

附件 2

《土壤主要性状指标分级》

农业行业标准编制说明

起草单位：农业农村部耕地质量监测保护中心

负责人：

联系电话：

邮箱：

一、工作简况，包括任务来源、制定背景、起草过程等

（一）任务来源

根据农业农村部农产品质量安全监管司农质标函〔2024〕71号关于下达2024年农业国家和行业标准制修订项目计划的通知（2024年4月30日发）第178项，由马常宝主持承担“土壤主要性状指标分级”的制定工作。

（二）制定背景

1. 拟解决的关键问题

迄今为止，尚未建立全国层面的土壤主要指标分级标准，不能满足当前我国土壤养分含量现状和丰缺水平科学评价的需要，不利于相关土壤调查项目数据成果的汇总分析和科学利用。建立土壤主要性状指标分级，一是延续更新历史养分分级。二普的分级指标仅涉及有机质、pH及土壤养分元素等化学指标，且距今已有40余年，我国土地利用方式、生产管理水平和农田投入状况和土壤资源数量、质量、生态等特征属性均发生显著变化，原有的养分分级已不能准确客观反映

当前土壤资源和肥力水平实际状况、无法准确指导当前农业生产和肥料精准施用。二是**补充建立空白指标的分级标准**。二普历史养分分级缺少与土壤肥力密切相关的土壤物理性指标、部分中微量和全量指标，本标准根据已有的数据资料，进行补充建立，从而便于全面科学评价当前我国土壤养分的含量现状和丰缺水平。三是**解决各地土壤属性制图应用指标分级标准不统一的问题**。建立适合当前农业生产实际的土壤主要性状指标分级的全国标准，为分等定级开展全国土壤属性评价、土壤调查评价成果的汇总分析和科学利用提供标准支撑，有助于揭示区域土壤属性状况与土壤类型、环境条件等的关系，查明土壤养分丰缺的实质和原因，对于开展耕地培肥改良、科学施肥指导、发挥土壤调查数据成果价值等工作，具有十分重要的意义。

（三）主要起草单位

（四）编写人员与分工

（五）主要起草过程

2023年12月—2024年2月，组织专家研讨，结合历史数据和相关工作情况，确定指标分级的目的和原则，开展标准预研究，形成标准文本草案等相关材料。

3—5月，汇总统计、分析历史数据，查阅大量文献，搜集地球化学数据，梳理指标分级可参考、可借鉴的数据基础，汇总分析数据结果；

6—8月，标准制定工作组分组研讨、完善指标分级，汇总形成全国主要指标分级情况，形成标准文本和编制说明等相关材料初稿；

9—11月，广泛征求意见，结合征求意见情况，补充有关数据材料并对标准文本、编制说明等进行修改，形成标准送审稿。

11—12月，组织开展土壤主要性状指标分级会商会，对标准进行审定，会后将根据专家审定意见对标准进一步修改完善，形成专家意见汇总表、报批稿等材料，上报相关部门。

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据，修订标准时，还包括修订前后技术内容的对比

（一）标准编制原则

1.标准制定坚持科学性和适用性原则

在标准制定过程中，严格按照《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020），查阅相关资料和权威书籍，充分考虑当前相关土壤调查项目数据成果汇总评价的需要，也考虑到未来耕地质量保护、土壤学研究等领域指标评价的需求，对基层农业农村部门、科研教育部门均有较强的指导性。标准制定工作组吸纳科研、教育和推广部门共同参与，在充分研究论证、多次讨论和专家会商基础上，力求保持规范内容和方法的科学性、适用性、可操作性。标准编制严格按照工作流程，文字表达准确、清晰、简明、易懂；标准的构成严谨合理；内容编排符合逻辑与规定。

2.指标分级坚持对农业生产的指导性和服务性原则

重点依据指标数值与农作物产量、生长限制、土壤肥力、生态影响等关系划定分级标准。一是坚持分类分级原则：1）土壤物理性状指标是反映土壤宜耕性、宜种性、水肥气热协调性等耕地质量及作物生长环境条件的重要指标，根据其对土壤肥力及植物生长的影响程度结合统计学方法进行分级，其目的主要是指导土壤改良培肥。2）有机质和大量养分指标借鉴第二次土壤普查，按照养分丰缺分级，并标注每级含义，其目的主要是指导和服务科学施肥；3）有效态中微量养分指标沿用第二次全国土壤普查分级原则，按照中微量养分丰缺状况结合缺素临界值进行分级，并标注每级含义，其目的是指导中微量肥料的科学施用；4）土壤矿质元素全量指标受人为活动影响较小，在土壤中保持相对稳定，根据全国土壤矿质元素全量数据的频数分布，采用统计学方法进行分级；5）土壤重金属指标分级和土壤盐分指标分级参照现行标准。二是分级数量原则：考虑指标分级的多重目

的，全国层面主要指标原则上分为 5 级；土壤 pH、容重和质地等抛物线型峰值指标分为 7 级；各省（市、自治区）针对区域情况将来可在全国分级基础上进一步细分，但不允许脱离国家分级基础自行分级。

3. 坚持指标分级的传承和创新原则

与第二次全国土壤普查比，指标分级既有延续，又有创新。沿用二普分级指标的有 6 个，包括 pH、碳酸钙、有效铁、有效锰、有效硼和有效钼；结合数据统计和资料分析，与二普分级差异不大，建议沿用土壤二普分级。

在二普基础上调整的有 9 个，包括有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾、缓效钾、有效铜、有效锌等。主要是随着农业生产发展，土壤二普分级不再适用于上述指标评价。例如，大多数地区土壤有机质和大量养分元素含量与二普相比都有明显提高，因此结合历史数据等情况提高了有机质、全氮、速效钾、缓效钾指标下限，将原有第 5 级和第 6 级合并；同时，调整有效磷、全磷、全钾等指标上下限。结合历史数据和作物反应情况，参考《全国九大农区及省级耕地质量监测指标分级标准》（试行），调整有效铜、有效锌上下限。

新建立指标分级的有 21 个，包括耕层厚度、土壤容重、机械组成、水稳性大团聚体、阳离子交换量、交换性钙、交换性镁、全硫、全硼、全硒、全铁、全锰、全铜、全锌、全钼、全铝、全硅、全钙、全镁、有效硫、有效硅等；土壤二普分级未涉及上述指标，结合测土配方施肥、耕地质量监测评价等数据、全国地球化学数据，并参考相关文献数据和《全国九大农区及省级耕地质量监测指标分级标准》（试行）确定分级。

此外，土壤重金属、水溶性盐已经存在分级标准，分别按《土壤环境质量·农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15618-2018）和《第三次全国土壤普查土壤盐渍度分类分级标准》执行。由于土壤生物学性状研究累积有限，本文件不涉及生物学性状指标分级标准的

制定。

(二) 标准主要内容及其确定依据

1. 土壤主要性状指标及分类

本标准涉及的土壤主要性状指标为与农业生产相关的土壤物理和化学指标。按照指标特性划分为七种类型（含 1 类物理指标和 6 类化学指标），其中第一类是土壤物理指标，包括土壤容重、质地、耕层厚度和水稳性大团聚体，共 4 项指标；第二类是土壤基础化学指标，包括 pH、阳离子交换量和碳酸钙，共 3 项指标；第三类是土壤大量养分指标，包括有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾、缓效钾，共 7 项指标；第四类是土壤有效中微量养分指标，包括交换性钙、交换性镁、有效硫、有效硅、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼和有效钼，共 10 项指标；第五类是土壤地质元素全量指标，包括全钙、全镁、全硫、全硅、全铁、全锰、全铜、全锌、全硼、全钼、全硒和全铝，共 12 项指标；第六类是土壤重金属指标，包括镉、铬、铅、砷、汞，共 5 项指标；第七类是土壤盐分指标，包括表土层碱化度和含盐量，共 2 项指标。

2. 土壤物理指标分级

土壤物理指标包括土壤容重、质地、水稳性大团聚体和耕层厚度，是反映土壤宜耕性、宜种性、水肥气热协调性等土壤肥力和耕地质量的基础指标，在调节环境和土体内部水、热、气、肥协调，并稳、匀、足、适供给作物生长所需水肥等发挥重要作用，与土壤肥力和作物生长密切相关。

(1) 分级依据

根据土壤物理指标对土壤肥力和植物生长的影响程度并结合统计学方法进行分级。耕层厚度和水稳性大团聚体指标与土壤肥力和植物生长之间呈戒上型函数关系，一般而言其数值越大，相应的土壤肥力水平越高，但是到某一临界值后对土壤肥力的正贡献趋于稳定；将

戒上型指标耕层厚度和水稳性大团聚体分为 5 级，数值从高至低分别用 I、II、III、IV 和 V 表示，数值越高对土壤肥力和作物生长越有利。土壤容重指标与土壤肥力和植物生长之间则呈峰值函数关系，指标过高或过低对作物生长均有不良影响，其数值离某一特定范围越近越有利于作物生长；土壤质地为概念型指标，过黏或过砂都不利于水肥气热的协调供给并影响作物生长；将峰值指标土壤容重和概念型指标土壤质地分为 7 级，分别用 I、II、III、IV、V、VI 和 VII 表示，其中离中间第 IV 级数值越近越利于作物生长。各省（市、自治区）针对区域情况将来可在全国分级基础上进一步细分，但不允许脱离国家分级基础自行分级。

（2）分级释义与分级水平

土壤耕层厚度直接反映土壤的耕作状况、土壤发育及侵蚀程度，一般情况下耕层越厚水肥库容越大、越有利于作物生长；根据现有的耕作机械情况，参考第二次全国土壤普查、测土配方施肥、耕地质量监测评价等历史数据和专家意见，普遍认为耕层低于 10 cm 不利于作物生长和水分养分保存，耕作深度达到 20~25 cm 及以上较佳；因此以耕层厚度 10 cm 作为下限，按 5 cm 的步长分级，将耕层厚度 I-V 级对应的水平区间分别设为 >25、20~25、15~20、10~15 和 ≤10 cm。耕层厚度指标由高到低 I-V 级分别用高（I）、较高（II）、中（III）、较低（IV）和低（V）评价耕层厚度与土壤肥力和作物生长的关系。

土壤水稳性团聚体是土壤团粒结构及其稳定性的体现、是土壤肥力的综合表现，较高的土壤水稳性大团聚体表征土壤结构良好、能有效调节土壤水气矛盾、促进根系在土体中穿插和生长。参考第二次土壤普查、测土配方施肥、耕地质量监测评价等历史数据和专家意见，一般认为土壤水稳性大团聚体小于 10% 的土壤结构及肥力质量差，高于 40% 土壤结构及其稳定性最好，因此以 10% 和 40% 分别作为土壤团粒结构含量的下限和上限，中间以 10% 的步长进行分级，将水稳性大团聚体 I-V 级对应的区间分别设为 >40、30~40、20~30、10~20 和

≤10%(表1)。水稳性大团聚体含量指标由高到低 I-V 级分别用高(I)、较高(II)、中(III)、较低(IV)和低(V)评价其与土壤肥力和作物生长的关系。

土壤容重大小反映土壤疏松与板结程度,与根系的下扎生长和水肥的移动密切相关。土壤容重过高或过低都不利于作物根系下扎和生长,是一个抛物线型的峰值指标;研究表明,土壤容重主要集中在 0.9~1.55 g/cm³,高于 1.55 或者低于 0.9 g/cm³ 都不利于作物根系生长,最适宜作物生长的土壤容重为 1.10-1.25 g/cm³; 因此以土壤容重 1.55 和 0.9 g/cm³ 为上限和下限分为七级, I-VII 级对应的区间分别设为 ≤0.9、0.9~1.0、1.0~1.1、1.1~1.25、1.25~1.35、1.35~1.55 和 >1.55 g/cm³ (表2); 分别用过松(I)、偏松(II)、稍松(III)、疏松(IV)、稍紧(V)、偏紧(VI)和过紧(VII)释义土壤的紧实程度,其中 III-V 级对应耕地质量等级(GB/T 33469 2016)中的“适中”,其余为“偏轻或偏重”; “适中”表示其紧实程度不影响作物根系生长及水肥的运移,“偏轻或偏重”都会影响作物生长。各省(市、自治区)针对区域情况将来可在全国土壤容重分级基础上对高级别或低级别进一步细分。

