

DOI: 10.11766/trxb202207030364

郭志英, 潘恺, 宋歌, 王昌昆, 施建平, 解宪丽, 刘杰, 王小亮, 吴瑞俊, 郑立臣, 汪金舫, 田振荣, 刘素萍, 郝翔翔, 况福虹, 樊博, 刘晓利, 程一松, 潘贤章. CERN 分布式土壤样品长期保存系统的构建[J]. 土壤学报, 2022, 59 (6): 1469–1478.

GUO Zhiying, PAN Kai, SONG Ge, WANG Changkun, SHI Jianping, XIE Xianli, LIU Jie, WANG Xiaoliang, WU Ruijun, ZHENG Lichen, WANG Jinfang, TIAN Zhenrong, LIU Suping, HAO Xiangxiang, KUANG Fuhong, FAN Bo, LIU Xiaoli, CHENG Yisong, PAN Xianzhang. The Distributed Long-term Soil Archiving System in CERN[J]. Acta Pedologica Sinica, 2022, 59 (6): 1469–1478.

CERN 分布式土壤样品长期保存系统的构建*

郭志英^{1, 2}, 潘 恺^{1, 2}, 宋 歌¹, 王昌昆¹, 施建平¹, 解宪丽¹, 刘 杰¹,
王小亮³, 吴瑞俊⁴, 郑立臣⁵, 汪金舫⁶, 田振荣⁷, 刘素萍^{8, 9}, 郝翔翔¹⁰,
况福虹¹¹, 樊 博¹², 刘晓利¹³, 程一松¹⁴, 潘贤章^{1†}

(1. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 内蒙古锡林郭勒草原生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院植物研究所), 北京 100093; 4. 陕西西安塞农田生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院水利部水土保持研究所), 陕西杨凌 712100; 5. 辽宁沈阳农田生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院沈阳应用生态研究所), 沈阳 110016; 6. 河南封丘农田生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 7. 山东禹城农田生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院地理科学与资源研究所), 北京 100101; 8. 中国科学院退化生态系统植被恢复与管理重点实验室(中国科学院华南植物园), 广州 510650; 9. 广东鹤山森林生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院华南植物园), 广州 510650; 10. 黑龙江海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 哈尔滨 150081; 11. 山地表生过程与生态调控重点实验室(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所), 成都 610041; 12. 青海海北高寒草地生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院西北高原生物研究所), 西宁 810001; 13. 江西鹰潭农田生态系统国家野外科学观测研究站(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 14. 栾城农业生态系统试验站(中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心), 石家庄 050022)

摘 要: 长期保存的土壤样品是国家科技基础支撑条件的重要组成部分, 对于土壤及环境长期变化研究和科学数据开放共享等具有重要价值。近年来, 随着我国对农业和生态环境科技投入的不断增长, 土壤调查强度逐步增大, 土壤样品积累速度明显加快, 因此, 亟需相关的标准规范来指导土壤样品的长期保存。在国家标准《土壤质量 土壤样品长期和短期保存指南》(GB/T 32722—2016)的基础上, 结合“十三五”期间 CERN 分布式土壤样品长期保存系统建设经验, 本文对土壤样品保存管理策略、土壤样品保存条件要求和土壤样品信息管理系统进行了介绍, 以期为我国土壤样品长期标准化保存, 以及第三次全国土壤普查样品库建设提供参考。

关键词: 土壤保存; 土壤样品管理; 土壤样品编码; 保存条件; 土壤长期监测

中图分类号: S154.3 **文献标志码:** A

* 国家重点研发计划课题(2021YFD1500102)、中国科学院野外站网络科研样地建设项目(KFJ-SW-YW023)资助 Supported by the National Key R&D Program of China (No. 2021YFD1500102), the Project of CERN Research Plots Construction (No. KFJ-SW-YW023)

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

作者简介: 郭志英(1988—), 男, 山西介休人, 博士研究生, 工程师, 主要从事土壤生态监测研究。E-mail: zyguo@issas.ac.cn

收稿日期: 2022-07-03; 收到修改稿日期: 2022-08-24; 网络首发日期(www.cnki.net): 2022-09-05

The Distributed Long-term Soil Archiving System in CERN

GUO Zhiying^{1, 2}, PAN Kai^{1, 2}, SONG Ge¹, WANG Changkun¹, SHI Jianping¹, XIE Xianli¹, LIU Jie¹, WANG Xiaoliang³, WU Ruijun⁴, ZHENG Lichen⁵, WANG Jinfang⁶, TIAN Zhenrong⁷, LIU Suping^{8, 9}, HAO Xiangxiang¹⁰, KUANG Fuhong¹¹, FAN Bo¹², LIU Xiaoli¹³, CHENG Yisong¹⁴, PAN Xianzhang^{1†}

(1. Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 4. Ansai National Field Research Station of Farmland Ecosystem, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 5. Shenyang Farmland Ecosystem National Observation and Research Station, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 6. National Observation and Research Station of Fengqiu Agro-Ecosystem, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 7. Yucheng National Field Research Station of Agro-ecosystem, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 8. Key Laboratory of Vegetation Restoration and Management of Degraded Ecosystems, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 9. Heshan National Field Research Station of Forest Ecosystem, South China Botanical Garden, Guangzhou 510650, China; 10. National Field Research Station of Agro-ecosystem in Hailun, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China; 11. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu 610041, China; 12. Qinghai Haibei National Field Research Station of Alpine Grassland Ecosystem, Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 13. Yingtan National Field Research Station of Agro-ecosystem, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 14. Luancheng Agro-ecosystem Experimental Station, Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China)

