

AL-TMS0002

小規模減量方法

海草復育

Seagrass Restoration

版本 01.0

範疇別：12 農業及土地利用

I. 減量方法提案緣起及背景

全球氣候變遷所產生的影響逐漸擴大，不僅影響生態環境，更緊密連動著人類的健康、全球經濟與社會發展。海草床是重要海洋藍碳，也是海岸生物熱點，是海洋生物棲息、繁殖和覓食的重要棲地。然而，由於自然與人為因素所造成海草床破壞，導致全球性海草床面積縮減，而在各地陸續進行海草復育行動。雖然各地區之復育原因有所差異，但海草床生態系統服務具有能減緩氣候變遷的「調節」功能，即是能作為儲存二氧化碳的碳匯。自然碳匯以「自然為本的解方」(Nature-based Solutions, NbS)是達成臺灣「2050淨零排放路徑藍圖」中，重要的負碳技術與途徑之一。全球海洋生物所捕獲和吸存的碳中，至少有一半是儲存於海岸濕地或濱海藍碳生態系統中¹。然而，目前聯合國清潔發展機制 (Clean Development Mechanism, CDM) 在「濱海藍碳生態系統」的方法學中，僅有「劣化紅樹林棲地的造林與植林」(Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats) (AR-AM0014) 方法學，及 VCS 的「潮汐濕地和海草復育」(Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration) (VCS VM0033) 方法學。不過，VCS VM0033方法學不只針對海草床，還包含其他潮汐濕地，計算繁瑣複雜，若要適用於臺灣海草復育，須加以萃取整合海草相關方法。

因此，本方法目的在於參考國際海草床碳匯認證方法，建立一套符合臺灣環境且具可執行性及品質管控之海草復育與減量方法學，以確保專案所產生外加性碳匯具有量測、報告與查證性 (MRV)，促進海草復育之溫室氣體自願減量專案執行。

II. 既有減量方法差異說明

本減量方法與既有減量方法(VCS VM0033「潮汐濕地和海草復育」Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration)之差異比較表如表一，比較項目包含適用條件、專案邊界、基線排放量、專案排放、洩漏、人為溫室氣體淨移除量與量測方法/參數之說明等。

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/海草復育}	既有減量方法 { VCS VM0033/ Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration, v2.1 }
出處		VCS VM0033 v2.1
涉及之減量措施	海草復育	潮汐濕地復育
(1)適用條件	<ol style="list-style-type: none">專案活動應符合海草復育之目的，適用於「海洋或海岸型濕地」、「人為型濕地」區域。專案活動應種植海草，並配合環境條件選用合宜的海草種類且可同時涵括以下任一項或多項之組合：<ol style="list-style-type: none">水文管理 (如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水	<ol style="list-style-type: none">復育潮汐濕地 (包括海草棲地，依據本方法學對潮汐濕地的定義)的專案活動是符合條件的。專案活動可以包括以下任何一項或多項組合：<ol style="list-style-type: none">創造、復育和/或管理水文條件 (如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復潮汐流至濕地或降低堤防濕地的水位)；

¹ Blue future: Coastal wetlands can have a crucial role in the fight against climate change. Nature, 2016, 529: 255–256.

	<p>位等)。</p> <p>(2) 沉積物改變 (如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等)。</p> <p>(3) 鹽度改變 (如引入海水提高棲地鹽度等)。</p> <p>(4) 水質改善 (如減少過多陸源營養鹽污染等)。</p> <p>(5) 管理方法改善 (如移除外來種、減少草食作用等)。</p> <p>3. 除非基於保護海草之必要措施外，專案邊界內不得進行生物移除。</p> <p>4. 專案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 (t CO₂e)，且整個專案淨移除量需為正值。</p>	<p>(2) 改變沉積物供給 (如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域)；</p> <p>(3) 改變鹽度 (如將潮汐恢復的區域)；</p> <p>(4) 改善水質 (如減少養分負荷，提高水質澄清度以擴大海草面積，復育潮汐和其他水文沖洗與交換，或減少養分滯留時間)；</p> <p>(5) (重新) 引入原生植物群落 (如重新種植)；</p> <p>(6) 改善管理方法 (如移除外來種、減少草食放牧)。</p> <p>3. 在專案開始前，專案邊界需符合以下條件之一：</p> <p>(1) 專案邊界中不包含任何可能被轉移到專案邊界以外的土地利用，可透過以下至少一種方式來佐證：</p> <p>i. 在專案開始前，該專案邊界已被廢棄兩年以上。</p> <p>ii. 由於沉積物鹽鹼化、市場力量或其他因素而使得專案邊界不具商業利用 (如貿易) 營利性。此外，專案邊界的基線情境中不會進行木材採伐。</p> <p>iii. 國內濕地不會因為開辟新的農業用地而導致劣化，或具有強制性法律規範禁止。</p> <p>(2) 屬於可能會被轉移到專案邊界以外的土地利用方式。在此情況下，不得計算該土地使用方式的基線排放量，並且該區域不會發生為了開闢新的農業/水產養殖用地而造成濕地劣化的情況或已受到強制性法規禁止。</p> <p>(3) 在專案活動計入期內，該專案邊界將繼續以類似的服務或產量水準進行土地利用 (如採集蘆葦或乾草、採集柴火、自給自足的捕撈等)。</p> <p>4. 專案申請者必須根據可驗證的</p>
--	---	---

		<p>資訊，例如法律法規、管理計畫、年度報告、年度財務報表、市場研究、政府研究或土地利用規劃報告和文件等，證明符合以上 (1)、(2) 或 (3) 中的一種。</p> <p>5. 專案邊界可能有存活植物，並且在基線情境和專案情境下均可能受到碳儲量變化，如由於砍伐而造成的影響。</p> <p>6. 專案活動可能包括對地上部草本和地上部灌木生物量進行燃燒控制(覆蓋物燃燒)。</p> <p>7. 如果專案申請者預計通過減少泥炭火災的頻率來獲得減量額度，專案活動必須包括重新濕化 (rewetting) 和火災管理的組合。</p> <p>8. 如果專案申請者預計通過減少泥炭火災的頻率來獲得減量額度，則必須證明存在頻繁的火災威脅，且有機質沉積物起火的原因是人為的，例如泥炭的排水、縱火。</p> <p>9. 在有機質沉積物層中，造林、植林與植被復育 (ARR) 活動必須結合重新濕化。</p> <p>本方法學不適用於以下情況：</p> <p>1. 專案活動符合改善森林經營管理 (Improve Forest Management, IFM) 或避免毀林及森林劣化所致的溫室氣體排放量之減量 (Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation, REDD)。</p> <p>2. 基線活動包含商業林業。</p> <p>3. 除非專案將開放水域轉換為潮汐濕地或改善與集水區之間的水文連通性，否則專案活動會降低地下水位。</p> <p>4. 專案邊界與相鄰區域的水文連通性導致專案邊界以外的溫室氣體排放顯著增加，此時本方法學不適用。</p> <p>5. 專案活動包含有機質沉積物的燃燒。</p> <p>6. 專案活動計入期，在專案邊界</p>
--	--	--

		內使用氮肥，如化肥或糞肥。
(2)專案邊界、土地合格性及外加性	<p>1. 土地合格性</p> <p>專案區域除了滿足本方法適用條件，專案申請者還需要提供土地合格性證明文件：</p> <p>(1) 地面基本調查資料：能表示過去土地利用狀況的高解析度地理空間資料(如航空照片圖或衛星影像圖)；</p> <p>(2) 土地所有權證明資料：確定土地所有權才能避免專案邊界及專案活動有侵占他人土地之爭議。若為私人土地，須提供土地清冊或所有權人登記；若為國公有土地，須提供主管機關許可、授權或租賃證明等證明文件。此外，證明文件應有授權期間，並應涵蓋專案計入期期間。</p> <p>2. 專案邊界</p> <p>本減量方法之專案邊界指專案申請者 (Project Participants, PPs) 實施海草復育活動的地理範圍。經營活動可在不同分散土地進行，各分散之復育海草床面積皆應大於0.1 公頃。在申請專案時，專案申請者應提出資料證明專案邊界範圍、土地合格性及土地權利關係人。</p> <p>另海草復育建議以科學實地調查進行，輔以全球衛星定位系統 (GPS) 及地理資訊系統 (GIS) 之地理空間資料之方式進行標記，並於現地以界樁進行定位。</p> <p>針對本專案之目的，地上部及地下部生物量為必須計入之項目。由於碎屑並非主要受影響之碳庫，因此考量保守性原則只計算地上部、地下部生物量(海草植物體之生物量)及沉積物有機碳。</p> <p>溫室氣體排放源包含濕地沉積物非二氧化碳溫室氣體排放量及專案執行化石燃料二氧化碳排放量、甲烷及氧化亞氮。在基線</p>	<p>1. 土地合格性</p> <p>無。</p> <p>2. 專案邊界範圍</p> <p>分之為「時間邊界」、「地理邊界」；其中，分層之說明包含於「地理邊界」中。</p> <p>3. 碳庫及溫室氣體排放源之計算項目</p> <p>(1) 碳庫</p> <p>如果省略的碳儲量減少或 GHG 排放增加總和低於專案產生的 GHG 總量的5%，則碳庫可以被視為微不足道，無需計算。可以使用同儕評審的文獻或 CDM AR-Tool04工具來測定碳庫的減少是否可以省略。計算項目必須計入「地上部木質生物量」、「地上部非木質生物量」、「地下部木質生物量」、「枯落物」、「枯木」、「沉積物」、「木製品」。</p> <p>(2) 溫室氣體排放源</p> <p>項目包含「微生物產生的甲烷」、「反硝化/硝化」、「生物量的燃燒」、「化石燃料使用」。</p> <p>2. 鑑別基線情境及證明外加性</p> <p>應用 CDM 工具 AR-Tool02組合工具來鑑別基線情境。</p>

情境下，甲烷 (CH₄) 和氧化亞氮 (N₂O) 的排放量可以依據保守性原則設為零。如果專案申請者能證明相較於基線情境，專案情境下的甲烷 (CH₄) 或氧化亞氮 (N₂O) 排放量並未增加，則這些溫室氣體排放量亦可不計算。

3. 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。法規外加性係指非因法規強制性要求而執行之專案活動，包括是否有法規強制或政策鼓勵事業體執行專案活動、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。

建議專案撰擬得參考《漁業法》、《國家公園法》、《濕地保育法》、《重要濕地評定辦法》、《發展觀光條例》、《自然保護區設置管理辦法》、《野生動物保育法》、《文化資產保存法》、《海岸管理法》、《漁港法》、《海洋保育法》、《水污染防治法》、《農業發展條例》、《區域計畫法》、《都市計畫法》、《野生動物保育法》、《環評法》等規範，確認是否屬法規強制要求執行，或有違反相關法律、法規、政策措施之行為，而不得於法規禁止及嚴格管制區域執行專案活動，且應符合相關法規規範。

若專案活動涉及改善水質、改善水文連通性、恢復潮汐流至濕地或降低堤防濕地的水位等工程，也需要提供相關的工程許可

	<p>或符合法律規範，建議參考《環境影響評估法》、《水污染防治法》、《水利法》、《河川管理辦法》、《海岸管理法》、《國土計畫法》、《區域計畫法》、《建築法》、《文化資產保存法》、《野生動物保育法》、《濕地保育法》及《海洋保育法》，或是中央主管機關及地方主管機關之相關規定。</p> <p>專案活動執行前應進行環境衝擊分析及公眾意見蒐集，並將相關分析納入專案計畫內，並以專章方式呈現。環境衝擊分析建議得參考海洋委員會公告之「海洋生物復育措施辦理原則及實施辦法」或其他國際已公開發表或官方公告可供環境衝擊分析之手冊或指南，公眾意見蒐集建議參考環境部「溫室氣體自願減量專案管理辦法」。</p>																															
<p>(3)基線移除量 (含基線移除量計算式)</p>	<p>為符合2013 IPCC 濕地補充指南，修正如下：</p> $\Delta C_{BSL,t}$ $= \Delta B_{BSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t} - GHG_{BSL,t}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\Delta C_{BSL,t}$</td><td>t年間基線溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta B_{BSL,t}$</td><td>t年間基線海草生物碳儲量的年變化量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta SOC_{BSL,t}$</td><td>t年間基線沉積物碳儲量的年變化量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{BSL,E,t}$</td><td>t年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	$\Delta C_{BSL,t}$	t年間基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta B_{BSL,t}$	t年間基線海草生物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e	$\Delta SOC_{BSL,t}$	t年間基線沉積物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e	$GHG_{BSL,E,t}$	t年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e	<p>$GHG_{BSL} =$</p> $GHG_{BSL,biomass} + GHG_{BSL,soil} + GHG_{BSL,fuel}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GHG_{BSL}</td><td>基線情境中直至 t 年之 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{BSL,biomass}$</td><td>基線情境中直至 t 年之生物量碳庫 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{BSL,soil}$</td><td>基線情境中直至 t 年之 SOC 碳庫 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{BSL,fuel}$</td><td>基線情境下在第 t 年，化石燃料之 GHG 排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	GHG_{BSL}	基線情境中直至 t 年之 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	$GHG_{BSL,biomass}$	基線情境中直至 t 年之生物量碳庫 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	$GHG_{BSL,soil}$	基線情境中直至 t 年之 SOC 碳庫 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	$GHG_{BSL,fuel}$	基線情境下在第 t 年，化石燃料之 GHG 排放量	t CO ₂ e
參數	定義	單位																														
$\Delta C_{BSL,t}$	t年間基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																														
$\Delta B_{BSL,t}$	t年間基線海草生物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e																														
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t年間基線沉積物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e																														
$GHG_{BSL,E,t}$	t年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e																														
參數	定義	單位																														
GHG_{BSL}	基線情境中直至 t 年之 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																														
$GHG_{BSL,biomass}$	基線情境中直至 t 年之生物量碳庫 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																														
$GHG_{BSL,soil}$	基線情境中直至 t 年之 SOC 碳庫 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																														
$GHG_{BSL,fuel}$	基線情境下在第 t 年，化石燃料之 GHG 排放量	t CO ₂ e																														

<p>(4)專案移除量 (含專案移除量計算式)</p>	<p>為符合2013 IPCC 濕地補充指南，修正如下：</p> $\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{PROJ,t} - GHG_{fuel,t}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\Delta C_{ACTUAL,t}$</td><td>t 年間實際溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{PROJ,t}$</td><td>t 年間專案碳儲量的總變化量，計算方法同基線溫室氣體淨移除量 ($\Delta C_{BSL,t}$)，差異在於專案情境一定得實際測量，不得使用10.1預設數據與參數。</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{fuel,t}$</td><td>t 年間由於執行海草復育專案活動，使用化石燃料的溫室氣體排放量。參照 CDM AR-Tool05 「A/R CDM 專案活動中與化石燃料燃燒有關的溫室氣體排放量估算工具」</td><td>t CO₂e</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{PROJ,t}$	t 年間專案碳儲量的總變化量，計算方法同基線溫室氣體淨移除量 ($\Delta C_{BSL,t}$)，差異在於專案情境一定得實際測量，不得使用10.1預設數據與參數。	t CO ₂ e	$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行海草復育專案活動，使用化石燃料的溫室氣體排放量。參照 CDM AR-Tool05 「A/R CDM 專案活動中與化石燃料燃燒有關的溫室氣體排放量估算工具」	t CO ₂ e	$GHG_{WPS} = GHG_{WPS_{biomass}} + GHG_{WPS_{soil}} + GHG_{WPS_{burn}} + GHG_{WPS_{fuel}}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GHG_{WPS}</td><td>專案情境中直至 t 年之 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{WPS_{biomass}}$</td><td>專案情境中直至 t 年之生物量碳庫 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{WPS_{soil}}$</td><td>專案情境中直至 t 年之 SOC 碳庫 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{WPS_{burn}}$</td><td>專案情境下至 t 年預期燃燒產生的 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$GHG_{BSL_{fuel}}$</td><td>於專案情境下分層 i 在第 t 年，化石燃料之 GHG 排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	GHG_{WPS}	專案情境中直至 t 年之 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	$GHG_{WPS_{biomass}}$	專案情境中直至 t 年之生物量碳庫 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	$GHG_{WPS_{soil}}$	專案情境中直至 t 年之 SOC 碳庫 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	$GHG_{WPS_{burn}}$	專案情境下至 t 年預期燃燒產生的 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	$GHG_{BSL_{fuel}}$	於專案情境下分層 i 在第 t 年，化石燃料之 GHG 排放量	t CO ₂ e			
參數	定義	單位																																	
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																																	
$\Delta C_{PROJ,t}$	t 年間專案碳儲量的總變化量，計算方法同基線溫室氣體淨移除量 ($\Delta C_{BSL,t}$)，差異在於專案情境一定得實際測量，不得使用10.1預設數據與參數。	t CO ₂ e																																	
$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行海草復育專案活動，使用化石燃料的溫室氣體排放量。參照 CDM AR-Tool05 「A/R CDM 專案活動中與化石燃料燃燒有關的溫室氣體排放量估算工具」	t CO ₂ e																																	
參數	定義	單位																																	
GHG_{WPS}	專案情境中直至 t 年之 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																																	
$GHG_{WPS_{biomass}}$	專案情境中直至 t 年之生物量碳庫 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																																	
$GHG_{WPS_{soil}}$	專案情境中直至 t 年之 SOC 碳庫 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																																	
$GHG_{WPS_{burn}}$	專案情境下至 t 年預期燃燒產生的 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																																	
$GHG_{BSL_{fuel}}$	於專案情境下分層 i 在第 t 年，化石燃料之 GHG 排放量	t CO ₂ e																																	
<p>(5)洩漏</p>	<p>依據本方法適用條件，專案活動的執行不會引起專案前產業活動之轉移，因此不考慮產業活動轉移所造成之排放。因此只要符合本方法適用條件，專案活動就不具潛在洩漏，即 $LK_t = 0$，其中 LK_t 為第 t 年專案活動所產生的洩漏排放量。</p>	<p>本方法學的適用條件是為了確保不會發生活動轉移洩漏和市場洩漏。因此，在滿足本方法學適用條件的情況下，可以假設活動轉移洩漏和市場洩漏為零。</p>																																	
<p>(6)人為溫室氣體淨移除量</p>	$\Delta C_{SBR} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ΔC_{SBR}</td><td>實施海草復育專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{ACTUAL,t}$</td><td>t 年間實際溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>$\Delta C_{BSL,t}$</td><td>t 年間 (未實施專案活動) 基線溫室氣體淨移除量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>LK_t</td><td>t 年間洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法學適用條件可視為零。</td><td>t CO₂e</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	ΔC_{SBR}	實施海草復育專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未實施專案活動) 基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e	LK_t	t 年間洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法學適用條件可視為零。	t CO ₂ e	$NER_{RWE} = GHG_{BSL} - GHG_{WPS} + FRP - GHG_{LK}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>參數</th><th>定義</th><th>單位</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NER_{RWE}</td><td>RWE 專案活動的 CO₂e 淨減排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>GHG_{BSL}</td><td>基線情境下的 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>GHG_{WPS}</td><td>專案情境下的 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>FRP</td><td>火災減少價值(由於重新潤濕和火災管理，有機質沉積物燃燒產生的 CO₂e 淨減排量)</td><td>t CO₂e</td></tr> <tr> <td>GHG_{LK}</td><td>洩漏造成的 CO₂e 淨排放量</td><td>t CO₂e</td></tr> </tbody> </table>	參數	定義	單位	NER_{RWE}	RWE 專案活動的 CO ₂ e 淨減排放量	t CO ₂ e	GHG_{BSL}	基線情境下的 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	GHG_{WPS}	專案情境下的 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e	FRP	火災減少價值(由於重新潤濕和火災管理，有機質沉積物燃燒產生的 CO ₂ e 淨減排量)	t CO ₂ e	GHG_{LK}	洩漏造成的 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e
參數	定義	單位																																	
ΔC_{SBR}	實施海草復育專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																																	
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																																	
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未實施專案活動) 基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e																																	
LK_t	t 年間洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法學適用條件可視為零。	t CO ₂ e																																	
參數	定義	單位																																	
NER_{RWE}	RWE 專案活動的 CO ₂ e 淨減排放量	t CO ₂ e																																	
GHG_{BSL}	基線情境下的 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																																	
GHG_{WPS}	專案情境下的 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																																	
FRP	火災減少價值(由於重新潤濕和火災管理，有機質沉積物燃燒產生的 CO ₂ e 淨減排量)	t CO ₂ e																																	
GHG_{LK}	洩漏造成的 CO ₂ e 淨排放量	t CO ₂ e																																	
<p>(7)量測方法/參數</p>	<p>1. 基線及專案測量 專案申請者在撰寫專案設計文</p>	<p>量測計畫的主要目的係在專案活動計入期內每次驗證之前，可靠地量</p>																																	

