ICS 13.080
CCS B10

T/SSSC

中 国 土 壤 学 会 团 体 标 准

T/SSSC 0 —2026

农作物碳汇能力评估技术规范

Technical Specification for the Assessment of Crop Carbon Sink Capacity

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布　　2026-XX-XX 实施

中国土壤学会　发 布

目　　次

前　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 农作物碳汇能力评估 4
5 评估结果 11
6 评估报告 12

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。

本文件由中国科学院南京土壤研究所提出。

本文件由中国土壤学会归口。

本文件起草单位：中国科学院南京土壤研究所、中国科学院分子植物卓越创新中心、中国科学院植物研究所。

本文件主要起草人：夏龙龙、颜晓元、魏志军、周伟、叶开烨、逄超普、贾娟、冯晓娟、宋青峰、朱新广、王佳伟。

农作物碳汇能力评估技术规范

1 范围

本文件规定了农作物碳汇能力评估的术语和定义、评估原则、评估方案、指标计算、结果表示及评估报告要求。

本文件适用于科研单位、评价机构及其他相关机构采用稳定碳同位素标记方法，评估农作物光合碳固定、分配、土壤输入、稳定化及相关碳损失过程，表征农作物碳汇能力，并为高碳汇能力作物或品种筛选提供技术依据。

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/T27000-2023《合格评定 词汇和通用原则》

GB/T19000-2016《质量管理体系基础和术语》

GB/T33760-2017《基于项目的温室气体减排量评估技术规范通用要求》

GB/T 42490-2023 《土壤质量 有机碳含量与碳同位素比值测定 稳定同位素比值质谱法》

DB11/T1564-2018《种植农产品温室气体排放核算指南》

RB/T075-2021《农田固碳技术评价规范》

T/LCAA 006-2021 《农田甲烷和氧化亚氮静态箱法排放 监测技术规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

稳定碳同位素标记 stable carbon isotope labeling

指以稳定碳同位素富集的二氧化碳作为示踪物，标记作物光合作用固定碳，并追踪其在植株、土壤及气体排放通量中分配和转化过程的方法。

3.2

^{13}C 连续标记 continuous ^{13}C labeling

指在规定时间内连续向标记系统供给 ^{13}C 富集二氧化碳，使作物在光合作用过程中持续吸收 ^{13}C 并形成标记光合碳的方法。

3.3

^{13}C 丰度 ^{13}C abundance

指样品或标记气体中 ^{13}C 原子数占总碳原子数的百分比，通常以原子百分数（atom%）表示。

3.4

原子百分超 atom percent excess

指标记样品中 ^{13}C 原子百分数与未标记自然丰度对照样品中 ^{13}C 原子百分数的差值。

3.5

光合碳 photosynthetic carbon

绿色植物通过光合作用同化大气中的二氧化碳生成有机形态的碳（光合产物）。

3.6

光合碳根际沉积 rhizodeposition of photosynthetic carbon

指光合碳通过根系分泌、根系脱落、根系周转及相关微生物转化过程进入根际土壤的部分。

3.7

光合碳来源二氧化碳排放 photosynthetic carbon-derived carbon dioxide emission

指光合碳输入植株—土壤系统后，经植物呼吸、微生物代谢及有机物分解过程，以二氧化碳形式排放的碳。

3.8

光合碳来源甲烷排放 photosynthetic carbon-derived methane emission

指植物光合作用固定的碳，通过根系输入土壤后，在厌氧条件下经产甲烷菌作用转化为甲烷，以甲烷形式释放的碳。

3.9

光合碳沉积激发效应 photosynthetic carbon-induced priming effect

指光合碳通过根系分泌、根系脱落、根系周转及相关微生物转化过程进入土壤后，引起土壤原有有机碳分解速率或矿化量相对于未输入光合碳条件发生变化的强度。当土壤原有有机碳分解或矿化增加时，为正激发效应；降低时，为负激发效应。

3.10

土壤碳库 soil carbon pool

指土壤中由作物残体、根系输入、根系分泌物、微生物转化产物及原有土壤有机质等形成并储存的碳组分总和，主要包括溶解性有机碳、微生物生物量碳、颗粒有机碳、矿物结合有机碳、以及碳酸盐碳等。其大小和组成可反映作物光合碳向土壤输入、转化和稳定留存的能力。

