
AR-TMS0003

小規模減量方法

竹林經營碳匯專案

Carbon Sink Project for Bamboo Forest Management

版本 01.0

範疇別：B-11 林業

-目錄-

I. 減量方法提案緣起及背景.....	1
II. 既有減量方法差異說明.....	2
III. 減量方法計算式設計概念.....	8
IV. 小規模減量方法.....	8
1. 介紹.....	8
2. 範疇、適用條件及生效日.....	9
2.1 範疇.....	9
2.2 適用條件.....	9
2.3 生效日.....	9
3. 名詞定義.....	9
4. 專案邊界及土地合格性.....	10
5. 外加性.....	12
6. 基線移除或排放.....	12
6.1 基線竹林生物量碳儲存變化量.....	13
6.2 基線收穫竹產品的碳儲存變化量.....	18
7. 專案移除或排放.....	20
7.1 專案活動竹林生物量碳儲存變化量.....	20
7.2 專案邊界內收穫竹產品的碳儲存變化量.....	25
7.3 收穫搬出竹材的運輸碳排放量.....	29
7.4 專案邊界內非二氧化碳溫室氣體排放量.....	29
8. 洩漏排放.....	30
9. 淨移除量.....	31
9.1 預設之數據與參數說明.....	31
10. 監測方法.....	34
10.1 應監測之數據及參數說明.....	36
V. 附表.....	41
VI. 引用文獻.....	46

I. 減量方法提案緣起及背景

在淨零排放途徑中，採用以自然為本之解決方案(Nature-based Solutions, NbS)來增加自然碳匯(Carbon Sink)，已受到各國重視與全力推動。竹類碳儲存能力逐漸被重視，主要是因為竹類生長速度快的特性，能替代木質生物量作為生質能源和儲存大氣中二氧化碳的能力佳，經過適當經營，每年碳吸存量可高於人工林，竹林被視為可永續性移除二氧化碳的自然資源。臺灣擁有豐富竹類資源，根據第四次森林資源調查資料，約占全島林地面積6%，若能妥善經營竹林，對二氧化碳移除貢獻將不可小覷(Charlotte et al., 2021)。因此，鼓勵竹農及企業參與竹林經營自願減量專案，進而取得減量額度為促進竹林經營的誘因之一。

臺灣竹林種類多元且豐富，如何衡量不同類型竹林經營所增加的碳匯效益，則需透過減量方法建立指導原則。臺灣竹林經營多為小規模，其經營活動條件較符合CDMAR-AMS0007減量方法。另考量國內竹林現況、條件與實際操作方式，佐以歷年竹林調查及研究成果，研提適用國內竹林經營碳匯專案減量方法，以確保竹林經營自願減量專案所產生的碳移除量達到可量測、可報告及可驗證(Measurable, Reportable, Verifiable, MRV)之要求。

II. 既有減量方法差異說明

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 【AR-TMS0003/竹林經營碳匯專案】	既有減量方法 【AR-AMS0007/不含濕地之小規模造林與再造林專案活動】
出處		AR-AMS0007 ver. 3.1
涉及之減量措施	竹林經營	造林/再造林
(1)適用條件	<p>1.【符合竹林定義】 實施專案的土地需符合竹林定義，即毗鄰面積大於 0.1 ha，成竹高度大於 2 m 及竹稈胸徑大於 2 cm，以竹類為主的植物群落。散生型竹林，竹類佔林分 50%以上；叢生型竹林，竹類佔林分 20%以上。</p> <p>2.【規範竹林經營範圍】 本減量方法規範以竹林為主之竹林經營專案，實施專案應符合竹林定義、範疇與土地合格性之要求。</p> <p>3.【規範竹林經營範圍內之喬木】 本減量方法規範專案邊界內的喬木，除基於森林保護之必要措施外，不得伐除。</p> <p>4.【規範土壤擾動及經營措施之合法】 本減量方法規範專案期間的土壤管理，除經營上之必要外(如病株移除等)，不採用深翻根株之方式。專案期間允許竹林經營相關措施，其措施須符合竹林經營及水土保持相關規範要求。</p> <p>5.【專案規模內容】 本減量方法符合國內「溫室氣體自願減量專案管理辦法」第 8 條第 2 項第 3 款溫室氣體每年排放量總減量小於或等於二萬(20,000)公噸二氧化碳當量(tCO₂e)，其內容得僅分</p>	<p>1.其土地類型適用於「濕地以外」之造林與再造林專案活動。</p> <p>2.若專案邊界涵蓋下列土地類型，其土壤擾動面積不應超過 10%：(1)有機質土壤；(2)農地及草地的土地利用及管理方式符合本減量方法所列之標準，依據我國會出現的氣候型態，需限制擾動面積的土地類型，包括短期耕作且有施肥的農田、廢耕農田、沒有退化的草地及中度退化的草地等，詳細請參照此減量方法的附件2及附件3。</p> <p>3.符合聯合國清潔發展機制(CDM)下「小規模」之造林與再造林規範。</p> <p>4.適用於2000年1月1日(含)以後開始造林的專案活動。</p>

差異說明	本減量方法 【AR-TMS0003/竹林經營碳匯專案】	既有減量方法 【AR-AMS0007/不含濕地之小規模造林與再造林專案活動】
	析法規外加性，且專案淨移除量需為正值。	
(2)專案邊界	<p>1. 【規範專案邊界範圍】</p> <p>(1)專案邊界指專案申請者實施竹林經營作業的地理範圍，包括竹產品生產地點(即伐採竹稈時之竹林地)。</p> <p>(2)專案範圍可為不同分散土地，各竹林地毗鄰面積皆應大於 0.1 公頃。</p> <p>(3)提供專案邊界內所有土地地籍資料(如土地權屬證書、地籍圖等)，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。</p> <p>2. 【符合土地合格性】</p> <p>專案申請者提供以下證明文件，證明於專案起始前 5 年至今，其土地利用狀態已是竹林：</p> <p>(1)代表過去土地利用狀況的航照正射影像圖，並檢附拍攝日期之時間證明。</p> <p>(2)合法土地基本資料</p> <p>3. 【為土地權利關係人之證明】</p> <p>專案申請者須提供專案邊界內所有土地之所有權或使用權的有效證明文件。</p>	<p>1.專案邊界是指專案申請者實施造林與再造林專案活動之地理範圍，專案活動可包含多筆分散的土地，每筆土地應有地理位置識別，並依據CDM土地合格性分析步驟，證明專案邊界內之土地皆符合土地格性要求。</p> <p>2.專案活動土地須於1989年12月31日以後任何時期皆處於非森林地狀態。</p>
(3)基線移除或排放(含基線移除或排放計算式)	<p>1. 【竹林經營之目標主體】</p> <p>依臺灣竹生長類別區分單稈散生及合軸叢生，本減量方法以收穫竹稈為主之竹林經營活動，散生竹以桂竹及孟宗竹為主，叢生竹以蔴竹及長枝竹為主。</p> <p>2. 【調整基線碳匯量計算方式】</p> $\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{BM_BSL,t} + \Delta C_{HBP_BSL,t}$	<p>1.碳庫計算項目為地上部及地下部生物量，而枯死木、枯落物及土壤有機碳可選擇是否納入計算。</p> <p>2. $\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t} + \Delta C_{SHRUB_BSL,t} + \Delta C_{DW_BSL,t} + \Delta C_{LI_BSL,t}$</p> <p>$\Delta C_{BSL,t}$：第 t 年基線碳匯量</p> <p>$\Delta C_{TREE_BSL,t}$：第 t 年時，專案邊</p>

差異說明	本減量方法 【AR-TMS0003/竹林經營碳匯專案】	既有減量方法 【AR-AMS0007/不含濕地之小規模造林與再造林專案活動】
	<p>$\Delta C_{BSL,t}$：第 t 年基線碳匯量</p> <p>$\Delta C_{BM_BSL,t}$：第 t 年時，專案邊界內基線竹林生物量碳儲存的年變化量</p> <p>$\Delta C_{HBP_BSL,t}$：第 t 年時，專案邊界內基線情境下收穫竹產品碳儲存的年變化量</p> <p>3.【地上部生物量計算方式】</p> <p>本減量方法之基線地上部生物量計量方式，排除生長發育階段(指未成林階段)之竹林，以成熟穩定階段(指成林階段)之竹林為竹林經營範圍。</p> <p>在成熟穩定階段(指成林階段)的計量部分，竹林地上生物量達到動態平衡狀態，成熟穩定階段的碳儲存變化量得忽略不計。若可提供足以證明竹林超過 5 年以上未伐採經營之資料佐證，基線情境亦為成熟穩定階段，符合 CDM 方法學現存木質生物量變化不顯著及保守性原則，基線得忽略不計。惟為求精確，仍建議於專案執行前以現地調查資料作為基線設定估算原則。</p> <p>若為既有經營竹林，須提出 2 次專案執行前不同年度之生物量及伐採量等佐證資料，進行歷史基線估算。或設立動態樣區(對照樣區)，於專案活動實施時於專案邊界範圍內設立具代表性的對照樣區(即維持原有狀態)並進行監測。監測參數和資料項目必須和專案監測樣區一致，且符合監測方法規範。</p> <p>4.【不考慮地下部生物量計算】</p> <p>在基線情境下，成熟穩定階段(指</p>	<p>界內基線樹木生物量碳儲量的年變化量</p> <p>$\Delta C_{SHRUB_BSL,t}$：第 t 年時，專案邊界內基線灌木生物量碳儲量的年變化量</p> <p>$\Delta C_{DW_BSL,t}$：第 t 年時，專案邊界內基線枯死木生物量碳儲量的年變化量</p> <p>$\Delta C_{LI_BSL,t}$：第 t 年時，專案邊界內基線枯落物生物量碳儲量的年變化量</p> <p>3.草本植被之移除、化石燃料燃燒、施肥活動、木頭之使用、落葉分解、樹木細根之固氮作用、專案邊界內連接道路之建設、及專案活動中的交通活動所造成之溫室氣體排放皆被視為影響細微，因此計算時為 0。</p> <p>4.基線情境之確認及外加性驗證 (1)基線為「持續專案實施前之土地使用」；(2)專案申請者應使用本減量方法附錄一之障礙分析項目及使用適用其專案之已批准標準化基線證明專案具外加性。</p>