	<p>件時，必須提供並記錄相關量測資訊，並依據相關標準程序進行量測，且所有數據與相關資料均須以紙本與電子檔案進行保存至計入期結束後2年，包含：</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 證明專案滿足本方法學適用條件之佐證資料與說明； (b) 計算公式的選用、碳庫與碳儲量之材料、數據與說明； (c) 計算專案邊界內碳排放和洩漏之材料、數據與說明。 <p>(1) 專案活動之量測：專案申請者須對專案執行期間所有專案活動進行量測或文字紀錄與說明，以及與溫室氣體排放有關之活動進行量測與紀錄。</p> <p>(2) 量測頻率：基線樣區的移除量測至少須包含專案執行前一年，完整的碳儲量年變化量。專案樣區的移除量測頻率為至少每三至五年為一次量測年度，且每次查證時皆須要有量測資料。專案海草分布面積在量測年度裡可以固定於生長季進行一年一次的量測，再比較隔年的碳儲量，以計算年間碳儲量之增加量。</p> <p>(3) 精準度要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) 碳儲量和碳儲量變化可參照 A/R CDM 「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」 (Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities) 之精準度要求。 (b) 所有使用於估算之數據與係數，其精度之優先順序應由高至低的層級 (Tier)²，依序為 (a) 層級3 主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算；(b) 層級2 國家特定資料的關 	<p>化專案情境下的碳儲量及 GHG 排放量。查證前之主要工作如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 量測計畫之碳儲量變化及 GHG 排放量 ● 估算事後淨碳儲量變化和 GHG 排放量，以及 GHG 減排量 <p>量測計畫至少需包含以下資訊：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 說明每項量測工項內容及其技術要求 ● 量測參數 ● 收集之數據及所需技術 ● 量測頻率 ● 品質保證與品質控制 (QA/QC) ● 數據歸檔程序 ● 量測團隊及管理層之人員、職責及能力
--	--	---

² 參照 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及內政部營建署濕地碳匯作業的三種估算層級。

	<p>鍵係數；(c) 層級1使用 IPCC 預設的排放係數。</p> <p>依照本方法量測規範，國家特定資料的關鍵係數和 IPCC 預設係數，僅可用於專案活動前的專案計畫書估算減量額度，實際減量額度應以實際量測為依據。</p> <p>2. 基線及專案樣區設置與量測</p> <p>(1) 樣區設置</p> <p>參照《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估方法 (Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows)》(Howard et al. 2014) 或《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版。</p>	
--	---	--

III. 減量方法計算式設計概念

本減量方法計算式之設計概念如表二，主要說明基線移除量、專案移除量及其他計算式呈現之目的、原理與參採來源等。

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) 基線移除量	$\Delta C_{BSL,t} = \Delta B_{BSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t} - GHG_{BSL,t}$ <p>(t 年間基線溫室氣體淨移除量 = t 年間基線海草生物碳儲量年變化量 + t 年間基線沉積物碳儲量年變化量 - t 年間基線非二氧化碳之溫室氣體排放量)</p>	基線移除量主要參酌 IPCC 方法。
(2) 專案移除量	$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{PROJ,t} - GHG_{fuel,t}$ <p>(t 年間實際溫室氣體淨移除量 = t 年間專案所有碳層碳儲量總變化量 - t 年間執行專案使用化石燃料之溫室氣體排放量)</p> <p>$\Delta C_{PROJ,t}$ = 計算方式同基線移除量計算式</p>	專案移除量主要參酌 IPCC 方法，而 $GHG_{fuel,t}$ 則依據 CDM AR-Tool05 之工具加入使用化石燃料之溫室氣體排放量。

IV. 小規模減量方法 (草案)

1. 介紹

本減量方法的重要特性請參表三。

表三、減量方法重要特性

減量專案一般用法	本減量方法旨在透過復育海草的專案活動，達成專案邊界內有機碳儲量增加之目的。
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

本方法旨在透過復育海草的專案活動，達成專案邊界內增加有機碳儲量之目的。

2.2 適用條件

1. 專案活動應符合海草復育之目的，適用於「海洋或海岸型濕地」、「人為型濕地」³區域。
2. 專案活動應種植海草，並配合環境條件選用合宜的海草種類且可同時涵括以下任一項或多項之組合：
 - (1) 水文管理 (如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等)。
 - (2) 沉積物改變 (如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等)。
 - (3) 鹽度改變 (如引入海水提高棲地鹽度等)。
 - (4) 水質改善 (如減少過多陸源營養鹽污染等)。
 - (5) 管理方法改善 (如移除外來種、減少草食作用等)。
3. 除非基於保護海草之必要措施外，專案邊界內不得進行生物移除。
4. 專案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 (t CO₂e)，且整個專案淨移除量需為正值。

專案執行者須提供相關文件或數據，以佐證基線情境或專案活動符合適用條件，所需資料文件得參考附錄1。

2.3 生效日

生效日係以114年7月24日「環境部溫室氣體抵換專案暨自願減量專案審議會第19次會議」決議審核通過為準。

3. 名詞定義

本專案方法相關名詞定義如下：

本減量方法相關名詞定義如下：

- (1) 海草床 (seagrass bed, seagrass meadow)：海草為海洋沉水性被子植物，分布於全球熱帶和溫帶淺海域。海草聚集生長而形成海草床，是重要的濱海生態系統之一。
- (2) 臺灣原生海草種類 (native seagrass species)：目前臺灣有紀錄的海草種類包括貝克氏鹽草 (*Halophila beccarii*)、毛葉鹽草 (*Halophila decipiens*)、卵葉鹽草 (*Halophila ovalis*)、正鹽草 (*Halophila major*)、小赤崁鹽草 (*Halophila siaochihkanensis*)、泰來草 (*Thalassia hemprichii*)、圓葉水絲草 (*Cymodocea rotundata*)、齒葉大洋草 (*Oceana serrulata*)、水韭菜 (*Syringodium isoetifolium*)、鐮葉叢草 (*Thalassiodendron ciliatum*)、線葉二藥草 (*Halodule pinifolia*)、單脈二藥草 (*Halodule uninervis*) 及甘草 (*Zostera japonica*) 等。
- (3) 海洋或海岸型濕地 (coastal wetland)：依據內政部「重要濕地評定變更廢止及民眾參與實施辦法」附表「重要濕地評定檢核表」，海

³ 參考內政部「重要濕地評定變更廢止及民眾參與實施辦法」附表「重要濕地評定檢核表」

- 洋或海岸型濕地包含: 受潮汐影響之泥灘、沙灘、草澤、林澤、沙丘、砂礫或卵石海岸、淡水／半鹹水／鹹水之湖泊、池塘或潟湖、海草床、藻礁、珊瑚礁及其他低潮時水深不超過六公尺之海域。
- (4) 人為型濕地 (anthropogenic wetland): 依據內政部「重要濕地評定變更廢止及民眾參與實施辦法」附表「重要濕地評定檢核表」, 人為型濕地包含: 養殖池、灌溉埤塘、水圳、水田、鹽田、水庫、水壩、儲水池、滯洪池、開鑿區及人工濕地。
 - (5) 水文管理 (hydrological management): 如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等。
 - (6) 沉積物改變 (sediment alteration): 如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等。
 - (7) 鹽度改變 (water salinity alteration): 如引入海水提高棲地鹽度等。
 - (8) 水質改善 (water quality improvement): 如減少過多陸源營養鹽污染等。
 - (9) 管理方法改善 (management improvement): 如移除外來種、減少草食作用等。
 - (10) 劣化海草床 (degraded seagrass bed): 海草覆蓋度及面積減少 (相較於基準參考線) 之海草床。
 - (11) 碳庫 (carbon pool): 儲存在沉積物、植物、水和大氣等儲碳載體中可以吸收和釋放的碳量。
 - (12) 碳儲量 (carbon stock): 生態系統中碳儲存的總量, 包含一個或多個碳庫的碳總量。沉積物碳儲量指每公頃特定深度 (通常是1公尺深) 的碳含量。本方法統一以溫暖化潛勢轉換, 單位為每公頃公噸二氧化碳當量 ($t\ CO_2e/ha$)。
 - (13) 濕地沉積物 (wetland sediment): 濕地沉積物通常由有機土或礦物土組成。這些沉積物可能全年或部分時間被潮汐淡水、半淡鹹水或鹹水所淹沒或飽和含水, 其水深低潮時不超過6公尺。
 - (14) 泥質沉積物 (muddy sediment): 粒徑中間值小於62.5微米之底質。
 - (15) 沙質沉積物 (sandy sediment): 粒徑中間值大於62.5微米之底質。
 - (16) 自源性碳 (autochthonous carbon): 海草有機碳由海草本身吸收固定海洋和大氣中的碳並轉移到植物組織中, 之後在海草周遭沉積物中堆積或分解。
 - (17) 外源性碳 (allochthonous carbon): 源自於海草以外的有機碳。
 - (18) 地上部生物量 (aboveground biomass): 沉積物層以上的植物體生物量, 單位為乾重 (dry matter), 包含葉片、種子、花、果實等。
 - (19) 地下部生物量 (belowground biomass): 沉積物層以下的植物體生物量, 單位為乾重 (dry matter), 包含水平莖、垂直莖、根等。
 - (20) 碎屑 (detritus): 枯落的海草有機物, 單位為乾重 (dry matter)。
 - (21) 有機碳含量百分比 (carbon fraction): 單位質量中有機碳含量, 以百分比表示之。

(22) 單位

中文	英文	縮寫
二氧化碳當量	carbon dioxide equivalent	CO ₂ e
公噸	tonne	t
乾重	dry matter	d.m.
公噸乾重	tonne dry matter	t d.m.
每公頃公噸乾重	tonne dry matter per hectare	t d.m./ha
公頃	hectare	ha

(23) 公式中的縮寫代號

中文	英文	公式中的縮寫代號
基線情境	baseline scenario	<i>BSL</i>
專案情境	project scenario	<i>PROJ</i>
洩漏	leakage	<i>LK</i>
生物量(生物質)	biomass	<i>B</i>
有機碳含量百分比	carbon fraction	<i>CF</i>
排放係數	emission factor	<i>EF</i>
溫暖化潛勢	global warming potential	<i>GWP</i>
溫室氣體排放量	greenhouse gas emission	<i>GHG_E</i>
沉積物有機碳	sediment organic carbon	<i>SOC</i>
面積	area	<i>A</i>

4. 土地合格性

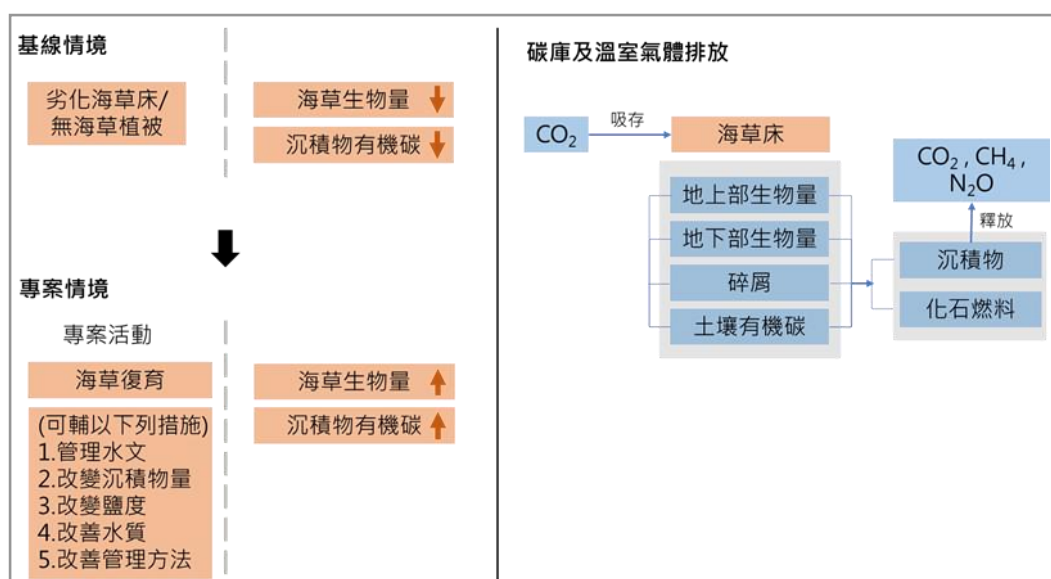
專案區域除了滿足本方法適用條件，專案申請者還需要提供土地合格性證明文件：

- (1) 地面基本調查資料：能表示過去土地利用狀況的高解析度地理空間資料(如航空照片圖或衛星影像圖)。
- (2) 土地所有權證明資料：確定土地所有權才能避免專案邊界及專案活動有侵占他人土地之爭議。若為私人土地，須提供土地清冊或所有權人登記；若為國公有土地，須提供主管機關許可、授權或租賃證明等證明文件。此外，證明文件應有授權期間，並應涵蓋專案計入期期間。

5. 專案邊界

本減量方法之專案邊界指專案申請者 (Project Participants, PPs) 實施海草復育活動的地理範圍。經營活動可在不同分散土地進行，各分散之復育海草床面積皆應大於0.1 公頃。在申請專案時，專案申請者應提出資料證明專案邊界範圍、土地合格性及土地權利關係人。

另海草復育建議以科學實地調查進行，輔以全球衛星定位系統 (GPS) 及地理資訊系統 (GIS) 之地理空間資料之方式進行標記，並於現地以界樁進行定位。



專案活動流程圖

【紅色箭頭往下表示海草生物量或有機碳減少，往上則表示增加。】

針對本專案之目的，地上部及地下部生物量為必須計入之項目。由於碎屑並非主要受影響之碳庫，因此考量保守性原則只計算地上部、地下部生物量 (海草植物體之生物量) 及沉積物有機碳 (表四)。

表四、碳庫計算項目

碳庫	是否採用	理由/解釋
地上部生物量 (aboveground biomass)	是	專案活動的主要碳庫。
地下部生物量 (belowground biomass)	是	專案活動的主要碳庫。
碎屑 (detritus)	否	碎屑分解後會流入沉積物有機碳庫，依照國際間保守性作法將此碳庫排除在核算之外。
沉積物有機碳 (sediment organic carbon)	是	碳庫中的碳儲量預計會受專案活動的實施而增加。

溫室氣體排放源包含沉積物非二氧化碳溫室氣體排放量及專案執行使用化石燃料之溫室氣體排放量。在基線情境下，甲烷 (CH₄) 和氧化亞氮 (N₂O) 的排放量可以依據保守性原則設為零。如果專案申請者能證明相較於基線情境，專案情境下的甲烷 (CH₄) 或氧化亞氮 (N₂O) 排放量並未增加，則這些溫室氣體排放量亦可不計算 (表五)。