3.11

农作物碳汇能力 crop carbon sink capacity

指农作物通过光合作用固定碳，并将其分配和留存于植株、根系及土壤碳库中的能力，可结合光合碳固定量、土壤输入与稳定化及相关碳损失等指标进行综合评估。该能力反映作物自身的碳汇特征，可用于不同作物或品种间的比较；农田长期碳汇效应还受土壤、气候和管理条件等因素影响。

3.12

稳定化光合碳 stabilized photosynthetic carbon

植物通过光合作用固定并输入土壤的碳，经微生物转化、矿物结合及团聚体物理保护等过程，进入相对稳定土壤有机碳组分的部分。本标准以进入矿物结合态有机碳组分的光合碳作为稳定化光合碳的表征指标；该指标用于评价作物光合碳向相对稳定土壤碳库的分配能力，不直接表征其长期存留时间。

3.13

光合碳稳定化比例 proportion of photosynthetic carbon stabilized in soil pool

指光合碳进入矿物结合态有机碳等相对稳定碳库的量占进入土壤有机碳库总量的比例。进入惰性碳库的比例越高，则碳库的稳定性也越高。

注：根际激发效应的基准对照、计算方法及适用边界见 4.8.8。

4 农作物碳汇能力评估

4.1 评估原则

农作物碳汇能力评估应遵循科学性、可比性、代表性和可追溯性原则。评估过程中应保持作物类型、生育时期、标记条件、采样时间、样品处理和指标计算方法的一致性。

开展稳定碳同位素标记评价时，应设置未标记自然丰度对照，每类评价对象或条件宜设置不少于 3 个独立生物学重复。涉及根际激发效应核算时，还应设置对应的无植物土壤对照，保持土壤来源、环境条件和观测期限一致。

4.2 评估方案

开展农作物碳汇能力评估前，应制定评估方案。评估方案应包括下列内容：

1）评价目的；

2）作物类型、品种及栽培条件；

3）处理设置和重复数；

4）标记时期、标记时长、CO_2 浓度及 ^{13}C 丰度；

5）样品采集对象、采样时间和采样频次；

6）碳含量和碳同位素比值测定方法；

7）评价指标、计算方法和质量控制要求；

8）评估结果表达和报告要求。

4.3 作物标记

应根据作物类型、生育进程、评价目的及光合碳转运特征确定标记时期和持续时间。以作物光合碳固定与分配能力评价为目的时，宜选择营养生长旺盛期或生殖生长初期进行 ^{13}C 连续标记。标记持续时间应结合不同作物的生长特征及评价目标确定，并记录具体标记时间。

标记期间，应将供试作物置于透光、密闭的标记系统中，连续供给规定浓度和 ^{13}C 丰度的 $^{13}CO_2$。标记系统内 CO_2 浓度宜以标记开始时当地环境浓度为基准进行控制。标记过程中应监测并记录 CO_2 浓度及 ^{13}C 丰度、温度、相对湿度和光照条件及其波动范围。标记装置应具备必要的通风和温度调控措施，避免装置内温度异常变化影响作物正常生长，并记录异常情况。

标记结束后，应移出标记装置，使作物在自然或设定条件下继续生长。应根据作物生育期、光合碳转运与分配特征及评价目的确定标记后的追踪时间和采样时期，宜在标记结束后、关键生育时期及收获期采集植株、根系、根际土壤及气体样品，用于评价光合碳分配、根际沉积、土壤碳库稳定化及光合碳来源气体损失。应记录实际追踪时间及其确定依据。

4.4 标记参数

^{13}C 连续标记的标记时长、^{13}C-CO_2 浓度、^{13}C 丰度和转运时间应根据作物类型、生育阶段和评价目的确定。

禾本科作物旺盛生长期的标记时长宜为 7 天以上；豆科作物、生育期较短作物或对密闭环境敏感的作物，标记时长宜为 3~5 天。实际标记时长应结合供试作物的生长状况及标记效果确定。

标记系统内 CO_2 浓度应以标记开始时当地环境大气 CO_2 浓度为基准，宜控制在基准浓度的±10%以内，并记录实际浓度及波动范围。^{13}C 丰度应根据检测灵敏度和评价目的确定，宜为 10% ~ 20% atom%。

标记期间应连续监测并记录标记系统内的温度和相对湿度，宜根据作物适宜生长条件设置温湿度控制范围，并采取通风、降温或湿度调节等措施，避免标记装置内温湿度异常变化

影响作物正常生长。温湿度超出设定范围时，应及时采取调控措施，并记录异常情况及处理过程。

应根据作物根系分布特征及评价目的确定土壤采样深度，记录根际土壤分离方式、采样土层范围及土壤质量基准。收获物应单独采样测定碳含量，并记录其移出比例。

4.5 样品采集

标记结束后及作物成熟收获时，应采集植株和土壤样品。采样时，应将供试作物完整取出，并根据作物形态特征将其分离为地上部、根系和经济器官。禾本科作物可分为茎、叶、穗或籽粒、根系等部分。