差異說明	本減量方法 【AR-TMS0003/竹林經營碳匯專案】	既有減量方法 【AR-AMS0007/不含濕地之小規模造林與再造林專案活動】
	<p>成林階段)之竹林地下部生物量碳儲存變化量不大，符合 CDM 提出的「基線現存木質生物量變化不顯著評估原則」，忽略不計。</p> <p>5. 【新增收穫竹產品碳儲存量計算】 在基線情境下，超過 5 年以上未伐採與經營之竹林，無收穫竹材，收穫竹產品碳儲存量得忽略不計；若有竹材伐採情況，應提供資料納入計算。</p> <p>6. 【不考慮土壤有機碳碳儲存量計算】 在基線情境下，土壤有機碳儲存變化量不大，符合 CDM 提出的「基線現存木質生物量變化不顯著評估原則」，忽略不計。</p>	
(4)專案移除或排放(含專案移除或排放計算式)	<p>1. 【專案碳匯量計算方式】</p> $\Delta C_{AT,t} = \Delta C_{P,t} - E_{CO_2,P,t} - GHG_{E,t}$ $= \Delta C_{BM,P,t} + \Delta C_{HBP,P,t} - E_{CO_2,P,t} - GHG_{E,t}$ <p>$\Delta C_{AT,t}$：第 t 年專案碳匯量 $\Delta C_{P,t}$：第 t 年專案邊界內所選碳庫之碳儲存年變化量 $\Delta C_{BM,P,t}$：第 t 年時，專案邊界內專案竹林生物量碳儲存年變化量 $\Delta C_{HBP,P,t}$：第 t 年時，專案邊界內專案情境下收穫竹產品碳儲存的年變化量 $E_{CO_2,P,t}$：第 t 年，收穫搬出竹材的運輸碳排放量 $GHG_{E,t}$：第 t 年專案活動引起的非二氧化碳溫室氣體排放的年增加量</p> <p>2. 【地上部生物量計算方式】 專案地上部生物量計量方式，將竹</p>	<p>1. $\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t}$</p> $= \Delta C_{TREE_PROJ,t} + \Delta C_{SHRUB_PROJ,t} + \Delta C_{DW_PROJ,t} + \Delta C_{LI_PROJ,t} + \Delta C_{SOCAL,t} - GHG_{E,t}$ <p>$\Delta C_{ACTUAL,t}$：第 t 年專案碳匯量 $\Delta C_{P,t}$：第 t 年專案邊界內所選碳庫之碳儲量年變化量 $\Delta C_{TREE_PROJ,t}$：第 t 年時，專案邊界內專案樹木生物量碳儲存年變化量 $\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$：第 t 年時，專案邊界內專案灌木生物量碳儲存年變化量 $\Delta C_{DW_PROJ,t}$：第 t 年時，專案邊界內專案枯死木生物量碳儲存年變化量 $\Delta C_{LI_PROJ,t}$：第 t 年時，專案邊</p>

差異說明	本減量方法 【AR-TMS0003/竹林經營碳匯專案】	既有減量方法 【AR-AMS0007/不含濕地之小規模造林與再造林專案活動】
	<p>林經營分為結構調整及結構穩定等 2 種不同階段分別進行計算。</p> <p>在結構調整階段，計量方式分為生物量推估模式與重量法 2 種；在結構穩定階段的計量部分，竹林地上生物量達到動態平衡狀態，碳儲存變化量得忽略不計。</p> <p>3.【不考慮地下部生物量計算】 本減量方法之適用條件，規範專案期間的土壤管理，除經營上之必要外(如病株移除等)，不採用深翻根株之方式，對於地下部碳儲存變化量不大，得忽略不計。</p> <p>4.【新增收穫竹產品碳儲存量計算】 專案情境下，收穫竹稈(不包括竹筍)是竹林經營項目的主要碳匯來源。</p> <p>5.【新增收穫搬出竹材運輸碳排放量】 專案申請者應提供竹林地運輸至竹材集散地之距離和收穫搬出總重量等相關資料，並依實際運輸情境，選擇環境部最新公告之碳足跡排放係數，估算其收穫搬出竹材的碳排放量。</p> <p>6.【不考慮土壤有機碳儲存量計算】 本減量方法之適用條件，規範竹林經營之土壤管理除經營上的需要(如病株移除等)外，不採用深翻根株之方式，對於土壤有機碳儲存變化量不大，得忽略不計。</p>	<p>界內專案枯落物生物量碳儲存年變化量</p> <p>$\Delta SOC_{AL,t}$：第 t 年時，專案邊界內專案土壤有機碳儲量年變化量</p> <p>$GHG_{E,t}$：第 t 年專案活動引起的非二氧化碳溫室氣體排放的年增加量</p> <p>2. $LK_t = LK_{AGRIC,t}$</p> <p>LK_t：第 t 年，洩漏所排放之溫室氣體</p> <p>$LK_{AGRIC,t}$：第 t 年，農業活動移轉所導致之洩漏</p>
(5)監測方法/參數	<p>1.【監測時間與週期】 專案註冊前進行竹林資源調查及申請查證前進行樣區設置及監測，竹</p>	<p>1. 監測計畫應蒐集相關之資料以利：</p> <p>(1) 驗證專案適用條件是否達</p>

差異說明	本減量方法 【AR-TMS0003/竹林經營碳匯專案】	既有減量方法 【AR-AMS0007/不含濕地之小規模造林與再造林專案活動】
	<p>林每 3-5 年進行監測調查，在當年度監測完成前，避免進行伐採作業。</p> <p>2. 【監測計畫調查方法】 監測計畫之方法可參照已公開發表或正式出版森林碳匯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。</p> <p>3. 【列出應監測及預設參數與數據】 列出應監測及預設的參數與數據，包括竹稈的直接測量數據，且基線與專案情境採用之各參數及碳儲存量計算公式須保持一致。其中預設的參數與數據採用歷史資料或公開發表之預設數據與參數(如各竹種單稈地上部生物量與胸徑的推估模式、各竹種含碳率、竹稈用於各類竹產品利用率等)，須說明資料來源及可代表現地調查之適用性。</p> <p>4. 【資料保存程序】 所有監測過程中蒐集的數據與資料，包括 QA/QC 資料，皆須以電子檔或紙本方式保存，且保存至最後一次核發減量額度後 2 年。</p>	<p>到前述條列之適用性</p> <p>(2) 驗證選擇納入計算之碳庫碳存量之變化</p> <p>(3) 驗證專案排放量及洩漏蒐集之資料須歸檔並在專案活動之最終計入期後至少保存 2 年以上。</p> <p>2. 監測專案之實行相關資訊應記錄於專案計畫書中，以便能建立普遍通用之森林盤點原則和管理做法。若此原則和做法還未知或未採行，則必須確定、紀錄、使用由盤查操作得出之標準實行步驟(SOP)、品質控制/保證(QA/QC)，其中亦包含田野資料之蒐集管理。SOP 之使用或改編可參考已發行手冊、或以政府間氣候變遷專家小組發布之 2003 年土地利用、土地利用畫畫及森林執行指引 (IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry 2003) 為主。</p> <p>3. 精密度之要求列於「評估 CDM 造林專案活動中樹木與灌木之碳存量及其變化量工具 (Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities)」中。</p> <p>4. 資料及參數之描述可在此方法學使用之工具中找到。由測量獲得之數據和參數應根據工具中要求進行監測。</p>

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

項目	計算式	說明及參採來源
(1)基線移除量	$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{BM_BSL,t} + \Delta C_{HBP_BSL,t}$	<p>基線現存木質生物量變化不顯著評估原則，地下部生物量、枯死竹、枯落物及土壤有機碳的碳儲存變化量不大，得忽略不計。</p> <p>$\Delta C_{BSL,t}$：第 t 年竹林基線碳儲存變化量 $\Delta C_{BM_BSL,t}$：第 t 年時，專案邊界內基線竹林生物量碳儲存的年變化量 $\Delta C_{HBP_BSL,t}$：第 t 年時，專案邊界內基線情境下收穫竹產品碳儲存的年變化量</p>
(2)專案移除量	$\Delta C_{AT,t} = \Delta C_{P,t} - E_{CO_2_P,t} - GHG_{E,t}$	<p>專案期間枯死竹、枯落物及土壤有機碳的碳儲存變化量不大，得忽略不計。</p> <p>$\Delta C_{AT,t}$：第 t 年專案碳儲存變化量 $\Delta C_{P,t}$：第 t 年專案邊界內所選碳庫之碳儲存年變化量 $E_{CO_2_P,t}$：第 t 年，收穫搬出竹材的運輸碳排放量 $GHG_{E,t}$：第 t 年專案活動引起的非二氧化碳溫室氣體排放的年增加量</p>
(3)專案淨移除量	$\Delta C_{NET,t} = \Delta C_{AT,t} - \Delta C_{BSL,t}$	<p>專案淨移除量等於專案碳儲存變化量，減去基線碳儲存變化量，用以申請減量額度。</p> <p>$\Delta C_{NET,t}$：第 t 年專案淨移除量 $\Delta C_{AT,t}$：第 t 年專案碳儲存變化量 $\Delta C_{BSL,t}$：第 t 年基線碳儲存變化量</p>

IV. 小規模減量方法

1. 介紹

下表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	透過竹林經營增加碳匯量
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

竹林經營碳匯專案主要透過強化竹林經營以增加碳匯量。竹林經營主要活動除伐採更新作業外，另有撫育作業、立竹密度調整及維護竹林健康等項目。竹區分散生竹及叢生竹，有其不同的竹林經營模式，散生竹之地下莖具擴張性，竹林需伐採更新，利於新竹生長；叢生竹之老化竹根與地下莖會導致水分不易滲入土壤，其竹林更需撫育整理。本減量方法以收穫竹稈為主之竹林經營，散生竹以桂竹及孟宗竹為主，叢生竹以蔴竹及長枝竹為主。

2.2 適用條件

本減量方法適用於以增加碳匯量的竹林經營管理活動，其適用條件如下：

- (1) 本減量方法適用於以竹林為主之竹林經營專案，實施專案應符合竹林定義、範疇與土地合格性之要求。
- (2) 專案邊界內的喬木，除基於森林保護之必要措施外，不得伐除。
- (3) 專案期間的土壤管理，除經營上之必要外(如病株移除等)，不採用深翻根株之方式。
- (4) 專案期間允許竹林經營相關措施，其措施須符合竹林經營及水土保持相關規範要求。
- (5) 專案活動平均每年溫室氣體淨移除量應小於或等於二萬(20,000)公噸二氧化碳當量(tCO₂e)，且專案淨移除量需為正值。

2.3 生效日

生效日係以113年10月28日「環境部溫室氣體抵換專案及自願減量專案審議會第8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) **竹林(Bamboo Forest)**：毗鄰面積大於0.1 ha，成竹高度大於2 m及竹稈胸徑大於2 cm，以竹類為主的植物群落。散生型竹林，竹類佔林分50%

以上；叢生型竹林，竹類佔林分20%以上。

- (2) **竹林經營(Bamboo Forest Management)**：以竹林為主要經營型態，透過撫育作業、立竹密度調整及維護竹林健康之經營活動。(詳附表3)
- (3) **立竹密度(Stand Density)**：指單位面積內正常生長之活竹稈數(即排除病死竹、枯死竹、倒伏竹、老廢竹)。
- (4) **結構調整階段(Adjustment Period)**：竹林透過撫育、立竹密度調整及維護竹林健康等作業措施，對林分進行調整之期間。
- (5) **結構穩定階段(Stability Period)**：竹林透過新竹萌發、幼竹成長到成竹伐採更新達到林分動態平衡狀態。
- (6) **收穫竹產品(Harvested Bamboo Products)**：指利用收穫之成熟竹材(指竹稈部分)所產製的竹產品，主要分為建築強化結構物/室內家具、工藝品及其他用途等3類。
- (7) **碳儲存變化量(Carbon Stocks Change)**：專案邊界內所選碳庫的碳儲存狀態於不同年度間的變化量。

4. 專案邊界及土地合格性

本減量方法之專案邊界指專案申請者實施竹林經營作業的地理範圍。專案範圍可為不同分散土地，各竹林地毗鄰面積皆應大於 0.1 ha。在申請專案時，專案申請者應提出以下資料證明專案邊界範圍、土地合格性及為土地權利關係人。

