



第三次全国土壤普查 技术规程规范（修订版）

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室 组织编写

二〇二三年二月

《第三次全国土壤普查技术规程规范（修订版）》

编委会

主任：张桃林 张兴旺 张佳宝
副主任：郭永田 陈章全 谢建华 沈仁芳 张甘霖 马常宝
吴文斌 赵玉国

委员（按姓氏笔画排序）：

于兆国	上官瑞豪	习斌	马志远	王宁	王迪
王辉	王如海	王良杰	王秋兵	王秋彬	王晓玥
王星森	王绪奎	王新宇	毛雪飞	卞清	石孝均
龙怀玉	卢瑛	卢昌艾	叶回春	田长彦	史舟
曲潇琳	吕晓男	朱阿兴	任意	任图生	刘京
刘峰	刘潇威	齐明霞	齐雁冰	阮志勇	孙正
孙波	孙孝林	孙笑梅	孙蓟锋	孙福军	苏世鸣
李阳	李昆	李荣	李涛	李寒	李保国
李万东	李文西	李永涛	李兆富	李德成	杨飞
杨帆	杨琳	杨云锋	杨仁敏	杨金玲	杨顺华
吴华勇	吴会军	吴克宁	邱江平	余强毅	汪洪
汪景宽	沈欣	沈其荣	沈宗专	宋效东	张洋
张凤荣	张世文	张青璞	张建峰	张海涛	张维理
张瑞福	张黎明	陆苗	陈晏	陈守伦	陈家赢
邵华	林英华	周勇	郑洁	郑磊	赵小敏
赵永存	赵彦锋	胡炎	胡锋	段玉林	祝玲月
秦华	袁大刚	袁承程	袁晓奇	贾伟	钱建平
徐亚平	徐明岗	徐胜祥	徐爱国	徐祥玉	栾璐
高明杰	郭龙	唐昊冶	黄青	黄巍	黄元仿
黄耀蓉	龚鑫鑫	盛建东	常庆瑞	矫健	章明奎
梁文举	梁玉婷	董燕	蒋瑀霁	谢德体	雷秋良
雷雅杰	慈恩	蔡爽	蔡崇法	裴久渤	滕应
颜晓元	潘贤章	潘剑君	薛思远	冀宏杰	鞠兵
魏海雷					

目 录

第三次全国土壤普查技术规程（修订版）	1
第三次全国土壤普查土壤类型名称校准技术规范（修订版）	23
第三次全国土壤普查工作底图制作与采样点布设技术规范（修订版）	67
第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范（修订版）	83
第三次全国土壤普查土壤生物调查技术规范（修订版）	141
第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范（修订版）	227
第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范（修订版）	253
第三次全国土壤普查数据库规范（修订版）	281
第三次全国土壤普查土壤类型图编制技术规范（修订版）	341
第三次全国土壤普查土壤属性图与专题图编制技术规范（修订版）	369

第三次全国土壤普查技术规程

(修订版)

执笔人：卢昌艾 陈章全 吴文斌 马常宝 赵玉国
徐爱国 龙怀玉 余强毅 王 迪 钱建平
汪 洪 郑 磊 曲潇琳 孙 波 刘 峰
吴华勇 潘剑君 蔡崇法 林英华 梁文举
任图生 吴会军 吴克宁 张建峰 董 燕
裴久渤 张青璞 阮志勇 胡 炎 袁承程
徐祥玉 高明杰 袁晓奇 矫 健

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2023年2月

目 次

1	适用范围	4
2	规范性引用文件	4
3	土壤三普的目标	4
3.1	普查目的与意义	4
3.2	普查思路与目标	5
4	土壤三普的范围与任务	5
4.1	普查范围	5
4.2	普查内容	5
4.3	技术路线与方法	6
4.4	普查进度安排	7
4.5	普查工作流程	7
4.6	主要成果	9
5	土壤三普的准备工作	9
5.1	制定全国工作方案与省级实施方案	9
5.2	制定技术规范	9
5.3	筹建土壤三普技术专家组	10
5.4	编制土壤普查工作经费预算方案	10
5.5	筛选测试化验实验室	11
5.6	数据安全与保密规定	11
6	土壤普查工作平台	11
6.1	制作土壤普查工作底图	12
6.2	样点预布设	12
6.3	研发土壤普查工作平台系统	13
7	土壤普查试点	14
7.1	试点区域选定	14
7.2	培训普查技术队伍	14
7.3	制定试点工作方案	14
7.4	开展试点	15
7.5	普查全面推进	15
8	外业调查采样	15
8.1	外业调查与采样技术规范	15
8.2	外业调查采样组织	15
8.3	外业调查采样任务	16
8.4	外业调查采样的质量控制	17
9	内业测试化验	17
9.1	土壤样品制备与检测技术规范	17
9.2	样品制备与分发	17
9.3	土壤理化测试指标与方法	18
9.4	测试数据填报与审核	18
9.5	内业测试的质量控制	18

10 土壤生物调查	18
10.1 土壤生物调查任务	19
10.2 样点布设与采样测试	19
10.3 生物调查的成果汇总	19
11 成果汇总	19
11.1 样品库建设	19
11.2 数据汇交与数据库构建	20
11.3 土壤制图	21
11.4 总结报告编写	22
11.5 土壤普查成果的验收	22

1 适用范围

本规程规定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前期准备、外业调查采样与内业测试化验等具体工作流程、质量控制体系、成果汇总与验收等技术规范。

本规程适用于土壤三普，也可作为其他土壤调查工作的参考。

2 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规程必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规程；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

- GB/T 17296—2009 《中国土壤分类与代码》
- GB/T 21010—2017 《土地利用现状分类》
- GB/T 33469—2016 《耕地质量等级》
- GB/T 36393—2018 《土壤质量 自然、近自然及耕作土壤调查程序指南》
- GB/T 36501—2018 《土壤制图 1:25 000 1:50 000 1:100 000 中国土壤图用色和图例规范》
- GB/T 32726—2016 《土壤质量 野外土壤描述》
- GB/T 32740—2016 《自然生态系统土壤长期监测指南》
- NY/T 1119—2019 《耕地质量监测技术规程》
- NY/T 1634—2008 《耕地地力调查与质量评价技术规程》
- 《全国第二次土壤普查暂行技术规程》（1979年）
- 《第三次全国土壤普查工作方案》（农建发〔2022〕1号）

3 土壤三普的目标

3.1 普查目的与意义

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，也可为经济社会与生态建设等重大政策的制定提供决策依据。

3.1.1 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”。

3.1.2 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，都需要翔实的土壤属性数据作支撑。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。

3.1.3 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、草地等土壤性状及其土壤适宜性，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。

3.1.4 是优化农业生产布局，助力乡村产业振兴的有效途径

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。

3.2 普查思路与目标

开展土壤三普是贯彻落实中共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的重要途径。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”。

4 土壤三普的范围与任务

4.1 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。

4.2 普查内容

以校核与形成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。

4.2.1 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，完善中国土壤发生分类系统，并逐步推进使用中国土壤系统分类。

4.2.2 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，普查土壤剖面发生层及其厚度、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 m土壤剖面内沙性、砾石、黏磐、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。

4.2.3 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、典型区域土壤生物多样性等土壤物理、化学、生物指标。

4.2.4 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。

4.2.5 土壤利用适宜性评价和土壤质量状况评价

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，开展土壤利用适宜性评价和土壤质量分析，摸清土壤资源质量现状。

4.2.6 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。空间数据库存储具有点线面经纬度和拓扑关系的土壤类型、采样点点位、剖面分布、养分分布评价、土壤利用适宜性评价、土壤质量、地形地貌、道路和水系等内容的数据库。属性数据库存储空间点线面性质（或属性）的土壤类型、土壤性状、土壤障碍及退化、土壤利用等指标的数据库。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。

4.2.7 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。开展土壤盐碱化、酸化等专题评价，提出治理修复对策。

4.2.8 土壤样品库构建

依托科研和教学单位，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。

4.3 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；以土壤二普土壤图、土地利用现状图、地形图、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、省级和县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。

4.3.1 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。

4.3.2 制作底图

利用2000国家大地坐标系（下同）土壤二普1:5万土壤图、国土三调1:1万土地利用现状图及其变更图（2019年12月31日）、地形图、最新行政区划图等资料，统一制作满足普查精度与面积计算统计的要求和不同层级使用的土壤三普工作底图。详见《第三次全国土壤普查工作底图制作与

采样点布设技术规范》。

4.3.3 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。

4.3.4 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，调查立地条件与生产信息，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”形或梅花形等方法混合取样，剖面样品采取整段采集和分层采样。

4.3.5 测试化验

以国家标准、行业标准和现代测试分析技术为基础，规范确定土壤三普统一的样品制备和测试分析方法。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。

4.3.6 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。

4.3.7 质量控制

遵循“五靠”质量控制工作要求，通过落实技术规程规范、明确作业人员资质要求、强化专家技术指导、实施工作平台全程管控、加强外部质量监督抽查等手段，确保全程质量控制做到全程控制、源头控制、前端控制、同步控制等，使土壤普查工作要求和技术要求落实落地落好。

4.3.8 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，编制土壤图和系列专题图，进行成果凝练与总结，阶段成果分段验收。

4.4 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12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。

4.5 普查工作流程

土壤三普工作流程见图1。

4.5.1 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。收集土壤二普土壤图、国土三调土地利用现状图及其变更图、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的土壤普查工作平台，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。

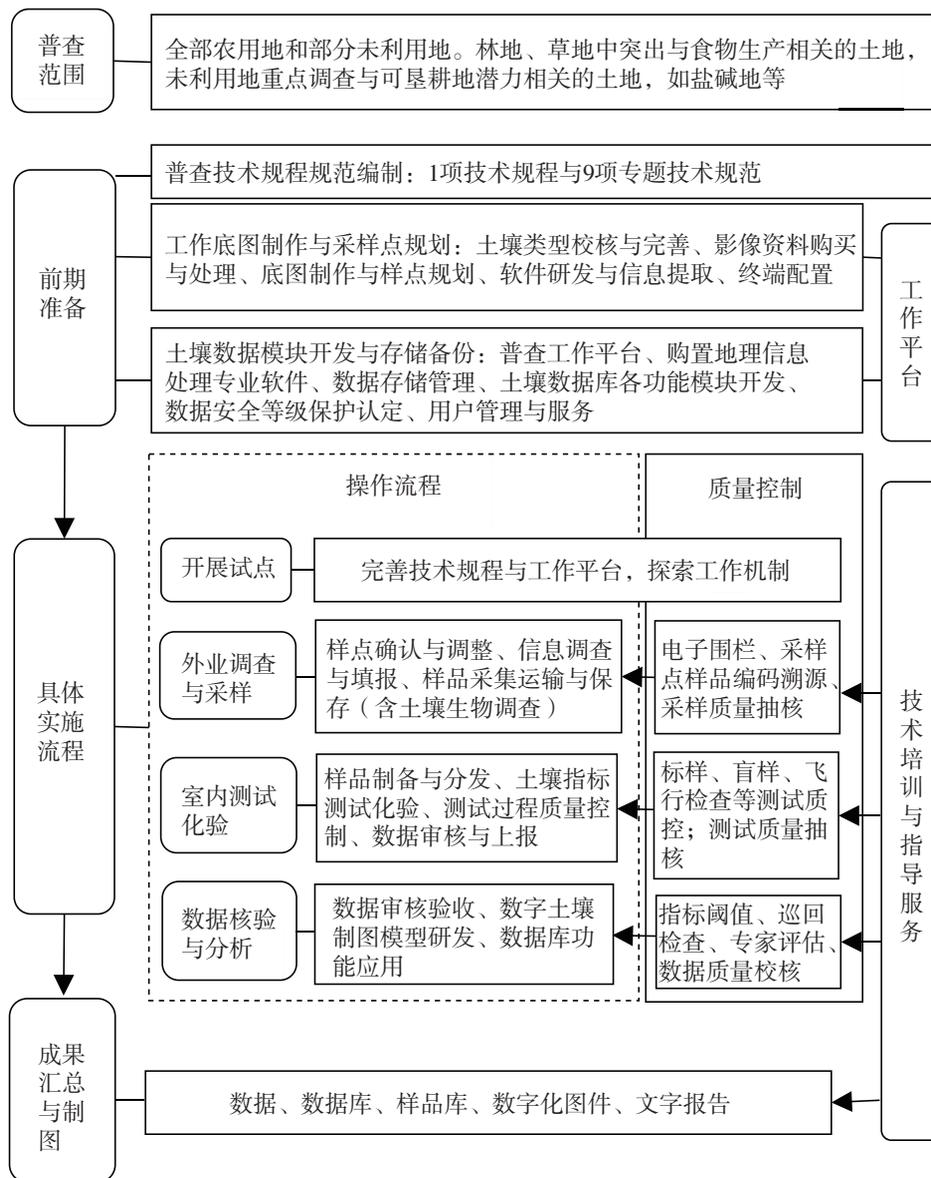


图 1 土壤普查工作流程

4.5.2 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。

4.5.3 组织外业调查采样

专业外业调查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。

4.5.4 开展内业测试化验

检测机构按照《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》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。

4.5.5 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。

4.6 主要成果

4.6.1 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。

4.6.2 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，土壤质量分布图，土壤利用适宜性分布图土壤养分图，黑土耕地退化、耕地土壤盐碱和酸化分布图，特色农产品生产区域土壤专题调查图等。

4.6.3 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、草地土壤质量报告，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。

4.6.4 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。

4.6.5 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。

5 土壤三普的准备工作

5.1 制定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、生态环境部、水利部、国家林草局、中国科学院等有关部门，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”）备案。

5.2 制定技术规范

为保障落实土壤普查的专业性和规范性，全国统一制定土壤普查的技术规程与规范。

5.2.1 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、教学、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。

《第三次全国土壤普查土壤类型名称校准技术规范》：更新土壤类型图，完善全国土壤分类系统，包括按照《中国土壤分类及代码》（GB/T 17296—2009）规范土壤二普土壤类型名称，进行高级土壤分类判定和基层土壤分类名称整理和规范，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。

《第三次全国土壤普查工作底图制作与样点布设技术规范》：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。

《第三次全国土壤普查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、土壤形态和土壤类型规范性描述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。

《第三次全国土壤普查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。

《第三次全国土壤普查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。

《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》：统一规范外业调查采样和样品制备、保存、流转、检测及数据审核等过程的质量保证和质量控制。

《第三次全国土壤普查数据库规范》：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。

《第三次全国土壤普查土壤类型图编制技术规范》：统一规范土壤类型制图的原则、要求和技术方法等。

《第三次全国土壤普查土壤属性图与专题图编制技术规范》：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、数字土壤制图模型筛选与验证、相关专题成果图制图方法与表达等。

5.2.2 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规范等，结合本省（区、市）的普查内容和任务，编制本省（区、市）的操作规范。

5.3 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。

5.4 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、土壤制图与校核、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、报告编写、成果汇总与验收环节的经费，具体如下。

(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）、样品制备与分发等工作经费。

(3) 土壤制图与校核经费包括土壤制图室内流程和野外实地校核工作经费。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 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

^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。

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。

(7) 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，以及数据完整性、规范性和准确性审核等工作经费。

(8) 土壤数据库建设包括数据库平台、保密机房设备、数据存储服务器、GIS 软件防火墙和等安全设备。

(9) 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、表层土壤样品的制作与保存费用。

(10) 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，以及成果验收等工作经费。

5.5 筛选测试化验实验室

全国土壤普查办负责制定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的规范，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，以及制定土壤三普检测实验室和质量控制实验室管理办法。

5.5.1 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基本条件，初步筛选出检测实验室，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）在土壤三普工作中参考选用检测实验室。

5.5.2 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，评审筛选出国家级质量控制实验室。

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（区、市）省级质量控制实验室 2~3 家，并报全国土壤普查办备案。

5.6 数据安全与保密规定

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。

5.6.1 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。

5.6.2 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，需要签订数据保密承诺协议。

5.6.3 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。

5.6.4 数据发表与公开

土壤普查数据发表与公开由各级土壤普查办负责。在土壤普查结果公布前，区域（如县级或以上行政级）面上普查数据不得公开。

6 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。

6.1 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。

6.1.1 图件等资料收集整理

收集整理土壤二普 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。

6.1.2 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，作为土壤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。

6.2 样点预布设

在上述“叠加图斑”上，采用差异化样点密度的方法，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《第三次全国土壤普查工作底图制作与采样点布设技术规范》。

6.2.1 基本方法

6.2.1.1 表层样点

以县域为表层样点基本行政单元，基于耕地、园地、林地、草地、盐碱地不同的表层样点布设密度，从普查县 1:1 万土地利用现状图中提取耕地、林草盐碱地，将线状地物融并到前两个图层，再与经过标准化处理后的 1:5 万土壤图叠加，生成叠加图斑。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。每类图层初步确定样点数量以及入样图斑数量，并进一步依据地形地貌变异程度、地理标志农产品分布区等进行样点加密。基于普查县采样点数量，以及各类型区规划布样密度，选取出全县范围内入样图斑或剩余叠加图斑，图斑的质心点作为样点位置。

6.2.1.2 剖面样点

以土壤二普土壤图斑为基础，结合宏观代表性与局地代表性，考虑多尺度的土壤分异规律，布设重点是耕园地，兼顾林草盐碱地，主体上采样典型布点，在土壤类型变化区加点，实现省域统筹布设剖面样点。以土地利用图层、土壤二普土壤图、关键成土因素变量、地貌类型图和道路潜在可达性图层为基础数据，在考虑代表性、土壤演变、空间均衡性、用途导向、可操作性及效率等原则下，通过估算省域剖面样点数、确定各土种样点数量、筛选土种代表性图斑、识别典型景观位置和土壤类型变化区补点等流程，进行剖面样点位置布设。

6.2.2 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分发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，以土壤类型代表性、最新的地块土地利用、距离村庄道路河流污染源等远近、交通通达情况、遥感影像等要素为依据，综合进行样点的人工校核，提高布设样点的代表性与合理性。其中，表层样点校核时，需利用最新的土地利用方式或农业利用方式进行校核，避免由于 2019 年后土地利用变更，造成样点失去代表性；剖面样点校核时，需确保布设样点的宏观代表性和局地代表性。

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

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。

6.2.3 样点编码

预布设的每一样点，实行“一点一码”制度，赋予一个18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+样点类别1位+序号5位（如00001）+样品类型1位（一般样品为1，容重样品为2，水稳性大团聚体样品为3）+样品层次序号（表层样品为0，剖面样品为发生层序号）。

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位为样点类别，表层样点为0，剖面样点为1。

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。

编码第17位为样品类型，表层土壤样品为1，容重土壤样品为2，水稳性大团聚体样品为3。

编码第18位为样品层次序号，表层土壤样品为0；剖面土壤样品为发生层由上及下的序号，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。

6.2.4 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（作物类型）、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。

6.2.5 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。

6.3 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。

6.3.1 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。

6.3.1.1 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。

6.3.1.2 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《第三次全国土壤普查数据库规范》。

6.3.1.3 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。

6.3.1.4 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”“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：主要有外业调查采样的资料检查、现场检查和内业测试化验的制备、保存、流转检查等功能模块。

样品流转 App：主要有样品流转进展查询，样品接收，制备样品转码、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、样品制备流转保存检查、测试化验飞行检查、检测指标比对与数据阈值等功能模块。

6.3.2 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“调查采样 App”“样品流转 App”“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。

省级土壤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。

7 土壤普查试点

7.1 试点区域选定

全国土壤普查办，在全国筛选具有代表性和相关条件的省（区、市）实施省-市-县联动试点；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。

7.2 培训普查技术队伍

全国土壤普查办组织专家，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。

7.3 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，组建外业调查队（含采样工具），并组织开展技术培训、业务练兵、质量控制等。

7.4 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。完成试点县和盐碱地普查县样点规划布设、外业调查采样与内业测试化验、数据审核与整理分析、试点县工作总结和盐碱地普查工作报告等工作。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，试点完善如下内容。

(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量保证与外部质量监督检查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。

7.5 普查全面推进

结合 2022 年试点期间技术规程规范、工作平台、工作机制等试点成果与问题，进一步完善土壤三普的技术规程规范与工作平台，总结试点期间好的普查工作经验与做法，强化组织保障，压实各方责任，加强宣传动员、技术培训，按照普查工作内容、技术路线、技术规程、技术方法、工作手册等要求，落实好全面推进期的土壤普查工作。

8 外业调查采样

8.1 外业调查与采样技术规范

全国土壤普查办，组织编写《第三次全国土壤普查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。

8.2 外业调查采样组织

8.2.1 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，负责组建专业外业调查队（每一外业调查队人员组成中至少分别有 1 名参加过全国或省级土壤普查办统一组织培训的技术领队、质量检查员，并获得培训合格证，同时配备 1 名县级专业技术人员），制定外业调查采样计划，按照《第三次全国土壤普查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、暂存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。

采集土壤剖面样点的外业调查队，须由熟悉土壤分类与制图的专家带队调查，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。

8.2.2 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《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》。

8.2.3 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。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。

8.3 外业调查采样任务

8.3.1 样点现场确认

外业调查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;对布设点位的土壤类型进行野外识别,如实际的土壤类型与预布设点位土壤类型不一致,则需要进行土壤类型校核或者样点变更。对于上述2种需变更的样点,按《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》的要求,完成样点的变更工作。

8.3.2 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《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》。

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,待外业调查队回到上网区域,及时一次性提交。

8.3.3 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”形或梅花形(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,完成表层土样、剖面发生层土样(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,其表层土样、剖面发生层土样、环刀样按照《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》采集,生物调查样按照《第三次全国土壤普查土壤生物调查技术规范》采集。

8.3.4 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,详见《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》。每一表层土样采取“四分法”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)的,取样量5 kg(风干重计);每一剖面发生层土样约采集3 kg(风干重计),需要采集剖面发生层平行样时约采集5 kg(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;水稳定大团聚体样品需采用木盒、铁盒、塑料盒或广口塑料罐等硬质容器盛装,取样量不少于2 kg,并在土壤水分适宜时沿自然结构轻轻剥成直径10~12 mm的小土块后再行风干;环刀样,按照任务清单中的测定土壤容重、土壤导水性能等需要环刀样数量采集。

^② “S”形或梅花法: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100 m×100 m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100 m×100 m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100 m×100 m范围内按蛇形法取20个样后混合。

^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。

8.3.5 样品包装与运输

所有采集土壤样品混匀后，先装入塑料自封袋后、再装入布袋，或放入统一标准的样品袋，避免交叉污染。分层剖面样需放入剖面样的样品盒；用“调查采样 App”扫描，并打印土壤表层土样、剖面土样等样品编码，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。如无法及时送达制样实验室，需根据样品制备要求，妥善处理并暂存。

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。

8.4 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量保证与外部质量监督检查 2 个环节。内部质量保证包括：每一外业调查队至少分别有 1 名参加过全国或省级土壤普查办统一组织培训的技术领队、质量检查员，并获得培训合格证，同时配备 1 名县级专业技术人员；“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。外部质量监督检查是国家或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；工作平台上应有相应的县级、省级、国家级外部质量监督检查专家审核的修改功能，同时记录审核专家的个人信息。详见《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》。主要质控内容见表 1。

表 1 外业调查采样质量控制

项目	内部质量保证	外部质量监督检查
资料检查	100%	省级 100%； 国家级不低于 2‰
现场检查	100%	省级不低于 5‰； 国家级不低于 1‰

9 内业测试化验

9.1 土壤样品制备与检测技术规范

全国土壤普查办，组织编写《第三次全国土壤普查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（剖面整段标本制作）、分样、保存、流转、检测等工作。

9.2 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平行样添加、样品转码与分发工作。

检测样品库样品由样品制备实验室采用四分法分取后直接寄送样本库。

检测样品制备完成后，省级质量控制实验室负责添加质控样品（标准样品或参比样品）、密码平行样品等，分别按照耕地园地、林地草地每 50 个样品（至少含 1 个质控样品与 1 对密码平行样品）组成一个批次，按照土壤普查工作平台样品任务清单，进行检测样品的二次编码后分发寄往相应的检测机构。

样品分发至土壤普查工作平台样品任务清单中的土壤检测实验室进行样品测试，同时土壤普查工作平台样品任务清单中需抽检的质控样品，需流转到质控实验室进行指标测试。具体测试指标参见样

品任务清单。

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。

“样品流转 App”任务清单中流转到样本库的混合土样，原则上样品库需优先保存原状样，再考虑保存磨碎过筛样。

9.3 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，以及林地、草地、盐碱荒地的土壤样品检测指标见《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》。

9.4 测试数据填报与审核

各检测实验室按照《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》中的内部质量保证要求，对检测数据质量进行审核，并完成数据填报。经省级质量控制实验室密码平行样品和质控样品检测结果判定合格后，逐级提交县级、省级土壤普查办和全国土壤普查办审核。审核时需对数据完整性、规范性和准确性进行审核，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。

对于异常数据，需复测复检并查找原因，必要时重新采样测试。

9.5 内业测试的质量控制

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量保证和外部质量监督检查。内部质量保证是检测实验室的内部工作过程自控，外部质量监督检查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。主要质控内容见表 2。

表 2 内业测试质量控制

项目	内部质量保证	外部质量监督检查
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 $\leq 10\%$ ，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	满足样品量及均匀性的措施	根据密码平行样等检测情况，进行评定
分析测试	方法验证、空白试验、校准曲线、仪器设备定量校核、精密度、正确度控制等； 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； 50 个样品时至少有 1 对密码平行样品、1 个质控样品； 留样抽检：省级 $\geq 5\%$ ， 国家级 $\geq 3\%$ ； 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

10 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《第三

次全国土壤普查土壤生物调查技术规范》执行。

10.1 土壤生物调查任务

10.1.1 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。

10.1.2 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）。

10.2 样点布设与采样测试

10.2.1 样点布设

在已布设的剖面样点或表层样点中，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。

10.2.2 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。

10.2.3 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。

10.2.4 测试指标与方法

- (1) 土壤动物：土壤线虫、蚯蚓的形态鉴定与分子生物学。
- (2) 土壤微生物：土壤微生物生物量（碳、氮）、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。

10.3 生物调查的成果汇总

10.3.1 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。

10.3.2 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。

11 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、文字报告等土壤普查成果；地市级参照县级、省级成果清单，形成地市级土壤普查成果。

11.1 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《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》。

11.1.1 国家级土壤样品库

全国土壤普查办依托国家级科研机构，负责建设国家级土壤样品库。

11.1.1.1 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原状样品。

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。发生层样品存放在磨口玻璃瓶中，标注出样品目数，存放在样品架中。

11.1.1.2 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 kg/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。

11.1.2 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。

11.2 数据汇交与数据库构建

全国建立统一的数据库标准（详见《第三次全国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。

11.2.1 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。

11.2.2 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，国家层面开发数据审核软件辅助数据审核，具体方法参照《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》。

11.2.2.1 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。

11.2.2.2 异常值的剔除

土壤普查过程中出现的各类数据，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。

11.2.3 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，导入省级与国家级土壤三普数据库。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。

11.3 土壤制图

开展县级、省级、国家级土壤类型、土壤属性、土壤专题制图工作。详见《第三次全国土壤普查土壤类型图编制技术规范》和《第三次全国土壤普查土壤属性图与专题图编制技术规范》。

11.3.1 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。

11.3.2 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。

以土壤工作底图为基础，充分利用外业调查采样和分析化验结果等，修正完善土壤分类暂行方案和土壤工作底图，形成土壤调查初级成果图，并利用土壤类型图层提取、缩编、制图综合等专题制图技术，编制形成不同层级的土壤类型图。针对存在土种图缺失、土壤类型和边界错误、土壤类型发生变化等问题的区域，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，采用数字土壤制图技术方法，形成土壤三普初级成果图和各层级土壤类型图。详见《第三次全国土壤普查土壤类型图编制技术规范》。

11.3.3 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1个最优土壤属性制图模型或相对成熟的模型进行土壤制图。详见《第三次全国土壤普查土壤属性图与专题图编制技术规范》。

11.3.4 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，获得各评价单元（或像素）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。

11.3.5 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。

11.3.6 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。其他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。

11.4 总结报告编写

分级开展土壤普查报告撰写工作，县级、省级土壤普查办逐级各自负责报告的编制，省级土壤普查办负责审核县级与省级的总结报告；全国土壤普查办负责编制全国土壤普查的总结报告。

11.4.1 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。

11.4.2 土壤三普技术报告

重点总结土壤三普“1+9”技术规程规范的实践情况，系统整理土壤普查关键技术内容、实施机制和应用成效，总结技术形成与发展的方式方法，以及普查过程中解决的技术难题、工作建议等。

11.4.3 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，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。

11.5 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。重点检查数据库及成果的真实性、完整性、规范性和合理性。县级与省级组织内业核查，并根据内业核查情况选择不少于10%的乡镇与市县开展外业核查。内业、外业核查均合格后，通过验收。

11.5.1 县级土壤普查成果验收

各县级土壤普查办完成数据审核上报、普查报告撰写等工作后，向省级土壤普查办提出验收申请。省级土壤普查办组织专家分县进行验收，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。

11.5.2 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。

11.5.3 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。

11.5.4 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。

第三次全国土壤普查土壤类型 名称校准技术规范

(修订版)

执笔人：徐爱国 张维理 李 荣 黄元仿 李 涛
卢昌艾 蔡崇法 龙怀玉 汪景宽 王秋兵
吴克宁 谢德体 慈 恩 张凤荣 冀宏杰
田长彦

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2023年2月

目 次

1 适用范围	25
2 校准总则与方法	25
2.1 总则	25
2.2 校准依据	25
2.3 校准方法	25
3 工作组织方式	26
4 土壤高级分类名称的校准	26
4.1 对象及范围	26
4.2 土类的校准	27
4.3 亚类的校准	29
5 土壤基层分类名称的校准	30
5.1 对象及范围	30
5.2 土属的校准	30
5.3 土种的校准	32
5.4 命名用字统一	33
6 土壤分类的完善	33
6.1 土壤高级分类的完善	33
6.2 土壤基层分类的完善	33
附录1 各级土壤分类单元的划分依据	34
附录2 全国土类简述	42

1 适用范围

本规范规定了土壤类型名称的校准总则与方法、工作组织方式、高级与基层分类校准重点，以及土壤分类系统的完善等内容，并引用了《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》（以下简称“暂行土壤分类系统”）各级分类单元的主要划分依据，用于处理全国第二次土壤普查（以下简称“土壤二普”）中同土异名、同名异土、分类和命名不规范等问题。

本规范是土壤二普土壤修正图的制作依据，是第三次全国土壤普查（以下简称“土壤三普”）工作底图的基础。暂行土壤分类系统是土壤三普土壤类型图制图依据，也是土壤资源评价等成果汇总的重要基础。

2 校准总则与方法

2.1 总则

2.1.1 高级分类单元尊重历史保持稳定

土类及其以上高级分类，保持与《中国土壤分类与代码》（GB/T 17296—2009）（以下简称“国标”）相一致，包括12个土纲、30个亚纲、60个土类。暂行土壤分类系统也基本按照此原则制定。

2.1.2 重点校核基层分类单元，采取连续命名与地方性简名相结合的命名方法

土属和土种等基层分类单元的名称，重点修正土壤二普土壤图中明显的分类错误和不规范命名。原命名与“国标”命名一致且无分类学错误的，不作调整；与“国标”命名不一致的，原则上保持连续命名或当地命名（即简名）的命名方式。对与土壤二普土壤志中剖面描述对比，确为同一个土种的，原则上采用连续命名，并对应给出其当地命名（简名）。

2.1.3 以剖面描述为依据

原则上以各地各级土壤二普土壤志中土壤剖面发生分层的性状描述为依据，按照基层分类原则，进行土壤名称校准。土壤二普土壤志中无剖面性状描述的土壤名称，由土壤三普专家组讨论研究，制定各级名称的补充和校准。无法判定是否可以归并为独立土种的，原则上给予保留，不强行归并到其他土种中。

2.1.4 应校准尽校准，保留校准前后土壤名称以备查

全国范围内，对现有土壤名称应校准尽校准。校核完成后，给予校核前和校核后的各级土壤分类名称及其对照表，以供各级地方在使用分类单元时参照。

2.2 校准依据

“国标”、暂行土壤分类系统是土壤类型名称校准的基本依据。

2.3 校准方法

2.3.1 参考资料

校准所需参考资料，主要为土壤二普各级土壤志成果及有关标准、著作。土类、亚类等土壤高级分类和名称校准依据的资料，主要包括《中国土壤》（1998）、省级土壤和《中国土壤分类系统》（1992），个别高级分类有不一致的地方，以“国标”中高级土壤分类为准。土属、土种等土壤基层分类中土属和土种分类和名称校准依据和资料主要包括“国标”、暂行土壤分类系统、县级土壤志和土种志，以及各市/地区土壤志/土种志。资料中土属名称划分依据如母质、盐分组成等信息不清晰时，则通过查阅土种剖面记载描述，进行判别校准。

此外，农业部门以往工作基础，涉及地、县一级土壤分类单元名称，以及与省级、国家级土壤分

类研究的资料作为土壤三普土壤类型单元名称校准的参考。

2.3.2 校准流程和方法

根据本省县级、市/地级、省级土壤/土种志，列出本省县级、市/地级、省级在土壤二普汇总阶段得到的各级土壤分类单元名称。分析在土壤二普的市/地级、省级汇总阶段土壤分类单元更名或修改情况，制定土类和亚类的分类单元更名或修改对照清单，进行高级分类校准。基层分类土属和土种校准则主要依据暂行土壤分类系统中的划分原则和依据进行规范化。具体做法如下。

2.3.2.1 资料收集与清单整理

收集本省各级土壤二普土壤图（矢量土壤图）、土壤/土种志，整理县级土壤图和土壤/土种志分类单元名称，形成与本县土壤二普土壤图相对应的本县土壤二普土壤分类单元清单；基于市/地级、省级土壤/土种志，整理市/地级、省级的土壤二普土壤分类系统清单。

2.3.2.2 高级分类单元梳理

对土壤二普的县级、市/地级、省级土壤分类单元进行对照梳理，并对比“国标”，查阅《中国土壤》（1998）、土壤二普省级土壤中关于土类亚类名称汇总调整的过程，形成本省土类和亚类单元县级、市/地级、省级、“国标”的名称对照表。在此基础上，形成本省县级高级土壤分类单元与市/地级、省级、“国标”分类单元的土壤二普高级分类单元调整对照表。

2.3.2.3 基层分类单元名称甄别

土壤二普县级土壤基层分类单元土属和土种的校准，主要根据暂行土壤分类系统中土属和土种的划分依据，对土属的母质、质地及其在命名中的先后顺序等进行规范化、标准化。县级土壤基层分类单元为当地俗名，其上级单元归属不清的，查阅本县土壤二普土壤/土种志典型剖面描述，判断其归属土壤单元；无法判断的，保留土壤二普原分类单元名称，待土壤三普外业调查时由调查技术单位现场核查。

2.3.2.4 名称校准

依照本省土壤二普高级分类单元调整对照表，逐县对比校准土壤二普县级土类亚类单元名称；根据暂行土壤分类系统中土属和土种的划分依据，逐县对土属、土种的母质、质地进行规范化、标准化，同时根据暂行土壤分类系统土种命名顺序、字词规范，对土种名称进行规范化。

3 工作组织方式

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”）成立国家级、大区级土壤类型校核技术专家组，技术专家组成员由有长期土壤分类或土肥工作经验的国家级科研单位、大学、参加过土壤二普土壤调查分类工作、有土壤分类理论基础和丰富调查经验的专家组成。国家级和大区级专家组在全国范围内遴选。省级土壤类型校核技术专家组由各省土壤普查办遴选，技术力量较弱省区的校准工作，可委托全国土壤普查办从技术力量强的同大区其他省协调。

国家级技术专家组在全国土壤普查办领导下负责指南和土壤类型修改方案，形成土壤类型校准稿、修订稿；国家级技术专家组完成的校准稿及校准说明，分发各省；在后期的工作中对分类遗留问题及疑难问题进行解释。

省级土壤类型校核技术专家组根据本规范制定本省（区、市）补充方案，形成省级修订稿，由大区级和国家级技术专家组审核后形成校准稿。各省（区、市）在全国暂行土壤分类系统和本省（区、市）校准修订稿的基础上，制定本省（区、市）暂行土壤分类系统（到土种）。

4 土壤高级分类名称的校准

4.1 对象及范围

土壤高级分类名称校准重点为土类和亚类。土类校准，对土壤二普县级土壤图和土种志中与

“国标”不一致土类、不规范命名和不规范分类分级进行校准，使其归并至“国标”确定的 60 个土类中。亚类校准，对县级土壤图和土种志亚类名的不规范命名、不符合发生学原则或“国标”的分类或分级进行校准。

4.2 土类的校准

4.2.1 主要原则与校准重点

校准后土类名称与“国标”一致，共 60 个土类。

土类校准的重点，是对第二次土壤普查的国家和省级汇总并形成“国标”时，部分土类及其下级分类归属发生了变化，而汇总前期已经编写、绘制的县级土壤志和土壤图并未做相应修改（本指南对分类单元称谓的“原”，指土壤二普原亚类、原土类、原分类等），部分县级原土类存在与“国标”不一致的情况，主要包括分级调整和土类更名两类情况。其中，分级调整主要包括 4 个方面。①汇总后，原亚类升级为土类，如安徽、江苏等省（区、市），发育于北亚热带、下蜀黄土母质上，原县级调查划分为黄棕壤土类下黏磐黄棕壤亚类的土壤，改为黄褐土土类。②原土类降级为亚类，如原冲积土土类改为新积土土类下的冲积土亚类，原壤土土类调整为褐土土类下的一个亚类。③个别原土类根据其所处区域不同细化调整为多个土类，如盐碱土或盐土分别划为滨海盐土、草甸盐土、酸性硫酸盐土、漠境盐土和寒原盐土 5 个土类，根据其所处不同区域划分土类和相应亚类。④不规范土类名称，如结合土种志中的剖面性状描述，“山地棕壤”应校准为“棕壤”土类。第二类情况土类更名仅是土类名称变更为国标用名，不作分级调整，主要针对土壤二普初期土类暂定名的统一更改。例原“高山草甸土”统一改为“草毡土”。

4.2.2 土类校准部分内容及清单对照

附录 1 是土类及相关亚类的划分依据。校准过程中参考了省级土壤或省级土种志中各土类划分的说明，对原分类有调整的土类需根据剖面描述，对照划分依据进行校准。

表 1、表 2、表 3、表 4 列出了土类校准中出现的 4 种情况，包括亚类校准为土类、土类校准为亚类、原土类校准为多个土类、土类名称发生变化。

表 1 土壤二普全国成果汇总前亚类修正为土类的清单对照（部分样例）

土壤二普全国成果 汇总前亚类名	校准后土类名	主要条件	涉及区域
黏磐黄棕壤	黄褐土（黏磐黄褐土亚类）	母质为下蜀黄土，B 层盐基饱和度大于 80%	安徽、江西、江苏等
侵蚀型红壤 粗骨性红壤 粗骨性黄壤 红壤性土 黄壤性土 棕壤性土 褐土性土	××性土	具有 A-（B）-C 构型	相关省（区、市）
	石质土	表土层厚度一般<10 cm；A-R 结构，下部为各种形状未风化的母岩层	福建、江西、江苏、安徽、山东等
	粗骨土	表土层 10~30 cm，风化/半风化母质层 20~50 cm；土体砾石含量>50%（>2 mm）；A-C 构型，表土层下部风化/半风化母质	福建、江西、江苏、安徽、山东等
河淤土 层状草甸土 泛滥地草甸土 生草草甸土	新积土（修正后亚类为冲积土）		黑龙江

注：原亚类修正为土类后，根据剖面性状描述，再划分其修正后亚类。

表 2 土壤二普全国成果汇总前土类修正为亚类的清单对照（部分样例）

土壤二普全国成果 汇总前土类名	校准后亚类名	修正后所属土类名	涉及区域
冲积土	冲积土 潮土相关亚类	新积土 潮土	大部分有河流冲积地区的省
瘠土	瘠土	褐土	陕西
基性岩土	基性岩火山灰土	火山灰土	江苏
黑色石灰土 红色石灰土 棕色石灰土	黑色石灰土 红色石灰土 棕色石灰土	石灰（岩）土	湖南、广东、广西、安徽、江苏
山地棕壤	根据剖面判断为典型棕壤或棕壤性土等	棕壤	相关省（区、市）
山地黄棕壤	根据剖面判断为典型黄棕壤或黄棕壤性土等	黄棕壤	相关省（区、市）
山地褐土	根据剖面判断为典型褐土或褐土性土等	褐土	相关省（区、市）

表 3 土壤二普全国成果汇总前土类修正为多个土类的清单对照（部分样例）

土壤二普全国成果 汇总前土类名	校准后土类名	主要土壤特征	涉及区域
盐碱土或盐土	滨海盐土	处于滨海平原、河口冲积海积平原、海涂，剖面上下均匀分布氯化物盐类	江苏、浙江、山东、辽宁
	草甸盐土	多分布于冲积平原，受地下水水位升降活动影响，形成地表积盐类型。盐分组成以不同比例的氯化物与硫酸盐为主，以及东北大平原的苏打盐土	山东、辽宁、河南、河北、新疆、甘肃、内蒙古
	酸性硫酸盐土	热带、亚热带沿海平原低洼处、红树林下的土壤，富含硫的矿物质积累	广东、广西、福建
	漠境盐土	分布在西北干旱、漠境地区，有石膏磐和盐磐多种积盐类型，属残余盐土类型	新疆、甘肃、内蒙古
	寒原盐土	青藏高原面上的干旱湖泊边缘，是地质时期残余积盐与近代湖泊干涸积盐相结合的产物，碳酸根及重碳酸根占阳离子总量的 80%~90%	西藏、青海
岩性土	紫色土	发育于紫色岩类风化物，剖面构型为 A-C 型，土体较薄	浙江
	石灰（岩）土	发育于石灰岩风化物，含钙质、盐基饱和的岩性土壤	浙江
菜园土 ^①	潮土、红壤等	剖面土壤性状描述，考虑周边土壤类型分布	湖南、广东、江苏、福建、四川
红土	红黏土	黄土层下，第三纪红色黏土（保德期红黏土）埋藏，黄土层侵蚀殆尽处，红土层露出，母质特征明显的初育土，黏粒含量高，塑性强，生物作用微弱	陕西、甘肃
黄土	黄绵土	黄土母质，无明显发育，A-C 型构型，质地结构均一，疏松绵软	陕西、内蒙古

注：①对部分省（区、市）有些县级土种志剖面描述中划分的菜园土土类，根据其剖面性状描述、周边其他土类分布以及地形、水文情况，确定其所属母土土类及相应亚类。如地处冲积平原区，依剖面描述可考虑划归的土类有潮土等；如处于红壤区，可考虑划归的土类有红壤等。

表 4 对土壤二普全国成果汇总前土类更名的清单对照（部分样例）

土壤二普全国成果汇总前土类名	校准后	依据	涉及区域
灰棕壤、灰化土、山地灰化土、山地生草灰化土、(暗)棕色森林土	暗棕壤	《中国土壤》；省级土壤	黑龙江、吉林、辽宁
浅色草甸土	潮土	省级土壤	山西、河北、辽宁部分县
高山草甸土	草毡土	《中国土壤》	高山省（区、市）
亚高山草甸土	黑毡土	《中国土壤》	高山省（区、市）
高山草原土	寒钙土	《中国土壤》	高山省（区、市）
亚高山草原土	冷钙土	《中国土壤》	高山省（区、市）

4.3 亚类的校准

4.3.1 主要原则与校准重点

原则上保持亚类名称与“国标”一致，“国标”共发布亚类 229 个。

经过与相关资料中土壤剖面性状描述对比分析，仍无法归并至“国标”亚类名录的，保留原亚类名称。例如，部分省（区、市）的县级土壤名称中，以母土作为水稻土亚类命名，如“红壤性水稻土”“草甸土型水稻土”，在“国标”中无该亚类，但剖面分层性状描述无法判断其是否为还原淋溶和氧化淀积作用明显的潜育型；地下水位较高或接地表而还原作用强的潜育型等，可保留原亚类命名，待外业技术组在实地核查确定水型后再确认亚类名称。对于确有其他附加土壤发生过程，而“国标”亚类不能包含的，可增加新亚类，同时括号内保留旧名。

校准的其他问题主要包括：①耕种与否不作为亚类划分的依据，如“耕种草甸土”等，需根据原始土壤剖面描述和亚类划分依据，归于相应亚类；②不规范的亚类分级，不规范分级如“山地棕壤”“××母质褐土性土”等，需根据土壤二普资料中土壤剖面描述，归于同土类下相应的亚类；③不规范亚类命名，如“褐土化潮土”，根据“国标”和相关省级土壤的记载，应更名为“脱潮土”。

4.3.2 亚类校准部分内容及样例

土壤二普全国成果汇总前亚类名校准的清单对照部分样例见表 5。

表 5 土壤二普全国成果汇总前亚类名校准的清单对照（部分样例）

土壤二普全国成果汇总前亚类名	校准后亚类名	主要土壤特征	涉及区域
草甸土型水稻土、黑土型水稻土、白浆土型水稻土等	根据剖面性状视水型而定	根据剖面视水型而定	黑龙江、吉林
红壤性水稻土			江西
紫色土型水稻土、冲积性水稻土、黄壤性水稻土、石灰土性水稻土等			四川、重庆
幼年水稻土			山东
耕种××土	相应亚类	根据原始土壤剖面描述，参照亚类划分依据，判断在本土类下相应的亚类	相关省（区、市）
山地棕壤		同上	相关省（区、市）

（续表）

土壤二普全国成果汇总前亚类名	校准后亚类名	主要土壤特征	涉及区域
生草棕壤	典型棕壤	开垦耕种后，森林植被改变为生草环境，生草化过程加强，可视为人为的生草过程	内蒙古、辽宁、河北等
草甸棕壤	潮棕壤	土壤下层受潜水作用附加潮化过程，底层出现锈色斑纹的潮化层	内蒙古、辽宁、山东、河北
草甸褐土	潮褐土	土壤下层受地下水毛管作用的影响，心土层下可见明显的锈色斑纹	内蒙古、辽宁、山东、河北
褐土化潮土（褐潮土）	脱潮土	除有潮土的耕作层、氧化还原特征层外，在心土层表现微弱的黏化现象等褐土发育的特征	河北、北京、山东
××母质×性土	×性土（如褐土性土，棕壤性土，红壤性土等）	根据原始土壤剖面描述，参照土属划分依据，判断其下级土属名称	相关省（区、市）
淡褐土 碳酸盐褐土	石灰性褐土	通体有石灰反应	山西
沼泽化潮土	湿潮土	河谷平原、滨湖洼地、交接洼地	河北、山东等
黄潮土	典型潮土	黄土性冲积物质	河南、安徽等
准灰棕壤	暗棕壤性土		吉林
脱沼泽草甸土	潜育草甸土		山东
灰（色）草甸土	石灰性草甸土		内蒙古、新疆

5 土壤基层分类名称的校准

5.1 对象及范围

“国标”发布的土属和土种名分别为 638 个和 3 244 个。从分县土壤图件与剖面资料提取出具有从属关系的土属、土种名分别为 1 万余个和 6 万余个。根据剖面土体构型和性状描述，重点对上述数万个土属和土种的不规范命名和术语、用字进行规范化。对从土种名称和查阅剖面描述中，仍无法与“国标”进行归并的，不强行归并，以保留土壤二普原分类单元名称中包含的土壤特征。通过外业技术人员实地调查，组织专家判断后再确定或修正命名，完善土壤基层分类。

5.2 土属的校准

5.2.1 主要原则与校准重点

土属名称校准的重点，是对明显的分类学错误和用语的不规范表达进行修正。连续命名方式命名的土属名中主要含母质及风化壳类型、质地等方面的信息，例如酸性岩类残坡积棕壤性土、砂底冲积土等，均按照国标土属的命名规范，规范其母质的正确表述。同时，在农业利用中有明显地域特点、俗定固化的土属，在校准阶段也可予以保留。

土属命名原则上采用“国标”土属的命名原则，即采取与亚类连续命名，具体原则是：凡以母质及风化壳类型、质地大类、人为活动及盐分组成划分的土属。具体命名规则详见附录 1 中 2.1.1 节。注意县级命名中实际含义与“国标”相同的土属，应采用“国标”名称。如原土属名为“壤质潮土”“石灰性壤质灰潮土”，应修正为“国标”名称“潮壤土”“石灰性灰潮壤土”。

5.2.2 土属校准的部分清单

土壤二普全国成果汇总前土属命名母质、质地、盐分组成等统一用语及释义见表 6。

表 6 土壤二普全国成果汇总前土属命名母质、质地、盐分组成等统一用语及释义

指标类型	土壤二普全国成果汇总前原母质命名	“国标”用名 ^{注1}	《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》释义（同附录 1 中 2.1）
母质/风化壳类型（非水稻土）	酸性岩	麻砂质	麻砂质指发育于花岗岩或花岗片麻岩等酸性岩残坡积物母质的土壤
	中/基性岩	暗泥质	暗泥质指发育于玄武岩等中/基性岩残坡积物、火山灰（渣）母质的土壤
	泥质岩	泥质	泥质指发育于片岩、板岩、千枚岩、页岩等泥质岩残坡积物母质的土壤
	碳酸岩类	灰泥质	灰泥质指发育于石灰岩、白云岩等碳酸岩类残坡积物母质的土壤
	红砂岩 ^{注2}	红砂质	红砂质指发育于第三纪红砂岩残坡积物母质的土壤
	第四纪红色黏土 ^{注2}	红泥质	红泥质指发育于第四纪红色黏土母质的土壤
	第三纪红色黏土 ^{注2}	红土质	红土质指发育于第三纪红色黏土母质的土壤
	硅质岩	硅质	硅质指发育于砂岩、石英岩等硅质岩残坡积物母质的土壤
	砂页岩 ^{注2}	砂泥质	砂泥质指发育于砂岩、泥（页）岩等残坡积物母质的土壤
	洪冲积物	泥砂质	泥砂质指发育于洪冲积物、冰川沉积物母质的土壤
	黄土	黄土质	黄土质指发育于黄土及黄土状堆积物母质的土壤
	磷灰岩	磷灰质	磷灰质发育于磷灰岩残坡积物母质的土壤
	紫色砂页岩	紫土质	紫土质发育于紫色砂页岩残坡积物母质的土壤
	风积物	风砂质	风砂质发育于风积砂母质的土壤
	海积物	涂砂质	涂砂质发育于砂质浅海沉积物母质的土壤
人为活动	砂田	砂田	砂田指在砂田利用条件下发育的土壤。详见附录 1 中 2.1.2.3
	耕灌/灌耕	耕灌	耕灌指在耕灌利用条件下发育的土壤。详见附录 1 中 2.1.2.3
水稻土母质类型	河流冲积物	潮泥	潮泥指发育于河流冲积物母质的水稻土
	洪积物	潮泥砂	潮泥砂指发育于洪积物母质的水稻土
	湖相沉积物	湖泥	湖泥指发育于湖相沉积物母质的水稻土
	海相沉积物	涂泥	涂泥指发育于海相沉积物母质的水稻土
	河口相沉积物	淡涂泥	淡涂泥发育于河口相沉积物母质的水稻土
		涂砂	涂砂指发育于砂质浅海沉积物母质的水稻土
	滨湖相沉积物	潮白土	潮白土指发育于滨湖相沉积物母质的水稻土
	酸性岩残坡积物	麻砂泥	麻砂泥指发育于花岗岩或花岗片麻岩等酸性岩残坡积物母质的水稻土

（续表）

指标类型	土壤二普全国成果汇总前原母质命名	“国标”用名 ^{注1}	《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》释义（同附录1中2.1）
水稻土母质类型	砂页岩残坡积物	砂泥	砂泥指发育于砂页岩等残坡积物母质的水稻土
	泥岩类残坡积物	鳝泥	鳝泥指发育于泥岩、页岩、千枚岩等泥质岩残坡积物母质的水稻土
	碳酸岩类残坡积物	灰泥	灰泥指发育于石灰岩、大理岩等碳酸岩类残坡积物母质的水稻土
	紫色砂页岩残坡积物	紫泥	紫泥指发育于紫色砂页岩残坡积物母质的水稻土
	第三纪红砂岩残坡积物	红砂泥	红砂泥指发育于第三纪红砂岩残坡积物母质的水稻土
	第四纪红色黏土母质	红泥	红泥指发育于第四纪红色黏土母质的水稻土
	古老洪冲积物	黄泥	黄泥指发育于山丘坡麓与高阶地古老洪冲积物母质的水稻土
	第四纪上更新世黄土母质	马肝泥	马肝泥发育于第四纪上更新世黄土母质、富钙黄色黏土母质发育的水稻土
	中、基性岩残坡积物	暗泥	暗泥指发育于玄武岩等中、基性岩残坡积物母质的水稻土
	黄土状母质	黄土	发育于黄土状母质的水稻土
质地		砾砂	砾砂指土壤质地为多砾质砂土或砂壤土
		砾泥	砾泥指土壤质地为多砾质壤土、黏壤土或黏土
	砂土、砂壤	砂	砂指土壤质地为砂土或砂壤土
	轻壤、中壤	壤	壤指土壤质地为壤土或黏壤土
	重壤、黏土	黏	黏指土壤质地为黏土
		泥	泥指土壤质地为壤土、黏壤土或黏土。
盐分	氯化物-硫酸盐 ^{注3}	硫酸盐	
	硫酸盐-氯化物 ^{注3}	氯化物	
	苏打 ^{注3}	苏打	
层位	碱土、白浆土等土类的障碍层层位	浅位、深位	
其他	白干	指剖面中存在白干层的土壤 ^{注4} 。白干层为灰白色的紧实石灰结磐层。	
	表锈	表锈指在水田利用条件下发育的土壤 ^{注4} 。	

注1：“国标”指《中国土壤分类与代码》（GB/T 17296—2009）。

注2：对于县级土壤名称中出现的“第四纪红色黏土”“第三纪红色黏土”“红砂岩”“砂页岩”，本规范仅对其母质名称进行校准，以供实地校准。经外野校准如需修改，根据内业评土比土后再进行土壤类型和土壤图的更新。

注3：“国标”中，盐土和盐化土壤土属划分盐分组成成为3种：硫酸盐、氯化物和苏打。 $Cl^- : SO_4^{2-} < 1$ 为硫酸盐， $Cl^- : SO_4^{2-} > 1$ 为氯化物， $(CO_3^{2-} + HCO_3^-) : (Cl^- + SO_4^{2-}) > 1$ 为苏打盐类。

注4：引自《中国土壤分类与代码》（GB/T 17296—2009）。

5.3 土种的校准

5.3.1 主要原则与校准重点

土种校准的主要原则与重点，是对明显的分类学错误和土种名用语、用字的不规范进行修正。

土种主要是对剖面性态特征基本一致的土壤实体的表达。原始土种名既有以当地群众对土壤的形象化命名，如：马肝土、上黑河淤土等；亦有含砾石含量、质地等信息的连续土种命名，如：少砾质洪淤壤土、轻壤黄土质褐土性土、中度侵蚀轻壤红黄土质褐土性土等。由于两类土种名对了解土壤成土过程和肥力性状均有帮助，土种名校准的重点也是仅对明显的分类学错误和土种名用语的不规范表述进行修正。原土种名称中质地为卡庆斯基制的，校准时可保留；也可根据相关研究，将其修改为相对应的国际制质地名称，但在括号内必须标注原质地名称。

如经分县土种志中剖面性状描述与土种划分依据对比，发现明显的上级分类错误，需按照土类、亚类、土属的划分依据，重新研判修正各级土壤名称作为校准名称。

5.3.2 土种命名原则

校准时土种命名尽量采用连续命名，以保证系统性明确，并统一命名顺序。对土壤二普原土种名为简名的，在不明确含义时，不做连续命名修改，保留原简名。采用连续命名的土种名，对影响较大的当地名称或俗名，需在连续命名后加括号表述。

不同土类的土种命名顺序如下：对于山区土壤，土种命名顺序可参考：腐殖质层+土层+土属名称，如厚腐薄层灰泥质黑钙土；砾质度+表层质地+土层厚度+质地构型+土属名称（潮褐土、潮棕壤），如轻砾砂壤中层夹黏潮褐土。对于冲积性土壤，如潮土、草甸土、冲积土亚类等，表层质地+层位+夹层+亚类名称（土属中出现质地的，土种命名不再重复采用土属名称），例如：土种命名为“壤质夹黏石灰性潮土”，不采用以土属名称为后缀如“壤质夹黏石灰性潮壤土”。

5.4 命名用字统一

各级土壤类型名称需统一用字和用词。

质地用字：采用“砂”“壤”“黏”。

术语用字：土壤类型名称出现质地的，均采用上述质地用字，如母质“红色黏土”统一用“黏”字。土类名“风沙土”统一用“沙”字。

6 土壤分类的完善

6.1 土壤高级分类的完善

通过本次土壤普查，对土类、亚类可能发生变化的四类地区重点调查和诊断校准：①地下水文条件变化、盐碱条件消失的华北盐渍化土壤区；②耕作方式长期改变的地区，如旱地改水田；③开垦时间较长地区，可能造成土壤类型改变，通过实地调查、剖面诊断其发生发育特征是否变化，如确定变化，根据土类和亚类的划分依据诊断划分；④耕地开发和土地复垦的人工土体重构、表土剥离再利用区域。在外业调查后，经比土评土，确定上述区域的土类及其基层分类。

6.2 土壤基层分类的完善

6.2.1 土壤类型变化区土属与土种的完善

对上述土壤类型发生改变的土类与亚类，根据土属与土种的划分依据，划分土属与土种。

6.2.2 基层分类缺失区土种的完善

对土壤二普调查时，土壤分类仅划分到土属甚至亚类一级的地区（主要在农牧、农林交错带），牧区、林区补充为新耕地的，结合本次普查实地诊断校准后，细分到土种，并在后期汇总时更新土壤图，完善土壤基层分类。

6.2.3 新增土种的划分面积

对普查中发现的新土种，建议以满足1:5万比例尺一般上图面积为原则划分：一般上图面积为12.5 hm²（约200亩）。

附录 1 各级土壤分类单元的划分依据

1 土壤分类的级别^①

本方案采用土纲、亚纲、土类、亚类、土属、土种六级分类制，与“国标”保持一致。

1.1 土纲

土纲是土壤分类的最高级单元，是土壤重大属性的差异和土类属性共性的归纳和概括。其划分突出土壤的成土过程、属性的某些共性以及主导成土因素对土壤发生性状的影响。如铁铝土纲是对砖红壤、红壤、黄壤等土类归纳而成，其共性为：分布在热带、亚热带气候条件下，土壤发生不同程度脱硅富铁铝化过程和生物富集过程；钙层土纲中的黑钙土、栗钙土、栗褐土等土壤剖面中均存在着碳酸钙含量不等、形态各异的钙积层。

1.2 亚纲

亚纲是土纲的辅助级别，是在同一土纲内，根据所处水热条件、岩性、盐碱的重大差异来划分出不同的亚纲。一般地带性土纲按水热条件划分亚纲。如淋溶土纲，分成温暖淋溶土亚纲、温暖温淋溶土亚纲、湿温淋溶土亚纲和湿寒温淋溶土亚纲，它们之间的差别在于热量条件；又如钙层土纲中的半湿温钙层土亚纲和半干温钙层土亚纲，它们之间的差别在于水分条件。初育土纲按其岩性特征进一步划分为土质初育土和石质初育土。盐碱土纲根据土壤中盐分含量的多少划分盐土亚纲和碱土亚纲。

1.3 土类

土类是高级分类的基本分类单元。依据成土条件、成土过程与发生属性的共同性划分。同一土类的土壤，其成土条件和主要土壤属性相同。不同土类之间，其发生属性与层段有明显的差异。每一个土类要求：①具有一定的生态条件和地理分布区域；②具有一定的成土过程和物质迁移的地球化学规律；③具有一定的特征土层或其组合，如黑钙土不仅具有腐殖质表层还具有 CaCO_3 积累的心土层。我国土壤分类系统中的 60 个土类，能较好表达中国主要土壤类型的典型特征，如砖红壤代表在热带雨林季雨林条件下，经历高度的化学风化过程，富含游离铁、铝的强酸性土壤。

1.4 亚类

亚类是土类的续分，是在同一土类范围内，或由于发育阶段不同，或因处于不同土类间过渡地带发育的过渡类型，或在主导成土过程之外有附加成土过程。如潮土中的盐化或碱化潮土，黑土中的白浆化黑土，作为亚类划分。如黑土土类，其主导成土过程是腐殖质积累过程，由此主导成土过程所产生的典型亚类为典型黑土；而当地势平坦，地下水参与成土过程，则在心底土中形成锈纹锈斑或铁锰结核，此为潜育化过程，但这是附加成土过程，根据此过程划分出来的草甸黑土就是黑土向草甸土过渡的一个亚类。

^① 节选自《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》。

1.5 土属

土属是具有承上启下意义的土壤分类单元，是区域性成土因素导致的土壤性质发生分异的土壤分类单元。其划分依据是成土母质及风化壳类型、水文地质状况等所产生的土壤属性的变化。

1.6 土种

土种是土壤基层分类的基本单元。它处于相同或相似景观部位，具有相似的土体构型的一群土壤实体。同一土种要求：①景观特征、地形部位、水热条件相同；②母质类型相同；③土体构型（包括厚度、层位、形态特征）一致；④同一土种的属性、量级指标相同，土种间的性状指标具有量级差异；⑤生产性和生产潜力相似，而且具有一定的稳定性，短期内不会改变。

本暂行土壤分类系统规定各土类及以下各分级的划分依据，对土纲和亚纲分类和命名不作讨论。

2 土属的划分依据及各土类的土属划分

2.1 土属的划分依据^②

2.1.1 土属连续命名规则

(1) 凡以母质及风化壳类型及盐分类型划分的土属，其命名方式为母质（风化壳或盐分组成）+亚类名（典型亚类则只取土类名），如麻砂质棕红壤、硫酸盐盐化潮土等。

(2) 以质地划分的土属，其命名方式为亚类名称的定性名词后面加上质地名称构成土属名称，如薄草毡砂土、湿草毡壤土、石灰性灰潮砂土等。

(3) 水稻土的土属，其命名方式为亚类定性词（潜育水稻土不加）加上母质（母土）定性词再加“田”字构成，如浅紫泥田等。

亚类定性词：淹育水稻土的为“浅”；渗育水稻土的为“渗”；潜育水稻土的为“青”；脱潜水稻土的为“黄”；漂洗水稻土的为“漂”；咸酸水稻土的为“咸”。

耕灌和砂田两种人为活动方式的土属，其命名方式为耕灌或砂田+亚类名，如砂田栗钙土。

2.1.2 土属划分依据

2.1.2.1 母质及风化壳类型

非水稻土

- (1) 红砂质指第三纪红砂岩残坡积物母质的土壤。
- (2) 红泥质指第四纪红色黏土母质的土壤。
- (3) 涂砂质指砂质浅海沉积物母质的土壤。
- (4) 泥砂质指洪冲积物、冰川沉积物母质的土壤。
- (5) 暗泥质指玄武岩等中/基性岩残坡积物、火山灰（渣）母质的土壤。
- (6) 麻砂质指花岗岩或花岗片麻岩等酸性岩残坡积物母质的土壤。
- (7) 砂泥质指砂页岩、砂岩、砂砾岩等残坡积物母质的土壤。
- (8) 泥质指片岩、板岩、千枚岩、页岩等泥质岩残坡积物母质的土壤。
- (9) 硅质指砂岩、石英岩等硅质岩残坡积物母质的土壤。
- (10) 灰泥质指石灰岩、白云岩等碳酸岩类残坡积物母质的土壤。
- (11) 磷灰质指磷灰岩残坡积物母质的土壤。
- (12) 紫土质指紫色砂页岩残坡积物母质的土壤。
- (13) 黄土质指黄土及黄土状堆积物母质的土壤。

^② 节选自《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》的附件1土属划分依据与指标。

(14) 红土质指第三纪红色黏土母质的土壤。

(15) 风沙质指风积沙母质的土壤。

水稻土

(1) 潮泥指发育于河流冲积物母质的水稻土。

(2) 潮泥砂指发育于洪积物母质的水稻土。

(3) 湖泥指发育于湖相沉积物母质的水稻土。

(4) 涂泥指发育于海相沉积物母质的水稻土。

(5) 淡涂泥指发育于河口相沉积物母质的水稻土。

(6) 涂砂指发育于砂质浅海沉积物母质的水稻土。

(7) 潮白土指发育于滨湖相沉积物母质的水稻土。

(8) 麻砂泥指发育于花岗岩或花岗片麻岩等酸性岩残坡积物母质的水稻土。

(9) 砂泥指发育于砂页岩残坡积物母质的水稻土。

(10) 鳝泥指发育于泥岩、页岩、千枚岩等泥质岩残坡积物母质的水稻土。

(11) 灰泥指发育于石灰岩、大理岩等碳酸岩类残坡积物母质的水稻土。

(12) 紫泥指发育于紫色砂页岩残坡积物母质的水稻土。

(13) 红砂泥指发育于第三纪红砂岩残坡积物母质的水稻土。

(14) 红泥指发育于第四纪红色黏土母质的水稻土。

(15) 黄泥指发育于山丘坡麓与高阶地古老洪冲积物母质的水稻土。

(16) 马肝泥指发育于第四纪更新世黄土母质、富钙黄色黏土母质发育的水稻土。

(17) 暗泥指发育于玄武岩等中、基性岩残坡积物母质的水稻土。

(18) 白粉泥指发育于硅质砂页岩残坡积物母质的水稻土。

(19) 黄土指发育于黄土状母质的水稻土。

2.1.2.2 质地

以 100 cm 土体内细土质地大类（砂黏程度）联合土体内砾石含量来划分。主要包括两大类。

少砾土壤质地大类

当表土以下至 100 cm 土体内 >2 mm 砾石含量 <15%（体积百分比）时，根据 0~100 cm 土体内细土的主体质地（国际制）划分为砂质、壤质、黏质 3 个质地大类以及 1 个泥质混合质地。砂质指细土质地为砂土类土壤。包括砂土、壤砂土、砂壤土的土壤；壤质指细土质地为壤土类土壤，包括壤土、粉砂质壤土、砂质黏壤土、黏壤土、粉砂质黏壤土；黏质指细土质地为黏土类土壤，包括砂质黏土、壤质黏土、粉砂质黏土、黏土、重黏土；泥指土壤质地为壤土、黏壤土、粉砂壤土、砂黏壤土、粉黏壤土或黏土、粉质黏土、砂质黏土具体划分方法如下。

(1) 当 100 cm 土体内以某一质地大类为主，且其厚度超过 50 cm 时，该质地大类即为主体质地类型命名为砂质，或壤质或黏质。

(2) 当 100 cm 土体内存在两种主要质地类型，且均在 50 cm 左右时，以表层 0~50 cm 质地类型来命名。

(3) 如果 100 cm 土体内没有一个土层质地大类超过 50 cm，就以整体平均质地状况来表示，并优先用 0~50 cm 土壤质地状况来表示。

多砾土壤质地大类

当表土以下至 100 cm 土体内 >2 mm 砾石含量 $\geq 15\%$ （目测体积百分比），则称为砾质，连同细土质地一起确定质地大类。

(1) 砾砂质指细土质地为砂土类，而且 >2 mm 砾石含量 >15%。

(2) 砾壤质指细土质地为壤土类，而且 >2 mm 砾石含量 >15%。

(3) 砾黏质指细土质地为黏土类，而且 >2 mm 砾石含量 >15%。

(4) 砾泥指细土质地为泥质类，而且 >2 mm 砾石含量 >15%。

2.1.2.3 人为活动

人为活动主要指长期农作利用条件引起土壤发生发育的变化，有2种类型：耕灌和砂田，作为土属的划分依据之一。

耕灌指在耕灌利用条件下发育的土壤。耕灌是在漠境地区土壤上，灌溉耕种熟化的过程。

砂田指在砂田利用条件下发育的土壤。砂田的形成，是在地面上用卵石、砾、粗砂和细砂的混合物或单体，铺设厚度不同的（5~15 cm）覆盖层的农田，并采用一整套特制的农具和独特的耕作种植技术。

2.1.2.4 盐分组成

盐渍化土壤以盐分组成划分土属。盐分组成主要包括以下4个方面。

(1) 氯化物指盐分组成以氯化物为主，盐分当量比值 $Cl^- : SO_4^{2-} > 1$ 。

连续命名示例：氯化物盐化潮土，氯化物盐化草甸土。

(2) 硫酸盐指盐分组成以硫酸盐为主，盐分当量比值 $SO_4^{2-} : Cl^- > 1$ 。

连续命名示例：硫酸盐盐化潮土，硫酸盐盐化草甸土。

(3) 苏打指盐分组成以碳酸盐和重碳酸盐为主，盐分当量比值 $(CO_3^{2-} + HCO_3^-) > (SO_4^{2-} + Cl^-)$ 。

连续命名示例：苏打盐化潮土，苏打盐化草甸土。

(4) 镁质指盐分组成以 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 为主， Mg^{2+} 高于 Ca^{2+} ，具有明显的镁质碱化特征，呈强碱性，对植物危害性强。

连续命名示例：镁质盐化草甸土。

2.2 各土类的土属划分

不同的土类和亚类，土属的划分依据不尽一样。如典型棕壤亚类下，根据母质和风化壳类型分为麻砂质棕壤、硅质棕壤、砂泥质棕壤、灰泥质棕壤、黄土质棕壤等土属。盐土根据盐分组成划分硫酸盐土、氯化物盐土、苏打盐土等。附表 1-1 列出各土类下土属划分的主要依据。

附表 1-1 各土类之土属的划分依据

土类	土属划分依据	土属示例
砖红壤	母质	红泥质砖红壤
赤红壤	母质	硅质赤红壤
红壤	母质	红砂质红壤
黄壤	母质	紫土质黄壤
黄棕壤	母质	黄土质黄棕壤
黄褐土	母质	泥砂质黄褐土
棕壤	母质	黄土质棕壤、麻砂质棕壤
暗棕壤	母质	黄土质暗棕壤、硅质暗棕壤
白浆土	母质	泥砂质草甸白浆土
棕色针叶林土	母质	麻砂质棕色针叶林土
灰化土	母质	麻砂质灰化土
燥红土	母质	麻砂质燥红土
褐土	一般用母质，塿土例外	黄土质褐土、油塿土、垆塿土、立茬塿土、斑斑土、塿塘土
灰褐土	母质	黄土质灰褐土
黑土	母质	暗泥质黑土
灰色森林土	母质	风砂质灰色森林土
黑钙土	母质或盐分组成	黄土质黑钙土

（续表）

土类	土属划分依据	土属示例
栗钙土	母质、人为活动或盐分组成	泥质栗钙土、白干栗钙土、砂田栗钙土、硫酸盐栗钙土
栗褐土	母质	麻砂质栗褐土
黑垆土	土属直接沿用亚类名称，不细分	黏化黑垆土
棕钙土	母质或盐分组成	暗泥质棕钙土，氯化物棕钙土
灰钙土	母质、人为活动或盐分组成	泥砂质灰钙土，氯化物灰钙土、砂田灰钙土
灰漠土	母质或盐分组成	黄土质灰漠土，氯化物灰漠土
灰棕漠土	母质	泥砂质灰棕漠土
棕漠土	母质或盐分组成	泥砂质棕漠土、硫酸盐棕漠土
黄绵土	质地	绵土（砂质壤土）、绵砂土（壤质砂土）、绵瘠土（壤质）、黄瘠土（黏壤土）
红黏土	母质或积钙特征	积钙红黏土、麻砂质复盐基红黏土
新积土	洪冲积类型，石灰性或质地	山洪土、堆垫土、坝淤土、漫淤土、冲积壤土、石灰性冲积砂土
龟裂土	盐碱类型	盐龟裂土、碱龟裂土
风沙土	流动/固定状态	荒漠半固定风沙土、草原流动风沙土
石灰（岩）土	土属直接沿用亚类名称，不细分	红色石灰土（红灰土）
火山灰土	质地或沿用亚类名称不细分	基性岩火山泥土（焦泥土）
紫色土	质地	酸紫壤土
磷质石灰土	不细分	磷质珊瑚砂土
粗骨土	母质/岩性	泥质酸性粗骨土
石质土	母质/岩性	麻砂质酸性石质土
草甸土	质地或盐分组成	草甸砂土，氯化物草甸土
潮土	质地、石灰性或盐分组成	潮黏土、石灰性潮砂土
砂姜黑土	颜色、覆泥（淤）或盐碱类型	黄姜土、覆泥黑姜土、碱黑姜土
林灌草甸土	耕灌类型或盐分组成	耕灌林甸土、硫酸盐盐化林灌草甸土
山地草甸土	质地	山地灌丛草甸砂土
沼泽土	土属直接沿用亚类名称，不细分	腐泥沼泽土（腐泥土）
泥炭土	埋藏位置或直接沿用亚类名称	埋藏草炭土、中位泥炭土
草甸盐土	盐分组成	苏打草甸盐土
滨海盐土	主要为质地	滨海砂盐土
酸性硫酸盐土	土属直接沿用亚类名称，不细分	含盐酸性硫酸盐土
漠境盐土	盐分组成	硫酸盐残余盐土
寒原盐土	盐分组成	氯化物寒原盐土
碱土	盐分组成	硫酸盐盐化碱土
水稻土	母质或盐分组成	砂泥田、氯化物涂砂田
灌淤土	质地	灌淤壤土
灌漠土	质地	灌漠壤土
草毡土	质地	草毡砂土
黑毡土	质地	黑毡壤土

（续表）

土类	土属划分依据	土属示例
寒钙土	质地和含盐情况	暗寒钙壤土
冷钙土	质地和含盐情况	冷钙砾砂土
冷棕钙土	质地	冷棕钙壤土
寒漠土	质地	寒漠砂土
冷漠土	质地	冷漠砾砂土
寒冻土	土属直接沿用亚类名称，不细分	寒冻土

3 土种划分的原则与依据^③

3.1 土种的命名

土种命名尽量采用连续命名，并统一命名顺序。采用连续命名的土种名，需要专门列出或说明保留原土种的简名（地方命名）。

3.2 土种划分的指标

3.2.1 土体厚度

土体厚度是地表到基岩的厚度。山地丘陵区土壤，尤其是岩石风化物上发育的地带性山地土壤，土体厚度是划分土种的重要指标。

3.2.1.1 覆淤土层厚度

划分指标与命名

- (1) 薄淤层：<20 cm；连续命名示例：薄淤潮黏土。
- (2) 厚淤层：20~50 cm；连续命名示例：厚淤潮黏土。
- (3) 淤土层：>50 cm。按照灌淤土土类的命名方法进行命名。

主要适用范围：有灌淤土层的土壤。覆淤土层<50 cm，按覆淤层下部土壤命名土种，包括灌淤潮土亚类；覆淤土层>50 cm，属灌淤土土类。

3.2.1.2 丘陵山地土壤的土体厚度

划分指标与命名

- (1) 薄土层：热带亚热带土壤<40 cm，其他地区土壤<30 cm；连续命名示例：薄层灰泥质黑钙土，薄层灰泥质栗钙土。
- (2) 中土层：热带亚热带土壤40~80 cm，其他地区土壤30~60 cm；连续命名示例：中层灰泥质黑钙土，中层灰泥质栗钙土。
- (3) 厚土层：热带亚热带土壤>80 cm，其他地区土壤>60 cm；连续命名示例：厚层麻砂质黑钙土，厚层灰泥质栗钙土。

主要适用范围：铁铝土纲、淋溶土纲和半淋溶土纲的部分土类，钙层土纲的黑钙土、栗钙土、栗褐土、棕钙土、灰钙土土类和初育土纲中的石灰（岩）土、紫色土、粗骨土等土类。

3.2.2 腐殖质层厚度

指表层土壤腐殖质层厚度。

^③ 节选自《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》的附件2土种划分依据与指标。

划分指标与命名

(1) 薄腐（薄层腐殖质）：<30 cm（黑土、草甸土、黑钙土、灰色森林土、白浆土土类），或者<20 cm（其他土类）。

连续命名示例：薄腐黄土质黑钙土，薄腐中层壤质石灰性草甸土；薄腐黄土质灰褐土。

(2) 中腐（中层腐殖质）：30~60 cm（黑土、草甸土、黑钙土、灰色森林土、白浆土土类），或者20~40 cm（其他土类）。

连续命名示例：中腐黄土质黑钙土，中腐中层壤质石灰性草甸土；中腐黄土质灰褐土。

(3) 厚腐（厚层腐殖质）：>60 cm（黑土、草甸土、黑钙土、灰色森林土、白浆土土类），或者>40 cm（其他土类）。

连续命名示例：厚腐黄土质黑钙土，厚腐中层壤质石灰性草甸土；厚腐黄土质灰褐土。

3.2.3 砾质度

山地地带性土壤多在不同岩石风化物的残坡积物和洪积物上发育，土体中经常含有砾石，这类土壤一般考虑以砾质度作为土种划分指标之一。

划分指标与命名[按土体中>2 mm的砾石含量（体积%）]

(1) 轻砾质<15%，连续命名示例：轻砾薄层麻砂质褐土性土。

(2) 重砾质15%~50%，连续命名示例：重砾薄层麻砂质褐土性土。

(3) 粗骨质>50%，连续命名示例：粗骨质麻砂质褐土性土。

主要适用范围：适用于土体中砾石含量较多的土壤类型，并常与土体厚度或腐殖质层厚度命名土属联用。

3.2.4 障碍土层的部位

障碍土层指0~100 cm土体内出现的对根系穿插、土壤水分运移或耕作等形成阻碍的层次，包括厚度大于10 cm的黏磐层、砂姜层、砂砾层、钙积层、白浆层或白土层、石膏层、潜育层、覆泥层、埋藏层等；厚度大于2 cm铁磐、厚度大于5 cm钙磐等。障碍层次出现部位可作为相关土壤的土种划分依据。

划分指标与命名

浅位：白浆层出现在地表向下30 cm以内；其他障碍层次出现在地表向下50 cm以内的。

深位：白浆层出现在地表向下30 cm以下；其他障碍层次出现在地表向下50 cm以下的。

连续命名示例：薄腐浅位黄土质白浆土、厚腐深位黄土质白浆土、薄腐浅位黄土质黑钙土、薄腐深位黄土质黑钙土等。

主要适用范围：有上述障碍土层的土壤类型，以及淋溶土纲和半淋溶土纲的部分土类，钙层土纲的黑钙土、栗钙土、栗褐土、棕钙土、灰钙土土类和初育土纲中的石灰（岩）土、紫色土等土类。

3.2.5 表层质地与土体质地构型

土体深厚的平原冲积或洪冲积土壤，按100 cm土体质地差异划分的不同土种。

划分指标与命名

表层0~20 cm的土壤质地以及100 cm土体质地层次排列可划分为均质型、夹层型、身型，底型4种构型。

(1) 均质型指100 cm土体为同一质地类型；用“均××”表示。

连续命名示例：均砂壤质脱潮土。

(2) 表层土壤质地+夹层型，指土体30~50 cm处夹有>20 cm厚的另一质地类型；用“××夹××”表示。

连续命名示例：壤质夹黏石灰性潮土。

(3) 表层土壤质地+身型，指30 cm至100 cm为不同于其上部土壤质地的另一质地类型；用“体××”表示。

连续命名示例：黏壤质体砂草甸土

(4) 表层土壤质地+底型，指60 cm以下为另一质地类型；用“底××”表示。

连续命名示例：黏壤质底砂草甸土。

国际制共计 12 级质地分级。为避免质地太细而过度划分土种，采用国标 5 个质地分级划分，即：砂质、砂壤质、壤质、黏壤质、黏质。所谓土体质地构型中质地类型差异指上下层质地类型差异相差两个级别以上，如砂质与壤质或更黏、砂壤质与黏壤质或更黏；如果只相差一个级别，则按均质处理，如上下层质地类型分别为砂质和砂壤质，或壤质和黏壤质等。表层质地与下层质地类型的差异与上述规定相同。

主要适用范围：潮土、草甸土、灌漠土、灌淤土、草甸盐土、滨海盐土、碱土、水稻土、风沙土等冲洪积物母质土壤。

3.2.6 盐渍度

此指标主要是各个盐土土类和盐化亚类采用，需测试化验后进行划分。不同地区的划分指标如下。

3.2.6.1 滨海地区按 1 m 土体盐分含量划分

划分指标与命名

- (1) 轻盐化 1~2 g/kg，连续命名示例：轻度氯化物盐化潮土。
- (2) 中盐化 2~4 g/kg，连续命名示例：中度氯化物盐化潮土。
- (3) 重盐化 4~6 g/kg，连续命名示例：重度氯化物盐化潮土。
- (4) 滨海盐土 >6 g/kg，连续命名示例：滨海泥盐土

主要适用范围：滨海地区的盐土土类和盐化亚类。

3.2.6.2 半湿润地区按地表 0~20 cm 土层的盐分含量划分

划分指标与命名

(1) 以氯化物为主的盐渍土壤 ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) > ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)， $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ ：①轻盐化 2~4 g/kg，连续命名示例：轻度氯化物盐化栗钙土；②中盐化 4~6 g/kg，连续命名示例：中度氯化物盐化栗钙土；③重盐化 6~10 g/kg，连续命名示例：重度氯化物盐化栗钙土；④氯化物盐土 >10 g/kg，连续命名示例：氯化物草甸盐土。

(2) 以硫酸盐为主的盐渍土壤 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$) > ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)， $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ ：①轻盐化 3~5 g/kg，连续命名示例：轻度硫酸盐盐化潮土；②中盐化 5~7 g/kg，连续命名示例：中度硫酸盐盐化潮土；③重盐化 7~12 g/kg，连续命名示例：重度硫酸盐盐化潮土；④硫酸盐盐土 >12 g/kg，连续命名示例：硫酸盐草甸盐土。

(3) 以苏打为主的盐渍土壤 ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$) > ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$)：①轻盐化 1~3 g/kg，连续命名示例：轻度苏打盐化潮土；②中盐化 3~5 g/kg，连续命名示例：中度苏打盐化潮土；③重盐化 5~7 g/kg，连续命名示例：重度苏打盐化潮土；④苏打盐土 >7 g/kg，连续命名示例：苏打草甸盐土。

主要适用范围：半湿润地区的盐土土类和盐化亚类。

3.2.6.3 干旱地区按 0~30 cm 土层的盐分含量划分

划分指标与命名

(1) 以硫酸盐氯化物为主的盐渍土壤：①轻盐化 7~9 g/kg，连续命名示例：轻度氯化物盐化棕钙土；②中盐化 9~13 g/kg，连续命名示例：中度氯化物盐化棕钙土；③重盐化 13~16 g/kg，连续命名示例：重度氯化物盐化棕钙土；④硫酸盐氯化物盐土 >16 g/kg，连续命名示例：中壤硫酸盐氯化物干旱盐土。

(2) 以氯化物硫酸盐为主的盐渍土壤：①轻盐化 7~10 g/kg，连续命名示例：轻度硫酸盐盐化灌漠土；②中盐化 10~15 g/kg，连续命名示例：中度硫酸盐盐化灌漠土；③重盐化 15~20 g/kg，连续命名示例：重度硫酸盐盐化灌漠土；④氯化物硫酸盐盐土 >20 g/kg，连续命名示例：黏壤质硫酸盐干旱盐土。

(3) 以苏打为主的盐渍土壤：①轻盐化 3.5~5.0 g/kg，连续命名示例：轻度苏打盐化灰钙土；②中盐化 5.0~6.5 g/kg，连续命名示例：中度苏打盐化灰钙土；③重盐化 6.5~8.5 g/kg，连续命名示例：重度苏打盐化灰钙土；④苏打盐土 >8.5 g/kg，连续命名示例：中壤苏打残余盐土。

主要适用范围：半干旱地区的盐土土类和盐化亚类。

3.2.7 碱化度

按土壤交换性钠占阳离子交换量的百分比（碱化度）划分不同土种。

(1) 碱化亚类土壤划分指标与命名。根据 0~20 cm 土层碱化度划分：①轻度碱化，碱化度 5%~10%；②中度碱化，10%~15%；③强度碱化，15%~20%。

连续命名示例：中度苏打碱化黑钙土。

主要适用范围：碱化度 \leq 20%的碱化亚类土壤。

(2) 碱土划分指标与命名。根据碱化层（碱化度 $>$ 20%）出现部位划分，进一步划分土种。①浅位。碱化层出现在 0~7 cm。连续命名示例：浅位薄层硫酸盐盐化碱土。②中位碱化层。碱化层出现在 7~15 cm。连续命名示例：中位薄层硫酸盐盐化碱土。③深位碱化层。碱化层出现在 15 cm 以下的土层。连续命名示例：深位薄层硫酸盐盐化碱土。

