

AL-TMS0001

小規模減量方法

改進農業土壤管理方法學

Methodology for Improved Agricultural Soil Management

版本 01.0

範疇別：12 農業及土地利用

目錄

I. 減量方法提案緣起及背景	3
II. 既有減量方法差異說明	3
III. 減量方法計算式設計概念	7
IV. 小規模減量方法	8
1. 介紹	8
2. 範疇、適用條件及生效日	8
2.1 範疇	8
2.2 適用條件	8
2.3 生效日	9
3. 名詞定義	10
4. 專案邊界及土地合格性	12
5. 量化方法	14
6. 外加性	16
7. 基線排放	17
7.1 土壤有機碳儲量	18
7.2 化石燃料燃燒產生的二氧化碳排放	21
7.3 施用石灰的二氧化碳排放	22
7.4 土壤有機碳庫中的甲烷排放	22
7.5 氮肥和固氮物種的氧化亞氮排放	23
8. 專案排放	27
9. 洩漏排放	28
9.1 估算施用來自專案邊界外的有機改良劑產生的洩漏	28
9.2 估算產量下降產生的洩漏	28
9.3 估算基線情境中生物質殘渣轉用於能源應用產生的洩漏	30
9.4 估算於專案情境中非人為造成之生物質燃燒產生的洩漏	30
10. 減量	31
10.1 二氧化碳排放的減量和移除	33
10.2 甲烷排放減量	35
10.3 氧化亞氮排放減量	35
10.4 預設數據與參數說明	36
11. 監測方法	44
11.1 抽樣設計	44
11.2 建模方案	45
11.3 應監測之數據與參數	45
12. 參考文獻	73
附錄 1：測量土壤有機碳儲量的潛在新興技術指南	74
附錄 2：VMD0021-土壤碳庫中的碳儲量估算	76
附錄 3：估算 CH ₄ 與 N ₂ O 排放係數預設值	103
附錄 4：土壤碳庫量測不確定性的估算	106

I. 減量方法提案緣起及背景

2015年法國在第21屆氣候高峰會 (COP21)中提出千分之四倡議 (4 Per 1000 Initiative: Soils for Food Security and Climate)，指出土壤不但能生產足夠的糧食，還有助於解決全球暖化的問題。根據研究估算，只要每年提高土壤 (包括農地、草原、森林等)有機碳含量達4‰，不僅可抵消每年因人類活動增加的二氧化碳量至少80%，並可增加土壤有機質、促進土壤健康，進而提升農作產量，達到減緩溫室效應及維護糧食安全等兩大永續發展目標。可以透過投入有機資材、減少耕作/改善作物殘體管理、改善作物制度等，有助於提高土壤有機碳儲量和/或減少土壤有機碳礦化的主要措施。

迄今為止，農業對碳市場的參與仍屬有限，部分原因是由於開發農業碳抵換專案的高成本和複雜性。目前國際上有三份可參考的土壤管理方法學，分別為：TerraCarbon LLC 和 Indigo Ag 合作開發的「改進農業土地管理方法學」(Methodology for Improved Agricultural Land Management) (VM0042)、Gold Standard 開發的「土壤有機碳框架方法學」(Soil Organic Carbon Framework Methodology)及「改進耕犁方式增加土壤碳」(Agriculture methodology for increasing soil carbon through improved tillage practices)，透過採用改進的農業土壤管理方式而減少溫室氣體排放及增加土壤有機碳儲量，帶動農民一同投入氣候變遷，同時提高農業收益及韌性。

因上述方法學之適用條件與實際操作有所差異，因此須建立一套適用於我國的改進農業土壤管理方法學。比較上述三份國際方法學後顯示，Gold Standard 的「改進耕犁方式增加土壤碳」方法學中的適用條件、所選碳庫、溫室氣體及其量化方法均包含在「土壤有機碳框架方法學」內，而 VM0042「改進農業土地管理方法學」則符合「土壤有機碳框架方法學」之框架，且 VM0042「改進農業土地管理方法學」之適用條件、所選碳庫、溫室氣體包含「土壤有機碳框架方法學」的內容；在量化方法上，「土壤有機碳框架方法學」之量化方法為：1.現場測量，2.模型估算，3.使用預設係數計算，VM0042「改進農業土地管理方法學」之量化方法為：1.建模與測量，2.測量與再測量，3.使用預設係數計算，因此，VM0042「改進農業土地管理方法學」已涵括「土壤有機碳框架方法學」的量化方法。

綜上所述，故本提案最終以 VM0042「改進農業土地管理方法學」進行編修，以建立具本土可行性的減量方法，又因我國減量方法學區分為「減量」與「移除」類型，故本方法學僅保留增加土壤有機碳含量之多種農業管理操作之措施，以申請「移除」類型方法學。

II. 既有減量方法差異說明

本減量方法參照 VM0042之量化方式，並依我國農情進行編修。表一為本減量方法與既有減量方法差異比較表，修正內容說明如下：

1. 本減量方法學為依據我國農情進行編修，因此於適用國家為臺灣。
2. 因我國放牧業占比極低，故本方法學刪除放牧部分，只保留農耕系統。
3. 因國內禁止農地生物質燃燒，因此刪除原來基線與專案之生物質燃燒之排放估算。若仍有非人為行為造成之燃燒，則在洩漏章節估算。
4. 本案為小規模減量方法，且臺灣農地面積小，又因本方法已設定過去10年為維持農業用途，故假設該系統已趨近平衡，故採用本方法學不設置基線參考點，量測基線土壤有機碳變化量，而以專案執行前之土壤有機碳含量為基線。
5. 本減量方法學為移除型減量方法學。

表一、本減量方法與既有減量方法差異比較表

差異說明	本減量方法 {編號/改進農業土壤管理方法學} Methodology for Improved Agricultural Soil Management	既有減量方法 VM0042 Improved Agricultural Land Management
出處		VM0042 ver2.1
涉及之減量措施	農地管理措施	農地管理措施
(1)適用條件	- 適用於臺灣農耕系統，提出專案申請之土地及管理措施須符合農業土地利用相關法規*。 - 專案旨在增加土壤有機碳（Soil Organic Carbon, SOC）儲量，專案必須對原有的農業管理措施引入或實施一項或多項新的變更、停止或調整原有的措施，以增加土壤有機碳儲量，達到實現溫室氣體移除量的目標。 - 專案管理措施的任何定量調整幅度（例如，有機質肥料取代化肥比例）必須超過原有值的5%，原有值是於基線作業時程的歷史回溯期內的平均值。 - 自專案初始至整個專案計入期，專案活動必須在農地(含休耕、廢耕農地，但需維持低度處理，以可隨時恢復農耕管理)上實施。若在專案確證前能夠充分證明將多年生作物（如草類、豆類）與一年生作物整合，則允許作物制度改變，使其併入長期農業管理系統，但專案文件必須提供涵蓋擬議專案期的長期管理計畫。 - 在專案開始日期之前的10年內，專案邊界生態系統必須為持續穩定農業使用，可藉由歷史航空影像或歷史使用土地類別進行佐證。 - 專案活動預計不會導致產量持續下降超過5%，並已獲同儕審查和/或已發表的研究報告中，針對本專案活動在同一或類似地區的	- 在全球範圍內適用。 - 對原有的農業管理措施引入或實施一項或多項新的變更、停止或調整原有的措施，以增加 SOC 儲存和/或減少專案中 CO₂、CH₄ 和 N₂O 淨排放量。 - 專案的任何定量調整幅度（例如，有機質肥料取代化肥比例）必須超過原有值的5%，原有值是於基線作業時程制定的歷史回溯期內的平均值。 - 自專案初始至整個專案計入期，專案活動必須在農地或草地上實施。 - 在專案開始日期之前的10年內，專案邊界生態系統必須為持續穩定農業或牧業使用。 - 專案活動預計不會導致產量持續下降超過5%，並已獲同儕審查和/或已發表的研究中，針對本專案活動在同一或類似地區的實施成果中加以之證明。

差異說明	本減量方法 {編號/改進農業土壤管理方法學} Methodology for Improved Agricultural Soil Management	既有減量方法 VM0042 Improved Agricultural Land Management
	實施成果中加以證明。若執行有機農法或復耕者，可以附近區域之相同農法管理與產量進行比較。 7. 本方法學著重於土壤有機碳增加所產生的效益，但若管理措施造成其他碳庫與排放源變化量的5%，則需計入其變化量。例如：肥料與化石燃料使用變化等。 8. 專案活動每年溫室氣體淨移除量應小於或等於20,000公噸二氧化碳當量（tCO₂e）。 本方法學不適用於以下情形： (1) 專案活動在濕地上進行。 (2) 專案活動將生物炭作為土壤改良劑使用。	
(2)專案邊界	碳庫與排放源計算參照 VM0042，扣除放牧及生物質燃燒等農業相關管理措施。 專案邊界的空間範圍包括所有需要實施擬議的改進農業土壤管理措施的農地。專案主要是藉改進土壤管理措施增加土壤有機碳庫。但若管理措施造成碳庫與排放源變化量超過5%，則需計入其變化量。須檢視的其他碳庫包含地上木本生物量、地下木本生物量；排放源包含化石燃料、石灰、土壤產生甲烷、氮肥的使用、固氮物種的使用。碳庫與排放源計算參照 VM0042。	專案邊界的空間範圍包括所有需要實施擬議的改進農業土地管理措施的土地，並計算碳庫與排放源的總變化量。碳庫包含地上木本生物量（可選），地下木本生物量（可選），土壤有機碳；排放源：土壤有機碳、化石燃料、石灰、土壤產生甲烷、腸道發酵、糞便沉積、氮肥的使用、固氮物種的使用、生物質燃燒。

表一、本減量方法與既有減量方法差異比較表(續)

差異說明	本減量方法 {編號/改進農業土壤管理方法學} Methodology for Improved Agricultural Soil Management	既有減量方法 VM0042 Improved Agricultural Land Management
(3)基線排放(含 基線排放計算 式)	參照 VM0042，修正以下項目： - 刪除放牧農業相關碳庫與排放源計算。 - 刪除基線參考點設置 - 採用三種量化方法計量各碳庫與排放源量:(1) 測量和建模，(2) 直接測量，(3) 預設係數。 - 土壤有機碳估算： $M_{n,dl,SOC} = BD_{corr} \times dl \times OC_{n,dl} \times 100$ $M_{n,dl,SOC}$：深度 dl 土壤樣本 n 的土壤有機碳重量(t/ha) BD_{corr}：扣除粗碎粒重量比例後的細土部分校正總體密度 (g/cm³) dl：土芯深度(至少要達到 30 cm 的深度)(cm) $OC_{n,dl}$：深度 dl 土壤樣本 n 的土壤有機碳濃度(g/g) 100： g/cm² 至 t/ha 的轉換係數 - 其他需估算之碳庫與排放源估算公式參照第7章節基線排放。	採用三種量化方法計量各碳庫與排放源量:(1) 測量和建模，(2) 測量和再測量，(3) 預設係數，具體內容參閱第7章節
(4)專案排放(含 專案排放計算 式)	使用基線排放中相同公式，對於所有的公式，下標 bsl 必須替換為 wp	參閱第8章節

表一、本減量方法與既有減量方法差異比較表(續)

差異說明	本減量方法 {編號/改進農業土壤管理方法學} Methodology for Improved Agricultural Soil Management	既有減量方法 VM0042 Improved Agricultural Land Management
(5) 監測方法/參數	專案申請者必須詳細說明蒐集所有資料和參數的步驟。監測計畫應於專案註冊前及申請查驗前進行，提供相關數據，包括農地土壤管理紀錄等，並查證碳庫之碳儲存變化量及專案移除量。 土壤有機碳監測需依據監測計畫，以樣本單元為單位進行收集和記錄，並獨立估計每個樣本單元的溫室氣體移除量。監測的主要目的是在每次查證之前，量化在專案計入期內專案情境導致的土壤有機碳的儲量變化；若因引入的農業措施導致專案之碳庫或排放源超過5%的變化，則亦須估算各排放源的溫室氣體排放變化量。監測計畫之方法可參照已公開發表或官方正式出版土壤碳庫調查及監測相關手冊或指南說明，或其他公開認證之調查方式。	監測的參數以樣本單元為單位進行收集和記錄，並獨立估計每個樣本單元的排放減量。監測的主要目的是在每次查證之前，量化在專案計入期內專案情境導致的土壤有機碳的儲量變化和CO₂、CH₄和N₂O的排放量。

*土地利用相關法規如：土地法、非都市土地使用管制規則、農地重劃條例、農村社區土地重劃條例、農業用地作農業使用認定及核發證明辦法、農業發展條例、水污染防治法與廢棄物清理法等。

III. 減量方法計算式設計概念

表二、本減量方法計算式設計概念

	計算式	說明及參採來源
(1) 基線移除	參閱第7章節	參照 VM0042
(2) 專案移除	參閱第8章節	參照 VM0042
(3) 專案淨移除量	參閱第10章節	參照 VM0042

專案主要是藉改進土壤管理措施增加土壤有機碳庫。但因農業生態系統較複雜，專案措施之實施可能導致其他排放源或碳庫的改變，因此本方法學減量計算須檢視專案措施之實施會造成哪幾項排放源或碳庫的改變，並進行計算，若管理措施造成某項碳庫與排放源變化量超過5%，則需計入其變化量，計算總淨移除量。須檢視的其他碳庫包含地上木本生物量、地下木本生物量；排放源包含化石燃料、石灰、土壤產生甲烷、氮肥的使用、固氮物種的使用。

IV. 小規模減量方法

1. 介紹

表三為本減量方法的重要特性：

表三、減量方法重要特性

減量專案一般用法	採用以增加土壤有機碳（Soil Organic Carbon, SOC）儲量為重點的改進農業土壤管理措施，以實現溫室氣體（Greenhouse Gas, GHG）移除量。
溫室氣體減量類型	移除型

2. 範疇、適用條件及生效日

2.1 範疇

本減量方法透過改變一項或多項原有的農業管理措施，以增加溫室氣體移除。因本方法學係申請「移除」型方法學，故聯合國糧食及農業組織(Food and Agriculture Organization, FAO) 全球永續土壤管理(sustainable soil management, SSM)中有關可能可以增加土壤有機碳之農業土壤管理措施，均適用於本方法學範疇內。為了證明合格性以及外加性，專案申請者必須證明，在專案邊界內實施的農業管理措施確實有對原有作法的改進。以下列舉在一般的農耕系統下，有助提高土壤有機碳儲量的主要措施。例如：

- (1) 施用有機資材
 - a. 施用有機肥（如糞肥、堆肥）取代化肥
 - b. 加入微生物製劑
- (2) 減少耕作/改善作物殘體管理
 - a. 保護性耕犁/減少耕犁/無耕犁
 - b. 帶狀條耕/覆蓋耕作
 - c. 作物殘體回田
- (3) 改善作物制度
 - a. 改變經濟作物種植或輪作(如糧食作物旱作改種牧草等)
 - b. 經濟作物與覆蓋作物輪作(如休耕轉種綠肥等)
 - c. 作物栽培期間種植覆蓋作物(如果園草生栽培等)

2.2 適用條件

本減量方法之適用條件如下：

- (1) 適用於臺灣農耕系統，提出專案申請之土地及管理措施須符合農業土地利用相關法規。土地利用相關法規如：土地法、非都市土地使用管制規則、農地重劃條例、農村社區土地重劃條例、農業用地作農業使用認定及核發證明辦法、農業發展條例、水污染防治法與廢棄物清理法等。
- (2) 專案旨在增加土壤有機碳（Soil Organic Carbon, SOC）儲量，專案必須對原有的農業管理措施引入或實施一項或多項新的變更，停止或調整原有的措施，以增加土壤有

機碳儲量，達到實現溫室氣體移除量的目標。可藉由基線歷史農業管理日誌與專案之作業時程進行佐證，詳見10.4章節。

- (3) 專案管理措施的任何定量調整幅度（例如，有機質肥料取代化肥比例）必須超過原有值的5%，原有值是於基線作業時程的歷史回溯期內的平均值，可藉由基線歷史農業管理日誌與專案之作業時程進行佐證，詳見10.4章節。
- (4) 自專案初始至整個專案計入期，專案活動必須在農地(含休耕、廢耕農地，但需維持低度處理，以可隨時恢復農耕管理)上實施。若在專案確證前能夠充分證明將多年生作物（如草類、豆類）與一年生作物整合，則允許作物制度改變，使其併入長期農業管理系統，但專案文件必須提供涵蓋擬議專案期的長期管理計畫。
- (5) 在專案開始日期之前的10年內，專案邊界生態系統必須為持續穩定農業使用，可藉由歷史航空影像或歷史使用土地類別進行佐證。
- (6) 專案活動預計不會導致產量持續下降超過5%，並已獲同儕審查和/或已發表的研究報告中，針對本專案活動在同一或類似地區的實施成果中加以證明。若執行有機農法或復耕者，可以附近區域之相同農法管理與產量進行比較。
- (7) 本方法學著重於土壤有機碳增加所產生的效益，但若管理措施造成其他碳庫與排放源變化量的5%，則需計入其變化量。例如：肥料與化石燃料使用變化等。可藉由收據或發票進行佐證，詳見10.4章節。
- (8) 專案活動每年溫室氣體淨移除量應小於或等於20,000公噸二氧化碳當量（tCO₂e）。

本方法學不適用於以下情形：

- (9) 專案活動在濕地上進行。
- (10) 專案活動將生物炭作為土壤改良劑使用。由於生物炭之應用需考量其生命週期之排放，與本方法學的量化方式不同，故不適用。未來若有專案包含本方法學之土壤管理措施與施用生物炭，則需引用兩種方法學分別計量所增加之碳匯。

2.3 生效日

生效日係以114年3月20日「環境部溫室氣體抵換專案及自願減量專案審議會第14次會議」決議審核通過為準。

3. 名詞定義

本減量方法相關名詞定義如下：

(1) 改進農業土壤管理措施 (Improved agricultural soil management practice)

本方法學採用以增加土壤有機碳 (Soil Organic Carbon, SOC) 儲量為重點的改進農業土壤管理措施，以實現溫室氣體 (Greenhouse Gas, GHG) 移除量。透過改變一項或多項原有的農業管理措施，例如施用有機資材 (例如糞肥、堆肥)、減少耕作/改善作物殘體管理、改善作物制度，以增加溫室氣體移除。

(2) 作業時程 (Schedule of activities)

在歷史回溯期(在專案開始日期之前、至少涵蓋三年和一個完整的作物輪作週期)，基線情境中進行的歷史管理/作業的年度計畫 (如耕犁、種植、收穫和施肥作業)。這些作業是根據10.4章節的數據要求在基線期重複進行的，並且適用於相關的模型輸入變量和參數。

(3) 農耕系統 (Farming system)

一個特定農場或農業生產單位的運作方式，涵蓋了農業生產的各種組織、技術、資源管理及其社會、經濟環境。

(4) 作物殘體 (Crop residue)

作物收割後留在農地中的物質，包括莖、葉、種子莢 (豆莢)、根或作物收割後被加工成可用資源後留下的物質，如稻殼、蔗渣等。

(5) 覆蓋作物 (Cover crop)

這類作物長成後，莖葉覆蓋地面，具有防止土壤沖刷的功用。覆蓋作物耕翻土中後，亦可增加土壤養分而為綠肥作物。

(6) 固氮物種 (Nitrogen-fixing species)

與在根部形成的根瘤中發現的固氮微生物相關的任何植物物種，包括但不限於大豆、苜蓿和豌豆。

(7) 合成化學氮肥 (Synthetic nitrogen fertilizer)

通過化學合成的任何含氮 (N) 的肥料 (固體、液體、氣體)。這可能是僅含氮的單質肥料產品 (僅含氮)，也可能是任何其他含氮的化學肥料，如複合肥 (例如 N-P-K 肥料) 和 "高效率" 氮肥 (例如緩釋、控釋和穩定氮肥)。

(8) 有機氮肥 (Organic nitrogen fertilizer)

任何含氮的有機物質，包括但不限於動物糞便、堆肥和污水污泥。

(9) 樣本單元 (Sample unit)

樣本單元是專案中定義的區域，以量化方法估算溫室氣體移除和減排量。整個專案邊界可被劃分為多個樣本單元，各樣本單元的溫室氣體減排和移除估計量 (emission reductions and removals, ERRs) 必須為均質 (即類似的管理活動、土壤類型、氣候等)。再將專案邊界內每個樣本單元的 ERR 估算加總，以得到整個專案邊界的估算值。

在專案文件內的抽樣設計描述中，必須明確定義樣本單元。若採用量化方法1 (測量和建模)，樣本單元即為對通量差異的估計進行建模的最小同質單位，使建模的樣本單元與抽樣設計校準測量的樣本單元一致，並將為兩者結果比較以提高參考性。若採用量化方法2 (直接量測)，樣本單元由抽樣設計定義，係以該樣本單元進行土壤有機碳估計的最小區域。若是使用分區/層隨機抽樣 (stratified sampling)，樣本單元為層；

若是使用系統抽樣/網格抽樣，則樣本單元為系統/網格單元；若是使用田地簡單隨機抽樣，則樣本單元為樣本田。

(10) 非彈性中子散射 (Inelastic neutron scattering, INS)

一種現場（原位）測量技術，基於對土壤元素在受到中子輻照後發射的伽馬射線的探測和分析。它也被稱為中子激發伽馬射線分析或光譜學。

(11) 紅外光譜 (Infrared spectroscopy, IRS)

中紅外 (Mid-infrared, MIR)、近紅外 (near-infrared, NIR) 和可見近紅外 (visible near-infrared, Vis NIR) 光譜，包括漫反射光譜 (diffuse reflectance spectroscopy, DRS) 和漫反射紅外傅立葉變換光譜 (diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy, DRIFT)。可見近紅外 (visible near-infrared, Vis NIR) 光譜結合了可見光和近紅外電磁波範圍，通常指 350 到 2500 奈米的波長範圍（可見光範圍在 350 到 700 奈米之間）。中紅外 (Mid-infrared, MIR) 光譜的範圍在 4000 cm^{-1} 到 600 （或 400 ） cm^{-1} 之間，取決於儀器。

(12) 雷射誘導激穿光譜 (Laser-induced breakdown spectroscopy, LIBS)

對土壤樣品施加高能脈衝，產生高溫等離子體，根據樣品中存在的元素而發射不同波長的輻射。

4. 專案邊界及土地合格性

專案邊界是指專案申請者所規劃之實施專案活動的地理位置、空間範圍、碳匯活動及計入期等邊界範圍，可包含多塊分散的農地，各塊農地面積須大於0.1公頃，並證明具有管理權（如：土地所有權）。在申請專案時，應提出以下資料以證明具土地合格性。

- (1) 專案實施土地範圍、邊界內農地現況，可透過最新的航照正射影像圖判別土地利用狀況；若無法取得航照正射影像圖時，亦可視專案邊界面積大小，選擇以衛星影像圖或以無人機自行蒐集相關正射影像，並檢附拍攝日期時間作為佐證。
- (2) 提供專案邊界內所有土地地籍資料並附記邊界之TWD97 TM2（1997臺灣大地基準二度分帶經緯度坐標）地理坐標，如土地權屬證書、地籍圖、土地清冊、所有權人登記或效期內租約等文件，以證明具管理權。

表四與表五列出了在專案邊界內，基線情境和專案情境中選定的碳庫和排放源。本方法學著重於實施特定一或多種改進農業土壤管理措施以增加土壤有機碳，但專案規劃時應先確認專案各碳庫與排放源的變動量，如果專案活動與基線情境相比排放量顯著增加（即超過 5%），則必須包含在內；如果專案活動與基線情境相比排放量減少，如專案實施時改變肥料用量、農機使用情況造成的排放量減少等，則可選擇是否包含在內。但本方法學為「移除」類型方法學，故僅核算「移除」額度，而不核算「減量」額度。各農業土壤管理措施可能涉及排放源與碳庫變化量可參考表六，但不限於表六，專案可依其專案情境檢核其碳庫與碳排的變化量。

表 四、專案邊界內基線和專案情境中選定的碳庫⁽¹⁾

碳庫	是否選擇	理由/解釋
地上部木本生物量	可選擇	若專案邊界內存在地上部木本生物，且其與變動量超過 5%，則本項為可選項目 ⁽²⁾
地上部非木本生物量	否	碳庫不必包括在內，因為它不會發生重大變化，或者潛在的變化是短暫的。
地下部木本生物量	可選擇	若專案邊界內存在地下部木本生物，且其與變動量超過 5%則，本項為可選項目 ⁽²⁾ 。
地下部非木本生物量	否	碳庫不必包括在內，因為它不會發生重大變化，或者潛在的變化是短暫的。
枯死木	否	碳庫不必包括在內，因為它不會發生重大變化，或者潛在的變化是短暫的。
枯落物	否	碳庫不必包括在內，因為它不會發生重大變化，或者潛在的變化是短暫的。
土壤有機碳	是	受專案活動影響的主要碳庫，預計在專案情境中會增加。

⁽¹⁾ 基線和專案排放量係根據每個監測週期每個單位面積中每個樣本單元內選定的碳庫儲量變化，以及排放源排放量的變化計算為單位面積排放量，量化單位為 tCO₂e。

⁽²⁾ 若地上部木本生物量或地下部木本生物量計入，則依照 CDM A/R 工具「A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量及碳儲量變化估算（AR-TOOL14）」和小規模 CDM「不含濕地之造林與再造林專案活動（AR-AMS0007）」或國內已公告的相關方法學的基線和監測方法進行計算。