植物样品在 105 ℃杀青 30 min 后，于 80 ℃烘干至恒重，称重后研磨保存，用于有机碳含量和碳同位素比值测定。

根际土壤采集附着于根系表面并经轻微抖落后仍附着的土壤。用于有机碳和碳同位素比值测定的土壤样品风干、去除可见植物残体和根系，研磨或过筛后密封保存；用于微生物量、溶解性有机碳其他生物化学指标测定的鲜样，应低温保存并尽快测定。

气体样品采用静态箱法采集，参照标准 T/LCAA 006-2021 的规范执行。采样频次应根据作物生育期、标记后光合碳转运动态和气体排放变化确定。标记结束后早期应加密采样，通常每 1~3 天采集一次；随后可根据排放变化适当降低采样频次。采样时应记录采样时间、箱体温度、气温、气压、箱体体积和覆盖面积。

4.6 碳同位素的测定

植物和土壤样品中有机碳含量及碳同位素比值的测定应按照 GB/T 42490-2023 的规定执行。

气体样品中 CO_2 和 CH_4 浓度采用气相色谱仪方法测定。气体样品中 CO_2 和 CH_4 的碳同位素比值可采用稳定同位素比值质谱仪或同位素气体分析仪测定。

测定前应采用标准气体或标准物质进行校准。每批次样品测定开始和结束时应进行校准或校准核查；当仪器出现明显漂移或更换测试批次时，应重新校准。应记录校准时间、标准物质信息及校准结果。

4.7 碳汇能力评估指标

农作物碳汇能力评估指标应包括光合碳固定指标、光合碳分配指标、光合碳根际沉积指标、土壤碳库稳定化指标、光合碳来源气体损失指标和综合评价指标。指标名称、符号、单位及含义见表 1。

表 1　碳汇能力评估指标

指标名称	符号/单位	含义
总固定光合碳量	C_total，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	评价期内作物通过光合作用固定并可被 ^{13}C 示踪的光合碳总量
地上部光合碳分配量	C_shoot，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	光合固定碳分配到茎、叶、穗等地上器官的量
地下部光合碳分配量	C_root，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	光合固定碳分配到根系的量
光合碳根际沉积量	C_soil，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	通过根系分泌、根系脱落、根系周转及相关微生物转化过程进入根际土壤的光合碳量
光合碳土壤输入比例	R_soil，%	光合碳输入土壤碳库的量占总固定光合碳量的比例
光合碳分配颗粒有机碳库量	C_POC，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	光合碳进入土壤颗粒有机碳库的量
光合碳分配矿物结合态有机碳库量	C_MAOC，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	光合碳进入土壤矿物结合态有机碳库的量
光合碳稳定化比例	R_MAOC，%	稳定化光合碳量占输入土壤有机碳库光合碳总量的比例
光合碳来源二氧化碳排放量	C_CO_2-photo，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	光合碳以 CO_2 形式释放的累积量
光合碳来源甲烷排放量	C_CH_4-photo，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	光合碳以 CH_4 形式释放的累积量
光合碳来源气体损失量	C_gasC-photo，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	光合碳来源 CO_2 排放量和 CH_4 排放量之和
净留存光合碳量	C_net，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	扣除光合碳来源气体损失后，留存于植株、根系和土壤碳库中的光合碳量
光合碳根际沉积激发效应	PE_photo，g C m^{-2} 或%	光合碳根际沉积引起的土壤原有有机碳矿化量变化。正值表示促进土壤原有有机碳矿化，负值表示抑制土壤原有有机碳矿化
净碳汇潜力	C_sink，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}	综合考虑净留存光合碳量和光合碳根际沉积激发效应后，表征作物—土壤系统净碳留存潜力的指标
单位产量净碳汇潜力	C_sink-yield，g C kg^{-1} yield	单位作物产量对应的净碳汇潜力

4.8 指标计算

4.8.1 原子百分超

标记样品的原子百分超按式（1）计算：

$$APE_i = A_i - A_0 \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

APE_i：第 i 类样品或碳库的原子百分超，atom%；A_i：第 i 类样品或碳库的 ^{13}C 丰度，atom%；A_0：未标记自然丰度对照样品的 ^{13}C 丰度，atom%。