表五、溫室氣體排放項目

來源	氣體	是否採用	理由/解釋
基線 沉積	CH ₄	是	專案活動若牽涉鹽度改變應計入。若水體鹽度 < 18 psu，當次 (或季度) 測量應計入；若

來源		氣體	是否採用	理由/解釋
	物 排 放			高於此鹽度標準，則可不計。
		N ₂ O	是	專案活動若牽涉水質改變應計入。若水質達到≥中度優養化等級 ⁴ ，當次(或季度)測量應計入；若水質優養化未達此等級，則可不計。
專案	沉 積 物 排 放	CH ₄	是	專案活動若牽涉鹽度改變應計入。若水體鹽度 < 18 psu，當次(或季度)測量應計入；若高於此鹽度標準，則可不計。
		N ₂ O	是	專案活動若牽涉水質改變應計入。若水質達到≥中度優養化等級 ³ ，當次(或季度)測量應計入；若水質優養化未達此等級，則可不計。
	化 石 燃 料	CO ₂	是	專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植種苗海草。
		CH ₄	是	專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植種苗海草。
		N ₂ O	是	專案活動作業及量測作業中，車輛運輸和機具設備移動是潛在的主要排放源。專案活動作業也包含重新補植種苗海草。

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。法規外加性係指非因法規強制性要求而執行之專案活動，包括是否有法規強制或政策鼓勵事業體執行專案活動、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。

建議專案撰擬得參考《漁業法》、《國家公園法》、《濕地保育法》、《重要濕地評定辦法》、《發展觀光條例》、《自然保護區設置管理辦法》、《野生動物保育法》、《文化資產保存法》、《海岸管理法》、《漁港法》、《海洋保育法》、《水污染防治法》、《農業發展條例》、《區域計畫法》、《都市計畫法》、《野生動物保育法》、《環評法》等規範，確認是否屬法規強制要求執行，或有違反相關法律、法規、政策措施之行為，而不得於法規禁止及嚴格管制區域執行專案活動，且應符合相關法規規範。

若專案活動涉及改善水質、改善水文連通性、恢復潮汐流至濕地或降低堤防濕地的水位等工程，也需要提供相關的工程許可或符合法律規範，建議參考《環境影響評估法》、《水污染防治法》、《水利法》、《河川管理辦法》、《海岸管理法》、《國土計畫法》、《區域計畫法》、《建築法》、

⁴優養化指數計算方式為 $(E) = [\text{化學需氧量}] * [\text{無機氮}] * [\text{活性磷酸鹽}] / 4500 * 10^6$ 。其中， $E \leq 3.0$ 為輕度優養化； $3.0 < E \leq 9.0$ 為中度優養化； $E > 9.0$ 為重度優養化。化學需氧量、無機氮及活性磷酸鹽單位為 mg/L。

《文化資產保存法》、《野生動物保育法》、《濕地保育法》及《海洋保育法》，或是中央主管機關及地方主管機關之相關規定。

專案活動執行前應進行環境衝擊分析及公眾意見蒐集，並將相關分析納入專案計畫內，並以專章方式呈現。環境衝擊分析建議得參考海洋委員會公告之「海洋生物復育措施辦理原則及實施辦法」或其他國際已公開發表或官方公告可供環境衝擊分析之手冊或指南，公眾意見蒐集建議參考環境部「溫室氣體自願減量專案管理辦法」。

7. 基線移除量

「基線情境」指未實施專案活動下，實際之土地利用方式及狀況。「基線溫室氣體淨移除量」係指在基線情境下，專案邊界內碳庫的總碳儲量變化之和。專案申請者應評估在基線情境之下，專案邊界是否存在影響碳儲量產生重大變化之因子，需要現地調查或文獻佐證。

(1) 基線溫室氣體淨移除量計算公式

基線 (BSL) 海草碳儲量的年變化量，即為基線海草溫室氣體淨移除 ($\Delta C_{BSL,t}$)。

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta B_{BSL,t} + \Delta SOC_{BSL,t} - GHG_{BSL,t} \quad \text{式1}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未執行專案活動) 基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta B_{BSL,t}$	t 年間之基線海草生物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年間之基線沉積物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$GHG_{BSL,t}$	t 年間之基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

(2) 基線海草碳儲量年變化量計算公式

原先海草種類面積與其碳儲量年變化量，計算基線 (BSL) 各碳層之海草生物碳儲量的年變化量，即為基線海草碳儲量的年變化量 ($\Delta B_{BSL,t}$)。

$$\Delta B_{BSL,t} = \sum_{ijt} (A_{BSL,i,j,t} \times \Delta B_{BSL,i,j,t}) \times 44/12 \quad \text{式1-1}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{BSL,t}$	t 年間之基線海草生物碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 種類的面積	ha
$\Delta B_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 種類之單位面積海草生物碳儲量年變化量	t C/ha·yr
44/12	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數 ⁵	-
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	海草種類，j = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

專案申請者可以依據下列式1-1-1或式1-1-2，擇一來估算單位面積海草生物碳儲量年變化量 ($B_{BSL,i,j,t}$)，公式使用優先順序為式1-1-1，再式1-1-2。

⁵ 係數來自於二氧化碳與碳之分子量比 44/12，將碳量 (t C) 轉換為二氧化碳當量 (t CO₂e)。

$$\Delta B_{BSL,i,j,t} = (\Delta B_{AB,i,j,t} \times CF_{AB,i,j,t} + \Delta B_{BB,i,j,t} \times CF_{BB,i,j,t}) \quad \text{式1-1-1}$$

參數	定義	單位
$B_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 種類之單位面積海草生物碳儲量年變化量	t C/ha·yr
$\Delta B_{AB,i,j,t}$	海草地上部生物量平均單位面積年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$CF_{AB,i,j,t}$	海草地上部有機碳含量百分比	%
$\Delta B_{BB,i,j,t}$	海草地下部生物量平均單位面積年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$CF_{BB,i,j,t}$	海草地下部有機碳含量百分比	%
i	基線之碳層, i = 1, 2, 3...	-
j	海草種類, j = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份, t = 1, 2, 3...	yr

$$\Delta B_{BSL,i,j,t} = \Delta B_{AB,i,j,t} \times (1 + R_{BSL,i,j,t}) \times CF_{BSL,i,j,t} \quad \text{式1-1-2}$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{AB,i,j,t}$	海草地上部生物量平均單位面積年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$R_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳層 j 種類的根莖比, 即地下部生物量與地上部生物量比值	-
$CF_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之第 i 碳層 j 種類之海草有機碳含量百分比	%
i	基線之碳層, i = 1, 2, 3...	-
j	海草種類, j = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份, t = 1, 2, 3...	yr

(3) 基線沉積物碳儲量年變化量計算公式

本方法提供專案申請者兩個子公式 ($aSOC_{i,j,t}$)、($dSOC_{i,j,t}$) 及一個參數 (EF_{Soils})，以計算沉積物有機碳儲量的年變化量 (ΔSOC_{BSL})。因為不同底質使用量測沉積物碳儲量方法不同，估算自源性或外源性碳源能力亦有差異，建議泥底質海草優先使用 $aSOC_{i,j,t}$ (式1-2-1)⁶；沙底質海草優先使用 $dSOC_{i,j,t}$ (式1-2-2) 或 EF_{Soils} 。專案申請者可考量環境、成本等條件自選，但應於專案申請文件中說明並記錄，估算公式如下：

$$\Delta SOC_{BSL,t} = \sum_{ijt} A_{BSL,i,j,t} \times (aSOC_{i,j,t} \text{ 或 } dSOC_{i,j,t} \text{ 或 } -EF_{Soils}) \times 44/12 \quad \text{式1-2}$$

參數	定義	單位
$\Delta SOC_{BSL,t}$	t 年間之基線沉積物有機碳儲量的年變化量	t CO ₂ e
$A_{BSL,i,j,t}$	第 t 年之基線第 i 碳層 j 種類的面積	ha
$aSOC_{i,j,t}$	第 t 年海草自源性沉積物碳儲量的年變化量	t C/ha·yr
$dSOC_{i,j,t}$	第 t 年海草自源性加外源性沉積物有機碳儲量的年變化量	t C/ha·yr
EF_{Soils}	海草沉積物碳排放係數。目前僅重建植被再濕潤土地有估計值 (0.43)。係數正值表示碳	t C/ha·yr

⁶ 基於保守性原則 $aSOC_{i,j,t}$ 僅計算自源性 (由植被組織分解貢獻) 沉積物碳，並未計入外源性沉積物碳；而 $dSOC_{i,j,t}$ 、 EF_{Soils} 則包含外源性 (由潮汐等橫向運輸輸入) 沉積物碳。

	排放，負值表示碳吸存。	
44/12	有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數	-
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	海草種類，j = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t = 1, 2, 3...	yr

(a) 自源性沉積物碳儲存年變化量

$$aSOC_{i,j,t} = DA_{i,j,t} \times W_{DA,i,j,t} + DB_{i,j,t} \times W_{DB,i,j,t} \quad \text{式1-2-1}$$

參數	定義	單位
$aSOC_{i,j,t}$	第 t 年海草自源性沉積物碳儲量年變化量	t C/ha·yr
$DA_{i,j,t}$	海草地上部碎屑年增加量	t d.m./ha·yr
$W_{DA,i,j,t}$	海草地上部碎屑分解的剩餘量百分比	%
$DB_{i,j,t}$	海草地下部碎屑年增加量 ⁷	t d.m./ha·yr
$W_{DB,i,j,t}$	海草地下部碎屑分解的剩餘量百分比	%
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	海草種類，j = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t = 1, 2, 3...	yr

(b) 自源性加外源性沉積物碳儲存年變化量

$$dSOC_{i,j,t} = SEC_{i,j,t} \times SBD_{i,j,t} \times CF_{Soils,i,j,t} \quad \text{式1-2-2}$$

參數	定義	單位
$dSOC_{i,j,t}$	海草自源性加外源性沉積物有機碳儲量年變化量	t C/ha·yr
$SEC_{i,j,t}$	海草地表高程年變化量	cm/yr
$SBD_{i,j,t}$	海草沉積物總體密度	g/cm ³
$CF_{Soils,i,j,t}$	海草沉積物有機碳含量百分比	%
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
j	海草種類，j = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t = 1, 2, 3...	yr

(4) 基線非二氧化碳之溫室氣體排放量

$$GHG_{BSL,t} = \sum_{it} GHG_{SED,i,t} \quad \text{式1-3}$$

參數	定義	單位
$GHG_{BSL,t}$	t 年間之基線非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年第 i 碳層沉積物非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e/yr
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t = 1, 2, 3...	yr

由於海岸沉積物非二氧化碳溫室氣體排放會受水體鹽度及水質影響，因此專案活動若有改變鹽度及水質等，應於現地測量或依據相近鹽度及水質條件之文獻中對應的甲烷 (CH₄) 和氧化亞氮 (N₂O) 排放量，計入海岸沉積物溫室氣體排放量。依據 IPCC 之溫暖化潛勢 (GWP) 將非二氧化碳溫室

⁷ 因海草地下部高周轉之特性， $DB_{i,j}$ 可使用 $\Delta B_{BB} \times CF_{BB}$ 估算。

氣體轉換為二氧化碳當量 (CO₂e)。除專案活動外，申請者應考量下列情況，評估是否應計入甲烷 (CH₄) 和氧化亞氮 (N₂O) 之排放量：

- 專案活動若牽涉鹽度改變應計入。若水體鹽度 < 18 psu，當次 (或季度) 測量應計入；若高於此鹽度標準，則可不計甲烷 (CH₄)。
- 專案活動若牽涉水質改變應計入。若水質 ≥ 中度優養化等級³，當次 (或季度) 測量應計入；若水質優養化未達此等級，則可不計氧化亞氮 (N₂O)。

$$GHG_{SED,i,t} = A_{i,t} \times (GHG_{CH_4,i,t} \times GWP_{CH_4} + GHG_{N_2O,i,t} \times GWP_{N_2O}) \quad \text{式1-3-1}$$

參數	定義	單位
$GHG_{SED,i,t}$	第 t 年第 i 碳層的濕地沉積物非二氧化碳之溫室氣體排放量	t CO ₂ e/yr
$A_{i,t}$	第 t 年第 i 碳層的土地面積	ha
$GHG_{CH_4,i,t}$	第 t 年第 i 碳層 CH ₄ 單位面積排放量	t CH ₄ /ha·yr
$GHG_{N_2O,i,t}$	第 t 年第 i 碳層 N ₂ O 單位面積排放量	t N ₂ O/ha·yr
GWP_{CH_4}	甲烷 (CH ₄) 的全球溫暖化潛勢，估計值為 27.9，請參「預設數據與參數1」	-
GWP_{N_2O}	氧化亞氮 (N ₂ O) 的全球溫暖化潛勢，估計值為 273，請參「預設數據與參數1」	-
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t = 1, 2, 3...	yr

8. 專案移除量

專案執行後，專案邊界內受專案活動而產生的溫室氣體淨移除量，即專案所增加之碳儲量。專案移除量僅計算復育海草後，新增海草面積所產生之溫室氣體淨移除量。

(1) 專案溫室氣體淨移除量計算公式 (ΔC_{ACTUAL})

估算專案溫室氣體淨移除量 (ΔC_{ACTUAL}) 之方式為將專案邊界內各碳層中碳儲量加總 (即專案邊界內碳層在 t 年間各碳層碳儲量總變化量， $\Delta C_{PROJ,t}$)，扣除受專案活動而產生的非 CO₂ 溫室氣體排放量 ($GHG_{fuel,t}$)。

$$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{PROJ,t} - GHG_{fuel,t} \quad \text{式2}$$

參數	定義	單位
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{PROJ,t}$	t 年間所有碳層碳儲量的總變化量，計算方法同基線溫室氣體淨移除量 ($\Delta C_{BSL,t}$)，差異在於專案情境需依照「11.1 應量測之數據與參數」實際測量所需參數，不得使用「11.1 應量測之數據與參數」所提供的參數數值直接估算。	t CO ₂ e
$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行海草復育專案活動，使用化石燃料之溫室氣體排放量。可參照 CDM AR-Tool05「A/R CDM 專案活動中與化石燃料燃燒有關的溫室氣體排放量估算工具」	t CO ₂ e

(2) 專案活動中使用化石燃料所產生的溫室氣體排放量

專案活動中 (包含海草復育的每一次補植及量測等)，使用化石燃料之車輛船隻運輸及機具設備是重要的二氧化碳潛在排放源。排放來源包括移

動式及固定式兩種類型：移動式排放類型如卡車、拖拉機等；而固定式排放類型，如鏈鋸等可攜式設備和水泵 (water pumps) 等固定設備。

$$GHG_{fuel,t} = \sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t} \quad \text{式2-1}$$

參數	定義	單位
$GHG_{fuel,t}$	t 年間由於執行專案活動，使用化石燃料所產生之溫室氣體排放量	t CO ₂ e
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻/機具設備其化石燃料燃燒所產生的二氧化碳排放量	t CO ₂ e/yr
j	車輛船隻/機具設備類型	-
J	車輛船隻/機具設備類型總數	-

$ET_{FC,j,t}$ 估算可用直接法與間接法，其中間接法公式中參數選擇的優先順序為 $\left(n \times \frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}} \times AD_{j,t}\right)$ 、 $(NV_{j,t} \times TD_{j,t})$ 及 $(MT_{j,t} \times TD_{j,t})$ 。

$$\sum_{j=1}^J ET_{FC,j,t}$$

(a) 直接法

$$= \sum_{f=1}^F FC_{FC,f,j,t} \times (EF_{CO_2,f} + EF_{CH_4,f} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O,f} \times GWP_{N_2O}) \times NCV_f \quad \text{式2-1-1}$$

(b) 間接法

$$= \sum_{f=1}^F \left(n \times \frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}} \times AD_{j,t} \right) \text{ or } (NV_{j,t} \times TD_{j,t}) \text{ or } (MT_{j,t} \times TD_{j,t}) \times SECK_{j,f,t} \times (EF_{CO_2,f} + EF_{CH_4,f} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O,f} \times GWP_{N_2O}) \times NCV_f \quad \text{(移動式) 式2-1-2}$$

$$= \sum_{f=1}^F NE_{j,t} \times TU_{j,t} \times SECU_{j,f,t} \times (EF_{CO_2,f} + EF_{CH_4,f} \times GWP_{CH_4} + EF_{N_2O,f} \times GWP_{N_2O}) \times NCV_f \quad \text{(固定式) 式2-1-3}$$

參數	定義	單位
$ET_{FC,j,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻/機具設備其化石燃料燃燒所產生之二氧化碳排放量	t CO ₂ e/yr
$FC_{FC,f,j,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻/機具設備消耗的燃料類型 f 量	質量或體積單位/yr
$EF_{CO_2,f}$	燃料類型 f 的二氧化碳排放係數	t CO ₂ /GJ
$EF_{CH_4,f}$	燃料類型 f 的甲烷排放係數	t CH ₄ /GJ
GWP_{CH_4}	甲烷 (CH ₄) 的全球溫暖化潛勢，估計值為 27.9，請參「預設數據與參數表1」	-
$EF_{N_2O,f}$	燃料類型 f 的氧化亞氮排放係數	t N ₂ O/GJ
GWP_{N_2O}	氧化亞氮 (N ₂ O) 的全球溫暖化潛勢，估計值為 273，請參「預設數據與參數表1」	-
NCV_f	燃料類型 f 的淨熱值 (net calorific value, NCV)	GJ/質量或體積
n	回程負載 (return load) 的指標 ⁸	-

⁸ 當回程負載為滿載時 (搭載其他商品)，n = 1。當回程負載為空載時，n = 2。如果不能證明回程負載為滿載，依保守性原則，n = 2。

$MT_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻運載的總質量。當無法取得參數 $\frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}}$ 時，可以使用 $\frac{MT_t}{TL_{av,t}}$ (總運載質量/車輛船隻類型中運載最多負載的指標性車輛船隻類型) 來替換	t
$TL_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻的載重能力 (load capacity)	t
$AD_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻的平均單程距離	km
$NV_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻的數量	-
$TD_{j,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻的總行駛距離 (包括返程)	km
$SECK_{j,f,t}$	第 t 年 j 類型車輛船隻對於燃料 i 的特定能耗	燃料量/km
$NE_{j,t}$	第 t 年 j 類型機具設備的數量	-
$TU_{j,t}$	第 t 年 j 類型機具設備的總使用時間	小時
$SECu_{j,f,t}$	第 t 年 j 類型機具設備對於燃料 f 的特定能耗	燃料量/小時
j	車輛船隻/機具設備類型	-
J	車輛船隻/機具設備類型總數	-
f	燃料類型 (fuel types)	-
F	燃料類型總數	-