Abstract: Long-term archived soil samples, as an important part of the foundational support of national science and technology in China, is of great value to the study of long-term changes in soil and environment and the sharing of samples and data. In recent years, with the continuous increase of investment in agriculture and eco-environmental science and technology in China, soil surveys are more needed and the accumulation of soil samples is accelerating significantly. Thus, there is an urgent need for establishing the relevant standards and specifications for the long-term storage of soil samples. Based on the national standard “Soil quality Guidance on long and short term storage of soil samples (GB/T 32722—2016)”, and combined with the experience in constructing a distributed long-term soil archiving system in CERN during the 13th Five-Year Plan in China, a soil sample storage management strategy, the standards for soil sample archiving conditions and the information management system were introduced in detail in the paper. The system will help provide references for the long-term standardized storage of soil samples and the construction of soil samples archiving system for the Third Nationwide Soil Condition Census.

Key words: Soil archiving; Soil sample management; Soil sample encoding; Storage conditions; Long-term soil monitoring

土壤样品规范化保存对长期生态学研究具有重要意义。历史土样作为特定时空场景下的土壤快照,保存了土壤圈长期演变不同时间断面的信息,起到土壤环境“时间胶囊”的作用,为生态环境长期变化研究提供了参考基准。Torn 等^[1]借助归档土样,揭示了土壤惰性碳库在 20 世纪前后的百年变化。Knapp 等^[2]在归档土样中发现了自 1940 年以来抗生素使用强度增加的基因证据。Navratil 等^[3]使用保存 10 年~17 年的土样评估了历史土壤汞污染状况。Lilly 等^[4]通过对比馆藏土样与同位置复采的土样,揭示了耕作土壤碳浓度、土壤厚度变化对土壤碳库的影响。

由于土壤分析技术总是处于不断迭代更新当

中,通过应用新技术对长期保存土样进行重新分析,还可获得初次分析无法得到的信息。应用孢粉分析、同位素分馏等新技术对洛桑实验站的历史土样进行重新分析,实现了沉降物来源识别、作物肥料管理优化、碳循环模型校准等^[5]。同样地,应用磁学分析、¹⁴C 方法重新分析保存数十年的土样,实现土壤磁化率制图^[6]和定量植物细根碳周转时间^[7]。除了用于回溯历史生态环境的物理、化学特征,保存的历史土样在揭示微生物生态信息方面也有巨大潜力^[8]。Liu 等^[9-12]通过对中国生态系统研究网络 (Chinese Ecosystem Research Network, CERN) 保存土样进行高通量测序,显示历史土样仍然能够指示大尺度下的细菌群落空间分布格局,并发现多样性与宏观

生态因子之间的关联模式。

此外,开放的土壤样品馆藏有助于扩大科学数据共享。洛桑实验站保存的土样已经开放提供给洛桑实验站和世界各地的研究者使用^[13-14]。美国国家生态系统观测站网络(National Ecological Observatory Network, NEON)土壤档案馆就归档样品的重量、采样地点、采样深度等方面总结了经验,为保存土样的开放共享提供了便利^[15]。

鉴于历史土样具有以上不可替代的宝贵价值,国内外部分土壤专业机构已经保存了一定数量的土样(表 1)。最近几年,土样保存技术不断提升,尤其是物联网、射频识别等技术的引入提升了土样存取操作的自动化程度^[16-22]。然而,相对于我国多样的生态系统和丰富的土壤类型,我国现存历史土样无论是总数

量还是代表性均远远不够,特别是随着城市化快速发展,某些土壤类型处于消失的边缘^[23],对于这些濒危类型土壤的样品保存还未引起足够重视。

总结起来,我国土样长期保存面临的问题归纳为以下几个方面:

(1)土样保存普遍缺乏标准规范。由于早期缺乏相应的土样保存标准规范,耗费巨资采集的土样往往用过即扔,不能长期系统地保存下来;少数土样虽然能被长期保存,但是其保存方法可能并不规范。

(2)过分强调土样的集中保存,而忽视分散保存的客观需求。大型项目的土样通常由多家单位协作采集,具有分散保存的客观需求。另一方面,土样统一保存要求充裕的仓储资源和条件,一家单位往往难以独立承担,因此,土样分散保存是一种必然趋势。

表 1 国内外土壤保存库举例

Table 1 Examples of soil archives repositories at home and abroad

保存机构	保存量	时空范围	保存方式	信息来源
Repository name	Number of soil archives	Span of time and space	Storage methods	Sources
国际土壤参比信息中心	1160 件整体剖面土样, 5000 件土样具完整理化性质数据, 3500 件土样薄片	最早土样可追溯到 1927 年; 土样覆盖 82 个国家	参比土壤剖面、瓶装样品、微形态薄片等	[24-25]
英国洛桑实验站	约 4.3 万件	最早土样可追溯到 1840 年; 主要是洛桑实验站长期实验土样	玻璃瓶或纸袋	[5]
英国詹姆斯·赫顿研究所 (国家土壤藏馆)	约 4.8 万件	最早土样可追溯到 1934 年; 土样覆盖苏格兰全境	玻璃或塑料容器	[26]
澳大利亚 CSIRO 国家土壤藏馆	约 7.8 万件, 来自于 9000 个剖面	最早土样可追溯到 1924 年; 土样覆盖全澳大利亚	塑料瓶	[27]
美国国家生态观测网络	3246 件	最早土样可追溯到 2013 年; 土样覆盖美国 46 个台站	玻璃罐或纸盒	[28]
中国农业农村部各省土肥站	数千不等	历次测土配方	玻璃瓶	多源
中国环境监测总站	约 7 万件	全国, 1980—2013 年	粗磨或细磨样, 玻璃瓶保存	[29]
中国科学院南京土壤研究所 CERN 土壤分中心	约 9.7 万件	最早土样可追溯到 1934 年; 土样覆盖 CERN 所有陆地台站、中国典型土类、主要农田土壤	棕色玻璃瓶或塑料瓶	[30-31]