⁽³⁾ 選項為「否」者係指本方法學排除此項目之計量，「可選擇」才為申請者可選擇的計量項目。

表五、專案邊界中包含的溫室氣體排放源⁽¹⁾

排放源	氣體	是否選擇	理由/解釋
化石燃料	CO ₂	可選擇 ⁽²⁾	化石燃料排放源是車輛（移動源，如卡車、曳引機等）和專案活動所需的機械設備。
土壤產生甲烷作用	CH ₄	可選擇 ⁽²⁾	土壤缺氧條件可能導致土壤產生甲烷
石灰	CO ₂	可選擇 ⁽²⁾	將石灰石或白雲石用作土壤改良劑可能是二氧化碳的重要來源。
氮肥的使用	N ₂ O	可選擇 ⁽²⁾	施用氮肥是 N ₂ O 排放的重要來源。
固氮物種的使用	N ₂ O	可選擇 ⁽²⁾	種植固氮物種是 N ₂ O 排放的重要來源。

⁽¹⁾ 基線和專案排放量係根據每個監測週期每個單位面積中每個樣本單元內選定的碳庫儲量變化，以及排放源排放量的變化計算為單位面積排放量，量化單位為 tCO₂e。

⁽²⁾ 如果來自任何專案排放源或洩漏源的溫室氣體排放的增加，和/或碳庫中碳儲量的減少，低於本專案導致的人為溫室氣體排放減量和移除總淨量的 5%，則此類排放源和碳庫可被視為微量並且可被忽略不計。如果專案活動與基線情境相比排放量顯著增加(即超過 5%)，則必須包含在內；如果專案活動與基線情境相比排放量減少，則可選擇是否包含在內。但減排量不核算「減量」額度。

表六、各農業土壤管理措施可能涉及碳庫⁽¹⁾與排放源變化量之參考表

農業土壤管理措施		CO ₂			CH ₄	N ₂ O	
		土壤有機碳	化石燃料	石灰	土壤產甲烷作用	氮肥的使用	固氮物種的使用
(1)施用有機資材	a.施用有機肥（如糞肥、堆肥）取代化肥	✓ ⁽²⁾	✓	-	✓	✓	-
	b.加入微生物製劑	✓	✓	-	✓	✓	-
(2)減少耕作/改善作物殘體管理	a.保護性耕犁/減少耕犁/無耕犁	✓	✓	-	✓	✓	-
	b.帶狀條耕/覆蓋耕作	✓	✓	-	-	✓	-
	c.作物殘體回田	✓	✓	-	✓	✓	-
(3)改善作物制度	a.改變經濟作物種植或輪作（如糧食作物旱作改種牧草等）	✓	✓	-	✓	✓	✓
	b.經濟作物與覆蓋作物輪作(如休耕轉種綠肥)	✓	✓	-	✓	✓	✓
	c.作物栽培期間種植覆蓋作物(如果園草生栽培)	✓	✓	✓	-	✓	✓

⁽¹⁾ 若專案活動之地上/下部木本生物量之變化量超過基線情境的 5%，即需計算其變化量。

⁽²⁾ ✓ 如果專案活動與基線情境相比排放量顯著增加（即超過 5%），則必須包含在內；如果專案活動與基準情境相比排放量減少，則可選擇是否包含在內。但減排量不核算「減量」額度。

5. 量化方法

有關碳庫與排放源的估算，本方法學提供三種量化方法如下：

(1) 量化方法1: 測量和建模

使用已被廣為接受且已經驗證可適用於我國之模型，依所實施的農業措施、土壤特徵、測量之初始土壤有機碳儲量和樣本單元氣候條件等，預測基線情境與專案情境中農業管理作業所導致的碳庫儲量及溫室氣體排放量變化。

(2) 量化方法2: 直接量測

僅適用於估算土壤有機碳儲量。以直接測量一個或多個樣本單元的土壤有機碳儲量，比較基線情境 ($SOC_{bsl,i,t}$) 與專案情境 ($SOC_{wp,i,t}$)。無論是基線情境或專案情境，土壤有機碳測量之採樣方式須一致並具有代表性。以固定深度的測量總體密度時，應以重量校正來滿足等效土壤質量(Equivalent Soil Mass, ESM)的要求。

(3) 量化方法3: 預設係數

基線排放：使用預設排放係數帶入本方法學提供的公式中，估算基線情境中各樣本單元於農業管理作業產生的基線排放量，並在驗證時確定每個樣本單元的數據。

專案排放：使用合適的預設排放係數和專案監測的參數，計算各樣本單元的專案排放量。排放係數引用必須按以下優先順序，使用與專案條件的最相關且準確的排放係數：

- a. 由具同行評審制度之科學文獻所列出的特定項目之排放係數。
- b. 若無相關的科學文獻，專案發起人可提出替代資訊來源（例如政府資料庫、行業出版物）建立預設係數，且必須提供證據證明替代資訊來源是可靠且可信的（例如，第三方專家證明）。
- c. 若無適用於專案條件的替代資訊來源，可依據「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」（IPCC, 2019）或最新版報告的相應章節，於專案活動時間收集活動數據，推導tier 2的排放係數。若證明專案缺乏足夠的活動資料和專案特定資訊來源，則可以選擇引用「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」（IPCC, 2019）或最新版報告中tier 1的排放係數。

各碳庫及CO₂、CH₄和N₂O排放源可選擇進行量化的方法如表七。特定碳庫與排放源的量化可以使用一種以上的量化方法，但專案與基線情境的量化必須使用相同的量化方法。

量化方法1(測量和建模)使用的模型必須符合：

- a. 來自公開可用的、具有良好聲譽和被認可的來源（如：模型開發者的網站、IPCC 或政府機關）。模型的輸入、輸出以及模型模擬出土壤有機碳變動量的檔案必須清楚描述，並且必須對公眾可用。（無須提供原代碼或應用程式開發介面（Application Programming Interface, API）以獨立複製計算）；
- b. 經過同行評審的科學研究中發表，足以模擬專案中因農業土壤管理方法改變（Agricultural Soil Management, ASM）造成的土壤有機碳和溫室氣體排放之變化；
- c. 能夠支持專案模型模擬的重複進行。包括敘明專案中使用的模型的版本，並提供穩定的軟體支持，以及對專案版本的模型使用的所有參數的來源和數值進行完整報告。如專案中使用多組參數值，則必須明確識別出不同參數來源及如何應用於估算專案中的土壤有機碳儲量變化與溫室氣體排放。可接受的來源包括同行評審的文獻和來自適當專家組織

的聲明，並經由撰寫同行評審的報告以證明對模型的專業知識。其來源必須描述用於設置參數值的數據集和統計過程；

- d. 根據 VMD0053 改進農業土地管理方法的模型校準和驗證指南第 5.2 節中詳述的資料集和程序進行驗證。模型預測誤差必須使用 VMD0053 第 5.2.5 節中所述的資料集進行計算，並且必須使用相同用於估算專案碳庫儲量變化/排放源排放之參數或參數組；

對於採用量化方法1來量化土壤有機碳儲量變化的專案，後續的直接土壤有機碳測量方式須與專案第一年相同，作為該年模型模擬的輸入。並將該模擬所輸出之土壤有機碳儲量與前一監測期模擬所輸出土壤有機碳儲量進行比較，以確定土壤有機碳儲量變化，並根據直接測量進行校正。有關基線情境與專案情境之生物物理輸入項目指南如表八。

表 七、估算排放源與碳庫之量化方法

溫室氣體	排放源/碳庫	量化方法 1: 測量和建模*	量化方法 2: 直接量測	量化方法 3: 預設係數
CO ₂	土壤有機碳	✓	✓	
	化石燃料			✓
	石灰			✓
CH ₄	土壤產甲烷作用	✓		✓
N ₂ O	氮肥的使用	✓		✓
	固氮物種的使用	✓		✓

*方法 1 只能在具有有效模型的情況下使用，且該模型須符合 VMD0053-Model Calibration, Validation, and Uncertainty Guidance for the Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.0 模型校準、驗證和不確定性的要求。

表八、根據所選模型的要求，收集基線情境的生物物理模型輸入的指南

模型輸入值類別	基線/專案	時間	方法
計算土壤有機碳儲量的土壤有機碳含量和總體密度	基線排放	專案活動開始前確定	土壤有機碳含量通過常規分析實驗方法在t=0直接測量，例如乾燒法(Dry combustion)或經驗證之新興技術(參閱附錄 1)。或藉由t=0±5年內收集的測量結果模擬到t=0。目前國內公告的土壤有機碳檢測標準方法為TARI S201.1B土壤有機質測定方法—燃燒／紅外線測定法，以總有機碳分析儀所測得之總有機碳含量。
	專案排放	在專案開始時確定（每5年或更短重新測量一次）	
土壤特性（pH、質地、團粒度）	基線排放 / 專案排放	專案活動開始前確定	直接測量或利用已發布的具有已知不確定性的土壤圖。 直接測量的估計值必須滿足以下條件：1. 來自代表性的（無偏差）抽樣。2. 遵守最佳作法以確保測量的準確性。
氣候變量（例如降水、溫度）	基線排放	事前持續監測	依模型預測間隔所需的時間頻率（例如，每日），對每個模型特定的氣象輸入變量進行測量。在距離樣本田最近且不超過50公里的連續監測氣象站或多功能氣象站（Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model, PRISM）進行氣象數據的測量。
	專案排放	事後持續監測	
農業管理措施	專案排放	事後監測	在每個專案年度（t）進行監測和記錄與農業管理措施有關的所需模型輸入值。農業管理措施的資訊將由樣本單元的農民或土地所有者協商進行監測，並由其簽署證明。任何關於農業管理措施的定量資訊必須由所選樣本田於監測期間以一種或多種形式之文件（例如管理日誌、收據或發票、農場設備規格）作為佐證。定量所需資訊的單位必須符合模型輸入要求。

6. 外加性

依據民國112年10月12日環境部公布的「溫室氣體自願減量專案管理辦法」第8條第2項第3款辦理，即自願減量專案之溫室氣體每年排放量總減量小於或等於20,000公噸二氧化碳當量(tCO₂e)，專案計畫書之外加性分析得僅分析法規外加性。

法規外加性之分析，包括是否是政府或法規強制要求執行、確認當地法規和政策對本專案活動之要求、確認專案活動的合理性、確定是否存在潛在法律或政府變化、評估專案是否超出法規要求，並提出相關文件或證據支持。

此外，於專案推動時須衡量個案情形進行周遭環境之衝擊分析及採取因應措施，並納入專案計畫內。

7. 基線排放

基線情境是指專案開始前3年內所使用的農業管理措施。依據專案開始日期前專案邊界內每個樣本單元（例如每塊採樣農地）的年度作業時程（即耕犁、種植、收穫和施肥作業）進行評估，作為基線情境中的作業時程。

基線情境評估的間隔時間（x年）必須至少為3年，並且至少經歷一次完整的作物輪作週期（若適用）。若基線情境中並未採行輪作，則x=3年。對於每一年，從t=-1到t=-x，農業管理措施的數據須依照表九中的要求。10.4章節列出獲取定性和定量資訊的方式，以對基線碳庫儲量變化及溫室氣體排放量變化進行估算。基線土壤有機碳儲量變化可於未開展專案活動前的場地中直接測量。

關於監測計畫之方法和規範，可參照11監測方法及VCS方法學工具VMD0021（如附錄2）或已公開發表或官方正式出版土壤碳庫調查及監測相關手冊或指南說明，或其他公開認證之調查方式。以上參照之方法或指引若有更新版本，則須參照最新版本，或檢討調整。

表九、農業管理措施需記錄之要求

農業管理措施	項目	說明*	案例
作物種植和收穫	作物種類	種植的大致日期（如：YYYY.MM.DD） 收穫/終止種植的大致日期（如：YYYY.MM.DD）	水稻 2018.01.15(種植) 2018.5.18(收穫)
氮肥及有機資材施用	糞肥 堆肥 化學肥料	糞肥類施用量（如：公斤氮/公頃） 堆肥類施用量（如：公斤氮/公頃） 化學肥料中的氮肥施用量（如：公斤氮/公頃） 有機資材用量（如：公斤/公頃）	化學肥料：台肥43號 400 公斤氮/公頃
耕犁和/或殘體管理	耕犁 作物殘體清除	耕犁深度（如：公分） 耕犁頻率（如：次/期作） 受影響的土壤面積百分比（如：%） 作物殘體清除百分比（如：%）	耕犁深度：20 公分 耕犁頻率：2 次/期作 受影響的土壤面積百分比：80% 清除的作物殘體百分比：100%
水管理/灌溉	灌溉/漫灌	灌溉量（如：公噸/公頃/期作）	公噸/公頃/期作

*與基線情境有改變之項目須紀錄

從t=-x年開始的作業時程將應用於基線情境中，從t=1開始，每x年重覆一次，直到基線期結束。在每個計入期結束時，必須查閱當前基線期結束前5年內公佈的區域農業生產數據，重新評估基線情境中經濟作物的產量。

如果有證據表明，使用相同的管理措施能使相關經濟作物持續生產，則基線情境將繼續之前的作業時程。如果沒有證據表明相關經濟作物的持續生產，將根據獨立的專業農學家或政府農業推廣人員為樣本田提供的書面建議，制定一個新的農業管理作業計畫（根據該地區的普遍作法進行評估）。

7.1 土壤有機碳儲量

量化方法 1 要求對土壤有機碳儲量進行直接測量，作為設定基線的模型輸入值，之後至少每5年進行一次模型校正。量化方法 2 要求對土壤有機碳儲量進行直接測量，以確定專案開始日期前的基線土壤有機碳儲量。

除本章節所述內容外，樣本單元的設計和建立、採樣方法、土壤碳庫碳儲量的測定以及所得結果之嚴謹性檢查的方法等詳細內容可參閱 VCS 方法學工具 VMD0021（如附錄2）或已公開發表、官方正式出版之土壤碳庫調查及監測相關手冊或指南說明，或其他公開認證之調查方式。以上參照之方法或指引若有更新版本，則須參照最新版本，或檢討調整。

有關具代表性的基線與專案的土壤採樣數計算方式，可由公式 1 和 2 計算出最小可檢測差異所需的樣本數。若有無法推估最小採樣數之原因時，得敘明不以公式推估採樣數之理由。

$$MDD \geq \frac{S}{\sqrt{n}} \times (t_{\alpha} + t_{\beta}) \quad \text{公式 1}$$

$$n \geq \left(\frac{S \times (t_{\alpha} + t_{\beta})}{MDD} \right)^2 \quad \text{公式 2}$$

參數	定義
MDD	最小可檢測差異
S	t_0 和 t_1 之間 土壤有機碳儲量差異的標準偏差
n	樣本數量
t_{α}	在給定顯著性水準 (α) 及自由度下， t 分佈的雙側臨界值通常取 0.05 (5%)
t_{β}	與第二型錯誤機率 β 對應的 t 分佈單尾分位數（例如，90%）

為確保土壤有機碳儲量的變化不僅僅來自於總體密度的時間變化（與管理作法相關），土壤有機碳儲量的變化應以等效土壤質量 (Equivalent Soil Mass, ESM) 為基礎進行計算。每個深度層的土壤有機碳儲量為土壤重量和 OC 濃度的乘積，土壤重量係以是深度層的土壤採樣器內乾樣本重量估算。

土壤有機碳儲量計量需將所有採樣的深度相加，至少要達到 30 公分的深度，以計算出每單元面積的累積土壤有機碳儲量。若採用分區/層抽樣策略，就必須報告基線和專案邊界內每個分區/層的土壤有機碳基線儲量。

$$BD_{corr} = \frac{M_{n,dl, sample}}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times dl} \quad \text{公式 3}$$

$$M_{n,dl, SOC} = BD_{corr} \times dl \times OC_{n,dl} \times 100 \quad \text{公式 4}$$

參數	定義	單位
BD_{corr}	扣除粗碎粒重量比例後的細土部分校正總體密度	g/cm^3
$M_{n,dl, sample}$	深度 dl 土壤樣本 n 乾燥的土壤樣本重量	g
$M_{n,dl, SOC}$	深度 dl 土壤樣本 n 的土壤有機碳重量	t /ha
D	採樣器材內徑	cm
$OC_{n,dl}$	深度 dl 土壤樣本 n 的土壤有機碳濃度	g/g
dl	土芯深度	cm
100	g/cm^2 至 t/ha 的轉換係數	-

在量化方法2 下，經由公式4量化之樣本土壤有機碳重量後，以公式5轉換，獲得基線情境中土壤有機碳庫的估計碳儲量。

$$SOC_{bsl,i,t} = M_{n,dl, SOC} \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 5}$$

參數	定義	單位
$SOC_{bsl,i,t}$	在 t 期末，樣本單元 i 的基線情境中土壤有機碳庫的估計二氧化碳當量儲量	$\text{tCO}_2\text{e/ha}$
$M_{n,dl, SOC}$	深度 dl 土壤樣本 n 的土壤有機碳重量	t /ha
44/12	碳(C)轉換為二氧化碳當量(CO_2e)的換算係數	-

若使用量化方法1，若模型使用土壤有機碳儲量作為輸入值，則模型初始化的土壤有機碳儲量可以使用公式6進行計算，

$$SOC_{model} = BD_{corr} \times dl \times OC_{n,dl} \times 100 \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 6}$$

參數	定義	單位
SOC_{model}	以模型輸入數據估計二氧化碳當量儲量	tCO ₂ e/ha
BD_{corr}	扣除粗碎粒重量比例後的細土部分校正總體密度	g/cm ³
dl	土芯深度	cm
$OC_{n,dl}$	每個樣本中的有機碳濃度	g/g
100	g/cm ² 至 t/ha 的轉換係數	-
44/12	碳(C)轉換為二氧化碳當量(CO ₂ e)的換算係數	-

必須使用公式7並遵循 VMD0053 或其他相關文件中的指導來計算量化方法 1 下的模型土壤有機碳儲量。

$$SOC_{bsl,i,t} = f(SOC_{bsl,i,t}) \quad \text{公式 7}$$

參數	定義	單位
$SOC_{bsl,i,t}$	在 t 期末，樣本單元 i 的基線情境中土壤有機碳庫的估計碳儲量	tCO ₂ e/ha
$f(SOC_{bsl,i,t})$	t 年樣本單元 i 在基線情境中藉由模型計算的土壤有機碳儲量。遵循 VMD0053 或其他相關文件中的指導，以模型模擬前一年度土壤有機碳儲量的變化計算 t 年土壤有機碳庫的碳儲量。	tCO ₂ e/ ha
i	樣本單元	-

7.2 化石燃料燃燒產生的二氧化碳排放

若專案邊界內包括化石燃料的二氧化碳排放，則基線與專案情境以量化方法3對各類型化石燃料的二氧化碳排放進行量化並加總。

使用下列公式估算參數 $\overline{CO_2-f}_{bsl,i,t}$ ：

$$\overline{CO_2-f}_{bsl,i,t} = (\sum_{j=1}^J EFF_{bsl,j,i,t}) / A_i \quad \text{公式 8}$$

參數	定義	單位
$\overline{CO_2-f}_{bsl,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，化石燃料燃燒產生的平均二氧化碳排放	tCO ₂ e/ ha
$EFF_{bsl,j,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的化石燃料車輛/設備類型 j 在基線情境中化石燃料燃燒產生的二氧化碳排放	tCO ₂ e
A_i	樣本單元 i 的面積	ha
j	化石燃料的類型（汽油或柴油）	-
i	樣本單元	-

使用下列公式估算參數 $EFF_{bsl,j,i,t}$ ：

$$EFF_{bsl,j,i,t} = FFC_{bsl,j,i,t} \times EF_{CO_2,j} \quad \text{公式 9}$$

參數	定義	單位
$EFF_{bsl,j,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的車輛/設備類型 j 在基線情境中化石燃料燃燒產生的二氧化碳排放量	tCO ₂ e
$FFC_{bsl,j,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的 j 類化石燃料的消耗量	liters
$EF_{CO_2,j}$	燃燒的 j 類化石燃料的排放係數	tCO ₂ e/ liter
j	化石燃料的類型（汽油或柴油）	-
i	樣本單元	-

7.3 施用石灰的二氧化碳排放

施用鈣質石灰石 (CaCO_3) 或白雲石 ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) 會釋放出碳酸氫鹽 (2HCO_3^-)，隨著碳酸鹽石灰的溶解，碳酸氫鹽會揮發成二氧化碳和水 (H_2O)。若土壤管理措施包含施用石灰，且不可忽略不計時，在量化方法 3 下的基線情境中使用公式 10 和 11 對其進行量化。

$$\overline{CO_2_lime}_{bsl,i,t} = EL_{bsl,i,t} / A_i \quad \text{公式 10}$$

參數	定義	單位
$\overline{CO_2_lime}_{bsl,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中石灰產生的平均二氧化碳排放量	tCO ₂ e/ha
$EL_{bsl,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中石灰產生的二氧化碳排放量	tCO ₂ e
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

$$EL_{bsl,i,t} = \left((M_{Limestone,bsl,i} \times EF_{Limestone}) + (M_{Dolomite,bsl,i} \times EF_{Dolomite}) \right) \times \frac{44}{12} \quad \text{公式 11}$$

參數	定義	單位
$EL_{bsl,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中石灰產生的二氧化碳排放量	tCO ₂ e
$M_{Limestone,bsl,i}$	t 年應用於樣本單位 i 的鈣質石灰石的量	公噸
$EF_{Limestone}$	鈣質石灰石的排放係數(0.12)	t C/t limestone (石灰石)
$M_{Dolomite,bsl,i}$	t 年應用於樣本單位 i 的白雲石的量	公噸
$EF_{Dolomite}$	白雲石的排放係數(0.13)	t C/ t dolomite (白雲石)
44/12	碳(C)轉換為二氧化碳當量(CO ₂ e)的換算係數	-

7.4 土壤有機碳庫中的甲烷排放

若專案邊界內包括土壤產生甲烷排放，在量化方法 1 下，以公式 12 量化基線情境中的排放。

$$\overline{CH_4_soil}_{bsl,i,t} = GWP_{CH_4} \times f(CH_4_soil_{bsl,i,t}) \quad \text{公式 12}$$

參數	定義	單位
$\overline{CH_4_soil}_{bsl,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中土壤有機碳庫的平均甲烷排放	t CO ₂ e/ ha
$f(CH_4_soil_{bsl,i,t})$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中土壤有機碳庫的模擬甲烷排放;	t CO ₂ e / ha
GWP_{CH_4}	CH ₄ 的全球暖化潛勢	t CO ₂ e/t CH ₄

在量化方法 3 下，僅用於水田的甲烷排放量化，預設係數可引用「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第四卷第五章 Table 5.11 或引用我國國家溫室氣體排放清冊公告之本土排放係數(如附錄 3)。

$$CH_{4_{soil_{bsl,i,t}}} = EF_{CH_4} \times T \times 0.001 \quad \text{公式 13}$$

參數	定義	單位
$CH_{4_{soil_{bsl,i,t}}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中土壤有機碳庫的甲烷排放	t CH ₄ /ha
EF_{CH_4}	水田的甲烷排放係數	kg CH ₄ /ha/day
T	栽培天數	day
0.001	kg/ha 至 t/ha 的轉換係數	-

7.5 氮肥和固氮物種的氧化亞氮排放

若專案邊界內包含施用氮肥和種植固氮物種於土壤導致的 N₂O 排放，則在基線情境中以量化方法 1 或量化方法 3 進行量化。硝化/反硝化作用產生的 N₂O 排放包括氮肥的直接和間接排放以及固氮物種的直接排放。

量化方法 1

基線情境中，向土壤中施用氮（化肥、糞肥和固氮物種）導致直接和間接的 N₂O 排放為：

$$\overline{N_2O_{soil_{bsl,i,t}}} = GWP_{N_2O} \times f(N_2O_{soil_{bsl,i,t}}) \quad \text{公式 14}$$

參數	定義	單位
$\overline{N_2O_{soil_{bsl,i,t}}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，由於向土壤施用氮而導致的直接和間接 N ₂ O 排放均量	t CO ₂ e/ ha
$f(N_2O_{soil_{bsl,i,t}})$	模擬土壤中的 N ₂ O 排放（樣本單元 i 在報告期的總和）	t N ₂ O/ ha
GWP_{N_2O}	N ₂ O 的全球暖化潛勢	t CO ₂ e/t N ₂ O

量化方法 3

使用以下公式估算在基線情境中由於向土壤施用氮而產生的 N_2O 排放。

$$N_2O_{soil_{bsl,i,t}} = N_2O_{fert_{bsl,i,t}} + N_2O_{Nfix_{bsl,i,t}} \quad \text{公式 15}$$

參數	定義	單位
$N_2O_{soil_{bsl,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，由於向土壤施用氮而導致的 N_2O 排放	t CO ₂ e/ ha
$N_2O_{fert_{bsl,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，使用肥料導致的 N_2O 排放	t CO ₂ e/ ha
$N_2O_{Nfix_{bsl,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，使用固氮物種導致的 N_2O 排放	t CO ₂ e/ ha

在量化方法 3 下，如果將使用肥料導致的 N_2O 排放包含在專案邊界中，則在基線情境中使用以下公式對其進行量化。

$$N_2O_{fert_{bsl,i,t}} = N_2O_{fert_{bsl,direct,i,t}} + N_2O_{fert_{bsl,indirect,i,t}} \quad \text{公式 16}$$

參數	定義	單位
$N_2O_{soil_{bsl,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，由於向土壤施用氮而導致的 N_2O 排放	t CO ₂ e/ ha
$N_2O_{fert_{bsl,direct,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，肥料使用導致的 N_2O 直接排放	t CO ₂ e/ ha
$N_2O_{fert_{bsl,indirect,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，肥料使用導致的 N_2O 間接排放	t CO ₂ e/ ha

