地类型

生态公益林:防护林、特种用途林;商品林:用材林、经济林和能源林。

(2) 林地林龄

记录林地乔木生长年龄，单位：年。

(3) 草地类型

天然草地：温性草原类、高寒草原类、温性荒漠类、高寒荒漠类、暖性灌草丛类、热性灌草丛类、低地草甸类、山地草甸类、高寒草甸类；

人工草地：改良草地、栽培草地。

5.4 景观照片采集

移动终端或数码相机拍摄：拍摄者应位于采样点或剖面附近，拍摄东、南、西、北四个方向的景观照片。为保证照片视觉效果，取景框下沿要接近但避开取土坑。

无人机拍摄：应距离地面 30~50 m 高度，倾斜视角拍摄四个方向的景观照。

景观照片应着重体现样点地形地貌、植被景观、土地利用类型、地表特征、农田设施等特征，要融合远景、近景。



图 5.2 景观照片示例

6 表层土壤调查与采样

6.1 采样深度

耕地、林地、草地样点采样深度为 0~20 cm，园地样点采样深度为 0~40 cm。若有效土层厚度不足 20 cm，采样深度为实际土层厚度。

6.2 耕层厚度观测

观察并记录耕地样点的耕作层厚度。挖掘到犁底层，测量记录耕作层厚度；没有明显犁底层的，调查询问农户样点田块的实际耕作深度。单位：cm。野外通过紧实度、颜色、根系等差异综合判断是否有犁底层及其上界深度。

6.3 表层土壤混合样品采集

在电子围栏内确定采样点后，采用梅花法、棋盘法或蛇形法等多点混合的方法采样。根据田块形状、土壤变化的实际情况，选择上述采样方法中的一种进行采样，并按照下述要求操作。

- (1) 混样点数量为 5~15 个，且所有混样点须位于同一个田块或样地；
- (2) 所有混样点均应避开施肥点，并去除地表秸秆与砾石等，挖掘至 20 cm 或 40 cm 深度的采样坑后，每个混样点采集约 1 kg 土壤样品，且来自不同深度的土壤体积占比接近；
- (3) 将所有混样点采集的土壤样品去除明显根系，充分混匀，然后采取“四分法”去除多余样品，留取 3 kg；对设置为检测平行样的样点，留取 5 kg；
- (4) 对园地样点：按梅花法等方法选择至少 5 棵代表性的树（或其他园地作物），每棵树在树冠垂直滴水线内、外两侧约 35 cm 处各采集一个混样点（类型 1 典型）；若幼龄园地滴水线距离树干不足 35 cm，则在以树干为圆心、半径 50 cm 的圆周上，采集两个混样点，两个混样点与圆心的连线夹角保持 90°（类型 2 幼龄型）；若园地株距很小、行距较小（如茶园），则完整采集滴水线至树干之间土壤（类型 3 密植型）；若滴水线半径超过 2 m（如橡胶、板栗等），则在滴水线处、以及与树干连线中间处各采集一个混样点（类型 4 大型）。

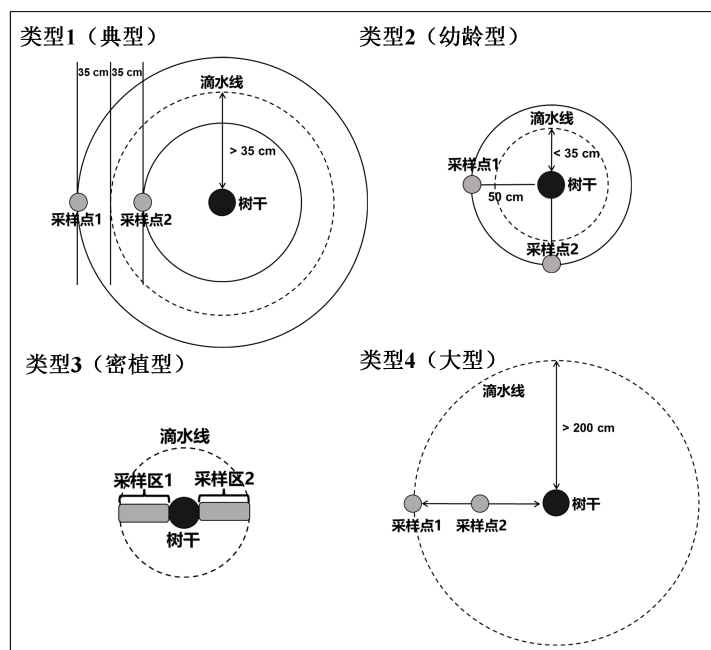


图 6.1 园地土壤混合样点选择示意图

(5) 含盐或渍水的样品：表层土壤混合样品一般可直接装入布袋，对于盐碱土或渍水样品，先装入塑料自封袋后，再装入布袋，避免交叉污染。

(6) 砾石含量高的样品：针对表层土壤中含较多砾石时，先确定采样区间的表层土壤体积，挑出土壤中较大的砾石，然后使用孔径大于 2 mm 的尼龙筛分离砾石，将这两部分砾石放在一起，野外估测并记录砾石体积、采样区间表层土壤体积、以及砾石体积占表层土壤体积的百分比（%），称量并记录砾石的重量，并将过筛后的样品装入样品袋。待样品流转至检测实验室后，过 2 mm 尼龙筛时，需进一步估测并记录砾石的体积，称量并记录砾石的重量和小于 2 mm 细土样品的重量。

6.4 表层土壤容重样品采集

利用不锈钢环刀（统一用 100 ml 体积的环刀）采集表层土壤容重样品，采样点为临近的三个混样点，每个混样点分别采集一个容重平行样品，每个样点共采集三个容重平行样品。需要说明的是当表层土壤中砾石体积不超过 20% 时，需采集土壤容重样品，并填报估测的砾石体积；当砾石体积超过 20% 时，可不采集土壤容重样品。土壤容重样品采集具体操作如下：

(1) 确定三个临近的混样点作为容重取样点，并移除地表树叶、草根、砾石等，削去地表 3~5 cm 厚土壤后，使地表平整；

(2) 将环刀托套在环刀无刃口的一端，环刀刃口朝下，借助环刀柄和橡皮锤均衡地将环刀垂直压入地表平整处的土中，在土面刚触及环刀托内顶时，即停止下压环刀；

(3) 用剖面刀把环刀周围土壤轻轻挖去，并在环刀下方将环刀外的土壤与土体切断（切断面略高于环刀刃口）；

(4) 取出环刀，刃口朝上，用刀削去环刀外多余的土壤，盖上环刀底盖并翻转环刀，卸下环刀托，用刀削平无刃口端的土壤面；

(5) 将环刀中土壤完全取出，装入塑料自封袋中。每个容重样品，单独装入一个自封袋中。

6.5 表层土壤水稳性大团聚体样品采集

采样点为临近的三个混样点，采样深度与表层土壤混合样品的采样深度相同。采样时土壤湿度不宜过干或过湿，应在土不粘锹、经接触不变形时采样。采样时避免使土块受挤压，以保持原始的结构状态。剥去土块外面直接与不锈钢锹接触而变形的土壤，均匀地取内部未变形的土壤 2 kg，置于不易变形的容器（硬质塑料盒、广口塑料瓶等）内。对于设置为检测平行样的样点，取样量为 4 kg。

6.6 表层土壤样品标签

统一印制或现场打印样品标签，一式两份，附带样品编码、二维码、采样日期等基本信息。样品包装内外各一份样品标签。对于表层土壤混合样品，一份标签贴在布袋口的硬质塑料基底上，另一份标签先置入微型塑料自封袋中，再装入布袋内。对于表层土壤容重样品或表层土壤水稳性大团聚体样品，一份标签直接贴在塑料自封袋或塑料瓶（盒）的外部，另一份标签先置入微型塑料自封袋中，再装入容器内。

6.7 表层土壤样品交接

采样后样品交接前，应妥善暂存土壤样品。对于表层土壤混合样品，应使土壤处于通风状态，避免布袋发霉。及时将采集的表层土壤样品分批交接至样品流转中心或样品制备实验室，填写土壤样品交接表（见附表）。

7 剖面土壤调查与采样

7.1 剖面设置和挖掘

7.1.1 剖面设置

基于预设样点的外业定位核查结果，同时要求剖面位置在所处田块、景观单元、二普县级土壤图图斑中具有代表性，确定剖面样点的具体位置。

7.1.2 剖面挖掘

剖面挖掘应遵循以下原则：

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），见下图。

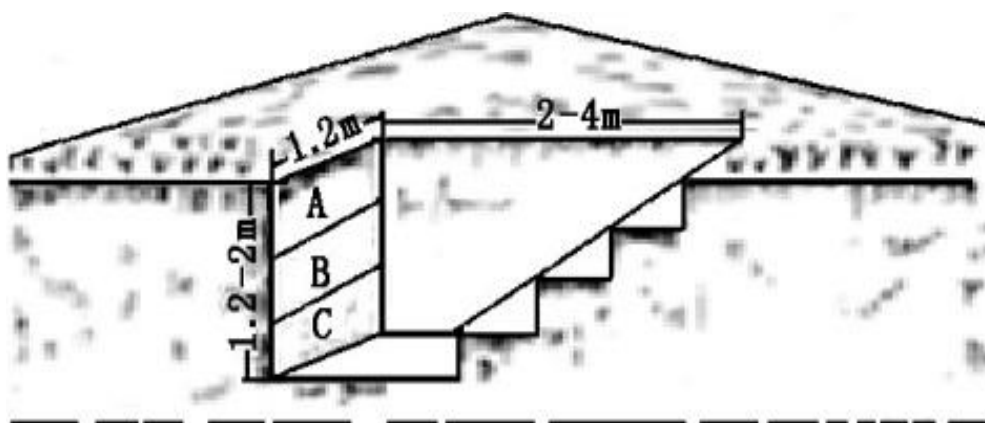


图 7.1 标准土壤剖面示意图

(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。

7.1.3 剖面照片拍摄

标准剖面照作为土壤单个土体的“身份证件照”,能够直观地反映土壤的发生层及其形态学特征,是认识和理解土壤发生过程和土壤类型的直接证据。因此,标准剖面照应当清晰、真实、完整地呈现土壤形态学描述特征。

标准剖面照的具体要求如下:

(1) 剖面挖掘完成后,在观察面左边 1/3 宽度内,用剖面刀自上而下修成自然结构面,要避免留下刀痕,右边的部分保留为光滑面。自然结构面可直观反映土壤结构、质地、斑纹特征,以及根系丰度、砾石含量、孔隙状况、土壤动物痕迹等;光滑面则可更加清晰地反映土壤边界过渡特征、颜色差异、结核等特征。

(2) 自上而下垂直放置和固定好帆布标尺,标尺起始刻度要与观察面上沿齐平。

(3) 剖面照片须用专业相机拍摄,避免出现颜色失真。

(4) 剖面摄影时,摄影者可趴在地面进行拍摄,保持镜头尽可能与观察面垂直。

(5) 晴天拍摄时注意遮住观察面的阳光,避免曝光过度,避免出现部分阴影。

(6) 全剖面照片须拍摄两种,一种是剖面上方不放置纸盒,另一种是剖面上方以剖面尺为中心放置纸盒,且在纸盒背面利用黑色记号笔清晰标记剖面点的样点编号。

(7) 剖面特征照片:遇到明显的新生体、结构体、侵入体或土壤动物活动痕迹等,应拍摄加微型标尺的特写照片。

标尺统一放置在左1/3，垂直平滑

上端露出部分空间，
不要顶格整个画面

1/3结构面
避免刀痕

整体平整
避免铲痕

镜头贴近地面
正对剖面
避免比例失调

底部要到基岩
或者至少1.2m



图 7.2 剖面照片示例



图 7.3 新生体照片示例

7.2 土壤发生层划分与命名

剖面挖掘与拍照完毕后，即可对土壤发生层进行划分与命名。

7.2.1 发生层划分

土壤发生层是土壤形成过程中，在某种或某几种土壤过程驱动影响下，物质经淋溶、淀积、散失等形成的具有一定形态学特征的土层。

根据剖面形态特征差异，结合对土壤发生过程的理解，划分出各个土壤发生层。剖面形态特征观察主要从目视特征和触觉特征两个角度进行。

(1) 目视特征

观察肉眼可见的土壤形态学差异，包括颜色、根系、砾石、斑纹-胶膜-结核等新生体、土壤结构体类型和大小、砖瓦陶瓷等人工物侵入体、石灰反应强弱、亚铁反应强弱等的差异；

(2) 触觉特征

通过手触可感受到的土壤质地、土体和土壤结构体坚硬或松紧度、土壤干湿情况等的差异。

7.2.2 发生层命名

根据样点的土壤发生层特点，依据基本发生层类型及其附加特性，命名并记录土壤发生层名称与符号。大写字母作为剖面的基本层次，首先被确定，如表 7.1；然后，确定不同发生层的附加特性，如表 7.2。

(1) 基本发生层类型

大写字母对应的是土壤基本层次，代表了土壤主要的物质淋溶、淀积和散失过程。

表 7.1 基本发生层及其描述

编码	描述
O	有机层（包括枯枝落叶层、草根密集盘结层和泥炭层）
A	腐殖质表层或受耕作影响的表层
E	漂白层
B	物质淀积层或聚积层，或风化 B 层
C	母质层
R	基岩
K	矿质土壤 A 层之上的矿质结壳层（如，盐结壳、铁结壳等）

注：位于矿质土壤 A 层之上的 O 层和 K 层，由 A 层向上记载其深度，并前置“+”，例如 Oi +4~0 cm；Oe +2~0 cm；Kz +1~0 cm。

(2) 发生层附加特性

指土壤发生层所具有的发生学上的特性。用英文小写字母并列置于基本发生层大写字母之后（不是下标）表示发生层的特性。

举例：Ah 代表自然土壤腐殖质层，Ap 代表耕作层，Bt 代表黏化层。

表 7.2 发生层特性描述

符号	描述
a	高分解有机物质
b	埋藏层。置于属何种性质的符号后面。例如 Btb 埋藏淀积层，Apb 埋藏熟化层
c	结皮。例如 Ac 结皮层
d	冻融特征。例如 Ad 片状层
e	半分解有机物质
f	永冻层
g	潜育特征
h	腐殖质聚积
i	低分解和未分解有机物质。例如 Oi 枯枝落叶层
j	黄钾铁矾
k	碳酸盐聚积
l	网纹
m	强胶结。置于属何种性质的符号后面。例如 Btm 黏磐，Bkm 钙磐，Bym 石膏磐
n	钠聚积
o	根系盘结
p	耕作影响。例如 Ap 表示耕作层，水田和旱地均可用 Ap1 和 Ap2 表示，Ap1 表示耕作层，Ap2 分别表示水田的犁底层和旱地的受耕作影响层次。Ap1 耕作影响表层，Apb 埋藏熟化层。又可细分为 Ap1 耕作层、Ap11 上耕层、Ap12 下耕层和 Ap2 犁底层
q	次生硅聚积
r	氧化还原。例如水稻土、潮土中的斑纹层 Br
s	铁锰聚积。自型土中的铁锰淀积和风化残积
t	黏粒聚积。只用 t 时，一般专指黏粒淀积。由此生长形成黏粒就地聚积者以 Btx 表示，黏磐以 Btm 表示
u	人为堆积、灌淤等影响
v	变性特征
w	就地风化形成的显色、有结构层。例如 Bw 风化 B 层
x	固态坚硬的胶结，未形成磐。例如 Bx 紧实层，Btx 次生黏化层。与 m 不同处在于后者因强胶结，结构体本身不易用手掰开，而 x 则为弱胶结，结构体本身易掰开
y	石膏聚积
z	可溶盐聚积
φ	磷聚积。例如 φm 磷积层，Bφm 磷质硬磐

注：在需要用多个小写字母作后缀时，t、u 要在其他小写字母之前，如具黏淀特征的碱化层为 Btn；灌淤耕作层为 Aup、灌淤耕作淀积层 Bup、灌淤斑纹层 Bur；v 放在其他小写字母后面，如砂姜钙积潮湿变性土的 B 层为 Bkv。

● 耕作层是长期受耕作影响下形成的土壤表层。耕层厚度是指耕作熟化形成的土壤表土层厚度，一般厚度为 10~20 cm，部分深耕之后，可达到 25~30 cm，与下伏土层区分明显。养分含量比较丰富，土壤为粒状、团粒状或碎块状结构。耕作层由于经常受农事活动干扰和外界自然因素影响，其水分物理性质和速效养分含量的季节性变化较大。处于经常耕作深度之内的各种不同土层都能形成耕作层，标记为 Ap1。

● 犁底层，通常称作“耕作表下层或耕作亚层”，是指位于耕作表层之下，长期受耕犁挤压和黏粒随灌水沉积形成的较为紧实的土层。常见于水田土壤，部分旱作土壤也有出现，厚度一般为 3~10 cm，标记为 Ap2。

(3) 发生层或发生特性的续/细分

基本发生层可按其发生程度上的差异进一步细分为若干亚层。均以大写字母与阿拉伯数字并列表示，例如 C1、C2、Bt1、Bt2、Bt3。

● 异元母质土层表示：用阿拉伯数字置于发生层符号前表示。例如，在下列二元母质土壤剖面的发生层序列（A-E-Bt1-Bt2-2C-2R）中，A-E-Bt1-Bt2 和 2C-2R 不是同源母质。

● 过渡层表示：用代表上下两发生层的大写字母连写，将表示具主要特征的土层字母放在前面。例如，AB 层。具舌状、指状土层界线的两发生层，用斜线分隔号 (/) 置于其间，前面的大写字母代表该发生层的部分在整个过渡层中占优势。例如，E/B 层，B/D 层。

(4) 发生层类型与附加特性常见组合

本规范在上述发生层描述和命名规则的基础上，提供“土壤主要发生层命名与符号标准”供野外描述使用，见附表。

7.3 土壤剖面形态观察与记载

野外调查应记录每个土壤发生层的形态学特征，包括发生层厚度、边界、颜色、根系、质地、结构、砾石、结持性、新生体、侵入体、土壤动物、石灰反应、亚铁反应等指标。

7.3.1 发生层性状

(1) 厚度

记录每个发生层的上界和下界深度，如 0~15 cm，15~32 cm。如果是枯枝落叶层，厚度用正数表示，如+3~0 cm。

(2) 边界

记录相邻发生层之间的过渡状况。记录其过渡形状和明显度两个指标。

表 7.3 发生层层次过渡描述

过渡形状					
编码	描述	说明			
S	平滑	指过渡层呈水平或近于水平			
W	波状	指土层间过渡形成凹陷，其深度<宽度			
I	不规则	指土层间过渡下次凹陷，其深度>宽度			
B	间断	指土层间过渡出现中断现象			
明显度					
编码	描述	交错区厚度 (cm)	编码	描述	交错区厚度 (cm)
A	突变	<2	G	渐变	5~12
C	清晰	2~5	F	模糊	≥12

注：不规则过渡土层的厚度或深度应按实际变幅描述，如 10/12 cm~16/30 cm

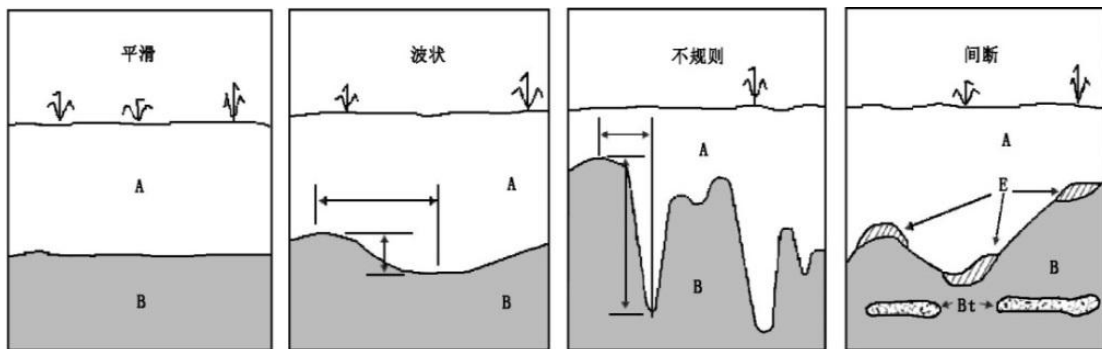


图 7.4 土层间的过渡形式

(3) 颜色

土壤颜色使用蒙塞尔颜色体系表征，野外统一获取润态土壤颜色，可使用喷水壶调节土壤湿度。如果野外不具备比色条件，回到室内，利用采集的纸盒样品，先比干态颜色，再滴水比润态颜色，并及时补充上报颜色数据。

若同一土层两种物质相互混杂，有两种以上的土壤底色时，对不同的底色分别加以描述，并描述不同颜色的面积占比。

(4) 根系

记录土体中植物根系的形态特征，包括丰度、粗细状况情况以及根系性质。

● 丰度：分为 5 级——无，未见根系；很少，每平方分米 (dm²) 含极细根、细根 1~20 条或中、粗、很粗根 1~2 条；少，每平方分米含极细根、细根 20~50 条或中、粗、很粗根 2~5 条；中，每平方分米含极细根、细根 50~200 条或中、粗、很粗根至少 5 条；多，每平方分米含极细根、细根至少 200 条。

● 粗细：按直径 (mm) 可分为极细、细、中、粗、很粗。

● 根系性质：木本或草本植物根系、活根或已腐烂根系

表 7.4 根系描述

1) 粗细			2) 丰度(条/dm ²)			
编码	描述	直径 (mm)	编码	描述	VF&F	M&C&VC
VF	极细	<0.5	N	无	0	0
F	细	0.5~2	V	很少	<20	<2
M	中	2~5	F	少	20~50	2~5
C	粗	5~10	C	中	50~200	≥5
VC	很粗	≥10	M	多	≥200	

(5) 质地

野外调查一般采用“指测法”进行简易判断土壤质地。方法如下：

- 砂土：松散的单粒状颗粒，能够见到或感觉到单个砂粒。干时若抓在手中，稍以松开后即散落，润时可呈一团，但一碰即散。
- 砂壤土：干时手握成团，但极易散落，润时握成团后，用手小心拿起不会散开。
- 壤土：松软并有砂粒感，平滑，稍黏着。干时手握成团，用手小心拿起不会散开；润时握成团后，一般性触动不至于散开。
- 粉壤土：干时成块，但易弄碎，粉碎后松软，有粉质感。润时成团，为塑性胶泥。干、润时所呈团块可随便拿起而不散开。湿时以拇指与食指搓捻不成条，呈断裂状。
- 黏壤土：破碎后呈块状，土块干时坚硬。湿土可用拇指和食指搓捻成条，但往往经受不住它本身的重量。润时可塑，手握成团，手拿起时更加不易散裂，反而变成坚实的土团。
- 黏土：干时为坚硬的土块，润时极可塑，通常有黏着性，手指间搓成长的可塑土条。

(6) 结构

指土壤颗粒（包括团聚体）的排列与组合形成的土块。野外调查中，主要记载土壤结构的类型、大小和发育程度。

观察时应注意以下几点：

- 观察土壤结构最好在土壤含水量中等的情况下观察，可以用喷壶适量喷水；
- 有两种或两种以上结构体时，应分别记载；
- 在观察时，应注意胶结物质的类型（腐殖质胶结、碳酸盐胶结、铁铝氧化物胶结、硅酸胶结）；
- 注意剖面发生层上下的结构差异。

表 7.5 土壤结构形状描述

形状	描述	形状	描述
A 片状	表面平滑	G 核状	边角尖锋紧实少孔
B 鳞片状	表面弯曲	H 粒状	浑圆少孔
C 棱柱状	边角明显无圆头	I 团粒状	浑圆多孔
D 柱状	边角较明显有圆头	J 屑粒状	多种细小颗粒混杂体
E 棱块状	边角明显多面体状	K 楔状	类似锥形木楔形状
F 团块状	边角浑圆		

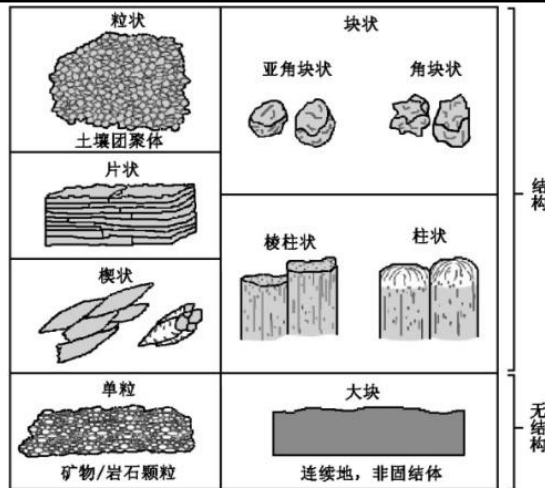


图 7.5 土壤结构体形状

表 7.6 土壤结构描述

1) 形状大小					
编码	描述	最大尺度 (mm)	编码	描述	最大尺度 (mm)
PL	1) 片状		GR	4) (单) 粒状	
VF	很薄	< 1	VF	很小	< 1
FI	薄	1~2	FI	小	1~2
ME	中	2~5	ME	中	2~5
CO	厚	5~10	CO	大	5~10
VC	很厚	≥ 10	VC	很大	≥ 10
PR	2) 棱柱状		MA	5) 整体 (/整块) 状	
VF	很小	< 10	FS	细沉积层理	
FI	小	10~20	FMA	风化矿物结晶	
ME	中	20~50			
CO	大	50~100			
VC	很大	≥ 100			
BL	3) (棱) 块状				
VF	很小	< 5			
FI	小	5~10			
ME	中	10~20			
CO	大	20~50			
VC	很大	≥ 50			
2) 发育程度					
编码	描述		编码	描述	
VW	很弱 (保留大部分母质特性)		WE	弱 (保留部分母质特性)	
			MO	中 (保留少量母质特性)	
			ST	强 (基本没有母质特性)	
			VS	很强 (没有母质特性)	

注：片状、柱状结构体，以短轴长度计；块状、粒状结构体，以最大长度计。

(7) 土体内砾石

指土体中能够从土壤分离出的大于 2 mm 的岩石和矿物碎屑。

主要记载砾石的丰度、大小、形状、风化状态等。填报土体内砾石丰度时，用实际估测的砾石体积百分比 (%) 数值表示，以 5% 为等级间隔填报具体数字。

表 7.7 岩石和矿物碎屑描述

	编码	描述	直径(mm)	与地表砾石相当等级
大小	A	很小	< 5	(细砾)
	B	小	5-20	(中砾)
	C	中	20-75	(粗砾)
	D	大	75-250	(石块)
	E	很大	≥250	(巨砾)
	编码	描述	编码	描述
形状	P	棱角状	SR	次圆状
	SP	次棱角状	R	圆状
	编码	描述	说明	
风化程度	F	微风化 (包括新鲜)	没有或仅有极少的风化特征	
	W	中等风化	砾石表面颜色明显变化，原晶体已遭破坏，但部分仍保新鲜状态，基本保持原岩石强度	
	S	强风化	几乎所有抗风化矿物均已改变原有颜色，施加一般压力即可把砾石弄碎	
	T	全风化	所有抗风化矿物均已改变原有颜色	

(8) 结持性

记录土壤结构体在手中挤压时破碎的难易程度。结持性受土壤含水量影响而变化，野外可喷水调节湿度，观察润态条件下的结持性：

- 松散：土壤物质间无黏着性（两指相互挤压后无土壤物质附着在手上）；
- 极疏松：在大拇指与食指间施加极轻微压力下即可破碎；
- 疏松：土壤物质有一定的抗压性，在拇指与食指间较易压碎；
- 坚实：土壤物质抗压性中等，在拇指和食指间难压碎，但以全手挤压时可以破碎；
- 很坚实：土壤物质的抗压性极强，只有全手使劲挤压时才可破碎；
- 极坚实：在手中无法压碎。

(9) 新生体

指土壤发育过程中物质重新淋溶淀积和集聚的生成物。从成份上包括易溶性盐类、石膏、碳酸钙、二氧化硅、铁锰氧化物、腐殖质等。从形态上分为斑纹、胶膜、粉状结晶、结核、磐层胶结等。

野外应配备微型标尺，单独拍摄新生体特征照片。

● 斑纹

与土壤基色不同的线状物或斑块状物，一般是由氧化（干态）还原（湿态）交替形成。



图 7.6 新生体-铁（锰）斑纹（特写照片须配微型标尺作为参照）

表 7.8 斑纹定量描述

1) 丰度			3) 组成物质	
编码	描述	占面积 (%)	编码	描述
N	无	0	D	铁
V	很少	<2	E	锰
F	少	2~5	F	铁/锰
C	中	5~15	B	高岭石
M	多	15~40	C	二氧化硅
A	很多	≥40	OT	其它
2) 大小			4) 位置	
编码	描述	直径 (mm)	编码	描述
V	很小	<2	A	结构体表面
F	小	2~6	B	结构体内
M	中	6~20	C	孔隙周围
C	大	≥20	D	根系周围

● 胶膜

指土壤孔隙壁、土壤结构体或矿质颗粒表面，由于土壤某种成分的凝聚或细土物质就地改变排列所形成的膜状物，颜色可因组成成分不同而有棕、黄、灰等颜色。

表 7.9 胶膜描述

1) 丰度			3) 组成物质	
编码	描述	体积 (%)	编码	描述
N	无	0	C	黏粒
V	很少	<2	CS	黏粒-铁锰氧化物
F	少	2~5	H	腐殖质 (有机质)
C	中	5~15	CH	黏粒-腐殖质
M	多	15~40	FM	铁-锰
A	很多	40~80	SIL	粉砂
D	极多	≥80	OT	其他
2) 位置			4) 与土壤基质对比度	
编码	描述		编码	描述
P	结构面		F	模糊
PV	垂直结构面		D	明显
PH	水平结构面		P	显著
CF	粗碎块			
LA	薄片层			
VO	孔隙			
NS	无一定位置			
对比度说明				
模糊：只有用 10 倍的放大镜才能在近处的少数部位看到，与周围物质差异很小。				
明显：不用放大镜即可看到，与相邻物质在颜色、质地和其他性质上有明显差异。				
显著：胶膜与结构体内部颜色有十分明显的差异。				



图 7.7 新生体

黏粒胶膜 (左一)、铁锰胶膜 (右二、右三)

● 矿质瘤状结核

是土壤发生过程中形成的粉状、瘤状、管状物等，主要由无机物质的次生晶体、微晶体、无定形结核构成（包括易溶盐、碳酸钙等形成的粉状物质），描述其丰度、种类、大小、形状、硬度、组成物质等项目。



图 7.8 铁锰结核



7.9 砂姜（碳酸钙结核）



图 7.10 铁管

表 7.10 矿质瘤状结核描述

1) 丰度			4) 形状	
编码	编码	体积 (%)	编码	描述
N	无	0	R	球形
V	很少	<2	E	管状
F	少	2~5	F	扁平
C	中	5~15	I	不规则
M	多	15~40	A	角块
A	很多	40~80	P	粉状
D	极多	≥80	5) 硬度	
2) 种类			编码	描述
编码	描述		H	用小刀难以破开
T	晶体		S	用小刀易于破开
C	结核		B	硬软兼有
S	软质分凝物		P	软
B	假菌丝体		6) 组成物质	
L	石灰膜		编码	描述
N	瘤状物		CA	碳酸钙（镁）
R	残留岩屑		Q	二氧化硅
3) 大小			FM	铁锰（ R_2O_3 ）
编码	描述	直径 (mm)	GY	石膏
V	很小	<2	SS	易溶盐
F	小	2~6	OT	其他（需注明）
M	中	6~20		
C	大	≥20		

● 磐层胶结

指坚硬的层次，组成磐层的物质湿时具有强烈的结持性，在水中 1 小时也不分散。

表 7.11 磐层胶结与紧实状况描述

编码		描述	编码		描述
胶 结 程 度	N	无	胶 结 物 质	K	碳酸盐
	Y	紧实但非胶结		Q	二氧化硅
	W	弱胶结		KQ	碳酸盐-二氧化硅
	M	中胶结		F	铁
	C	强胶结		FM	铁锰氧化物
成 因	NA	自然形成		FO	铁锰-有机质
	MM	机械压实		GY	石膏
	AP	耕犁		C	黏粒
	OT	其他（需注明）		CS	黏粒-铁锰氧化物

● 滑擦面

指砂姜黑土（变性土）由于 2:1 胀缩型黏粒矿物含量高，表下层土壤受挤压而相对移动过程中由黏粒致密排列而形成的磨光面（不是黏粒胶膜）。

表 7.12 滑擦面描述

编码	描述	占观察面的面积 (%)	编码	描述	占观察面的面积 (%)
N	无	0	M	多	15~50
V	少	< 5	A	很多	≥ 50
C	中	5~15			



图 7.11 滑擦面

(11) 侵入体

指非土壤固有的，而是由外界进入土壤的特殊物质。描述和记录侵入体类型和丰度。

表 7.13 土壤侵入体描述

1) 组成物质		2) 丰度				
编码	类型	编码	类型	编码	描述	体积 (%)
CH	草木炭	BF	贝壳	N	无	0
CF	陶瓷碎片	CC	煤渣	V	很少	<2
ID	工业粉尘	WL	废弃液	F	少	2~5
PS	砖、瓦、水泥、钢筋等建筑物碎屑			C	中	5~15

(12) 土壤动物

在描述中，除了描述和记录土壤动物的类型和丰度，同时，更要注重观察和描述土壤动物活动对土壤性状、土壤利用的影响，如动物空穴、动物压实、蚯蚓粪等数量，对根系、适耕性产生的影响。

表 7.14 土壤动物描述

1) 种类		2) 丰度			3) 影响情况	
编码	类型	编码	描述	动物个数		
EW	蚯蚓	N	无	0	动物孔穴	
AT	蚂蚁/白蚁	F	少	<2	蚯蚓粪	
FM	田鼠	C	中	3~10		
BT	甲虫	M	多	≥10		
OT	其他 (需注明)					

注：如观察到动物粪便，其丰度描述由观察者决定，编码和描述同动物个数。

(13) 野外速测特征

- 石灰反应（盐酸泡沫反应）：测定石灰性土壤中碳酸盐的多寡，用 10%稀盐酸滴定。
- 亚铁反应：野外鉴定还原性土壤中的 Fe^{2+} ，加入邻菲罗啉试剂，形成桔红色配合物。
- 碱化反应：判别碱化土壤，用酚酞指示剂测定。
- 土壤酸碱反应：可利用混合指示剂比色法速测土壤酸碱度。

表 7.15 土壤反应描述

1) 石灰反应			3) 土壤碱反应		
编码	描述	等级	编码	描述	等级
N	无	(/)	N	无	无色 (/)
SL	轻度石灰性	(+)	SL	轻度碱化	淡红 (+)
MO	中度石灰性	(++)	MO	中度碱化	红 (++)
ST	强石灰性	(+++)	ST	强度碱化	紫红 (+++)
EX	极强石灰性	(++++)			

2) 亚铁反应			4) 土壤酸碱反应	
编码	描述	等级	编码	描述
N	无	无色 (/)	AC	酸性
SL	轻度	微红或微蓝 (+)	NE	中性
MO	中度	红或蓝 (++)	AL	碱性
ST	强度	深红或深蓝 (+++)		

7.3.2 土体性状

(1) 有效土层厚度

有效土层厚度是从地表起植物根系可垂直延伸到从而吸收养分的土层厚度(不含半风化物、2 mm 以上砾石或卵石含量超过 75%的碎石层)。当土体中有障碍层时,为障碍层上界面以上的土层厚度,记录其实际数值。当土体中既无碎石层也无障碍层时,为母质层上界面上深度。单位: cm。

(2) 土体厚度

是指>2 mm 砾石的体积占比≤75%的所有土层。此处砾石包括基岩、基岩的半风化体、洪积或冲积来的石块(包括鹅卵石)、粗砂以及次生的结核(如铁锰结核和砂姜)。包括表土层(如耕作层)、心土层等在内的土壤层总厚度。单位: cm。

土体厚度超过 120 cm 时,记录到剖面挖掘的 120 cm 深度,或者记录野外实际观测深度。

(3) 土体质地构型

是指土壤剖面中各发生层土壤质地的排列状况,适用于平原、盆地区域的冲积物、沉积物母质发育的土壤类型。

大致分为如下三个类型:

- 均质质地剖面构型: 即指从土表到 100 cm 深度土壤质地基本均一,或其他质地的土层的连续厚度< 15 cm,或这些土层的累加厚度< 40 cm; 分为通体壤、通体砂、通体黏、通体砾等 4 种类型;

- 夹层质地剖面构型: 即指从土表 20~30 cm 至 60~70 cm 深度内,夹有厚度 15~30 cm

的与上下层土壤质地明显不同的质地土层，续分为砂/黏/砂、黏/砂/黏、壤/黏/壤、壤/砂/壤、其他（需注明）等 5 种类型；

● 体（垫）层质地剖面构型：即指从土表 20~30 cm 以下出现厚度 > 40 cm 的不同质地的土层；续分为砂/黏/黏、黏/砂/砂、壤/黏/黏、壤/砂/砂、其他（需注明）等 5 种类型。

7.3.3 土壤类型野外判断

本次普查采用中国土壤地理发生分类和中国土壤系统分类两套分类体系并行的方式，野外调查时需判定剖面样点土壤类型。

中国土壤地理发生分类，鉴定到土种级别（森林土壤可根据实际调查情况，到土属级别）。在《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》拟定和二普土壤类型省级校准工作完成之前，野外类型鉴定以二普县级土种图和土种志为依据，仍然沿用县级名称。

中国土壤系统分类依据《中国土壤系统分类检索（第三版）》中的高级单元和“中国土壤系统分类土族和土系划分标准”中的基层分类规则，检索到土族级别。

7.3.4 土壤剖面野外评述

对土壤剖面形态学特征、成土环境等观察与描述后，应对所观察的剖面进行综合评述，主要内容分为针对土壤剖面形态的发生学解释，以及土壤生产性能评述等。

（1）土壤剖面形态的发生学解释

针对土壤剖面的形态学特征，分析其与成土环境条件、形成过程之间的关系。例如，从剖面中出现的铁锈斑纹新生体，说明剖面中具有（或曾经有）水分上下运动的过程，而出现了氧化还原交替。对于某些野外难以理解的特征，应标注现象、特征与疑问，以便室内进一步分析时再做判定，并通过在线平台进行专家咨询。

（2）土壤剖面的生产性能评述

生产性能评述包括记录和评价土壤适耕性、障碍因素与障碍层次、土壤生产力水平及土宜情况，提出土壤利用、改良、修复等的建议。

7.4 剖面土壤样品采集

7.4.1 土壤发生层样品采集

按照剖面发生层顺序，自下而上取样。

每个发生层内部，在水平方向上均匀采样，在垂直方向上全层采样。

可直接不锈钢工具取样，并剥离掉与不锈钢工具接触面的土壤。

剔除明显可见的根系、砾石。砾石多的土壤应在野外过 2 mm 以上孔径尼龙筛，并记录砾石体积与重量以及采土区间的土壤体积，具体步骤参照表层土壤样品采集的相关要求。

每个发生层采集 3 kg 土壤样品，设为检测平行样的样点每个发生层采集 5 kg 土壤样品。

7.4.2 土壤发生层容重样品采集

用不锈钢环刀（统一用 100 ml 体积的环刀）采集剖面土壤容重样品。具体操作如下：

- (1) 每个发生层均采集三个容重平行样品；
- (2) 每个发生层的三个容重平行样的采样位置在该发生层内垂直方向上均匀分布；
- (3) 垂直于观察面横向打入环刀；
- (4) 其他参照表层土壤容重样品采集。

7.4.3 土壤水稳性大团聚体样品采集

采集土壤剖面第一个土壤发生层的土壤水稳性大团聚体样品，采样量为 2 kg，设为检测平行样的样点采集 4 kg。具体采样步骤参照表层土壤水稳性大团聚体样品采集的相关要求进行。

7.4.4 纸盒土壤标本采集

每个剖面样点均需采集纸盒土壤标本。

(1) 位置选择

按发生层分别选择代表该层特征的部位。若某层具有明显不均质的形态特征时，则需同时选择该层具有不同形态特征的部位。若某发生层较厚时，可在该层垂向上按性状分异取至少 2 个部位，占用两个纸盒格子。若出现基岩，应采集岩石样本放入纸盒最后一格。

(2) 标本采集

在选定的部位上按格子大小划出轮廓，削去周围土壤，挖出土块；

用小刀切去大于盒格体积的土壤，剪除露出的根系，放入盒格内，土块应尽量填满盒格，剥离出自然结构面，并与格沿基本齐平；

纸盒内土块上下方向应与剖面保持一致，土块的展示面与剖面观察面一致；

在盒格侧面注明所代表土壤发生层的层次上下界深度，盒盖上按要求填写样点编号、位置、地形、层次深度、采集时间、采集人等信息；

盖上盒盖后，用橡皮筋捆绑，以防盒子松散、标本混撒。纸盒土壤标本运输至室内后，及时打开盒盖风干。

7.4.5 整段土壤标本采集

挖土壤剖面：用锨、锹、镐、铲等工具在确定的位置挖土坑，为便于实地操作，所挖的土坑尺度应比标准剖面稍大。

修整剖面：先用平头铲将剖面表面略微修平，再用木条尺在表面反复摩擦。有尺痕处即为凸面，应用油漆刀铲去，如此反复，直至剖面表面修平。

修切土柱：用剖面刀在剖面上划出土柱尺寸，用刀切去线外多余土壤，整修出与木盒内径相同的长方形土柱。在铲挖土柱两个侧面时，要用木条尺反复摩擦，多次修正，直至侧面光滑平整。

框套土柱：将土柱底部挖空，将木框架套入，用大剖面刀削平土柱，盖上下盖并用螺钉固定。同时用一根棍顶住木盒，使勿倾倒。

分离土柱：自上而下小心在木盒两侧将土柱切出，可以用手锯将土柱从背面锯断。遇到植物根系要用修枝剪剪去。当上部部分土柱与坑壁分离后，即用约 10 cm 宽的布带绕捆木盒和土柱以防土柱倒塌。当绕捆至土柱大半时，插入铁铲或撬棒，将土柱向后倾倒，抬出土坑，平放地面。

运输：解开布带，去除表面多余土壤。铺上塑料薄膜并将面板盖上，用螺钉固定。在木盒上写上标记后，用大块泡沫“布”包裹。外面用宽布带捆牢，即可运输至室内制作。

注：本种方法在采集多砾石、疏松或湿土时需要小心谨慎操作。

7.4.6 剖面样点地下水与灌溉水样品采集

在盐碱土区域，需要对剖面样点的地下水及灌溉水进行采样，具体参考盐碱地普查相关要求。

7.4.7 剖面土壤样品标签与包装

剖面土壤发生层样品、土壤容重样品、土壤水稳性大团聚体样品的标签与包装的具体要求参照表层土壤样品的相关要求。土壤整段标本和纸盒标本的标签与剖面样点标签相衔接。

7.4.8 剖面土壤样品交接

采样后及时妥善将采集的土壤样品和标本分批交接至样品流转中心、样品制备实验室或标本制备单位，将剖面样点的水样交接至省级质控实验室，填写土壤样品交接表。

8 土壤图的野外校核

统筹衔接土壤剖面调查与土壤类型制图更新，以土壤剖面调查为依托，开展土壤图野外校核工作。工作范围是每个剖面点位所在的土壤二普县级土壤图图斑及其边界缓冲区。工作方法是运用景观类型边界过渡、检查剖面 and 定界剖面进行现场踏勘明确图斑边界。

8.1 工作底图制备

由于土壤二普县级土壤图分类不统一，土壤图之间普遍存在土种间的同土异名、同名异土问题，造成县级土壤图整合时出现问题。在外业调查采样前，全国土壤普查办组织开展土壤二普县级土壤图土壤名称校准，实现土种名称的全国统一，并更新到各县土壤图上。将县级土壤图（如果外业工作开展时，上述工作尚未完成，则基于原有的二普县级土壤图为基础制作底图）和 1:1 万国土三调土地利用现状图的矢量图斑界线叠加在 10 m 分辨率遥感影像、10 m 分辨率数字高程模型、1:25 万地质图上，形成三种工作底图。

底图制作时不要全县一张图，而是将每个剖面点位所在的二普土壤图图斑及其边界缓冲区作为底图空间范围，每个剖面点独立成图，建议设为 A4 幅面或按照 1:1 万比例尺制作。底图要叠加尽可能细致的经纬网格信息，以便于野外结合 GPS 读数准确定位。打印底图供野外土壤图校核使用。

8.2 图斑边界校核

图斑边界校核是土壤图野外校核工作的核心，按照以下思路和方法核查和勾绘土壤二普土壤图图斑界线。

（1）明确土种的划分依据和典型土种剖面的描述信息，以及土壤类型、土种图斑与地形地貌、土地利用、母岩和母质类型等之间的关系。

（2）重点依据土地利用、植被、地形地貌、母质等在空间上的综合变异点，确定土壤边界。对于具有明显景观边界和土壤边界的地域，如山地丘陵区域，利用成土环境要素特征如海拔高度、坡度、坡向和坡位等的明显界线作为土壤图界线校核的参考，野外结合上述三种工作底图可辨的景观部位差异和现场观察进行土壤图图斑边界判别。对于景观边界和土壤边界不明显的地域，如平原地区，依据土壤二普土壤图图斑，在边界缓冲区踏勘定界，采用逐步内插法挖掘土壤检查剖面 and 定界剖面（打土钻）进行确定土壤图图斑边界。

（3）参照剖面样点所代表土种的图斑范围，按土壤分布规律，从中心到相邻图斑边界设置多个剖面观察点。逐个挖掘土壤定界剖面（打土钻），进行观察记录，确定土壤定界剖面点的土壤类型。

(4) 当两个相邻定界剖面点为不同土壤类型时，应划分为不同的土壤图制图单元，并用检查剖面 and 定界剖面确定其分布范围，修订土壤图图斑界线。

(5) 野外校核边界过程中，在纸质工作底图上对土壤二普土壤图图斑界线进行修正性勾绘和标识，对于需要修正的图斑用红色油笔勾绘其新的界线。

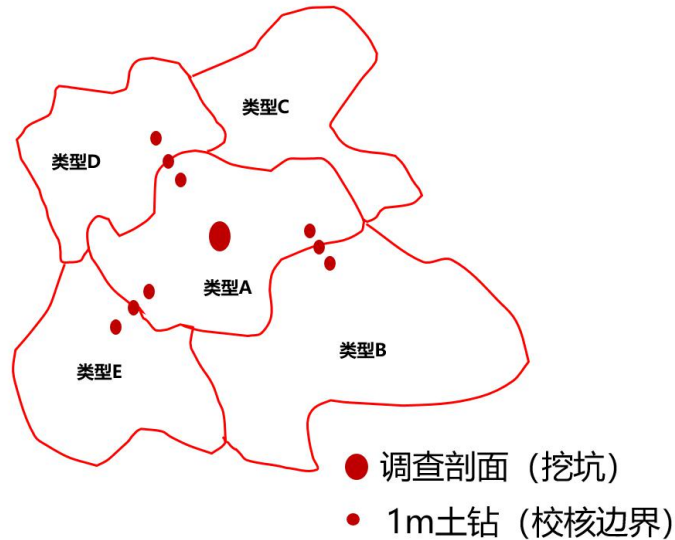


图 8.1 土壤图图斑边界校核示意图

8.3 图斑类型与纯度校核

评估剖面点所在图斑内优势土壤类型、土壤组合或复区情况，对图斑的土壤类型、土壤类型的组合以及多个土壤类型的面积比例进行校核。

(1) 图斑土壤类型确定

根据剖面样点调查剖面、检查剖面、定界剖面的调查结果，对照剖面土壤类型与土壤图是否一致，确定土壤图图斑内观察点位的土壤类型的名称，依据三种工作底图和野外观察对每种土壤类型的分布面积比例进行估算，并按照下述图例系统对图斑土壤类型进行记述。

(2) 图例系统

制图单元可以是以某一主要类型为代表的优势土壤单元，也可以是组合制图单元或复区制图单元。

优势土壤单元：土壤图图斑内的土壤以某一土壤类型占绝对优势（85%以上），制图单元的名称就以这个占优势的土壤类型名称命名，其所包含的土壤大多数与优势类型土壤在性质上类似。针对非类似的土壤，若与优势类型土壤性质上差异不大，非类似土壤面积最多不能超过优势土壤类型面积的 25%；若与优势类型土壤性质完全不同，最多不能超过 10%。

组合制图单元:主要用于当一个自然地理景观单元内有两个以上的非类似的土壤类型有规律组合出现,而制图比例尺不能单独表示时的情况。组合单元的土壤类型所占的面积比例不小于 75%,可以是两个或三个,一般按其比重依次排列,面积占比最多的放在第一位。

复合制图单元:主要用于土壤类型呈交叉分布的情况,其与组合制图单元的含义类似。在野外确定制图单元时,应该注意制图单元并不是越小越好,应根据比例尺的精度要求、土壤类型的分布规律及土壤复杂程度等而定,并经逐步观察综合而成。

8.4 校核结果分析、记述和整理提交

(1) 校核结果原因分析与案例归纳

分析土壤类型变化或图斑边界变化原因,主要包括土壤分布与成土环境关系、土地利用类型的根本性改变(水改旱、水改园、旱改水等)、土壤关键特征的根本性改变(盐碱土经长期利用和改良后,盐分已消失或很低;划分土种的特征属性,如土体的石灰性已消失、障碍层已消失等)。

案例归纳的目的是衔接土壤类型制图更新,为制图提供基础信息。归纳两种案例:一是 什么成土环境条件发育什么土壤类型的案例,即定性或定量地刻画成土环境(气候、母质、地貌地形、植被、土地利用等)及其土壤类型;二是 什么二普土壤类型在什么条件下现在变成了什么土壤类型的案例,例如某二普图斑的潮土,经过旱改水后 15 年,变成了水稻土;某二普图斑的中度盐土,经过 10 年耕作,变成了潮土。

(2) 图件提交与存档

扫描野外校核后的工作底图图件,扫描件上传系统,纸质底图存档。

(3) 文字描述提交

整理二普土壤图图斑的边界、类型和纯度校核过程和结果、校核结果原因分析和案例归纳等的相关文字描述,形成每个调查剖面所在图斑校核的单独文档,提交系统。

9 外业调查采样质量控制

外业调查采样工作的全流程包括内业筹备、外业调查、室内样品整理、土壤图外业勾绘等环节，涉及人员和部门多、工作周期长、任务量大、需要相互配合的环节多，因此，需要做好各个关键环节、关键部门的精度核查和普查质量控制工作，主要包括外业调查人员培训与专家在线指导、预设样点定位与信息描述、样品采集、样品交接、土壤图更新与制图、数据提交等六个方面。

9.1 调查人员培训与专家技术指导

土壤普查的质量好坏，很大程度上决定于土壤普查工作参与者，尤其是一线调查人员的专业知识素养与外业工作应急处置能力。在土壤三普试点以及全面推进期间，须对各省土壤调查人员开展持续性、系统性、专业性的技术培训和考核，提升一线调查人员的专业素养和实操能力；国家级和省级专家技术指导组组织开展在线和现场技术指导，确保外业调查采样有序推进。

9.2 样点定位与信息描述质量控制

在前期样点校核基础上，设定预布设样点电子围栏范围，外业调查采样队依据局地代表性核查要求，在电子围栏内，选择代表性的采样中心点。当预布设样点未通过局地代表性核查时，须按照样点现场调整要求进行。使用调查采样 APP 完成信息描述与记载工作，其中对填写规则和缺省规则有明确规定，如填写不合格，不能完成数据提交。

9.3 外业样品采集质量控制

外业调查采样队对样品采集质量负责，全国土壤普查办和地方土壤普查办组织抽查土壤样品采集质量。加强内部和外部质量控制，确保表层土壤混合样品、剖面发生层样品、容重样品、水稳性大团聚体样品、整段剖面标本、纸盒标本、地下水和灌溉水样品等符合普查相关质量要求。

9.4 样品交接检查

样品采集完成后，认真填写土壤样品交接表，及时妥善移交相关单位，务必做到“样品有数、无一遗漏、责任到人、遗失可查”。

9.5 数据提交质量控制

外业调查采样队须完成数据上报前的调查描述信息数据自查，全国土壤普查办和地方各级土壤普查办组织数据审核，严控数据填报质量。

附表

外业调查与采样相关表格

表一 成土环境与土壤利用调查信息采集项目清单及填报说明

信息项		信息填写规则说明
样点 基本 信息	样点编码	系统赋值, 统一编码
	行政区划	系统赋值, 野外核查。省(自治区、直辖市)-市-区(县)-乡(镇)-行政村
	地理坐标	确定采样点位置后, 手持终端设备采集
	海拔高度	确定采样点位置后, 手持终端设备采集
	日期	自动赋值
	天气	晴或极少云、部分云、阴、雨、雨夹雪或冰雹、雪
	调查人及所属单位	填报现场技术领队姓名、身份证号及其所属单位
	调查机构	填报调查任务承担机构全称
	侵蚀	无、轻、中、强、剧烈
	基岩出露	水蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀、风蚀、水蚀与风蚀复合 无、少、中、多、很多 很远、远、中、较近、近
地表特征	地表砾石	无、少、中、多、很多 细砾石、粗砾石、石块、巨砾
	地表盐斑	无、低、中、高、极高 薄、中、厚、很厚
	侵蚀程度	无、少、中、多、很多
	侵蚀类型	无、少、中、多、很多
	丰度	无、少、中、多、很多
	间距	很远、远、中、较近、近
	宽度	无、少、中、多、很多
	长度	很短、中、长、很长
间距	很小、小、中、大、很大	

成土环境信息	土壤沙化	未沙化、轻度沙化、中度沙化、重度沙化	
	大地形	山地、丘陵、平原、高原、盆地	
	中地形	冲积平原、海岸（海积）平原、湖积平原、山麓平原、洪积平原、风积平原、沙地、三角洲、河滩/潮滩、低丘、高丘、低山、中山、高山、极高山	
	小地形	河间地、沟谷地、谷底、河道、河堤、阶地、泛滥平原、潟湖、盘状凹地、珊瑚礁、火山口、洼地、沙丘、纵向沙丘、沙丘间洼地、坡、山脊、滩脊	
	地形部位	顶部、坡上、坡中、坡下、坡麓（底部）、高阶地（洪-冲积平原）、低阶地（河流冲积平原）、河漫滩、底部（排水线）	
	坡度	平地、微坡、缓坡、中缓坡、极陡坡	
	坡向	无、东、东南、南、西南、西、西北、北、东北	
	坡型	凸坡、凹坡、直坡	
	母岩	野外校核	
	母岩母质	风积沙、原生黄土、黄土状物质（次生黄土）、残积物、坡积物、洪积物、冲积物、海岸沉积物、湖沉积物、河流沉积物、火成碎屑沉积物、冰川沉积物、有机沉积物、崩积物、（古）红黏土、其他（需注明）	
植被	植被类型	针叶林、针阔混交林、阔叶林、灌丛、荒漠、草原、草丛、草甸、沼泽、高山植被、栽培植被、无植被地段	
	植物优势种	自然植被填乔、灌、草的优势种，耕地此处统一填报“农作物”	
	植被覆盖度	填报乔灌草总体的覆盖度及乔、灌、草分项覆盖度（%）	
	类型现状	耕地、园地、林地、草地等	
土地利用	类型变更	2000年至今，一级类间的变更（草转耕、耕转园、耕转草、耕转林等）、一级类内二级类间的变更类型（如一级类耕地的水改旱、旱改水）及变更年份	
	蔬菜种植	设施农业类型	露天蔬菜地、塑料大棚、玻璃温室、其他（需注明）
		蔬菜种植年限	填报连续种植蔬菜的年限
	特色农产品	是 / 否	
	高标准农田	是否是高标准农田	
农田建设	灌溉保证率	指预期灌溉用水量在多年灌溉中能够得到充分满足的年数出现的概率，用百分率（%）表示	

	排水条件	充分满足、满足、基本满足、不满足			
	道路工程	机耕路 (3~6 m)、生产路 (<3 m)			
	梯田建设	是否是梯田			
耕地利用	熟制类型	一年一熟、一年两熟、两年三熟、一年三熟。蔬菜地按当地粮食作物熟制填报			
	休耕与撂荒	类型	记录样点所在田块最近 5 个熟制年度的休耕与撂荒情况。无、季节性休耕、全年休耕		
		频次	5 年内休耕的累计频次 (如一年两熟、且全年休耕, 则该年度休耕频次为 2)		
	轮作制度	类型	无、季节性撂荒、全年撂荒		
		频次	5 年内撂荒的累计频次		
轮作变更	轮作制度	填报样点所在田块近 5 个熟制年度的主要轮作作物, 按自然年内作物的收获时序进行填报, 分为第一季、第二季、第三季收获作物类型。蔬菜收获超过三季的按三季填写			
当季作物	轮作变更	5 个熟制年度内是否存在轮作变更, 如果有, 以上述轮作制度为基准, 填报次要轮作作物, 填报样点所在田块采样时的当季作物类型 (指待收获或刚收获的)。注意, 中药材要细化到品种, 如黄芪			
耕地利用	产量水平	产量水平	样点所在田块近一个熟制年度作物产量。分季分作物填报全年的作物产量。单位: kg/亩		
	施肥管理	施肥量	化学氮肥	分季分作物填报全年实物用量。纯无机肥、有机-无机复混肥中的无机肥部分, 单位: kg/亩	
			磷肥	实物用量	亩
				有效养分含量	百分比 (%)
	钾肥	钾肥	实物用量	单位: kg/亩	
			有效养分含量	百分比 (%)	
	商品有机肥	商品有机肥	五氧化二磷 (P ₂ O ₅)	单位: kg/亩	
			实物用量	分季分作物填报全年实物用量。纯无机肥、有机-无机复混肥中的无机肥部分, 单位: kg/亩	
			有效养分含量	百分比 (%)	
		氧化钾 (K ₂ O)	单位: kg/亩	分季分作物填报全年实物用量。有机肥、有机-无机复混肥中的有机肥部分, 单位: kg/亩	
	实物用量	单位: kg/亩	分季分作物填报全年实物用量。有机肥、有机-无机复混肥中的有机肥部分, 单位: kg/亩		

				有机质含量	百分比 (%)
				有机质用量	单位: kg/亩
			土杂肥	分季分作物填报全年实物用量。填报体积 (m ³ /亩)	
			厩肥	分季分作物填报全年实物用量。填报体积 (m ³ /亩)	
			施肥方式	沟施、穴施、撒施、水肥一体化、其他 (需注明)	
			还田比例	样点所在田块 1 个熟制年度内秸秆还田情况。以 10%为等级间隔, 分季填报具体数字	
秸秆还田			还田年限	近 10 年实施秸秆还田的年数	
			少耕	近 5 年实施少耕的季数之和	
少耕免耕			免耕	近 5 年实施免耕的季数之和	
			绿肥品种	紫云英、草木樨、苜蓿、肥田萝卜、油菜、巷子、豆科绿肥、田菁、其他 (需注明)	
绿肥种植			种植季节	夏季、冬季、多年生、其他 (需注明)	
			作物类型	具体作物类型, 如茶园、柑橘等	
林龄			作物生长年龄	单位: 年	
			产量水平	样点所在田块全年作物产量。单位: kg/亩	
园地利用	化学氮肥	实物用量	填报全年实物用量。纯无机肥、有机-无机复混肥中的无机肥部分, 单位: kg/亩		
			有效养分含量	百分比 (%)	
		纯氮 (N)	单位: kg/亩		
			实物用量	填报全年实物用量。纯无机肥、有机-无机复混肥中的无机肥部分, 单位: kg/亩	
		磷肥	有效养分含量	百分比 (%)	
			五氧化二磷 (P ₂ O ₅)	单位: kg/亩	
	钾肥	实物用量	填报全年实物用量。纯无机肥、有机-无机复混肥中的无机肥部分, 单位: kg/亩		
		有效养分含量	百分比 (%)		
	商品有机肥	氧化钾 (K ₂ O)	单位: kg/亩		
		实物用量	填报全年实物用量。有机肥、有机-无机复混肥中的有机肥部分, 单位: kg/亩		
	土杂肥	有机质含量	百分比 (%)		
		有机质用量	单位: kg/亩		
厩肥	填报全年实物用量。填报体积 (m ³ /亩)				
			填报全年实物用量。填报体积 (m ³ /亩)		

	施肥方式	沟施、穴施、撒施、水肥一体化、其他（需注明）	
		绿肥品种	紫云英、草木樨、苜蓿、肥田萝卜、油菜、巷子、豆科绿肥、田菁、其他（需注明）
林草利用	绿肥种植	夏季、冬季、多年生、其他（需注明）	
	林地类型	生态公益林：防护林、特种用途林；商品林：用材林、经济林和能源林	
	林地林龄	林地乔木生长年龄。单位：年	
	草地类型	天然草地：温性草原类、高寒草原类、温性荒漠类、高寒荒漠类、暖性灌草丛类、热性灌草丛类、低地草甸类、山地草甸类、高寒草甸类；人工草地：改良草地、栽培草地	
耕作层厚度		单位：cm	
砾石含量高的表层土壤混样品采集	砾石含量高的表层土壤混样品采集	采样区间的表层土壤体积	单位：dm ³
		野外分离的砾石体积	单位：dm ³
		野外分离的砾石重量	单位：kg
含砾石表层土壤容重采集		砾石体积占比 单位：%	

表二 剖面形态学调查信息采集项目清单及填报说明

土壤剖面形态学特征描述项		描述项规则说明
土壤类型名称		二普土壤类型、校核后土壤类型、系统分类名称
发生层厚度		记录每个发生层的上界和下界深度，如 0~15 cm, 15~32 cm
发生层名称		记录每个发生层的名称，如耕作层、犁底层
发生层符号		记录每个发生层的符号，如 Ap1, Ap2
边界	明显度	突变、清晰、渐变、模糊
	过渡形状	平滑、波状、不规则、间断
颜色	蒙塞尔颜色	野外润态比色，或者室内干态、润态比色
根系	大小	极细、细、中、粗、很粗
	丰度	无、很少、少、中、多
	根系性质	木本或草本植物根系、活根或已腐烂的根系
质地		砂土、砂壤土、壤土、粉壤土、黏壤土、黏土
发生层性状	形状及大小	片状：很薄、薄、中、厚、很厚
		棱柱状：很小、小、中、大、很大
		（棱）块状：很小、小、中、大、很大
		粒状（或单粒状）：很小、小、中、大、很大
		整体状（或整块状）：细沉积层理、风化矿物结晶、其他（需注明）
发育程度	很弱（保留大部分母质特性）、弱（保留少量母质特性）、中（保留少量母质特性）、强（基本没有母质特性）、很强（没有母质特性）	
土内砾石	丰度	以 5%为等级间隔填报具体数字
	大小	很小、小、中、大、很大
	形状	棱角状、次棱角状、次圆状、圆状
	风化程度	微风化（包括新鲜）、中等风化、强风化、全风化
结持性		松散、极疏松、疏松、坚实、很坚实、极坚实

新 生 体	斑纹	丰度	无、很少、少、中、多、很多
		大小	很小、小、中、大
		位置	结构体表面、结构体内、孔隙周围、根系周围
	胶膜	组成物质	铁、锰、铁/锰、高岭石、二氧化硅、石膏、其他（需注明）
		丰度	无、很少、少、中、多、很多、极多
		位置	结构面、垂直结构面、水平结构面、粗碎块、薄片层、孔隙、无一定位置
		组成物质	黏粒-黏粒-铁锰氧化物、腐殖质(有机质)、黏粒-腐殖质、铁-锰、粉砂、其他
		与土壤基质对比度	模糊、明显、显著
		丰度	无、很少、少、中、多、很多、极多
	矿 质 瘤 状 结 核	种类	晶体、结核、软质分凝物、假菌丝体、粉末、石灰膜、瘤状物、残留岩屑
		大小	很小、小、中、大
		形状	球形、管状、扁平、不规则、角块、粉状
		硬度	用小刀难易破开、用小刀易于破开、硬软兼有、软
		组成物质	碳酸钙（镁）、二氧化硅、铁锰（ R_2O_3 ）、石膏、易溶盐类、其他（需注明）
	磐 层 胶 结	胶结程度	无、紧实但非胶结、弱胶结、中胶结、强胶结
组成物质		碳酸盐、二氧化硅、碳酸盐-二氧化硅、铁、铁锰氧化物、铁锰-有机质、石膏、黏粒、黏粒-铁锰氧化物	
滑 擦 面	成因或起源	自然形成、机械压实、耕犁、其他（需注明）	
	面积	无、少、中、多、很多	
侵 入 体	种类	草木炭、贝壳、陶瓷碎片、煤渣、工业粉尘、废弃液、砖、瓦、水泥、钢筋等建筑物碎屑、其他（需注明）	
	丰度	无、很少、少、中	
	种类	蚯蚓、蚂蚁/白蚁、田鼠、甲虫、其他（需注明）	
土 壤 动 物	丰度	无、少、中、多	
	影响情况	动物洞穴、蚯蚓粪	
野 外 速 测 特 征	石灰反应	无、轻度石灰性、中度石灰性、强石灰性、极强石灰性	
	亚铁反应	无、轻度、中度、强度	

	酚酞反应	无、轻度碱化、中度碱化、强度碱化
	土壤酸碱反应	酸性、中性、碱性
土体性状	耕作层厚度	针对耕地样点, 单位: cm
	有效土层厚度	根据实际情况记录, 单位: cm
	土体厚度	根据实际情况记录, 单位: cm
	均质地剖面构型	通体壤、通体砂、通体黏、通体砾
	夹层质地剖面构型	砂/黏/砂、黏/砂/黏、壤/黏/壤、壤/砂/壤、其他(需注明)
体(垫)层质地剖面构型	砂/黏/黏、黏/砂/砂、壤/黏/黏、壤/砂/砂、其他(需注明)	
土壤剖面野外 述评	土壤剖面形态的发生学解释	
	土壤剖面的生产性能评述	
砾石含量高的 剖面土壤样品 采集	采样区间的剖面土壤体积	分发生层填报, 单位: dm ³
	野外分离的砾石体积	分发生层填报, 单位: dm ³
	野外分离的砾石重量	分发生层填报, 单位: kg
含砾石剖面土 壤容重采集	砾石体积占比	分发生层填报, 单位: %

表三 土壤样品交接表

样品转送人（签字）			物流信息	物流单号：	联系电话：
样品转送人单位			转送日期	20__年__月__日	
样品转送人手机号					
样品信息	样品类型	样品数量	样品接收时情况		
	<input type="checkbox"/> 表层土壤混合样品				
	<input type="checkbox"/> 表层土壤容重样品				
	<input type="checkbox"/> 表层土壤水稳性大团聚体样品				
	<input type="checkbox"/> 剖面土壤发生层样品				
	<input type="checkbox"/> 剖面土壤容重样品				
	<input type="checkbox"/> 剖面土壤水稳性大团聚体样品				
	<input type="checkbox"/> 盐碱地剖面样点水样				
	<input type="checkbox"/> 剖面土壤纸盒标本				
	<input type="checkbox"/> 剖面土壤整段标本				
样品接收人（签字）			样品接收时间	20__年__月__日	
样品接收人单位			样品交接备注		
样品接收人手机号					

