|  |  |
| --- | --- |
| ICS |  |
| CCS | |  | | --- | |  |   点击此处添加CCS号 |

团体标准

T/CSES XXXX—XXXX

土壤健康评价技术指南 总纲

Technical guideline for soil health assessment General principles

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国环境科学学会  发布

目次

[前言 II](#_Toc200555460)

[引言 III](#_Toc200555461)

[1范围 1](#_Toc200555462)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc200555463)

[3术语和定义 1](#_Toc200555464)

[4 土壤健康评价技术流程 3](#_Toc200555465)

[5评价范围与评价对象 4](#_Toc200555466)

[6 指标库构建与指标筛选 4](#_Toc200555467)

[7 指标体系构建 5](#_Toc200555468)

[8 数据获取 6](#_Toc200555469)

[9 评价方法与评价结果表征 6](#_Toc200555470)

[10土壤健康评价方法验证和优化 8](#_Toc200555471)

[11 评价结果应用 8](#_Toc200555472)

[附录A（资料性）](#_Toc200555473)[美国康奈尔土壤健康指标体系与评价方法 10](#_Toc200555474)

[附录B（资料性）](#_Toc200555475)[基于土壤功能的土壤健康评价指标体系 12](#_Toc200555476)

1. 前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国环境科学学会提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心、中国科学院生态环境研究中心、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

本文件主要起草人：

1. 引言

为建立和完善土壤健康评价的技术标准规范体系，科学合理地评估土壤健康状况，明确土壤优势、限制性因素和潜在问题，以便及时采取科学合理的管理对策，保障生态环境安全，促进土地可持续利用，制定本文件。

本文件规定了土壤健康评价方法的一般技术要求。具体应用场景的土壤健康评价方法可依据本文件具体制定。

好。

**土壤健康评价技术指南 总纲**

# 1范围

本文件规定了土壤健康评价技术流程、评价范围与评价对象、指标库构建与指标筛选、指标体系构建、数据获取、评价方法、评价结果表征、方法验证与和优化、评价结果应用等技术要求。

本文件适用于指导不同应用场景土壤健康评价方法的制定。

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

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB/T 28407 农用地质量分等规程

GB/T 30600 高标准农田建设通则

GB/T 32740自然生态系统土壤长期定位监测指南

GB/T 33469 耕地质量等级

GB/T 36197 土壤质量 土壤采样技术指南

GB 36600 土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

HJ 964 环境影响评价技术导则-土壤环境

HJ 1111 生态环境健康风险评估技术指南 总纲

HJ 1173 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统服务功能评估

HJ 1176 全国生态状况调查评估技术规范——数据质量控制与集成

NY/T 1634 耕地地力调查与质量评价技术规程

《第三次全国土壤普查 土壤生物调查技术规范》

# 3术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

## 3.1土壤健康 Soil health

土壤作为一个动态的生命系统，在自身功能正常发挥的同时，能够持续维持植物和动物的生产力，保持环境质量，促进动植物和人类健康的状态。

## 3.3 土壤健康状况 Soil health condition

土壤作为一个动态生命系统具有的维持其功能的持续能力，用清洁程度、生物多样性表示。

注：清洁程度反映了土壤受重金属、农药和农膜残留等有毒有害物质影响的程度；生物多样性反映了土壤生命力丰富程度。**（中华人民共和国国家市场监督管理总局和中国国家标准化管理委员会. 耕地质量等级[S]. GB/T33469—2016.）**

## 3.4土壤健康指数 Soil health index

用于评估土壤健康状况的综合性指标，它通过整合土壤物理、化学和生物等多个方面的属性和过程，将复杂的土壤信息转化为一个数值，以便对土壤健康状况进行快速、直观的评价和比较。数值越高，表明土壤健康状况越好，反之越差。

## 3.5 土壤功能Soil function

土壤在自然生态系统和人类社会中所发挥的各种作用和效能，主要包括：（1）初级生产力;（2）生物多样性及生境维持；（3）水净化与调节；（4）碳固持与气候调节；（5）养分供给与循环。