(3)土样信息统一管理被忽视。目前国内土样保存主要注重土样实物保存,忽视了土样信息的管理。在分散保存下,不同机构之间土样信息缺乏统一联网管理,阻碍信息联通和共享使用,限制了土样价值,造成资源浪费。

因此,需要探索我国大规模土样保存的策略和保存规范,系统地指导我国大型土壤调查项目,包括第三次全国土壤普查(以下简称“土壤三普”)等,以及日常土壤科研项目中的土样保存,从而为历史保存土样在生态环境研究中发挥作用提供基础保障。

1 CERN 土样保存策略及分布式保存系统

针对 CERN 台站土样长期保存面临的保存分散、缺乏统一管理等问题,我们提出了“分布式保存、一体化管理”的保存策略(图 1),即通过土样实物的分布式规范化保存和土样信息的一体化管理,实现 CERN 土样的统一管理及开放共享。该策略确保了土样长期保存的质量,解决了有限库容与新增保存量之间的矛盾,实现了土样存储数量的规

模提升,促进了土样信息的开放共享,同时节约了土样保存成本。

1.1 CERN 土壤样品保存策略

规范化和标准化是分布式土样保存的质量保证的主要手段,也是分布式保存与分散式保存的根本区别。分布式规范化土样保存要求各个保存库均按照统一的标准化程序和规范化措施完成样品保存工作,即参照规定的保存条件建造库房,按照规范化的方法采集和制备样品,使用规范化的保存设施保存土样。

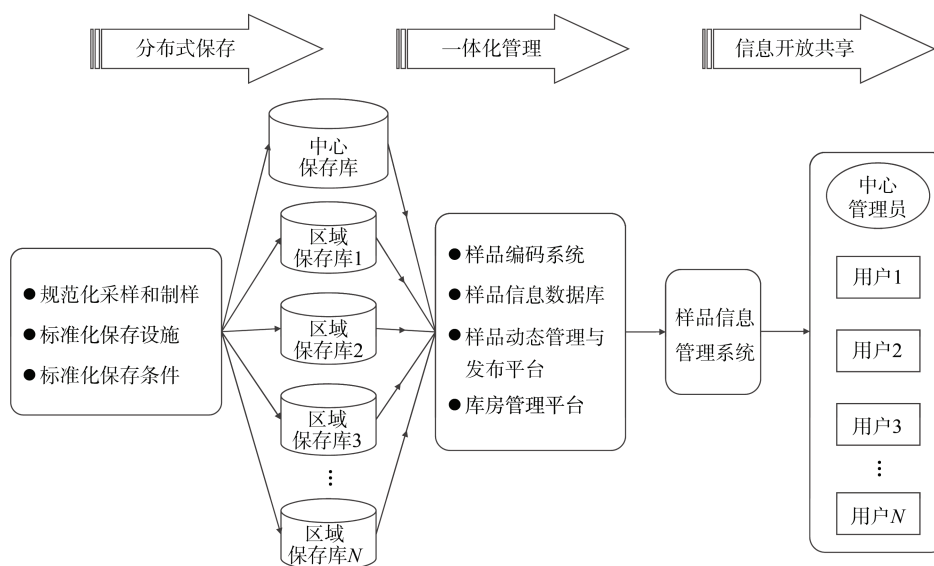


图 1 “分布式保存、一体化管理”示意图

Fig. 1 Schematic diagram of distributed storage and unified management

实施土样信息一体化管理为各保存库的规范化土样长期保存工作建立了良好的基础,是土样信息开放共享的重要保障。一体化信息管理涵盖了土样保存的四个主要业务模块,包括:土样编码、土样信息数据库、土样动态管理与发布、库房实时视频监控管理系统。

在该策略指导下,CERN 在 2005 年引入手动密集柜保存台站样品,在 2006 年将土样保存作为台站监测任务列入长期观测规范^[32],在 2010 年左右制订了 CERN 土壤样品库建设规范⁽¹⁾,到 2016 年 CERN 土壤分中心主导起草的土样保存相关的国家标准发布实施^[33]。在这些长期工作基础上,于 2017 年建成了 CERN 分布式土壤样品长期保存系统,为国内土样长期保存库建设提供了样板。

1.2 分布式土壤样品长期保存系统

CERN 分布式土壤样品长期保存系统由 1 个中心库和 11 个区域库组成,依托统一的土壤样品库管理平台,规范化地保存了各区域典型土样,实现了土样信息的更新、统一管理和共享(图 2)。

该系统保存了 CERN 台站土样、多个重大科研项目土样、区域代表性土样,并对时间较长的历史土样(可追溯到 1934 年)进行收集,目前已达到近 10 万件规模,覆盖了我国大多数土壤类型,初步形成了不同专题的特色馆藏样品系列^[30-31]。截至 2022 年 6 月,中心库样品量近 4.3 万件,区域保存库(海仑站、内蒙古草原站、沈阳站、栾城站、禹城站、封丘站、安塞站、海北站、盐亭站、鹰潭站、鹤山站等)近 5.4 万件。