主要适用范围：碱土土类。

在上述土种划分依据难以满足地方土种名称校准需求的情况下，相关省级土壤普查办可依据本地区土壤二普土种的划分内涵科学拟定其他土种划分依据作为补充。

附录 2 全国土类简述

土类分类依据见附表 2-1，主要内容节选自《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》。

附表 2-1 《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》——土类分类依据

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
铁铝土	湿热铁铝土	砖红壤	<p>定义：热带高温高湿、强度淋溶条件下，由强烈的脱硅富铝化作用形成的强酸性、铁铝氧化物明显聚集的暗红色、黄色或橙色的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：热带季风气候，热量丰富，降水集中，干湿季节明显。主要分布于北纬 22°以南的热带北缘地区，包括海南、广东雷州半岛以及广西、云南和台湾南部的部分地区。地形主要为缓坡丘陵、台地、古浅海沉积物阶地；成土母质主要有玄武岩、花岗岩、砂页岩的风化物和浅海沉积物等。</p> <p>成土过程：①脱硅富铝化过程。土壤中的原生矿物强烈风化，硅酸盐类矿物分解比较彻底，硅和盐基大量淋失，铁、铝氧化物明显聚集，黏粒和次生矿物不断形成。硅的平均迁移量达 60%以上，钙、钾、钠均在 90%以上，镁平均约为 80%。铁、铝氧化物相对高度富集，富集系数分别为 3.0 和 2.0 左右。②腐殖质积累过程。在热带气候条件下，植物生长繁茂，大量凋落物参与土壤物质循环，生物与土壤间物质交换强烈，土壤的“生物自肥”作用十分强烈。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体深厚，一般在 2 m 以上；通体呈红色，在高湿环境下呈黄色或橙色；剖面层次分化明显，具有耕作层（Ap）或腐殖质层（Ah）、淀积层（Bs）、母质层（C），在植被覆盖良好的情况下，地表有枯枝落叶层（O）。因此完整的自然土体构型为 O-Ah-Bs-C，耕地土体耕型为 Ap-Bs-C。②土壤质地因成土母质差异大，玄武岩风化物发育的最黏，黏粒含量高达 60%以上，质地为黏土；浅海沉积物母质发育的黏粒含量在 25%左右，为砂质黏壤土。③土壤呈强酸性，淀积层（Bs）土壤 pH 4.6~5.4，交换性铝占交换性酸总量 90%以上，盐基高度不饱和。④有机质和养分含量低，有机质矿化作用强，在植被遭到破坏或土壤垦殖后，表层土壤有机质和氮含量不高，磷、钾含量低，普遍缺硼、钼。⑤黏粒矿物以高岭石、赤铁矿、三水铝石为主</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
铁铝土	湿热铁铝土	赤红壤	<p>定义：南亚热带高温高湿条件下，经较强的脱硅富铝化作用形成的酸性至强酸性红色、黄色或橙色的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：南亚热带湿润季风性气候，主要分布于北纬 22°~25°的狭长地带，主要包括粤西和东南、桂南和西南、闽南、滇西南、琼中西部及台湾南部，其分布范围与南亚热带界线基本吻合。地形多为低山、丘陵，成土母质主要有花岗岩、玄武岩、流纹岩、砂岩、页岩、石灰岩风化物和第四纪红色黏土等。</p> <p>成土过程：①脱硅富铝化过程。赤红壤脱硅富铝化作用较强，强度介于砖红壤与红壤之间。②腐殖质积累过程。该地区生物与土壤间的物质和能量的交换较为活跃，自然条件下土壤有机质含量较高，但在植被遭受破坏后土壤有机质很快下降到 15 g/kg 以下。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面层次分异明显，具有腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、淀积层（Bt、Bs）或风化 B 层（Bw）、母质层（C），植被覆盖良好的情况下地表有枯枝落叶层（O）。②土壤质地多为壤质-黏质，与成土母质密切相关。③土壤呈酸性，pH 为 4.5~5.5，交换性铝占交换性酸的 60%~95%。④有机质含量低，矿质养分较贫乏。⑤阳离子交换量较低，保肥性能较差。⑥黏粒矿物以高岭石为主，伴有针铁矿、少量水云母和极少三水铝石</p>
		红壤	<p>定义：中亚热带地区湿热气候和常绿阔叶林、针阔叶混交林、针叶林植被条件下形成的具有中度富铁铝化特征、土体中具有红色、黄红色或棕红色的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：中亚热带湿热气候；常绿阔叶林、针阔叶混交林、针叶林植被；成土母质为花岗岩等酸性岩浆岩与玄武岩等中基性岩浆岩、砂页岩、砂砾岩及各种变质岩风化物以及第四纪红色黏土。主要地貌有丘陵、山地、高原、盆地。分布于长江以南广阔的低山丘陵区，其范围大致为北纬 24°~32°，包括江西、湖南、福建、浙江等省（区、市）大部，广东、广西、云南等省（区、市）北部，以及江苏、安徽、湖北、贵州、四川、西藏等省（区、市）南部，以江西、湖南两省分布最广。</p> <p>成土过程：①脱硅富铁铝化过程。表现在土体中的硅酸盐类矿物受强烈分解的同时，硅和盐基不断淋失，而铁、铝等氧化物则明显聚积，并呈现土壤的赤铁矿化，黏粒与次生矿物不断形成。②强烈的生物富集与矿化分解。该区的植被以常绿阔叶林为主，在植被覆盖较好的常绿阔叶林下，凋落物（干物质）每年可达 12.63 t/hm²。但因植被类型和生境条件的差异，生物富集情况也不相同。在亚热带生物气候条件下，土壤有机质虽有一定量的累积，但矿化分解也很快，如活性腐殖质约占有机质总量的 31.1%，说明在红壤有机质总量中有 1/3 易于矿化分解。腐殖质组成以富里酸为主，表明土壤有机质腐殖化程度低。</p> <p>剖面特征及主要属性：①红壤土体深厚，剖面层次分异明显，具有腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、淀积层（Bs、Bv）、母质层（C），植被覆盖良好的情况下地表有枯枝落叶层（O）。②Bs 层是脱硅富铝化的主要发生层，呈红色（5YR 5/8）、红棕色（4YR 4/8）、橙色（2.5YR 6/6），一般为 30~50 cm，少数可高达 1 m 以上。③多为块状或棱块状结构，部分土壤底层可见深厚红、黄、白相间的网纹。④质地黏重，主要为黏壤土至壤黏土，但受成土母质的影响大，第四纪红色黏土及石灰岩、玄武岩、页岩、泥岩等风化物发育的红壤质地较黏重。⑤强酸性，属于酸性土壤，Bs 层 pH 小于 6.0，盐基饱和度小于 35%；土壤潜性酸含量很高，以交换性铝为主。⑥黏粒矿物以高岭石、伊利石为主，并含有大量铁、铝氧化物；Bs 层土壤有效阳离子交换量（ECEC）在 7.0 cmol（+）/kg 左右</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
铁铝土	温暖铁铝土	黄壤	<p>定义：黄壤是在亚热带湿润气候下经富铁铝化作用形成的黄色酸性土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：温暖湿润的亚热带气候，常年湿润多雨，通常相对湿度在80%左右；常绿落叶阔叶混交林、针阔混交林；地形地貌具有多样性，常态地貌到岩溶地貌均有分布（海拔多为500~1950 m）；成土母质有砂页岩互层、泥质岩类、碳酸盐岩类、石英岩类、基性岩、紫色岩类、花岗岩类等风化物以及部分老风化壳等。分布范围较广，自北纬18°20'的海南岛五指山至北纬32°40'的大巴山南坡，东经92°的西藏的德浪宗与不丹交界处至东经121°20'的台湾南湖大山均有分布。以贵州、四川、重庆、云南分布较广。</p> <p>成土过程：①中度脱硅富铁铝化和盐基淋失。脱硅富铝化是黄壤的主要成土特征之一，但较红壤弱。②土壤黄化作用。这是黄壤形成的重要特点，土体中富含含水氧化铁，在森林植被下出现明显的黄化特征。③生物富集特征。以常绿-落叶阔叶混交林归还量最高，常绿阔叶林和灌草丛居中，针叶林最低，土壤有机质含量也随植被类型不同有较大差异，氮、磷、钾、钙等元素也有明显的富集。</p> <p>剖面特征及主要属性：①黄壤土体比红壤浅薄，剖面层次分异明显，具有腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、淀积层（Bs）、母质层（C），具有A-Bs-C构型。植被覆盖良好的情况下地表有枯枝落叶层（O）。②Bs层富含铁的含水氧化物（如针铁矿、多水氧化铁等），呈黄色至黄棕色，有时多含蛭石、三水铝石，较黏重，块状结构，结构面上有带光泽的胶膜。③土壤有机质累积较高，平均含量一般30~50 g/kg，土壤pH一般不高于6.5，盐基饱和度较低</p>
淋溶土	温暖淋溶土	黄棕壤	<p>定义：系指在北亚热带落叶常绿阔叶林下，土壤经强度淋溶，呈强酸性反应，盐基不饱和的弱富铝化土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：我国东部湿润北亚热带季风气候区的地带性土壤，酸性-中性为主的岩石风化物和下蜀黄土母质，典型植被为落叶阔叶与常绿阔叶混交林，在低丘岗地有一些农业利用。分布在棕壤以南，红壤土类的黄棕壤亚类、棕红壤亚类以北地区。在中亚热带及其以南的山地垂直带上也有分布。</p> <p>成土过程：①强烈的淋溶-淀积过程（黏化作用）。土壤黏化特征是黄棕壤形成的重要特征之一，是因为该土壤中原生矿物转变为次生矿物的过程比较快以及黏粒自上而下的移动淀积，因此在心土部位出现黏粒含量比上下土层增高的现象。②弱（脱硅）富铝化过程。弱富铝化特征是北亚热带黄棕壤的本质特征，B层黏粒矿物组成中，高岭石与蒙皂石、伊利石等量，甚至更高，硅铝率为1.78~3.00；土壤风化淋溶系数为0.20~0.60。③较强烈的生物物质循环过程。每年有大量的枯枝落叶积累在地表，但由于有强烈的有机物质好气分解而导致土壤表层的腐殖质层并不深厚，且有机质含量并不很高。</p> <p>剖面特征及主要属性：①黄棕壤土体不十分深厚，剖面层次分异明显，具有腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、黏化层（Bt）、母质层（C），具有A-Bt-C构型。植被覆盖良好的情况下地表有枯枝落叶层（O）。②具明显的由淋溶-淀积过程导致的黏化Bt层；A层，表土层可细分为上段的颜色呈暗灰色（5Y4/1）的腐殖质层和下段的颜色呈浅黄棕色（10YR5/6）、质地较B层和心土层明显偏轻（多为壤土、砂壤）的淋溶层；由弱富铝化过程导致的Bt层，心土层颜色呈黄棕色（10YR5/5）-红棕色（5YR5/5）。③土体反应呈弱酸性，pH多为5.5~6.5。④自然土壤由于较强烈的生物物质循环过程导致的较厚的枯枝落叶层（多为4~5 cm）和较薄的腐殖质表层（多为4~5 cm）。⑤下蜀黄土母质上发育的黄棕壤，土体无石灰反应</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
淋溶土	温暖淋溶土	黄褐土	<p>定义：在北亚热带、中亚热带北缘以及暖温带南缘，半湿润常绿阔叶与落叶阔叶混交林或针阔混交林下，发育于第四纪更新世黄土、黄土状物质以及残坡积、洪冲积物等母质上，具有黏化层或黏磐层、母质中常有石灰结核的淋溶土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：分布在北亚热带、中亚热带北缘以及暖温带南缘，年平均气温 15~17℃，年降水量 800~1 200 mm，地貌以低丘、缓岗和盆地等为主，成土母质主要是第四纪更新世的黏质黄土（下蜀黄土）及黄土状物质，在陕南、豫西和四川还有洪积冲积物、石灰岩残坡积物以及含钙质的黄色黏土和红棕色黏土。其地域范围大致在秦岭-淮河以南至长江中下游沿岸，与黄棕壤处于同一自然地理区域，黄棕壤是北亚热带山地酸性土壤，黄褐土是北亚热带黄土母质发育的土壤。黄棕壤一般分布于地势较高（高丘、低山处），而黄褐土一般分布地势略低。分布面积以河南和安徽最大，其次为陕南、鄂北、江苏和川东北等。</p> <p>成土过程：①黏化过程。属于残积黏化和淋淀黏化共同作用的结果，表现在黏粒聚积层的黏化值（B1/A）高，为 1.2~1.5。但因母质来源及属性不同，黏化作用的强度亦有差异，由下蜀黄土发育的黏化特征尤为明显。②弱富铝化过程和铁锰的淋淀过程。成土母质富含钙质，但在长期成土过程中，碳酸钙已被淋溶，残留在底部或深层聚积（多见于 2 m 以下），在侵蚀丘岗的顶部或坡面，石灰结核往往出现层位较高，甚至裸露。与此同时，伴随土壤的黏化过程，铁锰淋淀和弱脱硅富铝化作用同时进行。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体深厚，土壤呈黄褐色或黄棕色，剖面形态随地形部位、侵蚀程度和土地利用的不同而各具差异，拥有腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、黏化层（Bt）、母质层（Ck），具有 A-Bt-Ck 构型。②黏化淀积明显，质地黏重，有时可形成胶结黏磐，可散见石灰结核。③棱块状结构，结构体间垂直裂隙发达，表面有暗棕色黏粒胶膜和铁锰胶膜。④黏土矿物组成以 2:1 型水云母为主，表层 pH 为 6.5~7，底层为 7.5，剖面不含游离石灰，盐基饱和度>75%，由表层向底层逐渐趋向饱和。⑤由于黏化层或黏磐层的存在，土体透水性差，导致季节性易旱易涝的不良水分物理特性。⑥有机质和氮素含量偏低，钾素较丰富，磷素贫缺。</p>
	温暖温淋溶土	棕壤	<p>定义：在湿润暖温带落叶阔叶林下形成的具有黏化特征的棕色土壤，曾称棕色森林土。</p> <p>成土环境与分布区域：暖温带湿润落叶阔叶林条件下，年均温 5~15℃，≥10℃积温 2 700~4 500℃，年降水量 500~1 200 mm，干燥度 0.5~1.4，无霜期 120~220 天。集中分布在暖温带湿润地区的辽东半岛和山东半岛低山丘陵，向南延伸到苏北丘陵。此外，在华北平原、黄土高原、内蒙古高原、淮阳山地、四川盆地、云贵高原和青藏高原等地的山地垂直带谱中也有广泛分布。</p> <p>成土过程：①淋溶与黏化过程。淋溶作用较强，黏土矿物处于硅铝化脱钾阶段，土壤呈微酸性，盐基饱和度较高，具有明显的黏化特征。②生物富集与分解过程。在森林植被下的生物富集作用相当旺盛，土壤表层形成丰厚的腐殖质层，有机质一般在 30~50 g/kg，但开垦后很快下降到 20 g/kg 左右。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面分异明显，拥有腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、黏化层（Bt）、母质层（C），具有 A-Bt-C 构型。②质地多为壤土至壤黏土，某些棕壤性土质地更轻，多为砂质壤土。③在自然植被下，表土有凋落物层（O）。棕壤耕作后，表土层的暗色腐殖质层消失而形成耕作熟化层。表土层之下为黏化特征明显的心土层（Bt 或 ABt），通常出现在 28~50 cm，厚度变幅较大，色泽为棕色或红棕色，质地黏重，黏粒（<0.002 mm）含量>25%。③Bt 层常为棱块状结构，结构面常被覆铁锰胶膜，有时结构体中可见铁锰结核。心土层之下为母质层（C），通常近于母质本身色泽，花岗岩半风化物多呈红棕色，而土状堆积物多呈鲜棕色，基岩风化物常含有一定量的砾石。④土壤呈微酸性至中性，pH 为 6.0~7.0，盐基饱和度多在 50% 以上。⑤黏土矿物以水云母、蛭石和蒙脱石等 2:1 型矿物为主。</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
淋溶土	湿温淋溶土	暗棕壤	<p>定义：在湿润温带针阔叶混交林下发育的具有暗色腐殖质层和棕色至暗棕色非黏化淀积层的弱酸性土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：①暗棕壤地区的气候特点是一年中水热同步的夏季和漫长严寒的冬季以及短暂的春秋两季。年降水量为 500~1 000 mm，60%~80%的降水集中在夏季，年均温-2~8℃。土壤冻结时间约 7 个月，无霜期多为 150 天。②呈水平地带性广泛分布于东北针阔叶混交林区，包括小兴安岭和长白山系，以及大兴安岭东坡；此外，在秦岭、神农架、川西北和滇北的高山地区以及藏东南深切河谷的山地垂直带上也有分布。其水平分布区为温带湿润季风气候，针阔叶混交林植被，低山丘陵地貌，花岗岩为主的岩石风化物母质。</p> <p>成土过程：①腐殖质积累过程。森林每年以枯落物的形式，将大量有机质归还土壤，形成了林褥层，厚度为 0~10 cm，年分解进入土壤量为 5~8 t/hm²。在林木生长过程中，每年不断向表土增加养分，累积腐殖质、氮素及矿物质，逐渐形成了林下肥沃的腐殖质层。②弱酸性淋溶过程。由于每年有大量钙、镁、钾、钠等碱金属和碱土金属归还到土壤中，中和了大部分有机酸，因而土壤溶液呈稳定的微酸性（pH 6.0 左右），故土体中的铁、铝等元素处于较稳定的状态，其他元素会产生明显淋溶。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体分异明显，拥有凋落物有机层（O）、腐殖质层（A）、淀积层（B）、母质层（C），具有 O-A-B-C 构型。②A 层厚 10~20 cm，色暗，有机质含量高。③弱酸性淋溶，铁铝轻微下移；向下过渡不明显，常能划分出 AB 过渡层。B 层棕色-暗棕色，结构面见铁锰胶膜；常多砾，黏粒有所增加，但一般并不黏化。④呈弱酸性反应，盐基饱和度 60%~80%。可见硅酸粉末附着于结构体或石砾表面，使土壤干态显浅灰色-灰棕色</p>
		白浆土	<p>定义：在温带湿润地区平缓岗地森林草原下发育、分布于河谷阶地、腐殖质层以下具有明显白色漂洗土层（白浆层）的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：温带湿润、半湿润区森林、草甸植被条件下，分布于平缓岗地和河谷阶地。年均温-1.6~3.5℃，最冷月平均气温-28~-18℃，≥10℃积温为 1 900~2 700℃。平均年降水量 500~900 mm，降水条件较有助于土体内物质的淋移。同时白浆土区冬季寒冷，每年土壤从 11 月结冻，到翌年 4 月解冻，季节性冻层深厚，融化时间长。白浆土具有难透水的黏层，有助于土壤上层滞水侧向漂洗的发展。该土壤北起黑龙江省黑河，南到沈-丹铁路线东北部，东起乌苏里江沿岸，西到小兴安岭东坡，大兴安岭东坡也有少量分布。</p> <p>成土过程：①白浆化过程。在湿润气候（包括周期性冷冻气候）森林-草甸植被以及缓斜漫岗-平原地形等因素长期作用下，因上轻下黏双重母质层影响，土壤中还原性物质沿黏质土层长期侧向漂洗，在有机质层下形成灰白色漂洗层（白浆层）。②生物富集与分解过程。在森林-草甸植被下生物富集作用相当旺盛，加上冬季寒冷有机物分解缓慢，在土壤表层形成丰厚的腐殖质层，有机质一般为 80~100 g/kg，但开垦后很快下降到 40 g/kg 左右。</p> <p>剖面特征及主要属性：①有明显的剖面发生层理，拥有腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、白浆层（E）、淀积层（B）、母质层（C），具有 A-E-B-C 构型。②剖面腐殖质以下具有一层明显的白色漂洗土层（白浆层，E 层），质地较轻，下部 B 层质地黏重，具有明显淀积黏土膜，呈暗棕色。③未开垦的白浆土地表尚有 5 cm 左右厚度的草根层（As），森林植被下的白浆土多有 2~3 cm 厚的枯枝落叶和半腐解的有机质层（O）。④腐殖质层多呈暗灰色或灰黑色，粒状及团块状结构，土层厚度 10~30 cm。⑤白浆层为淡灰色或灰白色，湿时明度>6，彩度<3，粉砂粒增多，呈片状结构，厚度 10~40 cm。⑥淀积层以暗棕色为主，壤质黏土，棱块状结构，结构面有胶膜，有极少量细根。⑦母质层质地同上层，颜色比较复杂，分别呈浊棕色、黄棕色、蓝灰色。⑧全剖面的 pH 为 5.5~6.5，呈微酸性；铁的游离度较高，活化度上部土层普遍高于下部土层</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
淋溶土	湿寒温淋溶土	棕色针叶林土	<p>定义：寒温带针叶林下发育具有毡状凋落物层和弱发育淀积层的多砾质酸性淋溶型土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：寒温带针叶林植被，山地丘陵地貌，以花岗岩等各种岩石风化物为主的母质。分布在大兴安岭北段以及小兴安岭 800 m 以上，长白山 1 100 m 以上的针叶林下；在新疆阿尔泰山的西北部，川西和滇北的高山亚高山地区的暗棕壤带上部亦有分布。</p> <p>成土过程：①半泥炭化（斑毡化）积累过程。针叶林每年凋落物主要为松针以及苔藓，生物量较大，在低温条件下分解较慢而大量积累，厚度达 10 cm 以上。②酸性淋溶（隐灰化）过程。以松针和苔藓为主的有机物在分解过程中产生极高的酸性（pH 2~4），产生酸性淋溶；由于冻融作用，活性铁铝在表层积聚，存在冻融回流淋淀过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面发育比较明显，拥有凋落物有机层（O）、腐殖质层（Ah）、过渡层（AB）、淀积层（B）、母质层（C），具有 O-Ah-AB-B-C 构型。②O 层，凋落物有机层可厚达 10 cm 或更厚，毡状，下部半泥炭化，酸性。A 层 5~10 cm，色暗，酸性，可见石砾，向下石砾增多。③凋落物腐解，有机酸下渗，使表层盐基饱和度降低，并络合部分铁铝下移。由于冻结期更长，冻层阻隔，溶性物质还可随水上移。④淀积层（B）呈棕色，黏粒有所增加，多砾。④全剖面呈酸性反应，上部土层酸度高于下部土层，盐基饱和度 50%~70%</p>
		灰化土	<p>定义：寒冷湿润气候和针叶林植被下形成具有铁铝螯合淋溶和淀积特征的一类土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：寒温带湿润气候，植被为冷杉、云杉等组成的阴暗针叶林，林下常为杜鹃或箭竹灌丛，多有苔藓等地被物。多处于山地陡坡地段，一般坡度为 25°~45°，分布于藏东南亚高山地带（海拔 3 900~4 200 m），只有季节性冻层而无永冻层存在。目前在森林郁闭线附近，有的森林已被破坏而为杜鹃等次生灌丛所替代，但灰化土剖面犹存。</p> <p>成土过程：灰化过程。必须具备一些基本条件：一是气候冷凉湿润，降水量远远大于蒸发量，有足量的水分向下移动；二是冷凉的气候有利于暗针叶林等产酸性强的植被生长，凋落物丰富，形成的腐殖质以富里酸为主，酸性强，提供了足够量的有机螯合剂，与土壤中铁、铝、锰等形成的螯合物，增强了这些元素在土壤中的活性；三是母质砂性强，通透性好，有利于水分下渗和螯合物移动，促进层次分异，在凋落物层和腐殖质层之下分化出灰化层和灰化淀积层。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面发育明显，拥有凋落物层（O）、腐殖质层（Ah）、灰化层（E）和灰化淀积层（B）、母质层（C），具有 O-Ah-E-B-C 构型。②腐殖质层的有机质含量 271~392 g/kg，其中络合态腐殖质碳占比达 31%~38%。③质地轻，砂质黏壤土、砂质壤土或更轻。④酸性强（灰化层和灰化淀积层的 pH 3.5~4.0），盐基饱和度低（不足 30%）。⑤游离氧化铁、铝在灰化层（E）淋失而在淀积层（B）聚积，淀积层的铝化系数（Al_2O_3/SiO_2）和铁化系数（Fe_2O_3/SiO_2）均显著高于灰化层，灰化淀积层与灰化层的铝化系数之比为 1.4~1.9，铁化系数之比更高，达 3.8~20.2</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
半淋溶土	半湿热半淋溶土	燥红土	<p>定义：干热条件下形成的具有碳酸盐累积或盐基饱和的红色土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：主要分布于云贵高原腹地及其边缘海拔1500 m以下的金沙江、南盘江、元江-红河等干热河谷和海南岛西南部海拔150 m以下的海成阶地或低丘台地。此外，地处中亚热带的四川西部海拔1400 m以下的岷江、金沙江及其支流干热河谷也有燥红土分布。形成于热量高、酷热期长、蒸降比大、旱季长的干热气候条件，“全年日平均气温稳定$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$的天数”$\geq 285$天或“全年日平均气温稳定$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$期间的积温”$\geq 5000\text{ }^{\circ}\text{C}$，年干燥度$>1.0$。自然植被为稀树草原植被或稀树灌丛草原植被。成土母质主要有花岗岩、片麻岩、安山岩、玄武岩、片岩、砂页岩等风化物，以及古老洪冲积物和滨海沉积物。</p> <p>成土过程：①矿物风化复盐基过程。具有一定的脱硅富铁铝化特征，淋溶淀积现象不明显，存在明显的复盐基过程，一般无黏粒胶膜和铁锰结核。②强烈的腐殖质化过程。由于处于干热与灌丛稀树草原环境，生物积累少，有机质分解作用强，腐殖质矿化快，土壤有机质积累量低。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面发育明显，拥有腐殖质层（Ah）、淀积层（B）、母质层（C），具有A-B-C构型。②Ah层，多暗红棕色、红棕色、棕色、黄棕色、橙色、黄色等颜色，呈块状或块状夹粒状结构；B层，多亮红棕色、红棕色、亮棕色、黄棕色等颜色，块状结构；C层，多红棕色、亮棕色、橙色等颜色，小块状结构。③土壤pH>5.0，多近中性，盐基饱和度$>50\%$，个别剖面受碳酸盐水浸渍影响，还有强烈的石灰反应。④土壤中既出现深度风化的高岭石、赤铁矿，也普遍存在风化度低的伊利石等2:1型矿物。有机质含量$<35\text{ g/kg}$</p>
	半温暖温半淋溶土	褐土	<p>定义：暖温带半湿润地区，发育于排水良好、具有弱腐殖质表层、黏化层、土体中有一定数量碳酸盐淋溶与淀积的褐色土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：①成土环境。属暖温带半湿润气候，冬春干旱，夏秋多雨，年均温$10\sim 14\text{ }^{\circ}\text{C}$，年降水量$300\sim 850\text{ mm}$，干燥度$>1.0$。位于山地、丘陵和山前（倾斜）平原具有淋溶条件的地貌部位。有各种岩石的风化物，但以黄土、黄土状物质和其他石灰性成土母质为主。自然植被为柏（侧柏或桧柏）、油松、洋槐、榆树、椿树、辽东栎、蒙古栎等旱生树种，酸枣、荆条和山杏等旱生灌木及苜蓿、白草等禾本科草本构成的针阔混交林和灌丛草原。目前为我国北方的小麦、玉米、棉花、苹果主产区，一般两年三熟或一年两熟。②主要分布区域。北起燕山、太行山山前地带，东抵泰山、沂山的西北部和西南部山前低丘，南达秦岭北麓及黄河一线，西至晋东南和陕西关中盆地。此外，川西、云南等横断山脉干暖河谷山地垂直带谱中，也有褐土分布。</p> <p>成土过程：①弱腐殖质积累过程。发育在暖温带半湿润气候及旱生森林、灌木草原等生境条件下，就决定了本土类地上生物量较低，有机物分解快，存在弱腐殖质积累过程。褐土有机质含量低（一般10 g/kg左右），而且表土层薄（一般小于30 cm）。②黏化过程。在土壤形成过程中，由于所处温暖季节较长，气温高，土体又处于碳酸盐淋溶状态，存在明显的残积黏化与悬移黏化过程。③碳酸盐淋溶与淀积过程。该土中可溶盐淋失殆尽，而碳酸盐类在剖面中有不同程度的淋移，并在一定深度以假菌丝状沿根孔及裂隙表面累积，因而形成半淋溶土的重要特征，这是褐土区别于棕壤的主要标志。④人为活动与气候变迁叠加过程。该土类一般都发育于上新世（Q3）的马兰黄土母质上，特别是在全新世以来，人类生产活动进入文明历史时期以后，气候变迁及人类的局部生产活动，在土壤表面产生叠加过程，最明显的就是褐土的“降尘”复钙过程以及人为耕作施肥，特别是华北地区及黄土高原的河谷地区，长期施用土粪（黄土垫圈堆肥），形成壤土的叠加过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面发育明显，拥有浅色腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap），黏化层（B）和母质层（C），具有A-B-C构型。②腐殖质层和淋溶层（A）：一般厚度为$20\sim 30\text{ cm}$，在淋溶褐土中可达30 cm以上；土壤有机质在20 g/kg以下，质地多为壤质土，屑粒状至小团块状结构，有较多的植物根系及植株残体。如为耕层则多有瓦片、煤渣等侵入体，有石灰反应，向下呈逐渐或水平状过渡。③黏化层（Bt）与积钙层（Bk）：一般厚度为$30\sim 50\text{ cm}$，厚者可达70 cm以上，颜色多为浊棕色至棕色（“褐色”）；质地多为粉砂质壤土至壤黏土，多具块状或核状结构，结构体表面有褐色或红棕色的胶膜；通常有石灰质假菌丝新生体，土壤石灰反应中等，中性至微碱性，一般情况下有少量植物根系沿结构体间的裂隙穿插。淀积碳酸盐假菌丝状，可沿根系聚积并下移至更深的土层。部分褐土的表土层及黏土层均无游离石灰存在，但pH仍在7上下，交换性盐基处于钙饱和状态。发育于较新沉积黄土母质上的褐土，全剖面均含游离石灰，并有微弱的黏化层发育。④母质层（C），其性状因母质来源而异。如为黄土母质，则原黄土物质多有“变性”分异，如脱钙作用，土体颜色分异，块状结构的形成及植物根系穿插等；如为基岩风化的残积物，或残积-坡积物，则原岩石残片还清楚可辨，而且裂隙中夹有较多的碎屑风化物及细土粒，且多有石灰质积聚，土壤由中性至微碱性；如为冲积母质发育的潮褐土，剖面底层往往因受潜水影响而具有因氧化-还原作用而形成的锈斑锈斑等特征。黏土矿物以2:1型的伊利石为主</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
半淋溶土	半湿润 半淋溶土	灰褐土	<p>定义：在半干旱、干旱地区气候较温凉湿润的山地森林灌丛植被下发育的土壤，曾称灰褐土、褐色森林土、灰褐色森林土。</p> <p>成土环境与分布区域：主要分布在年降水量 300~600 mm 的温带半湿润大陆性气候区域，海拔 1 500~3 000 m（东部子午岭可降至 1 300 m，青藏高原南部可升至 4 400 m）。在山西的五台山、吕梁山，内蒙古的大青山，宁夏的贺兰山、六盘山，甘肃的祁连山、兴隆山，青海的青石山、唐古拉山，新疆的西部天山，帕米尔、西昆仑山等山地的阴坡、半阴坡部位都有分布。灰褐土是我国干旱地区发展林业生产的重要土壤资源。</p> <p>成土过程：①腐殖质积累过程。该土类有一定的有机质积累，其来源是地面生长的苔藓和森林的枯枝落叶，腐解后即成为腐殖质；该土类有很多是次生林，有一段生草时期，草类根系死亡腐解，成为灰褐土土壤有机质的又一来源。②残积黏化过程。灰褐土的黏化作用比较微弱，在腐殖质层之下有黏粒淀积，结构面上有胶膜；黏粒（<0.002 mm）含量平均为 20%~25%，比腐殖质层或母质层的黏粒含量高 30%~60%。③碳酸盐淋溶与淀积过程。灰褐土有明显的碳酸盐淋溶与淀积以及较明显的黏化作用，但钙积作用程度随淋溶作用强度不同而有差异；除碳酸盐性灰褐土外其他钙积层不明显，多呈白色假菌丝状。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面分异明显，拥有枯枝落叶层（O）、腐殖质层（Ah）、黏化层（Bt）、钙积层（Bk）、母质层（C），具有 O-Ah-Bt-Bk-C 结构。②表层有厚 20~40 cm 黑褐色或棕褐色的暗色腐殖层，粒团粒状结构，有机质含量 30~240 g/kg。③在腐殖质层下，形成 30~50 cm 厚的、发育不明显的 Bt 层，质地常为壤土、黏壤土，残积黏化较明显，腐殖质层和心土层黏粒含量无明显差异，但明显高于底土层、母质层。④淀积黏化作用较弱，常见模糊的黏粒胶膜；剖面 100 cm 土体内如有钙积层，常在 40~60 cm 以下出现，常常与 Bt 交叠。土体 pH 7~8，有时有白色菌丝状体，自上而下呈中性至弱碱性</p>
		黑土	<p>定义：在湿润或半湿润地区草原、草甸植被下发育具有深厚腐殖质层和淋溶过程的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：温带湿润或半湿润地区，年均温 0~6.7℃，降水量 500~650 mm，干燥度一般≤1，土壤冻结深度 1.1~2.0 m，冻结期长达 4 个月以上。母质为第四纪更新世砂砾黏土层，黏土层厚达 10~40 m，质地黏细，以粗粉砂和黏粒为主。自然植被为草原化草甸，以杂类草群落（五花草塘）为主。地下水位较深，一般为 5~20 m。主要分布在东北平原，北起黑龙江右岸，南至辽宁的昌图，西与松辽平原的草原和盐渍化草甸草原接壤，东可延伸至小兴安岭和长白山山区的部分山间谷地以及三江平原的边缘。大兴安岭东麓山前台地及甘肃的西秦岭、祁连山海拔 2 300~3 150 m 的垂直带上也有分布。</p> <p>成土过程：①腐殖质积累过程。在黑土形成的最活跃时期，降水集中，土壤水分丰富，草原化草甸植物生长繁茂，地上及地下有机物年累积量很高；至漫长而寒冷的冬季，土壤冻结，微生物活动受到抑制，使每年遗留于土壤中的有机物质得不到充分分解而以腐殖质的形态积累于土壤中，从而形成深厚的腐殖质层。②物质淋溶与转化。在临时性滞水和有机质分解产物的影响下，产生还原条件，使土壤中的铁锰元素发生还原，并随水移动，至干旱期又被氧化淀积，在土壤孔隙中形成铁锰结核，而在有些土层中尚可见到锈斑和灰斑。此外，溶于土壤溶液中的硅酸也可随融冻水沿毛管上升，水分蒸发便以无定形白色粉末析出附于结构面上。黑土土体中的铁、铝及多种元素在淀积层中有富集的趋势，有些黑土黏粒也有一定下移，说明黑土有轻微的淋溶淀积特征。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体深厚，剖面分异明显，拥有腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、过渡层（AB）、淀积层（B）和母质层（C），具有 A-AB-B-C 构型。②耕种黑土尚有耕作层（Ap1）和较紧密的厚度不大的亚耕层（Ap2）。腐殖质层暗灰色，黏壤质，厚度一般为 30~70 cm，厚者达 100 cm 以上，坡度较大受到侵蚀的黑土厚度可小于 30 cm。③结构性好，多为团粒状或团块状结构，疏松多孔，多植物根，常见田鼠穴。④腐殖质舌状向下延伸，有铁锰结核，粒径以 1~2 mm 的居多，数量为 2~9 g/kg。过渡层的厚度 20~50 cm，多呈暗褐色，核块状结构，结构面有胶膜淀积和白色硅粉附着物，可见黑棕色的铁锰结核和少量细根，质地多为壤黏土，逐渐过渡。⑤母质层多为黄棕色的壤黏土，无石灰反应，具轻度滞水还原淋溶特征，可见硅粉。盐基饱和度在 80% 以上，pH 6.5~7.0</p>

(续表)

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
半淋溶土	半湿温半淋溶土	灰色森林土	<p>定义：温带森林草原区森林植被下发育的具有深厚腐殖质层和二氧化硅淀积的半淋溶型土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：温带地区海拔较高的湿润、半湿润山地森林植被下发育。林下草本植物繁茂，利于深厚腐殖质积累；淋溶条件相对较弱。中、低山或丘陵、台地地貌，岩石风化残积、坡积物或黄土质母质。主要分布在大兴安岭山地中部和南部西坡（海拔1 400 m以上）、阴山山地、冀北山地（海拔1 600 m以上）、新疆阿尔泰山山地和准噶尔盆地以西山地等（海拔1 500~2 000 m）。</p> <p>成土过程：① 高度腐殖质累积过程。灰色森林土上植被多为夏绿阔叶林，林下草本植物生长茂密，每年有大量的森林凋落物和草本植物根系归还土壤，形成深厚的腐殖质层，其厚度为30~50 cm，有机质含量高达50~150 g/kg。② 弱度淋溶淀积过程。林褥层滞水和每年因冻融交替致使土壤上层引起一定程度的淋溶作用，可溶性盐和碳酸钙大多从剖面中淋失，也发生轻度的淋溶黏化，少量的黏粒被淋至心或底土层，形成不十分明显的黏化层；而硅粉则在剖面中下部大量淀积，这是灰色森林土区别于其他森林土壤又一重要标志。</p> <p>剖面特征及主要属性：① 土壤剖面深厚，分异比较明显，拥有薄层凋落物层(O)、深厚腐殖质层(Ah)、过渡层(ABq)、硅粉淀积层(Bq)、母质层(C)，具O-A-ABq-Bq-C构型。② 凋落物层(O)厚2~10 cm，腐殖质层厚30~50 cm，有机质含量高达50~150 g/kg。土壤呈微酸-中性反应(pH 5.5~7.0)，表土盐基饱和度60%~85%，心底土层75%~100%，个别剖面底土出现石灰反应。③ 淀积层黏化不明显，剖面中下部结构面、岩屑面和缝隙中见多量硅粉淀积</p>
钙层土	半湿温钙层土	黑钙土	<p>定义：温带半湿润草甸草原下形成的具深厚均腐殖质层和碳酸钙淋溶淀积层的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：黑钙土处于温带半湿润大陆性季风气候区，年均温-2~5℃，降水量350~600 mm，冻土层厚达1.7~3.0 m。主要分布于大兴安岭中南段东西侧的低山丘陵、松嫩平原的中部和松花江、辽河的分水岭地区，向西可延伸至内蒙古阴山山地的上部（海拔700~1 800 m）、六盘山及其以西海拔1 900 m以上的黄土高原丘陵顶部较平缓处、陇南黄土坡地及川台地和青海、新疆山区（海拔2 000~3 000 m）。</p> <p>成土过程：① 腐殖质的积累过程。② 碳酸钙的淋溶与淀积过程。③ 弱的黏化过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：① 土体深厚，层次分异明显，拥有腐殖质层(Ah或Ap)、舌状过渡层(AB)、钙积层(Bk)、母质层(C)，具有A-AB-Bk-C构型。② 腐殖质层(A)，厚度30~60 cm，黑色或黑灰色，团粒结构。③ 过渡层(AB)，厚20~55 cm，棕色或黄灰棕色，有明显的腐殖质舌状下伸，粒状、团块状结构，有石灰反应。钙积层，厚15~50 cm，灰黄、灰棕、灰白色，块状结构，石灰反应强烈。④ 母质层(C)，呈黄色，因类型不同，形态差异较大。⑤ 土壤质地多为黏壤土，呈中性至微碱性，pH 7.0~8.5，向下有增高趋势；土壤氮磷钾和微量元素都比较丰富</p>
		栗钙土	<p>定义：温带半干旱草原植被下形成的具有明显栗色腐殖质层和灰白色钙积层的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：形成于中温带半干旱大陆性季风气候，年均温-2~9℃，≥10℃积温1 000~3 300℃，无霜期70~150天，年降水量250~400 mm，70%以上集中于暖季，湿润度0.3~0.6，年蒸发量达1 600~2 200 mm。典型旱生多年生禾草占优势的干草原条件。成土母质为黄土、黄土状沉积物、残积坡积物、冲洪积物及基岩风化物和风积沙等。主要分布在内蒙古高原的东部和中部，大兴安岭东南部的丘陵地带，鄂尔多斯高原东部，大同盆地；在阴山、贺兰山、祁连山、阿尔泰山、天山、准噶尔界山、昆仑山的垂直带谱与山间盆地均有分布。</p> <p>成土过程：① 腐殖质累积过程。雨热同季利于草原植物生长和残体分解，漫长冬季导致腐殖质累积。② 碳酸钙聚积。由于水量有限，钙以碳酸氢钙向下淋溶时以碳酸钙的形态淀积于土层中。</p> <p>剖面特征及主要属性：① 土体比较深厚，土层分异明显，拥有土壤腐殖质层(Ah)或耕作层(Ap)、钙积层(Bk)、母质层(C)，具有Ah-Bk-C剖面构型。② 腐殖质层暗棕色至灰黄棕色，砂壤至砂质黏壤土，粒状或团块状结构；③ 钙积层为灰棕至浅灰色，砂质黏壤至壤黏土，块状结构，石灰淀积物呈网状、斑块、假菌丝、粉末状和层状，具有石灰反应。④ 母质层为灰黄色、黄色、淡黄棕色，砂土至壤质砂土，块状结构。⑤ 土壤pH 7.0~9.5，呈弱碱-碱性反应</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
钙层土	半干暖温钙层土	栗褐土	<p>定义：暖温带半干旱草原及灌木下形成的弱黏化弱钙积淋溶土壤，剖面中白色霜状碳酸钙假菌丝。</p> <p>成土环境与分布区域：①半干旱-干旱暖温带-温带的过渡带，明显的大陆性季风气候，年降水量400~500 mm，蒸发量1 700~2 100 mm，年均温4~9℃。②分布在黄土高原东端以及海拔700~1 400 m的山地，包括内蒙古高原南侧，东起赤峰高原，向西延伸至冀西的坝下高原，桑洋盆地及其两侧的丘陵、低山区，西接恒山山系北侧的山西广灵、蔚县盆地，直达吕梁山西坡的丘陵、阶地一带；成土母质主要为黄土，亦有第三纪红土及不同岩层的风化物。③自然植被包括酸枣、荆条、榆、槐等旱生灌丛植被，羽茅、狗尾等草本植被，春小麦、谷子等作物，一年一熟或两年三熟。</p> <p>成土过程：①弱腐殖质积累过程。由于地处半干旱区，土壤有机质矿化大于腐殖质积累，有机质含量一般都在10 g/kg以下，有时表层只有2~6 g/kg，而且有机质层厚度也只有约20 cm。②弱黏化和弱钙积过程。该土处于暖温带北缘向中温带过渡地区，其热量情况较褐土为差，黏化值为1.20，属于黏化度很低的土壤。在剖面中、下部见白色粉末和假菌丝状碳酸盐累积，但其淋移深度较褐土浅，一般在0.5 m深处，略显微弱钙积现象。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，层次发育不十分明显，一般拥有弱腐殖质层（Ah）或耕作层（Ap）、钙积层（Bk）、母质层（C），具有A-Bk-C构型。②表层腐殖质积累少，有机质0.6%~1.5%。②风化黏粒形成残积黏化，黏粒比值1.2左右，不成层；少量霜状、点状和假菌丝钙积，碳酸钙含量6%~10%，未成层，钙积比值1.4左右。③母质风化度低，次生矿物多为水化云母，通体强石灰反应，pH 8.0~8.8</p>
		黑垆土	<p>定义：是在黄土高原半干旱气候、草原植被、黄土母质上发育形成的具有深厚暗色腐殖质层的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：黑垆土分布区属于暖温带半干旱-半湿润季风气候，年均温5~11℃，≥10℃积温2 000~3 500℃，东南部高于西北部；年降水量400~600 mm，由东南向西北递减；年蒸发量1 600~2 400 mm，干燥度1.1~1.6，黑垆土成土母质为风成黄土，土体厚度一般10~20 m。结持疏松，质地均一，粉粒占60%以上，富含碳酸钙。黑垆土主要分布在晋西、陕北、陇东、宁南和陇中。大面积黑垆土多分布在侵蚀弱的平坦塬面，陕北延安以北和六盘山以西的黄土丘陵沟壑区，黑垆土仅局部残存于平缓的残塬、梁脊顶部、分水鞍及沟掌等处。</p> <p>成土过程：①腐殖质积累过程。该土深厚的腐殖质层（黑垆土层）是在古代草原或森林草原植被下形成的，距今5 000~8 000年。因黄土母质深厚疏松，植物根系易伸展下扎，生长旺盛，为土壤提供了大量有机物质，形成腐殖质。在腐殖质层形成的漫长历程中，黄土持续不断沉积，生草过程与黄土沉积同步进行，从而形成厚达50~100 cm的暗色腐殖质层。②明显的碳酸盐淋溶与淀积和弱度残积黏化过程。该地区水热条件较差，且黄土富含碳酸钙，致使土壤风化过程比较缓慢，黏化作用微弱，所形成的黏粒与钙、镁离子胶结，不易分散下移，腐殖质层中上部出现黏粒就地累积，具有残积弱黏化特征。③黄土沉积过程或/与耕作堆垫过程。黄土持续沉积（本区农业历史悠久，很多时候伴随着耕作、粪堆垫过程，甚至以堆垫过程为主），致使黑垆土腐殖质层之上堆积了一层松软的黄土覆盖层，当地群众称“黄盖垆”。黄土覆盖层的出现，改善了黑垆土的物理性状，调节水分能力增强，有机质和养分含量增高，成为黄土高原比较肥沃的旱耕土壤。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体非常深厚，常深达3 m以上，层次发育明显，拥有覆盖熟土层（Ap）或腐殖质层（Ah）、黑垆土层（Ahb）、石灰淀积层（Bk）、母质层（C），呈A-Ahb-Bk-C构型。②深厚的暗色腐殖质层（黑垆土层，Ahb）是在古代草原或森林草原植被下，经很长时期的生草过程并伴随黄土持续不断沉积，使土层逐步加厚，由于夏季气温高，加之黄土疏松通气好，且冬春季节又干旱少雨，土壤腐殖质矿化作用快，因而腐殖质层有机质含量不高。全剖面有石灰反应。碳酸钙在剖面下部有大量淀积，多呈霜粉状、假菌丝状，分散，与母质过渡无明显界限</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
干旱土	干温干旱土	棕钙土	<p>定义：荒漠化草原生境下形成的具有明显荒漠化特征的土壤。温带干旱草原向荒漠过渡的土壤类型。</p> <p>成土环境与分布区域：形成于气候温凉干旱条件，年均温 2~8℃，$\geq 10^\circ\text{C}$有效积温 1 400~3 200℃，年均降水量 100~300 mm，年湿润度 0.13~0.3。海拔 100~1 300 m、1 500~1 820 m、2 100~3 200 m 均有分布。自然植被为旱生草原植物和旱生、超旱生小半灌木构成群落。成土母质为砂岩、砂砾岩、泥质岩类、古老变质岩、结晶岩风化物，第四纪风积物、冲积-洪积物、河湖沉积物、黄土状物质、红土状物质。主要分布于与我国荒漠接壤的干旱草原地区，甘肃洪水坝以西，祁连山西端的北麓和阿尔金山的北坡，青海柴达木盆地、海南藏族自治州的共和县、兴海县西北区的盆地，新疆塔里木盆地、托里谷地、和布克赛尔谷地、天山北麓山前洪积-冲积山上部和南北疆山地垂直带下部、准格尔盆地北部的两侧河流域及内蒙古西北荒漠地带。</p> <p>成土过程：①弱腐殖质积累过程。该地区植被较差，表土形成的腐殖质层厚度 25 cm 左右，有机质含量 10 g/kg 左右。②强钙积化过程。在降水作用下土壤中的碳酸钙以重碳酸钙的形态随重力水下移，一般在腐殖质层以下发生淀积，形成钙积层，碳酸钙含量高达 100 g/kg 以上。③硫酸钙与易溶盐的淀积。在钙积层以下，可溶盐与石膏含量增高，部分棕钙土的底部可见石膏结晶。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，剖面分异比较明显，拥有腐殖质层（Ah）、钙积层（Bk）、母质层（C），具 Ah-Bk-C 结构。②Ah 层，表土层多褐色、褐棕色、棕色、浅棕色、红棕色、浅灰棕色、黄棕色等。缺乏良好的结构，多砾质。一般厚度 20~30 cm，平均厚度 28 cm，腐殖质层向下过度整齐。③Bk 层，钙积层多黄褐色、褐色、灰棕色、浅灰棕色、灰白色等，紧实，平均厚度 35 cm，呈块状和粉末状结构。④C 层，母质层多棕色、棕红色、红色、橄榄色等，小块状结构，有易溶盐与石膏淀积。⑤土壤剖面通体含砾石和石块，小于 0.002 mm 的粒级含量 10%~25%，土壤 pH>7.1，多呈碱性。</p>
	干暖温干旱土	灰钙土	<p>定义：在暖温带干旱荒漠草原地区形成的地带性土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：暖温带干旱草原地区，年降水量 200~350 mm，母质多为黄土或黄土状物质，少数为洪积物。植被覆盖率 10%~40%。分布于黄土高原的西北部海拔 1 800~2 300 m 的黄土梁峁，鄂尔多斯高原的西缘，贺兰山、罗山及祁连山山麓，河西走廊东段海拔 2 300~2 700 m 的低山丘陵与河谷阶地。</p> <p>成土过程：①腐殖质积累过程。该地区地衣和苔藓雨季生长旺盛，导致结皮层具有较多有机质，再加上禾本植物根系发达，使腐殖质厚度 20~50 cm，有机质含量 11 g/kg 左右。②碳酸钙淀积过程。因降水量不大，雨水下渗深度有限，在土壤剖面中下部孔隙和结构面上，碳酸钙以假菌丝状或斑点状沉淀，有时形成斑块状碳酸钙淀积层。③硫酸钙与易溶盐的淀积。在钙积层以下，可溶盐与石膏含量增高，部分棕钙土的底部可见石膏结晶。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，拥有腐殖质层（Ah）、钙积层（Bk）、母质层（C），具有 Ah-Bk-C 结构。②腐殖质层厚度为 20~30 cm，呈灰棕色、黄棕色及棕色，亮度较高，植物根系较多，地表常有 2~3 cm 厚的土质结皮，色泽灰暗。③钙积层，出现部位在 30~40 cm，比较紧实，块状结构，植物根系很少，在结构面或孔壁可见到白色假菌丝或者斑块状石灰质新生体。④母质层因母质类型不同，形态各异，黄土母质的比较疏松，有时可见少量盐结晶。⑤全剖面强石灰反应，钙积层中有斑块状或假菌丝状碳酸钙淀积。硫酸钙聚积层含量可达 25 g/kg，pH 8.5~9.0</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
漠土	干温漠土	灰漠土	<p>定义：漠境地区初显石灰表聚及易溶盐与石膏分层累积的干旱土壤，曾称荒漠灰钙土。</p> <p>成土环境与分布区域：分布于温带漠境边缘向干旱草原过渡地区。主要位于内蒙古河套平原、宁夏西部、新疆准噶尔盆地沙漠南部的山前平原、古老洪积平原与剥蚀高原地区，甘肃河西走廊中西段、祁连山的山前平原等。成土母质以黄土状洪积-冲积物母质为主。</p> <p>成土过程：①黏化和铁质化过程。②有机质积累过程。③盐化与碱化过程。成土过程具有比其他漠土相对明显的弱淋溶特征。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，拥有荒漠结皮层（Ac）、紧实层（Bw）、石膏聚盐层（By）、母质层（C），具有Ac-Bw-By-C结构。②表土结皮层厚1~4 cm，浅灰或棕灰色，具不规则裂纹。③紧实层位于结皮层下端，厚5~15 cm，呈褐棕或黄棕色，碳酸钙新生体聚积层在40 cm或60 cm以下，往下逐渐过渡到母质层</p>
		灰棕漠土	<p>定义：是温带漠境地区极端干旱气候条件下形成的地表常见有黑褐色漆皮砾幕的干旱土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：在温带漠境地区极端干旱气候条件下形成，年均降水量50~100 mm，年均温4~10℃，≥10℃积温为3 000~4 100℃。主要分布新疆准噶尔盆地西部和东部边缘、经东疆北部的诺敏戈壁，至内蒙古阿拉善高原的西部与中北部；甘肃河西西部山前洪积扇和砾质戈壁平原，以及青海柴达木盆地中西部的山前坡积裙与洪积扇也有分布。</p> <p>成土过程：砾质化、亚表层铁质化、石灰表聚、残积盐化与石膏分异及微弱的生物积累过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体厚度一般50 cm左右，拥有砾幕结皮层（K）、孔状结皮和片状-鳞片状层（Ac）、石膏聚积层（By）和母质层（C），具有K-A-Bw-By-C构型。②地表见砾幕及褐色结皮，厚度不超过1 cm。③石灰表聚，下见纤维状石膏聚积，亦见铁质黏化现象。④有机质含量少于5 g/kg，铁铝结合的胡敏酸，多于钙结合者；而铁铝结合的富啡酸少于钙结合者是本土类特征</p>
	干暖温漠土	棕漠土	<p>定义：在暖温带极端干旱荒漠条件下发育的、地表有明显砾幕和红棕色紧实层及石膏、盐磐聚集特征的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：暖温带极端干旱条件，夏季干旱炎热，冬季暖和少雪。年降水量不足100 mm，干燥度达8~30。分布在新疆天山、甘肃北山一线以南，嘉峪关以西，昆仑山以北的广大戈壁平原地区。</p> <p>成土过程：弱腐殖质化过程，明显的碳酸钙表聚作用，强烈的石膏与易溶盐积聚过程，弱残黏化和强铁质化作用，现代积盐过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体浅薄，拥有砾幕结皮层（K）、红棕色铁质染色紧实层（Bw）、石膏聚集易溶盐层（Byz）和母质层（C）4个基本层段组成，具有K-Bw-Byz-C结构。②土壤石灰、石膏、易溶盐分层聚积地表，见孔状结皮、砾幕、黑结皮，多砾石，结皮层下见铁染色层。下为石膏，再下为盐磐层。③整个土层不足50 cm，盐磐层含盐量可达300~600 g/kg，盐磐层的存在是棕漠土的重要特征。粗骨性强，有机质含量极低</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
初育土	土质初育土	黄绵土	<p>定义：黄土母质上没有形成明显 B 层的初育土。</p> <p>成土环境与分布区域：暖温带半湿润和温带半干旱、干旱气候，年均温 7~16℃，平均年降水量 200~700 mm，集中于 7—9 月，多暴雨，年蒸发量 800~2 200 mm，干燥度大于 1。自然植被为森林草原和草原，乔木主要是阔叶树种，草本主要为禾本科草类，生长较稀疏；典型地形为黄土高原的塬、梁、峁、川等，成土母质为黄土，黄土在沉积过程中，由西北向东南，风力渐减，沉积颗粒逐渐变细。主要分布于水土流失严重的黄土丘陵沟壑区，以陕西北部分布最广，其次是陇中、陇东、宁南、晋西北与晋东南；青海东部、内蒙古南部、河北西南部、河南西部也有少量分布。</p> <p>成土过程：除表土层可能有比较明显的腐殖质化过程外，发育微弱，剖面无明显的发生层次。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土层深厚疏松，土质地多为均一的粉砂壤土，拥有表土层（A）和底土层（C），具有 A-C 构型。②有机质含量低，一般在 5 g/kg 以下，通体黄棕色；富含碳酸钙，但无明显钙淋溶与累积；磷、钾储量较丰富，但有效性低。③在修筑水平梯田和自然植被覆盖较好的情况下，土壤侵蚀减弱，有机质有不同程度的积累，碳酸钙也有弱度淋移，剖面初显微弱发育特征</p>
		红黏土	<p>定义：暖温带以北地区在古近纪末期至第四纪几个间冰期形成的红色富铝风化壳发育的土壤，也包括亚热带地区复盐基化的红色脱硅富铝化黏土。</p> <p>成土环境与分布区域：暖温带以北地区的低缓丘陵、台地、盆地和河谷高阶地，在古近纪末期至第四纪几个间冰期的湿热时期中形成强烈脱盐基、脱硅的富铝化土壤，以后由于气候变得干冷而脱离富铝化作用，并被粉尘等沉积物埋藏。在水土流失严重地区，上覆黄土层遭严重侵蚀，红土层出露于地表。属过去环境条件下形成的古土壤类型。以陕西、甘肃、河南、山西、辽宁等省（区、市）为主。另在浙江沿海岛屿亦有小面积分布。</p> <p>成土过程：①古代强发育过程。在古近纪和第四纪更新世湿热古气候条件下土壤发育强烈，形成红色黏土层。②埋藏过程。之后气候变干冷，由黄土等沉积物覆盖，红色黏土层被埋藏，中断了富铝化过程。③剥蚀过程。由于现代强烈水土流失作用，上覆的黄土层等被剥蚀殆尽，红色古土壤层出露地表。④现代弱发育过程。现代气候干旱冷凉，黏重紧实的红色黏土层塑性强，不利于植物生长，植被稀疏，土壤长期处于侵蚀状态，发育微弱，主要保持母质性状，属幼年土壤。</p> <p>剖面特征及主要属性：①红黏土土体虽厚，拥有表土层（Ah）、母质层（C），具有 Ah-C 构型。②浅薄的 A 层，有时 Ah 层完全被侵蚀，人工垦殖者有浅色耕作层（Ap）。土壤颜色为红棕色或红色。黏粒含量高，达 30%~50%，高者达 60%以上。③土体紧实，以棱块状或大块状结构为主。结构面上往往覆有棕黑色铁锰胶膜，呈中性，或具石灰反应，少部分呈微酸性。④发育在第四纪老黄土（红色条带）的红黏土富含钙质和硅质，发育在新近纪红色土层的红黏土，则脱钙少硅</p>
		新积土	<p>定义：为新近冲积、洪积、坡积、塌积、海潮沉积或人工搬运堆垫而成的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：广泛分布于全国各地，主要分布在各河流两岸的河漫滩低阶地及沙洲，以河流中下游面积较大；并分布在山麓洪积扇、山地及丘陵区的谷地、沟道两侧或沟坝地等。气候条件差异很大，成土物质来源复杂，河流冲积物遵循沉积规律沉积，坡积物和洪积物不同颗粒物质混杂堆积，未形成稳定的植被类型，可见到少量植物；耕种土壤，因耕作历史短，对土壤性质无重大影响。</p> <p>成土过程：由新近自然力及人为作用将松散物质堆叠而成，成土时间短，非耕种土的表层略有有机质积累，耕种土的表层略有耕作迹象。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体一般比较深厚，拥有表土层（A）、母质层（C），具有 A-C 构型。②表土略有有机质积累，基本表现母质特性</p>

(续表)

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
初育土	土质初育土	龟裂土	<p>定义：在温带、暖温带荒漠与半荒漠地带发育的一种隐域自成土，表层为不规则龟裂结皮。</p> <p>成土环境与分布区域：干旱荒漠地区山前细土洪积平原和古老冲积平原。主要分布于新疆、甘肃、宁夏和内蒙古河套平原西部山前细土洪积冲积平原、沙丘间平地、河成老阶地中低平地。</p> <p>成土过程：弱有机质积累，明显黏化和铁质化作用，碳酸钙表聚，微弱地表水流的湿胀干缩作用。</p> <p>剖面特征及主要属性：①拥有孔状结皮层（Ac）、块状或棱块状紧实层（BC）、母质层（C），具有 Ac-BC-C 构型。②三层土壤质地黏重，地表灰白色，平坦光滑，多角形龟裂纹明显，有砂粒填充于裂缝间。地表常表现出湿时泥泞，干时坚硬的龟裂荒芜地表景观。③地表结皮层呈蜂窝状孔隙和鳞片状，结构发育良好。土体下部偶见砂砾层。湿胀干缩的龟裂特征是龟裂土的重要发生特征。</p>
		风沙土	<p>定义：在干旱、半干旱及滨海地区风成沙性母质发育的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：多形成于干旱、半干旱大陆性气候、根系发达、耐旱、耐瘠、抗风沙的灌木、半灌木条件下。成土母质为风积物，包括岩石就地风化产物、河流冲积物、湖泊沉积物、海潮堆积物、洪积物和坡积物。主要分布于古尔班通古特、塔克拉玛干、腾格里、乌兰察布、库布齐沙漠，毛乌素、科尔沁、海拉尔沙地，柴达木盆地，嫩江及其支流沿岸河滩阶地，黄河下游故道及其现代河漫滩的高滩地，雅鲁藏布江及其支流的河滩阶地，以及东南沿海滨海滩地。</p> <p>成土过程：①风蚀、堆积过程，风通过吹扬作用，将地表碎屑物质吹起，并携带搬运，当风速减弱或遇到障碍物时，沉积下来。②植被固沙的生草化过程。③风沙土形成的3个阶段。一是流动风沙土阶段：由于风沙母质含有一定的养分和水分，为沙生先锋植物的滋生提供了条件，但因风蚀和沙压强烈，植物难以定居和发展，生长十分稀疏，覆盖度小于10%，土壤发育极其微弱，基本保持母质特征，处于成土过程的初级阶段。二是半固定风沙土阶段：随着植物的继续滋生和发展，覆盖度增大，常为10%~30%，风蚀减弱，地面产生薄的结皮或生草层，表层变紧，并被腐殖质染色，剖面开始分化，表现出一定的成土特征。三是固定风沙土阶段：植物进一步发展，覆盖度继续增大，大于30%，生物成土作用较为明显，土壤剖面进一步分化，形成较厚的结皮或腐殖质染色层，积累一定的有机质，具有一定的肥力，进一步发展，可形成相应的地带性土壤。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面无明显发生层次，一般拥有薄而淡色的腐殖质层（Ah）和母质层（C），呈 Ah-C 或 C 构型。②流动阶段土壤剖面分异不明显，呈灰黄色或淡黄色，单粒状结构；固定和半固定阶段的土壤剖面层次有微弱的分化，地表有褐色结皮层。③腐殖质层棕色或灰棕色，弱块状结构；母质层深厚，黄色、淡黄色或灰白色，单粒状结构。④通体壤质砂土，无石灰反应，草甸风沙土的心、底土有锈纹锈斑，并偶见石灰淀积现象</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
初育土	石质初育土	石灰（岩）土	<p>定义：在热带、亚热带地区，石灰岩经溶蚀风化，形成盐基饱和、岩性特征明显的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：主要见于我国热带、亚热带地区，气候条件高温多湿，年均温 14~21℃，年降水量 1 000~1 800 mm。主要分布于我国华南、西南寒武系、奥陶系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系的碳酸盐岩层出露地区，在高温多雨气候条件下，形成的地貌包括峰丛洼地、峰丛漏斗、峰丛丘峰谷地、峰林坡立谷、溶蚀盆地、孤峰平原等。植被主要为喜钙的藤本灌丛和草本群落，间有散生的柏木、棕榈等乔木。</p> <p>成土过程：①钙镁元素的溶蚀风化与迁移。经溶蚀作用，在岩溶和碳酸盐风化壳之上形成，钙、镁元素形成重碳酸盐不断淋洗迁移。②碳酸钙的淋溶与富集。受岩溶地貌和生物的共同影响，脱钙和富集复钙同时进行。③腐殖质钙的积累。有机质持续转化为腐殖质，与钙镁离子相结合形成腐殖质钙。</p> <p>剖面特征及主要属性：①初期发育的土体浅薄，拥有腐殖质层（Ah）、母质层（C）、岩石层（R），常呈 A-C 或 A-R 构型。②Ah 层土壤呈棕黑色至暗橄榄棕色，有机质含量较为丰富，一般 20~40 g/kg，腐殖化程度高。③幼年期和发育期的土体逐渐增厚，逐步分化出 BC 层（过渡层）和 C 层（母质层）。④心土层黄棕色或黄色，常有灰斑和铁锰结核。表土层为核粒或粒状结构，心土层棱块状结构，结构体表面光滑。⑤土壤质地黏重，黏土矿物以伊利石、蛭石、水云母为主。土壤呈中性至碱性反应，pH 7.0~8.5</p>
		火山灰土	<p>定义：由第四纪火山喷发碎屑物和尘状堆积物发育的初育土，玄武岩等固结熔岩风化物亦可形成此类土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：母质多垒结为疏松多孔的玻璃质熔岩块，并多少含有浮石、火山弹、火山渣，具有疏松、质轻、多孔的固有属性，容重 <1 g/cm³，孔隙率 50%~80%，吸水力强，对土壤发育性状影响大。火山喷发物中的玻璃质碎屑、粉尘渣及浮石等，物理风化强，母质疏松多孔，质地粗，容重小，易于就地形成火山灰土和暗火山灰土。而玄武岩抗风化力较强，除岩体裸露外，残坡积物质地相对较细，在生草和草甸疏林植被作用下，易发育成基性岩火山灰土。火山灰土总面积不大，但分布零星，地理范围跨度大，黑龙江、辽宁、吉林、内蒙古、山西、新疆、云南、海南等省（区、市）山丘火山口附近均有散布，尤以腾冲、五大连池和海南著称。</p> <p>成土过程：火山灰土成土时间短暂，处于原始发育阶段，仅具有初育土的成土特征，但其所处生物气候条件和火山喷出物的产状与时期不同，土壤发育有明显差异。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面发生层分异小，色泽差异大，母质特征明显；土体由灰黑色及暗褐色等疏松多孔的玻璃质熔岩块叠置成，一般具有腐殖质层（Ah）、过渡层（AC）、母质层（C），常呈 Ah-AC-C 构型。②Ah 层颜色深暗，疏松，结构良好，有机质含量很高而无泥岩化特征。③AC 层暗棕灰色，仍较疏松，火山碎屑物明显增多。④C 层色杂，常为半风化浮石碎块或新鲜火山喷发物。在南方，有时心土层可见铁锰斑，甚至有铁锰结核出现。⑤土体厚薄不等，除基性岩发育的火山灰土颗粒较细外，其他火山灰土的细粉砂和粗粉砂含量均很高，且砾质粗骨性强，孔隙特别发达。孔隙率高达 50%~80%，容重 <1 g/cm³，表层有机质含量较高，可达 100 g/kg 以上，往下明显降低。⑥土壤微酸性至中性的，pH 5.5~7.0，表层略低于下层。新期火山灰土高于老期火山灰土，土壤 pH 6~7，盐基饱和，土壤阳离子交换量 >25 cmol (+)/kg。⑦矿物风化程度弱，多种矿物复合并存的特征，土壤黏土矿物成分复杂，在黏粒（<0.002 mm）矿物中，以伊利石、蒙脱石等 2:1 型矿物占优势（50%~60%）；原生矿物显著减少，几乎不含高岭石，而同时存在少量非晶质水铝英石</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
初育土	石质初育土	紫色土	<p>定义：在热带、亚热带由紫色岩类风化而形成的初育土。</p> <p>成土环境与分布区域：①影响紫色土形成和土壤属性的因素很多，但作为岩性土，紫色母岩性质无疑是其最直接、最主要的影响因素，多数情况下，母岩决定了紫色土的色泽差别，影响了土壤质地和酸碱度；其次，生物气候、地形条件、人为耕作等也是影响紫色土形成发育不可忽视的重要因素。②紫色土分布范围广，南起海南，北抵秦岭，西至横断山系，东达东海之滨，其中以四川盆地规模最大，分布最为集中；此外，其分布区地跨热带、亚热带，常与水稻土、地带性土壤呈复区。</p> <p>成土过程：紫色土因侵蚀强烈而风化成土速度较快，仍保持初期发育阶段，土壤剖面通体呈稳定的紫色、紫棕色、棕紫色、红棕紫色、红紫色、黄紫色等。在一些地形平缓地段，坡麓和丘坡下部以及植被保存较好地区，生物过程在土壤形成中得以持续，土壤剖面会发生一定程度的分化。</p> <p>剖面特征及主要属性：①通常土体较薄、剖面层次分化不明显，一般具有表土层（A）、过渡层（AC）、母质层（C），常呈A-AC-C或A-C构型，基本保持了母岩理化性质特征。②通常，紫色土剖面分化微弱，母质碎屑含量高，土壤结构不稳定，且颜色与紫色母岩差异很小；但在一些坡麓和地形平缓地段，土体有所增厚，加上区域湿润气候影响，发育层加深，甚至可见Bw层。③虽然紫色土有机质含量普遍偏低，但除少数酸性紫砂岩发育土体外，多富含矿质养分，自然肥力较高</p>
		磷质石灰土	<p>定义：在热带珊瑚礁岛上、茂密植被下和海鸟频繁活动区域发育的富含石灰和磷素的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：分布于我国南海的西沙、南沙、东沙、中沙等诸岛，以西沙和南沙群岛分布较多。处于热带、赤道带海洋气候条件下，终年高温，雨量充沛，但季节分配不均，年均温差小，干湿季节仍较分明。植被多属喜钙耐盐抗风的乔木、灌木和草类，覆盖率高，为海鸟栖息活动提供了场所。海洋中珊瑚礁岛散布，出露水面后，在长期的生物作用下，形成珊瑚灰岩风化物，以及海岛上珊瑚砂和贝壳碎屑砂，成为磷质石灰土的成土母质。</p> <p>成土过程：包括旺盛的生物积累过程，明显的脱盐脱钙过程和独特的磷素富集过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，拥有枯枝落叶层（O）、表土层（A）、母质层（C），具有O-A-C构型。②表土层有鸟粪及鸟类骨骼残体，有磷素聚积特征，有时形成磷质硬磐珊瑚礁层，土壤砂性重。③表土层以下即为具贝壳色泽的母质层，土壤质地轻，为砂质壤土及壤质砂土，砂粒含量80%以上，粉砂粒及黏粒含量低，<10%，表土层中黏粒与粉砂粒含量稍高。④因土壤风化度低，黏粒矿物含量少，以云母及水云母为主，可见到硅藻</p>
		粗骨土	<p>定义：土体中含有高量的残积或坡积砾石，除表层可能是腐殖质层外，几乎没有发生学层次的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：在非高寒的地形陡峻、地面坡度大、强度切割和剥蚀的地区，均有可能分布。广泛分布在河谷阶地、丘陵、低山和中山等多种地貌单元和地形部位。</p> <p>成土过程：①由于地形起伏，地面坡度大，切割深，细粒物质通过风蚀、水蚀等因素被大量移除，导致土体中残留粗骨碎屑物相对增多。②由于长期的强烈物理风化，形成较深厚的砾石含量很高、细粒物质含量很低的半风化土体。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体一般很薄，具有表土层（A）、母质层（C），常呈A-C构型。②A层，有明显的或者不明显的有机质累积过程。③C层土壤颗粒呈现为单粒或屑粒状，无结构，松散，蓄水保肥力差；有效土体中≥2 mm的砾石或岩屑≥50%</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
初育土	石质初育土	石质土	<p>定义：在非高寒地区，基岩上土层厚度小于 30 cm 的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：在非高寒地区，地形陡峻，地面坡度大，坡度一般 25°~50°，强度切割和剥蚀，基岩大面积出露；大多数情况下，地面植被稀少，仅生长地衣、苔藓等低等植物及一些耐旱耐瘠的草本和灌丛。广泛分布于侵蚀严重，岩石裸露的石质山地、剥蚀残丘，以及在丘顶、山脊、山坡等坡度陡峻的地形部位，且常与粗骨土或其他山地土壤呈复区相嵌分布。</p> <p>成土过程：①以物理风化为主，通常节理比较发育。由于长期的强烈物理风化，形成较深厚的砾石的残积、坡积物理破碎体。②由于地形起伏，地面坡度大，切割深，风蚀、水蚀等因素移除细土物质的速度经常大于形成速度，导致土壤经常处于砂砾化或石质化。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体很薄，拥有表土层（A）、岩石层（R），具有 A-R 构型。②土层厚度小于 30 cm，大多小于 10 cm，大多数情况下含有 35%~50% 的砾石。③A 层可能是腐殖质含量高、团粒结构好，但多数情况下土壤颗粒呈现为单粒、屑粒状或者无结构，松散，蓄水保肥力差。④没有冻融特征</p>
半水成土	暗半水成土	草甸土	<p>定义：在冷湿条件下，直接受地下水浸润并在草甸植被下发育的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：在温带湿润、半湿润、半干旱季风气候区，地处较低地势的河漫滩、低阶地、河流故道、积水洼地或坡麓延伸平坦地，地形平坦，母质为河流冲积物，可分为非石灰性和石灰性两类。地下水和地表水汇集，径流弱，排水不畅，潜水位一般为 0.5~3 m。植被为草甸植物和小灌木为主的湿生植物，具体类型因所处地区而异。广泛分布于冲积平原、河谷平原、湖盆低地及高原山丘沟谷中，以东北平原，内蒙古高原、藏北高原以及西北的河谷平原沿河两岸较多，在长白山、大兴安岭、祁连山等山地丘陵间的河谷平原以及藏东高山峡谷区的底部也有分布。</p> <p>成土过程：①草甸化过程。具有腐殖质累积与氧化还原交替特征。草甸土区的植被生长繁茂，根系密集且能深扎；草甸土地区地下水埋藏较浅，土壤受地下水浸润，升降频繁，氧化还原交替形成锈色斑纹。②个别土壤还附加有白浆化过程、潜育化过程、盐化过程和碱化过程等。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体一般比较深厚，拥有腐殖质层（Ah 或 Ap）、锈色斑纹层（Br）和母质层（Cr），具有 A-Br-Cr 构型。②腐殖质层厚度变幅为 20~60 cm，一般为 30~80 g/kg，大体上由东北向西逐渐变薄和减少，腐殖质胡富比值>1。③锈色斑纹层一般出现在 50~80 cm。此外还随气候干旱程度增强、地下水矿化度增高，土壤可出现不同程度的盐化或碱化。地下水位较高之处，底层可产生潜育化特征。③流水沉积的分选性使草甸土的质地层次变化很大，沉积物的颗粒组成及厚度不一，因而出现不同的质地层次构型。土壤剖面质地与颗粒组成差异大，土壤石灰反应的有无和酸度差异也大。④草甸土经长期耕种，腐殖质层已变成早耕层和亚耕层。早耕层由于有机质受矿质化和风蚀作用等的影响，土壤有机质含量减少，土色变淡</p>
	淡半水成土	潮土	<p>定义：河流沉积物上受地下水周期性升降影响、经长期早耕形成的半水成土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：分布范围广阔，大部集中分布在东部的黄淮海平原，以及长江、珠江、辽河中下游的开阔河谷与平原区，在黄河河套平原也有连片集中的潮土，在一系列盆地、河谷、山前平原与高山谷地、高原滩地也有小面积分布。地下水位浅，埋深 1~3 m，水位周期性升降，水位变幅 1~5 m，造成土壤氧化还原交替；多数地形平坦土层深厚，土体继承沉积物质地层理；长期早耕熟化对土壤发育产生影响。</p> <p>成土过程：①潜育化过程。地下水位较浅，水位周期性升降，氧化还原交替，在土壤结构面、孔隙间形成棕色锈纹锈斑、灰蓝色铁锰斑、锥形铁锰结核。②早耕熟化过程。受长期早耕影响，表土形成疏松的耕作层或机具挤压出的坚实亚耕层，表土有机质、养分等在熟化过程中有所提高。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，层次分化不十分明显，一般具有早耕熟化耕层（Ap1、Ap2）、氧化还原层（Br）、母质层（Cr），呈 Ap-Br-Cr 构型。②耕作层（Ap1），厚度 15~25 cm，有机质含量不高，浅棕色至暗棕色，屑粒、块状、团块结构；亚耕层（犁底层，Ap2）厚度 5~10 cm，颜色与耕层相近，受耕作机具挤压结持紧实，片状、块状结构。③氧化还原层（Br），结构面、孔隙间有棕色锈斑纹、灰色低价铁锰斑纹和铁锰结核，多为块状结构。④母质层（C），沉积物基质色调，具明显的沉积物层理，氧化还原特征明显。⑤一般呈中性至弱碱性，大多含碳酸钙，热带、亚热带部分潮土呈弱酸性</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
半水成土	淡半水成土	砂姜黑土	<p>定义：由早期生长湿生草甸植被后经脱沼与长期早耕而形成的古老耕作土壤。因具有颜色深暗的表土层（包括耕作层、亚耕层和残留黑土层）和含有砂姜的土层而得名。</p> <p>成土环境与分布区域：砂姜黑土是我国暖温带南部平原分布很广的一种半水成土。在地形平坦低洼和干湿交替和湿润、半湿润的暖温带气候条件下，在湖沼相沉积物上生长湿生草甸植物经腐烂分解和有机质土壤积累，形成厚30~40 cm向下作舌状延伸的腐泥状黑土层。地下水季节性变化和人类开垦种植，使土壤从积水及湿生草本植物条件逐渐向着早耕土壤的方向发展。主要分布于黄淮海平原南部，即安徽和河南两省的淮北平原，山东省的胶莱平原和沂沭河平原，江苏省的徐淮平原，河南省的南阳盆地。</p> <p>成土过程：①腐殖质积累过程。②脱沼与长期耕作过程。③砂姜聚积过程。上层见面砂姜，底层可见砂姜瘤与砂姜磐，系早期形成物残存。土壤质地相对黏重。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体深厚，拥有耕作层（Ap1）、亚耕层（Ap2）、残留黑土层（AB）、氧化还原层（Br）及含有砂姜的母质层（C），具有A-AB-Br-C构型。②砂姜土层的土体呈橄榄棕色或黄棕色，块状或棱块状结构，夹有黄棕色斑纹、灰斑。砂姜呈黄白色、灰色，形状呈姜状核状或浑圆状大小不等。③面砂姜（锥形钙质结核）一般在70 cm左右出现，刚砂姜（完形钙质结核）在1 m左右出现，砂姜磐（钙质硬磐）在3 m左右出现。土体侵蚀或剥离会使砂姜出露地表。④呈中性至微碱性反应。土层质地以壤质黏土、粉砂质黏壤土及黏土为主，质地层次分异不明显。土壤结构特性与胀缩性的特点突出</p>
		林灌草甸土	<p>定义：在漠境地区沿河岸分布的胡杨林、灰杨林、灌木林、草甸等乔、灌、草等多层植被下发育的平原森林土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：漠境地区和干旱地区平原河流两岸及扇缘地下水溢出带，以胡杨林占优势的林灌草丛下形成的一类半水成土壤。主要分布在新疆、内蒙古和甘肃等省（区、市），其中新疆所占面积最大。</p> <p>成土过程：①有机质积累过程，②氧化还原过程，③盐化过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，剖面分异明显，一般拥有枯枝落叶层（O）、腐殖质层（Ah）、过渡层（AC）、母质层（C），具有O-Ah-AC-C构型。②有机质积累明显，剖面中下部有碳酸钙和石膏淀积，在氧化还原交替作用下形成铁锈斑纹与积盐，pH 7.8~8.8。③成土母质主要是河流冲积物，或洪积-冲积物</p>
		山地草甸土	<p>定义：在高山、亚高山森林线以内，平缓山地顶部喜湿性草甸植被及草甸灌丛矮林下形成的、地表具草皮层（As），剖面中有锈色斑纹或铁锰胶膜的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：广泛分布于我国各地中山山顶平台及缓坡上部水湿条件良好的浅平地。就自然区域范围而言，山地草甸土主要分布在西部、西南及东部的中山山区，在青藏高原东侧的云贵高原、秦岭、大巴山、大凉山系及其以东地区，在大兴安岭、长白山南段及其以南的中山区均有分布。甘肃、四川、内蒙古为山地草甸土集中分布区，分别位于西秦岭与陇南山区、川南大凉山、川东北大巴山与川东南岩溶中山区，以及大青山与蛮汉山山地，山西、河北恒山以南的中山区，粤北、粤东、黔中及长白山山区也有较大面积分布。气温低，降水多，湿度大，土壤积雪和冻融期长。风强，乔木生长困难，仅有灌丛及耐湿性草甸植被生长，地表生长地衣和苔藓，植被覆盖率在90%以上。成土母质以各类母岩的风化残坡积物为主，部分为黄土堆积物。</p> <p>成土过程：①腐殖质化过程。有机质和腐殖质积累明显，形成草根层或草毡层，以及较厚的腐殖质层。②矿物风化淋溶过程。物理风化作用强，化学风化作用弱，淋溶作用不强，黏粒矿物化学组成无明显分异。③潜育化过程。土体经常处于潜积滞水状态时，铁锰氧化还原作用活跃，在草皮层下可见明显的锈斑纹，局部低洼地段还可出现潜育化土层。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体一般较厚，拥有草皮层（As）或者枯枝落叶层（O）、腐殖质层（Ah）、母质层（Cr），具有As（O）-Ah-Cr构型。②As层厚薄不一，有的为厚2~3 cm的凋落物层。③腐殖质层发育明显，黑、黑棕色，团块状结构，疏松，有机质含量高，40 g/kg以上。④母质层分异不明显，棕色为主，潮湿，常见锈色斑纹或铁锰胶膜及微量黏粒淀积物。⑤黏粒矿物多以水云母为主。残坡积物发育的山地草甸土质地轻，颗粒粗，多石砾</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
水成土	矿质水成土	沼泽土	<p>定义：在长期地表积水、生长喜湿性植被条件下发育的、有机质积累及还原作用强烈的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：①成土环境一般不受气候条件限制，只要处于地表长期或季节性积水处，均可形成沼泽土，但是湿冷的气候条件更有利于沼泽土的发育。因此，沼泽土是和低洼的地形密切联系的，在山区多见于平缓分水岭顶部的碟形洼地、山间汇水盆地、山前洼地、沟谷地、冲积扇前或扇间交接洼地，此外，在滨海沙堤间洼地、潟湖、湖滩地、岩溶盆地及风蚀洼地等低洼积水地形部位均可形成沼泽土。②沼泽土的植物生态类型可分为：水生植物、湿生植物、中湿生草甸植物，还伴生一些杂草类或盐生植物。水生植物中，挺水植物有芦苇、水葱、香蒲、水芹等；浮生植物有荇菜、浮萍等；沉水植物有睡菜、眼子菜、漂筏苔草；湿生植物有苔草、马蹄草等；中湿生植物如小叶樟、沼柳等。这些喜湿性植物种类繁多，生长茂密，为粗腐殖质积累创造了条件。除此之外，沼泽土还伴生一些杂草类或盐生植物。③沼泽土的分布以东北地区的大、小兴安岭和长白山等山区的沟谷及平原中的河边湖滨低洼地区最多；青藏高原如川西北高原也是重要分布区之一。此外，天山南北麓、华北平原、长江中下游、珠江中下游及东南滨海地区均有分布。</p> <p>成土过程：沼泽化过程。包括多种形态的有机质积累和土体下层矿物质的潜育和潜育特征。因地势低洼，造成地表水汇集或地下水位抬高，使土体长期滞水，或因土体透水不良，均会使土壤中水分长期汇集，这样为苔藓及各种喜湿植物的繁茂生长创造了条件。由于长期处于多水缺氧促使土壤处于嫌气还原状态，加速了土壤的沼泽化过程。除此之外还有泥炭化过程、潜育化过程、草甸化过程、盐化过程和碱化过程等。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体一般比较深厚，剖面分异明显，具有草根层、泥炭层（O）、腐殖质层（Ah）、腐泥层、潜育层（Br）、潜育层（Bg/Cg），具有O-Ah-Br-Bg/Cg构型。②草根层厚10~20 cm，由活的根系盘结组成，含极少矿质土粒，多呈浅棕色。腐殖质层厚10~40 cm，暗灰色、粒状或团块状结构，含少量根系，一般位于潜育层之上，草根层或泥炭层之下，质地多为黏壤土或壤质黏土。腐泥层有机质分解度高，且多转化成细腐殖质，并与矿质颗粒结合成为黑灰色泥状腐殖质层，湿时手感细腻、滑润、软烂无结构，平时呈块状，颜色由暗灰棕色至灰黑色，有机质含量小于200 g/kg。③潜育层呈灰色、灰蓝色、灰白色，质地黏重，无结构，土体泞湿。④潜育层可出现在底部，也可出现在腐殖质层下，底色较为复杂，浅棕至暗灰色，但均具铁锰质斑块或斑纹，质地较黏重，结构变化亦较大。泥炭层湿时黄棕色至暗棕色，松软、多含半分解的植物残体。⑤沼泽土的矿物组成因矿质颗粒大小和发生层次的不同而有明显差异，土体中的氧化钙、镁、钾和钠土层之间分异不大。pH 5.5至8.5以上，变幅甚大</p>
	有机水成土	泥炭土	<p>定义：泥炭层厚度超过50 cm以上且有机质含量大于300 g/kg的有机型水成土。</p> <p>成土环境与分布区域：在长年积水或季节性积水条件下，湿性植被或水生植被生长茂盛，大量未经充分分解的有机质累积形成泥炭层。主要分布于青海、四川（若尔盖、甘孜、凉山）、黑龙江（三江平原、大小兴安岭、完达山）、吉林（长白山地、松嫩平原局部）等省（区、市），大都发育于高寒性气候条件下不同发育阶段的现代沼泽环境。</p> <p>成土过程：主导成土过程为长期水湿环境下植物残体的泥炭化积累过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①具有厚度大于50 cm的泥炭层（O），其下为潜育层（Bg/Cg），具有O-Cg构型。②泥炭层均超过50 cm，尽管残体分解程度通常较高，但有时植物组织仍清晰可辨，呈灰棕色至暗棕色，富有弹性。由于有机物质分解度的差异可续分O_i纤维状泥炭层、O_e半分解泥炭层、O_a层高分解泥炭层，有时地表有草根盘结的草根层（As）和与潜育层过渡的泥炭层（或腐泥层）。③潜育层呈暗蓝灰色，泥糊状。泥炭层有机质含量相对较低（30%~70%），灰分和养分较丰富，呈酸性至中性反应，pH 5.2~7.2</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
盐碱土	盐土	草甸盐土	<p>定义：由于高矿化地下水经毛管水作用上升至地表，使易溶盐在地表严重累积的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：广泛分布在我国干旱、半干旱甚至荒漠、半荒漠地区的泛滥平原、河谷盆地以及湖、盆洼地中。南起长江口，最北到松辽平原，东与滨海盐土相接，往西直达新疆塔里木盆地，涉及北方十几省（区、市）。</p> <p>成土过程：①盐分积累过程。受地下水矿化度高和蒸发量大的双重作用，盐分在地表积累。②潮化、草甸化或沼泽化过程。地下水位较高，土体中、下部较湿润。地表有生草过程所表现的有机质累积的特征。沼泽化过程的特征是通体很湿润。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体深厚，剖面分异不明显，拥有含盐表土层（Az）、母质层（C），具Az-C构型。②地表多具盐结皮或盐霜，表层含盐量大于6 g/kg，高者可达20~30 g/kg，心、底土含盐量相对较低。③盐分组成复杂，有氯化物、硫酸盐、硫酸盐-氯化物或氯化物-硫酸盐，也有含苏打和重碳酸盐的，可因地形、水文地质等条件而变化。④剖面中、下部有锈纹锈斑，沼泽化剖面中可见蓝灰色的潜育或潜育层</p>
		滨海盐土	<p>定义：在滨海沉积物发育、全土体含有氯化物为主可溶盐的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：滨海盐土沿着我国1.8万余千米海岸线呈宽窄不等的沿海岸作平行状分布，在沿海11个省（区、市）均有分布。</p> <p>成土过程：①盐分积累过程。长期或间歇遭受海水浸渍及高矿化潜水的共同作用，使土体积盐，积盐层深厚。②潮化、草甸化或沼泽化过程。地下水位较高，土体中、下部较湿润。地表有生草过程所表现的有机质累积的特征。沼泽化过程的特征是通体很湿润。</p> <p>剖面特征及主要属性：①母质为滨海沉积物，全土体含有氯化物为主的可溶盐，拥有表土层（Az）、母质层（Cz），具有Az-Cz构型。②滨海盐土的土壤和地下水的盐分组成与海水盐分组成基本一致，氯盐占绝对优势，其次为硫酸盐和重碳酸盐；盐分中以钠、钾离子为主，钙、镁次之。土壤含盐量20~50 g/kg，地下水矿化度10~30 g/L，土壤积盐强度生距海由近至远、从南到北而逐渐增强。③土壤pH 7.5~8.5，长江以北的土壤富含游离碳酸钙</p>
		酸性硫酸盐土	<p>定义：热带、亚热带滨海红树植被下，经常被咸水饱和，排水后土壤中硫化物氧化、形成硫酸导致pH低、土体中形成黄钾铁矾等黄色斑纹的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：分布于热带、亚热带滨海生长红树植被的潮间带滩地，从北纬18°9'的海南岛南端起至北纬27°21'的福建福鼎市，包括海南、广东、广西、福建、台湾的滨海地区。成土母质主要是滨海沉积物。</p> <p>成土过程：热带、亚热带滨海低平原，海潮可及处，生长红树植被。残体归还土壤大量硫化物在裂隙中累积，可见黄钾铁矾矿$[KFe_3(SO_4)_2(OH)_6]$。经氧化，黄铁矿（FeS_2）形成游离硫，经氧化成硫酸，使土壤呈强酸性，pH可低至2.8。由于酸性硫酸盐土分布在潮间带，经常受海水浸渍而进行着盐渍化、沼泽化过程，同时红树的生长，通过其选择吸收海水与海涂内含有的含硫矿物在体内富集，红树每年有大量枯枝落叶残体归还土壤，加之植株的阻浪促淤作用，红树林残体被埋藏于土体中，形成了由红树残体组成的“木屎层”，在嫌气条件下，硫酸盐还原成硫化氢，并与土壤中铁氧化物反应生成黄铁矿（FeS_2）。当红树林被砍伐或围垦后，黄铁矿在好气条件下发生氧化生成硫酸铁盒硫酸，从而导致土壤酸化。</p> <p>剖面特征及主要属性：①酸性硫酸盐土土层深厚，一般在1 m以上，拥有含盐表土层（Az）、黄钾铁矾积聚层（Czg1）、潜育层（Czg2），常呈Az-Czg1-Czg2构型。②表土层多呈棕灰色，心、底土呈灰蓝色，湿时松软无结构，干时多呈块状，黄钾铁矾积聚层为特征土层，是红树残体埋藏腐解形成的木屎层。③土壤质地变幅大，从砂土至黏土均有，但以壤土和黏土为多。经常受海水浸润影响的表层土壤pH近于中性至碱性；处于间歇性或脱离海水影响的高潮滩，土壤呈酸性或强酸性；木屎层pH最低，<4.0。④土壤盐分特征受盐渍化、脱盐化和硫化物生物地球化学过程影响大。土壤有机质和氮素含量较高，尤其是木屎层。黏粒矿物组成以高岭石和伊利石为主</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
盐碱土	盐土	漠境盐土	<p>定义：是古代或过去的积盐过程所形成的残余盐土。</p> <p>成土环境与分布区域：发育于荒漠地区，土壤水分遭受强烈蒸发，盐分表聚，甚少淋洗，大量盐分累积，可形成盐壳与盐磐。也有由于山洪带来的盐分在谷口外大量累积，还有古积盐土体的残存。常与其他盐土或盐渍化土壤成复区存在。主要分布在新疆塔里木盆地、哈密盆地、吐鲁番盆地、准噶尔盆地南部，甘肃疏勒河下游冲积平原的南北戈壁前沿，龙首山、合黎山和祁连山东延部分的山麓以及青海柴达木盆地，宁夏中部的缓坡丘陵，内蒙古杭锦后旗西部。</p> <p>成土过程：积盐过程、荒漠化过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①拥有表层盐结皮（Az）、盐分淀积层（Bz）、母质层（C），具有 Az-Bz-C 构型。②全剖面盐分含量较高（10~20 g/kg）</p>
		寒原盐土	<p>定义：高原干旱气候及封闭地形条件下，经土壤盐化过程而形成的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：分布在青藏高原西部的羌塘高原和藏南宽谷湖盆区、河流沿岸及局部洼地，以及西藏的那曲、阿里及日喀则等地。</p> <p>成土过程：弱腐殖质化，盐化过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①地表有 1 cm 左右的白色盐结皮（-K），其下为 10 cm 左右的强烈积盐层（Az）、弱发育的腐殖质层（Ah）、母质层（C），具有 K-Az-Ah-C 构型。②寒原盐土的颗粒组成随母质类型而异，湖积物发育的多为黏质，河积沉积物发育的则为壤质，并含有多少不一的砾石。③表土层的含盐量可达 50 g/kg，盐结皮可达 300~400 g/kg</p>
	碱土	碱土	<p>定义：土体含较多苏打呈强碱性（pH>9），钠饱和度在 20% 以上，具有碱化淀积层的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：碱土常与盐渍土或其他土壤组成复区。碱土在我国分布相当广泛，从内蒙古到长江以北的黄淮海平原，从东北松嫩平原到新疆的准噶尔盆地，均有局部分布。</p> <p>成土过程：土壤碱化过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，剖面分异不明显，一般拥有腐殖质层（Ah）、碱化层（Bn）、母质层（C），具有 Ah-Bn-C 构型。②表层暗灰棕色，pH 为 9 以上。脱碱层颜色较浅质地较轻。碱化层暗棕色，有柱状结构并有裂隙，质地黏重紧实，并往往有上层悬移而来的 SiO₂ 粉末覆于上部的结构体外。③盐分与石膏积聚层一般有盐分与石膏积聚，但 pH 较高</p>
人为土	人为水成土	水稻土	<p>定义：水稻土是各种起源土壤（母土）或其他母质经过平整造田和淹水种稻，进行周期性灌溉、排水、施肥、耕耘、轮作下逐步形成的、具有明显的水耕表层及独特理化性状的一类土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：水稻土可以在不同的生物气候带和不同类型的母土上发育形成，其水平分布可从热带延伸至高纬度的寒冷地区，横跨数个热量带；其垂直分布可从平原、丘陵、山地直至高达 2 600 m 的高原；遍及我国大陆 26 个省（区、市），以长江中下游平原、四川盆地和珠江三角洲地区、分布最为集中。近几十年来，东北地区水稻土面积有明显增加。</p> <p>成土过程：①水耕熟化过程。在淹水耕作条件下，通过灌溉、排水、耕作、培肥与改良，促进土壤有机质的积累、有效养分的提高，形成具碎块状或团粒结构的耕作层和较为紧实的犁底层，水、肥、气、热诸因素不断协调，使土壤向有利于水稻高产方面转化的过程。②周期性的氧化还原交替与铁、锰淋淀过程。水分条件季节性的变化导致土壤氧化还原的交替，耕层和犁底层中铁锰重新分配，形成了棕红色的氧化铁锰斑纹；与此同时，淹水期间部分活性低价铁、锰化合物随静水压力向下淋移，在下部土体中被重新氧化、淀积在结构体或孔隙的表面，导致氧化铁、锰在土壤剖面中的分异；分异程度随植稻时间的增加而增强。③盐基淋溶与复盐基作用。由于施肥和含盐基物质的灌溉水灌溉，土壤溶液中离子及酸碱物质平衡发生明显的变化，随之引起了土壤酸碱度及盐基饱和度的变化，长期种植水稻可促使土壤酸碱度向中性方向演变。</p> <p>剖面特征及主要属性：①水稻土中出现的发生层主要有耕作层（Ap1）、犁底层（Ap2）、潜育层（Br）、潜育层（Bg）、漂白层（E），母质层（C），具有 Ap1-Ap2-E-Br-Bg-C 构型。②Ap1 耕作层和 Ap2 犁底层是所有水稻土共有的发生层，且 Ap2 与 Ap1 的土壤容重比大于 1.1。③其他发生层因土壤水分条件差异可出现在不同类型的水稻土中，是区别水稻土亚类的依据。水稻土土层中可见局部铁锰氧化淀积与还原离铁现象并存。④表层 C/N 比在 10 左右，铁活化度较高，盐基近饱和，pH 趋向中性，Eh 明显低于旱地土壤。⑤水稻土的质地、CEC、矿物类型等多与起源土壤有关，有较大的区域差异</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
人为土	灌耕土	灌淤土	<p>定义：干旱半干旱地区平原引用含泥沙河水灌溉形成的、具有一定厚度灌淤土层的土壤。灌淤层较厚，土壤剖面上下较均质，灌淤层下可见被埋藏的古老耕作层。</p> <p>成土环境与分布区域：通常是地下水位较浅，水源充足的地区，主要分布于银川和内蒙古河套冲积平原、新疆昆仑山北麓和天山南北麓的河流冲积平原及河成阶地、甘肃河西走廊和青海湟水河谷平原，河北张家口坝下洋河及桑干河河谷平原、西藏西部亚高山地带的河谷也有灌淤土分布。</p> <p>成土过程：耕作熟化过程。长期灌水落淤、耕作熟化逐渐形成厚度>50 cm的灌淤层，从根本上改变了原来土壤的层次，形成土体深厚，色泽、质地均一、土壤水物理性状良好的土壤，在此基础上叠加黏化过程、氧化还原过程、盐分淋溶与累积过程、次生盐化等过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体深厚，拥有灌淤层（Aup）、埋藏层（Ab），具有 Aup-Ab 构型。②灌淤层剖面形态以及土壤颜色、质地、结构、有机质含量等性状比较均匀一致，土壤质地一般为壤土类，一般为发育不强的团块、块状、棱块结构，没有明显的冲积层理，土壤颜色为黄橙色、灰棕色，色调 7.5YR、10YR，明度 4~8，彩度大多为 2~4，常见较多的孔隙和蚯蚓孔洞、少量的人为侵入体。③灌淤层下是原母质层、古耕作层或腐殖质层，原母土层多为不同的洪积冲积土层</p>
		灌漠土	<p>定义：在干旱漠境地区经过长期灌溉和耕作，但是没有形成明显淤积层的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：漠境地区，高蒸发（2 000 mm 以上），低降雨（200 mm 以下），有灌溉条件。广泛分布于漠境地区的内陆灌区，如新疆的准噶尔盆地、塔里木盆地，甘肃的河西走廊等。</p> <p>成土过程：干旱漠境地区，清澈水灌溉，土壤盐分和黏粒淋溶下移，土壤有机质累积，冻融交替过程。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体比较深厚，拥有耕作熟化层（Ap1）、亚耕层（Ap2）、母质层（C），具有 Ap1-Ap2-C 构型。②土体剖面熟化层在 30 cm 以上，有陶片、炭灰、粪斑等人为活动痕迹，颜色质地结构均一，结构面多孔隙，蚯蚓活动频繁。表土层中有机质累积 10 g/kg 以上。③亚耕层下可见菌丝状、斑点状碳酸钙淀积</p>
高山土	湿寒高山土	草毡土	<p>定义：高原寒带半湿润、湿润区草甸植被下发育的具强度（生草）腐殖质积累和弱度（冻融）氧化还原特征的高山土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：分布于高原寒带半湿润、湿润区草甸植被的平缓高原面。主要分布于青海青藏高原的玉树、果洛州及北部祁连山地；西藏的那曲、日喀则、昌都和山南；川西高原山地的甘孜、阿坝和凉山州；新疆阿尔泰山、准噶尔盆地以西山地和天山南北坡，以及甘肃。</p> <p>成土过程：高寒区（青藏高原）平缓高原面上，具强度生草腐殖质积累与弱度氧化还原特征，以及弱风化淋溶过程的高山土壤。系土壤寒冻与蒿草根累积，弱度分解，具草毡状。土体滞水，冻融交替，弱度氧化还原交互进行，造成氧化铁微弱游离。成土母质以物理风化为主，化学风化弱，母质风化释出的盐基物质少，有限的降水使数量不多的游离盐基淋失。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面由毡状草皮层（As）、腐殖质层（Ah）、过渡层（AB/BC）和母质层（C）组成。②As 层呈毡状，一般干态颜色为暗棕色至黑棕色，多为屑粒状结构。Ah 层干态颜色以棕色为主，多为粒状结构，间或有鳞片状结构。淀积层（B）不明显。过渡层常有铁锰斑纹和片状、鳞片状结构发育。③部分剖面的 AB 层颜色较 A 层深暗，即“暗色层”，土体中下部常夹有多量石块和砾石。草毡土 As 层和 Ah 层的平均厚度分别为 9.0 cm 和 12.3 cm</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
高山土	湿寒高山土	黑毡土	<p>定义：高原亚寒带半湿润、湿润区草甸植被下发育的具强度（生草）腐殖质积累和弱度（冻融）氧化还原特征的高山土壤。垂直带谱中位于草毡土之下。</p> <p>成土环境与分布区域：分布于高原亚寒带半湿润、湿润区草甸植被的平缓高原面。主要分布于西藏昌都、林芝、山南和日喀则，四川甘孜、阿坝，以及新疆阿尔泰山、准噶尔盆地以西山地和天山南北坡，甘肃祁连山、秦岭，以及云南、青海、陕西、山西、宁夏、内蒙古等地海拔较高的山地。</p> <p>成土过程：青藏高原高寒略较温湿的原面上，嵩草与杂生草类的草毡层初步分解，形成暗色初步腐殖化的草根茎盘结层。色泽较暗，有机质含量较高，可达100~150 g/kg，底土见锈色斑纹。土壤 pH 6.5~8.0。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面一般由毡状草皮层（As）、腐殖质层（A）、过渡层（AB/BC）和母质层（C）构成，淀积层（B）发育不明显。②As层由密集根茎组成，紧密度不大，以黑棕色为主，多呈屑粒状或粒状结构；A层以棕色为主，粒状或团块状结构；AB/BC层颜色较杂，以黄棕色/浊黄棕色为主，多为块状结构，部分有中量至多量铁锰斑纹。黑毡土 As 层和 A 层的平均厚度分别为 7.9 cm 和 15.0 cm</p>
		寒钙土	<p>定义：寒钙土又称高山草原土，是高寒半干旱区，弱度腐殖质积累、底层积钙的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：主要分布于西藏、青海、新疆、甘肃。西藏寒钙土广泛分布于冈底斯山—念青唐古拉山以北的藏北高原，以及藏南部分高山地带，主要分布在那曲、阿里和日喀则，其余分布在山南和拉萨。新疆、青海、甘肃寒钙土主要分布在昆仑山以南，西起帕米尔高原和喀喇昆仑山，向南与西藏寒钙土相连，东至柴达木盆地东南部高山带。</p> <p>成土过程：发育于青藏高原高寒半干旱区，弱度腐殖质积累、底层积钙的土壤。有机质层厚 15 cm，含量 10~30 g/kg。碳酸钙含量 50~120 g/kg，上部低，下部高，土壤 pH 7.5~8.5。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土壤剖面构型为 Ah-Bk-C，即腐殖质层-钙积层-母质层型。②腐殖质层（Ah）发育明显，多呈棕色或灰棕色。③钙积层（Bk）一般紧接在 Ah 层之下，钙积层形态呈斑点状、菌丝状，少数呈霜粉状或斑块状，钙积层呈棕色、黄棕色或橙色。母质层（C）为各种基岩的残积或坡积物</p>
	半湿寒高山土	冷钙土	<p>定义：冷钙土又称亚高山草原土，是高寒半干旱原面上，具弱腐殖质积累与钙积特征的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：主要分布于新疆、西藏、甘肃。新疆的冷钙土主要分布在阿尔泰山系的青河山、北塔山和天山北坡，以及天山南坡的阿克苏、和静、吐鲁番和哈密等山区。甘肃的冷钙土主要分布在祁连山西段、阿尔金山东段海拔 3 000~3 500 m 地带。西藏的冷钙土主要分布在喜马拉雅山和冈底斯山—念青唐古拉山之间的藏南高原，海拔 4 000~4 700 m；其次分布在阿里地区西部，一般海拔 4 200~4 400 m。</p> <p>成土过程：发育于青藏高原高寒半干旱原面上，土壤具弱腐殖质积累与钙积特征，有机质含量 15~30 g/kg。碳酸钙含量 50~200 g/kg，呈斑点状或脉络状，且含少量易溶盐与石膏，土壤 pH 7.5~8.5。</p> <p>剖面特征及主要属性：①具有发育明显的腐殖质层（Ah）和钙积层（Bk），剖面构型为 Ah-Bk-C 型。②Ah 层多呈棕色或灰棕色，结构为屑粒状或粒状、团块状或块状，有的剖面有双腐殖质层，可能与堆积覆盖有关。③Bk 层出现部位一般紧接在 Ah 层之下，也有深至 80 cm 的；钙积形态特征以菌丝状为主</p>
		冷棕钙土	<p>定义：冷棕钙土又称山地灌丛草原土，在高寒温凉的半干旱河谷灌丛草原下发育的弱腐殖质积累、弱度淋溶与积钙的土壤。</p> <p>成土环境与分布区域：仅分布于西藏雅鲁藏布江中游及其支流拉萨河、年楚河即“一江两河”流域。</p> <p>成土过程：发育于青藏高原高寒温凉的半干旱河谷，土壤弱腐殖质积累，弱度淋溶与积钙。生长灌丛草原，有机质含量 10~30 g/kg。钙积层位于中下部，厚 30~50 cm，碳酸钙含量 20~60 g/kg，土壤 pH 7.5~8.5。多耕种，一年一熟。</p> <p>剖面特征及主要属性：①剖面构型为 A-(AB/B)-Bk-C，即腐殖质层-(过渡层/淀积层)-钙积层-母质层型。②腐殖质层（Ah）较明显，多呈棕色或浊黄棕色，耕种土壤的耕层（Ap）可呈灰色或棕灰色。在稀疏灌丛下的土壤剖面，Ah 不发育，不仅有有机质贫乏，而且土表出现薄结皮。与此同时，部分剖面又有 AB 过渡层发育，颜色与 Ah 层相近。③钙积层（Bk）较明显，钙积物形态以菌丝状为主</p>