## 3.6 土壤呼吸 Soil respiration

土壤中活的生物体（如植物根系、土壤微生物等）进行新陈代谢活动时，将体内的有机物质氧化分解，并向外界环境释放二氧化碳的过程。

## 3.7 土壤质地 Soil texture

按土壤中不同粒径颗粒相对含量的组成而区分的粗细度。土壤质地一般分为砂土、壤土和粘土三类。

## 3.8 土壤障碍因素Soil constraints

土体中存在耕作层浅薄、过砂、过粘、过酸、冷浸、潜育、盐碱、渍涝、有毒有害物质超标等妨碍作物正常生长发育的土壤性质或形态特征。

## 3.9 最小数据集Minimum data set

通过聚类分析、相关分析、主成分分析等统计方法，从土壤健康指标库备选指标中选取能够最少的能够满足评价需求的指标，构成最小规模的数据集合，作为描述土壤健康状况的量化指标进行土壤健康评价。

## 3.10 土壤生态系统 Soil ecosystem

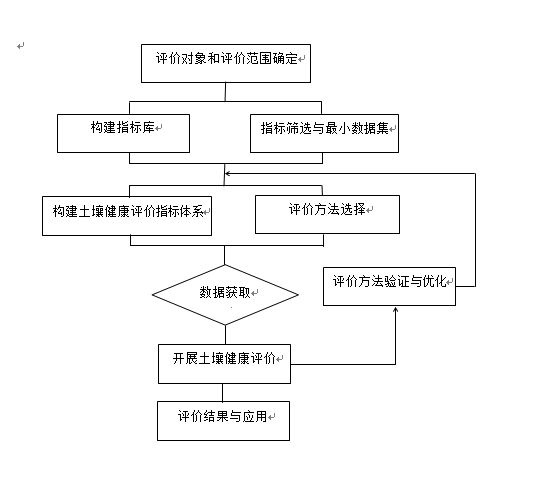
土壤生态系统是指在一定时间和空间范围内，由土壤、生物（植物、动物和微生物）以及环境条件（光照、温度、水分等）相互作用、相互依存所构成的具有特定结构和功能的动态平衡整体。

## 3.11 土壤生态系统服务功能 Soil ecosystem services function

土壤为满足人类需求直接或间接地提供商品和服务的能力。土壤生态系统服务功能一般包括支撑服务、供应服务、调节服务、文化服务等。

# 4 土壤健康评价技术流程

土壤健康评价的技术流程包括：根据土壤健康评价的具体应用场景，确定评价对象和评价范围；构建指标库与指标筛选；构建天然健康评价指标体系与评价方法选择；数据获取；土壤健康评价方法验证与优化；土壤健康评价及评价结果与应用。土壤健康评价的技术流程见图1。



**图1 土壤健康评价技术流程图**

# 5评价范围与评价对象

评价范围与评价对象依据土壤健康评价的应用场景确定。评价范围包括生态系统类型、土地利用类型、土地利用性质和功能、土壤类型、空间尺度及其组合等。评价对象包括土壤和土壤生态系统等。

# 6 指标库构建与指标筛选

## 6.1 土壤健康评价指标库构建

根据评价范围和评价对象，初步选取可用于评价土壤健康的指标构建指标库，确定备选的土壤评价指标，指标库指标包括土壤物理指标、化学指标和生物学指标三大类。

### 6.1.1 土壤物理指标

物理指标包括土壤质地、容重、团聚体、最大持水量、土层深度、导水率、孔隙度、渗透力、电导率等。可参考GB15618、GB36600、GB/T 28407、GB/T 33469 、GB/T 30600根据需要选取合适的指标。

### 6.1. 2 土壤化学指标

化学指标包括如pH、有机质、氮磷钾等营养元素含量、阳离子交换量、全盐量、砷、镉、铬、铅、汞、铜、镍等重金属含量、苯系物、石油烃、氯代烃、多环芳烃、多氯联苯等有机污染物指标；以及新污染物微塑料、PFAS、抗生素、抗性基因等指标。可参考GB15618、GB36600、GB/T 28407、GB/T 33469、GB/T 30600、NY/T 1634等根据需要选取合适的指标。