4.8.2 各碳库光合碳量

各碳库光合碳量按式（2）计算：

$$C_i = M_i \times W_i \times (A_i - A_0) / (A_L - A_0) \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

C_i：第 i 类碳库的光合碳量，g C $plant^{-1}$ 或 g C m^{-2}；M_i：第 i 类样品干质量，g $plant^{-1}$ 或 g m^{-2}；W_i：第 i 类样品有机碳含量，g C g^{-1}；A_i：第 i 类样品的 ^{13}C 丰度，atom%；A_0：未标记自然丰度对照样品的 ^{13}C 丰度，atom%；A_L：标记系统中 ^{13}C-CO_2 的 ^{13}C 丰度，atom%。

4.8.3 总固定光合碳量

总固定光合碳量按式（3）计算：

$$C_total = C_shoot + C_root + C_soil + C_gas\text{-}photo \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

C_total：总固定光合碳量，g C $plant^{-1}$ 或 g C m^{-2}；C_shoot：地上部光合碳分配量，g C $plant^{-1}$ 或 g C m^{-2}；C_root：地下部光合碳分配量，g C $plant^{-1}$ 或 g C m^{-2}；C_soil：光合碳根际沉积量，g C $plant^{-1}$ 或 g C m^{-2}；C_gas-photo：光合碳来源气体损失量，g C $plant^{-1}$ 或 g C m^{-2}。

注：采用式（3）时，各分项指标应采用相同的结果表达单位。

4.8.4 光合碳土壤输入比例

光合碳土壤输入比例按式（4）计算：

$$R_soil = C_soil/C_total \times 100\% \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

R_soil：光合碳土壤输入比例，%；C_soil：光合碳根际沉积量，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}；C_total：总固定光合碳量，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}。

4.8.5 光合碳稳定化比例

光合碳稳定化比例按式（5）计算：

$$R_MAOC = C_MAOC/(C_POC + C_MAOC) \times 100\% \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

R_MAOC：光合碳稳定化比例，%；C_MAOC：光合碳分配矿物结合态有机碳库量，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}；C_POC：光合碳分配颗粒有机碳库量，g C plant^{-1} 或 g C m^{-2}。

注：当测定溶解性有机碳、微生物生物量碳或其他土壤碳组分时，应在报告中说明各组分的分级方法和质量回收情况。

4.8.6 光合碳来源气体损失量

光合碳来源气体损失量按式（6）计算：

$$C_gas\text{-}photo = C_CO_2\text{-}photo + C_CH_4\text{-}photo \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：C_gas-photo：光合碳来源气体损失量，g C m^{-2}；C_CO_2-photo：光合碳来源二氧化碳排放量，g C m^{-2}；C_CH_4-photo：光合碳来源甲烷排放量，g C m^{-2}。当 CO_2 和 CH_4 排放量以气体质量表示时，应分别换算为碳质量。CO_2 换算系数为 12/44，CH_4 换算系数为 12/16。

4.8.7 净留存光合碳量

净留存光合碳量按式（7）计算：

$$C_net = C_total - C_gas\text{-}photo \quad \cdots\cdots (7)$$

式中：

C_net：评价期净留存光合碳量，g C m^{-2} (按植株计时为 g C $plant^{-1}$)；C_total：同一核算边界内总固定光合碳量，g C $plant^{-1}$ 或 g C m^{-2}；C_gas-photo：同一评价期光合碳来源气体损失量，g C m^{-2}。注：收获物移出量在净碳留存估算时另行扣除。

4.8.8 光合碳根际沉积激发效应

光合碳根际沉积激发效应可按式（8）计算：

$$PE_photo = C_SOC\text{-}min\text{-}photo - C_SOC\text{-}min\text{-}CK \quad \cdots\cdots (8)$$

式中：

PE_photo：光合碳根际沉积激发效应，g C m^{-2}；C_SOC-min-photo：光合碳输入条件下土壤原有有机碳矿化量，g C m^{-2}；C_SOC-min-CK：对照或基准条件下（相应无植物对照）土壤原有有机碳矿化量，g C m^{-2}。两者应采用相同的土壤基准、观测期限及气体碳核算范围。

相对激发效应可按式（9）计算：

$$PE_photo\text{-}r = (C_SOC\text{-}min\text{-}photo - C_SOC\text{-}min\text{-}CK) / C_SOC\text{-}min\text{-}CK \times 100\% \quad \cdots\cdots (9)$$