對於基線情境中使用肥料導致的 N₂O 直接排放，使用以下公式對其進行量化。

$$\overline{N_2O_fert_{bsl,direct,i,t}} = \left[(FSN_{bsl,i,t} + FON_{bsl,i,t}) \times EF_{Ndirect} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O} \right] / A_i \quad \text{公式 17}$$

$$FSN_{bsl,i,t} = \sum_{SF} M_{bsl,SF,i,t} \times NC_{SF} \quad \text{公式 18}$$

$$FON_{bsl,i,t} = \sum_{OF} M_{bsl,OF,i,t} \times NC_{OF} \quad \text{公式 19}$$

參數	定義	單位
$\overline{N_2O_fert_{bsl,direct,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，肥料使用導致的 N ₂ O 直接排放均量	t CO ₂ e/ ha
$FSN_{bsl,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中施用的化學肥料	t N
$FON_{bsl,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中施用的有機氮肥	t N
$M_{bsl,SF,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中施用的含氮化學肥料的重量	t fertilizer
$M_{bsl,OF,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中施用的含氮有機肥的重量	t fertilizer
NC_{SF}	所施用化學肥料的氮含量	t N/t fertilizer
NC_{OF}	所施用有機氮肥的氮含量	t N/t fertilizer
$EF_{Ndirect}$	來自化學肥料、有機改良劑和作物殘體的氮添加的 N ₂ O 排放係數	t N ₂ O-N/t N applied
SF	化學肥料類型	-
OF	有機氮肥類型	-
44/28	用於將 N ₂ O-N 排放轉換為 N ₂ O 排放的 N ₂ O 分子重量與 N 分子重量之比	-
GWP_{N_2O}	N ₂ O 的全球暖化潛勢	t CO ₂ e/t N ₂ O
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

基線情境中使用肥料導致的 N₂O 間接排放使用以下公式對其進行量化，排放係數預設值可參閱附錄3。

$$\overline{N_2O_fert_{bsl,indirect,i,t}} = (N_2O_fert_{bsl,volat,i,t} + N_2O_fert_{bsl,leach,i,t}) / A_i \quad \text{公式 20}$$

$$N_2O_fert_{bsl,volat,i,t} = \left[\frac{(FSN_{bsl,i,t} \times Frac_{GASF,i,s}) + (FON_{bsl,i,t} \times Frac_{GASM,i,s})}{(FON_{bsl,i,t} \times Frac_{GASM,i,s})} \right] \times EF_{Nvolat} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O} \quad \text{公式 21}$$

$$N_2O_fert_{bsl,leach,i,t} = \left(\frac{FSN_{bsl,i,t}}{FON_{bsl,i,t}} + 1 \right) \times Frac_{LEACH,i,s} \times EF_{Nleach} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O} \quad \text{公式 22}$$

參數	定義	單位
$\overline{N_2O_fert_{bsl,indirect,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中，由於使用肥料導致的 N ₂ O 間接排放均量	t CO ₂ e/ ha
$N_2O_fert_{bsl,volat,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 因使用肥料而揮散的氮在大氣中沉降產生的 N ₂ O 間接排放量	t CO ₂ e
$N_2O_fert_{bsl,leach,i,t}$	在發生淋溶和逕流的地區，由於樣本單元 i 在 t 年使用肥料，氮的淋溶和逕流產生的 N ₂ O 間接排放量	t CO ₂ e
$Frac_{GASF,i,s}$	化學肥料以 NH ₃ 和 NO _x 形式揮散的比例	-
$Frac_{GASM,i,s}$	有機氮以及沉積在土壤中的糞便和尿液中的氮以 NH ₃ 和 NO _x 的形式揮散的比例	-
$Frac_{LEACH,i,s}$	添加到土壤中的氮（化肥或有機的）和沉積在土壤上的糞尿中的氮，通過淋溶和逕流流失的比例。	-
EF_{Nvolat}	土壤和水面上氮的大氣沉積產生揮散的 N ₂ O 排放的排放係數	t N ₂ O-N / (t 揮散的 NH ₃ -N + NO _x -N)
EF_{Nleach}	因淋洗和逕流流失的 N ₂ O 排放的排放係數	t N ₂ O-N / t 淋洗和逕流流失的 N
GWP_{N_2O}	N ₂ O 的全球暖化潛勢	t CO ₂ e/t N ₂ O
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

在量化方法 3 下，如果將使用固氮物種而導致的 N₂O 排放包含在專案邊界中，則在基線情境中使用以下公式對其進行量化。

$$\overline{N_2O_Nfix_{bsl,i,t}} = \left(F_{CR,bsl,i,t} \times EF_{Ndirect} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O} \right) / A_i \quad \text{公式 23}$$

參數	定義	單位
$\overline{N_2O_Nfix_{bsl,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中使用固氮物種導致的平均 N ₂ O 排放	t CO ₂ e/ ha
$F_{CR,bsl,i,t}$	在第 t 年樣本單元 i 的基線情境中，固氮物種（地上和地下）中返回土壤的氮量	t N
GWP_{N_2O}	N ₂ O 的全球暖化潛勢	t CO ₂ e/t N ₂ O
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

$$F_{CR,bsl,i,t} = \sum_{g=1}^G MB_{g,bsl,i,t} \times N_{content,g} \quad \text{公式 24}$$

參數	定義	單位
$F_{CR,bsl,i,t}$	在第 t 年樣本單元 i 的基線情境中，固氮物種（地上和地下）中返回土壤的氮量	t N
$MB_{g,bsl,i,t}$	在 t 年樣本單元 i 的固氮物種 g 返至土壤的年度乾物質（包括地上和地下）	t dm
$N_{content,g}$	固氮物種 g 乾物質中氮的比例	t N/t dm
g	固氮物種的類型	-

8. 專案排放

專案情境中的農業管理措施造成的碳庫儲量變化及溫室氣體排放量變化係依據監測項目的變化進行計算或模擬。專案情境中，須按照第7章節(基線排放)所列的方法，使用與基線排放中相同公式，估算所包括之排放源的 CO₂、CH₄和 N₂O 排放。所有採用公式的下標 bsl 必須改為 wp，以代表相關數值是專案情境所進行的量化。

專案排放量化方法請參閱第7章節(基線排放)。

9. 洩漏排放

實施專案的農業土壤管理措施可能導致專案邊界外區域的洩漏排放，如造成專案邊界外區域的土壤有機碳減少或溫室氣體排放量增加，故專案應檢核可能的洩漏排放。以下列舉可能的洩漏排放。

9.1 估算施用來自專案邊界外的有機改良劑產生的洩漏

如專案活動施用基線期並未施用的糞肥、堆肥或生物體，可能造成專案外區域的土壤有機碳下降，則因活動轉移可能造成洩漏的風險。為評估其洩漏，必須進行扣減，除非：

1. 專案施用的糞肥或堆肥是專案邊界內的農場現場生產的；
2. 證明糞肥是從未受管理的厭氧瀉湖、池塘、水池或凹地中移出；並且無法從原處回收甲烷來加熱和/或發電；
3. 證明施用的糞肥、堆肥或生物體未被用作土壤改良劑。

扣除的項目是在專案期間保留在專案邊界內而未降解的糞便、堆肥或生物體，因上述物質原將施用於專案邊界外的農業用地。

公式25為估算施用外來的糞肥、堆肥或生物體活動所增加的土壤有機碳的公式，根據Maillard 和 Angers (2014) 的全球糞肥碳保留係數，所施用糞肥之碳總量假定為12%(本方法學將堆肥或生物體的含碳量亦假定為12%)。

$$LE_{OA,t} = \sum_l \left(M_{manure_{wp,l,t}} \times CC_{wp,l,t} \times 0.12 \times \frac{44}{12} \right) \quad \text{公式 25}$$

參數	定義	單位
$LE_{OA,t}$	在 t 年來自有機改良劑的洩漏量	t CO ₂ e
$M_{manure_{wp,i,t}}$	在 t 年，在專案邊界作為肥料施用的糞肥/有機改良劑的重量	tonnes
$CC_{wp,l,t}$	在 t 年，在專案邊界作為肥料施用的糞肥/有機改良劑的碳含量	t C/t manure
0.12	到專案期結束時，預計將留在專案區土壤中的糞肥/有機改良劑之碳比例	-
44/12	碳(C)轉換為二氧化碳當量(CO ₂ e)的換算係數	-

9.2 估算產量下降產生的洩漏

由於本方法學的適用情境為農地且用作農業生產，故市場洩漏可忽略不計。此外，因生產者係以作物收穫作為收入來源，故預期不會採用使產量下降的管理措施。但為確保不發生洩漏，每10年必須完成以下步驟：

步驟 1: 比較專案與基線期的產量，證明在專案情境中每種作物的產量下降不超過5%:

1. 以公式26將每種作物在專案的平均產量（不包括有極端天氣事件的年份）與同一作物基線期的平均產量進行比較。

$$\Delta P = \left(\frac{P_{wp,p} - P_{bsl,p}}{P_{bsl,p}} \right) \times 100$$

參數	定義	單位
ΔP	產量的變化	%
$P_{wp,p}$	專案期作物 p 的平均產量	kg/ha
$P_{bsl,p}$	基線期作物 P 的平均產量	kg/ha
P	農作物產品	

或

2.以公式27和政府部門、工業、出版物、學術或國際組織（例如 FAO）的區域性統計數據，計算在t年作物的基線平均產量與區域產量的比例，與在t+10年的專案產量與區域平均產量的比例。

$$\Delta PR = \left(\frac{P_{wp,p}}{RP_{wp,p}} - \frac{P_{bsl,p}}{RP_{bsl,p}} \right) \times 100$$

參數	定義	單位
ΔPR	每公頃產量比例的變化	%
$P_{wp,p}$	專案期作物產品 P 的平均產量	kg/ha
$P_{bsl,p}$	基線期作物產品 P 的平均產量	kg/ha
$RP_{wp,p}$	與專案期相同年份間的作物產品 P 的區域平均產量	kg/ha
$RP_{bsl,p}$	與基線期相同年份間的作物產品 p 的區域平均產量	kg/ha
p	作物產品	

專案產量平均值必須收集過去10年的數據(不可包含超過10年的數據)。若某項作物的產量保持不變、提高或下降不到5%，則無需採取進一步行動。若有一種或多種作物的產量下降超過5%，則對這些作物完成步驟2。

步驟 2: 重複步驟 1 中的計算，但排除專案實施期間前三年的數據，以確認作物產量下降是否僅是短期變化。若去除前三年的數據後，作物的專案生產率在基線生產力的5%以內，則無需採取進一步行動。若仍然有一種或多種作物的產量下降超過5%，則進行步驟3。

步驟 3: 通過以下分區/層分析，確定生產率下降是否僅限於特定因素的組合：

- 1.措施改變類別
- 2.措施改變類別組合
- 3.作物種類
- 4.土壤類型，和/或
- 5.氣候帶

若產量下降僅限於特定因素的組合，則該組合未來將不可計入。如：若玉米產量下降 10%，且分區/層分析表示產量下降與肥料用量減少有關，則導致玉米田減量的措施未來將不可計入。若專案申請者無法以分區/層將洩漏源剔除，則整項作物產品未來均不可計入。

9.3 估算基線情境中生物質殘渣轉用於能源應用產生的洩漏

若專案活動涉及糞肥或作物殘體管理，且基線情境中糞肥或作物殘體被從能源應用（例如用於爐灶或生物質發電）轉移至專案活動內，則存在洩漏風險。因為專案活動的實施，原本的應用可能將被迫使用其他原料，則必須依 CDM 工具 16：專案和生物質洩漏排放的程序確定洩漏排放 $LE_{BR,t}$ 。

9.4 估算於專案情境中非人為造成之生物質燃燒產生的洩漏

若發生非人為造成之生物質燃燒，生物質燃燒產生的甲烷排放將包括於專案邊界中，則專案情境中以量化方法 3 對其進行量化。

$$\overline{CH_4_bb_t} = \left(\frac{GWP_{CH_4} \times \sum_{c=1}^C MB_c \times CF_c \times EF_{c,CH_4}}{10^6} \right) \quad \text{公式 28}$$

參數	定義	單位
$\overline{CH_4_bb_t}$	在 t 年專案情境中非人為造成之生物質燃燒產生甲烷排放	t CO ₂ e
MB_c	在 t 年，專案情境中非人為造成之燃燒 c 類作物殘體的重量	公斤
CF_c	c 類作物殘體的燃燒係數	燃燒前生物質燃料消耗的比例
EF_{c,CH_4}	c 類作物殘體燃燒的甲烷排放係數	g CH ₄ /kg dry matter burnt (乾物質燃燒)
c	作物殘體類型	-
GWP_{CH_4}	CH ₄ 的全球暖化潛勢	t CO ₂ e/t CH ₄
10 ⁶	每公噸的克數	-

生物質燃燒產生的 N₂O 排放以量化方法 3 進行量化。

$$\overline{N_2O_bb_t} = \left(\frac{GWP_{N_2O} \times \sum_{c=1}^C MB_c \times CF_c \times EF_{c,N_2O}}{10^6} \right) \quad \text{公式 29}$$

參數	定義	單位
$\overline{N_2O_bb_t}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中生物質燃燒產生的平均 N ₂ O 排放	t CO ₂ e
EF_{c,N_2O}	c 類作物殘體燃燒的 N ₂ O 排放係數	g N ₂ O/kg 乾物質燃燒
GWP_{N_2O}	N ₂ O 的全球暖化潛勢	t CO ₂ e/t N ₂ O
10 ⁶	每公噸的克數	-

10.減量

因增加土壤有機碳之農業管理措施有可能增加溫室氣體的排放量，因此專案除了檢核專案包括之如表四所列的碳庫外，亦須檢核表五之排放源是否增加。如果來自任何專案排放源或洩漏源的溫室氣體排放的增加，和/或碳庫中碳儲量的減少，低於本專案導致的人為溫室氣體排放減量和移除總淨量的 5%，則此類排放源和碳庫變化量可被視為微量並且可被忽略不計。如果專案活動與基線情境相比排放量顯著增加（即超過 5%），則必須包含在內；如果專案活動與基線情境相比排放量減少，則可選擇是否包含在內。但減排量不核算「減量」額度。

量化溫室氣體淨移除量與淨減排量如下：

$$ERR_t = E_{rem,t} + E_{red,t} - LE_t \quad \text{公式 30}$$

參數	定義	單位
ERR_t	在 t 年溫室氣體估算之淨減排量和淨移除量	t CO ₂ e
$E_{rem,t}$	在 t 年溫室氣體估算之淨移除量	t CO ₂ e
$E_{red,t}$	在 t 年溫室氣體估算之淨減排量	t CO ₂ e
LE_t	在 t 年溫室氣體估算之總洩漏量	t CO ₂ e

量化溫室氣體總洩漏量和如下：

$$LE_t = LE_{rem,t} + LE_{red,t} \quad \text{公式 31}$$

$$LE_{rem,t} = (LE_{OA,t} + LE_{BR,t} + \overline{CH_4_{bb_{i,t}}} + \overline{N_2O_{bb_{i,t}}}) \times \frac{E_{rem,t}}{E_{rem,t} + E_{red,t}} \quad \text{公式 32}$$

$$LE_{red,t} = (LE_{OA,t} + LE_{BR,t} + \overline{CH_4_{bb_{i,t}}} + \overline{N_2O_{bb_{i,t}}}) \times \frac{E_{red,t}}{E_{rem,t} + E_{red,t}} \quad \text{公式 33}$$

參數	定義	單位
LE_t	在 t 年溫室氣體估算之總洩漏量	t CO ₂ e
$LE_{rem,t}$	在 t 年分配於移除的洩漏	t CO ₂ e
$LE_{red,t}$	在 t 年分配於減排量的洩漏	t CO ₂ e
$LE_{OA,t}$	在 t 年來自有機改良劑的洩漏量	t CO ₂ e
$LE_{BR,t}$	t 年從基線能源應用中轉移糞便或作物殘體所造成的洩漏排放	t CO ₂ e
$\overline{CH_4_{bb_{i,t}}}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中，生物質燃燒產生的平均甲烷排放	t CO ₂ e
$\overline{N_2O_{bb_{i,t}}}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中生物質燃燒產生的平均 N ₂ O 排放	t CO ₂ e

量化溫室氣體淨移除量：

$$E_{rem,t} = [\Delta CO_{2_soil_t} \times (1 - UNC_{t,CO_2})] + \Delta C_{TREE,t} + \Delta C_{SHRUB,t} \quad \text{公式 34}$$

參數	定義	單位
$E_{rem,t}$	在 t 年溫室氣體估算之淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta CO_{2_soil_t}$	在 t 年增加土壤有機碳庫產生的 CO ₂ 排放移除量	t CO ₂ e
UNC_{t,CO_2}	t 年與建模或測量土壤有機碳儲量變化相關的不確定性。若不確定性計算之結果大於50%，則應重新採樣（參考附錄4）。	0 到 1 之間的分數
$\Delta C_{TREE,t}$	在 t 年喬木生物量的碳儲變化量	t CO ₂ e
$\Delta C_{SHRUB,t}$	在 t 年灌木生物量的碳儲變化量	t CO ₂ e

量化溫室氣體淨減排量：

$$E_{red,t} = \Delta CO_{2_ff_t} + \Delta CO_{2_lime_t} + (\Delta CH_4_soil_t \times (1 - UNC_{t,CH_4_soil})) + (\Delta N_2O_soil_t \times (1 - UNC_{t,N_2O_soil})) \quad \text{公式 35}$$

參數	定義	單位
$E_{red,t}$	在 t 年溫室氣體估算之淨減排量	t CO ₂ e
$\Delta CO_{2_ff_t}$	在 t 年化石燃料燃燒產生的 CO ₂ 排放量差	t CO ₂ e
$\Delta CO_{2_lime_t}$	在 t 年使用石灰產生的 CO ₂ 排放量差	t CO ₂ e
$\Delta CH_4_soil_t$	在 t 年土壤有機碳庫產生的甲烷排放量差	t CO ₂ e
UNC_{t,CH_4_soil}	在 t 年因土壤有機碳庫產生的甲烷排放量改變的不確定性。	0 到 1 之間的分數
$\Delta N_2O_soil_t$	在 t 年硝化/反硝化作用產生的 N ₂ O 排放量差	t CO ₂ e
UNC_{t,N_2O_soil}	在 t 年因硝化/反硝化作用產生的 N ₂ O 排放量改變的不確定性	0 到 1 之間的分數

10.1 二氧化碳排放的減排量和移除量

量化增強土壤碳庫產生的二氧化碳移除量：

以公式36對樣本單元 i 在第 t 年通過增強土壤有機碳庫產生的 CO_2 排放移除量進行量化。

$$\Delta\text{CO}_{2_soil_t} = \sum_{i=1}^n (\overline{SOC_{wp,i,t}} - \overline{SOC_{wp,i,t-1}}) \times A_i \quad \text{公式 36}$$

參數	定義	單位
$\Delta\text{CO}_{2_soil_t}$	在 t 年增加土壤有機碳庫產生的 CO_2 排放移除量	t CO_2e
$\overline{SOC_{wp,i,t}}$	在 t 年末樣本單元 i 專案情境中的土壤有機碳庫的平均碳儲量	t $\text{CO}_2\text{e} / \text{ha}$
$\overline{SOC_{wp,i,t-1}}$	在 $t-1$ 年末樣本單元 i 專案情境中的土壤有機碳庫的平均碳儲量	t $\text{CO}_2\text{e} / \text{ha}$
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

對於量化方法1，專案開始時的基線和專案情境中的初始土壤有機碳相同(即, $SOC_{wp,i,0} = SOC_{bsl,i,0}$); 因此，公式36對樣本單元 i 的第一次計算簡化為 $\overline{SOC_{wp,i,t}} - \overline{SOC_{bsl,i,t}}$ 。

對於量化方法2，將樣本單位 i 在第 t 年通過增強碳庫所產生的二氧化碳排放移除量與基線情境的估算土壤有機碳儲量變化進行比較。應使用每個「專案--基線」組合的每公頃平均土壤有機碳儲量。若測量頻率低於每年一次，則必須將測量結果除以年數，以計算土壤有機碳儲量的年變化量。

量化化石燃料燃燒產生的二氧化碳減排量：

$$\Delta\text{CO}_{2_ff_t} = \sum_{i=1}^n (\overline{CO_{2_ff_{wp,i,t}}} - \overline{CO_{2_ff_{bsl,i,t}}}) \times A_i \quad \text{公式 37}$$

參數	定義	單位
$\Delta\text{CO}_{2_ff_t}$	在 t 年化石燃料燃燒產生的 CO_2 排放量差	t CO_2e
$\overline{CO_{2_ff_{wp,i,t}}}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中化石燃料燃燒產生的平均 CO_2 排放	t $\text{CO}_2\text{e} / \text{ha}$
$\overline{CO_{2_ff_{bsl,i,t}}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中化石燃料燃燒產生的平均 CO_2 排放	t $\text{CO}_2\text{e} / \text{ha}$
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

量化喬木生物量中的碳儲變化量：

$$\Delta C_{TREE,t} = \sum_{i=1}^n (\overline{\Delta C_{TREE,wp,i,t}} - \overline{\Delta C_{TREE,bsl,i,t}}) \times A_i$$

公式 38

參數	定義	單位
$\Delta C_{TREE,t}$	在 t 年喬木生物量的碳儲變化量	t CO ₂ e
$\overline{\Delta C_{TREE,wp,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中喬木生物量的平均碳儲變化量	t CO ₂ e/ ha
$\overline{\Delta C_{TREE,bsl,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中喬木生物量的平均碳儲變化量	t CO ₂ e/ ha
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

量化灌木生物量中的碳儲變化量：

$$\Delta C_{SHRUB,t} = \sum_{i=1}^n (\overline{\Delta C_{SHRUB,wp,i,t}} - \overline{\Delta C_{SHRUB,bsl,i,t}}) \times A_i$$

公式 39

參數	定義	單位
$\Delta C_{SHRUB,t}$	在 t 年灌木生物量的碳儲變化量	t CO ₂ e
$\overline{\Delta C_{SHRUB,wp,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中灌木生物量的平均碳儲變化量	t CO ₂ e/ ha
$\overline{\Delta C_{SHRUB,bsl,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中灌木生物量的平均碳儲變化量	t CO ₂ e/ ha
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

量化施用石灰產生的二氧化碳減排量：

$$\Delta CO_2_lime_t = \sum_{i=1}^n (\overline{CO_2_lime_{wp,i,t}} - \overline{CO_2_lime_{bsl,i,t}}) \times A_i$$

公式 40

參數	定義	單位
$\Delta CO_2_lime_t$	在 t 年使用石灰產生的 CO ₂ 排放量差	t CO ₂ e
$\overline{CO_2_lime_{wp,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中石灰的平均二氧化碳排放量	t CO ₂ e/ ha
$\overline{CO_2_lime_{bsl,i,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中石灰的平均二氧化碳排放量	t CO ₂ e/ ha
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

10.2 甲烷減排量

量化土壤有機碳庫產生的甲烷減排量：

$$\Delta CH_4_soil_t = \sum_{i=1}^n (\overline{CH_4_soil_{bsl,t}} - \overline{CH_4_soil_{wp,t}}) \times A_i$$

公式 41

參數	定義	單位
$\Delta CH_4_soil_t$	在 t 年土壤有機碳庫產生的甲烷排放量差	t CO ₂ e
$\overline{CH_4_soil_{bsl,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中土壤有機碳庫的平均甲烷排放量	t CO ₂ e/ ha
$\overline{CH_4_soil_{wp,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中土壤有機碳庫的平均甲烷排放量	t CO ₂ e/ ha
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

10.3 氧化亞氮減排量

量化硝化/反硝化作用所產生的 N₂O 減排量：

$$\Delta N_2O_soil_t = \sum_{i=1}^n (\overline{N_2O_soil_{bsl,t}} - \overline{N_2O_soil_{wp,t}}) \times A_i$$

公式 42

參數	定義	單位
$\Delta N_2O_soil_t$	在 t 年硝化/反硝化作用產生的 N ₂ O 排放量差	t CO ₂ e
$\overline{N_2O_soil_{bsl,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中施用氮於土壤產生的平均 N ₂ O 排放	t CO ₂ e/ ha
$\overline{N_2O_soil_{wp,t}}$	在 t 年樣本單元 i 的專案情境中施用氮於土壤產生的平均 N ₂ O 排放	t CO ₂ e/ ha
A_i	樣本單元 i 的面積	ha

10.4 預設數據與參數說明

若參數值時可以自行選定時，須應用保守性原則。

活動/管理相關模型輸入變量和與基線相關參數的資訊來源，需遵循以下要求：

- (1) 關於農業管理措施的定性資訊需通過與該期間樣本田的農民或土地所有者的協商來確定，並由其簽署證明。若農民或土地所有者無法提供定性資訊（例如，樣本田為新租賃），專案申請者可以遵循下列定量資訊來源的使用指南。
- (2) 關於農業管理措施的定量資訊來源及所選模型（量化方法 1 和 2）或預設係數（量化方法 3）要求的定量輸入，須依現有情況按優先級從 1 到 4 選擇，具體如下，且均須採用保守性原則：
 1. 由一種或多種形式的書面證據支持的歷史管理記錄，且與所選樣本田和時期 $t = -1$ 至 $t = -5$ 相關（如：管理日誌、收據或發票、農業設備規格、包含機器和/或傳感器數據的日誌或文件），或遙感（例如，衛星圖像、載人飛行器鏡頭、無人機圖像），以確定所採用農業管理措施的必要資訊（例如耕犁狀態、作物類型、灌溉）。
 2. 由一種或多種形式的書面證據支持的歷史管理計畫，且與所選樣本田和時期 $t = -1$ 至 $t = -5$ 相關（如：管理計畫，農民或土地所有者向農學家徵求的書面建議）。如在歷史管理計畫記錄一個以上的數值（例如，在書面建議中規定了一系列的施用率），應採用保守原則，選擇在基線情境中導致最低預期排放量（或最高儲量變化率）的數值。
 3. 由與該期間樣本田的農民或土地所有者協商確定，並簽署證明，只要證明數值未明顯偏離類似田地的其他證據支持的數值（如，相同作物的相鄰田地的肥料數據、相同田地的相鄰年份、該地區施肥率的政府數據或當地推廣人員關於當地施肥率的聲明）。數據充分性的確定取決於確證者的判斷。在無法滿足此要求的情況下，必須遵循選項 4。
 4. 從政府部門農業統計數據，或專案開始日期前 20 年內的其他來源，或數據集的最近 10 次迭代中得出的地區（次國家）平均值，選擇其中較近的數據，參考相關作物或所有權等級，估計值按屬性進行分列，並由該期間樣本田的農民或土地所有者簽署的證明予以證實。