⁽¹⁾ 中国生态系统研究网络(CERN)土壤样品库建设规范(试行)

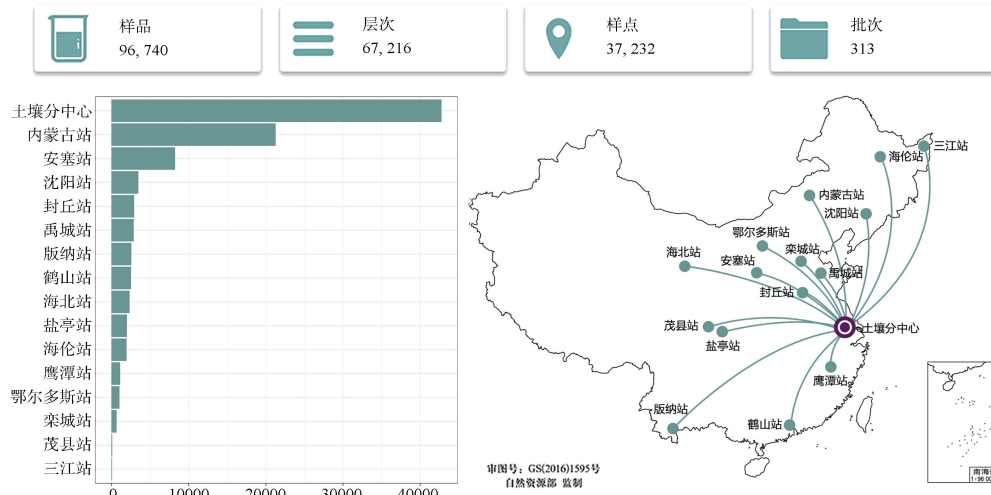


图2 CERN 分布式土壤样品长期保存系统概览

Fig. 2 Overview of CERN distributed long-term storage system of soil samples

该系统保存的历史土样在土壤长期监测质控、土壤光谱遥感近感、土壤微生物生态等研究领域发挥了重要作用。该保存系统自建成以来，已经陆续接待了来自农业、环保、自然资源等行业部门，国内相关高校和科研院所，以及部分国外高校科研机构学者的参观和访问，累计达数千人次。该系统的顺利运转，推动了我国土壤样品长期保存领域的标准规范建设，促进了土壤科学传播和共享。

2 土样保存设施和条件的要求

《土壤质量 土壤样品长期和短期保存指南》(GB/T 32722—2016)指出土样保存方案的确立应综合考虑保存目的、保存过程中可引起样品变化的因素、保存成本等多个方面，为土样保存以及在保存之后如何准备土样供分析使用提供了操作规范指导^[33]。参照该标准，CERN 土壤分中心根据实际情况，提出了土样保存条件、设施规范以及库房管理等规范，并组织各台站实施了 CERN 长期监测土样的规范化保存(图 3)。

2.1 保存土样类型和保存量

主要有以下三类土样需要长期保存：(1) 作为检测项目或测试降解性研究用的土样，需要长期保存以用于变化检验；(2) 供科研、展示及教育用的土壤剖面标本，一般是指在代表性土壤上采的原状剖面，经过一系列处理后长期保存；(3) 土壤标准样品。

CERN 保存的土样主要包括：长期观测的初始

背景土样、长期试验土样、5 年频次的剖面土样、每年采测的表层土样、台站典型土壤整段剖面、台站自行保存的历史土样，以及其他土样。除每年采测的表土样是短时间保存外，其他土样均适宜于长期保存。

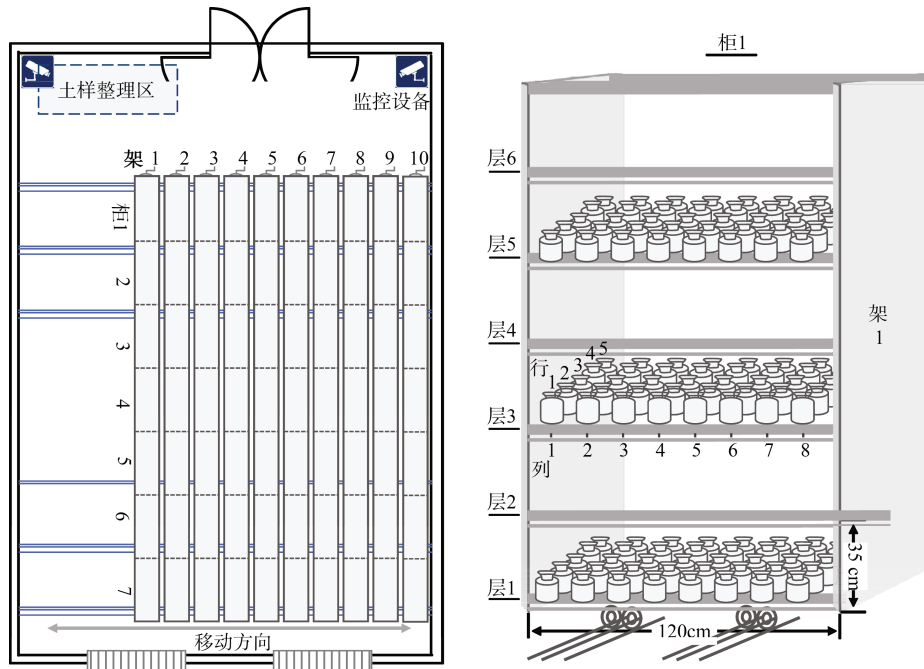
土样保存量的确定需综合考虑土样的潜在使用场景和保存成本，推荐风干保存原状土约 1.0 kg。对于冷冻保存，考虑到土样冻结后分样困难，推荐冷冻多个份量较少的分样，并且分样时应确保均匀性。