9. 洩漏排放

依據本方法適用條件，專案活動的執行不會引起專案前產業活動之轉移，因此不考慮產業活動轉移所造成之排放。因此只要符合本方法適用條件，專案活動就不具潛在洩漏，即 $LK_t=0$ ，其中 LK_t 為第 t 年專案活動所產生的洩漏排放量。

10. 淨移除量

專案活動所產生之人為溫室氣體淨移除量即人為溫室氣體之減量，等於專案溫室氣體淨移除量扣除基線溫室氣體淨移除量及洩漏所產生之溫室氣體排放量。若於原先已有海草之區域執行專案，則基線溫室氣體淨移除量須扣除原先海草每年可能擴張或減少所產生之溫室氣體淨移除量。

計入期間 y 年之減量計算如下：

$$\Delta C_{SBR} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t \quad \text{式3}$$

參數	定義	單位
ΔC_{SBR}	執行海草復育專案活動而產生的人為溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	t 年間實際溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
$\Delta C_{BSL,t}$	t 年間 (未執行專案活動) 基線溫室氣體淨移除量	t CO ₂ e
LK_t	t 年間洩漏所產生之溫室氣體排放量，依據本方法適用條件可視為零	t CO ₂ e

10.1 預設數據與參數說明

根據環境部自願減量專案規定，預設數據與參數是指「該參數在註冊階段確定數值後，後續監測期間不用（不能）監測其數值」。

預設數據與參數1

IPCC (GWP-100) ⁹	AR1 (1990)	AR2 (1995)	AR3 (2001)	AR4 (2007)	AR5 (2014)	AR6 (2021)
CO ₂	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
CH ₄ -non-fossil	21	21	23	25	28	27
N ₂ O	290	310	296	298	265	273

GWP 值應依據環境部所規範，其次採最新版 IPCC 報告。

預設數據與參數2

參數	EF_{CO_2}
單位	t CO ₂ /GJ
描述	CO ₂ 排放係數
資料來源	使用資料來源的優先順序： (a) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料 (應提供透明且可信之資料佐證) (b) 當地區域或相似生態條件之調查資料 (c) 國家級的資料 (政府最新年度公告之排放係數) (d) IPCC 估計值
其他說明	-

預設數據與參數3

參數	EF_{CH_4}
單位	t CH ₄ /GJ
描述	CH ₄ 排放係數
資料來源	使用資料來源的優先順序： (e) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料 (應提供透明且可信之資料佐證) (f) 當地區域或相似生態條件之調查資料 (g) 國家級的資料 (政府最新年度公告之排放係數) (h) IPCC 估計值
其他說明	-

預設數據與參數4

參數	EF_{N_2O}
單位	t N ₂ O/GJ
描述	N ₂ O 排放係數

⁹ 在100年的時間框架內，聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 在各階段科學評估報告 (Assessment Reports, AR) 中所述各種溫室氣體的溫室效應對應於相同效應的二氧化碳的質量，本方法提供 AR1~AR6之 GWP-100值給申請者參考。

資料來源	使用資料來源的優先順序： (i) 專案申請者於專案邊界內透過實地調查之資料(應提供透明且可信之資料佐證) (j) 當地區域或相似生態條件之調查資料 (k) 國家級的資料(政府最新年度公告之排放係數) (l) IPCC 估計值
其他說明	-

11. 量測方法

量測作業、基線排放量、專案排放及減量計算需蒐集之相關變數及數據和資訊說明。若量測之變數涉及演算法或計算式之計算，亦需加以說明其演算法或計算式，請參11.1小節「應量測之數據與參數」。

1. 基線及專案量測

專案申請者在撰寫專案設計文件(project design document, PDD)時，必須提供並記錄相關量測資訊，並依據相關標準程序進行量測，且所有數據與相關資料均須以紙本與電子檔案進行保存至計入期結束後2年，包含：

- (a) 證明專案滿足本方法學適用條件之佐證資料與說明；
- (b) 計算公式的選用、碳庫與碳儲量之材料、數據與說明；
- (c) 計算專案邊界內碳排放和洩漏之材料、數據與說明。

(1) 專案活動之量測

專案申請者須對專案執行期間所有專案活動進行量測或文字紀錄與說明，以及與溫室氣體排放有關之活動進行量測與紀錄。

(2) 量測頻率

基線樣區的移除量量測至少須包含專案執行前一年，完整的碳儲量年變化量。專案樣區的移除量測頻率為至少每三至五年為一次量測年度，且每次查證時皆須要有量測資料。專案海草分布面積在量測年度裡可以固定於生長季進行一年一次的量測，再比較隔年的碳儲量，以計算年間碳儲量之增加量。

(3) 精準度要求

- (a) 碳儲量和碳儲量變化可參照 A/R CDM「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳儲量和碳儲量變化」(Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities)之精準度要求。
- (b) 所有使用於估算之數據與係數，其精度之優先順序應由高至低的層級(Tier)¹⁰，依序為(a)層級3 主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算；(b)層級2 國家特定資料的關鍵係數；(c)層級1使用 IPCC 預設的排放係數。

依照本方法量測規範，國家特定資料的關鍵係數和 IPCC 預設係數，僅可用於專案活動前的專案計畫書估算減量額度，實際減量額度應以實際量測為依據。

2. 基線及專案樣區設置與量測

(1) 樣區設置

¹⁰ 參照 2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及內政部營建署濕地碳匯作業的三種估算層級。

參照《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估計方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014)、《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版。

(a) 一般性要求

- i. 應滿足調查目的及準確度的要求；
- ii. 應涵蓋所有調查，並反映各分層的生態特徵；
- iii. 優先選擇干擾少的位置設置；
- iv. 地上部生物量與地下部生物量樣區應一致；
- v. 盡量減少對海草棲地及周遭生態系的干擾和破壞；
- vi. 為了避免邊際效應，樣方邊緣應離地塊邊界至少10公尺以上。

(b) 分層設置方法

若專案邊界內生物量分布不均時，則應採取碳庫之「分層(stratification)」或稱「碳層」採樣，以提升基線及專案活動期間碳匯估算的準確性。可依專案區域之地形和海岸線長度設置分層(如地勢高與低，潮間帶與亞潮帶)，每個分層結合離岸距離和主要海草種類設置調查樣區，以涵蓋專案區域不同類型具代表性海草棲地，各分層海草棲地植被密度和生長狀況應盡量相似。其分層數量建議如下表。

專案邊界長度(公里)	分層數量
≤ 0.3	≥ 1
$> 0.3, \leq 2$	≥ 2
> 2	每公里加1， ≥ 2

(c) 分層內樣站數

每個分層至少隨機設置3個5 m × 5 m 樣站。

(d) 樣站內樣框數

每個調查樣站至少隨機量測3個50 cm × 50 cm 的方形樣框。

(2) 碳儲量變化量測

(a) 海草生長量標記法

- a.1. 在每個方形樣框內，依照海草植株大小，用鐵絲及鋼釘設置10 cm × 10 cm 的方形樣框作為標記海草生長量之量測範圍。海草地下部生長量可能因為水平莖芽點數量較少，需擴大到20 cm × 20 cm 的方形樣框。每個方框為1重複，每個樣區至少需要3重複。

- a.2. 海草地上部生長量需依照不同葉片型態選擇相應的標記方式。長帶形葉片之海草種類，使用戳針標記法，計算參考式 a-2-1-1；卵圓形葉片之海草種類，使用綁線法標記，計算參考式 a-2-2-1。

$$\Delta B_A = \sum \Delta B_{A-season} / n \times 365 \quad \text{式 a-2-1}$$

$$\Delta B_{A-season} = G_{LS} \times D_S \quad \text{式 a-2-1-1}$$

$$G_{LS} = \frac{d.m.NL}{N_S \times t_L} \quad \text{式 a-2-1-1-1}$$

$$\Delta B_{A-season} = G_{LR} \times D_R \quad \text{式 a-2-2-1}$$

$$G_{LR} = \frac{d.m.NL}{N_R \times t_R} \quad \text{式 a-2-2-1-1}$$

$$d.m.NL = d.m.NL-forward + d.m.NL-backward \quad \text{式 a-2-2-1-2}$$

參數	定義	單位
ΔB_A	海草地上部生物量平均年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$\Delta B_{A-season}$	各季節海草地上部平均每日生長量 (乾重)	g d.m./m ² ·day
n	整年度量測季節數，一般量測春、夏、秋與冬四季	
365	每日換算成每年	day
G_{LS}	每株海草地上部每季平均日生長量 (乾重)	g d.m./shoot·day
D_S	單位面積海草株數	shoots/m ²
$d.m._{NL}$	新增的海草葉片生物量 (乾重)	g
N_S	樣框內標記的海草株數	shoots
t_L	戳針標記後放置的時間	days
G_{LR}	每段海草水平莖近芽點處地上部每季平均每日生長量 (乾重)	g d.m./shoot·day
D_R	單位面積海草水平莖芽點數量	shoots/m ²
N_R	樣框內標記之水平莖芽點數	shoots
t_R	綁線標記後放置的時間	days
$d.m._{NL-forward}$	標記基準點向芽點方向新生之葉片生物量 (乾重)	g
$d.m._{NL-backward}$	標記基準點向芽點反方向新生之葉片生物量 (乾重)	g

a.3. 海草地下部生長量使用綁線法做標記

$$\Delta B_B = \sum \Delta B_{B-season} / n \times 365 \quad \text{式 a-3-1}$$

$$\Delta B_{B-season} = G_R \times D_R + G_S \times D_S \quad \text{式 a-3-1-1}$$

$$G_R = \frac{d.m._R}{N_R \times t_R} \quad \text{式 a-3-1-2}$$

$$G_S = \frac{d.m._{SN}}{N_{SN} \times PI_L} \quad \text{式 a-3-1-3}$$

$$PI_L = \frac{t_L}{N_{NL}} \quad \text{式 a-3-1-4}$$

參數	定義	單位
ΔB_B	海草地下部生物量平均年生長量 (乾重)	t d.m./ha·yr
$\Delta B_{B-season}$	各季節海草地下部每日生物量生長量 (乾重)	g d.m./m ² ·day
n	整年度量測季節數，一般量測春、夏、秋與冬四季	
365	每日換算成每年	day
G_R	由海草水平莖芽點每日新生成之水平莖生物量生長量 (乾重)	g d.m./shoot·day
D_R	單位面積海草水平莖芽點數量	shoots/m ²
G_S	每株海草每日垂直莖生物量生長量 (乾重)	g d.m./shoot·day

D_S	單位面積海草株數	shoots/m ²
$d.m._R$	新增的海草水平莖生物量(乾重)	g
N_R	樣框內成功標記之水平莖芽點數	shoots
t_R	綁線標記後放置的時間	days
$d.m._{SN}$	海草垂直莖生物量(乾重)	g
N_{SN}	垂直莖節數	
PI_L	葉間期	days
t_L	戳針標記後放置的時間	days
N_{NL}	新生葉片數	

a.4. 整體平均估計值 (平均單位面積海草生物碳儲量變化量的估計值) 及變異數 ($S_{C_{TREE,i,t}}^2$)

$$\Delta B_t = \sum_{i=1}^M (W_i * \Delta B_{p,i,t}) \quad \text{式 a-4-1}$$

$$S_{\Delta B,t}^2 = \sum_{i=1}^M (W_i^2 * \frac{S_{\Delta Bp,i,t}^2}{n_i}) \quad \text{式 a-4-2}$$

參數	定義	單位
ΔB_t	第 t 年專案邊界內平均單位面積海草生物碳儲量變化量的估計值	t CO ₂ e/ha·yr
$\Delta B_{p,i,t}$	第 t 年之第 i 碳層平均單位面積海草生物碳儲量變化量的估計值	t CO ₂ e/ha·yr
W_i	第 i 碳層面積與專案總面積之比	-
n_i	第 i 碳層的樣區數	-
$S_{\Delta B,t}^2$	第 t 年專案邊界內總平均單位面積海草生物碳儲量變化量估計值的變異數	(t CO ₂ e/ha·yr) ²
$S_{\Delta Bp,i,t}^2$	第 t 年之第 i 碳層平均單位面積海草生物碳儲量變化量估計值的變異數	-
M	專案邊界內估算海草生物碳儲量變化量的碳層總數	-
i	基線之碳層，i = 1, 2, 3...	-
p	樣區數，p = 1, 2, 3...	-
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

a.5. 單位面積海草生物碳儲量變化的不確定性

$$u_{\Delta Bt} = \frac{t_{VAL} * S_{\Delta B,t}}{\Delta B_t} \quad \text{式 a-5-1}$$

參數	定義	單位
$u_{\Delta B,t}$	第 t 年專案邊界內單位面積海草生物碳儲量變化量估計值的不確定性 (即相對誤差之上限)。相對誤差應小於10%，即採樣精度大於90%	%
t_{VAL}	可靠度指標：信賴水準 (confidence level) 為90% 且自由度等於 n-M 的情況下 (其中 n 為專案邊界內樣區總數，M 為生物量估算碳層的總數，查 t 分佈雙尾分位數表 (Two-sided Student's t-value) 可查得 t 值。 如：信賴水準為90%，自由度為45 時，雙尾 t	-

	分佈的 t 值在 Excel 表單中輸入「=TINV(0.10, 45)」可計算得 t 值為 1.679	
ΔB_t	第 t 年專案邊界內海草生物碳儲量變化量的估計值	t CO ₂ e/yr
$S_{\Delta B,t}$	第 t 年專案邊界內海草生物碳儲量變化量的估計值變異數的算術平方根(即標準誤差)	t CO ₂ e/ha·yr

a.6. 計算第 t 年專案邊界內海草生物碳儲量變化量：

$$\Delta B_t = A * \Delta B_{p,i,t} \quad \text{式 a-6-1}$$

參數	定義	單位
ΔB_t	第 t 年專案邊界內海草生物碳儲量變化量估計值	t CO ₂ e/yr
$\Delta B_{p,i,t}$	第 t 年專案邊界內單位面積海草生物碳儲量變化量估計值	t CO ₂ e/ha·yr
A	專案邊界內各碳層的總面積	ha
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

(b) 沉積物有機碳儲量之量測

專案邊界內底土有機碳儲量量測，應使用公式 1-2。執行方式可參考《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估計方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 及《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版。

(3) 資料品質控制和校正

海草生物碳儲量變化最大允許相對誤差公式：

$$RE_{max} = u_{\Delta B_t}$$

參數	定義	單位
RE_{max}	相對誤差之上限	%
$u_{\Delta B,t}$	第 t 年專案邊界內平均單位面積海草生物碳儲量估計值的不確定性。相對誤差應小於 10%，即採樣精準度大於 90%。	%
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...	yr

如果 RE_{max} 大於 10%（即採樣精準度小於 90%），專案申請者可(a)額外增加樣區數量或(b)估算碳儲量變化時，進行不確定性折減 (uncertainty discount)，計算方法如下：

$$\text{若 } \Delta B_{(t_2, t_1)} \geq 0, \Delta B_t = \Delta B_{(t_2, t_1)} \times (1 - DR)$$

$$\text{若 } \Delta B_{(t_2, t_1)} < 0, \Delta B_t = \Delta B_{(t_2, t_1)} \times (1 + DR)$$

參數	定義	單位
$\Delta B_{(t_2, t_1)}$	t ₁ 至 t ₂ 時間內，專案邊界內海草生物碳儲量變化	t CO ₂ e

DR	折減係數 (discount factor)		%
	相對誤差範圍 (%)	折減 (%)	
	≤ 10	0	
	> 10, ≤ 20	6	
	> 20, ≤ 30	11	
	> 30	需額外增加樣區數，以達到精準度要求	
t	專案執行之年份，t=1, 2, 3...		yr

(4) 水質量測項目

若專案邊界內受潮汐影響，須於最乾潮前後兩個小時進行水質測量，以便釐清陸源水體對於是否有污染或營養鹽過高的影響。下列水質項目之中，(a)與(b)分別攸關甲烷和氧化亞氮排放，為每個量測年度必要的水質量測項目，除非可佐證專案區域位與海洋連通性高，屬於高鹽度及低營養鹽之水域。下列項目可參照環境部「環境檢驗測定機構許可資料」¹¹選擇並委託檢驗公司進行分析。若無檢驗機構，仍需參考環境部、國內主管機關公告之方法或國際標準做法。如 W44720C 水中鹽度檢測方法－導電度法。

- (a) 鹽度：水體鹽度小於18 psu，當次測量需計入沉積物甲烷排放量。使用鹽度計量測，每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少5重複。
- (b) 優養程度：水體優養化指數達中度標準，當次測量需計入氧化亞氮排放量。優養化指數計算方式為 $(E) = [\text{化學需氧量}] * [\text{無機氮}] * [\text{活性磷酸鹽}] / 4500 * 10^6$ 。其中， $E \leq 3.0$ 為輕度優養化； $3.0 < E \leq 9.0$ 為中度優養化； $E > 9.0$ 為重度優養化。化學需氧量、無機氮及活性磷酸鹽單位為每公升毫克 (mg/L)。每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少3重複。
- (c) 濁度：使用濁度計紀錄水體濁度。或使用水下光度計紀錄水體光遞減係數 (Lorenzen, 1972)，光遞減係數數值越大，表示水中海草仍使用的光度越小，即表示水體越混濁。每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少5重複。
- (d) 溶氧濃度：使用溶氧計紀錄水體溶氧濃度。每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少5重複。
- (e) 酸鹼值：使用 pH 計紀錄水體 pH 值。每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少5重複。
- (f) 葉綠素 *a* 濃度：可參照環境部「環境檢驗測定機構許可資料」選擇並委託檢驗公司進行分析，水體採集每個量測年度進行四季量測，每次量測在一個樣站內至少3重複。