表四 土壤主要发生层命名与符号标准

发生层符号	发生层命名 (中文放前面)	发生学释义
Oi	枯枝落叶层	未分解的有机土壤物质组成的表层, 层中仍以明显的植物碎屑为主
Oe	半腐有机物质表层	由半腐有机土壤物质组成的表层, 层中仍以植物纤维碎屑为主
Oa	高腐有机物质表层	由高分解的泥炭质有机土壤物质组成的表层, 植物碎屑含量极少
Oo	草毡表层	高寒草甸植被下具高量有机碳有机土壤物质、活根与死根交织缠结的草毡状表层
Ah	暗沃、暗瘠、淡薄表层	具有不同程度腐殖质累积形成的腐殖质表层, 结构良好, 颜色较暗
Ap	耕作层	统一表示受耕作影响的表层
Ap1	旱地耕作表层或水耕表层	
Ap2	水稻土的犁底层或旱地受耕作影响的土层	
Apb	耕作埋藏层	曾经的耕作层, 后因故被掩埋, 在表下层段出现颜色深暗、有机质累积的土层
Aup	灌淤表层或堆垫表层	受人为淤积过程或堆垫过程影响形成的耕作层
Ac	孔泡结皮层、干旱表层	在干旱水分条件下形成特有的孔泡结皮层
Ad	片状层	
K	盐结壳	由大量易溶性盐胶结成灰白色或灰黑色表壳
E	淋溶层、漂白层	由于土层中黏粒和/或游离氧化铁淋失, 有时伴有氧化铁就地分凝, 形成“颜色主要由砂粉粒的漂白物质所决定”的土层
Bg	潜育层	长期水分饱和, 导致土壤发生强烈还原的土层
Bh	具有腐殖质特性的表下层	B 层中伴有腐殖质淋淀或重力积累特征的土层, 结构体内外或孔道可见腐殖质胶膜
Bk	钙积层、超钙积层	含有含量不同的次生碳酸盐、未胶结的土层, 常见各种次生碳酸盐新生体
Bkm	钙磐 (强胶结, 手无法掰开)	由碳酸盐胶结或硬结, 形成磐状土层, 手无法掰开
Bl	网纹层	发生在亚热带、热带地区第四系红黏土上具有网纹特征的土层
Bn	碱积层	钠聚集层
Br	氧化还原层	在潮湿、滞水或人为滞水条件下, 受季节性水分饱和, 发生土壤氧化、还原交替作用而形成锈纹锈斑、铁锰凝团、结

发生层符号	发生层命名 (中文放前面)	发生学释义
	层	
Bs	铁锰淀积层	核、斑块或铁磐 在非人为影响下的自然土壤 (如黄褐土、黄棕壤等) 的位于 B 层上部的铁锰淀积层
Bt	黏化层	由于黏粒含量明显高于上覆土层的表下层, 在土壤孔隙壁、结构体表面常见厚度大于 0.5 mm 的黏粒胶膜
Btv	具有变性特征的土层	具有变性特征的土层, 层内可见密集相交、发亮且有槽痕的划擦面, 或自吞特征
Bw	雏形层	无或基本无物质淀积、无明显黏化但具有结构发育的 B 层
Bx	紧实层 (弱胶结, 手可以掰开)	固态坚硬, 但未形成磐状层
Btx	次生黏化层	发生原位黏化 (或次生黏化), 黏粒含量明显高于上层的紧实层
Btm	黏磐 (强胶结, 手无法掰开)	形成黏粒胶结的磐状层, 手掰不开
By	石膏层、超石膏层	富含不同含量的次生石膏、未胶结和未硬结的土层
Bym	石膏磐 (强胶结, 手无法掰开)	由石膏胶结形成的磐状层
Bz	盐积层、超盐积层	易溶性盐类富集的土层
Bzm	盐磐 (强胶结, 手无法掰开)	以氯化钠为主的易溶性盐类胶结或硬结形成的磐状层
Bφ	磷聚积层	具有富磷特性的土层
Bφm	磷质硬磐	由磷酸盐和碳酸钙胶结或硬结形成的磐状土层
母质层 C	母质层	岩石风化后的残积物层或经过机械搬运的沉积层, 未见任何土壤结构
母岩 R	基岩	形成土壤的基岩

表五 母质类型的划分

母质类型		
编码	名称	定义
AS	风积沙	是指由风力将其他成因的砂性堆积物侵蚀、搬运、沉积而成
LO	原生黄土	是干旱、半干旱气候条件下形成的第四纪陆相沉积物，灰黄色、钙质结核、柱状节理、遇水易崩解、具有湿陷性
LOP	黄土状物质 (次生黄土)	指原生黄土被流水冲刷、搬运再沉积而成的黄土。具有层理。
LI	残积物	是指未经外力搬运迁移而残留于原地的风化产物
LG	坡积物	是指山坡地区的风化碎屑，经重力作用，加上雨水或融雪水的侵蚀作用，搬运到山坡中、下部的堆积物
MA	洪积物	是指由山洪搬运的碎屑物质在山前平原地区沉积而形成的洪水沉积体。通常在近山部分物质较粗，分选较差，随着流水营力变弱，堆积物质也逐渐变细。
FL	冲积物	是指岩石风化碎屑经河流搬运沉积而成的沉积物。由于河水多次沉积，往往土层深厚，质地因流水分选作用，而层次明显，沉积物成分比较复杂
PY	海岸沉积物	在海岸地带由碎屑沉积物堆积而成。沉积物由砾石组成的，叫砾滩；由砂组成的，叫沙滩；在波浪的长期作用下，砂粒具有良好的分选性和磨圆度。成分单一，不稳定矿物少，以石英砂最为常见。沙滩表面具有不对称波浪，内部具有交错层理。
AL	湖沉积物	是指沉积物在湖泊中进行的沉积，包括机械的、有机的和化学的沉积。机械沉积的物质来源于河流和击岸浪破坏湖岸的产物。有机沉积有贝壳的堆积、有机淤泥、腐殖质和泥炭等。化学沉积有岩盐、石膏、碳酸钙和沼铁矿等。
VA	河流沉积物	地面水流汇入河流，常常携带陆地表面物质，与水流一起向下游输送。当河流的输沙能力小于其来沙量时引起泥沙迁移速度下降并停留在河床上或向道两侧，形成了河流沉积物。它包括河槽沉积物、河漫滩沉积物两种基本亚类和其他一些亚类（或过渡类型）。
CO	火成碎屑沉积物	由火山碎屑物质堆积而成的岩石碎屑沉积物。其特征介于熔岩与正常沉积岩之间。直径小于2毫米的叫火山灰，凝固后即为凝灰岩。火山砾较大，火山弹则比火山砾更大，常呈锭子状。火山块为大型角状碎屑，火山喷发时以固态喷出。
WE	冰川沉积物	又称“冰碛物”，在冰川堆积作用过程中，所挟带和搬运的碎屑构成的堆积物，又称冰川沉积物。它是冰川消融后，以不同形式搬运的物质堆积而成。它实质上是未经其他外力特别是未经冰融水明显改造的沉积物。
SA	有机沉积物	(古)湖泊中生长的大量植物、藻类在滞水还原环境中分解，并可能和淤泥一起组成富含有机质的沉积物。
CD	崩积物	陡峻斜坡上的土石体突然向坡下翻滚坠落所形成的堆积物。产生于土体的“土崩”，产生于岩体的称“岩崩”；规模巨大的，涉及到山体稳定者称“山崩”；产生于河、湖岸坡的称“岸崩”。崩落大小不等的土石碎屑物，堆积于坡脚，总称为“崩积物”。
QR	(古)红黏土	属第三纪和第四纪沉积物，是古代较湿热的生物气候条件下形成的。由于强烈的风化和淋溶作用，使矿质颗粒遭到强烈的破坏和分解，盐基离子大量淋失而铁锰氧化物相对聚集，故呈暗红色或棕红色。
OT	其他	需注明。

表六 土地利用现状分类（GB/T21010-2017）

一级类		二级类		含义
编码	名称	编码	名称	
01	耕地	0101	水田	用于种植水稻、莲藕等水生农作物的耕地。包括实行水生、旱生农作物轮种的耕地
		0102	水浇地	有水源保证和灌溉设施，在一般年景能正常灌溉，种植旱生农作物（含蔬菜）的耕地。包括种植蔬菜的非工厂化的大棚用地
		0103	旱地	指无灌溉设施，主要靠天然降水种植旱生农作物的耕地，包括没有灌溉设施，仅靠引洪淤灌的耕地
02	园地	0201	果园	种植果树的园地
		0202	茶园	种植茶树的园地
		0203	橡胶园	种植橡胶树的园地
		0204	其它园地	种植桑树、可可、咖啡、油棕、胡椒、药材等其他多年生作物的园地
03	林地	0301	乔木林地	乔木郁闭度 ≥ 0.2 的林地，不包括森林沼泽
		0302	竹林地	生长竹类植物，郁闭度 ≥ 0.2 的林地
		0303	红树林地	指沿海生长红树植物的林地
		0304	森林沼泽	以乔木森林植物为优势群落的淡水沼泽
		0305	灌木林地	灌木覆盖度 $\geq 40\%$ 的林地，不包括灌丛沼泽
		0306	灌丛沼泽	以灌丛植物为优势群落的淡水沼泽
		0307	其它林地	包括疏林地（指树木郁闭度 ≥ 0.1 、 < 0.2 的林地）、未成林地、迹地、苗圃等林地
04	草地	0401	天然牧草地	指以天然草本植物为主，用于放牧或割草的草地，包括实施禁牧措施的草地，不包括沼泽草地
		0402	沼泽草地	指以天然草本植物为主的沼泽化的低地草甸、高寒草甸
		0403	人工牧草地	人工种植牧草的草地
		0404	其它草地	树木郁闭度 < 0.1 ，表层为土质，不用于放牧的草地
05	商服用地	0501	零售商业用地	以零售功能为主的商铺、商场、超市、市场和加油、加气、充换电站等的用地
		0502	批发市场用地	以批发功能为主的市场用地
		0503	餐饮用地	饭店、餐厅、酒吧等用地
		0504	旅馆用地	宾馆、旅馆、招待所、服务型公寓、度假村等用地
		0505	商务金融用地	指商务服务用地，以及经营性的办公场所地。包括写字楼、办公场所、金融活动场所和企业厂区外独立的办公场所；信息网络服务、信息技术服务、电子商务服务、广告传媒等用地
		0506	娱乐用地	指剧院、音乐厅、电影院、歌舞厅、网吧、影视城、仿古城以及绿地率小于 65% 的大型娱乐等设施用地
		0507	其他商服用地	指零售商业、批发市场、餐饮、旅馆、商务金融、娱乐用地以外的其他商业、服务业用地。包括洗车场、洗染店、照相馆、理发美容店、洗浴场所、赛马场、高尔夫球场、废旧物资回收站、机动车、电子产品和日用产品修理网点、物流营业网点，及居住小区及小区级以下的配套的服务设施等用地
06	工矿仓储用地	0601	工业用地	指工业生产、产品加工制造、机械和设备修理及直接为工业生产等服务的附属设施用地
		0602	采矿用地	指采矿、采石、采砂（沙）场，砖瓦窑等地面生产用地，排土（石）及尾矿堆放地
		0603	盐田	指用于生产盐的土地，包括晒盐场所、盐池及附属设施用地
		0604	仓储用地	指用于物资储备、中转的场所用地，包括物流仓储设施、配送中心、转运中心等
07	住宅用地	0701	城镇住宅用地	指城镇用于生活居住的各类房屋用地及其附属设施用地，不含配套的商业服务设施等用地
		0702	农村宅基地	指农村用于生活居住的宅基地
08	公共管理与公共服务	0801	机关团体用地	指用于党政机关、社会团体、群众自治组织等的用地
		0802	新闻出版用地	指用于广播电台、电视台、电影厂、报社、杂志社、通讯社、出版社等的用地
		0803	教育用地	指用于各类教育用地，包括高等院校、中等专业学校、中学、小学、幼儿园以及附属设施用地，聋、哑、盲人学校及工读学校用地，以及为学校配建的独立

	务用地			地段的学生生活用地
		0804	科研用地	指独立的科研、勘察、研发、设计、检验检测、技术推广、环境评估与监测、科普等科研事业单位及其附属设施用地
		0805	医疗卫生用地	指医疗、保健、卫生、防疫、康复和急救设施等用地。包括综合医院、专科医院、社区卫生服务中心等用地；卫生防疫站、专科防治所、检验中心和动物防疫站等用地；对环境有特殊要求的传染病、精神病等专科医院用地；急救中心、血库等用地
		0806	社会福利用地	指为社会提供福利和慈善服务的设施及其附属设施用地。包括福利院、养老院、孤儿院等用地
		0807	文化设施用地	指图书、展览等公共文化活动设施用地。包括公共图书馆、博物馆、档案馆、科技馆、纪念馆、美术馆和展览馆等设施用地；综合文化活动中心、文化馆、青少年宫、儿童活动中心、老年活动中心等设施用地
		0808	体育用地	指体育场馆、体育训练基地等用地，包括室内外体育运动用地，如体育场馆、游泳场馆、各类球场及其附属的业余体校等用地，溜冰场、跳伞场、摩托车场、射击场，以及水上运动的陆域部分等用地，以及为体育运动专设的训练基地用地，不包括学校等机构专用的体育设施用地
		0809	公用设施用地	指用于城乡基础设施的用地，包括供水、排水、污水处理、供电、供热、供气、邮政、电信、消防、环卫、公用设施维修等用地
		0810	公园与绿地	指城镇、村庄范围内的公园、动物园、植物园、街心花园、广场和用于休憩、美化环境及防护的绿化用地
09	特殊用地	0901	军事设施用地	指直接用于军事目的的设施用地
		0902	使领馆用地	指用于外国政府及国际组织驻华使领馆、办事处等的用地
		0903	监教场所用地	指用于监狱、看守所、劳改场、戒毒所等的建筑用地
		0904	宗教用地	指专门用于宗教活动的庙宇、寺院、道观、教堂等宗教自用地
		0905	殡葬用地	指陵园、墓地、殡葬场所用地
		0905	风景名胜设施用地	指风景名胜景点（包括名胜古迹、旅游景点、革命遗址、自然保护区、森林公园、地质公园、湿地公园）的管理机构，以及旅游服务设施的建筑用地。景区内的其他用地，按现状归入相应地类
10	交通运输用地	1001	铁路用地	指用于铁道路线及场站的用地。包括征地范围内的路堤、路堑、道沟、桥梁、林木等用地
		1002	轨道交通用地	指用于轻轨、现代有轨电车、单轨等轨道交通用地，以及场站的用地
		1003	公路用地	指用于国道、省道、县道和乡道用地。包括征地范围内的路堤、路堑、道沟、桥梁、汽车停靠站、林木及直接为其服务的附属用地
		1004	城镇村道路用地	指城镇、村庄范围内公用道路及行道树用地，包括快速路、主干路、次干路、支路、专用人行道和非机动车道，及其交叉口等
		1005	交通服务场站用地	指城镇、村庄范围内交通服务设施用地，包括公交枢纽及其附属设施用地、公路长途客运站、公共交通场站、公共停车场（含设有充电桩的停车场）、停车楼、教练场等用地，不包括交通指挥中心、交通对用地
		1006	农村道路	在农村范围内，南方宽度 ≥ 1.0 米、 ≤ 8.0 米，北方宽度 ≥ 2.0 米、 ≤ 8.0 米，用于村间、田间交通运输，并在国家公路网络体系之外，以服务于农村农业生产为主要用途的道路（含机耕道）
		1007	机场用地	指用于民用机场、军民合用机场的用地
		1008	港口码头用地	指用于人工修建的客运、货运、捕捞及工程、工作船舶停靠的场所及其附属建筑物的用地，不包括常水位以下的部分
		1009	管道运输用地	指用于运输煤炭、石油、矿石、天然气等管道及其相应的附属设施的地上部分用地
11	水域及水利设施用地	1101	河流水面	天然或人工开挖河流常水位线之间的水面，不包括被堤坝拦截后形成的水库区段水面
		1102	湖泊水面	天然形成的积水区常水位岸线所围成的水面
		1103	水库水面	人工拦截汇聚而成的总设计库容 ≥ 10 万立方米的水库正常蓄水位岸线所围成的水面
		1104	坑塘水面	人工开挖或天然形成的蓄水量 < 10 万立方米坑塘常水位岸线所围成的水面
		1105	沿海滩涂	沿海大潮高潮位与低潮位之间的潮浸地带。包括海岛的沿海滩涂。不包括已利用的滩涂
		1106	内陆滩涂	指河流、湖泊常水位至洪水位之间的滩地。时令潮，河洪水位以下的滩地，水库、坑塘的正常水位与洪水位之间的滩地，包括海岛的内陆滩地，不包括已经利用的滩地

		1107	沟渠	人工修建，南方宽度大于 1.0 米，北方宽度大于 2.0 米，用于引、排、灌的渠道，包括渠槽、渠堤、护林堤和小型泵站。
		1108	沼泽地	经常水或渍水，一般生长湿生植物的土地。包括草本沼泽、苔藓沼泽、内陆盐沼等，不包括森林沼泽、灌丛沼泽和沼泽草地
		1109	水工建筑用地	人工修建的闸、坝、堤路林、水电厂房、扬水站等常水位岸线以上的建（构）筑物用地
		1110	冰川及永久积雪	指表层被冰雪常年覆盖的土地
12	其他土地	1201	空闲地	是指城镇、村庄、工矿范围内尚未使用的土地，包括尚未确定用途的土地
		1202	设施农用地	直接用于经营性畜禽养殖生产设施以及附属设施用地；直接用于作物栽培或水产养殖等农产品生产的设施及附属设施用地；直接用于设施农业项目辅助生产的设施用地；晾晒场、粮食果品烘干设施、粮食和农资临时存放场所、大型农具临时存放场所等规模化粮食生产所必需的配套设施用地
		1203	田坎	梯田、梯坎坡地耕地中，主要用于拦蓄水或护坡，南方宽度 ≥ 1.0 米，北方宽度 ≥ 2.0 米的地坎
		1204	盐碱地	表层盐碱聚集，生长天然耐盐植物的土地
		1205	沙地	表层为沙覆盖、基本无植被的土地。不包括滩涂中的沙地
		1206	裸土地	表层为土质，基本无植被覆盖的土地
		1207	裸岩石砾地	表层为岩石或石砾，覆盖面积大于 70%的土地

附件 7

土壤生物调查技术规范

(试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2022 年 7 月

目 次

1 适用范围.....	241
2 总则.....	241
2.1 调查目标.....	241
2.2 调查工作流程.....	241
2.3 调查原则.....	242
3 规范性引用文件.....	243
4 术语和定义.....	244
4.1 土壤生物 soil organism.....	244
4.2 土壤生物群落 Soil biome.....	244
4.3 土属 soil genus.....	244
4.4 土种 soil species.....	244
4.5 样点 sampling site.....	244
4.6 样地 sampling plot.....	244
4.7 样方 sampling quadrat.....	244
4.8 分区随机采样法 Block random sampling method.....	244
4.9 土壤质量和土壤健康的生物学评价 biological assessment of soil quality and soil health.....	244
4.10 土壤生物样品中转站 soil organism sample transferring station.....	245
4.11 土壤微生物生物量 soil microbial biomass.....	245
4.12 土壤呼吸强度 soil respiration quotient.....	245
4.13 土壤多酚氧化酶 soil polyphenol oxidase.....	245
4.14 土壤 β -葡萄糖苷酶 soil β -D-Glucosidase.....	245
4.15 土壤脲酶 soil urease.....	245
4.16 土壤硝酸还原酶 soil nitrate reductase.....	245
4.17 土壤氨单加氧酶 soil ammonia monooxygenase.....	245
4.18 土壤磷酸酶 soil phosphatase.....	245
4.19 青枯菌 <i>Ralstonia solanacearum</i>	246

4.20 尖孢镰刀菌 <i>Fusarium oxysporum</i>	246
4.21 土壤线虫 soil nematode.....	246
4.22 土壤蚯蚓 soil earthworm.....	246
4.23 基因拷贝数 gene copies.....	246
4.24 土壤微生物高通量测序 soil microbial high-throughput sequencing.....	246
4.25 土壤宏基因组测序 soil metagenomic sequencing.....	246
4.26 土壤动物线粒体基因测序 soil animal mitochondrial genome sequencing.....	246
4.27 土壤生物数据库 soil database.....	246
5 土壤生物调查方法.....	247
5.1 土壤生物调查样点布设方法.....	247
5.2 土壤生物调查样点布设数量与区域.....	247
5.3 土壤生物调查样地设置.....	247
5.4 土壤生物样品采集.....	248
5.5 土壤生物调查人员组成和调查时间选择.....	249
5.6 土壤生物样品中转站建设管理.....	249
5.7 土壤生物调查样品分析测试单位选择.....	249
6 土壤生物调查和评价指标体系与分析方法.....	250
6.1 土壤生物评价指标体系.....	250
6.2 土壤微生物生物量.....	251
6.3 土壤细菌、真菌、古菌和重要碳氮磷功能基因丰度.....	251
6.4 土壤呼吸强度.....	252
6.5 土壤酶活性.....	252
6.6 土壤宏基因组.....	252
6.7 土壤微生物群落组成.....	252
6.8 土壤优势功能微生物分离培养及鉴定.....	252
6.9 土壤线虫群落分析.....	252
7 土壤生物调查质量控制.....	253
7.1 建立土壤生物调查质量控制体系.....	253
7.2 建立健全测试单位规章制度.....	253

7.3 土壤生物采样过程质量控制.....	253
7.4 土壤生物样品分析过程中系统误差、随机误差和差错控制.....	253
7.5 土壤生物数据质量控制.....	253
8 土壤质量和土壤健康的生物学综合评价.....	253
8.1 建立评价土壤质量和土壤健康生物学评价的最小指标集.....	253
8.2 标准化生物学评价指标值，确定转换阈值.....	253
8.3 建立生物学评价指数评分方程.....	253
8.4 从生物学角度评价土壤质量和土壤健康等级，撰写评价报告.....	253
9 土壤生物调查成果管理.....	254
9.1 建立土壤生物调查数据库.....	254
9.2 开展土壤生物调查数据分析与评价，提交土壤生物调查报告.....	254

1 适用范围

本文件规定了第三次全国土壤普查（以下简称土壤三普）土壤生物调查技术规范，包括土壤生物调查评价指标体系、调查样点布设原则与方法、野外样品采集与保存运输方法、室内检测方法、调查全程质量控制、调查数据综合分析方法、调查数据和成果的管理等。

本文件适用于全国尺度基于土种样点采样的土壤生物调查，包括对土壤生物群落的生物量、活性、物种和功能多样性、重要功能种群组成的调查；适用于全国尺度耕地基于土壤生物学性状质的土壤质量和土壤健康评价。

2 总则

2.1 调查目标

基于第三次土壤普查设定的总体目标，针对我国 658 个土属的重要土种，覆盖主要气候类型、地形条件和土地利用方式，调查植物生长旺盛期土壤微生物、线虫、蚯蚓的生物量、活性、多样性和功能，评价我国重要土种的土壤质量与土壤健康状况，提出我国土壤生物功能提升的管理对策。

2.2 调查工作流程

参见图 1。

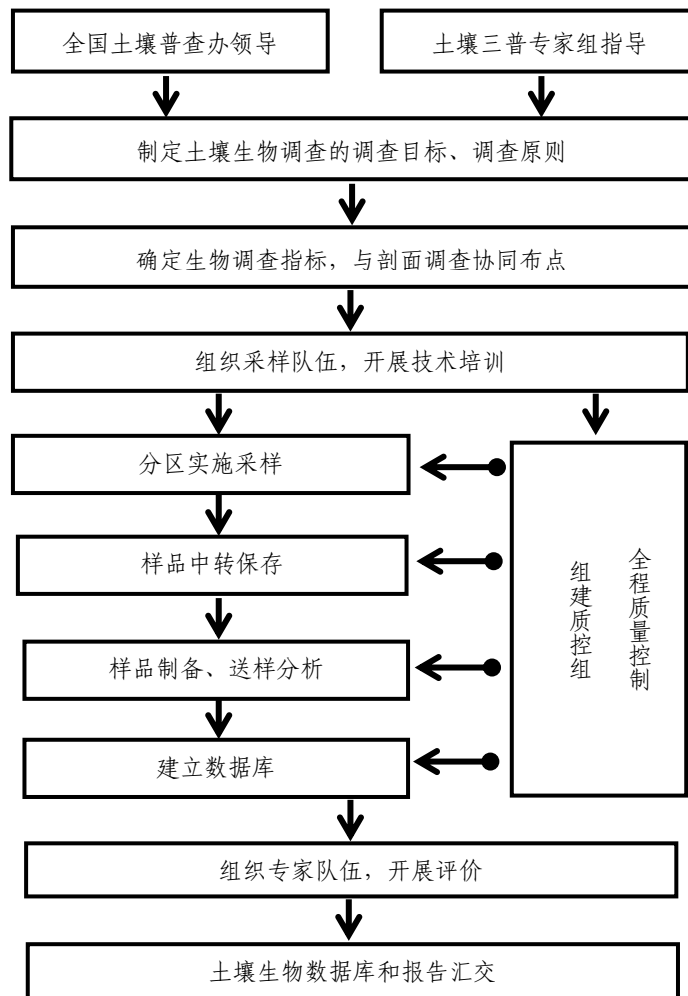


图 1 土壤生物调查工作流程

2.3 调查原则

2.3.1 土壤生物评价指标选取原则

土壤生物驱动了土壤中的养分等元素的转化和循环，影响了土壤结构的形成，从而影响了土壤质量和土壤健康水平。由于土壤生物的复杂多样，在土壤中形成复杂的生物群落，不同生物之间存在随机性和确定性的相互关联和相互作用，共同影响土壤生物的多功能性。土壤生物的生物量、群落组成、功能和活性等是评价土壤质量变化的敏感指标，需要综合考虑选择土壤生物指标。

2.3.1.1 多功能性兼顾原则：集成土壤生物培育土壤质量和提升植物生产力的功能，包括促进养分转化、促进植物生长、抑制病害发生等功能；

2.3.1.2 重要性和代表性指标相结合原则：针对碳、氮、磷养分蓄积和转化功能、促进植物生长、抑制病害发生功能，考虑土壤生物对主要功能的贡献度和制约作用，同时考虑在同类生物指标中的代表性；

2.3.1.3 稳定性和敏感性指标相结合原则：在考虑土壤生物的演替过程与生物功能之间协同变化的敏感性指标基础上，考虑土壤生物群落在长期演替中的稳定性指标；

2.3.1.4 分子生物学与经典生态学指标相结合原则：考虑调查和分析方法的先进性、可靠性和低成本性，兼顾分子生物学分析和经典细胞与群落尺度的生物多样性和功能分析。

2.3.2 土壤生物调查样点布设原则

紧密结合土壤三普总体布点思路，土壤生物调查遵循“气候带主导”原则、“农用地主导”原则、“以土种作为基本分区单元”原则布设样点。

2.3.2.1 气候带主导、兼顾自然地理分区

土壤生物调查样点分布采取东、中部并重，兼顾西部的思路。土壤生物受干湿度等气候因素以及地形地貌、经济发展水平等条件影响。我国地势西高东低，年降水量从东往西逐渐减少，经济发展水平从东往西逐次递减。土壤生物调查样点布设将全国分为东部湿润区、中部半湿润半干旱区、西部干旱区三个大区。

2.3.2.2 农用地主导、兼顾其他用地类型

覆盖土壤三普中土壤利用方式范围，土壤生物调查中的土地利用方式以耕地和园地为主，兼顾林地、草地和其他土地中的后备耕地，根据不同区域不同土地利用方式组成的变化，调节土壤样点的布设比例。针对耕地，兼顾不同区域土壤质量等级的比例，调节土种样点的比例。

2.3.2.3 覆盖土壤三普调查土属、以土种作为基本分区单元

土壤生物调查覆盖土壤三普中我国大陆的所有土属，包含各土属中的主要土种。土属是土壤分类系统的中层分类单元，形成土属的气候、地形、成土母质、人为耕作条件也驱动了土壤生物多样性形成以及土壤生物功能的演变。土种是土壤分类系统的基层分类单元，受区域气候、地形、母质、改良利用等影响，土种反映了土层厚度、黏粒、盐分等微域土壤质量特征，代表了土壤改良利用的方向。土壤生物调查以土种作为样点选择的基本分区单元，根据土种面积占比及大小，确定选择调查土种类型及样点的数量，土壤生物调查与土壤破面调查“共点”。

2.3.3 土壤生物样品采集原则

土壤生物调查坚持样品采集的景观性原则、随机性原则和等量性原则。为了保证土壤样品表征典型土种，必须坚持样品采集的景观性原则，在一定区域景观类型下采集到形成的典型土种的土壤生物。为了保证土壤样品的代表性，必需坚持土壤生物样品采集的随机性原则，使组成总体的个体有同样的机会被选入样品，即组成样品的个体应当是随机地取自总体，避免人为因素的影响。为了保证采集的混合土壤生物样品具有可比性，土壤生物样品采集数量必须坚持等量性原则，采集相同数量的个体样品组成混合样品。

2.3.4 土壤生物调查样地和调查样品的编码原则

以土壤三普土壤剖面调查点编号为土壤生物调查样地编号，添加 2 位数表示土壤生物调查样品的编码。第 1 位数字表示土壤生物类型，其中 0 代表微生物、1 代表线虫、2 代表蚯蚓；第 2 位数表示土壤生物调查样品的重复数序。

2.3.5 土壤生物调查质量控制和数据管理原则

土壤生物调查质量控制涉及调查和评价的全部过程。质量保证和质量控制目的是保证所产生的土壤生物调查分析资料具有代表性、准确性、精密性、可比性和完整性。

土壤生物调查数据管理按照土壤三普数据管理制度执行，目标是保证土壤生物调查的正确性和安全性，遵守土壤三普数据的产权保护政策与共享制度。

3 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 36197-2018 土壤质量 土壤采样技术指南

GB/T 32740-2016 自然生态系统土壤长期定位监测指南

GB/T 33469-2016 耕地质量等级

GB/T 17296-2009 中国土壤分类与代码

GB/T 10111-2008 随机数的产生及其在产品质量抽样检验中的应用程序

NY/T 1634-2008 耕地地力调查与质量评价技术规程

4 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1 土壤生物 soil organism

在土壤中生活的微生物和动物的总体，包括细菌、放线菌、真菌、藻类、原生动物、后生动物等。

4.2 土壤生物群落 Soil biome

在一定的土壤区域环境和一定的时间聚集的各种生物种群的集合。土壤生物群落的基本特征包括群落的空间结构、时间组配和种类结构、群落物种多样性、相对丰度、优势种、营养结构等。

4.3 土属 soil genus

土壤分类系统中的中级分类单元。是在相同的气候、地形等自然环境条件以及共同的人为生产活动条件下，由于区域性的成土母质及风化壳、水文状况差异形成的具有一定土壤属性的一群土壤。具有一定的成土过程、土壤理化属性和土壤改良利用方向。

4.4 土种 soil species

土壤分类系统中的基层单元。是处于相同或相似景观部位，具有相似土体构型和土壤剖面性状特征的一群土壤。在土属范围内反映了土层厚度、黏粒、盐分含量等性状的差异。

4.5 样点 sampling site

按照一定调查原则确定的具有代表性、典型性的土壤调查区域。

4.6 样地 sampling plot

在土壤调查区域中，为进行科学性调查采样确定的具有一定边界的地段。

4.7 样方 sampling quadrat

在土壤调查样地中，开展土壤或者地段依附性强的调查确定的采样地块。

4.8 分区随机采样法 Block random sampling method

将样地划分为地形条件、生物群落类型、土壤属性较为一致的不同采样区块，利用随机布点和随机选择样方的方式进行土壤采样的方法。

4.9 土壤质量和土壤健康的生物学评价 biological assessment of soil quality and soil health

土壤质量是土壤在生态系统范围内维持生物的生产力、保护环境质量以及促进动植物健康的能力。土壤健康是土壤持续支撑农产品安全生产、维持生态环境质量和保障动植物及人类健康的功能。土壤质量和土壤健康相互关联，土壤质量是形成土壤健康的物质基础，而土壤健康是发挥土壤质量的功能保障。土壤中的生物群落形成多级生物网络，驱动了土壤中养分等生源要素和有害物质的转化与循环过程，从而影响了土壤质量和土壤健康水平。利用土壤生物的生物量、活性、多样性和功能性指标可以从生物学角度评价土壤质量和土壤健康，为土壤可持续管理提供依据。

4.10 土壤生物样品中转站 soil organism sample transferring station

具备一定的土壤生物样品保存、处理和相关数据管理条件的站点。负责收集野外采集的土壤生物样品、开展样品编号和存放、分发样品至检测单位、收集整理数据。

4.11 土壤微生物生物量 soil microbial biomass

单位土壤中体积小于 5×10^3 立方微米微生物的总重量。

4.12 土壤呼吸强度 soil respiration quotient

单位时间内从单位面积土壤中释放出来的二氧化碳量。

4.13 土壤多酚氧化酶 soil polyphenol oxidase

含铜氧化还原酶类。在土壤碳循环中参与木质素及多酚类物质的降解，能够通过分子氧化酚或多酚生成对应的醌。

4.14 土壤 β -葡萄糖苷酶 soil β -D-Glucosidase

纤维素酶类。在土壤碳循环中参与纤维素的降解，能够水解结合于末端非还原性的 β -D-葡萄糖键生成葡萄糖。

4.15 土壤脲酶 soil urease

酰胺水解酶类。在土壤氮循环中参与有机尿素的分解，催化尿素水解成氨和二氧化碳。

4.16 土壤硝酸还原酶 soil nitrate reductase

氧化还原酶类。在土壤氮循环中参与硝酸盐转化，催化硝酸离子还原成亚硝酸离子。

4.17 土壤氨单加氧酶 soil ammonia monooxygenase

氧化还原酶类，是硝化作用的限速酶。在土壤氮循环中参与氨氧化过程，催化铵根离子 (NH_4^+) 氧化转化为羟胺 (NH_2OH)。

4.18 土壤磷酸酶 soil phosphatase

将土壤中正磷酸单脂水解成磷酸盐的一类非特异性磷酸单脂酶。在酸性和碱性条件下测定其水解活性，分别称为酸性磷酸酶活性和碱性磷酸酶活性。

4.19 青枯菌 *Ralstonia solanacearum*

革兰氏阴性菌，属于 β 变形菌纲，薄壁菌目，假单胞菌科，劳尔氏菌属。青枯菌是一种广泛分布的病原细菌，可引起马铃薯、番茄等多种植物发生青枯病。

4.20 尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum*

尖孢镰刀菌属半知菌类（Imperfecti fungi）、从梗孢目（*Moniliales*）、瘤座孢科（*Tuberculariaceae*）、镰刀菌属（*Fusarium*）。尖孢镰刀菌是一种广泛分布的土传病原真菌，可产生小型分生孢子、大型分生孢子和厚垣孢子三种类型，可引起茄科、豆科等多种植物发生枯萎病。

4.21 土壤线虫 soil nematode

一类虫体透明、结构简单且两侧对称原体腔无脊椎动物，是土壤动物中数量和功能类群最丰富的类群。根据食性分为食细菌线虫、食真菌线虫、植食性线虫、杂食性-捕食性线虫。

4.22 土壤蚯蚓 soil earthworm

属于环节动物门寡毛纲的陆栖无脊椎动物，通过取食、消化、排泄蚯蚓粪、分泌粘液和掘穴等活动影响土壤物质循环和能量传递。根据生活习性分为生活在土壤腐殖质层、喜食凋落物、不形成洞穴的表层种蚯蚓；生活在土壤表层、形成水平洞穴、喜食富含有机质土壤的内层种蚯蚓；形成垂直洞穴、上食下居的深层种蚯蚓。

4.23 基因拷贝数 gene copies

利用荧光化学物质测定聚合酶链式反应（Polymerase Chain Reaction）循环后产物总量的方法，简称实时荧光定量 PCR 法，分析得到某一生物的基因在基因组中的个数。

4.24 土壤微生物高通量测序 soil microbial high-throughput sequencing

通过对微生物 16Ss rDNA、18S rDNA、ITS（内源转录间隔区）进行扩增测序的技术，用于分析土壤微生物群落结构和多样性。

4.25 土壤宏基因组测序 soil metagenomic sequencing

针对土壤中细菌、真菌、古菌、原生动物、显微藻类等生物群落，通过从土壤样品中提取全部微生物的 DNA，分析功能宏基因的测序分析技术。用于构建宏基因组文库，分析土壤生物功能多样性。

4.26 土壤动物线粒体基因测序 soil animal mitochondrial genome sequencing

基于不同土壤动物线粒体 DNA 中可变区碱基排列顺序的差异，利用土壤动物线粒体基因组中一段公认的、相对较短的 DNA 序列片段来进行物种鉴定的一种分子生物学技术。

4.27 土壤生物数据库 soil database

通过建立数据中心屏蔽室，形成单独部署的数据库，避免入侵或信息泄露风险，达到 B 级防护标准，用于存放土壤生物调查数据。

5 土壤生物调查方法

5.1 土壤生物调查样点布设方法

在全国 1:50000 土壤类型（土种）图的基础上，叠加 1:50000 土地利用类型图、1:50000 全国县级行政区划图、1:50000 地形地貌图，参考 1:100 万全国耕地质量等级图、1:100 万生态区类型分布图等，根据上述全国土壤生物调查样点布设原则，按气候区类型、土地利用类型分布比例、耕地质量等级、土种面积比例等确定土壤生物调查样点的分布比例，基于土种的典型分布区，在全国典型土壤剖面调查点分布图的基础上，确定土壤生物调查样点分布。在没有土种分布图的地区，综合利用土地利用、地形地貌等信息确定土壤生物调查样点分布。最终通过专家组评估订正得出全国土壤生物调查样点分布图及采样位置。详细过程见操作手册第 2 章。

5.2 土壤生物调查样点布设数量与区域

5.2.1 根据气候带主导，兼顾自然经济条件原则，土壤生物调查样点分布比例大约为东部：中部：西部为 65%：30%：5%。在我国南北温度梯度带上，通过土壤生物调查样点的空间合理布点实现对不同气候带的全覆盖。

5.2.2 根据农用地主导、兼顾其他用地类型原则，根据各地耕地、园地、林地、草地、其他土地利用方式面积占比确定土壤生物调查样点比例。其中耕地样点，结合全国各地耕地质量等级面积占比，确定不同等级耕地土壤生物调查样点比例，覆盖全国高、中、低三个等级的耕地。

5.2.3 根据覆盖土壤三普所有调查土属、以土种作为基本分区单元原则，依据土属之土种分布面积所占比例，确定同一土属下土壤生物调查的土种类型，每个土属至少一个土种类型；合理调整不同区域和土地利用方式下的不同土种样点的数量，面积较大的土种，可根据土壤空间分布状况、行政单元、土地利用类型、气候、地形和植被条件等布设多个样点，例如不同土属可按土种面积占比和面积大小选择前 10-20%的土种布置两个样点。

5.3 土壤生物调查样地设置

5.3.1 土壤生物调查样地布设应以土壤三普土壤剖面调查点为中心，土壤生物调查与土壤剖面调查“共点”设置，具有与土壤剖面调查点相同的土壤理化性状、立地条件与生产利用情况。

5.3.2 每个土壤生物调查样地面积应大于 1 公顷。在平原区地形地貌简单、土种分布面积较大的地区，可按 100 m×100 m 正方形确定；在山区、湿地、梯田等地形地貌复杂、土

种面积分布较小的地区，可根据具体土种形状与面积适当调整样地面积与形状，如丘陵山区狭长地带，可以采用 50m×200m 长方形确定样地，保证样地中土种类型的一致性。

5.4 土壤生物样品采集

每个样点的样地根据样地的地形、土壤条件划分为 3 个条件相对一致的采样区块(图 2)，采用分区随机采样法采集土壤生物样品。

5.4.1 土壤微生物和线虫的土钻法采样：果园和林地去除地面植被和枯枝落叶，具体采样位置设在树冠边缘垂直下方；农田铲除表面表土，垄作农田土壤，采集垄上（种植作物条带上）非根际土。在每个采样区块，利用直径 50mm 的不锈钢土钻随机采集 20 个 0-20 cm 土层的土壤样品，按四分法混合成 1 个土壤微生物样品和 1 个线虫样品，上述步骤再重复一次，每个采样区块采集 2 个混合样，每个样点共采集 6 个混合样，作为 6 个重复。详细过程见操作手册第 3 章。

5.4.2 土壤蚯蚓的手拣法采样：在每个采样区块随机选择 2 个 1.0 m×1.0 m 的样方，利用手拣法采集 0-30 cm 土层中的所有蚯蚓。每个采样区块采集 2 个混合样，每个样点共采集 6 个混合样，作为 6 个重复。详细过程见操作手册第 4 章。

5.4.3 根据微地形调整采样区块形状与深度：土壤生物样品采集过程中如遇到垄作等微地形情形，应选择地表相对一致、生物活动活跃的采样区块，条件不能满足时可适当调整采样区块形状与深度，尽可能满足土壤生物样品采集面积与深度的要求。

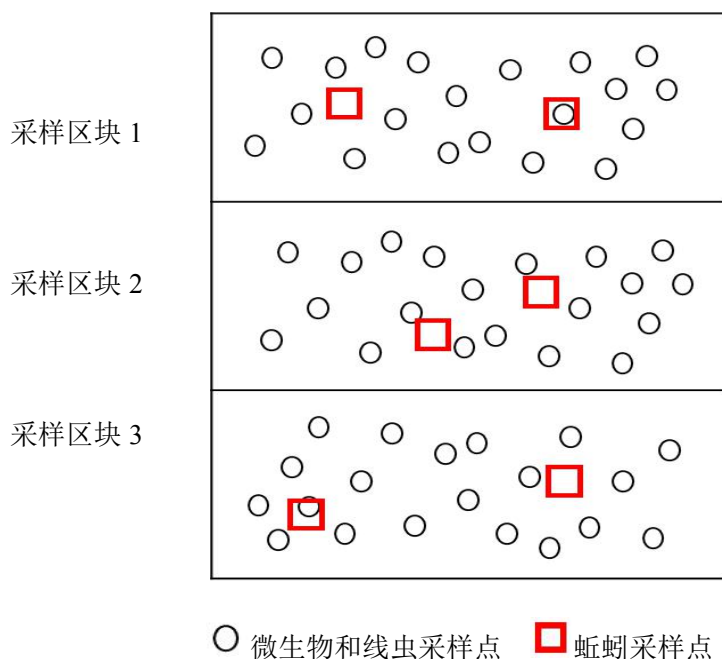


图 2 土壤生物调查样地采样分区与随机采样点及样方布设

5.5 土壤生物调查人员组成和调查时间选择

5.5.1 土壤生物调查在全国 8 个农业区域分区开展采样。根据每个区域根据调查样点数量，组织 3-5 支采样队伍。每队由 3-5 名具备丰富野外采样工作经验的人员组成，包括土壤微生物调查专业人员 1-2 名、土壤动物调查专业人员 1-3 名，至少 1 人具有高级职称，其中 1 人担任队长。

5.5.2 土壤生物调查原则上在植物生长旺盛期、即土壤生物多样性和功能最高的时期采样。在耕地类型下，选择在作物生长旺盛期或多季作物的夏粮收获期进行（表 1）。

表 1 全国耕地划分区内土壤生物调查采样时间选择

耕地划分区	采样时间
东北区	6 月-7 月
华北区、西北区	6 月-8 月
青藏区	7 月-8 月
华中区、华东区、华南区、西南区	6 月-7 月或 9 月-10 月

5.5.3 土壤生物调查应避免导致土壤生物群落显著变化的环境和管理条件。在实施野外采样时，根据区域天气和农业管理条件的变化，避开降雨等天气、以及施肥和灌溉等管理时期。

5.5.4 土壤生物调查与土壤剖面调查共点进行。土壤剖面调查获得的立地条件与生产利用状况等背景数据，以及土壤剖面表层样品理化分析数据于土壤生物调查数据共同建立土壤数据库，共同开展土壤质量、土壤多样性和土壤生物健康评价。

5.6 土壤生物样品中转站建设管理

5.6.1 中转站条件

应具备收集、处理、储存土壤微生物和线虫、蚯蚓样品功能的设备和设施，包括 4℃ 低温冷藏箱、-80℃ 超低温冰箱、土壤生物 DNA 提取设备、土壤线虫和动物形态学观察与鉴定设备等。详细过程见操作手册第 3 章、第 4 章。

5.6.2 土壤生物调查样品制备

土壤生物样品中转站应承担制备土壤生物分析样品，管理土壤生物样品二维码信息等功能。详细过程见操作手册第 3 章、第 4 章。

5.7 土壤生物调查样品分析测试单位选择

土壤生物样品分析单位应具有符合国家与行业相关分析要求的认证资质，并且在相关行业具有较好的口碑；具有独立承担民事责任的能力；具有良好的商业信誉和健全的财务会

计制度；具有履行合同所必需的设备和专业技术能力；生物测序公司还需获得高通量测序行业认证资质证书并从事相关业务 3 年以上。

5.7.1 认证资质

5.7.1.1 行业资质认证：ISO9001 质量管理体系认证证书、PacBio 官方认证测序服务商证书，Illumina 官方认证测序服务商证书等。

5.7.1.2 国家资质认证：中国计量认证（CMA）证书和中国合格评定国家认可委员会认证（CNAS）证书。

5.7.2 分析技术与设备要求

5.7.2.1 分析技术：具有进行土壤微生物和动物样本保存和种群鉴定，基因高通量测序和分析的技术能力。

5.7.2.2 设备要求：应配备有支撑土壤生物调查所需的专业设备，包括样本保藏室、生物培养室、第二代高通量基因测序平台（如 Illumina HiSeq、MiSeq）、体视显微镜等。

5.7.3 数据分析软件与处理要求

土壤微生物、线虫、蚯蚓基因测序数据分析软件、比对数据库、处理软件应具备行业内公认的权威性。如测序分析软件 Qiime、Uclust、Mothur、Chromas 等，比对数据库 Silva、NCBI、NGDC 等，处理软件 OriginLab 等。

6 土壤生物调查和评价指标体系与分析方法

6.1 土壤生物评价指标体系

依据土壤生物评价多功能性指标的重要性和代表性，将评价指标分为三个层次，第一层包括：土壤微生物生物量、土壤微生物活性、土壤微生物组成和多样性、土壤生物功能多样性、土壤动物组成和多样性。第二层基于其功能分为相互独立的指标群。第三层包括在一定功能类群下的核心指标和补充指标（表 2）。在省域尺度开展土壤普查时，需要基于土壤生物调查目标选择生物学指标，如开展基于土种样点采样的土壤生物详查标可选择核心生物学指标进行调查，而开展基于网格布点的表层土壤生物多样性普查可以选择土壤微生物生物量碳、土壤呼吸强度、细菌和真菌 Alpha-多样性进行调查。详细过程见附件操作手册第 1 章。

表 2 土壤质量和土壤健康生物学调查和评价指标体系

第一层	第二层	第三层核心指标	第三层补充指标
1.土壤微生物 生物量	土壤微生物生物量	土壤微生物生物量碳	
	土壤微生物绝对丰度(荧光定量 PCR 定量)	细菌绝对丰度 真菌绝对丰度 古菌绝对丰度	1.固碳菌绝对丰度 2.固氮菌 DNA 丛枝菌根菌 DNA
2.土壤微生物 活性	土壤呼吸强度	葡萄糖底物诱导呼吸强度	呼吸熵
	土壤典型碳、氮、磷转化酶活性	1.碳: 多酚氧化酶活性 2.氮: 氨单加氧酶活性 3.磷: 磷酸酶活性	1.碳: β -葡萄糖苷酶活性 2.氮: 脲酶活性、硝酸还原酶活性
3.土壤微生物 组成和多样性	第二代高通量测序土壤微生物群落组成物种组成和多样性	1.细菌、真菌、古菌群落组成 2.细菌、真菌、古菌 Alpha-多样性 (Shannon 指数, Chao1 Richness 指数, Evenness 指数)	1.细菌、真菌、古菌群落 Beta-多样性(基于 Bray-Curtis 的非度量多维尺度分析 NMDS 以及 PCA 分析) 2.优势功能微生物(纤维素分解菌, 硝化细菌, 亚硝化细菌, 固氮细菌, 解磷菌, 解钾菌, 青枯菌, 尖孢镰刀菌)组成
4. 土壤生物 功能多样性	宏基因组测序土壤微生物功能多样性	土壤养分循环功能基因 alpha-多样性 (Shannon 指数, Chao1 Richness 指数, Evenness 指数)	1.土壤养分循环功能基因 Beta-多样性(基于 Bray-Curtis 的 NMDS, PCA) 2.土壤耐逆(盐碱、酸、旱等逆境)功能基因相对丰度
5.土壤动物组 成和多样性	线虫密度、组成和多样性	1. 线虫密度 2. 形态学鉴定线虫组成(植食性线虫, 食细菌线虫, 食真菌线虫, 捕食类线虫, 杂食性线虫)	分子生物学鉴定线虫组成
	蚯蚓生物量、组成和多样性	1. 蚯蚓生物量 2. 蚯蚓形态学鉴定组成(表生型蚯蚓, 内生型蚯蚓, 深栖型蚯蚓)	分子生物学鉴定蚯蚓组成

6.2 土壤微生物生物量

氯仿熏蒸提取-重铬酸钾法/碳光谱分析法。见操作手册第 5 章。

6.3 土壤细菌、真菌、古菌和重要碳氮磷功能基因丰度

实时荧光定量 PCR 法。见操作手册第 6 章。

6.4 土壤呼吸强度

葡萄糖底物诱导呼吸法。见操作手册第 7 章。

6.5 土壤酶活性

6.5.1 甲基伞形酮- β -D-葡萄糖苷荧光底物法测定土壤 β -葡萄糖苷酶活性。见操作手册第 8 章第 2 节。

6.5.2 左旋多巴比色法测定土壤多酚氧化酶活性。见操作手册第 8 章第 3 节。

6.5.3 苯酚-次氯酸钠比色法测定土壤脲酶活性。见操作手册第 8 章第 4 节。

6.5.4 酚二磺酸比色法测定土壤硝酸还原酶活性。见操作手册第 8 章第 5 节。

6.5.5 夹心酶联免疫吸附法测定土壤氨单加氧酶活性。见操作手册第 8 章第 6 节。

6.5.6 磷酸苯二钠比色法测定土壤磷酸酶活性。见操作手册第 8 章第 7 节。

6.6 土壤微生物群落组成

高通量测序方法。见操作手册 9 章。

6.7 土壤优势功能微生物分离培养及鉴定

6.7.1 纤维素培养基培养纤维素分解菌及二代测序鉴定法。见操作手册第 11 章。

6.7.2 亚硝酸盐培养基培养硝化细菌及二代测序鉴定法。见操作手册第 11 章。

6.7.3 铵盐培养基培养亚硝化细菌及二代测序鉴定法。见操作手册第 11 章。

6.7.4 YEM 培养基培养固氮细菌及二代测序鉴定法。见操作手册第 11 章。

6.7.5 NBRIP 培养基培养解磷细菌及二代测序鉴定法。见操作手册第 11 章。

6.7.6 Aleksandrov 培养基培养解钾菌及二代测序鉴定法。见操作手册第 11 章。

6.7.7 SAMA 培养基培养青枯菌及二代测序鉴定法。见操作手册第 11 章。

6.7.8 Komada 培养基培养尖孢镰刀菌及二代测序鉴定法。见操作手册第 11 章。

6.8 土壤宏基因组

第二代高通量测序法。见操作手册第 11 章。

6.9 土壤线虫群落分析

6.9.1 贝尔曼漏斗法分离法。见操作手册第 12 章。

6.9.2 光学显微镜下的线虫鉴定法。见操作手册第 12 章。

6.9.3 线虫测序鉴定法。见操作手册第 12 章。

6.10 土壤蚯蚓群落分析

6.10.1 乙醇麻醉与固定法。见操作手册第 13 章。

6.10.2 蚯蚓形态学鉴定法。见操作手册第 13 章。

6.10.3 蚯蚓线粒体基因测序鉴定法。见操作手册第 13 章。

7 土壤生物调查质量控制

土壤生物调查质量控制目标是保证土壤生物调查数据和分析资料具有代表性、准确性、精密性、可比性和完整性。质量控制涉及土壤生物调查和评价的全部过程。

7.1 建立土壤生物调查质量控制体系

对土壤生物样品采集、指标分析、数据产生、上报和入库过程进行数据检验和数据质量控制。

7.2 建立健全测试单位规章制度

加强分析检测人员技术和责任心培训，控制分析差错。

7.3 土壤生物采样过程质量控制

保证样品采集的随机性和等量性。

7.4 土壤生物样品分析过程中系统误差、随机误差和差错控制，见操作手册第 14 章

7.4.1 校正仪器和量具，控制试剂质量，选用合适的分析方法以及对照试验，控制系统误差。

7.4.2 进行 10%~15% 平行双样分析，控制精密度。

7.4.3 设置土壤生物调查质控样品，督查分析单位的分析质量，控制准确度。

7.5 土壤生物数据质量控制，见操作手册第 15 章

7.5.1 分析过程中数据质量控制包括平行样数据录入、缺失和低于检测限数据录入、有效数字计算修约。

7.5.2 分析数据上报前的检验包括范围和逻辑检查、完整性检查、一致性和有效性检查。

7.5.3 分析数据上报后对可疑数据开展系统误差、过失错误分析，对离群数据（可疑数据）采用统计学方法判别。

8 土壤质量和土壤健康的生物学综合评价

8.1 建立土壤质量和土壤健康评价数据库

8.2 建立土壤生物学最小评价指标集和方程，开展土壤生物学评价

8.3 集成土壤生物学、土壤物理和土壤化学综合指数，综合评价土壤质量和土壤健康

8.4 提出土壤质量和土壤健康管理的对策报告

基于土壤生物和土壤剖面的共点调查数据库，土壤健康的单因子、复合因子和综合因子

评价，采用地理信息系统软件绘制土壤质量和土壤健康评价图，提出土壤质量和土壤健康的生物学调控对策，撰写评价报告。评价方法见操作手册第 16 章。

9 土壤生物调查成果管理

9.1 建立土壤生物调查数据库

基于土壤三普技术规范，在全国农业技术推广服务中心《耕地地力调查与质量评价技术规程 NY1634-2008》、《县域耕地资源管理信息系统数据字典》基础上，完善土壤生物调查数据标准。按土壤三普数据库规范建立物理隔离的全国土壤生物调查数据库，包括空间数据、属性数据、相关参数、模型等。调查数据管理方法见操作手册第 17 章。

9.2 开展土壤生物调查数据分析与评价，提交土壤生物调查报告

组织土壤生物调查数据分析和评价专家组，撰写土壤生物调查总结报告、土壤质量和土壤健康评价报告和管理对策报告，提交国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室。

土壤生物调查技术规范
(试行)
附件 1 操作手册

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2022 年 7 月

目 次

第 1 章 土壤生物调查总体目标、工作流程和指标体系.....	260
1. 土壤生物调查总体目标.....	260
2. 土壤生物调查工作流程.....	260
3. 土壤生物调查评价指标选择原则.....	261
4. 土壤生物调查评价指标体系.....	261
第 2 章 土壤生物调查样点布设与采样管理方法.....	267
1. 土壤生物调查相关术语.....	267
2. 土壤生物调查样点布设原则.....	267
3. 土壤生物调查样点布设.....	289
4. 土壤生物调查样地设置.....	290
5. 土壤生物样品采集原则.....	290
6. 土壤生物调查样品采集.....	291
7. 土壤生物调查人员组成和调查时间选择.....	292
8. 土壤生物调查样品和数据管理.....	293
第 3 章 土壤微生物和线虫样品采集与保存运输方法.....	295
1. 采样前期准备.....	295
2. 采样设计.....	295
3. 采样步骤.....	296
第 4 章 土壤蚯蚓野外采集与保存、运输方法.....	298
1. 工具与器材.....	298
2. 样地分区.....	298
3. 采样点选取.....	298
4. 采样步骤.....	298
5. 蚯蚓样品保存与运输.....	299
6. 样品中转站.....	299

第 5 章 土壤微生物生物量的测定—熏蒸提取法	300
1. 意义范围和质控.....	300
2. 规范性引用文件.....	300
3. 术语和定义.....	300
4. 原理.....	300
5. 试剂和材料.....	301
6. 仪器.....	301
7. 熏蒸和提取.....	301
8. 提取物中碳的测定.....	302
9. 精度.....	305
第 6 章 土壤细菌、真菌、古菌和重要碳氮磷功能基因实时荧光定量 PCR 方法	309
1. 意义、范围与质控.....	309
2. 实验材料与仪器.....	309
3. 方法原理.....	309
4. 土壤 DNA 提取.....	310
5. 细菌、真菌、古菌和功能基因的质粒构建.....	311
6. 荧光定量检测.....	314
第 7 章 土壤呼吸强度测定方法	316
1. 意义、范围与质控.....	316
2. 原理.....	316
3. 试剂.....	316
4. 仪器.....	316
5. 步骤.....	316
6. 检测.....	317
7. 结果计算.....	317
第 8 章 土壤酶活性测定方法	318
1. 意义、范围与质控.....	318
2. β -葡萄糖苷酶.....	318
3. 土壤多酚氧化酶.....	319

4. 脲酶.....	320
5. 硝酸还原酶.....	322
6. 氨单加氧酶.....	323
7. 土壤磷酸酶（酸性和碱性磷酸酶）.....	325
第9章 土壤微生物群落组成高通量测序方法.....	328
1. 意义、范围与质控.....	328
2. 基因组二代测序实验基本流程.....	328
3. 主要设备.....	328
4. 实验流程.....	328
第10章 土壤优势功能微生物分离培养及鉴定方法.....	338
1. 意义、范围与质控.....	338
2. 材料试剂.....	338
3. 功能细菌分离培养实验步骤.....	341
4. 功能菌株的鉴定.....	346
第11章 土壤宏基因组测序方法.....	349
1. 意义、范围与质控.....	349
2. 基因组第二代测序实验基本流程.....	349
3. 实验主要设备.....	349
4. 实验操作流程模块.....	349
5. 数据分析.....	360
第12章 土壤线虫分离鉴定方法.....	368
1. 材料与试剂.....	368
2. 实验步骤.....	369
3. 土壤线虫分子生物学鉴定方法.....	370
第13章 土壤蚯蚓种群调查鉴定及线粒体基因组测序方法.....	375
1. 材料与试剂.....	375
2. 实验步骤.....	376
3. 蚯蚓群落特征分析.....	379
第14章 土壤生物样品分析质量控制方法.....	381

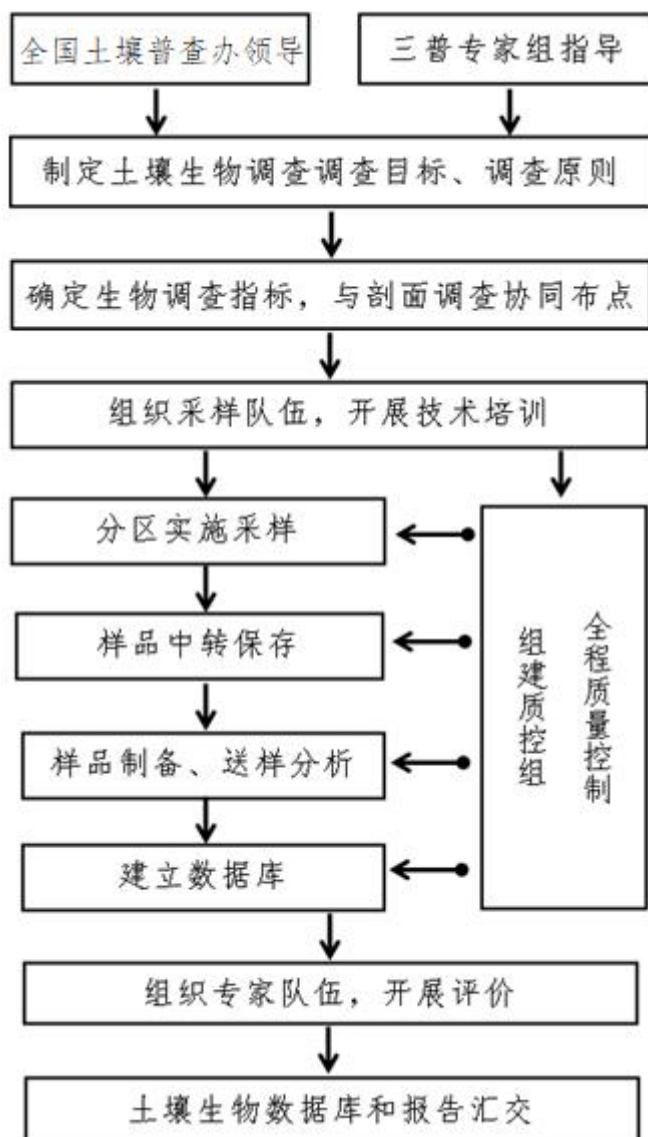
1. 分析误差来源.....	381
2. 分析误差表示方法.....	381
3. 分析误差控制方法.....	382
第 15 章 土壤生物数据质量控制方法.....	384
1. 分析质量控制范围.....	384
2. 分析过程中数据质量控制.....	384
3. 分析数据上报前的检验.....	385
4. 可疑数据的取舍.....	387
第 16 章 土壤质量和土壤健康的评价方法.....	390
1. 评价原理.....	390
2. 评价步骤.....	391
第 17 章 土壤生物调查数据管理方法.....	396
1. 土壤生物调查数据范围.....	396
2. 土壤生物调查数据管理原则.....	396
3. 土壤生物调查数据管理执行人.....	396
4. 土壤生物调查数据库管理.....	396
5. 土壤生物调查数据共享制度.....	396

第 1 章 土壤生物调查总体目标、工作流程和指标体系

1. 土壤生物调查总体目标

基于第三次全国土壤普查（以下简称土壤三普）设定的总体目标，针对我国 658 个土属的重要土种，覆盖主要气候类型、地形条件和土地利用方式，调查植物生长旺盛期土壤微生物、线虫、蚯蚓的生物量、活性、多样性和功能，评价我国重要土种的土壤质量与土壤健康状况，提出我国土壤生物功能提升的管理对策。

2. 土壤生物调查工作流程



3. 土壤生物调查评价指标选择原则

土壤生物驱动了土壤中的养分等元素的转化和循环，影响了土壤结构的形成，从而影响了土壤质量和土壤健康水平。由于土壤生物复杂多样，在土壤中形成复杂的生物群落，不同生物之间存在随机性和确定性的相互关联和相互作用，共同影响土壤生物的多功能性。土壤生物的生物量、群落组成、功能和活性等是评价土壤质量变化的敏感指标，需要综合考虑选择土壤生物指标。

在选择土壤生物指标时需要考虑多重原则：

3.1 多功能性兼顾原则：集成土壤生物培育土壤质量和提升植物生产力的功能，包括促进养分转化、促进植物生长、抑制病害发生等功能；

3.2 重要性和代表性指标相结合原则：针对碳、氮、磷养分蓄积和转化功能、促进植物生长、抑制病害发生功能，考虑土壤生物对主要功能的贡献度和制约作用，同时考虑在同类生物指标中的代表性；

3.3 稳定性和敏感性指标相结合原则：在考虑土壤生物的演替过程与生物功能之间协同变化的敏感性指标基础上，考虑土壤生物群落在长期演替中的稳定性指标；

3.4 分子生物学与经典生态学指标相结合原则：考虑调查和分析方法的先进性、可靠性和低成本性，兼顾分子生物学分析和经典细胞与群落尺度的生物多样性和功能分析。

4. 土壤生物调查评价指标体系

4.1 土壤质量和土壤健康的生物学评价

土壤质量是土壤在生态系统范围内维持生物的生产力、保护环境质量以及促进动植物健康的能力。土壤健康是土壤持续支撑农产品安全生产、维持生态环境质量和保障动植物及人类健康的功能。土壤质量和土壤健康相互关联，土壤质量是形成土壤健康的物质基础，而土壤健康是发挥土壤质量的功能保障。土壤中的生物群落形成多级生物网络，驱动了土壤中养分等生源要素和有害物质的转化与循环过程，从而影响了土壤质量和土壤健康水平。利用土壤生物的生物量、活性、多样性和功能性指标可以从生物学角度评价土壤质量和土壤健康，为土壤可持续管理提供依据。

土壤微生物包括细菌、放线菌、真菌、藻类和原生动物的 5 大类群。土壤微生物生物量指土壤中体积小于 5×10^3 立方微米的微生物总量，其表征方法包括微生物生物量碳（或氮、磷）、磷酸酯脂肪酸（PLFA）、DNA 总量（荧光定量 PCR 法）、三磷酸腺苷（ATP）、流式细胞计数（FCM）等（Zhang et al., 2017）。从稳定性、可操作性和成本考虑，微生物生物量碳和

DNA 总量是较好的表征指标。

土壤呼吸可用来评价土壤的生物活性。土壤呼吸熵指单位的微生物生物量碳的基础呼吸量 ($q\text{CO}_2$, 计量单位是 CO_2 -碳, 克/小时), 是表征土壤微生物单位生物量活性的敏感性指标, 利用底物诱导方测定的土壤呼吸可以表征土壤微生物活性的最高潜力。

土壤酶活性也是评价土壤生物活性的重要敏感指标。土壤酶主要来自微生物和植物, 其中参与 C、N、P 循环转化的土壤酶包括: 参与碳循环的淀粉酶、纤维分解酶、脂肪酶、硫代葡萄糖苷酶和蔗糖酶; 参与氮循环的脲酶、蛋白酶、酰胺酶、硝酸还原酶、亚硝酸还原酶等; 参与磷循环的磷酸酶。其中代表性的酶包括: β -葡萄糖苷酶, 在土壤碳循环中负责纤维素的降解, 水解纤维素二糖和纤维素寡糖生成葡萄糖, 其活性用荧光底物 (4-甲基伞形酮- β -D-葡萄糖苷) 法在多功能酶标仪上进行测定; 多酚氧化酶, 在土壤碳循环中参与木质素及多酚类物质的降解, 能够通过分子氧化酚或多酚形成对应的醌, 其活性用底物 (左旋多巴 (L-DOPA)) 分光光度法在多功能标仪上测定; 脲酶, 在土壤氮循环中负责将有机氮转化为无机氮, 用苯酚-次氯酸钠比色法在分光光度计上测定; 硝酸还原酶, 在土壤反硝化过程中负责将硝酸离子还原成亚硝酸离子, 用酚二磺酸比色法在分光光度计上测定; 氨单加氧酶, 在土壤硝化反应中负责将铵根离子转化为羟胺, 用酶联免疫吸附试验 (ELISA) 在分光光度计上测定。