土壤质地是土壤的基本骨架,与土壤水、肥、气、热的保持和运移及作物生长密切相关,过黏或过砂都不利于水肥气热的协调供给并影响作物生长,也不利于耕作,一般认为壤土的耕性好、水肥气热更协调,因此将壤土作为最佳级别、砂土和黏土作为最低级别。根据粒径分布及其对作物生长的适宜程度分为 I-VII 级,分别用砂土类(I,含砂土及壤质砂土)、砂壤类(II,砂壤土)、轻壤类(III,粉(砂)质壤土)、中壤类(IV,壤土)、黏壤类(V,含砂质黏壤土、黏壤土、粉(砂)质黏壤土)、轻黏类(VI,含砂质黏土、壤质黏土、粉(砂)质黏土)、黏土类(VII,黏土、重黏土)释义土壤质地; 其中,第IV级为最佳级别,第I和第VII级为最低级别,主要对应耕地质量等级(GB/T 33469 2016)中的第八至十级的低产田,其他级别

对应中高产田土壤质地。

本标准中，土壤质地分级与耕地地力评价中广泛采用的土壤质地“中壤、轻壤、重壤、沙壤、黏土、砂土”6种类型描述的对应关系是IV（中壤）、III（轻壤）、V（重壤）、II（砂壤）、VI和VII（轻黏和黏土）和I（砂土），在耕地地力评价中一般将中壤评价为适宜、轻壤和重壤评价为较适宜，黏土和砂土评价为不适宜，本标准的评价与耕地地力评价基本对应。本标准的质地名称采用国际制命名，与国际制4个分类中的对应关系是砂土类对应第I级，壤土类对应II、III、IV级，黏壤类对应V级，黏土类对应VI和VII级（表3）。如果某些省（市、自治区）土壤质地集中在黏土类，可在全国土壤容重分级基础上对VI和VII级别进一步细分。

（3）分级标准

土壤物理指标分级应符合表1、表2和表3的要求。

表1 土壤耕层厚度和水稳性大团聚体分级标准

指标	单位	分级和分级释义				
		I（高）	II（较高）	III（中）	IV（较低）	V（低）
耕层厚度	cm	>25	20~25	15~20	10~15	≤10
水稳性大团聚体	%	>40	40~30	30~20	20~10	≤10

表2 土壤容重分级标准

分级	分级释义	土壤松紧程度	土壤容重 (g/cm ³)
I	不适宜	过松	≤0.9
II	较不适宜	偏松	0.9~1.0
III	较适宜	稍松	1.0~1.1
IV	适宜	疏松	1.1~1.25
V	较适宜	稍紧	1.25~1.35
VI	较不适宜	偏紧	1.35~1.55
VII	不适宜	过紧	>1.55

表3 土壤质地分级标准

分级	分级释义	质地类别	国际质地名称
I	不适宜	砂土类	砂土及壤质砂土
II	较不适宜	砂壤类	砂壤土
III	较适宜	轻壤类	粉(砂)质壤土
IV	适宜	中壤类	壤土
V	较适宜	黏壤类	砂质黏壤土、黏壤土、粉(砂)质黏壤土
VI	较不适宜	轻黏类	砂质黏土、壤质黏土、粉(砂)质黏土
VII	不适宜	黏土类	黏土、重黏土

3.土壤基础化学指标分级

包含土壤 pH、阳离子交换量 (CEC) 和碳酸钙含量, 与土壤的酸碱反应、土壤表面物理化学吸附、养分形态及有效性、土壤保肥及供肥能力、污染物的缓冲能力及生物多样性等密切相关。

(1) 分级依据

土壤 pH 与作物生长呈峰值型函数关系, pH 过高或过低均不适宜作物生长。根据土壤酸碱度及其对作物生长的影响程度, 以 6.5~7.5 作为多数作物的最适 pH 范围, 按照等距法在最适 pH 范围外按照 1.0 个 pH 单位为步长进行分级, 将土壤 pH 从低至高分分为 7 级, 分别用 I、II、III、IV、V、VI 和 VII 表示。土壤阳离子交换量和碳酸钙含量采用百分位 (20%、40%、60%、80% 的百分位值) 的统计学方法并结合土壤保肥供肥能力和石灰反应情况, 将土壤阳离子交换量和碳酸钙含量指标从高至低分为 5 级, 分别用 I、II、III、IV 和 V 表示。

(2) 分级释义与分级水平

大多数作物喜欢弱酸性至中性的土壤环境, 土壤过酸或过碱均不利于植物生长。按土壤酸碱度 pH 从低到高 I-VII 级分别表征极强酸性 (I)、强酸性 (II)、酸性 (III)、中性 (IV)、碱性 (V)、强碱性 (VI)、极强碱性 (VII) 土壤。按土壤酸碱度对作物生长的适宜程度将各等级释义为适宜 (IV)、较适宜 (III 和 V)、较不适宜

(II 和 VI) 和不适宜 (I 和 VII) 作物生长。土壤酸碱度 (pH) I-VII 级对应的区间分别设为 ≤ 4.5 、4.5~5.5、5.5~6.5、6.5~7.5、7.5~8.5、8.5~9.0 和 >9.0 (表 4), 与第二次全国土壤普查、耕地质量监测评价分级标准一致。

土壤阳离子交换量是土壤表面可吸附和交换的阳离子总量, 在一定条件下指标的高低可体现土壤的保肥蓄肥能力; 一般情况下土壤碳酸钙含量能反映土壤酸缓冲能力及土壤发育程度; 将土壤阳离子交换量和碳酸钙 I-V 级分别用高、较高、中、较低和低进行释义。分析全国第二次土壤普查和测土配方施肥等数据, 综合全国 CEC 数据 (上限 38 cmol/kg、下限 0.1 cmol/kg) 和全国九大农区耕地质量监测指标分级标准 (各农区标准不一), 将普遍定义的 5.0 cmol/kg 和 20.0 cmol/kg 分别作为低级别和最高级别阈值。参考第二次全国土壤普查分级标准和专家意见, 在 5.0~20.0 cmol/kg 范围内, 按照步长 5.0 cmol/kg 将土壤阳离子交换量分为 I-V 级, 区间水平分别为 >20 、15~20、10~15、5~10 和 ≤ 5 cmol/kg (表 5); 沿用二普的分级标准, 采用百分位统计学方法将土壤碳酸钙含量 I-V 级对应的区间分别设为 >150 、50~150、30~50、10~30 和 ≤ 10 g/kg (表 5)。

(3) 分级标准

土壤基础化学指标分级应符合表 4 和表 5 的要求。

表 4 土壤 pH 分级标准

分级	分级释义	酸碱性	土壤 pH
I	不适宜	极强酸性	≤ 4.5
II	较不适宜	强酸性	4.5~5.5
III	较适宜	酸性	5.5~6.5
IV	适宜	中性	6.5~7.5
V	较适宜	碱性	7.5~8.5
VI	较不适宜	强碱性	8.5~9.0
VII	不适宜	极强碱性	>9.0

表 5 土壤阳离子交换量和碳酸钙分级标准

指标	单位	分级和分级释义				
		I (高)	II (较高)	III (中)	IV (较低)	V (低)
阳离子交换量	cmol(+)/kg	>20	15~20	10~15	5~10	≤5
碳酸钙	g/kg	>150	50~150	30~50	10~30	≤10

4.土壤大量养分指标分级

包括有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾、缓效钾共 7 项指标，是表征土壤养分肥力的重要化学指标，在指导有机肥和化肥的科学施用、土壤改良培肥中具有重要作用。

(1) 分级原则

按照土壤为植物生长提供养分的能力（程度），采用养分丰缺指标法和百分位数统计学方法进行分级。根据作物反应，土壤大量养分有效性指标以相对产量 95%、90%、70%和 50%为界进行养分丰缺指标分级；土壤大量养分全量指标根据养分潜在供应能力并结合百分位数的统计学方法进行分级。将土壤有机质和全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾和缓效钾含量由高至低分为 5 级，分别用 I、II、III、IV 和 V 表示。

(2) 分级释义与分级水平

土壤有机质含量与耕地质量、耕地产能及农业的可持续发展密切相关。大量研究结果表明，诸如耕作、种植制度、施肥等农田管理措施影响土壤有机质的动态变化；一般情况下土壤有机质含量越高，土壤的整体肥力水平越好，因此土壤有机质含量是本标准的关键技术指标之一。土壤有机质含量与土壤肥力和耕地产能总体符合直线回归模型，参考第二次全国土壤普查，结合测土配方施肥、耕地质量监测评价等历史数据和专家意见，以满足绝大多数作物高产优质的 III 级对应区间设置为 20~30 g/kg，并在此基础上，将符合正态分布的有机质大数据按照等距法（10.0 个单位）扩展为五级，从高到低的 I-V 级对

应的区间水平为>40、30~40、20~30、10~20和≤10 g/kg（表6），分别用丰富、较丰富、中等、缺乏和极缺表征。由于近40年我国土壤有机质的显著提升，将原第二次土壤普查的第5级（6~10 g/kg）和第6级（<6 g/kg）合并为当前极缺的第V级；其他级别的分级区间与二普一致。对于有机质含量较低或者较高的区域，可以在此基础上对最高或最低级别进行细分。

土壤全氮和有效磷钾的丰缺状况直接影响作物产量和施肥量，主要根据作物产量反应进行分级，以相对产量在95%以上的土壤全氮和有效磷钾含量为“丰富”，90%~95%为“较丰富”，70%~90%为“中等”，50%~70%为“缺乏”，50%以下的土壤养分含量为“极缺”。根据其丰缺状况由高到低I-V级分别释义为丰富、较丰富、中等、缺乏和极缺。一般而言，土壤全氮和有效磷钾指标维持在中等偏高水平较好，在丰富水平时应酌情减量施肥，以提高养分效率并降低环境风险；土壤缓效钾含量越高表明土壤的供钾能力越强。对于土壤全氮，参考第二次土壤普查，将原第5级（0.5~0.75 g/kg）和第6级（<0.5 g/kg）合并为当前的极缺第V级；其他级别的分级区间与二普一致（表6）。对于土壤有效磷，在全国土壤有效磷大幅度提高的背景下，参考第二次土壤普查，将原第4级（5.0~10 mg/kg）、第5级（3.0~5.0 mg/kg）和第6级（<3 mg/kg）合并为当前的极缺级别（V≤10 mg/kg）；综合作物养分丰缺指标法和磷素农学阈值，中等水平的III级对应区间设置为20~30 mg/kg；综合考虑土壤磷素培肥和环境风险，将磷素分级的上限值设为40 mg/kg，并按照等距法（10.0个单位）扩展为五级，从高到低的I-V级对应的区间水平为>40、30~40、20~30、10~20和≤10 g/kg（表6）；针对有效磷含量较低的稻田，在区域分级评价时可将最低级别进行细分。对于土壤速效钾，在全国农业土壤速效钾显著提高的背景下，参考第二次土壤普查，将原第5级（30~50 mg/kg）和第6级（≤30 mg/kg）合并为当前的极缺级别（V级，≤50 mg/kg）；其他级别的分级区间与二普一致（表6）。近40年我国土壤缓效钾