（续表）

土纲	亚纲	土类	土类分类依据
高山土	干寒高山土	寒漠土	<p>定义：高寒干旱条件下形成的高山土壤，曾称高山漠土或高山荒漠土。</p> <p>成土环境与分布区域：分布于青藏高原西北部，主要在新疆西南和西藏西北的西昆仑山外缘山地及帕米尔高原，以及阿尔金山和祁连山西段等山地。</p> <p>成土过程：基本形成过程是土壤荒漠化过程。其主要特点表现是土壤冻融作用频繁，腐殖质积累微弱，易溶盐-石膏和碳酸盐类积累明显，以及土壤砾砂化并形成砾幕等。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体浅薄，一般厚 40 cm 左右。表土层为 1~2 cm 松脆的孔状结皮。地表可有砾幕和“漆皮”。②土壤通体强石灰反应，表土层以下出现灰白色粉末状或菌丝状碳酸钙淀积物。③土体富含砾石，颗粒粗，但湖积母质发育者砾石少或不含砾石，颗粒较细，地表有明显龟裂</p>
		冷漠土	<p>定义：亚高山干寒条件下形成的土壤，曾称亚高山漠土。</p> <p>成土环境与分布区域：分布于西藏境内喀喇昆仑山以南和阿依拉山、冈底斯山以北的札达县、日土县海拔 4 500 m 以下湖盆、河谷及其四周山地中下部。</p> <p>成土过程：成土环境较寒漠土干暖，因而荒漠化成土作用所表现的特征更明显。腐殖质积累作用微弱，无腐殖质层发育，地表有薄层孔状结皮。风化淋溶作用更弱，表层或结皮层的碳酸钙含量高于下层，似有表聚趋势；石膏积累量较寒漠土高，但又远低于棕漠土。较寒漠土更富含砾石，砾幕出现普遍。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体浅薄，一般厚度 50 cm 左右。②由于成土作用弱，剖面分化发育差，土表有 1~4 cm 结皮层，但无明显腐殖质层。③在结皮层下的砾石背面，普遍出现石灰斑</p>
	寒冻高山土	寒冻土	<p>定义：高山冰川冰缘地带具有寒冻风化和弱生物积累的原始土壤，也是分布位置最高的高山土壤，曾称高山寒漠土。</p> <p>成土环境与分布区域：广泛分布于青藏高原及其毗邻高山冰雪带下的冰缘地区，主要分布于新疆帕米尔高原顶部，西昆仑山和阿尔金山以及藏北高原边缘；西藏阿里、日喀则、那曲、林芝、昌都，以及山南和拉萨；甘肃甘南和祁连山区；云南迪庆等地。</p> <p>成土过程：基本形成过程是以强烈寒冻风化和极弱生物积累为特点的原始成土过程。在寒冻气候条件下，成土母质主要是岩石冻裂形成的碎屑状风化物，砾石量极高，而在岩砾表面进行微弱的化学风化和生物化学风化，只能形成极少量细土物质，它们随冰雪融水渗入岩隙石缝而聚积起来，成为稀疏垫状植物生长的介质，同时进行缓慢的生物积累而逐渐发育成原始土壤。</p> <p>剖面特征及主要属性：①土体浅薄，通体含大量砾石，剖面分化不明显。②地表常有由岩石风化碎屑组成的岩幕层；下伏发育差的腐殖质层，厚度 5~10 cm，呈灰色、黄灰色、灰黄棕色或灰棕色等多种颜色；向下过渡为岩砾层或永冻层。③土体中可见冻融作用形成的片状结构，在永冻层之上常因融雪、融冻水滞积而形成的锈纹锈斑，甚至具弱潜育特征</p>

第三次全国土壤普查工作底图 制作与采样点布设技术规范 (修订版)

执笔人：吴文斌 王 迪 陈章全 刘 峰 龙怀玉
马常宝 赵玉国 张建峰 陈守伦 卢昌艾
徐爱国 裴久渤 徐祥玉 雷秋良 黄 青
陆 苗 郭 龙 李 阳 孙 正 阮志勇
高明杰 钱建平 余强毅 王玺森

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2023年2月

目 次

1 适用范围	69
2 规范性引用文件	69
3 术语和定义	69
3.1 图斑	69
3.2 土壤表层采样	69
3.3 入样图斑	69
3.4 宏观代表性	69
3.5 局地代表性	69
3.6 缩略语	69
4 工作底图制作与样点预布设	70
4.1 工作底图制作	70
4.2 表层样点预布设	71
4.3 剖面样点预布设	76
4.4 样点预布设结果的省级校核	79
4.5 样点编码赋值	80
4.6 样点信息与任务赋值	81

1 适用范围

本规范确立了第三次全国土壤普查的工作底图制作、样点布设（含样点编码、样点属性、样点任务）等技术性、原则性要求。

本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

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本规范必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规范；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

GB/T 17296—2009	《中国土壤分类与代码》
GB/T 21010—2017	《土地利用现状分类》
GB/T 2260—2007	《中华人民共和国行政区划代码》
GB/T 13989—2012	《国家基本比例尺地形图分幅和编号》
GB/T 20257	国家基本比例尺地图图式（包括 GB/T 20257.1、GB/T 20257.2、GB/T 20257.3、GB/T 20257.4）
GB/T 19231—2003	《土地基本术语》
TD/T 1055—2019	《第三次全国国土调查技术规程》
	《第三次全国土壤普查技术规程（试行）》

3 术语和定义

3.1 图斑

土地利用类型、土壤类型等某一地块的图形范围，或二类图形叠加形成的图形范围。图斑是土壤普查的基本单元。

3.2 土壤表层采样

在土壤表层进行土壤样品采集。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

入样图斑是有采样点分配任务的图斑，是叠加图斑的子集。

3.4 宏观代表性

样点分布反映宏观尺度上土壤空间分布规律。

3.5 局地代表性

样点应体现局地尺度上典型的土壤类型。

3.6 缩略语

(1) DEM: digital elevation model, 数字高程模型。

- (2) GIS: geographic information system, 地理信息系统。
- (3) RS: remote sensing, 遥感。
- (4) GPS: global positioning system, 全球定位系统。

4 工作底图制作与样点预布设

4.1 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，以土壤二普土壤图、第三次全国国土调查（以下简称“国土三调”土地利用现状图、DEM 等为基础图件，按照《第三次全国土壤普查技术规程（试行）》要求，统一制作满足普查精度与面积计算统计要求和不同层级使用的土壤三普工作底图。工作底图制作是样点布设的前提条件，工作底图为外业调查指明位置与范围，同时也是成果汇总的基础图件。

4.1.1 基础资料准备

- (1) 土壤图：土壤二普 1:5 万数字土壤图（细分至土种，部分地区土属。按照《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》，完成土壤类型各级名称的校准。按行政单元下发）。
- (2) 土地利用现状图：国土三调 1:1 万土地利用现状图。
- (3) 行政区划图：2020 年 1:1 万全国行政区划图（国家、省、县、乡、村界）。
- (4) 全国地理标志农产品区分布数据：根据各地提供的地理标志农产品区汇总统计表，结合国土三调行政区划图生成。
- (5) 全国与食物生产有关的林地分布数据：国家林业和草原局提供的经济林分布图。
- (6) 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）。
- (7) 全国土壤母质图：利用 1:50 万地质图生成土壤母质图。
- (8) DEM 数据：全国 ASTER GDEM V3 数据（空间分辨率 30 m，2019 年）。
- (9) 中高分辨率遥感影像：2~30 m 空间分辨率、多光谱、最新时相。
- (10) 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。
- (11) 历年来剖面样点分布图：土壤二普土壤剖面样点分布图、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。

4.1.2 基础数据处理

4.1.2.1 数据标准化处理

(1) 坐标统一。采用共同的数学基础（坐标系统采用“2000 国家大地坐标系”，高程基准采用“1985 国家高程基准”，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），统一各类矢量和栅格数据的地理坐标和投影方式。

(2) 空间配准。以国土三调土地利用图斑数据和比例尺（1:10 000）为基准，对不同比例尺的基础地图和专题图（土壤二普土壤图、专题图、遥感影像及其他数据）进行空间配准，统一图件比例尺和图斑精度，为实现基础地图和专题图的空间叠加奠定基础。

土地利用图：从国土三调数据的“地类图斑”图层导出普查县的耕园林草盐碱地，作为工作底图制作需要的土地利用现状图。

土壤二普土壤图：对土壤二普土壤图进行地理清查、空间配准与坐标变换处理，并对土壤类型名称校准，作为工作底图制作需要的土壤图。

土壤图配准精度，按照《土壤制图 1:50 000 和 1:100 000 土壤图数字化规范》（GB/T 32738—2016）“4.3 平面位置精度”的要求进行地理校正。现摘录如下。

地物点对最近野外控制点的图上点位中误差不得大于表 1 的规定。

数据难以获取地区（大面积的林地、沙漠、戈壁、沼泽等）地物点对最近野外控制点的图上点位中误差按本标准表 1 相应地形类别放宽 0.5 倍。

DEM：对 ASTER GDEM V3 数据进行拼接、裁剪、坐标变换处理，作为工作底图制作需要的 DEM。

表 1 平面位置中误差

单位：mm（像元）

比例尺	平地、丘陵	山地、高山地
1 : 50 000	0.75 (9)	1 (12)
1 : 100 000	0.75 (9)	1 (12)

注：中误差的两倍为其最大误差限；单位 mm 为等比例尺图面距离，单位像元为分辨率为 300 dpi 时的中误差距离所折算的像元数。

4.1.2.2 空间叠置处理

(1) 国土三调 1 : 1 万土地利用现状图标准化处理。从国土三调数据的“地类图斑”图层导出普查县的耕园林草盐碱地后，将线状地物（公路用地、城镇村道路用地、农村道路、沟渠）融并进耕园林草盐碱地图层中，随后按二级地类对耕园林草盐碱地图层进行合并。

(2) 土壤二普土壤图标准化处理。进行过地理清查、空间配准与坐标变换处理后的土壤二普土壤图，筛除其中的“河湖库渠”“居民地”“盐场”等非土壤类型信息，并以国土三调数据中各县的行政区范围对土壤图进行裁剪。

(3) 土地利用图与土壤图叠加。叠加经过标准化处理的土壤二普 1 : 5 万土种图（部分地区为土属图）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。

4.2 表层样点预布设

遵循土壤普查表层样点布设的全面性、科学性、可行性原则，兼顾样点的多目标、多功能性，以地理信息系统、遥感技术等技术手段为支撑，以土壤二普土壤图、国土三调土地利用现状图、DEM 等为基础图件，按照《第三次全国土壤普查技术规程》要求，统筹样点的数量与位置，统一进行表层样点预布设。

4.2.1 表层样点预布设基本思路

(1) 主要考虑土地利用类型、地形地貌（影响表层土壤理化性质的主导因素），兼顾土壤普查中农业的重要性及各地指导农业生产的实际需求。

(2) 将全国所有普查区域按区域特征、土地利用类型、地形地貌进行分区分类。首先，对普查县按区域分为地理标志农产品区（以下简称“地标区”）与非地标区、牧区与非牧区。其次，按土地利用类型分成耕园地和林草盐碱地两大类。然后，对耕园地按地貌类型分为平地、丘陵山地。最后，将林草地按二级地类分为与食物生产有关和与食物生产无关。

(3) 耕园林草盐碱地均在土地利用二级地类上布点。

(4) 采取不同的布点密度在各种类型区进行布点。

耕园地布点密度：丘陵山地>平地。

林草地布点密度：非牧区>牧区，与食物生产有关>与食物生产无关。

(5) 为查清全国地理标志农产品区土壤特征，在该区加密样点。

4.2.2 表层样点预布设主要原则

(1) 分县布样原则。以县级行政区为样点布设基本行政单元，进行表层样点预布设。

(2) 全面性原则。遵循在土壤、土地利用类型和空间上全面性布点原则。确保普查县内每一个土种（耕园地）/土属（林草地）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。

(3) 代表性原则。同一区域内土壤与土地利用类型相同时，选面积最大图斑布点。

(4) 差异性原则。土地利用类型、地貌类型与区域特征不同，布点密度不同。耕园地布点密度>林草地；丘陵山地>平地；地理标志农产品区>非地理标志农产品区。耕地和园地（以下简称“耕园地”）“叠加图斑”按不大于 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 规划1个样点，林地、草地和盐碱地（以下简称“林草盐碱地”）“叠加图斑”按不大于 $4\text{ km}\times 4\text{ km}$ 规划1个样点（牧区省林草盐碱地叠加图斑按不大 $6\text{ km}\times 6\text{ km}$ 规划1个样点）。对于地理标志农产品区域的耕园林草地和地形起伏度大的区域耕园林草盐碱地，可根据实际情况加密布点。

4.2.3 表层样点预布设技术路线

表层样点预布设分为工作底图制作与表层样点布设两部分。工作底图制作部分需要准备土壤二普土壤图、三调土地利用图、DEM、行政区划图等基础图件，然后对基础数据进行处理。表层样点布设部分首先需要生成布点底图，接着规划样点总数，其次确定样点数量，再次确定样点位置，最后形成布点方案。图1为表层样点预布设技术路线。

4.2.4 表层样点预布设操作步骤

4.2.4.1 布点底图生成与分区分类处理

布点底图是表层样点布设的基础，所有表层样点均分布在布点底图范围内。

(1) 布点底图生成。从普查县1:1万全要素土地利用现状图中提取耕园地、林草盐碱地、线状地物（公路用地、城镇村道路用地、农村道路、沟渠）图层，将线状地物融并到前两个图层，再与经过空间配准标准化处理、统一比例尺（1:1万）和图斑精度的土壤图叠加，生成叠加图斑。叠加图斑是布点底图生成过程中的重要图层。

(2) 布点底图分区。将叠加图斑分为地理标志农产品区（简称地标区）、非地理标志农产品区（简称非地标区）两大类图层，地标区图层按二级地类和土种合并，非地标区耕地按二级地类和土种合并，非地标区园地按二级地类与土种合并，非地标区非牧区省林草盐碱地按一级地类和土属合并，非地标区牧区省与食物生产相关的林草盐碱地按二级地类和土种合并，非地标区牧区省与食物生产无关的林草盐碱地按二级地类和土属合并。对合并后的叠加图斑进行线状地物擦除处理。

(3) 布点底图分类。将(1)、(2)中生成的地标区与非地标区叠加图斑按照地形地貌特点，分为平地型图斑、丘陵山地型图斑2种图斑。将耕园地叠加图斑与DEM数据空间套合，统计每个耕园地叠加图斑内的平均坡度（Average Slope, AS），当 $AS\leq 6^\circ$ 时，为平地型图斑。当 $AS>6^\circ$ 时，为丘陵山地型图斑。

(4) 布点底图处理。村庄、城镇用地附近不布点处理：从国土三调地类图斑中提取村庄、城镇用地要素，生成缓冲区图层，将耕园地叠加图斑与缓冲区图层空间套合，擦除耕园地叠加图斑中与缓冲区重叠部分，确保村庄、城镇用地附近不布点。

缓冲区范围：40 m，包括城镇住宅用地、农村宅基地、特殊用地。

山区林草地样点道路可达处理：从林草地叠加图斑中提取丘陵山地林草地叠加图斑，从国土三调地类图斑中提取道路（公路用地、城镇村道路用地、农村道路）要素，并生成缓冲区图层（缓冲区范围50~500 m）；将缓冲区图层与山区林草地叠加图斑套合，选择与缓冲区有重合的叠加图斑进行布点，确保山区林草地样点道路可达。

(5) 图层分类与生成。将经过以上处理的叠加图斑分成17个图层，分别在每个图层内布点。17个图层包括6个耕地图层（水田平地、水田丘陵山地、水浇地平地、水浇地丘陵山地、旱地平地、旱地丘陵山地），6个园地图层（果园平地、果园丘陵山地、茶园平地、茶园丘陵山地、其他园地平地、其他园地丘陵山地），2个林地图层（乔木林地、竹林地、灌木林地、其他林地图层与橡胶园地图层），3个草地图层（天然牧草地、人工牧草地、其他草地与盐碱地）。普查县内地标与非地标区

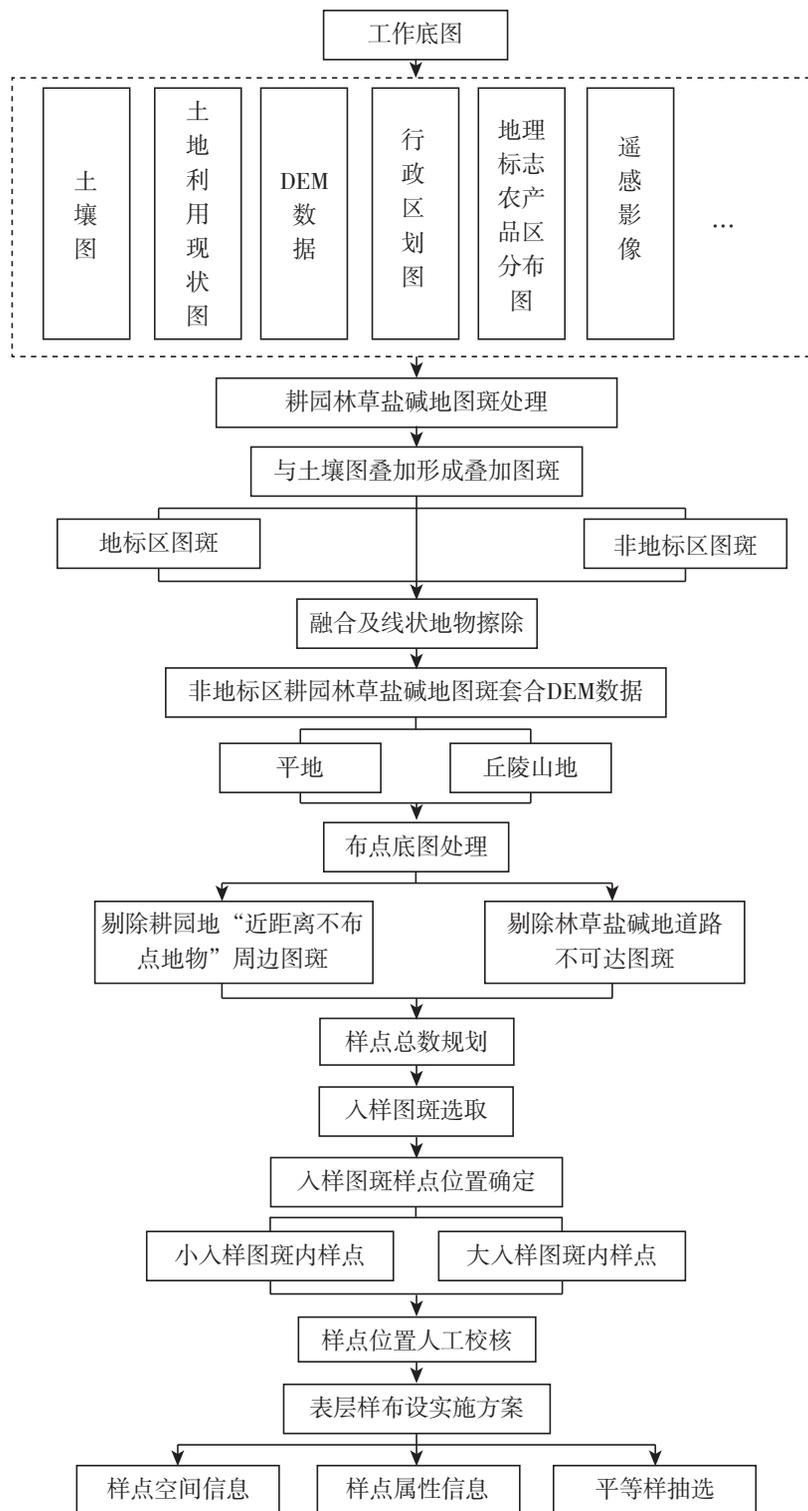


图1 表层样点预布设技术路线

的耕园林草盐碱地均按照上述方式进行分层。

4.2.4.2 样点总数规划

统计各类型区不同土地利用类型的面积，根据各类型区规划的布样密度，采用面积法确定普查县采样点数量。将普查县各类型区总面积除以相应的规划布样密度，初步确定普查县采样点数量，各类

型区规划布样密度见表 2 和表 3。

表 2 非地理标志农产品区规划布样密度

土地利用类型	地形地貌、区域特征与二级地类	布样密度
耕园地	平地	1 个/1 km ²
	丘陵山地	1 个/0.5 km ²
林地	非牧区省	1 个/16 km ²
	牧区省，与食物生产相关	1 个/16 km ²
	牧区省，与食物生产无关	1 个/36 km ²
草地盐碱地	天然牧草地	1 个/16 km ²
	人工牧草地	1 个/4 km ²
	牧区省，其他草地盐碱地	1 个/36 km ²
	非牧区省，其他草地盐碱地	1 个/16 km ²

表 3 地理标志农产品区规划布样密度

土地利用类型	地形地貌	布样密度
耕园地	平地	1 个/0.5 km ²
	丘陵山地	1 个/0.25 km ²
林草地	—	1 个/4 km ² ~1 个/16 km ²

4.2.4.3 入样图斑选取与样点数量确定

(1) 全县范围内遍历土种土地利用类型的入样图斑选取与样点数确定。统计普查县各图层叠加图斑内每种土地利用类型与土壤类型的组合中面积最大的图斑作为入样图斑，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。对选出的入样图斑按面积按由大到小排序，将面积小于 5 hm²（1:5 万土壤图最小上图面积）的入样图斑剔除（南方丘陵山地较多普查县最小上图面积 2 hm²）。当入样图斑面积大于 5 hm²而小于等于 1 km²（耕园地平原）或 16 km²（非牧区省林草盐碱地）时，每个图斑内布设 1 个采样点；当耕园地平地型入样图斑面积大于 1 km²而小于 2 km²时按 2 个样点布设，林草盐碱地入样图斑面积大于 16 km²而小于 32 km²时按 2 个样点布设，以此类推，其他类型图斑同理。详见表 4 至表 8。

表 4 耕园地平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 hm ² <入样图斑面积≤1 km ²	1
2	1 km ² <入样图斑面积≤2 km ²	2
3	2 km ² <入样图斑面积≤3 km ²	3
4	3 km ² <入样图斑面积≤4 km ²	4
5	4 km ² <入样图斑面积≤5 km ²	5

表 5 耕园地丘陵山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 hm ² <入样图斑面积≤0.5 km ²	1
2	0.5 km ² <入样图斑面积≤1 km ²	2

(续表)

类别	分类标准	采样点数量
3	$1 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 1.5 \text{ km}^2$	3
4	$1.5 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 2 \text{ km}^2$	4
5	$2 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 2.5 \text{ km}^2$	5

表6 非牧区省林草盐碱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	$5 \text{ hm}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 16 \text{ km}^2$	1
2	$16 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 32 \text{ km}^2$	2
3	$32 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 48 \text{ km}^2$	3
4	$48 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 64 \text{ km}^2$	4
5	$64 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 80 \text{ km}^2$	5

表7 牧区省与食物生产相关林草盐碱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	$5 \text{ hm}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 16 \text{ km}^2$	1
2	$16 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 32 \text{ km}^2$	2
3	$32 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 48 \text{ km}^2$	3
4	$48 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 64 \text{ km}^2$	4
5	$64 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 80 \text{ km}^2$	5

表8 牧区省与食物生产无关林草盐碱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	$5 \text{ hm}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 36 \text{ km}^2$	1
2	$36 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 72 \text{ km}^2$	2
3	$72 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 108 \text{ km}^2$	3
4	$108 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 144 \text{ km}^2$	4
5	$144 \text{ km}^2 < \text{入样图斑面积} \leq 180 \text{ km}^2$	5

(2) 剩余图斑中入样图斑选取与样点数确定。从普查县各类型叠加图斑中，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。首先，分别将各类型区剩余叠加图斑按面积由大到小排序；其次，统计面积大于 1 km^2 （耕园地平地）或 16 km^2 （非牧区省林草盐碱地）叠加图斑总面积，根据表4至表8中规定布样密度，确定这些面积大的叠加图斑（以下简称“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；最后，确定剩余叠加图斑中面积小于等于 1 km^2 （耕园地平地）或 16 km^2 （林草盐碱地）的所有图斑（以下简称“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。其他类型区同理。

网格法具体步骤如下。将剩余图斑与 8 km×8 km（牧区省：西藏、新疆、内蒙古、甘肃、青海、四川）和 6 km×6 km（非牧区省）网格叠加，网格起始点相同；其次，选网格内面积最大图斑作为初始入样图斑；最后，根据表 4 至表 8 中布样密度，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 5 hm² 的入样图斑剔除。

4.2.4.4 样点位置确定

首先，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。

其次，确定大入样图斑内样点位置。大入样图斑（面积大的入样图斑），需要利用 1 km×1 km（耕园地平地）、0.707 km×0.707 km（耕园地丘陵山地）或 4 km×4 km（非牧区省林草盐碱地、牧区省与食物生产相关林草盐碱地）、6 km×6 km（牧区省与食物生产无关林草盐碱地）网格将大入样图斑分解成多个小面积图斑（网格边长是在确定布样密度下，由单个样点对应面积开方得到）。各种尺度网格均以普查县叠加图斑图层西、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 4 至表 8 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。

最后，确定查缺补漏样点位置。查缺补漏样点是针对普查县内有较大空白区域未布点而设计的。当某查缺补漏网格（牧区省 8 km×8 km，非牧区省 6 km×6 km）内没有样点分布时，选取该网格内最大面积图斑作为入样图斑，将该图斑的质心点作为查缺补漏样点位置。

4.2.4.5 形成表层样点预布设方案

(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) 平行样品点抽选。采用简单随机抽样方式从全县采样点中抽选确定平行样点。先将全县样点按 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品点。平行样的抽样比为 1/45，即每 45 个全县样点中抽出 1 个平行样点，不足 45 个样点的部分抽取 1 个。

4.3 剖面样点预布设

4.3.1 剖面调查布点的原则

(1) 宏观代表性与局地代表性相结合。剖面样点应抓住省域范围土壤类型分布规律（地带性和非地带性分布），抓住典型土壤类型，尽可能覆盖所有主要的成土环境条件，同时布设在典型的景观部位。

(2) 体现普查重点和土壤演变。耕园地为重点，兼顾林草盐碱地，同时捕捉土地利用变更等不同动因类别（如水改旱、盐分洗脱、复垦等）土壤类型在时间上的演变。

(3) 代表性第一位、空间均衡性第二位。代表性与空间均衡性是权衡关系，在满足代表性的前提下尽可能使剖面样点分布空间相对均衡。

(4) 用途导向、可操作及效率。剖面布点要面向外业调查、土壤分类校准、土壤类型制图和土种志编制等用途，同时要具有野外可达性和野外挖掘采样的可操作性和效率。

4.3.2 剖面样点预布设总体思路

采用省域统筹布设剖面样点。土壤二普土壤图是对土壤分异的先验认识，以土壤二普土壤图斑为基础，宏观代表性与局地代表性相结合，考虑多尺度的土壤分异规律，布设重点是耕园地，兼顾林草

盐碱地，主体上采样典型布点，在土壤类型变化区加点，实现省域剖面样点布设（图2）。

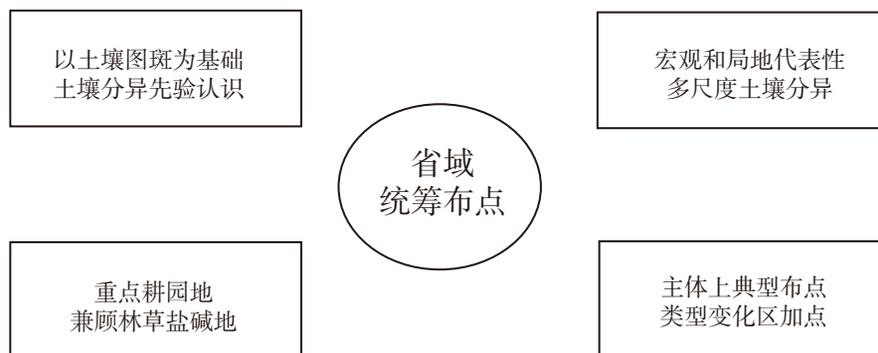


图2 剖面样点预布设的总体思路

4.3.3 工作底图的建立

(1) 处理土地利用图层。根据剖面布点需要，对国土三调地类图斑进行重新分类整理，分为水田、旱地、园地、草地、林地和不布点区域（河流、居民地、冰川、道路、水库水面、坑塘水面、沟和渠等），利用矢量转栅格工具转换成栅格图层。

(2) 处理土壤二普土壤图。有土种图时，建立土类—亚类—土属—土种序号，作为唯一标识；若无土种图，根据土种的概念，利用关键成土因素（母质、地形等）对土属或亚类图斑进行分解，得到“土种”，建立土类—亚类—土属—母质（地形地貌），作为唯一标识。

(3) 生成关键成土因素变量。包括高程、坡度、NDVI 标准差、Landsat 7 (b5)、地形地貌和母质等变量，用于识别土种的典型景观部位。

(4) 处理地貌类型图。将地貌类型分为两类：一是低起伏区，包括平原（地势起伏度<30 m）、台地（地势起伏度≥30 m）、丘陵（地势起伏度<200 m）、海拔≤1 000 m（低海拔）的区域；二是高起伏区，包括丘陵（地势起伏度<200 m）、海拔>1000 m（中海拔以上）、起伏山地（地势起伏度>200 m）。

(5) 制作道路潜在可达性图层。在低起伏区和高起伏区图中，假设低起伏区为道路可达区域，高起伏区为不可达区域。在土地利用类型中，假设耕园地为可达区域，林草地为不可达区域。将以上两个图层进行叠加，如有一方为不可达，则认定为不可达，需要道路作为辅助。设定低起伏区道路周边1 000 m为可达区域。高起伏区道路周边200 m为可达区域，综合以上信息，形成道路潜在可达性图层。进一步以道路为基准，以100 m为间隔，依次向外计算道路可达性级别。

4.3.4 剖面样点预布设技术流程

剖面样点布设的技术步骤主要包括估算省域剖面样点数、确定各土种样点数量、筛选土种代表性图斑、识别典型的景观位置和土壤类型变化区补点（图3）。

4.3.4.1 计算省域样点数量

(1) 计算省域剖面样点基数。在全国层面，以全国6万个剖面样点的总体控制要求为基数，结合自然重要性（温度带、干湿区、地貌、植被）和农业重要性（粮食产量）区域差异，打分量化。在省域层面，考虑省域内耕园林草地面积（林草地布点密度为耕园地1/16）和土壤类型复杂度，打分量化。全国各省域剖面样点布设基数的计算公式为：

$$\text{某省域剖面样点数} = \text{全国剖面样点计划数} \times (\text{该省自然重要性得分} \times w_1 + \text{该省农业重要性得分} \times w_2 + \text{该省有效面积得分} \times w_3 + \text{该省土壤类型复杂度得分} \times w_4) \quad (1)$$

式中， w_1 、 w_2 、 w_3 和 w_4 分别为1/6、1/6、3/6和1/6。

(2) 征求省域剖面样点数量意见。以省域剖面样点基数为基础参考，进一步征求各省（区、市）专家和省级土壤普查办意见，从服务于各级土种志撰写的角度出发，确定各省域剖面样点数量

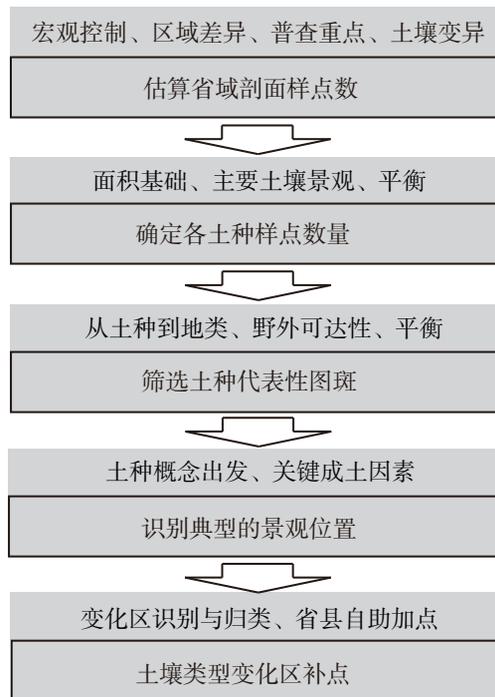


图3 剖面样点布置技术流程

及编制的土种志级别。

4.3.4.2 确定各土种样点数量

(1) 计算各土种面积。计算各土种图斑的面积和各土种总面积。对省域内无土种图斑的区域，一般使用土属图，依据各地景观特征，使用成土母质和地形变量对土属图斑进行分解，得到土种图斑。

(2) 根据面积分配样点。将土种按面积由大到小排序，根据样点预布设样点数量和土种数量分配样点。当预布设样点数量 \leq 土种数量时，按土种面积从大到小逐个土种分配1个样点，直至分完为止；当预布设样点数量 $>$ 土种数量时，按照土种面积从大到小，依次对各土种进行样点分配，往返循环直至样点分配结束。

4.3.4.3 筛选各土种的代表性图斑

(1) 统计各土种图斑的潜在野外可达性级别。根据潜在野外可达性图层，统计各土种图斑（含“土种”图斑）的道路可达性级别，认定其道路可达性的最高级别为该图斑的道路可达性级别。

(2) 确定各土种的代表性地类。统计各土种所有图斑中，面积最大的地类作为该土种的最代表地类，面积第二大的地类作为次代表地类，面积第三大的地类作为次代表地类。依此类推，确定各土种的代表性地类列表。

(3) 依据代表性地类、图斑面积和潜在野外可达性级别筛选代表性图斑。基于地类代表性级别优先、覆盖不同主要地类的原则，挑选各土种系列图斑中，面积最大、潜在野外可达性级别最高的图斑作为其代表性图斑。若该土种分配1个样点，则选择其最代表地类面积最大、潜在野外可达性最高的图斑作为该土种的代表性图斑；若该土种分配样点数量超过1个，则依据其代表性地类名单，考虑覆盖不同主要地类的原则，筛选代表性图斑。

4.3.4.4 识别各土种的典型景观部位

有了各土种代表性图斑之后，通过对图斑内土种的成土环境条件进行属性空间和地理空间数据分析，识别该土种的典型景观部位，确定样点位置。

(1) 识别各土种的典型成土环境条件。在每个土种的所有图斑范围内，对关键成土因素变量进行频率分析，识别其最高频数至最高频数1/2范围对应的数值区间，作为该成土环境的典型环境数值

区间。

(2) 识别土种的典型景观部位区。在典型环境数值区间将属性空间映射到地理空间上，确定各土种各个关键环境变量的典型地理空间区域，生成多个典型环境条件图层，对这些图层进行空间求交，得到公共的地理范围区，即典型景观部位区。

(3) 确定典型样点的初始位置。基于识别的土种典型景观部位区，结合筛选的该土种的代表性图斑，叠加获取该土种代表性图斑的典型景观部位区，选择典型景观部位区中距离图斑几何中心最近的部位，作为该图斑内的初始样点位置。遍历所有土种的所有代表性图斑，完成剖面样点初始位置的确定。

4.4 样点预布设结果的省级校核

4.4.1 表层样点预布设结果的省级校核

(1) 校核国家下发的样点数据完整性。对照样点信息下发清单，检查下发各县的文件数量、类型与内容是否齐全。打开样点矢量文件，核查样点坐标、属性表和整体空间分布有无异常。

(2) 校核样点的土地利用类型是否发生变化。土壤三普工作底图中土地利用现状图的时间节点为2019年12月31日，经过3年多时间，有些地区的土地利用类型发生变化，如2019年之前是耕地，现在变为林地或园地；或者原来是林地现在变为耕地。针对上述情况，需要对照土壤三普工作底图与本地现实土地利用变更信息，校核样点所在入样图斑的土地利用属性，并按照耕园地、林草盐碱地布样密度，重新布设样点。

(3) 校核样点的道路可达性。主要针对丘陵山地林草地样点进行道路可达性校核。利用国土三调地类图斑图层、遥感影像判断样点的道路可达性。对于到达困难的样点，需要在对应的入样图斑或与入样图斑土壤、土地利用属性相同的邻近叠加图斑内调整样点位置。若无可达位置，则删除该样点，并在耕园地上新增样点。

(4) 校核样点的可用性与持久性。校核表层样点实际位置是否可用于外业调查采样、是否长期可用。利用国土三调地类图斑图层、遥感影像判断样点位置的可用性与持久性，当表层样点落在建设用地、军事用地、自然保护区、城市规划区等实际无法采样或长期来看不可用的位置时，需要将其移动到与原定土地利用类型和土壤类型相同的临近图斑内。

(5) 校核地理标志农产品区样点数量与样点空间位置合理性。地理标志农产品区（以下简称“地标”）样点根据各省（区、市）提供地理标志农产品统计表信息布设，各普查县需要根据地标材料与地标产品实际分布情况，逐一校核地标区内加密样点的地标信息是否属实。对于落入地标产品种植范围内的样点，需要校核样点的地标信息是否正确。对于未落入地标产品种植范围内的样点，需要修改相关属性将其转化为非地标样点。随后重新计算该区域内规划样点数量，若实际样点数量与规划样点数量不相等，则需要对样点进行增加或删除操作，使其满足规划样点数量。

(6) 校核各类型区样点密度是否与布点方案一致。校核各类型区表层样点布点密度是否符合方案要求。普查县各类型区的表层样点布点密度因土地利用类型、地形、是否存在地理标志农产品等情况不同而不同。如果某类型区实际布点密度小于方案要求布点密度，需要在该类型区内新增表层样点，使其满足方案要求。

(7) 校核普查县域内是否存在较大空白区域未布点。利用国土三调地类图斑图层、遥感影像，校核普查县耕园地范围内是否存在较大区域未布点，如山区沟冲田。若存在，则在其中面积较大的耕园地图斑上新增样点。

(8) 校核非土壤普查范围内土地利用类型区的布点合理性。校核建设用地集中区是否有样点布设。当表层样点所在位置落在建设用地集中区，且其入样图斑面积较小时（如小于 0.1 km^2 ），需要将该样点删除。

(9) 校核样点是否靠近土壤污染源。当表层样点距离工业用地、采矿用地等疑似土壤污染源较近时，原则上要保留该样点，并与生态环境部已开展的全国土壤污染详查点位衔接，两者的距离较近

时（如小于 50 m），可选择土壤污染详查点位作为样点位置。

4.4.2 剖面样点预布设结果的省级校核

（1）检查样点的代表性。主要是检查样点的宏观代表性和局地代表性，宏观代表性主要是室内检查样点是否覆盖了省域内主要成土环境和土壤类型，同时也应当兼顾土壤类型的农业重要性，在地市级行政范围上，每个土种（属）类型至少有 1 个样点，且样点位于该土壤类型的主要分布区域。局地代表性主要是检查样点所在的景观部位（地形部位、海拔、坡度等）是否是其土壤类型的典型景观部位。

（2）检查样点的土地利用情况。主要是检查样点的土地利用方式，样点应尽量远离人为活动频繁地区、城镇道路、沟渠坑塘、污染源等周边区域，进一步判断样点土地利用类型与实际土地利用类型是否一致，若样点位置的土地利用类型发生了变更，且这种变更在土壤图斑内的面积百分比小于 50%（非主导），应将样点位置调整到土壤图斑内原土地利用类型上；若土壤图斑内的土地利用类型变更面积大于 50%，且引起了土壤类型的变化，则需要将该样点调整至相同土种的次要图斑（面积次要）上。

（3）检查土壤类型改变区样点覆盖并进行必要补点。根据水改旱、旱改水、新增耕地（2000 年以来）、土壤改良、土地平整等分布数据，获取变更年限信息，检查下发样点对这些土壤类型改变区的覆盖情况。对于样点覆盖区域不足的，适当补充一定数量的代表性样点。主要从变更方式（例如旱改水）和变更年限（例如 20 年）两方面综合考虑代表性。

（4）检查样点的野外可达性。基于潜在野外可达性图层、遥感影像、道路网、当地野外土壤调查专家经验或实地查看，确定样点位置是否可以到达。

（5）检查样点土壤类型名称正确性，以及是否满足各级（县级、地市级或省级）土种志编制。基于《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》，检查土壤类型名称的正确性，对于各级土种志编制，主要检查样点的土壤类型是否包含了该行政区划级别内所有主要的土壤类型，若样点数量小于该级别主要土壤类型数量的，应从土壤类型和样点数量两方面进行补充。

4.5 样点编码赋值

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/T 2260—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+样点类型 1 位+序号 5 位（如 00001……）+样品类型 1 位（一般样品为 1，容重样品为 2，水稳性大团聚体样品为 3）+样品层次序号（表层样品为 0，剖面样品为发生层序号），共 18 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，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，表层样为 0，剖面样为 1；

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；

编码第 17 位为样品类型，表层土壤样品为 1，容重土壤样品为 2，水稳性大团聚体样品为 3；

编码第 18 位为样品层次序号，表层土壤样品为 0；剖面土壤样品为发生层由上及下的序号，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。

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。

4.6 样点信息与任务赋值

4.6.1 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，每一预布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。

4.6.2 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。

第三次全国土壤普查外业 调查与采样技术规范 (修订版)

执笔人：赵玉国 吴华勇 张甘霖 陈章全 李德成
鞠兵 慈恩 孙福军 卢瑛 王秋兵
吴克宁 杨金玲 张凤荣 袁大刚 李荣
章明奎 齐雁冰 蔡崇法 潘剑君 常庆瑞
谢德体 杨飞 杨顺华 卢昌艾 李保国
杨帆 高明杰 袁承程 滕应 沈仁芳

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2023年2月

目 次

1	适用范围	86
2	规范性引用文件	86
3	术语与定义	86
3.1	表层土壤混合样品	86
3.2	土壤发生层	86
3.3	土壤剖面	86
3.4	整段土壤标本	86
3.5	纸盒土壤标本	86
3.6	土壤新生体	87
3.7	土壤侵入体	87
3.8	耕作层厚度	87
3.9	有效土层厚度	87
3.10	土体厚度	87
3.11	绿肥作物	87
3.12	高标准农田	87
4	外业调查前期准备	87
4.1	工作计划制定	87
4.2	调查队伍组建	87
4.3	外业调查培训	88
4.4	调查物资准备	88
5	预设样点外业定位	90
5.1	样点定位	90
5.2	样点局地代表性核查	90
5.3	预设样点现场调整	90
6	成土环境与土壤利用调查	91
6.1	样点基本信息	91
6.2	地表特征	91
6.3	成土环境	94
6.4	土壤利用	97
6.5	景观照片采集	100
7	表层土壤调查与采样	101
7.1	采样深度	101
7.2	耕作层厚度观测	101
7.3	表层土壤混合样品采集	101
7.4	表层土壤容重样品采集	102
7.5	表层土壤水稳性大团聚体样品采集	103
7.6	表层土壤样品包装	103
7.7	表层土壤调查与采样照片采集	103
7.8	表层土壤样品暂存与流转	104
8	剖面土壤调查与采样	104
8.1	剖面设置与挖掘	104

8.2	土壤发生层划分与命名	106
8.3	土壤剖面形态观察与记载	108
8.4	剖面土壤样品采集	117
9	外业调查与采样质量控制	120
9.1	外业调查人员培训与专家技术指导	120
9.2	预设样点定位与信息描述质量控制	120
9.3	样品采集质量控制	120
9.4	样品暂存与流转质量控制	121
9.5	调查数据提交质量控制	121
附录 1	成土环境与土壤利用调查及表层土壤采样信息采集项目清单及填报说明	122
附录 2	母质类型的划分	128
附录 3	土地利用现状分类	129
附录 4	土壤样品交接表	134
附录 5	土壤剖面形态调查信息采集项目清单及填报说明	135
附录 6	土壤主要发生层命名与符号标准	138

1 适用范围

本规范规定了第三次全国土壤普查（以下简称“土壤三普”）外业调查与采样的工作内容、工作流程和技术要求。

2 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规范必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规范；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

- GB 19377—2003 《天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标》
- GB/T 17296—2009 《中国土壤分类与代码》
- GB/T 33469—2016 《耕地质量等级》
- NY/T 2997—2016 《草地分类》
- GB/T 21010—2017 《土地利用现状分类》
- GB/T 30600—2022 《高标准农田建设 通则》
- 《中国土壤系统分类检索（第三版）》
- 《土壤学大辞典》
- 《野外土壤描述与采样手册》

3 术语与定义

下列术语与定义适用于本规范。

3.1 表层土壤混合样品

指采用梅花法、棋盘法或蛇形法等布设方法，从同一个田块或样地的多个采样点按同一深度、同一重量采集并混合均匀的表层土壤样品。

3.2 土壤发生层

指由成土作用形成的，具有发生学特征的土壤剖面层次，能反映土壤形成过程中物质迁移、转化和累积的特点。

3.3 土壤剖面

指由与地表大致平行的层次组成的从地表至母质的三维垂直断面。

3.4 整段土壤标本

指从野外用木盒等套取并经加工制作而成的保持自然结构形态的原状土柱标本，可反映土壤剖面性状。主要服务于辨识土壤类型、理解土壤形成过程、发现障碍层等科研、教学、科普等任务。

3.5 纸盒土壤标本

指土壤剖面调查过程中，从野外采集并保存于纸盒中的一组保持自然结构形态的土壤发生层土块标本，每组土块标本的排列顺序与剖面发生层次序保持一致。主要服务于比土评土、展示等任务。

3.6 土壤新生体

指土壤发生过程中物质淋溶淀积和重新集聚的生成物。

3.7 土壤侵入体

指非土壤固有的，而是由外界进入土壤的特殊物质。

3.8 耕作层厚度

指经耕种熟化而形成的土壤表土层厚度。

3.9 有效土层厚度

指从地表起植物根系垂直延伸到可吸收养分的土层厚度（不含半风化体及粒径大于 2 mm 的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。当土体中既无碎石层也无障碍层时，为母质层上界面以上厚度。

3.10 土体厚度

指母岩层以上，由松散土壤物质组成的，包括表土层、心土层、母质层（不含半风化体及粒径大于 2 mm 的砾石或卵石含量超过 75% 的碎石层）在内的土壤层总厚度。

3.11 绿肥作物

指以其新鲜植物体就地翻压或经堆沤后施入土壤作肥料用的栽培植物的总称。

3.12 高标准农田

指田块平整、集中连片、设施完善、节水高效、农电配套、宜机作业、土壤肥沃、生态友好、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、稳产高产的耕地。

4 外业调查前期准备

4.1 工作计划制定

地方各级土壤普查办根据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”）的相关要求，结合地方具体情况，组织制定本辖区的外业调查工作计划，包括外业调查队伍组建、调查物资准备、剖面 and 表层样点复核、学习与培训、调查时间和调查路线拟定、现场踏勘、工作调度、样品暂存与流转、质量控制、安全生产等方面的计划。县级组织的各外业调查采样机构的工作计划应具体到人员、样点、时段，并经县级土壤普查办审核确认后，由县级土壤普查办统一呈报省级土壤普查办备案。

关于调查时间，依据全国土壤普查办规定的土壤普查总体进度与当地适宜时间节点，进行外业调查。对于耕地、园地等样点，各地应根据当地气候条件、物候条件、土地利用方式、种植制度和耕作方式等因素，充分利用耕种前、收割后的窗口期，因地制宜地安排调查工作时间，避免施肥、灌水、降水、耕作等的影响。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。

4.2 调查队伍组建

地方各级土壤普查办依据土壤三普外业调查专业要求和工作需求，结合本地实际，组建外业调查

队伍。表层样点外业调查队伍一般由县级土壤普查办组建。剖面样点外业调查队伍由省级土壤普查办统一组建。每个外业调查队至少包含1名现场技术领队，持证上岗。表层样点外业调查现场技术领队需具有土壤学相关专业背景，受过全国土壤普查办或省级土壤普查办组织的土壤三普外业培训，通过培训考核，获得培训合格证书。剖面样点外业调查现场技术领队需具有土壤分类、土壤剖面调查等工作背景，受过全国土壤普查办组织的土壤三普外业培训，通过培训考核，获得培训合格证书。每个外业调查队必须有本县农技骨干人员全程深度参与，对一线质控负责，协助与调查样点农户对接并完成调查任务。根据实际工作需要，外业调查队一般还应配备联络、后勤保障、劳动力保障等人员。

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。

4.3 外业调查培训

在明确土壤普查工作任务基础上，对实际参与外业调查的工作人员开展业务培训，分为外部培训和内部培训两个方面。外部培训是指每个外业调查队的技术领队需参加全国土壤普查办或省级土壤普查办组织的外业调查培训，并通过培训考核，获得培训合格证书。内部培训是指外业调查队内部开展的外业调查培训和实习。外部和内部培训主要包括以下内容。

(1) 开展调查区域自然地理状况和成土因素（气候、地形地貌、成土母质、土地利用等），成土过程，土壤类型、特征与分布，土壤利用与改良，农业生产、农田建设及其历史变化等内容的培训和学习。

(2) 开展外业调查需要的基础土壤学知识，包括本技术规范在内的外业土壤调查与采样、主要形态学特征的识别与描述等内容的培训和学习。

(3) 开展外业调查全流程的现场实操培训和实习，现场发现问题并及时提出解决方案。

(4) 开展外业调查理论与实操考核。

4.4 调查物资准备

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

4.4.1 图件文献类

图件：预布设样点分布图、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，剖面调查点应同时准备每个点位的工作底图，一般是将全国第二次土壤普查（以下简称“土壤二普”）土壤类型图分别叠加显示在土地利用、数字高程模型（digital elevation model, DEM）、高分辨率遥感影像和地质图上，建议放大到1:5 000比例尺，A3或A4幅面打印出图并装订成册，以有效显示剖面点位及周边区域成土环境信息，便于野外调查使用。

所有工作图件应叠加较为致密的经纬度网格，并标示线段比例尺，便于野外随时读取当前位置和判断地物距离。上述图件资料一般由省级土壤普查办统一制作和下发。

有条件的县级土壤普查办，尽可能收集县域植被类型图、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成果总结时使用。

文献资料：《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》、《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）、《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》及土壤二普文献资料等。同时，应当注重自然成土环境资料、农业生产和农业基础设施资料的收集与整理。

(1) 自然成土环境资料，收集和掌握调查区气温和降水数据，以及水文和水文地质资料等，主要用于了解本地区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、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、涝等问题提供参考。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。

(2) 农业生产及农田建设情况资料，县域内农业生产情况，包括现有耕地、园地、林地和草地

生产布局，主要作物类型及复种、轮作、连作、休耕与撂荒情况，土地利用类型及变更情况，历年施用肥料品种、施肥量、施肥方式、施肥时间、秸秆还田、有机肥施用和绿肥作物种植情况，深翻深松和少耕免耕情况，障碍因素种类（包括连作障碍）与影响及改土情况，自然灾害类型与影响情况，灌溉保证率情况，农作物产量及变化情况等。农田建设情况资料，包括耕地和园地平整、梯田建设、灌排设施和电力设施情况资料等。

4.4.2 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，无人机拍摄更能宏观地反映景观或地块单元的整体地貌、植被、土地利用等成土环境信息。

4.4.3 采样工具类

4.4.3.1 表层土壤调查与样品采集

不锈钢刀、不锈钢锹（避免使用铁质、铜质等材质的工具直接接触样品，以免造成污染）、不锈钢土钻、竹木质或塑料质刀具和铲子、不锈钢环刀和环刀托、聚乙烯塑料簸箕和塑料布、橡皮锤、地质锤、尼龙筛（筛孔直径 5 mm）、弹簧秤或便携电子秤、刻度尺（塑料质、木质或不锈钢质）等。

4.4.3.2 剖面土壤调查与样品采集

除配备与表层土壤调查与样品采集相同的工具外，还需配备不锈钢质的锹、镐、剖面刀，统一定制的剖面尺（要求为黑底、白字、白色刻度、不缩水、不易反光的帆布质标尺，不得使用其他颜色的标尺），土壤比色卡，微型标尺（拍摄土壤形态特征照时使用），塑料水桶，喷水壶，放大镜（ ≥ 10 倍），剪刀（林地区根系较粗，建议备用“果树剪”），滴管，去离子水，10%稀盐酸试剂，邻菲咯啉试剂等。其中，关于土壤比色卡，为统一土壤三普的土壤颜色和命名系统，优先使用《中国标准土壤色卡》，其次是日本《新版标准土色贴》，再次是美国 *Munsell Soil Color Book* 最新版，不得使用其他土壤比色卡产品。

4.4.3.3 整段土壤标本采集

挖土坑工具：锹、铍、镐、铲等工具。

修土柱工具：剖面刀、油漆（灰）刀、平头铲、木条尺、手锯、修枝剪、绳子、宽布条、泡沫塑料“布”等。

装标本的木盒：内部尺寸为高 100 cm、宽 22 cm、厚 5 cm，木盒的框架、前盖板和后盖板用 2 cm 厚木板制成。前、后盖板用螺钉固定在框架上，可随时卸离。依据整段土壤标本制作方法，所使用木盒为一次性用品。为便于后期统一制作，不使用聚氯乙烯（PVC）盒和铁皮盒等。

4.4.3.4 地下水和灌溉水样品采集

硬质塑料瓶等。

4.4.3.5 土壤水稳性大团聚体样品采集

固定形状的容器，包括硬质塑料盒、广口塑料瓶等。

4.4.3.6 纸盒土壤标本采集

统一定制的纸盒（长 32.5 cm、宽 8.5 cm、高 3.5 cm，内部等分 6 格）、不锈钢刀（小号，便于修饰）等。纸盒盖面设计的填报项应包括样点编号、地点、经纬度、土壤发生分类和系统分类名称、海拔、地形、母质、植被、土层符号、土层深度、采集人及单位、采集日期等。

4.4.4 现场速测仪器类

(1) 地质罗盘仪（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) 便携式土壤 pH 计（可选）。

(3) 便携式电导率速测仪（可选，用于盐碱土区域）。

(4) 土壤紧实度仪（可选，用于基于土壤紧实度变化判断耕作层厚度）。

4.4.5 辅助材料类

土样布袋、塑料自封袋、样品标签、棉质和乳胶手套、记录本、橡皮筋、黑色记号笔、铅笔、胶带等。

4.4.6 生活保障类

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

4.4.7 集成软件类

移动终端 App 等，样点成土环境、土壤利用、剖面形态、土壤类型等外业调查信息统一填报至移动终端 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，通过移动终端 App 在调查样点附近一定范围内，设定“电子围栏”，约束外业调查工作人员在限定范围内完成外业调查和采样工作。

5 预设样点外业定位

针对每个预设调查样点，按如下流程进行外业定位。

5.1 样点定位

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

5.2 样点局地代表性核查

外业调查人员进入预设样点电子围栏内，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) 表层样点代表性核查，在以预设样点为中心、100 m 为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 5.3 节。样点通过代表性核查或必要位置调整后，在电子围栏内选择面积较大的田块，以其中心位置作为梅花法、棋盘法或蛇形法等混样方法的中心点，并读取地理坐标、海拔高度，并确定承包经营者等基本信息，进行成土环境和土壤利用调查及土壤样品采集工作。耕地采样中心点一般定在电子围栏内较大田块的中央。

(2) 剖面样点代表性核查，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（主要是土种图斑，部分为土属图斑）。结合土壤图、遥感影像、数字高程模型、土地利用图等野外工作底图，在预布设样点所在土壤图的图斑范围内进行踏勘，核实确定图斑范围内主要土壤类型，注意此处，不是野外寻找预布设样点的赋值土壤类型，而是核实预布设样点所在图斑范围内主要土壤类型。在图斑内主要土壤类型的典型位置进行土壤剖面的设置、挖掘、观察、描述和采样。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、成土母质、土地利用及其组合模式相对一致。

5.3 预设样点现场调整

若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 5.2 节所述要求，并上报省级土壤普查办审核。

(1) 针对表层样点，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) 针对表层样点，必须在土壤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，或土壤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) 针对表层样点，在平原、盆地地区，土壤类型、地形地貌和土地利用方式分异相对较小，最大调整距离一般在电子围栏边界之外的 200 m 以内。

(4) 针对表层样点，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电子围栏边界之外的 100 m 以内，并寻找相似的地形部位。

(5) 针对表层和剖面样点，若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，且尽量选择距离预设样点较近的符合要求图斑，针对表层样点还需尽可能保持土地利用类型不变，布设替代样点，沿用原样点编号，此种情况的调整除省级土壤普查办审核外，还需上报全国土壤普查办审定。

样点现场调整流程主要有 3 个步骤，首先野外通过移动终端 App 在拟调整后的样点位置提出样点现场调整申请；然后通过移动终端 App 提交样点现场调整的图片、文字等申请资料至省级土壤普查办，重点说明预布设样点不符合要求的理由；最后由省级土壤普查办负责审核，审核通过后，即可在新调整后的样点位置开展调查与采样。

6 成土环境与土壤利用调查

包括样点基本信息调查、地表特征调查、成土环境调查、土壤利用调查、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。

成土环境与土壤利用调查及表层土壤采样信息采集项目清单，见附录 1。外业调查时，需同时完成移动终端 App 电子版和纸质版调查表信息填报，纸质版调查表填报完成后，提交至省级土壤普查办。

6.1 样点基本信息

记录调查样点的行政区划、地理坐标、海拔高度、采样日期、天气状况、调查人员及其所属单位、调查机构、样点所在地块的承包经营者、县级一线质控人员、国家级和省级专家指导与质控情况等。

(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（区、市）—市—区（县、市）—乡（镇、街道）—建制村”顺序，记录调查采样点所在地。每个样点已经赋值，野外核查确认。

(3) 地理坐标，参照国家网格参考系统 [2000 国家大地坐标系（CGCS2000）]，经纬度格式采用“十进制”，单位：度（°），如 32.330 111°N、118.360 214°E。每个样点确定位置后，由移动终端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，由移动终端采集和赋值，单位：m。

(5) 采样日期，采用“202×年×月×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) 调查人员，填写现场技术领队的姓名及所属单位。调查人所属单位即调查人编制或劳动合同所在的法人单位。

(8) 调查机构，填写调查任务承担机构全称。

(9) 承包经营者，填写耕地和园地样点所在地块的承包人姓名、手机号和身份证号。林地和草地样点无须填报。

(10) 县级一线质控人员，填写每个样点的县级一线质控人员姓名、单位、手机号和身份证号。

(11) 国家级和省级专家指导与质控情况，填写样点是否接受了国家级和省级专家在线或现场技术指导与质控及专家姓名、单位、手机号和身份证号。

6.2 地表特征

(1) 土壤侵蚀，观察和记述样点所在景观单元内是否存在土壤侵蚀，以及侵蚀类型、侵蚀强度，

具体标准如表 1 和表 2 所示。

表 1 土壤侵蚀类型

编码	类型	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，在降水量少的干旱和半干旱地区侵蚀明显，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，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	同时存在水蚀和风蚀

表 2 土壤侵蚀程度

编码	程度	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，并对耕作产生直接影响，应当记录基岩出露丰度和间距信息（表 3、表 4）。

注意：区别于“（3）地表砾石”，基岩是“根植于”土壤底部深处，无法移动且影响耕作。其中，丰度为基岩出露面积占景观单元内地表面积的比例，单位：% ，记录数据范围；间距为基岩出露的平均间隔距离，单位：m，记录数据范围。

表 3 基岩出露丰度

编码	描述	丰度/%	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，但小农具尚可局部使用
A	很多	≥50	不宜农用

表 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，指分布在地表的、除出露基岩以外的砾石、石块、巨砾等。对表层土壤的适耕性产生了影响，记录其丰度、大小等信息（表5、表6）。其中，丰度为砾石覆盖地表面积占地表面积的比例，单位：% ，记录数据范围；大小为占优势丰度的砾石直径范围，单位：cm，记录数据范围。

表5 地表砾石丰度

编码	描述	丰度/%	说明
N	无	0	对耕作无影响
F	少	<5	对耕作有影响
C	中	5~15	对耕作影响严重
M	多	15~50	不宜耕作，但小农具尚可局部使用
A	很多	≥50	不宜农用

表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（表7）。其中，丰度为地表盐斑覆盖面积占地表面积的比例，单位：% ，记录数据范围；厚度为地表盐斑的平均厚度，单位：mm，记录数据范围。

表7 地表盐斑丰度和厚度

盐斑丰度			盐斑厚度		
编码	描述	丰度/%	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，在地表形成的空隙，记录其丰度、宽度（表8）等指标。主要调查普遍出现地表裂隙的土壤类型，包括半水成土中的砂姜黑土、盐碱土中的碱土、干旱土等。其中，丰度为单位面积内地表裂隙的个数，单位：条/m²，记录具体数据；宽度为地表裂隙的平均宽度，单位：mm；记录数据范围。

表8 地表裂隙宽度描述

编码	描述	裂隙宽度/mm
VF	很细	<1
FI	细	1~3
ME	中	3~5
WI	宽	5~10
VW	很宽	≥10

(6) 土壤沙化，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，参考标准如表 9 所示。

表 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
	草地总覆盖度相对百分数的减少率/%	0~5	6~20	21~50	>50
地形特征		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
裸沙面积占草地总表面积相对百分数的增加率/%		0~10	11~15	16~40	>40

注：参照《天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标》（GB 19377—2003）。

6.3 成土环境

6.3.1 气候

各个样点均已赋值，野外不做记录。

6.3.2 地形

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进行准确记述。

具体分为大地形、中地形和小地形 3 个级别，附加以地形部位、坡度、坡形、坡向 4 个辅助特征，需在野外加以描述。

(1) 大地形分类，大地形分为山地、丘陵、平原、高原、盆地（表 10）。

表 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，中地形分为低丘、高丘、低山、中山、高山、极高山、黄土高原、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。高原大地形上区分低丘、高丘、低山、中山、高山、极高山等中地形时，首先要依据相对高差进行判断，当相对高差小于 500 m 时可判断为低丘或高丘，其次当相对高差超过 500 m 时，根据绝对高程判断低山、中山、高山、极高山等（表 11）。

(3) 小地形分类，详见表 12。

注意：大、中、小地形是由大及小，逐级内套的，如大地形的高原类型内，中地形可以出现山麓平原、洪积平原等。中地形的冲积平原类型内，小地形会出现河间地、阶地等。

表 11 中地形分类

编码	名称	编码	名称	描述
AP	冲积平原	LH	低丘	相对高差<200 m
CP	海岸（海积）平原	HH	高丘	相对高差 200~500 m
LP	湖积平原	LM	低山	绝对高程 500~1 000 m
PE	山麓平原	MM	中山	绝对高程 1 000~3 500 m
DF	洪积平原	OM	高山	绝对高程 3 500~5 000 m
WI	风积平原	EM	极高山	绝对高程 \geq 5 000 m
SL	沙地	LOP	黄土高原	
DT	三角洲			

表 12 小地形分类

编码	名称	编码	名称
IF	河间地	LA	潟湖
VA	沟谷地（含黄土川地）	BR	滩脊
VF	谷底	CO	珊瑚礁
CH	干/古河道	CA	火山口
TE	阶地	DU	沙丘
FP	泛滥平原	LD	纵向沙丘
PF	洪积扇	ID	沙丘间洼地
AF	冲积扇	SL	坡（含黄土梁、峁）
DB	溶蚀洼地	LT	黄土塬
DE	洼地	RI	山脊
TF	河滩/潮滩	OT	其他（需注明）

（4）地形部位，详见表 13。

表 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	坡顶（顶部）	IN	高阶地（洪-冲积平原）
UP	坡上（上部）	LO	低阶地（河流冲积平原）
MS	坡中（中部）	RB	河漫滩
LS	坡下（下部）	Bol	底部（排水线）
BOF	坡麓（底部）	SZ	潮上带
		IZ	潮间带
		OT	其他（需注明）

(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。野外需测量并填报具体坡度（°）数据，其中坡度分级可见表 14。

表 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	中坡
V	>25	陡坡

(6) 坡形，在本次调查中，坡形的变化分为拱起、凹陷和平直 3 类，对应 3 种主要的坡形类型——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，其中图 1 为罗盘中的方向，也可以用 GPS 或者手机 App 确定坡向。平原或平坦地形区的样点，不存在坡向，坡向信息填报为“无”。表 15 为坡向分类。

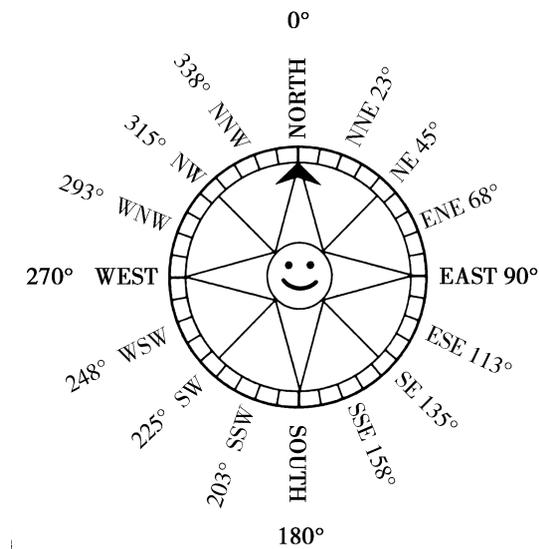


图 1 罗盘中的方向

表 15 坡向分类

角度/（°）	坡向	角度/（°）	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

6.3.3 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，野外需进行校核确认，错误或空缺者修正填报。受近现代冲积、洪积、沉积等过程影响，土被较深厚的平原、沟谷等区域，母岩深埋，母岩类型均填报第四纪松散沉积物。

(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，详细内容见附录 2。其中，原位风化类型有残积物、坡残积物，水运积物类型有坡积物、洪积物、冲积物、河流沉积物、湖泊沉积物、海岸沉积物，风运积物类型有风积沙、原生黄土、黄土状物质（次生黄土），其他类型有崩积物、冰川沉积物（冰碛物）、冰水沉积物、火成碎屑沉积物、有机沉积物、（古）红黏土、其他（需注明，如上层为河流沉积物，下层为湖泊沉积物的二元母质）。

6.3.4 植被

填报调查样点及周边（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，详见表 16。

表 16 植被类型

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，调查样点及其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 6.4.3 节耕地利用中填报。

(3) 植被覆盖度，适用于耕地类型外其他土地利用类型。植被覆盖度是指样点及周边乔灌草植被（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。植被覆盖度分为植被总覆盖度和乔木、灌木、草本等分项覆盖度。分项覆盖度之和应不小于植被总覆盖度。野外估算以 5% 为等级间隔，填报植被总覆盖度、乔木覆盖度、灌木覆盖度、草本覆盖度的具体数值。耕地样点不填报植被覆盖度，其他地类需要填报。

6.4 土壤利用

6.4.1 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，外业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，参考附录 3。

(2) 土地利用变更，调查 2000 年至今，是否存在土地利用变更。若存在土地利用变更，需填报土地利用现状分类二级类间的变更类型及变更年份，如果存在多次变更，均需填报。土地利用变更填报模式：2000 年及对应的二级类；变更年份及对应的二级类；调查年份及对应的二级类。示例：2000 年（起始年份），旱地；2008 年（变更年份），水田；2019 年（变更年份），水浇地（蔬菜地）；2023 年（调查年份），水浇地（蔬菜地）。

(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。包括以下两类。设施农业类型，包括露天蔬菜地、塑料大棚、日光温室（有两侧山墙、后墙体支撑）、玻璃温室、其他（需注明）。蔬菜种植年限为填报连续种植蔬菜的年限，单位：年。

(4) 特色农产品，确定调查样点的农产品是否属于全国农产品地理标志登记产品。

6.4.2 农田建设

适用于 6.4.1 节土地利用的 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不是高标准农田，并记录 2011 年以来，是否实施过高标准农田建设项目。

(2) 灌溉条件，调查和填报灌溉保证率和灌溉设施配套类型两项指标。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。灌溉设施配套的特征指标为未配套、局部配套、配套完善。若为局部配套和配套完善类型，需调查灌溉方式，其特征指标为不灌溉、土渠输水地面灌溉、渠道防渗输水灌溉、管道输水灌溉中滴灌（微喷灌、喷灌）、其他（需注明）。

(3) 排水条件，指由地形起伏、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 4 个等级。其中，充分满足为具备健全的干、支、斗、农排水沟道（包括人工抽排），无洪涝灾害；满足为排水体系基本健全，丰水年暴雨后有短时间洪涝灾害（田间积水时长 1~2 天）；基本满足为排水体系一般，丰水年大雨后有洪涝发生（田间积水时长 2~3 天）；不满足为无排水系统，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，调查样点所在田块的道路通达条件，记录其最高等级道路类型和路面硬化类型。田间道路包括机耕路和生产路。机耕路是指路面宽度 3~6 m、可供大型生产机械通行的道路；而生产路是指路面宽度小于 3 m 的田间道路。路面类型分为水泥路、碎石路、三合土路、土路、其他（需注明）。

(5) 梯田建设，调查样点所在田块是不是梯田，适用于丘陵、山地地区。

6.4.3 耕地利用

适用于 6.4.1 节土地利用类型中 01 耕地类型的，填报本节内容。

(1) 熟制类型，一年一熟、两年三熟、一年两熟、一年三熟。蔬菜地和临时药材种植地等按当地粮食作物熟制填报。

(2) 休耕与撂荒。休耕是让受损耕地休养生息而主动采取的一种地力保护和恢复的措施，也是耕作制度的一种类型或模式。当前凡是根据耕地土壤退化和地力受损情况，主动计划不耕种或主动种植绿肥作物养地的措施，都确定为休耕。撂荒是耕地承包经营者在地力没有受损或土壤没有功能性退化的情况下，不继续耕种、任其荒芜的行为。记录样点所在田块近 5 个熟制年度的休耕与撂荒情况。包括，休耕类型，无、季节性休耕、全年休耕；休耕频次，近 5 年休耕的累计频次，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，近 5 年撂荒的累计频次，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，针对两年三熟、一年两熟和一年三熟的熟制类型，按自然年内作物的收获时序进行填报；针对一年一熟地区的熟制类型，按不同年份作物的收获时序进行填报。分为年内或年际间第一季、第二季、第三季收获作物类型。注意：是填报样点所在田块近 5 个熟制年度的主要轮作作物；蔬菜一年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、冬小麦、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（填报具体名称，如黄瓜、番茄、辣椒、大白菜、青菜、芹菜、胡萝卜、茄子等）、中药材（填报具体名称）、休耕、撂荒、其他（填报具体名称）。

第二、第三季收获作物类型：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（填报具体名称）、中药材（填报具体名称）、休耕、撂荒、其他（填报具体名称）。

(4) 轮作制度变更，调查近 5 个熟制年度内是否存在轮作制度变更，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) 水田稻渔种养结合，针对水田样点，调查近 1 个熟制年度内是否存在稻渔共作。若存在稻渔共作，需调查稻渔共作制度类型，分为稻-虾共作、稻-鱼蟹共作、其他（需注明）；估算样点所在田块内围沟和十字沟的宽度和深度（单位：cm）、水面占田块面积的比例（单位：%）。

(6) 当季作物，填报样点所在田块采样时的作物类型（指待收获或刚收获的）。针对套种和间种等情况，需分别记录作物类型。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。

(7) 产量水平，调查样点所在田块近 1 个熟制年度内不同作物的产量。分季分作物填报全年的作物产量，单位：kg/亩。需记录作物产量的计产形式，如棉花的籽棉重。针对套种和间种等情况，需分别记录作物的产量。

(8) 施肥管理，调查样点所在田块近 1 个熟制年度分作物施用的肥料种类、实物用量、有效养分含量、养分总用量，肥料施用方式。针对套种和间种等情况，需分别记录不同作物的肥料用量、施用方式等。

肥料种类包括化学肥料、有机肥料、有机-无机复混肥等。其中，化学肥料：如尿素、碳酸氢铵、硫酸铵、磷酸一铵、磷酸二铵、过磷酸钙、钙镁磷肥、氯化钾、硫酸钾、三元复合（混）肥、缓控释肥等；有机肥料：商品有机肥、土杂肥、厩肥等。

化学肥料用量（单质化肥、复合肥、复混肥、有机-无机复混肥中的无机肥部分等）调查填报实物用量（kg/亩）、有效养分含量（%）和养分总用量（kg/亩），并以折纯氮（N）、五氧化二磷（ P_2O_5 ）、氧化钾（ K_2O ）形式填报有效养分用量（kg/亩），养分总用量根据实物用量和有效养分含量计算得出；同时要调查基肥占比、追肥占比，单位：%。

商品有机肥（含有机-无机复混肥料中的有机质部分）调查填报实物用量，单位为 kg/亩；有机质含量，单位为%；并折算为有机质用量，单位为 kg/亩。

土杂肥、厩肥等填报用量体积，单位： 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）。

(9) 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、还田方式和还田年限。还田比例和还田方式：调查样点所在田块近 1 个熟制年度的秸秆还田情况。还田比例分为无（<10%）、少量（10%~40%）、中量（40%~70%）、大量（>70%）。还田方式分为留高茬还田、粉碎翻压还田、地面覆盖还田、堆腐还田、其他（需注明）。分季、分作物填报。还田年限：近 10 年实施秸秆还田的年数。

(10) 少耕与免耕，调查样点所在田块是否实施了少耕和免耕，填报近 5 年实施少耕和免耕的季数之和。

(11) 绿肥作物种植，调查和记录样点所在田块是否实施了绿肥种植，按绿肥品种及种植季节填报绿肥类型。常见绿肥品种有豆科绿肥：紫云英、草木樨、苜蓿、苕子、田菁、箭筈豌豆、蚕豆、柱花草、车轴草、紫穗槐、其他（需注明）；非豆科绿肥：肥田萝卜、油菜、金光菊、二月兰、其他（需注明）。若种植的苜蓿等作物是用作牧草，则不属于绿肥。按季节分为夏季绿肥、冬季绿肥、多年生绿肥、其他绿肥（需注明）。

6.4.4 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，如茶树、柑橘树等。针对果园套种农作物包括绿肥作物等情况，需填报农作物类型。

(2) 园地林龄，记录作物生长年龄，单位：年。

(3) 产量水平，调查样点所在田块近 1 年的全年作物产量，单位：kg/亩。野外需记录茶园、枣园、苹果园等样点作物产量的计产形式，如干毛茶、干果、鲜果。针对园地套种、间种农作物等情况，需填报近 1 年的农作物产量，单位：kg/亩。

(4) 施肥管理，调查样点所在田块近 1 年的全年施用的肥料种类、实物用量、有效养分含量、养分总用量，肥料施用方式。针对果园套种农作物等情况，需填报近 1 年的农作物施肥情况。

化学肥料用量（单质化肥、复合肥、复混肥、有机-无机复混肥中的无机肥部分等）调查填报实物用量（kg/亩）、有效养分含量（%）和养分总用量（kg/亩），并以折纯氮（N）、五氧化二磷（ P_2O_5 ）、氧化钾（ K_2O ）形式填报有效养分用量（kg/亩），养分总用量根据实物用量和有效养分含量计算得出。

商品有机肥（含有机-无机复混肥中的有机肥部分）调查填报实物用量（kg/亩）、有机质含量（%），并折算为有机质用量（kg/亩）。

土杂肥、厩肥填报用量体积（m³/亩）。

肥料施用方式分为沟施、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，按绿肥品种和种植季节填报绿肥类型。常见绿肥品种有豆科绿肥：紫云英、草木樨、苜蓿、苕子、田菁、箭筈豌豆、蚕豆、柱花草、车轴草、紫穗槐、其他（需注明）；非豆科绿肥：肥田萝卜、油菜、金光菊、二月兰、其他（需注明）。若种植的苜蓿等作物是用作牧草，则不属于绿肥。按季节分为夏季绿肥、冬季绿肥、多年生绿肥、其他绿肥（需注明）。

6.4.5 林草地利用

适用于《土地利用现状分类》（GB/T 21010—2017）中的林地、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 6.3.4 节中出现。此处填报如下信息。

（1）林地类型，生态公益林包括防护林、特种用途林；商品林包括用材林、经济林和能源林。针对林地套种、间种农作物等情况，需记录农作物类型。

（2）林地林龄，记录林地乔木生长年龄，单位：年。

（3）林农套作和间作管理，针对林地套种、间种农作物等情况，按照耕地施肥管理和产量水平填报方式，记录近 1 个熟制年度农作物施肥和产量情况。

（4）草地类型，依据《草地分类》（NY/T 2997—2016），草地类型划分为天然草地和人工草地。天然草地包括温性草原类、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。人工草地包括改良草地、栽培草地。

6.5 景观照片采集

移动终端或数码相机拍摄，拍摄者应在采样点或剖面附近，拍摄东、南、西、北 4 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，一般应距离地面 30~50 m，倾斜视角拍摄 4 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。例如设施蔬菜地景观照，除拍摄大棚或温室内近景外，还需走出大棚或温室，在样点附近的视野开阔处拍摄近景和远景相结合的信息，并将样点所在位置纳入取景框下半部分的中心处。例如园地样点景观照，除拍摄园地内近景外，还需走出园地，在样点附近的视野开阔处拍摄近景和远景相结合的信息，并将样点所在位置纳入取景框下半部分的中心处。图 2 为景观照片示例。





图2 景观照片示例

7 表层土壤调查与采样

7.1 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。若耕地、林地、草地有效土层厚度不足20 cm和园地有效土层厚度不足40 cm，采样深度为有效土层厚度。

7.2 耕作层厚度观测

每个耕地样点至少调查3个混样点的耕作层厚度，求平均值后，记录为该样点的耕作层厚度。挖掘到犁底层，测量记录耕作层厚度；没有明显犁底层的，调查询问农户样点所在田块的实际耕作深度。单位：cm。在野外根据土壤紧实度（若采用紧实度仪，可根据压力突变情况判断耕作层厚度）、颜色、结构、孔隙、根系等差异综合判断耕作层厚度。

7.3 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、土壤变化等实际情况，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) 每个样点的混样点数量为5~15个，要求所有混样点须均匀分布于同一个田块或样地。混样点不能过于聚集，一般要求耕地、林地和草地混样点两两间隔在15 m以上；一般要求园地样点所选择的代表性的树与树之间的间隔在15 m以上。不能满足5个及以上间隔15 m的混样点的小田块，应在电子围栏内选择面积较大的田块，混样点分布应覆盖整个田块且距离田块边缘不低于2 m。

(2) 所有混样点均应避开施肥点，并去除地表秸秆与砾石等，每个混样点挖掘出20 cm（耕地、林地和草地）或40 cm（园地）深的采样坑后，采集约2 kg土壤样品。耕地样点应使用不锈钢锹等工具挖坑采样，以便同时观测耕作层厚度，其他土地利用类型的样点可使用不锈钢锹或不锈钢土钻采样。要求每个混样点不同深度的土壤采集体积占比相同，不同混样点采集的土壤样品重量相等。

(3) 将所有混样点采集的土壤样品堆放于聚乙烯塑料布上面，去除明显根系后，充分混匀，然后采取“四分法”去除多余样品，留取以风干重计的样品重量不少于3 kg（建议留取鲜样5 kg）；对设置为检测平行样的样点，留取以风干重计的样品重量不少于5 kg（建议留取鲜样8 kg）。使用聚乙烯塑料布（建议准备多个）混样后，需及时将其清理干净，避免下次使用时造成样品间交叉污染。

(4) 园地样点，按梅花法、棋盘法或蛇形法等方法选择至少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 处各选择 1 个混样点（类型 1，典型园地）；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 的圆周线上，选择 2 个混样点，两个混样点与圆心的连线夹角保持 90°（类型 2，幼龄型园地）；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，密植型园地）；若滴水线半径超过 200 cm（如橡胶树、板栗树等），则在滴水线处及其与树干连线中间处各选择一个混样点（类型 4，大型园地）（图 3）。所有混样点均应避开施肥沟（穴）、滴灌头湿润区。每个样点的所有混样点样品，混合成一个样品。

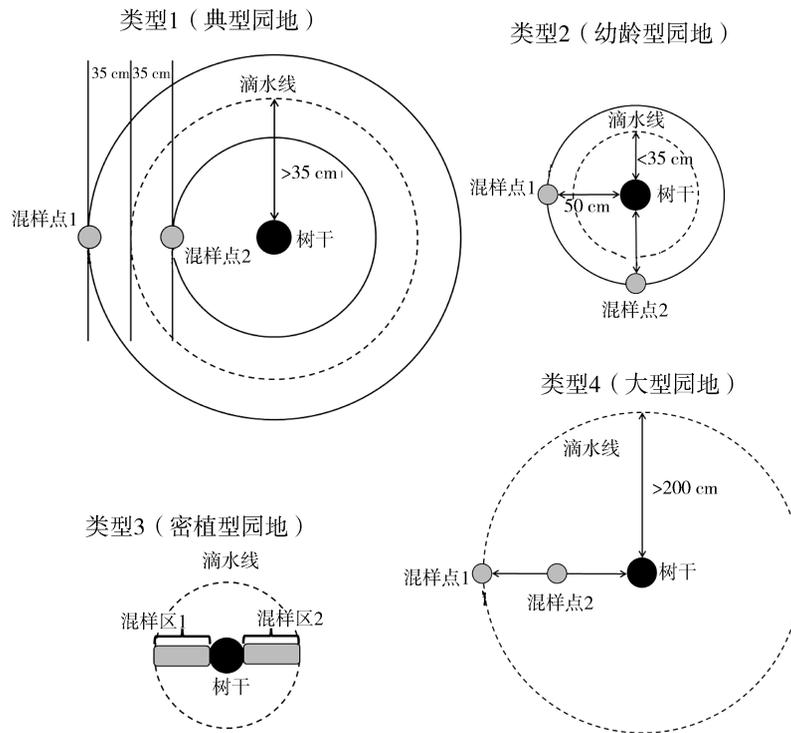


图 3 园地土壤混合样点选择示意图

(5) 含盐量高或渍水的样品，对于盐碱土或渍水样品，应先装入塑料自封袋后，再装入布袋，避免交叉污染和土壤霉变等。

(6) 表层土壤内含砾石的样品，野外需估测并填报表层土壤内所有砾石的体积占表层土壤体积的百分比，即砾石丰度（%），可用目测法、砾石重量和密度计算法、体积排水量法等方法估测砾石丰度。采样时，野外需使用 5 mm 孔径的尼龙筛分离出较大砾石，野外称量并记录较大砾石的重量（g），将过筛后的细土样品（粒径小于 2 mm）和较小砾石（粒径 2~5 mm）全部装入样品袋，舍弃较大砾石。待样品流转至样品制备实验室风干后，称量并记录全部细土和较小砾石样品重量（g），按土壤样品制备要求，均匀分出需要过孔径 2 mm 尼龙筛的样品，称量并记录过筛样品重量（g）、过筛后细土重量（g）、过筛后较小砾石重量（g）。其余风干样品不需研磨和过 2 mm 筛，留作土壤样品库样品。针对含砾石的样品，野外在样品过 5 mm 孔径尼龙筛前，不可舍弃细土样品和砾石。采集的小于 2 mm 粒径的细土样品重量，以风干重计需不少于 3 kg；若设置为检测平行样，以风干重计需不少于 5 kg。

7.4 表层土壤容重样品采集

利用不锈钢环刀（统一用 100 cm³ 体积的环刀）采集表层土壤容重样品。当表层土壤中砾石体积占比不超过 20% 时，需使用环刀采集土壤容重样品，估测并填报砾石体积占比（%）；当砾石体积占比超过 20% 时，不采集土壤容重样品。土壤容重样品采集具体操作如下。

(1) 针对耕地、草地和林地样点，选择以中心点为中心并包含中心点的3个邻近混样点作为容重采样点，每个混样点采集1个容重样品，每个样点共采集3个容重平行样。针对园地样点，选择包含中心点的邻近的两棵树，在每棵树的两个混样点处各采集1个容重样品，每个园地样点共采集4个容重平行样。采集容重时，移除地表树叶、草根、砾石等，削去地表3 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，借助环刀托和橡皮锤均衡地将环刀垂直压入地表平整处的土中，在土面接近触及环刀托内顶时，即停止下压环刀。注意切忌下压过度，导致环刀托压实环刀内土壤。

(3) 用不锈钢刀等工具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，用小号不锈钢刀逐步削去环刀外多余的土壤，直至削平有刃口端土壤面，盖上环刀底盖并翻转环刀，卸下环刀托，用刀逐步削平无刃口端的土壤面。

(5) 将环刀中的土壤完全取出，装入塑料自封袋中，并做样品编号标记。每个容重样品单独装入一个自封袋中。

7.5 表层土壤水稳性大团聚体样品采集

表层土壤水稳性大团聚体样品采样点与容重样品采样点一致，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，以保持土壤原始的结构状态。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样品，采样量以风干重计不少于2 kg（建议采集鲜样3.5 kg），将多个混样点采集的原状土壤样品置于不易变形的容器（如硬质塑料盒、广口塑料瓶等）内，合并成一个样品。对于设置为检测平行样的样点，采样量以风干重计不少于4 kg（建议采集鲜样7 kg），平均分装成两份，每份2 kg。

7.6 表层土壤样品包装

表层土壤混合样品一般可直接装入布袋，含盐量高和渍水样品需先装入塑料自封袋再外套布袋；土壤容重样品可装入塑料自封袋中；土壤水稳性大团聚体样品需装入固定体积的容器中。

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。在样品包装内外各粘贴一份样品标签。对于表层土壤混合样品，一份标签可贴在样品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，再装入样品袋内。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。

7.7 表层土壤调查与采样照片采集

需要拍摄的照片类型除景观照外，还包括如下类型。

(1) 技术领队现场工作照，每个样点1张，拍摄技术领队现场工作正面照，照片中含采样工具。

(2) 混样点照，每个混样点1张，需定位准确后再拍照。若使用不锈钢锹采样，拍摄时，采样坑需挖掘至规定深度，且已摆好刻度尺（木质、塑料质或不锈钢质刻度尺），针对耕地样点，照片应清晰完整展示耕作层厚度；若使用不锈钢土钻采样，拍摄时，土钻应入土至规定深度。