评价土壤生物多样性需要全面分析土壤中细菌、真菌、古菌、原生动物、显微藻类生物群体 (包括活体和死体) 基因组遗传组成及其群落功能潜力。宏基因组分析不依赖于微生物的分离培养, 克服了纯培养方法的技术限制, 以功能基因筛选和测序分析为手段, 揭示了土壤微生物的种群结构和功能基因多样性, 包括土壤肥力形成、养分转化、耐逆促生等功能。土壤微生物宏基因组组成和多样性是全面评价土壤生物多样性的综合性指标。

土壤微生物包括参与土壤中 C、N、P 转化的不同类群, 为调查不同土壤中微生物存在资源利用异质性特征, 评价土壤中可培养微生物的组成及其潜在的功能, 需要培养分离微生物。根据不同微生物对特异性营养的生长反馈能力差异, 利用选择性微生物培养基培养、筛选、分离特定微生物菌群, 用于高通量测序, 检测特异性营养菌群资源。如纤维分解菌、固氮细菌、硝化细菌、反硝化细菌、氨化细菌、磷细菌、钾细菌 (硅酸盐细菌) 等, 其数量和优势种群影响了土壤微生物的功能。此外, 土壤中广泛分布的病原细菌—青枯菌 (劳尔氏菌属) 可引起包括马铃薯、番茄等多种植物发生青枯病; 广泛分布的病原真菌-尖孢镰刀菌 (镰刀菌属), 可引起茄科、豆科等多种植物发生枯萎病, 因此青枯菌和尖孢镰刀菌组成是评价

土壤典型细菌和真菌病害微生物的重要指标。

土壤动物从生物量和数量上以无脊椎动物为主。从大小上分为以下3类：1) 微生物(<100微米) 如原生动物门、线虫纲和轮虫纲中的动物，存在于土壤团粒表面水膜中；2) 中型动物(100-2000微米) 如螨虫、弹尾目、小昆虫、蜘蛛以及与线蚓科的一些动物；3) 土壤大型和巨大型动物(>2000微米) 如蚂蚁、白蚁、蜈蚣、昆虫、蚯蚓、蜗牛等。土壤动物之间及其与微生物间存在营养关系，如线虫以细菌和真菌为食，通过食物网影响了土壤有机物质矿化和养分的转化，因此土壤线虫组成是评价土壤生物功能的重要指标。土壤动物一方面促进有机质和养分分解，另一方面，通过形成大孔隙和团粒显著地改善土壤结构。但由于动物迁移性强，其中一些全期土壤动物的数量和多样性可以作为评价土壤生物功能的稳定性指标。

4.2 土壤质量和土壤健康生物学评价指标体系

依据土壤生物评价多功能性指标的重要性和代表性，将评价指标分为三个层次，第一层包括：土壤微生物生物量、土壤微生物活性、土壤微生物组成和多样性、土壤生物功能多样性、土壤动物组成和多样性。第二层基于其功能分为相互独立的指标群。第三层包括在一定功能类群下的核心指标和补充指标(表1)。这些指标以土壤生物培育土壤质量和提升植物生产力功能为核心，在有机质和养分蓄积和转化功能方面形成相互关联的系统性指标体系。

在省域尺度开展土壤普查时，需要基于土壤生物调查目标选择生物学指标，如开展基于土种样点采样的土壤生物详查标可选择核心生物学指标进行调查，而开展基于网格布点的表层土壤生物多样性普查可以选择土壤微生物生物量碳、土壤呼吸强度、细菌和真菌 Alpha 多样性进行调查。

表 1 土壤质量和土壤健康生物学评价指标体系

第一层	第二层	第三层 核心指标	第三层 补充指标
1. 土壤微生物生物量	土壤微生物生物量	土壤微生物生物量碳	
	土壤微生物绝对丰度(荧光定量 PCR 定量)	细菌绝对丰度 真菌绝对丰度 古菌绝对丰度	固碳菌绝对丰度 固氮菌 DNA 丛枝菌根菌 DNA
2. 土壤微生物活性	土壤呼吸强度	葡萄糖底物诱导呼吸强度	呼吸熵
	土壤典型碳、氮、磷转化酶活性	碳: 多酚氧化酶活性 氮: 氨单加氧酶活性 磷: 磷酸酶活性	碳: β -葡萄糖苷酶活性 氮: 脲酶活性、硝酸还原酶活性
3. 土壤微生物组成和多样性	第二代高通量测序土壤微生物群落组成物种组成和多样性	1.细菌、真菌、古菌群落组成 2.细菌、真菌、古菌 Alpha 多样性 (Shannon 指数, Chao1 Richness 指数, Evenness 指数)	1.细菌、真菌、古菌群落 Beta-多样性(基于 Bray-Curtis 的非度量多维尺度分析 NMDS 以及 PCA 分析) 2.优势功能微生物(纤维素分解菌, 硝化细菌, 亚硝化细菌, 固氮细菌, 解磷菌, 解钾菌, 青枯菌, 尖孢镰刀菌)组成
4. 土壤生物功能多样性	宏基因组测序土壤微生物功能多样性	土壤养分循环功能基因 alpha 多样性 (Shannon 指数, Chao1 Richness 指数, Evenness 指数)	1.土壤养分循环功能基因 Beta 多样性(基于 Bray-Curtis 的 NMDS, PCA) 2.土壤耐逆(盐碱、酸、旱等逆境)功能基因相对丰度
5. 土壤动物组成和多样性	线虫密度、组成和多样性	1. 线虫密度 2. 形态学鉴定线虫组成(植食性线虫, 食细菌线虫, 食真菌线虫, 捕食类线虫, 杂食性线虫)	分子生物学鉴定线虫组成
	蚯蚓生物量、组成和多样性	1. 蚯蚓生物量 2. 蚯蚓形态学鉴定组成(表生型蚯蚓, 内生型蚯蚓, 深栖型蚯蚓)	分子生物学鉴定蚯蚓组成

4.3 生物学评价中相关术语定义

4.3.1 土壤生物 soil organism: 在土壤中生活的微生物和动物的总体, 包括细菌、放线菌、真菌、藻类、原生动物、后生动物等。

4.3.2 土壤生物群落 Soil biome: 在一定的土壤区域环境和一定的时间聚集的各种生物种群的集合。土壤生物群落的基本特征包括群落的空间结构、时间组配和种类结构、群落物

种多样性、相对丰度、优势种、营养结构等。

4.3.3 土壤微生物生物量 soil microbial biomass: 单位土壤中体积小于 5×10^3 立方微米微生物的总重量。

4.3.4 土壤呼吸强度 soil respiration quotient: 单位时间内从单位面积土壤中释放出来的二氧化碳量。

4.3.5 土壤多酚氧化酶 soil polyphenol oxidase: 含铜氧化还原酶类。在土壤碳循环中参与木质素及多酚类物质的降解, 能够通过分子氧化酚或多酚生成对应的醌。

4.3.6 土壤 β -葡萄糖苷酶 soil β -D-Glucosidase: 纤维素酶类。在土壤碳循环中参与纤维素的降解, 能够水解结合于末端非还原性的 β -D-葡萄糖键生成葡萄糖。

4.3.7 土壤脲酶 soil urease: 酰胺水解酶类。在土壤氮循环中参与有机尿素的分解, 催化尿素水解成氨和二氧化碳。

4.3.8 土壤硝酸还原酶 soil nitrate reductase: 氧化还原酶类。在土壤氮循环中参与硝酸盐转化, 催化硝酸离子还原成亚硝酸离子。

4.3.9 土壤氨单加氧酶 soil ammonia monooxygenase: 氧化还原酶类, 是硝化作用的限速酶。在土壤氮循环中参与氨氧化过程, 催化铵根离子 (NH_4^+) 氧化转化为羟胺 (NH_2OH)。

4.3.10 土壤磷酸酶 soil phosphatase: 将土壤中正磷酸单脂水解成磷酸盐的一类非特异性磷酸单脂酶。在酸性和碱性条件下测定其水解活性, 分别称为酸性磷酸酶活性和碱性磷酸酶活性。

4.3.11 青枯菌 *Ralstonia solanacearum*: 革兰氏阴性菌, 属于 β 变形菌纲, 薄壁菌目, 假单胞菌科, 劳尔氏菌属。青枯菌是一种广泛分布的病原细菌, 可引起马铃薯、番茄等多种植物发生青枯病。

4.3.12 尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum*: 尖孢镰刀菌属半知菌类 (*Imperfecti fungi*)、从梗孢目 (*Moniliales*)、瘤座孢科 (*Tuberculariaceae*)、镰刀菌属 (*Fusarium*)。尖孢镰刀菌是一种广泛分布的土传病原真菌, 可产生小型分生孢子、大型分生孢子和厚垣孢子, 可引起茄科、豆科等多种植物发生枯萎病。

4.3.13 土壤线虫 soil nematode: 一类虫体透明、结构简单且两侧对称原体腔无脊椎动物, 是土壤动物中数量和功能类群最丰富的类群。根据食性分为食细菌线虫、食真菌线虫、植食性线虫、杂食性-捕食性线虫。

4.3.14 土壤蚯蚓 soil earthworm: 属于环节动物门寡毛纲的陆栖无脊椎动物, 通过取食、

消化、排泄蚯蚓粪、分泌粘液和掘穴等活动影响土壤物质循环和能量传递。根据生活习性分为生活在土壤腐殖质层、喜食凋落物、不形成洞穴的表层种蚯蚓；生活在土壤表层、形成水平洞穴、喜食富含有机质土壤的内层种蚯蚓；形成垂直洞穴、上食下居的深层种蚯蚓。

4.3.15 基因拷贝数 **gene copies**: 利用荧光化学物质测定聚合酶链式反应 (Polymerase Chain Reaction) 循环后产物总量的方法, 简称实时荧光定量 PCR 法, 分析得到某一生物的基因在基因组中的个数。

4.3.16 土壤微生物高通量测序 **soil microbial high-throughput sequencing**: 通过对微生物 16Ss rDNA、18S rDNA、ITS 区域进行扩增测序的技术, 用于分析土壤微生物群落结构和多样性。

4.3.17 土壤宏基因组测序 **soil metagenomic sequencing**: 针对土壤中细菌、真菌、古菌、原生动植物、显微藻类等生物群落, 通过从土壤样品中提取全部微生物的 DNA, 分析功能宏基因的测序分析技术。用于构建宏基因组文库, 分析土壤生物功能多样性。

4.3.18 土壤动物线粒体基因测序 **soil animal mitochondrial genome sequencing**: 基于不同土壤动物线粒体 DNA 中可变区碱基排列顺序的差异, 利用土壤动物线粒体基因组中一段公认的、相对较短的 DNA 序列片段来进行物种鉴定的一种分子生物学技术。

4.3.19 土壤质量和土壤健康的生物学评价 **biological assessment of soil quality and soil health**

土壤质量是土壤在生态系统范围内维持生物的生产力、保护环境质量以及促进动植物健康的能力。土壤健康是土壤持续支撑农产品安全生产、维持生态环境质量和保障动植物及人类健康的功能。土壤质量和土壤健康相互关联, 土壤质量是形成土壤健康的物质基础, 而土壤健康是发挥土壤质量的功能保障。土壤中的生物群落形成多级生物网络, 驱动了土壤中养分等生源要素和有害物质的转化与循环过程, 从而影响了土壤质量和土壤健康水平。利用土壤生物的生物量、活性、多样性和功能性指标可以从生物学角度评价土壤质量和土壤健康, 为土壤可持续管理提供依据。

第 2 章 土壤生物调查样点布设与采样管理方法

1. 土壤生物调查相关术语

1.1 土属 soil genus : 土壤分类系统中的中级分类单元。是在相同的气候、地形等自然环境条件以及共同的人为生产活动条件下, 由于区域性的成土母质及风化壳、水文状况差异形成的具有一定土壤属性的一群土壤。具有一定的成土过程、土壤理化属性和土壤改良利用方向。

1.2 土种 soil species: 土壤分类系统中的基层单元。是处于相同或相似景观部位, 具有相似土体构型和土壤剖面性状特征的一群土壤。在土属范围内反映了土层厚度、黏粒、盐分含量等性状的差异。

1.3 样点 sampling site: 按照一定调查原则确定的具有代表性、典型性的土壤调查区域。

1.4 样地 sampling plot: 在土壤调查区域中, 为进行科学性调查采样确定的具有一定边界的地段。

1.5 样方 sampling quadrat: 在土壤调查样地中, 开展土壤或者地段依附性强的调查确定的采样地块。

1.6 分区随机采样法 Block random sampling method: 将样地划分为地形条件、生物群落类型、土壤属性较为一致的不同采样区块, 利用随机布点和随机选择样方的方式进行土壤采样的方法。

1.7 土壤生物样品中转站 soil organism sample transferring station: 具备一定的土壤生物样品保存、处理和相关数据管理条件的站点。负责收集野外采集的土壤生物样品、开展样品编号和存放、分发样品至检测单位、收集整理数据。

1.8 土壤生物数据库 soil database: 通过建立数据中心屏蔽室, 形成单独部署的数据库, 避免入侵或信息泄露风险, 达到 B 级防护标准, 用于存放土壤生物调查数据。

2. 土壤生物调查样点布设原则

紧密结合全国第三次土壤普查总体布点思路, 土壤生物调查遵循“气候带主导”原则, “农用地主导”原则, “以土种作为基本分区单元”原则布设样点。

2.1 气候带主导、兼顾自然经济条件分区

土壤生物调查样点分布采取东、中部并重, 兼顾西部的思路。土壤生物受干湿度等气候因素以及地形地貌、经济发展水平等条件影响。我国地势西高东低, 年降水量从东往西逐渐

减少，经济发展水平从东往西逐次递减。土壤生物调查样点布设将全国分为东部湿润区、中部半湿润半干旱区、西部干旱区三个大区。

2.2 农用地主导、兼顾其他用地类型

覆盖土壤三普中土壤利用方式范围，土壤生物调查中的土地利用方式以耕地和园地为主，兼顾林地、草地和其他土地中的后备耕地，根据不同区域不同土地利用方式组成的变化，调节土壤样点的布设比例。针对耕地，兼顾不同区域土壤质量等级的比例，调节土种样点的比例。

2.3 覆盖土壤三普调查土属、以土种作为基本分区单元

土壤生物调查覆盖土壤三普中我国大陆的所有土属，包含各土属中的主要土种。土属是土壤分类系统的中层分类单元，形成土属的气候、地形、成土母质、人为耕作条件也驱动了土壤生物多样性形成以及土壤生物功能的演变。土种是土壤分类系统的基层分类单元，受区域气候、地形、母质、改良利用等影响，土种反映了土层厚度、黏粒、盐分等微域土壤质量特征，代表了土壤改良利用的方向。土壤生物调查以土种作为样点选择的基本分区单元，根据土种面积占比及大小，确定选择调查土种类型及样点的数量，土壤生物调查与土壤破面调查“共点”。

表 2 土壤分类及代码

土纲	土类	土属	土属代码	所在省份
铁铝土	砖红壤	红泥质砖红壤	A11111	云南
铁铝土	砖红壤	涂砂质砖红壤	A11112	广东
铁铝土	砖红壤	暗泥质砖红壤	A11113	海南
铁铝土	砖红壤	麻砂质砖红壤	A11114	海南广西云南
铁铝土	砖红壤	砂泥质砖红壤	A11115	广东海南
铁铝土	砖红壤	泥质砖红壤	A11116	云南
铁铝土	砖红壤	涂砂质黄色砖红壤	A11211	
铁铝土	砖红壤	暗泥质黄色砖红壤	A11212	广东海南
铁铝土	砖红壤	麻砂质黄色砖红壤	A11213	海南云南
铁铝土	砖红壤	砂泥质黄色砖红壤	A11214	海南
铁铝土	砖红壤	泥质黄色砖红壤	A11215	云南
铁铝土	砖红壤	暗泥质砖红壤性土	A11311	海南

铁铝土	砖红壤	麻砂质砖红壤性土	A11312	海南
铁铝土	砖红壤	砂泥质砖红壤性土	A11313	海南
铁铝土	赤红壤	红泥质赤红壤	A12111	广西广东云南
铁铝土	赤红壤	暗泥质赤红壤	A12112	云南
铁铝土	赤红壤	麻砂质赤红壤	A12113	福建广东广西云南
铁铝土	赤红壤	硅质赤红壤	A12114	云南
铁铝土	赤红壤	砂泥质赤红壤	A12115	福建广东广西
铁铝土	赤红壤	泥质赤红壤	A12116	广东广西云南
铁铝土	赤红壤	紫土质赤红壤	A12117	云南
铁铝土	赤红壤	灰泥质赤红壤	A12118	云南
铁铝土	赤红壤	麻砂质黄色赤红壤	A12211	海南云南
铁铝土	赤红壤	砂泥质黄色赤红壤	A12212	海南
铁铝土	赤红壤	泥质黄色赤红壤	A12213	云南
铁铝土	赤红壤	硅质黄色赤红壤	A12214	云南
铁铝土	赤红壤	麻砂质赤红壤性土	A12311	广东
铁铝土	赤红壤	砂泥质赤红壤性土	A12312	广东
铁铝土	赤红壤	泥砂质赤红壤性土	A12313	广东
铁铝土	红壤	红泥质红壤	A13111	浙江安徽福建江西湖北湖南广西贵州云南
铁铝土	红壤	暗泥质红壤	A13112	浙江附件云南
铁铝土	红壤	麻砂质红壤	A13113	浙江福建江西湖北湖南广东广西四川云南
铁铝土	红壤	硅质红壤	A13114	江西湖南云南
铁铝土	红壤	砂泥质红壤	A13115	福建广东广西贵州
铁铝土	红壤	泥质红壤	A13116	江西湖南广东贵州
铁铝土	红壤	灰泥质红壤	A13117	湖南广东江西云南
铁铝土	红壤	红砂质红壤	A13118	江西湖南广东
铁铝土	红壤	紫土质红壤	A13119	云南
铁铝土	红壤	红泥质黄红壤	A13211	浙江
铁铝土	红壤	泥砂质黄红壤	A13212	西藏
铁铝土	红壤	暗泥质黄红壤	A13213	浙江四川
铁铝土	红壤	麻砂质黄红壤	A13214	浙江安徽福建江西湖北湖南广西云南

铁铝土	红壤	硅质黄红壤	A13215	江西湖南贵州云南
铁铝土	红壤	砂泥质黄红壤	A13216	浙江福建广西
铁铝土	红壤	泥质黄红壤	A13217	浙江安徽江西湖南云南
铁铝土	红壤	红泥质棕红壤	A13311	浙江安徽江西湖南
铁铝土	红壤	麻砂质棕红壤	A13312	江西
铁铝土	红壤	硅质棕红壤	A13313	湖北
铁铝土	红壤	红泥质山原红壤	A13411	云南
铁铝土	红壤	暗泥质山原红壤	A13412	云南
铁铝土	红壤	砂泥质山原红壤	A13413	四川
铁铝土	红壤	泥质山原红壤	A13414	云南
铁铝土	红壤	磷灰质山原红壤	A13415	云南
铁铝土	红壤	红泥质红壤性土	A13511	江西湖南
铁铝土	红壤	暗泥质红壤性土	A13512	云南
铁铝土	红壤	麻砂质红壤性土	A13513	安徽湖北
铁铝土	红壤	砂泥质红壤性土	A13514	安徽湖南湖北贵州
铁铝土	黄壤	红泥质黄壤	A21111	四川贵州云南
铁铝土	黄壤	暗泥质黄壤	A21112	浙江贵州云南
铁铝土	黄壤	麻砂质黄壤	A21113	安徽福建江西湖南广东海南
铁铝土	黄壤	硅质黄壤	A21114	福建江西湖南贵州
铁铝土	黄壤	砂泥质黄壤	A21115	浙江广西海南四川重庆贵州
铁铝土	黄壤	泥质黄壤	A21116	浙江安徽福建江西湖南贵州云南
铁铝土	黄壤	灰泥质黄壤	A21117	湖北四川重庆贵州云南
铁铝土	黄壤	紫土质黄壤	A21118	贵州
铁铝土	黄壤	硅质漂洗黄壤	A21211	贵州
铁铝土	黄壤	泥质漂洗黄壤	A21212	四川重庆云南
铁铝土	黄壤	灰泥质漂洗黄壤	A21213	贵州
铁铝土	黄壤	砂泥质表潜黄壤	A21311	广西安徽西藏四川
铁铝土	黄壤	硅质黄壤性土	A21412	湖北贵州
铁铝土	黄壤	砂泥质黄壤性土	A21413	湖北广东四川重庆贵州
铁铝土	黄壤	泥质黄壤性土	A21414	安徽湖南四川重庆贵州

铁铝土	黄壤	红砂质黄壤性土	A21415	湖北
淋溶土	黄棕壤	黄土质黄棕壤	B11111	甘肃
淋溶土	黄棕壤	麻砂质黄棕壤	B11112	安徽河南西藏
淋溶土	黄棕壤	砂泥质黄棕壤	B11113	安徽湖北四川重庆
淋溶土	黄棕壤	泥质黄棕壤	B11114	安徽湖北陕西甘肃
淋溶土	黄棕壤	泥砂质黄棕壤	B11115	重庆四川西藏
淋溶土	黄棕壤	暗泥质暗黄棕壤	B11211	云南
淋溶土	黄棕壤	麻砂质暗黄棕壤	B11212	广西贵州云南
淋溶土	黄棕壤	砂泥质暗黄棕壤	B11213	广西云南
淋溶土	黄棕壤	泥质暗黄棕壤	B11214	湖北湖南贵州
淋溶土	黄棕壤	灰泥质暗黄棕壤	B11215	贵州云南
淋溶土	黄棕壤	紫土质暗黄棕壤	B11216	云南
淋溶土	黄棕壤	硅质黄棕壤性土	B11311	安徽湖北
淋溶土	黄棕壤	泥质黄棕壤性土	B11312	安徽
淋溶土	黄褐土	黄土质黄褐土	B12111	河南湖北陕西甘肃
淋溶土	黄褐土	泥砂质黄褐土	B12112	河南
淋溶土	黄褐土	黄土质粘盘黄褐土	B12211	安徽江西河南湖北
淋溶土	黄褐土	黄土质白浆化黄褐土	B12311	江苏安徽河南湖北
淋溶土	黄褐土	黄土质黄褐土性土	B12411	四川
淋溶土	棕壤	黄土质棕壤	B21111	山西内蒙古辽宁吉林甘肃
淋溶土	棕壤	泥砂质棕壤	B21112	河北辽宁山东云南
淋溶土	棕壤	麻砂质棕壤	B21114	河北山西内蒙古辽宁吉林山东安徽河南 陕西甘肃西藏
淋溶土	棕壤	硅质棕壤	B21115	辽宁甘肃云南
淋溶土	棕壤	砂泥质棕壤	B21116	山西山东
淋溶土	棕壤	泥质棕壤	B21117	辽宁
淋溶土	棕壤	灰泥质棕壤	B21118	北京山西陕西云南
淋溶土	棕壤	紫土质棕壤	B21119	云南
淋溶土	棕壤	红泥质棕壤	B21121	云南
淋溶土	棕壤	黄土质白浆化棕壤	B21211	辽宁
淋溶土	棕壤	麻砂质白浆化棕壤	B21212	山东

淋溶土	棕壤	泥质白浆化棕壤	B21213	陕西
淋溶土	棕壤	黄土质潮棕壤	B21311	辽宁
淋溶土	棕壤	泥砂质潮棕壤	B21312	内蒙古辽宁山东
淋溶土	棕壤	泥砂质棕壤性土	B21411	西藏
淋溶土	棕壤	麻砂质棕壤性土	B21412	辽宁河南
淋溶土	棕壤	硅质棕壤性土	B21413	辽宁甘肃
淋溶土	棕壤	泥质棕壤性土	B21414	辽宁河南
淋溶土	棕壤	砂泥质棕壤性土	B21415	山东
淋溶土	棕壤	暗泥质棕壤性土	B21416	山东
淋溶土	棕壤	灰泥质棕壤性土	B21417	河北
淋溶土	暗棕壤	黄土质暗棕壤	B31111	内蒙古
淋溶土	暗棕壤	暗泥质暗棕壤	B31112	吉林黑龙江云南
淋溶土	暗棕壤	麻砂质暗棕壤	B31113	内蒙古辽宁吉林黑龙江甘肃西藏
淋溶土	暗棕壤	硅质暗棕壤	B31114	黑龙江湖北
淋溶土	暗棕壤	砂泥质暗棕壤	B31115	湖北西藏
淋溶土	暗棕壤	泥质暗棕壤	B31116	内蒙古黑龙江湖北云南
淋溶土	暗棕壤	灰泥质暗棕壤	B31117	湖北云南
淋溶土	暗棕壤	紫土质暗棕壤	B31118	云南
淋溶土	暗棕壤	暗泥质白浆化暗棕壤	B31211	吉林黑龙江
淋溶土	暗棕壤	麻砂质白浆化暗棕壤	B31212	吉林黑龙江
淋溶土	暗棕壤	硅质白浆化暗棕壤	B31213	吉林黑龙江
淋溶土	暗棕壤	黄土质草甸暗棕壤	B31311	甘肃
淋溶土	暗棕壤	泥砂质草甸暗棕壤	B31312	内蒙古黑龙江
淋溶土	暗棕壤	暗泥质草甸暗棕壤	B31313	吉林黑龙江
淋溶土	暗棕壤	麻砂质草甸暗棕壤	B31314	内蒙古黑龙江
淋溶土	暗棕壤	砂泥质草甸暗棕壤	B31315	湖北
淋溶土	暗棕壤	暗泥质潜育暗棕壤	B31411	黑龙江
淋溶土	暗棕壤	泥砂质灰化暗棕壤	B31511	吉林
淋溶土	暗棕壤	暗泥质灰化暗棕壤	B31512	吉林
淋溶土	暗棕壤	麻砂质灰化暗棕壤	B31513	吉林黑龙江西藏

淋溶土	暗棕壤	泥质灰化暗棕壤	B31514	吉林
淋溶土	暗棕壤	灰泥质灰化暗棕壤	B31515	吉林
淋溶土	暗棕壤	暗泥质暗棕壤性土	B31611	吉林
淋溶土	暗棕壤	麻砂质暗棕壤性土	B31612	吉林黑龙江云南
淋溶土	白浆土	黄土质白浆土	B32111	吉林黑龙江
淋溶土	白浆土	黄土质草甸白浆土	B32211	吉林
淋溶土	白浆土	泥砂质草甸白浆土	B32212	黑龙江
淋溶土	白浆土	黄土质潜育白浆土	B32311	吉林黑龙江
淋溶土	白浆土	泥砂质潜育白浆土	B32312	黑龙江
淋溶土	棕色针叶林土	麻砂质棕色针叶林土	B41111	黑龙江新疆云南
淋溶土	棕色针叶林土	砂泥质棕色针叶林土	B41112	四川
淋溶土	棕色针叶林土	泥质棕色针叶林土	B41113	云南
淋溶土	棕色针叶林土	麻砂质灰化棕色针叶林土	B41211	黑龙江四川
淋溶土	棕色针叶林土	紫土质灰化棕色针叶林土	B41212	云南
淋溶土	棕色针叶林土	麻砂质表潜棕色针叶林土	B41311	黑龙江新疆
淋溶土	灰化土	麻砂质灰化土	B42011	西藏
半淋溶土	燥红土	涂砂质燥红土	C11111	海南
半淋溶土	燥红土	暗泥质燥红土	C11112	海南
半淋溶土	燥红土	麻砂质燥红土	C11113	海南
半淋溶土	燥红土	砂泥质燥红土	C11114	海南
半淋溶土	燥红土	泥砂质褐红土	C11211	四川云南
半淋溶土	燥红土	暗泥质褐红土	C11212	云南
半淋溶土	燥红土	麻砂质褐红土	C11213	云南
半淋溶土	燥红土	硅质褐红土	C11214	云南
半淋溶土	褐土	黄土质褐土	C21111	河北山西内蒙古辽宁山东河南陕西甘肃
半淋溶土	褐土	泥砂质褐土	C21112	北京河南西藏
半淋溶土	褐土	灰泥质褐土	C21113	辽宁山东陕西
半淋溶土	褐土	红土质褐土	C21114	甘肃
半淋溶土	褐土	复钙褐土	C21115	河北

半淋溶土	褐土	黄土质石灰性褐土	C21211	北京山西内蒙古辽宁山东河南陕西甘肃四川
半淋溶土	褐土	泥砂质石灰性褐土	C21212	河北河南西藏
半淋溶土	褐土	硅质石灰性褐土	C21213	内蒙古陕西
半淋溶土	褐土	砂泥质石灰性褐土	C21214	四川
半淋溶土	褐土	泥质石灰性褐土	C21215	西藏
半淋溶土	褐土	灰泥质石灰性褐土	C21216	北京
半淋溶土	褐土	红土质石灰性褐土	C21217	甘肃
半淋溶土	褐土	黄土质淋溶褐土	C21311	山西内蒙古辽宁江苏陕西甘肃
半淋溶土	褐土	泥砂质淋溶褐土	C21312	河南西藏
半淋溶土	褐土	暗泥质淋溶褐土	C21313	山东江苏
半淋溶土	褐土	硅质淋溶褐土	C21314	河北甘肃
半淋溶土	褐土	灰泥质淋溶褐土	C21315	北京山东河南
半淋溶土	褐土	砂泥质淋溶褐土	C21316	山东
半淋溶土	褐土	黄土质潮褐土	C21411	辽宁
半淋溶土	褐土	泥砂质潮褐土	C21412	北京河北辽宁山东河南
半淋溶土	褐土	油塿土	C21511	陕西
半淋溶土	褐土	垆塿土	C21512	陕西
半淋溶土	褐土	立茬塿土	C21513	陕西
半淋溶土	褐土	斑斑土	C21514	陕西
半淋溶土	褐土	塿塔土	C21515	陕西
半淋溶土	褐土	硅质燥褐土	C21611	四川
半淋溶土	褐土	泥砂质燥褐土	C21612	四川
半淋溶土	褐土	黄土质褐土性土	C21711	山西辽宁河南陕西
半淋溶土	褐土	泥砂质褐土性土	C21712	河南西藏
半淋溶土	褐土	暗泥质褐土性土	C21713	辽宁
半淋溶土	褐土	硅质褐土性土	C21714	陕西甘肃
半淋溶土	褐土	灰泥质褐土性土	C21715	辽宁
半淋溶土	褐土	砂泥质褐土性土	C21716	山东
半淋溶土	褐土	堆垫褐土性土	C21717	河南
半淋溶土	灰褐土	黄土质灰褐土	C31111	新疆

半淋溶土	灰褐土	泥砂质灰褐土	C31112	西藏
半淋溶土	灰褐土	硅质灰褐土	C31113	新疆
半淋溶土	灰褐土	泥质灰褐土	C31114	西藏
半淋溶土	灰褐土	泥质暗灰褐土	C31211	宁夏
半淋溶土	灰褐土	黄土质淋溶灰褐土	C31311	青海新疆
半淋溶土	灰褐土	砂泥质淋溶灰褐土	C31312	西藏
半淋溶土	灰褐土	黄土质石灰性灰褐土	C31411	甘肃青海
半淋溶土	灰褐土	泥质石灰性灰褐土	C31412	甘肃
半淋溶土	灰褐土	灰泥质石灰性灰褐土	C31413	甘肃
半淋溶土	灰褐土	泥砂质灰褐土性土	C31511	西藏
半淋溶土	灰褐土	砂泥质灰褐土性土	C31512	西藏
半淋溶土	黑土	黄土质黑土	C32111	内蒙古辽宁吉林吉林黑龙江甘肃
半淋溶土	黑土	泥砂质黑土	C32112	吉林黑龙江
半淋溶土	黑土	暗泥质黑土	C32113	河北
半淋溶土	黑土	黄土质草甸黑土	C32211	内蒙古吉林黑龙江甘肃
半淋溶土	黑土	泥砂质草甸黑土	C32212	内蒙古黑龙江
半淋溶土	黑土	黄土质白浆化黑土	C32311	吉林黑龙江
半淋溶土	黑土	黄土质表潜黑土	C32411	黑龙江
半淋溶土	灰色森林土	暗泥质灰色森林土	C33111	河北
半淋溶土	灰色森林土	麻砂质灰色森林土	C33112	内蒙古新疆
半淋溶土	灰色森林土	硅质灰色森林土	C33113	内蒙古
半淋溶土	灰色森林土	风砂质灰色森林土	C33114	河北
半淋溶土	灰色森林土	麻砂质暗灰色森林土	C33211	新疆
钙层土	黑钙土	黄土质黑钙土	D11111	内蒙古吉林黑龙江甘肃新疆
钙层土	黑钙土	泥砂质黑钙土	D11112	黑龙江吉林
钙层土	黑钙土	泥质黑钙土	D11113	内蒙古
钙层土	黑钙土	灰泥质黑钙土	D11114	内蒙古
钙层土	黑钙土	黄土质淋溶黑钙土	D11211	黑龙江新疆
钙层土	黑钙土	麻砂质淋溶黑钙土	D11212	内蒙古
钙层土	黑钙土	黄土质石灰性黑钙土	D11311	内蒙古吉林黑龙江甘肃青海新疆

钙层土	黑钙土	红土质石灰性黑钙土	D11312	青海
钙层土	黑钙土	泥砂质石灰性黑钙土	D11313	吉林黑龙江青海
钙层土	黑钙土	麻砂质石灰性黑钙土	D11314	内蒙古
钙层土	黑钙土	硅质石灰性黑钙土	D11315	青海
钙层土	黑钙土	黄土质淡黑钙土	D11411	吉林
钙层土	黑钙土	暗泥质淡黑钙土	D11412	内蒙古
钙层土	黑钙土	黄土质草甸黑钙土	D11511	内蒙古吉林黑龙江
钙层土	黑钙土	泥砂质草甸黑钙土	D11512	内蒙古
钙层土	黑钙土	苏打盐化黑钙土	D11611	吉林
钙层土	黑钙土	碱化黑钙土	D11700	吉林
钙层土	栗钙土	黄土质栗钙土	D21111	河北内蒙古甘肃青海
钙层土	栗钙土	泥砂质栗钙土	D21112	河北青海
钙层土	栗钙土	麻砂质栗钙土	D21113	内蒙古
钙层土	栗钙土	硅质栗钙土	D21114	内蒙古青海
钙层土	栗钙土	泥质栗钙土	D21115	内蒙古青海
钙层土	栗钙土	白干栗钙土	D21116	内蒙古
钙层土	栗钙土	砂田栗钙土	D21117	甘肃
钙层土	栗钙土	暗泥质栗钙土	D21118	河北
钙层土	栗钙土	灰泥质栗钙土	D21119	河北
钙层土	栗钙土	黄土质暗栗钙土	D21211	内蒙古甘肃青海新疆
钙层土	栗钙土	泥砂质暗栗钙土	D21212	内蒙古河北青海
钙层土	栗钙土	麻砂质暗栗钙土	D21213	内蒙古
钙层土	栗钙土	泥质暗栗钙土	D21214	内蒙古青海
钙层土	栗钙土	白干暗栗钙土	D21215	吉林
钙层土	栗钙土	砂田暗栗钙土	D21216	
钙层土	栗钙土	暗泥质暗栗钙土	D21217	河北
钙层土	栗钙土	黄土质淡栗钙土	D21311	山西陕西甘肃青海
钙层土	栗钙土	泥砂质淡栗钙土	D21312	新疆
钙层土	栗钙土	麻砂质淡栗钙土	D21313	内蒙古
钙层土	栗钙土	硅质淡栗钙土	D21314	内蒙古

钙层土	栗钙土	泥质淡栗钙土	D21315	内蒙古
钙层土	栗钙土	白干淡栗钙土	D21316	山西
钙层土	栗钙土	黄土质草甸栗钙土	D21411	甘肃
钙层土	栗钙土	泥砂质草甸栗钙土	D21412	河北内蒙古
钙层土	栗钙土	白干草甸栗钙土	D21413	吉林
钙层土	栗钙土	氯化物栗钙土	D21511	河北
钙层土	栗钙土	硫酸盐栗钙土	D21512	河北
钙层土	栗钙土	苏打栗钙土	D21513	河北
钙层土	栗钙土	碱化栗钙土	D21600	河北
钙层土	栗钙土	麻砂质栗钙土性土	D21711	河北
钙层土	栗钙土	暗泥质栗钙土性土	D21712	河北
钙层土	栗钙土	泥质栗钙土性土	D21713	河北
钙层土	栗钙土	硅质栗钙土性土	D21714	河北
钙层土	栗钙土	灰泥质栗钙土性土	D21715	河北
钙层土	栗褐土	黄土质栗褐土	D31111	河北山西
钙层土	栗褐土	泥砂质栗褐土	D31112	河北
钙层土	栗褐土	麻砂质栗褐土	D31113	河北
钙层土	栗褐土	暗泥质栗褐土	D31114	河北
钙层土	栗褐土	泥质栗褐土	D31115	河北
钙层土	栗褐土	硅质栗褐土	D31116	河北
钙层土	栗褐土	灰泥质栗褐土	D31117	河北
钙层土	栗褐土	黄土质淡栗褐土	D31211	山西内蒙古
钙层土	栗褐土	泥砂质潮栗褐土	D31311	内蒙古
钙层土	黑垆土	黑垆土	D32100	陕西甘肃宁夏
钙层土	黑垆土	粘化黑垆土	D32200	陕西甘肃
钙层土	黑垆土	潮黑垆土	D32300	宁夏
钙层土	黑垆土	黑麻土	D32400	甘肃
干旱土	棕钙土	黄土质棕钙土	E11111	青海新疆
干旱土	棕钙土	泥砂质棕钙土	E11112	青海
干旱土	棕钙土	暗泥质棕钙土	E11113	内蒙古

干旱土	棕钙土	硅质棕钙土	E11114	内蒙古
干旱土	棕钙土	泥砂质淡棕钙土	E11211	新疆
干旱土	棕钙土	泥砂质草甸棕钙土	E11311	内蒙古新疆
干旱土	棕钙土	氯化物棕钙土	E11411	青海
干旱土	棕钙土	硫酸盐棕钙土	E11412	青海新疆
干旱土	棕钙土	碱化棕钙土	E11500	新疆
干旱土	棕钙土	黄土质棕钙土性土	E11611	青海
干旱土	灰钙土	黄土质灰钙土	E21111	甘肃宁夏青海新疆
干旱土	灰钙土	泥砂质灰钙土	E21112	宁夏青海
干旱土	灰钙土	砂田灰钙土	E21113	甘肃
干旱土	灰钙土	黄土质淡灰钙土	E21211	内蒙古宁夏青海
干旱土	灰钙土	泥砂质淡灰钙土	E21212	甘肃宁夏青海
干旱土	灰钙土	砂田淡灰钙土	E21213	甘肃
干旱土	灰钙土	泥砂质草甸灰钙土	E21311	宁夏
干旱土	灰钙土	氯化物灰钙土	E21411	宁夏
干旱土	灰钙土	硫酸盐灰钙土	E21412	甘肃宁夏新疆
干旱土	灰钙土	砂田苏打灰钙土	E21413	甘肃
漠土	灰漠土	黄土质灰漠土	F11111	甘肃新疆
漠土	灰漠土	泥砂质钙质灰漠土	F11211	宁夏
漠土	灰漠土	草甸灰漠土	F11300	新疆内蒙古
漠土	灰漠土	盐化物灰漠土	F11411	新疆
漠土	灰漠土	硫酸盐灰漠土	F11412	甘肃新疆
漠土	灰漠土	碱化灰漠土	F11500	新疆
漠土	灰漠土	泥质灌耕灰漠土	F11611	新疆
漠土	灰漠土	泥砂质灌耕灰漠土	F11612	甘肃
漠土	灰棕漠土	泥砂质灰棕漠土	F12111	甘肃青海新疆
漠土	灰棕漠土	泥砂质石膏灰棕漠土	F12211	甘肃青海新疆
漠土	灰棕漠土	泥砂质石膏盐盘灰棕漠土	F12311	青海
漠土	灰棕漠土	泥砂质灌耕灰棕漠土	F12411	甘肃青海
漠土	棕漠土	泥砂质棕漠土	F21111	甘肃

漠土	棕漠土	硫酸盐棕漠土	F21211	新疆
漠土	棕漠土	泥砂质石膏棕漠土	F21311	甘肃新疆
漠土	棕漠土	泥砂质石膏盐盘棕漠土	F21411	甘肃新疆
漠土	棕漠土	泥砂质灌耕棕漠土	F21511	甘肃新疆
初育土	黄绵土	绵土	G11111	山西陕西甘肃宁夏
初育土	黄绵土	绵砂土	G11012	陕西甘肃宁夏
初育土	红粘土	典型红粘土	G12100	河北山西辽宁山东河南
初育土	红粘土	积钙红粘土	G12200	辽宁陕西甘肃宁夏青海
初育土	红粘土	麻砂质复盐基红粘土	G12311	浙江
初育土	红粘土	红泥质复盐基红粘土	G12312	浙江
初育土	新积土	山洪土	G13111	贵州云南
初育土	新积土	石灰性山洪土	G13112	内蒙古陕西甘肃宁夏青海西藏
初育土	新积土	堆垫土	G13113	青海广东
初育土	新积土	坝淤土	G13114	
初育土	新积土	漫淤土	G13115	陕西
初育土	新积土	冲积砾砂土	G13211	西藏
初育土	新积土	冲积砾泥土	G13212	云南
初育土	新积土	冲积砂土	G13213	辽宁黑龙江江西四川西藏
初育土	新积土	冲积壤土	G13214	四川云南
初育土	新积土	石灰性冲积砂土	G13215	河北山西内蒙古辽宁黑龙江山东陕西四川重庆西藏
初育土	新积土	石灰性冲积壤土	G13216	陕西甘肃西藏
初育土	新积土	石灰性冲积粘土	G13217	内蒙古西藏
初育土	新积土	珊瑚砂土	G13300	海南
初育土	龟裂土	盐龟裂土	G14011	新疆
初育土	龟裂土	碱龟裂土	G14012	新疆
初育土	风沙土	荒漠固定风沙土	G15111	甘肃新疆
初育土	风沙土	荒漠半固定风沙土	G15112	青海新疆
初育土	风沙土	荒漠流动风沙土	G15113	甘肃青海新疆
初育土	风沙土	草原固定风沙土	G15211	山西辽宁陕西宁夏西藏
初育土	风沙土	草原半固定风沙土	G15212	河北辽宁陕西宁夏西藏

初育土	风沙土	草原流动风沙土	G15213	陕西青海西藏
初育土	风沙土	草甸固定风沙土	G15311	河北辽宁黑龙江河南西藏
初育土	风沙土	草甸半固定风沙土	G15312	河北辽宁黑龙江四川
初育土	风沙土	草甸流动风沙土	G15313	河北
初育土	风沙土	滨海固定风沙土	G15411	广东
初育土	风沙土	滨海半固定风沙土	G15412	广东
初育土	风沙土	滨海流动风沙土	G15413	海南
初育土	石灰(岩)土	红色石灰土	G21100	湖北广东海南广西四川重庆贵州云南
初育土	石灰(岩)土	黑色石灰土	G21200	浙江湖南广东贵州云南
初育土	石灰(岩)土	棕色石灰土	G21300	江苏浙江安徽江西湖北湖南广西陕西四川贵州
初育土	火山灰土	典型火山灰土	G22100	云南黑龙江广东
初育土	火山灰土	暗火山灰土	G22200	辽宁
初育土	火山灰土	基性岩火山砾泥土	G22311	安徽江西海南
初育土	火山灰土	基性岩火山泥土	G22312	黑龙江江苏安徽福建海南
初育土	紫色土	酸紫砾泥土	G23111	浙江贵州
初育土	紫色土	酸紫砂土	G23112	安徽湖南广东广西四川重庆贵州
初育土	紫色土	酸紫壤土	G23113	浙江湖北湖南广东海南四川贵州云南
初育土	紫色土	酸紫粘土	G23114	浙江福建湖南广西四川重庆贵州云南
初育土	紫色土	紫砾泥土	G23211	河南四川重庆云南
初育土	紫色土	紫砂土	G23212	江苏江西
初育土	紫色土	紫壤土	G23213	安徽湖南四川重庆贵州云南
初育土	紫色土	紫泥土	G23214	安徽河南湖北广西四川重庆贵州
初育土	紫色土	灰紫砾泥土	G23311	河南四川重庆贵州
初育土	紫色土	灰紫砂土	G23312	安徽广东四川重庆
初育土	紫色土	灰紫壤土	G23313	江西四川重庆贵州湖南广东
初育土	紫色土	灰紫泥土	G23314	浙江安徽江西湖北广西四川重庆贵州云南
初育土	磷质石灰土	磷质珊瑚砂土	G24111	海南
初育土	磷质石灰土	盐渍磷质珊瑚砂土	G24311	
初育土	粗骨土	麻砂质酸性粗骨土	G25111	山东浙江安徽江西湖北
初育土	粗骨土	硅质酸性粗骨土	G25112	江苏浙江安徽湖南

初育土	粗骨土	泥质酸性粗骨土	G25113	浙江安徽江西湖南贵州
初育土	粗骨土	红砂质酸性粗骨土	G25114	浙江江西湖北
初育土	粗骨土	暗泥质中性粗骨土	G25211	山东浙江安徽
初育土	粗骨土	麻砂质中性粗骨土	G25212	辽宁河南
初育土	粗骨土	硅质中性粗骨土	G25213	河南
初育土	粗骨土	泥质中性粗骨土	G25214	辽宁河南陕西四川
初育土	粗骨土	砂泥质中性粗骨土	G25215	山东
初育土	粗骨土	灰泥质钙质粗骨土	G25311	辽宁河南青海贵州
初育土	粗骨土	暗泥质钙质粗骨土	G25312	河北
初育土	粗骨土	硅质钙质粗骨土	G25313	陕西
初育土	粗骨土	砂泥质钙质粗骨土	G25314	山东
初育土	粗骨土	白粉土	G25411	广西
初育土	石质土	麻砂质酸性石质土	G26111	河北黑龙江山东河南
初育土	石质土	灰泥质酸性石质土	G26112	贵州
初育土	石质土	红砂质酸性石质土	G26113	江西
初育土	石质土	麻砂质中性石质土	G26211	辽宁
初育土	石质土	硅质中性石质土	G26212	辽宁河南
初育土	石质土	泥质中性石质土	G26213	河南
初育土	石质土	砂泥质中性石质土	G26214	山东
初育土	石质土	灰泥质钙质石质土	G26311	河北山西辽宁山东河南
初育土	石质土	砂泥质钙质石质土	G26312	山东
初育土	石质土	含盐石质土	G26400	
半水成土	草甸土	草甸砂土	H11111	内蒙古辽宁黑龙江西藏
半水成土	草甸土	草甸壤土	H11112	内蒙古辽宁黑龙江西藏湖南青海四川
半水成土	草甸土	草甸粘土	H11113	内蒙古辽宁黑龙江
半水成土	草甸土	石灰性草甸砂土	H11211	河北内蒙古青海西藏
半水成土	草甸土	石灰性草甸壤土	H11212	内蒙古辽宁黑龙江西藏新疆
半水成土	草甸土	石灰性草甸粘土	H11213	辽宁黑龙江西藏新疆
半水成土	草甸土	白浆化草甸壤土	H11311	黑龙江
半水成土	草甸土	潜育草甸砂土	H11411	黑龙江西藏

半水成土	草甸土	潜育草甸壤土	H11412	黑龙江
半水成土	草甸土	潜育草甸粘土	H11413	黑龙江
半水成土	草甸土	石灰性潜育草甸砂土	H11414	西藏
半水成土	草甸土	石灰性潜育草甸壤土	H11415	黑龙江
半水成土	草甸土	石灰性潜育草甸粘土	H11416	黑龙江
半水成土	草甸土	白浆化潜育草甸粘土	H11417	黑龙江
半水成土	草甸土	氯化物草甸土	H11511	辽宁青海西藏
半水成土	草甸土	硫酸盐草甸土	H11512	辽宁
半水成土	草甸土	苏打草甸土	H11513	内蒙古黑龙江新疆
半水成土	草甸土	碱化草甸土	H11600	内蒙古黑龙江西藏
半水成土	潮土	潮砂土	H21111	江苏山东陕西
半水成土	潮土	潮壤土	H21112	河北陕西山东
半水成土	潮土	潮粘土	H21113	河北江苏
半水成土	潮土	石灰性潮砂土	H21114	河北辽宁江苏安徽山东河南陕西青海新疆
半水成土	潮土	石灰性潮壤土	H21115	北京河北山西内蒙古辽宁山东江苏安徽河南陕西青海新疆
半水成土	潮土	石灰性潮粘土	H21116	北京辽宁江苏安徽河南陕西
半水成土	潮土	石灰性灰潮砂土	H21211	上海江苏安徽河南湖北湖南
半水成土	潮土	石灰性灰潮壤土	H21212	上海江苏浙江江西湖北湖南广西四川重庆贵州
半水成土	潮土	石灰性灰潮粘土	H21213	上海江苏浙江安徽四川重庆
半水成土	潮土	灰潮砂土	H21214	浙江安徽江西河南湖北广东广西
半水成土	潮土	灰潮壤土	H21215	安徽江西河南湖北湖南广西
半水成土	潮土	灰潮粘土	H21216	河南
半水成土	潮土	脱潮砂土	H21311	河北内蒙古山东河南甘肃
半水成土	潮土	脱潮壤土	H21312	河北山西山东河南陕西
半水成土	潮土	脱潮粘土	H21313	北京河南
半水成土	潮土	湿潮砂土	H21411	河北河南陕西
半水成土	潮土	湿潮壤土	H21412	河北陕西
半水成土	潮土	湿潮粘土	H21413	河北河南湖北
半水成土	潮土	氯化物潮土	H21511	河北内蒙古辽宁山东浙江安徽河南陕西宁夏

半水成土	潮土	硫酸盐潮土	H21512	河北山西内蒙古辽宁山东陕西宁夏青海新疆
半水成土	潮土	苏打潮土	H21513	山西内蒙古
半水成土	潮土	镁盐潮土	H21514	新疆
半水成土	潮土	碱化砂土	H21611	安徽山东
半水成土	潮土	碱潮壤土	H21612	河北辽宁河南
半水成土	潮土	碱潮粘土	H21613	安徽
半水成土	潮土	淤潮砂土	H21711	内蒙古
半水成土	潮土	淤潮壤土	H21712	河南
半水成土	潮土	淤潮粘土	H21713	内蒙古河南
半水成土	潮土	表锈淤潮砂土	H21714	宁夏
半水成土	砂姜黑土	黑姜土	H22111	河北安徽河南湖北
半水成土	砂姜黑土	黄姜土	H22112	山东安徽
半水成土	砂姜黑土	覆泥黑姜土	H22113	山东安徽
半水成土	砂姜黑土	灰黑姜土	H22211	河北山东河南
半水成土	砂姜黑土	覆淤黑姜土	H22212	山东
半水成土	砂姜黑土	氯化物盐化砂姜黑土	H22311	江苏
半水成土	砂姜黑土	碱黑姜土	H22411	安徽
半水成土	砂姜黑土	黑泥土	H22511	广西
半水成土	林灌草甸土	林甸土	H23111	新疆
半水成土	林灌草甸土	耕灌林甸土	H23112	新疆
半水成土	林灌草甸土	硫酸盐盐化林灌草甸土	H23211	新疆
半水成土	林灌草甸土	氯化物盐化林灌草甸土	H23212	新疆
半水成土	林灌草甸土	苏打盐化林灌草甸土	H23213	新疆
半水成土	林灌草甸土	碱化林灌草甸土	H23300	
半水成土	山地草甸土	山地草甸壤土	H24111	北京山西河北
半水成土	山地草甸土	山地草原草甸土	H24200	
半水成土	山地草甸土	山地灌丛草甸砂土	H24311	湖南贵州
半水成土	山地草甸土	山地灌丛草甸壤土	H24312	辽宁黑龙江浙江安徽湖北四川贵州
半水成土	山地草甸土	山地灌丛草甸粘土	H24313	福建陕西贵州

水成土	沼泽土	典型沼泽土	J11100	河北辽宁湖北青海
水成土	沼泽土	腐泥沼泽土	J11200	辽宁陕西青海新疆四川
水成土	沼泽土	泥炭沼泽土	J11300	辽宁黑龙江湖北青海四川贵州云南西藏
水成土	沼泽土	草甸沼泽土	J11400	河北内蒙古辽宁黑龙江陕西青海新疆西藏四川
水成土	沼泽土	盐化沼泽土	J11500	辽宁青海
水成土	沼泽土	碱化沼泽土	J11600	
水成土	泥炭土	埋藏草炭土	J21111	辽宁黑龙江
水成土	泥炭土	草炭土	J21112	辽宁黑龙江青海四川
水成土	泥炭土	中位泥炭土	J21200	黑龙江
水成土	泥炭土	高位泥炭土	J21300	
盐碱土	草甸盐土	氯化物草甸盐土	K11111	内蒙古辽宁山东陕西宁夏新疆
盐碱土	草甸盐土	硫酸盐草甸盐土	K11112	山西内蒙古吉林山东陕西宁夏青海
盐碱土	草甸盐土	苏打草甸盐土	K11113	内蒙古宁夏
盐碱土	草甸盐土	镁质草甸盐土	K11114	宁夏
盐碱土	草甸盐土	氯化物结壳盐土	K11211	新疆
盐碱土	草甸盐土	氯化物沼泽盐土	K11311	青海
盐碱土	草甸盐土	硫酸盐沼泽盐土	K11312	宁夏
盐碱土	草甸盐土	氯化物碱化盐土	K11411	河南青海
盐碱土	草甸盐土	苏打碱化盐土	K11412	内蒙古山东
盐碱土	草甸盐土	镁质碱化盐土	K11413	甘肃
盐碱土	滨海盐土	滨海砂盐土	K12111	河北山东海南
盐碱土	滨海盐土	滨海泥盐土	K12112	辽宁上海山东
盐碱土	滨海盐土	滨海沼泽盐土	K12200	辽宁广东海南
盐碱土	滨海盐土	涂砂盐土	K12311	河北山东广西
盐碱土	滨海盐土	涂泥盐土	K12312	河北辽宁上海浙江广西
盐碱土	酸性硫酸盐土	典型酸性硫酸盐土	K13100	福建海南
盐碱土	酸性硫酸盐土	含盐酸性硫酸盐土	K13200	广东广西
盐碱土	漠境盐土	氯化物漠境盐土	K14111	新疆
盐碱土	漠境盐土	氯化物干旱盐土	K14211	内蒙古
盐碱土	漠境盐土	硫酸盐干旱盐土	K14212	内蒙古

盐碱土	漠境盐土	氯化物残余盐土	K14311	陕西宁夏青海新疆
盐碱土	漠境盐土	硫酸盐残余盐土	K14312	新疆
盐碱土	漠境盐土	苏打残余盐土	K14313	新疆
盐碱土	寒原盐土	氯化物寒原盐土	K15111	西藏
盐碱土	寒原盐土	硫酸盐寒原草甸盐土	K15211	西藏
盐碱土	寒原盐土	寒原硼酸盐土	K15300	
盐碱土	寒原盐土	碳酸盐寒碱盐土	K15411	西藏
盐碱土	碱土	草甸碱土	K20100	内蒙古辽宁吉林黑龙江山东河南
盐碱土	碱土	草原碱土	K20200	内蒙古
盐碱土	碱土	龟裂碱土	K20300	宁夏
盐碱土	碱土	氯化物盐化碱土	K20411	河南
盐碱土	碱土	硫酸盐盐化碱土	K20412	新疆
盐碱土	碱土	苏打盐化碱土	K20413	辽宁吉林黑龙江
盐碱土	碱土	荒漠碱土	K20500	新疆
人为土	水稻土	潮泥田	L11111	江苏浙江安徽福建江西湖南广东广西陕西四川贵州云南
人为土	水稻土	潮泥砂田	L11112	浙江广东广西
人为土	水稻土	湖泥田	L11113	上海江苏安徽云南
人为土	水稻土	涂泥田	L11114	浙江福建
人为土	水稻土	淡涂泥田	L11115	上海广东
人为土	水稻土	潮白土田	L11116	浙江
人为土	水稻土	麻砂泥田	L11117	江西湖北安徽江西湖南
人为土	水稻土	砂泥田	L11118	江西湖南广西
人为土	水稻土	鳝泥田	L11119	江西安徽湖南
人为土	水稻土	灰泥田	L11121	湖北湖南贵州
人为土	水稻土	紫泥田	L11122	浙江安徽江西湖北湖南广西四川重庆贵州云南
人为土	水稻土	红砂泥田	L11123	浙江江西湖北
人为土	水稻土	红泥田	L11124	浙江安徽江西福建湖北湖南云南
人为土	水稻土	黄泥田	L11125	浙江四川贵州
人为土	水稻土	马肝泥田	L11126	江苏安徽江西河南湖北四川重庆
人为土	水稻土	浅潮泥田	L11211	河北山东浙江江西河南广西陕西四川云

				南辽宁黑龙江
人为土	水稻土	浅潮泥砂田	L11212	广东广西黑龙江
人为土	水稻土	浅湖泥田	L11213	山东陕西云南
人为土	水稻土	浅涂泥田	L11214	浙江广东海南
人为土	水稻土	浅淡涂泥田	L11215	浙江
人为土	水稻土	浅潮白土田	L11216	浙江
人为土	水稻土	浅暗泥田	L11217	浙江江西广东海南
人为土	水稻土	浅麻砂泥田	L11218	浙江江西湖北湖南广东广西
人为土	水稻土	浅砂泥田	L11219	江西湖北湖南广东海南四川贵州
人为土	水稻土	浅鳊泥田	L11221	浙江安徽江西湖南贵州
人为土	水稻土	浅灰泥田	L11222	浙江安徽江西湖北湖南广东广西贵州
人为土	水稻土	浅紫泥田	L11223	浙江江西湖南广西海南四川重庆贵州云南
人为土	水稻土	浅红砂泥田	L11224	浙江江西湖北湖南
人为土	水稻土	浅白粉泥田	L11225	广西
人为土	水稻土	浅红泥田	L11226	浙江安徽江西福建湖南广东广西贵州云南
人为土	水稻土	浅黄泥田	L11227	四川重庆
人为土	水稻土	浅马肝泥田	L11228	安徽河南四川
人为土	水稻土	浅黄土田	L11229	黑龙江辽宁
人为土	水稻土	渗潮泥田	L11311	河北江苏浙江安徽海南广西陕西新疆四川重庆贵州云南湖南上海
人为土	水稻土	渗潮泥砂田	L11312	广东西藏
人为土	水稻土	渗湖泥田	L11313	江苏安徽
人为土	水稻土	渗涂泥田	L11314	浙江广东海南
人为土	水稻土	渗淡涂泥田	L11315	上海浙江广东
人为土	水稻土	渗潮白土田	L11316	浙江
人为土	水稻土	渗暗泥田	L11317	海南
人为土	水稻土	渗麻砂泥田	L11318	安徽福建湖南广东海南
人为土	水稻土	渗砂泥田	L11319	海南广西贵州
人为土	水稻土	渗鳊泥田	L11321	安徽广东四川贵州
人为土	水稻土	渗灰泥田	L11322	湖南广东贵州

人为土	水稻土	渗紫泥田	L11323	湖南广东海南广西四川重庆贵州
人为土	水稻土	渗红砂泥田	L11324	湖南
人为土	水稻土	渗红泥田	L11325	浙江安徽湖南
人为土	水稻土	渗马肝泥田	L11326	江苏安徽陕西
人为土	水稻土	渗黄土田	L11328	陕西
人为土	水稻土	渗煤锈田	L11329	广东贵州
人为土	水稻土	青潮泥田	L11411	河北辽宁黑龙江上海江苏浙江安徽江西福建山东河南湖北广东海南广西陕西新疆四川贵州云南
人为土	水稻土	青暗泥田	L11412	海南
人为土	水稻土	青麻砂泥田	L11413	江西安徽湖南
人为土	水稻土	青砂泥田	L11414	江西四川重庆
人为土	水稻土	青鳊泥田	L11415	江西安徽湖南
人为土	水稻土	青灰泥田	L11416	安徽江西湖北湖南贵州
人为土	水稻土	青紫泥田	L11417	安徽江西湖南四川重庆贵州云南
人为土	水稻土	青红砂泥田	L11418	江西
人为土	水稻土	青红泥田	L11419	安徽江西湖北广西云南
人为土	水稻土	青马肝泥田	L11421	江苏安徽四川重庆
人为土	水稻土	烂泥田	L11422	浙江安徽湖南广东海南广西陕西贵州云南
人为土	水稻土	锈水田	L11423	湖北湖南广东贵州
人为土	水稻土	表潜黄泥田	L11424	陕西
人为土	水稻土	泥炭土田	L11425	广东
人为土	水稻土	黄斑粘田	L11511	上海江苏浙江安徽海南贵州
人为土	水稻土	漂黄泥田	L11611	四川重庆贵州
人为土	水稻土	漂红泥田	L11612	安徽福建湖北湖南
人为土	水稻土	漂鳊泥田	L11613	安徽湖南广东
人为土	水稻土	漂马肝田	L11614	江苏安徽湖北陕西
人为土	水稻土	漂涂泥田	L11615	广东
人为土	水稻土	氯化物涂砂田	L11711	海南
人为土	水稻土	氯化物涂泥田	L11712	河北辽宁广东
人为土	水稻土	硫酸盐泥砂田	L11713	辽宁

人为土	水稻土	咸酸田	L11811	广东
人为土	灌淤土	灌淤砂土	L21111	新疆西藏
人为土	灌淤土	灌淤壤土	L21112	河北甘肃青海新疆
人为土	灌淤土	灌淤粘土	L21113	河北甘肃青海
人为土	灌淤土	潮灌淤壤土	L21211	内蒙古甘肃宁夏青海
人为土	灌淤土	表锈灌淤壤土	L21311	宁夏
人为土	灌淤土	盐化灌淤土	L21400	
人为土	灌漠土	灌漠壤土	L22111	甘肃新疆
人为土	灌漠土	灰灌漠砂土	L22211	新疆
人为土	灌漠土	灰灌漠壤土	L22212	甘肃新疆
人为土	灌漠土	灰灌漠粘土	L22213	新疆
人为土	灌漠土	潮灌漠壤土	L22311	甘肃
人为土	灌漠土	硫酸盐灌漠土	L22411	甘肃新疆
高山土	草毡土	草毡砾砂土	M11111	西藏
高山土	草毡土	草毡砂土	M11112	四川西藏
高山土	草毡土	草毡壤土	M11113	青海新疆西藏
高山土	草毡土	薄草毡砂土	M11211	青海新疆西藏
高山土	草毡土	棕草毡砾砂土	M11311	西藏
高山土	草毡土	棕草毡壤土	M11312	青海西藏
高山土	草毡土	湿草毡砂土	M11411	青海西藏
高山土	草毡土	湿草毡壤土	M11412	西藏
高山土	黑毡土	黑毡砾砂土	M12111	西藏
高山土	黑毡土	黑毡砾泥土	M12112	西藏
高山土	黑毡土	黑毡砂土	M12113	山西西藏
高山土	黑毡土	黑毡壤土	M12114	青海新疆四川西藏
高山土	黑毡土	薄黑毡砂土	M12211	青海西藏
高山土	黑毡土	薄黑毡粘土	M12212	宁夏青海
高山土	黑毡土	棕黑毡砾泥土	M12311	四川西藏
高山土	黑毡土	棕黑毡砂土	M12312	西藏青海
高山土	黑毡土	棕黑毡壤土	M12313	西藏

高山土	黑毡土	湿黑毡砂土	M12411	西藏
高山土	寒钙土	寒钙砂土	M21111	西藏
高山土	寒钙土	寒钙壤土	M21112	西藏
高山土	寒钙土	暗寒钙壤土	M21211	青海西藏
高山土	寒钙土	淡寒钙砾砂土	M21311	西藏
高山土	寒钙土	淡寒钙砂土	M21312	青海
高山土	寒钙土	盐化寒钙土	M21400	
高山土	冷钙土	冷钙砾砂土	M22111	西藏
高山土	冷钙土	冷钙砂土	M22112	西藏
高山土	冷钙土	冷钙壤土	M22113	西藏
高山土	冷钙土	暗冷钙壤土	M22211	新疆
高山土	冷钙土	淡冷钙砾砂土	M22311	西藏
高山土	冷钙土	盐化冷钙土	M22411	西藏
高山土	冷棕钙土	冷棕钙砾砂土	M23111	西藏
高山土	冷棕钙土	冷棕钙砂土	M23112	西藏
高山土	冷棕钙土	冷棕钙壤土	M23113	西藏
高山土	冷棕钙土	冷棕钙粘土	M23114	西藏
高山土	冷棕钙土	淋淀冷棕钙砾砂土	M23211	西藏
高山土	冷棕钙土	淋淀冷棕钙砂土	M23212	西藏
高山土	冷棕钙土	淋淀冷棕钙壤土	M23213	西藏
高山土	寒漠土	寒漠砾砂土	M31011	西藏
高山土	寒漠土	寒漠砂土	M31012	青海
高山土	寒漠土	寒漠粘土	M31013	西藏
高山土	冷漠土	冷漠砾砂土	M32011	西藏
高山土	冷漠土	冷漠砂土	M32012	西藏
高山土	寒冻土	寒冻土	M41000	四川云南西藏

3. 土壤生物调查样点布设

3.1 土壤生物调查样点布设方法

在全国 1:50000 土壤类型（土种）图的基础上，叠加 1:50000 土地利用类型图、1:50000

全国县级行政区划图、1:50000 地形地貌图，参考 1:100 万全国耕地质量等级图、1:100 万生态区类型分布图等，根据上述全国土壤生物调查样点布设原则，按气候区类型、土地利用类型分布比例、耕地质量等级、土种面积比例等确定土壤生物调查样点的分布比例，基于土种的典型分布区，在全国典型土壤剖面调查点分布图的基础上，确定土壤生物调查样点分布。在没有土种分布图的地区，综合利用土地利用、地形地貌等信息确定土壤生物调查样点分布。最终通过专家组评估订正得出全国土壤生物调查样点分布图及采样位置。

3.2 土壤生物调查样点布设数量与区域

3.2.1 根据气候带主导，兼顾自然经济条件原则，土壤生物调查样点分布比例为东部：中部：西部=65%：30%：5%。在我国南北温度梯度带上，通过土壤生物调查样点的空间合理布点实现对不同气候带的全覆盖。

3.2.2 根据农用地主导、兼顾其他用地类型原则，根据各地耕地、园地、林地、草地、其他土地利用方式面积占比确定土壤生物调查样点比例。其中耕地样点，结合全国各地耕地质量等级面积占比，确定不同等级耕地土壤生物调查样点比例，覆盖全国高、中、低三个等级的耕地。

3.2.3 根据覆盖土壤三普所有调查土属、以土种作为基本分区单元原则，依据土属之土种分布面积所占比例，确定同一土属下土壤生物调查的土种类型，每个土属至少一个土种类型；合理调整不同区域和土地利用方式下的不同土种样点的数量，面积较大的土种，可根据土壤空间分布状况、行政单元、土地利用类型、气候、地形和植被条件等布设多个样点，例如不同土属可按土种面积占比和面积大小选择前 10-20%的土种布置两个样点。