显著提升，因此与第二次土壤普查缓效钾分级指标相比，本文件调整了各级范围（见表6），与目前土壤的含量状况和生产实际更为紧密。

土壤全量磷、钾指标表征土壤磷钾储量及潜在供应能力。土壤全磷中，参考第二次土壤普查，将原第5级（0.2~0.4 g/kg）和第6级（<0.2 g/kg）合并为当前第V级，其他级别的分级区间与二普一致；土壤全钾中，参考第二次土壤普查，将原第5级（5~10 g/kg）和第6级（<5 g/kg）合并为当前第V级（表6），其他级别的分级区间与二普一致。土壤全量磷、钾 I-V 级对应的区间分别见表6。

磷是植物生长发育必需的元素，也是水体富营养的重要因子。土壤磷肥力较低时，增加磷肥投入来提高土壤有效磷水平对作物增产提质是必需的；但土壤达到富磷水平后，有效磷的进一步增加会加重农田土壤磷素向水体流失。因此，借鉴磷环境阈值的科学研究成果及测土配方施肥等数据，参考《耕地地力主要指标分级诊断》（DB 13/T 5406—2021），将土壤有效磷的环境阈值设为 80 mg/kg。

（3）分级标准

土壤大量养分指标分级应符合表6要求。

表6 土壤大量养分指标分级标准

指标	单位	分级和分级释义				
		I（丰富）	II（较丰富）	III（中等）	IV（缺乏）	V（极缺）
有机质	g/kg	>40	30~40	20~30	10~20	≤10
全氮	g/kg	>2.00	1.50~2.00	1.00~1.50	0.75~1.00	≤0.75
全磷	g/kg	>1.0	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	≤0.4
全钾	g/kg	>25	20~25	15~20	10~15	≤10
有效磷*	mg/kg	>40	30~40	20~30	10~20	≤10
速效钾	mg/kg	>200	150~200	100~150	50~100	≤50
缓效钾	mg/kg	>700	500~700	300~500	100~300	≤100

*注：有效磷超出一定浓度，会产生农田污染风险，其环境阈值为80 mg/kg。

5.土壤有效中微量养分指标分级

包括土壤交换性钙、交换性镁、有效硫、有效硅、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼和有效钼共 10 项指标，是表征土壤供给作物中微量养分能力的化学指标。

(1) 分级原则

土壤有效中微量养分用养分丰缺指标法并结合缺素临界值进行分级，以作物施肥反应为依据，根据满足作物需求的丰富程度将其分为 5 个等级，指标由高到低分别用 I、II、III、IV、V 表示。

(2) 分级释义与分级水平

土壤有效中微量养分 I-V 级各水平对应释义为偏高、丰富、中等、缺乏、极缺，其中缺乏水平（即 IV 级水平）的上限值为土壤养分临界值，低于临界值应施用该中微量肥料。“V 级/极缺”表示含量很低、对作物生长有严重影响，施用该中微肥有明显增产效果；“IV 级/缺乏”表示含量低于临界值，施用该中微肥有增产/提质效果；“III 级/中等”表示含量属临界值边缘，不同作物施肥反应不一样，敏感性作物施用该中微肥有可能增产/提质效果；“II 级/丰富”表示土壤含量丰富能满足作物生长，不用施该中微肥；“I 级/偏高”表示土壤含量高，施肥无效，某些中微量元素含量过高可能与其他元素产生拮抗、不平衡、对作物产生毒害等。在农业生产中，将土壤有效中微量养分含量维持在“II 级/丰富”水平较好。

对于土壤交换性钙而言，当交换性钙小于 250 mg/kg 时所有作物均有效，故将 200 mg/kg (1.0 cmol(1/2Ca²⁺)/kg) 设定为最低级别阈值。关于钙的缺乏临界值研究较少，在一些果蔬等经济作物在交换钙小于 1000 mg/kg (5cmol(1/2Ca²⁺)/kg) 施肥有效；测土配方施肥初步提出的作物交换性钙临界值为 800 mg/kg (4.0 cmol(1/2Ca²⁺)/kg)，因此本标准初步将 800 mg/kg (4.0 cmol(1/2Ca²⁺)/kg) 作为钙的临界值。《全国九大农区及省级耕地质量监测指标分级标准》中，各大农区高级别在 5~25 cmol(1/2Ca²⁺)/kg (1000 ~ 5000 mg/kg) 之间，故将大多数中间值 15 cmol(1/2Ca²⁺)/kg (3000 mg/kg) 设定为高级别阈值。综上，

参考测土配方施肥、耕地质量监测评价等历史数据和专家意见，采用养分丰缺指标法，将土壤交换性钙 I-V 级对应的区间分别设为 > 15.0 、 $10.0\sim 15.0$ 、 $4.0\sim 10.0$ 、 $1.0\sim 4.0$ 和 $\leq 1.0 \text{ cmol}(1/2\text{Ca}^{2+})/\text{kg}$ （表 7）。“V 级/极缺”表示含量很低、对所有作物有效，应施用含钙肥料或含钙改良剂；“IV 级/缺乏”表示含量低于临界值，施用该钙肥有增产/提质效果；“III 级/中等”表示含量属临界值边缘，不同作物施肥反应不一样，果蔬等敏感性作物施用钙肥有可能增产/提质效果；“II 级/丰富”表示土壤含量丰富能满足作物生长，不用施钙肥；“I 级/偏高”表示土壤含量高，如果含量过高可能与其他金属微量元素产生拮抗、对作物生长不利。在农业生产中，将土壤钙含量维持在“II 级/丰富”水平较好。

对于土壤交换性镁而言，交换性镁与土壤肥力和作物产能总体符合戒上型回归模型。参考符合正态分布的大数据范围，果蔬作物土壤交换性镁的临界值为 120 mg/kg ，即 $1.0 \text{ cmol}(\text{Mg}^{2+})/\text{kg}$ ；各大农区土壤交换性镁的高级别在 $200\sim 500 \text{ mg/kg}$ 之间，为方便取整，将 240 mg/kg （ $2.0 \text{ cmol}(\text{Mg}^{2+})/\text{kg}$ ）设定为高级别阈值。本标准将 III 级能基本满足作物镁营养需求的区间设置为 $1.0\sim 1.5 \text{ cmol}(\text{Mg}^{2+})/\text{kg}$ ，按照等距法（0.5 个单位）扩展至 II 级（ $1.5\sim 2.0$ ）和 I 级（ > 2.0 ）；九大农区低级别阈值均为 50 mg/kg ，为方便取整，将 60 mg/kg （ $0.5 \text{ cmol}(\text{Mg}^{2+})/\text{kg}$ ）设定为最低级别阈值。综上，结合测土配方施肥、耕地质量监测评价等历史数据和专家意见，将土壤交换性镁 I-V 级对应的区间分别设为 > 2.0 （偏高）、 $1.5\sim 2.0$ （丰富）、 $1.0\sim 1.5$ （中等）、 $0.5\sim 1.0$ （缺乏）和 $\leq 0.5 \text{ cmol}(1/2\text{Mg}^{2+})/\text{kg}$ （极缺）（表 7），其中土壤缺镁临界值为 IV 级的上限，即 $1.0 \text{ cmol}(1/2\text{Mg}^{2+})/\text{kg}$ ，与大多数研究结果基本一致。

对于土壤有效硫，参考测土配方施肥、耕地质量监测评价等历史数据，以全国九大农区耕地质量监测指标分级标准中普遍定义的 10.0 mg/kg 和 40.0 mg/kg 分别作为最低级别和最高级别阈值，以 10 个单位为步长分为 5 级，其中临界值为 IV 级的上限，即 20 mg/kg （表 7）。

关于土壤有效硫临界值研究不多，目前的报道大多为 20 mg/kg，本标准中有效硫的临界值定为 20 mg/kg，与前人报道基本吻合。

对于土壤有效硅，参考测土配方施肥、耕地质量监测评价等历史数据，以全国九大农区耕地质量监测指标分级标准中多数定义的下限（50 mg/kg）和上限（250 mg/kg）分别作为最低级别和最高级别阈值。硅是水稻等作物的有益元素，关于硅营养临界值的研究不多，本标准有效硅临界值为 100 mg/kg，与测土配方施肥结果基本吻合。

对于土壤有效铁、锰、硼、钼，总体含量及分布与第二次土壤普查相似，沿用第二次土壤普查暂行分级标准进行；土壤有效铁、锰、硼、钼的缺素临界值分别 4.5、5.0、0.5、0.15 mg/kg，这也是分级中第Ⅳ级的上限值。土壤有效铁、锰超过 80 mg/kg 时可能对旱地作物产生毒害，有效硼、钼分别超过 3.0、1.0 mg/kg 对作物可能有毒害，参考研究结果及《全国九大农区及省级耕地质量监测指标分级标准》和《耕地地力主要指标分级诊断》（DB 13/T 5406—2021），将土壤有效铁、锰、硼、钼的毒害阈值分别定为 80、80、3.0、1.0 mg/kg。

对于土壤有效铜，测土配方施肥和耕地质量监测等数据表明，近年来土壤有效铜含量较二普明显提升。文献资料报道的有效铜临界浓度为 0.2~0.5 mg/kg，参考测土配方施肥及最近报道结果将 0.5 mg/kg 作为临界值；当土壤有效铜低于 0.2 mg/kg 时施用铜肥对所有作物有效。参考第二次土壤普查、测土配方施肥、耕地质量监测评价等历史数据，将 0.2 和 2.0 mg/kg 作为土壤有效铜分级的下限值和上限值，分为 5 级，I-V 级的分级区间分别为 >2.0、1.0~2.0、0.5~1.0、0.2~0.5 和 ≤0.2 mg/kg（表 7）。研究报道，土壤有效铜超过 15 mg/kg 可能会产生作物毒害，因此将 15 mg/kg 作为毒害阈值。

对于土壤有效锌，近年来测土配方施肥和耕地质量监测等数据表明土壤有效锌较二普提升。前人报道有效锌缺素临界浓度为 0.5~1.0 mg/kg，本标准结合最新的研究报道以及土壤锌的含量情况以 1.0 mg/kg 作为临界值（水稻玉米等粮食作物都有效），当有效锌低于 0.5

mg/kg 时对所有作物有效。结合所有资料，将土壤有效锌 I-V 级的分级区间分别设为 > 3.0、2.0~3.0、1.0~2.0、0.5~1.0 和 ≤0.5 mg/kg (表 7)。研究表明，当土壤有效锌超过 10 mg/kg 可能会产生作物毒害，因此将 10 mg/kg 作为毒害阈值。

(3) 分级标准

土壤有效中微量养分指标分级应符合表 7 要求。

表 7 土壤有效中微量养分指标分级标准

指标	单位	分级和分级释义					备注	
		I (偏高)	II (丰富)	III (中等)	IV (缺乏)	V (极缺)	缺素 阈值	毒害 阈值
交换性钙	cmol(1/2Ca ²⁺)/kg	>15.0	10.0~15.0	4.0~10.0	1.0~4.0	≤1.0	4.0	-
交换性镁	cmol(1/2Mg ²⁺)/kg	>2.0	1.5~2.0	1.0~1.5	0.5~1.0	≤0.5	1.0	-
有效硫	mg/kg	>40.0	30.0~40.0	20.0~30.0	10.0~20.0	≤10.0	20.0	-
有效硅	mg/kg	>250	150~250	100~150	50~100	≤50	100**	-
有效铁*	mg/kg	>20.0	10.0~20.0	4.5~10.0	2.5~4.5	≤2.5	4.5	80
有效锰*	mg/kg	>30	15~30	5.0~15	1.0~5.0	≤1.0	5.0	80
有效铜*	mg/kg	>2.0	1.0~2.0	0.5~1.0	0.2~0.5	≤0.2	0.5	15
有效锌*	mg/kg	>3.0	2.0~3.0	1.0~2.0	0.5~1.0	≤0.5	1.0	10
有效硼*	mg/kg	>2.0	1.0~2.0	0.5~1.0	0.2~0.5	≤0.2	0.5	3.0
有效钼*	mg/kg	>0.30	0.20~0.30	0.15~0.20	0.10~0.15	≤0.10	0.15	1.0