### 6.1. 3 土壤生物学指标

生物学指标包括但不限于标准中涉及的指标，如微生物生物量碳和氮、土壤呼吸、土壤酶活性、可矿化氮等、土壤生物（细菌、真菌、原生生物、线虫、蚯蚓等）的多样性和丰度、功能基因多样性、基因表达水平、土壤生物微食物网络参数以及一些指示生物（如菌根真菌、病原菌等）。

## 6.2土壤健康评价指标筛选及最小数据集构建

6.2.1土壤健康评价指标筛选及最小数据集构建应遵循以下基本原则：

1）定性和敏感性：即选取的指标具有较好的稳定性，且对土地管理、土壤利用方式等的变化有较敏感的反应；

2）重要性和代表性：即应从影响土壤健康的因素中选取主要的、有代表性的物理、生物和化学性质，以正确反映土壤的基本功能，避免使指标体系复杂化；

3）独立性：即要求所选的指标间不能出现因果关系，避免重复评价；

（4）实用性：考虑调查和分析方法的可靠性和低成本性，选取的指标应该容易定量测定，不管是在田间还是实验室测定，都具有较高的再现性和适宜的精度水平。

6.2.2 从指标库中的土壤物理指标、化学指标和生物指标中筛选构成最小数据集，作为描述土壤健康特征的量化指标。指标筛选及最小数据集构建方法可参考附录A。

# 7 指标体系构建

构建土壤健康评价指标体系通常有以下几种方法：

## 7.1 文献研究法

通过查阅大量国内外相关的学术文献、研究报告、行业标准等，了解已有的土壤健康评价指标和方法，总结不同研究中常用的指标，为构建指标体系提供理论依据和参考。

## 7.2 实地调查法

对研究区域的土壤进行实地采样和分析，测定土壤的各种物理、化学、生物等性质，获取第一手数据。观察土壤的实际状况，如土壤结构、植被生长情况等，了解土壤在自然环境中的表现，为选择合适的评价指标提供现实依据。

## 7.3 专家咨询法

邀请土壤学、生态学、农学、环境科学等相关领域的专家，通过问卷调查、访谈、研讨会等形式，征求专家对土壤健康评价指标的意见和建议。专家凭借其专业知识和丰富经验，能够对指标的重要性、代表性和可行性进行评估，帮助筛选出关键指标，提高指标体系的科学性和实用性。

## 7.4 相关性分析与主成分分析

对初步选取的众多指标进行相关性分析，找出相互之间相关性较强的指标，避免指标的重复和冗余。然后采用主成分分析等方法，将多个具有一定相关性的指标转化为少数几个综合指标，即主成分，这些主成分能够尽可能多地保留原始指标的信息，从而简化指标体系，同时突出主要影响因素。

## 7.5 层次分析法

将土壤健康评价指标体系分为不同层次，如目标层、准则层和指标层等。通过建立层次结构模型，构造判断矩阵，计算各指标的权重，从而确定不同指标在评价体系中的相对重要性，使评价结果更加客观、准确。

## 7.6 聚类分析法

7.6.1 根据指标的相似性对其进行分类，将性质相近的指标归为一类，更好地理解指标之间的关系，有助于在每类指标中选择最具代表性的指标纳入评价体系，使指标体系更加简洁明了。

7.6.2 在实际构建过程中，可综合运用多种方法，以确保构建出的土壤健康评价指标体系科学合理、全面准确且具有可操作性。研究者应根据具体的应用场景通过指标筛选构建适合的土壤健康评价体系。目前国际上常用的两种土壤评价指标体系的示例见附录B。

# 8 数据获取

## 8.1 数据来源

土壤健康评价的数据来源主要包括：文献、生态实验站长期监测数据、野外实地采样数据、土壤普查数据、气象站点数据、卫星遥感数据等。

## 8.2 数据获取方法

数据获取方法包括文献、资料、自动站在线监测和实地采样检测等。土壤采样和检测方法可参考GB/T 36197、HJ/T 166相关技术要求。长期定位监测可参考GB/T32740相关技术要求。土壤生物调查方法可参考《第三次全国土壤普查 土壤生物调查技术规范》。