- (1) **專案邊界範圍**：提供專案邊界內所有土地地籍資料(如土地權屬證明書、地籍圖等)，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。
- (2) **土地合格性**：專案申請者提供以下證明文件，證明於專案起始前5年至今，其土地利用狀態已是竹林：
 - A. 應提供可辨識土地利用狀況之高解析正射影像圖，並檢附拍攝日期之時間證明。

B. 合法土地基本資料，如土地清冊、所有權人登記或效期內租約等。

(3) 為土地權利關係人：在專案申請時，專案申請者須提供專案邊界內所有土地之所有權或使用權的有效證明文件。

(4) 專案邊界內竹林經營活動的碳庫計算，包括地上部生物量碳庫；收穫竹產品碳庫，則可選擇是否計算；地下部生物量、枯死木、枯枝落葉及土壤有機質等碳庫則忽略不計，如表四。

表四、專案邊界內竹林經營的碳庫選擇

碳庫	是否選擇	說明
地上部生物量	是	竹林經營的主要碳庫
地下部生物量	否	竹林經營對於地下部碳儲存變化量不大，基於保守性和成本有效性原則，忽略不計。
枯死竹、枯落物及土壤有機碳	否	施行竹林經營可能造成這些碳庫之碳儲存量增加，但並非主要碳庫，基於保守性和成本有效性原則，忽略不計。
收穫竹產品	是/否	竹林經營的主要碳庫。基線情境下，超過5年以上未伐採與經營之竹林，無收穫竹材，收穫竹產品碳儲存量得忽略不計；若有竹材伐採情況，應提供資料納入計算。專案情境下，專案申請者應提供足以證明之竹材伐採收穫與買賣憑證資料，並於官方認可之追溯系統登載，用以監測與估算收穫竹產品碳儲存變化量。

(5) 專案邊界內溫室氣體排放源的計算項目為收穫竹材搬出運輸之化石燃料碳排放及林分生物質燃燒，若專案執行期間無林分收穫搬出或無火災發生，得忽略不計，如表五。

表五、專案邊界內溫室氣體排放源的計算項目

溫室氣體	排放源	是否選擇	說明
CO ₂	化石燃料	是	收穫竹材從竹林地搬出至竹材集散地，交通運輸工具燃燒化石燃料產生的CO ₂ 排放量。

CH ₄	木本生物質 (包括竹類) 燃燒	是	竹林經營過程中，由於木本植被(包括竹類)生物質燃燒導致 CH ₄ 釋出。
N ₂ O		是	竹林經營過程中，由於木本植被(包括竹類)生物質燃燒導致 N ₂ O 釋出。

註：木本生物質(包括竹類)燃燒導致的 CO₂ 排放，將反映於竹林碳儲存量的減少，故不重複扣除。

5. 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二萬(20,000)公噸二氧化碳當量(tCO₂e)，其內容得僅分析法規外加性。

6. 基線移除或排放

本減量方法之基線情境為未實施專案活動前原已存在的土地使用或經營狀態。所謂基線移除或排放，為基線情境下，於專案邊界範圍的碳儲存變化量。

此外，不考慮基線情境下可能發生火災引起生物質燃燒造成的溫室氣體排放，基線碳儲存變化量計算方法如下：

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{BM_BSL,t} + \Delta C_{HBP_BSL,t} \quad \text{式 1}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	第 t 年(指未實施專案活動)之基線移除或排放量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta C_{BM_BSL,t}$	第 t 年之專案邊界內基線竹林生物量碳儲存的年變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta C_{HBP_BSL,t}$	第 t 年之專案邊界內基線收穫竹產品之碳儲存變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹

當專案活動執行後，基線情境可擇一方案進行計算或提出資料佐證，如下：

- (1) 歷史基線：若為既有經營竹林，須提出2次專案執行前不同年度之生物量及伐採量等佐證資料，進行歷史基線估算。若可證明竹林超過5年以上未伐採經營之證明，符合CDM方法學現存生物量變化不顯著

及保守性原則，基線得忽略不計。惟為求精確，仍建議於專案執行前以現地調查資料作為基線設定估算原則。

- (2) 設立動態樣區：若為既有經營竹林，無法提出上述之佐證資料進行歷史基線估算，則可於專案邊界範圍內，設立具代表性的對照樣區(即維持原有狀態)並進行監測。此範圍與整個專案有相似林型結構組成，再從中透過無偏倚、具代表性的取樣，以代表在無專案實施下的基線土地使用狀態。監測參數和資料項目必須和專案監測樣區一致，且符合監測方法規範。

6.1 基線竹林生物量碳儲存變化量

專案邊界內竹林在專案實施前之狀態，竹林生物量碳儲存年變化量，即為基線竹林生物量碳儲存變化量($\Delta C_{BM_BSL,t}$)。假設基線情境的時間(第 t1 至 t2 年)竹林生物量呈線性變化，基線竹林生物量碳儲存變化量($\Delta C_{BM_BSL,t}$)。計算公式如下：

$$\Delta C_{BM_BSL,t} = \frac{C_{BM_BSL,t2} - C_{BM_BSL,t1}}{t2 - t1} \quad \text{式 2}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{BM_BSL,t}$	基線情境下，第 t 年之專案邊界內，竹林生物量碳儲存的年變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
t1,t2	基線情境下的第 t1 及 t2 年，且 t1 ≤ t ≤ t2	yr
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr

竹林生物量碳儲存量估算方面，主要將 j 竹種每公頃竹林生物量($G_{BM_BSL,j,t}$)乘上 j 竹種種植面積($A_{BSL,j}$)，再利用 j 竹種含碳率(CF_j)將竹林生物量轉化為碳含量，以 CO₂ 與 C 的分子量比值將碳含量轉換為二氧化碳當量，即為基線竹林生物量碳儲存量($C_{BM_BSL,t}$)。計算公式如下：

$$C_{BM_BSL,t} = \sum_j (G_{BM_BSL,j,t} \times A_{BSL,j} \times CF_j) \times \frac{44}{12} \quad \text{式 3}$$

參數	定義	單位
----	----	----

$G_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
$A_{BSL,j}$	基線情境下，j 竹種總面積	ha
CF_j	j 竹種的含碳率	%
j	竹種	-
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr
$\frac{44}{12}$	CO ₂ 與 C 分子量的比值	-

竹林生物量碳儲存變化量估算方面，主要將 j 竹種每公頃竹林生物量變化量($\Delta G_{BM_BSL,j,t}$) 乘上 j 竹種種植面積($A_{BSL,j}$)，利用 j 竹種含碳率(CF_j)將竹林生物量轉化為碳含量，再利用 CO₂ 與 C 的分子量比值將碳含量轉換為二氧化碳當量，即為基線竹林生物量碳儲存變化量($\Delta C_{BM_BSL,t}$)。計算公式如下：

$$\Delta C_{BM_BSL,t} = \sum_j (\Delta G_{BM_BSL,j,t} \times A_{BSL,j} \times CF_j) \times \frac{44}{12}$$

$$= \sum_j \left(\frac{G_{BM_BSL,j,t2} - G_{BM_BSL,j,t1}}{t2 - t1} \right) \times A_{BSL,j} \times CF_j \times \frac{44}{12} \quad \text{式 4}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{BM_BSL,t}$	基線情境下，第 t 年之專案邊界內，竹林生物量碳儲存的年變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta G_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種每公頃竹林生物量變化量	t d.m. ha ⁻¹ yr ⁻¹
$G_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
$A_{BSL,j}$	基線情境下，j 竹種總面積	ha
CF_j	j 竹種的含碳率	%
j	竹種	-
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr
$\frac{44}{12}$	CO ₂ 與 C 分子量的比值	-

本減量方法主要考慮基線林分生物量碳庫的碳儲存變化量。在進行竹林資源調查時，建議以專案邊界範圍內林分狀態(如林冠覆蓋率等)分為不同區域，即分層取樣。當專案邊界範圍內之林分呈現相當程度的均質狀態時，亦可直接採簡單隨機取樣(不需分層，分層取樣可視為僅有一層，即 $i=1$)。將專案邊界範圍內分為 1 至 i 層區域後，各別調查每一分層生物量碳儲存年變化量總和並加總，即為基線碳儲存年變化量。

(1) 基線竹林地上生物量碳儲存變化量

竹林生長無論是合軸叢生竹或單稈散生竹，其生長發育階段均類似，竹稈高生長大約 1-2 月即可完成，而後加速累積竹稈生物量持續 3-5 年，此階段過後為成熟穩定階段。因此，竹林之生長與更新，遠較林木所需的時間短(黃裕星，2011；顏添明，2011)。

本減量方法之基線地上部生物量計量方式，排除生長發育階段(指未成林階段)之竹林，以成熟穩定階段(指成林階段)之竹林為主要範圍。依照上述，成熟穩定階段(指成林階段)的碳儲存變化量得忽略不計。若可提供足以證明竹林超過 5 年以上未伐採經營之資料佐證，基線情境亦為成熟穩定階段，符合 CDM 方法學考量現存木質生物量變化不顯著及保守性原則，基線得忽略不計。惟為求精確，仍建議於專案執行前以現地調查資料作為基線設定估算原則。

若為既有經營竹林，須提出 2 次專案執行前不同年度之生物量及伐採量之佐證資料，進行歷史基線估算；無法提出上述之佐證資料進行歷史基線估算，則可於專案邊界範圍內，設立動態樣區(對照樣區)，於專案活動實施時於專案邊界範圍內設立具代表性的對照樣區(即維持原有狀態)並進行監測。監測參數和資料項目必須和專案監測樣區一致，且符合監測方法規範。

專案申請者依照現況可選擇下列其中一個方法(生物量推估模式或重量法)來估算基線情境 j 竹種每公頃竹林生物量($G_{BM_BSL,j,t}$)，如下：

方法一：生物量推估模式

此方法透過 j 竹種的生物量推估模式估算該竹種的單稈地上部生物量($G_{SBM_BSL,i,j,y,t}$)。而 j 竹種生物量方程式為將測定參數轉化為為地上部生物量的

迴歸方程式，其測定參數(如各竹齡的胸高直徑(DBH)及竹高(H)等)。求得單釋地上部生物量($G_{SBM_BSL,i,j,y,t}$)後，再乘上該 j 竹種各竹齡每公頃釋數($N_{BSL,i,j,y,t}$)，即可求得 j 竹種每公頃竹林生物量($G_{BM_BSL,j,t}$)，計算公式如下：

$$G_{BM_BSL,j,t} = \sum_i \sum_y (G_{SBM_BSL,i,j,y,t} \times N_{BSL,i,j,y,t}) \times 10^{-3} \quad \text{式 5}$$

參數	定義	單位
$G_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
$G_{SBM_BSL,i,j,y,t}$	基線情境下，第 t 年，i 分層 j 竹種 y 竹齡的單釋地上部生物量。此單釋地上部生物量可透過生物量方程式求得。方程式適用依據，應以當地數據為優先(詳附表 1)。	kg d.m. culm ⁻¹
$N_{BSL,i,j,y,t}$	基線情境下，第 t 年，i 分層 j 竹種 y 竹齡每公頃釋數(量)	culm ha ⁻¹
10^{-3}	將 kg 轉為 ton	-
i	分層	-
j	竹種	-
y	依竹齡分為幼竹及成竹(4 年生以上)兩類	-
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr

方法二：重量法-以釋重及釋數預估

此方法為透過現地調查各竹齡單釋平均重量($W_{S_BSL,i,j,y,t}$)來估算。除測定各竹齡單釋平均重量($W_{S_BSL,i,j,y,t}$)外，尚需含水率($MC_{j,y}$)參數。求得單釋地上部生物量後，再乘上該 j 竹種各竹齡每公頃釋數($N_{BSL,i,j,y,t}$)，即可求得 j 竹種每公頃竹林生物量($G_{BM_BSL,j,t}$)，計算公式如下：

$$G_{BM_BSL,j,t} = \sum_i \sum_y [W_{S_BSL,i,j,y,t} \times (1 + MC_{j,y})^{-1} \times N_{BSL,i,j,y,t}] \times 10^{-3} \quad \text{式 6}$$

參數	定義	單位
$G_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹

$W_{S_BSL,i,j,y,t}$	基線情境下，第 t 年，i 分層 j 竹種 y 竹齡單稈平均重量	kg culm ⁻¹
$MC_{j,y}$	j 竹種 y 竹齡的含水率	%
$N_{BSL,i,j,y,t}$	基線情境下，第 t 年，i 分層 j 竹種 y 竹齡每公頃稈數(量)	culm ha ⁻¹
10^{-3}	將 kg 轉為 ton	-
i	分層	-
j	竹種	-
y	依竹齡分為幼竹及成竹(4 年生以上)兩類	-
t	1, 2, 3, 4...，專案活動實施的年數	yr

方法三：重量法-以收穫總量計算

配合本土竹農收穫作業方式提出之計算，以竹林實際收穫總竹材鮮重 ($W_{BM_BSL,j,t}$) 估算其生物量。除量測實際收穫總竹材鮮重 ($W_{BM_BSL,j,t}$) 外，尚需 j 竹種的平均含水率 ($MC_{a,j}$) 參數。在此公式中，無需分層。計算公式如下：

$$G_{BM_BSL,j,t} = W_{BM_BSL,j,t} \times (1 + MC_{a,j})^{-1} \times 10^{-3} \quad \text{式 7}$$

參數	定義	單位
$G_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
$W_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種收穫總竹材鮮重	kg yr ⁻¹
$MC_{a,j}$	j 竹種平均含水率	%
10^{-3}	將 kg 轉為 ton	-
j	竹種	-
t	1, 2, 3, 4...，專案活動實施的年數	yr

(2) 基線竹林地下生物量碳儲存變化量

基線情境下，成熟穩定階段(指成林階段)之竹林地下部碳儲存變化量不大，符合 CDM 提出的「基線現存生物量變化不顯著評估原則」，忽略不計。

6.2 基線收穫竹產品的碳儲存變化量

基線情境時，超過 5 年以上未伐採與經營之竹林，無收穫竹材，收穫竹產品碳儲存量得忽略不計；若有竹材伐採情況，應提供資料納入計算。收穫竹產品不包括竹筍。

在永久性及保守性的考量下，收穫竹產品的碳儲存，僅採計竹產品生產後 20 年仍留存未被廢棄的碳儲存量；其他收穫竹產品如做為短期使用(使用壽命為 5 年以下之產品，如：竹籤、竹筷、農用竹材等)，因其不具備永久性碳儲存效益，不列入專案收穫竹產品碳儲存計算。列入計算之收穫竹產品主要分為建築強化結構物/室內家具、工藝品及其他用途等 3 類，如附表 4。

本減量方法參考 GPG-LULUCF (IPCC, 2003)中定義收穫林產品的碳儲存類型和對於林產品半衰期的研究，收穫竹產品碳儲存變化量採用下述公式計算：

$$\Delta C_{HBP_BSL,t} = C_{ABM_BSL,j,t} \times BPP_{av,j,BL} \quad \text{式 8}$$

$$C_{ABM_BSL,j,t} = \sum_j (GA_{BM_BSL,j,t} \times A_{BSL,cj} \times CF_j) \times \frac{44}{12} \quad \text{式 9}$$

專案申請者計量既有竹林經營之收穫竹產品生物量方式，以重量法-以收穫總量計算 j 竹種平均每公頃竹林地上部生物量($GA_{BM_BSL,j,t}$)，如下：

$$GA_{BM_BSL,j,t} = W_{BM_BSL,j,t} \times (1 + MC_{a,j})^{-1} \times A_{BSL,cj}^{-1} \times 10^{-3} \quad \text{式 10}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{HBP_BSL,t}$	第 t 年時，基線情境竹產品碳儲存的年變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$C_{ABM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，專案邊界內，收穫 j 竹種竹材生物量碳儲存量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$GA_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種平均每公頃收穫竹材	t d.m. ha ⁻¹

	生物量	
$W_{BM_BSL,j,t}$	基線情境下，第 t 年，j 竹種收穫總竹材鮮重	$kg\ yr^{-1}$
$A_{BSL,cj}$	基線情境下，j 竹種收穫面積	ha
CF_j	j 竹種的含碳率	%
ty	竹產品種類	-
$BPP_{av,j,BL}$	<p>收穫 j 竹種竹產品之最終儲存率</p> $BPP_{av,j,BL} = \sum_{ty} [BPP_{ty,j} \times (1 - BW_{ty}) \times OF_{ty}]$ $OF_{ty} = e^{(-BL * \ln(2) / HL_{ty})}$ <p>當收穫竹產品 20 年後最終儲存率推估如下：</p> $BPP_{av,桂竹} = 0.1164 = 11.64\%$ $BPP_{av,孟宗竹} = 0.2812 = 28.12\%$ $BPP_{av,蔴竹} = 0.1454 = 14.54\%$ $BPP_{av,長枝竹} = 0.0911 = 9.11\%$ <p>ty：收穫竹產品的種類 $BPP_{ty,j}$：j 竹種伐採收穫用於加工製成 ty 類竹產品的比例(附表 4) BW_{ty}：加工製成 ty 類竹產品的廢料率約 11% OF_{ty}：根據 IPCC 一階指數衰減函數確定 ty 類竹產品在 20 年後仍留存的比例 HL_{ty}：ty 類竹產品的半衰期(建築強化結構物/室內家具：21 年；工藝品：14 年；其他用途：7 年)。</p>	%
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr
i	分層	-
$\frac{44}{12}$	將 C 轉換為 CO_2 的分子量比值	-
e	為數學常數，是自然對數函數的底數	2.72(概數)
$\ln(2)$	為 2 的自然對數	0.69(概數)

7. 專案移除或排放

在竹林經營專案活動期間，專案邊界內所選碳庫的碳儲存變化量(專案情境下，主要考量竹林生物量、收穫竹產品之碳儲存變化量及收穫搬出竹材的運輸碳排放量，減去專案活動引起的非二氧化碳溫室氣體排放量，計算方式如下：

$$\Delta C_{AT,t} = \Delta C_{P,t} - E_{CO_2,P,t} - GHG_{E,t} \quad \text{式 11}$$

$$\Delta C_{P,t} = \Delta C_{BM,P,t} + \Delta C_{HBP,P,t} \quad \text{式 12}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{AT,t}$	第 t 年(指專案活動實施 t 年後)之碳匯實際溫室氣體淨移除量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta C_{P,t}$	第 t 年實行專案活動時，專案邊界內所選碳庫之碳儲存年變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$GHG_{E,t}$	專案活動實施 t 年後，因施行專案而增加之非二氧化碳溫室氣體排放量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta C_{BM,P,t}$	第 t 年實行專案時，專案邊界內竹林生物量之碳儲存變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta C_{HBP,P,t}$	第 t 年實行專案時，專案邊界內收穫竹產品之碳儲存變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$E_{CO_2,P,t}$	第 t 年，收穫搬出竹材的運輸碳排放量	tCO ₂ e yr ⁻¹
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr

7.1 專案活動竹林生物量碳儲存變化量

專案邊界內，竹林生物量碳儲存年變化量，即為專案竹林生物量碳儲存變化量($\Delta C_{BM,P,t}$)。假設專案時間內(第 t1 至 t2 年)竹林生物量呈線性變化，專案竹林生物量碳儲存變化量($\Delta C_{BM,P,t}$)。計算公式如下：

$$\Delta C_{BM,P,t} = \frac{C_{BM,P,t2} - C_{BM,P,t1}}{t2 - t1} \quad \text{式 13}$$

參數	定義	單位
----	----	----

$\Delta C_{BM_P,t}$	第 t 年實行專案時，專案邊界內竹林生物量碳儲存的年變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
t _{1,t2}	專案開始後的第 t ₁ 及 t ₂ 年，且 t ₁ ≤ t ≤ t ₂	yr
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr

此方法由於跨竹種廣域型模式之不確定性較大，建議採用區分 j 竹種的推估模式進行。在竹林生物量碳儲存量估算方面，主要將 j 竹種每公頃竹林生物量(G_{BM_Pj,t})乘以專案竹林面積(A_{Pj})，再利用 j 竹種含碳率(CF_j)將竹林生物量轉化為碳含量，再利用 CO₂ 與 C 的分子量比值將碳含量轉換為二氧化碳當量，計算公式如下：

$$C_{BM_P,t} = \sum_j (G_{BM_Pj,t} \times A_{Pj} \times CF_j) \times \frac{44}{12} \quad \text{式 14}$$

參數	定義	單位
C _{BM_P,t}	專案情境下，第 t 年，專案邊界內，竹林生物量碳儲存量	tCO ₂ e yr ⁻¹
G _{BM_Pj,t}	專案情境下，第 t 年，j 竹種平均每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
A _{Pj}	專案情境下，j 竹種總面積	ha
CF _j	j 竹種的含碳率	%
j	竹種	-
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr
$\frac{44}{12}$	CO ₂ 與 C 分子量的比值	-

專案情境下，專案邊界內竹林實施經營之狀態。竹林生物量碳儲存變化量估算方面，主要將 j 竹種每公頃竹林生物量變化量(ΔC_{BM_P,t})乘上 j 竹種種植面積(A_{Pj})，再利用 j 竹種含碳率(CF_j)將竹林生物量轉化為碳含量，再利用 CO₂ 與 C 的分子量比值將碳含量轉換為二氧化碳當量，即為基線竹林生

物量碳儲存變化量($\Delta C_{BM_P,t}$)。計算公式如下：

$$\Delta C_{BM_P,t} = \sum_j (\Delta G_{BM_P,j,t} \times A_{P,j} \times CF_j) \times \frac{44}{12}$$

$$= \sum_j \left(\frac{G_{BM_P,i,t2} - G_{BM_P,i,t1}}{t2 - t1} \right) \times A_{P,j} \times CF_j \times \frac{44}{12} \quad \text{式 15}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{BM_BSL,t}$	專案情境下，第 t 年之專案邊界內，竹林生物量碳儲存的年變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta G_{BM_P,j,t}$	專案情境下，第 t 年 j 竹種每公頃竹林生物量變化量	t d.m. ha ⁻¹ yr ⁻¹
$G_{BM_P,j,t}$	專案情境下，第 t 年，j 竹種平均每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
$A_{P,j}$	專案情境下，j 竹種總面積	ha
CF_j	j 竹種的含碳率	%
j	竹種	-
t	1, 2, 3, 4...，專案活動實施的年數	yr
$\frac{44}{12}$	CO ₂ 與 C 分子量的比值	-