*对于必需的中微量元素来说，一般含量趋于丰富，对作物生长有益。同时，有效微量元素含量存在缺素临界浓度，第IV级缺乏的上限为缺素临界值；一旦低于临界浓度多数作物表现出相应的缺素症状，并影响作物产量。此外，部分指标超出一定浓度，会产生作物毒害。**水稻缺硅临界值。

6. 土壤矿质元素全量指标分级

包括全钙、全镁、全硫、全硅、全铁、全锰、全铜、全锌、全硼、全钼、全硒和全铝，共 12 项指标，是表征土壤矿质元素自然资源属性的化学指标。其含量的高低主要取决于成土母岩、地质地貌等自然

条件，农耕管理对其影响有限。

(1) 分级原则

从矿质元素的资源属性出发，按照全量高低，采用统计学方法进行分级。将符合正态分布的指标数据按照 20%、40%、60%、80% 的百分位值做适当调整后划分为 5 等，指标由高到低分别用 I、II、III、IV、V 表示。

(2) 等级释义与分级水平

土壤矿质元素全量指标的 I-V 级分别表示其含量高、较高、中、较低和低，表征土壤中该元素储量的高低程度。该类指标含量高低与土壤肥力和植物生长无明显直接关系，但是某些指标对特色农产品（例如富硒农产品）的布局具有指导意义。土壤全量矿质元素等级水平的划分主要参考土地质量地球化学评价规范（DZ/T 0295-2016）。

对于土壤全钙，根据土地质量地球化学评价规范，参考了其中土地质量评价等级划分标准中氧化钙的划分情况，该标准划分以 0.42% 和 5.54% 为最低和最高值，即全钙含量分别 0.30% 和 3.96%（换算系数为 0.7143）。综合考量，将全钙低级别值设置为 0.4%，高级别值设置为 4.0%，具体分级区间见（表 8）。

对于土壤全镁，根据土地质量地球化学评价规范，并参考土地质量评价等级划分标准中氧化镁的划分情况，该标准划分以 0.70% 和 2.15% 为最低和最高限值，即全镁含量分别 0.42% 和 1.29%（换算系数为 0.60），为取整方便将 0.4% 设定为低级别阈值；1.3% 设定为高级别阈值；中间级别以 0.3% 为步长，具体分级区间见（表 8）。

对于土壤全硫，根据土地质量地球化学评价规范（上限 2.0 g/kg、下限 0.0172 g/kg），并参考土地质量评价等级划分标准中硫的划分情况。该标准划分以 0.0172g/kg 和 0.343g/kg 为最低和最高限值，为取整方便将 0.05 g/kg 设定为了低级别阈值；0.35 g/kg 设定为高级别阈值；中间级别以 0.1 个单位为步长。土壤全硫 I-V 级的范围分别为 > 0.35、0.25~0.35、0.15~0.25、0.05~0.15 和 ≤0.05 g/kg（表 8）。

对于土壤全铁，根据土地质量地球化学评价规范，并参考土地质量评价等级划分标准中氧化铁的划分情况，该标准划分以 3.4%和 5.3%为最低和最高阈值，即全铁含量分别 2.378%和 3.707%（换算系数为 0.6994），为取整方便将 2.5%和 4.0%分别设定为最低级和最高级别阈值；中间级别以 0.5%为步长，共分为 5 级。土壤全铁 I-V 级的范围分别为 > 4.0%、3.5%~4.0%、3.0%~3.5%、2.5%~3.0%和 ≤2.5%（表 8）。

对于土壤全锰，根据土地质量地球化学评价规范，并参考土地质量评价等级划分标准中锰的划分情况。该标准划分以 375 mg/kg 和 700 mg/kg 为最低和最高级别阈值，为取整方便将 400 mg/kg 设定为低级别阈值；700 mg/kg 设定为高级别阈值；中间级别以 100 为步长，共分为 5 级。土壤全锰 I-V 级的范围分别为 > 700、600~700、500~600、400~500 和 ≤400 mg/kg（表 8）。

对于土壤全铜，根据土地质量地球化学评价规范，并参考土地质量评价等级划分标准中铜的划分情况。该标准划分以 16 mg/kg 和 29 mg/kg 为最低和最高阈值，为取整方便将 15 mg/kg 设定为低级别阈值；30 mg/kg 设定为高级别阈值；中间级别以 5 mg/kg 为步长，共分为 5 级。土壤全铜 I-V 级的范围分别为 > 30、25~30、20~25、15~20 和 ≤15 mg/kg（表 8）。

对于土壤全锌，根据土地质量地球化学评价规范，并参考土地质量评价等级划分标准中锌的划分情况，该标准划分以 50 mg/kg 和 84 mg/kg 为最低和最高级别阈值，为取整方便将 50 mg/kg 设定为了低级别阈值；80 mg/kg 设定为高级别阈值；中间级别以 10 mg/kg 为步长，共分为 5 级。土壤全锌 I-V 级的范围分别为 > 80、70~80、60~70、50~60 和 ≤50 mg/kg（表 8）。

对于土壤全硼，根据土地质量地球化学评价规范，并参考土地质量评价等级划分标准中硼的划分情况。土壤全硼最低和最高阈值、以及中间级划分完全参照该标准。土壤全硼 I-V 级的范围分别为 > 65、

55~65、45~55、30~45 和 ≤ 30 mg/kg（表 8）。

对于土壤全钼，根据土地质量地球化学评价规范，并参考土地质量评价等级划分标准中钼的划分情况。土壤全钼最低和最高阈值、以及中间级划分完全参照该标准。土壤全钼 I-V 级的范围分别为 > 65 、55~65、45~55、30~45 和 ≤ 30 mg/kg（表 8）。

对于土壤全铝，全国理化指标数据阈值的极大值为 15%，极小值为 0.1%。文献中土壤全铝范围在 5%~10%之间，因此将 10.0%作为最高级别阈值；中间级别以 2.5%为步长，共分为 5 级。土壤全铝 I-V 级的范围分别为 $> 10.0\%$ 、7.5%~10.0%、5.0%~7.5%、2.5%~5.0% 和 $\leq 2.5\%$ （表 8）。

对于土壤全硅，全国理化指标数据阈值的极大值为 40%，极小值为 10%。文献中土壤全硅含量平均值为 28%。因此将 20.0%~30.0%作为中间级别，10%作为低级别，35%作为高级别。土壤全硅 I-V 级的范围分别为 $> 35\%$ 、30%~35%、20%~30%、10%~20%和 $\leq 10\%$ （表 8）。

对于土壤全硒，根据土地质量地球化学评价规范，缺乏水平为 0.125 mg/kg，边缘水平为 0.125~0.175 mg/kg，适量为 0.175~0.40 mg/kg，高水平为 0.40~3.0 mg/kg，过剩水平为 > 3.0 mg/kg。为取整方便，将 0.10 mg/kg 设置为低水平阈值，0.1~0.2 mg/kg 为较低水平，0.2~0.4 mg/kg 为中等水平，0.4~3.0 mg/kg 为较高水平，3.0 mg/kg 为高水平阈值。土壤全硒 I-V 级的范围分别为 > 3.0 、0.40~3.0、0.20~0.40、0.10~0.20 和 ≤ 0.10 mg/kg（表 8）。

（3）土壤矿质元素全量指标分级标准

土壤矿质元素全量指标分级应符合表 8 要求。

表8 土壤矿质元素全量指标分级标准

指标	单位	分级和分级释义				
		I（高）	II（较高）	III（中）	IV（较低）	V（低）
全钙	%	> 4.0	3.0~4.0	1.5~3.0	0.4~1.5	≤ 0.4

指标	单位	分级和分级释义				
		I (高)	II (较高)	III (中)	IV (较低)	V (低)
全镁	%	>1.3	1.0~1.3	0.7~1.0	0.4~0.7	≤0.4
全硫	g/kg	>0.35	0.25~0.35	0.15~0.25	0.05~0.15	≤0.05
全铁	%	>4.0	3.5~4.0	3.0~3.5	2.5~3.0	≤2.5
全锰	mg/kg	>700	600~700	500~600	400~500	≤400
全铜	mg/kg	>30	25~30	20~25	15~20	≤15
全锌	mg/kg	>80	70~80	60~70	50~60	≤50
全硼	mg/kg	>65	55~65	45~55	30~45	≤30
全钼	mg/kg	>1.0	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	≤0.4
全铝	%	>10.0	7.5~10.0	5.0~7.5	2.5~5.0	≤2.5
全硅	%	>35.0	30.0~35.0	20.0~30.0	10.0~20.0	≤10.0
全硒	mg/kg	>3.0	0.40~3.0	0.20~0.40	0.10~0.20	≤0.10

(三) 新旧标准对比 (适用于修订标准的情况)

无。

三、试验验证的分析、综述报告, 技术经济论证, 预期的经济效益、社会效益和生态效益

(一) 试验验证分析

1. 全国耕地质量监测点等大数据验证分析

农业农村部耕地质量监测保护中心是经中央编办批准成立的农业部直属事业单位, 主要负责全国耕地质量监测体系建设, 承担国家耕地质量监测网络和信息管理系统建设; 开展全国耕地质量调查监测与评价, 承担耕地与基本农田分等定级和质量保护有关工作; 开展耕地土壤改良、地力培肥、治理修复等产品及技术推广和项目建设等工作。通过相关工作积累了大量的定位监测数据。2019年, 农业农村部耕地质量监测保护中心牵头、各省推广系统和有关教育单位广泛参

与，在充分借鉴土壤二普分级、充分利用测土配方施肥和耕地质量监测评价数据基础上，制定印发《全国九大农区及省级耕地质量监测指标分级标准（试行）》，作为内部文件在农业系统和有关科学研究中广泛应用。

主要利用近年（2010-2023）全国耕地质量监测评价等数据对本标准分级的合理性进行验证。验证方法采用大数据统计分析进行验证，前人通常将符合正态分布或者转换后符合正态分布的数据用 1% 或 2% 或 5% 分位数数值作为数据统计分析的下限，用 99% 或 98% 或 95% 分位数数值作为数据统计分析的上限；本文件采用验证数据集 2% 和 98% 分位数作为统计分级的下限和上限阈值，判断验证本分级标准的上下限数值设置是否合理；分析验证数据集的中位数或平均值是否在本文件中间级别范围，验证本文件中等级别（例如五级标准中的 III 级）设置的合理性；大量和中微量养分指标的分级还要结合文献资料报道的作物反应和缺素临界值进行验证；对于土壤矿质全量指标等通过分析验证数据的统计学分位数验证本分级指标中各级别范围值设置是否合理。

（1）土壤物理指标分级验证

耕层厚度（ $n=431711$ ）的中位数为 20 cm（见表 9），平均值为 21 cm，位于 II~III 级之间，中位数位于本文件中等水平的上限；2% 分位数接近本文件的最低等级（V）阈值，98% 分位数在本文件的最高等级范围。表明，本文件确定的耕层厚度最高、最低限值与全国耕地质量监测评价等数据统计的上下限阈值相近，能较好验证本文件分级的合理性，耕层厚度各级别数值和释义总体能反映耕层厚度的高中低。