(5) 海草沉積物類型區分

沉積物粒徑採集，使用直徑約3.5 cm 的採土器垂直採取表層約5 cm 深度的沉積物，以 Buchanan and Kain (1971)及 Hsieh and Chang (1991) 方法，依序用網目4.00、2.00、1.00、0.50、0.25、0.125及0.062 毫米之篩網過篩，並秤取各篩網上的粒徑乾重。依據謝蕙蓮等 (1993) 修正過的方法計算粒徑中間值、粉泥黏土含量 (silt/clay; %)。基線調查期間，須在每個量測年度進行四季採樣，每次量測在一個樣站內至少3重複。計入期間隨移除量監測每

¹¹ 環境檢驗測定機構許可資料 https://data.moe.gov.tw/dataset/detail/NIEA_P_02

三至五年採集一次沉積物粒徑即可，以降低對沉積物碳庫的擾動。依照 Folk (1996) 沉積物粒徑分類及臺灣海草沉積物特徵，可分類泥質地及沙質地：

- (a) 泥質地沉積物須符合下列其中一項：i. 粒徑中間值在 0.0625 毫米以下，或 ii. 粒徑中間值在 0.125 毫米以下又未達 0.0625 毫米，且粉泥黏土含量在 15% 以上。
- (b) 沙質地沉積物須符合下列其中一項：i. 粒徑中間值大於 0.125 毫米，或 ii. 粒徑中間值為在 0.125 毫米以下又未達 0.0625 毫米，且粉泥黏土含量小於 15%。

(6) 環境部及國家環境研究院公告之方法

量測海草有機碳、溫室氣體排放及水質參數，除了利用本方法提供之方法或引用其他科學文獻之方法，也可參考環境部及國家環境研究院公告之方法，例如「碳、氫、硫、氧、氮元素含量檢測方法—元素分析儀法（NIEA M403.03B）」、「土壤有機質測定方法—燃燒/紅外線測定方法」、「土壤檢測方法總則（NIEA S103.61C）」及底泥採樣方法（NIEA S104.30C）之土壤採樣、保存及前處理等規範、「水中總有機碳檢測方法—燃燒/紅外線測定法（NIEA W530.51C）」、「水中總有機碳檢測方法—過氧焦硫酸鹽紫外光氧化/紅外線測定法（NIEA W531.51C）」、「水中總有機碳檢測方法—過氧焦硫酸鹽加熱氧化/紅外線測定法（NIEA W532.53C）」、「水中總有機碳檢測方法—過氧焦硫酸鹽紫外光氧化/薄膜電導度計測定法（NIEA W534.50C）」。

11.1 應量測之數據與參數

數據與參數表 1

數據/參數	A_i
數據單位	公頃 (ha)
描述	第 i 碳層的面積
數據來源	現地量測或地理資訊系統 (GIS) 量測
量測程序	地面面積量測儀器或地理資訊系統 (GIS) 空間資訊資料
量測頻率	至少每年量測一次，自願減量專案註冊前及申請查證前再進行量測。
QA/QC 程序	採用國家森林資源清查或森林規劃設計調查所使用的品質保證和品質控制 (QA/QC) 程序；若沒有可用資料，則可使用 IPCC GPG LULUCF 2003 中說明的 QA/QC 程序。收集的相關數據至少保存至最後一次核發減量額度後 2 年
備註	基線情境以 <i>BSL</i> 表示；專案情境以 <i>PROJ</i> 表示

數據與參數表 2

數據/參數	$\Delta B_{BSL,i,j,t}$
數據單位	t C/ha·yr
描述	t 年基線第 i 碳層 j 種類之單位面積海草生物碳儲量年變化量
數據來源	(1) 現地量測 (2) 註冊階段，專案計畫書可使用：層級 2 估計值（林幸助與陳冠宇 2023；Huang et al. 2015; Zou et al. 2021）東沙海草為多海

	草種類分布面積加權平均之結果		
	植被類型		ΔB
	潮間帶 沙質地	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	2.84
		單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	5.06
	潮間帶 泥質地	甘草 <i>Zostera japonica</i>	1.21
		貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	5.16
	亞潮帶	東沙海草	13.43
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化		
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
備註	基線情境以 <i>BSL</i> 表示；專案情境以 <i>PROJ</i> 表示		

數據與參數表3

數據/參數	$\Delta B_{AB,i,j,t}$
數據單位	t d.m./ha·yr
描述	海草地上部生物量平均單位面積年生長量 (乾重)
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表4

數據/參數	CF _{AB,i,j,t}		
數據單位	%		
描述	海草地上部有機碳含量百分比		
數據來源	(1)現地量測		
	(2)註冊階段，專案計畫書可使用：層級2估計值 (林幸助與陳冠宇 2023；Huang et al. 2015; Zou et al. 2021) 東沙海草為多海草種類分布面積加權平均之結果		
	植被類型		CF _{AB}
	潮間帶 沙質地	泰來草 Thalassia hemprichii	30.4
		單脈二藥草 Halodule uninervis	30.4
	潮間帶 泥質地	甘草 Zostera japonica	38.8
		貝克氏鹽草 Halophila beccarii	28.0
	亞潮帶	東沙海草	30.8
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化		

QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線碳層， $i = 1, 2, 3 \dots$ ；海草種類， $j = 1, 2, 3 \dots$ ；專案執行年份， $t = 1, 2, 3 \dots$

數據與參數表5

數據/參數	$\Delta B_{BB,i,j,t}$
數據單位	t d.m./ha`yr
描述	海草地下部生物量平均單位面積年生長量(乾重)
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表6

數據/參數	$CF_{BB,i,j,t}$		
數據單位	%		
描述	海草地下部有機碳含量百分比		
數據來源	(1)現地量測		
	(2)註冊階段，專案計畫書可使用：層級2估計值(林幸助與陳冠宇 2023；Huang et al. 2015; Zou et al. 2021) 東沙海草為多海草種類分布面積加權平均之結果		
	植被類型		CF_{BB}
	潮間帶 沙質地	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	35.7
		單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	31.6
	潮間帶 泥質地	甘草 <i>Zostera japonica</i>	33.4
		貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	24.7
	亞潮帶	東沙海草	31.9
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化		
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
備註	基線碳層， $i = 1, 2, 3 \dots$ ；海草種類， $j = 1, 2, 3 \dots$ ；專案執行年份， $t = 1, 2, 3 \dots$		

數據與參數表7

數據/參數	$R_{BSL,i,j,t}$	
數據單位	-	
描述	海草根莖比，即地下部生物量與地上部生物量比例。一般而言，海草地下部生物量多於地上部生物量	
數據來源	(1)現地量測	
	(2)註冊階段，專案計畫書可使用：層級1估計值(IPCC 2013)	
	氣候區	R
	熱帶	1.7

	亞熱帶	2.4	
	溫帶	1.3	
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化		
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
備註	基線情境以 <i>BSL</i> 表示；專案情境以 <i>PROJ</i> 表示；基線碳層，i = 1, 2, 3...；海草種類，j = 1, 2, 3...；專案執行年份，t = 1, 2, 3...		

數據與參數表8

數據/參數	$CF_{BSL,i,j,t}$
數據單位	%
描述	第 t 年之第 i 碳層 j 種類之(全株)海草有機碳含量百分比
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表9

數據/參數	aSOC _{i,j,t}		
數據單位	t C/ha·yr		
描述	第 t 年海草自源性沉積物碳儲量的年變化量		
數據來源	(1)現地量測		
	(2)註冊階段，專案計畫書可使用：層級2估計值，參考海草沉積物有機碳埋藏速率 (CAR) (林幸助與陳冠宇 2023；Huang et al. 2015; Zou et al. 2021)。甘草及貝克氏鹽草為aSOC _{i,j,t} 自源性沉積物碳埋藏速率；東沙海草為多海草種類分布面積加權平均之結果		
	植被類型		CAR
	潮間帶 泥底質	甘草 <i>Zostera japonica</i>	0.21
		貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	2.09
亞潮帶	東沙海草	1.30	
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化		
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
備註	基線碳層，i = 1, 2, 3...；海草種類，j = 1, 2, 3...		

數據與參數表10

數據/參數	$dSOC_{i,j}$
數據單位	t C/ha·yr
描述	海草沉積物有機碳儲量的年變化量
數據來源	<p>(1)現地量測</p> <p>(2)註冊階段，專案計畫書可使用：層級2估計值，參考海草沉積物有機碳埋藏速率 (CAR) (林幸助與陳冠宇 2023；Huang et</p>

	al. 2015; Zou et al. 2021)。東沙海草為多海草種類分布面積加權平均之結果		
	植被類型		CAR
	潮間帶 沙底質	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	0.09
		單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	0.09
	亞潮帶	東沙海草	1.30
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化		
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版		
備註	基線碳層， $i = 1, 2, 3 \dots$ ；海草種類， $j = 1, 2, 3 \dots$		

數據與參數表11

數據/參數	EF_{Soils}	
數據單位	t C/ha·yr	
描述	海草沉積物排放係數	
數據來源	(1)現地量測	
	(2)註冊階段，專案計畫書可使用：層級1估計值，參考重建植被與再濕潤(EF_{Soils})之有機及礦物聚合沉積物年排放係數 (IPCC 2013)	
	生態系	EF_{Soils}
	海草床	-0.43
	排放係數負值，表示從大氣中吸存二氧化碳	
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版	
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化	
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版	
備註	-	

數據與參數表12

數據/參數	$DA_{i,j}$
數據單位	t d.m./ha·yr
描述	海草地上部碎屑單位面積年增加量
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線碳層， $i = 1, 2, 3 \dots$ ；海草種類， $j = 1, 2, 3 \dots$

數據與參數表13

數據/參數	$DB_{i,j}$
數據單位	t d.m./ha·yr
描述	海草地下部碎屑單位面積年增加量，因海草地下部高周轉率之特性，可使用 $\Delta B_{BB} \times CF_{BB}$ 估算。
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化

QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線碳層， $i = 1, 2, 3 \dots$ ；海草種類， $j = 1, 2, 3 \dots$

數據與參數表14

數據/參數	$W_{DA,i,j}$
數據單位	%
描述	海草地上部碎屑分解剩餘量百分比。
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	特定碳層及海草種類量測一次，即可視為本專案參數供後續估算
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線碳層， $i = 1, 2, 3 \dots$ ；海草種類， $j = 1, 2, 3 \dots$

數據與參數表15

數據/參數	$W_{DB,i,j}$
數據單位	%
描述	海草地下部碎屑分解剩餘量百分比
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	特定碳層及海草種類量測一次，即可視為本專案參數供後續估算
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	基線碳層， $i = 1, 2, 3 \dots$ ；海草種類， $j = 1, 2, 3 \dots$

數據與參數表16

數據/參數	$SEC_{i,t}$
數據單位	cm/yr
描述	海草床地表高程年變化量
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表17

數據/參數	$SBD_{i,t}$
數據單位	g/cm^3
描述	海草沉積物總體密度
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表18

數據/參數	$CF_{Soils,i,t}$
數據單位	%
描述	海草沉積物有機碳含量百分比
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表19

數據/參數	GHG_{CH_4} 、 GHG_{N_2O}
數據單位	t CH ₄ or N ₂ O /ha·yr
描述	專案邊界內濕地沉積物表面溫室氣體年排放量
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	採用《濱海藍碳—紅樹林、鹽沼、海草床碳儲量及碳排放係數評估計方法》(Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows) (Howard et al. 2014) 之程序
備註	-

數據與參數表20

數據/參數	$ET_{FC,j,t}$
數據單位	t CO ₂ e/yr
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻/機具設備其化石燃料燃燒所產生之二氧化碳年排放量
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表21

數據/參數	$FC_{FC,f,j,t}$
數據單位	質量或體積單位/yr
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻/機具設備消耗的燃料類型 f 量
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表22

數據/參數	NCV_f
-------	---------

數據單位	GJ/質量或體積
描述	燃料類型 f 的淨熱值 (net calorific value, NCV)
數據來源	熱值可以自行檢測或由供應商提供，惟均須由取得 CNS 17025 或 ISO/IEC 17025 認證之實驗室或檢測機構檢測
量測程序	-
量測頻率	-
QA/QC 程序	-
備註	-

數據與參數表23

數據/參數	$MT_{j,t}$
數據單位	t
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻運載的總質量。當無法取得參數 $\frac{MT_{j,t}}{TL_{j,t}}$ 時，可以使用 $\frac{MT_t}{TL_{av,t}}$ (總運載質量/車輛船隻類型中運載最多負載的指標性車輛船隻類型) 來替換
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻總質量
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表24

數據/參數	$TL_{j,t}$
數據單位	t
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻的載重能力 (load capacity)
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻載重能力
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表25

數據/參數	$AD_{j,t}$
數據單位	km
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻的平均單程距離
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻平均單程距離
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表26

數據/參數	$NV_{j,t}$
數據單位	-

描述	第 t 年 j 類型車輛船隻的數量
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻數量
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表27

數據/參數	$TD_{j,t}$
數據單位	km
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻的總行駛距離 (包括返程)
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻總行駛距離
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表28

數據/參數	$SEck_{j,f,t}$
數據單位	燃料量/km
描述	第 t 年 j 類型車輛船隻對於燃料 i 的特定能耗
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之車輛或船隻的特定能耗
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表29

數據/參數	$NE_{j,t}$
數據單位	-
描述	第 t 年 j 類型機具設備的數量
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之機具設備的數量
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表30

數據/參數	$TU_{j,t}$
數據單位	小時
描述	第 t 年 j 類型機具設備的總使用時間
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	每一次專案活動皆須紀錄所使用之機具設備總時數
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表31

數據/參數	$SECu_{j,f,t}$
數據單位	燃料量/小時
描述	第 t 年 j 類型機具設備對於燃料 f 的特定能耗
數據來源	現地量測
量測程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
量測頻率	一次專案活動皆須紀錄所使用之機具設備的特定能耗
QA/QC 程序	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
備註	-

數據與參數表32

數據/參數	G_{LS}
數據單位	g d.m./shoot day
描述	每株海草地上部每日生長量(乾重)
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表33

數據/參數	D_S
數據單位	shoots/m ²
描述	單位面積海草株數
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表34

數據/參數	G_{LR}
數據單位	g d.m./shoot day
描述	每段海草水平莖近芽點處地上部每日生長量(乾重)
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表35

數據/參數	D_R
數據單位	shoots/m ²
描述	單位面積海草水平莖數量
數據來源	現地量測

量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

數據與參數表36

數據/參數	G_R
數據單位	g d.m./shoot day
描述	海草水平莖芽點每日水平莖生長量(乾重)
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

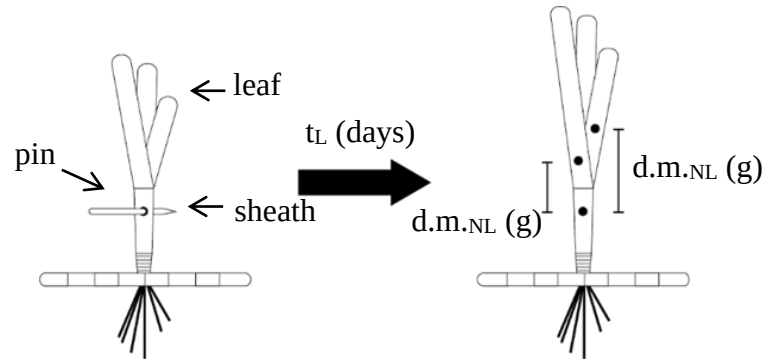
數據與參數表37

數據/參數	G_S
數據單位	g d.m./shoot day
描述	每株海草每日垂直莖生長量(乾重)
數據來源	現地量測
量測程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
量測頻率	至少每3至5年一次，每次涵蓋四季變化
QA/QC 程序	《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》最新版
備註	-

附錄1. 佐證資料勾選表

章節/項目		是否符合	佐證資料
適用條件	1. 專案活動應符合海草復育之目的，適用於「海洋或海岸型濕地」、「人為型濕地」區域。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	專案活動邊界符合「海洋或海岸型濕地」、「人為型濕地」。
	2. 專案活動應種植海草，並配合環境條件選用合宜的海草種類且可同時涵括以下任一項或多項之組合： (1) 水文管理 (如拆除潮汐障礙、改善水文連通性、恢復濕地潮汐或降低濕地水位等)。 (2) 沉積物改變 (如利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域等)。 (3) 鹽度改變 (如引入海水提高棲地鹽度等)。 (4) 水質改善 (如減少過多陸源營養鹽污染等)。 (5) 管理方法改善 (如移除外來種、減少草食作用等)。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	1. 提供復育前的棲地照片及海草復育紀錄。 2. 工程前環境(水文、水質或底質等)數據及改善工程紀錄。 3. 提供種植的海草種類分布與棲地文獻，以佐證專案邊界環境條件與該海草棲地相近。
	3. 除非基於保護海草之必要措施，專案邊界內不得進行生物移除。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	以專案執行前後棲地生態環境照片對比進行佐證。
	4. 專案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 (t CO ₂ e)，且整個專案淨移除量需為正值。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	以「自願減量專案計畫書」之計入期摘要，佐證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 (t CO ₂ e)，提供專案計算說明及估算依據等。
土地合格性	1. 地面基本調查資料：能表示過去土地利用狀況的高解析度地理空間資料。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	提供航空照片圖或衛星影像圖。
	2. 土地所有權證明資料：確定土地所有權才能避免專案邊界及專案活動有侵占他人土地之爭議。	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	若為私人土地，須提供土地清冊或所有權人登記；若為國公有土地，須提供主管機關許可、授權或租賃證明等證明文件。此外，證明文件應有授權期間，並應涵蓋專案計入期期間。