(3) 土壤混合样品采集照，每个样点1张，拍摄充分混匀后的土壤样品状态。

(4) 土壤容重样品采集照，每个样点1张，首先将不锈钢环刀打到位，且还未从土壤中挖出环刀，此时把环刀托取下，拍摄环刀无刃口端的土壤面状态。

(5) 土壤水稳性大团聚体样品采集照，适用于采集该样品的样点。每个样点1张，拍摄样品装入容器后的土壤样品状态。

(6) 其他照片，外业调查队认为需要拍摄的其他照片。

7.8 表层土壤样品暂存与流转

土壤样品采集后，应及时流转至样品制备实验室，采集后至流转前的暂存期间，应妥善保存于室内。暂存样品的室内环境应通风良好、整洁、无易挥发性化学物质，并避免阳光直射。装有表层土壤混合样品的布袋应单层摆放整齐，使样品处于通风状态，避免样品堆叠存放，避免土壤霉变、样品间交叉污染及受外界污染等。针对含水量高的土壤样品，外业调查队需先对土样进行风干处理，再流转。表层土壤水稳性大团聚体样品在运输和暂存期间，特别需要避免剧烈震动造成的土体机械性破碎并及时流转至样品制备实验室，以保持田间含水量状态，避免原状土壤样品变干、变硬和破碎，导致制样困难和测定异常；若不能及时流转，外业调查队应及时与样品制备实验室对接，外业调查队在样品制备实验室确认样品状态合格后，并在其指导下进行风干处理，然后再流转。

因不同土地利用类型的样品检测指标存在差异，样品流转时，按照耕地和园地表层土壤样品、林地和草地表层土壤样品两大类，分类组批流转。

土壤样品交接表，详见附录4。

8 剖面土壤调查与采样

剖面土壤调查与采样工作除进行成土环境与土壤利用调查外，还包括剖面设置和挖掘、土壤发生层划分与命名、土壤剖面形态观察与记载、剖面土壤样品采集等。土壤剖面形态调查信息采集项目清单，见附录5。外业调查时，需同时完成移动终端 App 电子版和纸质版调查表信息填报。纸质版调查表填报完成后，提交至省级土壤普查办。

8.1 剖面设置与挖掘

8.1.1 剖面设置

基于预设样点的外业定位核查结果，确定剖面样点的具体位置。为核实确定土壤类型图斑内主要土壤类型，在图斑内踏勘时，应至少选择3个踏勘点，要求所有踏勘点两两之间的间距原则上不低于500 m；不满足500 m间距要求的，应在图斑内尽可能增大踏勘点间距。记录每个踏勘点的经纬度坐标，拍摄每个踏勘点东、西、南、北4个方向的景观照片。

8.1.2 剖面挖掘

剖面挖掘应遵循以下原则：①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；②剖面的观察面应向着阳光照射的方向，避免阴影遮挡；③剖面的观察面上部严禁人员走动或堆置物品和土壤，以防止土壤压实或土壤物质发生位移，干扰观测和采样；④挖出的表土和心底土应分开堆放于剖面坑的左右两侧，观察完成后按土层次序回填，以保持表层土壤的肥力水平。

(1) 平原与盆地地区，在平原与盆地等平缓地区，剖面观察面宽度为1.2 m、观察面深度为1.2~2 m（如遇岩石，则挖到岩石面）、观察面长度为2~4 m（一般2 m），见图4。

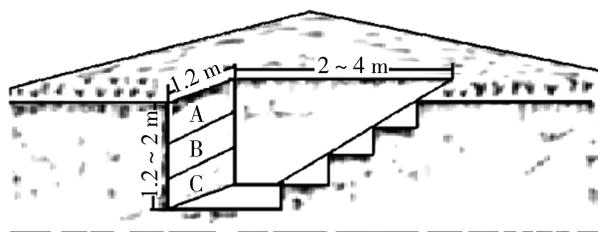


图4 平原与盆地地区标准土壤剖面示意图

(2) 山地与丘陵区，受地形和林灌植被等影响，在无法选取相对平缓、植被遮挡少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，修整剖面时，应向自然断面或坡面内部延伸 30 cm 以上，直至裸露出新鲜、原状土壤。

8.1.3 剖面照片采集

标准剖面照片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，标准剖面照片应当清晰、真实、完整地呈现土壤形态学描述特征。

标准剖面照片的具体要求如下。

(1) 剖面挖掘完成后，观察面左边的 1/3 宽度范围内修整为自然结构面（或称为毛面），用剖面刀自上而下修成自然结构面，避免留下刀痕；观察面右边的 2/3 宽度范围内保留为光滑面。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) 剖面照片须用专业数码相机拍摄，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，尽可能保持镜头与观察面垂直。

(5) 晴天拍摄时注意遮住观察面的阳光，避免曝光过度 and 出现部分阴影。

(6) 标准剖面照片须拍摄两种类型，一种是剖面上方不放置纸盒（指纸盒土壤标本用的纸盒），另一种是剖面上方放置带样点编号的纸盒。放置纸盒时以剖面或剖面尺为中心，纸盒底部外侧用黑色记号笔清晰标记剖面样点编号。样点编号字体工整、大小适中，拍照时清晰可见。剖面整修完毕后，剖面照片拍摄前，切勿利用刀具等刻画剖面，避免出现刻画的层次界限、发生层次代号等情况。剖面照片拍摄时，观察面除剖面尺外，避免悬挂发生层符号等无关物品。

图 5 为剖面照片示例，图 6 为新生体照片示例。

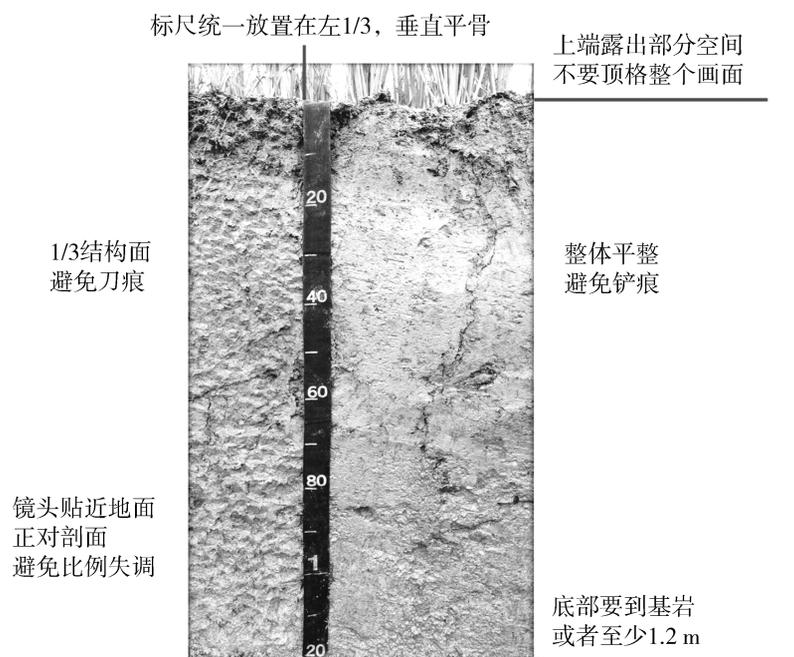


图 5 剖面照片示例



图6 新生体照片示例

8.2 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。

8.2.1 发生层划分

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、土壤结构体的类型和大小、砖瓦陶瓷等人造物侵入体、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。

8.2.2 发生层命名

根据剖面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。首先确定剖面的基本发生层，符号以英文大写字母表示，如表 17 所示；然后确定不同发生层的附加特性，符号以英文小写字母表示，如表 18 所示。

表 17 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）

表 18 发生层特性描述

符号	描述
a	高分解有机物质，如 Oa 高腐有机物质
b	埋藏层，如 Apb 埋藏耕作层
c	结皮，如 Ac 孔泡结皮层
d	冻融特征，如 Ad 片状层
e	半分解有机物质，如 Oe 半腐有机物质
f	永冻层，如 Cf 永冻层
g	潜育特征，如 Bg 潜育层
h	腐殖质聚积，如 Ah 腐殖质表层，包括暗沃、暗瘠和淡薄表层
i	低分解和未分解有机物质，如 Oi 枯枝落叶层
j	黄钾铁矾
k	碳酸盐聚积，如 Bk 钙积层
l	网纹，如 Bl 网纹层
m	强胶结，如 Btm 黏磐、Bkm 钙磐、Bym 石膏磐
n	钠聚积，如 Bn 碱积层
o	根系盘结，如 Oo 草毡表层
p	耕作影响，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
q	次生硅聚积，如 Bq 硅粉淀积层
r	氧化还原，如 Br 氧化还原层或水耕氧化还原层
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；次生黏粒就地聚积者以 Btx 表示，黏磐以 Btm 表示
u	人为堆积、灌淤等影响，如 Aup 灌淤表层或堆垫表层
v	变性特征，如 Bv 带有变性特征的锥形层
w	就地风化形成的显色、有结构层，如 Bw 锥形层
x	固态坚硬的胶结，未形成磐，如 Bx 紧实层，Btx 次生黏化层；与 m 不同在于后者因强胶结，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，如 By 石膏层
z	可溶盐聚积，如 Az 盐积表层
φ	磷聚积，如 Bφ 磷积层、Bφm 磷质硬磐

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、灌淤耕作淀积层为 Bup、灌淤斑纹层为 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。

(1) 基本发生层类型，大写字母对应的是土壤基本发生层，代表了土壤主要的物质淋溶、淀积和散失过程。

(2) 发生层特性，指土壤发生层所具有的发生学上的特性。英文小写字母（除磷聚积用希腊字母 φ 外）并列置于基本发生层大写字母之后（不是下标），用以表示发生层的特性。野外描述土壤发生层名称时，需要使用发生层符号和对应的中文名称。例如，Ah 为自然土壤腐殖质层、Ap1 为耕作层、Bt 为黏化层、Br 为水耕氧化还原层（潜育层）、Br 为水耕氧化还原层（渗育层）、Br 为水耕氧化还原层（脱潜层）。

(3) 发生层或发生特性的续分和细分，基本发生层或特性发生层可按其发生程度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。特性发生层的细分：例如将 Ap 层（受耕作影响的表层）分为 Ap1 层（耕作层）和 Ap2 层（犁底层）。耕作层是指长期受耕作影响而形成的土壤表层。耕作层厚度一般为 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“耕作表下层或亚耕层”，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。异元母质土层：用阿拉伯数字置于发生层符号前表示，例如在二元母质土壤剖面（A-E-Bt1-Bt2-2C-2R）的发生层序列中，A-E-Bt1-Bt2 和 2C-2R 不是同源母质。过渡层：用代表上下两发生层的大写字母连写，将表示具有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 (/) 置于两者中间，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/E 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，编制了土壤主要发生层命名与符号标准，供野外描述使用，见附录 6。

8.3 土壤剖面形态观察与记载

外业调查应记录每个土壤发生层的形态学特征，包括发生层深度、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。

8.3.1 发生层性状

(1) 深度，记录每个发生层的上界和下界深度，如 0~15 cm、15~32 cm。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) 边界，描述相邻发生层之间的过渡状况（表 19），记录其过渡形状（图 7）和明显度两个指标。

表 19 发生层层次过渡描述

过渡形状			明显度		
编码	描述	说明	编码	描述	交错区厚度/cm
S	平滑	指过渡层呈水平或近于水平	A	突变	<2
W	波状	指土层间过渡形成凹陷，其深度<宽度	C	清晰	2~5
I	不规则	指土层间过渡形成凹陷，其深度>宽度	G	渐变	5~12
B	间断	指土层间过渡出现中断现象	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 10/12~16/30 cm。

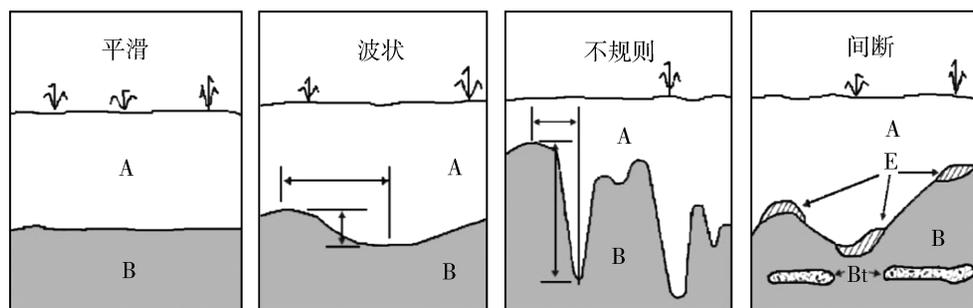


图 7 土层间的过渡形状

(3) 颜色，土壤颜色使用芒塞尔体系表征，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，利用采集的纸盒土壤标本，需先比干态颜色，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，有两种以上土壤底色时，对

不同底色分别加以描述，并描述不同颜色面积占比。土壤颜色信息获取，统一使用《中国标准土壤色卡》、日本《新版标准土色贴》或美国 *Munsell Soil Color Book* 最新版，颜色名称须规范化翻译。格式：浊黄棕色（10YR 4/3，干），暗棕色（10YR 3/3，润）。

（4）根系，记录土体中植物根系的形态特征，包括丰度、粗细以及根系性质（表 20）。其中，丰度分为 5 级，分别为无、很少、少、中、多，单位为条/dm²；粗细按直径（mm）分为极细、细、中、粗、很粗；根系性质可分为活的、已腐烂的木本植物根系或已腐烂的草本植物根系。

表 20 根系描述

丰度				粗细		
编码	描述	极细和细根/ (条/dm ²)	中、粗和很粗 根/(条/dm ²)	编码	描述	直径/mm
N	无	0	0	VF	极细	<0.5
V	很少	<20	<2	F	细	0.5~2
F	少	20~50	2~5	M	中	2~5
C	中	50~200	≥5	C	粗	5~10
M	多	≥200		VC	很粗	≥10

（5）质地，根据简易质地类型，在野外快速判断土壤质地。其中，砂土为松散的单粒状颗粒，能够见到或感觉到单个砂粒。干时若抓在手中，稍一松开后即散落，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、润时所呈团块均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）的排列与组合形式（表 21、表 22、图 8）。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 4 点：①最好在土壤含水量润态条件下观察土壤结构，可以用喷壶适量喷水；②有两种或两种以上结构体时，应分别记载；③观察时，应注意胶结物质的类型（腐殖质、碳酸盐、铁铝氧化物等）；④注意剖面发生层上下的结构差异。

表 21 土壤结构形状描述

编码	形状	描述	编码	形状	描述
A	片状	表面平滑	I	团粒状	浑圆多孔
B	鳞片状	表面弯曲	J	屑粒状	多种细小颗粒混杂体
C	棱柱状	边角明显无圆头	K	楔状	类似锥形木楔形状
D	柱状	边角较明显有圆头	L	单粒状	无结构单元，颗粒间无黏结性
E	角块状	边角明显多面体状	M	整块状	无结构单元，连续的非固结体
F	团块状	边角浑圆	N	糊泥状	无结构单元，出现于潜育层中
H	（核）粒状	浑圆少孔			

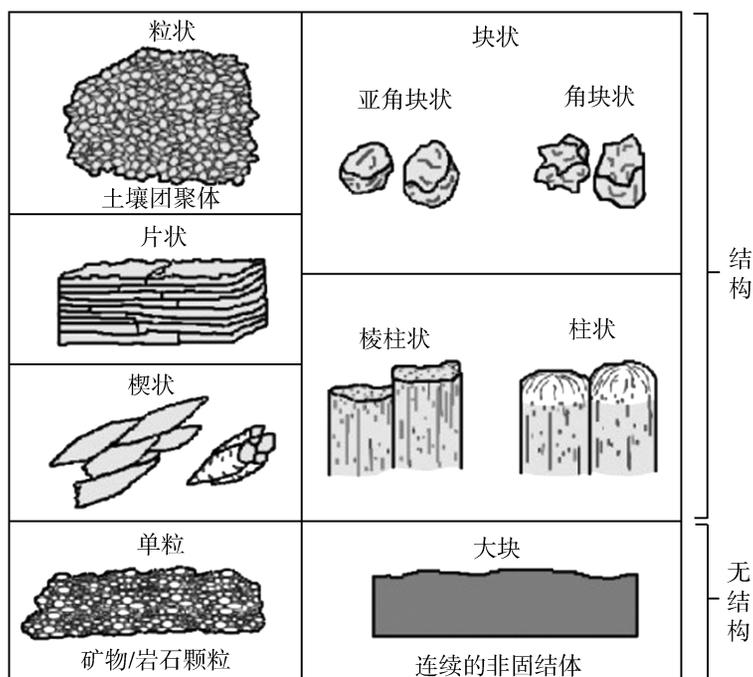


图 8 土壤结构体形状

表 22 土壤结构描述

形状大小（指结构单元最小维度的尺度）					
编码	描述	大小/mm	编码	描述	大小/mm
片状、鳞片状			角块状、团块状、核状		
VF	很薄	<1	VF	很小	<5
FI	薄	1~2	FI	小	5~10
ME	中	2~5	ME	中	10~20
CO	厚	5~10	CO	大	20~50
VC	很厚	≥10	VC	很大	≥50
柱状、棱柱状、楔状			粒状、团粒状、屑粒状		
VF	很小	<10	VF	很小	<1
FI	小	10~20	FI	小	1~2
ME	中	20~50	ME	中	2~5
CO	大	50~100	CO	大	5~10
VC	很大	≥100	VC	很大	≥10
			整块状		
			FS	细沉积层理	
			FMA	风化矿物结晶	
发育程度					
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、鳞片状，柱状、棱柱状、楔状，角块状、团块状、核状衡量大小的指标为厚度；粒状、团粒状、屑粒状衡量大小的指标为直径。

(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（表 23）。主要记载砾石的丰度（指每个发生层内所有砾石的体积占相应发生层体积的百分比，可用目测法、砾石重量与密度计算法、体积排水量法等方法估测，单位：%）、重量（指野外利用 5 mm 孔径尼龙筛分离的直径大于 5 mm 的砾石重量，单位：g）、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，不超过 5% 时，可填 0、2%、5%；超过 5% 时，以 5% 为等级间隔填报具体数字。

表 23 土体内砾石（岩石和矿物碎屑）描述

指标	编码	描述	说明
大小	A	很小	直径 < 5 mm，与地表砾石相当等级：细砾
	B	小	直径 5~20 mm，与地表砾石相当等级：中砾
	C	中	直径 20~75 mm，与地表砾石相当等级：粗砾
	D	大	直径 75~250 mm，与地表砾石相当等级：石砾
	E	很大	直径 ≥ 250 mm，与地表砾石相当等级：巨砾
形状	P	棱角状	
	SP	次棱角状	
	SR	次圆状	
	R	圆状	
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。松散为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）。极疏松为在大拇指与食指间施加极轻微压力下即可破碎。疏松为土壤物质有一定的抗压性，在拇指与食指间较易压碎。稍坚实-坚实为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。很坚实为土壤物质的抗压性极强，只有全手使劲挤压时才可破碎。极坚实为在手中无法压碎。

(9) 新生体，从成分上包括易溶性盐类、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。斑纹是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 9 为铁（锰）斑纹，斑纹描述见表 24。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 25、图 10）。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 11、表 26）。磐层胶结是坚硬的层次，组成磐层的物质湿时具有强烈结持性，在水中 1 h 不分散（表 27）。

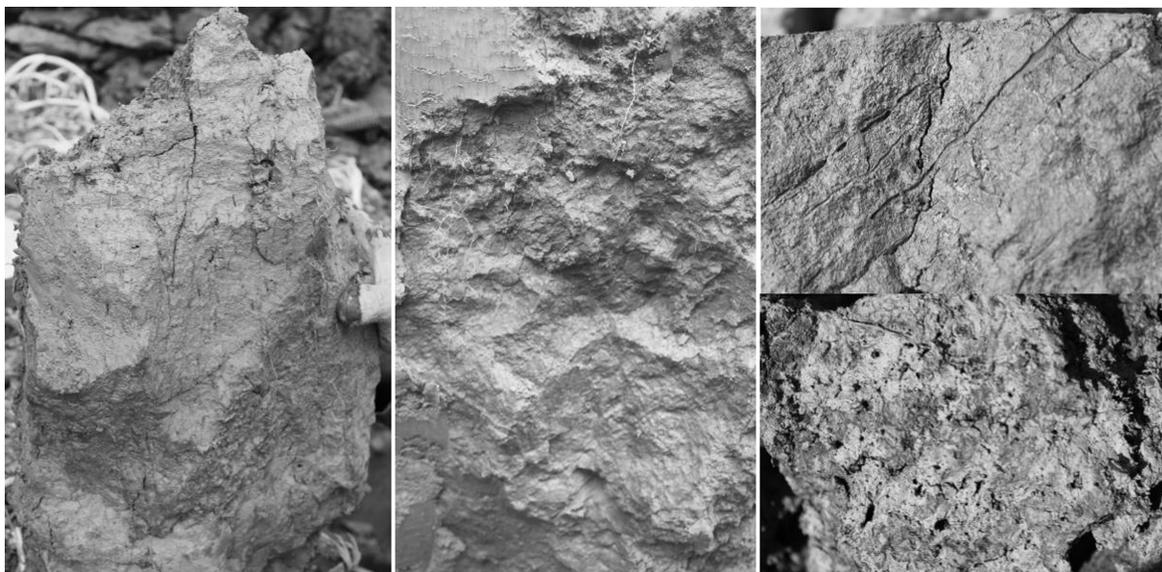


图9 新生体——铁（锰）斑纹（特写照片须配微型标尺作为参照）

表24 斑纹描述

丰度			组成物质	
编码	描述	面积占比/%	编码	描述
N	无	0	D	铁氧化物
V	很少	<2	E	锰氧化物
F	少	2~5	F	铁锰氧化物
C	中	5~15	B	高岭石
M	多	15~40	C	二氧化硅
A	很多	≥40	OT	其他（需注明）
大小			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

表 25 胶膜描述

丰度			组成物质	
编码	描述	面积占比/%	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	铁锰氧化物
A	很多	40~80	SIL	粉砂
D	极多	≥80	OT	其他（需注明）
位置			与土壤基质对比度 ^①	
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			

注：①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 10 新生体——黏粒胶膜（左）、铁锰胶膜（中、右）

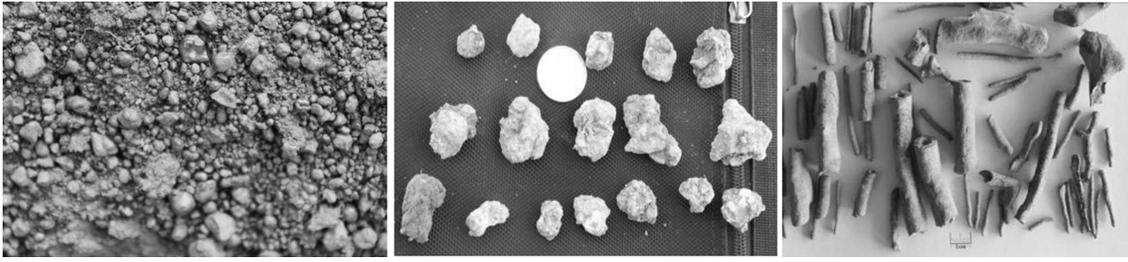


图 11 新生体——铁锰结核（左）、砂姜（碳酸钙结核，中）、铁管（右）

表 26 矿质瘤状结核描述

丰度			形状	
编码	描述	体积占比/%	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		
种类			硬度	
编码	描述		编码	描述
T	晶体		H	用小刀难以破开
C	结核		S	用小刀易于破开
S	软质分凝物		B	硬软兼有
B	假菌丝体		P	软
L	石灰膜			
N	瘤状物			
R	残留岩屑			
大小			组成物质	
编码	描述	直径/mm	编码	描述
V	很小	<2	CA	碳酸钙（镁）
F	小	2~6	Q	二氧化硅
M	中	6~20	FM	铁锰氧化物
C	大	≥20	GY	石膏
			SS	易溶盐
			OT	其他（需注明）

表 27 盘层胶结与紧实状况描述

指标	编码	描述	指标	编码	描述
胶结程度	N	无	胶结物质	K	碳酸盐
	Y	紧实而非胶结		Q	二氧化硅
	W	弱胶结		KQ	碳酸盐-二氧化硅
	M	中胶结		F	铁氧化物
	C	强胶结		FM	铁锰氧化物
成因	NA	自然形成		FO	铁锰氧化物-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

(10) 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 28、图 12）。

表 28 滑擦面描述

编码	描述	面积占比/%	编码	描述	面积占比/%
N	无	0	M	多	15~50
V	少	<5	A	很多	≥50
C	中	5~15			



图 12 滑擦面示例

(11) 侵入体，一般描述和记录侵入体类型和丰度（表 29）。

表 29 土壤侵入体描述

组成物质		丰度		
编码	类型	编码	描述	体积占比/%
CH	草木炭	N	无	0
CF	陶瓷碎片	V	很少	<2
ID	工业粉尘	F	少	2~5
PS	砖、瓦、水泥、钢筋等建筑物碎屑	C	中	5~15
BF	贝壳	M	多	≥15
CC	煤渣			
WL	废弃液			
OT	其他（需注明）			

(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（表 30），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，如动物孔穴、蚯蚓粪等数量对根系、适耕性产生的影响。

表 30 土壤动物描述

种类		丰度		
编码	类型	编码	描述	动物个数
EW	蚯蚓	N	无	0
AT	蚂蚁/白蚁	F	少	<2
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）测定石灰性土壤中的碳酸盐含量，用10%稀盐酸滴定。亚铁反应适用于可能具有潜育化过程或特征的土壤类型，野外鉴定还原性土壤中的 Fe^{2+} ，加入邻菲咯啉试剂，形成橘红色配合物。土壤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31）。

表31 土壤简易化学反应描述

项目	编码	描述	等级	项目	编码	描述	等级
石灰反应	N	无气泡	无 (/)	土壤碱化反应	N	无色	无 (/)
	SL	有微小气泡，但听不到声音	轻度石灰性 (+)		SL	淡红色	轻度碱化 (+)
	MO	有明显气泡，有微弱声音	中度石灰性 (++)		MO	红色	中度碱化 (++)
	ST	气泡发生激烈，并能听到声音	强石灰性 (+++)		ST	紫红色	强度碱化 (+++)
	EX	气泡发生剧烈，并能听到明显声音	极强石灰性 (++++)				
亚铁反应	N	无色	无 (/)	土壤酸碱反应	C	pH<6.5	酸性
	SL	微红色或微蓝色	轻度 (+)		NE	pH 6.5~7.5	中性
	MO	红色或蓝色	中度 (++)		AL	pH>7.5	碱性
	ST	深红色或深蓝色	强度 (+++)				

8.3.2 土体性状

(1) 有效土层厚度，观察并记录有效土层厚度。单位：cm。

(2) 土体厚度，观察并记录土体厚度，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。

8.3.3 地下水出现的深度

挖掘剖面时，观察并记录地下水出现的深度，单位：cm。挖掘剖面时，若观察到地下水出现，地下水深度描述为地下水实际出现时的深度，如60 cm；若未观察到地下水出现，地下水深度描述为大于剖面挖掘的深度，如大于150 cm。

8.3.4 土壤类型野外判断

本次土壤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，外业调查时需判定剖面样点土壤类型。

中国土壤地理发生分类依据《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》，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）。

中国土壤系统分类依据《中国土壤系统分类检索（第三版）》，检索到亚类级别。

8.3.5 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与土壤生产性能评述等。

(1) 土壤剖面形态的发生学解释，也就是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，剖面中出现铁锈斑纹新生体，说明剖面中具有（或曾经有）水分上下运动的过程，从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，以便在室内进一步分析时再做判定，并可以通过在线平台进行专家远程咨询。

(2) 土壤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、修复等建议。

8.4 剖面土壤样品采集

8.4.1 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，在水平方向上均匀布设几个采样条带，在垂直方向上每个采样条带需全层采样。

使用竹木质、塑料质、不锈钢质等工具采集土壤样品。

剔除明显可见的根系等。

每个发生层采集以风干重计的土壤样品不少于 3 kg（建议采集鲜样 5 kg）；设为检测平行样的样点，土壤剖面 A 层（第一个发生层）以风干重计的土壤样品不少于 5 kg（建议采集鲜样 8 kg），以其他发生层采集以风干重计的土壤样品不少于 3 kg（建议采集鲜样 5 kg）。

针对含砾石的剖面土壤采样时，野外需使用 5 mm 孔径的尼龙筛分离较大砾石，野外称量并记录较大砾石的重量（g），将过筛后的细土样品（粒径小于 2 mm）和较小砾石（粒径 2~5 mm）全部装入样品袋，舍弃较大砾石。待样品流转至样品制备实验室风干后，称重并记录全部细土和较小砾石样品重量（g），按土壤样品制备要求，均匀分出需要过孔径 2 mm 尼龙筛的样品，称量并记录过筛样品重量（g）、过筛后细土重量（g）、过筛后较小砾石重量（g）。其余风干样品不需研磨和过 2 mm 筛，留作土壤样品库样品。

针对含砾石的剖面土壤样品，野外在样品过 5 mm 孔径尼龙筛之前，不可舍弃细土样品和砾石。采集的小于 2 mm 粒径的细土样品重量以风干重计需不少于 3 kg；若设置为检测平行样，以风干重计需不少于 5 kg。

当土壤发生层中砾石体积占比超过 75% 时，不采集土壤样品。

8.4.2 土壤发生层容重样品采集

用不锈钢环刀（统一用 100 cm³ 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 3 个容重平行样品。

(2) 每个发生层的 3 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。若发生层较薄，需在发生层内水平方向上均匀分布。

(3) 针对 A 层，可垂直于观察面横向打入环刀，也可垂直于地表纵向打入环刀；针对 A 层之下的其他层次，垂直于观察面横向打入环刀。

(4) 针对含砾石的土壤，当土体内砾石丰度不超过 20% 时，需采集容重样品；当土体内砾石丰度超过 20% 时，不采集容重样品。

(5) 采集过程中，不可压实环刀内的土壤样品，也不可松动环刀内的土壤样品。削平环刀两端的土壤面后，要求环刀内的土壤样品处于原始结构状态，并充满整个环刀。

(6) 把容重样品从环刀中取出，装入塑料自封袋。每个容重样品，均单独标记入袋。

8.4.3 土壤水稳性大团聚体样品采集

采集耕地和园地样点土壤剖面 A 层（第一个发生层）的土壤水稳性大团聚体样品，以风干重计的采样量不少于 2 kg（建议采集鲜样 3.5 kg）；设为检测平行样的样点，以风干重计的采样量不少于 4 kg（建议采集鲜样 7 kg），平均分装成两份，每份 2 kg。采集的原状土壤水稳性大团聚体样品需置于不易变形的容器（硬质塑料盒、广口塑料瓶等）内保存和运输。林地和草地剖面样点不采集土壤水稳性大团聚体样品。

8.4.4 纸盒土壤标本采集

剖面样点中属于国家整段土壤标本采集点的，采集纸盒土壤标本一式四份（其中，国家 3 份、省级 1 份），其他剖面样点采集纸盒土壤标本 1 份。

(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 2 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。

用小刀切去大于盒中格子体积的土壤，剪除露出的根系，放入盒中的格子内，土块应尽量填满盒中的格子，剥离出自然结构面，并与盒中格子的边沿基本齐平。

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。

在盒中格子的侧面注明相应的土壤发生层的层次上下界深度，盒盖上应清晰工整填写样点编号、地点、经纬度、土壤发生分类和系统分类名称、海拔、地形、母质、植被、土层符号、土层深度、采集人及单位、采集日期等信息；纸盒底部外侧利用黑色记号笔清晰工整地标记样点编号。

8.4.5 整段土壤标本采集

挖土壤剖面，用锹、铍、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，应用油灰刀铲去，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，整修出与木盒内部尺寸相同的长方形土柱。在铲挖土柱 2 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，盖上后盖并用螺钉固定。同时用一棍杖等物品顶住木盒，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。遇到植物根系可用修枝剪去除。当上部的部分土柱与坑壁分离后，即约 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，插入铲子或撬棒等，将土柱向后倾倒，抬出土坑，平放地面。

封装与运输，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。在木盒上写明样点编号后，用大块泡沫“布”等包裹木盒。外面用宽布带捆牢，即可运输至室内制作。

注意上述方法在采集多砾石、疏松或湿土时需要小心谨慎操作。

剖面样点中属于国家整段土壤标本采集任务点位的，应同时采集国家整段土壤标本，一式三份。

8.4.6 剖面样点地下水与灌溉水样品采集

盐碱地普查和盐碱土调查区，需要采集剖面样点的浅层地下水及地表灌溉水样品。地下水和灌溉水样品各采集 1 L，盛装于塑料瓶中。一般应采集清澈的水样。取样前，应先用采集的水样荡洗塑料瓶。取样后，立即将塑料瓶盖紧、密封，写明样点编号、取样日期和时间、水样类型。水样运输过程需低温（4℃）保存。确保采样、保存、运输等过程中，水样不被污染。

8.4.7 剖面土壤样品包装

剖面土壤样品一般可直接装入布袋，含盐量高和渍水样品需先装入塑料自封袋再外套布袋；土壤容重样品可装入塑料自封袋中；土壤水稳性大团聚体样品需装入固定体积的容器中。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。对于剖面土壤发生层样品，一份标签可贴在样品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，再装入样品袋内。对于剖面土壤容重样品或剖面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。

纸盒土壤标本盖上盒盖后，用橡皮筋捆绑，以防盒子松散、标本混撒。纸盒土壤标本正面朝上，单独妥善存放于纸箱或塑料箱等容器内，避免运输过程中造成标本损坏。

剖面土壤标本使用长方体木盒封装。

8.4.8 剖面土壤调查与采样照片采集

需要拍摄的照片类型除景观照和剖面照外，还包括如下类型。

(1) 技术领队现场工作照，每个样点 1 张，拍摄技术领队现场工作正面照，照片中含采样工具。

(2) 剖面坑场景照，每个样点 1 张，照片应清晰完整地展示挖掘完毕的剖面坑、修整好的观察

面，以及挖出的堆放在剖面坑两侧的土。

(3) 土壤容重样品采集照，每个样点 1 张，首先将不锈钢环刀打到位，且还未从土壤中挖出环刀，此时把环刀托取下，拍摄环刀无刃口端的土壤面状态。

(4) 土壤水稳性大团聚体样品采集照，每个样点 1 张，拍摄样品装入容器后的土壤样品状态。

(5) 纸盒土壤标本采集照，每个样点 1 张，野外利用数码相机拍摄纸盒土壤标本采集后的照片。拍照时，取下纸盒顶盖，展示出土壤标本，并将顶盖与底盒并排摆放整齐，纸盒顶盖完整标记样点编号、采样深度等全部信息，将数码相机镜头垂直纸盒土壤标本进行拍摄。

(6) 整段土壤标本采集照，适用于国家整段土壤标本采集的样点，每个样点 1 张，野外利用数码相机拍摄整段土壤标本采集后、未安装上盖的照片。照片内容应包含整段土壤标本的全貌、样点编号等信息。

(7) 剖面形态特征特写照，适用于有明显的新生体、结构体、侵入体或土壤动物活动痕迹等的剖面样点，每个样点 1 张，野外利用数码相机拍摄，且应摆放微型标尺。

(8) 剖面点所在景观位置断面图照片，手绘出剖面点所在景观位置断面图，拍照或扫描上传土壤普查平台。断面图应反映剖面点所在位置的景观特征（地形、土地利用、母质等）、断面方位、水平距离、剖面点位置、剖面编号等信息（图 13、图 14）。

(9) 其他照片，外业调查队认为需要拍摄的其他照片。

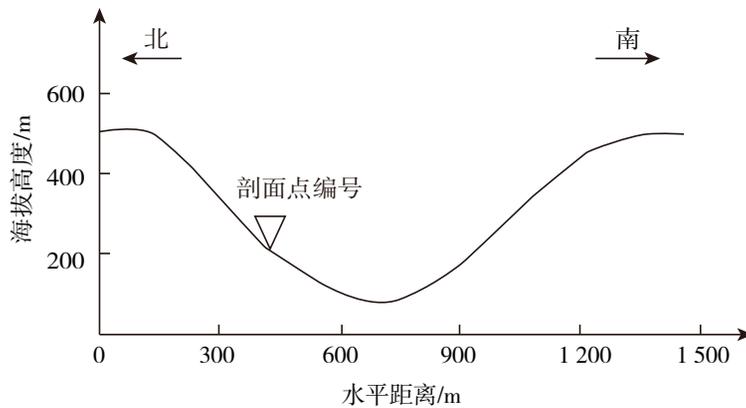


图 13 丘陵区断面图示例

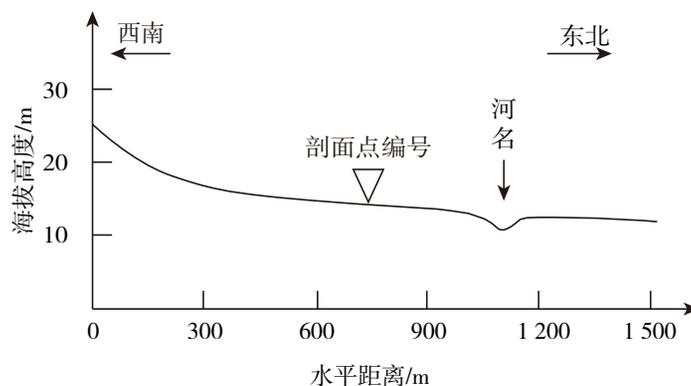


图 14 平原区断面图示例

8.4.9 剖面土壤样品暂存与流转

土壤样品采集后应及时流转至样品制备实验室，采集后至流转前的暂存期间，应妥善保存于室内。暂存样品的室内环境应通风良好、整洁、无易挥发性化学物质，并避免阳光直射。装有土壤发生层样品的布袋应单层摆放整齐，使样品处于通风状态，避免样品堆叠存放，避免土壤霉变、样品间交

叉污染及受外界污染等。针对含水量高的土壤发生层样品，外业调查队需先对样品进行风干处理再流转。土壤水稳性大团聚体样品在运输和暂存期间，特别需要避免剧烈震动造成的土体机械性破碎，特别需要及时流转至样品制备实验室，以保持田间含水量状态，避免原状土壤样品变干、变硬和破碎，导致制样困难和测定异常；若不能及时流转，外业调查队应及时与样品制备实验室对接，外业调查队在样品制备实验室确认样品状态合格后，在其指导下进行风干处理，再流转。

外业调查队采集纸盒土壤标本后，于室内打开盒盖进行风干。避免纸盒土壤标本霉变、不同发生层样品间的交叉污染、不同纸盒标本间的交叉污染及外界环境的污染等。若外业调查时未进行润态土壤颜色比色，外业调查队需利用纸盒土壤标本进行室内干态和润态比色，补录、上报颜色数据。之后，将风干的纸盒土壤标本流转至省级土壤普查办指定的存储位置，以便完成土壤类型室内鉴定。最后，将纸盒土壤标本流转至国家土壤样品库和省级土壤样品库。

剖面样点中属于国家整段土壤标本采集任务点位的，应同时采集国家整段土壤标本一式三份、纸盒土壤标本一式三份，在标本采集后，整段土壤标本无须加工制作，纸盒土壤标本需经风干处理，然后即可通过公共物流渠道分别流转至3家国家土壤标本库建设单位（中国科学院南京土壤研究所、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、全国农业展览馆）。托运时，每个整段土壤标本木盒先用泡沫塑料包裹缠紧，再打制木架或木盒盛装运输，且务必附带标本采集所在剖面样点的编号及相关信息。

盐碱地普查和盐碱土调查剖面样点的水样应及时流转至省级质控实验室，暂存和流转过程中需低温（4℃）保存。

按照耕地和园地剖面土壤样品、林地和草地剖面土壤样品两大类，分类组批流转。

9 外业调查与采样质量控制

外业调查与采样工作的全流程包括内业筹备、外业调查采样、室内样品整理、样品流转等环节，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技术指导、预设样点定位与信息描述质量控制、样品采集质量控制、样品暂存与流转质量控制、调查数据提交质量控制等5个方面。

9.1 外业调查人员培训与专家技术指导

土壤普查质量的高低很大程度上取决于土壤普查工作参与者能力的强弱，尤其是一线调查人员的专业知识素养与外业工作应变处置能力的水平。在土壤三普试点以及全面普查铺开期间，须对各省（区、市）、各县（市、区）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要认真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 预设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。当预设样点未通过局地代表性核查时，须按照要求进行样点现场调整。使用移动终端 App 完成信息描述与记载工作，完成所有填报数据检查，如填写不合格，不能完成数据提交。

9.3 样品采集质量控制

地方土壤普查办和外业调查队对样品采集质量负责。全国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、剖面土壤发生层样品、容重样品、水稳性大

团聚体样品、整段土壤剖面标本、纸盒土壤标本、浅层地下水和地表灌溉水样品等采集符合普查相关质量要求。

9.4 样品暂存与流转质量控制

样品采集完成后，应及时流转至样品制备实验室。流转前的暂存期间，确保土壤不损耗、不污染和不被破坏。样品流转时，务必做到“样品有数、无一遗漏、责任到人、遗失可查”。

9.5 调查数据提交质量控制

外业调查队采用日结日清方式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。

附录 1 成土环境与土壤利用调查及表层土壤采样信息采集项目清单及填报说明

成土环境与土壤利用调查及表层土壤采样信息采集项目清单及填报说明见附表 1-1。

附表 1-1 成土环境与土壤利用调查及表层土壤采样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（区、市）—市—区（县、市）—乡（镇、街道）—建制村	
	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	
	采样日期	自动赋值	
	天气状况	晴或极少云、部分云、阴、雨、雨夹雪或冰雹、雪	
	调查人员及所属单位	现场技术领队姓名、身份证号及其所属单位	
	调查机构	调查任务承担机构全称	
	基本信息	样点所在地块的承包经营者	耕地和园地样点所在地块的承包经营者姓名、手机号和身份证号
		县级一线质控人员	每个样点的县级一线质控人员姓名、单位、手机号、身份证号
		国家级技术指导专家	是否接受了国家级专家的技术指导，若是，需填报在线或现场技术指导专家的姓名、单位、手机号码、身份证号。特别说明，有国家级整段土壤标本采集任务的剖面样点，必须有国家级专家进行在线或现场指导
		省级技术指导专家	是否接受了省级专家的技术指导，若是，需填报在线或现场技术指导专家的姓名、单位、手机号码、身份证号
		国家级现场质控专家	是否属于国家级现场质控样点，若是，需填报国家级现场抽查样点的专家姓名、单位、手机号码、身份证号
	地表特征	省级现场质控专家	是否属于省级现场质控样点，若是，需填报省级现场抽查样点的专家姓名、单位、手机号码、身份证号
土壤侵蚀		无、轻、中、强、剧烈	
基岩出露		水蚀、重力侵蚀、风蚀、冻融侵蚀、水蚀与风蚀复合	
地表砾石		丰度	无、少、中、多、很多
		间距	很远、远、中、较近、近
地表盐斑		丰度	无、少、中、多、很多
		大小	细砾石、粗砾石、石块、巨砾
地表裂隙		丰度	无、低、中、高、极高
		宽度	薄、中、厚、很厚
土壤沙化		具体数据信息，单位：条/m ² 很细、细、中、宽、很宽 未沙化、轻度沙化、中度沙化、重度沙化	

(续表)

信息项		信息填写规则说明
成土环境 信息	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、低丘、高丘、低山、中山、高山、极高山、黄土高原
	小地形	河间地、沟谷地（含黄土川地）、谷底、干/古河道、阶地、泛滥平原、洪积扇、冲积扇、溶蚀洼地、洼地、河滩/潮滩、潟湖、滩脊、珊瑚礁、火山口、沙丘、纵向沙丘、沙丘间洼地、坡（含黄土梁、峁）、黄土塬、山脊、其他（需注明）
	地形部位	坡顶、坡上、坡中、坡下、坡麓（底部）、高阶地（洪积-冲积平原）、低阶地（河流冲积平原）、河漫滩、底部（排水线）、潮上带、潮间带、其他（需注明）
	坡度	具体坡度（°）数值
	坡形	凸坡、凹坡、直坡
	坡向	无、东、东南、南、西南、西、西北、北、东北
	母岩	野外填报和校核
	母岩母质	风积沙、原生黄土、黄土状物质（次生黄土）、残积物、坡残积物、坡积物、洪积物、冲积物、海岸沉积物、湖泊沉积物、河流沉积物、火成碎屑沉积物、冰川沉积物（冰碛物）、冰水沉积物、有机沉积物、崩积物、其他（需注明，如上层为河流沉积物，下层为湖泊沉积物的二元母质）
	植被	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
土壤利用 信息	植物优势种	自然植被填种、灌、草的优势种，耕地此处统一填报“农作物”
	植被覆盖度	植被总覆盖度及乔木、灌木、草本植被分项覆盖度（%）
	类型现状	土地利用现状分类的二级类名称
	类型变更	调查 2000 年至今，是否存在土地利用变更。若存在土地利用变更，填报模式：2000 年及对应的二级类；变更年份及对应的二级类；调查年份及对应的二级类。示例：2000 年，旱地；2008 年，水田；2019 年，水浇地（蔬菜地）；2023 年，水浇地（蔬菜地）
	设施农业类型	露天蔬菜地、塑料大棚、日光温室、玻璃温室、其他（需注明）
	蔬菜种植年限	连续种植蔬菜的年限，单位：年
	特色农产品	样品所在地块的农产品是否属于全国农产品地理标志登记产品
	高标准农田	是否是高标准农田
	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
	灌溉条件	灌溉设施配套类型 未配套、局部配套、配套完善。若有配套设施，还需填报灌溉方式，包括不灌溉、土渠输水地面灌溉、渠道防渗输水灌溉、管道输水灌溉中的滴灌（微喷灌、喷灌）、其他（需注明）
排水条件	排水条件 充分满足、满足、基本满足、不满足	
道路工程	田间道路类型 机耕路（3~6 m）、生产路（<3 m）	
梯田建设	路面类型 水泥路、碎石路、三合土路、土路、其他（需注明） 是否是梯田	

(续表)

信息项		信息填写规则说明		
土壤利用 信息	耕地利用	熟制类型	一年一熟、两年三熟、一年两熟、一年三熟。蔬菜地和临时药材种植地等按当地粮食作物熟制填报	
		休耕与 撂荒	类型	样点所在田块近 5 个熟制年度的休耕情况。无、季节性休耕、全年休耕
			频次	近 5 年休耕的累计频次（如一年两熟且全年休耕，则该年度休耕频次为 2）
		撂荒	类型	样点所在田块近 5 个熟制年度的撂荒情况。无、季节性撂荒、全年撂荒
	频次		近 5 年撂荒的累计频次（如一年两熟且全年撂荒，则该年度撂荒频次为 2）	
	轮作制度	样点所在田块近 5 个熟制年度的主要轮作作物，按自然年内或实际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		
	轮作制度变更	近 5 个熟制年度内（针对二年三熟、一年两熟、一年三熟）或实际间（针对一年一熟）是否存在轮作制度变更，如果有，以上述轮作制度为基准，填报次要轮作作物		
	水田稻渔种养结合	针对水田样点，调查近 1 个熟制年度内是否存在稻渔共作。若存在稻渔共作，需调查稻渔共作制度类型，分为稻-虾共作、稻-鱼蟹共作、其他（需注明）；估算样点所在田块内围沟和十字沟的宽度和深度（单位：cm）、水面占田块面积的比例（单位：%）		
	当季作物	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）。针对套种和间种等情况，需分别记录作物类型。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		
	产量水平	样点所在田块近 1 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。需记录作物产量的计产形式，如棉花的籽棉重。针对套种和间种等情况，需分别记录作物的产量		

(续表)

土壤利用信息		耕地利用		信息项		信息填写规则说明			
土壤利用信息	耕地利用	施肥管理	施肥方式	氮肥种类	尿素、碳酸氢铵、硫酸铵、三元复合(混)肥、缓控释肥、其他(需注明)	化学氮肥	氮素、碳酸氢铵、硫酸铵、三元复合(混)肥、缓控释肥、其他(需注明) 分季、分作物填报全年实物用量。化学肥料、有机-无机复混肥中的无机肥部分,单位:kg/亩 百分比,单位:% 单位:kg/亩		
				实物用量					
				有效养分含量					
				氮肥总用量(N)					
				基肥和追肥比例	基肥占比、追肥占比,单位:%				
				磷肥种类	磷酸一铵、磷酸二铵、过磷酸钙、钙镁磷肥、三元复合(混)肥、其他(需注明)			化学磷肥	磷酸一铵、磷酸二铵、过磷酸钙、钙镁磷肥、三元复合(混)肥、其他(需注明) 分季、分作物填报全年实物用量。化学肥料、有机-无机复混肥中的无机肥部分,单位:kg/亩 百分比,单位:% 单位:kg/亩
				实物用量					
				有效养分含量					
				磷肥总用量(P ₂ O ₅)					
				基肥和追肥比例	基肥占比、追肥占比,单位:%			化学钾肥	氯化钾、硫酸钾、三元复合(混)肥、其他(需注明) 分季、分作物填报全年实物用量。化学肥料、有机-无机复混肥中的无机肥部分,单位:kg/亩 百分比,单位:% 单位:kg/亩
钾肥种类									
实物用量									
有效养分含量									
钾肥总用量(K ₂ O)									
基肥和追肥比例	基肥占比、追肥占比,单位:%	商品有机肥	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。针对套种和间种等情况,需分别记录不同作物的施肥情况。 百分比,单位:% 单位:kg/亩						
实物用量									
有机质含量									
有机质用量									
土杂肥		土杂肥	分季、分作物填报用量体积,单位:m ³ /亩						
实物用量									
厩肥		厩肥	分季、分作物填报用量体积,单位:m ³ /亩						
实物用量									
施肥方式			沟施、穴施、撒施、水肥一体化、其他(需注明)						
秸秆还田	还田比例	还田方式	还田比例	样点所在田块近1个熟制年度内秸秆还田情况。还田比例分为无(<10%)、少量(10%~40%)、中量(40%~70%)、大量(>70%)。分季、分作物填报					
			还田方式	留高茬还田、粉碎翻压还田、地面覆盖还田、堆腐还田、其他(需注明)					
			还田年限	近10年实施秸秆还田的年数					
少耕免耕	少耕	免耕	少耕	近5年实施少耕的季数之和					
			免耕	近5年实施免耕的季数之和					
绿肥种植	绿肥品种	绿肥种植	绿肥品种	豆科绿肥:紫云英、草木樨、苜蓿、苕子、田菁、箭筈豌豆、蚕豆、柱花草、车轴草、紫穗槐、其他(需注明);非豆科绿肥:肥田萝卜、油菜、金光菊、二月兰、其他(需注明),若种植的首茬等作物是用作牧草,则不属于绿肥					
			种植季节	夏季绿肥、冬季绿肥、多年生绿肥、其他绿肥(需注明)					

(续表)

信息项		信息填写规则说明	
土壤利用信息	作物类型	具体作物类型, 如茶树、柑橘树等。针对果园套种农作物等情况, 需填报农作物类型	
	林龄	作物生长年龄, 单位: 年	
园地利利用	产量水平	野外需记录茶园、枣园、苹果园等样点作物产量的计算形式, 如干毛茶、干果、鲜果。针对果园套种、间种农作物等情况, 需填报近 1 年的农作物产量, 单位: kg/亩	
		氮肥种类	尿素、碳酸氢铵、硫酸铵、三元复合(混)肥、缓控释肥、其他(需注明)
	化学氮肥	实物用量	全年实物用量。化学肥料、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, 单位: %
	化学磷肥	氮肥总用量(N)	单位: kg/亩
		磷肥种类	磷酸一铵、磷酸二铵、过磷酸钙、钙镁磷肥、三元复合(混)肥、其他(需注明)
	施肥量(针对园地利利用和间种农作物等情况, 需分别记录不同作物的施肥情况)	实物用量	全年实物用量。化学肥料、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, 单位: %
	化学钾肥	磷肥总用量(P ₂ O ₅)	单位: kg/亩
		钾肥种类	氯化钾、硫酸钾、三元复合(混)肥、其他(需注明)
	商品有机肥	实物用量	全年实物用量。化学肥料、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, 单位: %
	土杂肥	钾肥总用量(K ₂ O)	单位: kg/亩
		实物用量	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
	施肥方式	有机质含量	百分比, 单位: %
		有机质用量	单位: kg/亩
	绿肥品种	分季、分作物填报用量体积	单位: m ³ /亩
分季、分作物填报用量体积		单位: m ³ /亩	
绿肥种植	沟施、穴施、撒施、水肥一体化、其他(需注明)		
	豆科绿肥; 紫云英、草木樨、苜蓿、苕子、田菁、箭筈豌豆、蚕豆、柱花草、车轴草、紫穗槐、其他(需注明); 非豆科绿肥; 肥田萝卜、油菜、金光菊、二月兰、其他(需注明)		
种植季节	夏季绿肥、冬季绿肥、多年生绿肥、其他绿肥(需注明)		

(续表)

信息项		信息填写规则说明
土壤利用 信息	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。针对林地套种、间种农作物等情况，需记录农作物类型
	林地林龄	林地乔木生长年龄。单位：年
	林农套作和间作管理	针对林地套种、间种农作物等情况，按照耕地施肥管理和产量水平填报方式，记录近1个熟制年度农作物施肥和产量情况
	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
表层土壤调查与采样混样点个数		单位：个
表层土壤样点耕作层厚度		单位：cm
含砾石表层土壤混样品采集	砾石丰度	指野外估测的表层土壤内所有砾石体积占整个表层土壤体积的百分比。单位：%
	砾石重量	指野外分离的粒径大于5 mm的砾石重量。单位：g
表层土壤调查与采样照片采集	景观照（表层和剖面调查，都需要）	每个样点4张，拍摄者应在采样点或剖面附近，拍摄东、南、西、北4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。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
	技术领队现场工作照	每个样点1张，拍摄技术领队现场工作正面照，照片中含采样工具
	混样点照	每个混样点1张，需定位准确后再拍照。若使用不锈钢锹采样，拍摄时，采样坑需挖掘至规定深度，且已摆好刻度尺（木质、塑料质或不锈钢质刻度尺），针对耕地样点，照片应清晰展示耕作层厚度；若使用不锈钢土钻采样，拍摄时，土钻应入土至规定深度
	土壤混样品采集照	每个样点1张，拍摄充分混匀后的土壤样品状态
	土壤容重样品采集照	每个样点1张，首先将不锈钢环刀打到位，且还未从土壤中挖出环刀，此时把环刀托取下，拍摄环刀无刃口端的土壤面状态
	土壤水稳性大团聚体样品采集照	适用于采集该样品的样点。每个样点1张，拍摄样品装入容器后的土壤样品状态
	其他照片	外业调查队认为需要拍摄的其他照片

附录 2 母质类型的划分

母质类型的划分见附表 2-1。

附表 2-1 母质类型划分

编码	母质类型	定义
AS	风积沙	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	指未经外力搬运迁移而残留于原地的风化产物
LG	坡积物	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	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，堆积物也逐渐变细
FL	冲积物	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	湖泊沉积物	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 mm 的叫火山灰，凝固后即成为凝灰岩；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
GT	冰川沉积物（冰碛物）	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
GF	冰水沉积物	冰川融化形成的水称为冰水，由冰水搬运和堆积的沉积物为冰水沉积物，它具有一定的分选性、磨圆度和层理构造，但又保存着冰川作用的痕迹，如在沉积砾石上有冰擦痕与磨光面等。与一般河流沉积物的区别是，冰水沉积物夹有漂砾和冰碛透镜体
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，使矿物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

附录 3 土地利用现状分类

土地利用现状分类见附表 3-1。

附表 3-1 土地利用现状分类

一级类 编码	一级类 名称	二级类		含义
		编码	名称	
01	耕地	0101	水田	指种植农作物的土地，包括熟地，新开发、复垦、整理地，休闲地（含轮歇地、休耕地）；以种植农作物（含蔬菜）为主，间有零星果树、桑树或其他树木的土地；平均每年能保证收获一季的已垦滩地和海涂。耕地中包括南方宽度 $<1.0\text{ m}$ ，北方宽度 $<2.0\text{ m}$ 固定的沟、渠、路和地坎（埂）；临时种植药材、草皮、花卉、苗木等的耕地，临时种植果树、茶树和林木且耕作层未破坏的耕地，以及其他临时改变用途的耕地
		0102	水浇地	指用于种植水稻、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
		0103	旱地	指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
				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	0201	果园	指种植以采集果、叶、根、茎、汁等为主的集约经营的多年生木本和草本作物，覆盖度 $>50\%$ 或每亩株数大于合理株数 70% 的土地。包括用于育苗的土地
		0202	茶园	指种植果树的园
		0203	橡胶园	指种植茶树的园
		0204	其他园	指种植桑树、可可、咖啡、油棕、胡椒、药材等其他多年生作物的园
03	林地			指生长乔木、竹类、灌木的土地，及沿海生长红树林的土地。包括迹地，不包括城镇、村庄范围内的绿化林木用地，铁路、公路征地范围内的林木，以及河流、沟渠的护堤林
		0301	乔木林地	指乔木郁闭度 ≥ 0.2 的林地，不包括森林沼泽
		0302	竹林	指生长竹类植物，郁闭度 ≥ 0.2 的林地
		0303	红树林	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	指灌木覆盖度 $\geq 40\%$ 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	其他林地	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		

(续表)

一级类		二级类		含义
编码	名称	编码	名称	
04	草地			指以生长草本植物为主的土地
		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
05	商服用地	0404	其他草地	树木郁闭度<0.1,表层为土质,不用于放牧的草地
				指主要用于商业、服务业的土地
		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、商业性办公场所、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、广告服务等用地
		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%的大型游乐等设施用地
		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、电子产品和日用品修理网点、物流营业网点,及居住小区及小区以下的配套的服务设施等用地
				指主要用于工业生产、物资存放场所的土地
		06	工矿仓储用地	0601
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			指主要用于人们生活居住的房基地及其附属设施的土地
		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

(续表)

一级类		二级类		含义
编码	名称	编码	名称	
08	公共管理与公共服务用地			指用于机关团体、新闻出版、科教文卫、公用设施等的土地
		0801	机关团体用地	指用于机关团体、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	指用于各类教育的用地。包括高等院校、中等专业学校、中学、小学、幼儿园及其附属设施用地, 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	指体育馆和体育训练基地等用地。包括室内外体育运动用地, 如体育场、游泳馆、健身房、各类球类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, 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
09	特殊用地	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
		0901	军事设施用地	指用于军事设施、涉外、宗教、监狱、殡葬、风景名胜等的土地
		0902	使领馆用地	指直接用于军事目的的设施用地
		0903	监教场所用地	指用于外国政府及国际组织驻华使领馆、办事处等的用地
		0904	宗教用地	指用于监狱、看守所、劳改场、戒毒所等的建筑用地
		0905	殡葬用地	指专门用于宗教活动的庙宇、寺院、道观、教堂等宗教自用地的陵园、墓地、殡葬场所用地
		0906	风景名胜设施用地	指风景名胜点(包括名胜古迹、旅游景点、革命遗址、自然保护区、森林公园、森林公园、湿地公园、湿地公园等)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其现状归入相应地类

(续表)

一级类		二级类		含义
编码	名称	编码	名称	
10	交通运输用地			指用于运输通行的地面线路、场站等的土地。包括民用机场、汽车客货运场站、港口、码头、地面运输管道和各种道路以及轨道交通用地
		1001	铁路用地	指用于铁路线路及场站的用地。包括征用地范围内的路堤、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、县道和乡道的用地。包括征用地范围内的路堤、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)、停车场、教练场等用地,不包括交通指挥中心、交通队用地
		1006	农村道路	在农村范围内,南方宽度 $\geq 1.0\text{ m}$ 、 $\leq 8.0\text{ m}$,北方宽度 $\geq 2.0\text{ m}$ 、 $\leq 8.0\text{ m}$,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,不包括常水位以下部分
		1009	管道运输用地	指用于运输煤炭、矿石、石油和天然气等管道及其相应附属设施的地上部分用地
11	水域及水利设施用地			指陆地水域、滩涂、沟渠、沼泽、水工建筑物等用地。不包括滞洪区和已垦滩涂中的耕地、园地、林地、城镇、村庄、道路等用地
		1101	河流水面	指天然形成或人工开挖河流常水位岸线之间的水面。不包括被堤坝拦截后形成的水库区段水面
		1102	湖泊水面	指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 $\geq 10\text{ 万 m}^3$ 的水库正常蓄水位岸线所围成的水面
		1104	坑塘水面	指人工开挖或天然形成的蓄水量 $< 10\text{ 万 m}^3$ 的坑塘常水位岸线所围成的水面
		1105	沿海滩涂	指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间的滩地;时令潮,河洪水位以下的滩地,水库、坑塘的正常蓄水位与洪水位间的滩地,包括海岛的内陆滩地,不包括已利用的滩地
		1107	沟渠	指人工修建,南方宽度 $\geq 1.0\text{ m}$ 、北方宽度 $\geq 2.0\text{ m}$,用于引、排、灌的渠道,包括渠槽、渠堤、护堤林和小型泵站。
		1108	沼泽地	指经常积水或渍水,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	指人工修建的闸、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		

(续表)

一级类		二级类		含义
编码	名称	编码	名称	
12	其他 土地			指上述地类以外的其他类型的土地
		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	指直接用于经营性畜禽养殖生产设施及附属设施用地；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、大型农机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	指梯田及梯状坡地耕地中，主要用于拦蓄水和护坡，南方宽度 $\geq 1.0\text{ m}$ ，北方宽度 $\geq 2.0\text{ m}$ 的地坎
		1204	盐碱地	指表层盐碱聚集，生长天然耐盐植物的土地
		1205	沙地	指表层为沙覆盖、基本无植被的土地。不包括滩涂中的沙地
		1206	裸土地	指表层为土质，基本无植被覆盖的土地
		1207	裸岩石砾地	指表层为岩石或石砾，其覆盖面积 $\geq 70\%$ 的土地

注：摘编自《土地利用现状分类》（GB/T 21010—2017）。

附录 4 土壤样品交接表

土壤样品交接见附表 4-1。

附表 4-1 土壤样品交接

样品交接人（签字）	物流信息		物流单号：	联系电话：
样品交接人手机号	交接日期	20__年__月__日		
样品交接人单位		样品和包装情况		
	样品数量			
	样品类型			
	<input type="checkbox"/> 耕地 <input type="checkbox"/> 园地 <input type="checkbox"/> 林地 <input type="checkbox"/> 草地			
	<input type="checkbox"/> 表层土壤混合样品			
	<input type="checkbox"/> 表层土壤谷重样品			
	<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	样品接收时情况		
	<input type="checkbox"/> 剖面土壤谷重样品			
	<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	
样品接收人手机号		样品交接备注		
样品接收人单位				

附录 5 土壤剖面形态调查信息采集项目清单及填报说明

土壤剖面形态调查信息采集项目清单及填报说明见附表 5-1。

附表 5-1 土壤剖面形态调查信息采集项目清单及填报说明

土壤剖面形态特征描述项		描述项规则说明
发生层性状	发生层深度	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	每个发生层的名称，如耕作层、犁底层、水耕氧化还原层（潜育层）、水耕氧化还原层（渗育层）
	发生层符号	每个发生层的符号，如 Ap1、Ap2、Br（潜育层）、Br（渗育层）
	边界	突变、清晰、渐变、模糊
	颜色	平滑、波状、不规则、间断 野外润态比色，或者室内干态、润态比色。格式：油黄棕色（10YR 4/3，干），暗棕色（10YR 3/3，润）
	根系	无、很少、少、中、多 极细、细、中、粗、很粗
	质地	活的或已腐烂的木本或草本植物根系 砂土、砂壤土、壤土、粉壤土、黏壤土、黏土 片状：很薄、薄、中、厚、很厚 柱状、棱柱状、楔状：很小、小、中、大、很大 角块状、团块状、核状：很小、小、中、大、很大 单粒状：无结构 粒状、团粒状、屑粒状：很小、小、中、大、很大 整块状：细沉积层理、风化矿物结晶、其他（需注明） 糊泥状：无结构
	结构	发育程度 很弱（保留大部分母质特性）、弱（保留部分母质特性）、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 指野外估测的土壤发生层内所有砾石体积占整个发生层体积的百分比，不超过 5%时，可填 0、2%、5%；超过 5%时，以 5%为等级间隔填报具体数字
	风化程度	重量 指野外分离的粒径大于 5 mm 的砾石重量，单位：g
	结持性	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 松散、极疏松、疏松、稍坚实-坚实、很坚实、极坚实

(续表)

土壤剖面形态特征描述项		描述项规则说明
发生层 性状	丰度	无、很少、少、中、多、很多
	大小	很小、小、中、大
	组成物质	铁氧化物、锰氧化物、铁锰氧化物、高岭石、二氧化硅、其他（需注明）
	位置	结构体表面、结构体内、孔隙周围、根系周围
	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、铁锰氧化物、粉砂、其他（需注明）
	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
	种类	晶体、结核、软质分凝物、假菌丝体、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、铁锰氧化物、石膏、易溶盐类、其他（需注明）
	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、铁氧化物、铁锰氧化物、铁锰氧化物-有机质、石膏、黏粒、黏粒-铁锰氧化物
	成因或起源	自然形成、机械压实、耕犁、其他（需注明）
	摩擦面	无、少、中、多、很多
	侵入体	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）
土壤动物	丰度	无、很少、少、中
	种类	蚯蚓、蚂蚁/白蚁、田鼠、甲虫、其他（需注明）
	丰度	无、少、中、多
	影响情况	动物洞穴、蚯蚓粪
	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
	土壤碱化反应	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
	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	
土体 性状		

(续表)

土壤剖面形态特征描述项		描述项规则说明
地下水出现的深度	土壤剖面形态的发生学解释	挖掘剖面时,观察并记录地下水出现的深度,单位:cm。挖掘剖面时,若观察到地下水出现,地下水深度描述为地下水实际出现时的深度,如60cm;若未观察到地下水出现,地下水深度描述为大于剖面挖掘的深度,如大于150cm
	土壤剖面的生产性能评述	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,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,从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远程咨询
土壤类型野外述评	土壤剖面的生产性能评述	生产性能评述包括记录评价土壤适耕性、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
	中国土壤地理发生分类名称	鉴定到土种级别,土纲—亚纲—土类—亚类—土属—土种
土壤类型名称	中国土壤系统分类名称	检索到亚类级别,土纲—亚纲—土类—亚类
	剖面踏勘点景观照	每个剖面点至少3个踏勘点,每个踏勘点4张。为核实确定土壤类型图斑内主要土壤类型,在图斑内踏勘时,应至少选择3个踏勘点,要求所有踏勘点两两之间的间距原则上不低于500m,拍摄每个踏勘点东西南北4个方向的景观照片
剖面土壤调查采样照片采集	剖面点景观照	每个样点4张,拍摄者应在采样点或剖面附近,拍摄东、南、西、北4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。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
	标准剖面照	每个样点2张,一种是剖面上方不放置纸盒,另一种是剖面上方放置带样点编号的纸盒。放置纸盒时以剖面或剖面尺为中心,纸盒底部外侧用黑色记号笔清晰标记剖面样点编号
	技术领队现场工作照	每个样点1张,拍摄技术领队现场工作正面照,照片中含采样工具
	剖面坑场景照	每个样点1张,照片应清晰完整展示挖掘完毕的整个剖面坑、修整好的观察面以及挖出的堆放在剖面坑两侧的土
	土壤容重样品采集照	每个样点1张,首先将不锈钢环刀打到位,且还未从土壤中挖出环刀,此时把环刀托取下,拍摄环刀无刃口端的土壤面状态
	土壤水稳性大团聚体样品采集照	每个样点1张,拍摄样品装入容器后的土壤样品状态
	纸盒土壤标本采集照	每个样点1张,野外利用数码相机拍摄纸盒土壤标本采集完成后的照片。拍照时,取下纸盒顶盖,展示出土壤标本,并将顶盖与底盒并排摆放整齐,纸盒顶盖完整标记样点编号、采样深度等全部信息,将数码相机镜头垂直纸盒土壤标本进行拍摄
	整段土壤标本采集照	适用于国家整段土壤标本采集的样点,每个样点1张,野外利用数码相机拍摄整段土壤标本采集后、未安装上盖的照片。照片内容应包含整段土壤标本的全貌、样点编号等信息
	剖面形态特征特写照	适用于有明显的新生体、结构体、侵入体或土壤动物活动痕迹等的剖面样点,每个样点1张,野外利用数码相机拍摄,且应摆放微型标尺
	剖面点所在景观位置断面照片	手绘出剖面点所在景观位置断面图,拍照或扫描上传土壤普查平台。断面图反映剖面点所在位置景观特征(地形、土地利用、母质等)、断面方位、水平距离、剖面点位置、剖面编号等信息
	其他照片	外业调查队认为需要拍摄的其他照片

附录6 土壤主要发生层命名与符号标准

土壤主要发生层命名与符号见附表6-1。

附表6-1 土壤主要发生层命名与符号标准

发生层符号	发生层命名	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，在表下层层段出现颜色深暗、有机质累积的土层
Aup	灌溉表层或堆垫表层	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	
Kz	盐结壳	由大量易溶性盐胶结成灰白色或灰黑色表层结壳
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、热带地区第四纪红黏土上具有网纹特征的土层
Bn	碱积层	钠聚集层

(续表)

发生层符号	发生层命名	发生学释义
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、结核、斑块或铁磐
Bs	铁锰淀积层	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
Bv	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、发亮且有槽痕的滑擦面,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
Bp	耕作淀积层	旱地土壤中受耕作影响而形成的一种淀积层
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
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
R	基岩	形成土壤的基岩

表下层类

母质层

母岩

第三次全国土壤普查土壤 生物调查技术规范

(修订版)

执笔人：孙波 王辉 蒋瑞霖 陈晏 王晓玥
梁玉婷 郑洁 栾璐 马志远 王宁
祝玲月 卞清 魏海雷 林英华 梁文举
邱江平 杨云锋 张瑞福 秦华 阮志勇
李永涛 胡锋 徐明岗 李荣 沈其荣

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2023年2月

目 次

1	适用范围	144
2	总则	144
2.1	调查目标	144
2.2	调查工作流程	144
2.3	调查原则	145
3	规范性引用文件	146
4	术语和定义	146
4.1	土壤生物 soil organisms	146
4.2	土壤生物群落 soil biome	146
4.3	土属 soil genus	147
4.4	土种 soil species	147
4.5	样点 sampling site	147
4.6	样地 sampling plot	147
4.7	样方 sampling quadrat	147
4.8	分区随机采样法 block random sampling method	147
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	147
4.10	土壤生物样品中转站 soil organism sample transferring station	147
4.11	土壤微生物生物量 soil microbial biomass	147
4.12	土壤呼吸强度 soil respiration intensity	147
4.13	土壤多酚氧化酶 soil polyphenol oxidase	147
4.14	土壤 β -D-葡萄糖苷酶 soil β -D-glucosidase	148
4.15	土壤脲酶 soil urease	148
4.16	土壤硝酸还原酶 soil nitrate reductase	148
4.17	土壤氨单加氧酶 soil ammonia monooxygenase	148
4.18	土壤磷酸酶 soil phosphatase	148
4.19	青枯菌 <i>Ralstonia solanacearum</i>	148
4.20	尖孢镰刀菌 <i>Fusarium oxysporum</i>	148
4.21	土壤线虫 soil nematode	148
4.22	蚯蚓 earthworm	148
4.23	基因拷贝数 gene copies	148
4.24	土壤微生物高通量测序 soil microbial high-throughput sequencing	149
4.25	土壤功能基因组测序 soil functional genomic sequencing	149
4.26	土壤动物线粒体基因组测序 soil animal mitochondrial genome sequencing	149
4.27	土壤生物数据库 soil biological database	149
4.28	植物生长旺盛期 plant exuberant growth period	149
5	土壤生物调查方法	149
5.1	土壤生物调查样点布设方法	149
5.2	土壤生物调查样点布设数量与区域	149
5.3	土壤生物调查样地设置与信息采集	150
5.4	土壤生物样品采集	150
5.5	土壤生物调查人员组成和调查时间选择	153

5.6	土壤生物样品中转站建设管理	153
5.7	土壤生物调查样品分析测试单位选择	154
6	土壤生物调查和评价指标体系与分析方法	154
6.1	土壤生物评价指标体系	154
6.2	土壤微生物生物量	155
6.3	土壤细菌、真菌、古菌和重要碳氮磷功能基因丰度	155
6.4	土壤呼吸强度	155
6.5	土壤酶活性	155
6.6	土壤微生物群落组成	156
6.7	土壤优势功能微生物分离培养及鉴定	156
6.8	土壤功能基因组	156
6.9	土壤线虫群落分析	156
6.10	蚯蚓群落分析	156
7	土壤生物调查质量控制	156
7.1	建立土壤生物调查质量控制体系	156
7.2	土壤生物采样过程质量控制	156
7.3	分析测试单位质量控制	156
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	156
7.5	土壤生物数据质量控制	157
8	土壤质量和土壤健康的生物学综合评价	157
9	土壤生物调查成果管理	157
9.1	建立土壤生物调查数据库	157
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	157
附录 1	土壤微生物生物量的测定——熏蒸提取法	158
附录 2	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	163
附录 3	土壤呼吸强度测定方法	170
附录 4	土壤酶活性测定方法	171
附录 5	土壤微生物群落组成高通量测序方法	179
附录 6	土壤优势功能微生物分离培养及鉴定方法	187
附录 7	土壤功能基因组测序方法	193
附录 8	土壤线虫分离鉴定方法	204
附录 9	蚯蚓物种调查鉴定及线粒体基因测序方法	210
附录 10	土壤生物样品分析质量控制方法	215
附录 11	土壤生物数据质量控制方法	217
附录 12	土壤质量和土壤健康的评价方法	221
附录 13	土壤生物调查数据管理方法	226

1 适用范围

本规范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、调查样点布设方法、样品采集与保存运输方法、样品分析方法、调查全程质量控制方法、调查数据综合分析方法、调查数据管理方法等。

本规范适用于全国尺度或区域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、物种多样性、功能多样性、重要功能种群组成的调查；适用于全国尺度或区域尺度基于土壤生物学性状的农用地土壤质量和土壤健康评价。

2 总则

2.1 调查目标

基于土壤三普设定的总体目标，针对我国所有土属中的重要土种，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

土壤生物调查工作流程见图 1。

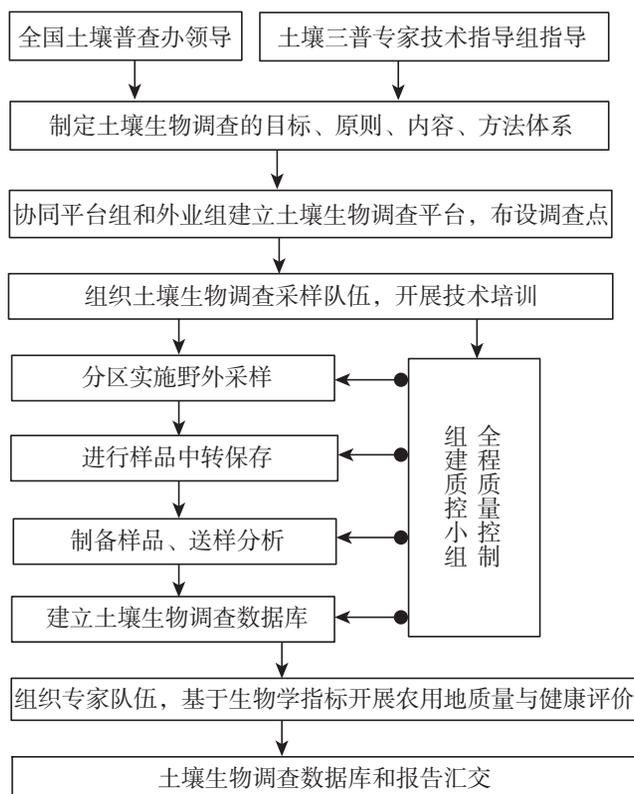


图 1 土壤生物调查工作流程

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养分和污染物的转化和循环，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，生物群落中存在随机性和确定性的演变过程，影响了土壤生物群落的功能。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

在考虑土壤生物群落演替过程与生物群落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以及细胞与群落尺度上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。在全国尺度上，根据土种面积占比顺序选择土壤生物调查的土种类型，基于土壤三普布设的土壤剖面调查样点，根据土种分布图斑的面积抽取土壤剖面土壤生物调查样点，作为全国的土壤生物调查样点。在省（区、市）尺度上，根据加密调查的目标和任务，以所在省（区、市）的土壤剖面样点为基础，可以抽取部分土壤剖面样点，也可以覆盖所有土种的土壤剖面样点，直至加密部分表层样点（如针对特色农产品产区），最终确定省（区、市）土壤生物调查样点。原则上，土壤生物调查与土壤剖面调查协同开展“共点”调查。

2.3.2.1 气候带主导、兼顾自然经济条件

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（东部，下同）、中部半湿润半干旱区（中部，下同）、西部干旱区（西部，下同）3个大区。

2.3.2.2 农用地主导、兼顾其他用地类型

覆盖土壤三普中土地利用方式范围，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的所有调查土属，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的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。针对耕地和园地，土壤生物调查以土种作为样点选择的基本分区单元，根据土种面积占比顺序选择土壤生物调查的土种类型，根据土种分布图斑的面积抽取土壤剖面样点，确定土壤生物调查样点。针对林地和草地，以土属为基本分区单元，在每个土属下选择1~2个优势土种作为调查对象。土壤生物调查

与土壤剖面调查协同开展“共点”调查。

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。为了保证土壤生物样品的典型性，必须坚持景观性原则，在一定区域选择土种形成的典型景观类型采集土壤生物样品。为了保证采集的混合土壤生物样品的代表性，必须坚持随机性原则，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 土壤生物调查样品和分析样品的编码原则

以土壤三普土壤剖面调查点编号作为土壤生物调查的样地编号。样品编码在样地编号基础上扩展4个字段共7位数字，样品编码格式为：N A B C D，其中N为剖面点编号，A为样点级别字段（0~2，0为国家级土壤生物样点，1为省级土壤生物样点，2为市级及以下土壤生物样点），B为生物调查样点编号字段（0001~9999），C为样品类型编号（1~3，1为微生物，2为线虫，3为蚯蚓），D为土壤生物样品重复编号字段（1~9，其中1~6为调查样品重复编号，7~9为质控样重复编号）。

根据土壤三普土壤样品制样转码原则，建立对应于野外样品唯一编号的送检样品编号，然后在送检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。同时对平行双样、质控样按同样规则进行编号。

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规范必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规范；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于规范。

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规范。

4.1 土壤生物 soil organisms

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、病毒、古菌、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、营养类群等。

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

在土壤调查样点，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且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能力。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，驱动了土壤中碳、氮、磷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、处理和保存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 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 微生物的总重量。

4.12 土壤呼吸强度 soil respiration intensity

单位时间内从单位质量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 -D-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

将土壤中正磷酸单酯水解成磷酸盐的一类非特异性磷酸单酯酶。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 (Imperfect fungi) 丛梗孢目 (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 3 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的假体腔无脊椎动物，隶属线虫动物门 (Nematoda)，是土壤动物中数量和功能类群最丰富的类群之一。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 蚯蚓 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、分泌黏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 16S 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 土壤功能基因组测序 soil functional genomic 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，进行功能基因组学的测序分析技术。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组测序 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 biological 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。

4.28 植物生长旺盛期 plant exuberant growth period

指一年中植物生长最旺盛的时期。植物生长与温度条件密切相关，同时还受纬度、海拔、植物种类、水分等条件的影响。农业上一般以日平均气温大于 15℃ 的持续时期称为喜温作物的生长旺盛期。

5 土壤生物调查方法

5.1 土壤生物调查样点布设方法

根据土壤三普布点原则，按气候区类型、土地利用类型、土种类型、地形条件的代表性和典型性，确定土壤生物调查样点的分布和数量。在第二次全国土壤普查 1:5 万土壤图（细分至土种，部分地区土属）的基础上，叠加第三次全国国土调查 1:1 万土地利用现状图、2020 年 1:1 万全国行政区划图，评价不同土地利用方式的代表性；基于 12.5 m 分辨率的数字高程模型，评价调查土种在海拔、坡度等地形条件方面的代表性。最后，根据土壤生物调查土种面积占比，基于全国土壤剖面调查点分布图，抽取调查土种剖面点的分布点和数量。在没有土种分布图的地区，综合利用土地利用、地形等信息确定土壤生物调查样点分布，通过专家组评估制定全国土壤生物调查样点位置和分布图。

5.2 土壤生物调查样点布设数量与区域

(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以东中部地区为主，兼顾西部地区。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。

(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 3 个等级的耕地。

(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，在土壤剖面调查点的基础上，依据土属中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，每个土属最少调查一个土种类型；合理调整不同区域和土地利用方式下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。

5.3 土壤生物调查样地设置与信息采集

土壤生物调查样地布设应以土壤三普土壤剖面调查点为核心，土壤生物调查与土壤剖面调查“共点”设置调查点，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。土壤生物调查队伍通过手持终端 App 等导航设备寻找土壤生物采样点位置，根据土壤剖面挖掘点或者以 GPS 定位点为核心设置采样地。土壤生物调查样点电子围栏为土壤剖面调查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）。样地范围可在包含土壤剖面点的土种图斑边界内调整。

每个土壤生物调查样地面积原则上应大于 1 hm^2 。在平原区地形地貌简单、土种分布面积较大的地区，可按 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 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、地块形状与面积适当调整样地面积与形状，例如丘陵山区狭长地带，可以采用 $50 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 等长方形在相同地形部位确定样地，保证样地中土种类型的一致性。土壤生物调查样地原则上选择面积较大、作物类型相同的完整地块，避免破碎田块以及水产养殖塘、道路等非调查的土地利用方式。

填报土壤样地信息。在土壤生物调查信息平台中核实或输入调查样点的样点编码，地理坐标、海拔、行政区划、采样日期、天气情况、调查人及其所属单位等信息。以上均为必填项。除天气状况、农药肥料翻耕信息、调查人、调查机构需现场选择填报外，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（区、市）—市—区（县、市）—乡（镇、街道）—建制村”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。

(3) 地理坐标、全景照片。顺时针依次输入正方形或长方形样地的 4 个直角点经纬度坐标。坐标参照国家网格参考系统（CGCS 2000 国家大地坐标系），经纬度格式采用“十进制”，单位：度（°）。样地每个直角点确定位置后，由手持设备自动采集坐标信息和赋值。

在第一直角点面向样地方向用手持 App 或者数码相机等拍摄包含地块、农作物、天空的样地全景照片，种植玉米等高秆作物时可借助拍摄杆等装置拍摄，并上传土壤生物调查信息系统平台。

(4) 海拔。每个样点确定位置后，由手持设备自动采集和赋值。单位：m。

(5) 日期。采用“20××年××月××日”格式，如“2022年08月05日”，自动赋值。

(6) 天气状况。从“雨、雨夹雪或冰雹、雪、雨雪冰雹后 24 h 内晴或多云、雨雪冰雹后 24 h 内阴、雨雪冰雹后 48 h 内晴或多云、雨雪冰雹后 48 h 内阴、雨雪冰雹后 72 h 内晴或多云、雨雪冰雹后 72 h 内阴、连续阴 72 h 以上、连续晴 72 h 以上”选项中选择。

(7) 农药肥料翻耕信息。现场询问农户，从“近 3 天内是否施用农药”选择“是”或者“否”，选“是”进一步填写农药名称；从“近 3 天内是否施用肥料”选择“是”或者“否”，选“是”进一步选择从“固体化肥、水溶性化肥、固体有机无机复混肥、水溶性有机无机复混肥、商品有机肥、土杂肥、厩肥、水溶性有机肥”中选择，并注明施用方式 [沟施、穴施、撒施、喷施、管道滴施、其他（需注明）]；从“近 3 天内是否翻耕”选择“是”或者“否”。

(8) 调查人。填写现场技术领队姓名及所属单位，调查人由系统提供现场选择。

(9) 调查机构。填写调查任务承担机构全称，调查机构由系统提供现场选择。

5.4 土壤生物样品采集

选定土壤生物调查样地后，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。

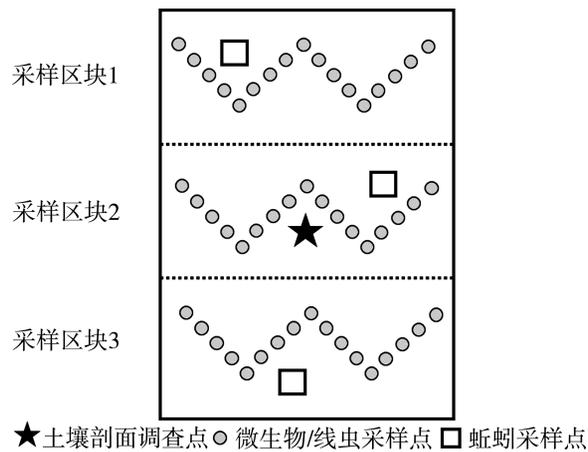


图2 土壤生物调查样地采样分区与采样点布设

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；农田去除表面杂物，垄作农田土壤，采集垄上（种植作物条带上）非根际土。在每个采样区内，利用直径 50 mm 的不锈钢土钻随机采集 15 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，样品重量不够可适当增加采样点数。每个样地分别采集 3 个微生物混合样和 3 个线虫混合样作为重复。针对包含多块地块、种植不同作物类型的样地，每个重复样的多点混合采样点应选择在同一地块、具有相同的作物类型，3 个重复样也应尽可能选择相同或相似的作物类型。

5.4.1.1 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) 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) 用于土壤微生物分析和土壤线虫分离鉴定的每个混合样品分别以 1 000 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。

5.4.1.2 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好气状态下土壤样品相同的方式采取。

(2) 把淹水状态下采集的表层土样排在塑料布上，经核对后立即装入塑料袋，以手揉搓样袋排出空气，扎紧袋口，系上标签；再套上另一个塑料袋，扎紧袋口，系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。

采样点位应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；不在水土流失严重或表土被破坏处设采样点。

5.4.2 土壤中蚯蚓的手拣法采样

在每个采样区块随机选择 1 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，以深层种为主要生态型的地块可根据需要适当增加调查深度，并记录调查深度。每个样地采集 3 个蚯蚓混合样作为 3 个重复。蚯蚓的 3 个重复样方应尽可能选择相同或相似的自然条件与作物类型。野外采集的蚯蚓当天必须进行脱水固定，并妥善保存与寄回中转站。

5.4.2.1 蚯蚓样品采集

(1) 在每个采样区域内利用样方框随机设置 1 个蚯蚓样方，用固定钉固定，样方面积为 100 cm×100 cm、深度为 30 cm。

(2) 去除样方内土壤表面的覆盖物，如植物、凋落物、秸秆，发现的蚯蚓放入样品袋。

(3) 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，手工就地分拣蚯蚓，拣过的土壤应单独放置，不要与未拣过的土壤混合。将拣到的蚯蚓放入样品袋中，样品袋内放入 1/5~1/4 容积的土壤以保持蚯蚓活性，土量以肉眼看不到蚯蚓活体为准，采样时截断的蚯蚓保留蚯蚓头部分，尾部弃去。

(4) 样方应严格遵循样方容积，边缘部分保持垂直，边缘可用小型锄/铲/锹修整，修整时小心不要截断蚯蚓，样方边缘的蚯蚓需装入样品袋内。

(5) 每个样方内采集到的所有蚯蚓装入一个样品袋，每个挖掘完成的样方必须拍照上传，照片范围内要有完整的样方框和固定钉、拣完蚯蚓的浮土，以及采样工具。一个样点 3 个采样分区共采集 3 个蚯蚓样品袋。

(6) 每一个样点或样地的 3 个野外样品袋在采样结束后，应安排专人逐项检查 App 采样记录、样品袋标签和蚯蚓样品，如有缺项和错误，及时补齐更正，检查完的 3 个样品袋与同点采集的 3 个土壤微生物、3 个土壤线虫样品整齐摆放在样地边的空地，拍摄照片并上传，照片中样本袋编号应清晰可见，标签要能够区分同一样点的不同处理。

(7) 所采蚯蚓样品带回室内，当天完成对蚯蚓样品的脱水固定工作。

(8) 其他注意事项。①为了尽可能采得性发育成熟标本，采样应选择春、夏季进行，同时考虑温度和降雨等气象条件，最好在雨后采集。避开高温、大雨、干旱等时期采样，减少深耕、施肥、喷药、灌水等人为措施的影响。②对于水稻田，以避开水稻灌水期为原则。如样地落在淹水稻田等土壤水分饱和的田块时，可选择在样地内田埂、沟渠等地段布置样方。③对于林地，由于根系影响采样，可以适当扩大采样样方的面积和采样深度，记录实地采样的方式。

5.4.2.2 蚯蚓样品的脱水固定

野外采集的蚯蚓当天必须进行脱水固定，可在晚上进行。每个样品袋中的蚯蚓固定步骤如下。

(1) 蚯蚓清洗与计量。从样品袋中取出当天所有蚯蚓，用纯净水或自来水清洗干净，吸水纸吸干后计数、称总鲜重，每个样方内的蚯蚓数与总鲜重需在 App 中填报上传，然后将蚯蚓放入麻醉盒。

(2) 蚯蚓麻醉。麻醉盒中装载 1/3 容积 10%酒精溶液，放入蚯蚓浸泡，直至 5~10 min 蚯蚓不再扭动，移入脱水盒。

(3) 蚯蚓脱水。脱水盒中装载 1/3 容积 95%以上的纯酒精，放入麻醉充分的蚯蚓进行脱水，脱水过程中随时捋直蚓体，直至 10~15 min 蚯蚓变硬变直固定。

(4) 拍照上传。所有的蚯蚓排放在 1 张 A4 纸上并拍照上传，样品标签应清晰可见。

(5) 每个样品袋的蚯蚓同上述步骤分别处理。

5.4.2.3 蚯蚓样品的保存、标记与运输

每个样品袋中脱水固定完的蚯蚓采用如下步骤保存、标记与邮寄。

(1) 蚯蚓保存与标记。脱水固定后的蚯蚓放入注满浓度 95%以上酒精的容器，如可密闭离心管中保存，每个样品袋中的蚯蚓放入一个容器，容器外面贴上打印的样本标签。容器中的酒精应每天更换，直至清澈为止。

(2) 蚯蚓样品邮寄。保存在容器中的蚯蚓，7~10 天后倒去酒精溶液，可以放在容器中直接邮

寄。邮寄时再一次核对样品数量，一次邮寄的所有容器摆放整齐并拍照上传，照片中要有包装盒和邮寄地址，邮寄地址应为样品中转站，App 填写外业调查队伍中寄样人的基本信息、寄送样品清单或表、寄样日期等。

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。

5.4.4 土壤生物调查外业质控

土壤生物调查队伍在采样过程中，每个采样区块分别拍摄一张包含采样人、采样工具的土壤微生物和线虫采样工作照片，一张挖掘完成的蚯蚓样方（含采样工具和捡完蚯蚓的土壤）照片，并在 App 上传。完成所有采样工作后，将土壤微生物样品袋、线虫样品袋、蚯蚓样品袋整齐摆放在样地边空地，拍摄照片并上传，照片中样本袋标签应清晰可见，标签要能够区分同一样地不同重复的样品。

5.5 土壤生物调查人员组成和调查时间选择

土壤生物调查在全国 8 个区域分区开展采样。每个区域根据调查样点数量，组织 3~5 支外业调查队伍。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。

土壤生物调查的野外采样时期原则上选择在植物生长旺盛期以及土壤动物性发育成熟期，代表土壤生物多样性和功能最高的时期。在耕地利用方式下，可以选择在作物生长旺盛期采样，在多季作物轮作下可以选择在夏粮收获期采样（表 1）。

表 1 全国不同区域土壤生物调查采样时期

区域	采样时期
东北区	6—8 月
华北区、西北区	6—9 月
青藏区	7—8 月
华中区、华东区、华南区、西南区	4—7 月

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。

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与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 中转站建设