下列參數表為專案活動前預設之數據與參數，依不同溫室氣體排放類別分組。

10.4.1 與 CO₂排放估算相關之預設數據與參數：

數據與參數表1

數據/參數	$FFC_{bsl,j,i,t}$
數據單位	liters (公升)
描述	t 年基線情境中樣本單元 i 的 j 類型化石燃料 (汽油或柴油) 的消耗
數據來源	管理日誌、收據或發票或農業設備規格
採用的值	歷史管理紀錄中 t 年基線情境中樣本單元 i 的 j 類型化石燃料 (汽油或柴油) 的消耗
量測程序(若適用)	可以監測化石燃料的消耗，也可以利用車輛的燃料效率 (例如 l/100 km、l/t-km、l/hour) 和所選燃料效率的使用單位 (例如，如果效率是以 l/100 km 為單位，則為行駛公里數) 來估計化石燃料的燃燒量。
數據的目的	計算基線排放量
備註	可使用經同行評審的公開數據來確定燃料效率。例如，燃料效率係數可以從「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第二卷第三章中獲得。

數據與參數表2

數據/參數	$M_{Limestone,bsl,i,t}$ and $M_{Dolomite,bsl,i,t}$
數據單位	tonnes/year
描述	t 年基線情境中施用於樣本單元 i 的石灰石 ($CaCO_3$) 和白雲石 ($CaMg(CO_3)_2$) 的量
數據來源	管理日誌、收據或發票
採用的值	歷史管理紀錄中 t 年基線情境中施用於樣本單元 i 的石灰石 ($CaCO_3$) 和白雲石 ($CaMg(CO_3)_2$) 的量
量測程序(若適用)	應包括所有施用於土壤的石灰石和白雲石，甚至與肥料混合施用的部分。石灰的氧化物 (例如 CaO) 和氫氧化物的使用不需要包含在估算施用石灰所引起的 CO ₂ 排放量的計算中。由於不含無機碳，因此土壤施用後不會釋放二氧化碳；二氧化碳僅在材料製造過程中產生。
數據的目的	計算基線排放量
備註	無

10.4.2 與 CH₄排放估算相關之預設數據與參數：

數據與參數表3

數據/參數	GWP_{CH_4}
數據單位	t CO ₂ e/t CH ₄
描述	CH ₄ 全球暖化潛勢
數據來源	使用政府間氣候變化專家委員會(IPCC)公告之最新全球暖化潛勢數值。
採用的值	使用政府間氣候變化專家委員會(IPCC)公告之最新 CH ₄ 全球暖化潛勢數值。
量測程序(若適用)	請參閱「數據來源」。必須使用政府間氣候變化專家委員會(IPCC)公告之最新全球暖化潛勢數值進行轉換。
數據的目的	計算基線和專案排放量
備註	無

數據與參數表4

數據/參數	MB_c
數據單位	kg
描述	t 年樣本單位 i 的專案情境中非人為燃燒的 c 類作物殘體的重量
數據來源	管理日誌中作物產量與向農學家徵求的作物殘體量之書面建議
採用的值	歷史管理紀錄中估算燃燒前的地上生物量
量測程序(若適用)	經同行評審的公開數據可用於估算燃燒前的地上生物量
數據的目的	計算基線排放量
備註	燃燒的殘體重量與地上部生物量、地上部生物量的移除以及剩餘殘體是否被燃燒相關。假定專案情境中，地上生物量100%被燃燒。

數據與參數表5

數據/參數	EF_{c,CH_4}
數據單位	g CH ₄ /kg dry matter burnt (乾物質燃燒量)
描述	c 類作物殘體燃燒的甲烷排放係數
數據來源	「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第四卷第2章表2.5各種燃燒類型的排放因子中根據燃燒的作物殘體類型選擇，或引用 IPCC 最新版之報告參數。
採用的值	2.7
量測程序(若適用)	請參閱「數據來源」。
數據的目的	計算基線和專案排放量

備註	無
----	---

10.4.3 與 N₂O 排放估算相關之預設數據與參數：

數據與參數表6

數據/參數	GWP_{N_2O}
數據單位	t CO ₂ e/t N ₂ O
描述	N ₂ O 全球暖化潛勢
數據來源	使用政府間氣候變化專家委員會(IPCC)公告之最新全球暖化潛勢數值。
採用的值	使用政府間氣候變化專家委員會(IPCC)公告之最新 N ₂ O 全球暖化潛勢數值。
量測程序(若適用)	請參閱「數據來源」。必須使用政府間氣候變化專家委員會(IPCC)公告之最新全球暖化潛勢數值進行轉換。
數據的目的	計算基線和專案排放量
備註	無

數據與參數表7

數據/參數	$M_{bsl,SF,i,t}$
數據單位	t fertilizer (肥料)
描述	t 年樣本單元 i 基線中所施用含氮化學肥料的重量
數據來源	管理日誌、收據或發票
採用的值	歷史管理紀錄中 t 年樣本單元 i 基線中所施用含氮化學肥料的重量
量測程序(若適用)	請參閱「數據來源」
數據的目的	計算基線排放量
備註	無

數據與參數表8

數據/參數	$M_{bsl,OF,i,t}$
數據單位	t fertilizer (肥料)
描述	t 年樣本單元 i 基線中所施用含氮有機肥的重量
數據來源	管理日誌、收據或發票
採用的值	歷史管理紀錄中 t 年樣本單元 i 基線中所施用含氮有機肥的重量
量測程序(若適用)	請參閱「數據來源」
數據的目的	計算基線排放量
備註	無

數據與參數表9

數據/參數	$Frac_{GASF,l,S}$
數據單位	無單位
描述	所有添加到土壤的化學肥料中以 NH_3 和 NO_x 形式揮發的比例
數據來源	參閱範疇章節的量化方法3。如果沒有適用於專案的資訊來源，專案發起人可以依照「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第4卷第 10 章表10.22確定參數值。
採用的值	0.11
量測程序(若適用)	參閱「數據來源」
數據的目的	計算基線和專案排放量
備註	無

數據與參數表10

數據/參數	$Frac_{GASM,l,S}$
數據單位	無單位
描述	添加到土壤中的所有有機氮以及沉積在土壤中的糞便和尿液中的氮以 NH_3 和 NO_x 的形式揮發的比例
數據來源	參閱範疇章節的量化方法3。如果沒有適用於專案的資訊來源，專案發起人可以依照「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第4卷第 10 章表10.22確定參數值。
採用的值	0.21
量測程序(若適用)	參閱「數據來源」
數據的目的	計算基線和專案排放量
備註	無

數據與參數表11

數據/參數	$Fra_{CLEACH,l,S}$
數據單位	無單位
描述	在發生淋溶和逕流的地區，添加到土壤中的氮（化肥或有機）和沉積在土壤上的糞尿中的氮，通過淋溶和逕流流失的部分。
數據來源	參閱範疇章節的量化方法3。如果沒有適用於專案的資訊來源，專案發起人可以依照「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第4卷第11章表11.3確定參數值。
採用的值	0.24
量測程序(若適用)	若使用「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)中的值，對於潮濕氣候或使用灌溉（除滴灌外）的乾燥氣候地區，採用0.24的數值。對於乾燥氣候地區且未採行灌溉時，係數訂為0。
數據的目的	計算基線和專案排放量
備註	潮濕氣候出現在年降水量與潛在蒸發量之比 > 1 的溫帶和寒帶地區，以及年降水量 > 1000 毫米的熱帶地區。乾燥氣候出現在年降水量與潛在蒸發量之比 < 1 的溫帶和寒帶地區，以及年降水量 < 1000 毫米的熱帶地區。

數據與參數表12

數據/參數	EF_{Nleach}
數據單位	t N ₂ O-N/t N leached and runoff（淋溶和逕流）
描述	淋溶和逕流產生之 N ₂ O 排放的排放係數
數據來源	參閱範疇章節的量化方法3。如果沒有適用於專案的資訊來源，專案發起人可以依照「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第4卷第11章表11.3確定參數值。
採用的值	0.11
量測程序(若適用)	參閱「數據來源」
數據的目的	計算基線和專案排放量
備註	無

數據與參數表13

數據/參數	EF_{Nvolat}
數據單位	t N ₂ O-N/(t NH ₃ -N + NO _x -N volatilized) (揮發的)
描述	土壤和水面上的氮大氣沉積產生之 N ₂ O 排放的排放係數
數據來源	參閱範疇章節的量化方法3。如果沒有適用於專案的資訊來源，專案發起人可以依照「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第4卷第11章表11.3確定參數值。
採用的值	0.01
量測程序(若適用)	參閱「數據來源」
數據的目的	計算基線和專案排放量
備註	無

數據與參數表14

數據/參數	EF_{C,N_2O}
數據單位	g N ₂ O/kg dry matter burnt (乾物質燃燒)
描述	c 類作物殘體燃燒的 N ₂ O 排放係數
數據來源	參閱範疇章節的量化方法3。如果沒有適用於專案的資訊來源，專案發起人可以依照「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第4卷第2章表2.5確定參數值。
採用的值	0.07
量測程序(若適用)	參閱「數據來源」
數據的目的	計算基線和專案排放量
備註	無

數據與參數表15

數據/參數	$MB_{g,bsl,i,t}$
數據單位	t dm
描述	在 t 年樣本單元 i 在基線情境中的固氮物種 g 每年返回土壤的地上和地下乾物質。
數據來源	管理日誌中固氮物種種植量並與向農學家徵求的固氮物種返回土壤量之書面建議
採用的值	依歷史管理紀錄中估算固氮物種返回土壤量
量測程序(若適用)	經同行評審的公開數據可用於估算固氮物種返回土壤量
數據的目的	計算基線排放量
備註	無

10.4.4 其它預設數據與參數：

數據與參數表16

數據/參數	$P_{bsl,p}$
數據單位	Output (e.g., kg)/ha (產出/公頃)
描述	歷史回溯期間農作物產品 P 的平均產量
數據來源	管理日誌、農場產量 (例如產量) 記錄
採用的值	歷史回溯期間農作物產品 P 的平均產量
量測程序(若適用)	使用當地可用的技術進行測量 (例如, 移動秤重設備、商業秤、存儲量測量、固定秤、磅秤等)
數據的目的	為未來市場洩漏分析確定基線產量
備註	無

數據與參數表17

數據/參數	$RP_{bsl,p}$
數據單位	Output (e.g., kg)/ha (產出/公頃)
描述	歷史回溯期間農作物產品 P 的平均區域產量
數據來源	區域產量的二級證據來源 (例如, 同行評審、行業協會、國際數據庫、政府數據庫)
採用的值	歷史回溯期間農作物產品 P 的平均區域產量
量測程序(若適用)	為未來市場洩漏分析確定基線產量
數據的目的	無
備註	區域產量的二級證據來源 (例如, 同行評審、行業協會、國際數據庫、政府數據庫)

11. 監測方法

監測計畫應於專案註冊前及申請查驗前進行，並提供相關數據，包括農業管理措施的定性與定量資訊及監測結果等，並提出佐證，以查證碳庫之碳儲存變化量及專案移除量。農業管理措施的資訊說明須符合10.4預設數據與參數說明之相關要求。本方法學允許一系列的監測方法，包括直接測量（量化方法2）以及使用模型（量化方法1）和預設係數（量化方法3）等。監測的參數以樣本單元為單位進行收集和記錄，並獨立估計每個樣本單元的排放減量。監測計畫之方法可參照已公開發表或官方正式出版土壤碳庫調查及監測相關手冊或指南說明，或其他公開認證之調查方式。專案申請者必須詳細說明本節中列出的所有資料和參數收集和報告的步驟。監測計畫必須至少包含以下資訊：

- 對要進行的每項監測任務的描述，以及其中的技術要求；
- 界定估算邊界，在空間上描繪估算邊界和/或量化方法的任何差異；
- 要測量的參數，包括所選模型需要的任何參數（除本方法學中指定的參數外）；
- 要收集的數據、數據收集方法以及直接採樣參數的樣本設計；
- 預期的監測頻率，以及預期的“年份”定義；
- 詳細說明地區農業生產數據的來源和修訂基線作業時程的程序；
- 品質保證和品質控制（QA/QC）程序，以確保準確的數據收集，篩選並在必要時校正異常值，確保資料完整性，對分析結果進行獨立檢查和其他適當的保障措施；
- 數據歸檔程序，包括任何預期的電子文件格式更新程序。所有監測過程所收集的數據，包括QA/QC數據，必須以電子方式存檔，並至少保存至最後一個專案計入期結束後兩年；
- 監測小組和管理層的任務、責任和能力，建議小組中需具有在作物和/或土壤科學方面具有專業知識、技能、教育、經驗或培訓的人。

11.1 抽樣設計

本方法學的應用可能會採用一系列潛在的抽樣設計，包括系統抽樣/網格抽樣、簡單隨機抽樣(simple random sampling)、分區/層抽樣(stratified sampling)、可變概率抽樣、多階段抽樣等。土壤有機碳的抽樣設計可參考 VCS 方法學工具 VMD0021（如附錄2）或已公開發表、官方正式出版土壤碳庫調查及監測相關手冊或指南說明，或其他公開認證之調查方式。

一般來說，土壤屬性的變化性，例如土壤有機碳儲量，會隨著專案面積的增加而增加。眾多因素決定了地形規模上的土壤有機碳不均勻性，包括氣候、地形、歷史上的土地利用方式和植被、植物品種、土壤質地和土壤類型等。將專案邊界依據影響土壤有機碳儲量的因素分區/層為同質區/層，可減少專案之土壤有機碳儲量估算上的誤差。聯合國農糧組織(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)土壤入口網站上的土壤圖和數據庫，例如世界統一土壤數據庫，或當地可用的（數位）土壤地圖，可協助分區/層。此外，可以在現場估計土壤質地。由於土地利用和管理歷史經常與現有的田地一致，因此建議在分區/層時考慮到田地邊界。在每個分區/層內，可以採用隨機抽樣的方式來確保代表性並避免偏差。界定的分區/層應該隨著時間的推移保持穩定。

建議將均質地點（即分區/層數）和土壤重複樣本的數量增加到可以提供的最大值。檢測土壤有機碳儲量變化所需的年限隨著樣本數量的增加而減少。對土壤樣本進行重複有助於更好地代表空間變化性，但隨著時間變化，可能會使土壤有機碳儲量的檢測能力降低。因此，無論用於模型驗證（校正），或用量化方法 2 直接測量時，應根據預期的變異數來

確定每個分區/層中抽取的樣本數量，以減少總體不確定性。在沒有最新土壤數據的情況下，每層5到10個土壤樣本的預採樣可以提供土壤有機碳變異數的估計值。出於重新採樣的目的，亦應考量採樣地點的地理坐標和季節變化。

樣本田尺寸應依據專案農地之均質性，選取代表性樣本田，故不宜設定尺寸。專案與基線之採樣深度需一致，才能進行比較。選為樣本田之採樣深度將依其專案措施影響的土壤深度而異，專案可自行定義其分區/層深度。專案與基線應以定位系統紀錄每一採樣點，並且監測計畫每次採樣應在同一位置。

有關土壤有機碳含量的檢測，建議以傳統實驗室分析方法（例如乾燒法,Dry combustion）進行檢測，可依國內公告的土壤有機碳檢測標準方法為燃燒(乾燒)/紅外線測定法(TARI S201.1B)進行檢測。至於相關新興技術(參閱附錄1)，需在校準和驗證測量數據方面取得了足夠的科學證據，並且對不確定性進行了詳細描述，專案才可以使用新興技術來確定土壤有機碳含量。基線與專案的土壤有機碳含量檢測應使用相同檢測方法。

11.2 建模方案

在應用量化方法 1 的情況下，專案監測計畫將確定最初選擇的模型，並記錄分析和結果，以表明模型的驗證。模型驗證數據集將被確認並存檔，以便定期應用於計算模型預測誤差。建模方案為每個樣本單元指定基線的農業管理作業時程（事先固定）。將使用本節中的表格格式，為所有模型輸入變量（方法學中未定義的）制定參數表。

11.3 應監測之數據與參數

11.3.1 專案基本數據與參數：

數據與參數表18

數據/參數	<i>i</i>
數據單位	無單位
描述	樣本單元；選擇用於測量和監測的確定區域，例如一塊地或一個層
數據來源	專案邊界土壤採樣後測量
量測程序(若適用)	在專案邊界確定
監測頻率	樣本單元在查證前確定
QA/QC 程序	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
數據目的	參閱定義章節
計算方法	計算基線和專案的排放
備註	不適用

數據與參數表19

數據/參數	A_i
數據單位	Hectare (公頃)
描述	樣本單元 i 的面積
數據來源	專案邊界內各樣本單元的測量
量測程序(若適用)	樣本單元面積在查證之前估計
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	樣本單元區域的劃定可以使用 GIS 覆蓋範圍、地面測量數據、遠程圖像（衛星或航空照片）或其他適當數據的組合。使用的任何圖像或 GIS 數據集都必須進行地理登記，以角點、明確的地標或其他交叉點為參照。
數據目的	計算基線和專案的排放
計算方法	不適用
備註	用於確定面積的其他單位必須轉換為公頃

11.3.2 與 CO₂ 排放估算相關之應監測之數據與參數：

數據與參數表20

數據/參數	MDD
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	兩個時間點之間 土壤有機碳 儲量的最小可檢測差異
數據來源	可被檢測為具有統計顯著性的兩次監測之間 土壤有機碳 儲量的最小差異估計值
量測程序(若適用)	參閱7.1章節
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱7.1章節
數據目的	制定基線設置和監測測量的抽樣策略
計算方法	參閱7.1章節
備註	檢測最小差異所需之樣本數量的計算不是必須的。此公式計算之所需樣本數量僅為參考，所有採樣設計與規劃需依據 VMD0021之指引和規範或已公開發表或官方正式出版土壤碳庫調查及監測相關手冊或指南說明。

數據與參數表21

數據/參數	S
數據單位	無單位
描述	t0 和 t1 之間 土壤有機碳 儲量差異的標準差
數據來源	可被檢測為具有統計顯著性的兩次監測之間 土壤有機碳 儲量的最小差異估計值
量測程序(若適用)	參閱7.1章節
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱7.1章節
數據目的	制定基線設置和監測測量的抽樣策略
計算方法	參閱7.1章節
備註	檢測最小差異所需之樣本數量的計算不是必須的。

數據與參數表22

數據/參數	n
數據單位	無單位
描述	檢測最小差異所需的樣本數
數據來源	可被檢測為具有統計顯著性的兩次監測之間土壤有機碳儲量的最小差異估計值
量測程序(若適用)	參閱7.1章節
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱7.1章節
數據目的	制定基線設置和監測測量的抽樣策略
計算方法	參閱7.1章節
備註	檢測最小差異所需之樣本數量的計算不是必須的。

數據與參數表23

數據/參數	$n - 1$
數據單位	無單位
描述	t 分布的自由度
數據來源	可被檢測為具有統計顯著性的兩次監測之間土壤有機碳儲量的最小差異估計值
量測程序(若適用)	參閱7.1章節
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	參閱7.1章節
數據目的	制定基線設置和監測測量的抽樣策略
計算方法	參閱7.1章節
備註	檢測最小差異所需之樣本數量的計算不是必須的。

數據與參數表24

數據/參數	$t_{x,b}$
數據單位	無單位
描述	給定特定效能水準 (1 - b) 和顯著水準的 t 分佈值
數據來源	可被檢測為具有統計顯著性的兩次監測之間土壤有機碳儲量的最小差異估計值
量測程序(若適用)	參閱7.1章節
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	參閱7.1章節
數據目的	制定基線設置和監測測量的抽樣策略
計算方法	參閱7.1章節
備註	檢測最小差異所需之樣本數量的計算不是必須的。

數據與參數表25

數據/參數	$M_{n,dl,SOC}$
數據單位	t/ha
描述	深度 dl 土壤樣本 n 中的土壤有機碳重量
數據來源	專案邊界土壤採樣後測量
量測程序(若適用)	參閱7.1章節
監測頻率	必須至少每五年測量一次土壤有機碳儲量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	參閱7.1章節 土壤重量不得包含直徑大於 2 毫米的顆粒（即礫石/石頭）或植物材料。Beem-Miller et al. (2016) 提供了一種有效的方法來確保在岩石農業土壤中進行高品質採樣。
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	Wendt 和 Hauser (2013) 以及 von Haden et al. (2020) 提供電子表格或 R 程式，以標準化具有多種土壤深度增量的土壤有機碳儲量計算並使其更便利。
備註	無

數據與參數表26

數據/參數	$M_{n,dl,sample}$
數據單位	g
描述	深度 dl 土壤樣本 n 的重量
數據來源	專案邊界土壤採樣後測量
量測程序(若適用)	參閱7.1章節
監測頻率	必須至少每五年測量一次土壤有機碳儲量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	參閱7.1章節 土壤重量不得包含直徑大於 2 毫米的顆粒（即礫石/石頭）或植物材料。Beem-Miller et al. (2016) 提供了一種有效的方法來確保在岩石農業土壤中進行高品質採樣。
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	必須從樣本重量中減去礫石/石頭和植物材料的重量以獲得土壤重量。
備註	無

數據與參數表27

數據/參數	D
數據單位	cm
描述	採樣器材的內徑
數據來源	為專案監測的一部分進行測量
量測程序(若適用)	來自探頭或鑽頭產品規格的資訊
監測頻率	必須至少每5年測量一次土壤有機碳儲量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	參閱7.1章節
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表28

數據/參數	N
數據單位	無單位
描述	採樣的土芯數
數據來源	在專案邊界模擬
量測程序(若適用)	在專案邊界測量
監測頻率	採樣數量的確定是製定採樣策略的一部分(參閱7.1章節).
QA/QC 程序	必須至少每五年測量一次土壤有機碳 儲量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
數據目的	參閱7.1章節
計算方法	計算基線和專案排放量
備註	不適用

數據與參數表29

數據/參數	$OC_{n,dl}$
數據單位	g/g
描述	深度 dl 的樣本 n 中的有機碳含量
數據來源	在專案邊界測量
量測程序(若適用)	當通過常規分析實驗室方法測量土壤有機碳含量時，相比其他技術更建議使用乾燒法。 具有已知不確定性的新興技術（INS、LIBS、MIR 和 Vis-NIR）可應用於測量土壤有機碳含量。
監測頻率	必須至少每五年測量一次土壤有機碳儲量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	參閱7.1章節
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表30

數據/參數	BD_{corr}
數據單位	g/cm ³
描述	細土部分的校正總體密度（減去粗碎土塊重量後的值）
數據來源	請參閱 VMD0053 以了解模型校準和確證的總體密度數據要求
量測程序(若適用)	參閱「數據來源」
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	參閱7.1章節
數據目的	確定基線情境、計算基線和專案排放
計算方法	不適用
備註	僅當使用量化方法 1 估算土壤有機碳儲量變化時才需要將細土碎片重量減去粗碎片重量部分

數據與參數表31

數據/參數	<i>dl</i>
數據單位	cm
描述	土芯深度
數據來源	請參閱 VMD0053 以了解有關校準數據的要求
量測程序(若適用)	作為數據收集的一部分，按照 VMD0053 的要求獲取每個深度增量的土壤深度
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	請參閱 VMD0053 以了解有關校準數據的要求
數據目的	確定基線情境、計算基線和專案排放
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表32

數據/參數	$f(\text{SOC}_{bsl,i,t})$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	以模型在時間 t 樣本單元 i 的基線情境中模擬土壤有機碳儲量，透過建模上一年期間的土壤有機碳儲量變化來計算
數據來源	參閱 VMD0053
量測程序(若適用)	基線情境中的模擬土壤有機碳儲量根據以下公式確定： $\text{SOC}_{soil_{bsl,i,t}} = f\text{SOC}(\text{Val } A_{bsl,i,t}, \text{Val } B_{bsl,i,t}, \dots)$ 其中： $\text{SOC}_{soil_{bsl,i,t}}$ 在時間 t 樣本單元 i 的基線情境中模擬土壤有機碳儲量(t CO₂e/ha) $f\text{SOC}$預測土壤有機碳庫所產生之二氧化碳排放量的模型(t CO₂e/ha) $\text{Val } A_{bsl,i,t}$ 在時間t樣本單元i在專案情境中模型輸入變量A的值（未指定單位） $\text{Val } B_{bsl,i,t}$ 在時間t樣本單元i在專案情境中模型輸入變量B的值（未指定單位） 數據來源以及用於獲得模型輸入變量值的測量方法和程序的描述，請參閱9.4節中的指南。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	參閱 VMD0053
數據目的	計算基線排放量
計算方法	不適用
備註	時間 t=0 的土壤有機碳儲量是根據 t=0 時直接測量的土壤有機碳含量和總體密度計算的，或者通過常規分析實驗室方法（例如乾燒）在 t=0 的 +/-5 年內進行的測量來（回溯）模擬 t=0。

數據與參數表33

數據/參數	j
數據單位	無單位
描述	燃燒的化石燃料類型
數據來源	在樣本單元 i 中確定
量測程序(若適用)	參閱10.4章節。化石燃料類型在查證之前確定。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱10.4章節
數據目的	計算基線和專案的排放
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表34

數據/參數	$EF_{CO_2,j}$
數據單位	t CO ₂ e/liter (公升)
描述	燃燒的 j 類型化石燃料(汽油或柴油)的排放係數
數據來源	「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第2卷第3章 Table 3.3.1
量測程序(若適用)	汽油 $EF_{CO_2} = 0.002810$ t CO ₂ e per liter 柴油 $EF_{CO_2} = 0.002886$ t CO ₂ e per liter
監測頻率	排放係數的數據來源必須每五年監測一次，並且必須在獲得適用於專案的更準確數據時進行更新。
QA/QC 程序	參閱「數據來源」
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	假設汽油燃燒為四衝程汽油發動機，並且汽油和柴油的能量含量預設值分別為 47.1 GJ/t 和 45.66 GJ/t (IEA, 2004).