2.2 保存设施

土样保存馆的选址应选在工程地质和水文地质条件较好、不受返潮影响、无淹水风险、远离污染源、无人破坏的安全生态环境中。土样保存馆建设规模宜根据未来 50~100 年保存量以及保存方式来确定。土样保存馆建议独立建造，并符合抗震、防火、防盗、防尘、远离污染、远离易燃易爆场所、单位面积承重等方面的要求。其中，单位面积承重应远大于所有保存设施和土样的最大总重量，如中心库目前按 6 层密集柜的放置需求设计，建筑承重为 1.2 t/m²。

土样保存馆装修应构造简洁，选用环保材料。地面应平整、耐磨；窗应设置遮阳窗帘，外窗应设纱窗。馆内可安装通风设备，以防止挥发性物质浓度过大造成污染；也可根据当地气候状况安装空调，调整馆内温湿度。

样品柜应稳固、结实、防锈、长期使用不变形。样品柜陈列时应成行垂直于有窗的墙面。推荐采用密集样品柜存放瓶装土样，以提高空间利用率。对



注：左图是土样保存库的整体示意图，右图是以第 1 架第 1 柜为例的细化图。土样保存库是按照本文 2 和 3 的要求部署相关设备和实行管理。Note: the left figure is a schematic overview of the soil archive repository, and the right one is a detailed diagram taking cabinet 1 of rack 1 as an example. Facility deployment and management of the soil archive repository is according to the requirements in Sections 2 and 3 of this paper.

图 3 CERN 土样保存库示意图

Fig. 3 A sketch of soil archive repository in CERN

于整段剖面标本的存放，要选择带有合适尺寸抽屉的样品柜（抽屉柜），确保可完整放置整段剖面标本。纸盒标本也可使用相应的抽屉柜。在空间和成本允许时，也可使用普通样品架，但要保证土样取用方便。

样品柜的所有存放单元要进行统一编码。编码方法是：首先对所有样品柜编号，然后给每个样品柜的每一层进行编号，再对每一层每个存放位置进行下一级编号。通过编码，每个存放单元均对应了唯一编号（图 3）。

保存容器的选择应综合考虑容器材质和容量、密封类型等因素。宜对容器的性能进行确认，例如能保护土样免遭污染、避免土样遭受光线和空气的影响。同时容器使用前应遵循适当的清洁和消毒程序。塑料容器一般在 5~10 年后会变脆，所以首选玻璃容器。但是如果样品含水量很高，冷冻时玻璃会崩裂，因此，应避免玻璃瓶装满，以减少冷冻崩裂的风险。

2.3 保存条件

土样保存条件的确立应考虑到可能影响土样属

性的各个因素，主要包括光照、温度和湿度。（1）光照会影响土样中一些物质的含量尤其是有机成分，因此，保存过程必须控制光照条件，比如使用棕色玻璃瓶或在完全黑暗条件下保存土样。（2）温度会影响土样中生物的活性。因此，温度是设置保存设施时考虑的重要因素。例如，风干土样一般在室温条件下保存；如果关注土样的生物学指标，需冷藏或冷冻以减弱生物活性；特殊情况下，需要达到液氮温度。（3）湿度会影响土样的微生物活性或化学性质。若土样未保存在密闭容器中，则保存环境应常年维持低湿度；若土样保存在密闭容器中，应确保土样的初始湿度足够低。（4）安全性也是土样长期保存条件的一个重要方面，需做到防火、防尘、防潮、防水、防污染、防盗、无人为损坏等。

3 土壤样品管理系统

统一的土壤样品管理系统是实施分布式土样保存的保障。通过该系统，各保存单位可完成土样保存的全链条操作，包括土样统一编号生成、行政代

码生成、二维码生成及标签打印、样品入库出库、信息查询等基本操作；也可以实现用户管理、数据校验、可视化样品管理、智能密集柜控制、视频监控等高级操作。

3.1 样品编码系统

样品编码系统的主要功能是为每个保存土样建立唯一编号，该编号是根据土壤的时空特性、采样过程和存放地点等信息确定的，具体编码规则如下：

统一编号：行政编码（6 位）+采样日期（8 位）+采样批次代码（4 位）+样点编号（3 位）+层次序号（1 位）+重复号（1 位）+存放地编号（3 位）。其中：

- 行政编码：土样采集地行政编码，应填到县一级。
- 采样日期：年+月+日，如 20080910。
- 采样批次代码：可以是数字和/或字母，表示样品来源。
- 样点编号：各采样批次对样点的自定义编号，可以是数字和/或字母，同一采样批次下样点号不能重复（对于 CERN 土样，根据观测场代码编写样点编号）。
- 层次序号：最上层为 1，向下依次递增，若超过 9 层，则使用字母表示，a 表示 10，b 表示 11，依次递增。
- 重复号：该土样是否重复保存。重复号为

0 表示唯一；重复号为 1 表示该土样保存数大于 1，且该瓶为第 1 瓶。

- 存放地代码：土样保存库的编号。

例如：53290120150501SQ0201012SSC，该样品相关信息如下：采自于云南大理，2015 年 5 月 1 日采集，由土壤质量项目 02 采样批次提供，样点号为 010，层次为第 1 层，重复号 2 表示有多瓶，该瓶为第 2 瓶，SSC 表示存放于 CERN 土壤分中心样品库。