式中：PE_photo-r —— 相对光合碳根际沉积激发效应，%。

4.8.9 净碳汇潜力

净碳汇潜力按式（10）计算：

$$C_sink = C_net - PE_photo - C_harvest\text{-}out \quad \cdots\cdots (10)$$

式中：

C_sink：净碳汇潜力，即评价期核算边界内的净碳留存估算量，g C m^{-2} (按植株计时为 g C $plant^{-1}$，可根据产量进一步计算为单位产量净碳汇潜力 C_sink-yield，g C kg^{-1} yield)；C_net：扣除光合碳来源气体损失后的留存量，g C m^{-2}；PE_photo：光合碳根际沉积激发效应，即相同观测期的根际激发效应，g C m^{-2}。计算时还应扣除已移出核算边界的收获物光合碳量，避免将收获物误计为在地碳汇。C_harvest-out：评价期从核算边界移出的收获物中来源于标记光合碳的量，g C m^{-2}。

注：PE_photo 为正值时，表示光合碳根际沉积促进土壤原有有机碳矿化，应从净留存光合碳量中扣除；PE_photo 为负值时，表示光合碳根际沉积抑制土壤原有有机碳矿化，对净碳汇潜力具有增加效应。

4.8.10 单位产量净碳汇潜力

单位产量净碳汇潜力按式（11）计算：

$$C_sink\text{-}yield = C_sink / Y \quad \cdots\cdots (11)$$

式中：

C_sink-yield：单位产量净碳汇潜力，g C kg^{-1} yield；C_sink：净碳汇潜力，g C m^{-2}；Y：作物产量，kg m^{-2}。

5 评估结果

5.1 质量控制

农作物碳汇能力评估应开展全过程质量控制。质量控制应包括下列内容：

1）标记试验应设置未标记自然丰度对照；

2）每个处理或作物类型应设置不少于 3 个生物学重复；

3）标记期间应记录 ^{13}C-CO_2 浓度、^{13}C 丰度、温度、相对湿度和光照条件；

4）样品采集、保存、运输和前处理过程应避免外源碳污染；

5）碳含量和碳同位素比值测定应采用标准物质或标准气体进行校准；

6）气体通量计算应记录箱体体积、覆盖面积、采样时间、气温和气压；

7）土壤碳库分级测定时，应记录各组分质量回收率和碳回收率；

8）应对主要碳库中的 ^{13}C 回收情况进行核查，异常结果应说明原因。

9）应核查主要评价指标的重复间变异、^{13}C 回收率及碳库分级结果，分析其对评估结果不确定性的影响。

5.2 结果表示

农作物碳汇能力评估结果应明确评价时段、碳库边界及收获物去向，并以单位植株、单位面积或单位产量表示，计量单位分别采用 $g\,C\,plant^{-1}$、$g\,C\,m^{-2}$ 或 $g\,C\,kg^{-1}$ 产量。不同作物、品种、处理或评价区域之间进行比较时，应明确评价条件，并采用一致的评价期限、碳库边界、结果表达单位和统计口径。

结果表示应包括总固定光合碳量、地上部光合碳留存量、根系光合碳留存量、光合碳根际沉积量、光合碳稳定化比例、光合碳来源气体损失量、净留存光合碳量和单位产量净留存光合碳量。具备相应观测和对照条件时，可进一步报告光合碳根际沉积激发效应；在明确核算边界，并完成土壤原有有机碳变化，移出的收获物光合碳量及相关碳损失核算的条件下，可报告净碳汇潜力及单位产量净碳汇潜力。

主要评价指标应报告平均值及标准差、标准误或 95%置信区间。对涉及多个测定参数的核算指标，宜采用误差传播法或 Bootstrap 重复抽样法等方法量化结果不确定性，并说明所采用的方法及主要不确定性来源。不同作物、品种或处理之间进行比较时，应采用一致的不确定性评估方法和统计方法。

6 评估报告

评估报告应至少包括下列内容：

1）评价目的、评价对象和评价范围；

2）作物类型、品种、生育时期和栽培条件；

3）处理设置、重复数和对照设置；

4）标记时期、标记时长、^{13}C-CO_2 浓度、^{13}C 丰度和标记系统条件；

5）样品采集对象、采样时间、采样频次和样品处理方法；

6）碳含量、碳同位素比值和气体通量测定方法；

7）评价指标、计算方法和质量控制情况；

8）农作物碳汇能力评估结果；

9）主要评价指标的重复间变异、不确定性量化方法及结果、主要不确定性来源、异常值处理和结果适用范围说明。。