本減量方法主要考慮專案林分生物量碳庫的碳儲存變化量。在進行現地竹林資源調查時，建議以專案邊界範圍內林分狀態(如林冠覆蓋率等)分為不同區域，即分層取樣。當專案邊界範圍內之林分呈現相當程度的均質狀態時，亦可直接採簡單隨機取樣(不需分層，分層取樣可視為僅有一層，即 i=1)。將專案邊界範圍內分為 1 至 i 層區域後，各別調查每一分層生物量碳儲存年變化量總和並加總，即為專案碳儲存年變化量。

(1) 專案竹林地上生物量碳儲存變化量

專案地上部生物量計量方式，將竹林經營分為結構調整及結構穩定等 2 種不同階段分別進行計算。在結構調整階段，竹林經營活動對竹林的稈數、平均

竹徑、竹齡結構等會發生明顯的變化。竹林進行結構調整起始時間為專案活動起始時間，結構調整所需時間，視竹生長類別、竹林初始林分狀況及竹林經營措施而定。在結構穩定階段，其竹林地上生物量通過新竹發育和老竹採伐達到動態平衡狀態，因此將結構穩定階段的碳儲存變化量得忽略不計。

本減量方法以專案活動執行前及申請查證前竹林資源調查之相關數據，進行地上部生物量估算。在計算方法的選擇上，基線情境與專案情境要保持一致，專案情境下之事前估算與事後計算，應採用同一種計算方式。

專案申請者依照現況可選擇下列其中一個方法(生物量推估模式或重量法)來估算 j 竹種平均每公頃竹林生物量($G_{BM_P,j,t}$)，如下：

方法一：生物量推估模式

此方法透過 j 竹種的生物量推估模式來估算，該竹種的單稈地上部生物量($G_{SBM_P,i,j,y,t}$)。而 j 竹種生物量方程式為將測定參數轉化為地上部生物量的迴歸方程式，其測定參數(如各竹齡的胸高直徑(DBH)及竹高(H)等)。求得單稈地上部生物量後，再乘上該 j 竹種各竹齡每公頃稈數($N_{P,i,j,y,t}$)，即可求得 j 竹種每公頃竹林生物量($G_{BM_P,j,t}$)，計算公式如下：

$$G_{BM_P,j,t} = \sum_i \sum_y (G_{SBM_P,i,j,y,t} \times N_{P,i,j,y,t}) \times 10^{-3} \quad \text{式 16}$$

參數	定義	單位
$G_{BM_BSL,j,t}$	專案情境下，第 t 年，j 竹種每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
$G_{SBM_P,i,j,y,t}$	專案情境下，第 t 年，i 分層 j 竹種 y 竹齡的單稈地上部生物量。此單稈地上部生物量可透過生物量方程式求得。方程式適用依據，應以當地數據為優先(詳附表 1)。	kg d.m. culm ⁻¹
$N_{P,i,j,y,t}$	專案情境下，第 t 年，i 分層 j 竹種 y 竹齡每公頃稈數(量)	culm ha ⁻¹
10 ⁻³	將 kg 轉為 ton	-
i	分層	-

j	竹種	-
y	依竹齡分為幼竹及成竹(4年生以上)兩類	-
t	1, 2, 3, 4...，專案活動實施的年數	yr

方法二：重量法-以稈重及稈數預估

此方法為透過現地調查各竹齡單稈平均重量($WS_{P,i,j,y,t}$)來估算。除測定各竹齡單稈平均重量($WS_{P,i,j,y,t}$)外，尚需含水率($MC_{j,y}$)參數。求得單稈地上部生物量後，再乘上該j竹種各竹齡每公頃稈數($N_{P,i,j,y,t}$)，即可求得j竹種每公頃竹林生物量($GBM_{P,j,t}$)，計算公式如下：

$$GBM_{P,j,t} = \sum_i \sum_y [WS_{P,i,j,y,t} \times (1 + MC_{j,y})^{-1} \times N_{P,i,j,y,t}] \times 10^{-3} \quad \text{式 17}$$

參數	定義	單位
$GBM_{P,j,t}$	專案情境下，第t年，j竹種每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
$WS_{P,i,j,y,t}$	專案情境下，第t年，i分層j竹種y竹齡單稈平均重量	kg culm ⁻¹
$MC_{j,y}$	y竹齡j竹種的含水率	%
$N_{P,i,j,y,t}$	專案情境下，第t年，i分層j竹種y竹齡每公頃稈數(量)	culm ha ⁻¹
10^{-3}	將 kg 轉為 ton	-
i	分層	-
j	竹種	-
y	依竹齡分為幼竹及成竹(4年生以上)兩類	-
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr

方法三：重量法-以收穫總量計算

配合本土竹農收穫作業方式提出之計算，以竹林實際收穫總竹材鮮重 ($W_{BM_P,j,t}$) 估算其生物量。除量測實際收穫總竹材鮮重 ($W_{BM_P,j,t}$) 外，尚需 j 竹種的平均含水率 ($MC_{a,j}$) 參數。在此公式中，無需分層。計算公式如下：

$$G_{BM_P,j,t} = W_{BM_P,j,t} \times (1 + MC_{a,j})^{-1} \times 10^{-3} \quad \text{式 18}$$

參數	定義	單位
$G_{BM_P,j,t}$	專案情境下，第 t 年， j 竹種每公頃竹林生物量	t d.m. ha ⁻¹
$W_{BM_P,i,j,t}$	專案情境下，第 t 年， i 分層 j 竹種收穫總竹材鮮重	kg yr ⁻¹
$MC_{a,j}$	j 竹種平均含水率	%
10^{-3}	將 kg 轉為 ton	-
j	竹種	-
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr

(2) 專案竹林地下生物量碳儲存變化量

本減量方法之適用條件，規範專案活動期間的土壤管理，除經營上之必要外(如病株移除等)，不採用深翻根株之方式，對於地下部碳儲存變化量不大，得忽略不計。

7.2 專案邊界內收穫竹產品的碳儲存變化量

收穫竹產品是竹林經營項目的主要碳匯來源，收穫竹產品不包括竹筍，專案申請者應提供足以證明之竹材伐採收穫與買賣憑證資料，並於官方認可之追溯系統登載，用以監測與估算收穫竹產品碳儲存變化量。

在永久性及保守性的考量下，收穫竹產品的碳儲存，僅採計竹產品生產後 20 年仍留存未被廢棄的碳儲存量；其他收穫竹產品如做為短期使用(如：竹籤、竹筷、農用竹材等使用壽命為 5 年以下之產品)，因其不具備永久性

碳儲存效益，不列入專案收穫竹產品碳儲存計算。列入計算之收穫竹產品主要分為建築強化結構物/室內家具、工藝品及其他用途等3類，如附表4。

本減量方法參考 GPG-LULUCF(IPCC, 2003)中定義收穫林產品的碳儲存類型和對於林產品半衰期的研究，收穫竹產品碳儲存變化量採用下述公式計算：

$$\Delta C_{HBP_P,t} = CA_{BM_P,j,t} \times BPP_{av,j,BL} \quad \text{式 19}$$

$$CA_{BM_P,j,t} = \sum_j (GA_{BM_P,j,t} \times A_{P,cj} \times CF_j) \times \frac{44}{12} \quad \text{式 20}$$

專案申請者依照現況選擇下列其中一個方法來估算j竹種平均每公頃竹林地上部生物量($GA_{BM_P,t}$)。收穫竹產品在計算方法的選擇上，專案情境與基線情境不同，專案情境區分為事前估算與事後計算，事前估算以生物量模式推估法及重量法-以稈重及稈數預估為主。事後計算以重量法-以收穫總量計算為主。

事前估算：

$$GA_{BM_P,j,t} = \sum_i \sum_y (GS_{BM_P,i,j,y,t} \times N_{P,i,j,y,t}) \times 10^{-3} \quad \text{式 21}$$

$$GA_{BM_P,j,t} = \sum_i \sum_y [WS_{P,i,j,y,t} \times (1 + MC_{j,y})^{-1} \times N_{P,i,j,y,t}] \times 10^{-3} \quad \text{式 22}$$

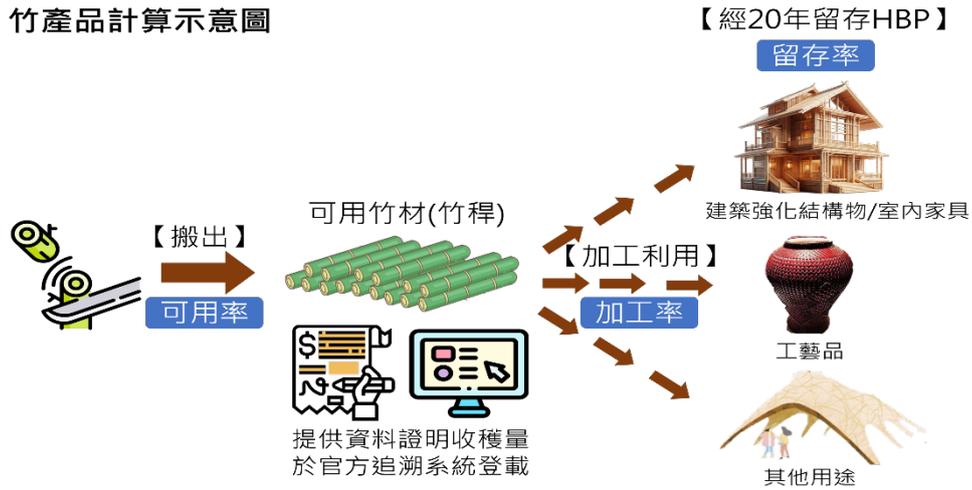
事後估算：

$$GA_{BM_P,j,t} = W_{BM_P,j,t} \times (1 + MC_{a,j})^{-1} \times A_{P,cj}^{-1} \times 10^{-3} \quad \text{式 23}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{HBP_P,t}$	專案情境下，第t年，竹產品碳儲存的年變化量	tCO ₂ e
$CA_{BM_P,j,t}$	專案情境下，第t年，專案邊界內，收穫j竹種竹材生物量碳儲存量	tCO ₂ e
$GA_{BM_P,j,t}$	專案情境下，第t年，平均每公頃收穫j竹種竹材生物量	t d.m. ha ⁻¹
$W_{BM_P,j,t}$	專案情境下，第t年，j竹種收穫總竹材鮮重	kg yr ⁻¹