土壤容重（ $n=394803$ ）的中位数为 1.29 g/cm^3 （表 9），位于本文件较适宜第 V 级；2% 分位数接近本文件低等级（I）阈值，而 98% 分位数数值在高等级（VII）范围内。表明，本文件中该指标上下限数值与全国耕地质量监测评价等数据统计范围相当，土壤容重各级别

数值和释义总体能反映土壤容重的松紧程度。

表9 土壤物理指标分级标准验证分析

指标	单位	等级			全国耕地质量监测评价等数据				
		I	III	V	样本量	2%	平均值	中位数	98%
耕层厚度	cm	>25	15~20	≤10	431711	13	21	20	35
-	-	I	IV	VII	样本量	2%	平均值	中位数	98%
土壤容重	g/cm ³	≤0.9	1.1~1.25	>1.55	394803	0.94	1.32	1.29	1.61

(2) 土壤基础化学指标分级验证

土壤 pH (n=451098) 的中位数为 6.6 (表 10), 位于本文件的中等水平第 IV 级区间内; 2%分位数接近本文件低等级 (I) 阈值, 而 98%分位数接近本文件高等级 (VII) 阈值。表明, 本文件中 pH 上下限阈值均与全国耕地质量监测评价等数据统计一致, 土壤 pH 各级别数值和释义总体能反映土壤的酸碱程度。

表10 土壤基础化学指标分级标准验证分析

指标	单位	等级			全国耕地质量监测评价等数据				
		I	IV	VII	样本量	2%	平均值	中位数	98%
土壤 pH	-	≤4.5	6.5~7.5	>9.0	451098	4.58	6.7	6.6	8.7

(3) 土壤大量养分指标分级验证

土壤有机质 (n=451350) 的中位数为 22.5 g/kg, 平均值为 25.8 g/kg, 位于本文件的中等 III 级; 2%分位数和 98%分位数均在本文件的最低等级 (V) 和最高等级 (I) 范围 (表 11)。表明, 全国耕地质量监测评价等数据验证了本文件中该指标分级是合理的, 土壤有机质各级别数值和释义总体能反映土壤有机质的高低程度。

全氮 (n=406574) 的中位数为 1.30 g/kg, 均值为 1.46 g/kg, 处于本文件中等 III 级; 验证数据集 2%和 98%分位数在本文件最低等级 (V) 和最高等级 (I) 范围内。表明, 用全国耕地质量监测评价等数据能较好验证本文件中该指标上下限阈值设置及分级的合理性, 土壤

全氮各级别数值和释义总体能反映土壤全氮的丰缺程度。

土壤全磷（n=1842）的中位数为 0.77 g/kg，位于本文件中等 III 级区间；2%分位数低于低等级（V）阈值，而 98%分位数大于高等级（I）阈值。表明，全国耕地质量监测评价等数据验证了本文件中该指标上下限阈值设置及分级的合理性，土壤全磷各级别数值和释义总体能反映土壤全磷的丰缺程度。

土壤全钾（n=1830）的中位数为 17.7 g/kg，位于本文件中等 III 级区间；2%分位数低于低等级（V）阈值，而 98%分位数大于高等级（I）阈值。表明，全国耕地质量监测评价等数据验证了本文件中该指标上下限阈值设置及分级的合理性，土壤全钾各级别数值和释义总体能反映土壤全钾的丰缺程度。

土壤有效磷（n=450484）的中位数为 19.8 mg/kg，平均值为 31.5mg/kg，接近本文件中等 III 级区间；2%分位数低于低等级（V）阈值，而 98%分位数大于高等级（I）阈值。表明，全国耕地质量监测评价等数据验证了本文件中该指标限值设置及分级的合理性，土壤有效磷各级别数值和释义总体能反映土壤有效磷的丰缺程度，且土壤有效磷整体较二普提升。此外，部分数据超过 80 mg/kg，存在一定环境风险，设置环境风险阈值具有实践指导意义。

土壤速效钾（n=450732）的中位数为 132 mg/kg，位于本文件中等的中等水平第 III 级区间；2%分位数低于低等级（V）阈值，而 98%分位数大于高等级（I）阈值。表明，全国耕地质量监测评价等数据验证了本文件中该指标上下限阈值设置及分级的合理性，土壤速效钾各级别数值和释义总体能反映土壤速效钾的丰缺程度，并证实土壤速效钾含量整体较二普也有提升。

土壤缓效钾（n=376973）的中位数为 560 mg/kg，平均值为 603 mg/kg，位于本文件 III 级和 II 级之间，接近中等 III 级区间；2%分位数低于低等级（V）阈值，而 98%分位数大于高等级（I）阈值。表明，全国耕地质量监测评价等数据总体验证了本文件中该指标上下限阈

值设置及分级的合理性，土壤缓效钾各级别数值和释义总体能反映土壤缓效钾的丰缺程度，也反映了当前土壤缓效钾含量整体较二普提升。

表11 土壤大量养分指标分级验证

指标	单位	等级			全国耕地质量监测评价等数据				
		I	III	V	样本量	2%	平均值	中位数	98%
有机质	g/kg	>40	20~30	≤10	451350	6.5	25.8	22.5	65.4
全氮	g/kg	>2.00	1.00~1.50	≤0.75	406574	0.19	1.46	1.30	3.37
全磷	g/kg	>1.0	0.6~0.8	≤0.4	1842	0.07	0.86	0.77	2.26
全钾	g/kg	>25	15~20	≤10	1830	1.41	17.0	17.7	29.2
有效磷*	mg/kg	>40	20~30	≤10	450484	2.5	31.5	19.8	144
速效钾	mg/kg	>200	100~150	≤50	450732	33	153	132	403
缓效钾	mg/kg	>700	300~500	≤100	376973	64	603	560	1487

(4) 土壤有效中微量养分指标分级验证

土壤交换性钙 (n=754) 的中位数为 10.0 cmol(1/2Ca²⁺)/kg，位于本文件中间 III 级区间；2%分位数小于低等级 (V) 阈值，而 98%分位数大于高等级 (I) 阈值 (表 12)；文献查阅的缺乏临界值也是 4 级的上限。这表明，本标准中该指标的上下限阈值、缺素临界值与全国耕地质量监测评价等数据统计一致，土壤交换性钙各级别数值和释义总体能反映土壤交换性钙的丰缺程度。

土壤交换性镁 (n=743) 的中位数为 2.0 cmol(1/2Mg²⁺)/kg，接近高等级 (I) 数值，表明 50%以上的土壤交换性镁处于较高水平；但是，有效镁的分级是依据作物反应和缺素临界值进行，现有的文献表明缺镁临界值为 1.0 cmol(1/2Mg²⁺)/kg，当土壤有效镁高于 2.0 cmol(1/2Mg²⁺)/kg 时对作物无效，因此本文件的中等级别与验证集的中位数不一致也是合理的；本验证集的中位数高，表明我国土壤交换性镁含量整体较高，可能是北方土壤镁含量拉高了全国的均值。

土壤有效硫 (n=223286) 的中位数为 28.9 g/kg，位于本文件中等

III级区间；2%分位数低于低等级（V）阈值，而98%分位数大于高等级（I）阈值。这表明，用全国耕地质量监测评价等数据验证本文件的分级是合理的，土壤有效硫各级别数值和释义总体能反映土壤有效硫的丰缺程度。

土壤有效硅（n=216925）的中位数为168 g/kg，位于II级区间；2%分位数低于低等级（V）阈值，而98%分位数大于高等级（I）阈值。这表明，全国耕地质量监测评价等数据结合缺素临界值文献能基本验证本文件分级的合理性，土壤有效硅各级别数值和释义总体能反映土壤有效硅的丰缺程度。

表12 土壤有效中微量养分指标分级验证

指标	单位	等级			毒害 阈 值	全国耕地质量监测评价等数据				
		I	III	V		样本量	2%	平均值	中位数	98%
交换性钙	cmol(1/2Ca ²⁺)/kg	>15.0	4.0~10.0	≤1.0	-	754	1.4	25.2	10.0	70
交换性镁	cmol(1/2Mg ²⁺)/kg	>2.0	1.0~1.5	≤0.5	-	743	0.2	2.9	2.0	7.9
有效硫	mg/kg	>40.0	20.0~30.0	≤10.0	-	223286	3.3	48.2	28.9	252
有效硅	mg/kg	>250	100~150	≤50	-	216925	17.6	194	168	540
有效铁*	mg/kg	>20.0	4.5~10.0	≤2.5	80	235509	1.3	109.9	70.8	426
有效锰*	mg/kg	>30	5.0~15	≤1.0	80	236665	2.3	32.91	22.8	132
有效铜*	mg/kg	>2.0	0.5~1.0	≤0.2	15	237632	0.31	4.7	2.0	13.5
有效锌*	mg/kg	>3.0	1.0~2.0	≤0.5	10	233789	0.23	2.23	1.33	9.6
有效硼*	mg/kg	>2.0	0.5~1.0	≤0.2	3.0	232277	0.08	0.80	0.45	2.4
有效钼*	mg/kg	>0.30	0.15~0.20	≤0.10	1.0	207075	0.03	0.51	0.16	1.79

土壤有效铁（n=235509）的中位数为70.8 mg/kg，平均值为109.9 mg/kg，超过高等级（I）阈值，与本标准分级相差较大。但是，有效铁的分级是依据作物反应和缺素临界值进行，现有的文献表明缺铁临界值为4.5~10 mg/kg，当土壤有效铁高于20 mg/kg时对作物无效，因此本文件的中等级别与验证集的中位数不一致是合理的；本验证集的中位数高，表明我国土壤有效铁含量整体较高。同时，很大比例的土

壤超过 80 mg/kg, 存在一定作物毒害风险, 其毒害阈值具有现实的生产指导意义。

土壤有效锰 (n=236665) 的中位数为 22.8 mg/kg, 位于 II 级区间; 2%分位数接近低等级 (V) 阈值, 而 98%分位数大于高等级 (I) 阈值。这表明, 全国耕地质量监测评价等数据结合缺素临界值文献能基本验证本文件分级是合理性, 土壤有效锰各级别数值和释义总体能反映全国耕地质量监测数据中土壤有效锰的丰缺程度。同时, 一定比例的土壤超过 80 mg/kg, 存在一定作物毒害风险, 设置毒害阈值具有现实的生产指导意义。

土壤有效铜 (n=237632) 的中位数为 2.0 mg/kg, 位于 II 级上限; 2%分位数接近低等级 (V) 阈值, 而 98%分位数大于高等级 (I) 阈值。全国耕地质量监测评价等数据结合我国有效铜缺素临界值文献能基本验证本文件分级的合理性, 土壤有效铜各级别数值和释义总体能反映土壤有效铜的丰缺程度。同时, 部分土壤有效铜含量接近或超过 15 mg/kg, 存在一定作物毒害风险, 设置毒害阈值具有一定的生产指导意义。

土壤有效锌 (n=233789) 的中位数为 1.33 mg/kg, 位于本文件中等 III 级区间; 2%分位数接近低等级 (V) 阈值, 而 98%分位数大于高等级 (I) 阈值。这表明, 全国耕地质量监测评价等数据较好验证了本文件分级的合理性, 土壤有效锌各级别数值和释义总体能反映土壤有效锌的丰缺程度。同时, 部分土壤有效锌含量接近或超过 10 mg/kg, 存在一定作物毒害风险, 设置毒害阈值具有一定的生产指导意义。