4. 土壤生物调查样地设置

4.1 土壤生物调查样地布设应以土壤三普土壤剖面调查点为中心，土壤生物调查与土壤剖面调查“共点”设置，具有与土壤剖面调查点相同的土壤理化性状、立地条件与生产利用情况。

4.2 每个土壤生物调查样地面积应大于 1 公顷。在平原区地形地貌简单、土种分布面积较大的地区，可按 100m×100m 正方形确定；在山区、湿地、梯田等地形地貌复杂、土种面积分布较小的地区，可根据具体土种形状与面积适当调整样地面积与形状，如丘陵山区狭长地带，可以采用 50m×200m 长方形确定样地，保证样地中土种类型的一致性。

5. 土壤生物样品采集原则

土壤生物调查坚持样品采集的景观性原则、随机性原则和等量性原则。为了保证土壤样

品表征典型土种，必须坚持样品采集的景观性原则，在一定区域景观类型下采集到形成的典型土种的土壤生物。为了保证土壤样品的代表性，必需坚持土壤生物样品采集的随机性原则，使组成总体的个体有同样的机会被选入样品，即组成样品的个体应当是随机地取自总体，避免人为因素的影响。为了保证采集的混合土壤生物样品具有可比性，土壤生物样品采集数量必须坚持等量性原则，采集相同数量的个体样品组成混合样品。

6. 土壤生物调查样品采集

每个样点的样地根据样地的地形、土壤条件划分为3个条件相对一致的采样分区(图1)，采用分区随机采样法采集土壤生物样品。

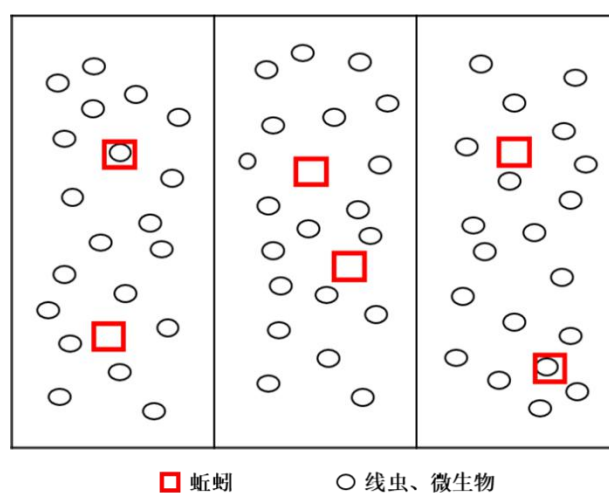


图1 土壤生物调查样地的采样分以及随机采样点和样方布设

6.1 土壤微生物和线虫的土钻法采样：果园和林地去除地面植被和枯枝落叶，具体采样位置设在树冠边缘垂直下方；农田铲除表面表土，垄作农田土壤，采集垄上（种植作物条带上）非根际土。在每个采样区块，利用直径50mm的不锈钢土钻随机采集20个0-20cm土层的土壤样品，按四分法混合成1个土壤微生物样品和1个线虫样品，上述步骤再重复一次，每个采样区块采集2个混合样，每个样点共采集6个混合样，作为6个重复。

6.2 土壤蚯蚓的手拣法采样：在每个采样区块随机选择2个1.0m×1.0m的样方，利用手拣法采集0-30cm土层中的所有蚯蚓。每个采样区块采集2个混合样，每个样点共采集6个混合样，作为6个重复。

6.3 根据微地形调整采样区块形状与深度：土壤生物样品采集过程中如遇到垄作等微地形情形，应选择地表相对一致、生物活动活跃的采样区块，条件不能满足时可适当调整采样区块形状与深度，尽可能满足土壤生物样品采集面积与深度的要求。

6.4 均匀分区和简单随机网格采样点确定

适用于地形起伏小、土壤理化特征均匀的区域。将研究区域均匀划分成为 3 个采样分区。每个分区按既定尺寸划分成网格，将全部网格点编上号码，决定样品数后，随机抽取规定的样品数目的多个号码，其号码对应的网格点即为将进行土壤采样点。随机数可以利用掷骰子、抽签、查随机数表的方法获得，具体方法可见《GB/T 10111-2008 随机数的产生及其在产品质量抽样检验中的应用程序》。

6.5 按变化条件分区和随机采样点确定

适用于地形或土壤理化特征有显著变异的区域。如果根据前期收集的资料发现采样区域内的土壤有明显的几种类型或者所研究的属性有明显变化时，先将区域分成相应的几块，分块内地形条件、群落类型、土壤类型和属性较为一致，不同分块间差异明显。森林系统可根据地形，按坡上、坡中、坡下不同的地形部位进行分块；草地系统可根据丘顶、丘间地、迎风坡、背风坡分块。在每个分块内采用 6.4 方法划分网格和选择采样点。或者采用 S 形随机确定土壤采样点。

7. 土壤生物调查人员组成和调查时间选择

7.1 土壤生物调查在全国 8 个区域分区开展采样（表 3）。根据每个区域调查样点数量，组织 3~5 支采样队伍。每队由 3~5 名具备丰富野外采样工作经验的人员组成，包括土壤微生物调查专业人员 1~2 名、土壤动物调查专业人员 1~3 名，至少 1 人具有高级职称，其中 1 人担任队长。

表 3 全国土壤生物调查分区

区域	省份（含农垦、兵团、计划单列市）
东北	辽宁（含大连）、吉林、黑龙江（含北大荒）、内蒙古
华北	北京、天津、河北、山东（含青岛）、河南
华东	上海、江苏、安徽、浙江（含宁波）
华中	江西、湖北、湖南
华南	福建、广东（含农垦）、广西、海南
西南	重庆、四川、贵州、云南

西北	山西、陕西、甘肃、宁夏和新疆（含兵团）
青藏	西藏、青海

7.2 土壤生物调查原则上在植物生长旺盛期、即土壤生物多样性和功能最高的时期采样。在耕地类型下，选择在作物生长旺盛期或多季作物的夏粮收获期进行（表 4）。

7.3 土壤生物调查应避免导致土壤生物群落显著变化的环境和管理条件。在实施野外采样时，根据区域天气和农业管理条件的变化，避开降雨等天气、以及施肥和灌溉等管理时期。

7.4 土壤生物调查与土壤剖面调查共点进行。土壤剖面调查获得的立地条件与生产利用状况等背景数据，以及土壤剖面表层样品理化分析数据于土壤生物调查数据共同建立土壤数据库，共同开展土壤质量、土壤多样性和土壤生物健康评价。

表 4 土壤生物调查分区采样时间选择

区域	采样时间
东北区	6 月-7 月
华北区、西北区	6 月-8 月
青藏区	7 月-8 月
华中区、华东区、华南区、西南区	6 月-7 月或 9 月-10 月

8. 土壤生物调查样品和数据管理

8.1 土壤生物样品和数据管理组

由具有土壤分类、生物、分析、统计、制图方向的专业技术人员组成，负责本次土壤生物调查样品收集、保存、分发等管理工作，负责土壤生物调查数据的收集、上报和入库工作。

8.2 土壤生物样品中转站

应具备收集、处理、储存土壤微生物和线虫、蚯蚓样品功能的设备和设施，包括 4℃低温冷藏箱、-80℃超低温冰箱、土壤生物 DNA 提取设备、土壤线虫和动物形态学观察与鉴定设备等。

8.3 土壤生物调查样品分析编号原则

土壤生物样品中转站应承担制备土壤生物分析样品，管理土壤生物样品二维码信息等功能。在野外样品编号基础上添加 2 位数字，分别代表不同的分析项目，并对应相应的数字序号（1、2、3、4……）作为分析样品编号。

8.4 土壤生物调查质量控制

成立土壤生物调查质量控制专家组，由第三次土壤普查质量管理人员、土壤生物调查和分析质量管理人员组成，在土壤生物样品采集、土壤生物样品分析、土壤生物数据上报和入库过程进行全流程质量控制，保证所产生的土壤生物调查分析资料具有代表性、准确性、精密性、可比性和完整性。

第3章 土壤微生物和线虫样品采集与保存运输方法

1. 采样前期准备

1.1 制定采样计划

采样前需根据采样目的制定采样报告表格，包含：场地位置、采样确切点、场地历史、采样日期、临近取样前天气状况（气温、降雨）。实地采样前根据所收集的资料进行现场勘察，主要考察采样区域的土壤类型、地形、植物群落等分布情况。

1.2 器具准备

根据采样目的准备相应需要的器具，可能涉及到的器具如下：

工具类：原状取土钻（总长1米，钻头长为20 cm，直径50 mm）。

器材类：全球定位系统（GPS）、数码相机、卷尺、比色卡、铁盒、样品袋、干冰、冰袋、冷藏箱等。

试剂类：纯水、酒精（95%）等。

文具类：样品标签、采样记录表、铅笔、记号笔、资料夹等。

野外防护用品：工作服、工作鞋、安全帽、药品箱等。

注意事项：（1）采样工具和盛放土壤样品的容器必须事先灭菌，或先用采样区内的土壤擦拭；（2）采样下一个样品前采样工具先用95%酒精擦拭干净并晾干。

2. 采样设计

2.1 划分采样分区

以土壤三普剖面点为中心设置具有相同土壤理化性状、立地条件与生产利用情况的1公顷样地，根据地形设置为100m×100m正方形或者50m×200m的长方形。每个样点的样地根据地形、土壤条件划分为3个条件相对一致的采样区域（第2章图1）。

2.2 确定采样点数

土壤微生物和线虫采样使用混合采样，采集扰动型样品。在采集多点组成的混合样品时，采样应沿着一定的路线，按照均匀、随机、等量和多点混合的原则进行。采样点均匀分布可以起到控制整个采样范围的作用；随机定点可以避免主观误差，提高样品的代表性；等量是要求每一点采集土样深度要一致，采样量要一致；多点混合是指把一个采样分区内各点所采集的土样均匀混合构成一个混合样品，以提高样品的代表性，一个混合样品由20个样点组成。每个采样区域采集6个混合样品。

2.3 采样深度

采样深度在各个地形中均设置为0-20 cm。

3. 采样步骤

3.1 位置选择

根据研究目的，选择土壤样本的代表性采集位点。采样点选在被采土壤类型特征明显的地方，地形相对平坦、稳定、植被良好；坡脚、洼地等具有从属景观特征的地点不设采样点；城镇、住宅、围墙、道路、沟渠、田埂、粪坑、堆肥点、坟墓附近等处人为干扰大，可能导致土壤性状变化，使土壤失去代表性，不宜设采样点；采样点离铁路、公路至少 300 m 以上；采样点以剖面发育完整、层次较清楚、无侵入体为准，不在水土流失严重或表土被破坏处设采样点。确定采样位置并进行记录，例如在地图上参照易于辨认的静止物进行标注、使用非常精确的地图或使用 GPS 定位。

3.2 采样现场和土壤信息记录

应系统地记录采样现场的植被、地形、天气和土地利用等情况，以及对土壤进行简单的田间描述。

3.3 采样方法

3.3.1 好气状态下土壤样品的采集

(1) 先去除土壤上面的任何覆盖物，包括植物、苔藓、可见根系、凋落物，以及可见的土壤动物等。

(2) 对于多点混合样，每个采样点的取土深度及重量应均匀一致，土样上层和下层的比例也要相同。采样铲或筒形取样器应垂直于地面，入土至规定的深度；斜插或入土角度不同，有可能使各样点的取土深度不够一致。

(3) 用于土壤微生物性质分析和土壤线虫分离鉴定的每个混合样品以 1000 g 左右为宜。

(4) 采集的样品量过多时，可用四分法将多余的土壤弃去。四分法是将采集的土样放在盘子里或塑料布上，掰碎、混匀，铺成四方形，划对角线将土样分成四等份；把对角的两份分别合并成一份，保留一份，弃去一份。如果所得的土样仍然很多，可多次重复使用四分法缩分，直至所需重量。

(5) 样品采集后立即装 4℃ 冷藏箱或者冰袋中保存，尽快以低温鲜样运输方式邮寄回实验室分析。

3.3.2 淹水或潮湿的稻田和湿地土壤样品采集

(1) 若土壤已被排干或自然水位在地表以下，则上部土层的样品按与好气状态下土壤样品相同的方式采取；在水位下面的土样用泥炭钻或掘洞器采取。

(2) 把淹水状态下采取的各层土样排在塑料布上，经验对后立即装入塑料袋，以手揉搓样袋驱出空气，扎紧袋口，结上标签；再套上另一个塑料袋，扎紧袋口，结上另一份相同

的标签。

(3) 采集水稻土或湿地等烂泥土样时，四分法难以应用，可改为在塑料盆（桶）中用塑料棒将样品搅匀，取出所需数量的土样。

3.4 样品标记

盛放样品的容器要进行清楚地标记，而且标记信息应该是唯一的，使每份样品都和取样点对应。好气土壤在样品袋或容器内外各放置一张标签，用铅笔注明采样地点、日期、采样深度、土壤名称、编号及采样人等。淹水土壤使用不透水的双层样品袋或容器盛放，外层容器的内外各放置一张标签。避免使用从土壤中吸收水分或向土壤中释放溶剂或增塑剂之类物品作为标签。标记样品的同时在采样报告上做好采样记录。采样结束后，由专人逐项检查采样记录、样袋标签和土壤样品，如有缺项和错误，及时补齐更正。

3.5 样品保存与运输

在样地里采集土壤线虫和微生物样品后，装在无菌自封袋中立即转移至样品中转站保存。具体操作如下：选取保温性能好的塑料收纳箱，用保温铝箔将收纳箱内测包裹紧实，按照采样点将土壤线虫和微生物样品分开存放于两个收纳箱中。为保证采集线虫和微生物的生物活性，土壤样品与干冰冰袋分层放置进行低温储存，使土壤样品处于低温状态且受冷均匀，降低温度对线虫和微生物样品的影响。土壤线虫根据运输时间长短，保持土壤 40-60% 的水分。选用顺丰等特快专递寄送样品，样品运输途中避免雨淋和暴晒。在邮寄样品时还需再一次核对样品类别和数量。

3.6 样品中转站

样品中转站集成了标准化收集、处理、储存和分配土壤微生物和线虫样本等功能。中转站线虫和微生物样品库分别配有专人负责。(1) 加工处理组：负责接收入库生物样品，核对样品类别和数量，并根据样品种类与研究需求进行分装和处理等；(2) 冻存管理组：负责样品的出入库管理、追踪核实样本库存情况与质量检测控制等工作。

中转站配备低温保存土壤微生物和线虫样品的冰箱（4℃冰箱和-80℃超低温冰箱）。土壤微生物和线虫样品短期保存于 4℃ 冰箱，样品采集的一周内需完成线虫分离和制片，以及微生物和线虫基因组 DNA 提取。提取的微生物和线虫基因组 DNA 加入甘油保存在冻存管中，储存于-80℃超低温冰箱，避免反复冻融，提高样本中 DNA 的稳定性。冻存管上标记二维码信息，方便信息提取和快速查询。

第 4 章 土壤蚯蚓野外采集与保存、运输方法

1. 工具与器材

采样记录表, 全球定位系统 (GPS)、数码相机、地形图、地图、绘图笔、铁锹, 卷尺、手套, 塑料布、100%酒精, 蚯蚓保存盒 (透气), 冰袋, 蛇皮袋, 个人野外防护用品、小台称、文具等。

2. 样地分区

以土壤三普剖面点为中心设置具有相同土壤理化性状、立地条件与生产利用情况的 1 公顷样地, 根据地形设置为 100m×100m 正方形或者 50m×200m 的长方形。每个样点的样地根据样地的地形、土壤条件划分为 3 个条件相对一致的采样区域。在每个区域随机选择 2 个 1m×1m、深度为 30cm 的样方 (第 2 章图 1)。

3. 采样点选取

根据研究目的, 选择土壤蚯蚓样本的代表性采集位点。采样点选在被采土壤类型特征明显的地方, 地形相对平坦、稳定良好且土壤湿润的地点; 坡脚、洼地等具有从属景观特征的地点不设采样点; 沟渠、田埂、粪坑、堆肥点、坟墓附近等处人为干扰大, 可能造成土壤生物特性错乱, 使样本失去代表性, 不宜设采样点; 采样点离铁路、公路至少 300m 以上; 不在水土流失严重或表土被破坏处设采样点; 不在多种土类、多种母质母岩交错分布、面积较小的边缘地区布设采样点。确定采样位置并进行记录。

4. 采样步骤

4.1 采样信息记录

确定好采样点样品编码, 准备好样品标签, 样品标签注明采样地点、日期、采样深度、土壤名称、编号及采样人等。并在采样记录系统中记录采样现场的植被、地形、天气和土地利用等情况, 以及对土壤进行简单的田间描述。

4.2 采样方法

根据采样点设置原则, 在样地作物进行收获时, 在每个分区中土壤还没被翻动的区域内随机设置两个蚯蚓采样样方, 样方面积为 100cm×100cm、深度为 30cm, 利用手工分拣法采集蚯蚓样本。用铁锹挖出样方内的所有土壤, 将土壤置于平铺的塑料布上, 手工就地分拣采集蚯蚓并计数, 在计数时以蚯蚓头部数量为准。每个样方内采集到的所有蚯蚓作为一个蚯蚓样本, 一个样地三个区域共采集六个土壤蚯蚓样本。

5. 蚯蚓样品保存与运输

将不同蚯蚓样本分别保存于有适量原位土壤的顶部透气蚯蚓盒中,或者置于瓶装防腐液中保存,在底部和侧边贴上样本标签,并详细记录样本信息。采样结束后,由专人逐项检查采样记录、核对蚯蚓样本类别和数量,保证样本无遗漏错误。

将蚯蚓样品与干冰冰袋分层放置进行低温储存,使土壤样品处于低温状态且受冷均匀,降低温度对蚯蚓样品的影响。根据运输时间长短,保温盒底部铺满湿润滤纸(适时适量添水),保持土壤 40%~60%的水分。选用顺丰等特快专递寄送样品,运送途中避免雨淋、暴晒和剧烈震动。在邮寄样品时还需再一次核对样品类别和数量。

6. 样品中转站

蚯蚓样品中转站集成了标准化收集、处理、储存和分配蚯蚓样本等功能。中转站蚯蚓样品库分别配有专人负责。(1) 加工处理组:负责接收入库生物样品,核对样品类别和数量,并根据样品种类与研究需求进行分装和处理等;(2) 冻存管理组:负责样品的出入库管理、追踪核实样本库存情况与质量检测控制等工作。

中转站配备恒温温室或大型人工气候箱、低温冰箱(4℃冰箱和-80℃超低温冰箱)。蚯蚓活体和透气蚯蚓盒一起入库,短期保存于 20℃恒温和 60%空气恒湿环境下。样品采集后的一周内完成蚯蚓样本个体的称重、标本制作,以及蚯蚓线粒体组 DNA 的提取,两周内完成蚯蚓样本形态学鉴定。蚯蚓标本可保存在常温或 4℃冰箱中,蚯蚓线粒体 DNA 用甘油冻存在-80℃超低温冰箱中,避免反复冻融,提高样本中 DNA 的稳定性。以上处理具体操作步骤见本手册第 13 章。蚯蚓标本管和 DNA 冻存管上标记二维码信息,方便信息提取和快速查询。

第 5 章 土壤微生物生物量的测定—熏蒸提取法

1. 意义范围和质控

熏蒸法测定的土壤微生物生物量指土壤中活体微生物细胞的含量,这一指标可以测定细胞中的碳、氮、磷含量,计算微生物细胞内元素的化学计量比,并估算其对土壤或添加外源有机物料的矿化能力。熏蒸提取法(FE)适用土壤 pH 值范围广泛的好氧和厌氧(淹水,稻田)土壤。本标准也适用于包含易分解有机底物和硫酸钾溶液过饱和土壤生物量的测定。氯仿熏蒸也影响土壤动物,但其对土壤有机碳贡献一般小于 5%,通常可以被忽略不计。调动土壤普查管理平台系统,对数据进行审查备案。随机抽取同一批样品的 1-5%进行检查。采用技术规程规定的方法,对指标进行复核。

2. 规范性引用文件

ISO 10381-6: 1993 土壤质量-采样-第 6 分: 实验室中测定好氧微生物过程的土壤的采集、处理及贮存指南 (ISO 10381-6: 1993, Soil quality-Sample-Part 6: Guidance on the collection, handling and storage of soil for the assessment of aerobic microbial processes in the laboratory)。

ISO 10694: 1995 土壤质量-土壤有机质和总碳的测定—干烧法(元素分析)(ISO 10694: 1995, Soil quality-Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis))。

ISO 11465: 1993 土壤质量-土壤的干重和水含量的测定—重量法 (ISO 11465: 1993, Soil quality -Determination of dry matter and water content on a mass basis-Gravimetric method)。

3. 术语和定义

土壤微生物生物量 soil microbial biomass: 土壤中活体微生物细胞的质量。这一指标可通过测定这些细胞中碳或氮的含量,或者测定对添加碳源矿化能力来估算。如采用碳或氮含量分析,则可能包括死细胞或者细胞碎片;如测定土壤呼吸,则仅能测到活体细胞。

4. 原理

新鲜土壤经氯仿熏蒸后,活体微生物细胞被裂解,释放出微生物有机质。熏蒸对非活体的土壤有机质无显著影响。土样经氯仿熏蒸 24h,土壤有机碳能够被 0.5mol/L K_2SO_4 溶液定量提取并被地测定出来,根据熏蒸土样与不熏蒸土样测定的有机碳的差值,可以估计土壤微生物生物量碳。本方法通常被定义为熏蒸提取法。

5. 试剂和材料

5.1 土壤

土样应遵守土壤采集、处理及贮存指南（ISO 10381-6）。土样过筛（孔径 < 2mm）并混匀，在室内适当风干至土样含水量约为田间持水量的 40%。

土壤田间持水量测定见附录 A。

土壤样本的含水量宜高于 30% 田间持水量，为确保氯仿均匀分布和有效熏蒸。本方法特别要注意潮湿土壤的板结。淹水的土壤样品在分析之前不必进行干燥处理。

5.2 试剂

应使用公认的分析纯试剂，包括：

5.2.1 硅脂（中等粘度）。

5.2.2 去乙醇氯仿。在光照下，去乙醇氯仿迅速降解，形成碳酰氯（COCl₂）气体，具有无色无味和高毒性。

5.2.3 硫酸钾溶液， $c(\text{K}_2\text{SO}_4)=0.5 \text{ mol/L}$ （ $\rho=87.135 \text{ g/l}$ ）。

5.2.4 碱石灰。

6. 仪器

6.1 室温，（25±2）℃ 培养（恒温培养箱）。

6.2 防爆干燥机。

6.3 滤纸。

6.4 玻璃烧杯。

6.5 有盖培养皿。

6.6 塑料瓶（250 mL）。

6.7 抽真空装置（水泵或电泵）。

6.8 水平或架空摇床。

6.9 冰箱 15℃ 到 -20℃。

6.10 防爆沸颗粒。

7. 熏蒸和提取

7.1 熏蒸

将干燥器底部平铺湿润滤纸后再进行土样的熏蒸。

称取经前处理（5.1）相当于 25~50.0g 烘干基的新鲜土样 3 份，置于玻璃烧杯（6.4）或有盖培养皿（6.5）中。将烧杯或培养皿放入真空干燥器中，并放置盛有 25 mL 去乙醇氯

仿(5.2.2)的烧杯1只,烧杯内放入少量防爆沸的颗粒(6.10),同时放入一小烧杯碱石灰溶液。抽真空使氯仿剧烈沸腾约2 min。关闭干燥器抽真空阀门,将其在(25±2)℃暗室培养22~24h。

如果没有足够的土壤,使用较小的样品规模提供土壤与提取剂的比例保持不变(土水比为1:4; w:v)。为获得最大的提取物质,土壤有机质含量超过20%时(有机质含量的测定见ISO10694)增加土壤与提取液的比例(当土壤有机质含量超过95%时,最大比例是1:30,例如土壤L-layer)。记录使用土壤的质量。

熏蒸结束后,从干燥器中取出含氯仿的烧杯和滤纸。干燥器反复抽真空(6次,每次2min)直到土壤无氯仿味为止。熏蒸好的土壤以备提取用。

另称取不熏蒸土样(50.0g烘干基的新鲜)3份,置于塑料瓶作为对照土样。见2方法,立即用200 mL的K₂SO₄(5.2.3)进行提取。

7.2 提取

为提取有机碳,将熏蒸土样无损地转移到聚乙烯塑料瓶(6.6)中,加入200mLK₂SO₄(5.2.3),用水平振荡器(6.8)振荡30min(200r min⁻¹),或用立式振荡器振荡45min(60r min⁻¹),提取液用滤纸(6.3)过滤到塑料瓶中。未熏蒸的对照土壤用同样的方法提取和过滤。

若未即时分析,将熏蒸和未熏蒸的土样在-15℃到-20℃的冰箱中保存。取样分析前在室温下解冻并充分摇匀。

土壤提取液特别是低温下保存的土壤提取液,解冻后会出现一些白色沉淀(CaSO₄结晶),对有机碳测定没有影响,不必除去,但取样前应充分摇匀。

幼嫩活根的细胞膜也会影响氯仿熏蒸的效果。若土壤中含有大量活根,参照附录B进行提取预处理。

8. 提取物中碳的测定

土样中微生物有机碳含量可被分析测定,也可以进行土壤样本之间的比较。微生物生物量的确定需要乘以转换系数,此系数是通过添加已知碳含量的微生物细胞后进行熏蒸提取分析,然后换算而得。所有的转换系数都与这个初始数值相关。碳含量的测定使用重铬酸钾氧化容量法(8.1)或仪器分析法(8.2)。

8.1 微生物生物量碳—重铬酸钾法

8.1.1 原理

强酸条件下,有机质被氧化同时Cr⁵⁺被还原为Cr³⁺,剩余的重铬酸钾用来滴定,从所消耗的重铬酸钾量,计算碳的含量。

8.1.2 附加试剂

8.1.2.1 重铬酸钾, $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)=0.0667 \text{ mol/L}$ (1L 水中溶解 19.6125 g 烘干的重铬酸钾)。

重铬酸钾是一种有毒物质, 使用和最终处置时应当十分谨慎。

8.1.2.2 磷酸 (H_3PO_4), $\rho=1.71 \text{ g/L}$ 。

8.1.2.3 硫酸 (H_2SO_4), $\rho=1.84 \text{ g/L}$ 。

8.1.2.4 硫酸亚铁铵滴定液, $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]=0.040 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。15.69g 硫酸亚铁铵溶于去离子水, 缓缓加入 20mL 浓硫酸 (8.1.2.3), 用去离子水定容至 1000 mL。

8.1.2.5 1,10-邻菲罗啉硫酸混合液, 0.025 mol/L。

8.1.2.6 酸混合液: 2倍体积的浓硫酸 (8.1.2.3) 与1倍体积的磷酸混合 (8.1.2.2)。

8.1.3 附加仪器

8.1.3.1 李比希式冷凝器 (冷凝水)。

8.1.3.2 250 mL 圆底烧瓶。

8.1.3.3 酸式滴定管, 10mL, 以 0.05mL 刻度标记。

8.1.3.4 吸管, 2mL。

8.1.4 程序

吸收 8mL 的过虑提取液 (7.1) (P_S) 于圆底烧瓶(8.1.3.2)中, 用吸管 (8.1.3.4) 加入 2mL 的重铬酸钾 (8.1.2.1) (P_D)和 15mL 的酸混合液 (8.1.2.6)。通过冷凝器 (8.1.3.1) 轻轻地回流混合液 30 分钟, 用 20 到 25 mL 水冲洗来使其冷却和稀释。

用同样的方法消化含 8mL 的硫酸钾溶液 (5.2.3) 的重复空白样。消化的空白样也被称之为“回流空白”。

加入几滴邻啡罗啉硫酸混合液 (8.1.2.5) 作为指示剂, 用硫酸亚铁铵溶液 (8.1.2.4) 回滴 (8.1.3.3) 过剩的重铬酸钾来测定。

8.1.5 结果计算

有机碳含量的计算按照公式 (1) 和 (2)

$$C(\mu\text{g/ml}) = [(V_H - V_S)/V_C] \times MP_D \times E \times 1000/P_S \quad (1)$$

式中:

V_S ——样品消耗的滴定体积, 单位 mL;

V_H ——回流空白消耗的滴定体积, 单位 mL;

V_C ——未回流空白消耗的滴定体积, 单位 mL;

M ——重铬酸钾的浓度, 单位 mol/L;

P_D ——添加的重铬酸钾溶液的体积，单位 mL；

P_S ——添加的样本的体积，单位 mL；

E ——有机碳转换为 CO_2 的转换系数，取值 3；

$$C(\mu\text{g/g dry soil})=C(\mu\text{g/ml})\times(P_K/D_W+S_W) \quad (2)$$

式中：

P_K ——提取物的质量，单位 g；

D_W ——样本烘干重（按照 ISO11465 的标准测定），单位 g；

S_W ——土壤水（水重（g）/烘干土重（g））（按照 ISO11465 的标准测定）；

微生物生物量碳 B_C 的计算按照公式（3）：

$$B_C=E_C/k_{EC} \quad (3)$$

式中：

E_C =熏蒸土样提取有机碳的质量-不熏蒸土样提取有机质的质量；

$k_{EC}=0.38$ 。

系数 k_{EC} 是由熏蒸培养法和熏蒸提取法分别测定 12 个土壤的关系计算而得。

8.2 微生物生物量碳—碳光谱分析法

8.2.1 原理

提取的土壤有机碳在过硫酸钾 ($K_2S_2O_8$) 溶液中能够氧化为二氧化碳，二氧化碳可以通过红外(IR)或紫外(UV)光谱分析测定。

8.2.2 附加试剂

8.2.2.1 过硫酸钾溶液 ($K_2S_2O_8$)。

8.2.2.2 磷酸 (H_3PO_4)（见 8.1.2.2）。

8.2.2.3 聚合偏磷酸钠 $[(NaPO_3)_n]$ ，超级纯。

8.2.2.4 过硫酸钾试剂。20.0g 的过硫酸钾（8.2.2.1）溶于 900mL 的去离子水，用磷酸（8.2.2.2）调节至 pH2.0，最后用去离子水定容至 1L。

8.2.2.5 聚合偏磷酸钠试剂。50.0g 聚合偏磷酸钠(8.2.2.3)溶于 900mL 去离子水，用磷酸（8.2.2.2）调节至 pH2.0，最后用去离子水定容至 1L。

8.2.3 附加仪器

碳—自动分析仪（红外检测法）或连续流动分析仪（比色法检测）。目的是基于紫外活化过硫酸氧化有机碳测定微生物生物量碳。

8.2.4 程序

对于自动化的紫外过硫酸氧化方法，需取 5mL 硫酸钾土壤提取液（7.1）与 5mL 聚合偏磷酸钠溶液（8.2.2.5）混合。这个过程可以将土壤提取液中 CaSO_4 沉淀溶解。过硫酸钾试剂（8.2.2.4）被自动送入紫外氧化室，在这里由紫外光激活使有机碳氧化为 CO_2 ，通过红外线吸收光谱或紫外光谱测定 CO_2 的含量。

8.2.5 结果计算

计算提取土壤有机碳含量使用公式（4）

$$C(\mu\text{g/g dry soil}) = [(V \times D_V) - (B \times D_B)] \times (P_K / D_W + S_W) \quad (4)$$

式中：

V——样本 C 浓度，单位 $\mu\text{g} / \text{mL}$ ；

D_V ——磷酸钠稀释样本的体积，单位 mL；

B ——空白 C 浓度，单位 $\mu\text{g} / \text{mL}$ ；

D_B ——磷酸钠稀释空白的体积，单位 mL；

P_K ——见公式 2；

D_W ——见公式 2；

S_W ——见公式 2。

计算生物量 B_C 使用公式（5）

$$B_C = E_C / k_{EC} \quad (5)$$

式中：

E_C = 熏蒸土样提取的有机碳的质量 - 不熏蒸土样提取的有机质的质量；

$k_{EC} = 0.45$

注 1：转换系数 k_{EC} 值，是根据熏蒸培养与熏蒸提取法测定 23 种土壤微生物生物量碳的统计学回归关系间接获得的。

注 2：它使熏蒸提取法结合使用的 ^{14}C 标记进行有机质的分解的研究成为可能。

9. 精度

附录中总结了实验室检测该方法的精度的详细信息。该实验室试验所得的值仅适应于附录 C 提供的土壤所示的浓度范围。

附录 A 土壤田间持水量的测定

A.1 范围

本方法是适合获得土壤田间持水量的值，但这个值在应用中不是关键的。

A.2 原理

底部带孔圆筒充满泥土，加盖浸泡在水中，沥干。通过称重测定土壤持水量，105℃烘干至恒重再称重。

A.3 仪器

A.3.1 圆筒，体积一定，长大约 50-150mm，直径 50-100mm，底部带孔。

A.3.2 水浴（室温）。

A.3.3 托盘，带有一个排水孔，装有厚度 20-50mm 湿的精石英砂。

A.3.4 烘箱，能够保持 105℃±2℃ 的温度。

A.3.5 天平，称重的精度为±0.01g。

A.4 程序

用滤纸覆盖底部带孔的圆筒（A.3.1），并称重。将土壤填到圆筒中，并加盖。室温下，在水浴中浸泡圆筒 2h 后，从水中取出圆筒放置在含砂子的托盘（A.3.3）中，根据土壤类型的差异沥干 2h-24h。称带土的圆筒重，取出土，并将其在 105℃ 烘干至恒重，称烘干土重。

A.5 计算

田间持水量（WHC）的计算，用%表达，如下：

$$WHC = \frac{S - T - D}{D} \times 100$$

式中：

S——水饱和土壤+圆筒+滤纸的重，单位 g；

T——毛重，即圆筒+滤纸的重量，单位 g；

D——土壤烘干重，单位 g。

A.6 结果的表达

土壤田间持水量（WHC）以占土壤烘干重的百分比表达。

附录 B 含有大量活性根的土壤微生物生物量的估算—预提取过程

B.1 附加试剂

B.1.1 硫酸钾溶液， $c(K_2SO_4)=0.05 \text{ mol/l}$ (8.714 g/l 超级纯的硫酸钾)。

B.1.2 附加仪器。

B.1.3 离心机。

B.2 程序

取湿土（相当于 25-50g 干土）到 250mL 玻璃瓶中，用 100mL 硫酸钾溶液的以 200 r/min 振荡预提取 20 min 后过筛（耕作土过 2mm 的孔，草地土过 3mm 的孔）。另外添加 75mL 的硫酸钾溶液(B.1.1)仔细筛洗根和小石头，当土壤中完全无根和石头时烘干和称重。离心(B.2.1)土壤悬浮液，15min，转速大约 500g。倒掉上清液，在土壤中加入 3 滴氯仿（5.2.2），按照 7.1 的程序进行熏蒸。

B.3 评价

采用上述方法处理含有活性根的土壤对于土壤微生物生物量碳的测定非常关键。另外，此处理可降低土壤中无机氮的背景值，对于土壤微生物生物量氮的测定更容易。它也降低了测量干燥土壤中微生物生物量的问题，因此非常适合测量年内土壤微生物生物量碳和氮的波动。微生物生物量在此预提取过程中不会被提取出来。

附录 C 实验室的试验结果

本方法在德国的 11 个试验室进行了重复测试。选用黄土和黑土 2 种耕作土壤进行试验。表 4 所示的结果是未熏蒸和熏蒸土壤的有机碳含量及 E_c 。 E_c 指熏蒸土壤与未熏蒸土壤提取的有机碳含量的差值。土壤微生物生物量的计算是 E_c 除以转换系数 k_{EC} 。

表 4 德国实验室重复测试土壤微生物生物量的结果—熏蒸提取法

参数	平均值 ($\mu\text{g/g}$)	CV ¹⁾ (%)	SE ²⁾
黄土			
未熏蒸样品提取的碳	71	21	6.7
熏蒸样品提取的碳	207	15	7.4
$E_c^{3)}$	136	23	9.2
黑土			
未熏蒸样品提取的碳	85	18	5.4
熏蒸样品提取的碳	265	11	7.1
$E_c^{3)}$	180	15	8.6
1) CV=变异系数			
2) SE=4 个重复平均值的标准误			
3) 熏蒸土壤与未熏蒸土壤有机碳含量的差值			

参考文献

- [1] GB/T 39228-2020 39228-2020 土壤微生物生物量的测定熏蒸提取法
 [2] ISO 10390: 1994, Soil quality-Determination of pH.

[3] ISO 11274:–¹), Soil quality-Determination of water-retention characteristics –Laboratory methods.

[4] Brookes P.C., *et al.* Chloroform fumigation on the release and extractability of soil nitrogen: A rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, **17**, 1985, pp.837-842.

[5] Harden T., *et al.* Soil microbial biomass estimated by fumigation-extraction and substrate-induced respiration in two pesticide-treated soils. *Soil Biol. Biochem.*, **25**, 1993, pp.679-683.

[6] Harden T., *et al.* Mineralization of straw and formation of soil microbial biomass in a soil treated with simazine and dinoterb. *Soil Biol. Biochem.*, **25**, 1993, pp.1273-1276.

[7] Inubushi, K., Brookes, P.C. and Jenkinson, D.S. Soil microbial biomass C, N and ninhydrin-N in aerobic and anaerobic soils measured by the fumigation-extraction method. *Soil Biol. Biochem.*, **23**, 1991, pp.737-741.

[8] Mueller T., Joergensen R. G. and Meyer B. Estimation of soil microbial biomass C in the presence of living roots by fumigation-extraction. *Soil Biol. Biochem.*, **24**, 1992, pp.179-181.

[9] Ocio J.A. and Brookes, P.C. An evaluation of methods for measuring the microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass that develops. *Soil Biol. Biochem.*, **22**, 1990, pp.685-694.

[10] Sparling G.P., *et al.* Estimation of soil microbial c by a fumigation-extraction method: use on soils of high organic matter content, and a reassessment of the kec-factor. *Soil Biol. Biochem.*, **22**, 1990, pp.301-307.

[11] Wu J., *et al.* Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction - an automated procedure. *Soil Biol. Biochem.*, **22**, 1990, pp.1167-1169.

[12] Vance E.D., Brookes P.C. and Jenkinson D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, **19**, 1987, pp.703-707.

[13] Wu J., Brookes P.C. and Jenkinson D.S. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil. *Soil Biol. Biochem.*, **25**, 1993, pp.1435-1441.

第6章 土壤细菌、真菌、古菌和重要碳氮磷功能基因实时 荧光定量 PCR 方法

1. 意义、范围与质控

为调查全国不同土种中微生物不同种群DNA水平生物量，比较养分转化微生物丰度水平，需要对土壤细菌、真菌、古菌和碳氮磷功能基因实时荧光定量检测。此方法适用于土壤鲜样或存放于-70°C土壤样本。质控过程采取定量Actin报告基因作为标准内参及阴性对照进行质控，保证上机测试结果准确性。

2. 实验材料与仪器

2.1 实验材料

(1) PEASY-T1 载体、Trans1-T1 感受态细胞、DNA 提取试剂盒、PCR 纯化试剂盒、质粒提取试剂盒；

(2) LB 液体及平板培养基：10 g/L 胰蛋白胨、10 g/L NaCl、5 g/L 酵母提取物、10 g/L 琼脂；氨苄青霉素（制备母液 100 mg/mL），添加 100 μL 到 100 mL LB 培养基中；

(3) 96 孔板及膜、移液枪、枪头、2.5 mL 离心管、ddH₂O、2×Taq Master Mix、2×T5 Fast qPCR Mix (SYBR Green I)。

2.2 实验仪器

实时荧光定量 PCR 仪、高速冷冻离心机、微量紫外分光光度计、旋涡仪、水浴锅、电泳仪、恒温培养箱。

3. 方法原理

实时荧光定量 PCR (real-time quantitative PCR) 是一种在 DNA 扩增反应中，以荧光化学物质测每次聚合酶链式反应 (PCR) 循环后产物总量的方法。在荧光定量 PCR 过程中最常用的方法是 DNA 结合染料 SYBR Green I 的非特异性方法和 Taqman 水解探针的特异性方法。前者 (SYBR Green I) 是一种结合于所有 dsDNA 双螺旋小沟区域的具有绿色激发波长的染料，在游离状态下会发出微弱的荧光，但一旦与双链 DNA 结合后，荧光将大大增强。后者 (Taqman) 是利用 Taq 切核酸酶活性，切断探针，产生荧光信号。由于探针与模板是特异性结合，所以荧光信号的强弱就代表了模板的数量。

绝对定量 RT-qPCR 利用荧光信号的变化实时检测 PCR 扩增反应中每一个循环扩增产物量的变化，通过 CT 值和标准曲线实现对起始模板的定量分析。CT 值 (threshold cycle)：指的是实时定量扩增过程的荧光信号达到指数扩增时的循环次数。CT 值与起始模板的关系研

研究表明，每个模板的 CT 值与该模板的起始拷贝数的对数存在线性关系，起始拷贝数越多，CT 值越小 (Heid et al, 1996)。

4. 土壤 DNA 提取

- (1) 加入 0.25 g 土壤样品到一个 Power Bead Tubes 中，轻轻涡旋混匀。
- (2) 检测 Solution C1。若出现沉淀，60°C 水浴至全溶解。
- (3) 加入 60 μ L Solution C1，上下颠倒数次混匀。
- (4) 把 Power Bead Tubes 固定在涡旋仪适配器上，最大转速 (3200 rpm，若涡旋仪达不到此速度，可适当延长 5~10 min) 涡旋连续振荡 10 min。
- (5) 室温 10000 g 离心 30 s，转移上清至一个干净的 2 mL Collection Tube (试剂盒提供) 中。
- (6) 加入 250 μ L Solution C2 到上清中，涡旋混匀 5 s，4°C 孵育 5min。
- (7) 室温 10000 g 离心 1 min，避开沉淀小珠，转移上清 \leq 600 μ L 到一个新的收集管 (2 mL Collection Tube) 中。
- (8) 加入 200 μ L Solution C3 到上清中，涡旋混匀。4°C 孵育 5min。
- (9) 室温 10000 g 离心 1 min，避开沉淀小珠，转移上清 \leq 600 μ L 到一个新的收集管 (2 mL Collection Tube) 中。
- (10) Solution C4 使用前先摇匀。加入 1200 μ L solution C4 到上清中，涡旋混匀 5s。
- (11) 加载约 675 μ L 上清到 spin filter 中，室温 10000g 离心 1 min。弃去滤液，继续加载 675 μ L 上清，室温 10000g 离心 1 min。重复直至过滤完所有上清。(每个样品共需要加载 3 次。)
- (12) 加 500 μ L solution C5 到 spin filter 中，室温 10000 g 离心 30s，弃上清。
- (13) 室温 10000 g 离心 1min，小心转移 spin filter 到 2 mL collection tube 中，尽量避免 solution C5 污染。
- (14) 加入 100 μ L solution C6 到白色滤膜中心。室温 10000 g 离心 30 s。弃去 spin filter，此时收集管中的 DNA 可以直接用于下游实验，无需进一步纯化。
- (15) 将提取好的 DNA 使用微量紫外分光光度计 (Nano Drop ND-1000，美国) 测定 DNA 浓度和纯度，对符合质量标准的 DNA ($260/230 > 1.8$, $260/280 > 1.8$) 冷冻保存 (-20°C ~ -80°C)。

5. 细菌、真菌、古菌和功能基因的质粒构建

5.1. 细菌、真菌、古菌和碳氮磷功能基因的基因片段 PCR 扩增

细菌、真菌、古菌和碳氮磷功能基因的 PCR 反应体系一致，所不同的只是使用的引物序列以及对应的 PCR 循环过程。

细菌、真菌、古菌和碳氮磷等功能基因常用的引物序列及 PCR 反应条件具体如下表：

	引物名称	引物序列 (5'-3')	扩增程序	参考文献
细菌	515F	GTGCCAGCMGCCGCGG	95 °C for 2 min, 35 cycles of 20 s at 94 °C, 40 s at 55 °C and 1 min at 72 °C, and a final 10-min extension at 72 °C	Tamaki et al., 2011
	907R	CCGTCAATTCMTTTRAGTTT		
真菌	ITS1-1737F	GGAAGTAAAAGTCGTAACAA	95 °C for 3 min, 35 cycles of 30 s at 95 °C, 30 s at 59.3 °C, and 45 s at 72 °C and a final 10-min extension at 72 °C	Degnan et al., 2012
	ITS2-2043R	GG GCTGCGTTCATCGATGC		
古菌	519 F	CAGCCGCCGCGGTAA	96 °C for 4 min, 35 cycles of 30 s at 94 °C, 40 s at 57 °C, and 45 s at 72 °C and a final 10-min extension at 72 °C	Coolen et al., 2004
	915 R	GTGCTCCCCCGCCAATTCCT		
碳固定 (CbbL)	K2f	ACCA[C/T]CAAGCC[G/C]AAGC	95 °C for 5 min, 35 cycles of 45 s at 95 °C, 45 s at 62 °C and 90 s at 72 °C, and a final 20-min extension at 72 °C.	Tolli et al., 2005
	V2f	T[C/G]GG GCCTTC[G/C]AGCTTGCC[G/C] ACC[G/A]		
固氮菌 (<i>nifH</i> 基因)	PolF	TGCGAYCCSAARGCBGACTC	94 °C for 15 min, 32 cycles of 60 s at 94 °C, 60 s at 55 °C and 60 s at 72 °C, and a final 10-min extension at 72 °C.	Poly et al., 2001
	AQER	GACGATGTAGATYTCCTG		
丛植菌根菌	AMV4	AAGCTCGTAGTTGAATTTTCG	94 °C for 15 min, 32 cycles of 60 s at 94 °C, 60 s at 55 °C and 60 s at 72 °C, and a final 10-min extension at 72 °C.	Lumini et al., 2010
	5NF-F			
	AMDGR-R	CCCAACTATCCCTATTAATCAT		

注：*cbbL* 基因编码核酮糖-1, 5-二磷酸羧化酶/加氧酶 (RubisCO) 是卡尔文循环中的关键酶，该酶催化卡尔文循环中的第一步 CO₂ 固定。*nifH* 基因编码二氮酶还原酶是氮固定过程中重要的酶。7

具体过程以细菌为例：

(1) PCR 反应体系：25 μL 的 2×Taq Master Mix、2 μL 的 515F 引物序列、2 μL 的 907R 引物序列、2 μL DNA 和 19 μL 的 ddH₂O，体系共计 50 μL。

(2) PCR 扩增：将上述反应体系按照 95 °C for 2 min, 35 cycles of 20 s at 94 °C, 40 s at

55 °C and 1 min at 72 °C, and a final 10-min extension at 72 °C 的反应程序进行 PCR 扩增。

(3) PCR 产物电泳检测和纯化。取 2 μL 上述 PCR 产物进行核酸电泳检测。若核酸电泳检测合格(目的条带是否在预期位置,如果是则合格)则进行纯化,若不合格则重复以上 PCR 扩增步骤直至电泳检测合格后进行 PCR 纯化。纯化过程为“吸附-洗杂-洗脱”的过程。具体地,将电泳合格的 PCR 产物置于 DNA 纯化柱中,产物中 DNA 片段会吸附于 DNA 纯化柱上,利用 wash buffer 通过一系列快速漂洗-离心的步骤,将引物、核苷酸、蛋白、酶等杂质去除(洗杂需重复多次以尽可能的洗去杂质,提高产物纯度),最后用洗脱液将 DNA 片段洗脱。更详细的纯化步骤可以根据购买的 PCR 纯化试剂盒上的标准步骤进行。

5.2. 细菌、真菌和古菌的 PCR 产物与 T 载体连接

将上述经纯化后的细菌、真菌和古菌的 PCR 产物与 T 载体连接以构建已知浓度的标准样品。具体步骤如下:

体系: 4 μL 纯化后的 PCR 产物与 1 μL pEASY®-T3 Cloning Vector 轻轻混合。混合后,在 25°C 下反应 5 min,反应结束后,将离心管置于冰上。

转化:

(1) 在大肠杆菌感受态细胞刚刚解冻时加入以上混合体系。即将以上体系加入到 50 μL 的感受态细胞中,轻弹混匀后冰浴 25 min;

(2) 42 °C 水预热激 30 S 后立即置于冰上 2 min;

(3) 将以上体系加入 250 μL LB 培养液中(不含氨苄青霉素),200 rmp 在 37°C 培养 1h;

(4) 将 300 μL 菌液在 5000 g 离心 3 min,去除上层 200 μL LB 培养基,将剩余的 100 μL 菌液均匀的涂在 LB 培养基上(加氨苄青霉素)在 37 °C 下过夜培养 12 h(注:培养时间不能过长)。

5.3. 阳性克隆检测及质粒提取

5.3.1 阳性克隆检测

5.3.1.1 PCR 方法鉴定阳性克隆

(1) 用无菌接种针点接 8-10 个白色单克隆菌落分别至 8 μL 无菌水中,涡旋混匀,并进行编号;

(2) 取 1 μL 混合液与 20 μL PCR 反应体系中,用 M13 引物鉴定阳性克隆,PCR 反应体系 20 μL,包括:10 μL 的 Taq Master Mix、1 μL 的 M13F 引物序列、1 μL 的 M13R 引物序列、共计 8 μL DNA 模板和 ddH₂O;

(3) 将上述反应体系按照 94 °C for 10 min, 30 cycles of 30 s at 94 °C, 30 s at 55 °C and 30 s at 72 °C, and a final 10-min extension at 72 °C 的反应程序进行 PCR 扩增;

(4) 进行产物测序鉴定。(原有条带长度+199 bp)若假阳性, 199 bp 处有条带。

5.3.1.2 大肠杆菌菌株保存: 挑取电泳检测合格的菌落至 1 mL 的 LB 培养液中(不含氨苄青霉素)培养 12-24 小时, 再与甘油(体积比) 1:1 保存。

5.3.1.3 质粒提取

摇菌培养

- (1) 将上述鉴定测序正确的克隆菌(带质粒的大肠杆菌)液涂在 LB 固体平板。
- (2) 置于 37 °C 恒温培养箱, 培养 12-17 h, 待长出菌落。
- (3) 灭菌 15 mL 离心管内加入 5 mL 含抗生素的 LB 液体培养基, 编号标记。
- (4) 挑取单克隆菌团放置液体培养基, 每个培养基放置 1 个菌落。
- (5) 37 °C, 180 rpm, 振荡培养过夜。

收获细菌并裂解

- (1) 离心扩增好的菌液, 按说明书将菌液重悬, 转入 1.5 mL 离心管中。用质粒小量抽提试剂盒, 按说明书要求提取质粒。
- (2) 细菌高速离心 1 min, 彻底去除上清。
- (3) 加入 250 μ L RB 溶液, 振荡器充分悬浮细菌。
- (4) 加入 250 μ L LB 溶液。立即上下颠倒 10 次, 使细菌裂解, 室温, 放置 2 min。
- (5) 加入 250 μ L NB 溶液。立即上下颠倒 10 次, 使之充分中和, 室温, 放置 2 min。
- (6) 室温, 1500 rpm, 高速离心 15 min。
- (7) 将吸附柱放入收集管内, 离心得到的上清转移至吸附柱, 室温, 15000 rpm, 高速离心 30 s。
- (8) 弃废液, 将吸附柱放入收集管, 加入 700 μ L WB 溶液到吸附柱中, 15000 rpm, 高速离心 30 s。
- (9) 重复上一操作, 之后, 将吸附柱放入干净的 1.5 mL 离心管中, 加 30-50 μ L 预热的 Elution Buffer, 室温, 放置 2 min, 高速离心 1 min。
- (10) 样品进行电泳检测: 1% 琼脂糖凝胶电泳, 上样量为 2 μ L, 紫外灯下观察, 最明亮的带为超螺旋形式, 可以在一定程度上表明提取质粒的纯度。

质粒的纯化

- (1) 将之前提取好的质粒放入 1.5 mL 离心管中, 加入 1/10 体积的 3 mol/L 无菌乙酸钠溶液。
- (2) 加入 2 倍体积的无水乙醇, 放置于 -20 °C 沉淀 4-6h 或过夜。
- (3) 4 °C, 高速离心机 14000 rpm, 离心 20 min。

- (4) 弃去上清，70%乙醇洗 2 次。
- (5) 空气干燥，可置超净工作台干燥。
- (6) 加 200 μL 无菌水溶液干燥后所得沉淀，即为质粒溶液。
- (7) 紫外分光光度计测量质粒浓度和产量。

测量 OD260 的值。

质粒 DNA 浓度 = $\text{OD}_{260} \times 50 \times \text{稀释倍数}$ ($\text{ng}/\mu\text{L}$)。

6. 荧光定量检测

6.1. 梯度质粒标准样品制备

将取 10 μL 质粒标准品加入到 990 μL 水，涡旋混匀稀释 100 倍，作为第一个样品 A。

- (1) 从 A 中取 10 μL 样品加入到 90 μL 水，混匀稀释 10 倍，作为第二个样品 B。
- (2) 从 B 中取 10 μL 样品加入到 90 μL 水，混匀稀释 10 倍，作为第三个样品 C。

以此类推。制备 6~8 个梯度样品。

6.2. 反应体系构建、qPCR 上机检测和结果计算

6.2.1 qPCR 上机检测

将上述配置完成的梯度质粒标准品及提取的 DNA 待测样品作为 qPCR 模板上机执行 qPCR，同时以加 ddH₂O 为空白对照。在 96 孔板中，一个样品做 3 重复（即 3 孔），以 2 \times T5 Fast qPCR Mix(SYBR Green I) 染色扩增，扩增体系各组分如下：

组分	体积
2 \times T5 Fast qPCR Mix (SYBR Green I)	10 μL
10 μM Primer F	0.5 μL
10 μM Primer R	0.5 μL
Template (gDNA)	1 μL
ddH ₂ O	8 μL
Total	20 μL

以上扩增体系按本章 4.1 中不同微生物（细菌、真菌或古菌）的引物对应的扩增程序进行扩增。

6.2.2 qPCR 下机后进行数据分析

- (1) 根据已知的质粒浓度 ($\text{ng}/\mu\text{L}$)，计算对应的标准品的拷贝数：

$$\text{拷贝数 (copies}/\mu\text{L}) = \frac{6.02 \times 10^{23} \times \text{质粒浓度} \times 10^{-9}}{\text{DNA length} \times 660}$$

其中 6.02×10^{23} 为摩尔分数；DNA length 为对应引物的碱基长度；1 dsDNA 碱基 = 660 道尔顿。

- (2) 根据已知的质粒拷贝数绘制标准曲线

$$\text{CT} = k \times \lg(x) + b$$

其中 x 为样品拷贝数, k 为斜率, b 为截距。注: R^2 需要至少 0.99 以上, 扩增效率在 90%~110%, 兼并引物可放宽到 80~120%。如果剔除一些数据后仍然不行, 重新稀释, 重做标曲。

(3) 基于质粒浓度算得的 k 值和 b 值, 代入待测样品对应的 CT 值即可获得待测样品的拷贝数。

$$\text{待测样品的拷贝数 (copies}/\mu\text{L)} = 10^{\frac{\text{CT}-b}{k}}$$

参考文献

- [1] Heid C A, Stevens J K, Livak K J, et al. Real time quantitative PCR. *Genome Research*, 1996, 6(10):986-994.
- [2] Livak K J, Schmittgen T. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta Ct}$ method. *Methods*, 2001, 25(4):402-408.
- [3] Tamaki, H. et al. Analysis of 16S rRNA amplicon sequencing options on the Roche/454 next-generation titanium sequencing platform. *PLoS One*. 6, e25263 (2011).
- [4] Degnan, P. H. & Ochman, H. Illumina-based analysis of microbial community diversity. *ISME J*. 6, 183-198 (2012).
- [5] Coolen, M.J.L., Hopmans, E.C., Rijpstra, W.I.C., Muyzer, G., Schouten, S., Volkman, J.K., 2004. Evolution of the methane cycle in Ace Lake (Antarctica) during the Holocene: response of methanogens and methanotrophs to environmental change. *Organic Geochemistry* 35 (10), 1151-1167.
- [6] Tolli J, King G M. Diversity and structure of bacterial chemolithotrophic communities in pine forest and agroecosystem soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(12):8411-8418.
- [7] Poly F, Monrozier L J, Bally R. Improvement in the RFLP procedure for studying the diversity of *nifH* genes in communities of nitrogen fixers in soil. *Research in Microbiology*, 2001, 152(1): 95-103.
- [8] Fraser T D, Lynch D H, Gaiero J R, et al. Quantification of bacterial non-specific acid (*phoC*) and alkaline (*phoD*) phosphatase genes in bulk and rhizosphere soil from organically managed soybean fields. *Applied Soil ecology*, 2017, 111: 48-56.
- [9] Edwards IP, Upchurch RA, Zak DR. (2008). Isolation of fungal cellobiohydrolase I genes from sporocarps and forest soils by PCR. *Appl Environ Microbiol* 74: 3481-3489.

第7章 土壤呼吸强度测定方法

1. 意义、范围与质控

测定添加以葡萄糖为底物的土壤呼吸强度可以用于确定土壤微生物活性潜力。本方法基于单位时间内，底物添加条件下二氧化碳释放量。适用于好氧、不饱和土壤中土壤微生物呼吸强度。土壤微生物呼吸需按照技术规程规定的方法进行测定，根据土壤呼吸强度的变异系数适当增加重复。调用土壤普查管理平台系统，对数据进行审查备案。随机抽取同一批样品的1-5%进行检查。采用技术规程规定的方法，对指标进行复核。

2. 原理

新鲜土壤样品混合葡萄糖置于恒温（如 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）培养箱或培养室黑暗培养。样品要置于空气或去除 CO_2 的合成空气中。培养阶段土壤样品释放的 CO_2 通过配备流量计的气相色谱仪（火焰离子化检测器或热导检测器）测定（GB/T32720-2016）。

3. 试剂

3.1 如果是环境气体， CO_2 校准气体浓度为 $300\text{-}500\mu\text{L L}^{-1}$ 。

3.2 如果是合成气体， CO_2 校准气体浓度为 $20\text{-}200\mu\text{L L}^{-1}$ 。

3.3 葡萄糖试剂：葡萄糖与滑石粉按1:4比例（质量比）混合，研磨，保存于广口瓶中备用。

4. 仪器

4.1 恒温培养箱或培养室。

4.2 广口瓶/血清瓶。

4.3 橡胶塞或硅胶塞。

4.4 注射器。

4.5 检测器为火焰离子化检测器或热导检测器的气相色谱仪。

注：热导检测器经常用于检测除 CO_2 外的其他气体。火焰离子化检测器不能做到这一点。然而，如果没有热导检测器，旧的气相色谱仪也可以升级。就检测 CO_2 而言，火焰离子化检测器与热导检测器功效完全一样。

4.6 用于数据计算和系统控制的计算机。

5. 步骤

(1) 称取小于2mm的新鲜土壤样品（相当于干土20.0g）3份分别放入3个250mL三角瓶或血清瓶中，加入葡萄糖粉剂（葡萄糖添加量见表3.1.1）充分混匀，于通风处放置30min后，用胶塞和密封胶密封三角瓶，至于 25°C 下培养2h。

(2) 在培养开始时和 2h 后, 用注射器从三角瓶中抽取 5mL 气体样品, 采用气相色谱仪测定样品 CO₂ 量。

6. 检测

6.1 采用火焰离子检测器的气相色谱仪检测

检测 CO₂, 当加入 H₂ 和 CO₂ 反应后, 将 CO₂ 转化为 CH₄, 火焰离子检测器 (FID) 可以检测到 CH₄, 检测温度至少为 350℃。同时 H₂ 也是火焰离子检测器的燃气。毛细管柱或填充柱可以用于分离。直径小于 0.53mm 的毛细管柱由于流量有限, 不适用该系统。测定温度为恒温 80℃。若手动测样, 可用密闭注射器直接注射气体样品。如在线检测, 则可以用自动进样仪。

6.2 采用热导检测器 (TCD) 的气相色谱仪

需要配备热导检测器的气相色谱仪, 检测温度为 150℃。用填充柱进行分离。40℃ 恒温进行测定。在线监测或单样品监测都可以。

7. 结果计算

底物诱导呼吸量 SIR 的计算:

$$\text{SIR (mL/(kg·h))} = C \times V / m / 2$$

式中: C ——广口瓶中 CO₂ 的浓度 (mL/mL)

V ——广口瓶中空气的体积 (mL)

M ——土壤烘干质量 (kg)

表 5 不同土壤有机质含量的葡萄糖添加量

有机质含量 (%)	推荐葡萄糖添加量 (mg/g soil)
<2	0.5-2
2-4	3-4
>4	6

参考文献

- [1] GB/T 32720-2016 土壤微生物呼吸的实验室测定方法
- [2] 17155 Soil quality-Determination of abundance and activity of soil microflora using respiration curves
- [3] ISO 14240-1:1997 Soil quality-Determination of soil microbial biomass-Part 1: Substrate-induced respiration method
- [4] ISO 16072:2002 土壤微生物呼吸的实验室测定方法 (Soil quality-Laboratory methods for determination of microbial soil respiration, IDT)

第 8 章 土壤酶活性测定方法

1. 意义、范围与质控

为调查全国土壤微生物的碳氮磷元素转化功能,需要对 7 个碳氮磷转化典型酶的功能活性进行测定。7 种酶类是 β -葡萄糖苷酶,在土壤碳循环中负责纤维素的降解生成葡萄糖;多酚氧化酶,在土壤碳循环中参与木质素及多酚类物质的降解;脲酶,在土壤氮循环中负责将有机氮转化为无机氮;硝酸还原酶,在土壤反硝化过程的中负责将硝酸离子还原成亚硝酸离子;氨单加氧酶,在土壤硝化反应中负责将铵根离子转化为羟胺。此方法适用于土壤鲜样或风干后的土壤样品。针对土壤磷酸酶,当土壤 pH<7 时,适用酸性磷酸酶测定方法;当土壤 pH \geq 7 时,使用碱性磷酸酶测定方法。测定的质控过程采取同一批次样品 1-5%随机抽样后重复测试结合留样复测提高检测结果的准确性。

2. β -葡萄糖苷酶

2.1 方法原理

β -葡萄糖苷酶,在土壤碳循环中负责纤维素的降解, β -葡萄糖苷酶负责进一步水解纤维素二糖和纤维素寡糖生成葡萄糖。其活性用荧光底物(4-甲基伞形酮- β -D-葡萄糖苷)法测定。

2.2 材料试剂

2.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样并自然风干后测定。

2.2.2 实验仪器

- (1) 250 mL 广口锥形瓶
- (2) 八通道移液器和枪头
- (3) 黑色 96 微孔板
- (4) 摇床
- (5) 恒温培养箱
- (6) 多功能酶标仪

2.3 实验方法

2.3.1 试剂配制

(1) 50mM 醋酸盐缓冲液: 配制 50 mM 的醋酸盐 6.804 g 三水合乙酸钠溶解在 800 mL 去离子水中用 12 M 盐酸调 pH, 缓冲液保存在 4 冰箱, 8 天内使用。

(2) 荧光底物: 200 μ mol L⁻¹ 4-甲基伞形酮- β -D-葡萄糖苷 (4-MMB- β -D-glucoside), 即

1.691mg 4-甲基伞形酮-β-D-葡萄糖苷，去离子水定容 25mL。

(3) 1M 的 NaOH 溶液：4g 分析纯氢氧化钠溶于去离子水中，稀释至 100mL。

2.3.2 操作步骤

(1) 称取 1g 鲜土于 250mL 广口锥形瓶中，加入 125mL，50mM，pH=5 的醋酸钠缓冲液 (pH 约 6.5)，塞上瓶塞或用封口膜封住，在摇床上于 180rpm min⁻¹ 震荡 20min 制备悬浮液。

(2) 使用八通道移液器吸 200μL 土壤悬浮液于黑色 96 微孔板内，每个样品孔加 50μL，200μM 的荧光底物。

(3) 同时做样品和基质控制，样品控制孔加 200μL 土壤悬浮液和 50μL 醋酸钠缓冲液，基质控制孔中加入 200μL 醋酸钠缓冲液和 50μL 荧光底物。

(4) 所有样品和空白加完后，酶标板放在 20℃ 黑暗条件下培养 4h，之后加入 10μL 1M 的 NaOH 溶液，终止反应。

(5) 使用多功能酶标仪进行荧光测定，在 365nm 波长处激发，在 450nm 处检测荧光。

2.3.3 结果计算

酶活性(nmolg⁻¹h⁻¹)= (净荧光值*缓冲液体积(mL))/(激发系数*吸入悬浮液体积(mL)
*反应时间 (h) *土壤重量 (g))

净荧光值= ((样品孔测出的荧光值-样品控制荧光值)/淬灭系数) -基质控制荧光值

激发系数 (nmol⁻¹) = (标准曲线斜率[荧光值/(nmol/mL)])/反应液体积

淬灭系数= (淬灭标准孔测出的荧光值-样品控制荧光值)/参考标准品测出的荧光值

3. 土壤多酚氧化酶

3.1 方法原理

多酚氧化酶，在土壤碳循环中参与木质素及多酚类物质的降解，可以通过参与木质素降解和聚合可溶性酚从而促进腐殖质形成，能够通过分子氧化酚或多酚形成对应的醌。其活性用底物（左旋多巴（L-DOPA））分光光度法测定。

3.2 材料试剂

3.2.1 土壤

本方法所使用土壤为从田间采样并自然风干后测定。

3.2.2 实验仪器

(1) 250mL 广口锥形瓶

(2) 八通道移液器和枪头

(3) 白色 96 微孔板

(4) 多功能酶标仪

3.3 实验方法

3.3.1 试剂配制

(1) 50mM 醋酸盐缓冲液：配制 50 mM 的醋酸盐 6.804 g 三水合乙酸钠溶解在 800 mL 去离子水中用 12M 盐酸调 pH，缓冲液保存在 4 冰箱，8 天内使用。

(2) 底物：左旋多巴 (L-DOPA) (25 μ mol L⁻¹)即，0.4929g L-DOPA 溶于稀盐酸后用去离子水稀释至 100mL。

3.3.2 操作步骤

(1) 称取 1g 鲜土于 250mL 广口锥形瓶中，加入到 125mL，50mM，pH=5 的醋酸钠缓冲液 (pH 约 6.5)，震荡 1h 制备悬浮液。

(2) 然后使用八通道移液器吸 200 μ L 土壤悬浮液于 96 微孔板内，每个样品孔加 50 μ L，200 μ M 的底物。

(3) 同时做样品和基质控制，样品控制孔加 200 μ L 土壤悬浮液和 50 μ L 醋酸钠缓冲液，基质控制孔中加入 200 μ L 醋酸钠缓冲液和 50 μ L 底物。

(4) 所有样品和空白加完后，酶标板放在 20℃ 黑暗条件下培养 20h。使用多功能酶标仪，采用分光光度法，在 450nm 处测定吸光值。

3.3.3 结果计算

酶活性 (nmolg-1h-1) = (最终吸光度*缓冲液体积 (mL))/(7.9 μ mol*吸入悬浮液体积 (mL) *反应时间 (h) *土壤重量 (g))