$A_{P,cj}$	專案情境下，j 竹種收穫面積	ha
$GSBM_{P,i,j,y,t}$	專案情境下，第 t 年，i 分層 j 竹種 y 竹齡的單稈地上部生物量。單稈地上部生物量可透過生物量方程式求得。	t d.m. culm ⁻¹
$N_{P,i,j,y,t}$	專案情境下，第 t 年，收穫 i 分層 j 竹種 y 竹齡每公頃稈數(量)	culm ha ⁻¹
$MC_{j,y}$	j 竹種 y 竹齡的含水率	%
$MC_{a,j}$	j 竹種的平均含水率	%
CF_j	j 竹種的含碳率	%
y	竹齡，以成竹(4 年生以上)為主	-
$BPP_{av,j,BL}$	<p>收穫 j 竹種竹產品之最終儲存率</p> $BPP_{av,j,BL} = \sum_{ty} [BPP_{ty,j} \times (1 - BW_{ty}) \times OF_{ty}]$ $OF_{ty} = e^{(-BL * \ln(2) / HL_{ty})}$ <p>當收穫竹產品 20 年後最終儲存率推估如下：</p> $BPP_{av,桂竹} = 0.1164 = 11.64\%$ $BPP_{av,孟宗竹} = 0.2812 = 28.12\%$ $BPP_{av,荊竹} = 0.1454 = 14.54\%$ $BPP_{av,長枝竹} = 0.0911 = 9.11\%$ <p>ty：收穫竹產品的種類 $BPP_{ty,j}$：j 竹種伐採收穫用於加工製成 ty 類竹產品的比例(附表 4) BW_{ty}：加工製成 ty 類竹產品的廢料率約 11% OF_{ty}：根據 IPCC 一階指數衰減函數確定 ty 類竹產品在 20 年後仍留存的比例 HL_{ty}：ty 類竹產品的半衰期(建築強化結構物/室內家具：21 年；工藝品：14 年；其他用途：7 年)。</p>	%
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr
i	分層	-
$\frac{44}{12}$	將 C 轉換為 CO ₂ 的分子量比值	-

竹產品計算示意圖



圖一、收穫竹產品計算示意圖

收穫竹材搬出後，提供足以證明之竹材伐採收穫與買賣憑證資料，並於官方認可之追溯系統登載，證明收穫竹材量，並將竹材加工製成具永久性的收穫竹產品，從而延長竹產品之碳固定效益。

在竹林生物量計算方式選擇方面，基線情境與專案情境要保持一致，專案情境下之事前估算與事後計算，應採用同一種計算方式。在收穫竹產品計算方式選擇方面，基線情境若要計算，應為既有歷史資料，以重量法-以收穫總量計算。專案情境之事前估算，為專案註冊前之現地調查資料進行估算，以生物量推估模式及重量法-以稈重及稈數預估計算；事後計算，為實際伐採收穫現況之資料，以重量法-以收穫總量計算。其計算方式如下表所示：

表六、基線與專案竹林生物量與收穫竹產品計算方式

碳庫計算 情境選擇		竹林生物量計算方式 (擇一計算)	收穫竹產品計算方式
基線 情境	事前估算	生物量推估模式 重量法-以稈重及稈數預估 重量法-以收穫總量計算	重量法-以收穫總量計算
專案 情境	事前估算	生物量推估模式 重量法-以稈重及稈數預估 重量法-以收穫總量計算 *若基線已選擇其一方式計算，則專案應選擇一致	生物量推估模式 重量法-以稈重及稈數預估
	事後計算	需與事前估算選擇一致	重量法-以收穫總量計算

7.3 收穫搬出竹材的運輸碳排放量

在專案期間，若竹林有伐採收穫時，從竹林地搬出至竹材集散地，所使用交通運輸工具產生的二氧化碳排放量，應計入專案排放中。另運輸所產生之 CH₄ 和 N₂O 排放量參照 CDM 發布之「Project and leakage emissions from transportation of freight」工具書得忽略不計。

專案申請者應提供竹林地運輸至竹材集散地之距離和收穫搬出總重量等相關資料，並依實際運輸情境，選擇環境部最新公告之碳足跡排放係數，估算其收穫搬出竹材的碳排放量。計算公式如下：

$$E_{CO_2_P,t} = W_{BM_P,j,t} \times \sum(D_{BM_P,t} \times EF_{CO_2}) \times 10^{-3} \quad \text{式 24}$$

參數	定義	單位
$E_{CO_2_P,t}$	專案情境下，第 t 年，收穫搬出竹材的運輸碳排放量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$W_{BM_P,j,t}$	專案情境下，第 t 年，j 竹種收穫總竹材鮮重	ton
$D_{BM_P,t}$	專案情境下，第 t 年，竹材至竹材集散地之距離	km
EF_{CO_2}	環境部最新公告之車種及碳足跡排放係數，以下數值提供參考(113 年公告)： 營業小貨車(3.5 公噸以下/汽油)：0.683 營業小貨車(3.5 公噸以下/柴油)：0.587 營業大貨車(3.5 公噸以上/柴油)：0.131	kgCO ₂ e/tkm
10^{-3}	將 kg 轉為 ton	-

7.4 專案邊界內非二氧化碳溫室氣體排放量

對於專案事前估計，由於無法預測專案邊界內的竹林火災發生情況或其他自然災害發生情況，可以不考慮災害造成的專案邊界內非二氧化碳溫室氣體排放量，即 GHG_{E,t} 得忽略不計。由於本減量方法公式採計生物量變化計算碳儲存變化量，其碳儲存損失反映於生物量監測結果中，故竹林火災所引起的二氧化碳排放量已被計入碳儲存量變化中，不重複計算扣除。

非二氧化碳溫室氣體排放的增加量，只考慮竹林火災導致的地上生物量燃燒引起的 CH₄ 和 N₂O 排放量增加。在事後估算方面，專案邊界內非二氧化碳溫室氣體排放估算採用森林火災發生前，最近一次查證時竹林地上部生物量數據。估算方式如下：

$$GHG_{E,t} = A_{BURN,t} \times b_{BM,tL} \times COMF \times (EF_{CH_4} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O} \times GWP_{N_2O}) \times 10^{-3}$$

式 25

參數	定義	單位
GHG _{E,t}	第 t 年時，專案邊界內由於竹林火災導致竹林地上生物質燃燒引起的非二氧化碳溫室氣體排放量	tCO ₂ e yr ⁻¹
A _{BURN,t}	第 t 年時，竹林火災的火燒面積	ha
b _{BM,tL}	竹林火災發生前，專案最近一次監測核查時，單位面積竹林地上生物量	t d.m. ha ⁻¹
tL	離火災發生前最近的一次專案監測核查時間，即距專案活動開始以後的年數	yr ⁻¹
COMF	燃燒指數，若無其他優先次序資料，可參照 CDM 方法學之預設值為 0.67(6-10 年之熱帶森林)	-
EF _{CH₄}	專案 CH ₄ 排放係數，若無其他優先次序資料，可參照 CDM 方法學之預設值為 6.8(熱帶森林)	kg CH ₄ (t 燃燒乾物質) ⁻¹
GWP _{CH₄}	CH ₄ 的全球增溫潛勢，預設值為 25	-
EF _{N₂O}	專案 N ₂ O 排放係數，若無其他優先次序資料，可參照 CDM 方法學之預設值為 0.26(熱帶森林)	kg N ₂ O (t 燃燒乾物質) ⁻¹
GWP _{N₂O}	N ₂ O 的全球增溫潛勢，預設值為 298	-

8. 洩漏排放

依據本減量方法適用條件，專案邊界於活動實施前須已是竹林，不會引起專案前既有活動的轉移，因此專案活動不存在潛在洩漏，故洩漏排放得忽略不計。

9. 淨移除量

竹林經營碳匯專案活動產生的專案淨移除量等於專案碳儲存變化量，減去基線碳儲存變化量，如下：

$$\Delta C_{NET,t} = \Delta C_{AT,t} - \Delta C_{BSL,t} \quad \text{式 26}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{NET,t}$	第 t 年專案淨移除量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta C_{AT,t}$	第 t 年專案碳儲存變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
$\Delta C_{BSL,t}$	第 t 年基線碳儲存變化量	tCO ₂ e yr ⁻¹
t	1, 2, 3, 4...，專案實施的年數	yr

9.1 預設之數據與參數說明

預設之數據與參數說明，包括可使用之預設值或參數。

數據/參數	CF _j
數據單位	%
應用的公式編號	3、4、9、14、15、20
描述	j 竹種的含碳率
數據來源	優先選擇次序為 1.現有的、當地的或相似生態條件下各竹種資料 2.國內已發表之各竹種研究報告 3.國家級之竹林統整數據(如國家溫室氣體清冊報告)
量測程序(如有)	採用現有資料或直接測定
備註	已發表之各竹種 CF 值如附表 2。若無相關資料，建議採用 INBAR(2019)預設值為 47%。

數據/參數	BPP _{av,j,BL}
數據單位	%

應用的公式編號	8、19
描述	收穫j竹種竹產品之最終儲存率
數據來源	<p>優先選擇次序為：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.現有的、當地的或相似生態條件下j竹種資料 2.國內已發表之j竹種研究報告及相關文獻資料公式 3.若無該竹種資料，可採用類型相近的竹種資料，如合軸叢生採用合軸叢生竹種資料，單稈散生採用單稈散生竹種資料。
量測程序(如有)	採用現有資料或預設值，如附表4
備註	<p>國內已發表的竹子用於各類竹產品的比例及半衰期等資料，利用 $BPP_{av,j,BL} = \sum_{ty} [BPP_{ty,j} \times (1-BW_{ty}) \times OF_{ty}]$ 及 $OF_{ty} = e^{(-BL * \ln(2) / HL_{ty})}$ 公式，得出以下數據：</p> <p>當收穫竹產品 20 年後最終儲存率推估如下：</p> <p>$BPP_{av,桂竹} = 0.1164 = 11.64\%$</p> <p>$BPP_{av,孟宗竹} = 0.2812 = 28.12\%$</p> <p>$BPP_{av,蔴竹} = 0.1454 = 14.54\%$</p> <p>$BPP_{av,長枝竹} = 0.0911 = 9.11\%$</p>

數據/參數	COMF
數據單位	無單位
應用的公式編號	25
描述	燃燒指數
數據來源	<p>優先選擇次序為：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.專案實施區當地的調查資料 2.相鄰地區相似條件下的調查資料 3.若無適用之本土性數據，可採用 CDM 方法學預設值為 0.67(6-10 年之熱帶森林)
量測程序(如有)	採用現有資料或預設值
備註	

數據/參數	GWP_{CH_4}
數據單位	無單位
應用的公式編號	25
描述	CH ₄ 全球增溫潛勢
數據來源	採用 2007 年 IPCC 第 4 次評估報告的預設值為 25
量測程序(如有)	採用預設值
備註	

數據/參數	EF_{CH_4}
數據單位	kg CH ₄ (t 燃燒乾物質) ⁻¹
應用的公式編號	25
描述	專案 CH ₄ 排放係數
數據來源	CH ₄ 排放係數資料來源優先選擇次序為： 1. 專案實施區當地的調查資料 2. 相鄰地區相似條件下的調查資料 3. 若無適用之本土性數據，則可採用 CDM 方法學預設值為 6.8
量測程序(如有)	採用現有資料或預設值
備註	

數據/參數	GWP_{N_2O}
數據單位	無單位
應用的公式編號	25
描述	N ₂ O 全球增溫潛勢
數據來源	採用 2007 年 IPCC 第 4 次評估報告的預設值為 298
量測程序(如有)	採用預設值
備註	