土壤有效硼 (n=232277) 的中位数为 0.45 mg/kg, 位于本文件中等 III 级区间; 2%分位数接近低等级 (V) 阈值, 而 98%分位数大于高等级 (I) 阈值。这表明, 全国耕地质量监测评价等数据较好验证了本文件该指标分级的合理性, 土壤有效硼各级别数值和释义总体能反映土壤有效硼的丰缺程度。同时, 部分土壤有效硼含量接近或超过

3.0 mg/kg, 存在一定作物毒害风险, 设置毒害阈值具有一定的生产指导意义。

土壤有效钼 (n=207075) 的中位数为 0.16 mg/kg, 位于本文件中等 III 级区间; 2%分位数接近低等级 (V) 阈值, 而 98%分位数大于高等级 (I) 阈值。这表明, 全国耕地质量监测评价等数据较好验证了本文件该指标分级的合理性, 土壤有效钼各级别数值和释义总体能反映土壤有效钼的丰缺程度。同时, 部分土壤有效钼含量超过 1.0 mg/kg, 存在一定作物毒害风险, 设置毒害阈值具有现实的生产指导意义。

(5) 土壤矿质元素全量指标分级验证

全国耕地质量监测评价等数据统计分析的第 10%、25%、50%、75%和 90%分位数数值基本分布在土壤矿质元素全量指标 (全硫、全锰、全铜、全锌、全硼、全钼、全硅) 的 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级范围内。土壤全硒 75%以上都分布在 III~IV 级, 这与硒的地带性分布有关。整体而言, 土壤矿质元素全量指标分级是合理的, 可以反映土壤矿质元素储量的高低程度。

表13 土壤矿质元素全量指标分级验证

指标	单位	等级上限				全国耕地质量监测评价等数据					
		II	III	IV	V	样本量	90%	75%	50%	25%	10%
全硫	g/kg	0.35	0.25	0.15	0.05	8500	0.43	0.26	0.15	0.08	0.03
全锰	mg/kg	700	600	500	400	8200	926	708	522	290	2
全铜	mg/kg	30	25	20	15	8202	37.0	28.9	22.1	15.3	7.3
全锌	mg/kg	80	70	60	50	8202	109	85	66	49	28
全硼	mg/kg	65	55	45	30	8177	90.3	68.0	52.0	32.0	10.5
全钼	mg/kg	1.0	0.8	0.6	0.4	7818	1.78	1.00	0.67	0.40	0.20
全硅	%	35.0	30.0	20.0	10.0	8167	36.4	32.4	29.3	26.1	19.4
全硒	mg/kg	3.0	0.40	0.20	0.10	40638	0.47	0.30	0.19	0.13	0.09

2. 历史文献验证分析

利用中外代表性的文献数据对本标准典型指标的分级合理性进行验证分析。

(1) 土壤有机质分级与作物产量的关系。Kane 等人通过分析美国玉米主产区 12376 个点(县)年数据,发现玉米产量随着土壤有机质含量的增加而增加,有机质含量介于 0~2.5%时产量增加比例较高,而超过 2.5%时产量增幅较小,并增强了抵抗干旱胁迫的能力(Kane et al., Environ. Res. Lett. 16 (2021) 044018)。赵亚南依托连续耕种 25 年的紫色土长期定位施肥试验,发现土壤有机质含量与水稻、小麦产量呈显著正相关,且土壤有机质含量达到 2.58%时,产量较高,且年际间的差异较小(赵亚南,2016,长期不同施肥下紫色水稻土有机碳变化特征及影响机制,博士论文)。本标准中土壤有机质中等水平(III 级)的范围为 2%~3%,与上述报道一致。此外,很多研究指出了土壤有机质与土壤质量及作物产量的密切相关,随着土壤有机质含量的增加,作物产量呈现先增加后持平的特征;研究者认为土壤有机质高于 34 g/kg (20 g SOC /kg) 时,大多数土壤的肥力不再增加;而低于该值则稳定性下降(宋春雨等,2008,土壤有机质对土壤肥力与作物生产力的影响,农业系统科学与综合研究)。因此,综合土壤类型、质地对土壤有机质、土壤肥力和作物产量的影响,本标准将 40 g/kg 设为土壤有机质最高等级的阈值,便于更好地指导生产和土壤培肥。

(2) 耕层厚度。韩晓增等人综合分析了耕作层的演变和功能及其对作物根系生长和产量的重要意义,提出了粘质土壤(粘粒含量 > 35%)的适宜耕作层深度为 35 cm 左右,沙质土壤为 20 cm 左右(土壤与作物,2015,4(4): 145-150)。此外,中国科学院东北地理与农业生态研究所建立了农田耕层人为剥离后重建不同黑土层的定位模拟试验,重建 3 个耕层厚度,即耕层厚度 10 cm、20 cm 和 30 cm,种植方式为大豆和玉米免耕轮作。试验发现,与 30 cm 耕层厚度相比,10 cm 耕层厚度使玉米减产 9%~22%,但对大豆产量没有影响。与 30 cm 和 20 cm 耕层厚度相比,10 cm 耕层显著降低了玉米拔节期(V7)

和乳熟期及大豆鼓粒期的根生物量和地上部生物量。本标准中土壤耕层厚度的中等水平(III级)范围为15~20 cm,高级别阈值为>25 cm,能较好地指导生产和构建合理耕层。

(3) 土壤有效磷。沈浦(2014)分析了十三个15~31年长期试验点不施磷、化学磷肥和有机肥配施化学磷肥等处理的观测数据,发现:(1)长期不同施肥下十三个点土壤有效磷的变化总体为:有机肥配施化学磷肥增加4.2 mg/kg/yr,化学磷肥增加0.9 mg/kg/yr,不施磷下降0.2 mg/kg/yr。旱地农田中有机肥配施化学磷肥提升了土壤有机碳,提高了有效磷及其占全磷百分比(磷活化系数);(2)小麦、玉米和水稻土壤有效磷的农学阈值分别为7.5~23.5 mg/kg、5.7~15.2 mg/kg和4.3~14.9 mg/kg(沈浦,长期施肥下典型农田土壤有效磷的演变特征及机制,博士论文)。有研究表明,水稻油菜轮作模式下土壤Olsen-P农学阈值为15 mg P kg⁻¹;南方湿润平原区农田面源污染风险主要以径流为主,并结合地表水环境质量标准(GB3838-2002)中III类水对不同水体类型的限制,磷素流失目标水体为湖、库区时,目标水体为河流时,控制目标为75 mg P kg⁻¹;(刁斌,典型农田土壤磷素环境阈值研究——以南方水旱轮作和北方小麦玉米轮作为例,2014)。本分级标准中土壤有效磷的中等水平(III级)范围为20~30 mg/kg,高于三大粮食作物的农学阈值;而环境阈值为>80 mg/kg,涵盖了上述报道的环境阈值范围,作为全国性指标能较好地指导生产和磷肥绿色高效施用。

(4) 土壤交换性钙、交换性镁和有效硫。王妍等(我国主要粮食产区土壤有效态钙镁硫的变化特征及其对作物产量的影响,中国土壤与肥料,2024)基于覆盖全国697个耕地质量监测点的监测数据,对比分析了2016和2021年全国及六大粮食产区(东北区、华北区、西北区、西南区、长江流域和华南区)的土壤有效态钙镁硫含量的变化特征。2016年全国耕地土壤交换性钙平均含量为2294.7 mg/kg,与2021年(2153.2 mg/kg)相比无显著性差异。根据该文引用的分级标

准 (>1500 、 $800\sim1500$ 、 $500\sim800$ 、 $300\sim500$ 、 ≤ 300 mg/kg)，全国、东北区、华北区、西南区、长江流域土壤交换性钙含量均以高等级为主，占比 $52.1\% \sim 88.9\%$ ；西北区交换性钙以高等级为主，占比 88.9% ；该分级中 >1500 mg/kg 的样本量占比过大，本分级标准中土壤交换性钙的中等水平（III 级）范围为 $800\sim2000$ mg/kg，全国耕地土壤交换性钙平均含量位于 IV 级（ $2000\sim3000$ mg/kg）范围内，分级涵盖范围更宽，数据分布更合理。

2016 年全国耕地土壤交换性镁平均含量为 283.3 mg/kg，与 2021 年（ 293.4 mg/kg）相比无显著性差异。根据该文献引用的分级标准（ >300 、 $200\sim300$ 、 $100\sim200$ 、 $50\sim100$ 、 ≤ 50 mg/kg），2016 和 2021 年全国及大部分粮食产区土壤交换性镁含量等级以高等级为主，占比均超过 33.0% ；2016 年西南区和长江流域以及 2021 年西北区的土壤交换性镁以中等级为主，占比超过 30.0% ；华南区 2016 和 2021 年的土壤交换性镁均以低等级为主，占比超过 30.0% ，数据分布及应用相对合理。本分级标准中土壤交换性镁分级总体与上述文献的分级范围相当，有助于识别土壤障碍因素和合理施用含镁肥料，提高土壤镁素供应水平。

2021 年全国有效硫平均含量为 26.6 mg/kg，与 2016 年（ 36.6 mg/kg）相比显著下降了 27.3% 。2016 年全国、东北区、西北区、西南区、长江流域和华南区有效硫均以高等级为主，占比 $28.1\% \sim 47.0\%$ ，华北区以低等级为主，占比 45.4% 。该文献引用的分级标准（ >40 、 $30\sim40$ 、 $20\sim30$ 、 $10\sim20$ 、 ≤ 10 mg/kg）能较好地反映全国有效硫状况，2021 年全国、东北区、华北区、西北区、西南区和长江流域有效硫以较低和低等级为主，占比均超过 29.0% ，华南区仍以高等级为主，占比为 27.9% 。全国及大部分粮食主产区土壤有效硫较为缺乏。本文件分级标准与该文献分级标准基本一致，能较准确反映当前土壤有效硫的总体状况。

（5）农业推广与科研部门不断更新和完善土壤养分丰缺指标体

系，已经建立了玉米、水稻、小麦、柑橘、油菜等主要作物的土壤养分丰缺指标体系，养分缺乏临界值基本与本文件相当。例如，邹娟（2010，冬油菜施肥效果及土壤养分丰缺指标研究，博士论文）通过多年多点的田间试验，从产量、品质和经济效益3个方面全面揭示了氮磷钾硼肥施用对长江流域冬油菜的影响分析评价了肥料利用率及土壤养分平衡现状，初步建立和更新了油菜养分需求规律及土壤养分丰缺指标的数据库。根据土壤有效养分含量与相应不施肥区相对产量的关系，建立基于常规法、ASI法及M3的土壤养分丰缺指标。以相对产量<60%，60%~75%，75%~90%，90%~95%和>95%为标准，分别将土壤有效磷、钾和硼分成“严重缺乏”、“缺乏”、“轻度缺乏”、“适宜”和“丰富”5级。以常规测定方法为例，土壤有效磷的5级指标分别为<6.0、6.0~12.0、12.0~25.0、25.0~30.0和>30.0 g P/kg；土壤有效钾“缺乏”、“轻度缺乏”、“适宜”和“丰富”的指标分别为<60、60~135、135~180和>180 mg K/kg；土壤有效硼“缺乏”“轻度缺乏”“适宜”和“丰富”的指标分别为<0.2、0.2~0.6、0.6~0.8和>0.8 mg B/kg。研究结果显示不施氮处理的油菜籽相对产量与土壤氮素测定值关系不明显，而不施磷、不施钾和不施硼处理相对产量与土壤有效磷、有效钾和有效硼含量呈显著正相关关系，据此建立了当前产量水平下的土壤有效磷、钾、硼等养分的丰缺指标。又如，在《中国主要作物施肥指南》（张福锁等著，2009）中，利用测土配方施肥项目在不同土壤肥力的田块上开展的田间肥效试验及全国不同区域的养分管理试验数据，建立了基于田间试验的不同区域及不同作物的多种土壤养分丰缺指标，同时得到田间试验和示范的校验，为本标准的制定提供了丰富可靠的数据基础。