數據與參數表35

數據/參數	$FFC_{wp,j,i,t}$
數據單位	Liters (公升)
描述	t 年樣本單元 i 專案中 j 類型化石燃料的消耗量
數據來源	參閱10.4章節
量測程序(若適用)	可以監測化石燃料的消耗，也可以利用車輛的燃料效率（例如 l/100 km、l/t-km、l/hour）和所選燃料效率的使用單位（例如，如果效率是以 l/100 km 為單位，則為行駛公里數）來估計化石燃料的燃燒量。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第五章或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第八章中提供的指南。
數據目的	計算專案排放量
計算方法	燃油效率係數可以從「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第二卷第三章中獲得
備註	對於所有公式，下標 bsl 必須由 wp 代替，以明確相關數值是針對專案情境進行量化的。

數據與參數表36

數據/參數	$EF_{Limestone}$ and $EF_{Dolomite}$
數據單位	t C/(t limestone or dolomite) (石灰石或白雲石)
描述	施用石灰石 ($CaCO_3$) 和白雲石 ($CaMg(CO_3)_2$) 的排放係數
數據來源	「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第四卷第十一章11.3節
量測程序(若適用)	「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)的值： 石灰石 $EF_{Limestone} = 0.12$ t C/t limestone (石灰石) 白雲石 $EF_{Dolomite} = 0.13$ t C/t dolomite (白雲石)。
監測頻率	排放係數的數據來源必須每五年監測一次，並且必須在獲得適用於專案的更準確數據時進行更新。
QA/QC 程序	參閱「數據來源」
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表37

數據/參數	$\overline{\text{SOC}}_{\text{bsl},i,t}$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	t 年樣本單元 i 基線情境中的面積平均土壤有機碳儲量
數據來源	在專案邊界模擬或在基線地塊中測量
量測程序(若適用)	量化方法1下的土壤有機碳儲量模擬請參閱 $f(\text{SOC}_{\text{bsl},i,t})$ 參數表，量化方法2下測量的土壤有機碳必須根據樣本地塊收集的樣本來確定。有關土壤有機碳含量和總體密度測量的要求，請參閱第 7.1 章節。
監測頻率	必須至少每五年進行一次測量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行模擬或監測。 樣本單元 i 基線情境的土壤有機碳儲量必須至少每五年報告一次。
QA/QC 程序	參閱第7.1 章節。若使用量化方法1，請參閱 VMD0053
數據目的	計算基線排放量
計算方法	不適用
備註	時間 t=0 的土壤有機碳儲量是根據 t=0 時直接測量的土壤有機碳含量和總體密度計算的，或者根據在 t=0 的 +/- 5 年內收集的測量數據來（回溯）模擬 t=0。量化方法 1 中，該初步測量的土壤有機碳在專案開始時的基線和專案情境相同（即 $\text{SOC}_{\text{wp},i,0} = \text{SOC}_{\text{bsl},i,0}$ ）。

數據與參數表38

數據/參數	$\overline{\text{SOC}}_{\text{bsl},i,t-1}$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	t-1 年樣本單元 i 基線情境中的面積平均土壤有機碳儲量
數據來源	在專案邊界模擬或在基線場地測量
量測程序(若適用)	參閱參數表37
監測頻率	必須至少每五年進行一次測量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行模擬或監測。 樣本單元 i 基線情境的土壤有機碳儲量必須至少每五年報告一次。
QA/QC 程序	參閱第7.1 章節。若使用量化方法1，請參閱 VMD0053
數據目的	計算基線排放量
計算方法	不適用
備註	參閱參數表37。有關土壤有機碳含量和總體密度測量的要求，請參閱第7.1 章節。

數據與參數表39

數據/參數	$\overline{SOC_{wp,i,t}}$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	t 年樣本單元 i 專案情境中的面積平均土壤有機碳儲量
數據來源	在專案邊界模擬或測量
量測程序(若適用)	專案情境中的模擬土壤有機碳儲量根據以下公式確定： $f(SOC_{wp,i,t}) = fSOC(Var A_{wp,i,t}, Var B_{wp,i,t}, \dots)$ 其中： $f(SOC_{wp,i,t})$ 在時間 t 樣本單元 i 的專案情境中土壤有機碳庫的模擬二氧化碳排放 (t CO₂e/ha) $fSOC$ 預測土壤有機碳庫所產生之二氧化碳排放的模型 (t CO₂e/ha) $Val A_{wp,i,t}$ 在時間 t 樣本單元 i 專案情境中的模型輸入變量 A 的值 (未指定單位) $Val B_{wp,i,t}$ 在時間 t 樣本單元 i 專案情境中的模型輸入變量 B 的值 (未指定單位) 數據來源以及用於獲得模型輸入變量值的測量方法和程序的描述，請參閱10.4章節中的指南。
監測頻率	必須至少每五年進行一次測量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行模擬或監測。
QA/QC 程序	參閱第7.1 章節。若使用量化方法1，請參閱 VMD0053
數據目的	計算專案排放量
計算方法	不適用
備註	時間t=0的土壤有機碳儲量是根據t=0時直接測量的土壤有機碳含量和總體密度計算的，或者根據在t=0的+/-5年內收集的測量數據來（回溯）模擬t=0。量化方法1中，該初步測量的土壤有機碳在專案開始時的基線和專案情境相同（即 $SOC_{wp,i,0} = SOC_{bsl,i,0}$）。 樣本單元 i 的專案情境中的土壤有機碳儲量必須至少每五年報告一次。

數據與參數表40

數據/參數	$\overline{SOC_{wp,i,t-1}}$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	t-1 年樣本單元 i 的專案情境中面積平均土壤有機碳儲量
數據來源	在專案邊界模擬或測量
量測程序(若適用)	參閱參數表39
監測頻率	必須至少每五年進行一次測量，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行模擬或監測。
QA/QC 程序	參閱參數表32
數據目的	計算專案排放量
計算方法	不適用
備註	參閱參數表32

數據與參數表41

數據/參數	$\Delta C_{TREE,bsl,i,t}$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	基線情境中喬木面積平均碳儲量的變化
數據來源	在專案邊界確定
量測程序(若適用)	使用 CDM A/R 工具" A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量及碳儲量變化估算"和"小規模 CDM 造林和再造林專案活動（濕地除外）的簡易基線和監測方法"進行計算。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱「量測程序」
數據目的	計算基線排放量
計算方法	參閱「量測程序」
備註	無

數據與參數表42

數據/參數	$\Delta C_{\text{SHRUB,bsl,i,t}}$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	基線情境中灌木面積平均碳儲量的變化
數據來源	在專案邊界確定
量測程序(若適用)	使用 CDM A/R 工具「A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量及碳儲量變化估算」和「小規模 CDM 造林和再造林專案活動（濕地除外）的簡易基線和監測方法」進行計算。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱「量測程序」
數據目的	計算基線排放量
計算方法	參閱「量測程序」
備註	無

數據與參數表43

數據/參數	$\Delta C_{\text{TREE,wp,i,t}}$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	專案情境中喬木面積平均碳儲量的變化
數據來源	在專案邊界確定
量測程序(若適用)	使用 CDM A/R 工具「A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量及碳儲量變化估算」和「小規模 CDM 造林和再造林專案活動（濕地除外）的簡易基線和監測方法」進行計算。在收穫木質生物質的區域，專案必須按照最新版本的 VCS 方法要求和 VCS 標準中的指導來計算長期平均溫室氣體效益。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱「量測程序」
數據目的	計算專案排放量
計算方法	參閱「量測程序」
備註	無

數據與參數表44

數據/參數	$\Delta C_{\text{SHRUB,wp,i,t}}$
數據單位	t CO ₂ e/ha
描述	專案情境中灌木面積平均碳儲量的變化
數據來源	在專案邊界確定
量測程序(若適用)	使用 CDM A/R 工具「A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量及碳儲量變化估算」和「小規模 CDM 造林和再造林專案活動（濕地除外）的簡易基線和監測方法」進行計算。在收穫木質生物質的區域，專案必須按照最新版本的 VCS 方法要求和 VCS 標準中的指導來計算長期平均溫室氣體效益。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱「量測程序」
數據目的	計算專案排放量
計算方法	參閱「量測程序」
備註	無

10.3.3 與 CH₄ 排放估算相關之應監測之數據與參數：

數據與參數表45

數據/參數	$f(CH_4\ soil_{bsl,i,t})$
數據單位	t CH ₄ /ha
描述	在時間 t 樣本單元 i 的基線情境中土壤甲烷模擬排放量，透過對上一年土壤甲烷通量進行建模來計算
數據來源	在專案邊界模擬
量測程序(若適用)	基線情境中的模擬土壤有機碳儲量根據以下公式確定： $f(CH_4\ soil_{bsl,i,t}) = fCH_4soil(Var\ A_{bsl,i,t}, Var\ B_{bsl,i,t}, \dots)$ 其中： • $f(CH_4\ soil_{bsl,i,t})$ 在時間 t 樣本單元 i 的基線情境中土壤有機碳庫的模擬甲烷排放 (t CH₄/ha) • fCH_4soil 預測土壤有機碳庫所產生之甲烷排放的模型 • $Val\ A_{bsl,i,t}$ 在時間 t 樣本單元 i 專案情境中的模型輸入變量 A 的值（未指定單位） • $Val\ B_{bsl,i,t}$ 在時間 t 樣本單元 i 專案情境中的模型輸入變量 B 的值（未指定單位） 數據來源以及用於獲得模型輸入變量值的測量方法和程序的描述，請參閱10.4章節。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱 VMD0053
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	具體方法取決於所使用的模型。
備註	無

數據與參數表46

數據/參數	CF_c
數據單位	燃燒前燃料生物質消耗的比例
描述	c 類作物殘體燃燒係數
數據來源	「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第四卷第二章表 2.6
量測程序(若適用)	根據燃燒的作物殘體類型選擇燃燒係數
監測頻率	排放係數的數據來源必須每五年監測一次，並且必須在獲得適用於專案的更準確數據時進行更新。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表47

數據/參數	c
數據單位	無單位
描述	作物殘體類型
數據來源	在樣本單元 i 中確定
量測程序(若適用)	參閱10.4章節。作物殘體類型在查證之前確定。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表48

數據/參數	$MB_{wp,c,i,t}$
數據單位	kg
描述	t 年樣本單元 i 專案中燃燒的 c 類作物殘體重量
數據來源	參閱10.4章節
量測程序(若適用)	燃燒前至少估計三個地塊（1公尺*1公尺）的地上生物量。地上生物量的差值就是所燃燒的地上生物量。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算專案排放量
計算方法	不適用
備註	對於所有公式，下標 bsl 必須由 wp 代替，以明確相關數值是針對專案情境進行量化的。

11.3.4 與 N₂O 排放估算相關之應監測之數據與參數：

數據與參數表49

數據/參數	$f(N_2O_soil_{bsl,i,t})$
數據單位	t N ₂ O/ha
描述	在 t 年樣本單元 i 的基線情境中土壤氧化亞氮排放量模型，透過對前一年土壤氮通量進行建模計算得出。
數據來源	在專案邊界模擬
量測程序(若適用)	基線情境中土壤的模擬N₂O排放根據以下公式確定： $f(N_2O_soil_{bsl,i,t}) = f_{N_2Osoil}(Var A_{bsl,i,t}, Var B_{bsl,i,t}, \dots)$ 其中： • $f(N_2O_soil_{bsl,i,t})$ 在時間 t 樣本單元 i 基線情境中模擬的土壤氧化亞氮排放(t N₂O/ha) • f_{N_2Osoil} 預測土壤有機碳庫之氧化亞氮排放的模型 • $Var A_{bsl,i,t}$ 在時間 t 樣本單元 i 專案情境中的模型輸入變量 A 的值（未指定單位） • $Var B_{bsl,i,t}$ 在時間 t 樣本單元 i 專案情境中的模型輸入變量 B 的值（未指定單位） 數據來源以及用於獲得模型輸入變量值的測量方法和程序的描述，請參閱9.4節。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	參閱 VMD0053
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表50

數據/參數	$EF_{Ndirect}$
數據單位	t N ₂ O-N/t N applied (施氮量)
描述	來自化學肥料、有機改良劑和作物殘體的氮添加物的N ₂ O直接排放係數
數據來源	參閱範疇章節的量化方法3。如果沒有適用於專案的資訊來源，專案發起人可以依照「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第11章第11.2.1.1節和第2章第2.2.4節的指導推算排放係數。排放係數取決於，土壤有機碳含量、土壤質地、排水、土壤pH值、每種肥料類型的氮施用量、肥料類型、有機肥料的液體或固體形式、灌溉和作物類型等，豆科作物、非豆科作物和牧草之間存在差異。如果專案發起人能夠證明缺乏足夠的活動資料和專案特定資訊來源，則可以從「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第4卷第11章表11.1中選擇適當的值。
量測程序(若適用)	參閱“數據來源”
監測頻率	排放係數的數據來源必須每五年監測一次，並且必須在獲得適用於專案的更準確數據時進行更新。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第5.5節或 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業》第8章中提供的指導。
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	排放係數適用於來自礦物肥料、有機改良劑和作物殘體的氮添加，以及由於土壤碳損失而產生的礦物土壤中的氮礦化。 潮濕氣候出現在年降水量與潛在蒸發量之比 > 1 的溫帶和寒帶地區，以及年降水量 > 1000 毫米的熱帶地區。乾燥氣候出現在年降水量與潛在蒸發量之比 < 1 的溫帶和寒帶地區，以及年降水量 < 1000 毫米的熱帶地區。

數據與參數表51

數據/參數	NC_{SF}
數據單位	t N/t fertilizer (肥料)
描述	化學肥料的氮含量
數據來源	參閱10.4章節
量測程序(若適用)	氮含量根據肥料製造商的規格確定
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。當化學肥料產品發生變化或發布新的製造商規格時，必須更新參數值。
QA/QC 程序	參閱「數據來源」
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表52

數據/參數	SF
數據單位	無單位
描述	化學肥料類型
數據來源	在樣本單元 i 中確定
量測程序(若適用)	參閱10.4章節。化學肥料類型在查證之前確定。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表53

數據/參數	$M_{wp,SF,i,t}$
數據單位	t fertilizer (肥料)
描述	t 年樣本單元 i 專案中施用的 SF 含氮化學肥料的重量
數據來源	專案邊界管理記錄
量測程序(若適用)	資訊將通過與樣本單元的農民或土地所有者的直接諮詢進行監測，並由其出具書面證明予以證實。任何關於農業管理措施的定量資訊（例如離散或連續的數值變量）都必須有與所選樣本單元和相關監測期有關的一種或多種形式的書面證據支持（例如管理日誌、收據或發票、農場設備規格）。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算專案排放量
計算方法	不適用
備註	對於所有公式，下標 bsl 必須由 wp 代替，以明確相關數值是針對專案情境進行量化的。

數據與參數表54

數據/參數	NC_{OF}
數據單位	t N/t (肥料)
描述	有機肥氮含量
數據來源	可以使用經同行評審的公開數據。例如，可從 US EPA (2011) 中引用的 Edmonds et al. (2003) 或歐洲環境署等其他適當的地區來源中選擇預設的糞肥氮含量。
量測程序(若適用)	參閱“數據來源”
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。當有機肥料產品發生變化或同行評審出版物或資料庫中出現新的預設值時，必須更新參數值。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算基線排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表55

數據/參數	OF
數據單位	無單位
描述	有機氮肥類型
數據來源	在樣本單元 i 中確定
量測程序(若適用)	參閱10.4章節。有機氮肥類型在查證之前確定。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算基線和專案排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表56

數據/參數	$M_{wp,OF,i,t}$
數據單位	t (肥料)
描述	t 年樣品單元 i 專案中施用的 OF 類含氮有機肥料的重量
數據來源	專案邊界管理記錄
量測程序(若適用)	資訊將通過與樣本單元的農民或土地所有者的直接咨詢進行監測，並由其出具書面證明予以證實。任何關於農業管理措施的定量資訊（例如離散或連續的數值變量）都必須有與所選樣本單元和相關監測期有關的一種或多種形式的書面證據支持（例如管理日誌、收據或發票、農場設備規格）。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算專案排放量
計算方法	不適用
備註	對於所有公式，下標 bsl 必須由 wp 代替，以明確相關數值是針對專案情境進行量化的。

數據與參數表57

數據/參數	$MB_{g,wp,i,t}$
數據單位	t dm
描述	t 年樣本單元 i 的固氮物種 g 每年返回土壤的地上和地下乾物質
數據來源	可以直接測量固氮物種 g 中返回土壤的地上和地下乾物質，或者可以使用經同行評審的公開數據。
量測程序(若適用)	資訊將通過與樣本單元的農民或土地所有者的直接諮詢進行監測，並由其出具書面證明予以證實。任何關於農業管理措施的定量資訊（例如離散或連續的數值變量）都必須有與所選樣本單元和相關監測期有關的一種或多種形式的書面證據支持（例如管理日誌、收據或發票、農場設備規格）。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算專案排放量
計算方法	不適用
備註	對於所有公式，下標 bsl 必須由 wp 代替，以明確相關數值是針對專案情境進行量化的。

數據與參數表58

數據/參數	$N_{content,g}$
數據單位	t N/t dm
描述	固氮物種 g 乾物質中氮的比例
數據來源	參閱範疇章節的量化方法3。如果沒有適用於專案的資訊來源，專案發起人可以依照「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第4卷第 11 章表 11.2 確定參數值。
量測程序(若適用)	乾物質中氮的比例取決於氮固定物種類型
監測頻率	排放係數的數據來源必須每五年監測一次，並且必須在獲得適用於專案的更準確數據時進行更新。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算基線和專案的排放量
計算方法	不適用

備註	無
----	---

數據與參數表59

數據/參數	g
數據單位	無單位
描述	固氮物種類型
數據來源	在樣本單元 i 中確定
量測程序(若適用)	參閱10.4章節。固氮物種類型在查證之前確定。
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測。
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算基線和專案的排放量
計算方法	不適用
備註	無

10.3.5 其它應監測之數據與參數：

數據與參數表60

數據/參數	$M_{manure_{wp,l,t}}$
數據單位	tonnes
描述	t 年專案邊界作為肥料施用的糞肥/有機改良劑的重量
數據來源	專案邊界管理記錄
量測程序(若適用)	糞肥施用數據應按每種牲畜類型進行分類
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算施用來自專案邊界以外新的有機改良劑造成的洩漏量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表61

數據/參數	$CC_{wp,l,t}$
數據單位	t C/t manure (糞肥)
描述	t 年專案邊界用作肥料的 1 類牲畜糞便的碳含量
數據來源	參閱10.4章節
量測程序(若適用)	糞肥碳含量記錄
監測頻率	必須至少每五年進行一次監測，若查證更為頻繁，則在每次查證活動之前進行監測
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	計算專案洩漏排放量
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表62

數據/參數	$P_{wp,p}$
數據單位	Output (e.g., kg)/ha (產出/公頃)
描述	專案期間農作物產品 P 的平均產量
數據來源	農場產量 (例如產量) 記錄
量測程序(若適用)	使用當地可用的技術進行測量 (例如，移動稱重設備、商業秤、存儲量測量、固定秤、磅秤等)
監測頻率	每個生長季節
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	確定專案產量以進行市場洩漏分析
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表63

數據/參數	p
數據單位	分類變量
描述	農作物產品
數據來源	參閱10.4章節
量測程序(若適用)	不適用
監測頻率	每個生長季節
QA/QC 程序	參閱10.4章節
數據目的	確定作物產品以進行市場洩漏分析
計算方法	不適用
備註	無

數據與參數表64

數據/參數	$RP_{wp,p}$
數據單位	Output (e.g., kg)/ha (產出/公頃)
描述	在專案期間產品 p 的平均區域產量
數據來源	來自政府（例如，實際生產歷史數據）、行業、出版、學術或國際組織（例如，FAO）的區域產量數據
量測程序(若適用)	不適用
監測頻率	每10年
QA/QC 程序	必須應用 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業良好做法指南》第 5.5 節或 IPCC 《土地利用、土地利用變化與林業》第 8 章中提供的指導。
數據目的	確定專案產量比率以進行市場洩漏分析
計算方法	不適用
備註	無

12. 參考文獻

1. Beem-Miller, J.P., Kong A.Y.Y., Ogle S. & Wolfe D. (2016). Sampling for soil carbon stock assessment in rocky agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal*. 80: 1411–1423.
2. von Haden, A.C., Yang, W.H. & DeLucia, E.H. (2020). Soils' dirty little secret: Depth-based comparisons can be inadequate for quantifying changes in soil organic carbon and other mineral soil properties. *Global Change Biology*, 26(7), pp. 3759–3770. doi:10.1111/gcb.15124.
3. IPCC (2000). Land use, land-use change and forestry. Prepared by R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, & D. J. Dokken (Eds). Cambridge University Press.
4. IPCC (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies.
5. IPCC (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies.
6. Verra(2023). VMD0053 Model Calibration, Validation, and Uncertainty Guidance for the Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.0
7. Verra(2024). VM0042 Model Calibration, Validation, and Uncertainty Guidance for the Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.1
8. Wendt, J.W. & Hauser, S. (2013). An equivalent soil mass procedure for monitoring soil organic carbon in multiple soil layers. *European Journal of Soil Science*, 64(1), pp. 58–65. doi:10.1111/ejss.12002.

附錄1：測量土壤有機碳儲量的潛在新興技術指南

若在校準和驗證測量數據方面具足夠的科學進展，並且對不確定性進行了詳細描述，則專案可以使用新興技術確定土壤有機碳含量。本附錄提供了關於使用此類新興技術的要求、確定土壤有機碳含量的潛在技術（重點在近程遙測）以及確保其穩健性和可靠性的標準的指南。以下列表並非詳盡無遺，供專案申請者採參。

所選技術在專案中測量土壤有機碳的適用性必須在幾篇經同行評審的科學文章中得到證明。專案申請者應提供證據以證明新興技術經校準後和傳統的實驗室分析方法（如乾燒法）獲得的數據無顯著差異且具良好再現性，以充分準確地預測土壤有機碳含量。基礎校準的現場特徵必須與專案現場條件相匹配，包括土壤有機碳儲量範圍、土壤類型、土地利用等。雖然專案可以使用測量土壤有機碳的公司服務，但所應用的測量技術的特性，包括校準方法等，必須可供查驗單位審查，不得以限制知識產權方式限制。

下表列舉了潛在的新興近程遙測技術，有望簡化土壤有機碳測量。儘管與傳統的實驗室分析方法（例如乾燒法）相比，近程遙測技術的每單次測量精確度可能不足，但近程遙測技術與傳統方法相比，可以在不同的時間和空間進行更多的測量，使碳儲量的總體估計與用傳統分析實驗室方法測量的低密度採樣相比具有相似或更好的精度，以致近程遙測技術可能更具成本效益，平衡準確性和成本兩項因素。

在一個專案中可能使用的近端設備比將所有樣本都送到一個實驗室時使用的設備多得多，因此必須注意證明設備之間的校準和精確度。專案開發者必須向查驗單位提供有關新興土壤有機碳測量技術的標準和注意事項的詳細資訊，如下表中所述。專案應長期遵守相關標準，以確保測量和重新測量是在相同的條件下進行的，具有可比性。雖然本附錄重點是近程遙測，但Verra正在追蹤與土壤有機碳儲量的遠程（例如衛星）傳感相關的發展，如果該技術被證明在科學上是可信的，本附錄未來修訂時可能會包括關於使用遠程傳感直接測量土壤有機碳的指南。

方法	確保穩健性和可靠性的標準和注意事項
非彈性中子散射 (INS)	• 如果存在碳酸鹽（鈣質或石灰質土壤），則必須單獨計算無機碳。 • 無機伽馬閃爍體（基於碘化鈉NaI(Tl)、鍺酸鋇BGO和溴化鐳LaBr3(Ce)的探測器）更適合，因為在高達 12MeV 的能量範圍內記錄伽馬射線的效率更高。 • 脈衝快/熱中子分析（PFTNA）最適合土壤中子伽馬分析。它可以將 INS 反應引起的伽馬射線譜與熱中子俘獲和延遲活化反應譜分開。 • 適合當地的校準程序必須包括在專案文檔中供VVB審查。
鐳射誘導擊穿光譜 (LIBS)	• 土壤樣本必須在 40°C 下乾燥至少 24 小時。 • 如果存在碳酸鹽（鈣質或石灰質土壤），則必須對樣本進行酸洗。 • 土壤樣本必須經過研磨，以實現均質化並減小粒徑，以促進等離子體中的蒸發和霧化過程。 • 在分析之前，必須將土壤材料壓製成具有平坦表面的顆粒。 • 當直接在現場（原位）測量時，必須進行適當的修正以去除土壤水分和進一步的基質效應。 • LIBS儀器參數的配置應針對每個基質進行優化。激光脈衝能量和激光束的直徑（即光斑尺寸）應在激光脈衝能量密度（每單位面積的

	激光脈沖能量，J cm⁻²) 項下同時監測，以及延遲時間、激光重覆率等。 • 專案可能依賴化學計量方法進行信號分析、光譜預處理以及後續的數據處理和解釋，包括減少基質效應等。 • 對適合當地的校準程序的描述必須包含在專案文檔中以供VVB 審查。多元線性回歸已被證明是解決土壤碳分析干擾的有效校準策略。可以應用進一步的“非傳統校準策略”³⁹，探索等離子體物理化學特性、使用具有不同靈敏度的分析物發射線/躍遷能量、累積信號強度和多個標準以獲得線性模型或校準曲線。 • 每個樣本多次激光照射可能會改善測量結果。
中紅外線 (MIR)和可見近紅外光譜 (Vis-NIR and NIR) 包括漫反射光譜 (DRS) 以及漫反射紅外傅里葉變換 (DRIFT) 測量等	• 對於 MIR 和 NIR，土壤樣本必須風乾或烘乾，粉碎或篩分至小於 2 毫米的粒度，避免優先篩分。 • 當直接在現場（原位）測量時，必須進行適當的修正以去除土壤水分和進一步的基質效應。 • 所應用的光譜儀在可見光和近紅外範圍（400 到 2500 nm 之間）的光譜分辨率應為 10 nm 或以下，並且應以 1 nm 的間隔記錄該範圍內的光譜。 • 應在可用時使用測量協議，例如(Viscarra Rossel et al., 2016)中的附錄 B，用於 Vis-NIR 或世界農林中心土壤-植物光譜診斷實驗室 (ICRAF)的標準操作程序。 • 通過多元統計或機器學習算法，使用大型光譜庫 40 或當地土壤樣本開發的新的特定地點庫（精度更高）進行校準。對數據集進行子集或分區/層可以提供更好的校準結果。請參閱 (England and Viscarra Rossel, 2018) 和 (Stevens et al., 2013)，了解有關校準技術和光譜模型開發和驗證的進一步指導。 • 校準程序必須包括在專案文檔中供VVB審查。

附錄2：VMD0021-土壤碳庫中的碳儲量估算

VCS 模組 VMD0021
土壤碳庫中的碳儲量估算

版本 1.0

16 November 2012

範疇別 14



Document Prepared by: The Earth Partners LLC.