數據/參數	EF _{N₂O}
數據單位	kg N ₂ O (t 燃燒乾物質) ⁻¹
應用的公式編號	25
描述	專案 N ₂ O 排放係數
數據來源	N ₂ O 排放係數資料來源優先選擇次序為： 1. 專案實施區當地的調查資料 2. 相鄰地區相似條件下的調查資料 3. 若無適用之本土性數據，則可採用 CDM 方法學預設值為 0.26
量測程序(如有)	採用現有資料或預設值
備註	

10. 監測方法

專案申請者必須詳細說明蒐集所有資料和參數的步驟，首次減量額度申請時應進行竹林資源調查並提出竹林經營管理計畫。監測計畫應於申請查證前進行，提供相關數據，以查證碳庫之碳儲存變化量及專案移除量。竹林監測調查週期為3-5年，監測完成前，避免進行伐採作業。監測計畫之方法可參照已公開發表或正式出版竹林資源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。監測計畫於報告書中應包含下列項目：

- (1) 調查項目與範圍：以最新的高解析航遙測影像圖，說明監測調查主體與其範圍邊界。若與專案邊界不同，則需檢附專案與調查邊界正射影像圖，並說明不同之原因。
- (2) 監測工作人員：應編列監測團隊人員之名單，監測計畫主持人、品質管控人員、現場調查人員及資料分析人員，並說明監測人員負責工作項目與應具備之技術要求與資格。
- (3) 碳匯估算方法：說明估算竹林碳儲存量之方法依據與估算方法，並列舉估算方法所需之現場調查工作項目及需要測量的參數。

- (4) 測量參數：列出應監測及預設的參數與數據，包括竹稈的直接測量數據，且基線與專案情境採用之各參數及碳儲存量計算公式須保持一致。其中預設的參數與數據採用歷史資料或公開發表之預設數據與參數(如各竹種單稈地上部生物量與胸徑的推估模式、各竹種含碳率、竹稈用於各類竹產品利用率等)，須說明資料來源及可代表現地調查之適用性。
- (5) 調查規劃：說明估算碳匯所需調查採用的方法，採用樣區調查者，則須說明取樣方法、樣區規格、樣區數量等，並於正射影像圖檢附樣區設置位置。
- (6) 樣區設置：樣區依照竹林類型採用不同方式進行取樣，其調查之樣區以具代表性為原則。若有竹木混淆林樣區，參照已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明施作。
- (7) 調查工具：說明調查量測所需之調查工具，包含儀器、工具、設備及分析軟體，並說明適用性與使用方式。
- (8) 調查標準作業程序(Standard Operation Procedure, SOP)：應包含現場作業流程與各項資料蒐集的操作技術步驟，並說明調查品質控制(Quality Control, QC)程序，包含現場檢驗與事後檢驗。執行完畢後須檢附現場調查工作證明之相關文件與QC作業結果，並在必要時修正異常值。
- (9) 品質保證(Quality Assurance, QA)程序：應說明調查所採用資料品質稽核標準之容許度(Tolerance)與資料品質目標(Data Quality Objectives, DQO)之參考依據，並檢附稽核結果通過比例，及QA作業資料處理之相關資料。
- (10) 資料保存程序，包括電子文件的更新：所有監測過程中蒐集的數據與資料，包括QA/QC資料，皆須以電子檔或紙本方式保存，且保存至最後一次核發減量額度後2年。

10.1 應監測之數據及參數說明

專案申請者需對下列參數進行監測。

數據/參數	$G_{SBM_BSL,i,j,y,t}$ 及 $G_{SBM_P,i,j,y,t}$
數據單位	t d.m. culm ⁻¹
應用的公式編號	5、10、16、21
描述	第 t 年時，i 分層 j 竹種 y 竹齡的單稈地上部生物量。此單稈地上部生物量可透過生物量方程式(測定參數如竹徑、竹高或竹齡等)轉換求得。
數據來源	優先選擇次序為 1.現有的、當地的或相似生態條件下 j 竹種資料 2.國內已發表之 j 竹種研究報告及相關文獻資料公式 3.若無該竹種資料，可採用類型相近的竹種資料，如單稈散生採用單稈散生竹種資料，叢生採用叢生竹種資料
量測程序	採用現有資料或直接測定
監測頻率	專案註冊前進行竹林資源調查及申請查證前進行監測
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後2年
備註	國內已發表之各竹種各竹齡平均單稈地上生物量與胸徑、竹高的一元或多元相關方程式如附表 1。
數據/參數	$A_{BSL,j}$ 及 $A_{P,j}$
數據單位	ha
應用的公式編號	3、4、14、15
描述	j 竹種的面積
數據來源	實地量測或地理資訊系統(GIS)量測
量測程序	可採用已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明，或GPG LULUCF中描述的步驟

監測頻率	專案註冊前進行竹林資源調查及申請查證前進行監測
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後2年
備註	基線情境用 $A_{BSL,j}$ 表示；專案情境用 $A_{P,j}$ 表示

數據/參數	$A_{BSL,cj}$ 及 $A_{P,cj}$
數據單位	ha
應用的公式編號	9、10、20、23
描述	j 竹種收穫面積
數據來源	實地量測或地理資訊系統(GIS)量測
量測程序	可採用已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明，或GPG LULUCF中描述的步驟
監測頻率	使用此計算方式時及專案申請查證前
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	

數據/參數	DBH / H
數據單位	cm / m
應用的公式編號	5、10、16、21
描述	胸高直徑/樹高
數據來源	實地量測
量測程序	可採用已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明
監測頻率	專案註冊前進行竹林資源調查及申請查證前進行監測
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	

數據/參數	$N_{BSL,i,j,y,t}$ 及 $N_{P,i,j,y,t}$
數據單位	culm ha ⁻¹
應用的公式編號	5、6、10、11、16、17、21、22
描述	竹林密度，第 t 年時，i 分層 j 竹種 y 竹齡每公頃稈數(量)
數據來源	實地量測
量測程序	可採用已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明
監測頻率	專案註冊前進行竹林資源調查及申請查證前進行監測
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	基線情境用 $N_{BSL,i,j,y,t}$ 表示；專案情境用 $N_{P,i,j,y,t}$ 表示

數據/參數	$WS_{BSL,i,j,y,t}$ 及 $WS_{P,i,j,y,t}$
數據單位	kg culm ⁻¹
應用公式編號	6、11、17、22
描述	第 t 年，i 分層 j 竹種 y 竹齡單稈平均重量
數據來源	實地量測
量測程序	可採用已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明
監測頻率	專案註冊前進行竹林資源調查及申請查證前進行監測
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	基線情境 $WS_{BSL,i,j,y,t}$ 表示；專案情境 $WS_{P,i,j,y,t}$ 表示

數據/參數	$W_{BM_BSL,j,t}$ 及 $W_{BM_P,j,t}$
數據單位	kg yr ⁻¹
應用公式編號	7、10、18、23

描述	第 t 年，j 竹種收穫總竹材鮮重
數據來源	實地量測
量測程序	採用已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明
監測頻率	專案註冊前進行竹林資源調查及申請查證前進行監測
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	基線情境 $W_{BM_BSL,j,t}$ 表示；專案情境 $W_{BM_P,j,t}$ 表示

數據/參數	$MC_{j,y}$
數據單位	%
應用的公式編號	6、11、17、22
描述	j 竹種 y 竹齡的含水率
數據來源	實地量測
量測程序	可採用已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明，或 GPG LULUCF 中描述的步驟
監測頻率	專案註冊前進行竹林資源調查及申請查證前進行監測
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	

數據/參數	$MC_{a,j}$
數據單位	%
應用的公式編號	7、10、18、23
描述	j 竹種的平均含水率
數據來源	實地量測

量測程序	可採用已公開發表或正式出版竹林資源調查及監測相關手冊或指南說明，或 GPG LULUCF 中描述的步驟
監測頻率	使用此計算方式時及專案申請查證前
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	

數據/參數	$A_{BURN,t}$
數據單位	ha
應用的公式編號	25
描述	第 t 年時，竹林火災的火燒面積
數據來源	地面量測、地理資訊系統(GIS)量測或航空遙感監測資料
量測程序	地面面積量測儀器、地理資訊系統(GIS)空間資訊資料或航空遙感監測資料
監測頻率	專案執行期間若發生將進行監測
QA/QC 程序	收集之數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	

V.附表

附表 1 主要竹種生物量方程式

竹種	迴歸式		參數值			樣竹株數	適用範圍			建模地點	文獻來源	
	W=竹子單株生物量, kg d.m.	R ²	a	b	c		DBH (cm)	竹高 H (m)	竹齡 (年)			
單 稈 散 生	桂竹	稈: $W = a \cdot DBH^b$	0.802	0.1459	2.0491	60 株	3.5-8.5		1-4 年以上	大溪事業區 第 81 林班	廖天賜 (2013)	
		稈: $W = a \cdot DBH^b$	0.978	0.0741	2.310							
		稈: $W = a \cdot (DBH^2 \cdot H)^b$	0.978	0.0250	0.855							
		$W_{stem} = a \cdot DBH^2 + b \cdot DBH + c$	0.891	0.1223	-0.3128	0.9121	24 株	6.0-6.9	10-11.9	多為 6 年生	司馬庫斯、 秀巒、 尖石、 巴陵、高坡	陳財輝等 (2009)
		$W_{above} = a \cdot DBH^2 + b \cdot DBH + c$	0.857	0.0771	0.5449	-1.575						
		稈: $W = a \cdot DBH^b$	0.921	0.119	2.118	20 株					南投竹山	Yen et al. (2010)
	地上部: $W = a \cdot DBH^b$	0.882	0.156	2.118								
	稈: $W = a \cdot DBH^b \cdot H^c$	0.933	0.646	2.612	-1.006							
	地上部: $W = a \cdot DBH^b \cdot H^c$	0.898	1.122	2.695	-1.175							
	孟宗竹	稈: $W = a \cdot DBH + b \cdot \log DBH + c \cdot e^{DBH}$	0.990	4.01634030	-25.3655128	-0.00025400	12 株	6-8	9.7-11.7	1-5	惠蓀林場	王仁等 (2009)
		地上部: $W = a \cdot DBH + b \cdot \log DBH + c \cdot e^{DBH}$		5.15166254	-32.3164643	-0.00036581						
		稈: $W = a \cdot DBH + b \cdot \log DBH + c \cdot e^{DBH}$	0.986	5.61230046	-40.2829067	-0.00000111	11 株	9.5-11	20.1-21.8	1-5	嘉義石棹	王仁等 (2009)
地上部: $W = a \cdot DBH + b \cdot \log DBH + c \cdot e^{DBH}$			6.28582091	-44.9215790	-0.00000111							

竹種	迴歸式		參數值			樣竹株數	適用範圍			建模地點	文獻來源
	W=竹子單株生物量, kg d.m.	R ²	a	b	c		DBH (cm)	竹高 H (m)	竹齡 (年)		
	稈: $W = a \cdot DBH^b$	0.99	0.2551	1.7707		12 株	6.8-7.1	11.7-12.5	1-4 年以上	南投鳳凰山	陳財輝等 (2014)
	地上部: $W = a \cdot DBH^b$	0.92	0.4354	1.7079							
	$W = 10^{a+b \cdot \log DBH}$		-0.9950	2.2465							
合軸叢生	竹稈: $W = a \cdot DBH^2 + b \cdot DBH + c$	0.8211	0.2288	-0.0953	-1.711	21 株				台南市左鎮區	陳財輝等 (2012)
	$W = a \cdot DBH^b$		0.1659	2.2463		20 株	5.9-10.7	11.7-25.0	1-5	台南市龍崎區、 高雄市內門區	Li et al. (2016)
	$W = a \cdot (DBH^2 \cdot H)^b$		0.0262	0.9215							
	$W = a \cdot DBH^b$		0.0639	2.6700							
	$W = a \cdot DBH^b \cdot e^{c \cdot DBH}$		0.2442	1.9140	0.0378						
長枝竹	目前暫無相關資料，建議採用合軸叢生之生物量方程式(如蔴竹)，倘專案執行期間有長枝竹之生物量方程式相關研究文獻，得允採用。										