最终吸光值=样品孔吸光值-基质控制吸光值-样品控制吸光值

4. 脲酶

4.1 方法原理

采用苯酚-次氯酸钠比色法。在碱性溶液中及在亚硝基铁氰化钠催化剂存在下生成蓝色的靛酚。该生成物数量与氨浓度成正比。

反应式如下： $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2\uparrow + 2\text{NH}_3$

4.2 材料试剂

4.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样并自然风干后测定。

4.2.2 实验仪器

- (1) 分光光度计
- (2) 恒温箱
- (3) 分析天平

4.3 实验方法

4.3.1 试剂配制

(1) 柠檬酸盐缓冲液：取 368g 柠檬酸溶于 600mL 蒸馏水中，另取 295g 氢氧化钾溶于水，再将二种溶液合并，用 1M 氢氧化钠将 pH 调至 6.7，并用蒸馏水稀释至 2L。

(2) 苯酚钠溶液：称 62.5g 苯酚溶于少量乙醇中，加 2mL 甲醇和 18.5mL 丙酮，然后用乙醇稀释至 100mL (A 液)，保存在冰箱中。

(3) 氢氧化钠溶液：称 27g 氢氧化钠溶于 100mL 水中(B 液)，保存在冰箱中。使用前，取 A、B 两液各 20mL 混合，并用蒸馏水稀释至 100mL 备用。

(4) 次氯酸钠溶液：用水稀释制剂，至活性氯的浓度为 0.9%，溶液稳定。

(5) 10%尿素。

(6) 甲苯。

(7) 氮的标准溶液：精确称取 0.4717g 硫酸铵溶于水并稀释至 1000mL，则得 1mL 含 0.1mg 氮的标准液。绘制标准曲线时，可再将此液稀释 10 倍供用。

4.3.2 操作步骤

(1) 标准溶液：吸取稀释的标准液 10、25、40、60、75、90mL，移于 500mL 容量瓶中，然后加蒸馏水至刻度。在 10mL 每一溶液中，分别含有 20 μ g、50 μ g、80 μ g、120 μ g、150 μ g 及 180 μ g 的 NH₃-N。这些溶液用于绘制标准曲线。

(2) 取 10g 过 1mm 筛的风干土壤样本，置于 100mL 三角瓶中，加 2mL 甲苯。

(3) 甲苯处理 15min 后加 10mL 10%尿素溶液和 20mL pH6.7 柠檬酸盐缓冲液摇匀。

(4) 在 37℃ 恒温箱中培养 3h 后，用热至 38℃ 的蒸馏水稀释至刻度，摇荡，将悬液过滤，滤液备用。

(5) 与此同时，对每一土样设置用水代替基质的对照；对整个试验，设置无土壤的对照，以检验试剂的纯度。

(6) 取 1mL 滤液注入 50mL 容量瓶中，用蒸馏水稀释至 10mL 然后加入 4mL 苯酚钠溶液，并立即加入 3mL 次氯酸钠溶液。加入每一试剂后，立即将混合物仔细混合。

(7) 用 1cm 的比色槽，在比色计上于波长 578nm 处测定颜色的深度(靛酚的青色能在 60 min 内保持稳定)。用供试样品所得的消光值减去对照样品消光值的差，根据标准曲线求出氨态氮量。

4.3.3 计算

脲酶活性以，每百克土壤中 NH₃-N 毫克数表示：

$$\text{土壤脲酶活性}[\text{mg NH}_4\text{-N}/(100\text{g 干土}\cdot 24\text{h})]=(C\times V\times 10)\times 10/\text{dwt}$$

式中 C—土壤滤液中酶活性值 (mg NH₄⁺-N/mL)

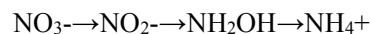
V—土壤溶液体积 mL

dwt—烘干土重量 g

5. 硝酸还原酶

5.1 方法原理

采用酚二磺酸比色法。在厌氧环境下,通过与酚二磺酸的蓝色反应,求出反应前后硝态氮量差值,用于表示硝酸还原酶活性。其反应式如下:



5.2 材料试剂

5.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样并自然风干后测定。

5.2.2 实验仪器

- (1) 分光光度计
- (2) 恒温箱
- (3) 分析天平
- (4) 水浴锅
- (5) 真空泵

5.3 实验方法

5.3.1 试剂配制

- (1) 1% KNO₃ 溶液。
- (2) 1% 葡萄糖。
- (3) CaCO₃。
- (4) 铝钾矾饱和溶液。
- (5) 酚二磺酸:取 3g 重蒸酚与 37 g (20.1mL)浓 H₂SO₄ 混合,在沸水浴上回流加热 6h 即成。
- (6) 10%NaOH。
- (7) KNO₃ 标准溶液:精确称取 16.3052g 重结晶 KNO₃ 溶于蒸馏水中并稀释至 1L (1mL 含 10mgNO₃-N)。使用前,将标准液再进行稀释(1mL 含 0.1mgNO₃-N)。

5.3.2 操作步骤:

标准曲线绘制:吸取 50mL KNO₃ 标准溶液,置于瓷皿中,在沸水浴上蒸干,残渣用 2mL 酚二磺酸处理 10min。再加 15mL 蒸馏水,定容 500mL (1mL 含 0.01mg NO₃-N)。吸取此溶

液5-40mL于50mL容量瓶中,用10%NaOH调至微黄色,定容后在分光光度计上于400-500nm处进行比色。以光密度值为纵坐标,浓度为横坐标,绘制标准曲线。

取1g过1mm筛的风干土壤,置于100mL减压三角瓶中,加20mg CaCO₃和1mL 1% KNO₃。仔细混合后,加1mL葡萄糖(作为氢的供体)。将此混合液连接于真空泵抽气3min,稍摇荡三角瓶,置于30℃恒温箱中培养24h。

培养结束后,加50mL水、1mL铝钾矾液,摇匀。取20mL液移于瓷皿上蒸干。加1mL酚二磺酸处理10min,加15mL水,再加10%NaOH调至碱性。将着色液转至50mL容量瓶中,定容、比色(波长为450nm)

用灭菌土壤(180℃加热3h)作对照。

5.3.3 计算

硝酸盐还原酶活性以24h后10g土壤中被还原的NO₃-N表示:

硝酸盐还原酶活性[mg NH₃--N/(10g干土·24h)]=(m₀-m)×10/dwt

式中 m₀—土壤反应前硝态氮含量的毫克数 mg

m—土壤反应后硝态氮含量的毫克数 mg

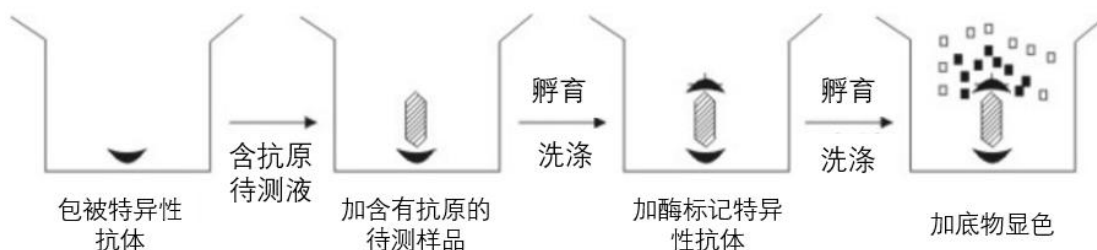
dwt—烘干土重量 g

6. 氨单加氧酶

6.1 方法原理

使用夹心法酶联免疫吸附试验(ELISA)。ELISA的基础是抗原或抗体的固相化及抗原或抗体的酶标记。结合在固相载体表面的抗原或抗体仍保持其免疫学活性,酶标记的抗原或抗体既保留其免疫学活性,又保留酶的活性。

往预先包被氨单加氧酶(AMO)捕获抗体的包被微孔中依次加入抗原待测物和准品、辣根过氧化物酶(HRP)标记的抗体,经过温育并彻底洗涤。用底物3,3',5,5'-四甲基联苯胺(TMB)显色,TMB在过氧化物酶的催化下形成联苯醌,使用硫酸终止反应。



6.2 材料试剂

6.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样并自然风干后测定。

6.2.2 实验仪器

- (1) 酶标仪 (450nm)
- (2) 96 孔板
- (3) 10000×g 离心机
- (4) 单道移液器 (10μL, 20μL, 200μL, 1000μL)
- (5) 恒温箱

6.3 实验方法

- (1) 预先包被 AMO 抗体 (重组蛋白捕获抗体) 的微孔板。
- (2) AMO 标准液 (大肠杆菌 E.Coli 重组蛋白), 浓度依次为: 0、15、30、60、120、240 U/L。
- (3) 0.1M NaH₂PO₄-NaH(PO₄)₂ 磷酸盐缓冲液 (PBS)。
- (4) 标记抗体液: 0.05% 辣根过氧化物酶 (HRP) 标记的抗体溶液。
- (5) 洗涤液: 8.0g NaCl, 0.2g KCl, 2.9g Na₂HPO₄·12H₂O, 0.2g KH₂PO₄, 0.5mL 吐温-20, 加无菌去离子水至 1000mL。
- (6) 底物显色液: 先将 TMB 以 0.1 M 的浓度溶于二甲亚砜, 然后, 再将 1 mM TMB 和 3.0 mM H₂O₂ 溶于 0.2M 醋酸钠/枸橼酸缓冲液 (pH4.0)。
- (7) 终止液: 2M H₂SO₄。

6.3.2 操作步骤

- (1) 称取 1g 过筛的风干土壤, 加入 9g 的 pH7.2-7.4 的 PBS, 用手工将标本充分混匀。2-8℃ 条件离心 20 分钟左右 (2000-3000 转/分), 仔细收集上清。
- (2) 设置标准品孔和样本孔, 标准品孔各加不同浓度的标准品 50μL, 绘制标准曲线;
- (3) 样本孔先加待测样本 10μL, 再加去离子水 40μL, 空白孔不加。
- (4) 除空白孔外, 标准品孔和样本孔中每孔加入 HRP 标记的检测抗体 100μL, 用封板膜封住反应孔, 37℃ 水浴锅或恒温箱温育 60min。
- (5) 弃去液体, 吸水纸上拍干, 每孔加满洗涤液, 静置 1min, 甩去洗涤液, 吸水纸上拍干, 如此重复洗板 5 次 (也可用洗板机洗板)。
- (6) 每孔加入底物显色液 100μL, 37℃ 避光孵育 15min。
- (7) 每孔加入终止液 50μL, 15min 内在 450nm 波长处测定各孔的 OD 值。

6.3.3 计算

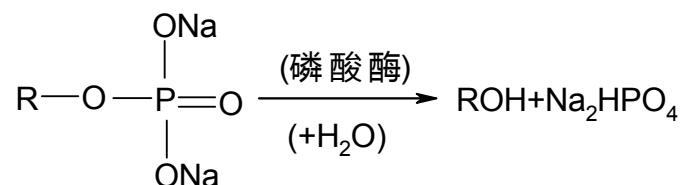
以标准品浓度作横坐标, 对应 OD 值作纵坐标, 绘制出标准品线性回归曲线, 按曲线方

程计算各样本浓度值。

7. 土壤磷酸酶（酸性和碱性磷酸酶）

7.1 方法原理

采用磷酸苯二钠比色法。测定磷酸酶主要根据酶促作用生成的有机基团量或无机磷量计算磷酸酶活性。它们的总反应式如下：



式中，R 指酚酞、苯酚、感应、 α -或 β -萘酚、p-硝基苯酚

7.2 材料试剂

7.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样并自然风干后测定。

7.2.2 实验仪器

- (1) 分光光度计
- (2) 冰箱
- (3) 10000×g 离心机
- (4) 恒温箱

7.3 实验方法

7.3.1 试剂配制

(1) 磷酸苯二钠溶液：将 6.75g 磷酸苯二钠溶于蒸馏水，并稀释至 1000mL(1 mL 含 25mg 酚)，保存于 4 度冰箱。

(2) 醋酸盐缓冲液 (pH5.0，用于酸性磷酸酶测定)；

硼酸盐缓冲液 (pH9.0，用于碱性磷酸酶测定)。

(3) 氯代二溴对苯醌亚胺试剂 (Gibbs 试剂)：取 200mg 2,6-二溴苯醌氯酰亚胺，溶于乙醇，并稀释至 100mL，保存于 4 度冰箱。

(4) 标准溶液：

母液，取 1g 酚溶于蒸馏水中，稀释至 1L，贮于棕色瓶中；

工作液，取 10mL 酚原液稀释至 1L(每毫升含 0.01 毫克酚)。

(5) 甲苯。

7.3.2 操作步骤

(1) 绘制标准曲线：取 1、3、5、7、9、11 和 13mL 酚工作液，置于 100mL 容量瓶中，每瓶加入 5mL 缓冲液，用水稀释至 25mL，加 1mL Gibbs 试剂，静置 20min 后于 578nm 处比色测定，绘制标准曲线。

(2) 取 10g 过 1mm 筛的风干土壤置于 100mL 三角瓶中，加 1.5mL 甲苯，轻摇 15min。

(3) 加入 10mL 磷酸苯二钠溶液和 10mL 相应的缓冲液（酸性磷酸酶用醋酸盐缓冲液；碱性磷酸酶用硼酸盐缓冲液），仔细摇匀。

(4) 放入恒温箱，在 37℃ 下培养 3h 后，用 38℃ 的热水将瓶中内容物稀释至刻度（甲苯应浮在刻度以上），再用致密滤纸过滤。

(5) 对每一土样，设置用 10mL 代替基质的对照。

(6) 比色程序：

a. 取滤液 1mL 置于 100mL 容量瓶中，加 5mL 相应的缓冲液，用水稀释至 25mL，加 1mL Gibbs 试剂。

b. 将反应物仔细混合，静置 20min，这时溶液呈现青色。

c. 用水将瓶中混合物稀释至刻度，并在 24h 内，用 1cm 液槽，在分光光度计上于波长 578nm 处测定颜色的深度，读取消光值。

d. 以供试样品所得消光值减去对照样品消光值的差，根据标准曲线，求出酚量。

7.3.3 计算

土壤磷酸酶活性，以每百克土的酚毫克数表示，其计算式为：

土壤磷酸酶活性[μg 苯酚/(g 干土·h)]=(C×V)×/dwt

式中 C—土壤滤液中苯酚含量 $\mu\text{g}/\text{mL}$

V—土壤溶液体积 mL

dwt—烘干土重量 g

参考文献

[1] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 第 1 版. 北京: 科学出版社, 2008

[2] Li, M., Zhang, J., Yang, X., et al. Responses of ammonia-oxidizing microorganisms to biochar and compost amendments of heavy metals-polluted soil. *Journal of Environmental Sciences*, 2021, 102: 263-272.

[3] Freeman, C., Ostle, N., & Kang, H. An enzymic 'latch' on a global carbon store - A shortage of oxygen locks up carbon in peatlands by restraining a single enzyme. *Nature*, 2001, 409(6817), 149-149.

[4] Saiya-Cork, K.R., Sinsabaugh, R.L., Zak, D.R. Effects of long term nitrogen deposition on extracellular enzyme activity in an *Acer saccharum* forest soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34, 1309-1315.

[5] Sinsabaugh, R.L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42: 391-404

[6] Sinsabaugh, R.L., Lauber, C.L., Weintraub, M.N., *et al.* Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. *Ecology Letters*, 2008, 11, 1252-1264.

[7] Sinsabaugh, R. L., Hill, B. H., & Shah, J. J. F. Ecoenzymatic stoichiometry of microbial organic nutrient acquisition in soil and sediment. *Nature*, 2009, 462(7274), 795-U117.

[8] Zibilske, L. M., & Bradford, J. M. Oxygen effects on carbon, polyphenols, and nitrogen mineralization potential in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71(1), 133-139.

第9章 土壤微生物群落组成高通量测序方法

1. 意义、范围与质控

为调查全国土壤总体微生物及其典型功能物种的物种多样性特征，需开展土壤细菌、真菌、古菌、固碳菌、固氮菌、丛枝菌根菌高通量测序。高通量质控过程包括元数据和测序数据的一致性检查、测序数据的质量检测、低质量测序序列的过滤及切除、接头序列及无序列的剔除、宿主及污染序列的过滤、混合样本的数据分割等参照扩增子测序指导（见下文）要求执行。

2. 基因组二代测序实验基本流程

土壤样品→DNA 抽提→核酸质检→PCR 扩增→PCR 产物质检→上机获取 FASTQ 数据
→文库构建→数据质检

3. 主要设备

仪器名称	用途
台式高速离心机	用于分离液体与固体颗粒或液体与液体的混合物中各组分
PCR 仪器	利用 PCR (Polymerase chain reaction, 聚合酶链反应) 技术对特定 DNA 扩增
QIAextractor	DNA 自动提取
电泳仪	用于将获得的 DNA 样品进行组分分析或单个组分提取
凝胶成像仪	PCR 产物检测
移液器	用于定量转移液体
Bioanalyzer	样品质量控制仪
NanoDrop	DNA 纯度及浓度检测
tip, 离心管	分装样品

4. 实验流程

4.1 土壤 DNA 提取

不同土壤 DNA 提取试剂盒方法略有差异，以具体试剂盒标准方法为主，本方法列举常规试剂盒及高盐碱土壤试剂盒提取方法，提取 DNA 后需要质检。

4.1.1 常规土壤 DNA 提取操作步骤

(1) 直接添加 250mg 以内的待测土壤样品到裂解管中，然后添加 750 μ L 的裂解液到裂解管中，在涡旋仪上最大速下振荡 5 分钟以上混匀。（如果使用高频振荡器时间可以适当缩短）

(2) 将裂解管放到离心机里，在 ≥ 10000 g 下离心 1 分钟。

(3) 将上一步所得上清液 400 μ L 加到 1 号过滤柱（试剂盒内备有耗材）中，并套在一个收集管里，在 8000 g 的离心力条件下离心 1 分钟。丢弃过滤柱。

(4) 添加 1200 μ L 的基因组 DNA 裂解液（试剂盒内备有试剂）到上一步的收集管中充分混匀。

(5) 将步骤 4 获得的混合液吸取 800 μ L 混合液加到 2 号过滤柱（试剂盒内备有耗材）中，在 10000 g 下离心 1 分钟，倒掉收集管中废液。

(6) 重复进行上一步骤（步骤 5）的操作，尽量保证所有裂解液都进行过柱处理。

(7) 将 2 号柱套在一个新的收集管内，添加 200 μ L 的基因组 DNA 洗涤液 1（试剂盒内备有试剂）到 2 号柱中，在 \geq 10000 g 条件下离心 1 分钟。

(8) 添加 500 μ L 的基因组 DNA 洗涤液 2（试剂盒内备有试剂）到 2 号柱中，在 \geq 10000 g 下离心 1 分钟。

(9) 将 2 号柱移至干净的 1.5mL 离心管中，添加 \geq 50 μ L 的基因组 DNA 洗脱液到柱基质上（洗脱液事先在 65-70 $^{\circ}$ C 水浴中预热效果更好），室温下放置 2-5 分钟，在 \geq 10000g 下离心 1 分钟来洗脱基因组 DNA。

(10) 将抑制物去除柱套在一个收集管内，添加 600 μ L 的抑制物去除液，在 \geq 8000g 条件下离心 3 分钟。

(11) 将洗脱的基因组 DNA 放入制备好的抑制物去除柱内，抑制物去除柱套在一个干净的 1.5mL 离心管内，并在 16000g 条件下离心 3 分钟，得到的 DNA 样品进行后续 PCR 等试验。

4.1.2 高盐碱土壤 DNA 提取操作步骤

(1) 称出 1 g 样品到无菌研钵中（使用 6-10 cm 直径的研钵。每次只取出一个样品，以尽量减少 DNA 在室温下的降解），再加入 0.5 g 无菌石英砂到研钵中。石英砂可酌情增加用量。在研钵中加入足够液氮快速冷却石英砂和研钵。

注：如果 1 g 土壤样品不够用，可在以下步骤中增加土壤样品用量和按比例增加试剂量（如 DNA 提取缓冲液、蛋白酶 K、SDS 和异丙醇等）。本方案也适用于其他类型的环境样品（污泥、水、木材等），但样品量要视情况而定。

(2) 开始研磨样本，如果加入的液氮太少已经消耗完，立即加入新的液氮。研磨样品时尽量控制在研钵里的一个小区域。一直研磨直到样品开始融化。研磨时尽可能保持样品处于冷冻状态。

注：如果样品冷冻后结块难以研磨，可以放置稍微解冻，但一定要加入 0.2~0.4 mL 的 DNA 提取缓冲液，记录准确的使用量 V1。当温度升高时，缓冲液可以抑制 DNA 降解。

(3) 重复步骤 (2) 冷冻研磨 2 次 (共三次)。

(4) 当样品仍处于冷冻状态时，用刮刀把样品集中到研钵的中心 (如有必要，加入更多的液氮让保持样品冷冻)。转移样本到新的 15 mL 离心管中。

注：此时如果不能立即进行 DNA 提取，样品要保存在 -80 °C，直到准备好进行下一步的 DNA 提取。

(5) 在上述准备好的样品中加入 3.3 mL DNA 提取缓冲液 (含有 CTAB)。缓冲液的总容量应该是 3.3 mL，如果在冷冻研磨过程中添加过该缓冲液，并且使用量为 V1 mL，这一步添加的缓冲液体积为 3.3-V1。

注：如果土壤杂质太多，但含有足够的 DNA，可以增加缓冲液总体积至 5 mL。

(6) 加入 12.2 mL 蛋白酶 K (10 mg/mL)，轻轻地混合。

注：如果在第 (5) 步中加入 5 mL 缓冲液，则加入 18.5 μ L 蛋白酶 K。

(7) 37°C 水浴 30 min，期间 5-10 min 倒转混合一次。

(8) 加入 0.37 mL 20% 的 SDS，轻轻地混合。

注：如果在第 (5) 步中加入 5 mL 缓冲液，则加入 0.56 mL 20% 的 SDS。

(9) 65°C 水浴 2 h，每 15-30 min 轻柔地倒转混合一次。

(10) 25°C 离心 20 min，6,000 x g。

(11) 转移上清液到 Oak Ridge tubes 中 (使用半透明的 Oak Ridge tubes)，尽量不要碰到白色的表层。

注：如果样品中有太多的有机杂质 (如蛋白质)，可以转移上清液到 15 mL 锥形离心管中用于氯仿提取。

(12) 加入 1.2 mL DNA 提取缓冲液 (含有 CTAB) 到剩余的沉淀中涡旋混匀。

注：如果在第 (5) 步中加入 5 mL 缓冲液，则加入 1.8 mL 含有 CTAB 的 DNA 提取缓冲液。

(13) 加入 0.13 mL 20% 的 SDS，轻柔地混合。

注：如果在第 (5) 步中加入 5 mL 缓冲液，则加入 0.2 mL 20% 的 SDS。

(14) 65 °C 水浴静置 15 min.

(15) 25 °C 离心 20 min，6,000 x g。

(16) 转移上清液与 (11) 所得上清液混合，转移过程中避免碰到白色表层。

注：如果样品中有太多的有机杂质（如蛋白质），在下一步之前，加入与上清液等体积的 1:24 氯仿：异戊醇混合液，在通风橱中用圆盘旋转混匀仪连续倒转混合 5-10 min。3,700 x g 离心 20 min。转移上清液到一个新的锥形离心管中。加入新的等体积氯仿：异戊醇再萃取一次。然后转移上清液到 Oak Ridge tubes 中。

(17) 加入 0.6 个体积的 2-异丙醇（使用量要精准控制在 0.6 个体积）。

(18) 在 -20 或 -80 °C 冰箱中静置过夜。低温有助于 DNA 沉淀。

(19) 从冰箱取出样品，37 °C 水浴加热。在进行下一步之前，确保样品是完全加热的并且所有的沉淀都溶解了。在离心前加热样本可以溶解静置一整夜产生的所有矿物沉淀。

注：尽可能彻底地溶解所有矿物沉淀，大概需要 30~45 min。

(20) 25 °C 室温 15,000 x g (RCF) 离心 20 min (确保离心机处于室温状态，如果太冷，样品中的矿物沉淀就会析出)。离心后立即将上清液转移到新的离心管中（保留上清液直到通过后续步骤确认得到 DNA，否则需要重复这一步）。

(21) 在 Oak Ridge tubes 的 DNA 沉淀中加入 1 mL 冰的 70%乙醇清洗 DNA 沉淀。15,000 x g 离心 5 min，去掉乙醇。

注：如果 DNA 沉淀杂质太多，可以清洗两次。可以使用移液枪尽可能彻底地去除乙醇。一些纯净的 DNA 可能是不可见的。如果去除乙醇之前不离心或者下一步中不充分溶解 DNA 就转移，就有可能损失一部分 DNA。

4.1.3 DNA 样品保存及处理

得到的 DNA，长期保存时，冻存于 -20 °C。在后续实验中，应先将 DNA 于冰上解冻（提前一小时开始解冻），解冻后将 DNA 轻轻涡旋混匀后离心。再进行后续实验。

4.1.4 DNA 样品质控标准

浓度不低于 10ng/μL，A260/280 数值范围在 1.7-2.1，凝胶电泳结果能看到完整条带。

4.2 核酸质量检测

4.2.1 琼脂糖凝胶电泳

对提取的基因组 DNA 进行琼脂糖电泳检测。凝胶成像结果表明有完整的基因组条带，且无其他杂质的情况下判定为合格。

琼脂糖凝胶配置方法：

(1) 常用琼脂糖凝胶分别为 0.5%，1%和 2%的琼脂糖凝胶，凝胶浓度选择主要取决于目的片段的大小和电泳时间。

(2) 以制备 1%琼脂糖凝胶（大胶用 100mL，小胶用 70mL）为例：称取 1g（0.7g）琼脂糖置于锥形瓶中，加入 100 mL（70mL）1×TAE，瓶口倒扣小烧杯。微波炉加热（1 分钟）煮沸 2-3 次至琼脂糖全部融化，摇匀，即成 1.0%琼脂糖凝胶液。

注：2%琼脂糖凝胶，以上述体系为例，即加入 2g（1.4g）琼脂糖及 100mL（70mL）1×TAE。

(3) 胶板制备：取电泳槽内的有机玻璃内槽（制胶槽）洗干净，晾干，放入制胶玻璃板。取透明胶带将玻璃板与内槽两端边缘封好，形成模子。将内槽置于水平位置，并在固定位置放好梳子。将冷却至 65℃左右（戴手套触摸瓶外侧时温热不烫手）的琼脂糖凝胶液混匀小心地倒入内槽玻璃板上，使胶液缓慢展开,直到整个玻璃板表面形成均匀胶层。

(4) 室温下，静置直至凝胶完全凝固，垂直轻拔梳子，取下胶带，将凝胶及内槽放入电泳槽中。添加 1×TAE 电泳缓冲液至没过胶板为止。

(5) 胶块摆放应保证每个泳道平行于电泳场，保证 DNA 条带在凝胶中垂直移动，加样后应调整好凝胶及托槽的位置。

(6) 凝胶成像时，摆正胶块，拍照。

4.2.2 浓度和纯度定量

使用 NanoDrop™ 完成核酸浓度以及 A260/280 比例的测定，用于鉴定核酸的浓度和纯度。浓度大于 20 ng μ L⁻¹，A260/280 纯度值介于 1.8 - 2.0 之间判定为合格样本。

(1) 测量前必须将样本混匀（涡旋 5 秒钟）。

(2) 检测后立即使用拭镜纸擦拭机器接头，先取一张将上下机器接头部的液体吸走，再将此拭镜纸吸附过样品的面反折到内部，折迭四次后以单方向多次擦拭台面（至少 5 次）。

(3) 同一滴液体只能做一次检测，欲重复定量同一样品，应擦拭掉前一滴液体后，添加新液体。

(4) 核酸样品可使用 1~2 μ L 做测量，推荐使用 2 μ L 移液器，以避免体积不足无法准确测定核酸含量。

(5) 不可使用任何含有腐蚀性溶液的样品用于测量，仅可用无腐蚀性的液体溶解 DNA 并进行测定。

(6) 大批量样本测定时，每 50 个样本需进行一次纯水重置归零。

4.3 细菌、真菌、古菌和碳氮磷功能基因的基因片段 PCR 扩增

细菌、真菌、古菌和碳氮磷功能基因的 PCR 反应体系一致，所不同的只是使用的引物序列以及对应的 PCR 循环过程，具体如下表 1：

	引物名称	引物序列 (5'-3')	扩增程序	参考文献
细菌	515F	GTGCCAGCMGCCG CGG	95 °C for 2 min, 35 cycles of 20 s at 94 °C, 40 s at 55 °C and 1 min at 72 °C, and a final 10-min extension at 72 °C	Tamaki et al., 2011
	907R	CCGTCAATTCMTTT RAGTTT		
真菌	ITS1-173 7F	GGAAGTAAAAGTCG TAACAAGG	95 °C for 3 min, 35 cycles of 30 s at 95 °C, 30 s at 59.3 °C, and 45 s at 72 °C and a final 10-min extension at 72 °C	Degnan et al., 2012
	ITS2-204 3R	GCTGCGTTCTTCATC GATGC		
古菌	519 F	CAGCCGCCGCGGTA A	96 °C for 4 min, 35 cycles of 30 s at 94 °C, 40 s at 57 °C, and 45 s at 72 °C and a final 10-min extension at 72 °C	Coolen et al., 2004
	915 R	GTGCTCCCCGCCA ATTCCT		
碳固定 (CbbL)	K2f	ACCA[C/T]CAAGCC[G/C]AAGCT[C/G]GG	95 °C for 5 min, 35 cycles of 45 s at 95 °C, 45 s at 62 °C and 90 s at 72 °C, and a final 20-min extension at 72 °C.	Tolli et al., 2005
	V2f	GCCTTC[G/C]AGCTT GCC[G/C]ACC[G/A]		
固氮菌 (<i>nifH</i> 基 因)	PolF	TGCGAYCCSAARGC BGACTC	94 °C for 15 min, 32 cycles of 60 s at 94 °C, 60 s at 55 °C and 60 s at 72 °C, and a final 10-min extension at 72 °C.	Poly et al., 2001
	AQER	GACGATGTAGATYT CCTG		
丛植菌 根菌	AMV4	AAGCTCGTAGTTGA	94 °C for 15 min, 32 cycles of 60 s at 94 °C, 60 s at 55 °C and 60 s at 72 °C, and a final 10-min extension at 72 °C.	Lumini et al, 2010
	SNF-F	ATTTCG		
	AMDGR -R	CCCAACTATCCCTAT TAATCAT		

在生物安全柜中，在无菌 50 μ L 管中按照以下体积混合 PCR 体系：

试剂	体积 (μ L)
10 \times PCR Buffer	1.5
dNTPs (2.5mM each)	1.2
上游引物(10nM)	0.15
下游引物(10nM)	0.15
HS Taq (5U/ l)	0.075
无菌水	10.425
总计	13.5

每个样本 PCR 进行 3 个重复，将同一样本的 PCR 产物混合后用 2%琼脂糖凝胶电泳检测，使用 AxyPrepDNA 凝胶回收试剂盒（AXYGEN 公司）切胶回收目的片段，Tris_HCl 洗脱；而后 2%琼脂糖电泳检测回收片段大小，并检测 PCR 产物在 230、260 和 280nm 处的吸光值，保证 260/280 值 1.8-2.0，260/230 值 2.0-2.2.

4.4 文库建库及高通量测序

使用 Illumina® DNA Prep, (M) Tagmentation 建库试剂盒按照 Amplify Tagmented DNA 的建库流程对 PCR 产物进行建库,使用 Advanced Analytical Fragment Analyzer with the HS-NGS High Sensitivity 474 kit 或者 Agilent 2100 Bioanalyzer with a High Sensitivity DNA kit 对建好的库进行质量检测,保证最大吸收峰在目标片段大小。检测合格后使用 Illumina NovaSeq 6000 System 平台对构建的扩增子文库进行 PE250 测序。

4.5 序列生物信息分析

原始数据为 FASTQ 格式。使用 Trimmomatic [7] 软件对原始双端序列进行去杂。去杂参数为:检测并截去模糊碱基 N; 并采用滑窗法检查平均碱基质量,当质量低于 20 时,截取前面高质序列。去杂后的双端序列利用 FLASH [8] 软件进行。拼接参数为:最小的 overlap 为 10 bp、最大的 Overlap 为 200 bp、最大错配率为 20 %。

为保证结果的准确性,可进行精准去杂,去除含有模糊碱基 (ambiguous)、单碱基高重复区 (homologous) 的序列以及长度过短的序列。精准去杂的参数为:去掉含有 N 碱基的序列,保留碱基质量分数 Q20 达到至少 75 % 的序列。同时,利用 UCHIME 检测并去除序列中的嵌合体序列。

测序数据进行预处理生成优质序列之后,采用 Vsearch [9] 软件,根据序列的相似性,将序列归为多个 OTU。参数为序列相似度大于或等于 97 % 被归为一个 OTU 单元。

使用 QIIME [10] 软件包的挑选出各个 OTU 的代表序列,并将所有代表序列与数据库进行比对注释。16S 使用 Greengenes 或者 Silva (version123) 数据库比对,18S 使用 Silva (version123) 数据库比对,物种比对注释使用 RDP classifier [11] 软件,保留置信区间大于 0.7 的注释结果。ITS 使用 Unite 数据库比对。物种比对注释使用 blast [12] 软件。

4.6 OTU 分类

使用 Vsearch(version 2.4.2)软件,对质控得到的优质序列 valid tags 按照 97% 的相似度进行 OTU 分类,并选取每个 OTU 中丰度最大的序列作为该 OTU 的代表序列,采用 RDP classifier Naive Bayesian 分类算法对代表序列与数据库进行比对注释,得到 OTU 的注释信息,根据每个 OTU 在各个样本中包含的序列数,构建 OTU 在各个样本中的丰度矩阵文件,根据序列比对采用 pynast (v0.1)软件对 OTUs 代表序列进行系统进化关系的构建,获得系统发育树文件,按照最小深度对所有样本随机抽取,得到抽齐后的 OTU 表格。

4.7 OTU 序列挑选及注释

OTU 分类后,对 OTU 种类、OTU 注释信息及代表序列情况记性统计。分别对各个样

本中分类到该 OTU 的 tags 数进行统计, 可以获得各个 OTU 在每个样本中的丰度情况。

$$\text{Relative abundance (\%)} = \text{Isi} / \sum \text{Nsi} \times 100$$

Isi=样本中单个 OTU 检测数量

$\sum \text{Nsi}$ =样本中所有物种 OTU 检测总数量

4.8 群落结构分布

对样本在分类学水平门 (L2)、纲 (L3)、目 (L4)、科 (L5)、属 (L6)、种 (L7) 等各个不同的分类层级, 进行注释以及汇总, 并以表格的形式进行展现丰度结果。

4.9 Alpha 多样性指数计算统计

为了进行样本多样性之间的比较, 在分析前需要统一抽样深度, 以矫正测序深度不同引起的多样性差异。在该统一深度下计算不同样本的多样性指数, 并汇总表格。

4.9.1 Observed_species: 直接观测到的 OTU 个数。

4.9.2 Chao1: 用于估计样本中物种 Richness 总数, 数值越大代表物种越多。

$$S_{chao1} = S_{obs} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2(n_2 + 1)}$$

式中, S_{chao1} = 估计的 OTU 数;

S_{obs} = 实际观测到的 OTU 数;

n_1 = 只含有一条序列的 OTU 数目 (如 "singletons");

n_2 = 只含有两条序列的 OTU 数目 (如 "doubletons")

4.9.3 Shannon: 用来估算样本中微生物的多样性指数之一。它与 Simpson 多样性指数均为常用的反映 alpha 多样性的指数。Shannon 值越大, 说明群落多样性越高。

$$H_{shannon} = - \sum_{i=1}^{S_{obs}} \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

式中, S_{obs} = 实际观测到的 OTU 数目;

n_i = 第 i 个 OTU 所含的序列数;

N = 所有的序列数。

4.9.4 Evenness: 物种均匀度是指某一群落或生境中全部物种个体数目的分配状况, 其反映了各物种个体数目分配的均匀程度。可以用基于 Shannon-Wiener 指数计算物种多样性, 物种均匀度的计算公式为:

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

式中, S =群落内的物种数,

H' =Shannon-Wiener 多样性指数。

4.10 Alpha 多样性指数差异分析

基于各样本的多样性指数，可以检验组间样本的 Alpha 多样性是否存在显著差异。基于 Wilcoxon 秩和检验（两组样本）或 Kruskal-Wallis 秩和检验（三组或三组以上样本）对组间多样性指数进行差异分析，以 $p.value < 0.05$ 作为差异显著性筛选阈值，并使用 Bonferroni 方法对 $p.value$ 进行多重假设检验校正（ fdr ），用以评估组间物种多样性是否存在显著差异。

4.11 Beta 多样性分析

4.11.1 NMDS 分析

非度量多维尺度分析（NMDS, nonmetric multidimensional scaling）是基于 Bray-Curtis 矩阵对样本进行排序，其区别在于 NMDS 不再是特征根排序技术，也不再以排序轴承载更多的方差为目的，因此 NMDS 排序图可以任意旋转、中心化和倒置。NMDS 分析在多维空间内构建对象的初始结构，并用迭代程序不断地调整对象位置，目标是尽可能的最小化应力函数（stress function，取值 0-1），应力函数是排序空间内对象结果与原始距离矩阵之间相异程度的度量。NMDS 及其可视化展现使用 R 语言环境 `vegan` 包 (<https://www.rdocumentation.org/packages/vegan/versions/2.4-2>)。

4.10.2 PCA 分析

PCA 分析(Principal Component Analysis)，即主成分分析，分析基于 Bray-Curtis 距离，常用于数据降维，同时保持数据集中对方差贡献最大的特征，从而有效地找出数据中最“主要”的元素和结构，去除噪音和冗余，揭示隐藏在复杂数据背后的简单结构，即在低维空间尽可能多地展示数据的主要趋势特征。PCA 基于 OTU 丰度表，运用方差分解，将样本间的差异反映在二维坐标图上，坐标轴为能够最大程度解释方差的两个特征根，样本组成越相似在 PCA 图中越聚集，而不同组的样本可能表现出分散分布。PCA 及其可视化展现使用 R 语言环境 `vegan` 包 (<https://www.rdocumentation.org/packages/vegan/versions/2.4-2>)。

参考文献:

- [1] Tamaki, H. et al. Analysis of 16S rRNA amplicon sequencing options on the Roche/454 next-generation titanium sequencing platform. PLoS One. 6, e25263 (2011).
- [2] Degnan, P. H. & Ochman, H. Illumina-based analysis of microbial community diversity. ISME. J. 6, 183-198 (2012).
- [3] Coolen, M.J.L., Hopmans, E.C., Rijpstra, W.I.C., Muyzer, G., Schouten, S., Volkman, J.K., 2004. Evolution of the methane cycle in Ace Lake (Antarctica) during the Holocene:

response of methanogens and methanotrophs to environmental change. *Organic Geochemistry* 35 (10), 1151–1167.

[4] Tolli J, King G M. Diversity and structure of bacterial chemolithotrophic communities in pine forest and agroecosystem soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(12):8411-8418.

[5] Poly F, Monrozier L J, Bally R. Improvement in the RFLP procedure for studying the diversity of *nifH* genes in communities of nitrogen fixers in soil. *Research in Microbiology*, 2001, 152(1): 95-103.

[6] Lumini E, Orgiazzi A, Borriello R, et al. Disclosing arbuscular mycorrhizal fungal biodiversity in soil through a land-use gradient using a pyrosequencing approach. *Environmental Microbiology*, 2010, 12(8): 2165-2179.

[7] Bolger Anthony M, Lohse Marc, Usadel Bjoern. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data. *Bioinformatics*, 2014, 30: 2114-20.

[8] Reyon Deepak, Tsai Shengdar Q, Khayter Cyd et al. FLASH assembly of TALENs for high-throughput genome editing. *Nat. Biotechnol.*, 2012, 30: 460-5.

[9] Caporaso J Gregory, Kuczynski Justin, Stombaugh Jesse et al. QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nat. Methods*, 2010, 7: 335-6. [4] Rognes Torbjørn, Flouri Tomáš, Nichols Ben et al. VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. *Peer J*, 2016, 4: e2584.

[10] Wang Qiong, Garrity George M, Tiedje James M et al. Naive Bayesian classifier for rapid assignment of rRNA sequences into the new bacterial taxonomy. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2007, 73: 5261-7.

[11] Lobo. Basic Local Alignment Search Tool (BLAST). *J Mol. Biol.*, 2008, 215(3):403-410.

第 10 章 土壤优势功能微生物分离培养及鉴定方法

1. 意义、范围与质控

为调查不同类型土壤典型微生物菌种功能潜力,需分离培养典型的的不同功能微生物菌种。根据微生物的功能特质,进行选择性的筛选、分离和保存。本方法适用于分离培养土壤中普适性功能菌株纤维素分解菌、硝化细菌、亚硝化细菌、固氮细菌、解磷菌、解钾菌固氮菌,以及土壤典型致病菌青枯菌、尖孢镰刀菌。质控过程包括元数据和二代测序数据的一致性检查、读取数据质量评估,接头序列及末端序列过滤和筛选等参照 FastQC 指导要求执行。

2. 材料试剂

2.1 土壤

本方法所使用土壤为刚从样地中采集或采集后 4℃ 储存的土壤。

2.2 试剂

2.2.1 硫酸铵((NH₄)₂SO₄, SIGMA, catalog number: A4418-100G)

2.2.2 氯化钠(NaCl, SIGMA, catalog number: S7653-250G)

2.2.3 硫酸钾(K₂SO₄, SIGMA, catalog number: 223492-500G)

2.2.4 磷酸氢二钾(K₂HPO₄, SIGMA, catalog number: 1051041000-250G)

2.2.5 硫酸镁(MgSO₄, SIGMA, catalog number: M7506-500G)

2.2.6 氯化钙(CaCl₂, SIGMA, catalog number: C4901-100G)

2.2.7 α-萘胺(C₁₀H₇NH₂, SIGMA, catalog number: 34390-250MG)

2.2.8 葡萄糖(C₆H₁₂O₆, SIGMA, catalog number: D9434-250G)

2.2.9 羧甲基纤维素钠盐(C₆H₇ O₂ (OH)₂ OCH₂ COONa, SIGMA, catalog number: C5013-500G)

2.2.10 明胶(SIGMA, catalog number: 70151-500G)

2.2.11 乙醇(CH₃ CH₂ OH, SIGMA, catalog number: E7023-500ML)

2.2.12 亚硝酸钠(NaNO₂, SIGMA, catalog number: S2252-500G)

2.2.13 碳酸钠(Na₂CO₃, SIGMA, catalog number: 222321-500G)

2.2.14 磺胺酸(4-(H₂N)C₆H₄SO₃H, SIGMA, catalog number: 121573-250G)

2.2.15 乙酸(CH₃CO₂H, SIGMA, catalog number: 695092-100ML)

2.2.16 甘露醇(C₆H₁₄O₆, SIGMA, catalog number: PHR1007-1G)

2.2.17 磷酸二氢钾(KH₂PO₄, SIGMA, catalog number: PHR1330-5G)

- 2.2.18 磷酸钙($\text{Ca}_3\text{O}_8\text{P}_2$, SIGMA, catalog number: 21218-1KG)
- 2.2.19 氯化镁(MgCl_2 , SIGMA, catalog number: M8266-100G)
- 2.2.20 氯化钾(KCl, SIGMA, catalog number: P9541-500G)
- 2.2.21 二苯胺($(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$, SIGMA, catalog number: 242586-500G)
- 2.2.22 浓硫酸(H_2SO_4 , SIGMA, catalog number: 339741-500ML)
- 2.2.23 亚硫酸氢钠(NaHSO_3 , SIGMA, catalog number: 243973-500G)
- 2.2.24 亚硫酸钠(Na_2SO_3 , SIGMA, catalog number: 239321-500G)
- 2.2.25 1,2,4-氨基萘酚磺酸($\text{H}_2\text{NC}_{10}\text{H}_5(\text{OH})\text{SO}_3\text{H}$, SIGMA, catalog number: 398969-25G)
- 2.2.26 氯化铁(FeCl_3 , SIGMA, catalog number: 157740-100G)
- 2.2.27 碳酸钙(CaCO_3 , SIGMA, catalog number: 239216-500G)
- 2.2.28 钾长石粉(SIGMA, catalog number: NIST70B-40G)
- 2.2.29 粘菌素硫酸盐(SIGMA, catalog number: C4461-100MG)
- 2.2.30 放线菌酮($\text{C}_{15}\text{H}_{23}\text{NO}_4$, 上海吉至生化科技有限公司, catalog number: A49960-1G)
- 2.2.31 2,3,5-氯化三苯基四氮唑($\text{C}_{19}\text{H}_{15}\text{ClN}_4$, SIGMA, catalog number: T8877-5G)
- 2.2.32 牛肉膏(MACKLIN, catalog number: B885959-500G)
- 2.2.33 蛋白胨(SIGMA, catalog number: 70175-500G)
- 2.2.34 青霉素($\text{C}_{16}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}_4$, SIGMA, catalog number: 61305-25MG)
- 2.2.35 氯霉素($\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{Cl}_2\text{N}_2\text{O}_5$, SIGMA, catalog number: R4408-10ML)
- 2.2.36 结晶紫($\text{C}_{25}\text{H}_{30}\text{N}_3\text{Cl}$, SIGMA, catalog number: C0775-25G)
- 2.2.37 杆菌肽($\text{C}_{66}\text{H}_{103}\text{N}_{17}\text{O}_{16}\text{S}$, SIGMA, catalog number: 08382-50DISCS-F)
- 2.2.38 L-天门冬酰胺($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_3$, MACKLIN, catalog number: L800638-10g)
- 2.2.39 乙二胺四乙酸铁钠($\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{NaFeO}_8$, SIGMA, catalog number: E6760-100G)
- 2.2.40 D-半乳糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, SIGMA, catalog number: G0750-10G)
- 2.2.41 五氯硝基苯($\text{C}_6\text{Cl}_5\text{NO}_2$, SIGMA, catalog number: 45653-250MG)
- 2.2.42 牛胆汁(SIGMA, catalog number: T6260-100MG)
- 2.2.43 四硼酸钠($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, SIGMA, catalog number: 221732-500G)
- 2.2.44 硫酸链霉素(MACKLIN, catalog number: S6153-10g)
- 2.2.45 磷酸(H_3PO_4 , SIGMA, catalog number: 345245-500ML)
- 2.2.46 甘油 (SIGMA, catalog number: G7893)
- 2.2.47 琼脂粉 (SIGMA, catalog number: A7921-100G)

2.2.48 细菌基因组 DNA 提取试剂盒 (Solarbio, catalog number: D2100)
2.2.49 琼脂糖(Biowest, catalog number: G-10)
2.2.50 PCR 引物 (Life Technologies)
2.2.51 PCR 反应体系试剂 (TAKARA, catalog number: B110006)
2.2.52 胶回收试剂盒 (Wizard 83 ® SV Gel and PCR Clean-up System, Promega, catalog number: A9282)

2.2.53 三羟甲基氨基甲烷 (Tris, Vetec, catalog number: V900483-500G)

2.2.54 上样缓冲液 (TAKARA, catalog number: 9156)

2.3 耗材

2.3.1 镊子 (Jinzhong, catalog number: JD5020)

2.3.2 剪刀 (Jinzhong, catalog number: J21130)

2.3.3 切胶刀片 (Jinzhong, catalog number: J11010)

2.3.4 滤纸 (SEP, catalog number: DXLZ11F)

2.3.5 50-mL 离心管 (BD Falcon, catalog number: 352070)

2.3.6 微量离心管 (2-, 5-mL; Eppendorf, catalog number: 022363352, 30119401)

2.3.7 塑料研磨棒 (Huaaobio, catalog number: SLXMB-1.5)

2.3.8 13-cm 方型培养皿 (Axygen, catalog number: ASJ-17-9142)

2.3.9 60-mm 培养皿 (Corning, catalog number: 430166)

2.3.10 96 孔 PCR 板 (Jet Keen Biotechnology, catalog number: PC-0200-9B)

2.3.11 12 通道移液器 (10, 100, 300 μ L; Eppendorf, catalog numbers: 3122000027, 3122000043, 3122000060)

2.3.12 单道移液器 (10, 20, 100, 200, 1000 μ L; Eppendorf, catalog numbers: 3120000020, 3120000038, 3120000046, 3120000054, 3120000062)

2.3.13 移液器吸头 (nuclease-free, 10, 200, 1000 μ L; Axygen, catalog numbers: T-300, T-200-Y, T-1000-B)

2.3.14 Parafilm 封口膜 (Bemis, catalog number: PM-996)

2.3.15 96 孔 PCR 板封板膜 (Axygen, catalog number: PCR-TS)

2.3.16 称量纸(Dingguo, catalog number: PP-P-002)

2.3.17 一次性乳胶手套(Dingguo, catalog number: GV-RST-M)

2.3.18 试管(Greiner, catalog number: 16910)

2.4 仪器

- 2.4.1 生物安全柜 (Thermo Fisher Scientific, catalog number: BSC-1000IIA2)
- 2.4.2 旋涡混合器 (TIAGEN BIOTECH, catalog number: OSE-VS-01)
- 2.4.3 电子天平 (Mettler Toledo, catalog number: AL104)
- 2.4.4 平板摇床 (Kylin-Bell Lab Instruments, catalog number: TS-2)
- 2.4.5 微孔板离心机 (TIANGEN BIOTECH, catalog number: OSE-MP26)
- 2.4.6 PCR 仪 (T100TM 99 ; BIO-RAD, model: 1861096)
- 2.4.7 电泳仪 (JUNYI-DONGFANG, catalog number: JY300HC)
- 2.4.8 凝胶成像仪 (BIO-RAD, model: Universal Hood II)
- 2.4.9 酶标仪 (Molecular Devices® 102 , model: PARADIGM)
- 2.4.10 紫外分光光度计 (Thermo Fisher Scientific, model: NanoDrop ND-2000)
- 2.4.11 磁力架 (Thermo Fisher Scientific, catalog number: 12321D)
- 2.4.12 高速微型离心机 (Thermo Fisher Scientific, model: Heraeus Pico 17)
- 2.4.13 遗传分析仪 (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA, model: 3730XL)
- 2.4.14 -80 °C 超低温冰箱 (Thermo Fisher Scientific, model: 907)
- 2.4.15 -20 °C 冰箱 (Haier, catalog number: DW-40L92)

3. 功能细菌分离培养实验步骤

3.1 土悬液制备

3.1.1 样地里采集土壤样品, 装在无菌 50mL 离心管或无菌自封袋中(4°C 储存)尽快转移至实验室进行后续操作;

3.1.2 利用灭菌镊子、药匙等去除石子、植物根系、无法粉碎的大块土壤等杂质, 在电子天平上称取 5g 土壤, 放置在灭菌的 250mL 三角烧瓶中, 加入 100mL 灭菌 10mM MgCl₂, 封口膜封口, 在平板摇床上常温 180 rpm 摇 30 分钟;

3.1.3 放置在常温静置 15 分钟;

3.1.4 将上层悬浊液转移至无菌 50mL 离心管, 注意不能带有下层土壤;

3.1.5 利用分光光度计测量土壤悬液 OD₆₀₀ 值, 加入灭菌 10mM MgCl₂, 调整至 OD₆₀₀=0.5, 静置 30 分钟。

3.2 功能细菌的分离培养及纯化

3.2.1 纤维分解菌

(1) 制备纤维素培养基: 称取纤维素 2.0 g, 明胶 2.0 g, MgSO₄ 0.25 g, KH₂PO₄ 0.5 g 加

入到 1000mL 蒸馏水，将 pH 调节至 6.8-7.2。自然固体培养基加 1.5% 琼脂。将 5mL 培养基分装于试管中，管中贴于内壁放一滤纸条，一半浸入培养液内，一半露于空气中，121℃ 下灭菌 30min。

(2) 滤纸条是以普通的滤纸剪成 5cm×0.7cm 的纸条。如呈酸性反应，先以碱性溶液(在自来水中加入 1 或 2 滴浓碱液即可)，浸泡 4~5h，取出用自来水冲洗，烘干使用。

(3) 选取 5 个稀释度(10^{-5} ~ 10^{-1})的土壤悬液接种，每管接土壤悬液 1mL，每个稀释度的悬液重复 4 管。另取 4 支培养基不接种悬液而接种无菌水作对照。在接入土壤稀释液时，需经过露于液面的滤纸条流入培养基中。于 28℃ 条件下培养 14 天，检查各试管中滤纸条上细菌菌落的出现及滤纸变薄、断裂、色素产生情况。记录测试结果。

(4) 对纤维素分解细菌进一步分离与纯化，吸取上述不同稀释度的培养物 1mL 加入新鲜的液体纤维素培养基中进行富集培养，必要时可反复两次进行富集培养。从各富集培养物中取 80μL 的液体涂布到固体纤维素培养基中。最后在 28℃ 培养箱中培养以长出菌落，根据形态学差异，挑选不同的单克隆子，随后将不同的单克隆子分别接种在纤维素固体培养基再进行划线纯化（可进行多次的划线纯化工作），最后进行下一步的菌种保存和 DNA 提取工作。

3.2.2 硝化细菌

(1) 制备硝化菌培养基：称取 NaNO_2 1g， $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.03g， $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.01g， K_2HPO_4 0.75g， Na_2CO_3 1g， NaH_2PO_4 0.25g 加入到 1000mL 蒸馏水，自然固体培养基加 1.5% 琼脂。将培养基在普通滤纸上过滤，装入试管，每管装 5mL，121℃ 下灭菌 30min。

(2) 配制格利斯试剂：格利斯试剂溶液 I：称取碘胺酸 0.5g，溶于 150mL 醋酸溶液(30%) 中，保存于棕色瓶中。溶液 II：称取 α -萘胺 0.5g，加入 50mL 蒸馏水中，煮沸后，缓缓加入 30% 的醋酸溶液 150mL 中，保存于棕色瓶中。二苯胺试剂：将 0.5g 无色二苯胺(Diphenylamine) 溶于 20mL 蒸馏水及 100mL 浓硫酸中。

(3) 选取 5 个稀释度（如 10^{-6} ~ 10^{-2} ）的土壤悬液，每一稀释度的悬液接种 4 支试管（即 4 次重复），每管接种 1mL。另取 4 支培养基不接种悬液而接种无菌水作对照。于 28℃ 条件下培养 14 天后，测定硝酸根的产生。吸取培养液 5 滴于白瓷板孔中，先加入 1-2 滴格利斯试剂，如不呈红色，则表示亚硝酸已经完全消失。此时，另吸取培养液 5 滴于白瓷板孔中，加入 1 或 2 滴二苯胺试剂，如呈蓝色，则表示亚硝酸已被氧化为硝酸 (NO_3^-)，说明有硝化细菌的存在。记录测试结果。

(4) 对硝化菌进一步分离与纯化，吸取上述不同稀释度的培养物 1mL 加入新鲜的液体硝化菌培养基中进行富集培养，必要时可反复两次进行富集培养。从各富集培养物中取 80μL

的液体涂布到硝化菌固体培养基中。最后在 28℃ 培养箱中培养以长出菌落，根据形态学差异，挑选不同的单克隆子，随后将不同的单克隆子分别接种在硝化菌固体培养基再进行划线纯化（可进行多次的划线纯化工作），最后进行下一步的菌种保存和 DNA 提取工作。

3.2.3 亚硝化细菌培养基

(1) 制备亚硝化菌培养基：称取 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.5g, NaCl 0.3g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.03g, K_2HPO_4 1g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.03g 和 CaCl_2 7.5g 加入到 1000mL 蒸馏水，自然固体培养基加 1.5% 琼脂。将培养基在普通滤纸上过滤，装入试管，每管装 5mL，121℃ 下灭菌 30min。

(2) 配制格利斯试剂：格利斯试剂由两种溶液组成：A 液：将 0.5g 对氨基苯磺酸加到 150mL 的 20% 稀乙酸溶液中。B 液：将 1g α -萘胺加到 20mL 蒸馏水和 150mL 20% 的稀乙酸溶液中。

(3) 选取 6 个稀释度（如 $10^{-7} \sim 10^{-2}$ ）的土壤悬液，每一稀释度的悬液接种 4 支试管（即 4 次重复），每管接种 1mL。另取 4 支培养基不接种悬液而接种无菌水作对照。于 28℃ 条件下培养 14 天后，吸取培养液 5 滴于白瓷板孔中，加入 1 或 2 滴格利斯试剂，如有亚硝酸 (NO_2^-) 存在，则呈红色，表示有亚硝酸细菌存在。记录测试结果。

(4) 对亚硝化菌进一步分离与纯化，吸取上述不同稀释度的培养物 1mL 加入新鲜的液体亚硝化菌培养基中进行富集培养，必要时可反复两次进行富集培养。从各富集培养物中 80 μ L 的液体涂布到亚硝化菌固体培养基中。最后在 28℃ 培养箱中培养以长出菌落，根据形态学差异，挑选不同的单克隆子，随后将不同的单克隆子分别接种在亚硝化菌固体培养基再进行划线纯化（可进行多次的划线纯化工作），最后进行下一步的菌种保存和 DNA 提取工作。

3.2.4 固氮细菌

(1) 制备酵母浸出物-甘露醇(YEM)培养基：称取甘露醇 10.00 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.20 g, NaCl 0.10 g, K_2HPO_4 0.50 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.20 g, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.01 g, 酵母提取物 1.00 g 加入到 1000mL 蒸馏水 (pH=6.7-7)，自然固体培养基加 1.5% 琼脂。将 5mL 培养基分装于试管中，管中贴于内壁放一滤纸条，一半浸入培养基内，一半露于空气中，121℃ 下灭菌 30min。

(2) 选取 4 个稀释度(如 $10^{-4} \sim 10^{-1}$)的土壤悬液，每一稀释度的悬液接种 4 支试管(即 4 次重复)，每管接种 1mL。另取 4 支培养基不接种悬液而接种无菌水作对照。于 28℃ 条件下培养 7 天后，如滤纸上出现褐色菌落，则表示有自生固氮菌的生长。记录测试结果。

(3) 对固氮菌进一步分离与纯化，吸取上述不同稀释度的培养物 1mL 加入新鲜的液体酵母浸出物-甘露醇培养基中进行富集培养，必要时可反复两次进行富集培养。从各富集培养物中 80 μ L 的液体涂布到酵母浸出物-甘露醇固体培养基中，置于 28℃ 温箱中培养 7 天后根

据形态学差异, 挑选不同的单克隆子, 随后将不同的单克隆子分别接种在酵母浸出物-甘露醇固体培养基再进行划线纯化(可进行多次的划线纯化工作), 最后进行下一步的菌种保存和 DNA 提取工作。

3.2.5 解磷菌

(1) 制备磷酸盐培养基(NBRIP), 称取葡萄糖 10 g, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 5g, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.25g, KCl 0.2g, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1g。在高压灭菌前将培养基的 pH 调至 7.0 将 5mL 培养基分装于试管中, 121℃下灭菌 30min。

(2) 配制 4%钼酸铵试剂。称取化学纯钼酸铵结晶 18g, 溶解在 420mL 蒸馏水中, 然后再渐渐向钼酸铵水中加入 30mL 浓硫酸, 充分振荡, 使结晶完全溶解后, 保存在棕色玻璃瓶中待用。

(3) 配制还原剂。称取化学纯亚硫酸氢钠(NaHSO_3)15g, 溶于 250mL 蒸馏水中, 加入亚硫酸钠(Na_2SO_3) 1.5g 和 1, 2, 4-氨基萘酚磺酸[$\text{C}_{10}\text{H}_5(\text{OH})(\text{NH}_2)(\text{SO}_3\text{H})$]使之完全溶解后, 用蒸馏水稀释成 500mL。如溶液浑浊, 可用滤纸过滤, 保存于棕色瓶中使用。

(4) 用 4 个稀释度($10^{-7} \sim 10^{-4}$)的土壤悬液接种, 每个稀释度的悬液重复 4 管, 每管接土壤悬液 1.0mL, 另取 4 支培养基不接种悬液而接种无菌水作对照。于 28℃条件下培养 5 天后。取 50%试管中液体加 4%钼酸铵试剂 1mL, 在沸水浴中加热 2min。取出后加入还原剂 0.5mL, 有磷酸时呈蓝色反应。记录测试结果。

(5) 对解磷菌进一步分离与纯化, 可吸取上述 1mL 培养物加入新鲜的液体 NBRIP 培养基中进行富集培养, 必要时可反复两次进行富集培养。从各富集培养物中取 80 μL 的液体涂布到 NBRIP 固体培养基中, 置于 28℃温箱中培养 5 天后根据形态学差异, 挑选不同的单克隆子, 随后将不同的单克隆子分别接种在 NBRIP 固体培养基再进行划线纯化(可进行多次的划线纯化工作), 最后进行下一步的菌种保存和 DNA 提取工作。

3.2.6 解钾菌

(1) 制备改良型固体 Aleksandrov 培养基: 称取 5g 葡萄糖, 0.05g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.05g FeCl_3 , 0.01g CaCO_3 , 0.2g CaPO_4 , 0.2g KAlSi_3O_8 , 15g 琼脂粉加入到 1000mL 蒸馏水。

(2) 将 2 个稀释度(10^{-4} 、 10^{-3})的土壤悬液 1mL 接种于灭菌的培养皿中, 然后倾入上述冷至 45℃左右的培养基约 12mL, 充分摇匀, 待冷却凝固后, 倒放于 28℃恒温箱中。培养 4 天后, 选择大型, 透明凸起如玻璃珠状, 十分黏着而有弹性的菌落即为硅酸盐细菌。

(3) 对解钾细菌进一步分离与纯化, 对上述菌落进行富集培养。从富集培养物中取 80 μL 的液体涂布到改良型固体 Aleksandrov 培养基中, 置于 28℃温箱中培养 4 天后根据形态学差

异, 挑选不同的单克隆子, 随后将不同的单克隆子分别接种在改良型固体 Aleksandrov 培养基再进行划线纯化 (可进行多次的划线纯化工作), 最后进行下一步的菌种保存和 DNA 提取工作。

3.2.7 青枯菌

(1) 制备青枯菌选择性培养基: 1、牛肉膏蛋白胨 (NA) 培养基: 牛肉膏 3 g, 蛋白胨 10 g, NaCl 5 g, 琼脂 20 g, 水 1000 mL, pH 7.0-7.2。2、青枯菌选择性培养基 (SMSA 培养基): 待 NA 培养基冷却至 60°C 以下时, 迅速加入无菌青霉素 1.5 mg (每 1000 mL 培养基加入量, 下同)、氯霉素 1.5 mg、结晶紫 1.5 mg、杆菌肽 7.5 mg、多粘菌素硫酸盐 15 mg、放线菌酮 15 mg、2,3,5-氯化三苯基四氮唑 (TTC) 15 mg。自然固体培养基加 1.5% 琼脂, 121°C 下灭菌 30min。

(2) 选取 6 个稀释度 (如 10^{-7} ~ 10^{-2}) 的土壤悬液, 吸取不同稀释度的土壤溶液各 80 μ L, 分别涂布于青枯菌 SMSA 固体培养基置于 28°C 培养箱中培养 3~7 天。待菌落长出后根据形态学差异, 挑选不同的单克隆子, 随后将不同的单克隆子分别接种在牛肉膏蛋白胨 (NA) 固体培养基再进行划线纯化 (可进行多次的划线纯化工作), 最后进行下一步的菌种保存和 DNA 提取工作。

3.2.8 尖孢镰刀菌

(1) 制备尖孢镰刀菌的选择性培养基 (Komada 培养基), 称取 1.0 g K_2HPO_4 , 0.5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.5 g KCl, 0.01 g Fe-Na-EDTA, 2.0 g L-天门冬酰胺, 20 g D-半乳糖溶于约 300 mL 水中, 定容至 1000 mL。自然固体培养基加 1.5% 琼脂, 121°C 下灭菌 30min。待培养基冷却至 60°C 以下时, 迅速加入无菌 1.0 g 五氯硝基苯 (每 1000 mL 培养基加入量, 下同)、0.5g 牛胆汁、1 g $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ 、0.3 g 硫酸链霉素, 再用 10% 磷酸将 pH 调至 3.8-4.0, 然后倒平板备用。

(2) 选取 6 个稀释度 (如 10^{-7} ~ 10^{-2}) 的土壤悬液, 吸取不同稀释度的土壤溶液各 80 μ L, 分别涂布于尖孢镰刀菌选择性固体培养基置于 28°C 培养箱中培养 3~7 天。待菌落长出后, 通过形态观察, 找出不同的单菌落, 随后将不同的单菌落分别接种在尖孢镰刀菌选择性固体培养基上再进行划线纯化 (可进行多次的划线纯化工作), 最后进行下一步的菌种保存和 DNA 提取工作。

3.3 细菌保存-甘油保存法

3.3.1 将 2.2 中分离得到的纯菌株接种于其对应的液体培养基, 28°C, 180 rpm 摇床振荡培养至对数生长期 (OD₆₀₀=0.6-0.8)。

3.3.2 将 50%甘油（等体积蒸馏水加等体积甘油）、2mL 离心管/保藏管、枪头等试验用品于 121℃灭菌 20min。

3.3.3 无菌条件下将菌液与 50%浓度的甘油 1:1 等体积混合到保藏管中，最终甘油终浓度为 25%。做好所以分离出的纯菌株的标记。

3.3.4 将上述保藏管于-80℃冰箱保存。

4. 功能菌株的鉴定

4.1 DNA 提取

4.1.1 待提取 DNA 菌株的准备：将保藏的菌种接种到对应的液体培养基中(各菌株对应的液体培养基见 2.2 各功能细菌的分离培养及纯化)，28℃, 180 rpm 摇床振荡培养活化至细胞进入对数生长期($OD_{600}=0.8$)。

4.1.2 细菌基因组 DNA 提取试剂盒使用前先在漂洗液中加入无水乙醇根据不同规格的试剂盒加入相应体积。

4.1.3 取活化的菌悬液 1mL，12000rpm 离心 1min，尽量吸尽上清。

4.1.4 向细菌沉淀中加入 500 μ L 溶液 A，振荡至菌体充分悬浮。

4.1.5 向悬浮液中加入 20 μ L 的 RNase A (10mg/mL)，55℃放置 10min。

4.1.6 加入 20 μ L 的蛋白酶 K (10mg/mL)，充分混匀，55℃水浴消化，30min。消化期间可颠倒离心管混匀数次，12000 转离心 10min。将上清转移到一个新的离心管中。如有沉淀，可再次离心。

组分	规格
RNase A	1mL \times 2
蛋白酶 K	1mL \times 2
溶液 A	50mL
溶液 B	50mL
漂洗液	15mL \times 2
洗脱液	30mL
吸附柱	100 个
收集管	100 个

4.1.7 加入 500 μ L 溶液 B，充分混匀。如出现白色沉淀，于 55℃放置 5min，沉淀即会消失，不影响后续实验。如溶液未变清亮，说明样品消化不彻底，可能导致提取的 DNA 量少及不纯，还有可能导致上柱后堵柱子，请增加消化时间。

4.1.8 加入 500 μ L 无水乙醇，充分混匀，此时可能会出现絮状沉淀，不影响 DNA 的提取，可将溶液和絮状沉淀都加入吸附柱中，放置 2min (分两次加入，每次 700 μ L)。

4.1.9 12000rpm 离心 2min, 弃废液, 将吸附柱放入收集管中。

4.1.10 向吸附柱中加入 600 μ L 漂洗液(使用前请先检查是否已加入无水乙醇) 12000rpm 离心 1min, 弃废液, 将吸附柱放入收集管中。

4.1.11 向吸附柱中加入 600 μ L 漂洗液, 12000rpm 离心 1min, 弃废液, 将吸附柱放入收集管中。

4.1.12 12000rpm 离心 2min, 将吸附柱置于室温或 50 $^{\circ}$ C 温箱放置数分钟, 目的是将吸附柱中残余的漂洗液去除, 否则漂洗液中的乙醇会影响后续的实验如酶切、PCR 等。

4.1.13 将吸附柱放入一个干净的离心管中, 向吸附膜中央悬空滴加 50-200 μ L 经 65 $^{\circ}$ C 水浴预热的洗脱液, 室温放置 5min, 12000rpm 离心 2min。

4.1.14 离心所得洗脱液再加入吸附柱中, 室温放置 2min, 12000rpm 离心 2min, 即可得到高质量的基因组 DNA。

4.2 PCR 扩增

4.2.1 准备好用于 PCR 扩增的 DNA 模板, 做好各个模板的标记。

4.2.2 使用细菌鉴定通用引物 27F: AGAGTTTGATCMTGGCTCAG; 1492R: GGTTACCTTGTTACGACTT 进行扩增。

4.2.3 在生物安全柜中, 将以下 PCR 反应体系进行混合。

反应成分	体积 (μ L)
Taq PCR Mix(2X)	25
引物 27F	1
引物 1492R	1
DNA 模板	2
ddH ₂ O	21
总计	50

4.2.4 利用 PCR 仪根据以下反应条件进行 PCR 扩增。

步骤	温度 ($^{\circ}$ C)	时间	
预变性	95	2.5 min	1
变性	95	15 s	
退火	(T _m -5) $^{\circ}$	30 s	35 个循环
延伸	72	1 min	
最终延伸	72	10min	1
保存	4 $^{\circ}$ C	forever	1

4.2.5 获得扩增产物后, 将 3.0 μ L 的 PCR 产物, 3.0 μ L Marker 和阴性对照通过 2%琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 产物, 利用微量紫外分光光度计(NanoDrop ND-2000)测定扩增产物的浓

度。

4.2.6 根据 PCR 产物浓度进行等浓度混样，充分混匀后使用 1×TAE 浓度 2%的琼脂糖胶电泳纯化 PCR 产物，选择目标条带割胶，使用胶回收试剂盒回收目标条带，将回收的 PCR 产物进行测序鉴定。

4.3 序列分析及鉴定

4.3.1 使用遗传分析仪(Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)进行测序。

4.3.2 得到某菌株的测序结果(碱基序列)。

4.3.3 在美国国家生物技术信息中心(National Center for Biotechnology Information, NCBI) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)的 BLAST 的 GeneBank 中进行同源序列搜索。

4.3.4 从结果中选择同源性较高的菌株进行多序列比对，构建系统发育树，确定功能纯菌的生物分类学信息。

参考文献

- [1] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 第一版. 北京.: 科学出版社, 2008.
- [2] Gu Y, Wang X, Yang T, Friman VP, Geisen S, Wei Z, et al. Chemical structure predicts the effect of plant-derived low-molecular weight compounds on soil microbiome structure and pathogen suppression. *Funct Ecol* 2020; 34: 2158–2169.
- [3] Komada, H. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil. *Rev. PlantProt. Res.* 1975,8, 114–125
- [4] López AC, Alippi AM. Feasibility of using RFLP of PCR-amplified 16S rRNA gene(s) for rapid differentiation of isolates of aerobic spore-forming bacteria from honey. *J Microbiol Methods* 2019; 165: 105690.
- [5] Kim, M., Oh, H.S., Park, S.C., Chun, J. (2014). Towards a taxonomic coherence between average nucleotide identity and 16S rRNA gene sequence similarity for species demarcation of prokaryotes. *Int J Syst Evol Microbiol* 64: 346-351.