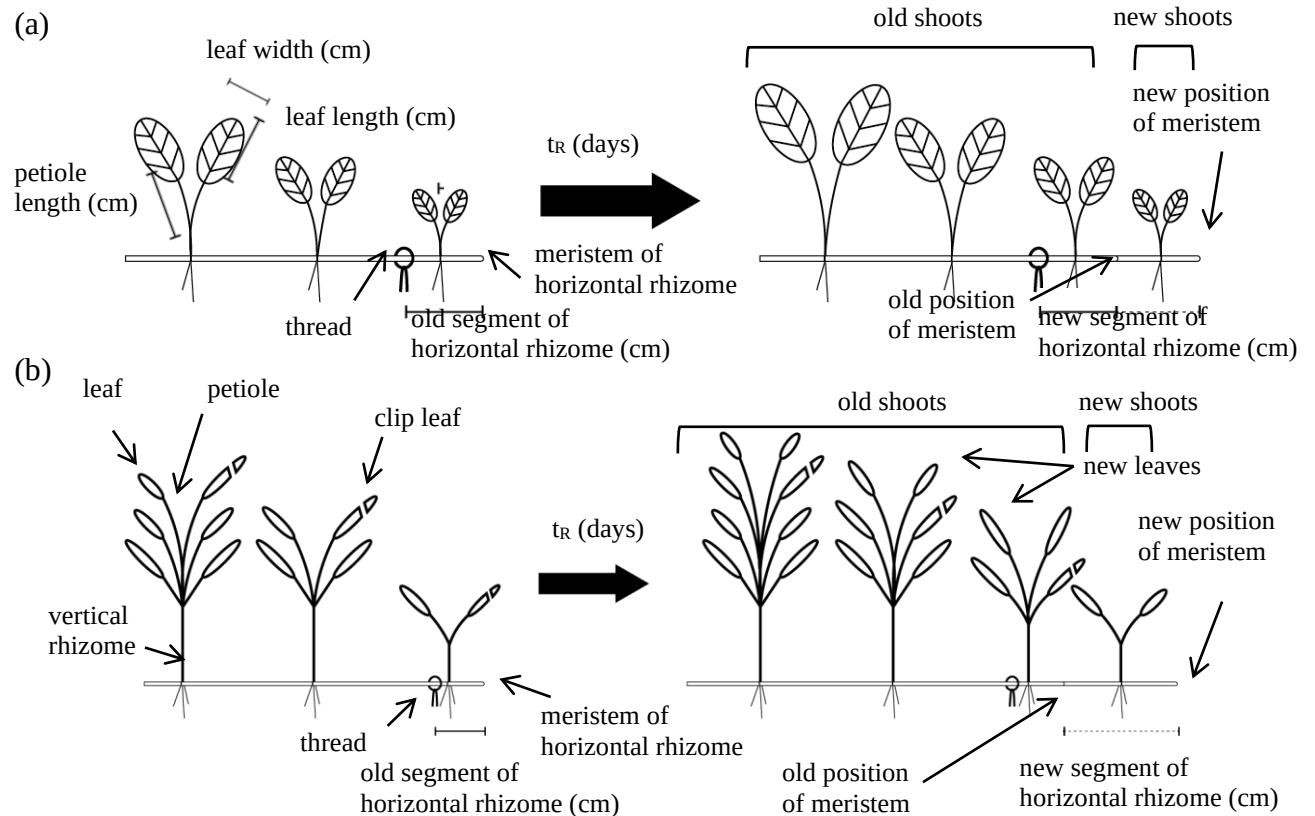
附錄2. 海草生物量變化標記方法



附圖 1 長帶形海草地上部生長量戳針標記法

pin：戳針；leaf：葉子；sheath：葉鞘； t_L ：戳針標記後放置的時間；d.m.NL：新增的海草葉片生物量(乾重)。

戳針標記法用於測量長帶形葉片海草地上部生長量，需要利用針頭從葉鞘一側刺穿海草葉片，大約7天後採收。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，依照葉鞘與葉片之標記點，取下葉片新生長的部分烘乾秤重，即為新增的海草葉片生物量(d.m.NL)。將新增的海草葉片生物量除以標記後放置的時間 (t_L)和標記之株數(N_S)，平均後乘以單位面積之海草株數 (D_S)，即可得到該季節長帶形海草單位面積時間地上部生長量(附圖 1)

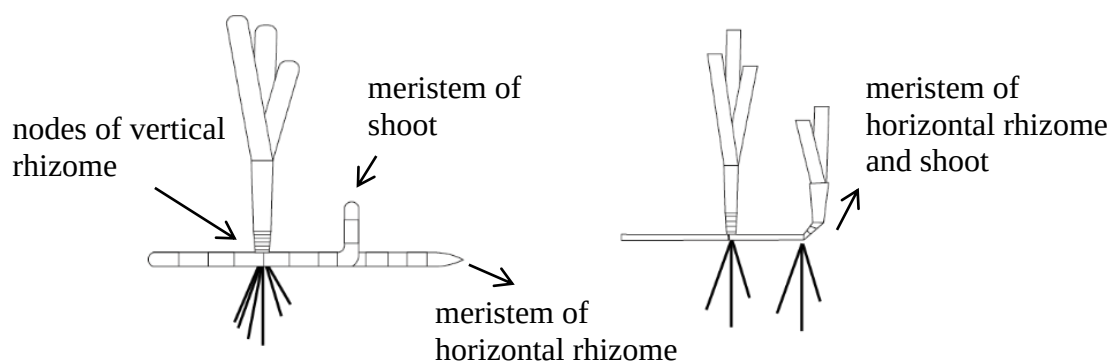


附圖 2 卵圓形海草地上部生長量綁線法(a)雙片葉對生，(b)多葉蓮座狀

leaf width：葉寬；leaf length：葉長；leaf：葉子；petiole length：棉線；old

segment of horizontal rhizome：原先的水平莖片段（第一株海草至水平莖芽點）；
 tR：綁線標記後放置的時間；meristem of horizontal rhizome：水平莖芽點；old shoots：原先植株；new shoots：新生植株；old position of meristem：水平莖芽點原先的位置；new segment of horizontal rhizome：新生的水平莖片段（水平莖芽點原先的位置至新的位置）；new position of meristem：水平莖芽點新的位置；
 leaf：葉子；petiole：葉柄；vertical rhizome：垂直莖；clip leaf：剪去葉片一角之標記；new leaves：葉片缺口標記後新生之葉片。

綁線法用於測量卵圓形葉片海草地上部生長量，依照海草水平莖芽點算起的第一株海草綁上棉線標記為基準點，此株海草及棉線基準點向芽點反方向的2-3株海草地上部為原先就存在的植株，雙片葉對生的卵圓形海草需要記錄葉片長寬、葉柄長度，多葉蓮座狀生長的海草葉片上以剪刀剪出缺口做記號。接著將水平莖及芽點埋回沉積物，大約7天後採收。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，依照棉線基準點判斷，向芽點方向新長出的植株葉片皆為新生長的海草地上部生物量。原先就存在海草植株需要再次記錄葉片長寬、葉柄長度（雙片葉對生），或是計算被標記的葉片後所新生的海草葉片（多葉蓮座狀）。利用卵圓形海草葉片的長寬，以橢圓形公式計算葉片面積，再藉由卵圓形海草葉面積及生物量迴歸公式，計算標記前後海草葉片的面積變化所增加的葉片生物量。同時以葉柄長度及海草生物量迴歸公式計算標記前後海草葉柄的長度變化所增加的葉柄生物量。蓮座狀生長的海草葉片則依照一開始標記時留下的葉片缺口為基準，區分固有葉片及新生葉片。由於蓮座生長的海草種類個體太小，不易量測葉片長寬及葉柄長，因此以新生葉片作為新生生物量。最後加總隨芽點生長新生的地上部生物量 (d.m.NL-forward) 和原先海草植株所增加的地上部生物量 (d.m.NL-backward)，除以標記後放置的時間 (t_R)，即可得到每個水平莖芽點單位時間的地上部生長量 (G_{LR})。將每個水平莖芽點單位時間的地上部生長量 (G_{LR}) 乘上單位面積水平莖芽點密度 (D_R)，即可得到卵圓形海草單位面積時間地上部生長量 (附圖 2)。



附圖 3 海草床地下部構造及型態(a)雙生長點，(b)單一生長點

nodes of vertical rhizome：垂直莖節點；meristem of shoot：植株生長點；
 meristem of horizontal rhizome：水平莖生長點；meristem of horizontal rhizome and shoot：垂直莖及植株共同生長點。

地下部生長量使用綁線法測量，卵圓形葉片之海草僅需計算水平莖生長量 (G_R) (附圖 2)，長帶形葉片之海草需再包含垂直莖生長量 (G_S) (附圖 3)，水平莖生長量與卵圓形葉片海草地上部生長量標記的綁線法相似。依照海草水平莖芽

點算起的第一株海草綁上棉線標記為基準點，記錄棉線基準點與水平莖芽點之長度，再將水平莖及芽點埋回沉積物。大約7-40天後採收，依照海草個體大小差異選擇放置時間。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，截下棉線標記點到水平莖芽點之間的水平莖，並且扣除一開始標記時棉線基準點與水平莖芽點之長度的片段，烘乾至恆重並秤重即為新增的水平莖生物量 ($d.m.R$)。將新增的水平莖生物量 ($d.m.R$) 除以單位面積水平莖芽點數量 (N_R)，再除以標記後放置的時間 (t_R)，即為每個海草水平莖芽點單位時間水平莖生長量 (G_R)。

長帶形葉片的海草種類，需另外計算直立莖生長量，需要參數包含葉間期 (PI_L)、垂直莖節數 (N_{SN}) 及垂直莖乾重 ($d.m.SN$)。由於長帶形海草葉片基部的生長點在長出新葉片時，在垂直莖上會產生新的節，因此計算垂直莖上的節數可以回推垂直莖生長時間。每一節的生長時間即為葉間期 (PI_L)，葉間期須利用地上部戳針法，標記點需盡可能接近葉基部，待7-10天回收標記之海草樣本後，計算平均每株成功標記的海草植株裡有多少沒有戳針針孔的新生葉片數 (N_{NL})，將戳針標記後放置的時間 (t_L) 除以每株海草的新生葉片數 (N_{NL})，即可得到葉間期 (PI_L)。將每株海草垂直莖截下計算節數後烘乾至恆重。將垂直莖乾重 ($d.m.SN$) 除以垂直莖節數 (N_{SN}) 和葉間期 (PI_L)，即為每株海草單位時間垂直莖生長量 (G_S)。

附錄3. 海草復育方式

海草復育以種苗或種子栽植優先，片段地下莖移植或小面積海草移植次之，以不破壞原有海草族群的健康程度為原則。以下為海草種植技術簡介 (IUCN, 2021)：

1. 種子復育技術

- (1) 散播：手動或機械撒播的方式自由散佈種子。
- (2) 浮標定網播種：蒐集成熟繁殖植株，並懸掛在浮標定網的網目上。
- (3) 分注槍注射播種：將海草種子與底質混合、裝進改良的分注槍，注入底質，適用急流區。



附圖 4 浮標定網播種



附圖 5 分注槍注射播種

2. 移植復育技術

定錨法：使用訂書釘、鐵框架、鐵釘或其它重物固定移植海草地下莖片段或小面積海草。



附圖 6 浮標定網播種

附錄4. 各類海草生長量之標記方法

海草種類	部位	葉片形狀/ 生長型態	生活史	樣框 面積 cm ²	放置 天數	生長量 標記方法
泰來草	地上部	長帶形	個體大 / 周轉慢	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 獨立水平 莖芽點		400	45- 50	綁線法計算水平莖， 並用葉間期計算垂直 莖
單脈 二藥草	地上部	長帶形	個體中 / 周轉快	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 水平莖芽 點具海草 植株		400	15- 20	綁線法計算水平莖， 並用葉間期計算垂直 莖
甘草	地上部	長帶形	個體中 / 周轉快	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 水平莖芽 點具海草 植株		400	15- 20	綁線法計算水平莖， 並用葉間期計算垂直 莖
貝克氏 鹽草	地上部	卵圓形、 具葉柄/蓮 座生長	個體小 / 周轉快	100	6-8	綁線法，並製造缺角 標記老葉，以及棉線 基準點後2-3株海草新 分支之植株
	地下部	獨立水平 莖芽點		100	6-8	綁線法，並計算棉線 基準點後2-3株海草新 分枝之水平莖
卵葉 鹽草	地上部	卵圓形、 具葉柄	個體小 / 周轉快	100	6-8	綁線法，並以葉面積 及葉柄長度之生物量 迴歸公式計算葉片生 物量變化
	地下部	獨立水平 莖芽點		100	6-8	綁線法

減量方法資料

版次	日期	修訂記錄
01.0	114年7月24日	「環境部溫室氣體抵換專案暨自願減量專案審議會第19次會議」決議審核通過。

參考文獻

- (1) Buchanan, J., and J. M. Kain. 1971. Measurement of the physical and chemical environment. *Methods for the study of marine benthos* 16:30e52.
- (2) Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., & Tanabe K. (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environmental Strategies (IPCC- IGES).
- (3) Folk, R. L. 1966. A review of grain-size parameters. *Sedimentology* 6:73-93.
- (4) Heumann, B. W. (2011) Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35(1), 87-108.
- (5) Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014) 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
- (6) Hsieh, H., and K. Chang. 1991. Habitat characteristics and occurrence of the spionid *Pseudopolydora* sp. on the tube-caps of the onuphid *Diopatra bilobata* (Polychaeta: Spionidae Onuphidae). *Bulletin of The Institute of Zoology Academia Sinica* 30:331-339.
- (7) Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (eds.) (2014) Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.
- (8) Huang, Y.-H., Lee, C.-L., Chung, C.-Y., Hsiao, S.-C., & Lin, H.-J. (2015) Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea. *Marine Environmental Research*, 106, 92-102.
- (9) IUCN (2021). Manual for the creation of Blue Carbon projects in Europe and the Mediterranean. Otero, M. (Ed)., 144 pages.
- (10) Lin, H.-J., Chen, K.-Y., Kao, Y.-C., Lin, W.-J., Lin, C.-W., Ho, C.-W. (2023) Assessing Coastal Blue Carbon Sinks in Taiwan. *Marine Research*, 3:1-17.
- (11) Lorenzen, C. J. 1972. Extinction of light in the ocean by phytoplankton. *ICES Journal of Marine Science* 34:262-267.
- (12) Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC-NGGIP).
- (13) Zou, Y.-F., Chen, K.-Y., & Lin, H.-J. (2021) Significance of belowground

production to the long-term carbon sequestration of intertidal seagrass beds. Science of The Total Environment, 800, 149579.

- (14) 林幸助、陳冠宇 (2023)。《臺灣海草床碳匯測量標準作業程序》。
- (15) 林幸助、邵廣昭 (2020)。我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃，國家海洋研究院。
- (16) 林幸助、陳渭中 (2019)。106-107年度重要濕地碳匯調查計畫案成果報告書-附錄：濕地碳匯功能調查標準作業程序。內政部營建署城鄉發展分署。
- (17) 謝蕙蓮、黃守忠、李坤瑄、陳章波 (1993)。潮間帶底棲生態調查法。生物科學：7180。

臺灣海草床碳匯
測量標準作業程序

林幸助、陳冠宇

2023年11月
海洋委員會、漁業署

1. 前言

本方法為海草床碳匯納入臺灣國家溫室氣體排放清冊之測量方法，因此統一使用噸二氧化碳當量 ($t\text{CO}_2\text{e}$) 為單位。本書以碳儲量變化正值表示從大氣或其他碳庫移除溫室氣體 (即儲存溫室氣體在自身碳庫內)，溫室氣體排放量正值表示排出溫室氣體到大氣或其他碳庫。本方法主要參考：

1. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 以下簡稱 2006 IPCC NIR 指南。
2. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. 以下簡稱 2013 IPCC NIR 濕地補充指南
3. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 以下簡稱 2019 IPCC NIR 指南精進內容
4. Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. 以下簡稱 IUCN 濱海藍碳
5. 內政部營建署城鄉發展分署「106-107 年度重要濕地碳匯調查計畫」案成果報告書-附錄：濕地碳匯功能調查標準作業程序。以下簡稱內政部營建署濕地碳匯標準作業

國家特定係數參考文獻：

1. Huang, Y.-H., Lee, C.-L., Chung, C.-Y., Hsiao, S.-C., & Lin, H.-J. (2015) Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea. *Marine Environmental Research*, 106, 92-102.
2. Zou, Y.-F., Chen, K.-Y., & Lin, H.-J. (2021) Significance of belowground production to the long-term carbon sequestration of intertidal seagrass beds. *Science of The Total Environment*, 800, 149579.
3. 林幸助(2022)。臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署。
4. Lin, H.-J., Chen, K.-Y., Kao, Y.-C., Lin, W.-J., Lin, C.-W., Ho, C.-W. (2023) Assessing coastal blue carbon sinks in Taiwan. *Marine Research*, 3: 1-17.