## 8.3 数据质量要求

a）数据可靠性。获取的数据需结合经验数据初步判断其合理性，并通过统计检验等方法剔除异常值。

b）数据完整性。资料收集与调查统计结果应具备完整性，如收集到的数据有缺失，需评估其对评价的影响是否可接受。

c）数据时效性。应优先选择时效性强的数据资料，在资料不完备的情况下，可补充考虑其他资料。

# 9 评价方法与评价结果表征

## 9.1土壤健康指数评价法

9.1.1通过指标评分函数，将测得的最小数据集指标值转换为对应指标的分值，并在此基础上计算出土壤健康总分，即土壤健康指数，用以定量评价农田土壤的综合健康状况。该方法适用于从土壤生产潜力和环境管理的角度监测和评价土壤健康的性状、功能或条件。

9.1.2评价步骤：

1）对于每一个土壤健康评价指标的监测值，需通过相应的转换函数将其转化为对应指标的分值，这个转换函数即土壤健康指标评分函数。评分函数的最小值设定为1，表示健康状况最差；评分函数的最大值设定为10，表示健康状况最优。依据专家建议和文献知识确定每个指标的函数型，即“递增型”、“递减型”或“最优型”。递增型评分函数表示土壤健康指标分值随着指标值的增加而增大；递减型评分函数表示土壤健康指标分值随着指标值的增加而减小；最优型评分函数表示土壤健康指标分值随着指标值的增大先增大到平台值（分值为10分）然后减小。

2）采用累积概率分布函数（Cumulative Normal Distribution, CND）计算各指标测定值对应得分。累积概率分布函数通过每个指标全部测定数据的分布参数（平均值和标准差）确定。累积频率曲线中，指标测定值对应的概率值（p）乘以100即为得分值，由此将测定值转换为无量纲得分值，代表等于或低于该测定值的百分比。

3）计算各指标得分平均值或加权平均值，即为土壤健康指数。

9.1.3 评价结果以天然健康等级划分来表征。

根据土壤健康指数，对土壤健康状况进行土壤健康等级划分。土壤健康等级从低到高分别为：很低、低、中等、高、很高。土壤健康指数对应土壤健康等级划分情况见表3。

表3土壤健康指数对应土壤健康等级的划分情况

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土壤健康指数 | 0~20 | 20~40 | 40~60 | 60~80 | 80~100 |
| 土壤健康等级 | 很低 | 低 | 中等 | 高 | 很高 |

## 9.2基于土壤功能的土壤健康评价方法

9.2.1 通过建立土壤指标和土壤功能的层级关系或模型对土壤单项功能和多重功能进行土壤健康评价。该方法适用于以各项土壤功能为评价单元的土壤健康评价，每一项土壤功能均由多个土壤物理、化学及生物学指标共同决定，是区别于对各项指标的单独评估的一种评价方法。

9.2.2 评价步骤：

1）基于层次分析法与决策专家方法，以土壤管理、气象参数、土壤物理、化学、生物学特性作为模型输入，对5项土壤功能（初级生产力、水净化与调节、碳固持与气候调节、生物多样性及生境维持、养分供给与循环）分别进行等级评价，结果呈现为各项土壤功能水平的高、中、低三个水平。

2）基于对项目现有数据库的机器学习与数据挖掘（随机森林分析）及专家的评判，形成从较低层级的属性（模型输入）到较高层级的属性（土壤功能水平）的集成映射，确定土壤功能等级的评价规则。

9.2.3 评价结果以土壤功能等级划分来表征。土壤功能等级根据需要可分为高、中、低或高、较高、中、较低和低等不同等次。

## 9.3分子诊断评价方法

1）从指标选择、权重、数据来源合理性方面提取土壤DNA，进行宏基因组测序，分析土壤微生物群落组成。

2）对用于评价土壤健康的土壤典型物理、化学和生物学属性进行测定，获得土壤健康指数。将土壤微生物群落组成和土壤健康指数这两个数据子集合并，构建总数据集。

3）采用机器学习的方法构建微生物对土壤健康指数的预测模型，将微生物预测的土壤健康指数与测定的土壤健康指数进行比较，进一步评估模型预测的准确度。

4）通过构建最优模型，筛选出指示土壤健康的关键微生物指标，用于土壤健康状况评价的快速诊断。

## 9.4机器学习评价方法

利用先进的数据分析技术和多元化算法模型，对大规模土壤数据集进行高效处理与深入解析，实现对土壤健康状况的精确预测与评估。机器学习评价方法有利于实现多目标协同评价。主要包括以下步骤：