第 11 章 土壤宏基因组测序方法

1. 意义、范围与质控

为探明全国不同土壤中细菌、真菌、古菌、原生动物、显微藻类生物群体所有基因组功能潜力，需开展土壤生物宏基因组高通量测序。宏基因组质控过程包括元数据和测序数据的一致性检查、测序数据的质量检测、低质量测序序列的过滤及切除、接头序列及无关序列的剔除、宿主及污染序列的过滤、混合样本的数据分割等参照扩增子测序指导（见下文）要求执行。

2. 基因组第二代测序实验基本流程

土壤样品→DNA 抽提→核酸质检→DNA 片段化→样本质检→切胶回收→文库构建→数据质检。

3. 实验主要设备

表 1 主要设备清单（推荐型号请见表 18）

编号	设备名称	描述
1	PCR 仪	利用 PCR（Polymerase chain reaction，聚合酶链反应）技术对特定 DNA 扩增
2	离心机	用于分离液体与固体颗粒或液体与液体的混合物中各组分
3	电泳仪	用于将获得的 DNA 样品进行组分分析或单个组分提取
4	电泳槽	凝胶电泳系统的核心部分，用于盛放缓冲液和凝胶
5	磁力架	用于蛋白质和核酸等小体积样品的高效磁性分离
6	漩涡混合仪	用于多种样品混匀和漩涡振荡操作
7	移液器	用于定量转移液体
8	分光光度计	分析样品特定波长处或一定波长范围内光的吸收度

4. 实验操作流程模块

4.1 核酸提取

不同土壤 DNA 提取试剂盒方法略有差异，以具体试剂盒标准方法为主，本方法列举常规试剂盒提取及高盐碱土壤试剂盒提取，试剂盒信息详见表 19。

4.1.1 常规土壤 DNA 提取操作步骤

（1）直接添加 250mg 以内的待测土壤样品到裂解管中，然后添加 750 μ L 的裂解液到裂解管中，在涡旋仪上最大速下振荡 5 分钟以上混匀。（如果使用高频振荡器时间可以适当缩短）

- (2) 将裂解管放到离心机里，在 $\geq 10000\text{ g}$ 下离心 1 分钟。
- (3) 将上一步所得上清液 $400\mu\text{L}$ 加到 1 号过滤柱（试剂盒内备有耗材）中，并套在一个收集管里，在 8000 g 的离心力条件下离心 1 分钟。丢弃过滤柱。
- (4) 添加 $1200\mu\text{L}$ 的基因组 DNA 裂解液（试剂盒内备有试剂）到上一步的收集管中充分混匀。
- (5) 将步骤 4 获得的混合液吸取 $800\mu\text{L}$ 混合液加到 2 号过滤柱（试剂盒内备有耗材）中，在 10000 g 下离心 1 分钟，倒掉收集管中废液。
- (6) 重复进行上一步骤（步骤 5）的操作，尽量保证所有裂解液都进行过柱处理。
- (7) 将 2 号柱套在一个新的收集管内，添加 $200\mu\text{L}$ 的基因组 DNA 洗涤液 1（试剂盒内备有试剂）到 2 号柱中，在 $\geq 10000\text{ g}$ 条件下离心 1 分钟。
- (8) 添加 $500\mu\text{L}$ 的基因组 DNA 洗涤液 2（试剂盒内备有试剂）到 2 号柱中，在 $\geq 10000\text{ g}$ 下离心 1 分钟。
- (9) 将 2 号柱移至干净的 1.5mL 离心管中，添加 $\geq 50\mu\text{L}$ 的基因组 DNA 洗脱液到柱基质上（洗脱液事先在 $65\text{-}70^\circ\text{C}$ 水浴中预热效果更好），室温下放置 2-5 分钟，在 $\geq 10000\text{g}$ 下离心 1 分钟来洗脱基因组 DNA。
- (10) 将抑制物去除柱套在一个收集管内，添加 $600\mu\text{L}$ 的抑制物去除液，在 $\geq 8000\text{g}$ 条件下离心 3 分钟。
- (11) 将洗脱的基因组 DNA 放入制备好的抑制物去除柱内，抑制物去除柱套在一个干净的 1.5mL 离心管内，并在 16000g 条件下离心 3 分钟，得到的 DNA 样品进行后续 PCR 等试验。

4.1.2 高盐碱土壤 DNA 提取操作步骤

(1) 称出 1 g 样品到无菌研钵中（使用 $6\text{-}10\text{ cm}$ 直径的研钵。每次只取出一个样品，以尽量减少 DNA 在室温下的降解），再加入 0.5 g 无菌石英砂到研钵中。石英砂可酌情增加用量。在研钵中加入足够液氮快速冷却石英砂和研钵。

注：如果 1 g 土壤样品不够用，可在以下步骤中增加土壤样品用量和按比例增加试剂量（如 DNA 提取缓冲液、蛋白酶 K、SDS 和异丙醇等）。本方案也适用于其他类型的环境样品（污泥、水、木材等），但样品量要视情况而定。

(2) 开始研磨样本，如果加入的液氮太少已经消耗完，立即加入新的液氮。研磨样品时尽量控制在研钵里的一个小区域。一直研磨直到样品开始融化。研磨时尽可能保持样品处于冷冻状态。

注：如果样品冷冻后结块难以研磨，可以放置稍微解冻，但一定要加入 0.2~0.4 mL 的 DNA 提取缓冲液，记录准确的使用量 V1。当温度升高时，缓冲液可以抑制 DNA 降解。

(3) 重复步骤 (2) 冷冻研磨 2 次 (共三次)。

(4) 当样品仍处于冷冻状态时，用刮刀把样品集中到研钵的中心 (如有必要，加入更多的液氮让保持样品冷冻)。转移样本到新的 15 mL 离心管中。

注：此时如果不能立即进行 DNA 提取，样品要保存在 -80 °C，直到准备好进行下一步的 DNA 提取。

(5) 在上述准备好的样品中加入 3.3 mL DNA 提取缓冲液 (含有 CTAB)。缓冲液的总容量应该是 3.3 mL，如果在冷冻研磨过程中添加过该缓冲液，并且使用量为 V1 mL，这一步添加的缓冲液体积为 3.3-V1。

注：如果土壤杂质太多，但含有足够的 DNA，可以增加缓冲液总体积至 5 mL。

(6) 加入 12.2 mL 蛋白酶 K (10 mg/mL)，轻轻地混合。

注：如果在第 (5) 步中加入 5 mL 缓冲液，则加入 18.5 μ L 蛋白酶 K。

(7) 37°C 水浴 30 min，期间 5-10 min 倒转混合一次。

(8) 加入 0.37 mL 20% 的 SDS，轻轻地混合。

注：如果在第 (5) 步中加入 5 mL 缓冲液，则加入 0.56 mL 20% 的 SDS。

(9) 65°C 水浴 2 h，每 15-30 min 轻柔地倒转混合一次。

(10) 25°C 离心 20 min，6,000 x g。

(11) 转移上清液到 Oak Ridge tubes 中 (使用半透明的 Oak Ridge tubes)，尽量不要碰到白色的表层。

注：如果样品中有太多的有机杂质 (如蛋白质)，可以转移上清液到 15 mL 锥形离心管中用于氯仿提取。

(12) 加入 1.2 mL DNA 提取缓冲液 (含有 CTAB) 到剩余的沉淀中涡旋混匀。

注：如果在第 (5) 步中加入 5 mL 缓冲液，则加入 1.8 mL 含有 CTAB 的 DNA 提取缓冲液。

(13) 加入 0.13 mL 20% 的 SDS，轻柔地混合。

注：如果在第 (5) 步中加入 5 mL 缓冲液，则加入 0.2 mL 20% 的 SDS。

(14) 65 °C 水浴静置 15 min.

(15) 25 °C 离心 20 min，6,000 x g。

(16) 转移上清液与 (11) 所得上清液混合，转移过程中避免碰到白色表层。

注：如果样品中有太多的有机杂质（如蛋白质），在下一步之前，加入与上清液等体积的 1:24 氯仿：异戊醇混合液，在通风橱中用圆盘旋转混匀仪连续倒转混合 5-10 min。3,700 x g 离心 20 min。转移上清液到一个新的锥形离心管中。加入新的等体积氯仿：异戊醇再萃取一次。然后转移上清液到 Oak Ridge tubes 中。

(17) 加入 0.6 个体积的 2-异丙醇（使用量要精准控制在 0.6 个体积）。

(18) 在 -20 或 -80 °C 冰箱中静置过夜。低温有助于 DNA 沉淀。

(19) 从冰箱取出样品，37 °C 水浴加热。在进行下一步之前，确保样品是完全加热的并且所有的沉淀都溶解了。在离心前加热样本可以溶解静置一整夜产生的所有矿物沉淀。

注：尽可能彻底地溶解所有矿物沉淀，大概需要 30~45 min。

(20) 25 °C 室温 15,000 x g (RCF) 离心 20 min (确保离心机处于室温状态，如果太冷，样品中的矿物沉淀就会析出)。离心后立即将上清液转移到新的离心管中（保留上清液直到通过后续步骤确认得到 DNA，否则需要重复这一步）。

(21) 在 Oak Ridge tubes 的 DNA 沉淀中加入 1 mL 冰的 70%乙醇清洗 DNA 沉淀。15,000 x g 离心 5 min，去掉乙醇。

注：如果 DNA 沉淀杂质太多，可以清洗两次。可以使用移液枪尽可能彻底地去除乙醇。一些纯净的 DNA 可能是不可见的。如果去除乙醇之前不离心或者下一步中不充分溶解 DNA 就转移，就有可能损失一部分 DNA。

4.1.3 DNA 样品保存及处理

得到的 DNA，长期保存时，冻存于 -20 °C。在后续实验中，应先将 DNA 于冰上解冻（提前一小时开始解冻），解冻后将 DNA 轻轻涡旋混匀后离心。再进行后续实验。

4.1.4 DNA 样品质控标准

浓度不低于 10ng/μL，A260/280 数值范围在 1.7-2.1，凝胶电泳可看到完整条带。

4.2 核酸质量检测

4.2.1 琼脂糖凝胶电泳

对提取的基因组 DNA 进行琼脂糖电泳检测。凝胶成像结果表明有完整的基因组条带，且无其他杂质的情况下判定为合格（图 1）。

琼脂糖凝胶配置方法：

(1) 常用琼脂糖凝胶分别为 0.5%，1%和 2%的琼脂糖凝胶，凝胶浓度选择主要取决于目的片段的大小和电泳时间。

(2) 以制备 1%琼脂糖凝胶（大胶用 100mL，小胶用 70mL）为例：称取 1g (0.7g) 琼

脂糖置于锥形瓶中，加入 100 mL (70mL) 1×TAE，瓶口倒扣小烧杯。微波炉加热（1 分钟）煮沸 2-3 次至琼脂糖全部融化，摇匀，即成 1.0%琼脂糖凝胶液。

注：2%琼脂糖凝胶，以上述体系为例，即加入 2g(1.4g)琼脂糖及 100mL(70mL)1×TAE。

(3) 胶板制备：取电泳槽内的有机玻璃内槽（制胶槽）洗干净，晾干，放入制胶玻璃板。取透明胶带将玻璃板与内槽两端边缘封好，形成模子。将内槽置于水平位置，并在固定位置放好梳子。将冷却至 65℃左右（戴手套触摸瓶外侧时温热不烫手）的琼脂糖凝胶液混匀小心地倒入内槽玻璃板上，使胶液缓慢展开,直到整个玻璃板表面形成均匀胶层。

(4) 室温下，静置直至凝胶完全凝固，垂直轻拔梳子，取下胶带，将凝胶及内槽放入电泳槽中。添加 1×TAE 电泳缓冲液至没过胶板为止。

(5) 胶块摆放应保证每个泳道平行于电泳场，保证 DNA 条带在凝胶中垂直移动，加样后应调整好凝胶及托槽的位置。

(6) 凝胶成像时，摆正胶块，拍照。

4.2.2 浓度和纯度定量

使用 NanoDrop™ 完成核酸浓度以及 A260/280 比例的测定，用于鉴定核酸的浓度和纯度。浓度大于 20 ng μ L⁻¹，A260/280 纯度值介于 1.8 - 2.0 之间判定为合格样本。

(1) 测量前必须将样本混匀（涡旋 5 秒钟）。

(2) 检测后立即使用拭镜纸擦拭机器接头，先取一张将上下机器接头部的液体吸走，再将此拭镜纸吸附过样品的面反折到内部，折迭四次后以单方向多次擦拭台面（至少 5 次）。

(3) 同一滴液体只能做一次检测，欲重复定量同一样品，应擦拭掉前一滴液体后，添加新液体。

(4) 核酸样品可使用 1~2 μ L 做测量，推荐使用 2 μ L 移液器，以避免体积不足无法准确测定核酸含量。

(5) 不可使用任何含有腐蚀性溶液的样品用于测量，仅可用无腐蚀性的液体溶解 DNA 并进行测定。

(6) 大批量样本测定时，每 50 个样本需进行一次纯水重置归零。

4.3 DNA 片段化

此处为标准酶法片段化，如选择其他方法，请参照对应的标准方法执行。

4.3.1 DNA 酶法打断实验操作

(1) 实验前请先进行 80%乙醇配制。实验前 30 分钟将试剂拿出置于冰上解冻，解冻后进行简单的上下颠倒混匀。

(2) 设置 PCR 仪程序如下:

表 2 PCR 仪升温梯度程序设置表

步骤	温度 (°C)	时间 (分钟)
1	4	1
2	32	3-20
3	65	30
4	4	Hold

(3) 进行片段化酶添加前的 DNA 准备工作:

表 3 片段化混合体系配制表 (Catalog No. ab198414)

组分	体积 (μL)
FX Buffer, 10X	1.25
DNA	根据实际状况调整
FX Enhancer	当输入 DNA 总质量低于 10ng 时, 可在组分中添加本试剂, 体积为 2.5
PCR 级别水	根据实际状况调整
总体积	40

(4) 进行步骤 3 后所获得的 DNA 混合物, 每个反应添加 2.5μL 的 FX Enzyme Mix。上下颠倒混匀 6-8 次后立即放置于冰上。

(5) 将反应管从冰上拿出, 快速进行简单离心后放置于已经预冷至 4°C 的 PCR 仪中, 进行步骤 2 设置好的程序处理。

(6) 程序结束后, 将样本管拿出后立即转移至冰上, 应立即进行后续建库环节处理。

4.3.2 DNA 片段化后质量控制

琼脂糖凝胶电泳, 参考步骤 3.2.1 进行琼脂糖凝胶电泳, 检验片段化后的产物目的条带是否集中在期望区间内。片段化后凝胶电泳图详细说明见图 2。

4.4 DNA 片段化产物切胶回收

(1) 根据步骤 3.3.2 质控后的片段化后 DNA 进行评估, 针对胶图上无法清晰成像的低浓度样品, 应在跑胶时添加一个出 DNA Marker 外的标记物, 如 16s V3-V4 区的 PCR 扩增产物 (428bp)。方便切胶时进行位置辨认。

(2) 每个片段化产物分别加入到 2-3 胶孔中上样, 目的片段大小 300-500bp, 单个胶孔加样体系为 8-10μL, 电泳时间适当延长至 40 分钟。

(3) DNA 电泳结束后, 在紫外灯下快速切下含目的 DNA 片段的凝胶 (建议用纸巾吸尽凝胶表面液体并切碎, 并尽量去除不含 DNA 的多余的凝胶)。称取凝胶重量(去除空管重

量), 100 mg 凝胶等同于 100 μ L 体积。

(4) 加入等倍体积 Buffer GDP。55 $^{\circ}$ C 水浴 7-10 分钟, 根据凝胶大小适当调整时间, 确保凝胶块完全溶解。水浴期间颠倒混匀 2 次加速溶胶。

(5) 短暂离心收集管壁上的液滴。将 FastPure DNA Mini Columns-G 吸附柱(试剂盒内备有耗材)置于 Collection Tubes 2 mL 收集管中, 把 ≤ 700 μ L 溶胶液转移至吸附柱中, 12000g 离心 30-60 秒。若溶胶体积大于 700 μ L, 把吸附柱置回收集管中, 剩余的溶胶液转移至吸附柱中, 12000g 离心 30-60 秒。

(6) 弃滤液, 把吸附柱置于收集管中。加入 300 μ L Buffer GDP 至吸附柱中。静置 1 分钟。12000g 离心 30-60 秒。

(7) 弃滤液, 把吸附柱置于收集管中。加入 700 μ L Buffer GW (已加入无水乙醇)至吸附柱中。12,000 g 离心 30-60 秒。

(8) 重复步骤 5。两次使用 Buffer GW 冲洗能确保盐份被完全清除, 消除对后续实验的影响。

(9) 弃滤液, 把吸附柱置回收集管中。12000g 离心 2 分钟。

(10) 将吸附柱置于在 1.5 mL 灭菌的离心管中, 加入 20-30 μ L Elution Buffer 至吸附柱中央, 放置 2 分钟。12000g 离心 1 分钟。弃去吸附柱, 把 DNA 保存于-20 $^{\circ}$ C。

4.5 胶回收的 DNA 片段化产物定量

使用荧光定量仪对切胶回收后的 PCR 产物进行浓度定量。

(1) 在标准管和样品管中分别分配 95 μ L 和 99.5 μ L Qubit 工作溶液。

(2) 在单独的 Qubit 分析管中添加 5 μ L 标准液(1 和 2)和 0.5 μ L 样品。

(3) 将混合物涡旋 5 秒, 短暂离心, 并在室温下避光温育 5 分钟, 然后读取读数。

(4) 根据定量后得到的 PCR 产物浓度, 计算混匀样品时需要加入的体积, 保证混合物中所加入的每个 PCR 产物的 DNA 总质量是一致的。

4.6 文库构建(具体实验方案可根据不同试剂盒进行调整)

使用建库试剂盒完成文库构建, 通过末端修复、添加接头以及磁珠纯化完成文库构建。

4.6.1 末端修复以及添加 A-tailing

(1) 在离心管或 PCR 板中完成单独的末端修复和 A-tailing 组装反应。混合体系如下:

表 4 末端修复和 A-tailing 组装反应体系

组分	体积
PCR 产物混合物 (20-25 样本)	50 μ L
End Repair & A-Tailing Buffer*	1.75 μ L
HyperPrep/HyperPlus ERAT Enzyme Mix**	0.75 μ L
PCR-grade water*	7.5 μ L
总混合物体积	60 μ L

(2) 轻微涡旋上述混合物并短暂离心后放置到冰中，保证管中或板中的组分混匀。立即进行下一步操作。

(3) 热循环仪孵育 30 分钟。

表 5 热循环仪孵育温度梯度程序

步骤	温度	时间
End repair and A-tailing	20°C	30 分钟
末端修复和 A-tailing 组装	65°C	30 分钟
HOLD	4°C	∞

4.6.2 接头连接

(1) 稀释接头至合适的浓度（常规接头浓度为 15 nmol/ μ L）。

(2) 在已经完成的末端修复和 A-tailing 的管中连接接头。

表 6 接头连接操作体系

组分	体积
步骤 3.6.1.3 最终得到的，已末端修复的 DNA 混合物	60 μ L
接头（根据 DNA 总质量计算体积）	5 μ L
PCR-grade water*	35 μ L
Ligation Buffer*	7.5 μ L
DNA Ligase*	2.5 μ L
体系总体积	110 μ L

(3) 彻底混匀（涡旋 10 秒）并短暂离心。

(4) 在 20°C 孵育 15 分钟。（此步骤为实验中止点，如时间不合适，可进行 4°C 过夜孵育，第二天进行后续实验）。

表 7 输入 DNA 与稀释接头摩尔比关系

输入 DNA 总质量	接头: 输入 DNA 摩尔比	输入 DNA 总质量	接头: 输入 DNA 摩尔比
1 μ g	10: 1	50ng	200: 1
500ng	20: 1	25ng	400: 1
250ng	40: 1	10ng	1000: 1
100ng	100: 1	5ng	2000: 1

4.6.3 连接接头后纯化

- (1) 在同一个板/管中，使用 0.8X 的磁珠进行磁珠纯化。

表 8 磁珠纯化体系

组分	体积
上步链接接头后的混合物	110 μ L
KAPA 纯化磁珠	88 μ L
体系总体积	198

- (2) 通过移液器，反复抽吸将磁珠与 DNA 彻底混合。
- (3) 在室温下将混合物孵育 5~15 分钟，使 DNA 结合到磁珠子上。
- (4) 将管放在磁力架上通过磁力吸附磁珠。静置孵育直至液体澄清。
- (5) 使用移液器，小心吸出并丢弃上清液，注意不要吸到磁珠。
- (6) 添加 200 μ L 的 80%乙醇洗涤磁珠。
- (7) 在磁力架上，于室温条件静置孵育 \geq 30 秒。
- (8) 使用移液器，小心吸出并丢弃乙醇，注意不要吸到磁珠。
- (9) 添加 200 μ L 的 80%乙醇。
- (10) 在磁力架上，于室温条件静置孵育 \geq 30 秒。
- (11) 使用移液器，小心吸出并丢弃乙醇，注意不要吸到磁珠。此步在不影响磁珠的情况下，尽可能去除掉液体组分。
- (12) 在室温下将磁珠干燥 1-3 分钟，或直到所有乙醇都蒸发掉为止。
- (13) 从磁体架上将管取下。
- (14) 彻底重悬磁珠：加入 55 μ L 的洗脱缓冲液（10 mM Tris-HCl, pH 8.0–8.5），反复抽吸以保证所有磁珠均已重悬于缓冲液中。
- (15) 在室温下孵育 3 分钟，从磁珠上将 DNA 洗脱。

(16) 将管放置在磁力架上以捕获磁珠。室温静置孵育直至液体变为澄清状态。

(17) 将澄清的上清液转移到新的离心管或 PCR 管中，此时管中即为制备好的 DNA 文库。

4.6.4 文库定量

使用荧光定量仪对文库进行初步浓度定量。对于文库总质量大于 1 μ g 的样本不进行文库扩增。

4.6.5 文库扩增

(1) 将每个文库扩增反应组装如下：

表 9 文库扩增反应体系

组分	体积
2X KAPA HiFi HotStart ReadyMix	6.25 μ L
10X Library Amplification Primer Mix	1.25 μ L
加接头后 DNA 文库	20 μ L
PCR-grade water*	22.5 μ L
Total volume	50 L

(2) 充分混匀并短暂离心。

(3) 使用以下循环参数进行扩增

表 10 PCR 扩增程序方法

Step	Temp	Duration	Cycles
Initial denaturation	98 °C	45 sec	1
Denaturation	98 °C	15 sec	循环数参考说明书，根据相对应的文库总质量判断
Annealing†	60 °C	30 sec	
Extension	72 °C	30 sec	
Final extension	72 °C	1 min	1
HOLD	4 °C	∞	1

根据下表选择文库扩增循环数（根据输入的 DNA 文库总质量（1ng–1 μ g）使用循环数）：

表 11 输入的 DNA 文库总质量与扩增循环数关系表

Adapter-ligated library DNA	Number of cycles require to generate 1 µg of library DNA
500 ng	2 – 4
100 ng	5 – 6
50 ng	7 – 8
10 ng	9 – 10
5 ng	11 – 12
1 ng	13 – 14
500 pg	15 – 16

4.6.6 文库扩增后纯化

- (1) 在同一管中，执行基于 1X 比例的磁珠纯化。
- (2) 通过移液器，反复抽吸将磁珠与 DNA 彻底混合。
- (3) 在室温下将混合物孵育 5-15 分钟，使 DNA 结合到磁珠子上。
- (4) 将管子放在磁力架上通过磁力吸附磁珠。静置孵育直至液体澄清。
- (5) 使用移液器，小心吸出并丢弃上清液，注意不要吸到磁珠。

表 12 纯化体系表

组分	体积
Library Amplification reaction product	50 µL
Agencourt® AMPure® XP reagent	50 µL
总体积	100 µL

- (6) 添加 200 µL 的 80% 乙醇洗涤磁珠。
- (7) 在磁力架上，于室温条件静置孵育≥30 秒。
- (8) 使用移液器，小心吸出并丢弃乙醇，注意不要吸到磁珠。
- (9) 添加 200 µL 的 80% 乙醇。
- (10) 在磁力架上，于室温条件静置孵育≥30 秒。
- (11) 使用移液器，小心吸出并丢弃乙醇，注意不要吸到磁珠。此步在不影响磁珠的情况下，尽可能去除掉液体组分。
- (12) 在室温下将磁珠干燥 1-3 分钟，或直到所有乙醇都蒸发掉为止。从磁体架上将管取下。
- (13) 彻底重悬磁珠：加入 55 µL 的洗脱缓冲液（10 mM Tris-HCl, pH 8.0–8.5），反复抽吸以保证所有磁珠均已重悬于缓冲液中。
- (14) 在室温下孵育 3 分钟，从磁珠上将 DNA 洗脱。

(15) 将管放置在磁力架上以捕获磁珠。室温静置孵育直至液体变为澄清状态。

(16) 将澄清的上清液转移到新的 1.5mL 离心管中，此时管中即为制备好的 DNA 文库。

(17) 将构建好的文库保存在-20℃。保留部分文库以便补测使用。如于冻存状态下取出分装，应先置于冰中溶解，待完全溶解后轻轻涡旋混匀再进行分装。

4.6.7 文库质检

(1) 将构建好的文库进行琼脂糖凝胶电泳，目标条带长度应为，目的片段加双端接头长度。即，构建 16s V3-V4 区常规文库时，目的片段大小应为 428bp，加双端接头后，文库大小为 548bp。接头单端大小为 60bp。

(2) 将构建好的文库进行 Qubit 4.0 定量检测，文库浓度高于 10ng/μL 的视为合格。

5. 数据分析

5.1 数据质量评估（相关分析软件详见表 20）

采用 FastQC 软件及 R 对原始测序数据进行质量评估。

为了得到高质量的测序数据以提高后续生物信息分析准确性，首先需要对原始下机数据进行质控和过滤，主要参考如下条件：剔除包含超过 3 个 N 碱基的序列；剔除高质量碱基（Phred score ≥ 20 ）占比小于 60%的序列；剔除 3'端低质量碱基；剔除序列长度小于 75bp 的序列。

5.2 样本组装

采用 metaSPAdes 软件将各个样本的 Clean Reads 组装为 Contigs，使用参数“--only-assembler -k 31,51,71,91”。

5.3 非冗余 Contigs

筛选出大于等于 500bp 的 Contig，采用 CD-HIT 软件将各个样本的组装结果去冗余，使用参数“-c 0.95 -aS 0.9 -G 0”。

5.4 非冗余 Genes

采用 MetaGeneMark 软件预测基因结构，筛选出大于等于 100bp 的 Gene，采用 CD-HIT 软件去冗余，使用参数“-c 0.95 -aS 0.9 -G 0”。

5.5 基因定量

将各个样本的 Clean Reads 比对到非冗余 Genes，使用参数“--meta -l IU”。最终得到各个样本、各个基因的表达量（TPM）。

5.6 功能注释

采用 DIAMOND 软件将非冗余 Genes 比对到各个功能数据库,使用参数“--sensitive -k 1”。筛选出“bitscore ≥ 60 and evalue $\leq 1e-5$ ”的比对结果, 将基因表达量 (TPM) 值累加到功能分类上作为功能丰度。

5.7 物种鉴定

采用 Kraken2 软件将定量后的非冗余基因比对到数据库, 目前支持物种分类 Bacteria (GTDB)、Archaea (GTDB) 和 Fungi (NCBI RefSeq)。

5.8 物种丰度抽平

由于每个样本对应的 reads 数量差距较大, 为避免因样本数据大小不同而造成分析时的偏差, 在样本达到足够测序深度的情况下, 需对每个样本进行随机抽平处理, 一般选择测序样本中最少 reads 数作为基数, 即将所有样本的 reads 数统一抽平到该值。

5.9 分类学系统组成树

同样基于物种进化树状结构, 分类学系统组成树可以结合树中每个物种在所有样本中的分布情况, 直观地显示出每个分类学水平的高丰度物种, 以及对于特定的物种, 其在每个样本中的分布差异。分析默认选择每个分类水平中相对丰度大于 1% 的物种在图中展示, 且要求物种注释信息不能有断层 (虽然某个属的相对丰度超过 1%, 但是其科水平无注释, 则不能在图中进行展示), 为了结果展示的直观性和有效性, 应尽量控制样本量。

5.10 物种总丰度柱状图

物种总丰度柱状图可以用于展示在某一分类水平下, 所有样本中整体丰度较高的物种及其相对丰度。推荐分析默认选择相对丰度大于 1% 的物种绘制柱状图 (个数低于 30 个全画)。

5.11 多样本物种组成柱状图

最常用于展示每个样本物种组成的可视化分析方法之一, 在某一分类水平上将每个样本的物种组成绘制成柱状图展示在一张图上, 可以更直观地同时观测到每个样本的物种组成、同组样本物种组成的一致性、以及样本/分组间物种组成差异, 推荐分析默认选择相对丰度大于 1% 的物种绘制柱状图 (个数低于 30 个全画)。

5.12 Wilcoxon 差异分析

Wilcoxon 秩和检验(rank-sum test), 有时也叫 Mann-Whitney U 检验, 是一种常用于分析两两分组间的样本总体分布是否存在差异的非参数检验方法, 不对数据分布作特殊假设, 适用于复杂的数据分布情况。利用 Wilcoxon 秩和检验对两两分组间样本进行比较, 在各分类水平上找出两组中具有显著差异的物种, 以 $p \text{ value} < 0.05$ 作为差异显著性筛选阈值。

5.13 Alpha 多样性指数统计

计算功能基因丰富度 (Community richness) 的指数:

- (1) Observed_species: 直接观测到的功能基因个数。
- (2) Chao1: 用于估计样本中物种总数, 数值越大代表物种越多。

$$S_{chao1} = S_{obs} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2(n_2 + 1)}$$

式中, S_{chao1} = 估计的功能基因数;

S_{obs} = 实际观测到的功能基因数;

n_1 = 只含有一条序列的功能基因数目 (如 "singletons");

n_2 = 只含有两条序列的功能基因数目 (如 "doubletons")。

(3) Shannon: 用来估算样本中微生物的多样性指数之一。它与 Simpson 多样性指数均为常用的反映 alpha 多样性的指数。Shannon 值越大, 说明群落多样性越高。

$$H_{shannon} = - \sum_{i=1}^{S_{obs}} \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

式中, S_{obs} = 实际观测到的功能基因数目;

n_i = 第 i 个功能基因所含的序列数;

N = 所有的序列数。

(4) Evenness: 功能基因均匀度是指某一群落或生境中全部物种个体数目的分配状况, 其反映了各物种个体数目分配的均匀程度。可以用基于 Shannon-Wiener 指数计算物种多样性, 物种均匀度的计算公式为:

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

式中, S = 群落内的功能基因数,

H' = Shannon-Wiener 多样性指数。

5.14 多样性指数差异分析

基于各样本的多样性指数, 可以检验组间样本的 Alpha 多样性是否存在显著差异。基于 Wilcoxon 秩和检验 (两组样本) 或 Kruskal-Wallis 秩和检验 (三组或三组以上样本) 对组间多样性指数进行差异分析, 以 $p.value < 0.05$ 作为差异显著性筛选阈值, 并使用 Bonferroni 方法对 $p.value$ 进行多重假设检验校正 (fdr), 用以评估组间物种多样性是否存在显著差异。

5.15 Beta 多样性分析

5.15.1 样本聚类树图

样本聚类树可以从整体上描述和比较样本/分组间的相似性和差异性。基于功能基因丰富度表, 首先计算样本间的 Bray-Cruits 非相似性矩阵, 然后对样本进行平均连锁层次聚类,

平均连锁又称为 UPGMA (Unweighted pair group method with arithmetic mean), 越相似的两个样本会优先聚类。UPGMA 及其可视化展现使用 R 语言环境 ape 包 (<https://www.rdocumentation.org/packages/ape/versions/5.6-2>)。

5.15.2 PCA 分析

PCA 分析(Principal Component Analysis), 即主成分分析, 分析基于 Euclidean 距离, 常用于数据降维, 同时保持数据集中对方差贡献最大的特征, 从而有效地找出数据中最“主要”的元素和结构, 去除噪音和冗余, 揭示隐藏在复杂数据背后的简单结构, 即在低维空间尽可能多地展示数据的主要趋势特征。PCA 基于功能基因丰度表, 运用方差分解, 将样本间的差异反映在二维坐标图上, 坐标轴为能够最大程度解释方差的两个特征根, 样本组成越相似在 PCA 图中越聚集, 而不同组的样本可能表现出分散分布。NMDS 及其可视化展现使用 R 语言环境 vegan 包 (<https://www.rdocumentation.org/packages/vegan/versions/2.4-2>)。

5.15.3 PCoA 分析

主坐标分析 (PCoA, Principal Coordinate Analysis) 和 PCA 的排序都是以展示对象之间的距离为目标, 其区别在于 PCA 基于欧式距离, 而在 PCoA 排序过程中, 可以选择其他的距离/非相似性矩阵, 进而在二维坐标中, 将对象之间的相互关系表现出来。

分析默认使用四种常用的距离/非相似性矩阵: unweighted unfrac、weighted unfrac、Bray-Crutis 和 Jaccard。其中 Bray-Crutis 和 Jaccard 只考虑物种组成, 而 unfrac 距离则会综合物种进化关系。

以基于 unfrac 距离的 PCoA 分析为例, 首先, 基于 OTU/ASV 代表序列构建系统进化树, 结合代表序列进化关系及 OTU/ASV 表, 计算两两样本间的距离。unweighted unfrac 和 weighted unfrac 的区别在于 unweighted unfrac 距离只考虑序列/物种是否在群落中出现, 而不考虑序列的丰度, 即如果两个群落包含的物种完全相同, 那么不管物种的丰度是否有差异, unweighted unfrac 值都为 0。

5.15.4 NMDS 分析

非度量多维尺度分析 (NMDS, nonmetric multidimensional scaling) 可以基于任何类型的距离/非相似性矩阵对对象 (样本) 进行排序, 其区别在于 NMDS 不再是特征根排序技术, 也不再以排序轴承载更多的方差为目的, 因此 NMDS 排序图可以任意旋转、中心化和倒置。NMDS 分析在多维空间内构建对象的初始结构, 并用迭代程序不断地调整对象位置, 目标是尽可能的最小化应力函数 (stress function, 取值 0-1), 应力函数是排序空间内对象结果与原始距离矩阵之间相异程度的度量。

如果预先设定的排序轴数量比较少（如二维、三维），则在相同轴数的情况下，NMDS 往往能够获得比 PCoA 更少失真的对象之间的关系。

分析默认使用四种常用的距离/非相似性矩阵：unweighted unfrac、weighted unfrac、Bray-Crutis 和 Jaccard。其中 Bray-Crutis 和 Jaccard 只考虑物种组成，而 unfrac 距离则会综合物种进化关系。

NMDS 及其可视化展现使用 R 语言环境 vegan 包 (<https://www.rdocumentation.org/packages/vegan/versions/2.4-2>)。

表 18 宏基因组实验参考设备清单

编号	设备名称	仪器公司	货号
1	PCR 仪	Applied Biosystems MiniAmp Thermal Cyclers	A37834
2	离心机	大龙台式高速微量离心机	D3024
3	电泳仪	伯乐 PowerPac Basic	1645050
4	电泳槽	Wide Mini-Sub® Cell GT 水平电泳槽	170-4469
5	磁力架	赛默飞 DynaMag™-2 Magnet	12322D
6	漩涡混合仪	美国 SI Vortex genie2	SI-0246
7	Eppendorf 艾本德 移液器	0.1 – 2.5 µL	3120000216
		0.5 – 10 µL	3120000224
		2 – 20 µL	3120000232
		10 – 100 µL	3120000240
		20 – 200 µL	3120000054
		100 – 1,000 µL	3120000062
8	分光光度计	赛默飞 NanoDrop™ ONE 分光光度计	A30221

注：具体仪器根据所在实验平台进行调整

表 19 宏基因组实验参考试剂盒清单

编号	试剂盒类型	描述	货号
1	FastDNA SPIN Kit for Soil	MP Biomedicals	116560-200
2	DNeasy PowerSoil Kit	QIAGEN 针对高盐碱土壤 DNA 提取	12888-100
2	土壤/粪便 DNA 提取试剂盒	北京天漠科技开发有限公司	TD611-50
3	片段化酶 OnePot Pro	Hieff® Smearase	12907ES24/96
4	片段化/未修/加 A 模块 OnePot Pro	Hieff NGS® OnePot Pro DNA Fragmentation Reagent	12619ES24/96
5	建库试剂盒 OnePot Pro	Hieff NGS® OnePot Pro DNA Library Prep Kit for Illumina®	12205ES24/96

注：具体试剂盒根据所在实验平台进行调整

表 20 宏基因组下机数据分析参考软件清单

编号	软件名称	版本	参考网站
1	FastQC	0.11.9	http://www.bioinformatics.babraham.ac.uk/projects/fastqc/
2	R	4.1.2	https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/CRAN/
3	metaSPAdes	3.15.3	http://cab.spbu.ru/software/spades/
4	CD-HIT	4.6.2	http://cd-hit.org
5	MetaGeneMark	3.25	http://exon.gatech.edu/meta_gmhmp.cgi
6	DIAMOND		http://ab.inf.uni-tuebingen.de/software/diamond/
7	Kraken2	2.1.1	https://ccb.jhu.edu/software/kraken2/

注：具体数据分析所使用的软件类型和版本请根据所在实验平台进行调整

样品编号	凝胶电泳结果分析
1	胶孔明显发亮，存在蛋白污染，浓度合格，需进行纯化处理
2	胶孔明显发亮，存在蛋白污染，浓度合格，需进行纯化处理
3	浓度纯度合格
4	纯度合格，浓度偏低，可定量后判断
5	浓度过低，需根据样品来源判断是否属于低生物量样品
6	浓度合格，DNA 降解严重，需重新提取
7	Marker

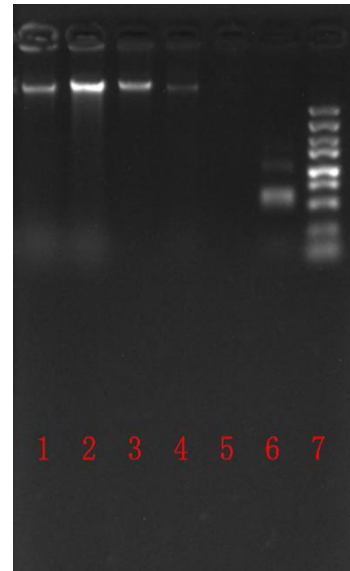
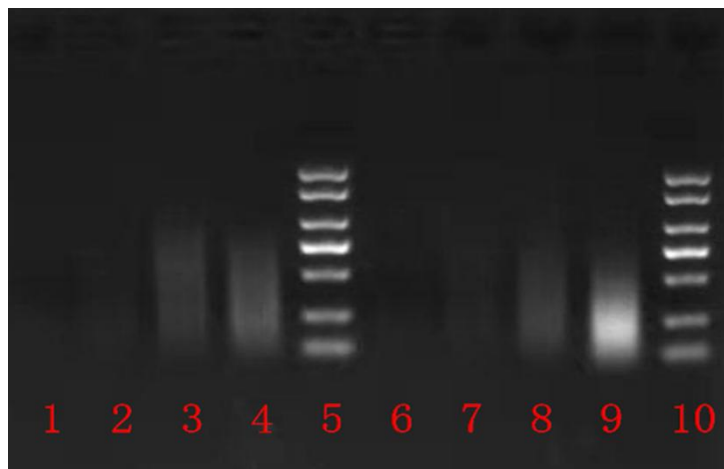


图 1 DNA 琼脂糖凝胶电泳图示例



样品编号	样品名	备注
1	土壤 DNA 10ng	DNA 总输入量过低导致无法判断片段化效果
2	土壤 DNA 100ng	有模糊结果，可进行先建库后切胶回收
3	土壤 DNA 500ng	片段化结果略微偏大，可切胶回收进行后续实验
4	土壤 DNA 1000ng	片段化结果合格
5	DL2000 Marker	
6	细菌 DNA 10ng	DNA 总输入量过低导致无法判断片段化效果
7	细菌 DNA 100ng	有模糊结果，可进行先建库后切胶回收
8	细菌 DNA 500ng	片段化结果略微偏大，可切胶回收进行后续实验
9	细菌 DNA 1000ng	片段化结果合格
10	DL2000 Marker	

图 2 片段化产物琼脂糖凝胶电泳图示例

参考文献

[1] Shi Y C, Guo H, Chen J, et al. Initial meconium microbiome in Chinese neonates delivered naturally or by cesarean section [J]. *Sci Rep.* 2018. 8(1): 3255.

[2] Chen S, Zhou Y, Chen Y, et al. fastp: an μ Ltra-fast all-in-one FASTQ preprocessor [J]. *Bioinformatics.* 2018. 34(17): i884-i890.

[3] Kent W J, Sugnet C W, Furey T S, et al. The human genome browser at UCSC [J]. *Genome Res.* 2002. 12(6): 996-1006.

[4] Langmead B, Salzberg S L. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2 [J]. *Nat Methods.* 2012. 9(4): 357-359.

[5] Segata N, Waldron L, Ballarini A, et al. Metagenomic microbial community profiling using unique clade-specific marker genes [J]. *Nat Methods.* 2012. 9(8): 811-814.

[6] Parks D H, Tyson G W, Hugenholtz P, et al. STAMP: statistical analysis of taxonomic and functional profiles [J]. *Bioinformatics.* 2014. 30(21): 3123-3124.

[7] Li D, Liu C M, Luo R, et al. MEGAHIT: an μ Ltra-fast single-node solution for large and complex metagenomics assembly via succinct de Bruijn graph [J]. *Bioinformatics.* 2015. 31(10):

16

74-1676.

- [8] Li W, Godzik A. Cd-hit: a fast program for clustering and comparing large sets of protein or nucleotide sequences [J]. *Bioinformatics*. 2006. 22(13): 1658-1659.
- [9] Besemer J, Borodovsky M. Heuristic approach to deriving models for gene finding [J]. *Nucleic Acids Res*. 1999. 27(19): 3911-3920.
- [10] Zhu W, Lomsadze A, Borodovsky M. Ab initio gene identification in metagenomic sequences [J]. *Nucleic Acids Res*. 2010. 38(12): e132.
- [11] Liu C M, Wong T, Wu E, et al. SOAP3: μ Ltra-fast GPU-based parallel alignment tool for short reads [J]. *Bioinformatics*. 2012. 28(6): 878-879.
- [12] Qin N, Yang F, Li A, et al. Alterations of the human gut microbiome in liver cirrhosis [J]. *Nature*. 2014. 513(7516): 59-64.
- [13] Zheng Z, Zhong W, Liu L, et al. Bioinformatics Approaches for Human Gut Microbiome Research [J]. *Infectious Diseases and Translational Medicine*. 2016. 2(2): 69.
- [14] Xie C, Mao X, Huang J, et al. KOBAS 2.0: a web server for annotation and identification of enriched pathways and diseases [J]. *Nucleic Acids Res*. 2011. 39(Web Server issue): W316-W322.
- [15] Buchfink B, Xie C, Huson D H. Fast and sensitive protein alignment using DIAMOND [J]. *Nat Methods*. 2015. 12(1): 59-60.
- [16] Schloss P D, Westcott S L, Ryabin T, et al. Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities [J]. *Appl Environ Microbiol*. 2009. 75(23): 7537-7541.
- [17] Huerta-Cepas J, Szklarczyk D, Forslund K, et al. eggNOG 4.5: a hierarchical orthology framework with improved functional annotations for eukaryotic, prokaryotic and viral sequences [J]. *Nucleic Acids Res*. 2016. 44(D1): D286-D293.
- [18] Lombard V, Golaconda R H, Dr μ La E, et al. The carbohydrate-active enzymes database (CAZy) in 2013 [J]. *Nucleic Acids Res*. 2014. 42(Database issue): D490-D495.
- [19] Liu B, Pop M. ARDB--Antibiotic Resistance Genes Database [J]. *Nucleic Acids Res*. 2009. 37(Database issue): D443-D447.
- [20] Chen L, Zheng D, Liu B, et al. VFDB 2016: hierarchical and refined dataset for big data analysis--10 years on [J]. *Nucleic Acids Res*. 2016. 44(D1): D694-D697.

第 12 章 土壤线虫分离鉴定方法

土壤线虫是数量和功能类群最为丰富的一类土壤动物，根据已发表的线虫种类估算，地球上线虫的至少有 10 万种。线虫在土壤食物网中占有重要的地位，在维持土壤生态系统稳定、促进物质循环和能量流动方面发挥着重要的生态功能。此外，由于土壤线虫占据多个营养级，且能够对环境变化或干扰做出迅速响应，因此具有作为指示生物的独特优势。

1. 材料与试剂

1.1 材料

1.1.1 8 cm-10 cm 60 目的筛网

1.1.2 无色、无味面巾纸

1.1.3 载玻片（25 mm × 75 mm，厚 1.0-1.2 mm）

1.1.4 盖玻片（24 mm × 50 mm，厚 0.13-0.16 mm）

1.1.5 塑料小皿（直径为 60 mm）

1.1.6 直径 120 mm 的漏斗

1.1.7 橡胶管

1.1.8 弹簧夹

1.1.9 浮载剂：线虫的固定液

1.1.10 封片剂：石蜡

1.1.11 挑针：通常用现成的金属丝

1.2 试剂

1.2.1 甲醛（分析纯 AR，37~40%）

1.2.2 无水乙醇

1.2.3 FG 溶液（40%甲醛，8 mL；甘油，2 mL；蒸馏水，90 mL 配制成 100 mL 混合液

I）

1.2.4 甘油-酒精混合液（甘油-酒精混合液：30%酒精，95 mL；甘油，5 mL 配制成混合液 II）

1.2.5 蒸馏水（每瓶 500 mL）

1.2.6 丙三醇（甘油）（分析纯 AR，500 mL）

1.3 设备：

1.3.1 大容量低速离心机（LC-LX-L50C）

1.3.2 体式显微镜（Motic SMZ-168）

1.3.3 光学显微镜 (Olympus BX50)

1.3.4 水浴锅

2. 实验步骤

2.1 土壤线虫分离方法

采用贝尔曼漏斗法分离土壤线虫。操作步骤如下:

2.1.1 在直径 120 mm 的漏斗末端接一段橡胶管, 在橡胶管后端用弹簧挟夹紧;

2.1.2 在漏斗内放置 60 目的筛网;

2.1.3 取 50 g-100 g 土样均匀铺在筛网上, 加水浸没土壤;

2.1.4 放置于室温条件下静置分离;

2.1.5 静止 24 h 后, 打开弹簧挟, 放出橡胶管内的水 20-25 mL 左右于小瓶中;

2.1.6 将水浴锅温度设定为 60°C, 再将小瓶置于水浴锅中, 加热 3 分钟杀死线虫, 取出, 稍静置冷却;

2.1.7 再在小瓶中加入 2-3 mL 福尔马林固定液进行固定, 摇匀, 写好标签和序号;

2.2 土壤线虫计数

在体式显微镜下对土壤样品的所有线虫进行计数, 对获得线虫总数统一换算成线虫条数·100 g⁻¹ 干土(注: 需要测定每个鲜土样品的含水量)

2.3 土壤线虫的保存

将线虫水溶液放置到 50 mL 的离心管中, 静置约 12 h 后吸出上层液体, 保留 9 mL 线虫水溶液, 在 60°C 水浴锅中水浴 5 min, 等其冷却后, 在每个样品中加入 1 mL 福尔马林和甘油的混合液 (40%福尔马林溶液: 甘油= 4:1)。

2.4 土壤线虫的固定

在 FG 溶液中热杀死线虫, 让线虫样品在溶液中停留 24 小时后, 转移要固定的剩余部分于小皿中, 加入甘油-酒精混合液。将样品放入干燥器中停留 15 天, 使其慢慢脱水。结束后观察样品不同部分的清晰度, 确定是否可以做永久玻片。用挑针挑出需要的线虫, 放入滴过一小滴甘油的玻片上, 取一小片石蜡放在液体周围, 用盖玻片盖在液体上。把玻片放在加热的铜板上, 让石蜡完全溶化, 密封住盖玻片下的液体, 完成永久玻片制作(骆静梅等, 2021)。

2.5 土壤线虫的鉴定

在统计土壤线虫数量的基础上, 随机抽取至少 100 条线虫在光学显微镜下进行科属鉴定, 不足 100 条的全部鉴定。将临时玻片置于光学显微镜 (Olympus BX50) 下, 土壤线虫分类参照 Bongers (1994)、张晓珂等 (2013)、Li et al. (2017) 的分类图鉴进行。

3. 土壤线虫分子生物学鉴定方法

3.1 材料与试剂

3.1.1 一次性口罩、无菌手套

3.1.2 面巾纸

3.1.3 0.5 mL 和 2 mL 的离心管

3.1.4 无水乙醇

3.1.5 DNeasy Blood & Tissue 线虫 DNA 提取试剂盒

3.1.6 NF1/18Sr2b 引物

3.2 仪器设备

3.2.1 线虫提取富集相关材料 (18 目、60 目、500 目不锈钢网筛 (浙江上虞银河测试仪器厂)、表面皿、天平、烧杯、2 L 的量杯等)

3.2.2 10 μ L, 20-200 μ L, 1000 μ L 的移液器 (Eppendorf)

3.2.3 4/-80 $^{\circ}$ C 冰箱 (海尔)

3.2.4 真空泵 (郑州长城科工贸有限公司 SHB-III)

3.2.5 高压灭菌锅 (上海申安医疗器械厂 DSX-18L-I)

3.2.6 恒温水浴锅 (上海精宏实验设备有限公司 DK-S24)

3.2.7 无菌工作台

3.2.8 离心机 (Eppendorf Centrifuge 5425)

3.2.9 PCR 仪 (ABI GeneAmp $^{\circledR}$ 9700 型)

3.3 实验步骤

3.3.1 土壤线虫 DNA 提取

在提取线虫 DNA 之前, 将每个样品的线虫悬液以 $2000 \times g$ 离心 10 min (或线虫悬液静置 2 h 以上)。弃去上清液后, 保留约 2 mL 线虫悬液并转移到 2 mL 离心管中。然后将 2 mL 离心管以 $6000 \times g$ 离心 2 min, 弃去上清液后, 最终保留 0.5 mL 线虫悬液使用 DNeasy Blood & Tissue Kit 试剂盒 (Qiagen) 进行线虫 DNA 提取。根据 DNeasy Blood & Tissue Kit 试剂盒的说明书, 为了得到更多的线虫 DNA, 使用双倍的裂解缓冲液 (360 μ L Buffer ATL, 40 μ L 蛋白酶 K) 来充分浓缩和裂解线虫, 消化时间延长至 1.5 h。具体的操作步骤如下 (Du et al., 2020; 杜晓芳等, 2021):

3.3.1.1 在保留 0.5 mL 线虫悬液的离心管中加入 360 μ L Buffer ATL, 40 μ L 蛋白酶 K, 涡旋 15 s 后水浴消化 1.5 h, 水浴消化期间间断振荡 (每隔 15 min 上下颠倒几次)。

3.3.1.2 涡旋 15 s, 加入 400 μ L Buffer AL, 涡旋混匀后加入 400 μ L (96-100%) 的酒精, 涡旋混匀。

3.3.1.3 用移液器将 2 mL 离心管中的所有液体转移至带有滤柱的 2 mL 收集管中 (分几次转移视情况而定), 6000 \times g 离心 1 min, 弃去离心液及收集管。

3.3.1.4 将滤柱转移到一个新的收集管中, 加入 500 μ L Buffer AW1, 6000 \times g 离心 1 min, 弃去滤出液和收集管。

3.3.1.5 将滤柱转移到一个新的收集管中, 加入 500 μ L BufferAW2, 18,000 \times g 离心 3 min 干燥滤柱, 弃去滤出液和收集管。

3.3.1.6 将滤柱置于一个 1.5 mL 的离心管中, 加入 100 μ L (一般为 50-200 μ L) Buffer AE, 室温孵化 1 min 后 6000 \times g 离心 1 min 最终得到线虫 DNA。

3.3.1.7 提取的线虫 DNA 储存在-80 $^{\circ}$ C 冰箱用于后续的 PCR 扩增和测序。

3.3.2 线虫群落的扩增测序

使用引物 (Porazinska *et al.*, 2009) 对线虫 18S rDNA V4 区进行扩增。PCR 采用 TransGen AP221-02: TransStart Fastpfu DNA Polymerase, 20 μ L 反应体系: 5 \times FastPfu Buffer 4 μ L, 2.5 mM dNTPs 2 μ L, Forward Primer (5 μ M) 0.8 μ L, Reverse Primer (5 μ M) 0.8 μ L, FastPfu Polymerase 0.4 μ L, BSA 0.2 μ L, Template DNA 10 ng, 最后使用灭菌 PCR 水补足至 20 μ L。

线虫 (NF1-F/18Sr2b-R) PCR 反应参数为: 95 $^{\circ}$ C 预变性 3 min, 95 $^{\circ}$ C 变性 30 s, 55 $^{\circ}$ C 退火 30 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 45 s, 35 次循环后最终在 72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min。扩增之后, PCR 产物使用 2% 琼脂糖凝胶电泳进行可视化 (图 2), 使用 AxyPrep DNA 凝胶提取试剂盒 (Axygen Biosciences, Union City, CA, USA) 进行纯化, 并使用 QuantiFluorTM-ST (Promega, USA) 对回收产物进行检测定量。根据 Illumina MiSeq 平台 (Illumina, San Diego, USA) 标准操作规程将纯化后的扩增片段构建 PE 300 文库。PCR 文库构建是在引物上合成 barcode, 采用混合样品建库的模式。具体构建文库的步骤为: (1) 连接"Y"字形接头; (2) 使用磁珠筛选去除接头自连片段; (3) 利用 PCR 扩增进行文库模板的富集; (4) 氢氧化钠变性, 产生单链 DNA 片段。利用 Illumina 公司的 Miseq PE300 平台进行双端测序, 原始数据上传至 NCBI 数据库 (杜晓芳等, 2021)。

3.4 数据质控与生物信息分析

3.4.1 生物信息分析

使用 Trimmomatic 软件对原始测序序列进行质控, 使用 FLASH (<http://www.cbcb.umd.edu/software/flash>, version 1.2.7) 软件进行拼接:

3.4.1.1 过滤 reads 尾部质量值 20 以下的碱基及质控后 200 bp 以下的 reads, 去除含 N 碱

基的 reads。

3.4.1.2 根据 PE reads 之间的 overlap 关系，将成对 reads 拼接成一条序列，最小 overlap 长度为 10 bp。

3.4.1.3 拼接序列的 overlap 区允许的最大错配比率为 0.2，去除无法拼接的序列。

3.4.1.4 根据序列首尾两端的 barcode 和引物区分样品，并调整序列方向，barcode 需精确匹配，引物允许 2 个碱基的错配。

3.4.2 OTU 聚类

使用 UPARSE 软件 (<http://drive5.com/uparse/version 7.1>)，根据 97% 的相似度对序列进行 OTU 聚类，具体流程如下：

3.4.2.1 提取优化序列中的非重复序列，去除没有重复的单序列。

3.4.2.2 按照 97% 相似性对非重复序列 (不含单序列) 进行 OTU 聚类，在聚类过程中去除嵌合体，得到 OTU 代表序列。

3.4.2.3 将所有优化序列 map 至 OTU 代表序列，选出与 OTU 代表序列相似性在 97% 以上的序列，生成 OTU 表格。

3.4.3 分类学分析

通过 Blast 搜索，比对 NCBI NT 数据库对物种进行分类注释。

3.4.4 线虫多样性分析

计算线虫丰富度 (Community richness) 的指数：

(1) Observed_species: 直接观测到的线虫种类数。

(2) Chao1: 用于估计样本中物种总数，数值越大代表物种越多。

$$S_{chao1} = S_{obs} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2(n_2 + 1)}$$

式中， S_{chao1} = 估计的 OTU 数；

S_{obs} = 实际观测到的 OTU 数；

n_1 = 只含有一条线虫的 OTU 数目；

n_2 = 只含有两条线虫的 OTU 数目；

(3) Shannon: 用来估算样本中线虫多样性指数之一。它与 Simpson 多样性指数均为常用的反映 alpha 多样性的指数。Shannon 值越大，说明群落多样性越高。

$$H_{shannon} = - \sum_{i=1}^{S_{obs}} \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

式中， S_{obs} = 实际观测到的 OTU 数目；

n_i = 第 i 个 OTU 所含的序列数；

N = 所有的序列数。

(4) Evenness: 物种均匀度是指某一群落或生境中全部线虫物种个体数目的分配状况, 其反映了各物种个体数目分配的均匀程度。可以用基于 Shannon-Wiener 指数计算物种多样性, 物种均匀度的计算公式为:

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

式中, S=群落内的物种数,

H' =Shannon-Wiener 多样性指数。

3.4.5. 线虫群落特征分析

线虫分类鉴定后, 对其种类、及不同物种的数量情况进行统计, 可以获得各个线虫种类在每个样本中的丰度情况, 物种相对丰度分析方法如下:

$$\text{Relative abundance (\%)} = \text{Isi} / \sum \text{Nsi} \times 100$$

Isi=样本中单个线虫物种检测数量

$\sum \text{Nsi}$ =样本中所有线虫物种检测总数量

参考文献

- [1] 陈小云, 刘满强, 胡锋, 等. 根际微型土壤动物——原生动物和线虫的生态功能. 生态学报, 2006, 27(8): 3132-3143.
- [2] 杜晓芳, 梁文举, 李琪. 土壤线虫群落 DNA 提取、扩增及高通量测序. 2021, Bio-101: e2104085. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.2104085>
- [3] Li Q, Liang W, Zhang X, Mahamood M. Soil Nematodes of Grasslands in Northern China. Hangzhou: Zhejiang University Press and London: Academic Press (ISBN: 978-0-12-813274-6), 2017.
- [4] 骆静梅, 张晓珂, 梁文举. 土壤线虫采集、标本制作与数据分析. 2021, Bio-101: e1010621. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.1010621>
- [5] 张晓珂、梁文举、李琪等著. 长白山森林土壤线虫—形态分类与分布格局. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [6] Du, X. F., Li, Y. B., Han, X., Ahmad, W. and Li, Q. Using high-throughput sequencing quantitatively to investigate soil nematode community composition in a steppe-forest ecotone. Appl Soil Ecol, 2020, 152: 103562.
- [7] 李玉娟, 吴纪华, 陈慧丽, 等. 线虫作为土壤健康指示生物的方法及应用. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1541-1546.
- [8] 毛小芳, 李辉信, 陈小云, 胡锋. 土壤线虫三种分离方法效率比较. 生态学杂

志,2004(03):149-151.

- [9] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 科学出版社, 1998.
- [10] Barker K R, et al. Seasonal population dynamics of selected plant-parasitic nematodes as measured by three extraction procedures. *J Nematol*, 1969, 1(3):232-239.
- [11] Bongers, T. 1988. De nematoden van Nederland. KNNV Pirola, Schoorl NL. 408 p.
- [12] Bongers T. The Maturity Index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, 83(1): 14-19.
- [13] Bongers T, Bongers M. Functional diversity of nematodes. *ApplSoil Ecol*, 1998, 10(3): 239-251.
- [14] Bongers T, et al. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions[J]. *ApplSoil Ecol*, 1997, 6(2): 195-199.
- [15] Ferris H. Form and function: metabolic footprints of nematodes in the soil food web. *European J Soil Biol*, 2010, 46(2): 97-104.
- [16] Ferris H, Bongers T. Indices developed specifically for analysis of nematode assemblages. *Nematodes as Environmental Indicators*, 2009: 124-145.
- [17] Ferris H, et al. Structure, functions and interguild relationships of the soil nematode assemblage in organic vegetable production. *Appl Soil Ecol*, 2012, 61: 16-25.
- [18] Ferris H, et al. Reflections on plant and soil nematode ecology: past, present and future. *J Nematol*, 2012, 44(2): 115.
- [19] Liu MQ, et al. A sequential extraction procedure reveals that water management affects soil nematode communities in paddy fields. *ApplSoil Ecol*, 2008, 40, 250–259.
- [20] Yeates GW, Coleman D C. Role of nematodes in decomposition. *Nematodes in soil ecosystems*, 1982, 55-80.
- [21] Yeates G W, et al. Feeding habits in nematode families and genera—An outline for soil ecologists. *J Nematol*, 1993, 25(3):315-31.