中转站应具备收集、处理、储存土壤微生物和线虫、蚯蚓样品的设施，包括水电齐全的土壤生物样品储备间和土壤生物样品处理工作间，配备相关设备，包括 4℃ 低温冷藏箱、-80℃ 超低温冰箱等储存设备，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样品处理设备，以及进行样品编码的计算机和打印设备等。

5.6.2 土壤生物调查样品制备

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、线虫和蚯蚓样本等功能。中转站样品库分别配有专人负责，具体分工如下。①样品接收组：样品中转站指定专人负责样品接

受确认，重点检查样品标签、样品状况、样品类型、样品数量、样品包装等，发现样品遗缺、破损、信息不全等应及时上报并处理，样品无误后在 App 中确认收样。②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、分析样品分发等。③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。具体的处理人、分派人、保管人均应在 App 中签收确认，App 中应能反映出分析样、留存样、标本样的具体分派人。

样品加工处理组应在收到土壤微生物、线虫和蚯蚓样本 1 周内，进行样本入库、编码和保存，开展土壤微生物样品的分析与 DNA 的提取，线虫样品的分离、制片与 DNA 的提取，以及蚯蚓样品的形态学鉴定、线粒体组 DNA 的提取与标本的制作，完成样品分析的派送工作。土壤生物样品短期保存于 4℃ 冰箱。提取的微生物和线虫基因组 DNA、蚯蚓线粒体 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。

5.7 土壤生物调查样品分析测试单位选择

土壤生物调查样品分析单位应具有符合国家与行业相关分析要求，并且在相关行业内具有较好的口碑；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；生物测序公司需获得如下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

(1) 行业资质认证：ISO 9001 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。

(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

(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，或者基因高通量测序和分析的技术能力。

(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。

(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 3 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、土壤动物群落组成和多样性。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）。在省域尺度及以下开展土壤普查时，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指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 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
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)	<ul style="list-style-type: none"> • 细菌绝对丰度 • 真菌绝对丰度 • 古菌绝对丰度 	<ul style="list-style-type: none"> • 固碳菌绝对丰度 • 固氮菌 DNA • 丛枝菌根菌 DNA
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	<ul style="list-style-type: none"> • 碳：β-D-葡萄糖苷酶活性 • 氮：脲酶活性 • 磷：磷酸酶活性 	<ul style="list-style-type: none"> • 碳：多酚氧化酶活性 • 氮：硝酸还原酶活性、氨单加氧酶活性
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	<ul style="list-style-type: none"> • 细菌、真菌、古菌群落组成 • 细菌、真菌、古菌 Alpha 多样性 (Shannon 指数、Chao1 指数、Eveness 指数) 	<ul style="list-style-type: none"> • 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) • 优势功能微生物 (纤维素分解菌、固氮细菌、青枯菌、尖孢镰刀菌) 组成
土壤生物功能多样性	功能基因组学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 指数、Eveness 指数)	<ul style="list-style-type: none"> • 土壤养分循环功能基因 Beta 多样性 (基于 Bray-Curtis 的 NMDS, PCA) • 土壤耐逆 (盐碱、酸、旱等逆境) 功能基因相对丰度 • 土壤益生菌 (乳杆菌 <i>Lactobacillus</i>) 和病毒基因相对丰度
土壤动物群落组成和多样性	线虫密度、群落组成和多样性	<ul style="list-style-type: none"> • 线虫密度 • 形态学鉴定线虫群落组成 (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群落组成
	蚯蚓生物量、群落组成和多样性	<ul style="list-style-type: none"> • 蚯蚓生物量 • 蚯蚓形态学鉴定群落组成 (表生型蚯蚓、内生型蚯蚓、深栖型蚯蚓) 	分子生物学鉴定蚯蚓群落组成

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。见附录 1。

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。见附录 2。

6.4 土壤呼吸强度

葡萄糖底物诱导呼吸法。见附录 3。

6.5 土壤酶活性

- (1) 4-甲基伞形酮- β -D-葡萄糖苷荧光底物法测定土壤 β -D-葡萄糖苷酶活性。
- (2) 左旋多巴比色法测定土壤多酚氧化酶活性。
- (3) 尿素底物比色法测定土壤脲酶活性。
- (4) 对氨基苯磺酸化比色法测定土壤硝酸还原酶活性。
- (5) 夹心酶联免疫吸附法测定土壤氨单加氧酶活性。

(6) 4-甲基伞形酮-磷酸酯荧光底物法测定土壤磷酸酶活性。

以上酶活性测定详见附录 4。

6.6 土壤微生物群落组成

高通量测序方法详见附录 5。

6.7 土壤优势功能微生物分离培养及鉴定

纤维素培养基培养纤维素分解菌，YEM 培养基培养固氮细菌，SAMA 培养基培养青枯菌，Komada 培养基培养尖孢镰刀菌及第二代测序鉴定法详见附录 6。

6.8 土壤功能基因组

基因组第二代测序法详见附录 7。

6.9 土壤线虫群落分析

贝尔曼漏斗分离法、光学显微镜下的线虫鉴定法和线虫测序鉴定法详见附录 8。

6.10 蚯蚓群落分析

(1) 蚯蚓形态学鉴定法。见附录 9。

(2) 蚯蚓线粒体基因测序鉴定法。见附录 9。

7 土壤生物调查质量控制

7.1 建立土壤生物调查质量控制体系

建立专家组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。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。在国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室统一领导下，协同土壤三普专家技术指导组，包括顶层设计组、平台技术组、外业技术组、内业技术组，成立土壤生物调查质量控制专家小组，从样品采集、样品制备、分析测试、数据检验、数据上报、数据入库等全过程进行质量控制。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。

7.2 土壤生物采样过程质量控制

在采集过程中检查调查样点的代表性和准确性、调查数据的完整性和可靠性。为保证土壤生物调查的准确性，在布设样点时按区域样点数的 5% 增设质量控制样点。

7.3 分析测试单位质量控制

加强分析检测人员技术和责任心培训，控制分析差错。在分析数据上报过程中检查实验室内精密度、准确度和实验室间精密度、准确度，以及数据的完整性和区域可比性，以保证生物分析数据的准确可靠性。

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

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。进行 10%~15% 平行双样分析，控制精密度。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。见附录 10。

7.5 土壤生物数据质量控制

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。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。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。见附录 11。

8 土壤质量和土壤健康的生物学综合评价

(1) 建立土壤质量和土壤健康评价数据库。

(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。

(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。

(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。评价方法见附录 12。

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》（NY/T 1634—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附录 13。

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及管理对策报告，提交国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室。

附录 1 土壤微生物生物量的测定——熏蒸提取法

1.1 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，并估算土壤微生物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 范围较广的好氧和厌氧（淹水、稻田）土壤。本方法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。

1.2 规范性引用文件

GB/T 32725—2016《实验室测定微生物过程、生物量与多样性用土壤的好氧采集、处理及贮存指南》

ISO 10694: 1995 土壤质量 干烧后对有机碳和总碳的测定（元素分析法）[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）

1.3 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。

1.4 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 24 h，土壤有机碳能够被 0.5 mol/L K_2SO_4 溶液定量提取并被测定出来，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。

1.5 试剂和材料

1.5.1 土壤

土样应遵守《实验室测定微生物过程、生物量与多样性用土壤的好氧采集、处理及贮存指南》（GB/T 32725—2016）。土样过筛（孔径 <2 mm）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%（根据不同土壤质地，为含水量的 8%~15%，砂土含水量相对较低）。

土壤田间持水量测定：用滤纸覆盖底部带孔的圆筒，圆筒长 50~150 mm，直径 50~100 mm，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有砂子的托盘中，根据土壤类型的差异沥干 2~24 h。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。

田间持水量（WHC）的计算，用%表达，计算如下：

$$\text{WHC} = \frac{S - T - D}{D} \times 100 \quad (1-1)$$

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。

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。

1.5.2 试剂

应使用公认的分析纯试剂，具体如下。

(1) 硅脂（中等黏度）。

(2) 去乙醇氯仿。在光照下，去乙醇氯仿迅速降解，形成碳酰氯（ COCl_2 ）气体，具有无色无味和高毒性。

(3) 硫酸钾溶液， $c(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0.5 \text{ mol/L}$ （ $\rho = 87.135 \text{ g/L}$ ）。

(4) 碱石灰。

1.6 仪器

(1) 室温， $(25 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ 培养（恒温培养箱）。

(2) 防爆干燥机。

(3) 滤纸。

(4) 玻璃烧杯。

(5) 有盖培养皿。

(6) 塑料瓶（250 mL）。

(7) 抽真空装置（水泵或电泵）。

(8) 水平或架空摇床。

(9) 冰箱 $-20 \sim 15 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(10) 防爆沸颗粒。

1.7 熏蒸和提取

1.7.1 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（1.5.1）相当于 $25 \sim 50.0 \text{ g}$ 烘干基的新鲜土样 3 份，置于玻璃烧杯 [1.6 节 (4)] 或有盖培养皿 [1.6 节 (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 [1.5.2 节 (2)] 的烧杯 1 只，烧杯内放入少量防爆沸的颗粒 [1.6 节 (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 $(25 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ 暗室培养 22~24 h。

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，质量体积比）。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 ISO 10694）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，例如土壤的枯枝落叶层）。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 2 min）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（ 50.0 g 烘干基的新鲜）3 份，置于塑料瓶作为对照土样。立即用 200 mL 的 K_2SO_4 [1.5.2 节 (3)] 进行提取。

1.7.2 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 200 mL K_2SO_4 [1.5.2 节（3）]，用水平振荡器 [1.6 节（8）] 振荡 30 min（200 r/min），或用立式振荡器振荡 45 min（60 r/min），提取液用滤纸 [1.6 节（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 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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（ $CaSO_4$ 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，取湿土（相当于 25~50 g 干土）到 250 mL 玻璃瓶中，用 100 mL 硫酸钾溶液 [$c(K_2SO_4) = 0.05\text{ mol/L}$]，以 200 r/min 振荡预提取 20 min 后过筛（耕作土过 2 mm 的孔，草地土过 3 mm 的孔）。另外添加 75 mL 的硫酸钾溶液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。离心土壤悬浮液 15 min，转速大约为 1 500 r/min。倒掉上清液，在土壤中加入 3 滴氯仿进行熏蒸。

1.8 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（1.8.1）或仪器分析法（1.8.2）。

1.8.1 微生物生物量碳——重铬酸钾氧化法

1.8.1.1 原理

强酸条件下，有机质被氧化同时 Cr^{5+} 被还原为 Cr^{3+} ，剩余的重铬酸钾用来滴定，利用所消耗的重铬酸钾量，计算碳的含量。

1.8.1.2 附加试剂

（1）重铬酸钾， $c(K_2Cr_2O_7) = 0.0667\text{ mol/L}$ （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。

（2）磷酸（ H_3PO_4 ）， $\rho = 1.71\text{ g/L}$ 。

（3）硫酸（ H_2SO_4 ）， $\rho = 1.84\text{ g/L}$ 。

（4）硫酸亚铁铵滴定液， $c[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O] = 0.040\text{ mol/L}$ 。15.69 g 硫酸亚铁铵溶于去离子水，缓缓加入 20 mL 浓硫酸（3），用去离子水定容至 1 000 mL。

（5）1,10-邻菲咯啉硫酸混合液，0.025 mol/L。

（6）酸混合液：2 倍体积的浓硫酸（3）与 1 倍体积的磷酸（2）混合。

1.8.1.3 附加仪器

（1）李比希式冷凝器（冷凝水）。

（2）250 mL 圆底烧瓶。

（3）酸式滴定管，10 mL，以 0.05 mL 刻度标记。

（4）吸管，2 mL。

1.8.1.4 程序

吸收 8 mL 的过滤提取液（1.7.1）（ P_s ）于圆底烧瓶 [1.8.1.3 节（2）] 中，用吸管 [1.8.1.3 节（4）] 加入 2 mL 的重铬酸钾 [1.8.1.2 节（1）]（ P_D ）和 15 mL 的酸混合液 [1.8.1.2 节（6）]。通过冷凝器 [1.8.1.3 节（1）] 轻轻地回流混合液 30 min，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 8 mL 的硫酸钾溶液 [1.5.2 节 (3)] 的重复空白样。消化的空白样也被称为“回流空白”。

加入几滴邻菲咯啉硫酸混合液 [1.8.1.2 节 (5)] 作为指示剂，用硫酸亚铁铵溶液 [1.8.1.2 节 (4)] 回滴 [1.8.1.3 节 (3)] 过剩的重铬酸钾来测定。

1.8.1.5 结果计算

有机碳含量的计算按照公式 (1-2) 和 (1-3)。

$$C(\mu\text{g/mL}) = [(V_H - V_S)/V_C] \times M \times P_D \times E \times 1000/P_S \quad (1-2)$$

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。

$$C(\mu\text{g/g 干土}) = C(\mu\text{g/mL}) \times (P_K/D_W + S_W) \quad (1-3)$$

式中， P_K ——提取物的质量，单位 g；

D_W ——样本烘干重（按照 ISO 11465 的标准测定），单位 g；

S_W ——土壤水 [水重 (g) / 烘干土重 (g)]（按照 ISO 11465 的标准测定）。

微生物生物量碳 B_C 的计算按照公式 (1-4)。

$$B_C = E_C/k_{EC} \quad (1-4)$$

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，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。

1.8.2 微生物生物量碳——碳光谱分析法

1.8.2.1 原理

提取的土壤有机碳在过硫酸钾 ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) 溶液中能够氧化为 CO_2 ， CO_2 可以通过红外 (IR) 或紫外 (UV) 光谱分析测定。

1.8.2.2 附加试剂

(1) 过硫酸钾溶液 ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)。

(2) 磷酸 (H_3PO_4) [见 1.8.1.2 节 (2)]。

(3) 聚合偏磷酸钠 [$(\text{NaPO}_3)_n$]，超级纯。

(4) 过硫酸钾试剂。将 20.0 g 过硫酸钾 [1.8.2.2 节 (1)] 溶于 900 mL 的去离子水，用磷酸 [1.8.2.2 节 (2)] 调节至 pH 2.0，最后用去离子水定容至 1 L。

(5) 聚合偏磷酸钠试剂。将 50.0 g 聚合偏磷酸钠 [1.8.2.2 节 (3)] 溶于 900 mL 去离子水，用磷酸 [1.8.2.2 节 (2)] 调节至 pH 2.0，最后用去离子水定容至 1 L。

1.8.2.3 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。

1.8.2.4 程序

对于自动化的紫外过硫酸氧化方法，需取 5 mL 硫酸钾土壤提取液 (1.7.2 节) 与 5 mL 聚合偏磷酸钠溶液 [1.8.2.2 节 (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 [1.8.2.2 节 (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。

1.8.2.5 结果计算

计算提取土壤有机碳含量使用公式 (1-5)。

$$C(\mu\text{g/g 干土}) = [(V \times D_V) - (B \times D_B)] \times (P_K/D_W + S_W) \quad (1-5)$$

式中， V ——样本 C 浓度，单位 $\mu\text{g/mL}$ ；

D_V ——磷酸钠稀释样本的体积，单位 mL ；

B ——空白 C 浓度，单位 $\mu\text{g/mL}$ ；

D_B ——磷酸钠稀释空白的体积，单位 mL ；

P_K ——见公式（1-3）；

D_W ——见公式（1-3）；

S_W ——见公式（1-3）。

计算生物量 B_C 使用公式（1-6）。

$$B_C = E_C/k_{EC} \quad (1-6)$$

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。

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。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。

1.9 不同实验室重复测试土壤微生物生物量的精度

以德国实验室为例，其重复测试土壤微生物生物量的结果见附表 1-1。

附表 1-1 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	180	15	8.6

注：①CV 为变异系数；②SE 为 4 个重复平均值的标准误；③ E_C 为熏蒸土壤与未熏蒸土壤有机碳含量的差值。土壤微生物生物量的计算是 E_C 除以转换系数 k_{EC} 。

参考文献

GB/T 39228—2020. 土壤微生物生物量的测定熏蒸提取法 [S].

BROOKES P C, LANDMAN A, PRUDEN G, et al., 1985. D. S. Chloroform fumigation on the release and extractability of soil nitrogen: a rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 17: 837-842.

HARDEN T, JOERGENSEN R G, MEYER B, et al., 1993. Mineralization of straw and formation of soil microbial biomass in a soil treated with simazine and dinoterb [J]. Soil Biology and Biochemistry, 25: 1273-1276.

HARDEN T, JOERGENSEN R G, MEYER B, et al., 1993. Soil microbial biomass estimated by fumigation-extraction and substrate-induced respiration in two pesticide-treated soils [J]. Soil

- Biology and Biochemistry, 25: 679–683.
- INUBUSHI K, BROOKES P C, JENKINSON D S, 1991. Soil microbial biomass C, N and ninhydrin-N in aerobic and anaerobic soils measured by the fumigation-extraction method [J]. Soil Biology and Biochemistry, 23: 737–741.
- ISO 10390: 1994. Soil quality-Determination of pH [S].
- ISO 11274: 2019. Soil quality-Determination of water-retention characteristics-Laboratory methods [S].
- MUELLER T, JOERGENSEN R G, MEYER B, 1992. Estimation of soil microbial biomass C in the presence of living roots by fumigation-extraction [J]. Soil Biology and Biochemistry, 24: 179–181.
- OCIO J A, BROOKES P C, 1990. 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 [J]. Soil Biology and Biochemistry, 22: 685–694.
- SPARLING G P, FELTHAM C W, REYNOLDS J, et al., 1990. Estimation of soil microbial C by a fumigation-extraction method: use on soils of high organic matter content, and a reassessment of the K_{EC} -factor [J]. Soil Biology and Biochemistry, 22: 301–307.
- VANCE E D, BROOKES P C, JENKINSON D S, 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. Soil Biology and Biochemistry, 19: 703–707.
- WU J, BROOKES P C, JENKINSON D S, 1993. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 25: 1435–1441.
- WU J, JOERGENSEN R G, POMMERENING B R, et al., 1990. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction: an automated procedure [J]. Soil Biology and Biochemistry, 22 (8): 1167–1169.

附录 2 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

2.1 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 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的土壤样本。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。

2.2 实验材料与仪器

2.2.1 实验材料

(1) *pEASY-T1* 克隆载体、DH5 α 感受态细胞、DNA 提取试剂盒、PCR 纯化试剂盒、质粒提取试剂盒、PCR 试剂盒、qPCR 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、15 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 \times Taq Master Mix、2 \times T5 Fast qPCR

Mix (SYBR Green I)。

2.2.2 实验仪器

荧光实时定量 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。

2.3 方法原理

荧光实时定量 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: 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)。

2.4 土壤 DNA 提取与检测

2.4.1 土壤 DNA 提取

- (1) 向 Lysing Matrix E 中加入 400~450 mg 土壤样本。
- (2) 向土壤样本中加入 980 μ L Lysis Buffer S1、120 μ L Lysis Buffer S2 和 10 μ L RNase A Solution, 高速涡旋 15 s。
- (3) 使用 FastPrep 样品制备仪, 6.0 m/s, 研磨 20 s。
- (4) 14 000 g 离心 10 min, 保留上清液, 弃去沉淀。
- (5) 小心地将上清液转移至新的 2.0 mL 离心管。
- (6) 向离心管中加入 250 μ L Inhibitor Removal S, 颠倒混合 15 次。
- (7) 14 000 g 离心 10 min, 保留上清液, 弃去沉淀。
- (8) 小心地将 900 μ L 上清液转移至新的 2.0 mL 离心管。
- (9) 向离心管中加入 900 μ L Binding Buffer S, 高速涡旋 5s。
- (10) 将结合柱 Column S1 装入配套的 2.0 mL 收集管, 向 Column S1 中加入 800 μ L 上述混合液。14 000 g 离心 1 min, 倒掉收集管中液体, 再次安装好收集管。
- (11) 重复 2 次步骤 (10) (第三次不足 800 μ L, 有多少加多少)。
- (12) 向 Column S1 中加入 500 μ L Wash Buffer S, 14 000 g 离心 1 min, 倒掉收集管中的液体, 再次安装好收集管。
- (13) 重复一次步骤 (12)。
- (14) 不加任何试剂, 14 000 g, 离心 2 min。
- (15) 丢弃 2.0 mL 收集管, 将 Column S1 装入配套的 1.5 mL 收集管。
- (16) 将 Column S1 在室温条件干燥 15 min。
- (17) DES Buffer 提前置于 55 $^{\circ}$ C 预热。
- (18) 向 Column S1 柱膜中央加入 100 μ L 预热的 DES Buffer。
- (19) 14 000 g 离心 1 min。
- (20) 吸取管底的 DES, 重新加至 Column S1 柱膜中央, 14 000 g 离心 1 min。
- (21) 1.5 mL 收集管中液体即为洗脱 DNA。对核酸进行质量检测, 对于符合质量标准 ($1.8 < A_{260}/280 < 2.0$, $A_{260}/230 > 1.8$) 的 DNA 于 -20° C 冷冻保存。

2.4.2 土壤 DNA 质量检测

2.4.2.1 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如下。

(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 100 mL，小胶用 70 mL）为例：称取 1 g（0.7 g）琼脂糖置于锥形瓶中，加入 100 mL（70 mL）1×TAE，瓶口倒扣小烧杯，微波炉加热（1 min）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。

注意：2% 琼脂糖凝胶，以上述体系为例，即加入 2 g（1.4 g）琼脂糖及 100 mL（70 mL）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。

2.4.2.2 浓度和纯度定量

使用 NanoDrop ND-2000 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 5 ng/μL，A260/280 纯度值为 1.8~2.0，A260/230 值大于 1.8 判定为合格样本。

(1) 测量前必须将样本混匀（涡旋 5 s）。

(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，折叠 4 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 1 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 μL 做测量，推荐使用 2 μL 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 1 次纯水重置归零。

2.5 细菌、真菌、古菌和功能基因的质粒构建

2.5.1 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（附表 2-1）。

附表 2-1 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

类型	引物名称	引物序列 (5' -3')	扩增程序	参考文献
细菌	341F	ACTCCTACGGGAGGCAGCAG	95 °C 预变性 2 min, 35 个循环: 94 °C 变性 20 s, 55 °C 退火 40 s, 72 °C 延伸 1 min。72 °C 延伸 10 min后 4 °C 保温	Takahashi et al., 2014
	806R	GGACTACHVGGGTWTCTAAT		
真菌	nu-SSU-1196F	GGAAACTCACCAGGTCCAGA	95 °C 预变性 3 min, 35 个循环: 95 °C 变性 30 s, 59 °C 退火 30 s, 72 °C 延伸 40 s。72 °C 延伸 10 min后 4 °C 保温	Borneman and Hartin, 2000
	nu-SSU-1536R	ATTGCAATGCYCTATCCCCA		
古菌	ARC344F	ACGGGGYGCAGCAGGCGCGA	94 °C 预变性 4 min, 35 个循环: 94 °C 变性 30 s, 57 °C 退火 40 s, 72 °C 延伸 45 s。72 °C 延伸 10 min后 4 °C 保温	Takahashi et al., 2014
	ARC806R	GGACTACVSGGGTATCTAAT		
碳固定 (<i>cbbL</i> 基因)	K2f	ACCA [C/T] CAAGCC [G/C] AAGCT [C/G] GG	95 °C 预变性 5 min, 35 个循环: 95 °C 变性 45 s, 62 °C 退火 45 s, 72 °C 延伸 90 s。72 °C 延伸 10 min后 4 °C 保温	Tolli and King, 2005
	V2f	GCCTTC [G/C] AGCTTGCC [G/C] ACC [G/A]		
固氮菌 (<i>nifH</i> 基因)	PolF	TGCGAYCCSAARGCBGACTC	95 °C 预变性 5 min, 35 个循环: 95 °C 变性 60 s, 55 °C 退火 60 s, 72 °C 延伸 60 s。72 °C 延伸 10 min后 4 °C 保温	Poly et al., 2001
	AQER	GACGATGTAGATYTCCTG		
丛枝菌 根真菌	AMV4.5NF-F	AAGCTCGTAGTTGAATTTTCG	95 °C 预变性 5 min, 35 个循环: 95 °C 变性 60 s, 55 °C 退火 60 s, 72 °C 延伸 60 s。72 °C 延伸 10 min后 4 °C 保温	Lumini et al., 2010
	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。

2.5.1.1 PCR 扩增目的基因步骤

(1) PCR 反应体系总体积为 20 μL，包括：2×Taq Master Mix 10 μL，上下游引物各 1 μL，DNA 模板 1 μL，RNase-Free 水 7 μL。

(2) PCR 反应条件。

细菌真菌古菌：94 °C 3 min；35 个循环的 94 °C 30 s，55 °C 30 s，72 °C 1 min；72 °C 保温 5 min。

cbbL 基因：95 °C 30 s；35 个循环的 95 °C 10 s，62 °C 40 s，72 °C 30 s；72 °C 保温 5 min。

nifH 基因和丛枝菌根菌基因：94 °C 5 min；35 个循环的 94 °C 45 s，55 °C 20 s，55 °C 20 s，72 °C 20 s；72 °C 保温 5 min。

(3) 电泳检测目的条带：取 PCR 扩增的产物，点样于 1% 琼脂糖凝胶板上，电压 100 V，电泳 30 min。紫外凝胶成像系统下进行观察和拍照。

2.5.1.2 对目的基因扩增条带进行回收纯化

采用 Qiagen IAGEN 胶回收试剂盒，对 PCR 产物进行回收纯化，操作步骤如下。

(1) 将单一目的条带从琼脂糖凝胶中切下，放入干净离心管中，称重。

(2) 向离心管中加入 3 倍体积 (300 μL) 的 QG buffer 溶液 (溶胶液)，50 °C 水浴放置 10 min，期间不断温和翻转离心管，确保胶块充分溶解。加 100 μL 的异丙醇到样品中。

(3) 将所得溶液加入吸附柱中 (吸附柱放置在干净收集管中)，室温静置 2 min，12 000 r/min 离心 1 min，倒掉收集管废液，将吸附柱放入原收集管中。

(4) 向吸附柱中加入 750 μL 漂洗液 PE buffer，12 000 r/min 离心 1 min，倒掉收集管中废液，将吸附柱放入收集管。

(5) 重复操作步骤 (4)。

(6) 将吸附柱放入空的收集管中，12 000 r/min 离心 2 min，尽量除尽漂洗液。将吸附柱盖打开

室温放置 3 min，彻底晾干。

(7) 将吸附柱放入到一个干净的离心管中，向吸附膜中间滴加适量 50 μL 缓冲液 EB，室温放置 2 min，12 000 r/min 离心 2 min，收集 DNA 溶液。重复 1 次，提高 DNA 回收量。得到的 DNA 溶液 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 放置待用。

2.5.2 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 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。

2.5.2.1 体系

4 μL 纯化后的 PCR 产物与 1 μL pEASY[®] -T5 Zero 载体轻轻混合。混合后，在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下反应 5 min，反应结束后，将离心管置于冰上。

2.5.2.2 转化

(1) 取 DH5 α 感受态细胞置于冰浴中，将连接溶液全部（5 μL ）加入 100 μL DH5 α 感受态细胞中进行转化，轻弹混匀，冰浴 10 min。

(2) 将 105 μL 转化菌液加入到含有氨苄青霉素的 LB 固体培养基上，均匀涂开， $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 倒置培养过夜。

2.5.3 阳性克隆检测及质粒提取

2.5.3.1 阳性克隆检测

(1) PCR 方法鉴定阳性克隆。包括以下 5 个步骤。

步骤 1：每个平板用无菌枪头挑取单克隆菌落于 10 μL 高压灭菌双蒸水，振荡混匀，并进行编号。

步骤 2：取 3 μL 混合液与 13 μL PCR 反应体系中，用 M13 引物进行菌落 PCR 鉴定阳性克隆，PCR 体系 13 μL ，包括：8 μL 的 2 \times Bicolor PCR SuperMix，0.5 μL 的 M13F 引物，0.5 μL M13R 的引物序列，4 μL 无酶水。

步骤 3：将上述反应体系按照 $94\text{ }^{\circ}\text{C}$ 5 min，25 循环的 $94\text{ }^{\circ}\text{C}$ 30 s， $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 30 s， $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2 min，最后 $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 延伸 7 min 的反应程序进行 PCR 扩增。

步骤 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。

步骤 5：菌落 PCR 产物电泳中目的条带单一的，进行单克隆富集培养。

(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 h，再与甘油（体积比）1:1 保存。

2.5.3.2 质粒提取

(1) 摇菌培养。将 (1) PCR 方法鉴定阳性克隆步骤 1 的鉴定结果为阳性的剩余的 7 μL 溶菌水混入含有 2 mL LB 培养基和 2 μL 氨苄青霉素的离心管中，封口，在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 摇床振荡培养 16 h（150 r/min）。

(2) 收集质粒。使用倍沃质粒抽提试剂盒提取克隆好的质粒。

步骤 1：5 000 r/min 离心 10 min，弃上清液，将管子倒置于纸巾上，去除残留培养基（尽量除干净）。

注意：残留培养基会导致细胞裂解不良，从而降低 DNA 产量。

步骤 2：加入 170 μL Buffer A1（确保其中已加入 RNase A），用移液器或涡旋振荡仪充分悬浮细菌细胞。

注意：充分重悬对于获得最佳产量是至关重要的。

步骤 3：加入 170 μL Buffer B1，必须轻轻地反转 5~10 次以混匀（不要涡旋），室温静置 5 min 以内，裂解液整体表现为澄清。

注意：孵育时间不能超过 5 min。Buffer B1 若产生沉淀，须在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热，使沉淀溶解后再使用。

步骤 4：加入 240 μL Buffer N1，立即手动振荡 5~10 次混匀，产生白色沉淀。

注意：一定要混合均匀，若混合物仍然呈团块、褐色、黏稠状，需要更充分混匀来完全中和。

步骤 5：将裂解液移入高速离心管，室温 12 000 r/min 离心 10 min。

注意：若沉淀离心不完全，可以再离心 5 min；若没有高速离心机，可低速离心（5 000 r/min 左右）后取相对澄清的上清液。

步骤 6：取 530 μL 步骤 6 中的上清液转移至一个干净的 1.5 mL 离心管中（避免吸到沉淀），加入 25 μL Plasmid-L Beads，涡旋混匀 1 min 左右。

注意：Plasmid-L Beads 使用前需充分涡旋混匀。

步骤 7：混匀后室温静置 5~10 min，其间需手动或涡旋混匀 3~5 次，之后上磁力架静置 1 min 左右（确保所有磁珠被吸附即可），弃去上清液，保留磁珠。

注意：孵育期间一直混匀有助于提高得率。

步骤 8：从磁力架上取下离心管，加入 750 μL Buffer MKB，涡旋混匀 1 min，之后上磁力架静置 1 min（确保所有磁珠被吸附即可），弃去上清液，保留磁珠。

步骤 9：从磁力架上取下离心管，加入 750 μL DNA Wash Buffer（确保加入 96%~100%乙醇），涡旋混匀 1 min，之后上磁力架静置 1 min（确保所有磁珠被吸附即可），弃去上清液，保留磁珠。重复此步骤。

注意：DNA Wash Buffer 使用前请加入与瓶身相应的 96%~100%乙醇。

步骤 10：在磁力架上晾干 5~10 min。除残留乙醇，以便获得最佳洗脱。

注意：要注意观察磁珠是否过于干燥，过于干燥会影响洗脱效果。

步骤 11：从磁力架上取下离心管，加入 50~100 μL Elution Buffer（65 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅预热）或者细胞培养水，涡旋混匀 1 min，孵育 5 min（可于室温或 65 $^{\circ}\text{C}$ 孵育），期间混匀 1~2 次再上磁力架，静置 2 min 左右（确保所有磁珠被吸附即可），吸取澄清的液体（产物）至无菌离心管中，检测后于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 或 -80 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

注意：小体积（50 μL ）洗脱可能会洗脱不完全，得率有所降低。如有必要可进行二次洗脱，提高 DNA 产量，或者直接 100 μL 洗脱。

（3）质粒检测。

将提好的质粒进行测序，测序引物为 M13，测序序列符合预期的载体的作为质粒标准品使用。使用 Qubit 核酸蛋白分析仪测定上述质粒标准品的浓度。

2.6 荧光定量检测

2.6.1 梯度质粒标准样品制备

将取 10 μL 10 $\mu\text{mol/L}$ 的质粒标准品加入 990 μL 水中，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 90 μL 水中，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 90 μL 水中，混匀稀释 10 倍，作为第三个样品 C。

以此类推。制备 7 个梯度样品。

2.6.2 反应体系构建、qPCR 上机检测和结果计算

2.6.2.1 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（调整浓度为 3~5 $\text{ng}/\mu\text{L}$ ）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 Tsingke TSE501 ArtiCanATM SYBR qPCR Mix 染色扩增为例，扩增体系各组分如附表 2-2 所示。

附表 2-2 qPCR 扩增体系组分

组分	体积/ μL
Tsingke TSE501 ArtiCanATM SYBR qPCR Mix	10
10 $\mu\text{mol/L}$ Primer F	0.4
10 $\mu\text{mol/L}$ Primer R	0.4
DNA 模板	2
ddH ₂ O	7.2
总计	20

以上扩增体系按 2.5.1 中不同微生物的引物对应的扩增程序进行扩增。

2.6.2.2 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:

$$\text{标准品的拷贝数 (copies}/\mu\text{L}) = \frac{6.02 \times 10^{23} \times \text{质粒浓度} \times 10^{-9}}{\text{DNAlength} \times 660} \quad (2-1)$$

式中, 6.02×10^{23} 为摩尔分数; DNAlength 为对应引物的碱基长度。

(2) 根据已知的质粒拷贝数绘制标准曲线:

$$\text{CT} = k \times \lg(x) + b \quad (2-2)$$

式中, x 为样品拷贝数, k 为斜率, b 为截距。

注意: 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。

$$\text{待测样品的拷贝数 (copies}/\mu\text{L}) = 10^{\frac{\text{CT}-b}{k}} \quad (2-3)$$

参考文献

- BORNEMAN J, HARTIN R J, 2000. PCR primers that amplify fungal rRNA genes from environmental samples [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (10): 4356-4360.
- EDWARDS I P, UPCHURCH R A, ZAK D R, 2008. Isolation of fungal cellobiohydrolase I genes from sporocarps and forest soils by PCR [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 74: 3481-3489.
- FRASER T D, LYNCH D H, GAIERO J R, et al., 2017. Quantification of bacterial non-specific acid (*phoC*) and alkaline (*phoD*) phosphatase genes in bulk and rhizosphere soil from organically managed soybean fields [J]. *Applied Soil Ecology*, 111: 48-56.
- HEID C A, STEVENS J K, LIVAK K J, et al., 1996. Real time quantitative PCR [J]. *Genome Research*, 6 (10): 986-994.
- LIVAK K J, SCHMITTGEN T, 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta\text{CT}}$ method [J]. *Methods*, 25 (4): 402-408.
- POLY F, MONROZIER L J, BALLY R, 2001. Improvement in the RFLP procedure for studying the diversity of *nifH* genes in communities of nitrogen fixers in soil [J]. *Research in Microbiology*, 152 (1): 95-103.
- TAKAHASHI S, TOMITA J, NISHIOKA K, et al., 2014. Development of a prokaryotic universal primer for simultaneous analysis of bacteria and archaea using next-generation sequencing [J]. *PLoS ONE*, 9 (8): e105592.
- TOLLI J, KING G M, 2005. Diversity and structure of bacterial chemolithotrophic communities in pine forest and agroecosystem soils [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 71 (12): 8411-8418.

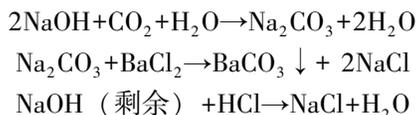
附录3 土壤呼吸强度测定方法

3.1 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来表征土壤在没有碳源限制下的最大可能呼吸强度。适用于好氧、不饱和土壤中土壤微生物呼吸强度的测定。土壤微生物呼吸强度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实验。调用土壤三普管理平台系统，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。

3.2 原理

新鲜土壤样品混合葡萄糖置于室内恒温培养。样品要置于空气或去除CO₂的合成空气中。利用微生物分解有机物质，释放的CO₂用碱液吸收法（NaOH吸收）来求得土壤矿化碳含量。培养阶段土壤样品释放的CO₂由NaOH吸收，根据反滴定未中和的NaOH，计算消耗的NaOH，然后计算出CO₂的释放量。



3.3 试剂

(1) 氢氧化钠（NaOH）溶液（浓度0.1 mol/L）：称取4 g NaOH（分析纯）溶于无CO₂的蒸馏水中，定容至1 000 mL。

(2) 盐酸（HCl）溶液（浓度0.05 mol/L）：吸取4.2 mL浓盐酸（分析纯）溶于800 mL蒸馏水中，定容至1 000 mL，用硼砂标定其浓度。

(3) 氯化钡（BaCl₂）溶液（浓度1 mol/L）：称取244 g BaCl₂·2H₂O（化学纯）溶于无CO₂蒸馏水中，定容至1 L。

(4) 酚酞乙醇溶液指示剂：称取1 g酚酞溶于100 mL乙醇（95%）中。

(5) 葡萄糖试剂（浓度40 g/L）：称取20 g葡萄糖，溶于300 mL无CO₂蒸馏水中，定容至500 mL。

3.4 仪器

- (1) 恒温培养箱或培养室。
- (2) 培养瓶：配有内外盖的密闭性能良好的500 mL瓶子。
- (3) 小烧杯：50 mL，用于装土壤。
- (4) 玻璃瓶：25 mL，用于装氢氧化钠溶液。
- (5) 滴定管及其支架。

3.5 步骤

- (1) 新鲜土壤过4 mm筛后，称取相当于20.0 g干土的新鲜土壤样品（水稻土等含水量过高的

土壤需要在室内阴干 2~3 天至含水量为 10% 左右) 3 份, 分别放入 3 个 50 mL 烧杯中, 在烧杯中加入约 3 mL 40 g/L 葡萄糖溶液 (相当于每克土壤中加入 6 mg 葡萄糖), 使待测土壤的含水量达到田间持水量的 40%~60%。并将 3 个烧杯分别放入 500 mL 培养瓶中。然后将盛有 20 mL 0.1 mol/L NaOH 溶液的玻璃瓶小心地置于培养瓶内, 培养瓶于通风处放置 30 min 后, 将培养瓶加盖密封, 放置在 25 °C 的恒温培养箱内培养 2 h。同时每批样品测定时应设置不加土壤的空白对照。

(2) 在培养开始时和 2 h 后, 取出吸收瓶, 将其中溶液完全洗入三角瓶中, 加入 1 mol/L BaCl₂ 溶液 20 mL 及酚酞指示剂两滴, 用 0.05 mol/L HCl 滴定中和未耗尽的 NaOH, 滴定至红色消失, 用通过 HCl 消耗量来计算 CO₂ 的数量。

3.6 结果计算

底物诱导呼吸量 SIR 的计算:

$$SIR [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})] = \{ [(V_0 - V) \times c \times 0.022] \times 2 \times 1000 \} / (m \times 2) \quad (3-1)$$

式中, V_0 ——空白滴定时消耗标准盐酸的体积, 单位 mL;

V ——样品滴定时消耗标准盐酸的体积, 单位 mL;

c ——标准盐酸的浓度, 单位 mol/L;

0.022——二氧化碳 (1/2CO₂) 的摩尔质量, $M(1/2\text{CO}_2) = 0.022 \text{ g/mmol}$;

m ——土壤烘干质量, 单位 kg。

参考文献

GB/T 32720—2016. 土壤微生物呼吸的实验室测定方法 [S].

李振高, 骆永明, 滕应, 2008. 土壤与环境微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社.

中国土壤学会, 2000. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社.

ANDERSON J P E, DOMSCH K H, 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 10 (3): 215-221.

ISO 14240-1: 1997. Soil quality—Determination of soil microbial biomass—Part 1: Substrate-induced respiration method [S].

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) [S].

ISO 17155: 2012. Soil quality—Determination of abundance and activity of soil microflora using respiration curves [S].

附录 4 土壤酶活性测定方法

4.1 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 6 个碳、氮、磷转化典型酶的功能活性进行测定。酶活测定所用样品为鲜土, 采样后需放在保温箱里用冰袋邮寄, 寄到实验室后短期内 (2 周内) 可以在 4 °C 冰箱内保存, 如果超过 2 周需要存放在 -20 °C 冰箱中, 取用时需要先复苏, 即在 4 °C 下复苏 3 天, 然后在 25 °C 下复苏 3 天, 再进行酶活性测定。6 种酶类分别是 β-D-葡萄糖苷

酶，在土壤碳循环中负责纤维素的降解并生成葡萄糖；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；土壤磷酸酶，在土壤中负责将有机磷转化为无机磷。其中土壤磷酸酶，当土壤 pH<7 时，适用酸性磷酸酶测定方法；当土壤 pH≥7 时，使用碱性磷酸酶测定方法。测定的质控过程是采取同一批次样品，1%~5% 随机抽样后重复测试结合留样复测，以提高检测结果的准确性。

4.2 β-D-葡萄糖苷酶

4.2.1 方法原理

β-D-葡萄糖苷酶，在土壤碳循环中负责纤维素的降解，以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。

4.2.2 材料试剂

4.2.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样得到的鲜土。

4.2.2.2 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。

4.2.3 实验方法

4.2.3.1 试剂配制

(1) 50 mmol/L 醋酸钠缓冲液（土壤 pH≤7）：配制 50 mmol/L 的醋酸钠缓冲液，取 6.804 g 三水合乙酸钠溶解在 800 mL 去离子水中，用 12 mol/L 盐酸调至 pH=6.5（或加 1.25 mL 冰醋酸）后定容到 1 L，缓冲液保存在 4 °C 冰箱，8 天内使用。

(2) 50 mmol/L 碳酸钠缓冲液（土壤 pH>7）：配制 50 mmol/L 的碳酸钠缓冲液，取 5.3 g 碳酸钠溶解在 800 mL 去离子水中，用 HCl 溶液调至 pH=8，然后定容到 1 L，缓冲液保存在 4 °C 冰箱，8 天内使用。为减少土壤异质性的影响，建议取 5 g 鲜土，分别于 5 个广口瓶中振荡，振荡后将悬浮液混合待测。

(3) 10 μmol/L 4-甲基伞形酮（MUB，标准品，4-methylumbelliferyl）：取 17.6 mg MUB 溶解在 10 mL 的甲醇中，配制成 10 mmol/L 标液，然后稀释 1 000 倍成 10 μmol/L MUB；于 4 °C 冰箱保存，3 天内使用。

(4) 200 μmol/L 荧光底物：200 μmol/L 4-甲基伞形酮-β-D-葡萄糖苷（4-MUB-β-D-glucoside），即 1.691 mg 4-甲基伞形酮-β-D-葡萄糖苷，用去离子水定容至 25 mL。提前一天配制，放置在 4 °C 冰箱保存，3 天内使用。

(5) 1 mol/L 的 NaOH 溶液：取 4 g 分析纯氢氧化钠溶于去离子水中，稀释至 100 mL。

4.2.3.2 操作步骤

(1) 称取 1 g 鲜土于 250 mL 广口锥形瓶中，加入 125 mL 50 mmol/L 醋酸钠缓冲液（酸性，土壤 pH≤7）或碳酸盐缓冲液（碱性，土壤 pH>7），塞上瓶塞或用封口膜封住，在摇床上于 180 r/min 振荡 30 min 制备悬浮液。为减少土壤异质性的影响，建议取 5 g 鲜土，分别于 5 个广口瓶中振荡，振荡后将悬浮液混合待测。

注意：β-D-葡萄糖苷酶、多酚氧化酶、脲酶、磷酸酶的悬浮液制备方法一致，制备一次悬浮液可以同时测定 4 种酶。

(2) 使用八通道移液器吸 200 μL 土壤悬浮液于黑色 96 微孔板内，每个样品孔加 50 μL 200 $\mu\text{mol/L}$ 的荧光底物。

(3) 同时做样品和基质控制，样品控制孔加 200 μL 土壤悬浮液和 50 μL 醋酸钠缓冲液，基质控制孔中加入 200 μL 醋酸钠缓冲液和 50 μL 荧光底物。

(4) 所有样品和空白加完后，酶标板放在 20 $^{\circ}\text{C}$ 黑暗条件下用恒温培养箱培养 4 h，之后加入 10 μL 1 mol/L 的 NaOH 溶液，终止反应。

(5) 使用多功能酶标仪进行荧光测定，在 365 nm 波长处激发，在 450 nm 处检测荧光。

4.2.3.3 结果计算

$$\text{酶活性} [\text{nmol}/(\text{g} \cdot \text{h})] = \text{净荧光值} \times \text{缓冲液体积} (\text{mL}) /$$

$$[\text{激发系数} \times \text{吸入悬浮液体积} (\text{mL}) \times \text{反应时间} (\text{h}) \times \text{土壤重量} (\text{g})] \quad (4-1)$$

$$\text{净荧光值} = [(\text{样品孔测出的荧光值} - \text{样品控制荧光值}) / \text{淬灭系数}] - \text{基质控制荧光值} \quad (4-2)$$

$$\text{激发系数} (\text{fluor}/\text{nmol}) = \text{参考标准} / \text{加入样品池当中的标准品的量} \quad (4-3)$$

$$\text{淬灭系数} = (\text{淬灭标准孔测出的荧光值} - \text{样品控制荧光值}) / \text{参考标准品测出的荧光值} \quad (4-4)$$

4.3 多酚氧化酶

4.3.1 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。

4.3.2 材料试剂

4.3.2.1 土壤

本方法所使用土壤为从田间采样得到的鲜土。

4.3.2.2 实验仪器

- (1) 250 mL 广口锥形瓶。
- (2) 八通道移液器和枪头。
- (3) 白色 96 微孔板。
- (4) 摇床。
- (5) 恒温培养箱。
- (6) 多功能酶标仪。

4.3.3 实验方法

4.3.3.1 试剂配制

(1) 50 mmol/L 醋酸钠缓冲液 (土壤 $\text{pH} \leq 7$): 配制 50 mmol/L 的醋酸钠缓冲液，取 6.804 g 三水合乙酸钠溶解在 800 mL 去离子水中，用 12 mol/L 盐酸调至 $\text{pH} = 6.5$ (或加 1.25 mL 冰醋酸) 后定容到 1L，缓冲液保存在 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱，8 天内使用。

(2) 50 mmol/L 碳酸钠缓冲液 (土壤 $\text{pH} > 7$): 配制 50 mmol/L 的碳酸钠缓冲液，取 5.3 g 碳酸钠溶解在 800 mL 去离子水中，用 HCl 溶液调至 $\text{pH} = 8$ ，然后定容到 1 L，缓冲液保存在 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱，8 天内使用。为减少土壤异质性的影响，建议取 5 g 鲜土，分别于 5 个广口瓶中振荡，振荡后将悬浮液混合待测。

(3) 底物: 左旋多巴 (*L*-DOPA, *L*-3,4-dihydroxyphenylalanine) (25 mmol/L)，取 0.4929 g *L*-DOPA 溶于稀盐酸后用去离子水稀释至 100 mL (90 $^{\circ}\text{C}$ 热水)。

4.3.3.2 操作步骤

(1) 称取 1 g 鲜土于 250 mL 广口锥形瓶中，加入 125 mL 50 mmol/L 醋酸钠缓冲液 (酸性，土壤 $\text{pH} \leq 7$) 或碳酸盐缓冲液 (碱性，土壤 $\text{pH} > 7$)，塞上瓶塞或用封口膜封住，在摇床上于 180 r/min 振荡 30 min 制备悬浮液。为减少土壤异质性的影响，建议取 5 g 鲜土，分别于 5 个广口瓶中振荡，振荡

后将悬浮液混合待测。

注意：β-D-葡萄糖苷酶、多酚氧化酶、脲酶、磷酸酶的悬浮液制备方法一致，制备一次悬浮液可以同时测定4种酶。

(2) 使用八通道移液器吸200 μL土壤悬浮液于白色96微孔板内，每个样品孔加50 μL 200 μmol/L的底物。

(3) 同时做样品和基质控制，样品控制孔加200 μL土壤悬浮液和50 μL醋酸钠缓冲液，基质控制孔中加入200 μL醋酸钠缓冲液和50 μL底物。

(4) 所有样品和空白加完后，酶标板放在20℃黑暗条件下用恒温培养箱培养18 h。使用多功能酶标仪，采用分光光度法，在450 nm处测定吸光值。

4.3.3.3 结果计算

$$\text{酶活性} [\text{nmol}/(\text{g} \cdot \text{h})] = \frac{\text{最终吸光度} \times \text{缓冲液体积} (\text{mL})}{[7.9 \mu\text{mol} \times \text{吸入悬浮液体积} (\text{mL}) \times \text{反应时间} (\text{h}) \times \text{土壤重量} (\text{g})]} \quad (4-5)$$

$$\text{最终吸光值} = \text{样品孔吸光值} - \text{基质控制吸光值} - \text{样品控制吸光值} \quad (4-6)$$

4.4 脲酶

4.4.1 方法原理

脲酶将尿素分解成二氧化碳和铵。其活性通常通过测量 NH_4^+ 的生成速率来测定。

4.4.2 材料试剂

4.4.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样获得的鲜土。

4.4.2.2 实验仪器

- (1) 250 mL广口锥形瓶。
- (2) 八通道移液器和枪头。
- (3) 白色96微孔板。
- (4) 摇床。
- (5) 恒温培养箱。
- (6) 多功能酶标仪。

4.4.3 实验方法

4.4.3.1 试剂配制

(1) 50 mmol/L醋酸钠缓冲液（土壤 $\text{pH} \leq 7$ ）：配制50 mmol/L的醋酸钠缓冲液，取6.804 g三水合乙酸钠溶解在800 mL去离子水中，用12 mol/L盐酸调至 $\text{pH} = 6.5$ （或加1.25 mL冰醋酸）后定容到1 L，缓冲液保存在4℃冰箱，8天内使用。

(2) 50 mmol/L碳酸钠缓冲液（土壤 $\text{pH} > 7$ ）：配制50 mmol/L的碳酸钠缓冲液，取5.3 g碳酸钠溶解在800 mL去离子水中，用HCl溶液调至 $\text{pH} = 8$ ，然后定容到1 L，缓冲液保存在4℃冰箱，8天内使用。为减少土壤异质性的影响，建议取5 g鲜土，分别于5个广口瓶中振荡，振荡后将悬浮液混合待测。

(3) 底物：尿素（urea）400 mmol/L，取24 g尿素定容到1 L。

4.4.3.2 操作步骤

(1) 称取1 g鲜土于250 mL广口锥形瓶中，加入125 mL 50 mmol/L醋酸钠缓冲液（酸性，土壤 $\text{pH} \leq 7$ ）或碳酸钠缓冲液（碱性，土壤 $\text{pH} > 7$ ），塞上瓶塞或用封口膜封住，在摇床上于180 r/min振荡30 min制备悬浮液。为减少土壤异质性的影响，建议取5 g鲜土，分别于5个广口瓶中振荡，振荡后将悬浮液混合待测。

注意：β-D-葡萄糖苷酶、多酚氧化酶、脲酶、磷酸酶的悬浮液制备方法一致，制备一次悬浮液可以同时测定4种酶。

(2) 使用八通道移液器吸 200 μL 土壤悬浮液于白色 96 微孔板内，每个样品孔加 50 μL 200 $\mu\text{mol/L}$ 的底物。

(3) 同时做样品和基质控制，样品控制孔加 200 μL 土壤悬浮液和 50 μL 醋酸钠缓冲液，基质控制孔中加入 200 μL 醋酸钠缓冲液和 50 μL 底物。

(4) 所有样品和空白加完后，酶标板放在 20 $^{\circ}\text{C}$ 黑暗条件下用恒温培养箱培养 18 h。

(5) 使用氨氮用水杨酸试剂包（Cat. 2395266-CN）和氨氮用氰尿酸试剂包（Cat. 2395466-CN）对孔中的铵浓度进行测量。

(6) 水杨酸试剂溶解在去离子水中（每毫升 1 包），每孔加入 40 μL 水杨酸试剂，包括对照品和标准品。

(7) 反应 3 min 后，将氰尿酸试剂溶解在去离子水中（每毫升 1 包），并将 40 μL 氰尿酸试剂分配到每个孔中。显色在 20 min 内完成。

(8) 使用多功能酶标仪，采用分光光度法，在 610 nm 处测定吸光值。

4.4.3.3 结果计算

$$\text{净 ABS} = \text{测定孔平均 ABS} - \text{样品控制孔的平均 ABS} - \text{底物控制孔的平均 ABS} \quad (4-7)$$

$$\text{酶活性} [\text{nmol}/(\text{g} \cdot \text{h})] = \text{净 ABS} \times \text{缓冲液体积 (mL)} /$$

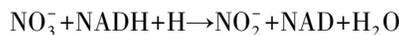
$$[\text{消光系数} \times \text{吸入悬浮液体积 (mL)} \times \text{反应时间 (h)} \times \text{土壤重量 (g)}] \quad (4-8)$$

式中，ABS 为 NH_4^+ 在 610 nm 处的吸光值，消光系数为每增加一个单位浓度的 NH_4^+ 对应的 ABS 的变化量。

4.5 硝酸还原酶

4.5.1 方法原理

硝酸还原酶作用于 NO_3^- 使还原为 NO_2^- ，即



产生的 NO_2^- 可以从土壤内渗到外界溶液中，并积累在溶液中。因此测定反应溶液中 NO_2^- 含量的增加，即表明酶活性的大小。

NO_2^- 含量的测定用对氨基苯磺酸化比色法，亚硝酸与对氨基苯磺酸和 α -萘胺在酸性条件下生成红色偶氮化合物，未反应的 NADH 会抑制后续的显色反应，用 PMS 将其中和后再进行后续反应，生成的红色偶氮化合物颜色在 2~3 h 稳定，可用比色法定量，该法非常灵敏，能测定每毫升 0.5 μg 的 NaNO_2 。

4.5.2 材料试剂

4.5.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样得到的鲜土。

4.5.2.2 实验仪器

- (1) 酶标仪（520 nm）。
- (2) 96 孔板。
- (3) 振荡涡旋仪。
- (4) 台式离心机（8 000 r/min）。
- (5) 恒温箱。
- (6) 单道移液器（20 μL 、100 μL 、200 μL 、1000 μL ）。

4.5.3 实验方法

4.5.3.1 试剂配制

NaNO_2 标准液的配制：用蒸馏水将 10 $\mu\text{mol/mL}$ NaNO_2 标准液稀释至 1.0 $\mu\text{mol/mL}$ 、0.8 $\mu\text{mol/mL}$ 、0.6 $\mu\text{mol/mL}$ 、0.4 $\mu\text{mol/mL}$ 、0.2 $\mu\text{mol/mL}$ 。

4.5.3.2 操作步骤

(1) 称取相当于 0.05 g 风干土重的新鲜土样于 2 mL 离心管中，每个样品称取两份，一份样品标记为测定管，另一份样品标记为对照管。

(2) 设置标准品管和空白管：标准品管各加不同浓度的标准品 50 μL ，绘制标准曲线；空白管加 50 μL 蒸馏水。

(3) 样品测定管和对照管分别加 50 μL 蒸馏水。

(4) 空白管、标准品管、样品测定管和对照管均加 180 μL 硝酸盐溶液（试剂盒内备有试剂）。

(5) 空白管、标准品管和样品测定管先加 18 μL NaOH 溶液（试剂盒内备有试剂），样品对照管先不加。

(6) 用振荡涡旋仪将各管充分混匀，置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱反应 24 h。

(7) 培养结束后，空白管、标准品管、样品测定管和对照管均加 25 μL NADH 溶液（试剂盒内备有试剂）。

(8) 样品对照管加 18 μL NaOH 溶液（试剂盒内备有试剂），其他各管不加。

(9) 加样结束后，立刻用振荡涡旋仪将各管充分混匀，于台式离心机中在 8 000 r/min 室温条件下离心 5 min。

(10) 准备好 96 孔板，于上述各管内分别吸取 80 μL 上清液于 96 孔板对应孔内，各孔均加 20 μL PMS 溶液（试剂盒内备有试剂）；充分混匀，置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱保温 20 min。

(11) 保温结束后，各孔分别加 50 μL 对氨基苯磺酸和 50 μL α -萘胺溶液（试剂盒内备有试剂）充分混匀，显色 20 min 后于酶标仪上在 520 nm 处测定各孔的 OD 值；样品测定孔、对照孔、标准品孔、空白孔的 OD 值分别记为 $A_{\text{测定}}$ 、 $A_{\text{对照}}$ 、 $A_{\text{标准}}$ 、 $A_{\text{空白}}$ ，计算 $\Delta A_{\text{测定}} = A_{\text{测定}} - A_{\text{对照}}$ ， $\Delta A_{\text{标准}} = A_{\text{标准}} - A_{\text{空白}}$ 。

4.5.3.3 结果计算

以标准品浓度作横坐标， $\Delta A_{\text{标准}}$ 为纵坐标（ y 轴）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。

单位的定义：每克土样每天中产生 1 $\mu\text{mol NO}_2^-$ 的量为一个 S-NR 活力单位。

$$\text{S-NR (U/g)} = x \times V_{\text{标准}} / (W \cdot T) = 0.05x / W \quad (4-9)$$

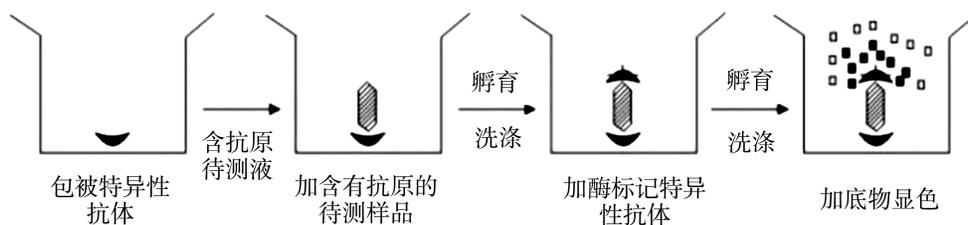
式中， $V_{\text{标准}}$ 为反应体系中加入的标准液体积，0.05 mL； W 为风干土样，g； T 为反应时间，1 天。

4.6 氨单加氧酶

4.6.1 方法原理

氨单加氧酶的测定使用夹心法酶联免疫吸附法（ELISA）：特异性抗体结合到固相载体上形成固相抗体且仍保持其免疫学活性（附图 4-1）。

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标准品、辣根过氧化物酶（HRP）标记的抗体，经过孵育并彻底洗涤。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。



附图 4-1 夹心法酶联免疫吸附原理

4.6.2 材料试剂

4.6.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样得到的鲜土。

4.6.2.2 实验仪器

- (1) 酶标仪（450 nm）。
- (2) 96 孔板。
- (3) 10 000 *g* 离心机。
- (4) 单道移液器（10 μ L、20 μ L、200 μ L、1000 μ L）。
- (5) 恒温箱或水浴锅。
- (6) 组织匀浆机。

4.6.3 实验方法

4.6.3.1 试剂配制

- (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 U/L、15 U/L、30 U/L、60 U/L、120 U/L、240 U/L。
- (3) 0.1 mol/L NaH_2PO_4 - NaH_2PO_4 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：8.0 g NaCl，0.2 g KCl，2.9 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，0.2 g KH_2PO_4 ，0.5 mL 吐温-20，加无菌去离子水至 1 000 mL。
- (6) 底物显色液：先将 TMB 以 0.1 mol/L 的浓度溶于二甲基亚砜，再将 1 mmol/L TMB 和 3.0 mmol/L H_2O_2 溶于 0.2 mol/L 醋酸钠/枸橼酸缓冲液（pH 4.0）。
- (7) 终止液：2 mol/L H_2SO_4 。

4.6.3.2 操作步骤

- (1) 称取 1 g 过筛的风干土壤，加入 9 mL 的 PBS（pH=7.2~7.4，浓度为 0.01 mol/L），将土壤充分混合，混合过程选用组织匀浆器，冰浴上匀浆（或者进行液氮碾磨）。2~8 $^{\circ}\text{C}$ 条件下离心取上清液，离心转速选用 5 000 r/min，时间是 15 min。取上清液待检，仔细收集上清液。
- (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 50 μ L，绘制标准曲线。
- (3) 样本孔先加待测样本 10 μ L，再加去离子水 40 μ L，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 100 μ L，用封板膜封住反应孔，于 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅或恒温箱温育 60 min。
- (5) 弃去液体，在吸水纸上拍干，每孔加满洗涤液，静置 1 min，甩去洗涤液，在吸水纸上拍干，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 100 μ L，于 37 $^{\circ}\text{C}$ 避光孵育 15 min。
- (7) 每孔加入终止液 50 μ L，15 min 内在 450 nm 波长处测定各孔的 OD 值。

4.6.3.3 结果计算

以标准品浓度作为横坐标，对应 OD 值作为纵坐标，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。

4.7 土壤磷酸酶（酸性和碱性磷酸酶）

4.7.1 方法原理

磷酸酶是一种能够将对应底物去磷酸化的酶，即通过水解磷酸单酯将底物分子上的磷酸基团除去，并生成磷酸根离子和自由的羟基。其活性用荧光底物 [4-甲基伞形酮（MUB）-磷酸盐] 法测定。

4.7.2 材料试剂

4.7.2.1 供试土壤

本方法所使用土壤为从田间采样得到的鲜土。

4.7.2.2 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。

4.7.3 实验方法

4.7.3.1 试剂配制

(1) 50 mmol/L 醋酸钠缓冲液（土壤 pH≤7）：配制 50 mmol/L 的醋酸钠缓冲液，取 6.804 g 三水合乙酸钠溶解在 800 mL 去离子水中，用 12 mol/L 盐酸调至 pH=6.5（或加 1.25 mL 冰醋酸）后定容到 1 L，缓冲液保存在 4 ℃ 冰箱，8 天内使用。

(2) 50 mmol/L 碳酸钠缓冲液（土壤 pH>7）：配制 50 mmol/L 的碳酸钠缓冲液，取 5.3 g 碳酸钠溶解在 800 mL 去离子水中，用 HCl 溶液调至 pH=8，然后定容到 1 L，缓冲液保存在 4 ℃ 冰箱，8 天内使用。为减少土壤异质性的影响，建议取 5 g 鲜土，分别于 5 个广口瓶中振荡，振荡后将悬浮液混合待测。

注意：β-D-葡萄糖苷酶、多酚氧化酶、脲酶、磷酸酶的悬浮液制备方法一致，制备一次悬浮液可以同时测定 4 种酶。

(3) 10 μmol/L MUB（标准品，4-methylumbelliferyl）：取 17.6 mg MUB 溶解在 10 mL 的甲醇中，配制成 10 mmol/L 标液，然后稀释 1 000 倍成 10 μmol/L MUB，于 4 ℃ 冰箱保存，3 天内使用。

(4) 200 μmol/L 荧光底物：取 200 μmol/L 4-甲基伞形酮（MUB）-磷酸盐（4-MUB-phosphate），即 1.28 mg 4-甲基伞形酮（MUB）-磷酸盐，用去离子水定容至 25 mL。提前一天配制，放置在 4 ℃ 冰箱保存，3 天内使用。

(5) 1 mol/L 的 NaOH 溶液：取 4 g 分析纯氢氧化钠溶于去离子水中，稀释至 100 mL。

4.7.3.2 操作步骤

(1) 称取 1 g 鲜土于 250 mL 广口锥形瓶中，加入 125 mL 50 mmol/L 醋酸钠缓冲液（酸性，土壤 pH≤7）或碳酸盐缓冲液（碱性，土壤 pH>7），塞上瓶塞或用封口膜封住，在摇床上于 180 r/min 振荡 30 min 制备悬浮液。为减少土壤异质性的影响，建议取 5 g 鲜土，分别于 5 个广口瓶中振荡，振荡后将悬浮液混合待测。

(2) 使用八通道移液器吸 200 μL 土壤悬浮液于黑色 96 微孔板内，每个样品孔加 50 μL 200 μmol/L 的荧光底物。

(3) 同时做样品和基质控制，样品控制孔加 200 μL 土壤悬浮液和 50 μL 醋酸钠缓冲液，基质控制孔中加入 200 μL 醋酸钠缓冲液和 50 μL 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 4 h，之后加入 10 μL 1 mol/L 的 NaOH 溶液，终止反应。

(5) 使用多功能酶标仪进行荧光测定，在 365 nm 波长处激发，在 450 nm 处检测荧光。

4.7.3.3 结果计算

$$\text{酶活性} [\text{nmol}/(\text{g} \cdot \text{h})] = \text{净荧光值} \times \text{缓冲液体积 (mL)} /$$

$$[\text{激发系数} \times \text{吸入悬浮液体积 (mL)} \times \text{反应时间 (h)} \times \text{土壤重量 (g)}] \quad (4-10)$$

$$\text{净荧光值} = [(\text{样品孔测出的荧光值} - \text{样品控制荧光值}) / \text{淬灭系数}] - \text{基质控制荧光值}$$

$$(4-11)$$

激发系数 (fluor/nmol) = 参考标准/加入样品池当中的标准品的量 (4-12)

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 (4-13)

参考文献

- 李振高, 骆永明, 滕应, 2008. 土壤与环境微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社.
- FREEMAN C, OSTLE N, KANG H, 2001. An enzymic 'latch' on a global carbon store: a shortage of oxygen locks up carbon in peatlands by restraining a single enzyme [J]. *Nature*, 409 (6817): 149.
- LI M, ZHANG J, YANG X, et al., 2021. Responses of ammonia-oxidizing microorganisms to biochar and compost amendments of heavy metals-polluted soil [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 102: 263-272.
- SAIYA-CORK K R, SINSABAUGH R L, ZAK D R, 2002. Effects of long term nitrogen deposition on extracellular enzyme activity in an *Acer saccharum* forest soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 1309-1315.
- SINSABAUGH R L, 2010. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 42: 391-404.
- SINSABAUGH R L, HILL B H, SHAH J J F, 2009. Ecoenzymatic stoichiometry of microbial organic nutrient acquisition in soil and sediment [J]. *Nature*, 462 (7274): 795-U117.
- SINSABAUGH R L, LAUBER C L, WEINTRAUB M N, et al., 2008. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale [J]. *Ecology Letters*, 11: 1252-1264.
- ZIBILSKIE L M, BRADFORD J M, 2007. Oxygen effects on carbon, polyphenols, and nitrogen mineralization potential in soil [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 71 (1): 133-139.

附录 5 土壤微生物群落组成高通量测序方法

5.1 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。

5.2 扩增子测序实验基本流程

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。

5.3 主要实验设备

扩增子测序主要实验设备见附表 5-1。

附表 5-1 扩增子测序主要实验设备

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
全自动核酸提取仪	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

5.4 实验流程

5.4.1 土壤 DNA 提取

参照附录 7 土壤功能基因组测序方法 7.4.1~7.4.2 步骤，提取土壤 DNA，并质检。

5.4.2 DNA 样品质控标准

浓度不低于 5 ng/ μ L，A260/280 数值范围在 1.8~2.0，凝胶电泳结果能看到完整条带。

5.4.2.1 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如下。

(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 100 mL，小胶用 70 mL）为例：称取 1 g（0.7 g）琼脂糖置于锥形瓶中，加入 100 mL（70 mL）1×TAE，瓶口倒扣小烧杯。微波炉加热（1 min）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。

注意：2% 琼脂糖凝胶，以上述体系为例，即加入 2 g（1.4 g）琼脂糖及 100 mL（70 mL）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 电泳缓冲液至高于胶板为止。

(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。

5.4.2.2 浓度和纯度定量

使用 NanoDrop ND-2000 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 10 ng/ μ L，A260/280 纯度值为 1.8~2.0 判定为合格样本。

(1) 测量前必须将样本混匀（涡旋 5 s）。

(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，折叠4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1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 μL 做测量，推荐使用2 μL 移液器，以避免体积不足无法准确测定核酸含量。

(5) 不可将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1次纯水重置归零。

5.4.3 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，具体见附表5-2。

附表5-2 土壤细菌、真菌、古菌引物序列及PCR反应条件

类型	引物名称	引物序列 (5' -3')	扩增程序	参考文献
细菌	515F	GTGCCAGCMGCCGCGG	95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 2 min, 35 个循环: 94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 20 s, 55 $^{\circ}\text{C}$ 退火 40 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 1 min。72 $^{\circ}\text{C}$ 延 伸 10 min后 4 $^{\circ}\text{C}$ 保温	Tamaki et al., 2011
	907R	CCGTCAATTCMTTTRAGTTT		
真菌	ITS1-1737F	GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG	95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 3 min, 35 个循环: 95 $^{\circ}\text{C}$ 变性 30 s, 56 $^{\circ}\text{C}$ 退火 30 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 45 s。72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 10 min后 4 $^{\circ}\text{C}$ 保温	Degnan et al., 2012
	ITS2-2043R	GCTGCGTTCTTCATCGATGC		
古菌	519F	CAGCCGCCGCGGTAA	95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 4 min, 35 个循环: 94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 30 s, 57 $^{\circ}\text{C}$ 退火 40 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 45 s。72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 10 min 后 4 $^{\circ}\text{C}$ 保温	Coolen et al., 2004
	915R	GTGCTCCCCGCGCAATTCCT		

5.4.3.1 构建文库

(1) 一轮PCR扩增。

首先，在PCR管中加入以下体系（附表5-3）。

附表5-3 第一轮PCR反应体系

添加组分	添加量
2 \times Taq Master Mix	7.5 μL
5 pmol/ μL primer F	1 μL
5 pmol/ μL primer R	1 μL
DNA 模板	≥ 1 μL (30 ng)
H ₂ O	15 μL
总计	15 μL

其次，按以下程序设置PCR仪程序（附表5-4）。

附表5-4 第一轮PCR反应条件

温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间	循环数
94	5 min	

（续表）

温度/°C	时间	循环数
94	30 s	26
56	30 s	
72	30 s	
72	5 min	
4	保持	

（2）二轮 PCR 扩增。

首先，在 PCR 管中加入以下体系（附表 5-5）。

附表 5-5 第二轮 PCR 反应体系

添加组分	添加量/ μL
2×Taq Master Mix	15
I5	1
I7	1
一轮产物	3
H ₂ O	10
总计	30

其次，按以下程序设置 PCR 仪程序（附表 5-6）。

附表 5-6 第二轮 PCR 反应条件

温度/°C	时间	循环数
94	5 min	10
94	30 s	
56	30 s	
72	30 s	
72	5 min	
4	保持	

5.4.3.2 文库磁珠纯化

（1）在 U 形板中加入 20 μL 平衡至室温且充分混匀的 AMPure XP beads（Beads：产物 = 0.8：1），再加入 25 μL PCR 产物（不足 25 μL 时需用水补齐），用移液器缓慢吹打 10 次，混匀，室温放置 5 min。

（2）磁力架上放置 5 min 至上清液透明，弃上清液。

（3）加入 200 μL 新鲜配制的 80% 的乙醇，室温 30 s，弃上清液。

（4）重复上一个步骤，共洗涤两次。

（5）室温晾干放置，晾干至无液滴残留（用 10 μL 移液器检查管底是否有液滴残留），且 Beads 表面无反光现象，从磁力架上取下平板。

（6）加入 25 μL H₂O 洗脱，吹打 10 次，充分混匀，室温放置 2 min。

(7) 置于磁力架上 5 min 至上清液透明，转移 20 μL 上清液至一块新的 96 孔 PCR 板中或新的 PCR 管中。

5.4.3.3 文库质检

(1) 取 3 μL 纯化过的二轮产物进行琼脂糖凝胶电泳检测，检测是否有条带、条带大小是否符合预期和条带是否单一。琼脂糖凝胶电泳实验流程参照 5.4.2.1 节。

(2) 取 1 μL 纯化过的二轮产物用超微量分光光度计 N120 进行浓度检测。

5.4.4 测序及序列生物信息分析

使用 Illumina Novaseq 6000 PE250 平台进行测序，每个样本不低于 10 万条 Raw reads。原始数据为 FASTQ 格式。使用 Trimmomatic 软件 (Bolger et al., 2014) 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 软件 (Reyon et al., 2012) 进行。拼接参数：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 base)、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：去掉含有氮碱基的序列，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。

Raw data → 去杂后 data → 序列拼接为 tags → 继续质控获得 clean tags → 去除嵌合体后获得 valid tags。

测序数据进行预处理生成优质序列之后，采用 VSEARCH 软件 (Rognes et al., 2016)，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 软件包 (Wang et al., 2007) 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 Silva (version 138) 数据库比对，物种比对注释使用 RDP classifier 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，古菌使用 Silva (version 138) 数据库比对。物种比对注释使用 BLAST 软件。

5.4.5 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 OTU 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 文本表格。

5.4.6 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。

5.4.7 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，并以表格的形式展现丰度结果。

5.4.8 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，以校正测序深度不同引起的多样性差异。在统一测序深度下计算不同样本的多样性指数，并汇总成表格。统计的指数包括如下 4 个。

(1) Observed_OTUs: 直接检测到的微生物种类数。

(2) Chao1: 用于估计样本中物种 Richness 总数，数值越大，代表物种越多。

$$S_{\text{Chao1}} = S_{\text{obs}} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2(n_2 + 1)} \quad (5-1)$$

式中， S_{Chao1} ——估计的 OTU 数目；

S_{obs} ——实际观测到的 OTU 数目；

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”）。

(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 指数越大, 说明群落多样性越高。

$$H_{\text{Shannon}} = - \sum_{i=1}^{S_{\text{obs}}} \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \quad (5-2)$$

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微生物物种数目的分配状况, 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

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (5-3)$$

式中, S ——群落内的物种数;
 H' ——Shannon-Wiener 多样性指数。

5.4.9 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（3 组或 3 组以上样本）对组间多样性指数进行差异分析, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著性筛选阈值, 并使用 Bonferroni 方法对 p 进行多重假设检验校正, 用以评估组间物种多样性是否存在显著差异。

5.4.10 Beta 多样性分析

PCA、PCoA、NMDS 分析和 RDA/CCA 属于排序分析, PCA、PCoA 和 NMDS 分析是非约束排序分析, RDA/CCA 是约束性排序分析。排序分析是一种可视化分析, 用于展示样本/分组间的相似性和差异性, 非约束性排序只基于样本的物种组成数据, 而约束性排序可以同时使用物种组成和环境因子数据进行排序分析, 从而解释环境因子对于样本中物种组成的影响。

5.4.10.1 NMDS 分析

非度量多维尺度（NMDS, nonmetric multidimensional scaling）分析是基于 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, 目标是尽可能地最小化应力函数（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。

5.4.10.2 PCA

PCA (principal component analysis), 即主成分分析, 该分析基于 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, 去除噪声和冗余, 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。

5.4.10.3 PCoA

PCoA (principal co-ordinates analysis) 是一种研究数据相似性或差异性的可视化方法, 通过一系列的特征值和特征向量进行排序后, 选择主要排在前几位的特征值。PCoA 可以找到距离矩阵中最主要的坐标, 通过 PCoA 可以观察个体或群体间的差异。PCoA 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 基于欧氏距离, 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。

PCoA 分析结合微生物多元变量统计分析中的 Adonis 分析判断差异是否具有显著性。

NMDS 分析结合微生物多元变量统计分析中的 Anosim 分析判断差异是否具有显著性。

UPGMA 分析 (unweighted pair group method with arithmetic mean)：通过距离矩阵算法，揭示样本间或组间相似情况。

针对 PCoA、UPGMA 和 NMDS 分析，提供基于以下距离算法。

(1) 加权的 (weighted) Unifrac 距离 (基于进化关系，且考虑到物种丰度)。

(2) 非加权的 (unweighted) Unifrac 距离 (基于进化关系，但不考虑物种丰度，仅仅考虑物种的有无)。

(3) Bray-Curtis 距离算法 (考虑物种的丰度)。

(4) Binary-Jaccard 距离算法 (仅仅考虑物种的有无，不考虑物种的丰度)：Jaccard 系数，又叫 Jaccard 相似性系数，用来比较样本集中的相似性和分散性的一个概率。

(5) Euclidean (欧氏) 距离算法 (考虑物种的丰度)：欧氏距离 (Euclidean distance) 是一个通常采用的距离定义，它是在 m 维空间中两个点之间的真实距离。

5.4.11 菌群差异统计分析

微生物多元变量统计分析主要包括两大类。

(1) 常规：ANOVA、Kruskal-Wallis 算法，对于两个样本间的差异显著性分析，使用 Metastat 分析方法。

(2) LEfSe 分析 (分组数小于等于 6 时提供)，结合差异检测方法 (Kruskal-Wallis 检验或 Wilcoxon 检验) 和线性判别分析进行特征选择。

LEfSe (linear discriminant analysis effect size) 分析，是一种用于发现和解释高维度数据生物标志物的分析工具，可以进行两个或多个分组的比较，它强调统计意义和生物相关性，能够在组与组之间寻找具有统计学差异的生物标志物 (biomarker)。①首先在多组样本中采用非参数因子 Kruskal-Wallis 秩和检验检测不同分组间丰度差异显著的物种；②再利用上一步中获得的显著差异物种，用成组的 Wilcoxon 秩和检验来进行组间差异分析；③最后用线性判别分析 (LDA) 对数据进行降维和评估差异显著的物种的影响力 (即 LDA score)。

5.4.12 菌群功能预测分析

PICRUSt2 是一款基于标记基因序列来预测功能丰度的软件。本研究默认预测测序样品中的 COG 和 KO 丰度。使用 PICRUSt2 软件，预测已知微生物基因功能的构成，从而统计不同样本和分组之间在功能上的差异。

5.4.12.1 基于 16S 的 KEGG 功能预测

KEGG (Kyoto encyclopedia of genes and genomes, 京都基因及基因组百科全书)，是一个有关生物系统较完善的数据库，关联基因组信息和功能信息的知识库。其由基因蛋白序列 (KEGG genes)、具有内源性和外源性的化学物质 (KEGG ligand)、分子相互作用和代谢通路图 (KEGG pathway) 和各种生物之间的层次关系 (KEGG brite) 构成。根据功能分级，通常将 KEGG 分为 3 个层级，即 level1、level2 和 level3。其中 level1 包含 6 个分类：Metabolism、Genetic information processing、Environmental information processing、Cellular processes、Organismal systems 和 Human diseases (具体物种注释可能有删减)；level2 包含 Cell growth and death、Transcription 和 Development 等 44 个分类 (具体物种注释可能有删减)；level3 即为常规富集使用的数百个 Pathway，从 level1 到 level3 功能更具体，反之，更概括。将预测 KEGG 结果在 3 个 level 上 (两组根据 Wilcoxon 算法、多组根据 Kruskal-Wallis 算法) 统计差异，对差异结果绘制热图和条形图。

5.4.12.2 基于 16S 的 COG 功能预测

COG 即 Clusters of orthologous groups of proteins。构成每个 COG 的蛋白都被假定为来自一个祖先蛋白。Orthologs 是指来自不同物种的由垂直家系 (物种形成) 进化而来的蛋白，并且典型地保留与

原始蛋白有相同的功能。Paralogs 是那些在一定物种中的来源于基因复制的蛋白,可能会进化出新的与原来有关的功能。通过观看其主页和说明文档,可以理解为 COG 是 NCBI 的数据库。COG 的中文释义即“同源蛋白簇”。COG 分为两类,一类是原核生物的,另一类是真核生物的。原核生物的一般称为 COG 数据库。将预测 COG 结果进行(两组根据 Wilcoxon 算法、多组根据 Kruskal-Wallis 算法)统计差异,对差异绘制热图和条形图。

真菌和古菌无此分析。

参考文献

- BLAXTER M, MANN J, CHAPMAN T, et al., 2005. Defining operational taxonomic units using DNA barcode data [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 360 (1462): 1935-1943.
- BOLGER A M, LOHSE M, USADEL B, 2014. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data [J]. *Bioinformatics*, 30 (15): 2114-2120.
- CAPORASO J G, BITTINGER K, BUSHMAN F D, et al., 2009. PyNAST: a flexible tool for aligning sequences to a template alignment [J]. *Bioinformatics*, 26 (2): 266-267.
- CAPORASO J GREGORY, KUCZYNSKI JUSTIN, STOMBAUGH JESSE et al., 2010. QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data [J]. *Nature Methods*, 7: 335-6.
- CHAO A, 1984. Non-parametric estimation of the classes in a population [J]. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11 (4): 265-270.
- COOLEN M J L, HOPMANS E C, RIJPSTRA W I C, et al., 2004. Evolution of the methane cycle in Ace Lake (Antarctica) during the Holocene: response of methanogens and methanotrophs to environmental change [J]. *Organic Geochemistry*, 35 (10): 1151-1167.
- DEGNAN P H, OCHMAN H, 2012. Illumina-based analysis of microbial community diversity [J]. *The ISME Journal*, 6: 183-198.
- DESANTIS T Z, HUGENHOLTZ P, LARSEN N, et al., 2006. Greengenes, a chimera-checked 16S rRNA gene database and workbench compatible with ARB [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 72 (7): 5069-5072.
- DOUGLAS G M, MAFFEI V J, ZANEVELD J, et al., 2019. PICRUST2: an improved and extensible approach for metagenome inference [J]. *bioRxiv*: 672295.
- EDGAR R C, HAAS B J, CLEMENTE J C, et al., 2011. UCHIME improves sensitivity and speed of chimera detection [J]. *Bioinformatics*, 27 (16): 2194-2200.
- ESTY W W, 1986. The Efficiency of good's nonparametric coverage estimator [J]. *Annals of Statistics*, 14 (3): 1257-1260.
- FAITH D P, BAKER A M, 2005. Phylogenetic diversity (PD) and biodiversity conservation: some bioinformatics challenges [J]. *Evolutionary Bioinformatics Online*, 2 (2): 121-128.
- LOBO, 2008. Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) [J]. *J. Mol. Biol.*, 215 (3): 403-410.
- LUMINI E, ORGIAZZI A, BORRIELLO R, et al., 2010. Disclosing arbuscular mycorrhizal fungal biodiversity in soil through a land-use gradient using a pyrosequencing approach [J]. *Environmental Microbiology*, 12 (8): 2165-2179.
- MAGOČ T, SALZBERG S L, 2011. FLASH: fast length adjustment of short reads to improve genome assemblies [J]. *Bioinformatics*, 27 (21): 2957-2963.
- POLY F, MONROZIER L J, BALLY R, 2001. Improvement in the RFLP procedure for studying the diversity of *nifH* genes in communities of nitrogen fixers in soil [J]. *Research in Microbiology*, 152

- (1): 95–103.
- QUAST C, PRUESSE E, YILMAZ P, et al., 2013. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools [J]. *Nucleic Acids Research*, 41: D590–D596.
- REYON D, TSAI S Q, KHAYTER C, et al., 2012. FLASH assembly of TALENs for high-throughput genome editing [J]. *Nature Biotechnology*, 30: 460–465.
- ROGNES T, FLOURI T, NICHOLS B, et al., 2016. VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics [J]. *PeerJ*, 4: e2584.
- SIMPSON E H, 1949. Measurement of diversity [J]. *Nature*, 163: 688.
- TAMAKI H, WRIGHT C L, LI X Z, et al., 2011. Analysis of 16S rRNA amplicon sequencing options on the Roche/454 next-generation titanium sequencing platform [J]. *PLoS One*, 6: e25263.
- TOLLI J, KING G M, 2005. Diversity and structure of bacterial chemolithotrophic communities in pine forest and agroecosystem soils [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 71 (12): 8411–8418.
- WANG Q, GARRITY G M, TIEDJE J M, et al., 2007. Naive Bayesian classifier for rapid assignment of rRNA sequences into the new bacterial taxonomy [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 73: 5261–5267.

附录 6 土壤优势功能微生物分离培养及鉴定方法

6.1 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，需分离培养典型的具有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、固氮细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第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。

6.2 材料试剂

6.2.1 土壤

本方法所使用土壤为刚从样地中采集或采集后于 4 °C 储存的土壤。

6.2.2 试剂

- (1) 硫酸铵 [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, SIGMA, catalog number: A4418–100G]。
- (2) 氯化钠 (NaCl, SIGMA, catalog number: S7653–250G)。
- (3) 硫酸钾 (K_2SO_4 , SIGMA, catalog number: 223492–500G)。
- (4) 磷酸氢二钾 (K_2HPO_4 , SIGMA, catalog number: 1051041000–250G)。
- (5) 硫酸镁 (MgSO_4 , SIGMA, catalog number: M7506–500G)。
- (6) 氯化钙 (CaCl_2 , SIGMA, catalog number: C4901–100G)。
- (7) α -萘胺 ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}_2$, SIGMA, catalog number: 34390–250MG)。
- (8) 葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, SIGMA, catalog number: D9434–250G)。
- (9) 羧甲基纤维素钠盐 [$\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_2\text{OCH}_2\text{COONa}$, SIGMA, catalog number: C5013–500G]。
- (10) 明胶 (SIGMA, catalog number: 70151–500G)。
- (11) 乙醇 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, SIGMA, catalog number: E7023–500ML)。

- (12) 亚硝酸钠 (NaNO_2 , SIGMA, catalog number: S2252-500G)。
- (13) 碳酸钠 (Na_2CO_3 , SIGMA, catalog number: 222321-500G)。
- (14) 磺胺酸 [$4-(\text{H}_2\text{N})\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$, SIGMA, catalog number: 121573-250G]。
- (15) 乙酸 ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$, SIGMA, catalog number: 695092-100ML)。
- (16) 甘露醇 ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$, SIGMA, catalog number: PHR1007-1G)。
- (17) 磷酸二氢钾 (KH_2PO_4 , SIGMA, catalog number: PHR1330-5G)。
- (18) 磷酸钙 ($\text{Ca}_3\text{O}_8\text{P}_2$, SIGMA, catalog number: 21218-1KG)。
- (19) 氯化镁 (MgCl_2 , SIGMA, catalog number: M8266-100G)。
- (20) 氯化钾 (KCl, SIGMA, catalog number: P9541-500G)。
- (21) 二苯胺 [$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$, SIGMA, catalog number: 242586-500G]。
- (22) 浓硫酸 (H_2SO_4 , SIGMA, catalog number: 339741-500ML)。
- (23) 亚硫酸氢钠 (NaHSO_3 , SIGMA, catalog number: 243973-500G)。
- (24) 亚硫酸钠 (Na_2SO_3 , SIGMA, catalog number: 239321-500G)。
- (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]。
- (26) 氯化铁 (FeCl_3 , SIGMA, catalog number: 157740-100G)。
- (27) 碳酸钙 (CaCO_3 , SIGMA, catalog number: 239216-500G)。
- (28) 钾长石粉 (SIGMA, catalog number: NIST70B-40G)。
- (29) 多黏菌素硫酸盐 (SIGMA, catalog number: C4461-100MG)。
- (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)。
- (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)。
- (32) 牛肉膏 (MACKLIN, catalog number: B885959-500G)。
- (33) 蛋白胨 (SIGMA, catalog number: 70175-500G)。
- (34) 青霉素 ($\text{C}_{16}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}_4$, SIGMA, catalog number: 61305-25MG)。
- (35) 氯霉素 ($\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{Cl}_2\text{N}_2\text{O}_5$, SIGMA, catalog number: R4408-10ML)。
- (36) 结晶紫 ($\text{C}_{25}\text{H}_{30}\text{N}_3\text{Cl}$, SIGMA, catalog number: C0775-25G)。
- (37) 杆菌肽 ($\text{C}_{66}\text{H}_{103}\text{N}_{17}\text{O}_{16}\text{S}$, SIGMA, catalog number: 08382-50DISCS-F)。
- (38) *L*-天门冬酰胺 ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_3$, MACKLIN, catalog number: L800638-10G)。
- (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)。
- (40) *D*-半乳糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, SIGMA, catalog number: G0750-10G)。
- (41) 五氯硝基苯 ($\text{C}_6\text{Cl}_5\text{NO}_2$, SIGMA, catalog number: 45653-250MG)。
- (42) 牛胆汁 (SIGMA, catalog number: T6260-100MG)。
- (43) 四硼酸钠 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, SIGMA, catalog number: 221732-500G)。
- (44) 硫酸链霉素 (MACKLIN, catalog number: S6153-10g)。
- (45) 磷酸 (H_3PO_4 , SIGMA, catalog number: 345245-500ML)。
- (46) 甘油 (SIGMA, catalog number: G7893)。
- (47) 琼脂粉 (SIGMA, catalog number: A7921-100G)。
- (48) 细菌基因组 DNA 提取试剂盒 (Solarbio, catalog number: D2100)。
- (49) 琼脂糖 (Biowest, catalog number: G-10)。
- (50) PCR 引物 (Life Technologies)。
- (51) PCR 反应体系试剂 (TAKARA, catalog number: B110006)。
- (52) 胶回收试剂盒 (Wizard 83[®] SV Gel and PCR Clean-up System, Promega, catalog number: A9282)。
- (53) 三羟甲基氨基甲烷 (Tris, Vetec, catalog number: V900483-500G)。
- (54) 上样缓冲液 (TAKARA, catalog number: 9156)。

6.2.3 耗材

- (1) 镊子 (Jinzhong, catalog number: JD5020)。
- (2) 剪刀 (Jinzhong, catalog number: J21130)。
- (3) 切胶刀片 (Jinzhong, catalog number: J11010)。
- (4) 滤纸 (SEP, catalog number: DXLZ11F)。
- (5) 50 mL 离心管 (BD Falcon, catalog number: 352070)。
- (6) 微量离心管 (2 mL, 5 mL; Eppendorf, catalog number: 022363352, 30119401)。
- (7) 塑料研磨棒 (Huuaobio, catalog number: SLXMB-1.5)。
- (8) 13 cm 方型培养皿 (Axygen, catalog number: ASJ-17-9142)。
- (9) 60 mm 培养皿 (Corning, catalog number: 430166)。
- (10) 96 孔 PCR 板 (Jet Keen Biotechnology, catalog number: PC-0200-9B)。
- (11) 12 通道移液器 (10 μ L, 100 μ L, 300 μ L; Eppendorf, catalog numbers: 3122000027, 3122000043, 3122000060)。
- (12) 单道移液器 (10 μ L, 20 μ L, 100 μ L, 200 μ L, 1 000 μ L; Eppendorf, catalog numbers: 3120000020, 3120000038, 3120000046, 3120000054, 3120000062)。
- (13) 移液器吸头 (nuclease-free, 10 μ L, 200 μ L, 1 000 μ L; Axygen, catalog numbers: T-300, T-200-Y, T-1000-B)。
- (14) Parafilm 封口膜 (Bemis, catalog number: PM-996)。
- (15) 96 孔 PCR 板封板膜 (Axygen, catalog number: PCR-TS)。
- (16) 称量纸 (Dingguo, catalog number: PP-P-002)。
- (17) 一次性乳胶手套 (Dingguo, catalog number: GV-RST-M)。
- (18) 试管 (Greiner, catalog number: 16910)。

6.2.4 仪器

- (1) 生物安全柜 (Thermo Fisher Scientific, catalog number: BSC-1000IIA2)。
- (2) 旋涡混合器 (TIAGEN BIOTECH, catalog number: OSE-VS-01)。
- (3) 电子天平 (Mettler Toledo, catalog number: AL104)。
- (4) 平板摇床 (Kylin-Bell Lab Instruments, catalog number: TS-2)。
- (5) 微孔板离心机 (TIAGEN BIOTECH, catalog number: OSE-MP26)。
- (6) PCR 仪 (T100TM 99; BIO-RAD, model: 1861096)。
- (7) 电泳仪 (JUNYI-DONGFANG, catalog number: JY300HC)。
- (8) 凝胶成像仪 (BIO-RAD, model: Universal Hood II)。
- (9) 酶标仪 (Molecular Devices[®] 102, model: PARADIGM)。
- (10) 紫外分光光度计 (Thermo Fisher Scientific, model: NanoDrop ND-2000)。
- (11) 磁力架 (Thermo Fisher Scientific, catalog number: 12321D)。
- (12) 高速微型离心机 (Thermo Fisher Scientific, model: Heraeus Pico 17)。
- (13) 遗传分析仪 (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA, model: 3730XL)。
- (14) -80 $^{\circ}$ C 超低温冰箱 (Thermo Fisher Scientific, model: 907)。
- (15) -20 $^{\circ}$ C 冰箱 (Haier, catalog number: DW-40L92)。

6.3 功能细菌分离培养实验步骤

6.3.1 土悬液制备

(1) 从样地里采集土壤样品, 装在全无菌 50 mL 离心管或全无菌自封袋中 (4 $^{\circ}$ C 储存) 尽快转移至实验室进行后续操作。

(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 5 g 土壤，放置在灭菌的 250 mL 三角烧瓶中，加入 100 mL 灭菌 10 mmol/L $MgCl_2$ ，用封口膜封口，在平板摇床上于常温在 180 r/min 下摇 30 min。

(3) 放置在常温静置 15 min。

(4) 将上层悬液转移至无菌 50 mL 离心管，注意不能带有下层土壤。

(5) 利用分光光度计测量土壤悬液 OD_{600} 值，加入灭菌 10 mmol/L $MgCl_2$ ，调整至 $OD_{600} = 0.5$ ，静置 30 min。

6.3.2 功能细菌的分离培养及纯化

6.3.2.1 纤维分解菌

(1) 制备纤维素培养基：称取 2.0 g 纤维素、2.0 g 明胶、0.25 g $MgSO_4$ 、0.5 g KH_2PO_4 加入 1 000 mL 蒸馏水中，将 pH 调节至 6.8~7.2。自然固体培养基加 1.5% 琼脂。将 5 mL 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，于 121 °C 下灭菌 30 min。

(2) 滤纸条是以普通的滤纸剪成 5 cm×0.7 cm 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 4~5 h，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 1 mL，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 °C 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 1 mL 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 80 μ L 的液体涂布到固体纤维素培养基中。最后在 28 °C 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。

6.3.2.2 固氮细菌

(1) 制备酵母浸出物-甘露醇（YEM）培养基：称取 10.00 g 甘露醇、0.20 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 、0.10 g NaCl、0.50 g K_2HPO_4 、0.20 g $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 、0.01 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 、1.00 g 酵母提取物加入 1 000 mL 蒸馏水中（pH=6.7~7），自然固体培养基加 1.5% 琼脂。将 5 mL 培养基分装于试管中，管中紧贴内壁放一滤纸条，一半浸入培养基内，一半露于空气中，于 121 °C 下灭菌 30 min。

(2) 选取 4 个稀释度（如 10^{-4} ~ 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 1 mL。另取 4 支培养基不接种悬液而接种无菌水作对照。于 28 °C 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 1 mL 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 °C 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。

6.3.2.3 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 1 000 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 1 000 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、多黏菌素硫酸盐 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，于 121 °C 下灭菌 30 min。

(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。

6.3.2.4 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 1 000 mL。自然固体培养基加 1.5% 琼脂，于 121 °C 下灭菌 30 min。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 1 000 mL 培养基加入量，下同）、0.5 g 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。

6.3.3 微生物保存——甘油保存法

(1) 将 6.3.2 分离得到的纯菌株接种于其对应的液体培养基，于 28 °C、180 r/min 摇床振荡培养至对数生长期（ $OD_{600} = 0.6 \sim 0.8$ ）。

(2) 将 50% 甘油（等体积蒸馏水加等体积甘油）、2 mL 离心管/保藏管、枪头等试验用品于 121 °C 灭菌 20 min。

(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%。

(4) 将上述保藏管于 -80 °C 冰箱保存。

6.4 功能菌株的鉴定

6.4.1 DNA 提取

(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 6.3.2 功能细菌的分离培养及纯化），于 28 °C、180 r/min 摇床振荡培养活化至细胞进入对数生长期（ $OD_{600} = 0.8$ ）。

(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。

(3) 取活化的菌悬液 1 mL，12 000 r/min 离心 1 min，尽量吸尽上清液。

(4) 向细菌沉淀中加入 500 μ L 试剂盒裂解液（溶液 A），振荡至菌体充分悬浮。

(5) 向悬浮液中加入 20 μ L 的 RNase A（10 mg/mL），于 55 °C 放置 10 min。

(6) 加入 20 μ L 的蛋白酶 K（10 mg/mL），充分混匀，于 55 °C 水浴消化 30 min。消化期间可颠倒离心管混匀数次，12 000 r/min 离心 10 min。将上清液转移到一个新的离心管中。如有沉淀，可再次离心。

(7) 加入 500 μ L 溶液 B，充分混匀。如出现白色沉淀，于 55 °C 放置 5 min，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，应增加消化时间。

(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 2 min（分两次加入，每次 700 μ L）。

(9) 12 000 r/min 离心 2 min，弃废液，将吸附柱放入收集管中。

(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），于 12 000 r/min 离心 1 min，弃废液，将吸附柱放入收集管中。

(11) 向吸附柱中加入 600 μ L 漂洗液，于 12 000 r/min 离心 1 min，弃废液，将吸附柱放入收集管中。

(12) 12 000 r/min 离心 2 min，将吸附柱置于室温或 50 °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。

(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 μL 经 65 $^{\circ}\text{C}$ 水浴预热的洗脱液，室温放置 5 min，于 12 000 r/min 离心 2 min。

(14) 离心所得洗脱液再加入吸附柱中，室温放置 2 min，于 12 000 r/min 离心 2 min，即可得到高质量的基因组 DNA。

6.4.2 PCR 扩增

(1) 准备好用于 PCR 扩增的 DNA 模板，做好各个模板的标记。

(2) 功能细菌鉴定使用通用引物（上游引物）27F：5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3'；（下游引物）1492R：5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3' 进行扩增；真菌鉴定使用通用引物（上游引物）ITS1：5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3'；（下游引物）ITS4：5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3' 进行扩增。

(3) 在生物安全柜中，将以下 PCR 反应体系进行混合（附表 6-1）。

附表 6-1 PCR 反应体系

反应成分	体积/ μL
2 \times Taq PCR Mix	25
引物 27F	1
引物 1492R	1
DNA 模板	2
ddH ₂ O	21
总计	50

(4) 利用 PCR 仪根据以下反应条件进行 PCR 扩增（附表 6-2）。

附表 6-2 PCR 反应条件

步骤	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间	循环数
预变性	95	2.5 min	
变性	95	15 s	35
退火	55	30 s	
延伸	72	1 min	
最终延伸	72	10 min	
保持	4		

(5) 获得扩增产物后，将 3.0 μL 的 PCR 产物、3.0 μL 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。

(6) 根据 PCR 产物浓度进行等浓度混样，充分混匀后使用 1 \times 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。

6.4.3 序列分析及鉴定

(1) 使用遗传分析仪（Applied Biosystems, Foster City, CA, USA）进行测序。

(2) 得到某菌株的测序结果（碱基序列）。

(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) 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

- 李振高, 骆永明, 滕应, 2008. 土壤与环境微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社.
- GU Y, WANG X, YANG T, et al., 2020. Chemical structure predicts the effect of plant-derived low-molecular weight compounds on soil microbiome structure and pathogen suppression [J]. *Functional Ecology*, 34: 2158–2169.
- KIM M, OH H S, PARK S C, et al., 2014. Towards a taxonomic coherence between average nucleotide identity and 16S rRNA gene sequence similarity for species demarcation of prokaryotes [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64: 346–351.
- KOMADA H, 1975. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil [J]. *Review of Plant Protection Research*, 8: 114–125.
- LÓPEZ A C, ALIPPI A M, 2019. Feasibility of using RFLP of PCR-amplified 16S rRNA gene(s) for rapid differentiation of isolates of aerobic spore-forming bacteria from honey [J]. *Journal of Microbiological Methods*, 165: 105690.