2. 術語定義

2.1. 二氧化碳當量 (carbon dioxide equivalent, CO_2e)

各類溫室氣體相對於二氧化碳之輻射衝擊單位，係使用特定溫室氣體之重量乘以其溫暖化潛勢計算而得。需依照最新的中華民國國家溫室氣體排放清冊報告引用溫暖化潛勢。目前參考2022中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，引用 IPCC (2007) Climate Change, the Fourth Assessment Report 各溫室氣體之溫暖化潛勢，二氧化碳為1、甲烷為25、氧化亞氮為298。其中，單位重量有機碳轉換成二氧化碳當量，需乘上轉換係數44/12；單位重量氧化亞氮的氮含量轉換成氧化亞氮含量，需乘上轉換係數44/28。

2.2. 碳庫 (carbon pool)

儲存在沉積物、植被、水體和大氣等儲碳載體中可以吸收和排放的碳，系統中所有碳庫加總成為碳儲量。

2.3. 碳儲量 (carbon stock)

指生態系統中儲存的總碳量。海草床沉積物則指每公頃特定深度的碳含量 (國際標準採用1公尺深，可視各國海草床沉積物深度做調整)。碳儲量可包含一個或多個碳庫的碳總量。本方法學統一以二氧化碳溫暖化潛勢作轉換，單位為 $t\text{CO}_2\text{e/ha}$ 。

2.4. 活動數據 (activity data)

根據地理資料顯示某一地區的土地覆蓋和利用類型之變化。

2.5. 排放係數 (emission factors)

描述特定區域之有機碳含量變化。有機碳含量的變化由土地利用類型的內部變化(如海草床中水質營養污染)或土地利用方式改變(如從海草床變成鹽田)所導致。本書以碳儲量變化正值表示從大氣或其他碳庫移除溫室氣體(即儲存溫室氣體在自身碳庫內)，溫室氣體排放量正值表示排出溫室氣體到大氣或其他碳庫。

2.6. 海草床 (seagrass beds 或 seagrass meadow)

可以完全生活在海水(鹽水)中的沉水性被子植物總稱為海草，海草聚集長成一片成為海草床，多分布於潮間帶、亞潮帶，在魚塭及鹽田也能生長。臺灣有紀錄海草種類達13種：泰來草(*Thalassia hemprichii*)、圓葉水絲草(*Cymodocea rotundata*)、齒葉大洋草(*Oceana serrulata*)、卵葉鹽草(*Halophila ovalis*)、正鹽草(*Halophila major*)、毛葉鹽草(*Halophila decipiens*)、貝克氏鹽草(*Halophila beccarii*)、小赤坎鹽草(*Halophila siaochihkanensis*)、水韭菜(*Syringodium isoetifolium*)、鐮葉叢草(*Thalassiodendron ciliatum*)、線葉二藥草(*Halodule pinifolia*)、單脈二藥草(*Halodule uninervis*)及甘草(*Zostera japonica*)等，其中有98%的海草床面積分布於東沙亞潮帶。臺灣本島的潮間帶海草則是以分布於沙質底的泰來草及單脈二藥草為主，及分布於泥質底的貝克氏鹽草及甘草為代表。

2.7. 地上部生物量 (aboveground biomass)

沉積物表面以上所有活體植物組織(如葉片、果實等)的質量，本手冊指生物量乾重。

2.8. 地下部生物量 (belowground biomass)

沉積物表面以下所有活體植物組織(如水平莖、根等)的質量，本手冊指生物量乾重。

2.9. 海草覆蓋度及碳儲量經驗公式 (cover-biomass-soil organic carbon model)

透過建立參數間轉換的迴歸式，可藉由觀測海草床覆蓋度估算地上部生物量，再從地上部生物量估算地下部生物量，最後藉由地下部生物量估算沉積物碳儲存量。

2.10. 有機碳含量百分比 (carbon fraction)

單位質量中有機碳含量百分比。

2.11. 自源性碳 (autochthonous carbon)

在海草床中，由海草吸收固定海洋和大氣中的碳並轉移到植物組織中，之後在海草床周遭沉積物中堆積或分解。

2.12. 外源性碳 (allochthonous carbon)

源自於海草床以外的有機碳。

2.13. 沉積物碳埋藏 (carbon burial)

短期內不被分解的有機碳碎屑，可長期(至少一年)儲存於沉積物中。

2.14. 地表高程變化 (surface elevation change, SEC)

海草床沉積物從表面到底部岩層的深度變化量。

2.15. 碳庫差分法 (stock-difference method)

測定兩個不同時間點的有機碳儲量之變化量，得到層級3的估測值。

2.16. 增減法 (gain and loss method)

通過間接測量碳匯系統各階段的增加與減少(如地下部分解後埋藏於沉積物之百分比)，估算生態系碳匯變化量。通常藉由彙整科學文獻或國家特定數據各項排放係數，加總計算後取得層級1至3的估計值。

2.17. 通量法 (flux method)

通過直接測量或建立模式，估算沉積物與植被、大氣與水體之間的溫室氣體排放或移除流通量，得到層級3和層級2估計值。

2.18. 分區 (habitat zoning)

採樣時將存在異質性的調查區劃分成性質均一的小區。

2.19. 測站 (monitoring station)

根據目標用於量測相關指標而設置的樣地。

3. 臺灣海草床碳匯估算流程

臺灣海草床碳匯估算流程依照海草床活動數據劃定面積，以各類活動數據海草床之相對應有機碳儲量或排放係數做計算。本方法主旨在測量並建立本土海草床在各類活動數據下的有機碳儲量或排放係數。

按照2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及內政部營建署濕地碳匯標準作業程序的預設假設，土地屬於一個給定土地利用20年後，將會從轉換類別變成保持類別。例如，一塊土地重新濕潤種植海草床後，土地利用類型就屬於「再濕潤、植被恢復和創建」。經過20年後，該土地仍維持海草床，土地利用類型才會轉換為「濕地維持濕地」。土地利用類型即為活動數據，海草床各項活動數據之具體管理活動如下：

1. 抽沙—(1)挖沙以建設港口、海港和碼頭，包含填充或疏浚以提高土地高程，(2)水產養殖
2. 再濕潤、植被恢復和創建—透過恢復水文和重建植被，從排水性沉積物轉換為飽和性沉積物

海草床碳匯估算之精度，參考2006 IPCC NIR 指南、2013 IPCC NIR 濕地補充指南及內政部營建署濕地碳匯作業的三種估算層級 (Achard et al. 2009)，估算精確度由低至高分別列如表1：

表1、碳庫估算之精確層級說明

層級	必備的資料	說明
1	使用 IPCC 預設的排放係數	準確度和可靠性最低，使用簡易的假設和 IPCC 所發布的活動數據和排放係數之預設

		值。誤差範圍可能很大，其誤差範圍地上部碳庫正負 50%，而沉積物碳庫則為正負 90%。
2	國家特定資料的關鍵係數	使用國家或特定地點的資料，因此具有更高的準確性和解析度。例如，一個國家應該有該國不同生態系類型的平均碳儲量資料。
3	主要碳庫的詳細調查、定期測量或模型計算	需要詳細調查的資料。收集各生態系統或土地利用區域中和碳儲量相關的完整資料，並隨時間重複測量關鍵碳儲量，以估算碳的變化或碳通量。碳通量的估算可以透過野外直接的現地測量或建置模型來推算之。

本土海草床的有機碳儲量或排放係數的測量方法，可混用上述三種準確度層級之估算。以 IUCN 濱海藍碳之標準採樣作業程序 (Howard et al. 2014)，海草床碳匯計算方法可分為3種：

1. 碳庫差分法：測定兩個不同時間點的有機碳儲量，碳庫變化量為溫室氣體排放等碳釋放後之結果，以取得該碳庫層級 3 的估計值。
2. 增減法：通過間接測量碳匯系統各階段的增加及減少（如地下部分解後埋藏於沉積物之百分比），估算生態系碳匯變化。通常藉由彙整科學文獻或國家特定數據各項排放係數，加總計算後取得層級 1 至 3 的估計值。
3. 通量法：透過直接測量或建立模型，估算沉積物與植被、大氣與水體之間的溫室氣體排放或移除量，以取得層級 2 和層級 3 估計值。

4. 海草床碳匯計算

海草床碳匯由海草床有機碳儲存年變化量決定，意即涉及植物體光合作用淨生產量，和植物體死有機質在沉積物中被微生物分解等作用的二氧化碳通量結果。為符合碳匯計算的保守性原則，在特殊情況需考量非二氧化碳溫室氣體排放所抵銷的海草床碳匯，如低鹽度環境下 (< 18 psu) 的甲烷排放及高營養鹽環境下 (中度優養化) 的氧化亞氮排放。海草床溫室氣體排放量計算如公式(1)，碳儲量變化量為正值表示從大氣或其他碳庫移除溫室氣體 (即儲存溫室氣體在自身碳庫內)，溫室氣體排放量正值表示排出溫室氣體到大氣或其他碳庫。

$$CS_{Seagrass} = \Delta C_{Seagrass} - CH_4 - Seagrass - N_2O_{Seagrass} \quad \text{-----} \quad (1)$$

- $CS_{Seagrass}$ —海草床碳匯年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- $\Delta C_{Seagrass}$ —海草床碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- $CH_4 - Seagrass$ —海草床甲烷年排放量，單位為 t CO₂e/yr；
- $N_2O_{Seagrass}$ —海草床氧化亞氮年排放量，單位為 t CO₂e/yr。

4.1. 有機碳儲存年變化量

海草床有機碳儲存變化量利用碳庫差分法，較能涵蓋各碳庫晝夜、季節變化之綜合結果，例如植物體的光合作用及呼吸作用、死有機質及沉積物碳庫在不同氣溫下的分解等，如公式(2)。

$$\Delta C_{Seagrass} = \Delta C_B + \Delta C_{DOM} + \Delta C_{Soils} \quad \text{-----} \quad (2)$$

- $\Delta C_{Seagrass}$ —海草床有機碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- ΔC_B —海草生物量碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；

- ΔC_{DOM} —海草床死有機質碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- ΔC_{Soils} —海草床沉積物碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr。

4.2. 生物量碳儲存年變化量

海草生物量碳儲存變化量計算如公式(3)、(4)、(5)，公式(4)屬於層級1，部分參數估計值如表2；公式(5)可用於層級2、3之估算，層級2估計值如表3、表4。層級3之完整量測方式，如5.2.及5.3.小節。

$$\Delta C_B = \sum_{ij} (A_{ij} \times \Delta B_{Total_{ij}}) \times 44/12 \quad \text{-----} \quad (3)$$

- ΔC_B —海草生物量碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- ΔB_{Total} —單位面積海草碳儲存年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- $44/12$ —有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —海草種類；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

層級1

$$\Delta B_{Total} = \Delta B_A \times (1 + R) \times CF \quad \text{-----} \quad (4)$$

- ΔB_{Total} —單位面積海草碳儲存年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- ΔB_A —海草地上部平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m./ha·yr；
- R —海草根莖比，即地下部與地上部比例；
- CF —海草地上部及地下部平均有機碳含量百分比(%)。

表2、海草地下部生物量與地上部生物量比值(R)層級1估計值

氣候區	R	95% CI	參考文獻
熱帶	1.7	1.5, 1.9	Aioi and Pollard 1993; Brouns 1985; Brouns 1987; Coles et al. 1993; Daby 2003; Devereux et al. 2011; Fourqurean et al. 2012; Halun et al. 2002; Holmer et al. 2001; Ismail 1993; Lee 1997; Lindeboom and Sandee 1989; McKenzie 1994; Mellors et al. 2002; Moriarty et al. 1990; Nienhuis et al. 1989; Ogden and Ogden 1982; Paynter et al. 2001; Poovachiranon and Chansang 1994; Povidisa et al. 2009; Rasheed 1999; Udy et al. 1999; van Lent et al. 1991; van Tussenbroek 1998; Vermaat et al. 1993; Vermaat et al. 1995; Williams 1987
亞熱帶	2.4	2.3, 2.6	Aioi 1980; Aioi et al. 1981; Asmus et al. 2000; Bandeira 2002; Boon 1986; Brun et al. 2009; Collier et al. 2009; de Boer 2000; Devereux et al. 2011; Dixon and Leverone 1995; Dos Santos et al. 2012; Dunton 1996; Fourqurean et al. 2012; Hackney 2003; Herbert and Fourqurean 2008; Herbert and Fourqurean 2009; Holmer and Kendrick 2012; Jensen and Bell 2001; Kim et al. 2012; Kirkman and Reid 1979; Kowalski et al. 2009; Larkum et al. 1984; Lee et al. 2005; Lee et al. 2005b; Lipkin 1979; Longstaff et al. 1999; Masini et al. 2001; McGlathery et al. 2012; McMahan 1968; Meling-Lopez and Ibarra-Obando 1999; Mukai et al.

			1979; Paling and McComb 2000; Park et al. 2011; Powell 1989; Preen 1995; Schwarz et al. 2006; Stevensen 1988; Townsend and Fonseca 1998; Udy and Dennison 1997; van Houte-Howes et al. 2004; van Lent et al. 1991; van Tussenbroek 1998; Walker 1985; West and Larkum 1979; Yarbrow and Carlson 2008
溫帶	1.3	1.1, 1.5	Agostini et al. 2003; Cebrian et al. 2000; Fourqurean et al. 2012; Hebert et al. 2007; Holmer and Kendrick 2012; Larned 2003; Lebreton et al. 2009; Lillebo et al. 2006; Marba and Duarte 2001; McRoy 1974; Olesen and Sand-Jensen 1994; Rismondo et al. 1997; Sand-Jensen and Borum 1983; Terrados et al. 2006

層級2、3

$$\Delta B_{Total} = (\Delta B_A \times CF_A + \Delta B_B \times CF_B) \quad \text{-----} \quad (5)$$

- ΔB_{Total} —單位面積海草碳儲存年增加量，單位為 t C/ha yr；
- ΔB_A —海草地上部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m./ha yr；
- CF_A —海草地上部有機碳含量百分比(%)；
- ΔB_B —海草地下部生物量平均年生長量(乾重)，單位為 t d.m./ha yr；
- CF_B —海草地下部有機碳含量百分比(%)。

表3、臺灣海草碳儲存年增加量層級2估計值

植被類型		ΔB_{Total} (t C/ha·yr)	不確定性 U (%)	參考文獻
潮間帶 沙質底	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	2.84	67.6	林幸助 2022；Zou et al. 2021
	單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	5.06	68.3	林幸助 2022；Zou et al. 2021
潮間帶 泥質底	甘草 <i>Zostera japonica</i>	1.21	40.6	林幸助 2022；Zou et al. 2021
	貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	5.16	100.6	林幸助 2022
亞潮帶	東沙海草	13.43	60.7	Huang et al. 2015; Zou et al. 2021

使用戳針法及綁線法量化單位時間海草地上部及地下部生長量；東沙海草床為多海草種類混生，此表以多種優勢海草種類進行估計。

表4、臺灣海草地上部及地下部生物量碳含量百分比(%)層級2估計值

植被類型		CF_{AB} (%)	不確定性 U (%)	CF_{BB} (%)	不確定性 U (%)	參考文獻
潮間帶 沙質底	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	30.4	1.7	35.7	1.8	Huang et al. 2015
	單脈二藥草	30.4	10.9	31.6	3.7	Huang et al.

	<i>Halodule uninervis</i>					2015
潮間帶 泥質底	甘草 <i>Zostera japonica</i>	38.8	5.7	33.4	5.9	林幸助 2022
	貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	28.0	10.1	24.7	52.9	林幸助 2022
亞潮帶	東沙海草	30.8	3.0	31.9	10.3	Huang et al. 2015

海草地上部碳含量百分比測量組織為葉片，地下部組織則包含垂直莖、水平莖及根。

4.3. 死有機質碳儲存年變化量

由於海草床死有機質碳庫佔整體碳庫的比例較小，而且海草床死有機質的變化量涉及自源性產生、潮汐等水文作用的輸出及輸入，和生地化作用產生的二氧化碳等溫室氣體排放，因此一般情況採用層級1資料，假設死有機質碳庫在生物量碳庫及沉積物碳庫間維持動態平衡，死有機質碳庫變化為0。部分潮汐交換較差或脫落葉片較容易累積的海草床，則需要使用層級2或3之計算方法，計算公式如(6)。層級3之完整量測方式，如5.4.小節。

$$\Delta C_{DOM} = A_{ij} \times \Delta DOM_{ij} \times 3.67 \text{ -----} \quad (6)$$

- ΔC_{DOM} —海草床死有機質碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- ΔDOM —海草床死有機質碳儲存年變化量，單位為 t C/ha·yr；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —海草種類；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

4.4. 沉積物有機碳儲存年變化量

海草床沉積物有機碳儲存變化量計算如公式 (7)、(8)、(9)、(10)、(11)。層級1如公式 (7)，目前僅有重建植被、再濕潤土地有排放係數 (EF)預設值，可參照表5；層級2、3之估算方法 (1)屬於沉積物碳庫差分法，用於考慮外源性及自源性有機碳的綜合結果，參照公式(8)、(9)，預設值如表6；層級2、3之估算方法 (2)屬於增減法，能較準確量化海草床自源性有機碳埋藏貢獻，參照公式(10)、(11)。依照2013 IPCC NIR 濕地補充指南，海草床底質皆屬於無機沉積物，須以沉積物碳庫差分法 (層級2、3之估算方法 (1))計算沉積物有機碳儲量。不過，臺灣海草床底質可分為沙質及泥質，泥質海草床多分布於粉泥黏土含量較多的河口、泥灘地或是廢棄鹽田。由於臺灣河口季節水流變動較大，導致泥質地海草床的底質擾動較多，因此建議使用增減法 (層級2、3之估算方法(2))計算泥質海草床的沉積物有機碳儲量，除了變異較低，在碳匯計算上也符合保守性原則。層級3之完整量測方式，如5.5.小節。

層級1：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times -EF_{ij-Soils} \times 3.67 \text{ -----} \quad (7)$$

- ΔC_{Soils} —海草床有機沉積物碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；

- $EF_{ij-Soils}$ —海草床沉積物碳排放係數，單位為 t C/ha·yr；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- i —海草種類；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

表5、開始重建植被再濕潤 ($EF_{RE-Soils}$) 有機及礦物聚合沉積物的年度排放係數層級1估計值

生態系	$EF_{RE-Soils}$ (t C/ha·yr)	95% CI	參考文獻
海草床	-0.43	0.2, 0.7	Mateo and Romero 1997; Serrano et al. 2012

此處排放係數負值表示沉積物有機碳儲量年變化正值，即為沉積物有機碳儲量增加。

層級2、3之方法(1)：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times CAR_{ij} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (8)$$

$$CAR_{ij} = SEC_{ij} \times SBD_{ij} \times CF_{ij-Soils} \quad \text{-----} \quad (9)$$

- ΔC_{Soils} —海草床沉積物有機碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- CAR —海草床沉積物有機碳埋藏速率，單位為 t C/ha·yr；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- SEC —海草床地表高程年變化量，單位為 cm/yr；
- SBD —海草床沉積物總體密度，單位為 g/cm³；
- CF_{-Soils} —海草床沉積物有機碳含量百分比(%)；
- i —海草種類；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

表6、臺灣海草床沉積物有機碳儲存年變化量 (CAR) 層級2估計值

植被類型		CAR (t C/ha·yr)	不確定性 U (%)	參考文獻
潮間帶 沙質底	泰來草 <i>Thalassia hemprichii</i>	0.09	12.1	Zou et al. 2021
	單脈二藥草 <i>Halodule uninervis</i>	0.09	12.1	Zou et al. 2021
潮間帶 泥質底	甘草 <i>Zostera japonica</i>	0.21	35.1	林幸助 2022
	貝克氏鹽草 <i>Halophila beccarii</i>	2.09	240.0	林幸助 2022
亞潮帶	東沙海草	1.30	94.8	Huang et al. 2015; Zou et

				al. 2021
--	--	--	--	----------

目前泥質底海草床尚缺乏增減法所估算的沉積物有機碳儲存年變化，因此皆採用碳庫差分法之數據。泥質底海草床以增減法量化自源性海草床沉積物碳匯量。此處沉積物有機碳儲存年變化正值，即為沉積物有機碳儲量增加。