第 13 章 土壤蚯蚓种群调查鉴定及线粒体基因组测序方法

蚯蚓是土壤中生物量最大的一类大型土壤动物，其生命活动能够改善土壤结构，提高土壤肥力，指示土壤环境质量，在自然界物质循环和生态平衡中起着重要的作用，其种群数量可作为评价土壤健康的一个重要生物指标。蚯蚓形态学鉴定质控通过多家单位土壤生物专家进行同时鉴定，将鉴定结果进行比对统一；蚯蚓线粒体基因组测序结果质控，一方面在 DNA 提取扩增时严格按照技术规程进行，另一方面线粒体基因组测序时包括元数据和测序数据的一致性检查、测序数据的质量检测、低质量测序序列的过滤及切除、接头序列及无关序列的剔除、污染序列的过滤、混合样本的数据分割等参照测序指导要求执行。

1. 材料与试剂

1.1 试剂

1.1.1 乙酸 (Rhawn, catalog number: R049946-500ML)

1.1.2 乙醇 (SIGMA, catalog number: E7023-500ML)

1.1.3 Mollusc DNA Kit (OMEGA E.Z.N.A.TM, catalog number: D3373-01)

1.1.4 PCR 引物 (Life Technologies)

1.1.5 PCR 反应体系试剂 (Tran Taq Polymerase High Fidelity catalog (HiFi), catalog number: AP131-11)

1.1.6 2000-bp Plus DNA 标准物 (DiNing, catalog number: DM1003)

1.2 耗材

1.2.1 铅笔 (Deli, catalog number: S907)

1.2.2 笔记本 (Deli, catalog number: 7952-A5-30)

1.2.3 镊子 (Jinzhong, catalog number: JD5020)

1.2.4 丁腈手套 (INTCO, catalog number: STDJY)

1.2.5 网筛 (PAMPAS, catalog number: 601011499100_GWc7T)

1.2.6 竹夹 (Muchun, catalog number: 1556299202_TZYNk)

1.2.7 大头针 (Deli, catalog number: 0039-3)

1.2.8 解剖套装 (TZZT, catalog number: 27001)

1.2.9 50-mL 离心管 (50-, 100-mL; BD Falcon, catalog number: 352070)

1.2.10 (1.5-, 5-mL; Eppendorf, catalog number: 0030125.150, 30119401)

1.2.11 单道移液器 (10, 20, 100, 200, 1000 μ L; Eppendorf, catalog numbers: 3120000020, 3120000038, 3120000046, 3120000054, 3120000062)

1.2.12 移液器吸头 (nuclease-free, 10, 200, 1000 μ L; Axygen, catalog numbers: T-300,

T-200-Y, T-1000-B)

1.2.13 Parafilm 封口膜 (Bemis, catalog number: PM-996)

1.2.14 15-cm 圆型培养皿 (Axygen, catalog number: ASJ-17-9142)

1.2.15 切胶刀片 (Jinzhong, catalog number: J11010)

1.2.16 核酸纯化柱(Doyobio, catalog number: T316109)

1.3 仪器

1.3.1 相机 (Canon, model: EOS 90D)

1.3.2 解剖镜 (Nikon, model: SMZ800N)

1.3.3 -80℃ 超低温冰箱 (Thermo Fisher Scientific, model: 907)

1.3.4 -20℃ 冰箱(Haier, catalog number: DW-40L92)

1.3.5 2-8℃ 医用冷藏箱 (Meiling, model: YC-330L)

1.3.6 高速离心机 (Eppendorf, model: 5810R)

1.3.7 旋涡混合器 (TIAGEN BIOTECH, catalog number: OSE-VS-01)

1.3.8 电泳仪 (JUNYI-DONGFANG, catalog number: JY300HC)

1.3.9 凝胶成像仪 (BIO-RAD, model: Universal Hood II)

1.3.10 紫外分光光度计 (Thermo Fisher Scientific, model: NanoDrop ND-2000)

1.3.11 电热恒温水浴锅 (Kanglu, model: HHS-4S)

1.3.12 电子天平 (Mettler Toledo, catalog number: AL104)

1.3.13 PCR 仪 (T100TM 99 ; BIO-RAD, model: 1861096)

2. 实验步骤

2.1 蚯蚓麻醉与固定

将每样地采集的动物样本用清水洗净，置于 10~15%乙醇溶液中麻醉 10~15 分钟。将麻醉后的样本移至 90%乙醇溶液或无水乙醇中固定 15 分钟，期间蚯蚓等动物需用竹镊子等调整至笔直状态。转移固定后的样本到密闭保存管或保存盒中，管内加满 90%乙醇溶液或无水乙醇，同时在管内外贴上牢固的塑料标签。随后 2~3 天内定期更换溶液 2~5 次，至溶液内基本无色素。样品可常温保存。处理好的标本可倒掉酒精邮寄，或带上公共交通工具，并于 1~2 天内加入酒精。

2.2 蚯蚓物种形态学鉴定

主要依据体型和生物学特征，即蚯蚓的大小和颜色、环节数、生殖带位置，性突起的特点、口器特点以及雄孔和雌孔位置，刚毛特征，并通过解剖观察砂囊的位置进一步的确定。

2.2.1 取出固定处理好的蚯蚓样本于盛满无水乙醇的石蜡盘上，使用解剖镜观察并记录

背腹面体色、体长、体宽、体节、体环、背中线、口前叶、背孔、环带、刚毛、雄生殖孔、雌生殖孔、受精囊孔的外部形态特征或数量，并于电脑上使用相机软件控制相机拍照。

2.2.2 将蚯蚓标本背面朝上于解剖盘上，沿背中线向前，用解剖剪小心剖开，并用大头针固定。

2.2.3 镜检观察蚯蚓内部器官形态特征并记录。统一从第V处起，依次观察蚯蚓样本内部隔膜、砂囊、受精囊、精巢囊、储精囊、心脏、小肠、雌生殖孔、受精囊孔、雄生殖孔、前列腺与盲肠等的位置、数量与形状,描述并记录特征，并用电脑控制相机拍照。

2.2.4 物种分类时首先参考我国已有的蚯蚓物种形态特征。参考陈义（1956）、尹文英（1998）与 Sims & Easton（1972）等已报道的蚯蚓特征表述进行详细比对鉴定。同时请专门的分类学家帮助完成。

2.3 蚯蚓样本 DNA 提取

2.3.1 采用软体动物DNA小量提取试剂盒（如OMEGA公司的OMEGA E.Z.N.A.TM Mollusc DNA Kit），提取富含糖类的环节动物组织细胞中的DNA。

2.3.2 备用试剂配置：在DNA Wash Buffer中加入 80mL 无水乙醇，混匀；氯仿和异戊醇（24:1）震荡混匀；Elution Buffer缓冲液60-70℃水浴。

2.3.3 剪取小于30mg的蚯蚓标本尾部肌肉，细致清除干净附着其上的肠道部分及土壤杂质等，用去离子水洗净，剪碎后放置于1.5mL微量离心管中。

2.3.4 依次加入350μl Buffer MBL 和 25μl 蛋白酶K,漩涡混匀,放置于37℃水浴中12-14小时，直到微量离心管中大多数组织完全溶解。

2.3.5 在1.5mL微量离心管中加入350μl氯仿-异戊醇混合液，漩涡混匀，然后RCF=10000转速室温离心2分钟。小心提取 250μl上清液置于新的1.5mL微量离心管中。加入5μl RNase A酶到微量离心管内，室温静置10-30分钟。

2.3.6 加入250μl Buffer MBL到微量离心管内，漩涡混匀10-15秒，水浴70℃ 10分钟。加入250μl乙醇（室温, 96-100%）到微量离心管内，漩涡混匀10-15秒。

2.3.7 将750μl混合液转移到试剂盒提供的2mL收集管上的收集柱中，然后RCF=10000转速室温离心1分钟，保留收集管，丢弃下清液。再同样转速室温离心1分钟，丢弃收集管与下清液。将收集柱放置在一个新的2mL收集管中，加入500μl HB Buffer缓冲液，然后RCF=10000转速室温离心30秒，丢弃下清液。

2.3.8 加入700μl DNA Wash Buffer缓冲液,然后转速10000室温离心1分钟，丢弃下清液。重复一次，丢弃下清液，然后将收集柱与收集管在转速15000室温离心2分钟。

2.3.9 将收集柱插入新的1.5mL微量离心管中,室温下开盖放置2分钟。加入50μl Elution

Buffer缓冲液，温浴2分钟，然后转速10000室温离心1分钟。按照上述步骤重复一次，以收获 100 μ l 的DNA。

2.3.10 判断DNA产量和质量：将提取的DNA用 NanoDrop ND-200测定其浓度，并用1%琼脂糖凝胶电泳检测其完整性。若总DNA完整且纯度在85%-90%之间，说明所得DNA的质量和浓度符合扩增要求。之后将DNA产物在-20℃冰箱保存。

2.4 线粒体基因扩增测序

2.4.1 设计以下引物进行线粒基因的扩增

COI (Bely and Wray, 2004):

正向引物：5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3'

反向引物：5'-TATACTTCTGGGTGTCCGAAGAATCA-3'

引物经由生物公司合成，并配成100 μ M 储存液，置于-20℃下保存备用。

2.4.2 PCR反应体系设置为 50 μ l，具体组成如下：

成分	反应体系 (50 μ l)
模板 DNA	1 μ l
正向引物 (10 μ M)	2 μ l
反向引物 (10 μ M)	2 μ l
2.5 mM d NTP	0.6 μ l
10*trans TaqTM HiFi Buffer I	4 μ l
Trans Taq DNA polymerase High Fidelity (HiFi)	9.6 μ l
dd H ₂ O	加至 50 μ l

每轮实验均需要设置阴性对照组（不加DNA，只加入相同体积的去离子水)和阳性对照（在同样的体系和条件下保证能扩增出的样品DNA）

2.4.3 PCR扩增条件设置如下：

步骤	温度 (°C)	时间	
预变性	94	5 min	1
变性	94	30 s	32个循环
退火	50	30 s	
延伸	72	1 min	
最终延伸	72	10min	1
保存	4°C	forever	1

2.4.4 获得扩增产物后，将 PCR 产物，3.0 μ L Marker 和阴性对照通过 2%琼脂糖凝胶电泳检测 PCR 产物，利用微量紫外分光光度计(NanoDrop ND-2000)测定扩增产物的浓度。

2.5 核酸质量检测

2.5.1 琼脂糖凝胶电泳

对提取的基因组 DNA 进行琼脂糖电泳检测。凝胶成像结果表明有完整的基因组条带，且无其他杂质的情况下判定为合格，如图 6。

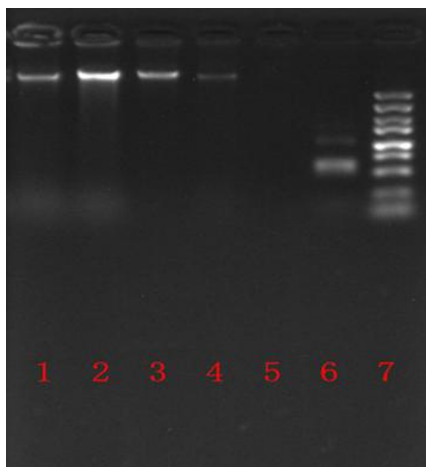


图 6 琼脂糖凝胶电泳图示例

2.5.2 根据PCR 产物浓度进行等浓度混样，充分混匀后使用1×TAE浓度2%的琼脂糖胶电泳纯化PCR产物，选择目标条带割胶，使用胶回收试剂盒回收目标条带，将回收的PCR产物送至生物公司利用Sanger法进行双端测序鉴定。

2.5.3 将测序获得原始数据导入Chromas软件生成序列峰图，判断结果序列质量。

2.5.4 将测序峰图利用DNASTar校准确后得到的COI 基因序列在NCBI GenBank中进行BLAST相似性搜索，寻找匹配的同源蚯蚓物种序列，构建系统发育树，确定蚯蚓物种分类学信息。

3. 蚯蚓群落特征分析

3.1 比对同一蚯蚓形态学鉴定和分子学鉴定的结果，结合采样信息记录统计各样点蚯蚓种类、数量和生物量。

3.2 运用Shannon-Weiner多样性指数、Margalef丰富度指数、Pielou均匀度指数和密度-类群DG指数等指数来表征蚯蚓的群落特征。

1) Margalef 丰富度 $d = (S-1) / \ln N$ 式中，S为总类群数，N为总个体数；

2) Shannon-Weiner 多样性指数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ 其中， $P_i = N_i / N$ ，N 为总个体数， N_i 为第i 个类群的个体数；

3) Pielou均匀度 $J = H' / H_{max}$ 式中， H' 为Shannon-Wiener指数， H_{max} 为最大多样性；

4) 密度-类群指数DG: $DG = (g/G) \sum (D_i C_i / D_{i \max} C)$, D_i 为第*i*个类群个体数, $D_{i \max}$ 为*C*个类群中第*i*个类群的最大值, C_i 为第*i*个类群在*C*个群落中出现的次数, G 为*C*个群落中出现的类群数, g 为要测度的某群落实有类群数。

3.3 汇总统计结果, 邀请制图专家协助进行蚯蚓种群分布图的绘制。

参考文献:

- [1] 蒋际宝. 中国巨蚓科蚯蚓分类与分子系统发育研究. 上海交通大学, 2016.
- [2] 陈义. 中国蚯蚓[M]. 科学出版社, 1956.
- [3] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 科学出版社, 1998.
- [4] Sims R W, Easton E G. 1972. A numerical revision of the earthworm genus *Pheretima* auct. (Megascolecidae: Oligochaeta) with the recognition of new genera and an appendix on the earthworms collected by the Royal Society North Borneo Expedition. *Biological Journal of the Linnean Society*, 4(3): 169–268.
- [5] Bely A E, Wray G A. 2004. Molecular phylogeny of naeid worms (Annelida: Clitellata) based on cytochrome oxidase I. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 30(1): 50–63.
- [6] 高杏. 无量山地区巨蚓科分类及分子系统发育研究. 上海交通大学, 2018.
- [7] 马梅. 中药广地龙高特异性PCR鉴别的研究. 广州中医药大学, 2014.

第 14 章 土壤生物样品分析质量控制方法

1. 分析误差来源

在分析过程中产生的误差包括系统误差、随机误差和差错。

系统误差是由分析过程中某些固定原因引起的。例如方法本身的缺陷、计量仪器不准确、试剂不纯、环境因素的影响以及分析人员恒定的个人误差等。它的变异是同一方向的，只要分析条件不变，在重复测定时会重复出现，易于找出产生误差原因、测定其大小并予以校正。

随机误差又称偶然误差，是指某些偶然因素，例如气温、气压、湿度的改变，仪器的偶然缺陷或偏离，操作的偶然失误或仪器污染等外因引起的误差。随机误差是服从正态分布的，即 95% 的测定值应落在均值 $\bar{x} + 1.96S_x$ （标准误）范围内，称为 95% 置信限。

差错亦称粗差，是由于分析过程中的粗心大意，或未遵守操作规程、或读数、记录、计算错误，或加错试剂等造成测定值偏离真值的异常值，应将它舍弃。差错无规律可循，小的错误，可增大试验误差，降低分析的可靠性，大的错误可导致分析失败。因此，在分析过程中必须严格要求，细心操作，避免发生错误。

控制随机误差（偶然误差）的方法一般采用重复测定法，即多次平行测定，取其平均值。因为平均值的偶然误差比单次测定值的偶然误差小，误差的大小与测量次数的平方根成反比（ $S_x = S / \sqrt{n}$ ）。土壤生物性质变异较大，一般需要进行 3—5 次重复；在评价某一测定方法时，需要采用 10 次左右的重复。

2. 分析误差表示方法

偏差是测定值偏离算术平均值（ \bar{x} ）的程度，用于表示分析结果的精密度。

2.1 绝对偏差（Absolute Deviation）

绝对偏差 = 测定值 (X_i) — 平均值 (\bar{X})

2.2 相对偏差（Relative Deviation）

相对偏差 = $\frac{\text{测定值 } (X_i) - \text{平均值 } (\bar{X})}{\text{平均值 } (\bar{X})} \times 100\%$

2.3 标准偏差（标准差，Standard Deviation）

表示群体的离散程度，用以说明分析结果的精密度大小。单次测定标准差为：

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / n}{n-1}}$$

S 值小，说明单次测定结果之间的偏差小，精密度高，平均值的代表性高。一般用 $\bar{X} \pm S_x$

表示。

2.4 平均值标准差（标准误，Standard Error of Mean）

一组多次平行测定结果用平均值表示时，一般用平均值标准差 S_x 表示平均值精密度的大小。 S_x 大小与测定次数 n 有关。

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

平均值标准差是重要的偏差指标，用 $\bar{x} \pm S_x$ 表示。

2.5 变异系数（Coefficient of Variation）

标准差占测定值的平均值的百分率称为变异系数（CV%）：

$$CV\% = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$$

CV%小，说明平均值的波动小，亦即精密度高，代表性好。

分析结果的准确度主要由系统误差决定，精密度则由偶然误差决定。准确度高，表示测定结果很好；精密度高，说明测定方法稳定，重现性好。提高分析质量要求既有很高的准确度，也要有很高的精密度。

3. 分析误差控制方法

3.1 粗差及系统误差的控制

控制分析差错（粗差）需要分析测试单位建立健全规章制度，加强分析检测人员的技术和责任心培训。

系统误差应从仪器、量具的校正，试剂质量选择，分析方法选用以及对照试验，空白试验等方面加以考虑。

3.1.1 仪器、量具的校正：必要时可对仪器、量器进行校正，如天平、比色计、容量瓶、移液管、滴定管等，以减免仪器误差；

3.1.2 试剂质量控制：应按分析要求选择适合的试剂质量，包括水及化学试剂。同时还应注意试剂的配制、使用和贮存方法，必要时提纯试剂；

3.1.3 空白试验：除了不加样品以外，完全按着样品测定的同样操作步骤和条件进行测定，所得结果称为空白试验值，用以校正样品的测定值，减少试剂、仪器误差和滴定终点等所造成的误差；

3.1.4 对照试验：用参比样品、标准方法逆行对照，或由分析单位不同人员或不同单位逆行分析对比，检验和校正分析结果的误差。

3.2 精密度控制

3.2.1 测定率：针对可以进行平行双样分析的项目，每批样品每个项目分析时均须做 10—15% 平行样品，5 个样品以下，应增加到 50% 以上。

3.2.2 测定方式：由分析者自行编入的明码平行样，或由质控员在采样现场、样品流转中心或实验室编入的密码平行样。二者等效，不必重复；

3.2.3 合格要求：平行双样测定结果的误差在允许误差范围之内。

3.3 准确度控制

采集 3 个典型土种的土壤生物样品（每个样品采集 100kg，-80°C 长期保存），选择已获得国家计量认证的分析单位（每类指标选择 3 个单位），分析土壤生物指标，获得具有可靠精密度的测定平均值，作为土壤生物调查中的质控样品，用于选择分析单位和控制土壤生物分析质量。

在控制精密度（每批带测质控平行双样）的基础上，参考《利用实验室间比对进行能力验证的统计方法》(GB/T28043-2011)，选择分析单位的分析值落在质控样保证值 $x \pm s$ (在 95% 的置信水平) 范围之内，保证每批次质控样测定值落在质控样保证值 $x \pm 2s$ (在 95% 的置信水平) 范围之内。

绘制土壤生物分析准确度质控图，用质控样的保证值 x 与标准偏差 s ，在 95% 的置信水平，以 x 作为中心线、 $x \pm 2s$ 作为上下警告线、 $x \pm 3s$ 作为上下控制线的基本数据。每批所带质控样的测定值落在中心附近、上下警告线之内，则表示分析正常，此批样品测定结果可靠；如果测定值落在上下控制线之外，表示分析失控，测定结果不可信，检查原因，纠正后重新测定；如果测定值落在上下警告线和上下控制线之间，分析结果虽可接受，但有失控倾向，应予以注意。

3.4 监测过程中受到干扰时的处理

检测过程中受到干扰时，按有关处理制度执行。一般要求如下：①停水、停电、停气等，凡影响到检测质量时，全部样品重新测定；②仪器发生故障时，可用相同等级并能满足检测要求的备用仪器重新测定。无备用仪器时，将仪器修复、重新检定合格后重测。

第 15 章 土壤生物数据质量控制方法

1. 分析质量控制范围

数据质量控制包括在数据产生、上报和入库过程中的质量控制。

2. 分析过程中数据质量控制

2.1 分析数据结果的表示

2.1.1 平行样测定结果的表示

平行样的测定结果用平均值表示，低于分析方法最低检出限的测定值按“未检出”报出，参加统计时按 1/2 最低检出限计算，但在计算检出率时，按未检出统计。

2.1.2 检测数据录入的位数

记录测量数据，要采用法定计量单位，只保留一位可疑数字，有效数字的位数应根据计量器具的精度及分析仪器的示值确定，不得随意增添或删除。

土壤生物样品测定值一般保留 3 位有效数字。表示分析结果精密度的数据，只取一位有效数字；当测定次数很多时，最多只取 2 位有效数字。表示分析结果的有效数字的位数，不能超过方法检出限的有效数字位数。

2.2 缺失和低于检测限数据的表示

2.2.1 数据的缺失一般由以下情况引起

- ①没有要求采样；
- ②不满足质量控制要求，数据被质量控制程序拒绝进入数据库；
- ③由于样品保存或采样分析超过规定时间；
- ④在样品储存或运输中丢失样品。

2.2.2 对缺失数据的统计处理一般采用三种方法解决

①删除：低版本 SAS 和一般电子表格进行描述性统计时，自动删除缺失数据，这是大部分统计软件和数据管理程序所采用的缺省方法。此时，数据报表上填空。

②替代：选用该土属不同土种生物调查的平均值替代。缺失数据应控制在 5% 以内，按照第一种方法处理，数据报表上填空。缺失数据应在备注中说明是何种原因引起的缺失（没有要求采样的数据，用 none 表示；不满足质控要求的数据或有问题数据，用 noqc 表示；其它原因而缺失的数据用 nodata 表示）。

③痕量数据的表示：未到检测限的数据，选择低于检测限数据的平均值填写，并应在备注中说明。

2.3 有效数字的计算修约规则

2.3.1 有效数字计算规则

- ①几个数字相加、相减的和或差的小数后保留位数与各数中小数后位数最少者相同；
- ②几个数字相乘、相除的积或商的有效数字位数与各数中有效数字位数最少者相同；
- ③进行对数运算时，对数的有效数字位数与真数相同；
- ④进行平方、开方、立方运算时，计算结果的有效数字位数与原数相同；
- ⑤某些常数 π 、 e 等的有效数字的位数是无限的，根据需要取位；
- ⑥计算测定结果的平均值，当测定次数为4或4以上并呈正态分布时，其有效数字的位数可比原数多1位；
- ⑦在计算的记录过程中，当有效数字位数确定后，其余数字应按修约规则一律舍去。

2.3.2 数字的修约

数字修约的原则：先运算后修约。数字修约按国家标准《数字修约规则》(GB8170-1987)进行。实例见表21。

表 21 数字修约实例

修约前	修约要求	修约规则	修约后
14.2432	保留一位小数	在拟舍弃的数字中，若左边第一个数字小于5（不包括5）时，则舍弃，即所拟保留的末位数不变；	14.2
26.4843	保留一位小数	在拟舍弃的数字中，若左边第一个数字大于5(不包括5)时，则进1，即所拟保留的末位数加1。	26.5
1.0501	保留一位小数	在拟舍弃的数字中，若左边第一个数字等于5时，其右边的数字并非全部为零时，则进1，即所拟保留的末位数加1。	1.1
0.3500	保留一位小数	在拟舍弃的数字中，若左边第一个数字等于5时，其右边的数字皆为零时，所拟保留的末位数若为奇数则进1，若为偶数(包括0)则不进。	0.4
0.4500	保留一位小数		0.4
1.5050	保留二位小数		1.50
15.4546	修约成整数	在拟舍弃的数字，若为两位以上数字时，不得连续进行多次修约（例如：将15.4546修约成整数，就不能一次修约为15.455、二次修约为15.46、三次修约15.5、四次修约为16），应根据所拟舍弃的数字中左边第一个数字的大小，一次修约出结果。	15

3. 分析数据上报前的检验

3.1 范围和逻辑检查

范围和逻辑检查即在数据获取后检查、询问和适时更正数据（包括表格和电子）文件中无效数据的过程。

在已经完成的表格中首先目视检查无效数据、缺失数据和错误数据；其次对一项或一系列项目进行范围和逻辑检查，检查出可能错误的过程。根据对表格的检查，提出关于可疑数据的准确性和完整性的问题表，要求产生数据的一方（如分析测试单位）进行核对并答复。负责土壤生物调查的单位根据答复对表格和电子文件进行修改。

3.2 数据的完整性检查

土壤生物调查与土壤剖面调查结合，采用土壤剖面调查的定位和详细背景信息表。土壤生物调查采集的样品编码和上报数据编码中，采用土壤三普土壤剖面编号原则，在土壤剖面编号基础上，添加 2 位数表示生物类型（0-微生物，1-线虫，2-蚯蚓）和重复数字（1-6）。

土壤生物调查采用相同电位的土壤剖面调查元数据文档，通过审核土壤剖面调查的元数据文档记录，可以溯源数据的误差来源，保证数据的完整性。包括：

- ①场地记录文档：对长期采样地自然地理背景、土壤类型、母质、利用方式的详细记录；
- ②方法记录文档：对采样时间、地点、试验设计、采样/观测方法的详细地记录；
- ③分析记录文档：分析测试条件、测试方法、QC 报告（空白、重复、标样、校正）
- ④数据处理文档：审核如何从原始数据到最终结果报告的过程以及数据转换步骤；
- ⑤仪器和标样（质控样）检定文档：审核分析测试的置信度。

3.3 数据的一致性和有效性检查

土壤生物调查在不同区域和不同时间完成，需要审核土壤生物采样中的空间一致性和时间一致性。检查重复样品的样地位置、采样年度的一致性，审查测定项目的分析方法、重复测定的数量，保证数据的代表性和有效性。数据的缺失率不大于 10%。每个数据集应有数据生产和质控后更新时间的说明。

3.4 数据的三级检验

为了保证土壤生物调查数据的整体质量，需要在数据生产的各个环节开展数据质量控制。包括土壤生物采样、土壤样品分析、数据处理和上报。由农业农村部第三次土壤普查信息中心—土壤生物调查质量控制中心—土壤生物样品采集和分析小组在各个层次进行数据检验和数据质量控制。

土壤生物样品采集和分析小组负责检查数据的精密度、准确度和可靠性，以保证分析数据准确可靠；土壤生物调查质量控制中心检查各个采集和分析小组上报数据的实验室内精密度、准确度和试验室间精密度、准确度，以及数据的完整性和区域可比性，以保证专业数据的准确可靠；农业农村部第三次土壤普查信息中心负责检查土壤生物调查质控中心数据归并错误、数据完整性，以保证综合分析数据的准确可靠。

4. 可疑数据的取舍

4.1 可疑数据的取舍原则

正常数据总是有一定的分散性，如果人为删去未经检验断定其离群数据（Outliers）的测定值（即可疑数据），由此得到精密度很高的测定结果并不符合客观实际。为了保障土壤生物调查数据符合客观实际，应随时剔除具有明显系统误差和过失错误的的数据，对离群数据（可疑数据）的取舍应采用统计学方法判别：

- ①复查产生可疑值的试验过程，如果是过失误差，则应舍弃；
- ②如果未发现过失，则应按统计程序，决定取舍。

4.2 异常值判别

4.2.1 计算的统计值不大于显著性水平 $\alpha=0.05$ 的临界值，则可疑数据为正常数据，保留；

4.2.2 计算的统计值大于显著性水平 $\alpha=0.05$ 的临界值，但小于 $\alpha=0.01$ 的临界值，此可疑数据为偏离数据，可以保留，取中位数代替平均值；

4.2.3 算的统计量大于显著性水平 $\alpha=0.01$ 的临界值，此可疑值为异常值，应与剔除，并对剩余数据继续检验，直到无异常值为至。

4.3 异常值的检验方法

4.3.1 大样本离群数据的取舍（三倍标准差法）

根据正态分布密度函数，设测定值为 X_i ，可表示为 $X_i+3S \geq \mu \geq X_i-3S$ 。若 X_i 在 $X_i \pm 3S$ 范围内，此数据可用；若在 $X_i \pm 3S$ 范围外，此数据不可用，须舍弃(亦称莱特准则)。该判断的置信度在 99.7%以上，但测定次数增多时，出现可疑值机会就随之增加，应将取舍标准改变如下。

先计算多次测定结果的平均值 \bar{X} 和标准差 S ，再计算 Z 值：

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n} \quad (n \text{ 为包括可疑值在内的测定次数})$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1}}$$

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{S} \quad (X \text{ 为可疑值})$$

然后查正态分布表，得对应于 Z 值的 a 值。如 $na < 0.1$ ，则舍弃， > 0.1 ，则不舍弃。

例如：土壤全氮的 5 次平行测定结束 ($g \cdot kg^{-1}$) 为 1.52, 1.48, 1.65, 1.85, 1.45。其中 1.85 为可疑值，需判断取舍。计算平均值 $\bar{X}=1.59$ ； $S=\pm 0.164$ ； $Z = (1.85 - 1.59) / 0.164 = 1.585$ 。

查正态分布表 $\alpha=0.0565$, $n\alpha=5\times 0.0565=0.2825$, 因 $n\alpha>0.1$, 可疑值 $1.85\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 不予舍弃。

4.3.2 小样本离群数据取舍

在有限数的小样本估测可疑数据的统计检验方法包括：Dixon、Grubbs、Cochran 和 Youden 检验法。可以对一个样品，一批样品，一台仪器或一组数据中可疑数据的检验。现介绍最常用的两种方法。

①狄克逊 (Dixon) 检验法

此法适用于一组测量值的一致性检验和剔除离群值，本法中对最小可疑值和最大可疑值进行检验的公式因样本的容量 n 的不同而异，检验方法如下。

将一组测量数据从小到大顺序排列为 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, X_1 和 X_n 分别为最小可疑值和最大可疑值，按表 22 计算公式求 Q 值。

根据表 23 中给定的显著性水平 α 和样本容量 n 查得临界值 Q_α 。若 $Q\leq Q_{0.05}$, 则检验的可疑值为正常值；若 $Q_{0.05}<Q\leq Q_{0.01}$, 则可疑值为偏离值；若 $Q>Q_{0.01}$, 则可疑值为离群值，应舍去。

例：一组测定值按从小到大的顺序排列为 14.56、14.90、14.90、14.92、14.95、14.96、15.00、15.00、15.01、15.02。检验 14.56 是否为异常值，可疑值为最小值 X_1 时，按下式计算统计量：

$$Q = \frac{X_2 - X_1}{X_n - 1 - X_i} = \frac{14.90 - 14.56}{15.01 - 14.56} = 0.755$$

当 $n=10, \alpha=0.01$ 时，查表 3, $Q=0.579$ 。由于 $0.755>0.579, Q>Q_{0.01}$, 判定 X_1 为异常值，应舍去。

表 22 Dixon 检验统计量 Q 计算公式

n 值范围	可疑值为最小值 X_1 时	可疑值为最大值 X_n 时
3~7	$Q=(X_2-X_1)/(X_n-X_1)$	$Q=(X_n-X_{n-1})/(X_n-X_1)$
8~10	$Q=(X_2-X_1)/(X_{n-1}-X_1)$	$Q=(X_n-X_{n-1})/(X_n-X_2)$
11~13	$Q=(X_5-X_1)/(X_{n-1}-X_1)$	$Q=(X_n-X_{n-2})/(X_n-X_2)$
14~25	$Q=(X_3-X_1)/(X_{n-2}-X_1)$	$Q=(X_n-X_{n-2})/(X_n-X_3)$

表 23 Dixon 检验临界值表 (GB17378.2-1998)

显著性 水平	n								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Q _{0.05}	0.941	0.765	0.642	0.560	0.507	0.554	0.512	0.477	0.576
Q _{0.01}	0.988	0.889	0.780	0.698	0.637	0.683	0.635	0.597	0.679
显著性 水平	n								
	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Q _{0.05}	0.546	0.521	0.546	0.525	0.507	0.490	0.475	0.462	0.450
Q _{0.01}	0.642	0.615	0.641	0.616	0.595	0.577	0.561	0.547	0.535

②格鲁勃斯 (Grubbs) 检验法

此法适用于检验多组测量值的均值的一致性和剔除多组测量值中的离群均值,也可以用于检验一组测量值一致性和剔除一组测量值中离群值。方法如下:

在一组测量值中,依从小到大顺序排列为 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, 若对最小值 X_1 或最大值 X_n 可疑时, 进行下列计算:

$$T = (\bar{X} - X_1) / S$$

$$T = (X_n - \bar{X}) / S$$

式中 X_1 为最小值, X_n 为最大值, \bar{X} 为平均值, S 为标准差。

若根据测定次数 (n) 和给定的显著性水平 a, 从表 15-6 得 T_a 临界值。若 $T \leq T_{0.05}$, 则可疑值为正常值; 若 $T_{0.05} < T \leq T_{0.01}$, 则可疑值为偏离值; 若 $T > T_{0.01}$, 则可疑值为离群值, 应舍去。舍去离群值后, 再计算 \bar{X} 和 S , 再对第二个极值进行检验。

表 24 Grubbs 检验临界值表 (GB17378.2-1998)

显著性 水平	n								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T _{0.05}	1.153	1.463	1.672	1.822	1.938	2.032	2.110	2.176	2.234
T _{0.01}	1.155	1.492	1.749	1.944	2.097	2.221	2.323	2.410	2.485
显著性 水平	n								
	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T _{0.05}	2.285	2.331	2.371	2.409	2.443	2.475	2.504	2.532	2.557
T _{0.01}	2.550	2.607	2.659	2.705	2.747	2.785	2.821	2.854	2.884

第 16 章 土壤质量和土壤健康的评价方法

1. 评价原理

基于土壤生物和土壤剖面的共点调查,在我国第三次全国土壤调查数据库中,建立我国第三次全国土壤生物和土壤剖面调查数据库,综合利用我国重要土种的土壤物理学、化学和生物学性状,基于数理统计分析等模型方法(表 1),建立土壤质量和土壤健康的综合评价方法。

(1) 在我国第三次全国土壤生物和土壤剖面调查数据库中,选取土壤生物学评价指标体系,分析其生物功能效应(如促进/抑制养分积累、植物生长等),根据生物功能建立评价的隶属度函数,开展土壤质量和土壤健康的生物学单因子评价。

(2) 利用统计分析软件(如 SPSS, Stata, Statistic, SAS, R 语言等)进行因子分析,确定因子权重;建立评价土壤生物多样性和生物健康质量的最小指标集;建立土壤质量和土壤健康的生物学综合指数(Soil Biological Index, SBI)评价方程,计算 SBI 指数评分值。

(3) 在我国第三次全国土壤生物和土壤剖面调查数据库中,选取土壤物理和化学评价指标体系,分析其作物产量效应,建立评价的隶属度函数,开展土壤质量和土壤健康的物理学和化学单因子评价。

(4) 利用统计分析软件进行因子分析,建立评价土壤物理学生物多样性和生物健康质量的最小指标集;建立土壤质量和土壤健康的物理学综合指数(Soil Physical Index, SPI)和化学综合指数(Soil Chemical Index, SCI)评价方程,计算 SPI 和 SCI 指数评分值。

(5) 综合利用土壤质量和土壤健康的物理学、化学和生物学单因子评价结果,建立土壤质量和土壤健康综合指数(Soil Health Index, SHI)评价方程,计算 SHI 指数评分值。

(6) 根据评价结果,采用地理信息系统软件(如 ArcGIS, MapGIS, Mapinfo)绘制土壤质量和土壤健康的生物学评价图和综合评价图。

(7) 开展耕地土壤健康和耕地特色农产品适应性评价,撰写评价报告,提出土壤健康的区域调控对策。

表 1 土壤质量 和土壤健康评价过程中的经验模型

评价过程	应用的模型和方法
选择评价因素	主成分分析、逐步回归、层次分析法、多元回归、相关系数检验、灰色关联度分析
确定因素权重	层次分析、多元回归、主成分分析、逐步回归、灰色关联度分析
综合评价	分级赋值法、模糊综合判别、聚类分析

2. 评价步骤

2.1 土壤生物调查评价数据库建设

按数据库规范建立标准数据库，以土种为单元建立土壤生物数据库管理系统，包括空间数据、属性数据、相关参数、模型等，为全国耕地质量评价、土壤适宜性评价等提供生物数据支撑。

基于土壤三普技术规范，以全国农业技术推广服务中心《耕地地力调查与质量评价技术规程 NYT1634-2008》、《县域耕地资源管理信息系统数据字典》（张炳宁等，2004）为数据标准基础，补充完善土壤生物数据字典。系统的数据标准、数据流程、分析方法、成果表达等符合土壤三普调查统一要求（全国农业技术推广服务中心，2005，2006）。在建立数据库管理系统中，以 VB 编程语言（如 Microsoft Visual Basic 6.0）为开发语言，以 GIS 软件（如 ESRI 公司 MapObjects）为空间数据显示、编辑、分析工具，以 Access MDB 数据库和 Dbase DBF 数据库保存属性数据，可以通过网络与 GeoDatabase 交换数据，以 Microsoft Windows 11，Microsoft Office 2020 为单机系统运行环境。

2.2 土壤质量和土壤健康的生物学指数评分法

2.2.1 建立评价土壤质量和土壤健康的生物学最小指标集（Minimum Index Set）

针对特定的问题、过程、管理措施或政策，确定土壤质量和土壤健康的生物学评价的关键功能，建立定量评价的指标体系和评价标准。对农业系统而言，应根据培育土壤养分库容、提升作物产量的功能确定评价标准。

基于主成分分析法（Principal Component Analysis, PCA），通过正交变换将一组可能存在相关性的变量转换为一组线性不相关的变量（主成分，Principal Component）。主成分因子分析要求主成分的累计贡献率占总方差的 75% 以上（表 2）。不同土壤生物主成分代表了不同的功能群，但主成分中的生物因子指标间存在重叠现象。需要利用评分函数法对数据进行标准化处理，通过数理统计进行聚类分析，从中提取出核心评价指标，建立评价土壤质量和土壤健康的生物学“最小指标集”。

表 2 因子主成分的特征值和贡献率（示例）

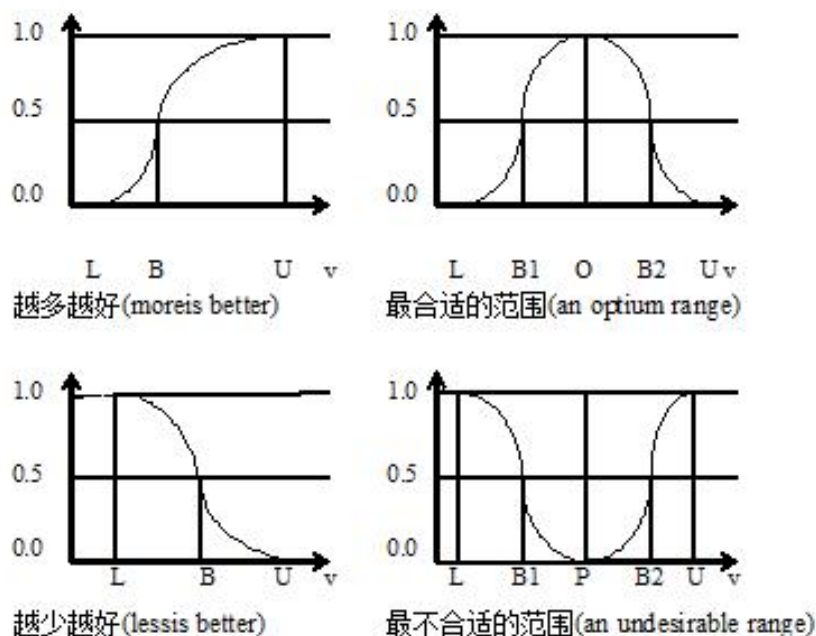
主成分	特征值	贡献率（%）	累计贡献率（%）
1	2.495	22.7	22.7
2	1.600	14.5	37.2
3	1.299	11.8	49.0
4	1.146	10.4	59.4
5	1.029	9.4	68.8
6	0.862	7.8	76.6
7	0.828	7.5	84.2
8	0.645	5.9	90.1
9	0.564	5.1	95.2
10	0.419	3.8	99.0
11	0.113	1.0	100

2.2.2 标准化土壤生物学评价指标，确定转换阈值

测定土壤生物评价指标，建立各个土壤生物指标与土壤生物功能间的关系模型。这一过程大多针对各项指标，建立相应的评分函数（将评价数值转变为变幅为0—1的无量纲数值）（图1），确定其转换的阈值，对各项指标进行评分。

2.2.3 建立土壤质量和土壤健康生物学综合指数（SBI）评分方程，确定评价权重系数

利用经验模型（层次分析、多元回归分析、主成分分析、逐步回归分析、灰色关联度分析等）或根据专家意见确定各项评价指标和土壤功能的权重，在各级指标体系中所有指标的权重之和应为1或100%；如通过计算相应的载荷矩阵，并求出各项指标的公因子方差，方差的大小表示了该项指标对土壤质量和土壤健康总体变异的贡献，由此可以得出各项指标的权重（表3）。



L、B、U 和 S 分别表示阈值下限、基准线、阈值上限和斜率。

图 1 土壤质量和土壤健康生物学评价的 4 种评分函数

表 3 不同评价指标的公因子方差和权重

综合指标	单因子指标	公因子方差	权重值
微生物多样性	指标 1	0.889	0.189
	指标 2	0.912	0.194
	指标 3	0.776	0.165
	指标 4	0.610	0.130
	指标 5	0.752	0.160
	指标 6	0.760	0.162

在确定各个生物学指标权重系数的基础上,利用加乘方法,建立土壤质量和土壤健康的生物学综合指数(SBI)评分方程。在相互交叉的同类指标间采用加法进行合成,分别计算土壤微生物生物量(MB)、土壤微生物活性(RE)、土壤微生物物种多样性(MD)、土壤生物功能多样性(FD)、土壤动物多样性(AD)隶属度的综合指数。然后在相互独立的5类指标间采用乘法进行合成,计算土壤生物学指数(Soil Biological Index,SBI):

$$SBI=MB \times RE \times MD \times FD \times AD$$

$$= \left(\sum_{i=1} k_{1i} \times MB_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k_{2i} \times RE_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k_{3i} \times MD_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k_{4i} \times FD_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k_{5i} \times AD_i \right) \quad (16.1)$$

式16.1中, k_{1i} 、 k_{2i} 、 k_{3i} 、 k_{4i} 、 k_{5i} 分别是微生物生物量、微生物活性、微生物物种多样性、生物功能多样性和动物多样性的各个生物学指标的权重系数, MB_i 、 RE_i 、 MD_i 、 AD_i 分别是微生物生物量、微生物活性、微生物多样性、生物功能多样性和动物多样性指标的隶属度值。SBI是评价土壤质量和土壤健康的生物指数。

2.2.4 土壤质量和土壤健康的生物指数评价等级

将各指标的评分值与权重系数相乘,得到土壤生物指数评分的矩阵,其总和即为土壤生物指数的等级值。这些值在0.1~1.0范围之间。最高值1.0表示土壤生物指数表征的土壤质量和土壤健康水平完全适宜植物生长,最低值(如取0.1)表示土壤生物指数完全不适宜植物生长。参考《耕地质量评定与分等定级技术规范 DB33T 895》,将土壤生物指数划分为高、中、低3类10个等级。

2.2.5 土壤质量和土壤健康管理的生物学评价与调控对策分析

全国1:100万土壤图的基本制图单元为土属,1:400万土壤图的基本制图单元为亚类。在土属尺度上,根据土种生物单因子指标评价和多因子指标综合评价结果,基于土属中土种面积进行面积加权平均,获得土属单元的生物指标值和指数评价价值。在亚类尺度上,根据土属生物单因子指标评价和多因子指标综合评价结果,基于亚类中土属面积比例进行面积加权平均,获得土壤亚类单元的生物单因子指标值和多因子指数评价价值。

在此基础上,采用地理信息系统软件(如ArcGIS, MapGIS, Mapinfo)绘制土壤生物健康单因子评价图和复合因子综合评价图。如针对单项指标,绘制土壤细菌、真菌、线虫和蚯蚓图谱(ATLAS),绘制微生物生物量碳、土壤呼吸量、土壤可培养功能微生物、土壤蚯蚓生物量等指标分布图。针对复合指标,绘制土壤微生物生物量等级分布图、土壤微生物活性等级分布图、土壤微生物多样性指数等级图、土壤生物功能多样性指数等级图、土壤动物多样性指数等级图。针对土壤生物学综合指标,绘制耕地土壤质量和土壤健康的生物学评价等级分布图。

组织国内土壤微生物、土壤动物、土壤生物物种和功能多样性、土壤健康领域的专家组

建土壤生物评价团队，分析研究土壤生物调查数据和评价结果，撰写中国土壤生物多样性、土壤质量和土壤健康的生物学评价报告，提出我国不同区域土壤质量和土壤健康管理的生物学调控对策。

2.3 土壤质量和土壤健康的综合指数评分法

按照土壤生物指数评价方法，针对土壤物理学指标（容重、团聚体、黏粒含量等）和土壤化学指标（有机质、养分含量、重金属含量、pH等）分别建立评价土壤质量和土壤健康的土壤物理学和化学最小指标集（Minimum Index Set）。

在确定各个物理和化学指标权重系数的基础上，利用加乘方法，建立土壤质量和土壤健康综合指数（SBI）评分方程。在相互交叉的同类指标间采用加法进行合成，在相互独立的指标间采用乘法进行合成，计算土壤物理学指数（Soil Physical Index, SFI）和土壤化学指数（Soil Chemical Index, SCI）。

$$PI=BD \times SA \times CC \\ = \left(\sum_{i=1} k1_i \times BD_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k2_i \times SA_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k3_i \times CC_i \right) \quad (16.2)$$

式 16.2 中， $k1_i$ 、 $k2_i$ 、 $k3_i$ 分别是容重类、团聚体类、黏粒类物理学指标的权重系数， BD_i 、 SA_i 、 CC_i 分别是容重类、团聚体类、黏粒类物理学指标的隶属度值。

$$SBI=OM \times NC \times HM \times PH \\ = \left(\sum_{i=1} k1_i \times OM_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k2_i \times NC_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k3_i \times HM_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k4_i \times PH_i \right) \\ (16.3)$$

式 16.3 中， $k1_i$ 、 $k2_i$ 、 $k3_i$ 、 $k4_i$ 分别是有机质类、养分类、重金属类、pH 类化学指标的权重系数， OM_i 、 NC_i 、 HM_i 、 PH_i 分别是有机质类、养分类、重金属类、pH 类化学指标的隶属度值。

最后，集成土壤生物学指数（Soil Biological Index），土壤物理学指数（Soil Physical Index）和土壤化学指数（Soil Chemical Index），建立土壤质量和土壤健康的综合指数（Soil Health Index, SHI）。

$$SHI=SBI \times SPI \times SCI$$

在此基础上，采用地理信息系统软件绘制 1:400 万土壤健康的单因子、复合因子和综合因子评价图。撰写土壤质量和土壤健康的综合评价报告，提出我国不同区域土壤质量和土壤健康管理的综合调控对策。

参考文献：

- [1] 张炳宁, 彭世琪, 张月平. 2004. 县域耕地资源管理信息系统数据字典. 北京: 中国

农业出版社. 214pp.

[2] 张炳宁, 张月平, 张秀美. 1999. 基本农田信息系统的建立及其应用. 土壤学报, 36(4): 510-521.

[3] 全国农业技术推广服务中心. 2005. 耕地地力调查与质量评价. 北京: 中国农业出版社. pp.145-226.

[4] 全国农业技术推广服务中心. 2006. 耕地地力评价指南. 北京: 中国农业科学技术出版社. pp.25-150.

[5] 孙波, 赵其国, 红壤退化中土壤质量的评价指标和评价方法. 地理科学进展, 1999, 18(2): 118-128.246.

[6] 赵其国, 孙波, 张桃林, 土壤质量与持续环境, I.土壤质量的定义及评价方法. 土壤, 1997, 29(3): 113-120.243.

[7] 孙波, 赵其国, 张桃林, 余慎, 土壤质量与持续环境, III.土壤质量评价的生物学指标. 土壤, 1997, 29(5): 225-234.

[8] Zhang, Z., Qu, Y., Li, S. et al. 2017. Soil bacterial quantification approaches coupling with relative abundances reflecting the changes of taxa. *Scientific Reports*, 7: 4837. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05260-w>.

[9] Karlen, D. L. and Diane, E. S., A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality, p.53-72, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1994.

第 17 章 土壤生物调查数据管理方法

1. 土壤生物调查数据范围

土壤生物调查数据包括土壤生物样品、土壤生物分析数据、土壤生物评价图、土壤生物评价报告。

2. 土壤生物调查数据管理原则

严格遵守土壤三普数据的产权保护政策与共享制度,按照土壤三普数据管理制度执行土壤生物调查数据的管理。

3. 土壤生物调查数据管理执行人

3.1 在土壤三普期间,由土壤生物调查数据管理团队负责数据质量管理和数据共享服务,保证进入数据库的数据的正确性、安全性,保障对调查报告的数据支撑。

3.2 在土壤三普工作结束后,由国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室负责系统的安全运行,保障数据库的长期管理,为全国数据共享提供服务。

4. 土壤生物调查数据库管理

4.1 在土壤三普信息平台中建立物理隔绝的土壤生物调查数据库,所有数据及备份保存在物理隔离信息平台中,保障数据安全。

4.2 所有调查数据和文档需进行备份(光盘、硬盘),每年检查并更新备份数据一次,防止由于储存介质问题引起数据丢失;保证数据长期可用和安全性。

5. 土壤生物调查数据共享制度

5.1 遵守国家保密法规和知识产权保护法律,严格保护数据生产单位的权益;遵循“权利与义务对等、平等互利”原则,实现土壤三普数据调查单位之间的数据共享,支撑土壤三普报告的编写工作。

5.2 土壤三普所有数据均属于国家的数据资源,由国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室行使对数据所有权的管理,土壤生物调查参与单位为数据生产单位,不具有对数据的独立产权,但享有调查数据的优先利用权和调查报告的署名权。

5.3 土壤三普中所有数据对国家有关部门不设保护期限,根据数据用户类型和数据用途制定合理的数据保护期限,在保护期内其他用户必须可通过协议等方式获取和利用数据,但需要获得相关主管部门的书面许可,不得向第三者转手提供。

5.4 在土壤三普设置的数据保护期限后,数据生产者可以使用各自所生产的数据开展科学研究、技术研发、示范应用等工作;其他数据应用单位(研究者)在发表相关成果时,应注明其所利用数据的生产单位(或研究者)、数据提供单位,并向数据所有权部门(数据提供单位)提供数据利用情况,提交发表的成果。

5.5 违反 5.3、5.4 规定即为侵犯知识产权行为。国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室和相关主管部门可依法追究侵权单位和责任人的法律责任。

附件 8

土壤样品制备与检测技术规范

(试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2022 年 7 月

目 次

1 适用范围.....	400
2 样品制备.....	400
2.1 制定计划.....	400
2.2 制备种类.....	400
2.3 制样场地.....	400
2.4 制样工具.....	400
2.5 外业样品接收.....	401
2.6 制备流程.....	401
2.7 注意事项.....	402
3 样品流转.....	402
3.1 流转样品种类.....	402
3.2 流转计划.....	402
3.3 样品组批和装运.....	403
3.4 样品交接.....	405
4 样品保存.....	405
4.1 土壤样品库样品保存.....	405
4.2 留存样品保存.....	405
4.3 预留样品保存.....	405
4.4 剩余样品保存.....	406
5 样品检测.....	406
5.1 检测计划.....	406
5.2 样品细磨.....	406
5.3 检测指标及方法.....	406
5.4 结果上报.....	407
6 质量控制.....	407
附表 1: 土壤样品交接记录表.....	408

附表 2: 一般样品和土壤剖面样品制备记录表.....	409
附表 3: 土壤水稳性大团聚体样品制备记录表.....	410
附表 4: 土壤样品批次记录表.....	411
附表 5: 土壤样品装运记录表.....	412
附表 6: 耕地园地土壤理化性状检测指标及方法.....	413
附表 7: 林地草地土壤理化性状检测指标及方法.....	422
附表 8: 检测结果电子数据填报记录表(式样).....	425

1 适用范围

本技术规范明确了土壤样品制备、保存、流转和检测的方法及技术要求。

本技术规范适用于第三次全国土壤普查工作。

2 样品制备

省级第三次全国土壤普查领导小组办公室（以下简称省级土壤普查办）根据本区域土壤样品采集数量情况，统筹安排样品制备工作任务，采取就近原则，由本区域确定的检测实验室操作实施。有样品集中制备工作基础的省（自治区、直辖市）可探索样品制备中心等方式，集中统一制备土壤样品。

2.1 制定计划

省级土壤普查办负责制定样品制备计划。样品制备计划应包括：任务安排、制样场地、制样人员、制备流程、制备时限、样品流转、质量控制等。

2.2 制备种类

土壤样品制备种类分为一般样品（表层土壤样品）、土壤剖面样品（剖面发生层样品）和水稳性大团聚体样品。

2.3 制样场地

包括风干室和样品制备室。风干室应通风良好、整洁、无易挥发性化学物质，并避免阳光直射。样品制备室应通风良好，每个制样工位适当隔离，避免交叉污染，面积不少于 80 平方米，室内具备互联网络条件，并安装在线全方位监控摄像头，确保可以随时接受远程实时检查，制样过程全程摄像并保存记录 3 年。

2.4 制样工具

- （1）盛样用搪瓷盘、木盘、塑料盘、有机玻璃盘等。
- （2）土壤粉碎用木锤、木铲、木棍、有机玻璃棒，有机玻璃板或硬质木板或无色聚乙烯薄板等。
- （3）孔径为 2mm 的尼龙筛。
- （4）用于静电吸附除去植物残体的器具。如有机玻璃棒和丝绸，静电除杂仪器等。
- （5）磨口玻璃瓶、聚乙烯塑料瓶等样品分装容器，规格根据样品量而定，可采用不同规格的瓶分装不同粒径的样品。不得使用含有待测组分或对测试有干扰的材料制成的样品瓶或样品袋盛装样品。
- （6）电子天平、原始记录表等。

2.5 外业样品接收

调查采样队指定专人负责流转一般样品（表层土壤样品）、剖面样品（剖面发生层样品）和土壤水稳性大团聚体样品至承担样品制备任务的检测实验室。实验室接收样品时，要指定专人负责样品接收确认，重点检查样品标签、样品状况、样品重量、样品数量、样品包装情况等，样品重量应满足风干粗磨后土壤样品库样品、留存样品、送检样品等样品重量要求，如发现破损、重量不足、样品信息不全等情况不予接收，并及时报告省级质量控制实验室。

2.6 制备流程

样品制备过程每个环节均应充分混匀样品，以保证每一份样品都具有代表性。

2.6.1 一般样品制备

风干：在风干室将土样放置于盛样器皿中，除去土壤中混杂的动植物残体等，摊成2—3cm的薄层，置于阴凉处自然风干，严禁暴晒或烘烤。风干过程中，应适时翻动，用木棍压碎（或用两个木铲搓碎）土样，进一步清理土壤中的动植物残体等杂物。翻动过程要注意防止样品间交叉污染。对于黏性土壤，在土壤样品半干时，须将大块土捏碎，以免完全干后结成硬块。样品风干后混匀，用以粗磨。

粗磨：将样品置于有机玻璃板（或硬质木板或无色聚乙烯薄板）上，用木锤轻轻敲碎，再用木棍或有机玻璃棒进行再次压碎，细小已断的植物须根采用静电吸附的方法清除。将全部土样手工研磨后混匀，过孔径2mm（10目）尼龙筛，去除2mm以上的石砾，大于2mm的土团要反复研磨、过筛，直至全部通过。研磨过程中不可随意遗弃样品，应及时填写样品制备原始记录，注意记录过筛前后的土壤样品质量。

石砾含量较多时，耕地园地土壤样品应记录风干、粗磨过程中弃去的石砾质量，并计算石砾质量百分数。林地草地土壤样品应记录风干、粗磨过程中弃去的砖瓦石块、石灰结核、石砾质量，并计算碎石和石砾的总体质量百分数。

分装：粗磨后样品充分混匀后进行分装。

耕地园地每个一般样品的送检样品不少于600g，留存样品不少于300g。如果送检样品含密码平行样，则不少于1200g。

林地草地每个一般样品的送检样品不少于450g，留存样品不少于150g。如果送检样品含密码平行样，则不少于900g。

2.6.2 土壤剖面样品制备

样品风干后，一部分样品按土壤发生层次分别装入容器中，每份不少于500g，流转至

土壤样品库保存；一部分样品按照一般样品的粗磨，分层完成相关操作。

耕地园地每层剖面样品的送检样品不少于 600g，留存样品不少于 200g。

林地草地每层剖面样品的送检样品不少于 540g，留存样品不少于 160g。

2.6.3 土壤水稳性大团聚体样品制备

一般样品、剖面样品的第 1 层样品采集时，均需采集土壤水稳性大团聚体样品。将野外采集的土壤沿自然结构轻轻剥成 10mm—12mm 直径的小土块，弃去根系与植物残渣和杂物。剥样时应沿土壤的自然结构而轻轻剥开，避免受机械压力而变形。然后将样品按一般样品制备相关要求风干，风干时应尽可能保持样品形态，严禁压碎或搓碎样品。水稳性大团聚体样品风干后，送检样品不少于 1000g，如果送检样品含密码平行样，则不少于 1500g。

2.7 注意事项

样品风干、粗磨、分装过程中，样品编码必须始终保持一致。制样所用工具每处理完一个样品后需清洁干净，避免交叉污染。定期检查样品标签，严防样品标签模糊不清或脱落丢失。样品制备时应现场填写土壤样品制备记录表（见附表 2、附表 3），相关制备信息上报土壤普查工作平台。如受场所限制不能集中风干，应确保每个分散风干的场所满足本规范要求，并安排专人负责日常监督管理。

3 样品流转

省级土壤普查办负责组织样品流转工作，承担制备任务的实验室具体负责操作实施。样品制备与检测须按照制检分离原则，分别由不同检测实验室承担。

3.1 流转样品种类

土壤样品库样品：流转至土壤样品库的剖面分层样品，用于长期保存。

留存样品：流转至承担样品制备任务的实验室保存，用于留样抽检不合格时的再次复检等。

送检样品：流转至承担样品检测任务的检测实验室后，由实验室分为预留样品和检测样品。**预留样品**用于留样抽检等。**检测样品**用于相关指标检测。

3.2 流转计划

省级土壤普查办对本区域内样品流转进行统筹，制定样品流转计划。样品流转计划应包括样品份数，样品在实验室流转的各个环节交接时间、地点，质控样品插入要求等内容。

在一般样品流转前，省级质量控制实验室负责加入密码平行样品和质控样品，并进行转码。在土壤剖面样品流转前，省级质量控制实验室负责加入质控样品，并进行转码。在土壤

水稳性大团聚体样品流转前，省级质量控制实验室负责加入密码平行样品，并进行转码。土壤样品流转图见图 1。

3.3 样品组批和装运

3.3.1 一般样品

省级质量控制实验室按样品批次加入密码平行样品和质控样品。依据《土壤普查全程质量控制技术规范》要求，按照 50 个样品一个批次组批，每批次应包含送检样品 48 个、密码平行样品 1 个、质控样品 1 个。样品不足 48 个时，按照实际样品数量组批。承担制备任务的实验室应提供转码场地，由省级质量控制实验室按样品批次随机插入密码平行样品组和质控样品，并做好批次样品转码和信息记录等，土壤样品批次记录表（见附表 4）签字留存。

承担制备任务的实验室应指定核对负责人，在样品装运现场核对，并在土壤样品装运记录表（见附表 5）签字；重点检查样品标签、样品重量、样品数量、样品箱（包）量、样品包装容器、样品目的地、样品应送达时限等，如有破损、撒漏或标签有缺项，应及时补齐、修正后方可装运。

3.3.2 土壤剖面样品

除不添加密码平行样品外，其余要求同一般样品。

3.3.3 土壤水稳性大团聚体样品

除不添加质控样品外，其余要求同一般样品。

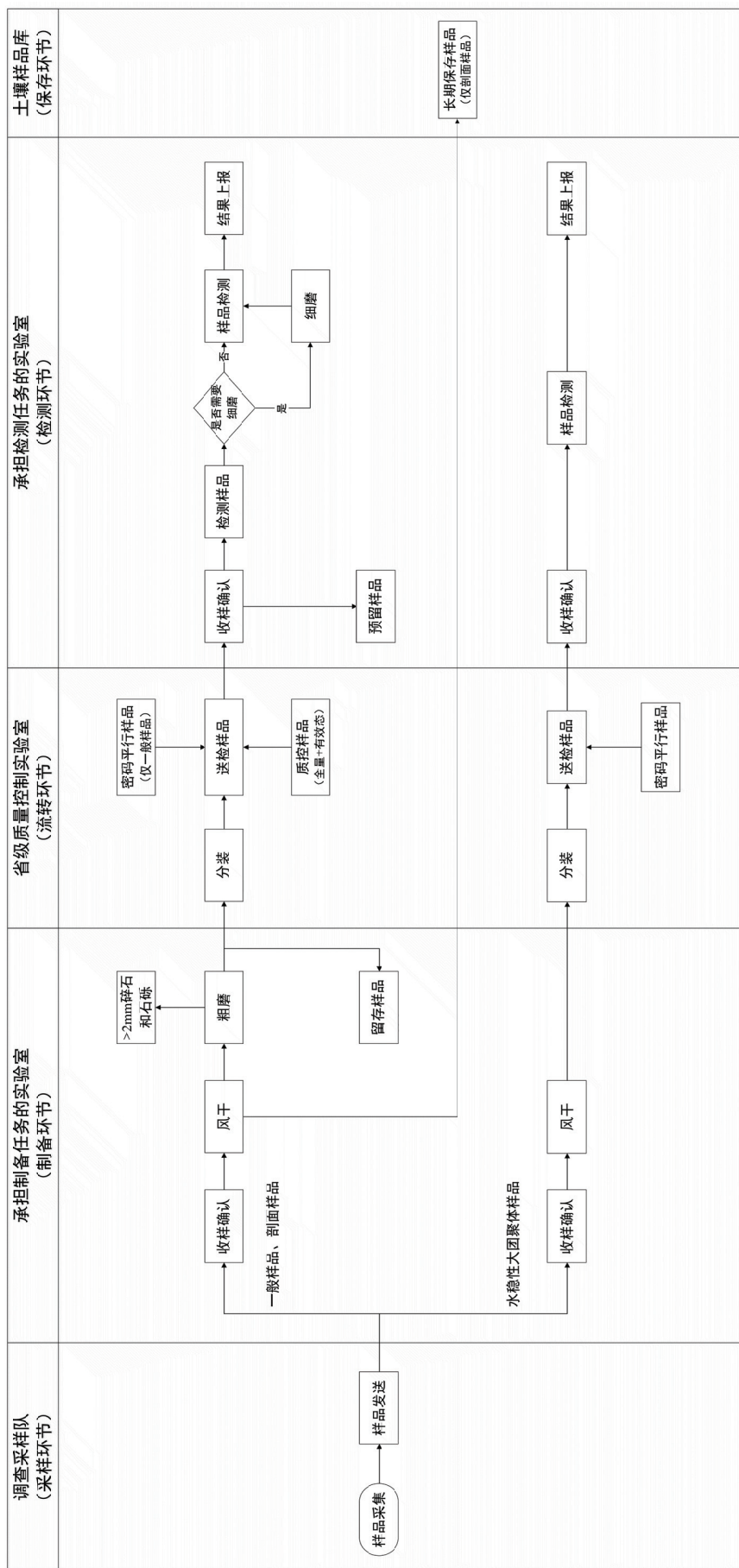


图 1 土壤样品流转图

3.4 样品交接

样品流转运输过程中必须保证样品安全和及时送达。样品运输过程中应使用样品运输箱，须填写土壤样品装运记录表（见附表5），并做好减震隔离，严防样品破损、样品标签丢失或沾污。

样品流转至指定检测实验室后，交样人和收样人同时清点核实样品，利用手持终端扫码收样确认、记录交接信息，打印交接记录表（见附表1），双方签字并各自留存1份。

如发现样品遗失，应及时上报省级土壤普查办，省级土壤普查办组织开展样品重新采集或寄送等工作。

4 样品保存

省级土壤普查办负责组织样品保存工作。保存样品主要包括土壤样品库样品、留存样品、预留样品和剩余样品。

4.1 土壤样品库样品保存

土壤样品库需保证样品性质安全、样品信息安全、设备运行安全，确保样品信息准确、样品存取位置准确、人为操作准确，做到工作流程便捷、系统操作便捷、信息交流便捷。土壤样品库光照、温度、湿度等应能满足土壤样品长期保存要求。土壤样品库中样品不得擅自使用。

土壤样品库接收剖面分层样品后，应及时装入棕色玻璃样品瓶中，瓶口处蜡封，填写样品信息生成标签（至少包括样品编号、采样时间、采样地点、经纬度、海拔高度、土壤类型、采样深度、取样人等信息）贴在玻璃瓶表面，同时瓶内放置内标签。

4.2 留存样品保存

承担样品制备任务的实验室负责留存样品保存。实验室样品保存室集中造册保存，保存时间不少于2年，并根据国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室有关要求再处理。实验室保存样品须密封存放，存放温度不高于25℃，保持室内干燥，避免日光、潮湿、高温和酸碱气体等的影响。

4.3 预留样品保存

承担检测任务的实验室负责预留样品保存。耕地园地一般样品的预留样品每份不少于200g，耕地园地剖面样品的预留样品每份不少于150g，林地草地一般样品的预留样品每份不少于150g，林地草地剖面样品的预留样品每份不少于180g。预留样品须移交本实验室保存室造册保存，保存时间不少于2年。保存条件同留存样品要求。

4.4 剩余样品保存

样品检测完成后，承担检测任务的实验室须保存检测剩余样品，保存时间不少于半年。保存条件同留存样品要求。

5 样品检测

省级土壤普查办负责确定本区域承担检测任务的实验室，组织样品检测工作。承担检测任务的实验室应在省级质量控制实验室的指导下按照检测任务要求和本技术规范有关规定开展土壤样品检测工作，按时报送检测结果。

5.1 检测计划

省级土壤普查办负责对本区域内土壤样品检测工作进行统筹，制定样品检测计划。样品检测计划应包括样品细磨、检测指标及方法、结果上报等内容。

5.2 样品细磨

将通过 2mm 孔径筛的土样用四分法或多点取样法分取约 20g（根据检测参数确定），磨细，使之全部通过 0.25mm 孔径（60 目）筛，供有机质等的测定。

将通过 2mm 孔径筛的土样用四分法或多点取样法分取约 20g（根据检测参数确定），用玛瑙研钵或玛瑙球磨机磨细，使之全部通过 0.149mm 孔径（100 目）筛，供全磷等全量养分、重金属等的测定。

细磨过程中样品编码必须始终保持一致；制样所用工具每处理完 1 个样品后需清洗干净，避免交叉污染。不同粒径的样品必须自通过 2mm 孔径筛的土样重新取样制备并全部过筛，严禁套筛。样品制备时应现场填写土壤样品制备记录。

5.3 检测指标及方法

5.3.1 耕地园地

检测指标包括土壤容重、机械组成、土壤水稳性大团聚体、土壤田间持水量、凋萎系数、矿物组成、pH、可交换酸度、阳离子交换量、交换性盐基及盐基总量、水溶性盐、有机质、碳酸钙、全氮、全磷、全钾、全硫、全硼、全硒、全铁、全锰、全铜、全锌、全钼、全铝、全硅、全钙、全镁、有效磷、速效钾、缓效钾、有效硫、有效硅、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼、有效钼、游离铁、总汞、总砷、总铅、总镉、总铬、总镍，各项指标检测方法见附表 6。

5.3.2 林地草地

检测指标包括土壤容重、机械组成、土壤水稳性大团聚体、矿物组成、pH、可交换酸

度、水解性酸度、阳离子交换量、交换性盐基总量、有机质、碳酸钙、全氮、全磷、全钾、全铁、全硫、有效磷、速效钾、游离铁，各项指标检测方法见附表 7。

5.3.3 烘干基换算

烘干基结果换算需测定土壤水分含量，每次检测称样量 5g，做平行双样检测。

5.4 结果上报

完成样品检测后，检测员需及时填写原始记录，相关指标检测结果分别以烘干基和风干基计算。原始记录经三级审核无误后，及时填写检测结果电子数据填报记录表（见附表 8），并上报至土壤普查工作平台。省级质量控制实验室负责相关结果的审核确认。

6 质量控制

实验室须严格按照《土壤普查全程质量控制技术规范（试行）》有关要求，严把样品制备、样品保存、样品流转等环节质量控制，严格执行空白试验、仪器设备定量校准、精确度控制、正确度控制、异常样品复检、检测数据记录与审核等内部质量保证与质量控制措施，配合做好能力验证、留样抽检、飞行检查等外部质量监督检查，确保土壤普查样品检测数据质量。