3.2 土壤样品数据库

土壤样品数据库是土样管理系统最重要的部分，主要用于保存和管理土样采集信息、属性信息以及出入库信息等。该数据库首要确保土样信息的科学性和专业性，同时满足土样保存管理工作的业务需求。

土壤样品数据库包含 6 个关键表：采样批次表、样点信息表、剖面层次表、样品信息表、理化性质表和样品出库表（图 4）。

- 采样批次表：包含采样批次基本信息。
- 样点信息表：包含样点基本信息、生境信息，一个采样批次对应多条样点信息记录。
- 剖面层次表：包含一个样点的剖面层次信息，一个样点对应多条剖面层次记录。
- 样品信息表：包含一瓶样品的存放位置、重量等入库信息，每条记录对应唯一一瓶样品，即对应唯一一个统一编号。

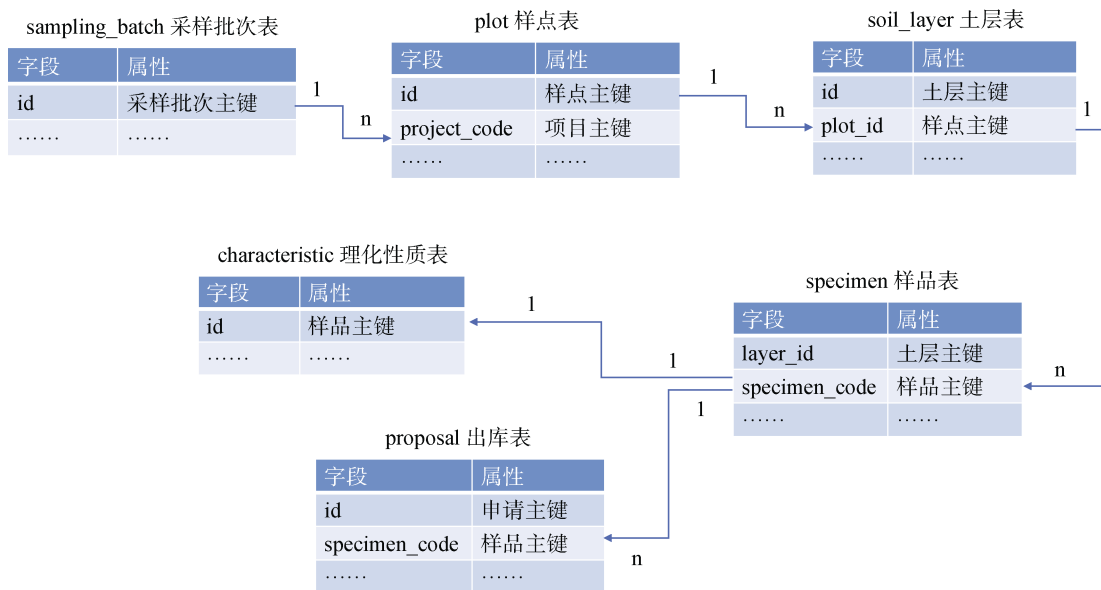


图 4 土样信息数据库结构

Fig. 4 Structure of soil sample information database

- 理化性质表: 包含土样的理化属性等信息。
- 样品出库表: 包含样品编号、申请人、申请重量、审核人、出库人、出库时间、出库地点等信息。

3.3 土壤样品动态管理与发布平台

土壤样品动态管理与发布平台的功能覆盖土壤保存管理全过程, 包括出入库管理、土样信息管理、库房资源动态管理等。该平台提供统一的浏览和查询界面, 实现了全部土样信息的发布和共享以及长期保存土样的协议共享。根据不同的使用场景, 该平台同时开发了 PC 端、Web 端和移动端。

为确保土样信息数据质量, 该平台设置了多重规则对土样数据进行校验。校验规则包括重要字段是否缺失(如经纬度、采样时间等)、各关联表样品记录的关键字段是否一致(如样品信息表中的样点号和层次号必须分别在样点信息表及剖面层次表中存在)、省市县名称是否准确、存放单元是否被占用等。当数据不满足校验规则时, 系统会提示用户进行修改, 直至满足全部校验规则数据才能入库。

3.4 库房管理平台

库房管理平台集成了土样保存库的各常用设备接口, 包括智能密集柜、监控设备、扫码枪、打印机等。其中智能密集柜和监控设备需要进行简单设置, 扫码枪、打印机等设备可实现即插即用, 全面满足样品入库、数据管理、扫码查询、视频监控、密集柜控制等日常需求。

4 土壤三普样品库建设的思考

土壤三普是对我国土壤的“全面体检”, 不论对于国情国力调查还是科学研究均具有划时代意义。构建土壤三普样品库是创建新时代我国土壤的代表性时空快照, 以及系统地填补我国历史土样不足的良好契机。土壤三普工作方案^[34]明确指出, 样品库是土壤三普的主要成果之一, 要求形成标准化、智能化的国家级和省级土壤样品库、典型土壤剖面标本库。基于 CERN 在土样长期保存方面的成果和经验, 针对土壤三普样品库构建提出以下思考。

分布式保存和一体化管理的土样保存策略, 契合土壤三普在组织实施方式和调查规模等方面的特点, 是高效解决国家样品库建设的科学合理方案。土壤三普样品库建设可参考 CERN 土壤样品长期保