註 1：若無專案地點之單稈散生生物量方程式，建議可參採上表之適合地點之生物量方程式，或採用下列方程式估算：

$$Gs = a \times (DBH^2 \times H)^b \quad a=0.0502, b=0.8223 \text{ (顏添明, 2013)}。$$

註 2：若有新的生物量方程式相關研究文獻，可舉證引用。

附表 2 主要竹種含碳率(CF 值)

單位:%

竹種		地上部	地點	文獻來源
		稈部		
單 稈 散 生	桂竹	47.38	南投鹿谷	紀怡嘉(2008)
		47.91	臺東延平、彰化福興、苗栗獅潭	Lin 等 (2011)
		47.65	南投竹山	Yen 等(2010)
		47.26	大溪事業區第 81 林班	廖天賜(2013)
	孟宗竹	48.29	南投鹿谷	紀怡嘉(2008)
		48.76	臺東太麻里、花蓮瑞穗、南投竹山、嘉義梅山	Lin 等 (2011)
		46.84	惠蓀林場	王仁等(2009)
		48.34	嘉義石棹	
		49.43	臺灣中部多處	孫百寬等(2013)
	合 軸 叢 生	荊竹	45.83	南投鹿谷
嘉義龍潭、高雄內門				Lin 等(2011)
長枝竹		46.64	臺南東山	紀怡嘉(2008)

附表 3 主要竹林經營活動

主要竹林經營活動	具體經營措施
撫育作業	竹林經營需進行除草、除蔓之竹林整理撫育作業，以確保新生竹能順利生長。
立竹密度調整	伐密留疏，伐弱留強，選擇粗壯筍留養新竹；在結構調整期，清理伐採風倒竹、病蟲竹及老竹，以補植竹苗方式，優化竹齡及空間結構，使竹林分布均勻，提高竹林的立竹度和平均胸徑。
維護竹林健康	竹林病蟲害防治；加強護林防火，預防竹林火災的發生；伐採時間選擇在冬季竹子生理活動減弱時進行，減輕對竹林竹稈、竹鞭、竹根系統的損傷。

附表 4 主要竹種收穫竹產品之最終儲存率(預設值)

項目 竹種		用於生產加工 ty 類竹產品的比例(BPP _{ty})與 ty 類竹產品在 20 年後仍留存的比例(OF _{ty})							(1- BW _{ty}) 竹材利用率 C	BPP _{avj,20} 最終儲存率 (A1×B1+A2× B2+A3×B3)×C	
		建築強化結構 物/室內家具 A1	OF _{ty} 留存率 B1	工藝品 A2	OF _{ty} 留存率 B2	其他用途 A3	OF _{ty} 留存率 B3	短期使用 ¹ A4			OF _{ty} 留存率 B4
單 稈 散 生	桂竹	11%	52%	4%	37%	42%	14%	43%	不計	89%	11.64%
	孟宗竹	47%		8%		30%		15%			28.12%
合 軸 叢 生	荊竹	19%		8%		25%		48%			14.54%
	長枝竹	6%		6%		35%		53%			9.11%

註 1：建築強化結構物/室內家具：桁架結構(棚架、涼亭等)、竹構建築設施(竹牆面、竹地板等)、室內竹家具(桌椅、櫥櫃等)

工藝品：竹劍、竹根雕、竹筆筒、竹籃、竹簾等

其他用途：地景裝置、戶外竹籬、建築景觀工程用竹籬等

註 2：利用 $BPP_{avj,BL} = \sum_{ty} [BPP_{ty,j} \times (1-BW_{ty}) \times OF_{ty}]$ 及 $OF_{ty} = e^{(-BL * \ln(2) / HL_{ty})}$ 公式得出

註 3：專案申請者若能出具收穫竹產品不同階段之實際值之相關證明文件，得採用實際值計算收穫竹產品的碳儲存量。

數據來源：林俊成等(2017)、竹材產業技術諮詢中心(2021)、本團隊訪談調查結果及經專家學者會議通過(2022)。

¹ 使用壽命為 5 年以下之產品(如:竹籤、竹筷、農用竹材等)，因其不具備永久性碳儲存效益，不列入專案收穫竹產品碳儲存計算。

VI. 引用文獻

1. 王仁、陳財輝、張華洲、鍾欣芸、李宗宜、劉瓊霏 (2009) 惠蓀林場和石棹孟宗竹林分結構及地上部生物量和碳儲存量。林業研究季刊 31(4)：17-26。
2. 行政院農業委員會林務局 (2009) 第四次全國森林資源調查事業區外地面樣區設置與調查工作手冊。行政院農業委員會林務局。50 頁。
3. 行政院農業委員會林務局 (2009) 第四次全國森林資源調查事業區外地面樣區設置與調查工作查驗規範。行政院農業委員會林務局。4 頁。
4. 行政院農業委員會林務局 (2015) 第四次森林資源調查報告。行政院農業委員會林務局。79 頁。
5. 行政院環境保護署 (2019) 造林與植林碳匯專案活動。AR-TMS0001。
6. 呂錦明、陳財輝 (1992) 桂竹林分構造及生物量-桶頭一桂竹林分之例。林業試驗所研究報告季刊 7(1)：1-13。
7. 李佳、顧蕾、朱瑋強、施擁軍、計葳、鄭軼楓 (2018) 浙江省安吉縣 CCER 竹林經營碳匯交易專案經濟效益分析。浙江農林大學學報 35(4)：581-588。
8. 李隆恩、林裕仁、顏添明 (2016) 蔴竹(*Bambusa stenostachya*)地上部生物量模式及碳貯存量之推估。台灣林業科學 31(1)：37-47。
9. 楊宇明、楊漢奇、石明、王娟 (2009) 叢生竹集約經營和豐產定向培育理論初步研究。竹林生態與經營學術論壇論文集：35-43。
10. 國家發展和改革委員會 (2015) 竹林經營碳匯項目方法學。AR-CM-005-V01。
11. 林俊成、陳溢宏、林裕仁 (2017) 竹林加工業之國內原竹需求及流向分析。林業研究專訊 24(4)：62-64。
12. 林裕仁、劉怜均 (2024) 竹林資源調查手冊。林業叢刊 304 號。
https://www.tfri.gov.tw/News_Content4.aspx?n=7500&s=32538。
13. 紀怡嘉 (2008) 臺灣中部地區桂竹林生物量與碳貯存量之研究。國立中興大學森林學研究所碩士學位論文。

14. 趙兵、陳京華、王宏 (2019) 福建順昌縣國有林場毛竹林可持續經營碳會計量。世界竹藤通訊 17(6)：25-30。
15. 孫百寬 (2012) 麻竹與孟宗竹林分結構及碳貯存量推估之研究。國立中興大學森林學研究所碩士學位論文。
16. 孫百寬、陳滄婷、顏添明、李隆恩 (2013) 臺灣中部地區孟宗竹林不同經營強度林分性態值、地上部生物量及碳貯存量之比較。林業研究季刊 35(1)：23-32。
17. 陳財輝、廖天賜、鍾一榮、王仁 (2014) 高雄六龜與台南白河兩地麻竹林之林齡結構與生物量比較。林業研究季刊 36(4)：263-272。
18. 陳財輝、劉瓊霖、王仁 (2015) 台北五股與台南龍崎綠竹林之林分結構與生物量。林業研究季刊 37(3)：209-218。
19. 陳財輝、鍾欣芸、汪大雄、林信輝 (2009) 石門水庫集水區桂竹林之生長及生物量。中華林學季刊 42(4)：519-527。
20. 陳惠芳 (2015) 估算臺灣竹林碳匯之研究—以臺東縣延平鄉桂竹林為例。國立嘉義大學管理學院生物事業管理學系暨研究所碩士論文。
21. 馮豐隆 (2004) 森林測量學。國立中興大學森林學系教材。276 頁
22. 黃裕星 (2011) 臺灣竹類資源調查、利用及新技術開發。林業研究專訊 18(1)：1-2。
23. 葉銘哲、鍾智昕、林謙佑、林奐宇 (2016) 台南市山坡地竹林資源調查與土地管理之研究。台灣林業科學 31(3)：257-69。
24. 廖天賜 (2013) 桂竹林經營作業法對林分動態變化之研究。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列。
25. 劉怡宏、林政融、顏添明 (2011) 應用不同方法推估桂竹人工林生物量之比較。林業研究季刊 41(3)：203-215。
26. 顏添明 (2011) 竹林碳移除潛力探討。林業研究專訊 18(1)：19-22。

27. 顏添明 (2013) 主要台灣經濟竹種碳儲備及異速模式的建立。行政院國家科學委員會計畫 計畫編號：NSC101-2313-B005-015-MY2。
28. 羅凱安、葉政翰 (2020) 屏東林管處轄區竹林資源永續經營與收穫作業技術改進之研究。屏東林區管理處委託計畫 計畫編號：Po108BM。
29. 竹材產業與技術諮詢中心 (2021) <https://www.bambootw.net/index.php>。
30. Charlotte King, Pablo van der Lugt, Trinh Thang Long, Li Yanxia (2021) Integration of Bamboo Forestry into Carbon Markets. INBAR Working Paper.
31. Chen, T. H., D. H. Wang and S. Wang (2016) The trend of growth characteristics of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests under an unmanaged condition in central Taiwan. Taiwan J For Sci 31(2): 75-78。
32. INBAR (2019) A Manual for Bamboo Forest Biomass and Carbon Assessment. International Bamboo and Rattan Organization Technical Report (Auditors: Bao Huy, Trinh Thang Long.).
33. IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.
34. Li, L. E., Y. J. Lin and T. M. Yen (2016) Using allometric models to predict the aboveground (*Bambusa stenostachya*) and estimate its carbon storage. Taiwan Journal Forest Science 31(1): 37-47.
35. Lin, Y. J., C. H. Wang and S. Wu (2011) Analyzing carbon conversion factors of four species of taiwanese bamboo. Taiwan Journal of Forest Science 26(4): 341-355.
36. Petrova, S.H., Swails, E., Netzer, M., S.M. and Brown, S. (2010). Manual Technical Issues Related to Implementing REDD plus Programs in Mekong Countries. Winrock International, p.109.
37. Yen, T. M., Y. J. Ji and J. S. Lee (2010) Estimating biomass production and carbon storage for a fast-growing makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*) plant based on the diameter distribution model. Forest Ecology and Management 260: 339–344.

減量方法資料

版次	日期	修訂記錄
01.0	113年10月28日	「環境部溫室氣體抵換專案及自願減量專案審議會第8次會議」 決議審核通過。