（二）综述报告

全国耕地质量监测评价等数据统计分析证明，本标准中所涉及的主要土壤物理指标、土壤基础化学指标和土壤大量养分指标分级的下

限值和上限值、以及各级别数值和释义总体是合理的。通过查阅文献资料的养分缺乏临界值指标并结合耕地质量监测点数据的统计分析证明,本文件中有效中微量元素分级指标上下限值和缺乏临界值等均能反映土壤丰缺状况和作物反应,能较好应用于指导农业生产。利用全国耕地质量监测评价等数据的统计学分位值验证了土壤矿质元素全量指标分级均合理,可以反映土壤矿质元素全量作为资源储备量的高低水平。验证结果总体表明,本文件的分级标准合理可行。

(三) 技术经济论证

在技术层面,本标准依托耕地质量监测评价、测土配方施肥等形成的大数据库,结合主要农区气候特征、作物养分需求特点、危害阈值等因素,按照重要性构建土壤主要性状指标最小数据集和权重阈值,定量评价指标隶属度函数模型,最后按照丰缺法、等距法或累积频率曲线法对数据进行5级或7级划分。本标准的技术要点包括:(1)土壤主要指标至少包括土壤物理指标、土壤基础化学指标、土壤大量养分指标、土壤有效中微量养分、土壤矿质元素全量、土壤重金属和土壤盐分指标;(2)隶属度函数模型包含峰值型、戒上型和戒下型;(3)主要指标(除土壤pH、质地和容重)划分为5个等级,从高到低分别为I、II、III、IV和V级;峰值型指标(土壤pH、质地和容重)划分为7个等级,即I-VII级,IV级为适宜水平。

在经济层面,本标准以数据整理、分析和专家论证为主,可减少大量的社会劳动消耗,并预期可取得价值巨大的应用成果。

(四) 预期的经济效益、社会效益和生态效益

制定本标准,土壤主要性状指标分级主要服务于土壤属性分析评价、耕地培肥改良、科学施肥指导等,同时也服务于土壤属性制图等。制定本标准,对于科学评价当前我国土壤养分的含量现状和丰缺水水平,服务土壤调查评价成果的汇总分析和科学利用,全面摸清土壤质量状况,开展土壤的科学诊断和利用提供基础支撑,具有重要的经济、

社会和生态效益。

四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

本标准（即土壤主要性状指标分级，下同）提出的目的是从农业生产角度开展土壤主要性状指标分级，为土壤主要性状指标的分级评价、土壤属性图的规范制作提供标准；为不同区域、不同类型土壤养分状况的综合分析与评价、土壤养分丰缺面积的统计提供规范；为耕园地的分级分类培肥改良、科学施肥、高标准农田建设、特色农产品布局等土壤管理和保护提供科学依据。本标准在制定过程中参考和采用了部分国际标准与国外标准，包括土壤样品采集、实验室化验、质量评估与分级标准（ISO 11274:2019；DIN EN ISO 19204；NF T90-394*NF；ISO 10872:2020；ISO 7851:2022）。

对比而言，国外相关标准（规范）主要围绕土壤分类、土壤调查、土壤质量监测与评估、肥料与土壤调理剂等方面（ISO 19204:2017、NF T90-394*NF EN ISO 10872:2021、NF X31-233:2020、ISO 25177:2019、ISO 7851:2022、Taxonomic Classification of the Soils. Soil Survey Staff. 2006. Keys to soil taxonomy. 10th edition、Soil Survey Manual. Handbook No. 18），更缺乏针对土壤数据指标的分级与整合。

与本标准较为相关的国际、国外标准（规范、方法）对比分析如下：

1.美国农业部土壤肥力分级体系（**USDA system of Soil fertility classification**）。主要目的是为土壤肥力评价提供分级指标体系，指标包括了土壤pH、EC、氮、磷、钾、有机质（碳）、有效铁、有效锰、有效锌和有效铜，每个指标分为三级。其中，pH用酸性（<6.0）、中性（6.0-8.5）和碱性（>8.5）表示，与本标准中的等级释义接近，但分级数量少于本标准（7个等级）；氮、磷、钾指标以储量（kg/ha）为依据，按照低、中、高划分等级，而本标准则以养分丰缺为主要划分依据，且分为五级，更能指导生产和科学施肥；有机碳含量分为低、

中、高三个等级，对应有机质含量分别为<8.62、8.62~12.93 和>12.93 g/kg，而本标准中有机质含量的下限 (<10 g/kg)、上限 (>40 g/kg) 和分级数量 (5 级) 均高于此标准，且更符合中国土壤有机质含量状况；微量元素方面，有效铁、锰、铜和锌分级释义均为缺乏 (deficient)、适中 (moderate) 和充足 (sufficient)，缺素阈值分别为 3.7、2.0、1.2 和 1.2 mg/kg，而本标准中铁、锰、铜、锌的缺素阈值分别为 4.5、5.0、0.5 和 1.0 mg/kg，二者有效锰和有效铜存在一定差异；此外，本标准从作物响应和毒害角度出发，进一步提出了有效微量元素的毒害阈值。

Soil Quality Indicator	Soil Function				
	Sustain biological diversity, activity, and productivity "D"	Regulate and partition water and solute flow "W"	Filter, buffer, degrade, detoxify organic and inorganic materials "F"	Store and cycle nutrients and carbon "N"	Physical stability and support for plants and structures associated with human habitation "S"
Aggregate Stability ^{a,c,f}	★★	★★	—	★★	★★★↓
Available Water Capacity ^{a,g}	★★★	★★★↓	—	★★	—
Bulk Density ^{a,h}	★★★↓	★★★	—	★	★★★
Earthworms ^{b,d}	★★★	—	★★★	★★★	★★★
Infiltration ^{b,e,i}	—	★★	★	—	—
Particulate Organic Matter ^{a,c}	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
Potentially Mineralizable Nitrogen ^{a,c}	★★★	—	—	★★★	—
Reactive Carbon ^a	★★	★	★★★	★★	★★
Slaking ^{b,e,i,j}	★	★★★↓	—	—	—
Soil Crusts ^{b,d}	—	★★★↓	—	—	—
Soil Electrical Conductivity ^b	—	★★★	—	—	—
Soil Enzymes ^a	★★★	—	—	★★★	—
Soil Nitrate ^b	★	★	—	—	—
Soil pH ^{b,d}	★★	★★★	★★★	★★★	—
Soil Respiration ^{a,b,c}	★★★	—	★	★★★	★★
Soil Structure and Macropores ^{b,d}	★★↓	★★↓	★	★	★★
Total Organic Carbon ^a	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★

^a laboratory/office method ^e variability requires large sample number ^h important for weight to volume conversions, small sampling errors result in significant interpretation problems
^b field method ^f perhaps the most informative physical indicator ⁱ effective educational method
^c time consuming ^g important for drought prone areas ^j qualitative
^d simple visual observation

图 1 美国农业部土壤质量指标及其与土壤功能的关系

2.美国农业部土壤健康评价体系(USDA soil health assessment)。

主要目的是对土壤目前发挥其所有功能的情况以及如何保存这些功能以供将来使用的评估。土壤健康评价不能仅通过作物产量来体现,需要选取指标体系进行评估,包括容易测量的土壤功能的变化,包括化学、生物和物理性质,以及对气候和管理变化敏感的指标,可供许多用户访问。土壤物理指标包括土壤团聚体的稳定性、最大田间持水量、容重、入渗、土壤结皮、崩解性和土壤大孔径;土壤化学指标包括颗粒有机质、潜在的矿化氮、活性态碳、土壤电导率、土壤硝态氮、pH 和总有机碳。

此外,还包括与土壤功能密切相关的蚯蚓、土壤酶、土壤呼吸等土壤生物指标(图1)。在此基础上,美国农业部提出了多变量指标克里格法(简称 MVIK),这种方法通过一套土壤质量与健康评价的多变量指标克里格法,可以将无数限制的单个土壤质量指标综合成一个总体的土壤质量指数。这一过程称为多变量指标转换,是根据特定的标准将测定值转换为土壤质量指数。各个指标的标准代表土壤质量最优的范围或值,是在地区基础上建立和评价的。运用非参数型地统计学方法,指标克里格法,通过 MVIT 的转换数据估计未采样地区的数值,然后测定不同地区土壤质量达到优良的概率,最后利用 GIS 技术绘出建立在景观基础上的土壤质量达标概率图。这种方法可以把管理措施、经济和环境限制因子引入分析过程,其评价范围可以从农场到地区水平。通过单项指标的评价,该法还能确定影响土壤质量的最关键因子。与本标准相比,两种体系中有一些共同的指标,例如土壤团聚体的稳定性、容重、pH、总有机碳(质),但用途相差较大,后者主要通过指标指数化,对土壤健康进行综合评价。

3.康奈尔土壤健康评价体系(Cornell Soil Health Assessment)。

康奈尔土壤健康评价系统通过研究土壤健康指标,科学全面地评价农田土壤的健康状况。该系统从 39 个备选的土壤健康指标中选取物理指标(土壤质地、团聚体稳定性(0.25~2 mm)、有效含水量、土壤

表层/次表层硬度)、生物指标(有机质含量、活性碳含量、潜在可矿化氮、根系健康等级)和化学指标(pH、可提取磷、可提取钾、微量元素)各4个,作为描述土壤健康特征的量化指标,并充分反映土壤通气、入渗、浅层根系生长、土壤板结、土壤保水和保肥能力、供氮(磷、钾)能力、微量元素有效性、元素不平衡性、毒性等土壤功能。

在采样分析获得各指标的指标值后,通过土壤健康评分函数,将测得的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,用以定量评价农田土壤的综合健康状况(图2)。该测试系统面向农民、为农民服务,操作简单、易于理解,对我国开展农田土壤健康管理和评价工作具有参考价值。