存系统, 在国家、区域、省、市等不同层面按照土样保存的实际需求建立分布式的土样长期保存库, 用于保存具有不同代表性水平的土样。在国家层面, 建立统一的土样信息联网管理平台, 对空间上分散保存的土样实施统一管理, 包括土样出入库管理、保存土样的信息发布、库房实况管理等。着重强化土样实物与土壤属性数据的关联统一管理, 确保每件保存土样具有唯一编码, 并能确切对应到样品库中的保存单元, 同时在数据库中有该土样的完整、准确、精细的采样位置、时空信息和土壤属性。

详细明确的标准规范是土壤三普工作方案有效落实的前提。尽管土壤三普工作方案规定的技术路线与方法已经覆盖了土壤普查工作的主要部分, 但是其中土样保存环节仍需加强和细化。土壤三普样品库建设可参考国家标准^[33], 针对不同区域的气候和土壤特点, 从代表性土样的筛选、土样制备、保存设施、保存条件等方面, 优化并制订详细的土样保存操作规范。在保存土样类型方面, 除了本文 2.1 中提及的, 对于部分珍贵土样有必要进行拓展, 例如新鲜原状土样、土壤 DNA/RNA、其他类型的土壤提取物。

长期保存的历史土样, 作为揭示长期生态变化的不可替代的科技资料, 只有通过开发利用才能实现其宝贵价值。为促进土壤三普样品库的潜在开发和应用, 有必要针对当前我国在农业和生态环境领域面临的典型重大科技问题, 借助分子生物学、光谱学等新兴的化验分析手段对已有历史土样进行补充分析和再分析, 通过土、水、气、生等不同要素数据的融合以及不同时相数据的综合比对, 建立我国历史保存土样的应用方法体系, 形成有价值的科学数据产品, 拓展保存土样的应用范围。

科学合理的管理机制是确保土壤三普样品库顺利运行的必备条件。可参考科学数据管理办法^[35], 系统建立、健全土壤三普样品库的管理机制体系, 包括分布式土样保存库的扩展、土样保存应用成果的验收、保存土样及其信息的共享、保存土样的开放使用、土样保存的安全保障、土样及信息的生产者管理者和使用者的权责等多个方面。

致 谢 CERN 野外台站(海伦站、内蒙古草原站、沈阳站、栾城站、禹城站、封丘站、安塞站、海北站、盐亭站、鹰潭站、鹤山站)、中国科学院南京土壤研究所所级数据中心(<https://soildata.issas.cn>).

ac.cn/)、国家科技基础条件平台—国家地球系统科学数据中心-土壤分中心 (<http://soil.geodata.cn>)、中国土壤数据库 (<http://vdb3.soil.csdb.cn/>)。

参考文献 (References)

- [1] Torn M S, Lapenis A G, Timofeev A, et al. Organic carbon and carbon isotopes in modern and 100-year-old-soil archives of the Russian steppe[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8 (10): 941—953.
- [2] Knapp C W, Dolfing J, Ehlerl P A I, et al. Evidence of increasing antibiotic resistance gene abundances in archived soils since 1940[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44 (2): 580—587.
- [3] Navratil T, Burns D A, Novakova T, et al. Stability of mercury concentration measurements in archived soil and peat samples[J]. *Chemosphere*, 2018, 208: 707—711.
- [4] Lilly A, Chapman S J. Assessing changes in carbon stocks of Scottish soils: Lessons learnt. Proceedings of the Soil Change Matters Workshop, Bendigo, Australia, F 2015 Mar 24—27, 2014 [C]. 2015.
- [5] Rothamsted Research. The Rothamsted sample archive[EB/OL]. [2022-06-20]. <https://www.rothamsted.ac.uk/sample-archive>.
- [6] Hannam J A, Dearing J A. Modeling soil magnetic susceptibility and frequency-dependent susceptibility to aid landmine clearance. Proceedings of the Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets XI, Kissimmee, FL, F 2006 Apr 17—21, 2006 [C]. 2006.
- [7] Froberg M. Residence time of fine-root carbon using radiocarbon measurements of samples collected from a soil archive [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2012, 175 (1): 46—48.
- [8] Dolfing J, Feng Y Z. The importance of soil archives for microbial ecology[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2015, 13 (3): 1.
- [9] Liu J, Guo Z Y, Xu A A, et al. Consistent spatial distribution patterns of bacterial communities revealed by serial time-archived soils from long-term field experiments[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2019, 133: 137—145.
- [10] Liu J, Guo Z Y, Xu A A, et al. Spatial differences in bacterial communities preserved in soils archived for a decade[J]. *Applied Soil Ecology*, 2019, 142: 64—71.
- [11] Liu J, Wang C K, Guo Z Y, et al. Linking soil bacterial diversity to satellite-derived vegetation productivity: a case study in arid and semi-arid desert areas [J]. *Environmental Microbiology*, 2021, 23 (10): 6137—6147.
- [12] Liu J, Wang C K, Guo Z Y, et al. The effects of climate on soil microbial diversity shift after intensive agriculture in arid and semiarid regions[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 821: 153075.
- [13] Rothamsted Long-term Experiments: Guide to the Classical and Other Long-term Experiments, Datasets and Sample Archive [M]. Rothamsted Research, 2018.
- [14] Perryman S A M, Castells-Brooke N I D, Glendining M J, et al. The electronic Rothamsted Archive (e-RA), an online resource for data from the Rothamsted long-term experiments[J]. *Scientific Data*, 2018, 5: 180072.
- [15] Ayres E. Quantitative guidelines for establishing and operating soil archives[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2019, 83 (4): 973—981.
- [16] Li H B, Feng H M, Chen X Y, et al. Construction plan and technical specification of soil sample bank of Shaoguan University[J]. *Journal of Shaoguan University*, 2019, 40 (9): 70—73. [李海渤, 冯慧敏, 陈晓远, 等. 韶关学院土壤样品库建设方案及技术规范[J]. 韶关学院学报, 2019, 40 (9): 70—73.]
- [17] Luo S G, Chen Y L, Song G Q, et al. Practice and exploiting on construction the Hubei Province soil sample bank and information system[J]. *Environmental Science & Technology*, 2018, 41 (S1): 271—274. [罗四国, 陈昱霖, 宋国强, 等. 湖北省土壤样品库与信息化系统的建设实践[J]. 环境科学与技术, 2018, 41 (S1): 271—274.]
- [18] Tang M H, Chen H R, Si W, et al. Construction and study of environmental monitoring intelligent soil sample bank in Jiangsu Province[J]. *Environmental Science and Technology*, 2020, 33 (5): 49—53. [唐梦涵, 陈焕然, 司蔚, 等. 江苏省环境监测智能土壤样品库的构建研究[J]. 环境科技, 2020, 33 (5): 49—53.]
- [19] Wang C J, Wu X. Digital construction of soil sample bank in Ningxia[J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2020, 61 (3): 42—43. [王长军, 吴霞. 宁夏土壤样品库数字化建设研究[J]. 宁夏农林科技, 2020, 61 (3): 42—43.]
- [20] Zhao C. Construction and application practice of eco-environmental soil sample banks in Shandong Province[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2021, 23 (4): 108—110. [赵超. 山东省生态环境土壤样品库建设与应用实践[J]. 绿色科技, 2021, 23 (4): 108—110.]
- [21] Yang D Y, Shen X E, Tian Z R, et al. Design and practice of soil sample bank based on internet of things[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2021, 37 (1): 29—33. [杨懂艳, 沈秀娥, 田志仁, 等. 基于物联网的土壤样品库建设与实践[J]. 中国环境监测, 2021, 37 (1): 29—33.]
- [22] Yang X X, Peng Y X, Zhao J, et al. Construction and application of sample management system based on quick response code and internet of things technology [J]. *Environmental Science Survey*, 2019, 38 (S2): 77—80.