1）数据收集及预处理。在指标筛选的基础上开展数据收集，对所得土壤数据进行预处理工作，包括数据清洗、标准化处理以及补充缺失值，确保数据的高质量和一致性。

2）根据各指标对土壤健康影响的重要程度，进行合理的权重分配。

3）模型构建。根据预测目标的不同，选取适宜的机器学习算法，如决策树、支持向量机、随机森林或深度学习模型，并通过交叉验证等技术优化模型参数，以增强模型的泛化能力和预测精度。

# 10土壤健康评价方法验证和优化

## 10.1 土壤健康评价方法验证

基于特定应用场景的土壤健康评价方法应首先开展方法验证。可从定位观测、野外调查、用户反馈等方面进行验证。

## 10.2 土壤健康评价方法优化

10.2.1 当方法验证结果表明土壤健康评价结果不能准确反映土壤健康状况时，土壤健康评价方法应从指标选择、权重分配、数据来源合理性等方面进行优化。

10.2.2 根据指标的代表性、相关性分析、敏感性、易获取性、实用性原则，以及专家和用户意见进行优化。

10.2.3 权重分配的验证和优化包括层次分析法、特尔斐法、多标准决策分析、权重敏感性分析、案例比较分析。

10.2.4 数据来源合理性的验证和优化包括数据质量、数据一致性、数据覆盖度、数据更新频率、数据共享与整合、数据验证。

# 11 评价结果应用

## 11.1查明土壤健康的主控因素和障碍因子，有效指导土壤管理对策

通过土壤健康评价，确定土壤健康的主控因素和障碍因子，从而制定更有效的耕作、施肥和灌溉策略。对于有害物质含量超标的土壤，可以采取相应的修复措施，如添加改良剂、种植修复植物等，降低土壤污染的风险。

## 11.2 为土壤修复或土壤改良方案制定、效果评价和方案优化提供依据

在修复或改良前，通过土壤健康评价可揭示土壤的原始状态，为修复或改良措施的选择提供重要依据。在实施修复或改良措施后，再次进行土壤健康评价，可以对比修复或改良前后的变化，评估修复或改良措施结果，以便优化和完善修复或改良方案。

## 11.3土壤健康状况演变趋势分析及预测

通过定期的土壤采样和分析，获取土壤健康指标的变化数据，评估土壤健康状况的变化趋势，以及不同管理措施对土壤健康状况的影响。对比不同时间点的土壤健康评价结果，识别土壤健康下降的原因和趋势，评估修复或改良措施的有效性，有针对性地制定修复或改良方案。

## 11.4生态系统服务功能的评估

区域尺度的基于土壤功能的土壤健康评价可有效评估土壤对生态系统服务功能的贡献。生态系统服务功能的评估方法可参考HJ 1173。



# 附录A（资料性）

# 美国康奈尔土壤健康指标体系与评价方法

1. 评价指标体系

1. 康奈尔土壤健康评价方法（ComprehensiveAssessment of Soil Health，CASH）由美国康奈尔大学土壤健康团队于2006 年建立，该方法在优化农田管理、提升土壤健康方面发挥着重要的作用。
2. 康奈尔土壤健康评价方法（ComprehensiveAssessment of Soil Health，CASH）由美国康奈尔大学土壤健康团队于2006 年建立，该方法在优化农田管理、提升土壤健康方面发挥着重要的作用。