● 模組概要說明

本模組提供專案所需抽樣的土壤樣地數量估算、樣地的設計和建立、土壤碳庫的碳儲量的確定以及結果的統計嚴謹性檢查的方法。

● 定義

1. 粗粒碎片

直徑大於2毫米的岩石塊或水泥膠結土塊，由於太大而無法在實驗室分析之前通過實驗室使用的篩網。

2. 嵌入式巨石

脫離基岩且至少部分嵌入土壤中的岩石，因體積太大而無法人為移動。

3. 事前

在事實發生之前，對未來的值或條件的預測。

4. 大粗粒碎片

直徑大於10 毫米的粗粒碎片，由於太大而無法包括在總體密度樣本中。

5. 持久的

在某種形式中80%以上的碳將在土壤中保留10年以上。

6. 監測間隔

監視活動之間的時間長度。

7. 有機土壤

如果滿足以下條件，則土壤是有機的：

- 在正常年份每年水分飽和的時間少於 30 天（累計），且未經人工排水，但有機碳含量超過 20%（按重量計）；或者
- 在正常年份水分飽和累計 30 天或以上（或被人工排水），且除活根外，其有機碳含量（按重量計）為 18%或以上，如果礦物部分含有 60%或以上的黏土；或者
- 至少 12%，如果礦物部分不含黏土；或者
- 大於 12%加上 0.1 乘以黏土百分比（ $12\%+0.1*\text{黏土}\%$ ），如果礦物部分含有低於 60%的粘土。

8. 成土的

產生於土壤內的過程。

9. 成土碳酸鹽

來自於正在進行的土壤過程的無機碳。

10. 專案邊界

專案提議者將在其上開展專案活動的一個或多個土地區域。

11. 參考條件

生態系統的一種條件，據信在某個時間已經存在，並且合理地接近於專案成功後將存在的預期條件。

12. 小粗粒碎片

直徑在2毫米和10毫米之間的粗粒碎片，因此足夠小以包括在總體密度樣本中。

13. 土壤類型（或土壤體系）

美國土壤分類系統的最低類別；一個概念化的土壤體類別（聚合土體），其界限和範圍比所有更高的類群更嚴謹。每種土壤類型都有具有相似土壤顏色、質地、結構、Ph值一致性以及礦物和化學成分的土壤層。必須盡可能使用標準化的土壤類型/體系分類系統。

14. 土壤層

物理、化學和/或生物特性明顯不同於下層和/或上層的土壤層。

15. 分區/層

將一個區域劃分為子單元（區/層），這些子單元對於分區/層所根據的變量值而言相對同質，在景觀中可重覆，並且可以合理預期不同的人會有類似的識別和分類。

● 適用條件

本模組不適用於有機土壤中土壤碳含量的採樣或估算。

● 程序介紹

土壤採樣的目的是以嚴謹的統計方法收集土壤碳濃度的資訊，以估算出每單位面積的土壤碳總量。土壤採樣必須始終在分區/層的基礎上進行，並使用模組 VMD0018確定分區/層的方法中所設計的分區/層程序。在分區/層過程中，要收集現有的數據，例如土壤圖、地貌類別、坡度、坡向、土地覆被類別和以前土壤調查的數據。使用本模組進行分區/層和估算土壤碳的工作是交叉進行的，因為每個模組中的工作數據都會完善另一個模組中的工作。

土壤碳採樣的分區/層必須至少考慮以下變量：

1. 現有的土壤分類和繪圖
2. 土壤質地、礦物質和母質
3. 土壤剖面深度
4. 地貌位置和相關的土壤過程，包括但不限於：
表面形狀（凹/凸）、斜坡位置、侵蝕和沉積速率、排水和水系
5. 生態學、植物群落和相關的土壤過程、包括但不限於：
可能影響養分循環和輸入的因素，例如固氮、生根強度和深度以及生物量周轉；可能影響植物死亡率和碳輸入形式的因素，例如與生態或植物群落差異相關的火災強度/頻率差異。
6. 土地使用和管理的歷史及持續時間
7. 火災歷史和景觀改造

土壤採樣必須使用永久性樣地技術，以及允許重複採樣的樣地設計，不會因先採樣引起的干擾而產生偏差。

必須使用以下6個步驟進行採樣：

1. 土地勘察和預採樣
2. 採樣參數的選擇
3. 採樣要求的確定
4. 採樣
5. 實驗室程序和重量保證
6. 數據校驗與計算

● 無機碳估算的條件

本方法包含了土壤中有機碳和無機碳的量化方式。然而在許多情況下，無機碳含量的變化是緩慢且不顯著的。此外，由於下列原因，要準確估算由無機碳增加所導致大氣溫室氣體的減少可能是不易的：

1. 碳酸鹽可能以灰塵或溶液的形式從其他地方遷移而來，因此土壤中碳酸鹽的增加可能不代表形成了新的碳酸鹽。
2. 形成碳酸鹽的鈣或鎂可能來自另一地點的碳酸鹽的分解。

因此，一般而言，建議在大多數專案情境中不估算無機碳，但以下情況除外：

1. 如果專案活動可能導致土壤化學或土壤過程的變化（例如，土壤酸度增加），從而可能導致碳酸鹽的分解和碳化合物向大氣的釋放，則必須估算無機碳。例如，在某些管理制度下，硫酸銨肥料可能被添加到高 pH 值的土壤中，目的是將 pH 值降低到 6.5 至 7.5 範圍。這種 pH 值的變化往往會導致土壤無機碳的分解和碳化合物向大氣的釋放。

如果能證明以下情況，可以估算無機碳：

1. 土壤中無機碳的增加不是由來自專案邊界外或採樣深度以下（例如通過灌溉或滲透）的碳酸鹽遷移所造成的。
2. 形成碳酸鹽的鈣和鎂不是來自於專案邊界外或採樣深度以下之碳酸鹽的分解。

在以上任一情況下，無機碳的基線預測必須考慮到碳酸鹽形成、遷移和分解過程以及環境條件的全部情形。由於無機碳過程的複雜性，如果可能並且有合適的地點，除了事先估計外，還應考慮使用監測的基線。

● 步驟 1: 土地勘察和預採樣

目的：根據景觀過程和因素以及分區/層採樣，對土壤碳變化進行定性評估。

結果：關於整個專案邊界土壤碳的預期值和分佈的資訊。

方法：

在此步驟中，對專案邊界和參照區域（如果使用）進行正式勘察，以了解每種主要土壤類型的現場條件的變化性（通常主要土壤類型來自現有的地區級或國家級土壤分類系統，以及相關繪圖）。

為了在步驟3中對專案情境中的土壤碳含量進行事前估計，還需要在此步驟中對參照區域進行定位和預取樣。在與專案情境中預期出現的土壤條件相似的參照區域位置採樣，可以提高事前預測的準確性。

組織和實施實地勘察，觀察專案邊界和參照區域（如果使用）的場地條件、土壤類型、植被類型和土地利用情況。在實地考察中，在航拍照片（或其他地圖）上標記出每個主要擬議分區/層的植被和土壤狀況的明顯不同的區域，可能是管理單元邊界的圍欄線和農地邊界，以及土地其他明顯的物理和生態差異。勘察必須是系統性的，並由此對整個專案邊界土壤特性變化有一定了解。

此步驟的目的是更好的確定每個擬議分區/層的土壤和植被條件。該資訊必須用於完善分區/層和規劃採樣策略和強度。

預採樣策略：

在勘察期間，在每一個擬議分區/層中完成足夠數量的土壤採樣調查（遵循以下步驟3的程序），以確定現有的擬議分區/層是否實地可行，並收集關於專案邊界和分區/層的變化範圍的資訊。在此步驟中，樣地的位置應特意選擇特定擬議分區/層的典型區域來確定，而不是通過隨機或系統抽樣/網格抽樣，並且不需要對樣地結果進行統計評估。

預採樣土壤：

在每個採樣區域，記錄每個樣本的土壤層、質地特徵和相關深度。在每個位置，將需要三份相同的土坑或探測樣本以確認特徵，其程序與步驟4相同。

在每個採樣區域，記錄植被組成。其目的是確定植被種類及其相應的覆蓋率和群落，這可能是土壤條件的指標。在這個步驟記錄植被旨在對土壤分類進行微調，而非制定植被分類。

在預採樣後，遵循 VMD0018確定分區/層的方法模組中的技術，根據需要修改擬議分區/層。另請注意，預採樣可用於識別和排除含有機土壤的區域，這些區域可使用下文提出的方法採樣，但不得使用本模組進行計算。

● 步驟 2: 採樣參數的選擇

目的：確定採樣參數。

結果：對採樣強度和深度的要求，以及計算深度。

方法：

(1) 確定採樣強度

樣地的數量取決於土壤碳含量的變化、所需的準確度和監測間隔長度。基於預採樣工作，為每個層選擇初始數量的樣地。目的是設置足夠多的樣地以滿足所需的統計嚴謹性，

如下文步驟 6.4 所述。專案提議者可以使用多種統計方法來估計所需樣地的預期數量，包括 Wenger (1984)和 CDM A/R 方法學工具 CDM 專案活動 A/R 測量的樣本地塊數量計算（AR- AM 工具03版本02或更高版本）中的統計方法。

在預採樣或第一次監測活動後，可以根據初始樣本所確定的碳儲量的實際變化量，合理修正（增加或減少）樣本量。然而，目的是設置足夠的基線樣本地塊，以便對這些地塊的監測也能包含隨時間變化的預期增加量。

(2) 確定計算深度和採樣深度

計算深度：

確定各層的計算深度，以用於計算土壤碳總量的深度。該深度必須根據以下標準來確定：

- a. 與專案計入期內（或 2 個月，取較小者）基線情境中的預期土壤碳變化相比，計算深度必須足夠深以捕捉到專案活動所導致的土壤碳預期變化的至少 90%。確定超過 90% 的變化預計會發生的深度必須基於當前對深度變化的研究，因為許多較早的研究將採樣限制在 30 公分或以下，並且沒有對量化基於深度的土壤碳變化。專案提議者必須從計算深度預期為 1 公尺開始，並進行調整以反映專案邊界的具體變化。舉例來說，如果研究表明，在專案計入期內，因實施專案活動而產生的土壤碳變化的 90%預計會發生在土壤表層 70 公分處，則計算深度可以設定為 70 公分。計算深度的確定必須基於現有的文獻、參照區域的測量結果以及對適用的生態和處理條件下土壤碳變化的認識。請注意，有些處理方法可能會導致某些土壤層的土壤碳增加，而其他土壤層的土壤碳減少。如果是這種情況，在計算中識別出這兩層是至關重要的。
- b. 雖然基岩或膠結層可能會限制某些樣地的土壤總深度小於所選擇的計算深度，但大多數樣地的土壤深度必須大於或等於計算深度。
- c. 計算深度必須小於採樣深度，但個別樣地的採樣深度受到基岩或膠結層的限制，在這種情況下，計算深度可能等於該樣地的採樣深度。
- d. 必須為各層設置計算深度。但是，請注意，由於下列情況之一，一個層計算中使用的實際深度可能因地塊而異，也可能因時間而異：
 - (i) 在比計算深度淺的地方存在基岩或膠結層。
 - (ii) 土壤深度或總體密度的變化，如下文步驟 3.1 和 6 所述。

採樣深度：

所選擇的採樣深度必須大於計算深度，以便檢測專案引起的深層變化，並允許土壤特性隨時間發生變化，如步驟 6 所述。請注意，與計算深度一樣，如果基岩或膠結層的存在阻礙了更深的採樣，則實際採樣深度可能小於所選擇的採樣深度。採樣深度必須足夠，以確保對土壤碳可能發生顯著變化的所有土壤層進行採樣。例如：

- a. 在已經或將要進行耕犁的地點，採樣必須足夠深，不僅對正在進行耕犁的土壤層進行採樣，並且對耕犁最大深度以下的至少一個土壤層或作物生根深度（以較大者為準）進行採樣，以捕獲土壤碳從耕犁層和生根層向下遷移的影響。
- b. 在未經耕犁的地方，採樣必須足夠深以達到“C”層——由未經風化的母質組成的土壤層，其有機成分很少。然而，如果“C”層開始於距離土壤表面 2 公尺以上，採樣深度可能會限制在 2 公尺以內。

在某些情況下，上述例子可能會導致採樣深度過大——例如，在沖積土壤中，土壤的反復沉積導致有機改良土壤層非常深。在這種情況下，採樣深度不需要超過2公尺。通常情況下，採樣深度應比計算深度大10-20%，以允許在後續採樣活動中土壤密度發生變化。

可能需要進行實地勘察並挖掘一些試驗坑或探測樣本，以確定合適的採樣深度。這種勘察的目的是確定由於自然和人為過程使土壤碳發生顯著變化的深度。因此，確定深度將需要了解影響土壤的過程，勘察工作將包括確定這些過程發生的深度，並需要專家的判斷。指示物可包括過程指示物，例如活躍的根系、耕犁干擾、表明碳積累或淋溶的土壤顏色變化、細小碎塊流動引起的質地變化等。

● 步驟 3：辨識土壤採樣需求

目的：確定土壤過程可能導致溫室氣體效應估算不準確的地點的採樣要求。

結果：允許進行必要調整的採樣方法，以適應土壤密度或深度的變化。

方法：

土壤是一個動態系統，其特性（例如密度、化學性質、深度和其他變量）會隨時間發生變化。本方法學的目的是準確估算某個地點的土壤中碳總量以及該碳總量的變化。碳含量根據以下3個關鍵變量確定：

- (1) 土壤中的碳含量占土壤重量的百分比。
- (2) 土壤的密度（每單位體積的土壤重量）。
- (3) 正在進行計算的土壤體積（深度乘以表面積）。

本模組中提出的採樣和計算方法的目的是準確估算由土壤碳變化引起的大氣碳變化。為此，確保計算不會導致錯誤估計土壤過程中從大氣移除或排放到大氣中的碳量是至關重要的。此類錯誤的發生可能有多種原因。最常見的潛在錯誤原因是：

- (1) 土壤密度變化（壓實、有機質累積、耕犁等）；
- (2) 採樣方法所引起土壤深度的明顯變化；或，
- (3) 由於土壤侵蝕或沉積所造成土壤深度的實際變化。

使用的計算方法是為了確保大氣碳變化不會因步驟 6 中提出上述潛在錯誤原因而產生錯誤歸因。然而，對於土壤密度和侵蝕或沉積的變化，可能需要改變採樣技術，詳見下文。

步驟 3.1 土壤密度的變化

當土壤受到壓實或耕犁等處理時，土壤密度可能會發生變化，或成分發生變化，例如隨著有機質增加而發生的變化。這些過程可能會導致計算深度內的土壤增多或減少，因此如果不加以校正，可能會導致對土壤碳總量的錯誤估算。如果此類事件被確定為專案活動或現有土壤過程可能會引發的狀況，則計算深度可能會隨時間而增加，因此採樣深度必須設置為足夠大的深度，以確保在土壤密度發生變化後，採樣能夠獲得計算所需的數據。

步驟 3.2 土壤侵蝕或沉積所引起土壤深度的實際變化

在專案情境中預計會發生侵蝕或沉積的地方，專案提議者必須監測由這些原因引起的土壤深度變化，以便在計算時能夠考慮到這些過程。可以使用一些技術，包括：

- (1) 安裝探針：使用下面步驟 4.1 中提出的樣地佈局，選擇一個預計不會被採樣的點。在樣地的第一次採樣中，於樣點上插入一個金屬桿，其表面與礦質土壤層的頂部正好齊平。金屬桿應長於計算深度，或等於基岩或膠結層的深度，取較小者。在每次採樣期間，必須重新定位金屬桿，並測量侵蝕或沉積量（金屬桿暴露的長度，或金屬桿頂部上方的土壤量）。在每次採樣過程中，必須注意不要干擾金屬桿區域的土壤。在發生沉積或堆積的地方，應盡可能使用細金屬探針測量金屬桿頂部的土壤深度，以盡量減少對土壤的干擾。在發生干擾的地方，測量後必須更換土壤。

請注意，該技術不能用在預計會發生凍土的地方，也不能用在膨脹性黏土中，因為這些過程可能會改變金屬桿的垂直位置，從而導致錯誤的結果。

- (2) 使用基於地面的測量技術，從已知的高度標記來確定高度的變化，達到亞公分的精度。
- (3) 使用 GPS 來確定高度的變化，達到亞公分的精度。

在使用這些技術的同時，土壤剖面必須使用下文提出的標準數據表格和程序按土壤層重新測量，以確定土壤剖面和分區/層厚度的變化。同時，必須使用下文提出的標準技術估算總體密度，以區分侵蝕或沉積以及由壓實或不壓實、耕犁、膨脹黏土或其他原因引起的土壤深度變化。

● 步驟 4. 採樣

目的：收集數據，使土壤碳變化的量化估算能夠達到步驟 6.5 規定的統計精度。

結果：分別為土壤總碳、有機和無機土壤碳的樣地數據。

方法：

步驟 4.1 定位樣地

為避免主觀選擇樣地位置（樣地中心、樣地參考點、將樣地中心移動到更 "方便" 的位置），永久樣本地塊必須在每個確定的分區/層內隨機定位或隨機開始的系統性的定位。每個地塊的地理位置（GPS 坐標）、行政位置和分區/層必須被記錄和存檔。另外，採樣地塊應按比例分佈。例如，如果一個分區/層由三個地理上分開的地點組成，則應採取以下步驟：用總分區/層面積除以預期必要的樣地數，得出每個地塊的平均面積。

用分區/層內每個點的面積除以每個地塊的平均面積，並將結果的整數部分分配給該點。例如，如果除法的結果是 6.3 個樣地，那麼 6 個地塊就分配給該點，0.3 個地塊就轉到下一個點或分區/層，依此類推。

可以通過以下兩種方式之一完成地塊的隨機定位：

- (1) 以隨機開始的方式系統地定位地塊。在這種情況下，使用系統性的方法定位地塊——通常在網格上，網格上的第一個點的位置是隨機確定的。這必須在實地工作之前進行，在地圖或航空照片上指定地塊位置，並以已知點的距離和方向或 GPS 坐標來指定位置。
- (2) 隨機確定各個地塊的位置，使用地理資訊系統中的隨機化程序來指定每個地塊的坐標。

採樣時間

與隨機選取樣地同樣重要的是，每次在永久樣本地塊重覆採樣時，地塊採樣要在每年的同一時間進行。目的是在每次重複採樣時，盡可能在相同的生態和處理條件下對地塊進行採樣。因此，必須記錄永久樣地的建立日期，以及當時的生態條件。未來在這些地塊上的樣本應在當年同一日期的 15 天內建立，除非生態或處理條件發生重大變化（例如春季晚

至，耕犁延遲等），導致初始採樣日期和後來特定的重複採樣日期之間有較大的差距。

步驟 4.2 土壤採樣地塊設計

採樣地塊的設計應允許有效的設置和永久性的現場標記，以確保它在未來可以重新定位和重新採樣。該設計建議以圓形呈現，因較方形或矩形或直線形的地塊更適合田間的自然地塊大小。圖1展示其尺寸，並舉例說明如何使用幾種不同的土壤採樣方法對樣地內的各個土壤採樣點進行隨機採樣，並隨著時間的推移重新採樣，以配合進行重新採樣。樣地設計為至少可以適用三種土壤採樣方法：使用土芯採樣技術和提取；在岩石、根系和鬆散基質條件不允許土芯採樣的地方使用土坑；以及，使用較新的現地法，包括將直接讀取探針插入土壤中，而不必像土芯和土坑方法那樣提取大量土壤樣本；以及這些方法之間的相關性。

樣地設計將這三種干預方法分開，遵循下面的說明，就不會出現相互影響、偏差或違反統計獨立性的情況。

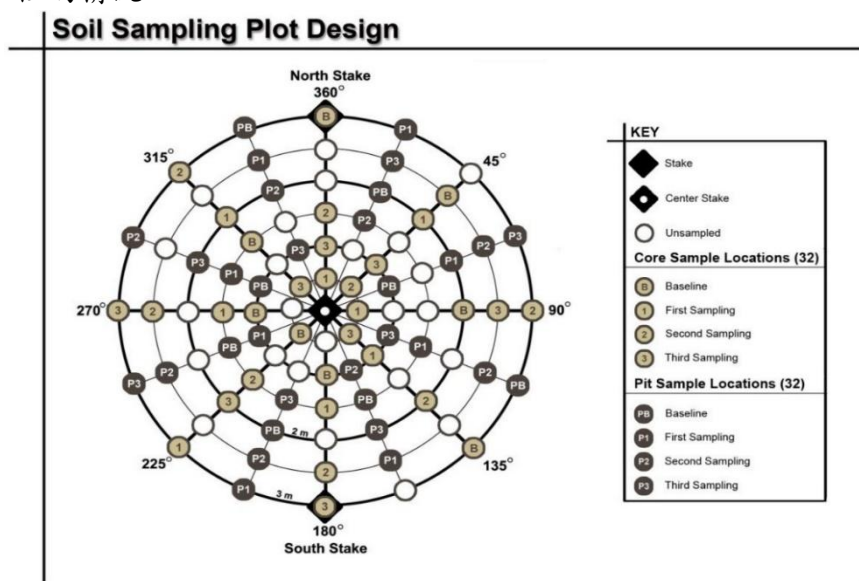


圖1. 土芯和土坑採樣點的標記布局。永久性地塊中心和關鍵徑向端點可以方便金屬探測器的重新定位、重新測量，並提供統計的穩健性和能力。

步驟4.3 初始樣地建立和後續重新定位之步驟

步驟4.3a 地塊位置：使用亞米級精度的手持 GPS，走到步驟4.1中確定的坐標處，這就是地塊中心的位置。實現亞米級精度可能需要使用控制點（具有已知位置的點）。在最初建立地塊時，設置可重新定位的標記。該標記可以包括：

- (1) 將一根長 15-20 公分、直徑 0.25-0.50 公分的鋼筋樁或鐵筋樁或 20-30 公分的金屬樁旗桿插入地塊中心的土壤中，以及樣本地塊圖中所示的其他位置。鋼筋或金屬樁必須至少被 3-5 公分的土壤完全掩埋，防止將來發現和損壞該標記，或對野生動物、牲畜或人類，以及車輛輪胎造成傷害。在不包括使用可能使中心標記移位或被標記損壞的工具時，才應使用此方法。
- (2) 在可能發生管理干擾（耕犁或其他活動）的地塊中心，埋入 30 至 50 公分深（至少是預期干擾深度的 1.5 倍）的電力線標記或類似的可探測標記。
- (3) 在地塊外沿圍欄線或其他不可能發生干擾的位置設置表面標記。在這種情況下，必須準確確定並記錄從標記到地塊中心的距離和方向。