附录 7 土壤功能基因组测序方法

7.1 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，需开展土壤生物功能基因组高通量测序。功能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附录 5 要求执行。

7.2 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→文库构建→上机测序→数据质检。

7.3 实验主要设备

基因组第二代测序主要设备见附表 7-1。

附表 7-1 主要设备清单

编号	设备名称	描述
1	PCR 仪	利用 PCR 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

（续表）

编号	设备名称	描述
6	涡旋混合仪	用于多种样品混匀和涡旋振荡操作
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
9	片段分析仪	用于判定文库片段大小
10	核酸定量仪	用于测定核酸浓度
11	测序仪	用于对文库进行测序
12	超声打断仪	用于对初始 DNA 进行片段化处理

7.4 实验操作流程模块

7.4.1 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。

7.4.1.1 常规土壤 DNA 提取操作步骤

(1) 直接添加 250 mg 以内的待测土壤样品到裂解管中，然后添加 750 μL 的裂解液到裂解管中，在涡旋仪上在最大速下振荡 5 min 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 $\geq 10\ 000\ g$ 下离心 1 min。

(3) 将步骤（2）所得上清液 400 μL 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 8 000 g 的离心力条件下离心 1 min。丢弃过滤柱。

(4) 添加 1 200 μL 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) 从步骤（4）获得的混合液中吸取 800 μL 加到 2 号过滤柱（试剂盒内备有耗材）中，在 10 000 g 下离心 1 min，倒掉收集管中废液。

(6) 重复进行步骤（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 μL 的基因组 DNA 洗涤液 1（试剂盒内备有试剂）到 2 号柱中，在 $\geq 10\ 000\ g$ 条件下离心 1 min。

(8) 添加 500 μL 的基因组 DNA 洗涤液 2（试剂盒内备有试剂）到 2 号柱中，在 $\geq 10\ 000\ g$ 下离心 1 min。

(9) 将 2 号柱移至干净的 1.5 mL 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 65~70 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中预热效果更好），室温下放置 2~5 min，在 $\geq 10\ 000\ g$ 下离心 1 min 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 μL 的抑制物去除液，在 $\geq 8\ 000\ g$ 条件下离心 3 min。

(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 1.5 mL 离心管内，并在 16 000 g 条件下离心 3 min，得到的 DNA 样品进行后续 PCR 等试验。

7.4.1.2 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。在研钵中加入足够的液氮快速冷却石英砂和研钵。

注意：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) 开始研磨样品，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内。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。

注意：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 V_1 。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 3 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，加入更多的液氮保持样品冷冻）。转移样品到新的 15 mL 离心管中。

注意：此时如果不能立即进行 DNA 提取，样品要保存在 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下，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 V_1 (mL)，则这一步添加的缓冲液体积为 $3.3 - V_1$ 。

注意：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。

注意：如果在步骤 (5) 中加入 5 mL 缓冲液，则加入 18.5 μL 蛋白酶 K。

(7) $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴 30 min，其间 5~10 min 倒转混合 1 次。

(8) 加入 0.37 mL 20% 的 SDS，轻轻地混合。

注意：如果在步骤 (5) 中加入 5 mL 缓冲液，则加入 0.56 mL 20% 的 SDS。

(9) $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴 2 h，每 15~30 min 轻柔地倒转混合 1 次。

(10) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 6 000 g 离心 20 min。

(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。

注意：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。

注意：如果在步骤 (5) 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。

注意：如果在步骤 (5) 中加入 5 mL 缓冲液，则加入 0.2 mL 20% 的 SDS。

(14) $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴静置 15 min。

(15) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 6 000 g 离心 20 min。

(16) 转移上清液与步骤 (11) 所得的上清液混合，转移过程中避免碰到白色表层。

注意：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氯仿：异戊醇（1：24）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。 $3\ 700\text{ }g$ 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 1 次。然后转移上清液到 Oak Ridge tubes 中。

(17) 加入 0.6 μL 的 2-异丙醇（使用量要精准控制在 0.6 μL ）。

(18) 在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中静置过夜。低温有助于 DNA 沉淀。

(19) 从冰箱取出样品， $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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。

注意：尽可能彻底地溶解所有矿物沉淀，需要 30~45 min。

(20) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 室温下 $15\ 000\text{ }g$ (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。 $15\ 000\text{ }g$ 离心

5 min，去掉乙醇。

注意：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。

7.4.1.3 DNA 样品保存及处理

得到的 DNA，长期保存时，应冻存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在后续实验中，应先将 DNA 于冰上解冻（提前 1h 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。

7.4.1.4 DNA 样品质控标准

浓度不低于 $10\text{ ng}/\mu\text{L}$ ， A_{260}/A_{280} 数值范围在 $1.8\sim 2.0$ ，凝胶电泳结果能看到完整条带。

7.4.2 核酸质量检测

7.4.2.1 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如下。

(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（常用 $400\text{ mL}/4$ 块）为例：称取 4 g 琼脂糖置于锥形瓶中，加入 $400\text{ mL } 1\times\text{TAE}$ ，瓶口倒扣小烧杯。微波炉加热（8 min）琼脂糖全部融化（底部无小气泡升起），摇匀，放置温度降到 $55\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，加入 $40\text{ }\mu\text{L}$ 溴化乙锭（ $10\text{ }\mu\text{L}/\text{块}$ ），摇匀，即成 1.0% 琼脂糖凝胶液。

注意：2% 琼脂糖凝胶，以上述体系为例，即加入 2 g 琼脂糖及 $100\text{ mL } 1\times\text{TAE}$ 。

(3) 胶板制备：取制胶板洗干净晾干，在固定位置放入 28 孔梳子（24 孔样品，2 孔 Marker，两边各留 1 孔不用，以防止边孔电泳时跑歪）。将冷却已加入溴化乙锭的琼脂糖凝胶液混匀小心地倒入制胶板中，使胶液缓慢展开到固定刻度线高度，轻轻晃动制胶板，使整个制胶板表面形成均匀胶层。

(4) 室温下，静置直至凝胶完全凝固，添加 $1\times\text{TAE}$ 电泳缓冲液覆盖电泳胶，再垂直轻拔梳子，使胶孔充满缓冲液；连内槽一起取出胶块，加入样品及 Marker，之后将凝胶及内槽放入电泳槽中。添加 $1\times\text{TAE}$ 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， $5\text{ V}/\text{cm}$ ，电泳 20 min 。

(6) 凝胶成像时，摆正胶块，拍照。

7.4.2.2 纯度定量

使用 NanoDrop ND-2000 完成核酸纯度的测定，用于鉴定核酸纯度。 A_{260}/A_{280} 纯度值为 $1.5\sim 2.2$ 时判定为合格样本。

(1) 测量前必须将样本混匀（涡旋 5 s）。

(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，折叠 4 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 $1\sim 2\text{ }\mu\text{L}$ 做测量，推荐使用 $2\text{ }\mu\text{L}$ 移液器，以避免体积不足无法准确测定核酸含量。

(5) 不可将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。

7.4.2.3 浓度定量

使用 Quantus Fluorometer（Promega）完成核酸浓度的测定，将荧光染料与特异的靶分子结合来鉴定核酸浓度。浓度 $\geq 2\text{ ng}/\mu\text{L}$ 判断为合格。

- (1) 每天使用 QuantiFluor® dsDNA System 配置荧光染料及制定标曲。
- (2) 在 0.5 mL 定量管中加入 99 μL 1 \times TE、1 μL 样品、100 μL 染料，振荡混匀，避光静置 5 min。
- (3) 将定量管放入仪器中进行浓度读取。

7.4.3 DNA 片段化

此处为超声法片段化，如选择其他方法，请参照对应的标准方法执行。

7.4.3.1 超声法 DNA 打断实验操作

- (1) 打开超声打断仪，加入去离子水，进行设备预冷。
- (2) 将适量的样品（一般在 100~1 000 ng）转移至打断管中，用 ddH₂O 补足体积至固定的刻度线（总体积 130 μL ）。
- (3) 选择预置的大小为 400 bp 程序，点击启动打断程序（可根据 DNA 完整性调整打断时间）。

7.4.3.2 DNA 片段化后质量控制

琼脂糖凝胶电泳，参考 7.4.2.1 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。

7.4.4 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) 根据试剂说明构建标准曲线。
- (2) 在 0.5 mL 定量管中分别加入 99 μL 1 \times TE Buffer、1 μL 样品、100 μL 稀释好的染料工作液。
- (3) 将混合物涡旋 5 s，短暂离心，并在室温下避光温育 5 min，然后读取读数。
- (4) 根据定量后得到的片段化 DNA 浓度，计算文库构建时需要加入的 DNA 体积，尽量确保 DNA 文库起始量是一致的。

7.4.5 文库构建

使用文库试剂盒完成文库构建，通过末端修复、添加接头、PCR 扩增以及磁珠纯化完成文库构建。

7.4.5.1 末端修复以及 A-tailing 组装

- (1) 在离心管或者 PCR 板中完成单独的末端修复和 A-tailing 组装反应。反应体系见附表 7-2。

附表 7-2 末端修复和 A-tailing 组装反应体系

组分	体积/ μL
Fragmented DNA (1ng~1 μg)	32
NEXTflex End-Repair & Adenylation Buffer Mix	15
NEXTflex End-Repair & Adenylation Enzyme Mix	3
体系总体积	50

- (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 40 min（附表 7-3）。

附表 7-3 热循环仪孵育温度梯度程序

步骤	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/min
末端修复和 A-tailing 组装	22	20
	72	20
保持	4	

7.4.5.2 接头连接

- (1) 根据建库起始量对接头用量进行控制，必要时稀释接头至合适的浓度。
- (2) 在已经完成的末端修复和 A-tailing 的管中连接接头（附表 7-4）。

附表 7-4 接头连接操作体系

组分	体积/ μL
末端修复的 DNA 混合物	50
NEXTflex Barcode Adater（根据投入 DNA 总量进行稀释）	2.5
NEXTflex Ligase Enzyme Mix	47.5
体系总体积	100

- (3) 用移液枪上下吹吸混匀 15~20 次（关键步骤），短暂离心。
- (4) 在 22 $^{\circ}\text{C}$ 孵育 15 min（实验完成后立即纯化）。

7.4.5.3 连接接头后纯化

- (1) 在同一个板/管中，使用磁珠纯化（附表 7-5）。

附表 7-5 磁珠纯化体系

组分	体积/ μL
上步链接接头后的混合物	100
Agencourt [®] AMPure [®] XP beads	80
体系总体积	180

- (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 min，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 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 s。
- (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 s。
- (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 min，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 32 μL 的洗脱缓冲液（10 mmol/L 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 min，从磁珠上将 DNA 洗脱。
- (16) 将管放置在磁力架上，室温静置 3~5 min 直至液体变为澄清状态。
- (17) 转移 30 μL 上清液到新的离心管或 PCR 管中，该步骤后可暂停，将纯化后的产物放置于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 保存留用。

7.4.5.4 文库扩增

- (1) 将每个文库扩增反应组装，见附表 7-6。

附表 7-6 文库扩增反应体系

组分	体积/ μL
NEXTflex PCR Master Mix	12
NEXTflex Primer Mix	2
加接头后 DNA 文库	20
PCR-grade water	16
体系总体积	50

(2) 充分混匀并短暂离心。

(3) 使用以下循环参数进行扩增（附表 7-7）。

附表 7-7 PCR 扩增程序方法

流程	温度/ $^{\circ}\text{C}$	反应时间	循环数
预变性	98	2 min	循环数参考说明书，根据相对应的文库总质量判断
变性	98	30 s	
退火	65	30 s	
延伸	72	1 min	
终延伸	72	4 min	
保持	4		

根据附表 7-8 选择文库扩增循环数 [根据输入的 DNA 文库总质量 (1 ng~1 μg) 使用循环数]。

附表 7-8 输入的 DNA 文库总质量与扩增循环数关系

Adapter 连接文库 DNA/ng	生成 1 μg 文库 DNA 所需的循环数
500	2~4
100	5~6
50	7~8
10	9~10
5	11~12
1	11~15

7.4.5.5 文库扩增后纯化

(1) 在同一管中，执行磁珠纯化（附表 7-9）。

附表 7-9 磁珠纯化体系

组分	体积/ μL
Library Amplification reaction product	50
Agencourt [®] AMPure [®] XP beads	50
体系总体积	100

- (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 min，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。
- (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 s。
- (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 s。
- (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 min，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 μL 的洗脱缓冲液（10 mmol/L 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 min，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 1.5 mL 离心管中，此时管中即为制备好的 DNA 文库。
- (18) 将构建好的文库 -20 $^{\circ}\text{C}$ 保存。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。

7.4.5.6 文库质检

将构建好的文库进行片段大小的检测，目标条带长度应为目的片段加双端接头长度，即构建宏基因组文库时，目的片段大小应为 400 bp 左右，加双端接头后，文库大小为 520 bp 左右。接头单端大小为 60 bp 左右。将构建好的文库用 Quantus Fluorometer（Promega）定量检测，文库浓度高于 5 ng/ μL 的视为合格。

7.5 上机测序

使用 Illumina Novaseq 6000 PE150 平台进行基因组测序，每个样品测序 Raw data 不低于 10 GB。根据文库质检的片段大小和定量结果，结合每个文库要测定的数据量进行计算和 pooling，pooling 后的样本根据测序仪的标准流程进行稀释变性和上机的操作（此步骤根据仪器给的标准操作规程进行）。

7.6 数据分析

7.6.1 测序序列统计与质控

采用 Fastp 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。

- (1) 剪切序列 3' 端和 5' 端的 adapter 序列。
- (2) 剔除平均质量值低于 20 以及含氮碱基的 reads。
- (3) 剔除序列长度小于 50 bp 的序列。

7.6.2 序列组装

采用 MEGAHIT 软件将各个样本的 Clean Reads 组装为 Contigs。

7.6.3 基因预测

采用 Prodigal 软件对拼接结果中大于等于 300 bp 的 Contig 进行 ORF 预测。选择核酸长度大于等

于 100 bp 的基因，并将其翻译为氨基酸序列。

7.6.4 非冗余 Genes 集构建

采用 CD-HIT 软件对大于筛选后基因进行去冗余。

7.6.5 基因丰度计算

采用 SOAPaligner 将各个样本的 clean reads 比对到非冗余 genes，使用默认参数为：95% identity。最终得到各个样本中各个基因的表达量（RPKM）。

7.6.6 物种与功能注释

采用 DIAMOND 软件将非冗余 genes 比对到各个物种与功能数据库（NR、COG、KEGG、card 等），使用参数“blastp; --max-target-seqs 1”。筛选出“ $evaluate \leq 1e-5$ ”的比对结果，将基因表达量（RPKM）值累加到 gene 的物种和功能分类上作为 gene 的物种丰度和功能丰度。

7.6.7 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，以校正测序深度不同引起的基因多样性差异。在该统一深度下计算不同样本的多样性指数，并汇总成表格。统计的指数包括：

- (1) Observed_OTUs：直接检测到的基因种类数。
- (2) Chao1：用于估计样本中功能基因 Richness 总数，数值越大，代表功能基因越多。

$$S_{\text{Chao1}} = S_{\text{obs}} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2(n_2 + 1)} \quad (7-1)$$

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：用来估算样本中功能基因的多样性指数之一。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，说明群落功能基因多样性越高。

$$H_{\text{Shannon}} = - \sum_{i=1}^{S_{\text{obs}}} \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \quad (7-2)$$

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功能基因数目的分配状况，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 指数计算功能基因多样性，功能基因均匀度的计算公式为

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (7-3)$$

式中， S ——群落内的功能基因数；

H' ——Shannon-Wiener 多样性指数。

7.6.7.1 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（3 组或 3 组以上样本）对组间多样性指数进行差异分析，以 $P < 0.05$ 作为差异显著性筛选阈值，并使用 Bonferroni 方法对 p 进行多重假设检验校正，用以评估组间功能基因多样性是否存在显著差异。

7.6.7.2 群落柱形图

根据分类学分析结果，可知不同分组（或样本）中物种、功能或基因的结构组成情况。群落柱形图可以直观呈现两方面信息：①各样本在某一分类学水平上含有何种物种、基因和功能；②样本中各物种、基因和功能的相对丰度（所占比重）。

软件：基于相应的分类学数据表，利用 R 语言工具作图。

7.6.8 功能基因 Beta 多样性分析

7.6.8.1 样本层级聚类

利用树枝结构描述和比较多个样本物种、基因或功能的相似性和差异关系。首先使用统计算法 Bray-Curtis 计算两两样本间距离，获得 Beta 多样性距离矩阵，之后根据距离矩阵进行层级聚类（hierarchical clustering）分析，使用非加权组平均法 UPGMA 算法构建树状结构，得到树状关系形式用于可视化分析。

软件：QIIME 计算 Beta 多样性距离矩阵，然后用 R 语言作图画树。

7.6.8.2 PCoA

PCoA 是一种研究数据相似性或差异性的可视化方法，与 PCA 类似，主要区别在于 PCA 基于欧氏距离，PCoA 可基于欧氏距离以外的其他距离（默认 Bray-Curtis 距离），通过降维找出影响样本群落组成或功能差异的潜在主成分。

PCoA 通过一系列的特征值和特征向量进行排序后，选择主要排在前几位的特征值，PCoA 可以将多特征的高维数据投影到较低维空间，从多元事物中解析出主要影响因素，获取反映数据最大变化解释度的信息，直观展示样本点间的差异，同时可根据样本分布推断分组类别与样本实际分布的可能性关系，通过 PCoA 可以在物种、基因、COG 和 KEGG 代谢功能等层次上进行分析观察个体或群体间的差异。

软件：R 语言 PCoA 分析和作 PCoA 图。

7.6.8.3 NMDS

非度量多维尺度（NMDS）分析（Shi et al., 2018）是一种将多维空间的研究对象（样本或变量）简化到低维空间进行定位、分析和归类，同时又保留对象间原始关系的数据分析方法。适用于无法获得研究对象间精确的相似性或相异性数据，仅能得到它们之间等级关系数据的情形。其基本特征是将对象间的相似性或相异性数据看成点间距离的单调函数，在保持原始数据次序关系的基础上，用新的相同次序的数据列替换原始数据进行度量型多维尺度分析。换句话说，当资料不适合直接进行变量型多维尺度分析时，对其进行变量变换，再采用变量型多维尺度分析，对原始资料而言，就称之为非度量型多维尺度分析。其特点是根据样本中包含的物种或功能信息，以点的形式反映在多维空间上，而对不同样本间的差异程度，则通过点与点之间的距离体现，最终获得样本的空间定位点图。NMDS 可以对不同样品在物种、基因、COG 和 KEGG 代谢功能等层次上进行分析（默认选择 Bray-Curtis 距离）。

软件：QIIME 计算 Beta 多样性距离矩阵，R 语言 vegan 软件包进行 NMDS 分析及作图。

7.6.8.4 PERMANOVA 分析

又称 Adonis 分析，可利用半度量（如 Bray-Curtis）或度量距离矩阵（如 Euclidean）对总方差进行分解，通过线性模型分析不同分组因素或环境因子（如临床表型数据、土壤理化指标等）对样品差异的解释度，并使用置换检验进行显著性分析。

软件：R 语言 vegan 包或 QIIME 软件。

7.6.9 物种与功能贡献度分析

基于样本的物种和功能相对丰度，进行物种丰度与功能丰度之间的关联分析，找出特定物种的功能贡献度以及特定功能的物种贡献度。该分析既可以研究 TOP/特定功能或代谢途径主要存在于哪些物种，也可以分析 TOP/特定物种所具有的主要功能或代谢途径。

7.6.10 生物地球化学循环功能分析

生物地球化学循环（biogeochemical cycle），即在地球表层生物圈中，生物有机体经由生命活动，从其生存环境的介质中吸取元素及其化合物（常称矿物质），通过生物化学作用转化为生命物质，同时排泄部分物质返回环境，并在其死亡之后又被分解成为元素或化合物（亦称矿物质）返回环境介质中。这一个循环往复的过程，称为生物地球化学循环。生物地球化学循环还包括从一种生物体（初级生产者）到另一种生物体（消费者）的转移或食物链的传递及效应。

7.6.10.1 碳固定功能注释分析

基于碳固定标记基因集，从宏基因组 KEGG 注释结果中筛选功能基因信息，获得各功能基因在不同样本中的丰度信息。

7.6.10.2 氮循环功能注释分析

基于氮循环标记基因集，从宏基因组 KEGG 注释结果中筛选功能基因信息，获得各功能基因在不同样本中的丰度信息。

7.6.10.3 磷循环功能注释分析

基于磷循环标记基因集，从宏基因组 KEGG 注释结果中筛选功能基因信息，获得各功能基因在不同样本中的丰度信息。

7.6.10.4 硫循环功能注释分析

基于硫循环标记基因集，从宏基因组 KEGG 注释结果中筛选功能基因信息，获得各功能基因在不同样本中的丰度信息。

7.6.11 耐性基因功能注释分析

7.6.11.1 耐盐性功能注释分析

基于耐盐标记基因集，从宏基因组 KEGG 注释结果中筛选功能基因信息，获得各功能基因在不同样本中的丰度信息。

7.6.11.2 耐酸性功能注释分析

基于耐酸标记基因集，从宏基因组 KEGG 注释结果中筛选功能基因信息，获得各功能基因在不同样本中的丰度信息。

7.6.11.3 耐旱性功能注释分析

基于耐旱标记基因集，从宏基因组 KEGG 注释结果中筛选功能基因信息，获得各功能基因在不同样本中的丰度信息。

7.6.12 病毒及有益菌功能注释分析

基于有益菌乳酸菌 (*Lactobacillus*) 及土壤病毒标记基因集，从宏基因组 KEGG 注释结果中筛选功能基因信息，获得各功能基因在不同样本中的丰度信息。

参考文献

- BESEMER J, BORODOVSKY M, 1999. Heuristic approach to deriving models for gene finding [J]. *Nucleic Acids Research*, 27 (19): 3911–3920.
- BUCHFINK B, XIE C, HUSON D H, 2015. Fast and sensitive protein alignment using DIAMOND [J]. *Nature Methods*, 12 (1): 59–60.
- CHEN L, ZHENG D, LIU B, et al., 2016. VFDB 2016: hierarchical and refined dataset for big data analysis 10 years on [J]. *Nucleic Acids Research*, 44 (D1): D694–D697.
- CHEN S, ZHOU Y, CHEN Y, et al., 2018. fastp: an ultra-fast all-in-one FASTQ preprocessor [J]. *Bioinformatics*, 34 (17): i884–i890.
- HUERTA-CEPAS J, SZKLARCZYK D, FORSLUND K, et al., 2016. eggNOG 4.5: a hierarchical orthology framework with improved functional annotations for eukaryotic, prokaryotic and viral sequences [J]. *Nucleic Acids Research*, 44 (D1): D286–D293.
- KENT W J, SUGNET C W, FUREY T S, et al., 2002. The human genome browser at UCSC [J]. *Genome Research*, 12 (6): 996–1006.
- LANGMEAD B, SALZBERG S L., 2012. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2 [J]. *Nature Methods*, 9 (4): 357–359.
- LI D, LIU C M, LUO R, et al., 2015. MEGAHIT: an ultra-fast single-node solution for large and

- complex metagenomics assembly via succinct de Bruijn graph [J]. *Bioinformatics*, 31 (10): 1674–1676.
- LIU B, POP M, 2009. ARDB: Antibiotic Resistance Genes Database [J]. *Nucleic Acids Research*, 37 (Database issue): D443–D447.
- LIU C M, WONG T, WU E, et al., 2012. SOAP3: ultra-fast GPU-based parallel alignment tool for short reads [J]. *Bioinformatics*, 28 (6): 878–879.
- LI W, GODZIK A., 2006. Cd-hit: a fast program for clustering and comparing large sets of protein or nucleotide sequences [J]. *Bioinformatics*, 22 (13): 1658–1659.
- LOMBARD V, GOLACONDA R H, DRULA E, et al., 2014. The carbohydrate-active enzymes database (CAZy) in 2013 [J]. *Nucleic Acids Research*, 42 (Database issue): D490–D495.
- PARKS D H, TYSON G W, HUGENHOLTZ P, et al., 2014. STAMP: statistical analysis of taxonomic and functional profiles [J]. *Bioinformatics*, 30 (21): 3123–3124.
- QIN N, YANG F, LI A, et al., 2014. Alterations of the human gut microbiome in liver cirrhosis [J]. *Nature*, 513 (7516): 59–64.
- SCHLOSS P D, WESTCOTT S L, RYABIN T, et al., 2009. Introducing Mothur: open – source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 75 (23): 7537–7541.
- SEGATA N, WALDRON L, BALLARINI A, et al., 2012. Metagenomic microbial community profiling using unique clade-specific marker genes [J]. *Nature Methods*, 9 (8): 811–814.
- SHI Y C, GUO H, CHEN J, et al., 2018. Initial meconium microbiome in Chinese neonates delivered naturally or by cesarean section [J]. *Scientific Reports*, 8 (1): 3255.
- XIE C, MAO X, HUANG J, et al., 2011. KOBAS 2.0: a web server for annotation and identification of enriched pathways and diseases [J]. *Nucleic Acids Research*, 39 (Web Server issue): W316–W322.
- ZHENG Z, ZHONG W, LIU L, et al., 2016. Bioinformatics approaches for human gut microbiome research [J]. *Infectious Diseases and Translational Medicine*, 2 (2): 69.
- ZHU W, LOMSADZE A, BORODOVSKY M, 2010. Ab initio gene identification in metagenomic sequences [J]. *Nucleic Acids Research*, 38 (12): e132.

附录 8 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，地球上的线虫至少有 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。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，具有作为指示生物的独特优势。

8.1 材料与试剂

8.1.1 材料

- (1) 8~10 cm 0.25 mm 孔径的筛网。
- (2) 无色、无味面巾纸。

- (3) 载玻片（25 mm × 75 mm，厚 1.0~1.2 mm）。
- (4) 盖玻片（20 mm × 20 mm，厚 0.13~0.16 mm）。
- (5) 塑料小皿（直径为 60 mm）。
- (6) 直径 120 mm 的漏斗。
- (7) 橡胶管。
- (8) 弹簧铗。
- (9) 浮载剂：线虫的固定液。
- (10) 封片剂：石蜡。
- (11) 挑针：通常用现成的金属丝。

8.1.2 试剂

- (1) 甲醛（分析纯 AR，37%~40%）。
- (2) 无水乙醇。
- (3) 福尔马林固定液（40%甲醛 8 mL、甘油 2 mL、蒸馏水 90 mL 配制成 100 mL 混合液 I）。
- (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）。
- (5) 蒸馏水（每瓶 500 mL）。
- (6) 丙三醇（甘油）（分析纯 AR，500 mL）。
- (7) 甘油。
- (8) 石蜡。

8.1.3 设备

- (1) 大容量低速离心机。
- (2) 体式显微镜。
- (3) 光学显微镜。
- (4) 水浴锅。
- (5) 干燥器。

8.2 实验步骤

8.2.1 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。

- (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铗夹紧。
- (2) 在漏斗内放置 0.25 mm 的筛网。
- (3) 取 50~100 g 土样均匀铺在筛网上，加水浸没土壤。
- (4) 放置于室温条件下静置分离。
- (5) 静止 24 h 后，打开弹簧铗，放出橡胶管内的水 5~10 mL 于小瓶中。
- (6) 将水浴锅温度设定为 60 ℃，再将小瓶置于水浴锅中，加热 3 min 杀死线虫，取出，稍静置冷却。
- (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。

8.2.2 土壤线虫计数

在体式显微镜下对土壤样品中所有线虫进行计数，对获得的线虫总数统一换算成条/100 g 干土（注意：需要测定每个鲜土样品的含水量）。

8.2.3 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 线虫水溶液至 15 mL 的玻璃小瓶中，在 60 ℃ 水浴锅中水浴 5 min，等其冷却后，在每个样品的玻璃小瓶中加入 1 mL 福尔马林和甘油的混合液（40%福尔马林溶液：甘油=4：1）。

8.2.4 土壤线虫的制片

在福尔马林固定液中杀死线虫，让线虫样品在溶液中停留至少 24 h。24 h 后，转移要固定的剩余部分于小皿中，并向小皿中加入甘油-酒精混合液。将样品放入干燥器中停留 15 天，使其慢慢脱水。15 天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，让石蜡完全熔化，密封住盖玻片下的液体，永久玻片制作完成。

8.2.5 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 150 条线虫在光学显微镜下进行科属鉴定，不足 150 条的需全部鉴定。将临时玻片置于光学显微镜（Olympus BX50）下，土壤线虫分类参照 Bongers（1988）、张晓珂等（2013）、Li 等（2017）的分类图鉴进行。

8.3 土壤线虫分子生物学鉴定方法

8.3.1 材料与试剂

- (1) 一次性口罩、无菌手套。
- (2) 面巾纸。
- (3) 0.5 mL 和 2 mL 离心管。
- (4) 无水乙醇。
- (5) DNeasy Blood & Tissue Kit 线虫 DNA 提取试剂盒。
- (6) 3NDf/C_1132rmod 引物。

8.3.2 仪器设备

- (1) 线虫提取富集相关材料（1 mm、0.25 mm、30 μ m 不锈钢网筛、表面皿、天平、烧杯、2 L 的量杯等）。
- (2) 10 μ L、20~200 μ L、1 000 μ L 的移液器。
- (3) 4 $^{\circ}$ C、-80 $^{\circ}$ C 冰箱。
- (4) 真空泵。
- (5) 高压灭菌锅。
- (6) 恒温水浴锅。
- (7) 无菌工作台。
- (8) 离心机。
- (9) PCR 仪。

8.3.3 实验步骤

8.3.3.1 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 2 000 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 6 000 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）。

(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）。

(2) 涡旋 15 s，加入 400 μ L Buffer ATL，涡旋混匀后加入 400 μ L（96%~100%）的酒精，涡旋混匀。

(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），6 000 g 离心 1 min，弃去离心液及收集管。

(4) 将滤柱转移到一个新的收集管中，加入 500 μL Buffer AW1, 6 000 g 离心 1 min, 弃去滤出液和收集管。

(5) 将滤柱转移到一个新的收集管中，加入 500 μL Buffer AW2, 18 000 g 离心 3 min 干燥滤柱，弃去滤出液和收集管。

(6) 将滤柱置于一个 1.5 mL 的离心管中，加入 100 μL (一般为 50~200 μL) Buffer AE, 室温孵化 1 min 后于 6 000 g 离心 1 min, 最终得到线虫 DNA。

(7) 提取的线虫 DNA 储存在 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱用于后续的 PCR 扩增和测序。

8.3.3.2 线虫群落的扩增测序

使用引物 3Ndf/C_1132rmod 对线虫 18S rDNA V4 区进行扩增。PCR 采用 TransGen AP221-02: TransStart Fastpfu DNA Polymerase, 20 μL 反应体系: 5 \times FastPfu Buffer 4 μL , 2.5 mmol/L dNTPs 2 μL , Forward Primer (5 $\mu\text{mol/L}$) 0.8 μL , Reverse Primer (5 $\mu\text{mol/L}$) 0.8 μL , FastPfu Polymerase 0.4 μL , BSA 0.2 μL , Template DNA 10 ng, 最后使用灭菌 PCR 水补足至 20 μL 。

线虫 PCR 反应参数: 95 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 3 min, 95 $^{\circ}\text{C}$ 变性 30 s, 55 $^{\circ}\text{C}$ 退火 30 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 45 s, 35 次循环后最终在 72 $^{\circ}\text{C}$ 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, 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) 标准操作规程用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)。

8.3.4 数据质控与生物信息分析

8.3.4.1 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。

(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, 去除含氮碱基的 reads。

(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) 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。

(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。

8.3.4.2 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。

(1) 提取优化序列中的非重复序列, 去除没有重复的单序列。

(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) 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。

8.3.4.3 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。

8.3.4.4 线虫多样性分析

为了进行样本多样性之间的比较, 分析前需要统一测序深度, 以校正测序深度不同引起的基因多样性差异。在该统一深度下计算不同样本的线虫多样性指数。

- (1) Observed_species (OTUs): 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。

$$S_{\text{Chao1}} = S_{\text{obs}} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2(n_2 + 1)} \quad (8-1)$$

式中, S_{Chao1} ——估计的 OTU 数目;

S_{obs} ——实际观测到的 OTU 数目;

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。

$$H_{\text{Shannon}} = - \sum_{i=1}^{S_{\text{obs}}} \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \quad (8-2)$$

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

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (8-3)$$

式中, S ——群落内的物种数;

H' ——Shannon-Wiener 多样性指数。

8.3.4.5 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。

$$\text{Relative abundance (\%)} = I_{\text{si}} / \sum N_{\text{si}} \times 100 \quad (8-4)$$

式中, I_{si} ——样本中单个线虫物种检测数量;

$\sum N_{\text{si}}$ ——样本中所有线虫物种检测总数量。

参考文献

- 陈小云, 刘满强, 胡锋, 等, 2006. 根际微型土壤动物—原生动物和线虫的生态功能 [J]. 生态学报, 27 (8): 3132-3143.
- 杜晓芳, 梁文举, 李琪, 2021. 土壤线虫群落 DNA 提取、扩增及高通量测序 [J]. 微生物组实验手册: e2104085. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.2104085>.
- 李玉娟, 吴纪华, 陈慧丽, 等, 2005. 线虫作为土壤健康指示生物的方法及应用 [J]. 应用生态学报, 16 (8): 1541-1546.
- 骆静梅, 张晓珂, 梁文举, 2021. 土壤线虫采集、标本制作与数据分析 [J]. Bio - 101: e1010621. <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.1010621>.
- 毛小芳, 李辉信, 陈小云, 等, 2004. 土壤线虫三种分离方法效率比较 [J]. 生态学杂志 (3): 149-151.
- 尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴 [M]. 北京: 科学出版社.
- 张晓珂, 梁文举, 李琪, 等, 2013. 长白山森林土壤线虫——形态分类与分布格局 [M]. 北京: 中国农业出版社.

- BARKER K R, NUSBAUM C J, NELSON L A, 1969. Seasonal population dynamics of selected plant-parasitic nematodes as measured by three extraction procedures [J]. *Journal of Nematology*, 1 (3): 232-239.
- BONGERS T, BONGERS M, 1998. Functional diversity of nematodes [J]. *Applied Soil Ecology*, 10 (3): 239-251.
- BONGERS T, VAN DER HANS M, KORTHALS G, 1997. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions [J]. *Applied Soil Ecology*, 6 (2): 195-199.
- BONGERS T, 1988. De nematoden van Nederland: een identificatietabel voor de in Nederland aange troffen zoetwater- en bodembewonende nematoden [M]. Voorschoten, The Netherlands: Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging: 408.
- BONGERS T, 1990. The maturity index: An ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition [J]. *Oecologia*, 83 (1): 14-19.
- DU X F, LI Y B, HAN X, et al., 2020. Using high-throughput sequencing quantitatively to investigate soil nematode community composition in a steppe-forest ecotone [J]. *Applied Soil Ecology*, 152: 103562.
- FERRIS H, BONGERS T, 2009. Indices developed specifically for analysis of nematode assemblages [M] // *Nematodes as Environmental Indicators*. Wallingford UK: CABI: 124-145.
- FERRIS H, GRIFFITHS B S, PORAZINSKA D L, et al., 2012. Reflections on plant and soil nematode ecology: past, present and future [J]. *Journal of Nematology*, 44 (2): 115-126.
- FERRIS H, SANCHEZ-MORENO S, BRENNAN E B, 2012. Structure, functions and interguild relationships of the soil nematode assemblage in organic vegetable production [J]. *Applied Soil Ecology*, 61: 16-25.
- FERRIS H, 2010. Form and function: metabolic footprints of nematodes in the soil food web [J]. *European Journal of Soil Biology*, 46 (2): 97-104.
- JIANG Y J, LIU M Q, ZHANG J B, et al., 2017. Nematode grazing promotes bacterial community dynamics in soil at the aggregate level [J]. *The ISME Journal*, 11: 2705-2717.
- JIANG Y J, LUAN L, HU K, et al., 2020. Trophic interactions as determinants of the arbuscular mycorrhizal fungal community with cascading plant-promoting consequences [J]. *Microbiome*, 8 (1): 142.
- LI Q, LIANG W, ZHANG X, et al., 2017. Soil nematodes of grasslands in Northern China [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press; London: Academic Press.
- LIU M Q, CHEN X Y, QIN J T, et al., 2008. A sequential extraction procedure reveals that water management affects soil nematode communities in paddy fields [J]. *Applied Soil Ecology*, 40 (2): 250-259.
- YEATES G W, BONGERS T, DE GOEDE R D, et al., 1993. Feeding habits in nematode families and genera: an outline for soil ecologists [J]. *Journal of Nematology*, 25 (3): 315-331.
- YEATES G W, COLEMAN D C, 2021. Role of Nematodes in Decomposition [M] // *Nematodes in Soil Ecosystems*. Austin: University of Texas Press: 55-80.

附录 9 蚯蚓物种调查鉴定及线粒体基因测序方法

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，其组成和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可通过多家单位的土壤生物专家同时进行鉴定，将鉴定结果进行比对统一；蚯蚓线粒体基因测序结果质控，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。

9.1 材料与试剂

9.1.1 试剂

- (1) 乙酸 (Rhawn, catalog number: R049946-500mL)。
- (2) 乙醇 (SIGMA, catalog number: E7023-500mL)。
- (3) 无脊椎动物 DNA 提取试剂盒 (OMEGA E. Z. N. A. TM, catalog number: D3373-01)。
- (4) PCR 引物 (Life Technologies)。
- (5) PCR 反应体系试剂 [Tran Taq Polymerase High Fidelity catalog (HiFi), catalog number: AP131-11]。
- (6) 2 000-bp Plus DNA 标准物 (DiNing, catalog number: DM1003)。
- (7) 甘油 (SIGMA, catalog number: G7893)。
- (8) 氯仿-异戊醇混合液 (Lianmai, catalog number: LM-100804)。

9.1.2 耗材

- (1) 铅笔 (Deli, catalog number: S907)。
- (2) 笔记本 (Deli, catalog number: 7952-A5-30)。
- (3) 镊子 (Jinzhong, catalog number: JD5020)。
- (4) 丁腈手套 (INTCO, catalog number: STDJY)。
- (5) 网筛 (PAMPAS, catalog number: 601011499100_GWc7T)。
- (6) 竹夹 (Muchun, catalog number: 1556299202_TZYnk)。
- (7) 大头针 (Deli, catalog number: 0039-3)。
- (8) 解剖套装 (TZZT, catalog number: 27001)。
- (9) 50 mL 离心管 (50 mL; BD Falcon, catalog number: 352070)。
- (10) 微量离心管 (1.5 mL, 5 mL; Eppendorf, catalog numbers: 0030125.150, 30119401)。
- (11) 单道移液器 (10 μ L, 20 μ L, 100 μ L, 200 μ L, 1 000 μ L; Eppendorf, catalog numbers: 3120000020, 3120000038, 3120000046, 3120000054, 3120000062)。
- (12) 移液器吸头 (nuclease-free, 10 μ L, 200 μ L, 1 000 μ L; Axygen, catalog numbers: T-300, T-200-Y, T-1000-B)。
- (13) 封口膜 (Bemis, catalog number: PM-996)。
- (14) 15 cm 圆形培养皿 (Axygen, catalog number: ASJ-17-9142)。
- (15) 切胶刀片 (Jinzhong, catalog number: J11010)。

(16) 核酸纯化柱 (Doyobio, catalog number: T316109)。

9.1.3 仪器

- (1) 相机 (Canon, model: EOS 90D)。
- (2) 解剖镜 (Nikon, model: SMZ800N)。
- (3) -80 °C 超低温冰箱 (Thermo Fisher Scientific, model: 907)。
- (4) -20 °C 冰箱 (Haier, catalog number: DW-40L92)。
- (5) 2~8 °C 医用冷藏箱 (Meiling, model: YC-330L)。
- (6) 高速离心机 (Eppendorf, model: 5810R)。
- (7) 旋涡混合器 (TIAGEN BIOTECH, catalog number: OSE-VS-01)。
- (8) 电泳仪 (JUNYI-DONGFANG, catalog number: JY300HC)。
- (9) 凝胶成像仪 (BIO-RAD, model: Universal Hood II)。
- (10) 紫外分光光度计 (Thermo Fisher Scientific, model: NanoDrop ND-2000)。
- (11) 电热恒温水浴锅 (Kanglu, model: HHS-4S)。
- (12) 电子天平 (Mettler Toledo, catalog number: AL104)。
- (13) PCR 仪 (T100TM 99 ; BIO-RAD, model: 1861096)。

9.2 实验步骤

野外采集的蚯蚓经脱水固定后中转至分析实验室, 分析实验室应在收到蚯蚓样本的 1~2 周内完成样本的形态学鉴定、蚯蚓线粒体 DNA 的提取, 以及标本制作。蚯蚓提取的线粒体 DNA 用甘油冻存在 -80 °C 超低温冰箱中, 避免反复冻融, 以提高样本中 DNA 的稳定性, 并尽快送基因测序公司测序。蚯蚓标本一般制作为液浸标本, 可常温保存, 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。

9.2.1 蚯蚓物种形态学鉴定

蚯蚓物种形态学鉴定主要依据其外部形态特征和内部解剖特征。形态特征包括蚯蚓的大小和颜色, 口前叶、背孔起始位置, 刚毛特征, 生殖环带位置及形状, 性乳突、雄孔和雌孔位置、受精囊孔数目及位置等; 内部解剖特征包括隔膜、砂囊、盲肠、心脏、精巢囊、储精囊、前列腺、受精囊、副性腺等器官系统等。

(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) 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。

(3) 镜检观察蚯蚓内部器官形态特征并记录。统一从蚯蚓头部环节起, 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。

(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 Chen (1931, 1933, 1936, 1938, 1946)、Gates (1939, 1972)、陈义 (1956)、蒋际宝 (2016)、尹文英 (1998) 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。

9.2.2 蚯蚓样本 DNA 提取

(1) 采用无脊椎动物 DNA 提取试剂盒 (如 OMEGA 公司的 OMEGA E. Z. N. A.™ Mollusc DNA Kit), 提取富含糖类的环节动物组织细胞中的 DNA。

(2) 备用试剂配置: 在 DNA Wash Buffer 中加入 80 mL 无水乙醇, 混匀; 氯仿和异戊醇 (24:1) 振荡混匀; Elution Buffer 缓冲液 60~70 °C 水浴。

(3) 剪取小于 30 mg 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 1.5 mL 微量离心管中。

(4) 依次加入 350 μL Buffer MBL 和 25 μL 蛋白酶 K，涡旋混匀，放置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中 12~14 h，直到微量离心管中大多数组织完全溶解。

(5) 在 1.5 mL 微量离心管中加入 350 μL 氯仿-异戊醇混合液，涡旋混匀，然后 $\text{RCF} = 10\ 000\ g$ 室温离心 2 min。小心提取 250 μL 上清液置于新的 1.5 mL 微量离心管中。加入 5 μL RNase A 酶到微量离心管内，室温静置 10~30 min。

(6) 加入 250 μL Buffer MBL 到微量离心管内，涡旋混匀 10~15 s，70 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 10 min。加入 250 μL 乙醇（室温，96%~100%）到微量离心管内，涡旋混匀 10~15 s。

(7) 将 750 μL 混合液转移到试剂盒提供的 2 mL 收集管上的收集柱中，然后 $\text{RCF} = 10\ 000\ g$ 室温离心 1 min，保留收集管，丢弃下清液。再同样转速室温离心 1 min，丢弃收集管与下清液。将收集柱放置在一个新的 2 mL 收集管中，加入 500 μL HB Buffer 缓冲液，然后 $\text{RCF} = 10\ 000\ g$ 室温离心 30 s，丢弃下清液。

(8) 加入 700 μL DNA Wash Buffer 缓冲液，然后 $\text{RCF} = 10\ 000\ g$ 室温离心 1 min，丢弃下清液。重复 1 次，再次丢弃下清液，然后将收集柱与收集管 $\text{RCF} = 15\ 000\ g$ 室温离心 2 min。

(9) 将收集柱插入新的 1.5 mL 微量离心管中，室温下开盖放置 2 min。加入 50 μL Elution Buffer 缓冲液，温浴 2 min，然后 10 000 g 室温离心 1 min。按照上述步骤重复 1 次，以收获 100 μL 的 DNA。

(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 完整且纯度为 85%~90%，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 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存。

9.2.3 线粒体基因扩增测序

(1) 设计以下引物进行线粒基因的扩增。

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 $\mu\text{mol/L}$ 储存液，置于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 下保存备用。

(2) PCR 反应体系设置为 50 μL ，具体组成见附表 9-1。

附表 9-1 PCR 反应体系

成分	反应体系 (50 μL) / μL
DNA 模板	1
正向引物 (10 $\mu\text{mol/L}$)	2
反向引物 (10 $\mu\text{mol/L}$)	2
2.5 mmol/L dNTPS	0.6
10 \times Trans Taq TM HiFi Buffer I	4
Trans Taq DNA polymerase High Fidelity (HiFi)	9.6
ddH ₂ O	加至 50

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）。

(3) PCR 扩增条件设置见附表 9-2。

附表 9-2 PCR 扩增条件

步骤	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/min	循环数
预变性	94	5	

（续表）

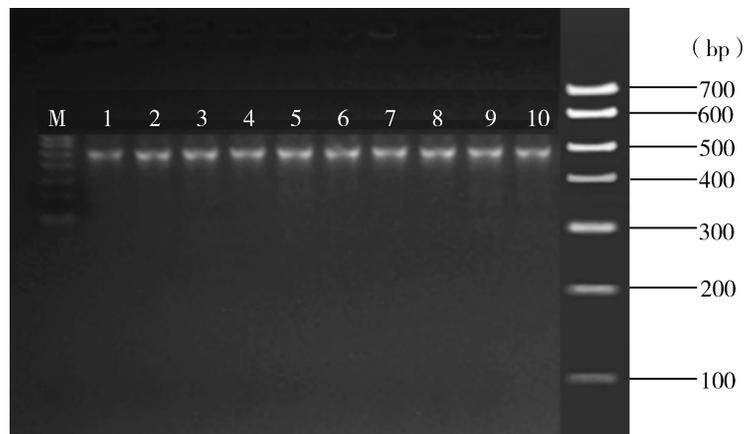
步骤	温度/℃	时间/min	循环数
变性	94	0.5	32
退火	50	0.5	
延伸	72	1	
最终延伸	72	10	
保持	4		

（4）获得扩增产物后，将 PCR 产物、3.0 μL 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。

9.2.4 核酸质量检测

（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，如附图 9-1。



附图 9-1 琼脂糖凝胶电泳图示例

（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。

（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。

（4）将测序峰图利用 DNASTar 校对准确后得到的 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。

9.3 蚯蚓群落特征分析

根据蚯蚓形态鉴定和分子鉴定的结果，结合采样信息记录统计各样点蚯蚓种类、数量和生物量。蚯蚓多样性指数主要包括如下 4 个指标。

（1）Observed species：直接观测到的蚯蚓种类数。

（2）Chao1：用于估计样本中物种总数，数值越大，代表物种越多。

$$S_{\text{Chao1}} = S_{\text{obs}} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2(n_2 + 1)} \quad (9-1)$$

式中， S_{Chao1} —— 估计的蚯蚓种类数；

S_{obs} —— 实际观测到的蚯蚓种类数；

n_1 ——只含有 1 条序列的蚯蚓种类数;

n_2 ——只含有 2 条序列的蚯蚓种类数。

(3) Shannon: 用来估算样本中蚯蚓多样性指数之一。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。

$$H_{\text{Shannon}} = - \sum_{i=1}^{S_{\text{obs}}} \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \quad (9-2)$$

式中, S_{obs} ——实际观测到的蚯蚓种类数;

n_i ——第 i 种蚯蚓所含的序列数;

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蚯蚓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。可以基于 Shannon 指数计算物种多样性, 物种均匀度的计算公式为:

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (9-3)$$

式中, S ——群落内的物种数;

H' ——Shannon 多样性指数。

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

- 陈义, 1956. 中国蚯蚓 [M]. 北京: 科学出版社.
- 高杏, 2018. 无量山地区巨蚓科分类及分子系统发育研究 [M]. 上海: 上海交通大学.
- 蒋际宝, 2016. 中国巨蚓科蚯蚓分类与分子系统发育研究 [M]. 上海: 上海交通大学.
- 马梅, 2014. 中药广地龙高特异性 PCR 鉴别的研究 [D]. 广州: 广州中医药大学.
- 尹文英, 1998. 中国土壤动物检索图鉴 [M]. 北京: 科学出版社.
- BELY A E, WRAY G A, 2004. Molecular phylogeny of naidid worms (Annelida: Clitellata) based on cytochrome oxidase I [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 30 (1): 50-63.
- CHEN Y, 1931. On the terrestrial Oligochaeta from Szechuan [J]. *Contributions from the Biological Laboratory of the Science Society of China (Zoological Series)*, 7: 117-171.
- CHEN Y, 1933. A preliminary survey of the earthworms of the lower Yangtze valley [J]. *Contributions from the Biological Laboratory of the Science Society of China (Zoological Series)*, 9: 177-296.
- CHEN Y, 1936. On the Terrestrial Oligochaeta from Szechuan, II: With the Notes on Gates' Types [J]. *Contributions from the Biological Laboratory of the Science Society of China (Zoological Series)*, XI: 269-306.
- CHEN Y, 1938. Oligochaeta from Hainan, Kwangtung [J]. *Contributions from the Biological Laboratory of the Science Society of China (Zoological Series)*, XII: 375-427.
- CHEN Y, 1946. On the terrestrial Oligochaeta from Szechuan III [J]. *Journal of West China Border Research Society*, 16: 83-141.
- GATES G E, 1935. New earthworms from China, with notes on the synonym of some Chinese species of *Drawida* and *Pheretima* [J]. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 93 (3): 1-19.
- GATES G E, 1939. On some species of Chinese earthworms, with special reference to specimens collected in Szechwan by Dr. D. C. Graham [J]. *Proceedings of the United States National Museum*, 85: 405-507.
- GATES G E, 1972. Burmese earthworms: an introduction to the systematics and biology of Megadrile Oligochaetes with special reference to southeast Asia [J]. *Transactions of the American Philosophical Society*, 62 (7): 1-326.

附录 10 土壤生物样品分析质量控制方法

10.1 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造成的。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，易于找出产生误差的原因、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，会增大试验误差，降低分析的可靠性，大的错误会导致分析失败。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，则需要采用 10 次左右的重复。

10.2 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。

10.2.1 绝对偏差 (absolute deviation)

$$\text{绝对偏差} = \text{测定值} (X_i) - \text{平均值} (X) \quad (10-1)$$

10.2.2 相对偏差 (relative deviation)

$$\text{相对偏差} = \frac{\text{测定值}(X_i) - \text{平均值}(X)}{\text{平均值}(X)} \times 100 \quad (10-2)$$

10.2.3 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

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2/n}{n-1}} \quad (10-3)$$

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 $X \pm S_x$ 表示。

10.2.4 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。

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (10-4)$$

平均值标准差是重要的偏差指标，用 $\bar{X} \pm S_x$ 表示。

10.2.5 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）：

$$CV(\%) = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (10-5)$$

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要有很高的准确度，也要有很高的精密度。

10.3 分析误差控制方法

10.3.1 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，试剂质量的选择，分析方法的选用，以及对照试验、空白试验等方面加以考虑。

(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。

(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) 空白试验：除了不加样品以外，完全按着样品测定的相同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。

(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。

10.3.2 精密度控制

(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。

(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) 合格要求：平行双样测定结果的误差在允许误差范围之内。

10.3.3 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 100 kg，-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/T 28043—2019），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。

10.3.4 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，应将仪器修复、重新检定合格后重测。

附录 11 土壤生物数据质量控制方法

11.1 土壤生物数据的全过程质量控制

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。针对全国尺度的土壤生物调查，在国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室统一领导下，协同土壤三普专家技术指导组，包括顶层设计组、平台技术组、外业技术组、内业技术组，成立土壤生物调查质量控制专家小组，从样品采集、样品制备、分析测试、数据检验、数据入库等全过程进行质量控制。各省（区、市）开展土壤生物调查时，由国家级和省级专家技术指导组成员建立省级土壤生物调查质量控制专家小组。

在采集过程中检查调查样点的代表性和准确性、调查数据的完整性和可靠性。在分析数据上报过程中检查实验室内精密度、准确度和实验室间精密度、准确度，以及数据的完整性和区域可比性，以保证生物分析数据的准确性和可靠性。在数据上报和入库过程中检查数据的归并错误和数据的完整性，保证综合分析和评价数据的准确可靠。

11.2 分析过程中数据质量控制

11.2.1 分析数据结果的表示

11.2.1.1 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。

11.2.1.2 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 1 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 1 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。

11.2.2 缺失和低于检测限数据的表示

11.2.2.1 数据缺失的原因

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在样品储存或运输过程中丢失。

11.2.2.2 数据缺失处理方法

对缺失数据的统计处理一般采用 3 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的数据，用 noqc 表示；其他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。

11.2.3 有效数字的计算修约规则

11.2.3.1 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。

11.2.3.2 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《数字修约规则与极限数值的表示和判定》（GB/T 8170—2008）进行。实例见附表 11-1。

附表 11-1 数字修约实例

修约前	修约要求	修约规则	修约后
14.243 2	保留 1 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
26.484 3	保留 1 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
1.050 1	保留 1 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
0.350 0	保留 1 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
0.450 0	保留 1 位小数		0.4
1.505 0	保留 2 位小数		1.50
15.454 6	修约成整数	在拟舍弃的数字中，若为两位以上数字时，不得连续进行多次修约（例如：将 15.454 6 修约成整数，就不能 1 次修约为 15.455、2 次修约为 15.46、3 次修约 15.5、4 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，1 次修约出结果	15

11.3 分析数据上报前的检验

11.3.1 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，检查出可能产生错误的过程。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，要求提供数据的一方（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。

11.3.2 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，以土壤三普土壤剖面调查点编号作为土壤生物调查的样地编号。样品编码在样地编号基础上扩展4个字段共7位数字，样品编码格式为：N A B C D，其中N为剖面点编号，A为样点级别字段（0~2，0为国家级土壤生物样点，1为省级土壤生物样点，2为市级及以下生物样点），B为生物调查样点编号字段（0001~9999），C为样品类型编号（1~3，1为微生物，2为线虫，3为蚯蚓），D为土壤生物样品重复编号字段（1~9，其中1~6为调查样品重复编号，7~9为质控样重复编号）。土壤生物调查采用相同点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。具体如下。

- (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。

11.3.3 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。

11.4 可疑数据的取舍

11.4.1 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。

11.4.2 异常值判别

- (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。
- (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。
- (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，直到无异常值为止。

11.4.3 异常值的检验方法

11.4.3.1 大样本离群数据的取舍（3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。

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (n \text{ 为包括可疑值在内的测定次数}) \quad (11-1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1}} \quad (11-2)$$

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{S} \quad (X \text{ 为可疑值}) \quad (11-3)$$

然后查正态分布表, 得对应于 Z 值的 α 值。如 $n\alpha = n \times \alpha < 0.1$, 则舍弃, $n\alpha > 0.1$, 则不舍弃。

例如: 土壤全氮的 5 次平行测定结果 (g/kg) 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 不予舍弃。

11.4.3.2 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) 狄克松 (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, 按附表 11-2 计算公式求 Q 值。

附表 11-2 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	$Q = (X_3 - X_1) / (X_{n-1} - X_1)$	$Q = (X_n - X_{n-2}) / (X_n - X_2)$
14~25	$Q = (X_3 - X_1) / (X_{n-2} - X_1)$	$Q = (X_n - X_{n-2}) / (X_n - X_3)$

根据附表 11-3 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。

附表 11-3 Dixon 检验临界值

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	

注: 引自 GB 17378.2—2007。

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，查附表 11-3， $Q=0.579$ 。由于 $0.755>0.579$ ， $Q>Q_{0.01}$ ，判定 X_1 为异常值，应舍去。

(2) 格拉布斯 (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：

$$\begin{cases} T = (\bar{X} - X_1)/S \\ T = (X_n - \bar{X})/S \end{cases} \quad (11-4)$$

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 α ，从附表 11-4 得 T_α 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。

附表 11-4 Grubbs 检验临界值

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	

注：引自 GB 17378.2—1998。

附录 12 土壤质量和土壤健康的评价方法

12.1 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基础上，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，建立土壤质量和土壤健康的综合评价方法。

(1) 在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。

12.2 评价步骤

12.2.1 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》（NY/T 1634—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 研究所 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。

12.2.2 土壤质量和土壤健康的生物学指数评分法

12.2.2.1 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（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（附表 12-1）。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。

附表 12-1 因子主成分的特征值和贡献率（示例）

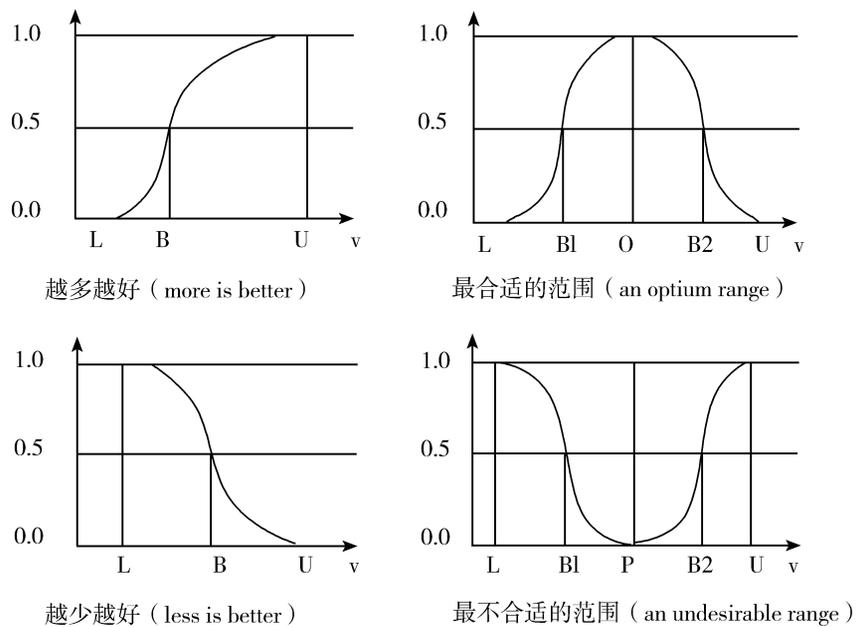
主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	2.495	22.7	22.7
2	1.600	14.5	37.2
3	1.299	11.8	49.0
4	1.146	10.4	59.4
5	1.029	9.4	68.8
6	0.862	7.8	76.6
7	0.828	7.5	84.2
8	0.645	5.9	90.1

(续表)

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
9	0.564	5.1	95.2
10	0.419	3.8	99.0
11	0.113	1.0	100

12.2.2.2 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）（附图12-1），确定其转换的阈值，对各项指标进行评分。



附图 12-1 土壤质量和土壤健康生物学评价的 4 种评分函数

注：L、B、U 和 v 分别表示阈值下限、基准线、阈值上限和斜率；O 表示最高值，P 表示最低值。

12.2.2.3 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（附表 12-2）。

附表 12-2 不同评价指标的公因子方差和权重示例

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（SBI）：

$$SBI = MB \times RE \times MD \times FD \times AD = \left(\sum_{i=1} k1_i \times MB_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k2_i \times RE_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k3_i \times MD_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k4_i \times FD_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k5_i \times AD_i \right) \quad (12-1)$$

式中， $k1_i$ 、 $k2_i$ 、 $k3_i$ 、 $k4_i$ 、 $k5_i$ 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。

12.2.2.4 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范围内。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》（DB33/T 895—2013），将土壤生物指数划分为高、中、低3类10个等级。

12.2.2.5 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，获得土属单位的生物指标值和指数评价值。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，获得土壤亚类单位的生物单因子指标值和多因子指数评价值。

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。

12.2.3 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。

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, SPI）和土壤化学指数（soil chemical index, SCI）。

$$SPI = BD \times SA \times CC = \left(\sum_{i=1} k1_i \times BD_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k2_i \times SA_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k3_i \times CC_i \right) \quad (12-2)$$

式中， $k1_i$ 、 $k2_i$ 、 $k3_i$ 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。

$$SCI = OM \times NC \times HM \times PH = \left(\sum_{i=1} k1_i \times OM_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k2_i \times NC_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k3_i \times HM_i \right) \times \left(\sum_{i=1} k4_i \times PH_i \right) \quad (12-3)$$

式中, $k1_i$ 、 $k2_i$ 、 $k3_i$ 、 $k4_i$ 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 (SBI)、土壤物理学指数 (SPI) 和土壤化学指数 (SCI), 建立土壤质量和土壤健康的综合指数 (SHI)。

$$SHI = SBI \times SPI \times SCI \quad (12-4)$$

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

- 全国农业技术推广服务中心, 2005. 耕地地力调查与质量评价 [M]. 北京: 中国农业出版社: 145-226.
- 全国农业技术推广服务中心, 2006. 耕地地力评价指南 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社: 25-150.
- 孙波, 赵其国, 张桃林, 1997. 土壤质量与持续环境, I. 土壤质量的定义及评价方法 [J]. 土壤, 29 (3): 113-120, 243.
- 孙波, 赵其国, 张桃林, 等, 1997. 土壤质量与持续环境, III. 土壤质量评价的生物学指标 [J]. 土壤, 29 (5): 225-234.
- 孙波, 赵其国, 1999. 红壤退化中土壤质量的评价指标和评价方法 [J]. 地理科学进展, 18 (2): 118-128, 246.
- 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 [M]. 北京: 中国农业出版社: 214
- 张炳宁, 张月平, 张秀美, 等, 1999. 基本农田信息系统的建立及其应用 [J]. 土壤学报, 36 (4): 510-521.
- KARLEN D L, DIANE E S, 1994. A Framework for Evaluating Physical and Chemical Indicators of Soil Quality [M]. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc.: 53-72.
- ZHANG Z, QU Y, LI S, et al., 2017. Soil bacterial quantification approaches coupling with relative abundances reflecting the changes of taxa [J]. Scientific Reports, 7 (1): 1-11.

附录 13 土壤生物调查数据管理方法

13.1 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。

13.2 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。

13.3 土壤生物调查数据管理执行人

(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。

(2) 在土壤三普工作结束后，由国务院第三次全国土壤普查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。

13.4 土壤生物调查数据库管理

(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。

(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导致数据丢失；保证数据长期可用和安全性。

13.5 土壤生物调查数据共享制度

(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，以此支撑土壤三普报告的编写工作。

(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。

(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。

(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) 违反（3）、（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。

第三次全国土壤普查土壤 样品制备与检测技术规范 (修订版)

执笔人：马常宝 谢建华 郑磊 李荣 任意
李寒 汪洪 李昆 刘潇威 唐昊冶
徐亚平 曲潇琳 毛雪飞 陈守伦 杨帆
习斌 王如海 黄耀蓉 孙蓟锋 薛思远
贾伟 王新宇 齐明霞 蔡爽

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2023年2月

目次

1 适用范围	230
2 规范性引用文件	230
3 术语和定义	230
3.1 样品制备 sample preparation	230
3.2 样品流转 sample circulation	230
3.3 样品组批 sample lot	230
3.4 留存样品 reserved sample for sample preparation laboratory	230
3.5 送检样品 sample submitted for testing	230
3.6 预留样品 reserved sample for testing laboratory	230
3.7 剩余样品 residual sample	230
4 样品制备	231
4.1 基本要求	231
4.2 制定计划	231
4.3 制备种类	231
4.4 制样场地	231
4.5 粗磨制样工具	231
4.6 外业样品接收	231
4.7 制备流程	232
5 样品流转	233
5.1 基本要求	233
5.2 流转样品种类	233
5.3 流转计划	233
5.4 流转场地	233
5.5 样品组批和装运	233
5.6 样品交接	234
6 样品保存	234
6.1 基本要求	234
6.2 土壤样品库样品保存	234
6.3 留存样品保存	234
6.4 预留样品保存	234
6.5 剩余样品保存	234
7 样品检测	235
7.1 基本要求	235
7.2 检测计划	235
7.3 样品细磨	235
7.4 检测指标及方法	235
7.5 结果上报	235
8 质量控制	235
附录1（资料性）土壤样品交接记录表	236
附录2（资料性）表层样品和土壤剖面样品制备记录表	237
附录3（资料性）水稳性大团聚体样品制备记录表	238

附录 4（资料性）土壤样品批次记录表	239
附录 5（资料性）土壤样品装运记录表	240
附录 6（规范性）土壤样品检测指标表	241
附录 7（规范性）样品指标检测方法表	243
附录 8（资料性）检测结果电子数据填报记录表	247

1 适用范围

本规范规定了土壤样品制备、保存、流转和检测的方法及技术要求。
本规范适用于第三次全国土壤普查工作。

2 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规范必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规范；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

NY/T 1121.1 《土壤检测 第1部分：土壤样品的采集、处理和贮存》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 样品制备 sample preparation

实验室对土壤样品风干、研磨、分装等过程。

3.2 样品流转 sample circulation

省级质量控制实验室按样品类型组批，添加质控样品、密码平行样品、转码等，并由承担样品制备任务实验室发送至承担检测任务实验室的过程。

3.3 样品组批 sample lot

省级质量控制实验室确定批次样品类型、样品数量，并加入密码平行样品和质控样品，形成样品批组的过程。

3.4 留存样品 reserved sample for sample preparation laboratory

保存在承担样品制备任务实验室，用于留样抽检不合格时再次复检等的样品。

3.5 送检样品 sample submitted for testing

样品经粗磨制备后，流转至承担检测任务实验室，用于土壤理化性状检测的样品，包括预留样品、检测样品。

3.6 预留样品 reserved sample for testing laboratory

送检样品中，承担检测任务的实验室分出部分样品，用于留样抽检或异常值复检等。

3.7 剩余样品 residual sample

承担检测任务的实验室完成样品检测后剩余样品。

4 样品制备

4.1 基本要求

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，由本区域确定的承担样品制备和检测任务的实验室操作实施。有样品集中制备工作基础的省（区、市）可通过样品制备中心等方式，集中统一制备土壤样品。样品制备与检测应按照制检分离原则，分别由不同单位承担；只能由同一单位承担的，省级土壤普查办应加大质量监督检查力度。

4.2 制定计划

省级土壤普查办负责制定样品制备计划。应参考 NY/T 1121.1 制定样品制备计划，主要包括任务安排、制样场地、人员配备、制备流程、制备时限、样品流转、质量控制等要求。

承担样品制备任务的实验室应制定年度样品制备实施方案。

4.3 制备种类

土壤样品制备种类分为表层样品、剖面样品和水稳性大团聚体样品。

4.4 制样场地

包括风干室和样品制备室。

(1) 风干室应通风良好、整洁、温湿度适宜，远离易挥发性化学物质、避免阳光直射，其面积应与承接制样任务数量相匹配，高湿地区根据需要安装除湿设施。如受场所限制不能集中风干，应确保每个分散风干的场所均满足本规范要求，并安排专人负责日常监督管理。

(2) 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 m²，室内具备互连网络条件，并安装在线全方位监控摄像头，确保每个工位工作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不少于 1 年。

4.5 粗磨制样工具

(1) 盛放用的木盘、塑料盘、有机玻璃盘、晾土架等。

(2) 粉碎用的木锤、木铲、木棍，有机玻璃板或硬质木板或无色聚乙烯薄板等。

(3) 孔径为 2 mm 的尼龙筛。

(4) 用静电吸附去除植物残体的器具，如有机玻璃棒、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（0.1 g 或 0.01 g）、原始记录表等。

4.6 外业样品接收

外业调查队指定专人负责流转组批后的表层样品、剖面样品和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后土壤样品库样品和粗磨后留存样品、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，并及时报告省级土壤普查办。

4.7 制备流程

4.7.1 表层样品

4.7.1.1 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 2~3 cm 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，用木锤敲碎（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，戴一次性丁腈或聚乙烯等无污染材质手套将大块土捏碎，以免完全干后结成硬块。样品风干后混匀，一部分按照国家级和省级土壤样品库留存量要求，采用四分法分取后装入容器中，流转至土壤样品库保存，剩余样品粗磨制成 2 mm 样品，数量要确保样品检测和质控等需要。

4.7.1.2 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。将检测样品手工研磨后，过孔径 2 mm 尼龙筛，去除 2 mm 以上的石砾，大于 2 mm 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，注意记录用于制备的风干样重量和过筛后的样品重量。

4.7.1.3 称重

土壤样品应记录风干、粗磨过程中弃去的碎石和石砾等质量，并计算质量百分数。

4.7.1.4 分装

粗磨后样品充分混匀后进行分装。每个表层样品的送检样品不少于 800 g，留存样品不少于 200 g。如果送检样品含密码平行样，则不少于 1 600 g。

4.7.2 剖面样品

参照表层样品风干步骤，剖面样品风干后，一部分样品按照国家级和省级土壤样品库留存量要求，采用四分法分取后装入容器中，流转至土壤样品库保存；剩余样品按照表层样品要求进行粗磨，分层完成相关操作。

每层剖面样品的送检样品不少于 800 g，留存样品不少于 200 g。如果送检样品含密码平行样，则不少于 1 600 g。

4.7.3 水稳性大团聚体样品

将野外采集的土壤在湿润状态（不粘手且容易剥开、经接触不变形），沿自然结构轻轻剥成 10~12 mm 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，避免样品受机械压力而变形。然后，将样品按表层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 1 100 g，如果送检样品含密码平行样，则不少于 1 600 g。

4.7.4 注意事项

- （1）样品风干、粗磨、分装过程中，样品编码必须始终保持一致。
- （2）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。
- （3）定期检查样品标签，严防样品标签模糊不清或脱落丢失。
- （4）样品制备时应现场填写土壤样品制备记录表（参见附录 2 和附录 3），相关制备信息上报土壤普查工作平台。
- （5）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。

5 样品流转

5.1 基本要求

省级土壤普查办负责组织样品流转工作。

5.2 流转样品种类

5.2.1 土壤样品库样品

流转至土壤样品库的样品，用于长期保存。

5.2.2 留存样品

保存在承担样品制备任务的实验室，用于留样抽检不合格时的再次复检等。

5.2.3 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。其中，检测样品用于相关指标检测，预留样品用于留样抽检或异常值复检等。

5.3 流转计划

省级土壤普查办对本区域内样品流转进行统筹，组织省级质量控制实验室制定样品流转计划。样品流转计划应包括样品份数，样品在实验室间流转的各个环节交接时间、地点，质控样品插入要求等内容。

在表层样品、剖面样品流转前，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。

5.4 流转场地

承担制备任务的实验室应向省级质量控制实验室提供相对独立且配备相关设备设施场地，用于样品转码、组批和流转等。有条件的省级质控实验室也可自行设置专门场地用于样品转码、组批和流转等。

5.5 样品组批和装运

5.5.1 样品组批

按照耕地园地表层样品、耕地园地剖面样品、林地草地表层样品、林地草地剖面样品和水稳性大团聚体样品，分别组批。

5.5.2 表层样品

省级质量控制实验室按表层样品批次加入密码平行样品和质控样品。依据《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》要求，原则上按照 50 个样品组成一个批次，样品不足 48 个时，按照实际样品数量组批。每个批次的密码平行样品和质控样品各不少于 1 个。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（参见附录 4）签字留存。

负责样品流转的实验室应指定专人，负责在样品装运现场核对样品，并在土壤样品装运记录表（参见附录 5）签字；重点检查样品数量、样品标签、样品重量、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。

5.5.3 剖面样品

省级质量控制实验室按剖面样品批次加入密码平行样品和质控样品。依据《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》要求，原则上按照 10 个剖面样点的全部剖面发生层样品组成一个批次；剖面样点量不足 10 个时，按照实际样品数量组批。每个批次的密码平行样品和质控样品各不少于 1 个。其余要求同表层样品。

5.5.4 水稳性大团聚体样品

省级质量控制实验室按水稳性大团聚体样品批次加入密码平行样品。依据《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》要求，原则上按照 50 个样品组成一个批次，样品不足 49 个时，按照实际样品数量组批。每个批次的密码平行样品不少于 1 个。其余要求同表层样品。

5.6 样品交接

样品运输过程中应使用样品运输箱，应填写土壤样品装运记录表（参见附录 5），并做好减震隔离，严防样品破损、样品标签丢失或沾污。应保证样品安全和及时送达。

样品流转至指定检测实验室后，送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（参见附录 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。

6 样品保存

6.1 基本要求

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。

6.2 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。保存样品种类、数量和有关要求等，具体按土壤样品库建设规范要求执行。

土壤样品库接收样品后，应及时装入棕色玻璃样品瓶中，做好密封处理，填写样品信息生成标签，标签内容应至少包括样品编号、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，标签贴在玻璃瓶表面，同时瓶内放置内标签。

6.3 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。实验室样品放于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，室温保存（或不高于 30℃），保持室内干燥，避免日光、潮湿、高温和酸碱气体等的影响。

6.4 预留样品保存

承担检测任务的实验室负责预留样品保存。预留样品每份不少于 400 g。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。

6.5 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 1 年。保存条件同留存样品要求。

7 样品检测

7.1 基本要求

省级土壤普查办负责组织样品检测工作。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。

7.2 检测计划

省级土壤普查办负责对本区域内检测工作进行统筹，制定样品检测计划。样品检测计划应明确承担单位、样品细磨、检测指标及方法、结果上报等内容。原则上，土壤容重指标由县级土壤普查办负责，其他指标由承担检测实验室负责。开展盐碱土普查省（区、市）的省级质量控制实验室，负责参照本文件及相关标准做好剖面样点地下水与灌溉水样品相关指标检测及结果上报等。

7.3 样品细磨

将通过 2 mm 孔径筛的土样用多点取样法分取约 25 g（根据检测指标确定），磨细，使之全部通过 0.25 mm 孔径筛，供有机质、碳酸钙、全氮、游离铁等指标检测。

将通过 2 mm 孔径筛的土样用多点取样法分取约 25 g（根据检测指标确定），用玛瑙研钵或玛瑙球磨机磨细，使之全部通过 0.149 mm 孔径筛，供全磷等全量养分、重金属等指标检测。

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 个样品后需清洁干净，避免交叉污染。不同粒径的样品必须自通过 2 mm 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。

7.4 检测指标及方法

7.4.1 检测指标

耕地园地、林地草地的表层样品和剖面样品检测指标见附录 6。

7.4.2 检测方法

各项指标检测方法见附录 7。

7.4.3 烘干基换算

烘干基结果换算需测定风干土样水分的含量，每次检测称样量 5.00 g，做平行双样检测。

7.5 结果上报

完成样品检测后，检测员需及时填写原始记录。原始记录以烘干基计，并上报风干土样水分含量。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（参见附录 8），并上报至土壤普查工作平台。

8 质量控制

实验室应按照《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》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、精密度控制、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，配合做好现场监督检查、检测能力评价、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。

附录 1
(资料性)
土壤样品交接记录表

土壤样品交接记录见附表 1-1。

附表 1-1 土壤样品交接记录

样品交接环节：采样→制备 制备→检测 制备→国家级样品库 制备→省级样品库

序号	样品编号	样品名称	样品类别	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"/> 表层样品 <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"/> 耕地园地 <input type="checkbox"/> 林地草地	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否			
		<input type="checkbox"/> 表层样品 <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"/> 耕地园地 <input type="checkbox"/> 林地草地	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否			
		<input type="checkbox"/> 表层样品 <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"/> 耕地园地 <input type="checkbox"/> 林地草地	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否			

送样单位：
收样单位：
送样日期：

送样人：
收样人：

年 月 日

联系方式：
联系方式：
收样日期：

年 月 日

附录 2
(资料性)
表层样品和土壤剖面样品制备记录表

表层样品和土壤剖面样品制备记录见附表 2-1。

附表 2-1 表层样品和土壤剖面样品制备记录

样品编号	接收样重量/g (1)	风干过程弃去的碎石和砾石重量/g (2)	风干样重量/g (3)	发送国家级土壤样品重量/g (4)	发送省级土壤样品重量/g (5)	用于制备的风干样重量/g (6)	制备过程中弃去的碎石和砾石重量/g (7)	粗磨过筛后重量/g (8)	留存样品重量/g	送检样品重量/g	损失率/%	碎石和砾石砾质量百分数/%

注：1. 此表为承担样品制备任务的检测实验室填写；重量精确到整数，百分数精确到小数点后 1 位。

$$2. \text{损失率}(\%) = \left[1 - \frac{(8)}{(6) - (7)} \right] \times 100.$$

$$3. \text{碎石和砾石砾质量百分数}(\%) = \left[(2) + (7) \right] \times 100 / (1).$$

制备人：
时间： 年 月 日

校核人：
时间： 年 月 日

审核人：
时间： 年 月 日

附录 3
(资料性)
水稳性大团聚体样品制备记录表

水稳性大团聚体样品制备记录见附表 3-1。

附表 3-1 水稳性大团聚体样品制备记录

样品编号	接收鲜样重量/g (1)	风干样重量/g	弃去的碎石和石砾重量/g (2)	碎石和石砾 质量百分数/%	送检样品重量/g

注：1. 此表为承担样品制备任务的检测实验室填写；重量精确到整数，百分数精确到小数点后 1 位。

2. 碎石和石砾质量百分数 (%) = (2) × 100 / (1)。

制备人：

时间： 年 月 日

校核人：

时间： 年 月 日

审核人：

时间： 年 月 日

附录 4
(资料性)
土壤样品批次记录表

土壤样品批次记录见附表 4-1。

附表 4-1 土壤样品批次记录

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"/> 耕地园地表层样品 <input type="checkbox"/> 耕地园地剖面样品 <input type="checkbox"/> 林地草地表层样品 <input type="checkbox"/> 林地草地剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品				
		<input type="checkbox"/> 耕地园地表层样品 <input type="checkbox"/> 耕地园地剖面样品 <input type="checkbox"/> 林地草地表层样品 <input type="checkbox"/> 林地草地剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品				
		<input type="checkbox"/> 耕地园地表层样品 <input type="checkbox"/> 耕地园地剖面样品 <input type="checkbox"/> 林地草地表层样品 <input type="checkbox"/> 林地草地剖面样品 <input type="checkbox"/> 水稳性大团聚体样品				

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

附录 5 (资料性) 土壤样品装运记录表

土壤样品装运记录见附件表 5-1。

附表 5-1 土壤样品装运记录

样品箱号：
送达单位：
合计样品数量/个：
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"/> 耕地园地表层样品 <input type="checkbox"/> 耕地园地剖面样品 <input type="checkbox"/> 林地草地表层样品 <input type="checkbox"/> 林地草地剖面样品 <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"/> 耕地园地表层样品 <input type="checkbox"/> 耕地园地剖面样品 <input type="checkbox"/> 林地草地表层样品 <input type="checkbox"/> 林地草地剖面样品 <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"/> 耕地园地表层样品 <input type="checkbox"/> 耕地园地剖面样品 <input type="checkbox"/> 林地草地表层样品 <input type="checkbox"/> 林地草地剖面样品 <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. 装运送检土壤样品时，“样品编号”为转码后的送检样品编号。

2. 土壤样品库样品装运记录可参考此表填写，此时所填写样品编号为外业调查队送样的样品编号，不用填写批次编号。

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

附录 6
(规范性)
土壤样品检测指标表

土壤样品检测指标见附表 6-1 和附表 6-2。

附表 6-1 土壤样品检测指标（耕地园地）

序号	参数	剖面样	表层样	备注
1	土壤容重	√	√	县级土壤普查办负责
2	机械组成	√	√	剖面样品全部检测，表层样品选择 50% 检测
3	土壤水稳性大团聚体	√	√	剖面样品的第一层样品检测，表层样品选择 10% 检测
4	pH	√	√	
5	可交换酸度	√		pH<6.0 的样品检测
6	阳离子交换量	√	√	
7	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)	√	√	
8	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）	√	√	全部样品检测水溶性盐总量和电导率，当水溶性盐总量 <1.0 g/kg 时，不检测八大离子（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）
9	有机质	√	√	
10	碳酸钙	√		pH>7.0 的样品检测
11	全氮	√	√	
12	全磷	√	√	
13	全钾	√	√	
14	全硫	√		
15	全硼	√		
16	全硒	√	√	下列区域需要检测： <ul style="list-style-type: none"> • 广西壮族自治区； • 贵州省； • 四川省：达州市、巴中市、广元市、宜宾市； • 湖南省：鼎城区、新化县、南县、沅江市、汉寿县、澧县、隆回县、桃源县、邵阳县、洞口县、武冈市、耒阳市、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； • 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；

（续表）

序号	参数	剖面样	表层样	备注
				<ul style="list-style-type: none"> • 广东省：蕉岭县、平远县、大埔县、梅县区、揭东区、揭西区、普宁市、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； • 重庆市：江津区、南川区、城口县； • 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
17	全铁	√		
18	全锰	√		
19	全铜	√		
20	全锌	√		
21	全钼	√		
22	全铝	√		
23	全硅	√		
24	全钙	√		
25	全镁	√		
26	有效磷	√	√	
27	速效钾	√	√	
28	缓效钾	√	√	
29	有效硫	√	√	
30	有效硅	√	√	水田样品检测
31	有效铁	√	√	
32	有效锰	√	√	
33	有效铜	√	√	
34	有效锌	√	√	
35	有效硼	√	√	
36	有效钼	√	√	
37	游离铁	√		长江以南（除青藏高原）所有剖面样品检测，长江以北（含青藏高原）水田剖面样品检测
38	总汞	√	√	
39	总砷	√	√	
40	总铅	√	√	
41	总镉	√	√	
42	总铬	√	√	
43	总镍	√	√	

注：“√”表示指标要检测。

附表 6-2 土壤样品检测指标（林地草地）

序号	参数	剖面样	表层样	备注
1	土壤容重	√	√	县级土壤普查办负责
2	机械组成	√	√	剖面样品全部检测，表层样品选择 50% 检测
3	pH	√	√	
4	可交换酸度	√		pH<6.0 的样品检测
5	水解性酸度	√		
6	阳离子交换量	√	√	
7	交换性盐基总量	√	√	
8	有机质	√	√	
9	全氮	√	√	
10	全磷	√	√	
11	全钾	√	√	
12	全铁	√		pH<6.0 的样品检测
13	全硫	√		
14	有效磷	√	√	
15	速效钾	√	√	
16	碳酸钙	√		pH>7.0 的样品检测
17	游离铁	√		长江以南（除青藏高原）所有剖面样品检测

注：“√”表示指标要检测。

附录 7 (规范性) 样品指标检测方法表

土壤样品指标检测方法见附表 7-1。

附表 7-1 土壤样品指标检测方法

指标	方法	标准或规范	备注
土壤容重	环刀法	《土壤检测 第 4 部分：土壤容重的测定》(NY/T 1121.4—2006)	
机械组成	吸管法	《土壤分析技术规范》(第二版)，5.1 吸管法	
土壤水稳性大团聚体	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)（机械筛分方式，详见本规范培训教材）	
pH	电位法	《土壤检测 第 2 部分：土壤 pH 的测定》(NY/T 1121.2—2006)	
可交换酸度	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	

（续表）

指标	方法	标准或规范	备注
阳离子交换量	乙酸铵交换法	《土壤分析技术规范》（第二版），12.2 乙酸铵交换法	pH≤7.5 的样品
	EDTA—乙酸铵盐交换法	《土壤分析技术规范》（第二版），12.1 EDTA—乙酸铵盐交换法	pH>7.5 的样品
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）	乙酸铵交换法等	《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）（交换液中钾、钠、钙、镁离子的测定增加等离子体发射光谱法，详见本规范培训教材）	pH≤7.5 的样品
	氯化铵—乙醇交换法等	《石灰性土壤交换性盐基及盐基总量的测定》（NY/T 1615—2008）（交换液中钾、钠、钙、镁离子的测定增加等离子体发射光谱法，详见本规范培训教材）	pH>7.5 的样品
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）	质量法等	《森林土壤水溶性盐分分析》（LY/T 1251—1999）（浸提液中钾、钠、钙、镁离子的测定采用等离子体发射光谱法，硫酸根和氯根的测定增加离子色谱法，详见本规范培训教材）	
有机质	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）	
	元素分析仪法	土壤中总碳和有机质的测定 元素分析仪法（农业行业标准报批稿）	
碳酸钙	气量法	《土壤分析技术规范》（第二版），15.1 土壤碳酸盐的测定	
全氮	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）	
全磷	酸消解—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）（详见本规范培训教材）	
全钾	酸消解—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）	
全硫	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	
	燃烧红外光谱法	本规范培训教材	
全硼	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	
	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	
全硒	酸消解—氢化物发生—原子荧光光谱法	《土壤中全硒的测定》（NY/T 1104—2006）	
全铁	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）	
全锰	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）	