康奈尔土壤健康评价方法（Comprehensive Assessment of Soil Health，CASH）由美国康奈尔大学土壤健康团队于2006 年建立，该方法在优化农田管理、提升土壤健康方面发挥着重要的作用。随着研究的不断深入，康奈尔土壤健康评价方法的指标体系也在发生改变。2017年出版的《康奈尔土壤健康综合评价框架（第三版）》调整了评价指标，调整前备选的指标共39个，其中物理指标、化学指标和生物学指标分别为16、12和11个。目前增加到43个，其中物理指标17个，化学指标15个，生物学指标11个。最终选定物理指标、化学指标和生物学指标各4个用于土壤健康评价。之后，在综合考虑到评价指标与土壤关键过程的相关性、对管理的响应、测试时间与费用等因素后，调整了土壤生物学指标，用土壤蛋白含量、土壤呼吸代替潜在可矿化氮和根系健康等级（表 1）。指标筛选方法为主成分分析、相关性分析和逐步多元回归。

表 1 康奈尔土壤健康评价方法指标体系

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 指标类型 | 土壤健康指标（调整前） | 土壤健康指标（调整后） |
| 物理指标 | 土壤质地 | 土壤质地 |
|  | 团聚体稳定性(0.25 ~ 2 mm) | 团聚体稳定性(0.25 ~ 2 mm) |
|  | 有效含水量 | 有效含水量 |
|  | 土壤表层质地 | 土壤表层质地 |
|  | 土壤次表层质地 | 土壤次表层质地 |
| 生物指标 | 有机质含量 | 有机质含量 |
|  | 活性碳含量 | 活性碳含量 |
|  | 潜在可矿化氮 | 土壤蛋白含量 |
|  | 根系健康等级 | 土壤呼吸 |
| 化学指标 | pH | pH |
|  | 可提取磷 | 可提取磷 |
|  | 可提取钾 | 可提取钾 |
|  | 微量元素 | 微量元（镁/铁/锰/锌） |

2. 土壤健康评价方法

对于每一个测得的土壤健康指标值，需通过相应的转换函数将其转化为对应指标的分值，这个转换函数即土壤健康指标评分函数。评分函数的最小值设定为1，表示健康状况最差；评分函数的最大值设定为10，表示健康状况最优。康奈尔土壤健康评价系统中使用了三种形式的评分函数：递增型、递减型和最优型。

递增型评分函数表示土壤健康指标分值随着指标值的增加而增大，此类土壤健康指标包括团聚体（粒径 0.25 ~ 2.00 mm）稳定性、有效含水量、有机质、活性碳、潜在可矿化氮和可提取钾6个指标。递减型评分函数表示土壤健康指标分值随着指标值的增加而减小，此类土壤健康指标包括土壤表层硬度、土壤亚表层硬度和根系健康等级3个指标；最优型评分函数表示土壤健康指标分值随着指标值的增大先增大到平台值（分值为10分）然后减小，此类土壤健康指标包括pH和可提取磷2个指标。由于同一健康指标值所指示的土壤健康状况因土壤质地的不同而不同，因此，对每一个土壤健康指标，康奈尔土壤健康评价系统按砂土、壤土和粘土三种质地分别给出了相应质地条件下的评分函数。评分函数按如下方法确定：

（1）收集和分析土样，建立背景数据库；

（2）按土壤质地类型将土壤分为砂土、壤土和粘土3 组；

（3）对每一质地类型条件下的某一土壤健康指标（如壤土质地条件下的活性碳），获取所有测得的指标值（即活性碳浓度）的分布参数（平均值和标准差），计算累积频率曲线；

（4）累积频率曲线中，指标测定值对应的概率值（p）乘以100即为得分值，由此将测定值转换为无量纲得分值，代表等于或低于该测定值的百分比。

（5）土壤微量元素分值的确定方法较为特殊：如果所有微量元素的指标值都处于最优值范围内（各微量元素指标值的最优值范围如表1所示），则土壤微量元素指标的分值为10分（即健康最优）；如果有一个微量元素的指标值超出了最优值范围，则分值为6分；如果有两个或两个以上微量元素的指标值超出了最优值范围，则分值为1分（即健康最差） 。

表 1 土壤微量元素指标值的最优值范围

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 微量元素 | 镁 | 铁 | 锰 | 锌 |
| 最优范围(mg kg-1) | > 33 | < 25 | < 50 | < 0.25 |