如果樣本地塊位於暴露的基岩或不透水的母質（例如壓實土）或不透水的人造材料（例如路面）的區域，則確定該區域是否具有代表性（超過5%的分區/層面積是由此類區域組成）。如果該區域具有代表性，則不得移動樣地。另一方面，如果該區域是異常的（少於5%的分區/層面積由此類區域組成），則可以通過將樣地移動到隨機的位置來系統性地重新定位整個樣地，除非專案情境包括在暴露的基岩或不透水母質的地點上重建土壤系統的活動。

當對先前建立的地塊進行重新採樣時，可能需要用金屬探測器來確定地塊中心和北樁的確切位置。如果還建立了土壤侵蝕測量點，則必須同時找到地塊中心樁和土壤侵蝕監測點，以確保將正確的樁確定為地塊中心。

步驟4.3b 地塊佈局：在田間佈局地塊時，可使用以下步驟：

步驟4.3b1 用步驟4.3a所述的技術標記地塊的中心點。

步驟4.3b2 將預先剪好且標有刻度的帶子或繩子的一端固定在中心樁上，然後拉緊帶子或繩子並固定在磁北方位（360度方位）上。

步驟4.3b3 向後看帶子或繩子，確保後面方位對準了180度的磁北方位。根據需要調整位置，使帶子/繩子在180度背面方位上對齊。

步驟4.3b4 用另一個打好的鋼筋樁或埋好的標記建立正北樁點，方法與步驟4.3a相同。若要重新定位以前建立的北樁，使用相同的GPS和金屬探測器技術來重新定位金屬中心樁。

步驟4.3b5 建立正南點，位於中心點以南3公尺處。使用事先測量好的帶子或繩子，將其拉動並將長度的中心點對準中心樁上方，北端對準北樁。用臨時的金屬樁標誌旗標記南端位置。

步驟4.3b6 建立6公尺長的徑向線，該徑向線與東(90度)至西(270度)的羅盤方位磁性對齊。在端點樁臨時標誌旗之間拉緊繩子或帶子，並使帶子的中心位於中心地樁。

步驟4.3b7 使用與步驟4.2e中相同的方法，建立6公尺長的東北（45度）至西南（225度）的繩子或帶子。

步驟4.3b8 使用與步驟4.2e中相同的方法，建立6公尺長的西北（315度）至東南（135度）的繩子或帶子。

步驟4.3c 採樣點的重新定位 目的是確保在一個地塊內以前的採樣點在後續重新採樣活動中不會被重新採樣。在開始設置地塊之前，為每個計畫的採樣活動隨機選擇土坑或土芯採樣點（圖1為示例）。在每次採樣活動中，應在地塊內的五個至八個點進行採樣。如果計畫採樣活動的數量需要比圖中所示更多的採樣點，則可以擴大地塊，或將每次採樣活動的採樣點數量減少到最少三個。每次採樣活動的另一個採樣點是一個土壤坑。如果有障礙物，例如在採樣深度內下方有土壤的大型地表岩石或樹木，妨礙了在指定點收集樣本，則可能需要移動採樣位置。對於土芯樣本，通過將土芯樣本的中心以5公分的增量從先前指定點向北移動來進行調整。對於土坑，隨機選擇另一個土坑採樣位置，如圖1所示。另一方面，如果基岩或壓實材料露出地面，或嵌入的巨石（延伸到採樣深度以下的大岩石）阻礙了樣本的採集，則不應移動採樣點，並且土壤深度應記錄為零。請注意，此類採樣點的結果只能用於確定計算中使用的平均土壤深度，而不能用於確定該層內的平均土壤碳百分比。

步驟4.3d 樣地維護和記錄：為確保第一次和所有後續土壤採樣活動的樣本之間的獨立性，不得將提取的土壤材料沉積在樣地表面。從坑中取出的土壤將用於回填坑和回填或覆蓋鑽孔。在採樣過程中，專案提議者必須確保即使是少量的土壤或其他材料也不會從採樣時使用的土芯採樣器或鏟子上意外掉到樣地的其他區域。

在樣地圖上註明並記錄每個採樣期採樣了哪些採樣點和坑位。準確記錄實際採樣了哪些採樣點是必要的，因為在現場採樣的點可能與事先隨機選擇的採樣點不同。同時，要記錄何時進行了調整以適應岩石、基岩、樹根、無法找到採樣點的情況，或採樣點的變化證明它是非典型的或根據樣本地塊的其他代表條件改良的情況。

從一輪測量到下一輪測量，採樣方法必須保持不變。

步驟4.3e 土層記錄：在每個採樣點，使用採樣探針（直徑1至8公分的不銹鋼探針，其功能長度等於或大於採樣深度）或鏟子提取或暴露土壤層樣本進行觀察，記錄每個土壤層的深度。至少必須包括表層腐殖質層、"A "和 "B "層、夾層、水文指標（例如斑紋或溝渠）以及 "C "層的深度。此外，還應收集國家、地區或地方土壤分類系統中通常用於確定土壤類型的所有其他土壤資訊。對於每個土壤層，記錄其質地、顏色（使用 Munsel 標準色卡）、水文指標（例如斑紋、還原指標）和厚度。必須確定土壤層的順序至採樣深度。

土壤採樣將使用土芯探針樣本（可能包括動力鑽和土芯樣品等）或土壤坑進行。如果根系、岩石或鬆散基質不允許使用上述定義的土芯探針樣本採樣和收集土壤樣本，則使用土壤坑。

步驟 4.3f 對土壤碳和總體密度進行採樣：對於每個採樣點，從每個土壤層收集一個單獨的土壤樣本。將每個樣本放入塑料袋中，塑料袋上標有樣地採樣點和土層識別碼，以確保在後續處理和分析中的識別。

此外，對於每個土壤層，收集一個單獨的複合土壤樣本，該樣本結合了地塊內三個採樣點的等量土壤。或者，每個地塊的複合樣本也可以通過從先前裝袋的每個土芯或土坑基質樣本中取出均質的子樣本，然後將其加入複合樣本袋中，並按上述方法標記，記錄地塊編號、複合分區/層和日期。複合樣本和單獨樣本將被提交給分析實驗室進行碳分析和其他分析。

為了確定每層土壤的總體密度，從樣地內的每個採樣土壤層收集一定體積的未受干擾的土壤。通常情況下，這可以通過將已知體積的土壤罐從坑的完好側面壓入未受干擾的土壤部分來實現，或者從直徑足夠大的土芯樣本中切出一定長度的部分並裝袋。在土壤具有粘性的情況下，可能需要雕刻出一塊土壤，以精確適合採樣罐。總體密度罐的尺寸要適合捕獲固有的土壤結構差異，例如在發現聚合土壤結構時所發現的差異。通常情況下，74-150立方公分的罐子足以達到這一目的。無論採用哪種土壤採樣方法，目地都是提取未被採樣方法和設備壓縮或改變的完整部分，這些部分要能代表存在的每個土壤層，並確保總體密度採樣是準確的，以確定基於土壤體積的碳含量。

步驟4.3g 對粗粒碎片含量進行採樣：如果土壤中含有大量的粗粒碎片（大於實驗室在檢測土壤碳之前使用的篩網尺寸的岩石和膠結碎片），必須確定這些碎片在土壤中的百分比。應使用以下兩種方法中的一種或兩種，具體取決於存在的粗粒碎片的大小：

小粗粒碎片（直徑在2毫米和10毫米之間的粗碎片，因此足夠小以包括在總體密度樣本中）

如果土壤中含有大量的粗粒碎片，足夠小以包含在總體密度樣本中，則必須確定不含粗粒碎片的總體密度樣本的重量。這可以在符合條件的實驗室中完成，也可以在現場通過篩選總體密度樣本來完成。必須分別針對每個土壤層進行測定。

大粗粒碎片（直徑大於10毫米的粗粒碎片，由於太大而不能包括在總體密度樣本中，但不至於大到不能移動）

如果土壤中含有大量的粗粒碎片，體積太大而到無法包含在總體密度樣本中，則必須確定這些碎片在土壤體積中的百分比。通常情況下，這可以通過從一個已知體積的孔中挖掘土壤來完成，其中至少包含25公斤的土壤，篩選出符合指定尺寸標準的粗粒碎片，並通過排水、從重量到體積的轉換，或其他技術來確定這些碎片的體積。必須分別針對每個土壤層進行測定。請注意，這些粗粒碎片不包括嵌入式巨石，巨石將按上述步驟4.3b進行計算。

步驟 5 土壤樣本的準備和實驗室程序

目的：完成對土壤特性的實驗室檢測。

結果：所測量之土壤特性的準確檢測結果。

方法：

步驟 5.1 土壤樣本的準備

所有樣本都需要盤點、標記和包裝以便運輸，確保它們得到準確的記錄，並為實驗室分析和檔案保存做好準備。

樣本的準備。如果要檢測土壤中的氮含量，在將樣本送到實驗室之前要將其冷凍。完成樣本的標記並將其記錄在追蹤系統後，需要立即或至少以最快的速度將樣本送到檢測實驗室。土壤樣本的乾燥是由樣本交付的實驗室完成的，以反復稱重來實現並證明達到恒重，這是總體密度精度所要求的。請注意，對於某些土壤（特別是一些黏土和火山土），如果不進行高溫乾燥，可能很難達到恒重。在這種情況下，應該對土壤樣本的一部分進行稱重，在高溫下乾燥，然後再次稱重，並從該子樣本中得出土壤密度的校正係數。該程序的詳細資訊可參考土壤調查實驗室方法手冊（USDA 2004）。

總體密度。測量總體密度樣本中土壤的體積、初始濕重和最終乾重，並根據這些測量結果計算出單位體積的重量。如上文步驟4.3f所述，篩選總體密度樣本並確定不含粗粒碎片的每單位體積土壤的重量。

監管鏈。對於新鮮或乾燥的樣本，向土壤檢測實驗室提交一份監管鏈表格，並確保實驗室保持監管鏈記錄。

QA/QC。所選擇的土壤檢測實驗室必須有嚴格的重量保證計畫，在實驗室程序、分析再現性和監管鏈方面達到或超過美國環保局的 QA/QC 要求或類似的國際標準。實驗室還必須提供一份文件，規定分析前的樣本處理程序，以及在實驗室使用的具體化學檢測方法，包括所分析的每種成分的最低滯留限度。

樣本存檔。樣本必須足夠大，以便將來可以重新監測。為此，要與選定的實驗室商定以創建存檔數量的樣本。存檔樣本必須完全乾燥或冷凍，以防止正在進行的生物活動改變土壤碳密度或其化學性質。提交的所有土壤樣本的存檔樣本應至少保存到下一次核驗完成。此外，每次採樣活動都應保存足夠數量的樣本，以涵蓋專案邊界在專案情境下的預期條件範圍，以便在未來土壤檢測方法的進步可能導致結果之間失去可比性的情況下對結果進行重新校準。

步驟5.2 實驗室程序

所有的實驗室程序必須遵循土壤調查實驗室方法手冊的最新版本中提出的方法（美國農業

部自然資源保護局的第42號土壤調查報告4.0版，2004年11月）；或同等嚴謹的標準。

精度水平

實驗室可能會出現兩種形式的檢測誤差：系統性誤差和特定誤差。實驗室必須達到以下精度水平：

系統性誤差。當儀器校準錯誤或其他問題導致結果出現持續誤差時，就會出現系統性誤差。實驗室必須證明，在標準化對照樣本的檢測中，樣本結果與已知碳含量之間的差異不超過對照樣本已知碳含量的 $\pm 2\%$ 。

特定誤差。當對某一特定樣本的檢測結果不正確時，即使不存在系統性誤差，也會出現特定誤差。為了檢測特定誤差，將一個均質化的樣本拆分成兩份，並作不同標記。比較兩個子樣本的檢測結果，並確定特定誤差。子樣本之間的差異不得大於兩個報告結果中較大者的10%。

作為標準程序，對於樣本數量較少（ ≤ 50 ）的專案，至少拆分10%的樣本並進行獨立檢測和比較。對於樣本量較大（ > 100 ）的專案，必須拆分不少於10個樣本並進行獨立檢測。

步驟6 分析實驗室數據檢查和計算

目的：根據實驗室結果準確計算土壤參數。

結果：檢查後的實驗室結果，以及基於實驗室結果所計算的土壤參數。

方法：

步驟 6.1 數據檢查

根據先前的分析和報告，評估所有數值是否在預期數據範圍內。識別任何出現異常的情況。重新檢查拆分盲樣的變異數準確性。如果結果不能表明拆分樣本的估計土壤碳含量來自同一群體或土壤環境（如90%的信賴區間下超過變異數的10%），則可能需要重新檢測土壤樣本。必須根據本模組的介紹和步驟1中所述的分區/層，對從相同土壤類型、坡度、植被覆蓋類型採集的土壤進行檢測。

總結出哪些點似乎是異常的數據點，有明顯偏斜或分歧的報告數據，超出其他數據點結果的相似性範圍。如果這些點存在於數據集中，必須根據樣地特徵來確定產生差異的原因。此分析必須遵循以下選項之一：

如果與分區/層中的其他樣地相比，沒有發現樣地特徵的明顯差異，則必須保留其結果並用於該層的計算。

如果發現樣地特徵有明顯差異，且這些特徵與另一分區/層的特徵相似，則可將該地塊重新分配給另一分區/層。

如果發現樣地特徵存在重大且顯著異常的差異，並且可以證明這些異常特徵是獨一無二的，在該分區/層的其他地方不存在，則可以刪除該地塊。

如果某些結果似乎是反常的，並且無法解釋，則要求實驗室對存檔樣本進行重新檢測。

步驟 6.2 調整變量

如步驟3所述，某些土壤過程（壓實、增加、侵蝕、沉積等）有可能導致對由土壤碳通量引起的大氣碳變化的估算出現錯誤。在使用公式時，必須使用以下方法來降低估算錯誤的風險。請注意，在某些情況下，可能存在不止一種土壤變化過程，可能需要不止一種方法來降低土壤碳計算中的錯誤風險。在這種情況下，專案提議者必須證明所使用的整套方法

的合理性，並證明這些方法不會高估專案所帶來的大氣碳減排量。

步驟 6.2a 土壤密度的變化

土壤密度的變化可能是由壓實或脫壓導致。對於採樣深度不受基岩或膠結層限制的每個採樣點，以及對於初次採樣後的每個採樣活動，如果土壤密度（總體密度）從第一次採樣到後續採樣的變化超過5%，則必須調整該樣地的計算深度，使係數 ts 在每個採樣期都相同，其中 ts 的計算方法如下：

$$ts = \sum_l s_{dens_l} \cdot sd_l \quad (5.1)$$

參數	定義	單位
ts	1 cm ² 柱子中土壤的總重量	g/cm ³
l	樣地中發現的土壤層	
sd_l	土壤層 x 在計算深度以上的深度（厚度）	cm
s_{dens_l}	土壤層 x 的總體密度	g/cm ³

例如：

對於該專案，選擇的計算深度為30公分。在第一次採樣時，發現土壤由兩層組成，如下表 6.2.1所示。

採樣時間 1

土壤層	計算深度以上的厚度(cm)	總體密度(g/cm ³)
A	20	1.1
B	10	1.2

$$ts=34$$

表6.2.1 T=1採樣

在第二次採樣時，發現土壤情況如下：

採樣時間 2

土壤層	計算深度以上的厚度(cm)	總體密度(g/cm ³)
A	22	1
B	10	1.1

$$ts=30.8$$

表6.2.2 T=2採樣

由於土壤總體密度發生了變化，計算深度以上的土壤總量也發生了變化——在這種情況下，由於脫壓，土壤總量下降了。因此，必須對計算深度進行調整，以確保計算是基於相同數量的土壤。在這種情況下，新的計算深度將為32.9，如表6.2.3所示。

採樣時間 2, 調整後

土壤層	計算深度以上的厚度(cm)	總體密度(g/cm ³)
A	22	1

B	10.9	1.1
---	------	-----

$t_s = 34.0$

表 6.2.3 T=2採樣，調整了計算深度，使時間2的 t_s =時間1的 t_s

請注意，如果新的計算深度延伸到 T=1時計算的最低土壤層底部以下（本例中為 B 層），則該土壤層的厚度必須是在現場發現的厚度，其餘深度必須使用下一土壤層的數據。因此，確保現場採樣的深度遠超過預期計算深度是至關重要的，因為有可能發生脫壓 (decompaction)現象。

步驟 6.2b 土壤存在量的變化

土壤存在量的變化可能在侵蝕或沉積過程、或在有計畫地添加土壤改良劑（例如炭）過程中出現。如果這些過程是可預測的（例如，在洪泛區發生定期的土壤沖積），則為專案進行基線碳估算時必須預測其數量和位置。另外，如果這些過程是可預測的，專案提議者必須確保樣地的分佈能夠合理的代表場地內侵蝕和沉積過程的範圍。例如，如果一個連綿起伏的農業場地在暴雨期間其土壤經常從地形陡峭地區向山谷和階地移動，那麼樣地的位置必須能代表較陡峭的侵蝕區域和較平坦的沉積區域。在某些情況下，這兩個區域可能是不同的分區/層，在這種情況下，樣地將自動具有代表性。然而，在其他情況下，其他過程和因素對土壤碳的影響可能遠遠大於土壤的移動，以至於較陡峭和較平坦的區域都屬於一個分區/層，而該分區/層中的樣地必須能夠代表這種多樣性。

土壤改良劑：如果因添加改良劑而導致土壤量變化，則不應改變採樣深度或計算深度來進行調整。然而，請注意，改良劑可能會導致總體密度的變化，從而可能需要對計算深度進行調整，如上文步驟 6.3a 所述。

侵蝕：專案邊界內發生的侵蝕事件可能是小的特定事件（例如小的滑坡），也可能是大面積的片狀侵蝕或其他類似過程。如果一個分區/層中的樣地位於小的、不具代表性的（ $<1/$ （樣地數量乘以2）%的分區/層面積）侵蝕區域，則必須排除這些樣地。另一方面，如果侵蝕覆蓋了分區/層區域的較大部分，則必須保留樣地。如果侵蝕影響相對較小，專案提議者可以選擇繼續將侵蝕區域納入現有分區/層，或者在侵蝕事件影響較大的情況下，創建一個由侵蝕區域組成的新分區/層。創建一個新的分區/層可能會導致需要設置新的永久樣本地塊，以確保新的分區/層符合統計要求。

當土壤深度因侵蝕而發生變化時，因侵蝕過程而釋放到大氣中的碳的數量和形式可能會有很大差異，這取決於侵蝕事件的性質、侵蝕事件中土壤中的碳部分與土壤中的礦質部分的分離程度，以及侵蝕土壤中碳部分最終沉積之位置的性質。由於這些不確定性，在侵蝕事件發生後，不得對計算或採樣深度進行更改，除非事件發生在有基岩或膠結層的地區，限制了採樣深度，在這種情況下，侵蝕可能會默認減少計算深度和採樣深度。

此規則的一個例外情況是，在侵蝕事件之後的採樣中在樣本底部發現了一個新的土壤層，碳酸鹽含量很高，或由埋藏的地表土壤層組成。在這種情況下，不得使用該土壤層的實際碳百分比，必須使用緊鄰其上方的土壤層的碳百分比來計算該層的碳含量。

沉積：與侵蝕一樣，沉積可能發生在小的局部區域（例如滑坡的尾部），也可能發生在更廣泛的區域，例如廣闊的沖積沉積帶。在選擇排除或保留落入沉積區的樣地時，必須遵循

與上述侵蝕相同的規則，在必要時重新分區/層。

如果土壤深度因沉積而發生變化，不得改變總採樣深度和計算深度。如果採樣深度和計算深度受到基岩或膠結層的限制，即使現在存在更多的土壤，後續的採樣和計算也只能進行到以前使用的深度。

請注意，沉積和侵蝕都可能導致樣本內土壤層的性质和順序發生變化。

步驟 6.2c 在存在基岩或膠結層的情況下，土壤存在量的明顯變化

當土壤採樣深度受到基岩或膠結層的限制時，採樣深度可能會在樣地內各點之間發生變化，即使存在的土壤量沒有實際變化，也沒有發生壓實或脫壓。例如，某地塊的三個採樣點的基岩深度可能如下：

Table 6.2.4 由於樣地內不同點的基岩深度不同，兩次採樣時間之間採樣深度的變化。

土壤層	總採樣深度(cm)		第一次和第二次採樣時間之間的數值變化	
	第一次採樣	第二次採樣	侵蝕或沉積	總體密度
1	28	29	無	無
2	24	26	無	無
3	27	30	無	無
總數	79	85	-	-

如果總體密度發生了顯著變化，或者發現了大量的沉積或侵蝕，則必須使用步驟6.3a或6.3b中提出的方法（若適用）對計算深度進行調整。但是，如果像所舉的例子一樣，沒有發現這種明顯的變化，那麼在第一次採樣的計算中使用的土壤層深度和總計算深度也必須在第二次採樣的計算中使用，取代第二次採樣的實際測量值，以避免因整個樣地的基岩或膠結層深度不同而導致的總碳量變化的錯誤歸因。

步驟 6.3 估算作為改良劑加入的土壤碳

一些處理方法，例如在土壤中加入石灰、炭或糞便，可直接增加土壤中的碳。根據改良劑的來源，可能需要調整土壤碳的計算。

步驟6.3a 來自專案邊界內的改良劑

在以下條件下，認為改良劑來自專案邊界內：

對於除糞便以外的改良劑，至少95%的生物質碳必須來自專案邊界，而且必須來自計入範圍內的碳庫。因此，舉例來說，如果炭來自專案邊界內生長的活體生物量，且活體生物量碳庫在計入範圍，則認為該改良劑是來自專案邊界的。即使生物量在專案邊界外被加工成炭，結論也是如此。另一方面，如果石灰來自專案邊界的物理邊界內，但來自岩礦或其他未計入碳庫，則就碳估算而言，不能將其視為來自專案邊界內。

對於糞便，用於動物的原料必須至少有80%來自專案邊界。源自專案邊界的原料比例將根據動物的年熱值來衡量。不要求動物本身在專案邊界內飼養。

如果改良劑符合上述標準，則無需調整土壤碳估算。但是，應注意以下關於排放的限定條件：

如果在專案邊界內將生物量加工成炭、堆肥或類似材料，或加工石灰，則加工過程中的所有排放必須作為專案排放進行估算。

如果在專案邊界外將生物量加工成炭、堆肥或類似材料，或加工石灰，則其排放量必須作為洩漏量進行估算。

如果糞便來源的動物是在專案邊界內飼養的，其排放量將按照本方法學的要求進行估算。如果糞便來源的動物是在專案邊界外飼養的，其排放量必須作為洩漏進行估算。如果這些動物的糞便只有一部分被用作專案邊界內的土壤改良劑，則可根據專案邊界內使用的總糞便的百分比按比例計算排放量。

步驟6.3b 來自專案邊界外的改良劑

如果含碳改良劑來自專案邊界以外的生物或非生物來源，則必須從計算的土壤碳中扣除，

方法如下：

如果改良劑是“長效”的，也就是說，改良劑中至少有80%的碳會在土壤中保留10年以上（例如，改良劑是炭時），則必須從步驟6.6的土壤碳計算中扣除改良劑100%的碳含量。

如果改良劑不是“長效”的（例如，改良劑是糞便時），則必須從步驟6.6的土壤碳計算中扣除改良劑中80%的碳，除非專案提議者能夠提供科學證據，證明在施用改良劑10年後，只有不到80%的碳會保留在土壤中。在這種情況下，可以基於改良劑中所含碳的百分比進行扣除。所使用的百分比必須是保守的，並基於現有的科學文獻。

在以上任一情況下，如果能證明改良劑中至少有95%的碳來自另一個碳專案的專案邊界，並且該來源的生物量碳庫在該專案中得到了估算，則無需進行扣除。若是如此，如果加工改良劑產生的排放量沒有在其他碳專案中估算，則必須在本專案中作為洩漏進行估算。

步驟6.4 數據計算：土壤碳總量：

根據步驟6.3的指導，用以下公式計算每單位面積的土壤碳。

$$SC_y = \sum_l (sd_l \cdot (1 - LCF\%_l) \cdot sdens_l \cdot \%osc_l \cdot 10^1) + \sum_l (sd_l \cdot (1 - LCF\%_l) \cdot sdens_l \cdot iscg_l \cdot m_{iscl}^{-1} \cdot (12/44) \cdot 10^1) \quad (5.2)$$

參數	定義	單位
SC_y	樣地 y 每平方公尺測量所得的土壤碳總量	kg/m ²
x	測量的土壤層數	
l	土壤層	
sd_l	樣地內採樣點發現的土壤層 x 的平均深度（厚度）	cm
$LCF\%$	由大的粗粒碎片組成的土壤體積的百分比	%
$sdens_l$	在樣地內採樣點發現的土壤層 x 去除粗粒碎片後的平均烘乾總體密度	g/cm ³
$\%osc_l$	根據實驗室測量，土壤層 x 有機碳的平均重量占樣本總重量的百分比	%
$iscg_l$	酸測試時土壤樣本所排放 CO ₂ 的平均重量	g
m_{iscl}	使用酸測試的樣本的平均重量	g
12/44	從 CO ₂ 到 C 的轉換	

註：

最底層所測土壤層的深度 sd_x 為該土壤層從頂部到計算深度的厚度，或到基岩或膠結層的厚度，取較小者。

實驗室通常會將術語 $iscg_l \cdot m_{iscl}^{-1}$ 作為一個單一值提供，即無機碳百分比

正如介紹中所討論的，如果預計無機碳的變化不顯著，可以只計算有機碳。

$\%osc_l$ 和 $iscg_l$ 是由提交給實驗室的該樣地的樣本所確定的平均值。如果樣地內的一個或多個採樣點沒有土壤（例如裸露的基岩），則不提交樣本，且在計算 $\%osc_l$ 和 $iscg_l$ 時不包括該採樣點。