（续表）

指标	方法	标准或规范	备注
全铜	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）	
	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）	
全锌	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）	
	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）	
全钼	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）	
全铝	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）	
全硅	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）	
全钙	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）	
全镁	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）	
有效磷	氟化铵—盐酸溶液浸提—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）	pH<6.5 的样品
	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）	pH≥6.5 的样品
速效钾	乙酸铵浸提—火焰光度法	《土壤速效钾和缓效钾含量的测定》（NY/T 889—2004）	前处理统一为 2 mm 粒径样品
缓效钾	热硝酸浸提—火焰光度法	《土壤速效钾和缓效钾含量的测定》（NY/T 889—2004）	前处理统一为 2 mm 粒径样品
有效硫	磷酸盐—乙酸溶液浸提—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—2023）	pH<7.5 的样品
	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—2023）	pH≥7.5 的样品
有效硅	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）	
有效铁	DTPA 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（DTPA）浸提法》（NY/T 890—2004）	
	DTPA 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（DTPA）浸提法》（NY/T 890—2004）	
有效锰	DTPA 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（DTPA）浸提法》（NY/T 890—2004）	
	DTPA 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（DTPA）浸提法》（NY/T 890—2004）	

（续表）

指标	方法	标准或规范	备注
有效铜	DTPA 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（DTPA）浸提法》（NY/T 890—2004）	
	DTPA 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（DTPA）浸提法》（NY/T 890—2004）	
有效锌	DTPA 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（DTPA）浸提法》（NY/T 890—2004）	
	DTPA 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（DTPA）浸提法》（NY/T 890—2004）	
有效硼	沸水提取—电感耦合等离子体发射光谱法	土壤样品制备与检测技术规范培训教材	
有效钼	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—2023）	
游离铁	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）	
总汞	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）	
	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）	
总砷	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）	
总铅	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）	
总镉	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）	
总铬	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）	
总镍	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）	
水解性酸度	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）	

水样品指标检测方法见附表 7-2。

附表 7-2 盐碱地剖面样点地下水与灌溉水样品指标检测方法

指标	方法	标准或规范	备注
pH	电极法	《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)	
水溶性盐总量	质量法	《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)与附表 7-1 水溶性盐 浸提液水溶性盐总量测定方法一致	
电导率	电极法	与附表 7-1 水溶性盐 浸提液电导率测定方法一致	
盐分离子(钠离子、钾离子、钙离子、镁离子、碳酸根、碳酸氢根、硫酸根、氯根)	等离子体发射光谱法等	《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)与附表 7-1 水溶性盐 浸提液离子测定方法一致,钾、钠、钙、镁离子的测定采用等离子体发射光谱法,硫酸根和氯根的测定增加离子色谱法,详见本规范培训教材	水溶性盐总量 $\geq 1\ 000\ \text{mg/L}$ 的样品

附录 8 (资料性)

检测结果电子数据填报记录表

检测结果电子数据填报记录见附表 8-1 和附表 8-2。

附表 8-1 检测结果电子数据填报记录(式样)

(1) 土壤容重

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/ (g/cm^3)

(2) 机械组成

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	机械组成/%					
					洗失量	0.2~2 mm 颗粒含量	0.02~ 0.2 mm 颗粒含量	0.002~ 0.02 mm 颗粒含量	0.002 mm 以下颗粒 含量	土壤 质地

(3) 水稳性大团聚体

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	各级水稳性大团聚体含量/%						
					>5 mm	3~5 mm	2~3 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	水稳性大团聚体总和

(4) pH

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
						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 (1/3 Al ³⁺) /kg]	水解性总酸度/ [cmol (+) /kg]

(5) 阳离子交换量和交换性盐基及盐基总量

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	阳离子交换量		交换性盐基总量		交换性钙	
					含量/ [cmol (+) /kg]	检测方法	含量/ [cmol (+) /kg]	检测方法	含量/ [cmol (1/2 Ca ²⁺) /kg]	检测方法

序号	实验室代码	样品编号	接样日期	报告日期	交换性镁		交换性钠		交换性钾	
					含量/ [cmol (1/2 Mg ²⁺) /kg]	检测方法	含量/ [cmol (Na ⁺) /kg]	检测方法	含量/ [cmol (K ⁺) /kg]	检测方法

(6) 水溶性盐总量和电导率

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	水溶性盐总量/ (g/kg)	电导率/ (mS/cm)

(7) 水溶性盐分组成-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]	水溶性 Ca ²⁺ 含量/ [cmol (1/2 Ca ²⁺)/kg]	水溶性 Mg ²⁺ 含量/ [cmol (1/2 Mg ²⁺)/kg]	水溶性 Cl ⁻ 含量/ [cmol (Cl ⁻)/kg]	检测方法

(8) 水溶性盐分组成-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 (1/2 CO ₃ ²⁻)/kg]	水溶性 HCO ₃ ⁻ 含量/ [cmol (HCO ₃ ⁻)/kg]	水溶性 SO ₄ ²⁻ 含量/ [cmol (1/2 SO ₄ ²⁻)/kg]	检测方法	

(9) 全量成分-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	有机质		全氮/ (g/kg)	全磷/ (g/kg)	全钾/ (g/kg)
					含量/ (g/kg)	检测方法			

(10) 全量成分-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	全硫		全钙/%	全镁/%
					含量/ (g/kg)	检测方法		

(11) 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/(mg/kg)	全铜		全锌		全硼	
							含量/(mg/kg)	检测方法	含量/(mg/kg)	检测方法	含量/(mg/kg)	检测方法

(12) 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	全铜/(mg/kg)	全硒/(mg/kg)	全铝/%	全硅/%

(13) 有效态成分-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	有效磷		速效钾/(mg/kg)	缓效钾/(mg/kg)	有效硫		有效硅/(mg/kg)
					含量/(mg/kg)	检测方法			含量/(mg/kg)	检测方法	

(14) 有效态成分-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	有效铁		有效锰		有效铜		有效锌	
					含量/(mg/kg)	检测方法	含量/(mg/kg)	检测方法	含量/(mg/kg)	检测方法	含量/(mg/kg)	检测方法

(15) 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/ (mg/kg)	有效钼/ (mg/kg)	碳酸钙/ (g/kg)	游离铁/ (g/kg)

(16) 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/ (mg/kg)	总铅/ (mg/kg)	总镉/ (mg/kg)	总铬/ (mg/kg)	总镍/ (mg/kg)
					含量/ (mg/kg)	检测方法					

附表 8-2 盐碱地剖面样点地下水与灌溉水样品指标检测结果电子数据填报记录（式样）

(1) pH、水溶性盐总量和电导率

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	水溶性盐总量/ (mg/L)	电导率/ (mS/cm)

(2) 盐分离子组成记录-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		检测方法
					Na ⁺ 含量/ [cmol (Na ⁺)/L]	K ⁺ 含量/ [cmol (K ⁺)/L]	Ca ²⁺ 含量/ [cmol (1/2 Ca ²⁺)/L]	Mg ²⁺ 含量/ [cmol (1/2 Mg ²⁺)/L]	Cl ⁻ 含量/ [cmol (Cl ⁻)/L]		

(3) 盐分离子组成记录-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/ (mg/L)
					CO ₃ ²⁻ 含量/ [cmol (1/2 CO ₃ ²⁻) /L]	HCO ₃ ⁻ 含量/ [cmol (HCO ₃ ⁻) /L]	SO ₄ ²⁻ 含量/ [cmol (1/2 SO ₄ ²⁻) /L]	检测 方法	

第三次全国土壤普查全程 质量控制技术规范 (修订版)

执笔人：马常宝 谢建华 郑磊 李荣 任意
曲潇琳 苏世鸣 李昆 汪洪 徐亚平
毛雪飞 李寒 李文西 王秋彬 刘潇威
陈守伦 杨帆 赵玉国 习斌 王新宇
龚鑫鑫 邵华 孙笑梅 石孝均 吴华勇
薛思远 贾伟 雷雅杰

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2023年2月

目 次

1 适用范围	255
2 规范性引用文件	255
3 术语和定义	255
3.1 质量保证	255
3.2 质量控制	255
3.3 正确度	255
3.4 精密度	255
3.5 系统误差	255
3.6 随机误差	255
3.7 密码平行样品	255
3.8 质控样品	256
4 总体原则	256
4.1 方案制定	256
4.2 工作要求	256
4.3 质量控制机制	256
4.4 质量控制工作报告	257
4.5 监督检查与纠正预防	257
5 样品采集	257
5.1 总体要求	257
5.2 内部质量保证与质量控制	258
5.3 外部质量监督检查	259
6 样品制备、保存与流转	261
6.1 总体要求	261
6.2 内部质量保证与质量控制	261
6.3 外部质量监督检查	263
7 样品检测	264
7.1 总体要求	264
7.2 内部质量保证与质量控制	264
7.3 外部质量监督检查	267
8 数据审核	269
8.1 总体要求	269
8.2 人员资质	269
8.3 审核内容	269
8.4 问题发现及处理	271
8.5 有关要求	271
附录 1（资料性） 样品采集质量监督检查清单	272
附录 2（资料性） 样品制备、保存与流转质量监督检查清单	273
附录 3（资料性） 检测实验室内部质量控制电子数据填报记录	275
附录 4（资料性） 飞行检查/现场监督检查清单	277

1 适用范围

本规范规定了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 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规范必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本规范；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

RB/T 214—2017 《检验检测机构资质认定能力评价 检验检测机构通用要求》

JJF 1001—2011 《通用计量术语及定义》

GB/T 27025—2019 《检测和校准实验室能力的通用要求》
《野外土壤描述与采样手册》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 质量保证

为达到土壤普查目标，保证土壤普查数据、文字、图件、数据库、样品库等准确可靠所采取的措施和活动，强调土壤普查过程的全面质量管理。质量保证所确定的质量标准、质量控制活动等，是质量控制活动执行的指导和依据。

3.2 质量控制

对土壤普查活动相关产出进行跟踪、记录和评价的活动，以确定被评价对象是否符合土壤普查相关质量标准的要求。质量控制结果会促进后续质量保证标准、控制流程的优化。

3.3 正确度

指无穷多次重复测量所得量值的平均值与一个参考量值间的一致程度。

3.4 精密度

在规定条件下，对同一或类似被测对象重复测量所得示值或测得值间的一致程度。

3.5 系统误差

在重复测量中保持不变或按可预见方式变化的测量误差的分量。

3.6 随机误差

在重复测量中按不可预见方式变化的测量误差的分量。

3.7 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。

3.8 质控样品

质控样品是一种理化性质和组成足够均匀稳定、已确定定值的标准物质（或参比物质），用于外部质量控制、评价实验室检测的正确度，以控制系统误差。

4 总体原则

4.1 方案制定

各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”）根据省级土壤三普实施方案和本规范牵头制定省级土壤三普质量控制实施方案。县级第三次全国土壤普查领导小组办公室（以下简称“县级土壤普查办”）根据省级土壤三普实施方案、本规范和省级质量控制实施方案，制定实施县级质量控制方案。各任务承担单位根据本规范和省级、县级土壤普查办质量控制方案，制定实施质量控制方案。

4.2 工作要求

土壤三普遵循“五靠”质量控制工作要求，即各级土壤普查办通过落实技术规程规范、明确作业人员资质要求、强化专家技术指导、实施工作平台全程管控、加强外部质量监督抽查等，全流程、各环节组织抓好全程质量控制工作。

4.3 质量控制机制

4.3.1 工作流程

土壤三普实施四级质量控制机制，即单位内部质量保证与质量控制、县级质量监督检查、省级质量监督检查和国家级质量监督检查。其中县级质量监督检查、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。全程质量控制具体工作流程见图1。

4.3.2 单位内部质量保证与质量控制

样品采集、制备、保存、流转和检测等任务承担单位负责相应环节的内部质量保证与质量控制。按照本规范，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、落实质量控制人员和资质要求、实施质量控制、开展人员培训监督等。同时，自觉接受县级、省级和国家级外部质量监督检查，从严落实全过程质量控制措施。

4.3.3 县级质量监督检查

县级土壤普查办通过组织专家或专业技术人员，开展县级外业调查采样质量监督检查；组织专家或专业技术人员对于本区域年度内业测试化验数据进行审核。县级质量控制和监督检查工作需自觉接受省级、国家级工作指导和监督检查。

4.3.4 省级质量监督检查

省级土壤普查办通过组建专家组，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并组织有关专家，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自觉接受国家级工作指导，同时对县级质量控制和监督检查工作提供指导并进行监督检查。

4.3.5 国家级质量监督检查

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”）通过组建专家组，负责全国样品采集、数据审核环节质量控制；确定国家级质量控制实验室并组织有关专家，负责全国样品制备、保存、流转、检测等环节质量控制。国家级需对县级、省级质量控制和监督检查工作提供

指导并进行监督检查。

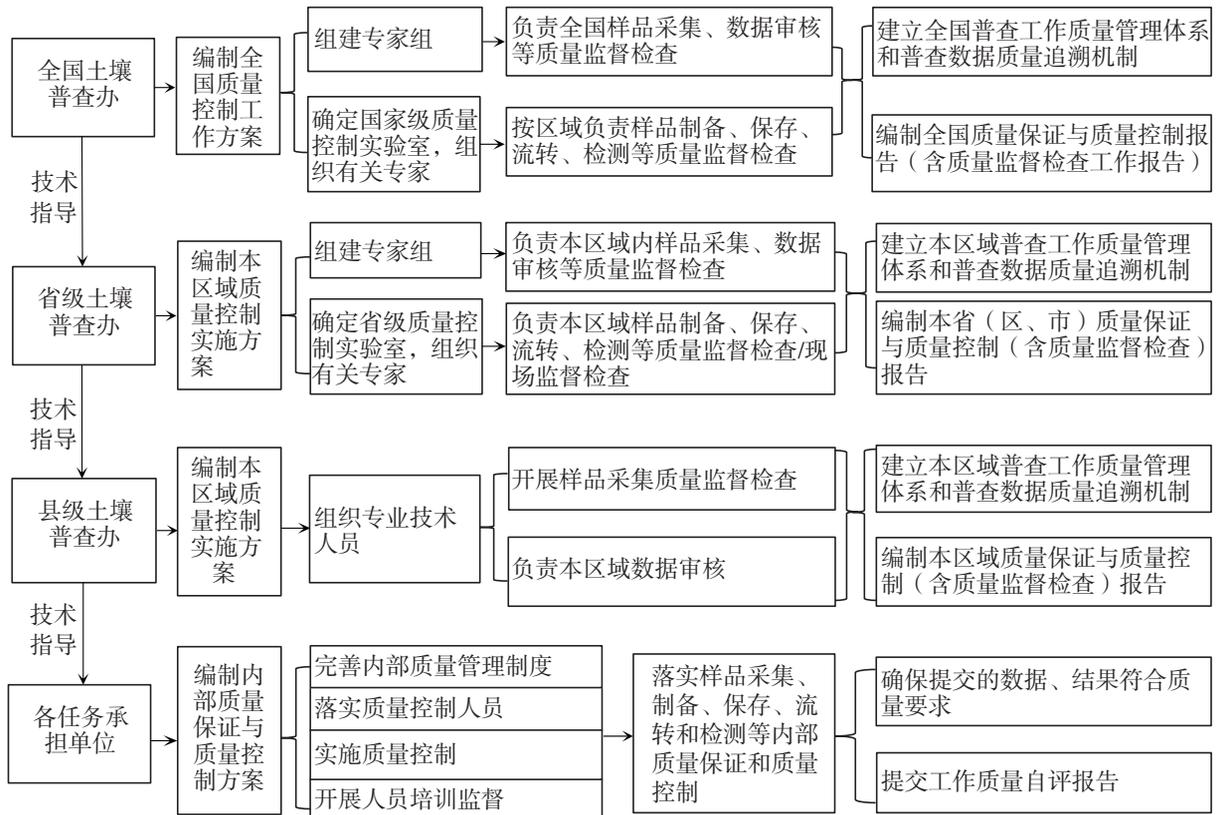


图1 全程质量控制工作流程

4.4 质量控制工作报告

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。县级土壤普查办向省级土壤普查办提交县级质量保证与质量控制报告。省级土壤普查办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），并及时提交给全国土壤普查办。全国土壤普查办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）。

4.5 监督检查与纠正预防

县级、省级、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，应及时向被检查单位和有关责任人员指出，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。

5 样品采集

5.1 总体要求

各地根据样品采集实际需要，按照《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》要求组建外业调查队。外业调查队严格按照《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》《野外土壤描述与采样手册》和本规范开展外业调查采样工作，并做好内部质量保证与质量控制；县级土壤普查办、省级土壤普查办和全国土壤普查办严格按照《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》和本

规范开展外部质量监督检查。

5.2 内部质量保证与质量控制

5.2.1 内部质量控制关键点

- (1) 电子围栏应用和采样点位准确定位情况。
- (2) 土壤样品采集、有关指标现场土壤测定等技术规范操作情况。
- (3) 样点所在地块农户种植制度、农作管理等调查信息准确记载情况。
- (4) 土壤样品封装、保存、信息上传等规范操作情况。
- (5) 自觉接受县级、省级和国家级外部质量监督检查。

5.2.2 单位及人员资质要求

外业调查队需熟悉土壤采样工作。技术领队需具备土壤学专业背景，负责外业调查采样工作质量；质量检查员负责对外业调查队工作开展质量检查。外业调查队质量检查人员需通过全国土壤普查办或省级土壤普查办统一组织的全程质量控制技术培训，并取得培训合格证，证书与第三次全国土壤普查工作平台（以下简称“工作平台”）关联，建立质量追溯体系。其他人员至少需经内部培训方可上岗，并保留培训记录。

5.2.3 采样质控实施方案

外业调查队根据县级土壤普查办采样计划和质控计划，制定采样质控实施方案，并报县级土壤普查办审核备案。

5.2.4 采样点位

5.2.4.1 点位确认

(1) 外业调查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进行局地代表性核查，确定符合要求后选择合适采样位置采样。

(2) 若电子围栏范围内不具备采样条件，需按照《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》调整要求，根据情况选择符合条件替代点，进行样点现场调整和调查采样，并及时提交现场调整原因、现场照片及变更后的点位调查信息等。

(3) 剖面样点需按照最大代表性原则和土地利用主导性原则确定。

5.2.4.2 点位信息

(1) 按照《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》开展采样点成土环境和土壤利用调查，通过外业采样终端设备填报样点基本信息、自然成土环境信息、土壤利用和人为影响情况等，采集上传景观和工作照片。

(2) 景观照片。拍摄东、南、西、北4个方向，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，融合近景、远景。

(3) 技术领队现场工作照（体现技术领队和采样工具）、混样点照（每个混样点至少1张，体现取样深度）、土壤混合样品采集照（体现样品混匀）、容重和水稳性大团聚体样品照片、土壤剖面照片（标准剖面照、局部特写照片等）等采集数量和内容要符合《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》要求。

5.2.5 样品采集工作要求

5.2.5.1 采样工具

配备符合要求的采样工具、包装材料和辅助材料等。采样时，如果使用对待测组分有干扰的采样金属器具，在混合样品之前需将样品与金属器具接触部分进行剥离。

5.2.5.2 采样要求

按照《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》等要求，科学采集符合数量、重量、层次或深度要求的表层土壤样品、剖面土壤样品、水稳性大团聚体样品和水样（盐碱土剖面样点的地下水样和灌溉水样）等。

对照本规范，检查样品采集是否符合要求，判断土样是否沾污，检查剖面观察面方向、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。

5.2.5.3 样品标识

样品按照土地利用类型（耕地、园地、林地、草地等）和样品类型（表层土壤样品、剖面土壤样品、水稳性大团聚体样品、容重样品等），分类包装组批并明确标识。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。水稳性大团聚体样品、剖面整段土壤标本和纸盒土壤标本样品要在运输过程中保证完整性，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。

5.2.6 样品暂存与流转

样品采集后应及时按要求流转至承担样品制备任务的检测实验室。样品采集后、流转前应妥善暂存于室内，保持室内通风良好、整洁、温湿度条件适宜，远离易挥发性化学物质，并避免阳光直射；如果样品含水量高，外业调查队需要对土壤样品进行风干后再流转，避免样品发霉、交叉污染。如果是水稳性大团聚体样品，需按照样品制备有关要求进行简单前处理。

外业调查队要指定专人负责流转组批后的耕地园地表层样品、林地草地表层样品、耕地园地剖面样品、林地草地剖面样品和水稳性大团聚体样品至承担样品制备任务的检测实验室，水样流转至省级质量控制实验室，容重样品由县级土壤普查办安排测试。

5.2.7 质控要求

外业调查队上传的采样信息应经质量检查员 100% 检查。重点对采样位置偏移电子围栏的点位信息开展检查。

质量检查员和县级质控人员检查确认后，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。

5.2.8 问题与处理

外业调查队发现调查信息填写不准确，应立即修改完善；发现存在采样方法（含密码平行样未按要求取样）、采样深度、采样数量和重量不符合要求，或样品沾污等质量问题的样品，应自觉重新采集发现问题的样品。

5.3 外部质量监督检查

5.3.1 基本要求

外部质量检查分别由县级、省级、全国土壤普查办组织实施，采取资料检查与现场检查（视频检查）方式开展，由野外工作经验丰富、熟悉土壤学等专业知识的专家或专业技术人员实施。

5.3.2 资料检查

5.3.2.1 检查重点

资料检查重点对上传到土壤普查工作平台上的样点信息、记录等进行检查。

5.3.2.2 检查内容

(1) 采样点位检查：样点符合性、样点位移情况。

(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) 采样环节自查情况检查：外业调查队自查确认信息。

5.3.2.3 检查要求

县级土壤普查办组织专家或专业技术人员对外业调查队上传的文件资料开展 100% 质量监督检查和审核确认。省级土壤普查办组织专家对县级审核确认的文件资料开展 100% 质量监督检查和审核确认。全国土壤普查办组织专家对省级审核确认文件资料开展检查，检查量应不低于全国年度采样任务的 2% 样点的所有外业调查信息，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。

5.3.3 现场检查

5.3.3.1 检查重点

现场检查采取与专家技术指导服务相结合的方式开展，覆盖外业调查采样全过程。

5.3.3.2 检查内容

(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；剖面点位、深度、观察面方向等。

(2) 采样方法检查：单点采样、多点混合采样等操作，采样深度、采样工具和辅助材料（避免采样过程交叉污染）等符合性；表层土壤混合样品采集、表层土壤容重样品采集、表层土壤水稳性大团聚体样品采集、剖面发生层样品采集、剖面纸盒标本采集、整段标本采集等操作。

(3) 采样记录检查：成土环境和土壤利用调查信息、剖面形态观察与记载信息、样品信息、工作信息等。

(4) 样品检查：样品标签、样品重量和数量、样品包装、样品防沾污措施等。

(5) 已采样品暂存检查：场所、环境、容器、通风条件、样品状态（是否发霉、交叉污染）等。

(6) 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，适用于现场检查过程中外业调查队有开展流转工作的情况。

(7) 样品包装及运输检查：土壤样品运输箱、装运记录等，适用于现场检查过程中外业调查队有开展流转工作的情况。

5.3.4 视频检查

如果特殊原因无法实地开展现场检查，则通过视频连线方式进行检查，检查内容与要求同现场检查。

5.3.5 检查要求

县级土壤普查办组织野外工作经验丰富、熟悉土壤学等专业知识的专家或专业技术人员参与现场检查，每个外业调查队至少要有1位专家或专业技术人员全程跟踪开展现场检查工作，现场检查覆盖100%采样点。省级土壤普查办组织专家开展现场检查应不低于本区域内年度采样任务的5‰样点，覆盖所有实施县市区，每个检查组由省级专家组成员带队，不少于3人。全国土壤普查办组织专家开展现场检查不低于全国年度采样任务的1‰样点，检查工作覆盖所有省（区、市），每个检查组由国家级专家组成员带队，不少于3人。

样点抽取要尽可能全覆盖承担所在区域外业采样任务的外业调查队，同时兼顾区域内不同土地利用类型的样点比例，确保抽取样点分布合理；剖面样点要优先选择目标区域内最具代表性的土壤类型开展检查。重点针对文件资料检查时发现严重问题的外业调查队、下级质量监督检查中发现严重问题的外业调查队等开展现场检查。

现场检查要在外业调查采样工作期同步启动实施，特别是省级、全国土壤普查办要将外部质量监督检查、技术指导等工作有机结合，建立“随时发现问题、随时解决问题”的工作机制。

5.3.6 问题发现与处理

对于资料检查中发现的问题，县级专家或专业技术人员审核后通过工作平台反馈给外业调查队，直接修改完善；省级和国家资料检查中发现问题的点位，经责任专家审核后通过工作平台质量控制模块将检查意见反馈省级土壤普查办，由省级土壤普查办负责组织问题整改。整改后的样点资料需经县级、省级土壤普查办逐级审核后再次上传到工作平台，由责任专家检查确认直至合格。

对于县级、省级、国家级现场检查中发现的问题，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。对于发现严重问题采样点位，可要求外业调查队重新采样，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。

对于各级质量监督检查中发现的问题，外业调查队要及时对问题进行整改，并按要求向县级土壤普查办提交工作质量自评报告（含整改说明）。对于发现外业调查队采样工作存在的共性问题，县

级、省级土壤普查办应加强人员培训和质量监督检查力度等，建立健全样品采集环节质量监督检查长效机制。

5.3.7 其他要求

样品采集环节质量监督检查清单见附录 1，专家依托工作平台进行资料检查，利用质量控制 App 在外业现场开展现场检查（检查记录内置质量控制 App），检查过程工作平台全程跟踪记录。

6 样品制备、保存与流转

6.1 总体要求

样品制备实验室等单位要严格按照《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》和本规范开展样品制备、保存和流转等工作，开展内部质量保证与质量控制；省级、全国土壤普查办分别组织省级、国家级质量控制实验室等开展外部质量监督检查等。

6.2 内部质量保证与质量控制

6.2.1 内部质量控制关键点

- (1) 土壤样品接收、制备、保存、流转等技术规范操作情况。
- (2) 工位监控设备安装和正常运行情况。
- (3) 自觉接受省级和国家级外部质量监督检查。

6.2.2 样品制备

6.2.2.1 单位及人员资质要求

承担样品制备、检测任务的实验室应具备《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》中要求的相关能力和条件。实验室确定若干制样小组，每个制样小组确定 1 名样品制备质量检查员负责样品制备质量检查工作。每个制样小组组长、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全程质量控制技术培训，取得培训合格证，证书与工作平台关联，建立质量追溯体系。其他人员至少需经内部培训上岗，并保留培训记录。

6.2.2.2 制样方案

承担样品制备任务的实验室应按照省级土壤普查办制定的本省（区、市）样品制备计划及时制定本单位年度样品制备实施方案。

6.2.2.3 制样场地

满足土壤样品制备的场地要求。应分设相应面积的风干室和样品制备室。

风干室应通风良好、整洁、温湿度条件适宜，远离易挥发性化学物质，并避免阳光直射。高湿地区根据需要安装除湿设施。

样品制备室应通风良好，每个制样工位应做适当隔离，避免交叉污染；应具备互连网络条件，每个工位安装在线全方位监控摄像头，确保每个工位在工作时可以随时接受远程实时检查，样品制备过程全程摄像并保存记录不少于 1 年。

6.2.2.4 制样工具

应具备足量的符合样品制备要求的工具，应避免使用含有待测组分或对测试有干扰的材料制成的样品制备工具和包装容器。每制备完成一个样品后，应确保设备清洁干净，避免制样过程的交叉污染。

6.2.2.5 样品接收

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后土壤样品库样品和粗磨后留存样品、送检样品等要求，如发现破损、重量不足、样品信息不全等情况不予接收，并及时报告省级土壤普查办。

6.2.2.6 制备流程

样品风干、研磨、筛分、混匀、缩分、分装等过程符合技术要求和样品重量要求，制备过程每个环节应充分混匀样品。

6.2.2.7 有关要求

(1) 样品风干、粗磨、分装过程中，样品编码必须始终保持一致。

(2) 制备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%，并有详细制样记录。

(3) 质量检查员可通过实地、在线监控对制样工作进行实时检查，检查样品编码一致、标识清晰、信息完整等情况，制样内部质量检查应覆盖制样全部样品、全周期、全工作过程，同时核查土壤样品制备记录表，做好检查记录。

(4) 样品制备信息经质量检查员检查确认后，及时上报工作平台。

6.2.3 样品保存

6.2.3.1 人员资质

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或能力确认，并保留相应的培训和能力确认记录。

6.2.3.2 样品保存状态和时间

承担样品制备任务的检测实验室，对留存样品进行保存；对流转之前的土壤样品库样品、送检样品进行暂存。其中，土壤样品库样品为风干后原状土壤样品，留存样品和送检样品为风干后粗磨的土壤样品。检测实验室对待测样品进行暂存，对预留样品和剩余样品进行保存。具体按土壤样品库建设规范要求执行。

6.2.3.3 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。

6.2.3.4 样品管理

样品管理员定期对保存样品（留存样品、预留样品、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，并定期检查暂存样品情况，及时发现问题并采取纠正和预防措施。

6.2.4 样品流转

(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、质量控制实验室和土壤样品库等。

(2) 收样单位（检测实验室、质量控制实验室等）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：样品标签、重量、数量、状态、包装容器、样品应送达时限、送样人等。

(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，并及时通知省级质量控制实验室。①样品无编号、编号混乱或有重号。②样品在运输过程中受到破损或沾污。③样品状态不符合规定要求。④样品类型、重量或数量不符合规定要求。

样品经验收合格后，送样人、收样人均在土壤样品交接记录表上（参见《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》）签字，双方各执一份。

6.2.5 有关要求

(1) 在表层样品流转到检测实验室前，省级质量控制实验室负责加入密码平行样品和质控样品，并进行样品转码；在土壤剖面样品流转前，省级质量控制实验室负责加入密码平行样品和质控样品，并进行转码；在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。

(2) 土壤样品按照耕地园地表层样品、耕地园地剖面样品、林地草地表层样品、林地草地剖面样品和水稳性大团聚体样品，分别组批进行流转。

6.2.6 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，各单位应及时采取预防和纠正措施，并报省级质量控制实验室。

6.3 外部质量监督检查

6.3.1 基本要求

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。

6.3.2 样品制备

(1) 制样人员资质检查：是否通过专业培训，取得培训合格证。

(2) 制样场地检查：监控设备、环境条件、防污染措施是否符合要求。

(3) 制样工具检查：磨样设备、样品筛、辅助制样工具等是否符合要求（防污染）、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，制样工具在每个样品制备完成后是否及时清洁。

(4) 制样流程检查：样品风干、研磨、筛分、混匀、缩分、分装过程是否规范，通过实地或监控视频检查的方式，不定期检查制样工作质量。

(5) 已加工样品检查：样品标签、样品重量和数量、样品粒径、样品包装和暂存是否规范，留存样品保存条件是否规范。

(6) 制样原始记录检查：制样实施方案；样品接收记录；监控记录的完整性；样品制备记录表填写内容完整性、准确性、真实性、原始性等。

(7) 制样自检信息检查：通过工作平台中提交的制样信息（参见《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》样品制备记录表）等进行检查。

6.3.3 样品保存

(1) 人员资质：检查样品管理员是否有培训或能力确认记录等。

(2) 保存场所和条件：检查样品保存场所是否满足《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》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。

(3) 定期检查：应对保存样品的状态、时间、环境条件监控记录和出入库等进行检查。

(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。

6.3.4 样品流转

(1) 样品交接记录表检查：交接内容是否填写完整、规范等。

(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。

6.3.5 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%，覆盖行政区域内承担任务的检测实验室；国家级质量控制实验室在省级检查的基础上随机抽查。检查工作覆盖样品制备、保存和流转工作周期。对于未能制检分离的单位，要加大质量监督检查力度。必要时，安排专家派驻，对关键过程开展监督检查。

6.3.6 问题发现与处理

对检查中发现的问题，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。相关的任务承担单位要及时对问题进行整改，并按要求向县级土壤普查办提交工作质量自评报告（含整改说明）。省级土壤普查办通过加强人员培训、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。

6.3.7 其他要求

样品制备、保存与流转质量监督检查清单见附录2，并需及时按要求上传工作平台质量控制模块。

7 样品检测

7.1 总体要求

检测实验室要严格按照《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》和本规范开展样品检测工作，开展内部质量保证与质量控制。省级、全国土壤普查办分别组织省级、国家级专家组有关专家和质量控制实验室开展外部质量监督检查。

7.2 内部质量保证与质量控制

7.2.1 内部质量控制关键点

- (1) 仪器设备配备和正常运行情况。
- (2) 检测任务指标检测技术规范操作情况。
- (3) 内部质控记录并对异常样品开展复检情况。
- (4) 自觉接受省级和国家级外部质量监督检查。

7.2.2 单位及人员资质要求

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 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，建立并实施质量管理体系，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、检测人员及质量检查人员（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技术培训，取得培训合格证，证书与工作平台关联，建立质量追溯体系。

7.2.3 样品细磨

样品细磨时，要将样品全部倒出混匀后，再用四分法或多点取样法从过 2 mm 孔径筛土样中根据检测参数分取样品量，并根据参数需求使细磨样品分别过 0.25 mm、0.149 mm 孔径筛。细磨有关环境和操作要求等按照 6.2.2 执行，细磨过程不同粒径样品必须从通过 2 mm 孔径筛的土样重新取样制备并全部过筛，严禁套筛；细磨过程样品编码始终保持一致。同时，现场填写制样记录（参见《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》样品制备记录表）。

7.2.4 仪器设备和试剂溶液

7.2.4.1 仪器设备

配备数量充足、技术指标符合检测任务要求且完好的仪器设备设施。对检测结果准确性或有效性有影响，或计量溯源性有要求的仪器设备，投入使用前应计量检定或校准，并保持其在有效期内使用。辅助仪器设备应进行功能核查。

7.2.4.2 试剂溶液

所用质控样品和化学试剂等应符合相关检测标准要求且在有效期内。质控样品应能溯源到标准物质（或参比物质）。化学试剂有专人负责，严格按照相关规定加强安全管理。

7.2.5 检测方法的选择与验证

(1) 检测实验室应根据实际情况选用《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》中推荐的检测方法。

(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，保存原始数据记录，并形成相关方法验证报告。

7.2.6 空白试验

(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，要求每批次样品分析时应至少进行 2 个空白

试验。

(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。

7.2.7 仪器设备定量校准

7.2.7.1 标准物质

分析仪器校准应首选有证标准物质。没有有证标准物质时，选用参比物质。

7.2.7.2 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 $r > 0.999$ 。

7.2.7.3 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。

7.2.8 精密度控制

(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。

(2) 由实验室质量控制人员采取平行双样密码分析等方式开展质量控制。其中，平行双样要与其他样品统一编码。

(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。

(4) 平行双样检测合格率要求为 100%。当出现不合格时，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，并对该平行双样关联的样品进行重新检测。除此之外，应再增加 5% ~ 15% 的平行双样分析比例并满足检测合格率要求。

表 1 土壤样品检测精密度和正确度允许推荐范围

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

（续表）

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 (以平台上报结果 单位进行判定)	<0.1	35	40	40
	0.1~1.0	30	35	35
	1.0~10	20	30	25
	10~100	15	25	20
	100~1 000	10	20	15
	≥1 000	5	10	10

注：方法中有精密度或正确度规定的，按方法执行；没有规定的，按本表执行。由于试点质量控制数据未出，将来试点数据出来将进一步对本表进行修订。

7.2.9 正确度控制

7.2.9.1 使用标准物质（或参比物质）

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（或参比物质）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。

结果判定：若参比物质相对误差（RE）在允许范围内，则对该参比物质样品分析测试的正确度控制为合格，否则为不合格；有证标准物质测定结果在标准物质证书给定的认定值和不确定度范围内来判定正确度，一般用可暂时使用标物证书给定的不确定度值乘 3 再除 2 的值（99%置信区间），或使用表 1 中规定的 RE 值判定。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。

7.2.9.2 绘制质量控制图

（1）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。

（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。

（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。

(4) 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。①连续3点中有2点落在中心线同一侧的上下警告线以外；②连续5点落在中心线同一侧的1倍标准偏差(S)以外；③连续9点或更多点落在中心线同一侧；④连续7点递增或递减。

7.2.10 异常样品复检

当平行双样密码分析或标准物质（或参比物质）检测结果不合格时，判断批次样品检测结果异常，需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。

7.2.11 检测数据记录与审核

(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。

(2) 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。

(3) 检测人员负责按照相关要求，如实填写原始记录，并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。

(4) 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) 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。

(6) 检测结果低于方法检出限时，以“未检出”报出，同时给出方法检出限，参加统计时按1/2最低检出限计算。

7.2.12 检测结果的报出

(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部质量控制数据，内部质量控制数据填报记录参见附录3。

(2) 检测实验室应在每批次送检样品检测完成经内部质控审核确认后，通过工作平台上报检测结果与相关报告，提交省级质量控制实验室审核。

(3) 各省（区、市）样品检测结果统一由省级质量控制实验室根据密码平行样品和质控样品检测结果对检测实验室的检测质量进行评价，确认后数据进入工作平台供县级、省级土壤普查办进一步审核。

7.2.13 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。报告包括如下内容。

(1) 承担的任务基本情况介绍。

(2) 选用的检测方法以及验证或确认结果。

(3) 样品检测精密度控制合格率。

(4) 样品检测正确度控制合格率。

(5) 异常样品复检合格率。

(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。

(7) 总体质量评价（包括数据审核记录、报告及问题整改情况报告等）。

7.3 外部质量监督检查

7.3.1 基本要求

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。省级土壤普查办组织省级质量控制实验室采取密码平行样、质控样、留样抽检和现

场监督检查等方式开展外部质量监督检查，全国土壤普查办组织国家级质量控制实验室采取检测能力评价、留样抽检、飞行检查等方式开展外部质量监督检查。若样品制备与检测由同一单位承担的，省级土壤普查办应加大质控力度。

7.3.2 密码平行样品

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。

(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，满足表 1 相对偏差要求。

RD 计算公式如下：

$$RD (\%) = \frac{|A-B|}{A+B} \times 100 \quad (1)$$

(2) 实验室内密码平行样品检测质量合格率要求 100%。

(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（批次所有样品的不合格指标）。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质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。

7.3.3 质控样品

质控样品随普查样品一起流转至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。

(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 ），满足表 1 相对误差要求。

RE 计算公式如下：

$$RE (\%) = \frac{|x-\mu|}{\mu} \times 100 \quad (2)$$

(2) 实验室对质控样品检测质量合格率要求 100%。

(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，必要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，直至质控样品复检合格率达到规定要求。

7.3.4 留样抽检

(1) 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。

(2) 留样抽检要尽可能覆盖年度任务涉及的县市区，覆盖主要土壤类型和土地利用类型。省级抽检量不低于本区域检测样品量的 5‰，国家级抽检量不低于检测样品量的 3‰。

(3) 检测实验室留样抽检结果的合格率应不低于 80%。

(4) 留样抽检不一致，省级或国家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，省级或国家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，省级或国家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不合格指标进行复检。留样抽检过程精密度和正确度参考表 1。

7.3.5 现场监督检查

现场监督检查由省级土壤普查办组织实施，覆盖年度承担任务的检测实验室，对样品制备、保存、流转和检测等核心环节开展检查，重点检查实验室内部质量保证与质量控制方案实施情况、仪器

设备、试剂溶液和有关原始记录等。必要时安排专家派驻，全程跟进核心环节。现场监督检查清单参见附录4。

7.3.6 检测能力评价

全国土壤普查办每年组织开展检测能力评价。通过3年检测能力评价，实现对所有检测实验室全覆盖。检测能力评价结果不合格的，通报省级土壤普查办，整改合格之前原则上不再承担土壤三普检测任务。

7.3.7 飞行检查

飞行检查由国家级质量控制实验室组织实施，检查对象包括承担任务的检测实验室和省级质量控制实验室。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土壤检测或相关业务5年以上。飞行检查清单参见附录4。

7.3.8 实验室外部质量评价

(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。

(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。

(3) 留样抽检结果质量评价：留样抽检两次测定结果的相对偏差（ RD ）应满足表1中实验室空间相对偏差要求。

(4) 检查评价（检查报告）：系统梳理外部质量评价发现的问题，提出整改的意见建议。

8 数据审核

8.1 总体要求

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。数据审核包括县级、省级土壤普查办开展数据审核及全国土壤普查办开展数据监督检查等。其中，县级土壤普查办对经过省级质量控制实验室确认的数据进行完整性、规范性、合理性审查；省级土壤普查办组织专家组，对县级土壤普查办上报数据的规范性、准确性，特别是存疑数据进行检查；全国土壤普查办组织专家组开展国家层面监督检查。

8.2 人员资质

数据审核需由科研、教学和推广领域多年从事土肥工作或具有高级专业技术职称的专家负责，审核责任专家至少2名。从事数据审核的专家要参加国家或省级层面组织的相关培训，掌握数据审核方法及工作要求。

8.3 审核内容

8.3.1 数据完整性

8.3.1.1 数据完整性审查

外业调查采样环节，采用电子围栏和外业调查采样App，对采样位置和填报信息进行管理，确保外业调查信息填报完整。样品检测数据上报环节，通过土壤普查工作平台对上报数据的完整性进行筛查。

8.3.1.2 文本型数据缺失

(1) 外业调查电子围栏提醒：通过外业调查采样App对外业调查采样时填报的文本数据缺失进行提醒。

(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。

(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。

(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保证数据的完整性。

8.3.1.3 数值型数据缺失

(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。

(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。

(3) 删除：当缺失值所占的比例比较小时，可以使用删除法，以减少样本数据量来换取数据的完整性。

(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。

(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。

8.3.1.4 图片型数据缺失

(1) 外业调查电子围栏提醒：通过外业调查采样 App 对外业调查采样时拍摄照片的上传进行缺失提醒。

(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。

8.3.2 数据规范性

8.3.2.1 数据规范性审查

采用数据库审查相关模块，对入库数据规范性进行审查。

8.3.2.2 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。

8.3.2.3 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《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》；项目中行政信息变更造成的不一致等。经纬度按照《第三次全国土壤普查工作底图制作与采样点布设技术规范》《第三次全国土壤普查土壤类型图编制技术规范》等统一点位坐标信息；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。

8.3.2.4 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 cmol/kg 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《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》统一指标有效位数、计量单位、修约等。通过工作平台内置数据字典的方式，统一指标名称、单位和相关信息等。

8.3.3 数据准确性

8.3.3.1 数据准确性审查

系统分析区域数据，明确数据审核原则，综合考虑土壤自然成土环境背景情况，对标密码平行样品和质控样品评价结果，通过阈值分析、关联分析、逻辑分析等方法对数据准确性进行判断。

8.3.3.2 阈值设定

对入库数据单点、单指标异常值、批量数据合理性等进行审查，对不精确值或错值（指标检测

不准确、数据录入错误）进行驳回、处理。

8.3.3.3 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。其中，工作平台内置耕地园地、林地草地检测指标阈值（全国阈值或分级阈值），利用阈值自动对检测数据进行初步审核，并对超出阈值范围数据做出警示标识。

8.3.3.4 箱型图

利用箱型图对小于 $Q1-1.5IQR$ 或者大于 $Q3+1.5IQR$ （ $Q1$ 称为下四分位数， $Q3$ 称为上四分位数， IQR 称为四分位数间距）的异常数据进行筛查。

8.3.3.5 Z 分数

对于服从正态分布的指标数据，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。

8.3.3.6 空间分析

利用空间分析（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）。

8.3.3.7 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。

8.4 问题发现及处理

针对审查中发现的存疑数据等，专家通过数据会商、讨论交流等方式给出处理意见。县级土壤普查办在数据审核过程中，对不合格数据进行驳回，并组织整改；省级专家将审核意见（驳回）反馈省级土壤普查办，省级土壤普查办安排有关县级土壤普查办负责整改工作；国家级专家将审核意见（驳回）反馈全国土壤普查办，全国土壤普查办安排有关省级土壤普查办负责整改工作。

8.5 有关要求

（1）县级土壤普查办负责本区域全部检测数据的审核；省级土壤普查办组建的专家组负责本区域全部检测数据的审核；全国土壤普查办组建的专家组对各省级土壤普查办上报数据进行质量监督检查，检查比例不少于 2‰。

（2）数据审核过程中重点对超出阈值范围的数据、离群值、极端值、异常值或多频数据进行抽取，抽取的数据样点要尽可能覆盖所在区域的所有检测实验室及样点类型。

附录 1
(资料性)
样品采集质量监督检查清单

样品采集质量监督检查清单见附表 1-1 和附表 1-2。

附表 1-1 资料检查项目清单

检查项目	规范要求
单位和人员资质	外业调查队及其技术领队和质量检查员等资质情况是否符合《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》和本规范要求。必要时，核查有关人员参与国家或省级组织的培训情况
点位确认	检查电子围栏范围内采样中心点选择是否合理； 预布设点位现场调整是否符合规范要求（针对电子围栏外调整点位的情况）
采样信息	检查成土环境和土壤利用信息填报是否规范、合理； 剖面样点还需结合土壤类型判定校核、图斑纯度校核等信息填报是否符合要求； 检查景观照片、工作照片、样品照片、剖面照片等拍摄是否规范、数量是否符合要求； 样品重量是否符合要求
一线质控信息	技术领队和质量检查员检查确认情况
采样环节自检	外业调查自查确认信息情况

附表 1-2 现场检查项目清单

检查项目	规范要求	
单位及人员资质	人员组成	检查外业调查队专业背景是否符合要求；人员组成重点检查 1 名技术领队进行技术和工作质量负责，至少 1 名质量检查员负责内部质量检查的情况
	人员资质	技术领队和质量检查员人员专业背景、培训情况符合《第三次全国土壤普查外业调查与采样技术规范》和本规范要求。必要时，核查有关人员参与国家或省级组织的培训情况
采样点位	点位确认	检查电子围栏范围内采样中心点选择是否合理
	点位现场调整	预布设点位现场调整是否符合规范要求（针对电子围栏外调整点位的情况）
样品采集	采样方法	检查采样工具、辅助工具等是否符合要求； 表层土壤混合样品、土壤容重样品、土壤水稳性大团聚体样品采集方法是否规范； 剖面样点还需检查剖面分层样品、剖面整段样本、剖面纸盒标本、剖面土壤容重样品和土壤水稳性大团聚体样品等采集方法是否规范； 采集样品数量、重量、层次、深度是否符合要求
	采样信息	检查成土环境和土壤利用信息填报是否规范、合理； 检查耕层厚度观测和记录是否规范、合理； 检查景观照片、工作照片、样品照片、剖面照片等拍摄是否规范、数量是否符合要求
样品标识	标签与包装	检查是否按照要求分类包装组批并明确标识，内外标签是否齐全清晰、内容是否完整等
样品暂存与流转	样品保存	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，避免土壤发霉；对于水稳性大团聚体样品，需按照样品制备有关要求进行简单前处理
	样品流转	检查是否指定专人负责样品流转，是否按要求分批流转，是否按照要求填写相关记录表等

附录 2
(资料性)
样品制备、保存与流转质量监督检查清单

样品制备、保存与流转质量监督检查清单见附表 2-1、附表 2-2。

附表 2-1 样品制备、保存与流转质量监督检查项目清单

实验室名称（盖章）：

检查日期： 年 月 日

环节	检查项目	规范要求	检查结果 (符合、基本符合、不符合)	发现问题
质量管理		检查单位内部质量保证与质量控制方案及相关质量管理体系是否满足规范要求，是否结合本单位实际具有可操作性； 人员配备及培训、监督等与所承担任务量相符，并满足相关要求		
样品制备	制样单位及人员资质要求	根据样品制备人员清单，检查是否均有全国土壤普查办或省级土壤普查办统一组织的内业测试化验和全程质量控制技术培训合格证书和上岗授权记录； 制样小组设置是否合理，每个小组是否均有样品制备质量检查员		
	制样方案	是否按照省级土壤普查办制定的本省（区、市）样品制备计划及时制定本单位年度样品制备实施方案		
	制样场地	风干、制备场所环境条件、防污染措施是否符合要求； 样品制备室面积满足要求，制样工位数量是否与所承担任务相匹配，是否适当隔离； 在线全方位监控摄像头是否覆盖每个工位的制样环节，存储制样监控视频应满足要求，监控设备运行良好		
	制样工具	磨样设备、样品筛、辅助制样工具等是否齐全、完好、符合要求； 样品制备工具和包装容器是否含有待测组分或对测试有干扰的材料制成； 制样工具在每个样品制备完成后是否及时清洁		
	样品接收	是否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； 接收样品重量是否满足风干后土壤样品库样品和粗磨后留存样品、送检样品等样品重量要求		
	制备流程	样品风干、研磨、筛分、混匀、缩分、分装等过程是否符合《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》制备流程规定，样品编码是否始终保持一致； 样品损失率是否满足要求； 留存样品、送检样品重量是否满足样品复检需要		

（续表）

环节	检查项目	规范要求	检查结果 (符合、基本符合、不符合)	发现问题
样品保存	人员资质	样品管理员是否经过培训或能力确认，并保留相应的培训和能力确认记录		
	样品保存状态和时间	样品保存是否按照《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》有关要求；留存样品保存时间是否按照要求		
	保存场所	是否保持干燥、通风、无阳光直射、无污染；是否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		
	样品管理	样品管理员是否定期对留存样品、暂存样品进行检查		
样品流转	样品交接	样品制备实验室是否按照有关样品状态、数量等要求将样品流转至检测实验室和土壤样品库；收样单位在样品交接过程中，是否对接收样品的质量状况进行检查		
	有关要求	土壤样品是否按照土地利用类型（耕地、园地、林地、草地等）和样品类型（表层土壤样品、剖面土壤样品、水稳性大团聚体样品、容重样品等），分类组批进行流转；是否按照样品类型在流转到检测实验室前由质量控制实验室插入相应的质量控制样品		
内部质量保证检查		自查相关记录符合规范要求，内部检查是否覆盖制样全部样品、全周期、全工作过程		

附表 2-2 样品制备、保存与流转质量监督检查材料清单

序号	内容
1	样品制备实验室经手的所有样品的编号清单概览
2	土壤样品交接记录表
3	样品制备记录表，要求：是受监督检查实验室经手的所有第三次全国土壤普查土样
4	土壤样品批次记录表
5	土壤样品装运记录表
6	土壤普查样品入库记录和出库记录，样品保存室视频监控记录（近1年）
7	已制备土壤普查样品照片（包含样品标签、重量、粒径、包装等信息），要求：是受监督检查实验室经手的所有第三次全国土壤普查土样，照片或者字迹清晰或者有详细说明
8	样品制备实验室实际使用的样品制备、流转、保存工作程序文档及示意图（word格式）
9	制样小组人员一览表（excel格式），要求：包括姓名、单位、身份证号码、手机号、岗位职责、工作时间和经手样品编号段和制备操作
10	制样人员、制样检查员及样品管理员参加培训、考核的记录和相关盖章证明（pdf格式或者图片格式）
11	制样场地照片或视频，要求：按照时间、地点、样品号段、工作人员名字命名文件夹
12	制样工具照片，要求：实验室名称、工具名称、工具编号
13	体现制样流程工作视频（近1年），要求：按照时间、地点、样品号段、工作人员名字命名文件夹
14	样品保存室照片及实时视频、环境条件控制记录
15	内部质量控制样品一览表，内部质控样品添加、转码一览表，平行双样添加情况表（制备、检测任务均承担的实验室）

附录 3
(资料性)
检测实验室内部质量控制电子数据填报记录

检测实验室内部质量控制电子数据填报记录见附表 3-1 至附表 3-7。

附表 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

附表 3-2 平行双样检测结果记录

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/%	结果评价	检测人员

附表 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/%

附表 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/%	结果评价	检测人员

附表 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/%

附表 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/%	结果评价	检测人员

附表 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/%

附录 4
(资料性)
飞行检查/现场监督检查清单

飞行检查/现场监督检查清单见附表 4-1 和附表 4-2。

附表 4-1 飞行检查/现场监督检查项目清单

实验室名称（盖章）：

检查日期： 年 月 日

序号	检查要素	检查内容	检查结果 (符合、基本符合、不符合)	发现问题（包括 作为证据的材料名称、 清单，文件号等）
1	质量管理	依据相关要求，建立并有效运行质量保证体系； 按照土壤三普有关技术规范和管理要求，进一步完善内部 质量管理制度； 应按照《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》 有关要求，制定单位内部质量保证与质量控制方案和计 划，涵盖样品制备（细磨）、内部流转、保存、分析测试 及报告编制等全流程，并实施全过程质量控制		
2	检测能力	资质认定批准或实验室认可的检测能力应涵盖 50% 以上 土壤三普土壤理化性状指标； 检测能力与承担任务相匹配，能保证在合同期内完成检测 任务； 承担的检测任务不得转包和分包		
3	样品细磨	制样工具、制样场所与设施符合《第三次全国土壤普查 土壤样品制备与检测技术规范》要求； 细磨过程应有视频监控设备，监控范围应能覆盖每个工位 的制样环节，监控设备运行良好，监控记录保存完整； 样品制备记录表（0.25 mm、0.149 mm 孔径筛）保留完 整；样品编码保持不变；严禁套筛		
4	人员	样品制备、样品流转、样品检测、质量控制人员能力和数 量满足普查检测任务需要； 检测实验室主要技术负责人、技术骨干及质量检查人员等 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，应掌握相关技术规定和管理 要求； 所有参与土壤三普任务的人员需经培训上岗，并保留人员 培训和授权上岗记录。有人员监督计划和实施记录		
5	场所环境	实验室场所应与所申请的场所一致； 实验室内合理分区，避免交叉污染和相互干扰； 样品制备、保存、检测环境应符合场所环境、仪器设备、 检测方法等有关要求； 对可能影响检测结果质量的环境条件，应进行识别并制定 成文件，对其实施监控和记录，保证符合相关技术要求		

（续表）

序号	检查要素	检查内容	检查结果 (符合、基本符合、不符合)	发现问题（包括作为证据的材料名称、清单，文件号等）
6	设施设备	<p>应具备土壤三普土壤理化性状指标所需仪器设备；开展相应检测指标的仪器设备均应完好，技术指标应符合申请普查样品检测任务要求；</p> <p>仪器设备投入使用前，应采用检定、校准或核查等方式，确认其是否满足检测的要求，并保持其在有效期内进行使用。必要时，应使用校准给出的修正信息，以确保仪器设备满足检测方法的需要；</p> <p>应有仪器设备使用记录。记录应包括使用时间、使用人、样品编号、检测项目和仪器状况等信息；</p> <p>应配备满足普查检测参数需要的质控样品。质控样品由专人保管，贮存场所符合要求，能溯源到标准物质（参比物质），并开展期间核查；</p> <p>检测过程中使用的标准溶液应能溯源至有证标准物质和/或配制（稀释）记录，并满足方法规定</p>		
7	样品管理	<p>样品接收、核查和发放各环节应受控，有专人负责实验室样品外部样品接收和内部流转，有样品接收和内部流转记录；</p> <p>样品标签及其包装应完整无损，样品标签包括但不限于：唯一性标识、状态标识和制样粒径（目数）标识等；</p> <p>样品应规范、有序排列、分区存放，并有明显标志，避免混淆</p>		
8	试剂材料	<p>对检测结果有关键试剂和耗材应经过检查或证实符合有关检测方法中规定的要求后，投入使用，并保存相关记录；</p> <p>试剂耗材由专人负责，保存条件适宜，确保安全使用与管理；</p> <p>有实验用水检查记录，确保水质满足方法要求</p>		
9	检测方法	<p>方法选用《第三次全国土壤普查土壤样品制备与检测技术规范》推荐的检测方法；</p> <p>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；</p> <p>检测过程产生的方法偏离（含样品制备）应经技术判断不影响检验检测结果，编制形成作业指导书，被技术负责人批准，并经省级土壤普查办（或省级质量控制实验室）同意才允许发生</p>		
10	空白试验	<p>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；</p> <p>空白试验结果一般应低于方法检出限。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；</p> <p>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</p>		

（续表）

序号	检查要素	检查内容	检查结果 (符合、基本符合、不符合)	发现问题（包括作为证据的材料名称、清单，文件号等）
11	仪器设备定量校核	<p>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；</p> <p>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。校准曲线相关系数原则上要求为$r>0.999$；</p> <p>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</p>		
12	精密度	<p>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；</p> <p>由实验室质量控制人员采取平行双样密码分析等方式开展内部质量控制，并统计精密度合格率情况；</p> <p>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《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》要求执行</p>		
13	正确度	<p>每批次样品分析时同步均匀插入高、低两组与被测样品含量水平相当的有证标准物质进行检测；质控样结果应满足《第三次全国土壤普查全程质量控制技术规范》要求；当批次分析样品数<20时，应至少插入1个质控样；</p> <p>必要时可绘制质量控制图；</p> <p>统计标准物质检测结果和正确度控制合格率</p>		
14	异常样品复检	<p>检测数据异常时，要对实验室精密度和正确度进行检查；</p> <p>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；</p> <p>保存异常样品复检记录和异常样品复检率记录</p>		
15	数据记录与审核	<p>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；</p> <p>应按照土壤三普有关要求填报样品检测结果及同批次实验室内部及外部质控数据，并及时提交；</p> <p>应建立检测数据和报告质量审核制度，明确数据审核人员和检测报告的编制、审核及签发人员的职责和工作要求</p>		
16	质量评价报告	<p>应向承担普查任务所在质量控制实验室提交土壤普查工作质量自评估年度报告及总结。内容包括承担的任务基本情况介绍；选用的检测方法，以及验证或确认结果；样品检测精密度控制合格率；样品检测正确度控制合格率；异常样品复检合格率等；</p> <p>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；总体质量评价；</p> <p>对省级质量监督检查过程中发现的问题应及时整改，并形成整改报告</p>		

（续表）

序号	检查要素	检查内容	检查结果 (符合、基本符合、不符合)	发现问题（包括作为证据的材料名称、清单，文件号等）
17	档案管理	应及时做好土壤普查相关技术档案管理；保存的技术档案应包括但不限于：土壤普查项目有关检测实验室工作的管理文件、技术规定和标准；方法验证记录、检测原始记录和检测报告；质量控制记录、质量自评年度报告及总报告		
18	其他要求	检测实验室开展土壤普查样品检测及其数据生成、上报、保管和利用，须遵照土壤普查有关技术规定及管理暂行办法执行；检测实验室及其人员应对在土壤三普工作中所知悉的国家秘密、商业秘密和技术秘密负有保密义务，并制定与实施相应的保密措施		

附表 4-2 飞行检查/现场监督检查材料清单

序号	内 容
1	实验室土壤三普内部质量保证与质量控制方案和质量控制计划
2	实验室参与土壤三普工作人员一览表（含人员岗位，备注参加全国或省级土壤普查办组织的培训并取得结业证书的人员）
3	样品制备记录表
4	实验室内部有关土壤三普的人员培训计划及记录
5	实验室内有关土壤三普检测实验室需要控制环境条件的实验室识别及其控制记录
6	实验室内土壤三普检测指标涉及的仪器设备（含检定/校准有效期）和质控样品一览表
7	实验室内土壤三普使用的标准溶液配制、稀释记录
8	实验室土壤三普样品接收样品登记表
9	样品内部流转记录表
10	关键试剂耗材经过检查或证实符合有关检测方法中规定的要求记录
11	方法验证报告
12	检测原始记录
13	实验室内部质量控制实施记录
14	异常值复验记录
15	质量评价报告（如有）
16	省级质量监督检查整改报告（如有）

第三次全国土壤普查数据库规范

(修订版)

执笔人：吴文斌 余强毅 钱建平 张建峰 段玉林
卢昌艾 史舟 周勇 陈守伦 李万东
刘峰 李文西 徐爱国 雷秋良 王迪

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2023年2月

目 次

1 适用范围	283
2 规范性引用文件	283
3 术语和定义	283
3.1 土壤制图单元 soil mapping unit	283
3.2 矢量数据 vector data	283
3.3 栅格数据 raster data	283
3.4 属性数据 attribute data	283
3.5 元数据 metadata	283
3.6 数据字典 data dictionary	283
4 缩略语	284
5 数据组织管理	284
5.1 分类与编码	284
5.2 要素代码与描述	284
5.3 空间要素分层	285
5.4 非空间数据分类	286
6 数据结构定义	287
6.1 空间要素属性结构	287
6.2 非空间要素属性结构	296
7 数据质量检查	314
7.1 检查方法	314
7.2 质量检查内容	314
8 数据交换内容与格式	315
8.1 空间信息数据	315
8.2 非空间信息数据	315
8.3 元数据	315
附录 1 矢量数据元数据	316
附录 2 属性值字典表	318

1 适用范围

本规范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。

本规范适用于第三次全国土壤普查数据库建设与数据交换，其他类型的土壤调查数据库建设可参照本规范。

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规范的条款。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规范，凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

GB/T 2260—2007	《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 农用地土壤污染风险管控标准（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

表示土壤图斑内一种土壤类型单元或几种土壤类型单元的组合。

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。

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。

3.4 属性数据 attribute data

描述地理实体质量和数量特征的数据。

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。

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文件。

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。

数据约束缩略语包括如下 3 个。

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

土壤数据要素分为基础地理信息要素、土壤普查要素和栅格数据 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，其结构见图 1。



图 1 土壤数据要素代码

(1) 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。

(2) 小类码为业务代码，设定为 1 位数字码，空位以 0 补齐。

(3) 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。

(4) 各要素类中如含有“其他”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

要素代码	要素名称	说明
100000	基础地理信息要素	本表注 1
160000	境界与管辖区域	本表注 2
162000	管辖区域	本表注 2
162010	省级行政区	本表注 2
162020	地级行政区	本表注 2
162030	县级行政区	本表注 2
162040	乡级区域	本表注 2
162050	村级区域	本表注 2
162060	区域界线	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	见表 4
2		地级行政区	Polygon	DJXZQ	M	见表 5
3		县级行政区	Polygon	XJXZQ	M	见表 6
4		乡级区域	Polygon	XJQY	M	见表 7
5		村级区域	Polygon	CJQY	M	见表 8
6		区域界线	Line	QYJX	O	见表 9
7	底图	土壤类型	Polygon	TRLX	M	见表 11
8		土地利用类型	Polygon	TDLYLX	M	见表 12
9		坡度图	Polygon	PDT	O	见表 13
10		植被优势种群	Polygon	ZBYSZQ	O	见表 14
11		作物常年产量水平	Polygon	ZWCNCLSP	O	见表 15
12		种植制度	Polygon	ZZZD	O	见表 16
13		种植结构	Polygon	ZZJG	O	见表 17
14	样点	样点布设区	Polygon	YDBSQ	M	见表 18
15		布设网格	Polygon	BSWG	O	见表 19
16		布设样点	Point	BSYD	M	见表 20
17		调查样点	Point	DCYD	M	见表 21
18	土壤制图	土壤分类制图单元	Polygon	TRFLZTDY	M	见表 22
19		土壤性状制图单元	Polygon	TRXZZTDY	M	见表 23
20	栅格数据	数字正射影像图	Image	SGSJ	O	见表 10
21		数字栅格地图	Image	SGSJ	O	见表 10
22		数字高程模型	Image	SGSJ	O	见表 10
23		其他栅格数据	Image	SGSJ	O	见表 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	

(续表)

序号	类别	属性名称	属性表名	约束条件	说明
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

省级行政区属性结构描述见表4。

表4 省级行政区属性结构描述（属性表名：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

地级行政区属性结构描述见表5。

表5 地级行政区属性结构描述（属性表名：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	

（续表）

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
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

县级行政区属性结构描述见表 6。

表 6 县级行政区属性结构描述（属性表名：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

乡级区域属性结构描述见表 7。

表 7 乡级区域属性结构描述（属性表名：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

村级区域属性结构描述见表 8。

表 8 村级区域属性结构描述（属性表名：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	

(续表)

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
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

区域界线属性结构描述见表 9。

表 9 区域界线属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-1	M	
4	界线性质	JXXZ	Char	6		见附表 2-2	M	
5	界线说明	JXSM	Char	254		>0	O	

6.1.2 栅格数据属性结构

栅格数据属性结构描述见表 10。

表 10 栅格数据属性结构描述（属性表名：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		本表注 1	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 2
10	影像分辨率	YXFBL	Char	4			M	本表注 3
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 4
14	坐标系统类型	ZBXTLX	Char	50			M	本表注 5

(续表)

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
15	大地平面坐标投影	DDPMZBTY	Char	50			M	本表注 6
16	中央经线经度	ZYJXJD	Float	20	4		M	本表注 7
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：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。其他栅格数据，需要在备注中说明。

注 2：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 3：填写栅格数据的分辨率（原始影像分辨率）“可选择填写”，如：0.2 m（0.1 m）。

注 4：填写栅格数据的比例尺分母，如：2 000、5 000 等。

注 5：2000 国家大地坐标系等。

注 6：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 7：度分秒的小数表达方式。如 117 度 0 分 0 秒，应填写 117.000 000；117 度 36 分 0 秒，应填写 117.600 000。

6.1.3 底图

6.1.3.1 土壤类型属性结构

土壤类型属性结构描述见表 11。

表 11 土壤类型属性结构描述（属性表名：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
4	亚类	YL	Char	30			M	本表注
5	土属	TS	Char	30			M	本表注
6	土种	TZ	Char	30			M	本表注
7	面积	MJ	Float	15	2	>0	O	单位：m ²
8	备注	BZ	Varchar				O	

注：依据《第三次全国土壤普查土壤类型名称校准技术规范》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《第三次全国土壤普查土壤类型名称校准技术规范》中的结果。此注解也适用于本规范中其他表格中的相应字段。

6.1.3.2 土地利用类型属性结构

土地利用类型属性结构描述见表 12。

表 12 土地利用类型属性结构描述（属性表名：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	YS DM	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		见附表 2-24	M	
10	耕地地力等级	GDDL DJ	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 1 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《耕地质量等级》（GB/T 33469—2016）。

6.1.3.3 坡度图属性结构

坡度图属性结构描述见表 13。

表 13 坡度图属性结构描述（属性表名：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	YS DM	Char	6		见表 1	M	
3	坡度级别	PDJB	Char	2		见附表 2-24	M	
4	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.3.4 植被优势种群属性结构

植被优势种群属性结构描述见表 14。

表 14 植被优势种群属性结构描述（属性表名：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	YS DM	Char	6			M	
3	植被类型	ZBLX	Char	50			M	
4	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.3.5 作物常年产量水平

作物常年产量水平属性结构描述见表 15。

表 15 作物常年产量水平属性结构描述（属性表名：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	YS DM	Char	6			M	
3	作物类型	ZWLX	Char	50			M	
4	作物产量	ZWCL	Float	15	2		M	单位：斤 ^① /亩
5	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.3.6 种植制度属性结构

种植制度属性结构描述见表 16。

表 16 种植制度属性结构描述（属性表名：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	YS DM	Char	6			M	
3	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²
4	熟制	SZ	Char	8		见附表 2-34	M	
5	备注	BZ	Varchar				O	

6.1.3.7 种植结构属性结构

种植结构属性结构描述见表 17。

表 17 种植结构属性结构描述（属性表名：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	YS DM	Char	6			M	
3	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²
4	种植类型	ZZLX	Char	50			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

样点布设区属性结构描述见表 18。

表 18 样点布设区属性结构描述（属性表名：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	

① 2 斤=1 kg。

（续表）

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
2	要素代码	YS DM	Char	6		见表 1	M	
3	土地利用类型	TDLYLX	Char	4			M	本表注
4	坡度级别	PDJB	Char	2		见附表 2-24	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	72.000 000~ 136.000 000	M	
10	中心点纬度	ZXDWD	Float	8	6	0.000 000~ 60.000 000	M	
11	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²
12	备注	BZ	Varchar				O	

注：依据《第三次全国国土调查技术规程》附录 1.2 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

布设网格属性结构描述见表 19。

表 19 布设网格属性结构描述（属性表名：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	YS DM	Char	6		见表 1	M	
3	网格大小	WGDX	Char	2		见附表 2-3	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

布设样点属性结构描述见表 20。

表 20 布设样点属性结构描述（属性表名：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	YS DM	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		见附表 2-4	M	
5	采样类型	CY LX	Char	2		见附表 2-5	M	

（续表）

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
6	是否采集水稳性大团聚体	SFCJSWXDTJT	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		见附表 2-24	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，由县级行政区域代码（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他表格中的“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 1.2 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

调查样点属性结构描述见表 21。

表 21 调查样点属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-4	M	
5	采样类型	CYLX	Char	2		见附表 2-5	M	
6	是否采集水稳性大团聚体	SFCJSWXDTJT	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		见附表 2-24	M	

(续表)

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
12	是否修正	SFXZ	Char	2		本表注	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：是否修正字段取值为“1=是、0=否”中的一项。本规范中其他是否类字段，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

土壤分类制图单元属性结构描述见表 22。

表 22 土壤分类制图单元属性结构描述（属性表名：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

土壤性状专题单元属性结构描述见表 23。

表 23 土壤性状专题单元属性结构描述（属性表名：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
5	指标下限	ZBXX	Float	15	4		M	本表注
6	指标值	ZBZ	Char	60			M	本表注
7	面积	MJ	Float	15	2		M	单位：m ²

注：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

立地条件调查信息属性结构描述见表 24。

表 24 立地条件调查信息属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-6	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		见附表 2-7	M	
10	侵蚀程度	QSCD	Char	2		见附表 2-8	M	
11	基岩出露丰度	JYCLFD	Char	2		见附表 2-9	M	
12	基岩出露间距	JYCLJJ	Char	2		见附表 2-10	M	
13	地表砾石丰度	DBLSFD	Char	2		见附表 2-11	M	
14	地表砾石大小	DBLSDX	Char	4		见附表 2-12	M	
15	地表盐斑丰度	DBYBFD	Char	2		见附表 2-13	O	
16	地表盐斑厚度	DBYBHD	Char	2		见附表 2-14	O	
17	地表裂隙丰度	DBLXFD	Char	2		见附表 2-15	O	
18	地表裂隙宽度	DBLXKD	Char	2		见附表 2-16	O	
19	地表裂隙长度	DBLXCD	Char	2		见附表 2-17	O	
20	地表裂隙间距	DBLXJJ	Char	2		见附表 2-18	O	
21	地表裂隙数量	DBLXSL	Int	3			M	
22	土壤沙化	TRSH	Char	4		见附表 2-19	O	
23	大地形	DDX	Char	2		见附表 2-20	M	
24	中地形	ZDX	Char	2		见附表 2-21	M	
25	小地形	XDX	Char	2		见附表 2-22	M	
26	地形部位	DXBW	Char	3		见附表 2-23	M	
27	坡度	PD	Char	2		见附表 2-24	M	

（续表）

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
28	坡形	PXN	Char	2		见附表 2-25	M	
29	坡向	PX	Char	2		见附表 2-26	M	
30	母岩	MY	Char	120		见附表 2-27	M	可多选
31	母质	MZ	Char	60		见附表 2-28	M	可多选
32	植被类型	ZBLX	Char	4		见附表 2-29	M	
33	植物优势种	ZBZWYSZ	Char	100			M	
34	植被覆盖度	ZBFGD	Char	4		见附表 2-30	M	
35	乔木覆盖度	ZBQMFGD	Char	4		见附表 2-30	M	
36	灌木覆盖度	ZBGMFGD	Char	4		见附表 2-30	M	
37	草本覆盖度	ZBCBFGD	Char	4		见附表 2-30	M	
38	土地利用类型	TDLYLX	Char	4			M	
39	土地利用类型变更	TDLYLXBG	Varchar				M	
40	是否蔬菜用地	SFSCYD	Char	2			M	
41	设施农业类型	SSNYLX	Char	4		见附表 2-31	M	
42	蔬菜种植年限	SCZZNX	Int	3			M	
43	是否高标准农田	SFGBZNT	Char	2			M	
44	农田灌溉条件	GGTJ	Char	3		见附表 2-32	M	
45	农田排水条件	NTPSTJ	Char	4			M	
46	道路工程	TJDLGC	Char			见附表 2-33	M	
47	梯田建设	TTJS	text				O	
48	熟制类型	ZZLX	Char	4		见附表 2-34	M	
49	休耕类型	XGLX	Char	4		见附表 2-35	M	
50	休耕频次	XGPC	Int	3			O	
51	撂荒类型	LHLX	Char	4		见附表 2-36	M	
52	撂荒频次	LHPC	Int	3			O	
53	轮作制度第一季	LZZD1	Char	4		见附表 2-37	M	
54	轮作制度第二季	LZZD2	Char	4		见附表 2-37	O	
55	轮作制度第三季	LZZD3	Char	4		见附表 2-37	O	

（续表）

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
56	是否存在轮作变更	SFLZZDBG	Char	2			M	
57	轮作制度变更第一季	LZZDBG1	Char	4		见附表 2-37	O	
58	轮作制度变更第二季	LZZDBG2	Char	4		见附表 2-37	O	
59	轮作制度变更第三季	LZZDBG3	Char	4		见附表 2-37	O	
60	当季作物	DJZW	Char	4		见附表 2-37	M	
61	产量水平	CLSP	Varchar				M	
62	施肥方式	SFFS	Char	4		见附表 2-38	M	
63	还田比例	JGHTBL	Varchar				O	
64	还田年限	JGHTNX	Int	3			O	
65	少耕	SGMGSG	Int	3			O	
66	免耕	SGMGMG	Int	3			O	
67	有无绿肥	LFSF	Char	2			M	
68	绿肥品种	LFPZ	Char	4		见附表 2-39	M	
69	种植季节	LFZLJJ	Char	4		见附表 2-40	M	
70	作物类型	ZWLX	Varchar				M	
71	林地类型	LCLDLX	Char	4		见附表 2-41	M	
72	林地林龄	LCLDLL	Int	3				
73	草地类型	LCCDLX	Char	4		见附表 2-42	M	
74	耕作层厚度	GZCHD	Float	8	2		O	
75	采样区间的表层土壤体积	GLSCYTRTJ	Float	8	2		M	
76	野外分拣的砾石体积	GLSYWLSTJ	Float	8	2		M	
77	野外分拣的砾石重量	GLSWYLSZL	Float	8	2		M	
78	砾石体积占比	RZLSTJZB	Int	3			M	
79	是否表层土壤砾石含量高	SFLSHLG	Char	2			M	
80	承包方名称	CBFMC	Char	60			O	
81	承包方证件号码	CBFZJHM	Char	20			O	
82	承包方联系方式	CBFLXFS	Char	20			O	
83	备注	BZ	Varchar				O	

6.2.1.2 施肥用量属性结构

施肥用量属性结构描述见表 25。

表 25 施肥用量属性结构描述（属性表名：SFYL）

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	季度	JD	Char	10			M	
3	肥料类型	FLLX	Char	20			M	
4	肥料名称	FLMC	Char	20			C	
5	实物用量	SWYL	Float	8	2		M	单位：g
6	含量占比	HLZB	Int	3			M	
7	元素含量	YSHL	Float	8	2		M	
8	作物类型	ZWLX	Char	4		见附表 2-37	M	
9	作物类型 (其他)	ZWLXQT	Varchar				O	

6.2.1.3 剖面形态学调查信息属性结构

剖面形态学调查基本信息和分层信息属性结构描述分别见表 26 和表 27。

表 26 剖面形态学调查基本信息属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-43	M	
6	发生层数	FSCS	Int	1			M	
7	生产性能评述	SCXNPS	Varchar				M	
8	发生学解释	FSXJS	Varchar				M	
9	土壤发生学类型——土类	FSXTL	Char	50			O	
10	土壤发生学类型——亚类	FSXYL	Char	50			O	
11	土壤发生学类型——土属	FSXTS	Char	50			O	
12	土壤发生学类型——土种	FSXTZ	Char	50			O	
13	土壤系统分类类型——土纲	XTFLTG	Char	50			O	
14	土壤系统分类类型——亚纲	XTFLYG	Char	50			O	
15	土壤系统分类类型——土类	XTFLTL	Char	50			O	

（续表）

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
16	土壤系统分类类型——亚类	XTFLYL	Char	50			O	
17	土壤系统分类类型——土族	XTFLTZ	Char	50			O	
18	备注	BZ	Varchar				O	

表 27 剖面形态学调查分层信息属性结构描述（属性表名：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	序号	XH	Int	1			M	
3	发生层厚度上界	FSCHDSJ	Int	3			M	
4	发生层厚度下界	FSCHDXJ	Int	3			M	
5	发生层名称	FSCMC	Char	20			M	
6	发生层符号	FSCFH	Char	20			M	
7	边界明显度	BJMXD	Char	4		见附表 2-44	M	
8	边界过渡形状	BJGDZX	Char	4		见附表 2-45	M	
9	是否野外润态比色	SPYWRTBS	Char	2			M	
10	野外润态色调	YWRTSD	Char	6			O	
11	野外润态明度	YWRTMD	Char	6			O	
12	野外润态彩度	YWRTCD	Char	6			O	
13	室内干态色调	SNCTSD	Char	6			O	
14	室内干态明度	SNCTMD	Char	6			O	
15	室内干态彩度	SNCTCD	Char	6			O	
16	润态比色色调	RTBSSD	Char	6			O	
17	润态比色明度	RTBSMD	Char	6			O	
18	润态比色彩度	RTBSCD	Char	6			O	
19	根系丰度	GXFD	Char	4		见附表 2-46	M	
20	根系粗细	GXCX	Char	4		见附表 2-47	M	
21	根系性质	GXXZ	Char	4		见附表 2-48	M	
22	质地	ZD	Char	4		见附表 2-49	M	
23	土壤结构形状	TRJGXZ	Char	2		见附表 2-50	M	
24	土壤结构大小	TRJGDZ	Char	2		见附表 2-51	M	
25	发育程度	FYCD	Char	2		见附表 2-52	M	
26	土内砾石丰度	TNLSFD	Char	4		见附表 2-53	M	

（续表）

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
27	土内砾石大小	TNLSDX	Char	4		见附表 2-54	O	
28	土内砾石形状	TNLSXZ	Char	4		见附表 2-55	O	
29	土内砾石风化程度	TNLSFHCD	Char	4		见附表 2-56	O	
30	结持性	JCX	Char	4		见附表 2-57	M	
31	新生体斑纹丰度	XSTBWF	Char	2		见附表 2-58	C	
32	新生体斑纹大小	XSTBWD	Char	2		见附表 2-59	C	
33	新生体斑纹位置	XSTBWW	Char	6		见附表 2-60	C	
34	新生体斑纹组成物质	XSTBWZCW	Char	4		见附表 2-61	C	
35	新生体胶膜丰度	XSTJMF	Char	2		见附表 2-62	C	
36	新生体胶膜位置	XSTJMW	Char	6		见附表 2-63	C	
37	新生体胶膜组成物质	XSTJMZCW	Char	8		见附表 2-64	C	
38	新生体胶膜与土壤基质对比	XSTJMYRZDB	Char	2		见附表 2-65	C	
39	矿质瘤状结核丰度	KZLZJHFD	Char	2		见附表 2-66	O	
40	矿质瘤状结核种类	KZLZJHZL	Char	6		见附表 2-67	O	
41	矿质瘤状结核大小	KZLZJHDX	Char	2		见附表 2-68	O	
42	矿质瘤状结核形状	KZLZJHXZ	Char	4		见附表 2-69	O	
43	矿质瘤状结核硬度	KZLZJHYD	Char	8		见附表 2-70	O	
44	矿质瘤状结核组成物质	KZLZJHZCW	Char	4		见附表 2-71	O	
45	磐层胶结胶结程度	PCJJJC	Char	4		见附表 2-72	M	
46	磐层胶结胶结物质	PCJJJW	Char	4		见附表 2-73	M	
47	磐层胶结成因或起源	PCJCYHQY	Char	4		见附表 2-74	M	
48	滑擦面面积	HCMMJ	Char	2		见附表 2-75	O	
49	侵入体丰度	QRTFD	Char	2		见附表 2-77	O	
50	侵入体种类	QRTZL	Char	4		见附表 2-76	O	可多选

(续表)

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
51	土壤动物丰度	TRDWFD	Char	20		见附表 2-77	C	
52	土壤动物种类	TRDWZL	Char	6		见附表 2-78	C	
53	土壤动物影响情况	TRDWYXQK	Char	4		见附表 2-79	C	
54	石灰反应	SHFY	Char	6		见附表 2-80	M	
55	亚铁反应	YTFY	Char	2		见附表 2-81	O	
56	酚酞反应	FTY	Char	20		见附表 2-82	O	
57	土壤酸碱反应	TRSJFY	Char	4		见附表 2-83	O	
58	采样区间的表层土壤体积	GLSCYTRTJ	Float	8	2		O	
59	野外分拣的砾石体积	GLSYWLSTJ	Float	8	2		O	
60	野外分拣的砾石重量	GLSWYLSZL	Float	8	2		O	
61	砾石体积占比	RZLSTJZB	Int	3			O	
62	发生层照片	FSCZP	Varbin				M	可多个
63	新生体照片	XSTZP	Varbin				C	可多个
64	侵入体照片	QRTZP	Varbin				C	可多个
65	动物活动痕迹照片	DWHDHJZP	Varbin				C	可多个
66	备注	BZ	Varchar				O	

6.2.1.4 采样信息属性结构

采样信息属性结构描述见表 28。

表 28 采样信息属性结构描述（属性表名：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
2	样点编号	YDBH	Char	16			M	
3	样品类型	YPLX	Char	2		见附表 2-85	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：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

样品制备属性结构描述见表 29。

表 29 样品制备属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-85	M	
4	研磨方式	YMFS	Char	4		本表注 3	M	
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

土壤物理性状属性结构描述见表 30。

表 30 土壤物理性状属性结构描述（属性表名：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
2	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		见附表 2-85	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	本表注 1	M	单位：%； 本表注 1
6	机械组成 2	JXZC2	Float	6	2	本表注 1	M	单位：%； 本表注 1
7	机械组成 3	JXZC3	Float	6	2	本表注 1	M	单位：%； 本表注 1
8	机械组成 4	JXZC4	Float	6	2	本表注 1	M	单位：%； 本表注 1
9	土壤质地	TRZD	Char	2		见附表 2-49	M	
10	水稳性大团聚体含量 1	SWXDTJT1	Float	4	1	本表注 2	C	单位：%
11	水稳性大团聚体含量 2	SWXDTJT2	Float	4	1	本表注 2	C	单位：%
12	水稳性大团聚体含量 3	SWXDTJT3	Float	4	1	本表注 2	C	单位：%
13	水稳性大团聚体含量 4	SWXDTJT4	Float	4	1	本表注 2	C	单位：%
14	水稳性大团聚体含量 5	SWXDTJT5	Float	4	1	本表注 2	C	单位：%
15	水稳性大团聚体含量 6	SWXDTJT6	Float	4	1	本表注 2	C	单位：%
16	水稳性大团聚体含量 7	SWXDTJT7	Float	4	1	本表注 2	C	单位：%
17	水稳性大团聚体总和	SWXDT	Float	4	1	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 0.002 mm 以下颗粒含量，机械组成 2 指 0.002~0.02 mm 颗粒含量，机械组成 3 指 0.02~0.2 mm 颗粒含量，机械组成 4 指 0.2~2 mm 颗粒含量。

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

6.2.3.2 土壤化学性状属性结构

土壤化学性状属性结构描述见表 31。

表 31 土壤化学性状属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-85	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： 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 (1/2 Mg 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

（续表）

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
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

土壤环境性状属性结构描述见表 32。

表 32 土壤环境性状属性结构描述（属性表名：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	

（续表）

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
3	样品类型	YPLX	Char	2		见附表 2-85	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

土壤生物性状属性结构描述见表 33。

表 33 土壤生物性状属性结构描述（属性表名：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	WSWSWT	Float	8	3		M	
3	微生物绝对丰度	WSWJDFD	Char	20			M	本表注 1
4	呼吸强度	HXQD	Float	8	3		M	单位： mg/（kg·d）
5	典型碳转化酶活性	DXTZHMHX	Char	60			O	
6	典型氮转化酶活性	DXDZHMHX	Char	60			O	
7	典型磷转化酶活性	DXLZHMHX	Char	60			O	
8	微生物群落组成	WSWQLZC	Char	40		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	

（续表）

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
12	线虫组成	XCZC	Char	40		本表注 3	0	可多选
13	线虫多样性	XCDYX	Char	60			0	
14	蚯蚓生物量	QYSWL	Char	60			0	
15	蚯蚓组成	QYZC	Char	40		本表注 4	0	可多选
16	蚯蚓多样性	QYDYX	Char	60			0	
17	检测实验室代码	JCSYSMD	Char	8			M	
18	检测人员	JCRY	Char	20			M	
19	检测日期	JCRQ	Date	8			M	

注 1：荧光定量 PCR，按照《第三次全国土壤普查土壤生物调查技术规范》附录 2 要求进行记录。

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

样品装运和样品装运样品清单属性结构描述分别见表 34 和表 35。

表 34 样品装运属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-85	M	
3	样品数量	YPSL	Int	8			M	
4	流转环节	LZHJ	Char	1		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			0	
13	运输车（船）号牌	YSCCHP	Char	20			0	

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 35 样品装运样品清单属性结构描述（属性表名：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	

（续表）

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
3	样品箱号	YPXH	Char	32			M	
4	保存方式	BCFS	Char	1		本表注 1	M	
5	有无措施防止 沾污	YWCSFZZW	Char	1		本表注 2	M	
6	有无措施防止 破损	YWCSFZPS	Char	1		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。另外本规范中其他涉及“有、无”选项的也适用此取值。

6.2.4.2 样品接收属性结构

样品接收和样品接收样品清单属性结构描述分别见表 36 和表 37。

表 36 样品接收属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-85	M	
3	样品数量	YPSL	Int	8			M	
4	流转环节	LZHJ	Char	1		本表注	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：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 37 样品接收样品清单属性结构描述（属性表名：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	YPZLSFFHYQ	Char	1			M	
5	样品包装容器 是否完好	YPBZRQSFWH	Char	1			M	

（续表）

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
6	样品标签是否完好整洁	YPBQSFWHZJ	Char	1			M	
7	保存方法是否符合要求	BCFFSFFHYQ	Char	1			M	

6.2.5 质量控制

质控样品属性结构描述见表 38。

表 38 质控样品属性结构描述（属性表名：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	ZKSYSDM	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	

（续表）

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
26	全氮	TN	Float	8	3		0	
27	全磷	TP	Float	8	3		0	
28	全钾	TK	Float	8	3		0	
29	全硫	TS	Float	8	3		0	
30	全硼	TB	Float	8	3		0	
31	全硒	TSE	Float	8	3		0	
32	全铁	TFE	Float	8	3		0	
33	全锰	TMN	Float	8	3		0	
34	全铜	TCU	Float	8	3		0	
35	全锌	TZN	Float	8	3		0	
36	全钼	TMO	Float	8	3		0	
37	全铝	TAL	Float	8	3		0	
38	全硅	TSI	Float	8	3		0	
39	全钙	TCA	Float	8	3		0	
40	全镁	TMG	Float	8	3		0	
41	有效磷	AP	Float	8	3		0	
42	速效钾	AK	Float	8	3		0	
43	缓效钾	SK	Float	8	3		0	
44	有效硫	AS1	Float	8	3		0	
45	有效硅	ASI	Float	8	3		0	
46	有效铁	AFE	Float	8	3		0	
47	有效锰	AMN	Float	8	3		0	
48	有效铜	ACU	Float	8	3		0	
49	有效锌	AZN	Float	8	3		0	
50	有效硼	AB	Float	8	2		0	
51	有效钼	AMO	Float	8	3		0	
52	碳酸钙	CACO3	Float	8	3		0	
53	游离铁	FE2O3	Float	8	3		0	
54	总汞	HG	Float	8	3		0	
55	总砷	AS2	Float	8	3		0	
56	总铅	PB	Float	8	3		0	
57	总镉	CD	Float	8	3		0	
58	总铬	CR	Float	8	3		0	
59	总镍	NI	Float	8	3		0	

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、其他”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

样品库属性结构描述见表 39。

表 39 样品库属性结构描述（属性表名：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		见附表 2-86	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 1 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

实验室属性结构描述见表 40。

表 40 实验室属性结构描述（属性表名：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
2	实验室名称	SYSMC	Char	100			M	
3	实验室类型	SYSLX	Char	2		见附表 2-87	M	
4	地址	DZ	Char	20			M	

（续表）

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
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	XYZZRDRKQK	Char	255			M	
16	备注	BZ	Varchar				O	

注：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。

6.2.7.2 人员属性结构

人员属性结构描述见表41。

表41 人员属性结构描述（属性表名：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		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		本表注3	O	
10	学历	XL	Char	2		本表注4	O	
11	工作经历	GZJL	Char	2		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=其他”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=其他”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）；

- 检查同一图层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图2所示。

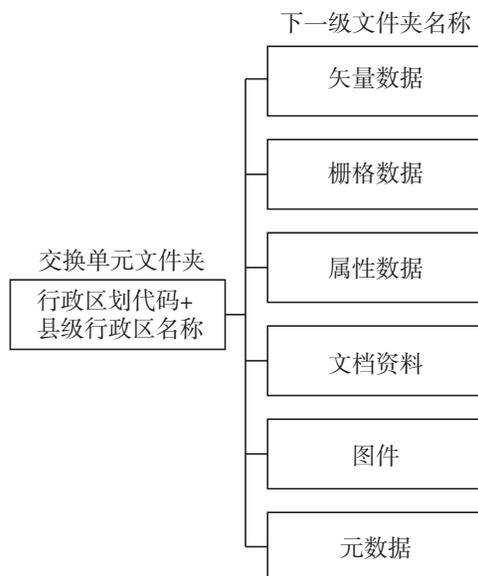


图2 数据交换单元文件夹结构

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。

(1) 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。

(2) 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，存放在“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。文档资料存放在“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 1 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。附表 1-1 至附表 1-4 给出了本规范中表述的矢量数据的元数据结构。

附表 1-1 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	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/T 4880 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

（续表）

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
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

附表 1-2 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：km
4	北偏移	northFAL	北偏移参数信息	M	1	数值型	单位：km
5	分带方式	coorFDKD	说明分带宽度	M	1	字符型	001. 1.5°； 002. 3°

附表 1-3 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

附表 1-4 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来源、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 2 属性值字典表

属性值字典见附表 2-1 至附表 2-87。

附表 2-1 界线类型代码

编码	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

附表 2-2 界线性质代码

编码	名称
600001	已定界
600002	未定界
600003	争议界
600004	工作界
600009	其他界线

附表 2-3 布设网格类型代码

编码	名称
01	0.5 km×0.5 km
02	1 km×1 km
03	4 km×4 km

附表 2-4 样点类别代码

编码	名称
0	表层样
1	剖面样

附表 2-5 采样类型代码

编码	名称
1	普通样
2	平行样

附表 2-6 天气情况代码

编码	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

附表 2-7 侵蚀类型代码

编码	名称
W	水蚀
M	重力侵蚀
A	风蚀
F	冻融侵蚀
WA	水蚀与风蚀复合
N	无

附表 2-8 侵蚀程度代码

编码	名称
N	无
S	轻
M	中
V	强
E	剧烈

附表 2-9 岩石出露丰度代码

编码	名称
N	无

(续表)

编码	名称
F	少
C	中
M	多
A	很多

附表 2-10 岩石出露间距代码

编码	名称
0	无
VF	很远
F	远
M	中
C	较近
VC	近

附表 2-11 地表砾石丰度代码

编码	名称
N	无
F	少
C	中
M	多
A	很多

附表 2-12 地表砾石大小代码

编码	名称
F	细砾石
C	粗砾石
S	石块
B	巨砾

附表 2-13 地表盐斑丰度代码

编码	名称
N	无
L	低
M	中
H	高
V	极高

附表 2-14 地表盐斑厚度代码

编码	名称
N	无
Ti	薄
M	中
Tk	厚
V	很厚

附表 2-15 地表裂隙丰度代码

编码	名称
VM	很多
MA	多
MI	中
F	少
N	无

附表 2-16 地表裂隙宽度代码

编码	名称
VF	很细
FI	细
ME	中
WI	宽
VW	很宽

附表 2-17 地表裂隙长度代码

编码	名称
SH	短
ME	中
LO	长
VL	很长

附表 2-18 地表裂隙间距代码

编码	名称
VS	很少
SM	小
ME	中
LA	大
VL	很大

附表 2-19 土壤沙化代码

编码	名称
0	未沙化
1	轻度沙化
2	中度沙化
3	重度沙化

附表 2-20 大地形代码

编码	名称
MO	山地
HI	丘陵
PL	平原
PT	高原
BA	盆地

附表 2-21 中地形代码

编码	名称
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
HH	高丘
LM	低山
MM	中山
OM	高山
EM	极高山