计算各指标得分均值，得到土壤健康总分，即为土壤健康指数（Soil health index）。

进一步，给出土壤健康评价报告，该报告包含了各土壤健康指标的指标值和分值，以及土壤健康总分（以百分数表示，表2），并对土壤的综合健康状况给予了定性的评级（等级从低到高分别为：很低、低、中等、高、很高），以便于农民理解。具体说来，康奈尔土壤健康评价报告包含以下3个部分的内容：

（1）土壤背景信息栏：包括农场名、联系方式、土样编号、采样日期、作物类型、耕作方式、排水状况、农田地表坡度和土壤质地等信息；

（2）土壤健康指标栏：包括测定的土壤健康指标的名称、土壤健康指标测定值、土壤健康指标分值（1~ 2分为低分值，3~7分为中分值，8~10分为高分值）、低分值指标反映的土壤受限功能、土壤健康指标值对应的累积频率；

（3）土壤健康状况综合评价栏：包括土壤健康总分和土壤健康等级。

表 2 土壤健康总分转换成土壤健康等级计算表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土壤健康总分 | 0~20 | 20~40 | 40~60 | 60~80 | 80~100 |
| 土壤健康等级 | 很低 | 低 | 中等 | 高 | 很高 |

# 附录B（资料性）

# 基于土壤功能的土壤健康评价指标体系

——以欧盟LANDMARK项目“Soil Navigator”农田管理决策系统为例

|  |  |
| --- | --- |
| **土壤功能** | **指标** |
| 初级生产力 | 降水、温度、海拔、坡度、土壤容重、土壤有机质、土壤碳氮比、土壤粘粒、土壤pH、土壤CEC、土壤盐度、土壤矿物组成、钾、磷、镁、根系深度、地下水埋深、作物轮作种类、灌溉量、有机氮肥量、载畜量、豆科作物占比 |
| 水净化与调节 | 年降水、雨季降水、作物季降水、土壤质地、土壤有机质、土壤容重、土壤有效磷、土壤结皮、地下水埋深、土壤排水或导水率、人工排水、根系深度、灌溉量、灌溉类型、灌溉频率、无机氮肥量、有机氮肥量、作物吸氮量、无机磷肥量、有机磷肥量、碳输入、覆盖作物、间作作物、作物类型、秸秆管理、载畜量 |
| 生物多样性及生境维持 | 年均温、年降水、土壤pH、土壤有机质、土壤有机层厚度、土壤容重、土壤碳氮比、土壤氮磷比、土壤质地、细菌生物量、真菌生物量、线虫丰度、土壤微节肢动物丰度、蚯蚓丰度、线蚓丰度、作物轮作种类、间作作物、灌溉、无机氮肥量、有机肥类别、耕作、施石灰、化学杀虫管理、地下水埋深、人工排水 |
| 养分循环 | 年降水、生长季首月降水、生长季首月均温、日均温>5℃天数、土壤pH、土壤有机质、土壤容重、土壤有效磷、土壤质地、地下水埋深、无机氮肥量、有机肥施用、覆盖作物、豆科作物占比、秸秆管理、灌溉、土壤排水、人工排水、农作物歉收风险 |
| 碳固持与气候调节 | 年降水、年均温、土壤类型、草地占比、泥炭地排水、土壤有机质、土壤质地、碳输入、有机氮肥量、无机氮肥量、间作作物、覆盖作物、秸秆管理、净初级生产力、灌溉、土壤排水、人工排水、耕作、硝化抑制剂施用 |

参考文献

[1] 盛丰. (2014). 康奈尔土壤健康评价系统及其应用. 土壤通报(6), 8.

[2]王怀嵩, & 张涛. (2022). 农业土壤健康评价体系研究进展. 生态与农村环境学报(009), 038.

[3] 张江周, 李奕赞, 李颖, 张俊伶, & 张福锁. (2022). 土壤健康指标体系与评价方法研究进展. 土壤学报, 59(3), 603-616.

[4]张俊伶, 张江周, 申建波, 田静, 金可默, & 张福锁. (2020). 土壤健康与农业绿色发展: 机遇与对策. 土壤学报, 57(4), 783-796.