附表：1.土壤样品交接记录表

2.一般样品和土壤剖面样品制备记录表

3.土壤水稳性大团聚体样品制备记录表

4.土壤样品批次记录表

5.土壤样品装运记录表

6.耕地园地土壤理化性状检测指标及方法

7.林地草地土壤理化性状检测指标及方法

8.检测结果电子数据填报记录表（式样）

附表 1：土壤样品交接记录表

土壤样品交接记录表

样品交接环节：采样→制备 制备→检测 制备→样品库

序号	样品编号	样品名称	样品重量是否符合要求	样品包装容器是否完好	样品标签是否完好整洁	保存方法是否符合要求
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 土壤样品库保存样品	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 土壤样品库保存样品	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 土壤样品库保存样品	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 土壤样品库保存样品	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 土壤样品库保存样品	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 土壤样品库保存样品	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

送样单位：

送样人：

联系方式：

收样单位：

收样人：

联系方式：

送样日期：

年 月 日

收样日期：

年 月 日

附表 2：一般样品和土壤剖面样品制备记录表

一般样品和土壤剖面样品制备记录表

精确到小数点后 1 位，单位：克

样品编号	研磨方式	接收鲜 样重量	风干样 重量	粗磨过 筛后 重量	弃去的碎 石和砾 重量	碎石和砾 质量百分数 (%)	发送土壤 样品库 样品重量	留存样 品重量	送检样 品重量
	<input type="checkbox"/> 手工研磨 <input type="checkbox"/> 仪器研磨 仪器名称： 仪器编号：								
	<input type="checkbox"/> 手工研磨 <input type="checkbox"/> 仪器研磨 仪器名称： 仪器编号：								
	<input type="checkbox"/> 手工研磨 <input type="checkbox"/> 仪器研磨 仪器名称： 仪器编号：								
	<input type="checkbox"/> 手工研磨 <input type="checkbox"/> 仪器研磨 仪器名称： 仪器编号：								

注：此表为承担样品制备任务的检测实验室填写。

制备人：

校核人：

审核人：

时间： 年 月 日

时间：

年 月 日

时间：

年 月 日

附表 3：土壤水稳性大团聚体样品制备记录表

土壤水稳性大团聚体样品制备记录表

精确到小数点后 1 位，单位：克

样品编号	接收鲜样重量	风干样重量	弃去的碎石和石砾重量	碎石和石砾质量百分数 (%)	留存样品重量	送检样品重量

注：此表为承担样品制备任务的检测实验室填写。

制备人：

校核人：

审核人：

时间： 年 月 日

时间：

年 月 日

日

时间：

年

月

日

附表 4：土壤样品批次记录表

土壤样品批次记录表

批次编号	该批次样品编号	样品类别	质控样品 编号	密码平行 样品编号	密码平行样品 对应原样品编号	送检样品编号 (转码后样品编号)
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品				
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品				
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品				
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品				
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品				
		<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品				

注：“质控样品编号”和“密码平行样品编号”均为添加样品后现场编码；添加质控样品和密码平行样品后，要完成该批次样品转码，并填入“送检样品编号”一栏。

省级质量控制实验室名称：

工作地点（实验室）：

密码平行样品、质控样品添加人：

完成日期： 年 月 日

附表 5：土壤样品装运记录表

土壤样品装运记录表

样品箱号：

合计样品数量（个）：

送达单位：

送达期限：

批次编号	样品编号	样品数量（个）	样品名称	保存方式	有无措施防止沾污	有无措施防止破损
			<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品	<input type="checkbox"/> 常温 <input type="checkbox"/> 避光	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无
			<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品	<input type="checkbox"/> 常温 <input type="checkbox"/> 避光	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无
			<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品	<input type="checkbox"/> 常温 <input type="checkbox"/> 避光	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无
			<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品	<input type="checkbox"/> 常温 <input type="checkbox"/> 避光	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无
			<input type="checkbox"/> 一般样品 <input type="checkbox"/> 剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品	<input type="checkbox"/> 常温 <input type="checkbox"/> 避光	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无

注：1.土壤样品库样品装运记录可参考此表填写，样品编号为调查采样队送样的样品编号，不用填写批次编号。

2.装运送检土壤样品时，“样品编号”为转码后的送检样品编号。

交运单位：

核对负责人：

联系方式：

承运单位：

运输负责人：

运输车（船）号牌：

交运日期： 年 月 日

附表 6：耕地园地土壤理化性状检测指标及方法

耕地园地土壤理化性状检测指标及方法

序号	指标	方法	标准或规范
1	土壤容重	1-1 环刀法	《土壤检测 第 4 部分：土壤容重的测定》(NY/T 1121.4—2006)
2	机械组成	2-1 吸管法	《土壤分析技术规范》(第二版)，5.1 吸管法
		2-2 比重计法	《土壤分析技术规范》(第二版)，5.2 比重计法
3	土壤水稳性大团聚体	3-1 人工筛分法	《土壤检测 第 19 部分：土壤水稳性大团聚体组成的测定》(NY/T 1121.19—2008)
4	土壤田间持水量	4-1 压力膜(板)法	《土壤检测 第 22 部分：土壤田间持水量的测定 环刀法》(NY/T 1121.22—2010)
5	凋萎系数	5-1 压力膜(板)法	《土壤凋萎系数的测定》
6	矿物组成	6-1 X-射线衍射仪 XRD 法	《土壤矿物测定 X 射线衍射法》
7	pH	7-1 电位法	《土壤检测 第 2 部分：土壤 pH 的测定》(NY/T 1121.2—2006)
8	可交换酸度	8-1 氯化钾交换—中和滴定法	《土壤分析技术规范》(第二版)，11.2 土壤交换性酸的测定

序号	指标	方法	标准或规范
9	阳离子交换量	9-1 乙酸铵交换—容量法	《中性土壤阳离子交换量和交换性盐基的测定》(NY/T 295—1995)
		9-2 乙酸钙交换—容量法	《土壤检测 第5部分:石灰性土壤阳离子交换量的测定》(NY/T 1121.5—2006)
10	交换性盐基及盐基总量(交换性钙、交换性镁、交换性钠、交换性钾、盐基总量)	10-1 乙酸铵交换—中和滴定法/EDTA络合滴定法/原子吸收分光光度法/火焰光度法	《土壤分析技术规范》(第二版), 13.1 酸性和中性土壤交换性盐基组成的测定(乙酸铵交换法)
		10-2 氯化铵—乙醇交换—原子吸收分光光度法/火焰光度法	《石灰性土壤交换性盐基及盐基总量的测定》(NY/T 1615—2008)
11	水溶性盐(水溶性盐总量、电导率、水溶性钠离子、钾离子、钙离子、镁离子、碳酸根、碳酸氢根、硫酸根、氯根)	11-1 重量法	《土壤检测 第16部分:土壤水溶性盐总量的测定》(NY/T 1121.16—2006)
		11-2 质量法等	《森林土壤水溶性盐分析》(LY/T 1251—1999)
12	有机质	12-1 重铬酸钾氧化—容量法	《土壤检测 第6部分:土壤有机质的测定》(NY/T 1121.6—2006)
13	碳酸钙	13-1 气量法	《土壤分析技术规范》(第二版), 15.1 土壤碳酸盐的测定
		13-2 非水滴定法	《土壤分析技术规范》(第二版), 15.1 土壤碳酸盐的测定

序号	指标	方法	标准或规范
14	全氮	14-1 自动定氮仪法	《土壤检测 第24部分:土壤全氮的测定 自动定氮仪法》(NY/T 1121.24-2012)
15	全磷	15-1 氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法	《土壤分析技术规范》(第二版), 8.1 土壤全磷的测定(氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法)
		15-2 酸溶—钼锑抗比色/电感耦合等离子体发射光谱法	《森林土壤磷的测定》(LY/T 1232-2015)
		16-1 氢氧化钠熔融—火焰光度法/原子吸收分光光度法	《土壤分析技术规范》(第二版), 9.1 土壤全钾的测定(碱熔—火焰光度法或原子吸收分光光度法)
16	全钾	16-2 酸溶—火焰光度法/原子吸收分光光度法/电感耦合等离子体发射光谱法	《森林土壤钾的测定》(LY/T 1234-2015)
		17-1 硝酸镁氧化—硫酸钡比浊法	《土壤分析技术规范》(第二版), 16.9 全硫的测定(硝酸镁氧化—硫酸钡比浊法)
17	全硫	17-2 燃烧碘量法	《森林土壤全硫的测定》(LY/T 1255-1999)
		18-1 碱熔—甲亚胺—比色法	《土壤分析技术规范》(第二版), 18.1 土壤全硼的测定
18	全硼	18-2 碱熔—姜黄素—比色法	《土壤分析技术规范》(第二版), 18.1 土壤全硼的测定
		18-3 碱熔—等离子体发射光谱法	《土壤分析技术规范》(第二版), 18.1 土壤全硼的测定

序号	指标	方法	标准或规范
19	全硒	19-1 酸溶—氯化物发生—原子荧光光谱法	《土壤中全硒的测定》(NY/T 1104—2006)
20	全铁	20-1 酸消解—电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016)
		20-2 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤和沉积物 11 种元素的测定 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 974—2018)
		21-1 酸消解—电感耦合等离子体质谱法	《固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 766—2015)
21	全锰	21-2 酸消解—电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016)
		22-1 酸消解—电感耦合等离子体质谱法	《固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 766—2015)
22	全铜	22-2 酸消解—电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016)
		23-1 酸消解—电感耦合等离子体质谱法	《固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 766—2015)
23	全锌	22-2 酸消解—电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016)
		24-1 酸消解—电感耦合等离子体质谱法	《固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 766—2015)

序号	指标	方法	标准或规范
25	全铝	25-1 酸消解—电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016)
		25-2 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤和沉积物 11 种元素的测定 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 974—2018)
26	全硅	26-1 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤和沉积物 11 种元素的测定 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 974—2018)
27	全钙	27-1 酸消解—电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016)
		27-2 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤和沉积物 11 种元素的测定 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 974—2018)
28	全镁	28-1 酸消解—电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016)
		28-2 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤和沉积物 11 种元素的测定 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 974—2018)
29	有效磷	29-1 氟化铵—盐酸溶液/碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法	《土壤检测 第 7 部分：土壤有效磷的测定》(NY/T 1121.7—2014)
30	速效钾	30-1 乙酸铵浸提—火焰光度法	《土壤速效钾和缓效钾的测定》(NY/T 889—2004)

序号	指标	方法	标准或规范
31	缓效钾	31-1 热硝酸浸提—火焰光度法	《土壤速效钾和缓效钾的测定》(NY/T 889—2004)
32	有效硫	32-1 磷酸盐—乙酸溶液/氯化钙浸提—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤检测 第14部分：土壤有效硫的测定》(NY/T 1121.14 报批稿)
33	有效硅	33-1 柠檬酸浸提—硅钼蓝比色法	《土壤检测 第15部分：土壤有效硅的测定》(NY/T 1121.15—2006)
34	有效铁	34-1 DTTPA 浸提—原子吸收分光光度法	《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTTPA)浸提法》(NY/T 890—2004)
		34-2 DTTPA 浸提—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTTPA)浸提法》(NY/T 890—2004)
35	有效锰	35-1 DTTPA 浸提—原子吸收分光光度法	《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTTPA)浸提法》(NY/T 890—2004)
		35-2 DTTPA 浸提—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTTPA)浸提法》(NY/T 890—2004)

序号	指标	方法	标准或规范
36	有效铜	36-1 DTTPA 浸提—原子吸收分光光度法	《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTTPA)浸提法》(NY/T 890—2004)
		36-2 DTTPA 浸提—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTTPA)浸提法》(NY/T 890—2004)
37	有效锌	37-1 DTTPA 浸提—原子吸收分光光度法	《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTTPA)浸提法》(NY/T 890—2004)
		37-2 DTTPA 浸提—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTTPA)浸提法》(NY/T 890—2004)
38	有效硼	38-1 沸水提取—甲亚胺—H 比色法	《土壤分析技术规范》(第二版), 18.2 土壤有效硼的测定
		38-2 沸水提取—姜黄素—比色法	《土壤分析技术规范》(第二版), 18.2 土壤有效硼的测定
39	有效钼	39-1 草酸—草酸铵浸提—示波极谱法	《土壤检测 第9部分:土壤有效钼的测定》(NY/T 1121.9—2012)
		39-2 草酸—草酸铵浸提—电感耦合等离子体质谱法	《土壤检测 第9部分:土壤有效钼的测定》(NY/T 1121.9 报批稿)

序号	指标	方法	标准或规范
40	游离铁	40-1 连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠浸提-邻菲罗啉比色法	《土壤分析技术规范》(第二版), 19.1 游离铁 (Fed) 的测定 (DCB 法)
41	总汞	41-1 原子荧光法	《土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 1 部分: 土壤中总汞的测定》(GB/T 22105.1-2008)
		41-2 催化热解-冷原子吸收分光光度法	《土壤和沉积物 总汞的测定 催化热解/冷原子吸收分光光度法》(HJ 923-2017)
42	总砷	42-1 原子荧光法	《土壤质量 总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 2 部分: 土壤中总砷的测定》(GB/T 22105.2-2008)
		43-1 电感耦合等离子体质谱法	《固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 766-2015)
		43-2 电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781-2016)
43	总铅	43-3 石墨炉原子吸收分光光度法	《土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》(GB/T 17141-1997)
		43-4 火焰原子吸收分光光度法	《土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法》(HJ 491-2019)

序号	指标	方法	标准或规范
44	总镉	44-1 石墨炉原子吸收分光光度法	《土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》(GB/T 17141-1997)
		44-2 电感耦合等离子体质谱法	《固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 766-2015)
		45-1 电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781-2016)
45	总铬	45-2 电感耦合等离子体质谱法	《固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 766-2015)
		45-3 火焰原子吸收分光光度法	《土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法》(HJ 491-2019)
		46-1 电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781-2016)
46	总镍	46-2 电感耦合等离子体质谱法	《固体废物 金属元素的测定 电感耦合等离子体质谱法》(HJ 766-2015)
		46-3 火焰原子吸收分光光度法	《土壤和沉积物 铜、锌、铅、镍、铬的测定 火焰原子吸收分光光度法》(HJ 491-2019)

附表 7：林地草地土壤理化性状检测指标及方法

林地草地土壤理化性状检测指标及方法

序号	指标	方法	标准或规范
1	土壤容重	1-1 环刀法	《土壤检测 第 4 部分：土壤容重的测定》(NY/T 1121.4—2006)
2	机械组成	2-1 吸管法	《土壤分析技术规范》(第二版)，5.1 吸管法
		2-2 比重计法	《土壤分析技术规范》(第二版)，5.2 比重计法
3	土壤水稳性大团聚体	3-1 机械筛选法	《森林土壤大团聚体组成的测定》(LY/T 1227—1999)
4	矿物组成	4-1 X-射线衍射仪 XRD 法	《土壤矿物测定 X 射线衍射法》
5	pH 值	5-1 电位法	《森林土壤 pH 值的测定》(LY/T 1239—1999)
6	可交换酸度	6-1 氯化钾交换—中和滴定法	《森林土壤交换性酸度的测定》(LY/T 1240—1999)
7	水解性酸度	7-1 乙酸钠水解—中和滴定法	《森林土壤水解性总酸度的测定》(LY/T 1241—1999)
8	阳离子交换量	8-1 氯化铵—乙酸铵交换—容量法	《森林土壤阳离子交换量的测定》(LY/T 1243—1999)
		8-2 乙酸铵交换—容量法	《森林土壤阳离子交换量的测定》(LY/T 1243—1999)

序号	指标	方法	标准或规范
9	交换性盐基总量	9-1 乙酸铵交换—中和滴定法	《森林土壤交换性盐基总量的测定》（LY/T 1244—1999）
10	有机质	10-1 重铬酸钾氧化—外加热法	《森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算》（LY/T 1237—1999）
11	碳酸钙	11-1 气量法	《土壤分析技术规范》（第二版），15.1 土壤碳酸盐的测定
		11-2 非水滴定法	《土壤分析技术规范》（第二版），15.1 土壤碳酸盐的测定
12	全氮	12-1 凯氏定氮法	《森林土壤氮的测定》（LY/T 1228—2015）
		12-2 连续流动分析仪法	《森林土壤氮的测定》（LY/T 1228—2015）
		12-3 元素分析仪法	《森林土壤氮的测定》（LY/T 1228—2015）
13	全磷	13-1 酸溶—钼锑抗比色法/电感耦合等离子体发射光谱法	《森林土壤磷的测定》（LY/T 1232—2015）
		13-2 碱熔—钼锑抗比色法	《森林土壤磷的测定》（LY/T 1232—2015）
14	全钾	14-1 酸溶—火焰光度法/原子吸收分光光度法/电感耦合等离子体发射光谱法	《森林土壤钾的测定》（LY/T 1234—2015）
		14-2 碱熔—火焰光度法/原子吸收分光光度法	《森林土壤钾的测定》（LY/T 1234—2015）

序号	指标	方法	标准或规范
15	全铁	15-1 酸消解—电感耦合等离子体发射光谱法	《固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 781—2016)
		15-2 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法	《土壤和沉积物 11 种元素的测定 碱熔—电感耦合等离子体发射光谱法》(HJ 974—2018)
16	全硫	16-1 燃烧碘量法	《森林土壤全硫的测定》(LY/T 1255—1999)
		16-2 EDTA 间接滴定法	《森林土壤全硫的测定》(LY/T 1255—1999)
17	有效磷	17-1 盐酸—硫酸/氟化铵—盐酸溶液/碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法	《森林土壤磷的测定》(LY/T 1232—2015)
		17-2 盐酸—硫酸/氟化铵—盐酸溶液浸提—电感耦合等离子体发射光谱法	《森林土壤磷的测定》(LY/T 1232—2015)
		17-3 氟化铵—盐酸/碳酸氢钠浸提—连续流动分析法	《森林土壤磷的测定》(LY/T 1232—2015)
18	速效钾	18-1 乙酸铵浸提—火焰光度法/原子吸收分光光度法/电感耦合等离子体发射光谱法	《森林土壤钾的测定》(LY/T 1234—2015)
19	游离铁	19-1 连二亚硫酸钠—柠檬酸钠—重碳酸钠浸提—邻菲罗啉比色法	《土壤分析技术规范》(第二版), 19.1 游离铁 (Fed) 的测定 (DCB 法)

附表 8：检测结果电子数据填报记录表（式样）

检测结果电子数据填报记录表（式样）

1.土壤容重、田间持水量和凋萎系数

检测实验室名称：_____ 联系人：_____ 联系电话：_____

序号	实验室 代码	样品 编号	接样 日期	报告 日期	土壤容重		田间持水量		凋萎系数	
					g/cm ³	检测 方法	%	检测 方法	%	检测 方法

2.矿物组成

检测实验室名称：_____ 联系人：_____ 联系电话：_____

序号	实验室 代码	样品 编号	接样 日期	报告 日期	矿物组成	
					矿物类型	相对含量（%）

5.水稳性大团聚体（林业标准）

检测实验室名称：_____ 联系人：_____ 联系电话：_____

序号	实验室代码	样品编号	接样日期	报告日期	水稳性大团聚体含量										检测方法									
					>5mm		5mm~2mm		2mm~1mm		1mm~0.5mm		0.5mm~0.25mm			水稳性大团聚体总和		<0.25mm						
					g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%			

6.土壤酸度

检测实验室名称：_____ 联系人：_____ 联系电话：_____

序号	实验室代码	样品编号	接样日期	报告日期	pH		交换性酸度				水解性酸度													
					结果	检测方法	交换性酸总量 cmol(H ⁺ +1/3Al ³⁺)/kg	交换性H ⁺ cmol(H ⁺)/kg	交换性Al ³⁺ cmol(1/3Al ³⁺)/kg	检测方法	水解性总酸度 cmol(+)/kg	检测方法												

9.水溶性盐分组记录—1

检测实验室名称：_____ 联系人：_____ 联系电话：_____

序号	实验室代码	样品编号	接样日期	报告日期	钠和钾离子		钙和镁离子		氯根												
					水溶性Na ⁺ 含量 cmol(Na ⁺)/kg	水溶性K ⁺ 含量 cmol(K ⁺)/kg	检测方法	水溶性Ca ²⁺ 含量 cmol(1/2Ca ²⁺)/kg	水溶性Mg ²⁺ 含量 cmol(1/2Mg ²⁺)/kg	检测方法	水溶性Cl ⁻ 含量 cmol(Cl ⁻)/kg	检测方法									

10.水溶性盐分组记录—2

检测实验室名称：_____ 联系人：_____ 联系电话：_____

序号	实验室代码	样品编号	接样日期	报告日期	碳酸根和碳酸氢根			硫酸根		离子总量 g/kg
					水溶性CO ₃ ²⁻ 含量 cmol(1/2CO ₃ ²⁻)/kg	水溶性HCO ₃ ⁻ 含量 cmol(HCO ₃ ⁻)/kg	检测方法	水溶性SO ₄ ²⁻ 含量 cmol(1/2SO ₄ ²⁻)/kg	检测方法	

13. 全量成分—3

检测实验室名称: _____ 联系人: _____ 联系电话: _____

序号	实验室 代码	样品 编号	接样 日期	报告 日期	全铁		全锰		全铜		全锌		全硼	
					<input type="checkbox"/> mg/kg <input type="checkbox"/> %	检测方法	mg/kg	检测方法	mg/kg	检测方法	mg/kg	检测方法	mg/kg	检测方法

14. 全量成分—4

检测实验室名称: _____ 联系人: _____ 联系电话: _____

序号	实验室 代码	样品 编号	接样 日期	报告 日期	全钼		全硒		全铝		全硅	
					mg/kg	检测方法	mg/kg	检测方法	<input type="checkbox"/> mg/kg <input type="checkbox"/> %	检测方法	%	检测方法

17. 有效态成分—3

检测实验室名称：_____ 联系人：_____ 联系电话：_____

序号	实验室代码	样品编号	接样日期	报告日期	有效硼		有效钼		碳酸钙		游离铁	
					mg/kg	检测 方法	mg/kg	检测 方法	g/kg	检测 方法	g/kg	检测 方法

18. 土壤重金属

检测实验室名称：_____ 联系人：_____ 联系电话：_____

序号	实验室代码	样品编号	接样日期	报告日期	总汞		总砷		总铅		总镉		总铬		总镍	
					<input type="checkbox"/> mg/kg <input type="checkbox"/> µg/kg	检测 方法	mg/kg	检测 方法	mg/kg	检测 方法	mg/kg	检测 方法	mg/kg	检测 方法	mg/kg	检测 方法

附件 9

土壤普查全程质量控制技术规范

(试行)

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2022 年 7 月

目 次

1 适用范围.....	436
2 总则.....	436
3 样品采集.....	437
3.1 内部质量保证与质量控制.....	437
3.2 外部质量监督检查.....	438
4 样品制备、保存与流转.....	440
4.1 内部质量保证与质量控制.....	440
4.2 外部质量监督检查.....	442
5 样品检测.....	443
5.1 内部质量保证与质量控制.....	443
5.2 外部质量监督检查.....	448
6 数据审核.....	450
6.1 人员.....	451
6.2 数据完整性.....	451
6.3 数据规范性.....	452
6.4 数据准确性.....	452
6.5 有关要求.....	453
附件 1：样品采集质量控制检查记录.....	454
附件 2：样品制备、保存与流转质量控制检查记录.....	455
附件 3：检测实验室质量控制电子数据填报记录.....	462

1 适用范围

本技术规范是对第三次全国土壤普查（以下简称“土壤三普”）全过程质量管理的基本要求。

本技术规范适用于土壤三普样品的采集、制备、保存、流转、检测、数据审核等过程的质量保证和质量控制。

2 总则

2.1 各省级第三次全国土壤普查领导小组办公室根据省级土壤三普实施方案和本技术规范牵头制定省级土壤三普质量控制实施方案。

2.2 土壤三普实施三级质量控制机制，即单位内部质量保证与质量控制、省级质量监督检查和国家级质量监督检查。其中省级质量监督检查和国家级质量监督检查统称为外部质量监督检查。全程质量控制具体流程见图 1。

2.2.1 单位内部质量保证与质量控制。内部质量保证与质量控制由承担样品采集、制备、保存、流转和检测等任务有关单位负责。按照本技术规范，制定单位内部质量保证与质量控制方案、完善内部质量管理制度、落实质量控制人员、实施质量控制、开展人员培训监督等。同时，自觉接受国家级和省级外部质量监督检查，从严落实全过程质量控制措施。

2.2.2 省级质量控制和监督检查。由省级第三次全国土壤普查领导小组办公室组建专家组，负责本区域内样品采集、数据审核环节质量控制；确定省级质量控制实验室，负责本区域样品制备、保存、流转、检测等环节质量控制。省级质量控制和监督检查工作需接受国家级工作指导。

2.2.3 国家级质量控制和监督检查。由国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室组建专家组，负责全国样品采集、数据审核环节质量控制；筛选确定国家级质量控制实验室，负责全国样品制备、保存、流转、检测等环节质量控制。国家级需为省级质量控制和监督检查工作提供指导。

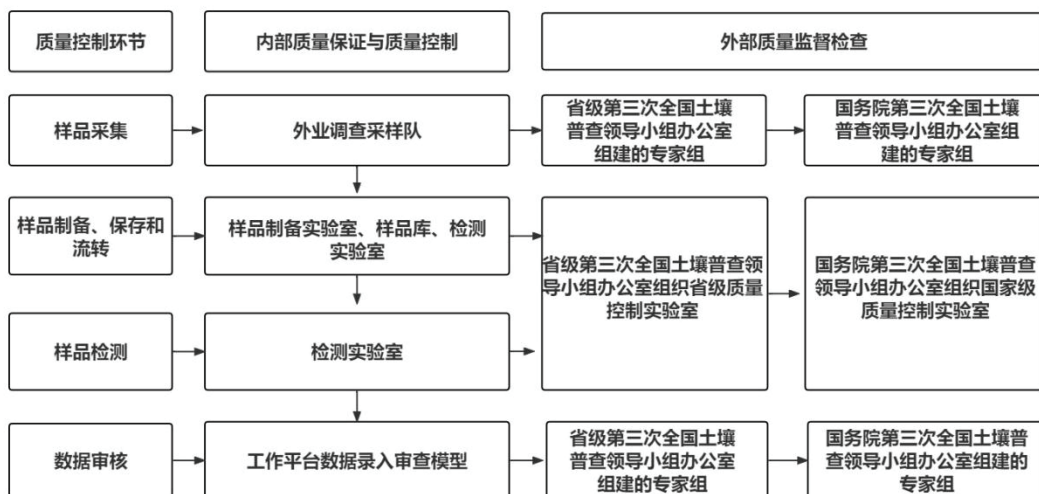


图 1 全程质量控制流程

2.3 承担土壤三普样品采集、制备、保存、流转、检测等任务有关单位应在完成工作任务时，分别提交工作质量自评报告。省级第三次全国土壤普查领导小组办公室负责编制省级质量保证与质量控制报告（含省级质量控制实验室质量监督检查工作报告）。国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室负责编制全国质量保证与质量控制报告（含国家级质量控制实验室质量监督检查工作报告）。

2.4 省级质量监督检查、国家级质量监督检查人员应客观、公正地开展土壤三普质量检查工作，如实记录检查工作情况。对质量检查中发现的不符合要求的情况，被检查单位和有关责任人员应及时采取纠正和预防控制措施。

3 样品采集

各地根据样品采集实际需要，组建外业调查采样队，应严格按照《土壤外业调查与采样技术规范（试行）》开展外业调查和采样工作。本环节质量控制包括单位内部开展的质量保证和质量控制措施，国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室（以下简称“全国土壤普查办”）和省级第三次全国土壤普查领导小组办公室（以下简称“省级土壤普查办”）分别组建专家组开展的外部质量监督检查。

3.1 内部质量保证与质量控制

3.1.1 单位及人员

每个外业调查采样队至少 1 名采样人员和质量检查员需通过全国土壤普查办或省级土壤普查办统一组织的集中培训，取得培训结业证书，培训证书与土壤三普工作平台相关联，建立质量追溯体系。其余人员需经培训上岗，并保留培训记录。省级土壤普查办负责组建外业调查采样队，采样队需具备专业采样经验。每个外业调查采样队至少指定 1 名质量检查员（需具备土壤学相关专业背景），负责对本采样队工作质量进行检查。

3.1.2 采样点位

3.1.2.1 点位确认

外业调查采样队按照外业采样终端设备指示，到达采样点电子围栏范围内方可采样。若指定采样区域不具备采样条件，需就近选择符合条件的替代点，进行样点现场调整和调查采样，并及时提交变更原因、现场照片及变更后的点位调查信息等。剖面样点需按照最大代表性原则和土地利用主导性原则选点挖掘。

3.1.2.2 点位信息

采样人员通过外业采样终端设备记录点位信息，拍摄采样点附近景观照片（东、南、西、北四个方位）、剖面照片（仅对剖面样点，体现层次划分、土壤各发生层形态特征等）和采

样工作照片（体现采样过程、采样工具、混样点布设、样品包装等），保存和上传点位信息到土壤普查工作平台。剖面土壤样品在记录经纬度的基础上，还需上传全剖面照片和局部特写照片。

3.1.3 样品采集

3.1.3.1 采样要求

按照《土壤外业调查与采样技术规范（试行）》要求，科学采集符合数量、重量、层次或深度要求的表层土样、剖面土样、原状土样和水样（盐碱地普查需采集盐碱土剖面样点的地下水样和灌溉水样）。对照上述规范，检查样品采集是否符合要求，判断土样是否沾污，剖面观察面方向、剖面深度、剖面发生层划分及命名、剖面形态观察与记载、剖面发生层样品采集、剖面纸盒样品采集、整段标本采集等是否符合要求。如发现问题，及时采取补救或更正措施。

3.1.3.2 样品标识

样品按照检测项目要求，分类包装并明确标识，检查样品标识是否符合要求，标签是否清晰、内外标签是否齐全、内容是否完整。剖面整段标本和纸盒样品要保证运输过程中完整性，避免挤压颠簸造成原状样本破碎。如发现问题，及时采取补救或更正措施。

3.1.4 质控要求

3.1.4.1 外业调查采样队上传的采样信息自查率应达 100%。重点对采样位置偏移电子围栏的点位信息开展检查。

3.1.4.2 外业调查采样队完成采样自查后，通过外业采样终端设备将采样信息统一上传到土壤普查工作平台，土壤样品统一提交样品制备实验室，水样提交省级质量控制实验室。

3.1.5 问题与处理

3.1.5.1 外业调查采样队发现存在取样方法（含密码平行样未按要求取样）、取样深度、取样量不符合要求，或样品沾污等质量问题的，应自觉重新采集发现问题的样品。

3.1.5.2 对于发现外业调查采样队采样工作存在的共性问题，省级土壤普查办应加强人员培训和质量监督检查等。

3.2 外部质量监督检查

外业调查采样队上传到土壤普查工作平台的外业调查采样信息，需经省级土壤普查办审核后确认。全国土壤普查办和省级土壤普查办采取资料检查与现场检查相结合的方式开展质量监督检查。质量监督检查工作由野外工作经验丰富、精通土壤物理化学性质的专家参与实施。

3.2.1 资料检查

资料检查重点对上传到土壤普查工作平台上的采样点信息、记录等进行检查。

3.2.1.1 检查内容

3.2.1.1.1 采样点位图检查：采样点符合性、采样点位移情况。

3.2.1.1.2 采样记录和照片检查：记录填写内容的完整性和正确性，景观照片、剖面照片和工作照片等是否齐全清晰等。

3.2.1.1.3 采样环节自检情况检查：外业调查采样队自查确认信息。

3.2.1.2 检查要求

3.2.1.2.1 省级检查采样文件资料应不低于本区域采样任务的 5%，重点检查位置发生明显偏移电子围栏范围采样点的文件资料。国家级检查采样文件资料应不低于全国采样任务的 2‰，重点检查位置发生明显偏移电子围栏范围采样点的文件资料，以及省级质量监督检查中发现存在问题的采样点资料。

3.2.2 现场检查

现场检查采取与专家技术指导服务相结合的方式开展，覆盖外业调查采样过程全周期。

3.2.2.1 检查内容

3.2.2.1.1 采样点检查：采样点的代表性与符合性、采样位置的正确性等（是否在电子围栏内）；剖面点位、深度、观察面方向等。

3.2.2.1.2 采样方法检查：采样深度、单点采样、多点混合采样，采样人员操作、采样工具等；剖面发生层样品采集、剖面纸盒样品采集、整段标本采集等操作。

3.2.2.1.3 采样记录检查：样点信息、剖面形态观察与记载信息、样品信息、工作信息等。

3.2.2.1.4 样品检查：样品标签、样品重量和数量、样品包装容器材质、样品防沾污措施等。

3.2.2.1.5 样品交接检查：样品交接程序、土壤样品交接记录表填写是否规范、完整等。

3.2.2.1.6 样品包装及运输检查：土壤样品运输箱、装运记录等。

3.2.2.2 检查要求

3.2.2.2.1 省级现场检查应不低于本区域内采样任务的 5%，尽可能覆盖每个外业调查采样队，重点针对文件资料检查时发现严重问题的点位开展现场检查。国家现场检查应不低于全国采样任务的 2‰，重点对省级质量监督检查中发现严重问题的点位处理情况进行检查。每个检查组不少于 3 人。

3.2.2.2.2 其他要求

全国土壤普查办和省级土壤普查办开展的样品采集外部质量监督检查、技术指导等工作，要尽量与外业调查采样队现场调查工作结合，建立“随时发现问题、随时解决问题”的工作机制。

3.2.3 问题发现与处理

对检查中发现的问题，应及时向有关责任人指出，并根据问题的严重程度责令其采取适当的纠正和预防措施。国家级和省级质量监督检查过程中，对于发现严重问题采样点位，可要求相应的外业调查采样队重新采样，并更正文件资料信息，同时需要对点位更正信息进行跟踪检查。此外，需通过加强人员培训、提高检查比例、重新采集相关样品、更新点位信息资料等方式建立健全样品采集环节质量监督检查长效机制。

3.2.4 样品采集环节质量控制检查记录（附件 1）通过采样终端设备上传土壤普查工作平台质量控制模块。

4 样品制备、保存与流转

样品制备实验室等单位应严格按照《土壤样品制备与检测技术规范（试行）》开展样品制备、保存和流转等工作。本环节质量控制包括制备、保存、流转等任务单位开展的内部质量保证与质量控制，全国土壤普查办、省级土壤普查办分别组织国家级质量控制实验室、省级质量控制实验室开展外部质量监督检查等。

4.1 内部质量保证与质量控制

4.1.1 样品制备

4.1.1.1 单位及人员

样品制备实验室至少 1 名制样人员和质量检查员需通过全国土壤普查办或省级土壤普查办统一组织的集中培训，取得培训结业证书，培训证书与土壤三普工作平台相关联，建立质量追溯体系。其余人员需经培训上岗，并保留培训记录。样品制备实验室确定若干制样小组，每个样品制备实验室、制样小组分别至少确定 1 名样品制备质量检查员负责样品制备质量检查工作。

4.1.1.2 制样场地

满足土壤样品制备的场地要求。应分设相应数量的风干室和制样室。

风干室应通风良好、整洁、防尘、无易挥发性化学物质，并避免阳光直射。

制样室应通风良好，每个制样工位应做适当隔离。

制样室内应具备宽带网络条件，并安装在线全方位监控摄像头，随时接受国家级或省级质量控制实验室的远程实时检查。

4.1.1.3 制样工具

应具备足量的符合制样要求的工具,应避免使用含有待测组分或对测试有干扰的材料制成的制备样品工具和包装容器。每制备完成一个样品后,应确保设备清洗干净,避免制样过程的交叉污染。

4.1.1.4 制样流程

样品干燥、研磨、筛分、混匀、缩分、装瓶等过程符合要求。

4.1.1.5 有关要求

4.1.1.5.1 制样过程中应保证样品充分混匀,样品全部过筛,损失率不高于10% (损失率=1-粗磨过筛后重量/(风干样重量-弃去的碎石和石砾重量)),并有详细制样记录(土壤样品制备记录表)。

4.1.1.5.2 样品制备实验室通过监控摄像对制样小组、制样人员制样工作进行实时检查。同时,检查样品标识清晰、信息完整等情况,制样质量内部检查应覆盖制样全周期、全工作过程,同时核查土壤样品制备记录表。

4.1.2 样品保存

4.1.2.1 人员

负责土壤三普样品制备、流转、保存和检测的单位应配备样品管理员。样品管理员应经过培训和能力确认,并保留相应的培训和能力确认记录。

4.1.2.2 保存场所

土壤样品保存场所应保持干燥、通风、无阳光直射、无污染。应有环境条件视频监控设备、样品存放区域的空间标识和样品编号的检索引导。

4.1.2.3 样品管理

样品管理员和承担土壤三普样品制备、流转、保存和检测的各单位应定期对库存样品(样品库样品、留存样品、待送检样品、预留样品、待测样品、剩余样品等)的状态(标签清晰、重量和数量、样品粒度、包装容器等)、环境条件和出入库等进行检查并记录。样品库自查本库样品,样品制备实验室自查留存样品和待送检样品等,检测实验室自查预留样品、待测样品和剩余样品等。及时发现问题并采取纠正和预防措施。

4.1.3 样品流转

4.1.3.1 样品制备实验室按照有关样品状态、数量等要求将样品流转到检测实验室和样品库,并将剩余样品留存备用。

4.1.3.2 收样单位(检测实验室、样品库)在样品交接过程中,应对接收样品的质量状

况进行检查，检查内容主要包括：样品标识、重量、数量、状态、包装容器、样品应送达时限、送样人等。

4.1.3.3 在样品交接过程，收样单位如发现送交样品有下列严重质量问题，应拒收样品，并及时通知省（区、市）质量控制实验室。

- 样品无编号、编号混乱或有重号。
- 样品在运输过程中受到破损或沾污。
- 样品重量或数量不符合规定要求。
- 样品不满足原状土要求（样品制备实验室收样过程）。
- 样品粒径不符合规定要求。

样品经验收合格后，收样单位样品管理员应在土壤样品交接记录表上签字，注明接样日期、接样人等信息，并返回寄样单位。

4.1.3.4 有关要求

在土壤样品流转至检测实验室前，省级质量控制实验室在送检样品中插入密码平行样品和质控样品，并进行样品转码，再发送到检测实验室。

4.1.4 问题发现与处理

样品制备、保存和流转环节质量保证工作中发现的问题，各单位和省级质量控制实验室应及时采取预防和纠正措施。

4.2 外部质量监督检查

在样品制备、保存和流转环节开展质量保证工作基础上，国家级和省级质量控制实验室开展质量监督检查。

4.2.1 样品制备

4.2.1.1 制样人员检查：是否通过专业培训，取得培训结业证书。

4.2.1.2 制样场所检查：影像监控设备、环境条件、防污染措施是否符合要求。

4.2.1.3 制样工具检查：磨样设备、样品筛、辅助制样工具等是否齐全、完好，分装容器材质规格是否满足技术要求，磨样设备是否正常运转和定期维护，制样工具在每次样品制备完成后是否及时清洁。

4.2.1.4 制样流程检查：样品风干、研磨、筛分、混匀、缩分、装瓶过程是否规范。

4.2.1.5 已加工样品检查：样品瓶标签、样品重量和数量、样品粒径、样品包装和保存是否规范，留存样品保存条件是否规范。

4.2.1.6 制样原始记录检查：影像监控记录的完整性，记录表填写内容完整性、准确性、

真实性、原始性等。

4.2.1.7 制样自检信息检查：检查土壤三普工作平台中制样小组和样品制备实验室检查人员提交的检查信息等。

4.2.2 样品保存

4.2.2.1 人员：检查样品管理员是否有培训和能力确认记录等。

4.2.2.2 保存条件：检查样品贮存场所是否满足《土壤样品制备与检测技术规范（试行）》相关要求，是否有环境条件监控设备、样品存放区域的空间标识和样品编号的检索引导。

4.2.2.3 定期检查：应对库存样品的状态，样品保存条件、环境条件监控记录和出入库等进行检查。

4.2.2.4 检查有无纸质样品交接记录及交接记录的正确性与完整性。

4.2.3 样品流转

4.2.3.1 样品交接记录表检查：交接内容是否填写完整、规范等。

4.2.3.2 流转样品中密码平行样品和质控样品添加是否符合要求（仅国家级质量控制实验室检查）。

4.2.4 检查要求

省级质量控制实验室监督检查样品制备、保存、流转等数量应分别不少于本区域总样量的5%，国家级质量控制实验室在省级检查的基础上随机抽查。检查工作覆盖制样、保存和流转工作周期。

4.2.5 问题发现与处理

对检查中发现的问题，质量检查人员应及时向有关责任人指出，并根据问题的严重程度要求其采取适当的纠正和预防措施。通过加强人员培训、提高检查比例、调取留存样品、重新制备相关样品等方式建立健全样品制备、保存与流转环节质量监督检查长效机制。

4.2.6 样品制备、保存与流转环节质量控制

检查记录（附件2）需及时上传土壤普查工作平台质量控制模块。

5 样品检测

检测实验室应严格按照《土壤样品制备与检测技术规范（试行）》开展样品检测工作。本环节质量控制包括检测实验室开展的内部质量保证与质量控制，全国土壤普查办、省级土壤普查办分别组织国家级质量控制实验室、省级质量控制实验室开展的外部质量监督检查等。

5.1 内部质量保证与质量控制

依据《检验检测机构资质认定管理办法》《检验检测机构资质认定能力评价暨检验检测

机构通用要求》《检测和校准实验室能力的通用要求》等，建立并实施质量保证体系，及时发现和预见问题，有针对性地采取纠正和预防措施。同时，所有参与土壤三普任务的检测实验室主要技术负责人、技术骨干及质量检查人员（质量控制人员）等均需通过全国土壤普查办或省级土壤普查办统一组织的集中培训，取得培训结业证书，培训证书与土壤三普工作平台相关联，建立质量追溯体系。

5.1.1 样品细磨

样品细磨时，用四分法或多点取样法从过 2mm 孔径筛土样中分取。确保细磨场地通风、隔离，细磨工具符合要求，避免交叉污染，现场填写制样记录（土壤样品制备记录表）。

5.1.2 检测方法的选择与验证

5.1.2.1 检测实验室应根据实际情况选用《土壤样品制备与检测技术规范（试行）》中推荐的检测方法。

5.1.2.2 检测实验室在正式开展土壤三普样品检测任务之前，完成对所选用检测方法的检出限、测定下限、精密度、正确度、线性范围等方法各项特性指标的验证，并形成相关质量记录。

5.1.3 空白试验

5.1.3.1 每批次样品（不多于 50 个样品）分析时，应进行空白试验，检测空白样品。检测方法有规定的，按检测方法的规定进行；检测方法无规定时，要求每批次分析样品应至少 2 个空白试验。

5.1.3.2 空白试验结果一般应低于方法检出限。若空白试验结果低于方法检出限，则可忽略不计；若空白试验结果略高于方法检出限但比较稳定，可进行多次重复试验，计算空白试验平均值并从样品检测结果中扣除；若空白试验结果明显超过正常值，实验室应查找原因并采取适当的纠正和预防措施，重新对样品进行检测。

5.1.4 仪器设备定量校核

5.1.4.1 标准物质

分析仪器校核应首选有证标准物质。没有有证标准物质时，选用参比物质。

5.1.4.2 校准曲线

采用校准曲线法进行定量分析时，一般应至少使用 5 个浓度梯度的标准溶液（除空白外），覆盖被测样品的浓度范围，且最低点浓度应在接近方法测定下限的水平。检测方法有规定时，按检测方法的规定进行；检测方法无规定时，校准曲线相关系数原则上要求为 $r > 0.999$ 。

5.1.4.3 仪器稳定性检查

连续进样分析时，每检测 20 个样品，应测定一次校准曲线中间浓度点，确认分析仪器校准曲线是否发生显著变化。检测方法有规定的，按检测方法的规定进行；检测方法无规定时，相对偏差应控制在 10%以内，超过此范围时需要查明原因，重新绘制校准曲线，并重新检测该批次全部样品。

5.1.5 精密度控制

5.1.5.1 在每批次分析样品中，随机抽取不低于 5%的样品进行平行双样分析；当批次样品数<20 时，应随机抽取至少 1 个样品进行平行双样分析。

5.1.5.2 由实验室质量控制人员采取平行双样密码分析或留样复测等方式开展质量控制。

5.1.5.3 样品检测项目平行双样检测精密度允许范围应符合方法要求。检测方法有规定的，按检测方法的规定进行；检测方法无规定时，按照表 1 要求执行。

5.1.5.4 平行双样检测合格率按每批次同类型样品中单个检测项目进行统计，一般统计单元为 1000 个样品，计算公式如下：

$$\text{合格率(\%)} = \frac{\text{合格样品数}}{\text{总分析样品数}} \times 100$$

对平行双样检测合格率要求应达到 95%。当合格率小于 95%时，应查明产生不合格结果的原因，采取适当的纠正和预防措施。除对不合格结果重新检测外，应再增加 5%~15%的平行双样分析比例，直至总合格率达到 95%。

5.1.6 正确度控制

5.1.6.1 使用标准物质

5.1.6.1.1 当具备与被测土壤样品基本相同或类似的有证标准物质（或参比物质）时，应在每批次样品分析时同步均匀插入与被测样品含量水平相当的有证标准物质进行检测。每批样品至少做待测元素含量高、低两组质控样，质控样结果应满足表 1 要求。当批次分析样品数<20 时，应至少插入 1 个质控样。

表 1 土壤样品检测精密度和正确度允许范围

检测项目	含量范围 (mg/kg)	精密度		正确度
		室内相对偏差 (%)	室间相对偏差 (%)	相对误差 (%)
总镉	<0.1	35	40	40
	0.1~0.4	30	35	35
	>0.4	25	30	30
总汞	<0.1	35	40	40
	0.1~0.4	30	35	35
	>0.4	25	30	30
总砷	<10	20	30	30
	10~20	15	20	20
	>20	10	15	15
总铜	<20	20	25	25
	20~30	15	20	20
	>30	10	15	15
总铅	<20	25	30	30
	20~40	20	25	25
	>40	15	20	20
总铬	<50	20	25	25
	50~90	15	20	20
	>90	10	15	15
总锌	<50	20	25	25
	50~90	15	20	20
	>90	10	15	15
总镍	<20	20	25	25
	20~40	15	20	20
	>40	10	15	15
其余无机检测项目	<0.1	35	40	40
	0.1~1	30	35	35
	1.0~10	20	30	25
	10~100	15	25	20
	100~1000	10	20	15
	>1000	5	10	10

5.1.6.1.2 当出现不合格结果时，应查明其原因，采取适当的纠正和预防措施，并对该标准物质样品及与之关联的送检样品重新进行检测。

5.1.6.2 绘制质量控制图

5.1.6.2.1 必要时，检测实验室可绘制质量控制图对样品检测过程进行质量监控。

5.1.6.2.2 正确度控制图可通过多次检测所用质控样品获得的均值 (\bar{x}) 与标准偏差 (s)

进行绘制，即在 95%的置信水平，以 \bar{x} 作为中心线、 $\bar{x} \pm 2s$ 作为上下警告线、 $\bar{x} \pm 3s$ 作为上下控制线绘制。

5.1.6.2.3 每批次样品分析所带质控样品的测定值落在中心线附近、上下警告线之内，则表示检测正常，此批次样品检测结果可靠。

如果测定值落在上下控制线之外，表示检测失控，检测结果不可信，应检查原因，采取纠正措施后重新检测；如果出现以下几种情况，表示检测结果虽可接受，但有失控倾向，应予以注意。

- 连续 3 点中有 2 点落在中心线同一侧的上下警告线以外；
- 连续 5 点落在中心线同一侧的 1 倍标准偏差（s）以外；
- 连续 9 点或更多点落在中心线同一侧；
- 连续 7 点递增或递减。

5.1.7 异常样品复检

检测数据异常时，要对实验室精密度和正确度进行检查。对于超出正常值范围的样品应 100%进行复检，或采取人员比对、实验室间比对等方式确认检测结果的可靠性。

5.1.8 检测数据记录与审核

5.1.8.1 检测实验室应保证检测数据的完整性，确保全面、客观地反映检测结果，不得选择性地舍弃数据，人为干预检测结果。

5.1.8.2 检测人员应对原始数据和报告数据进行校核。对发现的可疑报告数据，应与样品检测原始记录进行校对。

5.1.8.3 检测原始记录应有检测人员、校核人员、审核人员的三级签字。

5.1.8.4 检测人员负责按照相关要求，如实填写原始记录。

5.1.8.5 校核人员负责对该检验项目的原始记录填写的完整性、正确性进行校核，对计算结果进行验算，判定检验结果是否符合技术标准规定的允差范围，并考虑以下因素：分析方法、分析条件、数据的有效位数、数据计算和处理过程、法定计量单位和内部质量控制数据等。

5.1.8.6 审核人员应对最终记录结果进行审核把关，审核数据的准确性、逻辑性、可比性和合理性。

5.1.8.7 检测结果低于方法检出限时，注明未检出，同时给出本实验室的方法检出限值。

5.1.9 实验室内部质量评价

每个检测实验室在完成土壤三普样品检测合同任务时，应对其最终报出的所有样品检测

结果的可靠性和合理性进行全面、综合的质量评价，并提交质量评价总结报告。报告内容包括：

5.1.9.1 承担的任务基本情况介绍；

5.1.9.2 选用的检测方法，以及确认结果；

5.1.9.3 样品检测精密度控制合格率；

5.1.9.4 样品检测正确度控制合格率；

5.1.9.5 异常样品复检合格率；

5.1.9.6 为保证样品检测质量所采取的各项措施，以及整改措施和结果；

5.1.9.7 总体质量评价。

5.2 外部质量监督检查

在检测实验室内部质量保证与质量控制的基础上，由省级质量控制实验室和国家级质量控制实验室具体负责实施。

5.2.1 密码平行样品

利用土壤三普指定点位增加采集样品量的方式，将指定点位土壤样品制成平行样品作为外部质量控制样品，用于评价实验室检测的精密度，以控制随机误差。密码平行样品随同批次土壤样品流转至检测实验室进行检测。

5.2.1.1 密码平行样品测试结果的精密度以两次检测结果（A 和 B）的相对偏差（RD）表示。

RD 计算公式如下：

$$RD(\%) = \frac{|A - B|}{A + B} \times 100$$

5.2.1.2 实验室内密码平行样品检测质量累积合格率应达到 90%。

5.2.1.3 当不能达到上述合格率要求时，应采取以下措施：

对密码平行样不合格结果，由省级质量控制实验室通知检测实验室对留样进行复检。如复检确认不属于密码平行样品均匀性等引起的检测误差，省级质量控制实验室应要求该实验室对与该密码平行样品一起送检的所有样品进行复检；复检确认属于密码平行样品本身引起的检测误差，只要与该批次送检样品同期实验室内部质控数据及统一监控样品检测结果均合格，省级质量控制实验室仍可认定该批次样品检测结果合格。必要时，省级质量控制实验室可参与留样复检。

5.2.2 质控样品

质控样品是一种理化性质和组成足够均匀稳定的外部质量控制样品，用于评价实验室检测的正确度，以控制系统误差。质控样品随普查样品一起流转 to 承担检测任务的实验室，要求实验室与该批次普查样品一起进行检测。

5.2.2.1 质控样品测试结果的正确度以相对误差（RE）表示。将质控样品的检测结果（ x ）与其给定值（ μ ）进行比较，计算相对误差（RE）。

RE 计算公式如下：

$$RE(\%) = \frac{x - \mu}{\mu} \times 100$$

5.2.2.2 实验室对质控样品检测质量累积合格率应达到 85%。

5.2.2.3 当不能达到上述合格率要求时，省级质量控制实验室应要求检测实验室查明发生问题的原因，采取适当的纠正和预防措施，同时向检测实验室提供新的质控样品，并要求其插入已完成但结果不合格的送检批次样品中一起进行复检，直至质控样品复检累积合格率达到规定要求。

5.2.3 能力验证

全国土壤普查办每年组织开展能力验证考核。通过 3 年能力验证考核，实现对所有检测实验室全覆盖。能力验证结果不合格的，通报省级土壤普查办，原则上不再承担土壤三普检测任务。

5.2.4 留样抽检

在检测实验室开展样品检测过程中，省级质量控制实验室和国家级质量控制实验室按照有关要求同时开展留样抽检，加强质量控制工作。

5.2.4.1 省级抽检量不低于本区域检测样品量的 5‰，国家抽检量不低于检测样品量的 3‰。

5.2.4.2 留样复测结果的合格率应达到 80% 以上。

5.2.4.3 留样抽检不一致，省级质量控制实验室应从留存样品中再提供一份进行再次复检。如再次复检结果与初次检测结果一致，但与前次复检结果不一致，省级质量控制实验室可采用检测实验室的初次检测结果；再次复检结果与前次复检结果一致、但与初次检测结果不一致，省级质量控制实验室应要求检测实验室对发现问题样品分析批次的所有样品进行复检。

留样抽检过程精密度和正确度参考表 1。

5.2.5 飞行检查

飞行检查由国家级质量控制实验室会同省级质量控制实验室共同进行。省级质量控制实验室负责具体实施，国家级质量控制实验室对实施过程进行监督指导，并对各省级质量控制实验室飞行检查结果进行备案。飞行检查实行专家组负责制，检查组组长应由取得国家级或省级检验检测机构资质认定评审员或具备资深实验室管理经验的专家担任，检查组成员须具有高级以上技术职称或从事耕地土壤检测、或相关业务 5 年以上。

5.2.6 实验室外部质量评价

5.2.6.1 密码平行样品检测结果质量评价：密码平行样品两次测定结果的相对偏差（RD）应满足表 1 中室内相对偏差要求。

5.2.6.2 质控样品检测结果质量评价：质控样品检测结果与给定值的相对误差（RE）应满足表 1 的允许值范围。

5.2.6.3 留样抽检结果质量评价：留样复测两次测定结果的相对偏差（RD）应满足表 1 中实验室室间相对偏差要求。

5.2.7 检测结果报告

5.2.7.1 检测实验室每检测完成一批次送检样品，除须按照本实验室质量管理体系要求编制纸质检测报告外，还须按照土壤三普实验室检测数据填报要求，填报样品检测结果及同批次实验室内、外部质量控制数据。

5.2.7.2 检测实验室应在每批次送检样品检测完成后一周内，向省（区、市）的质量控制实验室报送该批次送检样品的纸质检测报告和土壤普查工作平台导出的电子数据。

5.2.7.3 各省（区、市）样品检测结果统一由省级质量控制实验室审核后确认上报。

5.2.8 检测实验室质量控制

电子数据填报记录（附件 3）需及时上传土壤普查工作平台质量控制模块。

6 数据审核

数据审核主要依托专家审核、会商以及利用数据审查模型等措施开展。本环节质量控制包括省级土壤普查办组建专家组开展数据审核，全国土壤普查办组建专家组开展数据质量监督检查等。

6.1 人员

6.1.1 专业背景

数据入库审核需由国家级或省级科研、教学和推广领域从事土肥工作 10 年以上或具有高级专业技术职称的专家负责，每个审查或抽查组负责专家至少 2 名。

6.1.2 人员培训

国家层面组织对各省（区、市）负责数据入库审核的专家进行集中培训，培训内容包括普查数据的完整性、规范性和准确性审查等。

6.2 数据完整性

外业调查采样环节，采用电子围栏管理软件，对采样位置和填报信息进行管理，建立全程数据可信追溯模块，确保信息填报的完整性。样品检测环节，通过数据入库审核对数据的完整性进行筛查。质量控制则对上报数据时的缺失信息进行校核处理。

6.2.1 文本型数据缺失

6.2.1.1 外业调查电子围栏提醒：通过外业调查电子围栏管理软件对采样点及剖面调查时填报的文本数据缺失进行提醒（针对野外网络未覆盖，需离线上传的点位）。

6.2.1.2 数据库入库提醒：建立数据分级审核机制，通过全程数据可信追溯模块对入库缺失数据进行提醒。

6.2.1.3 属性提取：根据空间位置信息从工作底图上提取缺失数据。

6.2.1.4 删除：当缺失值所占的比例较少且无法获取缺失数据时，可以使用删除法，以减少样本数据量来换取数据的完整性。

6.2.2 数值型数据缺失

6.2.2.1 数据库入库提醒：建立数据分级审核机制，全程数据可信追溯模块对入库缺失数据进行提醒。

6.2.2.2 均值：根据行政信息提取一定范围（如乡、村）、一定时期或根据空间信息提取一定距离、最近 15 个点的信息，使用均值（平均值、中位数、众数）来替换缺失值。

6.2.2.3 删除：当缺失值所占的比例比较少时，可以使用删除法，以减少样本数据量来换取数据的完整性。

6.2.2.4 属性提取：当缺失值所占的比例较少且复测数据无法获取时，可以进行空间插值的指标，先进行空间插值，再根据空间位置信息提取数据。

6.2.2.5 不处理缺失值：当缺失值所占的比例比较大时，在数据库中保留缺失值，后期

分析时不使用此指标。

6.2.3 图片型数据缺失

6.2.3.1 外业调查电子围栏提醒：通过外业调查电子围栏管理软件对采样点及剖面调查时拍摄照片的上传进行缺失提醒（针对野外网络未覆盖，需离线上传的点位）。

6.2.3.2 数据库入库提醒：建立数据分级审核机制，全程数据可信追溯模块对入库缺失图片数据进行提醒。

6.3 数据规范性

采用数据库审查相关模块，对入库数据规范性进行审查。

6.3.1 拼写错误

主要是指在录入数据时，出现错别字、同音字的。如稻写成籼、砂写成沙等，通过数据审查予以校对。

6.3.2 标准不一致

主要是指各项目间填写标准不一致而产生的错误，如土壤类型信息若不一致，要按照《土壤分类与代码》（GB 17296）；项目中行政信息的变更造成的不一致等。

6.3.3 表现形式不同

主要包括指标名称不一致，如锌与 Zn；单位不一致，如 ppm 与 mg/kg；行政单位名称使用全称与简写，如内蒙古自治区与内蒙古、门源回族自治县与门源县等，按照内业测试技术规范统一指标有效位数、计量单位等，按照数据库内置数据字典统一指标名称和相关信息等。

6.4 数据准确性

6.4.1 文本型数据

6.4.1.1 唯一值

对指标做唯一值计数统计，查看指标描述是否符合数据库格式要求，是否存在问题，如数据未标准化、描述信息出现错别字、同音字等。

6.4.1.2 处理方法：描述修改、补充（人工），在数据录入时采用选择项或自填项，尽量确保数据准确性。例如：行政信息按照民政部行政区划信息统一；经纬度按照工作底图和制图规范，统一点位经纬度坐标信息；土壤类型信息按照《土壤分类与代码》（GB 17296）统一；土地利用方式按照第三次国土调查土地利用信息统一；种植制度按照农业区划信息进行统一。

6.4.2 数值型数据

6.4.2.1 不精确值或错值

主要包括指标检测不准确、位置信息不准确、数据录入错误等。

6.4.2.2 处理方法：建立土壤主要指标数据质量审查模型，采用设定阈值、指标相关关系等方式，对入库数据进行单点、单指标异常值、批量数据合理性等方面进行审查。

极值法：常用的统计量是均值、标准差、最大值、最小值、分位数等，用来判断变量的取值是否超出了合理的极值范围，是否存在离群值。

箱型图：箱形图是一种用作显示一组数据分散情况资料的统计图，主要用于反映原始数据分布的特征。异常值通常被定义为小于 $Q_1 - 1.5 IQR$ 或者大于 $Q_3 + 1.5 IQR$ 的值（ Q_1 称为下四分位数， Q_3 称为上四分位数， IQR 称为四分位数间距）。

Z 分数：如果指标数据服从正态分布，异常值是远离数据平均值，分布两端的数据点。使用公式 $Z = (x - \mu) / \delta$ （ x 是指标值， μ 是平均值， δ 是标准偏差）计算的归一化 Z 分数，通过设定阈值（一般设置为 2.5、3.0 和 3.5）来筛选异常值。

空间分析：空间分析（聚类和异常值分析工具）识别具有统计学上的显著性的空间异常值（高值由低值围绕或低值由高值围绕的值）。

关联分析：存在量化关系的指标，通过设定组合阈值来筛选异常值，如碳氮比。

6.5 有关要求

省级土壤普查办组建的专家组负责本区域全部入库数据审核，确认后再上报土壤普查工作平台。全国土壤普查办组建的专家组对各省（区、市）上报数据进行质量监督检查，检查比例不少于 2%。对于发现问题的数据，组织重新补报。

附件 1：样品采集质量控制检查记录

表 1-1 表层样品采集资料检查记录

基本信息	采样地区	省 市 县	
	检查日期		
	外业调查采样队代码		
	外业调查采样队技术领队证书 编号		
	样点编号		
检查项目		定性结论（是 或 否）	情况说明
检查项目 采样点位 图检查	电子围栏内点位选择是否合理		
	布设点位现场调整是否合理（针对电子围栏外调整点位）		
	是否有错记项目		
	景观照片是否齐全、清晰且反映的样点所在地块及周边地表特征、自然成土环境和土壤利用信息是否具有代表性、是否与描述一致		
	所有表层混合样点采土坑照片是否齐全、清晰		
	工作照片是否齐全、清晰且反映的采样工具、方法及过程等是否符合规范要求		
检查人		检查组长	
整改情况			
审核意见	通过或未通过		
注：定性结论填写“是”或“否”，情况说明要尽可能细化、具体，可另附页。			

表 1-2 剖面样品采集资料检查记录

基本信息	采样地区	省 市 县	
	检查日期		
	外业调查采样队代码		
	外业调查采样队技术领队证书 编号		
	样点编号		
检查项目		定性结论(是或否)	情况说明
采样点位 图检查	电子围栏内点位选择是否合理		
	布设点位现场调整是否合理 (针对电子围栏外调整点位)		
	是否有错记项目		
	景观照片是否齐全、清晰且反映的样点所在地块及周边地表特征、自然成土环境和土壤利用信息是否具有代表性、是否与描述一致		
	剖面照片是否规范且反映的剖面发生层性状和土体性状是否与描述一致		
	土壤类型判定与校核信息是否合理		
	土壤类型图斑纯度校核信息是否合理		
	土壤类型图斑边界校核信息是否合理		
	工作照片是否齐全、清晰且反映的采样工具、方法及过程等是否符合规范要求		
检查人		检查组长	
整改情况			
审核意见	通过或未通过		
注：定性结论填写“是”或“否”，情况说明要尽可能细化、具体，可另附页。			

表 1-3 表层样品采集现场检查记录

基本信息	采样地区	省 市 县	
	检查日期		
	外业调查采样队代码		
	外业调查采样队技术领队证书编号		
	样点编号		
检查项目		定性结论 (是或否)	情况说明
采样点 检查	采样点位是否具有代表性		
	点位现场调整是否合理（针对电子围栏外调整点位）		
采样方法 检查	采样工具是否合适		
	表层土壤混合样品采集方法是否规范		
	土壤容重样品采集方法是否规范		
	土壤水稳性大团聚体样品采集方法是否规范		
采样与描述 信息检查	样点调查基本信息、地表特征、自然成土环境和土壤利用信息记录是否合理		
	耕地样点耕作层厚度观测与记录是否合理		
	景观照片、工作照片拍摄是否合理		
样品 检查	样品重量是否符合要求		
	样品数量是否符合要求		
	样品标签是否符合要求		
	包装容器是否符合要求		
	防污措施是否符合要求		
样品 交接	交接程序是否符合要求（非必填项）		

检查人		检查组长	
整改情况			
审核 意见	通过或未通过		
注：定性结论填写“是”或“否”，情况说明要尽可能细化、具体，可另附页。			

表 1-4 剖面样品采集现场检查记录

基本信息	采样地区	省 市 县	
	检查日期		
	外业调查采样队代码		
	外业调查采样队技术领队证书编号		
	样点编号		
检查项目		定性结论 (是或否)	情况说明
采样点检查	采样点位是否具有代表性		
	点位现场调整是否合理(针对电子围栏外调整点位)		
	土壤剖面挖掘是否规范		
采样方法检查	采样工具是否合适		
	剖面发生层样品采样方法是否规范		
	土壤容重样品采集方法是否规范		
	剖面第一发生层水稳性大团聚体样品采样方法是否规范		
	剖面纸盒样品、整段标本采集方法是否规范		
采样与描述信息检查	样点调查基本信息、地表特征、自然成土环境和土壤利用信息记录是否合理		
	剖面发生层划分与命名是否合理		
	剖面发生层性状描述是否合理		
	土体性状描述是否合理		
	土壤类型鉴定与校核是否合理		
	土壤类型图斑纯度校核是否合理		

	土壤类型图斑边界校核是否合理		
	景观照片、工作照片拍摄是否合理		
	剖面照片拍摄是否合理		
样品检查	样品重量是否符合要求		
	样品数量是否符合要求		
	样品标签是否符合要求		
	包装容器是否符合要求		
	防污措施是否符合要求		
样品交接	交接程序是否符合要求（非必填项）		
检查人		检查组长	
整改情况			
审核意见	通过或未通过		
注：定性结论填写“是”或“否”，情况说明要尽可能细化、具体，可另附页。			

附件 2：样品制备、保存与流转质量控制检查记录

表 2-1 样品制备加工检查记录

检查日期	制样单位	制样小组	样品编号	制样场所			制样工具							制样流程					已加工样品			制样记录		发现问题及处理意见												
				影像监控设备	环境条件	防污措施	磨样设备	样品筛	分装容器	干燥	研磨	筛分	混匀	缩分	装瓶	标签	重量	粒度	包装	完整性	及时性															
整改情况				审核意见																																
注：用文字记录检查发现的问题																																				
检查人：														检查组长：																						

2-2 样品交接记录

送样单位：		送样单位代码：		送样负责人：		送样日期：	
样包编号	检测项目	样品数量	符合性检查				
			样品重量	包装完好	标签完好	送检时间	
发现问题及处理意见：							
接样单位：		接样单位代码：		接样负责人：			
接样日期：		年 月 日					

2-3 样品保存检查记录

保存单位代 码	样品编号	检查内容				
		样品标识	包装容器	样品状态	保存条件	检查日期
发现问题及处理意见：				整改情况：		
检查人： 年 月 日				检查组长： 年 月 日		

附件 3：检测实验室质量控制电子数据填报记录

表 3-1 空白试验记录

实验室代码	检测日期	样品类型	样品编号	检测项目	分析方法	检出限	空白试验结果	结果评价	检测人员

3-2 平行双样检测记录

实验室代码	检测日期	样品类型	样品编号	检测项目	相对偏差 RD	结果评价	检测人员

3-3 平行双样检测合格率记录

实验室代码	报告日期	样品类型	检测项目	批次样品数	合格样品数	合格率

3-4 标准物质检测结果记录

实验室代码	检测日期	样品类型	检测项目	标准物质编号	标准值及其不确定度	检测结果	相对误差 RE	结果评价	检测人员

3-5 正确度控制合格率记录

实验室代码	报告日期	控制方式	样品类型	检测项目	批次样品数	合格样品数	合格率

3-6 异常样品复检记录

实验室代码	检测日期	样品类型	样品编号	检测项目	检测值 A	检测值 B	相对偏差 RD	结果评价	检测人员

3-7 异常样品复检率记录

实验室代码	报告日期	样品类型	检测项目	批次样品数	异常样品数	复检样品数	合格率

抄送：第三次全国土壤普查专家技术指导组。

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2022年7月28日印发