附表 2-22 小地形代码

编码	名称
IF	河间地

（续表）

编码	名称
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

附表 2-23 地形部位代码

编码	名称
CR	顶部
UP	上坡
MS	中坡
LS	下坡
BOf	坡麓（底部）
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）

附表 2-24 坡度代码

编码	名称
I	平地 ($\leq 2^\circ$)
II	微坡 ($2^\circ \sim 6^\circ$)
III	缓坡 ($6^\circ \sim 15^\circ$)
IV	中缓坡 ($15^\circ \sim 25^\circ$)
V	极陡坡 ($> 25^\circ$)

附表 2-25 坡形代码

编码	名称
01	凸坡
02	凹坡
03	直坡

附表 2-26 坡向代码

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

附表 2-27 母岩代码

编码	名称
01	第四纪松散沉积物
02	花岗岩
03	流纹岩
04	闪长岩
05	安山岩
06	正长岩
07	粗面岩
08	辉长岩
09	玄武岩
10	橄榄岩
11	脉岩

（续表）

编码	名称
12	块集岩
13	火山角砾岩
14	凝灰岩
15	角砾岩
16	砾岩
17	砂岩
18	页岩
19	化学石灰岩
20	生物石灰岩
21	白云岩
22	片麻岩
23	石英岩
24	板岩
25	结晶片岩
26	大理岩
27	泥岩
99	其他

附表 2-28 母质代码

编码	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	其他

附表 2-29 植被类型代码

编码	名称
1	针叶林
2	针阔混交林
3	阔叶林
4	灌丛
5	荒漠
6	草原
7	草丛
8	草甸
9	沼泽
10	高山植被
11	栽培植被
12	无植被地段

附表 2-30 植被覆盖度代码

编码	名称
0	0
1	<15%
2	15%~40%
3	40%~80%
4	≥80%

附表 2-31 设施农业类型代码

编码	名称
1	露天蔬菜地
2	塑料大棚
3	玻璃温室
99	其他

附表 2-32 农田灌溉条件代码

编码	名称
01	灌溉保证率
02	灌溉设施配套
021	未配套
022	局部配套
0221	不灌溉
0222	土渠输水地面灌溉

(续表)

编码	名称
0223	渠道防渗输水灌溉
0224	管道输水地面灌溉
0225	喷灌（包括固定管道式、移动管道式和机组式）
0226	微灌（包括滴灌、微喷、小管出流、微润灌等）
0227	其他（需注明）
023	配套完善
0231	土渠输水地面灌溉
0232	渠道防渗输水灌溉
0233	管道输水地面灌溉
0234	喷灌（包括固定管道式、移动管道式和机组式）
0235	微灌（包括滴灌、微喷、小管出流、微润灌等）
0236	其他（需注明）

附表 2-33 田间道路代码

编码	名称
1	机耕路
2	生产路

附表 2-34 熟制类型代码

编码	名称
1	一年一熟
2	一年两熟
3	一年三熟
4	两年三熟

附表 2-35 休耕类型代码

编码	名称
1	无
2	季节性休耕
3	全年休耕

附表 2-36 撂荒类型代码

编码	名称
1	无
2	季节性撂荒
3	全年撂荒

附表 2-37 作物类型代码

编码	名称
01	水稻
02	玉米
03	小麦
04	春小麦
05	大麦
06	燕麦
07	黑麦
08	青稞
09	谷子
10	豆类
11	高粱
12	油菜
13	棉花
14	花生
15	烟草
16	马铃薯
17	甘薯
18	甘蔗
19	甜菜
20	木薯
21	芝麻
22	蔬菜

附表 2-38 施肥方式代码

编码	名称
01	沟施
02	穴施
03	撒施
04	水肥一体化
99	其他

附表 2-39 绿肥品种代码

编码	名称
01	紫云英
02	草木樨
03	苜蓿

(续表)

编码	名称
04	肥田萝卜
05	油菜
06	苕子
07	豆科绿肥
08	田菁
99	其他

附表 2-40 种植季节代码

编码	名称
01	夏季
02	冬季
03	多年生
99	其他

附表 2-41 林地类型代码

编码	名称
01	生态公益林
011	防护林
012	特种用途林
02	商品林
021	用材林
022	经济林和能源林

附表 2-42 草地类型代码

编码	名称
0101	温性草原类
0102	高寒草原类
0103	温性荒漠类
0104	高寒荒漠类
0105	暖性灌草丛类
0106	热性灌草丛类
0107	低地草甸类
0108	山地草甸类
0109	高寒草甸类
0201	改良草地
0202	栽培草地
99	其他

附表 2-43 土体构型代码

编码	名称
01	通体壤
02	通体砂
03	通体黏
04	通体砾
05	砂/黏/砂
06	黏/砂/黏
07	壤/黏/壤
08	壤/砂/壤
09	砂/黏/黏
10	黏/砂/砂
11	壤/黏/黏
12	壤/砂/砂
99	其他

附表 2-44 边界明显度代码

编码	名称
A	突变
C	清晰
G	渐变
F	模糊

附表 2-45 边界过渡形状代码

编码	名称
S	平滑
W	波状
I	不规则
B	间断

附表 2-46 根系丰度代码

编码	名称
N	无
V	很少
F	少
C	中
M	多

附表 2-47 根系粗细代码

编码	名称
VF	极细
F	细
M	中
C	粗
VC	很粗

附表 2-48 根系性质代码

编码	名称
VF	极细
F	细
M	中
C	粗
VC	很粗

附表 2-49 土壤质地代码

编码	名称
1	砂土
2	砂壤
3	轻壤
4	中壤
5	重壤
6	黏土

附表 2-50 土壤结构代码

编码	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

附表 2-51 土壤结构——形状大小代码

编码	名称
PLVF	片状——很薄
PLFI	片状——薄
PLME	片状——中
PLCO	片状——厚
PLVC	片状——很厚
PRVF	棱柱状——很小
PRFI	棱柱状——小
PRME	棱柱状——中
PRCO	棱柱状——大
PRVC	棱柱状——很大
BLVF	(棱)块状——很小
BLFI	(棱)块状——小
BLME	(棱)块状——中
BLCO	(棱)块状——大
BLVC	(棱)块状——很大
GRVF	(单)粒状——很小
GRFI	(单)粒状——小
GRME	(单)粒状——中
GRCO	(单)粒状——大
GRVC	(单)粒状——很大
MAFS	整体(整块)状——细沉积层理
MAFMA	整体(整块)状——风化矿物结晶
OT	其他(整块)

附表 2-52 土壤结构——发育程度代码

编码	名称
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)

附表 2-53 土内砾石丰度代码

编码	名称
0	0
1	5%
2	10%
3	15%
4	20%
5	25%
6	30%
7	35%
8	40%
9	45%
10	50%
11	55%
12	60%
13	65%
14	70%
15	75%
16	80%
17	85%
18	90%
19	95%
20	100%

附表 2-54 土内砾石大小代码

编码	名称
A	很小
B	小
C	中
D	大
E	很大

附表 2-55 土内砾石形状代码

编码	名称
P	棱角状
SP	次棱角状
SR	次圆状
R	圆状

附表 2-56 土内砾石风化程度代码

编码	名称
F	微风化（包括新鲜）
W	中等风化
S	强风化
T	全风化

附表 2-57 结持性代码

编码	名称
1	松散
2	极疏松
3	疏松
4	坚实
5	很坚实
6	极坚实

附表 2-58 斑纹丰度代码

编码	名称
N	无
V	很少
F	少
C	中
M	多
A	很多

附表 2-59 斑纹大小代码

编码	名称
V	很小
F	小
M	中
C	大

附表 2-60 斑纹位置代码

编码	名称
A	结构体表面
B	结构体内
C	孔隙周围
D	根系周围

附表 2-61 斑纹组成物质代码

编码	名称
D	铁
E	锰
F	铁/锰
B	高岭
C	二氧化硅
G	石膏
OT	其他

附表 2-62 胶膜丰度代码

编码	名称
N	无
V	很少
F	少
C	中
M	多
A	很多
D	极多

附表 2-63 胶膜位置代码

编码	名称
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

附表 2-64 胶膜组成物质代码

编码	名称
C	黏粒
CS	黏粒-铁锰氧化物
H	腐殖质（有机质）
CH	黏粒-腐殖质

(续表)

编码	名称
FM	铁-锰
SIL	粉砂
OT	其他

附表 2-65 胶膜与土壤基质对比度代码

编码	名称
F	模糊
D	明显
P	显著

附表 2-66 矿质瘤状结核丰度代码

编码	名称
N	无
V	很少
F	少
C	中
M	多
A	很多
D	极多

附表 2-67 矿质瘤状结核种类代码

编码	名称
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

附表 2-68 矿质瘤状结核大小代码

编码	名称
V	很小
F	小

(续表)

编码	名称
M	中
C	大

附表 2-69 矿质瘤状结核形状代码

编码	名称
R	球形
E	管状
F	扁平
I	不规则
A	角块
P	粉状

附表 2-70 矿质瘤状结核硬度代码

编码	名称
H	用小刀难易破开
S	用小刀易于破开
B	硬软兼有
P	软

附表 2-71 矿质瘤状结核组成物质代码

编码	名称
CA	碳酸钙（镁）
Q	二氧化硅
FM	铁-锰
GY	石膏
SS	易溶盐
OT	其他

附表 2-72 磐层胶结程度代码

编码	名称
N	无
Y	紧实但非胶结
W	弱胶结
M	中胶结
C	胶结

附表 2-73 磐层组成物质代码

编码	名称
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

附表 2-74 磐层成因或起源代码

编码	名称
NA	自然形成
AM	机械压实
AP	耕犁
OT	其他

附表 2-75 滑擦面代码

编码	名称
N	无
V	少
C	中
M	多
A	很多

附表 2-76 土壤侵入体丰度代码

编码	名称
N	无
V	很少
F	少
C	中

附表 2-77 土壤侵入体组成物质代码

编码	名称
CH	草木炭
CF	陶瓷碎片

(续表)

编码	名称
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
OT	其他

附表 2-78 土壤动物丰度代码

编码	名称
N	无
F	少
C	中
M	多

附表 2-79 土壤动物种类代码

编码	名称
EW	蚯蚓
AT	蚂蚁/白蚁
FM	田鼠
BT	甲虫
OT	其他

附表 2-80 土壤动物影响情况代码

编码	名称
A	动物孔穴
B	蚯蚓粪

附表 2-81 石灰反应代码

编码	名称
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

附表 2-82 亚铁反应代码

编码	名称
N	无
SL	轻度
MO	中度
ST	强度

附表 2-83 土壤碱化反应代码

编码	名称
N	无
SL	轻度碱化
MO	中度碱化
ST	强度碱化

附表 2-84 土壤酸碱反应代码

编码	名称
AC	酸性
NE	中性
AL	碱性

附表 2-85 样品类型代码

编码	名称
01	表层样品
02	剖面样品
03	水稳性大团聚体样品

附表 2-86 剖面标本类型代码

编码	名称
1	整段标本
2	纸盒标本

附表 2-87 实验室类型代码

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任务）

第三次全国土壤普查土壤类型 图编制技术规范 (修订版)

执笔人：赵玉国 刘 峰 张甘霖 孙孝林 陈家赢
王良杰 杨 琳 潘剑君 孙福军 张黎明
郭 龙 徐胜祥 宋效东 吴华勇 孙 正
赵彦锋 杨仁敏 黄 巍 裴久渤 高明杰
袁承程 赵永存 朱阿兴 史 舟 吴克宁
李文西 潘贤章 滕 应 沈仁芳

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室

2023年2月

目 次

1 适用范围	343
2 总则	343
2.1 土壤类型制图目的和原则	343
2.2 土壤类型制图的技术方法	343
2.3 分类、比例尺及坐标系统	343
2.4 总体思路框架	345
2.5 组织实施	346
3 数据准备	346
3.1 基础地理数据	346
3.2 土壤二普土壤图	346
3.3 土壤三普土壤剖面点	346
3.4 土壤二普土壤剖面点	347
3.5 土壤三普土壤表层点/属性图	347
3.6 环境要素数据	347
4 县级土壤类型制图	348
4.1 有土种图的做法	348
4.2 无土种图的做法	353
5 地市级土壤类型制图	354
6 省级土壤类型制图	355
6.1 土壤发生分类土属制图	355
6.2 土壤系统分类土族制图	356
7 国家级土壤类型制图	357
7.1 土壤发生分类亚类制图	357
7.2 土壤系统分类亚类制图	358
8 图件设计制作	358
8.1 基础地理要素	358
8.2 制图单元	360
8.3 色标使用原则	360
8.4 注记	360
8.5 图例制作	361
8.6 图面配置	361
9 验证评价与质量控制	361
9.1 验证评价	361
9.2 质量控制	362
附录1 土壤图编制技术报告提纲	364
附录2 土壤图编制成果汇交清单	366

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“土壤三普”），主要面向有一定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，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，相应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 40 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，土壤分类从定性走向定量化，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土壤普查（以下简称“土壤二普”）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新兴的现代土壤制图方法，仍然依据土壤发生学理论，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定量表征，结合土壤调查采样和数据分析，建立土壤类型及与成土环境之间关系的定量模型，融合土壤调查分类专家的知识，在计算机辅助下进行土壤推测制图，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

本次普查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 1-1 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、地市级、省级和国家级土壤制图。县级土壤制图，分类级别原则上到土种，地市级土壤制图，分类级别原则上也到土种；省级土壤制图，分类级别原则上到土属；国家级土壤制图，分类级别原则上到亚类。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《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》。现有国标《中国土壤分类与代码》（GB/T 17296—2009），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土壤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，得到统一的完备的土壤分类清单，形成《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》。

中国土壤系统分类主要依据《中国土壤系统分类检索》（第三版）。

表 1 土壤分类系统和类型级别

级别	土壤发生分类	土壤系统分类
县级	(原则上) 土种	
地市级	(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 列出了本次普查县级、地市级、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。县级土壤制图，原则要求成图比例尺为 1:5 万，面积超过 4 000 km² 的县可依据面积大小制作 1:10 万~1:20 万土壤类型图。

表 2 制图比例尺及空间分辨率

级别	制图比例尺	空间分辨率/m
县级土壤图	(原则上) 1:5 万	≈ 30
地市级土壤图	(原则上) 1:20 万	≈ 90
省级土壤图	(原则上) 1:50 万	≈ 250
国家土壤图	(原则上) 1:100 万	≈ 1 000

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。土壤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，二者需转为 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，从省级以上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、地市级 1:25 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，经度 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 3)。

表 3 国家土壤制图采用的地图投影参数

项目	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

（续表）

项目	数值
假北	0 m
单位	m

2.4 总体思路框架

本次普查土壤类型图编制的总体思路：以土壤二普土壤图为基础，结合本次新的土壤调查资料、土壤二普土壤图校核和数字高程模型、遥感影像等成土环境因素图层数据，开展制图与更新，继承和发展土壤二普成果，形成本次普查的各级土壤类型图。

土壤二普土壤图，无疑是宝贵的历史财富，代表了20世纪80年代我国土壤科学和技术发展的最高水平。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，土壤二普土壤图存在5个主要问题亟待解决（图1）：第一，约有200个县缺失县级土种图；第二，40年来许多区域的土壤类型已发生了变化，各种自然和人为因素都可能引起土壤类型的变化，如农田治理工程、土地利用变化、复垦、气候或区域水分条件变化等；第三，土壤二普土壤图某些图斑土壤类型存在错误；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接边偏差。

对于缺失土种图的问题，主要采用数字土壤制图方法解决；对于土壤类型发生改变的问题，主要采用专家知识与土壤图野外路线校核相结合的方法解决；对于分类不一致的问题，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；对于土壤类型错误和土壤边界偏差的问题，主要采用土壤图室内、野外校核和数字土壤制图相结合的方法解决。由此，通过纠错、纠偏、补漏、更新和标准化，实现县级土壤图编制。然后，采用制图综合技术和数字土壤制图技术，再生成地市级、省级和国家级土壤图（图1）。

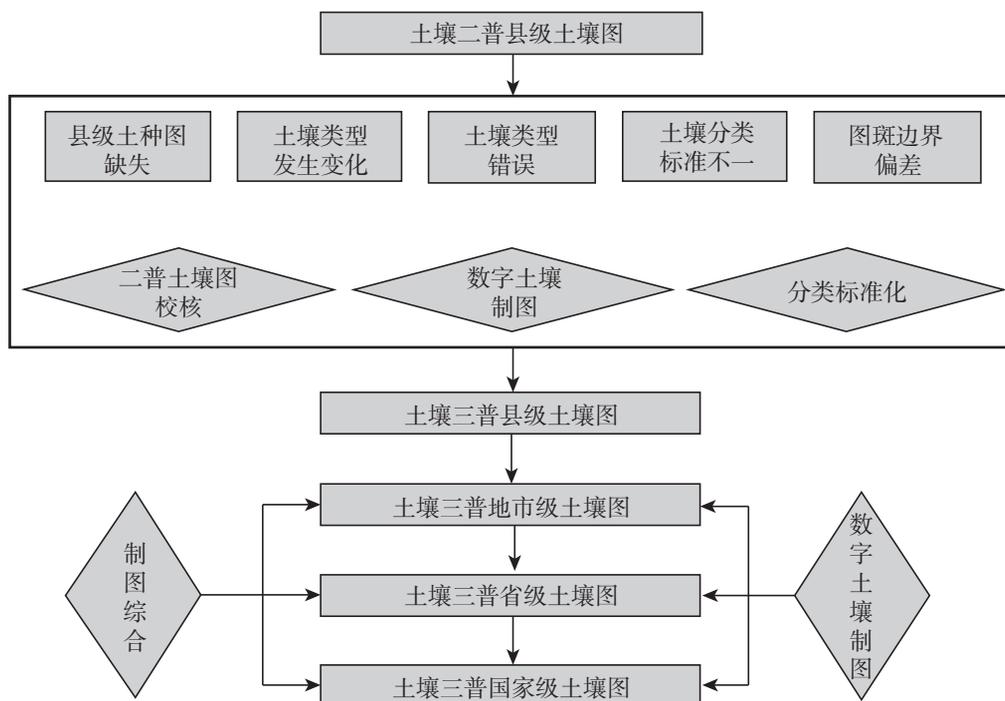


图1 总体思路

2.5 组织实施

土壤类型制图工作涉及的外业与内业流程复杂、专业性和综合性强。在国家层面，全国土壤普查办外业工作组会同外业技术组 and 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土壤图编制工作，组织审核土壤类型鉴定和土壤图编制成果。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，遴选实质参加过土壤二普土壤制图的专家和土壤调查制图领域骨干，负责指导、监督和审核验收各省（区、市）土壤类型图编制工作，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建立省级专业队伍，负责省级、地市级和县级土壤图编制工作，组织开展基础数据准备、土壤类型鉴定、土壤类型图编制和验收等。县级土壤普查办和土肥等农业相关部门积极配合，包括组织力量收集整理近 40 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对口支援。

国家级和省级专家都应接受统一的《第三次全国土壤普查土壤类型图编制技术规范》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图编制工作。

土壤类型制图更新工作，与剖面布点、外业调查、土壤分类校准等密切相关和衔接。在组织实施中，一定要坚持剖面布点、外业调查、土壤分类校准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 基础地理数据

基础地理数据包括行政区、居民点、道路、水系等，来源于国土三调数据。

3.2 土壤二普土壤图

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（区、市）农业部门等单位，对土壤二普 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的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图件资料基础。

土壤二普土壤图需要做两个重要的预处理：一是坐标系转换，即对 1954 年北京坐标系的土壤二普土壤图进行地理坐标系数学转换变换，统一采用 2000 国家大地坐标系和 1985 国家高程基准；二是土壤分类校准，即依据《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》，对土壤二普土壤图的土壤类型名称进行分类修正，对土壤类型名称相同的相邻图斑进行归并处理。经过坐标系转换和分类修正，形成工作底图，由全国土壤普查办统一发放各省级土壤普查办确认和使用。

3.3 土壤三普土壤剖面点

土壤三普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信息。土壤类型的鉴定，由各省级土壤普查办组织土壤分类专家，对辖区内各县的调查剖面进行土壤类型鉴定，主要基于野外剖面调查获得的成土环境因素条件描述、剖面性状描述以及发生层次的实验室理化分析数据，分别依据土壤发生分类和土壤系统分类的诊断层和诊断特性标准，进行土壤类型的检索判别。表 4 列出了每个土壤剖面的数据信息。

表 4 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、乡镇、建制村）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	土壤系统分类：土纲、亚纲、土类、亚类、土族的类型名称

3.4 土壤二普土壤剖面点

土壤二普完成了大量的土壤剖面调查，在土壤三普中，要把土壤二普土壤剖面样点信息挖掘利用好。许多省（区、市）相关单位都整理了本区域的土壤二普土壤剖面调查点数据。土壤二普土壤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，须依据《第三次全国土壤普查暂行土壤分类系统（试行）》进行标准化处理。土壤二普土壤剖面点当时还没有使用 GPS 定位，其原始位置描述通常是行政区划（县、乡、村）和方位距离等粗略位置信息；在土壤二普土壤剖面点整理中，往往结合环境因素数据如地形地貌、母质和土地利用等，在影像或地图上大致定义位置，生成土壤二普土壤剖面点的地理坐标，存在位置不确定性。因此，在国家下发样点校核阶段或土壤图野外校核时，土壤调查专家实地检查每个土壤二普土壤剖面点的土壤类型，经过实地检查的土壤二普土壤剖面点，可用于本次土壤图编制。对于可达性较差的山地丘陵等自然林地草地等区域的土壤二普土壤剖面点，熟悉区域土壤景观的土壤调查专家可通过专家经验对剖面点土壤类型进行判别，不需实地检查。土壤二普土壤剖面点数据信息，同表 4。

3.5 土壤三普土壤表层点/属性图

表层土壤属性在部分情况下一定程度上可辅助区分某些土壤类型，可以利用与土壤分类相关的表层调查数据。土壤三普表层调查数据包括每个表层样点的坐标位置、土壤有机质含量、砾石体积含量、碳酸钙含量、pH、砂粒、粉粒、黏粒含量、质地类型、盐分、碱化度等指标数据，推荐直接使用表层土壤属性数字制图成果。在土壤二普土壤图野外校核中，这些表层土壤属性分布图在一定程度上可辅助区分某些土壤类型；在数字土壤制图中，可作为环境协同变量。

3.6 环境要素数据

环境变量的选取原则：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。成土环境要素数据主要包括气候、母岩母质、地形及成因地貌类型、土地利用现状及变更、土地整理与复垦、土壤改良、植被、水文地质、遥感影像等。省级土壤普查办组织开展相关数据资料的协调调度。土壤类型制图专业队伍，开展数据资料的规范化、标准化整理制备。省级土壤普查办组织市县收集水文地质、近 40 年土地利用变化类型（例如水改旱、旱改水、水改园等）及变化年限、土壤改良、土地平整，以及通过覆土、填埋方式建成的新增耕地的空间分布数据资料。

表 5 列出了环境因素变量和数据来源。对土壤发生分类的制图，仅制备县级土壤类型制图更新需要的 30 m 分辨率的环境变量图层数据，采用 GeoTIFF 数据格式；在图层制备时，应在空间范围上比实际制图范围（县域行政边界）外扩 5 个像元的距离（即外扩 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（县域边界）之间有缝隙。对于土壤系统分类的制图，仅制备省级土壤类型制图更新需要的 250 m 分辨率的环境变量图层数据，采用 GeoTIFF 数据格式；在图层制备时，应在空间范围上比实际制图范围（省域行政边界）外扩 5 个像元的距离（即外扩 1 250 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（省域边界）之间有缝隙。

表 5 环境因素变量数据

名称	数据描述	来源
气候	近 30 年的年均气温、年降水量、太阳辐射量、蒸散量、相对湿度、 ≥ 10 °C 积温等，1 km 分辨率	WorldClim v2 数据；中国气象数据网
母质岩性	1 : 20 万地质图，矢量图层	全国地质资料馆网
地貌	地貌单元，包括基本地貌类型、形态和成因类型，矢量图层	中国科学院地理科学与资源研究所 1 : 100 万中国地貌图
地形	高程、坡度、坡向、剖面曲率、平面曲率、地形湿度指数、地形部位等	国家基础地理信息中心 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
植被	植被类型、归一化植被指数、比值植被指数、增强植被指数，近 10 年	中国科学院植物研究所 1 : 100 万中国植被类型图；MODIS 250 m、TM/ETM/OLI 30 m、Sentinel-2 10 m/20 m 的植被指数
地下水	地下水埋深、矿化度，1 : 25 万比例尺，矢量图层	地矿部门
土地利用	国土二调（2009 年）和国土三调地类（2019 年），矢量图层	自然资源部门
土地平整	土地平整的空间分布，矢量图层	自然资源部门
新增耕地	2000 年以后，复垦、填埋等新增耕地，矢量图层	自然资源部门
高分影像	最新，栅格图层， ≤ 4 m 分辨率	高分系列遥感数据
时序影像	1980—2020 年，多光谱（可见光、近红外、热红外）波段及衍生指数，栅格图层，10 ~ 30 m 分辨率	TM 和 Sentinel 系列等遥感数据
地表动态反馈变量	对平缓地区，推荐基于时序遥感影像计算的反映土壤水热行为、轮作方式等的环境协同变量	MODIS 和 Sentinel 系列等遥感数据

对于地形平缓地区，除了高分辨率数字高程模型之外，还应更多地考虑使用母质和地下水及与其相关的因素变量信息，地貌类型图、地质图、遥感动态观测、与水体距离等环境协同变量。

4 县级土壤类型制图

制图之前，制图者应根据县土种志、土壤图、农业生产和农田建设等资料，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、成土因素及其与土壤类型分布之间的发生关系，熟悉土种的分类诊断指标。

4.1 有土种图的做法

基本思路：在有土壤二普县级土种图时，主要针对除了县级土种图缺失之外的其他 4 个问题（土壤分类混乱、土壤边界偏差、土壤类型错误和土壤类型发生改变），通过土壤类型与环境因素空间分析、土壤二普土壤图室内校核、土壤类型改变区提取、土壤二普土壤图野外校核、数字土壤制图等技术方法，从不同的角度或方面，室内与野外工作相结合，实现土壤二普县级土壤图的制图更新，技术框架如图 2 所示。

根据技术框架，土壤二普土壤图坐标系转换，是从空间参考系统上对土壤二普土壤图进行了更新；土壤二普土壤图分类校准，解决了土壤分类的历史遗留问题，从土壤分类系统上对土壤二普土壤

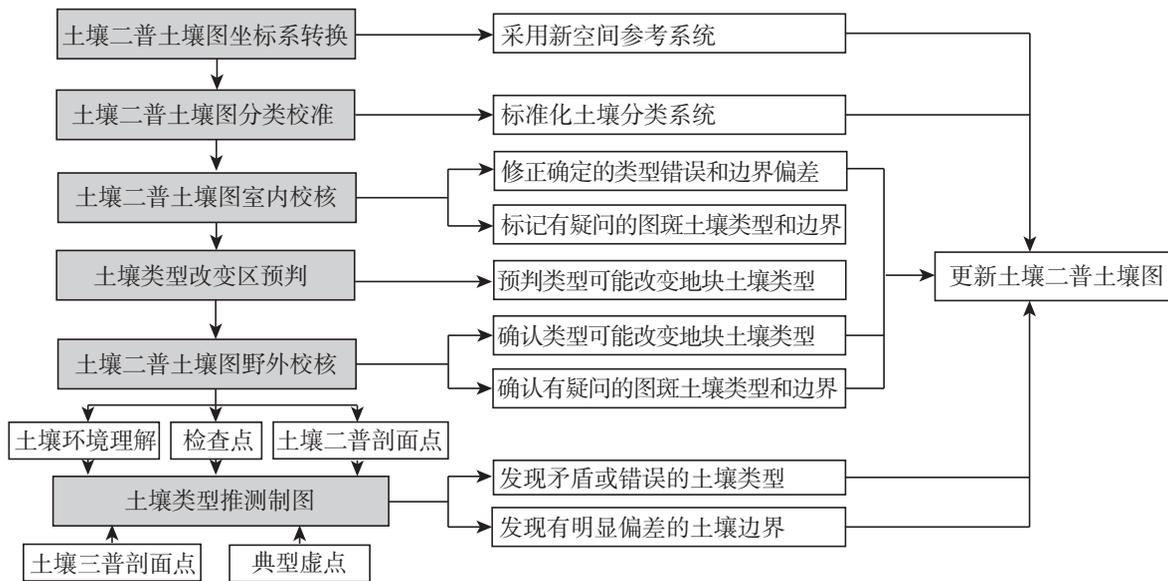


图2 有县级土种图时土壤类型制图更新的技术框架

图进行了更新。这两个步骤都是国家层面处理完成的，由全国土壤普查办统一发放给各省（区、市）已经过这两步处理的土壤二普土壤图。因此，接下来分别对土壤二普土壤图室内校核、土壤类型改变区提取、土壤二普土壤图野外校核、土壤类型推测制图4个步骤进行介绍。

4.1.1 土壤二普土壤图室内校核

以全国土壤普查办下发的经坐标系转换和分类校准后的土壤二普县级土壤图为基础，由土壤制图、土壤调查分类和地理信息技术专家配合，室内对土壤二普土壤图的图斑土壤类型错误和土壤边界偏差两个方面进行检查校准。这些错误或偏差主要来源于土壤二普制图所用基础资料粗略、制图人员专业水平差异、土壤二普分类系统未反馈更新、纸质图局部变形、纸质图数字化错误等。

校核的原则：只对比较肯定是错误的图斑类型和明显的边界偏差进行纠正，而对不确定的尚需野外核查的图斑类型和土壤边界可进行标记。

校核的方法：将土壤图斑边界叠加在新的遥感影像（空间分辨率 $\leq 4\text{ m}$ ）、国土三调土地利用现状图、数字高程模型（DEM，空间分辨率 $\leq 10\text{ m}$ ）、母质图上，由土壤调查专家和GIS操作员配合，运用土壤类型与成土环境因素的发生学关系原理，进行错误和偏差的判别及图斑修正。

经过室内校核之后，土壤二普土壤图的图斑土壤类型无明显错误，图斑边界无显著偏差或错位，同时标记了不确定的尚需野外核查的图斑类型和土壤边界。

4.1.1.1 图斑类型室内校核

检查图斑土壤类型名称与成土环境因素（母质、海拔、坡度、地形部位、土地利用等）的一致性，发现并纠正明显错误的土壤类型名称。注意：对于土地利用变化等造成的图斑土壤类型名称与土地利用现状不吻合的情况，例如坡梯田退耕还林、林地开垦为耕地，不属于本步骤室内校核的范围，但可对图斑进行标记。对自然土壤可在土属级别进行检查校核，对农业土壤可在亚类级别进行检查校核。对于常见错误列出检查清单，室内校核者可对照检查清单逐项检查，对错误的图斑土壤类型，可参照区域土壤类型分布规律和附近环境条件相似图斑的土壤类型进行纠正。重点检查如下内容。

（1）土壤类型与母质岩性是否吻合，例如冲积母质上是地带性土壤图斑，很可能错了，再如有些区域母质岩性是关键因素，空间叠加母质岩性图就很容易检查土壤类型是否正确。

（2）土壤类型与地形是否吻合，例如淹育、渗育、潜育、潜育水稻土发育在不同的地形部位及水文条件上。

（3）对同一土种的所有图斑，检查成土母质是否一致，景观特征、地形部位、水热条件是否相近或相似。

(4) 检查土壤类型与土壤属性分布是否吻合，有些土种名称直接表达了土壤有机质含量的高低（例如，油×土/田、乌×土/田；灰×土/田；瘦×土、瘠×土、薄×土）、土壤盐分的相对高低（例如，轻盐×土；中盐×土；重盐×土）或者土壤质地（例如，砂质×土；壤质×土；黏质×土），利用表层样点理化性质可以对这些土种进行检查。

4.1.1.2 图斑边界室内校核

地形地貌、母质、植被、土地利用等在景观上的明显变异点是确定土壤边界的依据。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他土壤类型的边界，但是土地利用方式之间边界并不一定是土壤类型边界。列出图斑边界室内校核的检查清单，室内校核者可对照检查清单逐项检查，对偏差的土壤边界进行修正。图斑边界的检查主要有：图斑边界在局部地区明显的空间错位；在地形起伏较大的山地丘陵区，土壤边界线与地形地貌的明显变异处是否基本吻合；土壤边界线与母质在景观上的变异是否基本吻合等。

4.1.2 土壤类型改变区提取

土壤类型发生改变的原因很多，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根本性改变，例如旱改水、水改旱、退耕还林还草、林草沼泽等自然利用类型改为旱地或水田等，以及农田建设措施，如土壤改良、矿区复垦、坑塘填埋等。其次是气候变化、地下水位下降或自然的土壤发生过程造成关键诊断指标的根本性改变，例如腐殖质积累、脱盐、石灰性等。

以室内校核之后的土壤二普土壤图为基础，结合国土三调土地利用类型图，对第二次土壤普查以来成土环境尤其是土地利用状况发生明显变化导致土壤类型可能改变区域地块（面积 50 亩以上）进行提取，然后在国家下发的表层或剖面样点的现场校核阶段，通过乡镇和村组支持配合，调查获取各地块的变更年限、种植作物等关键信息，为下一步在土壤二普土壤图野外校核中设计校核路线、判别这些区域的土壤类型改变提供基础。

4.1.2.1 可能引起土壤类型改变的主要情形

根据县域实际，分析县域内可能引起土壤类型改变的主要情形。不同县域通常会有差异。主要有下列情形：①水田改为旱地、园地、林地、草地；②旱地、林地、草地等改为水田；③覆土、填埋等方式建成的新增耕地；④脱盐和次生盐渍化；⑤潜育化土壤因水分条件变化脱潜；⑥沿海滩涂扩张；⑦表土层因土壤侵蚀导致表土层变薄或表土层消失；⑧其他。

4.1.2.2 筛选土壤类型可能改变区域地块

所用数据：经室内校核后的土壤二普土壤图、国土三调土地利用类型图。如有条件获得国土二调土地利用类型数据，也可以结合起来进行土壤类型可能改变区域地块的提取。

筛选方法：首先，把国土三调土地利用类型图和土壤二普土壤图进行空间叠加分析，利用 GIS 软件提取符合要求的地块，再进行人工筛选优化地块边界，形成土壤类型可能变更的地块分布图。筛选操作流程包括地块初筛、地块归并、图斑筛选、信息提取 4 个步骤，通过 GIS 软件实现。图 3 显示了水改旱地块的筛选操作流程。

(1) 水改旱和旱改水的地块筛选。即土壤二普土壤图上土壤类型为水稻土，国土三调土地利用类型图上土地利用方式为旱地、园地、林地、草地的地块。旱改水地块，即土壤二普土壤图上土壤类型为非水稻土，国土三调土地利用类型图上土地利用方式为水田的地块。当国土三调土地利用图斑与土壤二普土壤图重叠比例超过 50%，按照整图斑提取。将集中连片的相邻图斑做归并处理；对于边界之间存在沟渠路等要素但距离小于 10 m 的图斑，使用 GIS 聚合面功能进行归并，勾绘出符合要求的地块边界。然后，通过人工筛选方式对归并后面积大于 50 亩的地类为旱地、果园、茶园、林地、草地等的图斑提取出来。

(2) 复垦等新增耕地的地块筛选。根据 2000 年以后新增耕地分布，将集中连片的相邻图斑做归并处理，对边界之间存在沟渠路等要素但距离小于 10 m 的图斑，通过 GIS 聚合面功能归并，勾

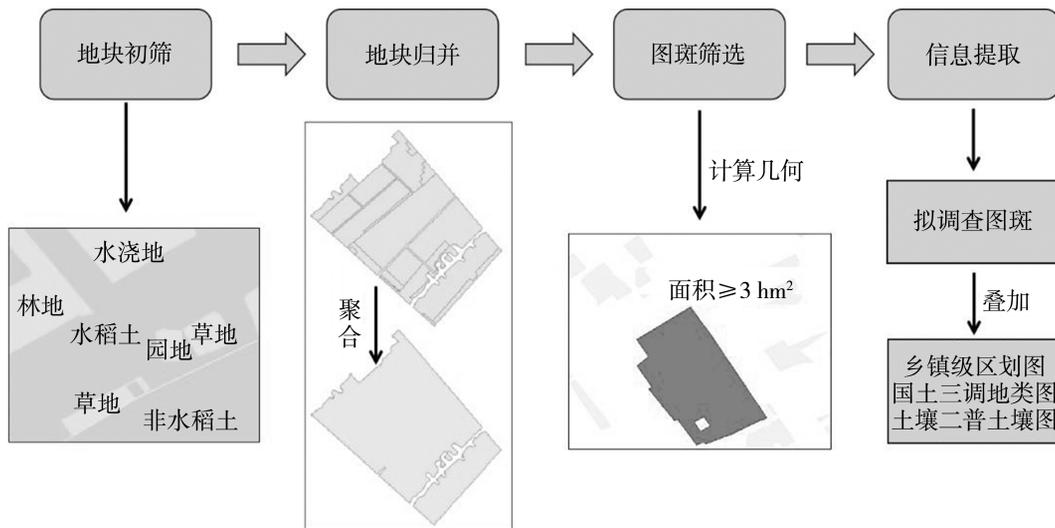


图3 水改旱地块的筛选操作流程

绘出符合要求的地块外边界，再通过人工筛选方式对归并后面积大于50亩的地块，作为新增耕地地块。

(3) 脱盐、潜育土壤、沿海滩涂的地块筛选。提取土壤二普土壤图上土壤类型为轻度、中度和重度盐土，国土三调土地利用类型图上土地利用方式为耕地的地块，提取土壤二普土壤图上潜育土壤类型图斑，提取出国土三调土地利用类型图上连片面积在100亩以上的为沿海滩涂的地块。进行地块归并，在归并后地块中提取连片面积在100亩以上的地块，作为脱盐地块、潜育土壤地块和沿海滩涂地块。

对上述筛选出的地块编号，地块原则上不跨乡镇。将地块分别与行政区划、土地利用现状、土壤二普土壤图叠加，提取地块编号、乡镇名称、建制村名称、图斑编号、地类名称、土壤类型、面积等信息，用于对筛选出的地块进行变更年限和种植作物等关键信息调查。

4.1.2.3 获取区域地块的关键信息

根据筛选得到的地块分布图，在样点校核阶段，对各类地块图斑的变更年限、种植作物、产量、施肥情况等信息进行现场调查，变更年限分为5个时间段，即1~4年、5~9年、10~14年、15~19年、20年及以上。将地块图斑数据转化为KML格式数据，导入手持终端遥感地图上或奥维地图，现场调查时导航前往图斑所在位置，在乡镇村组农技人员配合下，进行地块变更信息核查与获取。

4.1.3 土壤二普土壤图野外校核

土壤二普土壤图野外校核的目的：一是对土壤类型可能改变的地块图斑进行土壤类型的野外判别确定，二是对室内粗校检查中不确定、有疑问的图斑类型和土壤边界进行野外核查，三是对粗略定位的土壤二普土壤剖面点的土壤类型进行野外确认，四是让制图者能够从县域全局上理解把握土壤类型与成土环境关系，同时通过打土钻或专家经验的方式快速拾取能代表土壤类型变异全局的检查点。

野外校核队伍中要求有土壤调查分类、土壤制图专家和熟悉当地土壤的专家。

野外校核思路：依托代表性路线，在图斑中心设置检查点，主要对图斑土壤类型进行校核。

需要准备的工具包括土钻、橡皮锤、锹、刀具、试剂、野外速测设备、相机等，需要准备的资料包括县土种志、经校准的土壤二普土壤图、野外路线校核检查点记录表（图4）。

具体方法：根据具体县域的土壤景观空间分异特点，设计至少3条贯穿全域的代表性路线，依托这些路线开展校核，路线要覆盖土壤类型可能改变的区域，穿过各类可能改变区（例如水改旱、旱改水、新增耕地、脱盐区等）的代表性图斑（例如，水田改菜园+变更时长10~14年）中心、室内校核有疑问的图斑、土壤二普土壤剖面点所在区域。沿路线设置系列检查点（图斑中心）。通过打钻或专家经验现场判别土种类型，GPS记录检查点的经纬度坐标、景观部位和土壤利用情况等信息。

通过土壤图野外路线校核工作，核实了土地利用更等地块图斑的土壤类型变化情况，核实了室内粗校中有疑问的图斑土壤类型和图斑边界，野外确认了坐标定义后土壤二普土壤剖面点的土壤类型（如有），拾取了代表县域全局土壤类型与成土环境关系的检查点，这些检查点可用于土壤类型建模制图。

编号	经度/ (°E)	纬度/ (°N)	村镇名	地类	编号	经度/ (°E)	纬度/ (°N)	村镇名	地类
CO1	121.114 669	31.561 037	太仓 塘桥村	水田-林地	CN01	121.138 494	31.648 054	太仓 时思村	水田
二普土壤类型	水稻土_渗育水稻土_ 砂夹垅_砂夹垅土				二普土壤类型	水稻土_渗育型水稻土_ 砂夹垅_砂夹垅土			
二普土种名	省级修订土种名		图斑面积/ hm ²		二普土种名	省级修订土种名		图斑面积/ hm ²	
砂夹垅土	潮灰土		37.55		垅泥土	垅泥土		27.45	
室内初步预测土种：（夹砂土）					室内初步预测土种：（垅泥土）				
土钻点 经度/ (°E)	土钻点 纬度/ (°N)	实际地类变化模式			土钻点 经度/ (°E)	土钻点 纬度/ (°N)	实际地类模式		
调查日期		校核专家			调查日期		校核专家		
野外土种校核结果：					野外土种校核结果：				
备注：					备注：				

图4 土地利用变更区（左）和未变更区（右）检查点的校核

4.1.4 土壤类型推测制图

4.1.4.1 拾取土壤类型典型虚点

在土壤类型没有改变的区，若剖面调查样点和检查点数量少分布局限，建模样点不足时，可以从土壤二普土壤图上拾取土壤类型典型点（虚点，非实际调查观测点）作为补充性样本点。生成土壤类型典型虚点的方法有两个。

方法一：熟悉县域土壤景观的调查专家，结合土壤二普土壤图和高分遥感影像等，直接在影像图上标出某土种的典型位置点位，作为该土种的典型虚点，典型虚点数量可以多个。

方法二：对土壤二普土壤图上每个土种的所有图斑区域进行关键成土因素变量（如高程、坡度、母质等）的数据频率分布分析，得到每个关键环境协同变量的典型数值区间，映射到地理空间，得到每个环境协同变量的典型区域分布范围图层，空间求交，得到该土种的典型环境条件分布区或多个斑块，提取斑块中心点位置作为该土种的典型虚点。

4.1.4.2 准备环境协同变量

成土环境变量是土壤推测制图的抓手。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40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、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。另外，可以对表层

调查样点进行简单空间插值后生成表层关键土壤属性图层（如土壤有机质含量、质地、pH、碳酸钙含量等）作为协同变量使用。注意：在准备环境协同变量方面，一定要结合地方土壤分布与成土因素的发生关系，挖掘利用有效的地域性的环境协同变量。

4.1.4.3 土壤类型建模制图

基于土壤样点和成土环境变量数据，建立土壤类型与环境条件的定量模型，进行土壤类型空间推测，识别各土种在县域内的空间分布及土种之间的边界。土壤样点主要包括土壤三普剖面样点、土壤二普土壤剖面点、土壤二普土壤图野外校核检查点、土壤类型典型虚点。

土壤类型制图推荐采用随机森林模型，随机森林可理解为由多个分类决策树组成的模型，亦可选择使用相似推测模型。使用提供的 R 代码（熟悉代码人员）或界面化易操作的软件工具（不熟悉代码人员），建立随机森林模型，确定模型参数，生成栅格格式的县域土种空间分布图和不确定性分布图。

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，得到土种类型图斑图，根据最小上图图斑面积，把小于最小图斑面积的图斑合并到相邻图斑或多个小图斑合并为一个较大图斑，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），生成基于土壤推测制图的土种分布图和不确定性分布图。

4.1.5 形成土壤三普土壤图

(1) 通过上述土壤图野外路线校核工作，获得了土壤类型改变区代表性图斑的土壤类型变化情况，经过归纳整理，形成县域内土地利用变更等原因导致土壤类型变化的知识规则，根据这些知识规则对土壤类型改变区进行图斑类型和边界更新。

(2) 通过上述土壤类型推测制图，得到土种分布图及其不确定性分布图。依据推测制图精度和不确定性，选出土壤推测制图结果中不确定性较小（即推测较为可信）的图斑，在 GIS 软件中空间叠加在经室内校核的土壤二普土壤图上。若与土壤二普土壤图图斑的土壤类型或边界不一致，结合专家研判，对土壤二普土壤图上相应图斑进行修改和替换，完成土壤类型未改变区的制图更新。

(3) 将土壤类型改变区更新图斑与土壤类型未改变区更新图斑在 GIS 软件工具中进行合并和融合，生成土壤三普土壤类型图。

原则上，1:5 万县级土壤图的最小上图单元控制在图上 0.5 cm²，实地面积 12.5 hm²（187.5 亩），注意具体执行中要考虑区域土壤景观实际灵活处理。例如，我国西南的云贵川渝地区多为丘陵山地，耕地多呈不连续小片分散分布在河谷地带，最小上图单元面积可以更小。

4.2 无土种图的做法

4.2.1 基本思路

在缺失县级土种图时，采用数字土壤调查制图技术，建立土种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。

可用于制图建模的样点包括两个方面。

(1) 本县域：本次剖面调查点、土壤类型未变化区域的土壤二普土壤剖面点、土壤类型典型虚点。

(2) 土壤景观相似的邻近县域：本次剖面调查点、检查点、土壤类型未变化区域的土壤二普土壤剖面点和土壤类型典型虚点。

4.2.2 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的发生关系，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 40 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) 准备土壤样点，包括本县域和邻近县域的剖面调查样点、检查点、土壤类型未变化区域的土壤二普土壤剖面点和土壤类型典型虚点。

(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随机森林分类模型或相似推测模型；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) 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）。最终生成的土种分布图，原则上最小上图单元控制在图上 0.5 cm^2 ，实地面积 12.5 hm^2 （187.5 亩），具体执行中要考虑区域土壤景观实际灵活处理。例如，我国西南的云贵川渝地区多为丘陵山地，耕地多呈不连续小片分散分布在河谷地带，最小上图单元面积可以更小。

5 地市级土壤类型制图

采用制图综合技术，对县级土种分布图进行制图综合，生成地市级土种分布图。

制图综合要遵循以下原则：一是各图斑中的制图单元要正确反映实地的土壤类型和组合土壤类型；二是图斑结构、形状和组合要正确反映土壤分布规律和区域分布特点；三是保持各类土壤面积的对比关系和图形特征。制图综合方法主要包括内容综合、图斑取舍、图斑合并、轮廓简化和成分组合等，使用 GIS 软件工具操作实现。

基本技术流程如图 5 所示。

主要步骤如下。

(1) 据地市级土种志和土壤图等资料，了解自然地理概况和农业耕作历史与现状，认真研究土壤类型及其特征，研究各种土壤类型形成与地貌、地质、植被和农业生产利用的关系，了解制图区域土壤空间分布特点。

(2) 使用 GIS 软件镶嵌工具 Mosaic to New Raster，将一个地级市内所有新生成的县级土种图栅格图层合并为一个图层，数据文件使用 GeoTIFF 格式。

(3) 使用重采样工具 Resample，采用 Majority 算法，将该地市土种分布栅格图层从 30 m 重采样为 90 m 分辨率。

(4) 采用 3×3 平滑窗口对土种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，以突出土壤类型变异规律，净化图面，增强易读性。

(5) 使用矢栅转换工具 Raster to Polygon，将平滑之后的土种栅格图层转为多边形矢量图层，矢量图层文件用 shapefile 格式；再使用平滑工具 Simplify Polygon、Smooth Polygon、Simplify Line 等，对图斑边界线简化平滑处理，消除矢量化产生的细碎图斑（与邻近面积大的图斑合并），原则上最小上图单元控制在图上 0.4 cm^2 ，实地面积 252 hm^2 （3 780 亩）。

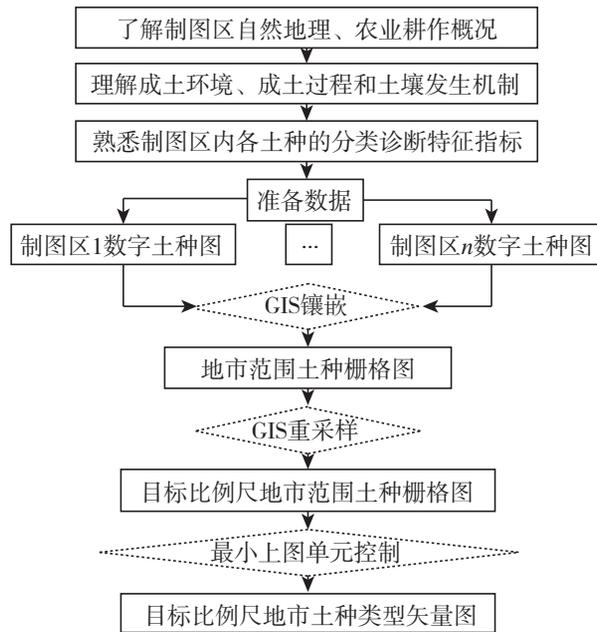


图5 地市级土种制图基本技术流程

6 省级土壤类型制图

省级土壤类型制图分别编制基于中国土壤发生分类的省级土属分布图和基于中国土壤系统分类的省级土族分布图。采用制图综合技术，对地市级土属分布图进行制图综合，生成省级土属分布图；采用数字土壤制图技术，使用省域内本次剖面调查点、检查点、土壤类型未改变区的土壤二普土壤剖面点和土壤类型典型点（虚点）数据，结合成土环境因素数据，建立土族类型与成土环境因素之间的定量关系，生成省级土族分布图。

6.1 土壤发生分类土属制图

对地市级土种分布图进行制图综合，生成省级土属图。

制图综合要遵循以下原则：一是各图斑中的制图单元要正确反映实地的土壤类型和组合土壤类型；二是图斑结构、形状和组合要正确反映土壤分布规律和区域分布特点；三是保持各类土壤面积的对比关系和图形特征。制图综合方法主要包括内容综合、图斑取舍、图斑合并、轮廓简化和成分组合等，使用 GIS 软件工具操作实现。

基本技术流程如图 6 所示。

主要步骤如下。

(1) 据省土种志和土壤图等资料，了解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) 使用 GIS 软件镶嵌工具 Mosaic to New Raster，将一个省域内所有地市级土种图栅格图层合并为一个图层，数据文件使用 GeoTIFF 格式。

(3) 使用重分类工具 Reclassify，将同一个土属的所有土种合并为一类，赋值为该土属的编号，生成该省（区、市）土属空间分布栅格图层。

(4) 使用重采样工具 Resample，采用 Majority 算法，将该省（区、市）土种分布栅格图层从 90 m 重采样为 250 m 分辨率。

(5) 采用 3×3 平滑窗口对土属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

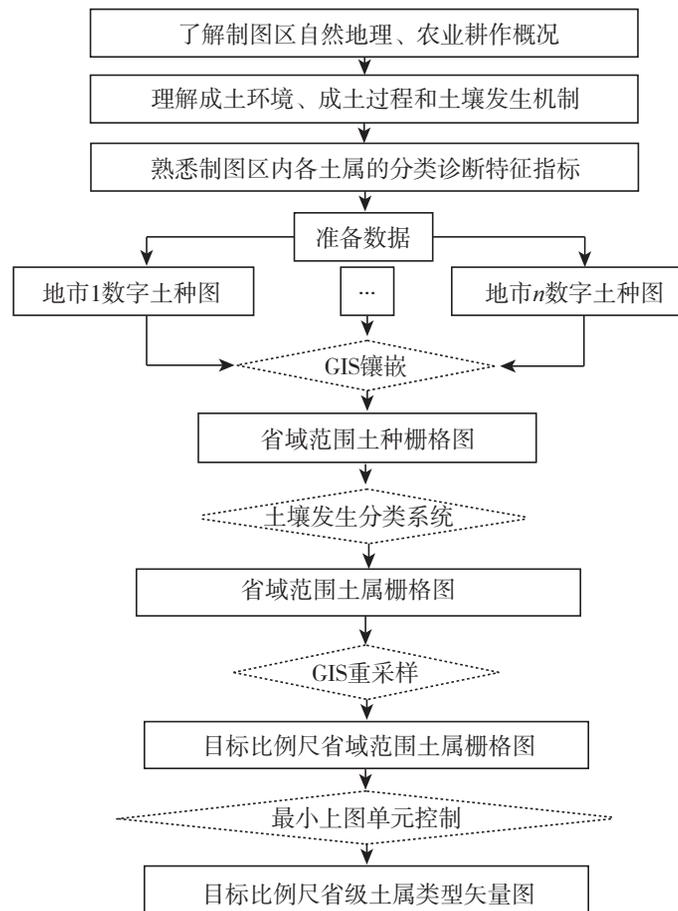


图6 省级土属制图基本技术流程

积微小的、无意义的独立像元或多个聚合像元，以突出土壤类型变异规律，净化图面，增强易读性。

(6) 使用矢栅转换工具 Raster to Polygon，将平滑之后的土属栅格图层转为多边形矢量图层，矢量图层文件用 shapefile 格式；再使用平滑工具 Simplify Polygon、Smooth Polygon、Simplify Line 等，对图斑边界线简化平滑处理，消除矢量化产生的细碎图斑（与邻近面积大的图斑合并），原则上最小上图单元控制在图上 0.2 cm^2 ，实地面积 500 hm^2 （7 500 亩）。

6.2 土壤系统分类土族制图

在省级，土壤系统分类的土族制图的主要步骤如下。

(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：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 40 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、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、检查点、土壤类型未变化区域的土壤二普土壤剖面点和土壤类型典型虚点。

(4) 建立推测模型。使用提供的 R 代码（熟悉代码人员）或界面化易操作的软件工具（不熟悉代码人员），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随机森林模型或相似推测模型，确定模型参数。

(5) 进行推测制图。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，估算每个像元推测结果的不确定性指数，生成土族分布图和不确定性分布图，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，原则上最小上图单元控制在图上 0.2 cm^2 ，实地面积 500 hm^2 （7 500 亩）。

7 国家级土壤类型制图

国家级土壤类型制图分别编制基于中国土壤发生分类的全国土壤亚类分布图和基于中国土壤系统分类的全国土壤亚类分布图。采用制图综合技术，对省级土属分布图进行制图综合生成土壤发生分类全国土壤亚类分布图，对省级土族分布图进行制图综合生成土壤系统分类全国土壤亚类分布图。

7.1 土壤发生分类亚类制图

对省级土属分布图进行制图综合，生成土壤发生分类的全国土壤亚类图。

制图综合要遵循以下原则：一是各图斑中的制图单元要正确反映实地的土壤类型和组合土壤类型；二是图斑结构、形状和组合要正确反映土壤分布规律和区域分布特点；三是保持各类土壤面积的对比关系和图形特征。制图综合方法主要包括内容综合、图斑取舍、图斑合并、轮廓简化和成分组合等，使用GIS软件工具操作实现。

基本技术流程如图7所示。

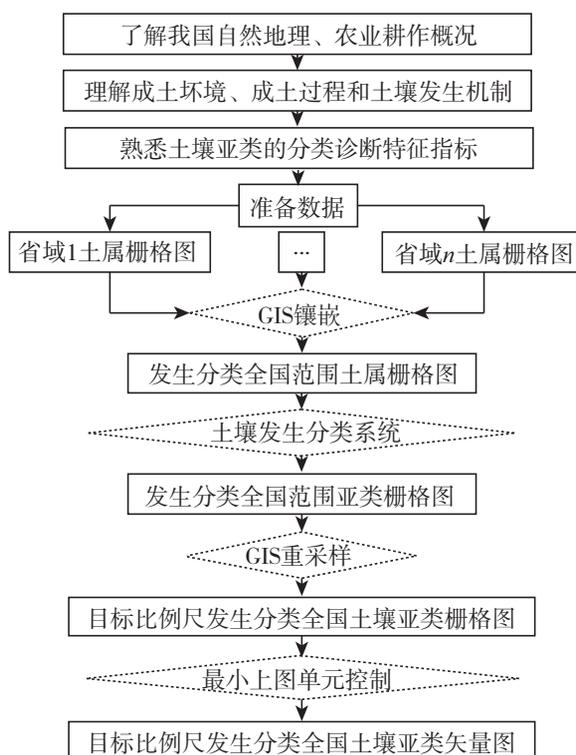


图7 土壤发生分类亚类制图基本流程

主要步骤如下。

(1) 根据《中国土壤》《中国土壤地理》等资料，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) 用 GIS 软件镶嵌工具 Mosaic to New Raster，将所有省（区、市）的省级土属图栅格图层合并为一个图层。

(3) 使用重分类工具 Reclassify，将同一个亚类的所有土属合并为一类，赋值为该亚类的编号，生成亚类分布栅格图层。

(4) 使用重采样工具 Resample 和 Majority 算法，将亚类栅格图层从 250 m 重采样为 1 000 m 分辨率。

(5) 采用 3×3 平滑窗口对亚类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，以突出土壤亚类变异规律，净化图面，增强易读性。

(6) 使用矢栅转换工具 Raster to Polygon，将平滑之后的亚类栅格图层转为多边形矢量图层，采用 shapefile 数据格式；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处理，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），原则上最小上图单元控制在图上 0.2 cm²，实地面积 2 000 hm²（30 000 亩）。

7.2 土壤系统分类亚类制图

对数字土壤制图生成的省级土族分布图进行制图综合，生成土壤系统分类的全国土壤亚类分布图，技术流程如图 8 所示。

主要步骤如下。

(1) 根据《中国土壤》《中国土壤地理》等资料，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的发生关系，熟悉土壤亚类的分类诊断特征指标。

(2) 用 GIS 软件镶嵌工具 Mosaic to New Raster，将所有省份的省级土属图栅格图层合并为一个图层，数据文件采用 GeoTIFF 格式。

(3) 使用重分类工具 Reclassify，将同一个亚类的所有土属合并为一类，赋值为该亚类的编号，生成亚类分布栅格图层。

(4) 使用重采样工具 Resample 和 Majority 算法，将亚类栅格图层从 250 m 重采样为 1 000 m 分辨率。

(5) 采用 3×3 平滑窗口对亚类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，以突出土壤亚类变异规律，净化图面，增强易读性。

(6) 使用矢栅转换工具 Raster to Polygon，将平滑之后的亚类栅格图层转为多边形矢量图层，用 shapefile 数据格式；再使用平滑工具 Simplify Polygon、Smooth Polygon、Simplify Line 等，对多边形图斑边界线进行简化与平滑处理，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），原则上最小上图单元控制在图上 0.2 cm²，实地面积 2 000 hm²（30 000 亩）。

8 图件设计制作

图件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，形成风格一致的土壤类型专题图集。

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。其他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。

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，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。

8.1 基础地理要素

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

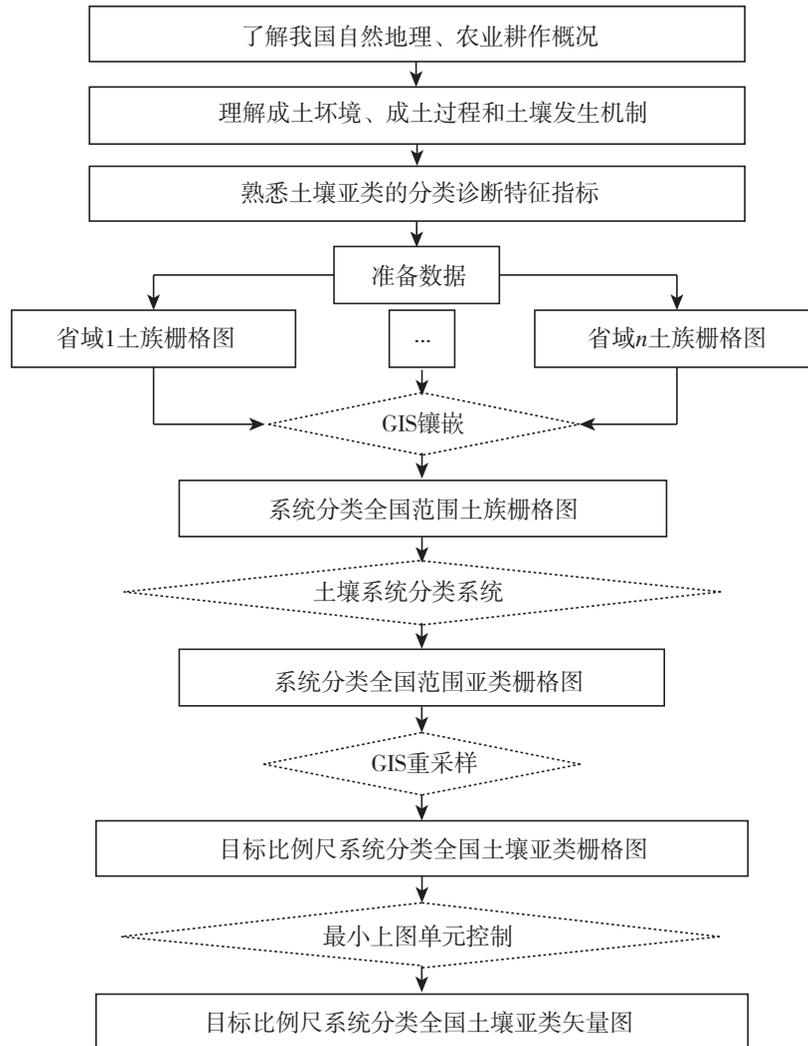


图8 土壤系统分类亚类制图基本流程

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。基础地理要素包括地形、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。公共地理信息通用地图符号等参照相应国家标准制作。

8.1.1 地形

1:5万县级土壤图，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。1:50万省级土壤图和1:100万国家土壤图上，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《基础地理信息 1:10 000地形要素数据规范》（GB/T 33462—2016）进行要素规范化。

8.1.2 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。湖泊、水库、水渠应尽可能在土壤图上标识。在1:50万省级土壤图上，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1:100万国家土壤图上，应表示大型流域水系的干流和二级支流。

8.1.3 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。

8.1.4 道路

1:5万县级土壤图上，应表示全部道路；在1:50万省级土壤图和1:100万国家土壤图上，应表示全部铁路和主要公路。

8.1.5 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。

8.2 制图单元

土壤图中土壤类型由界线表示，土壤类型制图单元，表示图斑内容的单位，亦称上图单元，以土壤分类系统的各级分类单元为基础。土壤制图单元按内容分为土壤单元图斑和土壤复合图斑，土壤单元图斑由一种土壤分类单元构成，土壤复合图斑由两种或两种以上土壤分类单元构成。

非土壤制图单元由非土壤形成物组成的土壤图斑内容，如建成区、冰川、雪被、盐壳、盐积平原等特殊土地单元。制图符号按国家基本比例尺地图图式国家标准 GB/T 20257.1—2017、GB/T 20257.2—2017、GB/T 20257.3—2017、GB/T 20257.4—2017 进行符号化。

8.3 色标使用原则

土壤类型图色彩设计的原则如下。

(1) 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。用色调之间的差异表现高级土壤类型分布差异；基层土壤分类单元按照面积大小，由深至浅分配色调下的色标。

(2) 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。

(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，在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，应适当调整，达到和谐美观的效果。按照国标《土壤制图 1:25 000 1:50 000 1:100 000 中国土壤图用色和图例规范》(GB/T36501—2018) 进行规范化。

8.4 注记

8.4.1 注记内容

(1) 土壤类型标记根据图幅内容，按照分类层次进行标记。高级分类单元标记土壤类型按照对应分类系统检索表进行标注。基层分类单元按照各制图区域亚类编号后用顺序号续编。县级土壤土标记不宜跨越4个及以上分类层级，对过于复杂分类层次的标记，可根据分类层级按照编码顺序号。顺序号可采用罗马数据、阿拉伯数字和小写字母分别标记，用下划线分割，并在图例中对顺序号进行说明。对于图斑较小，采用引线标记；面积分布范围过大的制图单元，可以进行多次标记。

(2) 建成区所在市（地）、县（区）、乡（镇）政府驻地名称。

(3) 铁路站场、民用机场、港口码头、公路与铁路（及其不同方向的通达地名）名称。

(4) 重大水利设施名称。

(5) 河流、湖泊、水库、干渠、海域的名称。

(6) 国家公园、自然保护区、自然公园的名称。

(7) 其他重要地物名称。

8.4.2 注记文字

同一图形文件内注记文字种类以不超过4种为宜，汉字应使用简化字，按国务院颁布的有关标准执行。同类型注记的字体、大小应保持一致。底图要素中的注记文字宜以灰色、白色为主，并与必选要素、可选要素的注记文字在颜色、大小等方面有明显区别。

(1) 汉字：优先采用宋体，可选用黑体、楷体、仿宋、隶书。

(2) 英文和数字：优先采用 Times New Roman，可选用 Arial Black。

8.4.3 注记字向

居民点名称、自然地理要素名称、说明注记及字母、数字注记，字向一般为正向，字头朝北图廓。

8.4.4 注记排列

按照实际情况分别采用水平字列、垂直字列、雁行字列和屈曲字列。

(1) 水平字列：由左至右，个字中心的连线成一直线，且平行于南图廓。

(2) 垂直字列：由上至下，个字中心的连线成一直线，且垂直于南图廓。

(3) 雁行字列：各字中心的连线成一直线，且斜交于南图廓。当与南图廓成 45° 和 45° 以下倾斜时，由左至右注记；成 45° 以上倾斜时，由上至下注记。

(4) 屈曲字列：各字侧边垂直或平行于线状地物，依线状的弯曲排成字列。

8.5 图例制作

不同比例尺，图例内容不同。1:5万县级土壤图，要用土壤类型代码、分类名称、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。1:50万省级土壤图和1:100万国家土壤图，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。

8.6 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。

9 验证评价与质量控制

9.1 验证评价

9.1.1 县级土壤图验证评价

第三方土壤调查专家（要求：未参与验证区域的制图工作），采用野外路线踏勘验证方法，对县级土壤图制图结果，在土种级别上，进行精度验证。主要步骤如下。

(1) 根据制图区域土壤景观分异特点，设计3条野外踏勘路线（可以是S形或Z形的曲线），要求路线纵贯全域，沿路线土壤景观有明显梯度变化。

(2) 从每条路线穿过的土壤图斑中随机选取 10 个图斑，3 条路线一共选出 30 个图斑。

(3) 将选取的验证图斑显示在手持终端的卫星影像或奥维地图影像上，到达图斑内之后在图斑内开车或走走观察，结合影像信息，先识别图斑内主要景观环境；然后在典型景观部位，通过打土钻专家判别土壤类型，该土壤类型视为图斑的主要土壤类型；若与制图结果的土壤类型相同，认为该图斑的制图结果是正确的。

(4) 计算制图正确的验证图斑数量与验证图斑总数量（30）的比值，即是县级土壤图制图的准确度。例如，30 个验证图斑中，有 25 个图斑主要土壤类型是制图结果的土壤类型，那么县级土壤图的准确度就认为是 83%。

同时，采用会议评审或通讯评审方式，邀请土壤地理与土壤制图领域的专家（至少包括 1 名县级土壤专家），从土壤类型正确性、土壤边界表达、县域土壤分布规律特点体现程度等多个方面，对县级土壤图编制质量进行打分评价。

此外，对于无土壤二普县级土壤图的制图结果，除了野外路线踏勘验证之外，增加基于样点的交叉验证，由编制该土壤图的制图专家操作。样点包括本次剖面调查样点、经过校核的土壤二普土壤剖面样点等用于县级土壤制图的样点。当样点数量较少时（ ≤ 50 ），采用留一交叉验证方法；当样点数量较多时（ > 50 ），采用 10 折交叉验证方法。根据样点位置上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。

9.1.2 地市级土壤图验证评价

第三方土壤调查专家，基于地级市内所有县域的县级野外路线踏勘验证图斑，在土种级别上，对地市级土壤图进行精度验证评价。计算制图正确的验证图斑数量与验证图斑总数量的比值，即是地市级土壤图制图的准确度。

同时，采用会议评审或通讯评审方式，邀请土壤地理与土壤制图领域的专家（至少包括 1 名地市级土壤专家），从土壤类型正确性、土壤边界表达、地市土壤分布规律特点体现程度等多个方面，对地市级土壤图编制质量进行打分评价。

9.1.3 省级土壤图验证评价

第三方土壤调查专家，从省域内所有县级野外路线踏勘验证图斑中随机选取 1/3 数量的图斑，从中去掉由于制图综合过程中图斑归并操作改变了土属或土族名称的图斑，剩下的图斑作为省级土壤图的精度验证图斑。基于这些验证图斑，在土属级别上对发生分类的省级土属图进行精度验证，在土族级别上对系统分类的省级土族图进行精度验证。

同时，采用会议评审或通讯评审方式，邀请土壤地理与土壤制图领域的专家（至少包括 1 名省级土壤专家），从土壤类型正确性、土壤边界表达、省域土壤分布规律特点体现程度等多个方面，对省级土壤图编制质量进行打分评价。

此外，对于主要通过数字制图生成的土壤系统分类省级土族图，除了上述两种评价方式之外，增加采用 10 折交叉验证方法评估制图精度，由编制该土壤图的制图专家操作。

9.1.4 全国土壤图验证评价

第三方土壤调查专家，从全国范围内所有县级野外路线踏勘验证图斑中随机选取 1/10 数量的图斑，从中去掉由于制图综合过程中图斑归并操作改变了亚类名称的图斑，剩下的图斑作为全国土壤图的精度验证图斑。基于这些验证图斑，在亚类级别上分别对发生分类和系统分类的全国土壤亚类图进行精度验证。

同时，采用会议评审或通讯评审方式，邀请土壤地理与土壤制图领域的专家，从土壤类型正确性、土壤边界表达、我国土壤分布规律特点体现程度等多个方面，对全国土壤图编制质量进行打分评价。

9.2 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、对制图区土壤时空变异的认识水平、土壤景观特点、样点数量与分布、环境变量、模型算法、空间尺度等。贯彻土壤类型图编制全程质量

控制的原则，发现不符合质量要求的一律返工。采用多层检查验收制度进行质量控制。

第一层，省级制图人员自检。制图人员须详细记录整个制图过程中所有环节工作，对各环节处理是否符合技术规程规范的原则和要求进行随时自我检查，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，全国土壤普查办和各省级土壤普查办均须组织相关专家对土壤类型图编制工作进行抽查性监督检查和指导，并提交监督检查报告。主要检查项目见表6。

第三层，各省级土壤普查办组织对本省（区、市）的县级、地市级和省级土壤图编制成果的审查验收，检查土壤图编制成果是否达到质量要求。验收专家须包含1/3来自省外的国家级土壤调查与制图专家，审查验收工作须在全国土壤普查办参与和监督下完成。审查验收合格，才能签字通过。原则上，野外路线踏勘验证准确度，90%以上为通过，80%以上为基本通过，低于80%为修改后再评审；土壤地理专家综合质量打分，90分以上为通过，80分以上为基本通过，低于80分为修改后再评审。

对于制图准确度较差、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。

表6 土壤类型图编制质量检查项

序号	质量检查项	检查内容
1	制图人员	是否省级土壤制图专业队伍；是否培训后持证上岗；对制图区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原则和要求开展工作
3	比例尺/分辨率	土壤类型图编制成果的比例尺和分辨率是否符合技术规范的原则和要求
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	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，是否正确反映制图区土壤空间分布规律和特点
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	土壤图斑检查	最小上图单元面积是否符合比例尺原则要求，以及图斑聚合效果和图斑边界简化与平滑
8	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
9	制图结果验证	制图结果验证方法是否符合规范要求，路线设计与验证图斑选取是否合理，验证准确度是否达到质控要求
10	土壤边界偏差	土壤边界是否有明显偏差，不同图幅之间土壤图斑是否无缝拼接
11	图件制作	图件各项内容的设计与表达是否统一、符合规范，是否具有科学性和实用性

参考文献

- 龚子同, 2014. 中国土壤地理 [M]. 北京: 科学出版社.
中国科学院南京土壤研究所, 1978. 中国土壤 [M]. 北京: 科学出版社.

附录 1 土壤图编制技术报告提纲

××县/区/市土壤图编制 技术报告提纲

××县/区/市第三次全国土壤普查办公室
2023 年××月××日

第一章 土壤图编制背景

- 1.1 以往土壤调查制图工作回顾
- 1.2 传统与数字土壤制图方法
- 1.3 第三次全国土壤普查背景
- 1.4 土壤类型图编制总体思路
- 1.5 本报告的编制目的与内容

第二章 成土环境与土壤类型简述

- 2.1 成土环境
- 2.2 土壤类型

第三章 土壤图编制总体方案

土壤三普土壤图编制方案

第四章 基础数据的收集与制备

- 4.1 成土环境因子数据
- 4.2 已有传统土壤图
- 4.3 辅助土壤制图数据
- 4.4 土壤类型数据

第五章 土壤二普土壤图室内校核

- 5.1 图斑土壤类型的校核
- 5.2 图斑边界的校核

第六章 土壤类型改变区提取与专家预判

- 6.1 引起土壤类型改变的主要情形
- 6.2 筛选土壤类型改变区地块
- 6.3 专家预判提取地块的土壤类型

第七章 土壤二普土壤图野外校核

- 7.1 校核方案的设计
- 7.2 野外校核的实施
- 7.3 土壤类型改变区制图更新

第八章 土壤类型数字推测制图

- 8.1 典型虚点的拾取
- 8.2 土壤景观模型构建与推测
- 8.3 土壤类型未改变区制图更新

第九章 更新后土壤图的验证评价及分析

- 9.1 土壤三普土壤图的验证与评价
- 9.2 土壤三普土壤图土壤类型分布特征
- 9.3 土壤三普与土壤二普土壤图的比较分析

第十章 技术总结与验收意见

- 10.1 技术总结
- 10.2 验收意见

附录 2 土壤图编制成果汇交清单

××县/区/市土壤图编制 成果汇交清单

1 图片成果

土壤三普土壤图：tif 格式，要求 DPI 大于 300，原则要求成图比例尺为 1：5 万、上图单元到土种。面积超过 4 000 km²的县可依据面积大小制作 1：10 万~1：20 万土壤类型纸质图。

2 数据成果

以 GDB 格式存储（或者 shapfile）。

2.1 基础地理数据

包括行政区、居民点、道路、水系等矢量数据。

2.2 历史土壤调查数据

土壤二普县级土种志剖面样点矢量数据、原土壤二普县级土壤图矢量数据、分类校准更新后的土壤二普县级土壤图矢量数据

2.3 成土环境数据

包括母岩母质栅格数据、地形地貌（DEM，分辨率 ≥ 30 m 及其派生的地形指数）等栅格数据、土地利用、土地整理、植被、水文状况、多源遥感影像数据等用于土壤制图更新的矢量或栅格数据。

2.4 关键过程数据

- (1) 土壤二普土壤图室内校核前后图斑。
- (2) 重新定义坐标的土壤二普土壤剖面样点的土壤类型野外校核结果。
- (3) 土壤类型改变区各类地块提取结果。

2.5 土壤图野外校核成果

土壤图野外校核路线矢量图、土壤类型改变区土壤类型转换规则、土壤图室内校核有疑图斑的校核结果、土壤图野外校核检查点坐标和土壤类型数据、野外路线校核工作照片。

2.6 土壤三普土壤类型成果图

(1) 矢量土壤类型图。应包含以下字段：图斑 ID、县名（XM）、乡镇名（XZM）、面积（MJ）分类校准后原土壤二普土类（YTL）、分类校准后原土壤二普亚类（YYL）、分类校准后原土壤二普土属（YTS）、分类校准后原土壤二普土种（YTZ）、土壤三普土类（TL）、土壤三普土壤亚类

(YL)、土壤三普土属 (TS)、土壤三普土种 (TZ)。

(2) 最终成果图层 layout 包，包括行政边界图层、省道、国道图层、水系图层、土壤二普县级土种志剖面样点图层、土壤三普剖面点图层。

(3) 预测结果不确定性图。

3 文本成果

土壤类型图编制技术报告。

4 成果提交

成果以压缩文件 rar 或者 zip 格式提交，文件夹包括图片成果 (TPCG)、数据成果 (SJCG) 及文本成果 (WBCG)。

命名方式：××省+××市+××县+“土壤三普土壤类型成果”。

第三次全国土壤普查土壤属性 图与专题图编制技术规范

(修订版)

执笔人：徐爱国 卢昌艾 史舟 黄元仿 朱阿兴
李文西 张海涛 陈守伦 吴克宁 裴久渤
叶回春 李兆富 盛建东 赵小敏 张世文
刘京

国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室
2023年2月

目 次

1 适用范围	371
2 制图对象和目的	371
3 制图原则与主要方法	371
3.1 数字土壤制图的原则	371
3.2 数字土壤制图的主要方法	372
4 制图数据准备及要求	372
4.1 土壤制图的数据、基础资料	372
4.2 样点数据整理及处理	372
4.3 环境变量制备及质量检测	373
5 制图思路	375
5.1 土壤属性制图	375
5.2 土壤专题制图	376
6 土壤属性图与专题图制图要求	376
6.1 土壤属性制图	376
6.2 土壤专题图	379
6.3 土壤属性制图相邻区处理	379
6.4 土壤制图结果的验证评价	379
6.5 土壤制图结果的面积统计	379
7 制图比例尺/分辨率与数据质量要求	379
7.1 制图比例尺（分辨率）	379
7.2 制图成果数据质量要求	380
8 专题图表达与质量要求	381
8.1 专题图编制方案设计	381
8.2 专题内容的表达	381
8.3 基础地理要素的选取和表达	381
9 制图设备与场所要求	382
附录 1 第三次全国土壤普查成果图模板	383
附录 2 数字土壤制图的理论基础与主要方法	383

1 适用范围

本规范适用于第三次全国土壤普查（以下简称“土壤三普”）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人员，以及经过数字土壤制图理论和实践学习的技术人员。

2 制图对象和目的

本规范包括土壤三普成果图中的两类图：一是土壤属性图，即土壤理化性状图，包括土壤表层质地、pH、盐碱度、有机质、土壤养分、中微量元素、重金属元素，以及有效土层厚度、0~100 cm 有机碳储量等；二是土壤专题图，包括耕地质量等级图、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。

通过数字土壤制图方法，采用统一的专题图评价指标，评价土壤质量和适宜性，掌握土壤理化性状空间分布状况和土壤质量底数；编制统一规范的普查成果图，以便指导农业生产和决策。

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，采用该方法进行土壤属性制图，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。采用训练集和验证集验证的，按照 4 : 1 的比例随机选取 20% 的样点作为验证集，比较实测值与预测值，进行独立验证；也可以采取 10% 样点交叉验证，在保证精度的同时兼顾计算效率。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。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。本规范主要采用地统计、机器学习和模糊推理方法，针对不同土壤属性，选择相应的模型制图方法。

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、回归克里格、地理加权回归克里格、协同克里格模型等，除普通克里格、泛克里格外，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，是本规范的推荐方法之一，主要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。

机器学习模型利用机器学习方法进行数据挖掘，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，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。目前随机森林模型在土壤属性制图领域应用越来越广泛，作为本规范的推荐方法之一。

上述方法有两个条件：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，其他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。

地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

土壤属性制图所需要的土壤目标变量、环境辅助变量等数据集。

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。

环境变量数据：全国第二次土壤普查的1:5万县域数字土壤图、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。

其他数据：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

有效土层厚度等剖面调查数据，需从剖面点信息中提取，作为深层属性制图样点的基础数据层。

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5倍标准差之外，且大于或是小于邻近样点均值的3倍标准差，则需对异常值进行核验后剔除。

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。

第三，检查是否存在坐标异常情况，如点位飞出行政区、点位成直线等。

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。

由于所涉及的环境协变量种类较多，会出现不同环境协变量具有不同分辨率的情况，此时应根据制图尺度综合到统一的分辨率之下。统一分辨率操作的基本原则是：①尽量从高分辨率向低分辨率综合；②尽量避免从低分辨率到高分辨率内插。

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	30 或 50
中比例尺	1 : 25 万	90
	1 : 50 万	250
小比例尺	1 : 100 万	1 000

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	1 000

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以下几点。

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，通常选择近5~10年的年降水、大于0℃或10℃积温（或太阳辐射量）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，相应方法参考气象数据的有关要求。

而在较小的空间范围内，气候因素对土壤的影响相对均一，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，通过土属或土种名称中的母质信息提取。

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（digital elevation model, DEM）栅格数据提取：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 为垂直于水流方向的汇流面积，单位为 m^2 ， β 为坡度（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：

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

式中，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。

获取植被信息的遥感影像与调查时间同年同期为最佳。考虑气象条件对高质量影像获取的影响，可选最近 5 年与调查日期相近的影像。

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。

(1) 哑变量方法。是应用比较普遍类别变量处理方式，以 0 和 1 进行赋值，表示不同的类别，方法如下：对 $n+1$ 个土地利用方式，定义 n 个哑变量（ $X_{81}, X_{82}, \dots, X_{8n}$ 。注：“8”为第 8 个环境变量），以哑变量的 0 和 1 组合表示 $n+1$ 个土地利用方式。

(2) 算术平均值变换。算术平均值变换是用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，可以将温度植被干旱指数（TVDI）作为表示土壤湿度变化的环境变量，来获取土壤湿度变化与土壤质地等土壤属性相关性，进一步来推测土壤质地等属性。

$$\text{TVDI} = \frac{T_s - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (3)$$

式中, T_s 为地表温度, T_{\max} 为 NDVI 对应的最高地表温度, 即干边:

$$T_{\max} = a + b \times \text{NDVI} \quad (4)$$

T_{\min} 为 NDVI 对应的最小地表温度, 即湿边:

$$T_{\min} = c + d \times \text{NDVI} \quad (5)$$

式中, a 、 b 、 c 、 d 分别是干边和湿边线性拟合方程的系数。 T_s 越接近干边 TVDI 越大, 表示土壤干旱情况越严重; 相反 T_s 越接近湿边, TVDI 越小, 说明土壤含水量越高。因此, TVDI 与土壤含水量的相关性, 可以反映干旱情况。TVDI 的取值为 0~1, TVDI 越大, 表明该区干旱越严重。

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。

(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。

(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 3 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

5.1.1 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, 遵循方法相对成熟、精度较优的原则, 从推荐模型中筛选。经模型精度比较后, 也可采用其他精度更高、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, 也可采用单县逐一制图。省级和国家级制图(分别为中、低比例尺), 建议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”“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

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，制作专题图

根据需评价的专题，依照国家或行业标准、规范或本领域普遍认可的研究方法，确定相关土壤属性因子及其权重，建立评价指标体系。以评价指标完成相关土壤属性制图，通过空间图层结合评价指标权重计算，确定评价单元等级，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 4 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。其他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、温度植被干旱指数等遥感相关数据。

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 及开源软件 R。普通商业 GIS 软件可进行半方差函数分析等数据检验，也可采用其他软件如 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，与国土三调成果一致。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 1954 年北京坐标系或 1980 年西安坐标系）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、积温或太阳辐射量等	
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、温度植被干旱指数（TVPI）等
地形	地形地貌	高程、坡度、坡向、曲率、地形湿度指数（TWI）、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：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (6)$$

式中， $\gamma(h)$ 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 4。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）。

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 ^①
1	平原	海拔：≤200 m 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	普通克里格、地理加权回归克里格	随机森林，反距离加权克里格
2	丘陵	海拔：>200 m，且≤500 m 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	地理加权回归克里格、随机森林	回归克里格、其他机器学习方法
3	山地	海拔：>500 m 地貌：地表形态奇特多样，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	地理加权回归克里格、随机森林	回归克里格、其他机器学习方法
4	高原	海拔：>1 000 m 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	普通克里格、地理加权回归克里格、随机森林	回归克里格、其他机器学习方法
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	地理加权回归克里格、随机森林	其他机器学习方法

注：①其他机器学习方法：分类回归树、卷积神经网络模型。

模型选用原则如下。

(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（如平原和地势平缓区的土壤含盐量）：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，备选其他机器学习方法，如径向基函数神经网络、分类回归树。

(4) 成分数据（如土壤机械/颗粒组成），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1。

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

评估所得空间分布图的精度可使用独立验证点，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（80%）用于构建预测模型，验证集（20%）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。独立验证样点数量与制图区域的面积有关，由于独立验证样点的生成或采集具有随机性，根据统计学的大数定律，独立验证样点数量应不少于50个。

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 R^2 等。其中，对一般面积大小的农业区县，表层样点数平均达1 000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。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(x_i) - \bar{Z}(x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Z(x_i) - \bar{Z}(x_i)]^2} \quad (8)$$

式中， n 为验证集中的样点个数， \hat{Z}_{x_i} 为预测值， $Z(x_i)$ 为实测值， \bar{Z}_{x_i} 为实测值的平均值。

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列入本次普查成果清单中的专题图件。指标体系由相关规范确定，本规范主要规定制图过程和方法。

在完成土壤类型和土壤属性成果图基础上，依照评价指标体系，首先提取作为评价指标的土壤属性图层数据，参照 6.1 模型的方法，或者专题图规范规定的单一指标制图方法，完成其他相关指标的属性制图；然后根据各指标权重，通过 GIS 软件，进行各属性图层数据的空间计算，获得各评价单元（或像素）的评价指数；最后依照指标体系的评价标准，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，可增加域外样点，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，对于依靠单个土壤样点对待推测点的代表性实现空间推测的制图方法，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。可根据所能承受的误差水平（ $RMSE$ 等）来选择合适的的不确定性阈值，从而满足制图精度要求。

6.5 土壤制图结果的面积统计

对成果图计算各类型的面。一般商业 GIS 软件均有此功能，即根据每个等级像素数量乘以每个像素代表的面积。

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 万~1:50 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

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 : 2 000	所有比例尺当面积为长形，其长轴为 0.2 cm (2 mm × 10 mm) 时或当面积为圆形，直径为 5 mm	80 m ²	1 cm ²	400 m ² (0.6 亩)
1 : 5 000		500 m ²	1 cm ²	2 500 m ² (3.75 亩)
1 : 1 万		0.2 hm ² (3 亩)	0.5 cm ²	0.5 hm ² (7.5 亩)
1 : 2 万		1.25 hm ² (18.75 亩)	0.5 cm ²	2 hm ² (30 亩)
1 : 5 万		5 hm ² (75 亩)	0.5 cm ²	12.5 hm ² (187.5 亩)

注：引自《中国土壤普查技术》。

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，交汇格式为栅格数据，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《第三次全国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（均方根预测误差 *RMSE*）、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《土壤科学数据元数据》（GB/T 32739—2016）的相关规定。

矢量格式制作的面状成果图，除符合（2）、（3）、（4）外，还应满足以下要求。

- (1) 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 0.000 1 m。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。
- (2) 无拓扑错误：①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 0.000 1 m，同一面层内不同面要素之间不存在缝隙，面裂隙容差为 0.000 1 m；②同一图层内不同要素间线要素不存在重叠或与自身重叠；③同一图层内线要素不存在自相交；④同一图层内线要素不存在悬挂点；⑤同一图层内线要素不存在伪节点；⑥面层内不存在不规则图斑。⑦面层内不存在碎片多边形；⑧面层内要素不允许存在组合图斑；⑨同一线层内不存在碎线（长度小于 0.2 m）；⑩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 m，或小于 1 m）；⑪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：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 万~1:50 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。1:50 万比例尺，一般采用 6°分带的高斯—克吕格投影，内蒙古等经度分带跨度大的省（区、市），可采用正轴等角割圆锥投影。

7.2.4 图分幅

图的分幅应符合《第三次全国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、坐标系、地图投影、比例尺。其他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。成果图模板见附录 1。

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。

其他专题图，颜色的选择应避免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 5 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 4 部分组成。各属性含量分级由全国土壤普查办统一制定，省级分级可在国家分级范围内，做更细划分，但不得跨级。

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/T41475—2022）制图，其他比例尺图可参照执行。对耕地质量等级、特色农产品生产区域等其他专题图，专题图例可参考上述国标自行确定，其他图面信息参照附图 1-1。

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。

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

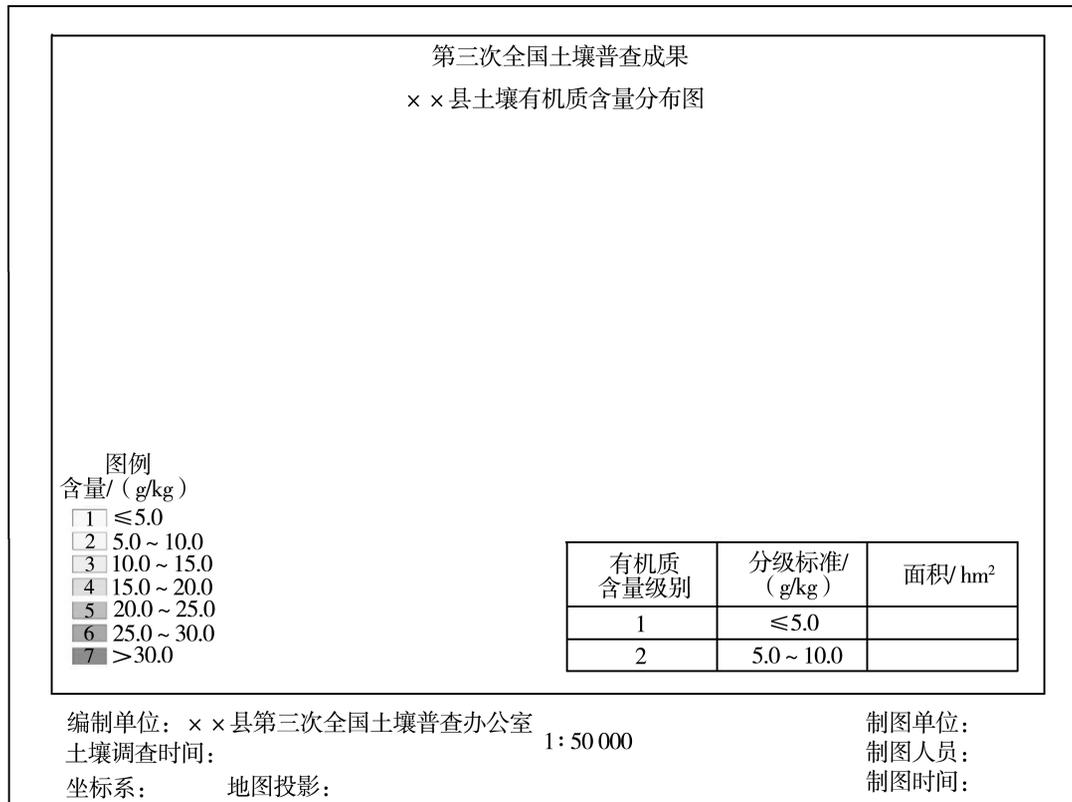
公共地理信息通用地图符号采用相应国家标准制作。

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；拆除其他拷贝接口，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 1 第三次全国土壤普查成果图模板

第三次全国土壤普查成果图模板见附图 1-1。



附图 1-1 第三次土壤普查成果图模板

附录 2 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位土壤属性越相似；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

目前，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理论，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。该方法于 20 世纪 70 年代末至 80 年代初被引入到土壤学的研究工作中，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。成分克里格（compositional Kriging）是一种专门针对成分数据（如土壤机械组成）的空间插值方法，需满足非负、定和、预测误差最小和无偏估计；成分克里格可将成分数据作为一个整体考虑，而非对单个成分插值制图，避免插值后出现同一点位各个成分之和超过定和或负值，例如土壤机械组成砂、粉、黏含量之和超过 100%。

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。与地统计和梳理统计方法相比，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。