步驟 6.5 統計計算

計算每個分區/層總碳量的標準偏差和信賴區間。如果土壤中含有大量的無機土壤碳，並且這些數量預計不會發生變化，則必須只基於有機土壤碳的量進行統計計算，以避免大量靜態的無機土壤碳庫的掩蔽效應。在這些情況下，只能估算和報告土壤有機碳，公式中估算無機碳的部分必須設置為0。

如果信心水準為 90%且信賴區間超過 $\pm 10\%$ ，專案提議者可以採取以下三種行動之一：

A.重新分區/層：如果樣本中的差異似乎與地理或其他因素有關，則應考慮重新分區/層，如模組 VMD0018確定分區/層的方法中所討論的。如果進行重新分區/層，必須重新計算新分區/層的信賴區間。如果其中一個新層的信賴區間未能達到所要求的信賴標準，重新分區/層將需要進一步隨機或系統的設置樣地，除非專案提議者選擇對該層應用選項 C。

B.增加樣地的數量：如果差異似乎是分區/層固有的並在分區/層中大範圍存在時，專案提議者可以選擇設置更多的樣地。必須使用下面的公式（3）計算出所需的樣地數量，並系統的或隨機的設置更多的樣地。

$$N = t^2 \cdot s^2 \cdot (0.1 \cdot m)^{-2} \quad (5.3)$$

參數	定義
N	預計需要的樣地總數
t	$n-1$ 的學生 t 檢驗0.90值， n 為已經建立的樣地數量
s	現有樣地值的標準偏差
m	現有樣地之變量的平均值

C.重新計算 $SoilC_s$

在某些情況下，由於專案規模或其他因素，設置足夠多的樣地以滿足所需的信賴區間可能在經濟上是不可行的。在這種情況下，如果專案提議者在每個分區/層至少設置10個樣地，專案提議者可以在較低的信賴區間用收集到的數據繼續推進。但是，專案提議者必須重新計算 $SoilC_s$ （來自以下步驟6.6），如下所示：

如果在專案開始日期之前進行採樣以確定基線：

$$SoilC_s = SoilC_s \cdot (1 + (ci - 0.1)) \quad (5.4)$$

參數	定義
$SoilC_s$	分區/層 s 中的土壤碳總量, t
ci	在 90% 信心水準下計算的信賴區間

如果在專案開始後進行採樣，以確定專案情境下的土壤碳：

$$SoilC_s = SoilC_s \cdot (1 - (ci - 0.1)) \quad (5.5)$$

參數	定義
$SoilC_s$	分區/層 s 中的土壤碳總量, t
ci	在 90% 信心水準下計算的信賴區間

步驟6.6 計算分區/層中的土壤碳總量

分區/層的土壤碳總量將用以下公式計算。

$$SoilC_s = \left(\sum_{y_s} (SC_y) \cdot \#y_s^{-1} \cdot A_s \cdot 10^{-3} \right) - AC_{s,t} \quad (5.6)$$

參數	定義	單位
$SoilC_s$	分區/層 s 中的土壤碳總量	
y_s	分區/層 s 中的樣地	
$\#y_s$	分區/層 s 中的樣地數量	
SC_y	樣地 y 中每平方公尺的平均土壤碳	kg/m ²
A_s	分區/層 s 的面積	m ²
10^{-3}	從 kg 到 t 的轉換	
$AC_{s,t}$	在時間 t 在分區/層 s 中作為計入的改良劑添加到土壤中的碳	

註：參見步驟6.3以確定變量 AC_y 的值。必須扣除從專案開始到計算時所施用的所有計入的改良劑中的碳。

參數

數據與參數表1

數據/參數	ts
數據單位	g/cm^3
描述	土壤重量
數據來源	採樣計算
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	1 cm ² 柱子中土壤的總重量
其他說明	

數據與參數表2

數據/參數	l
數據單位	#
描述	樣地中發現的土壤層
數據來源	樣地數據
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	樣地中發現的各種土壤層，根據質地、密度、土壤有機碳含量或其他特徵進行區分。
其他說明	

數據與參數表3

數據/參數	sd_x
數據單位	cm
描述	土壤層厚度
數據來源	樣地測量
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	土壤層x在計算深度以上的深度（厚度）
其他說明	

數據與參數表4

數據/參數	$sdens_x$
數據單位	g/cm^3
描述	土壤總體密度
數據來源	從現場樣本測量
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	土壤層x的總體密度
其他說明	

數據與參數表5

數據/參數	E
數據單位	平均值的百分比
描述	允許誤差
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	例如平均值的 $\pm 10\%$
其他說明	

數據與參數表6

數據/參數	t
數據單位	無量綱
描述	t 值
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	信賴區間的學生 t 檢定值（例如：90%）。
其他說明	

數據與參數表7

數據/參數	L
數據單位	#
描述	分區/層數量
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	待採樣區域的分區/層類型總數
其他說明	

數據與參數表8

數據/參數	sh
數據單位	取決於估算的變量
描述	估算標準偏差
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	分區/層 h 的估計標準偏差
其他說明	

數據與參數表9

數據/參數	Ch
數據單位	\$
描述	在分區/層中選擇和採樣一個樣地的成本
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	在分區/層中選擇和採樣一個樣地的成本
其他說明	

數據與參數表10

數據/參數	N
數據單位	#
描述	樣本總數
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	樣本單元數量（所有分區/層） $N=\sum N_h$
其他說明	

數據與參數表11

數據/參數	N_h
數據單位	#
描述	每分區/層樣本數
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	分區/層h的樣本單元數，通過分區/層h的面積除以每個樣地的面積來計算。
其他說明	

數據與參數表12

數據/參數	W_h
數據單位	無量綱
描述	分區/層中的樣本占樣本總量的比例
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	N_h/N
其他說明	

數據與參數表13

數據/參數	SC_y
數據單位	kg/m ²
描述	每平方公尺的碳量
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	在樣地 y 到指定深度的每平方公尺土壤碳總測量值
其他說明	

數據與參數表14

數據/參數	x
數據單位	#
描述	土壤層數量
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	測量的土壤層數量
其他說明	

數據與參數表15

數據/參數	l
數據單位	#
描述	土壤層
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	土壤層
其他說明	

數據與參數表16

數據/參數	sd_l
數據單位	cm
描述	土壤層厚度
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	土壤層 l 的深度（厚度）
其他說明	

數據與參數表17

數據/參數	<i>LCF%</i>
數據單位	%
描述	大粗粒碎片的百分比
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	由大粗粒碎片組成的土壤體積的百分比
其他說明	

數據與參數表18

數據/參數	<i>sdens_l</i>
數據單位	g/cm ³
描述	土壤層l的平均總體密度
數據來源	
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	土壤層l的總體密度
其他說明	

數據與參數表19

數據/參數	<i>%OSC_l</i>
數據單位	%
描述	土壤層l的有機碳百分比
數據來源	現場樣本的實驗室測試
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	土壤層l的有機碳百分比，在實驗室測量從樣地收集的土壤樣本所得
其他說明	

數據與參數表20

數據/參數	<i>iscg_l</i>
數據單位	Tonnes
描述	以 CO ₂ 形式排放的無機土壤碳重量
數據來源	現場樣本的實驗室測試
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	在實驗室酸測試期間以 CO ₂ 形式排放的無機土壤碳重量
其他說明	

數據與參數表21

數據/參數	m_{iscl}
數據單位	Kg
描述	使用酸測試的樣本重量
數據來源	被測樣本的實驗室測量
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	土壤層 1 用酸測試的樣本重量
其他說明	

數據與參數表22

數據/參數	12/44
數據單位	無量綱
描述	從 CO ₂ 到 C 的轉換
數據來源	元素週期表
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	從 CO ₂ 到 C 的轉換
其他說明	

數據與參數表23

數據/參數	$AC_{S,t}$
數據單位	公噸
描述	土壤改良劑中的碳
數據來源	應用於含碳土壤改良劑的估算
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	t 在時間 t 作為計入的改良劑添加到土壤中的碳
其他說明	

數據與參數表24

數據/參數	$\#y_s$
數據單位	#
描述	樣地數
數據來源	現場數據
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	分區/層 s 中的樣地數
其他說明	

數據與參數表25

數據/參數	A_s
數據單位	m^2
描述	分區/層面積
數據來源	使用 GPS 或其他類似精度的方法測量
選擇數據的理由或對所用測量方法和程序的描述：	分區/層s的面積
其他說明	

VMD0021參考文獻和其他資訊

Burt, Rebecca, Editor 2004, Soil Survey Investigation Report No. 42, Soil Survey Laboratory Methods Manual, version 4.0, Natural Resources Conservation Services, USDA, Lincoln, NE, 700p³

Hillel, D, 1980 Fundamentals of Soil Physics, Academic Press, New York, 413 p

Kabata-Pendias, A. and H. Pendias, 1985, Trace Elements in Soils and Plants. CRC press, Boca Raton, FL. 315 p

Lal, R., T.M. Sobecki, T. Iivari, and J.M. Kimble, 2004, Soil Degradation in the United States—Extent, Severity, and Trends. Lewis Publishers, Florida (USA), CRC Press LLC, 204 p

Lal, R, J.M. Kimble, R.F. Follett, B.A. Stewart, 2001, Assessment Methods for Soil Carbon. Lewis Publishers, Florida (USA), CRC Press LLC, 676p

Moffitt, F, and H. Bouchard, 1975, Surveying, sixth edition. In text Educational Publishers, NY 879p

Muller-Dombois, D. and H. Ellenberg, 1974, Aims and Methods of Vegetation Ecology, John Wiley and Sons, NY. 547p

Soil Survey Investigations Report 45, Soil Survey Laboratory Information Manual 1995, USDA, NRCS. National Soil Survey Center, Soil Survey Laboratory, Lincoln, NE, 305p

USDA, 1999, Soil Taxonomy- A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, second edition, Agricultural Handbook 436, Superintendent of Documents, USDA Government Printing Office, Washington, DC, 20402

USDA 2010, Field Indicators of Hydric Soils in the United States: A Guide for Identifying and Delineating Hydric Soils, Version 7.0,

Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 4.0. Natural Resources Conservation Service, USDA, November 2004

Wenger, K.F. (ed). 1984. Forestry handbook (2nd edition). New York: John Wiley and Sons.

附錄3：估算CH₄與N₂O排放係數預設值

本附錄為「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)及國家溫室氣體清冊報告2023版之數據，專案計算時應引用最新版數據為準

表1、N₂O直接排放係數(IPCC 2006年國家溫室氣體清冊指南2019修訂版第四卷第十一章 Table 11.1)

排放係數	IPCC2019				
	合計		分類		
	預設值	不確定性範圍	部分	預設值	不確定性範圍
施用化學氮肥、有機肥和作物殘體以及土壤碳損失引起的礦質土壤中N ₂ O-N排放的排放係數(EF ₁ , 公斤/公斤)	0.01	0.002-0.018	濕潤氣候中的合成肥料輸入	0.016	0.013-0.019
			濕潤氣候中的其他氮輸入	0.006	0.001-0.011
			乾燥氣候中的所有氮輸入	0.005	0.000-0.011
水稻田N ₂ O-N排放的排放係數(EF _{1FR} , 公斤/公斤)	0.004	0.000-0.029	連續性淹水	0.003	0.000-0.010
			單一排水和多次排水	0.005	0.000-0.016

表2、N₂O間接排放係數「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第四卷第十一章Table 11.3)

排放係數	IPCC2019				
	合計		分類		
	預設值	不確定性範圍	部分	預設值	不確定性範圍
氮揮散和再沉降後氮的 N ₂ O-N 排放係數(EF ₄ ，公斤/公斤)	0.010	0.002 - 0.018	潮濕氣候	0.014	0.011-0.017
			乾燥氣候	0.005	0.000-0.011
氮淋洗和逕流引起的 N ₂ O-N 排放的排放係數(EF ₅ ，公斤/公斤)	0.011	0.00 - 0.02	-	.	-
以 NH ₃ 和 NO _x 形式揮散的化肥氮量比例(Frac _{GASF} ，公斤/公斤)	0.11	0.02 - 0.33	尿素	0.15	0.03-0.43
			銨基	0.08	0.02-0.30
			硝酸鹽基	0.01	0.00-0.02
			硝酸銨基	0.05	0.00-0.20
以 NH ₃ 和 NO _x 形式揮散的氮與施用的有機肥氮量（F _{ON} ）和放牧牲畜排泄的尿液和糞便氮量比例（F _{PRP} ）(Frac _{GASM} ，公斤/公斤)	0.21	0.00 - 0.31	-	-	-
農業土壤中通過淋洗和逕流所流失的氮量佔總施用氮量的比例(Frac _{LEACH-(H)} ，公斤/公斤)	0.24	0.01 - 0.73	-	-	-

表3、水稻CH₄排放係數「2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories」(IPCC, 2019)第四卷第五章 Table 5.11)

排放係數	IPCC2019				
	全球估算值		區域性		
	預設值	誤差範圍	地區	預設值	誤差範圍
甲烷排放量 (kg CH ₄ /ha/d)	1.19	0.80-1.76	非洲	1.19	0.80-1.76
			東亞	1.32	0.89-1.96
			東南亞	1.22	0.83-1.81
			南亞	0.85	0.58-1.26
			歐洲	1.56	1.06-2.31
			北美洲	0.65	0.44-0.96
			南美洲	1.27	0.86-1.88

表4、臺灣各地區水稻甲烷排放係數(國家溫室氣體排放清冊，2023)

地區	期作	各期作甲烷排放係數		
		排放係數(毫克/ 平方公尺/時)	日排放係數(公斤/ 公頃/天)	期作排放係數(公斤/公頃/ 期)
台北、基隆	一期稻	2.12	0.5088	69.1968
	二期稻	4.85	1.1640	144.3360
宜蘭	一期稻	0.69	0.1656	22.5216
	二期稻	8.93	0.9331	115.7069
桃園、新竹	一期稻	0.89	0.2136	29.0496
	二期稻	4.15	0.9960	123.5040
苗栗	一期稻	2.92	0.7008	95.3088
	二期稻	13.70	0.9331	115.7069
台中、彰化、 南投	一期稻	1.13	0.2713	36.9000
	二期稻	6.07	1.4565	180.6000
雲林、嘉義、 台南	一期稻	1.84	0.4419	60.1000
	二期稻	5.88	1.4113	175.0000
高雄、屏東	一期稻	0.82	0.1968	26.7648
	二期稻	2.94	0.7056	87.4944
花蓮、台東	一期稻	2.11	0.5064	68.8704
	二期稻	4.21	1.0104	125.2896

註：本土排放係數係量測慣行管理水田之甲烷排放，水稻以聯合收穫機收穫後殘體均留於田中，下期作耕種前再犁入田中。

附錄4：土壤碳庫量測不確定性的估算

一、可能造成不確定性的項目包含：

1. **樣品收集和準備**: 不同的樣品收集方法可能會引入不同的變異性。確保樣品收集遵循標準化程序是降低不確定性的第一步。
2. **樣本數量的不確定性**: 根據抽樣理論，不同樣本數量會影響估計的精度。增加樣本數量通常可以減少不確定性。
3. **分析方法的選擇**: 土壤有機碳的分析方法多種多樣，如乾燒法、激光散射等。不同的方法會對結果的準確性產生不同的影響，需要根據研究需求選擇最適合的方法。
4. **樣品處理過程的不確定性**: 如樣品的均質性、取樣方法等，都會引入不確定性。
5. **實驗室技術**: 實驗室中的技術水平和操作流程也會影響結果的精確性。良好的質量控制和質量保證程序是減少不確定性的關鍵。
6. **標準物質的不確定性**: 使用標準物質進行校準時，標準物質本身的不確定性也會影響測量結果。
7. **測量設備的不確定性**: 每種分析儀器都有其特定的不確定性，例如儀器校準誤差、讀數誤差等。測量設備的不確定性分析步驟如下:

(1) 校準與驗證：

定期校準測量設備，確保其在標準範圍內運行。

使用標準樣品和參考物質來驗證測量結果的準確性。

(2) 確定各種不確定性來源：

系統誤差 (Systematic Errors): 由儀器校準、環境條件或操作人員引起的偏差。

隨機誤差 (Random Errors): 由測量過程中的隨機變動引起的誤差。

重複性 (Repeatability): 在相同條件下進行多次測量的變異性。

再現性 (Reproducibility): 在不同條件 (如不同操作者、不同設備等) 下進行測量的變異性。

(3) 量化不確定性：

通過統計分析量化各個不確定性來源。

使用標準差或變異係數來表示隨機誤差。

使用系統偏差來表示系統誤差。

二、不確定性計算方法

不確定性通常可以通過統計方法來評估，例如重複分析、標準偏差、信賴區間等。常見的方法包括計算標準偏差或使用敏感度分析來評估各種影響因素的相對貢獻。

1. 標準偏差的計算：

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

其中， x_i 是每個測量值， $\bar{x}$ 是平均值， n 是樣本數。

2. 信賴區間 (Confidence Interval)

常見的信賴區間包括68% (一個標準差)、95% (兩個標準差) 和99.7% (三個標準差)。

95% 信賴區間的計算：

$$\text{信賴區間} = \bar{x} \pm t_{\alpha/2} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

其中， $t_{\alpha/2}$ 是自由度 n -和顯著性水準 α 下的 t 分布臨界值。

3. 計算各單獨誤差源的標準不確定性 (u_i)：

$$u_i = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

4. 合成標準不確定性 (u_c)：

將所有獨立的不確定性源按照平方和的方式合併計算

$$u_c = \sqrt{\sum_i u_i^2}$$

5. 擴充不確定性 (U)：根據需要，可以將合成標準不確定性乘以一個涵蓋因子 (coverage factor, k)，以獲得更高信心水準的擴展不確定性：

$$U = k \cdot u_c$$

通常選擇 $k = 2$ ，對應約95%的信賴區間。

6. 相對擴充標準不確定度 ($u_r(U)$)

$$u_r(U) = \frac{U}{\bar{x}}$$

三、不確定性之判別

依據本方法學在核算「移除」額度時需扣除不確性估算，因此若不確定性太高，將影響核算額度，故依據不確定性之結果，規範採取重新採樣之準則。若不確定性計算之結果大於 0.5 (即 50%)，則應重新採樣，若小於 0.5，則申請者可依需求評估是否要進行重新採樣。

其閾值設定為 0.5 之原因說明如下：

考量其不確定性係以變異係數(Coefficient of variation, CV)呈現，由於其母體分布未知，故參考柴比雪夫不等式推導其機率分布之下界：

- a. 數據落在距平均值 2 個標準差以外之機率為 0.25(即 CV=0.4)
- b. 數據落在距平均值 2.5 個標準差外之機率為 0.16(即 CV=0.5)
- c. 數據落在距平均值 3 個標準差外之機率為 0.11(即 CV=0.6)

考量距平均值 2 個標準差(CV=0.4)的狀況仍有 0.25 的機率，表示仍有可能發生。但距平均值 3 個標準差(即 CV=0.6)又流於過度寬鬆，失去規範之意義，故本方法學建議採用距平均值 2.5 個標準差，即 CV=0.5 (或 50%)作為閾值之設定。

依據本方法學所研提之專案範例，顯示專案在長期實施增加土壤碳匯的措施下，每年增加的碳匯平均值約是 10 g/kg；而標準差約為 2 g/kg，其不確定性約為 0.2，故以上之

規範應具可行性。

四、不確定性扣除計算方法

為符合保守性扣除原則，可以進行不確定性扣除額之計算，專案邊界內各項碳源或碳庫的不確定性扣除都須分別估算，此扣除額採用超出機率法(Probability of exceedance method)進行估算，如下所示：

$$UNC_{\bar{\Delta}_t} = \left(\frac{\sqrt{S_{\bar{\Delta}_t}^2}}{\bar{\Delta}_t} \times 100 \right) \times t_{0.6667}$$

參數	定義	單位
$UNC_{\bar{\Delta}_t}$	各項碳源或碳庫的不確定性扣除額，適用於驗證週期 t	%
$\bar{\Delta}_t$	整個專案邊界內個別碳排或碳庫的平均 ERR	t CO ₂ e/ha
$\sqrt{S_{\bar{\Delta}_t}^2}$	各項碳源或碳庫的特定時間平均 ERR 估計值的變異數	t CO ₂ e/ha
$t_{0.6667}$	單尾學生氏 t 分布在 0.6667 (66.67%) 的信賴區間內的 t 值 (自由度視抽樣設計而定)，在大樣本下約等於 0.4307	-

此不確定性扣除是基於碳源或碳庫所估計的機率密度函數中定義之閾值，使得評估專案造成之各項碳源或碳庫的減少或移除在多大程度上可預期是準確的。本方法學設定之閾值為 66.67%，表示可評估 $\bar{\Delta}_t$ 的估計值中有多少百分比有 66.67% 的機率超過 $\bar{\Delta}_t$ 的真實值，據以用作不確定性扣除額之依據（圖1）。

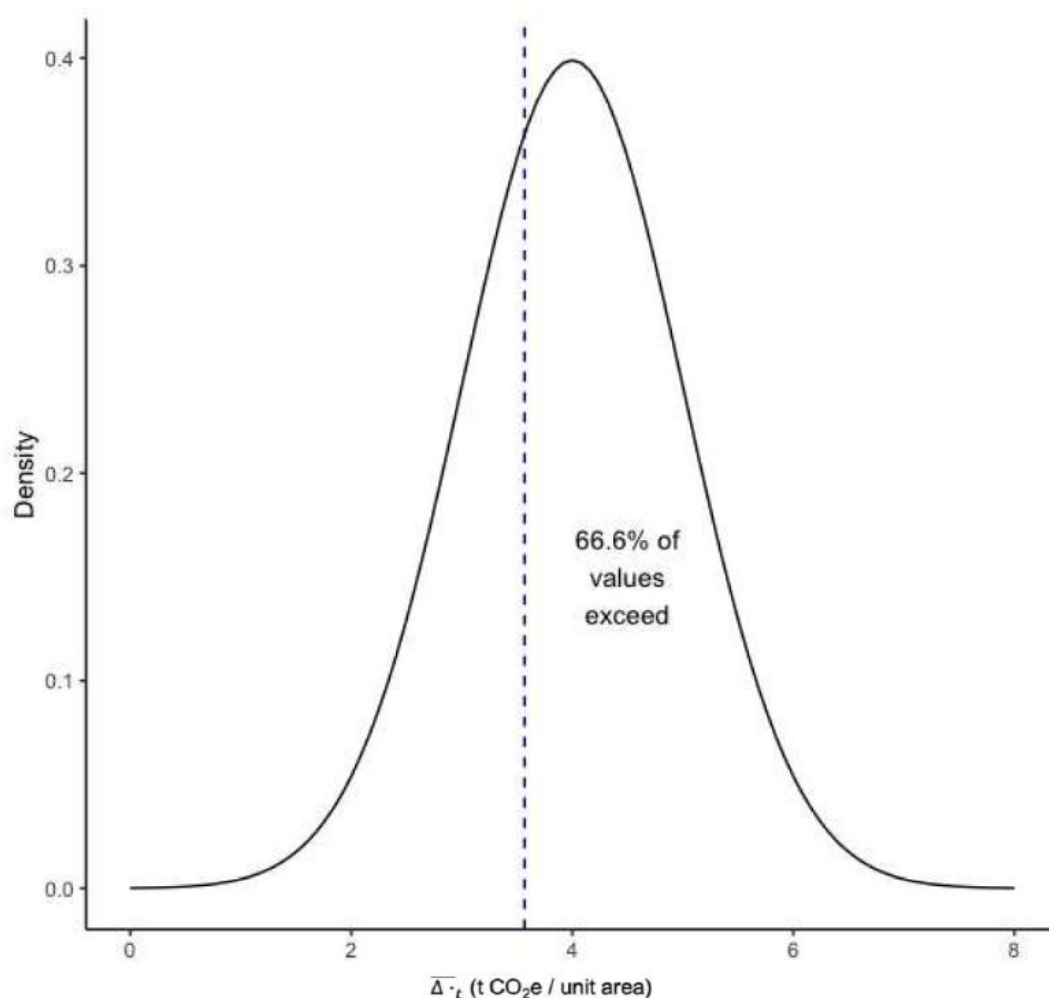


圖1. 機率密度函數和不確定性扣除

五、相關文獻

1. Batjes, N. H. (1996). "Total carbon and nitrogen in the soils of the world." *European Journal of Soil Science*, 47(2), 151-163.
2. Conant, R. T., et al. (2011). "Measuring and monitoring soil organic carbon stocks in agricultural lands for climate mitigation." *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(3), 169-173.
3. Ellert, B. H., Janzen, H. H., & McConkey, B. G. (2001). "Measuring and comparing soil carbon storage." *Soil Processes and the Carbon Cycle*, 131-146.
4. "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (Joint Committee for Guides in Metrology, 2008):
5. "Guidelines for Soil Sampling and Methods of Analysis" (Soil Science 土壤有機碳 iety of America, 2016):
6. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006):
7. Kyoto Protocol." *Soil Use and Management*, 23(3), 246-259.
8. Paustian, K., et al. (1997). "Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions." *Soil Use and Management*, 13(s4), 230-244.
9. Post, W. M., & Kwon, K. C. (2000). "Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential." *Global Change Biology*, 6(3), 317-327.
10. "Uncertainty in Soil Data and Models" (Springer, 2008):

11. Verra(2024). VM0042 Model Calibration, Validation, and Uncertainty Guidance for the Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.1
12. Smith, P., et al. (2007). "Measurement of soil organic carbon stocks and change in the context of the

減量方法資料

版次	日期	修訂記錄
01.0	114年3月20日	「環境部溫室氣體抵換專案及自願減量專案審議會第14次會議」決議審核通過。