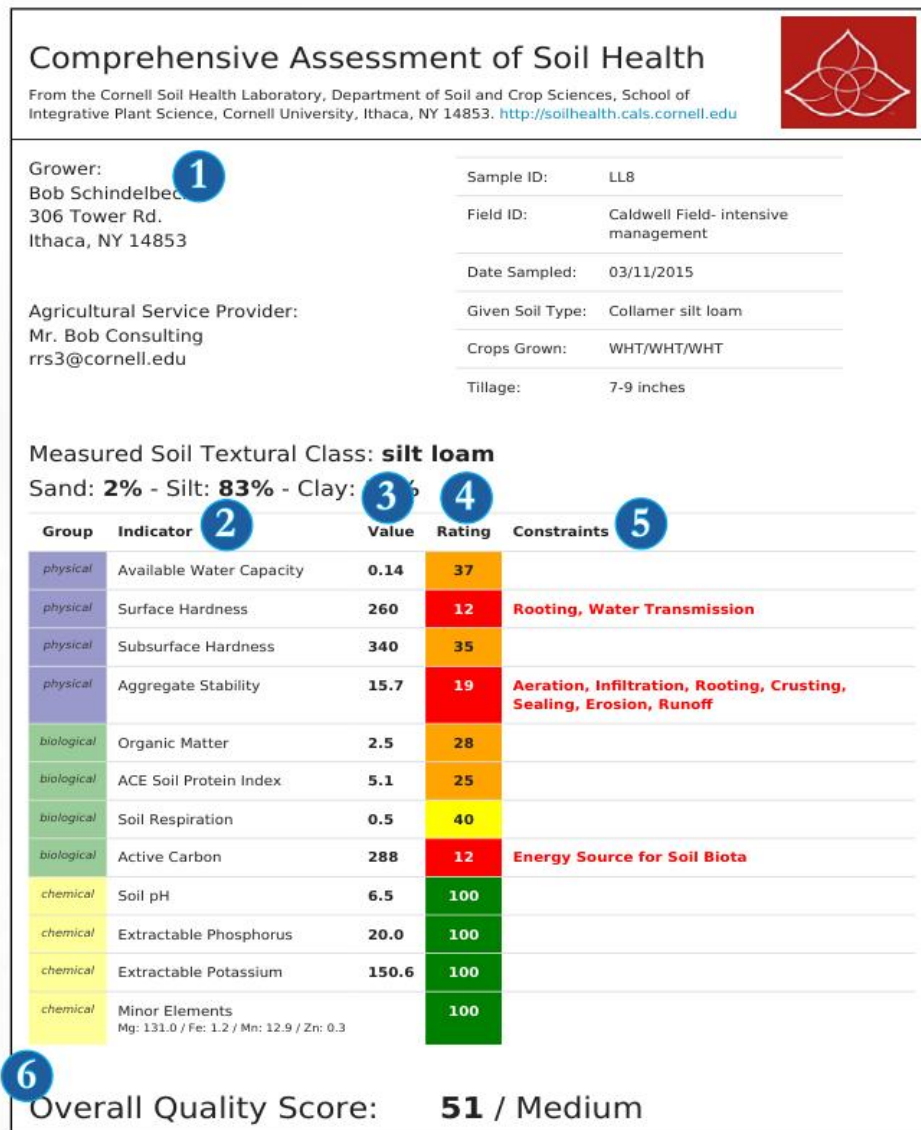


FIGURE 2.54. Sample Soil Health Assessment Report with (1) Background info, (2) Measured indicator, (3) Indicator value, (4) Rating, (5) Constraints, and (6) Overall quality score.

图 2 康奈尔土壤健康评价报告示例

与本标准相比，两种体系中存在一些共同的指标，例如土壤质地、团聚体稳定性（0.25~2 mm）、有机质含量、pH、可提取磷、可提取钾、有效微量元素含量；此外，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（score），这个转换函数即土壤健康指标评分函数（scoring function），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，这与本标准中所采用的戒上型、

戒下型和峰值型函数模型类似。总体而言，二者用途相差较远，后者主要通过指标指数化，对土壤健康进行综合评价，并找出最大限制因素。

4.国际土壤肥力手册(*International Soil Fertility Manual, 1995*)。

该手册以土壤肥力分级为主要目标，对土壤肥力指标进行了详细的分级，每个指标分为五级，分级释义用很低、低、中、高和很高表示，与本标准的分级数量相同，释义总体接近。具体指标中，土壤有机质分级为<3.5、3.5~7.0、7.0~17.0、17.0-34 和>34 g/kg，总体低于本标准；土壤全氮分别为<1.0、1.0~2.0、2.0~5.0、5.0~10.0、>10 g/kg，总体低于本标准；土壤有效磷采用了 Bray-I 提取磷和 Olsen-P 两种方法进行分级，Olsen-P 分级分别为 1-5、6-10、11-16、16-20 和>20 mg/kg，比本标准偏低近一倍；土壤速效钾分级分别为 1~50、51~90、91~140、141~300 和>300 mg/kg，总体上与本标准相符，仅高级别阈值高于本标准。

土壤交换性钙含量分级分别为 1~250、251~1000、1001~2000、2001~5000 和>5000 mg/kg，总体上与本标准相符，仅高级别阈值高于本标准；土壤交换性镁含量分级分别为 1~50、51~150、151~350、351~750 和>750 mg/kg，与本标准的低等级阈值接近，仅高级别阈值高于本标准；总体上，对我国南方农业生产的指导性弱于本标准。

土壤有效铜含量分级分别为<0.2、0.3~2.5、2.6~5.0、5.1~10 和>10 mg/kg，低级别阈值与本标准相符，但其他区间过于宽泛；土壤有效铁含量分级分别为 0.1~0.6、0.7~2.0、2.1~5.0、5.1~250 和>250 mg/kg，与本标准相比，低级别阈值偏低，中间级别范围过小，高级别范围过宽，与国情相差较大；土壤有效锰含量分级分别为<0.2、0.3~0.9、1.0~20、21~50 和>50 mg/kg，与本标准相比，低级别阈值偏低，中间级别范围过宽，高级别阈值太高；土壤有效锰含量分级分别为<0.2、0.3~0.9、1.0~20、21~50 和>50 mg/kg，与本标准相比，低级别阈值偏低，中间级别范围过宽，高级别阈值太高；土壤有效锌含量分级分别

为<0.2、0.3~0.4、0.5~1.0、1.1~10 和>10 mg/kg，与本标准相比，低级别阈值偏低，中间级别范围过窄，高级别阈值太高，与毒害阈值接近，较难反映作物生长，不利于微量元素管理；土壤有效硼含量分级分别为<0.2、0.3~1.0、1.1~2.0、2.1~4.0 和>4.1 mg/kg，与本标准相比，低级别阈值相同，中间级别范围过宽，高级别阈值太高，甚至超过毒害阈值。此外，本标准还增加了有效硫、有效硅和有效钼等中微量元素，指标更全面。

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

无。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系（主要说明标准与相应法律法规和强制性标准之间的衔接、协调情况。列出与标准密切相关的法律法规、强制性标准的名称和编号。）

本标准与《中华人民共和国土地管理法》《土地调查条例》《中华人民共和国土壤污染防治法》《基本农田保护条例》等法案中需求与执行的国家标准与统一技术规程相衔接，重点内容如下：

1、新《土地管理法》（2019）规定，耕地保护质量不降低。《土地管理法实施条例》（2021）在此基础上进一步明确规定，县级以上人民政府应当采取措施，预防和治理耕地土壤流失、污染，有计划地改造中低产田、建设高标准农田，提高耕地质量，保护黑土地等优质耕地，并依法对建设所占用耕地耕作层的土壤利用作出合理安排。非农业建设依法占用永久基本农田的，建设单位应当按照省、自治区、直辖市的规定，将所占用耕地耕作层的土壤用于新开垦耕地、劣质地或者其他耕地的土壤改良。此外，县级以上地方人民政府应当加强对农业结构调整的引导和管理，防止破坏耕地耕作层；设施农业用地不再使用的，应当及时组织恢复种植条件。

2、《中华人民共和国土壤污染防治法》中规定，按照土壤污染

程度和相关标准，将农用地划分为优先保护类、安全利用类和严格管控类。

3、与本标准密切相关的标准：

(1) 《耕地质量等级》(GB/T 33469-2016)。耕地质量等级划分是从农业生产角度出发，通过综合指数法对耕地地力、土壤健康状况和田间基础设施构成的满足农产品持续产出和质量安全的能力进行评价划分出的等级。根据全国综合农业区划，结合不同区域耕地特点、土壤类型分布特征，将全国耕地划为九大区域。各区域耕地质量指标由基础性指标和区域补充性指标组成，其中。基础性指标包括地形部位、有效土层厚度、有机质含量、耕层质地、土壤容重、质地构型、土壤养分状况、生物多样性、清洁程度、障碍因素、灌溉能力、排水能力、农田林网化率等 13 个指标。区域补充性指标包括耕层厚度、田面坡度、盐渍化程度、地下水埋深、酸碱度、海拔等 6 个指标。

其中，涉及本标准的指标包含有效土层厚度、有机质含量、耕层质地、土壤容重和土壤养分状况。但是二者的分级用途不同，总体而言比较一致的是土壤养分级别越高，对应的耕地质量水平越高，一些重要的指标本标准也能一定程度上与之对应。

(2) 《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295-2016)。该标准是以土壤地球化学调查为主，同时开展大气、灌溉水和农作物地球化学调查，以生态地球化学理论为指导，以科学量化土地质量、实现动态管理和成果数据的查询及利用为目的的一项综合评价工程。土地质量地球化学评价的主要目的是为国家、省、市、县等各级土地宏观管理和规划提供地球化学依据，为土地可持续利用服务。同时，在调整农业种植结构、发展特色优质农产品、促进科学合理施肥及土壤污染治理等方面发挥指导作用。

与本标准相比，土地质量地球化学评价内容覆盖很宽，主要土地质量地球化学等级划分、土壤质量地球化学综合等级、土壤环境地球化学等级划分、土壤养分地球化学等级划分、大气干湿沉降物地球化

学等级划分和灌溉水地球化学等级划分；并通过加权，形成土地质量地球化学综合等级。

在土壤养分地球化学等级划分部分，主要参照全国第二次土壤普查养分等级划分标准，并将第五等标准与第六等标准进行合并，划分等级数量与本标准相同，区间接近的指标包括土壤有机质、碳酸钙、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁、有效硅、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼和有效钼。

根据农业生产需求，本标准新增和修订的指标包括 pH（7 级）、缓效钾、有效硫，考虑到土壤总氮与碱解氮的冗余，去掉了碱解氮。并增加了有效铁锰铜锌的毒害阈值，避免施肥过量。

本标准在土壤资源属性方面，从农业生产的角度出发，进行土壤地质元素全量指标分级，包含全钙、全镁、全硫、全硅、全铁、全锰、全铜、全锌、全硼、全钼、全硒和全铝，共 12 指标，而《土地质量地球化学评价规范》共有 10 个指标（除硅和铝外），本标准的地质元素全量指标与《土地质量地球化学评价规范》大体一致。总体而言，本标准与《土地质量地球化学评价规范》制定的目的、范围不同，除 10 个地质元素全量指标外，其它土壤主要性状指标分级与之存在较大差异。

(3) 《耕地质量监测技术规程》（NY/T 1119-2019）

(4) 《高标准农田耕地质量评价技术规范》（DB14/T 2605—2022）

(5) 《耕地地力主要指标分级诊断》（DB12/T 1142-2022）

(6) 《耕地质量指标划分细则》（DB22/T 3332-2022）

(7) 《耕地地力主要指标分级诊断》（DB13/T 5406-2021）

七、重大分歧意见的处理经过和依据（说明各方面专家对标准主要内容（如参数、指标、试验方法）有哪些重大分歧，以及标准起草单位在修改完善标准过程中，对专家分歧意见的处理主要依据和处理结果。对同一方法或问题有不同解决方案的应讨论出最佳方

案。)

无。

八、涉及专利的有关说明

本标准 of 农业行业类标准，不涉及专利有关技术或内容。

九、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

本标准 of 农业行业类标准，不涉及有关国家安全、保护人体健康和人身财产安全、环境质量要求等有关强制性地方标准或强制性条文等的八项要求之一，因此建议作为推荐性农业行业标准发布实施。

本标准无过渡日期，标准发布后可立即实施。

在组织和技术措施方面：（1）加强组织领导，强化整体宣贯。标准制定后，将在制定年度工作方案时，将土壤主要性状指标分级的宣贯纳入工作范畴，在举办或组织耕地质量监测等相关培训、工作会议、研讨等活动时，组织各级土肥、耕保部门人员和参与三普的科研人员认真学习本标准，加强对全国各省参训参会人员的宣贯，加强标准的使用和推广。（2）加强技术研究，提升服务水平。在标准制定过程中，利用耕地质量监测评价数据、测土配方施肥数据、全国地球化学等数据，充分发挥相关教学、科研单位的技术优势，开展指标分级的应用性对比研究，有序推动分级过渡，提升本标准的服务水平。

十、其他应当说明的事项

无。