- [杨晓曦, 彭银霞, 赵娟, 等. 基于二维码和物联网技术的样品管理系统的构建和应用[J]. 环境科学导刊, 2019, 38 (S2): 77—80.]
- [23] Shangguan W, Gong P, Liang L, et al. Soil diversity as affected by land use in China: Consequences for soil protection [J]. *Scientific World Journal*, 2014: 913852.
- [24] International Soil Reference and Information Centre. ISRIC Collections[EB/OL]. [2022-06-20]. <https://www.isric.org/explore/ISRIC-collections>.
- [25] The Wageningen University and Research eDepot. Recovery of samples lost from the ISRIC – World Soil Reference Collection [DB/OL]. [2022-06-20]. <https://edepot.wur.nl/483903>.
- [26] The James Hutton Institute. National Soils Archive[EB/OL]. [2022-06-20]. <https://www.hutton.ac.uk/about/facilities/national-soils-archive>.
- [27] Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Australian national soil archive[EB/OL]. [2022-06-20]. <https://www.csiro.au/en/research/natural-environment/land/Soil-archive>.
- [28] The National Ecological Observatory Network. Megapit and distributed initial characterization soil archives [EB/OL]. [2022-06-20]. <https://www.neonscience.org/samples/soil-archive>.
- [29] Zhao X J, Sun C, Zhang S, et al. Construction of soil sample database and management of sample information database[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2016, 32 (4): 44—48. [赵晓军, 孙聪, 张朔, 等. 土壤环境样品库建设及样品信息数据库管理[J]. 中国环境监测, 2016, 32 (4): 44—48.]
- [30] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil archive management platform[EB/OL]. [2022-07-29]. soilarchive.issas.ac.cn. [中国科学院南京土壤研究所. 土壤样品库管理平台[EB/OL]. [2022-07-29]. soilarchive.issas.ac.cn.]
- [31] Pan K, Song G, Shi J P, et al. Dataset of the soil sample archives of China(1989–2013) [J]. *China Scientific Data*, 2016(3): 8—12. [潘恺, 宋歌, 施建平, 等. 1989~2013年中国土壤样品库数据集[J]. 中国科学数据(中英文网络版), 2016(3): 8—12.]
- [32] Pan X Z, Guo Z Y, Pan K. Protocols for standard soil observation and measurement in terrestrial ecosystems[M]. Beijing: China Environment Publishing Group, 2019. [潘贤章, 郭志英, 潘恺. 陆地生态系统土壤观测指标与规范[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019.]
- [33] GB/T 32722—2016, Soil quality—Guidance on long and short term storage of soil samples[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. [GB/T 32722—2016, 土壤质量土壤样品长期和短期保存指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.]
- [34] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of People's Republic of China. Work programme of the Third Nationwide Soil Condition Census[EB/OL]. [2022-06-20]. http://www.ntjss.moa.gov.cn/zcfb/202202/t20220224_6389472.htm. [农业农村部. 第三次全国土壤普查工作方案[EB/OL]. [2022-06-20]. http://www.ntjss.moa.gov.cn/zcfb/202202/t20220224_6389472.htm.]
- [35] The State Council of the People's Republic of China. Scientific data management measures[EB/OL]. [2022-06-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-04/02/content_5279272.htm. [国务院. 科学数据管理办法[EB/OL]. [2022-06-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-04/02/content_5279272.htm.]

(责任编辑: 陈德明)