層級2、3之方法(2)：

$$\Delta C_{Soils} = A_{ij} \times \Delta C_{A-Soils} \times 3.67 \quad \text{-----} \quad (10)$$

$$\Delta C_{A-Soils} = (DA_{ij} \times W_{ij-DA} + DB_{ij} \times W_{ij-DB}) \quad \text{-----} \quad (11)$$

- ΔC_{Soils} —海草床沉積物有機碳儲存年變化量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- $\Delta C_{A-Soils}$ —海草床自源性沉積物有機碳儲存年增加量，單位為 t C/ha·yr；
- 3.67—有機碳含量之二氧化碳當量轉換係數；
- DA —海草地上部有機碎屑年增加量，單位為 t d.m./ha·yr；
- W_{DA} —海草地上部有機碎屑分解剩餘量百分比(%)；
- DB —海草地下部有機碎屑年增加量，單位為 t d.m./ha·yr；
- W_{DB} —海草地下部有機碎屑分解剩餘量百分比(%)；
- i —海草種類；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

4.5. 甲烷年排放量

海草床甲烷排放計算如公式(12)，層級3之完整量測方式，如5.6.小節。依照2013 IPCC NIR 濕地補充指南，水體鹽度小於18 psu 才需考慮甲烷排放量。臺灣海草床生長在受海水影響明顯的亞潮帶或潮間帶，或閒置鹽田等鹽度較高之區域，鹽度皆大於18 psu，因此一般情況下可忽略不計。於受潮汐影響之區域，水體鹽度須於退潮時測量，以反應陸源營養輸入之影響。

$$CH_4-Seagrass = \sum_{ij} (A_{ij} \times EF_{ij-CH_4} \times GWP_{CH_4}) \quad \text{-----} \quad (12)$$

- CH_4 Mangrove—海草床甲烷年排放量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- EF_{CH_4} —單位面積海草床甲烷年排放量，單位為 t CH₄/ha·yr；
- GWP_{CH_4} —甲烷溫暖化潛勢；
- i —海草種類；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

4.6. 氧化亞氮年排放量

海草床氧化亞氮排放估算層級2、3如公式(13)，在層級1僅有水產養殖有估計值，可用漁獲量資料代入計算，如表7；層級3之完整量測方式，如5.6.小節。依照2013 IPCC NIR 濕地補充指南，有關水產養殖活動才需考慮氧化亞氮排放量，如表7。於受潮汐影響之區域，水質須於退潮時測量，以反應陸源營養輸入之影響。若水體達中度優養化，該次測量則須計入底質氧化亞氮排放量。優養化指數計算方式為 (E)=[化學需氧量]*[無機氮]*[活性磷酸鹽]/4500*10⁶。其中，E≤3.0為輕度優養化；3.0<E≤9.0為中度優養化；E>9.0為重度優養化。化學需氧量、無機氮及活性磷酸鹽單位為 mg/L。

$$N_2O_{Seagrass} = \sum_{ij} (A_{ij} \times EF_{ij-N_2O} \times GWP_{N_2O}) \quad \text{-----} \quad (13)$$

- $N_2O_{Mangrove}$ —海草床氧化亞氮年排放量，單位為 t CO₂e/yr；
- A —海草床面積，單位為公頃(ha)；
- EF_{N_2O} —單位面積海草床氧化亞氮年排放量，單位為 t N₂O/ha·yr；
- GWP_{N_2O} —氧化亞氮溫暖化潛勢；
- i —海草種類；
- j —海草床活動數據，即土地利用類型面積。

表7、水產養殖紅樹林、潮間帶草澤及海草床的氧化亞氮排放係數 (EF_{F-N₂O}) 第1層級估計值

EF _{F-N₂O} (t N ₂ O-N/t-fish produced)	95% CI	參考文獻
1.69×10 ⁻³	0, 3.8×10 ⁻³	Hu et al. 2012

氧化亞氮之氮含量 (N₂O-N) 轉換為氧化亞氮含量 (N₂O) 需乘上轉換係數為 1.57，此處排放係數正值表示氧化亞氮排放。

5. 海草床有機碳儲存及排放係數量測技術

5.1. 量測分區及測站設置

量測分區及測站設置需權衡所需量測精度及成本(時間、人力、資金)。分區可依照活動數據(如土地利用轉變)、生物特徵(如海草種類)，或是依照環境條件分區(如水文地貌特徵、底質類型)。測站設計可依照量測目的採用(1)線性設計：用於測量分區變量對碳庫的影響，如垂直海岸線的穿越線，可了解不同潮位對海草床碳庫的影響；(2)隨機設計：在不清楚樣區碳儲量分布或可能是均勻分布時使用；(3)網格設計：於地圖上放置網格，每個網格內僅採樣單點，確保測站分布整個範圍(圖1)。每個測站面積至少5 m × 5 m (Howard et al. 2014)。以人工方式將長度30公分以上的營釘或其他標記物敲入底質，即可設立海草床長期標記點。如果樣點沉積速率較快，營釘上可綁上束帶或線材，方便每次量測時能較快找到長期標記點。



圖1、測站排列策略(a)線性設計(b)隨機設計(c)網格設計

5.2. 生物量及生長量

海草生長量可分為長時間尺度(詳見5.2.1-2小節)及短時間尺度(詳見5.2.3.1-2小節)之方法。概念皆為測量海草在不同時點的單位面積生物量，相減後即為單位面積單位時間海草生長量。長時間尺度的方法測量間隔為一年，選擇不同年分相同季節比較生物量變化量，在臺灣建議以春、夏季海草生物量最多的季節進行量測；短時間尺度的方法需進行四季量測，測量單位面積平均每日生長量($\Delta B_{AorB-season}$)，再換算成一整年的單位面積生長量，如公式(14)。

$$\Delta B_{AorB} = \sum \Delta B_{AorB-season} \times t_{season} \times 10^{-2} \quad \text{-----} \quad (14)$$

- ΔB_{AorB} —海草地上部或地下部生長量(乾重)，單位為 t d.m./ha·yr；
- $\Delta B_{AorB-season}$ —各季節海草地上部或地下部每日生長量(乾重)，單位為 g d.m./m²·day；
- t_{season} —各季節天數(days)；
- 10^{-2} —重量及面積單位轉換係數。

5.2.1. 破壞性收割法

在海草床中隨機選定地上部疏密程度具有代表性的區域，放置固定面積為10 cm × 10 cm 的鐵框，利用鏟子沿鐵框周圍將海草挖起，篩除底質後攜回實驗室，每個採集點至少3重複。採集後的生物量攜回實驗室區分地上部(葉子)及地下部(直立莖、水平莖及根)，以60°C烘乾並記錄乾重，即為單位面積生物量。



圖2、海草生物量破壞性收割法 (採集後示意圖)

5.2.2. 覆蓋度轉換生物量之經驗公式

覆蓋度、地上部生物量及地下部生物量為海草床量測的重要參數，透過建立參數間轉換的迴歸式，可藉由觀測海草床覆蓋度估算地上部生物量，再從地上部生物量估算地下部生物量 (Stankovic et al. 2018)。目前臺灣尚待建立覆蓋度、地上部生物量及地下部生物量的關係式。建立方法須以覆蓋度級數作為海草地上部疏密程度級數，依照不同覆蓋度級數採集至少6重複數的海草生物量，即可畫出海草床覆蓋度估算地上部生物量的迴歸式 (Mumby et al. 1997; Short and Coles 2001; Stankovic et al. 2018)。由於族群穩定的海草床覆蓋度會呈現動態的季節消長 (Chen and Lin 2022)，因此若使用覆蓋度轉換生物量之經驗公式估算海草床生物量的年變化，需要以不同年份的相同季節進行比較，建議以海草覆蓋度最多的季節進行比較。

5.2.3. 海草生長量標記法

依照海草個體大小，用鐵絲及鋼釘設置10 cm × 10 cm 或20 cm × 20 cm 的方形樣框作為標記海草生長量之量測範圍。一般而言，海草地上部生長量使用10 cm × 10 cm 的方形樣框即可；海草地下部生長量則可能因為水平莖芽點數量較少，需使用20 cm × 20 cm 的方形樣框 (Zou et al. 2021)。每個鐵絲方框範圍為1重複，至少需要3重複。海草地上部生長量需依照不同葉片型態選擇相應的標記方式 (詳見5.2.3.1.小節)，海草地下部生長量則統一使用綁線法做標記 (詳見5.2.3.2.小節) (Short and Coles 2001)。

5.2.3.1. 地上部生長量

戳針標記法用於長帶形葉片海草地上部生長量，如公式(15)、(16)、圖3及附錄。需要利用針頭從葉鞘一側刺穿海草葉片，大約7天後採收。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，依照葉鞘與葉片之標記點，取下葉片新生長的部分烘乾秤重，即為新增的海草葉片生物量 (d.m.NL)。將新增的海草葉片生物量除以戳針標記後放置的時間 (t_L) 和標記之株數 (N_S)，平均後乘以單位面積之海草株數 (D_S)，即可得到該季節長帶形海草單位面積時間地上部生長量 (Short and Coles 2001)。

$$\Delta B_{A-season} = G_{LS} \times D_S \quad \text{-----} \quad (15)$$

$$G_{LS} = \frac{d.m.NL}{N_S \times t_L} \quad \text{-----} \quad (16)$$

• $\Delta B_{A-season}$ —各季節海草地上部每日生長量(乾重)，單位為 g d.m./m²·day；

- G_{LS} —每株海草地上部每日生長量(乾重)，單位 g d.m./shoot day；
- D_S —單位面積海草株數，單位為 shoots/m²；
- $d.m.NL$ —新增的海草葉片生物量(乾重)，單位為 g；
- N_S —樣框內標記株數 (shoots)；
- t_L —戳針標記後放置時間(days)。

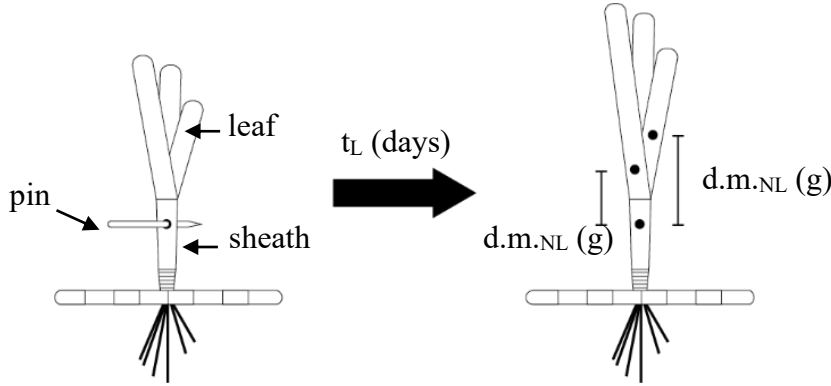


圖3、長帶形海草地上部生長量戳針標記法

pin：戳針；leaf：葉子；sheath：葉鞘； t_L ：戳針標記後放置的時間； $d.m.NL$ ：新增的海草葉片生物量(乾重)。

綁線法用於卵圓形葉片海草地上部生長量，如公式 (17)、(18)、(19)、圖4及附錄。依照海草水平莖芽點算起的第一株海草綁上棉線標記為基準點，此株海草及棉線基準點向芽點反方向的2-3株海草地上部為原先就存在的植株，雙片葉對生的卵圓形海草需要記錄葉片長寬、葉柄長度，多葉蓮座狀生長的海草葉片上以剪刀剪出缺口做記號。接著將水平莖及芽點埋回沉積物，大約7天後採收。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，依照棉線基準點判斷，向芽點方向新長出的植株葉片皆為新生長的海草地上部生物量；原先就存在海草植株需要再次記錄葉片長寬、葉柄長度（雙片葉對生），或是計算被標記的葉片後所新生的海草葉片（多葉蓮座狀）。利用卵圓形海草葉片的長寬，以橢圓形公式計算葉片面積，再藉由卵圓形海草葉面積及生物量迴歸公式，計算標記前後海草葉片的面積變化所增加的葉片生物量。同時以葉柄長度及海草生物量迴歸公式計算標記前後海草葉柄的長度變化所增加的葉柄生物量。蓮座狀生長的海草葉片則依照一開始標記時留下的葉片缺口為基準，區分固有葉片及新生葉片。由於蓮座生長的海草種類個體太小，不易量測葉片長寬及葉柄長，因此以新生葉片作為新生生物量即可。最後，加總隨芽點生長新生的地上部生物量 ($d.m.NL$ - forward) 和原先海草植株所增加的地上部生物量 ($d.m.NL$ -backward)，除以綁線標記後放置的時間 (t_R)，即可得到每個水平莖芽點單位時間的地上部生長量 (G_{LR})。將每個水平莖芽點單位時間的地上部生長量 (G_{LR}) 乘上單位面積水平莖芽點數量 (D_R)，即可得到卵圓形海草單位面積時間地上部生長量 (Short and Coles 2001)。

$$\Delta B_{A-season} = G_{LR} \times D_R \quad \text{-----} \quad (17)$$

$$G_{LR} = \frac{d.m.NL}{N_R \times t_R} \quad \text{-----} \quad (18)$$

$$d.m.NL = d.m.NL-forward + d.m.NL-backward \quad \text{-----} \quad (19)$$

- $\Delta B_{A-season}$ —各季海草地上部每日生長量(乾重)，單位為 g d.m./m²·day；
- G_{LR} —每段海草水平莖近芽點處地上部每日生長量(乾重)，單位為 g d.m./shoot day；

- D_R —單位面積海草水平莖數量，單位為 shoots/m²；
- $d.m.NL$ —新增的海草葉片生物量(乾重)，單位為 g；
- N_R —樣框內標記水平莖芽點數 (shoots)；
- t_R —綁線標記後放置時間 (days)；
- $d.m.NL-forward$ —標記基準點向芽點方向新生之葉片生物量(乾重)，單位為 g；
- $d.m.NL-backward$ —標記基準點向芽點反方向新生之葉片生物量(乾重)，單位為 g。

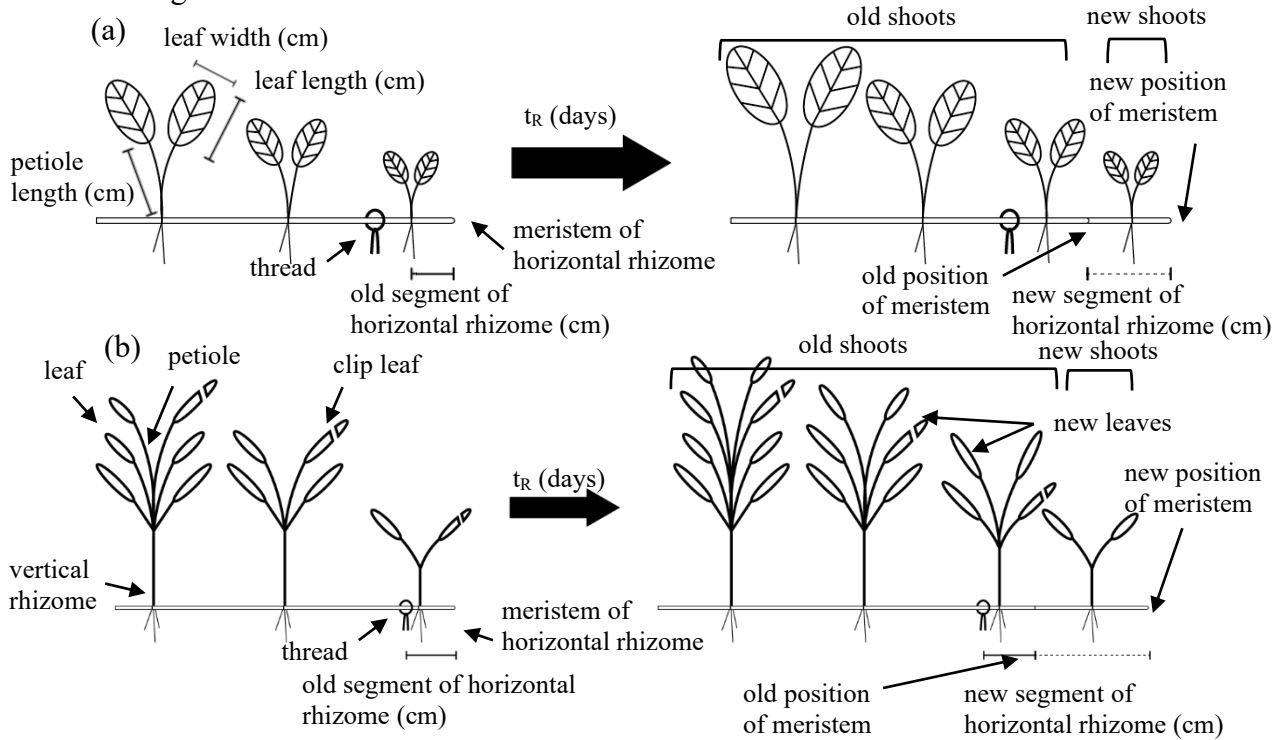


圖4、卵圓形海草地上部生長量綁線法(a)雙片葉對生，(b)多葉蓮座狀

leaf width：葉寬；leaf length：葉長；leaf：葉子；thread：棉線；old segment of horizontal rhizome：原先的水平莖片段（第一株海草至水平莖芽點）； t_R ：綁線標記後放置的時間；meristem of horizontal rhizome：水平莖芽點；old shoots：原先的植株；new shoots：新生的植株；old position of meristem：水平莖芽點原先的位置；new segment of horizontal rhizome：新生的水平莖片段（水平莖芽點原先的位置至新的位置）；new position of meristem：水平莖芽點新的位置；leaf：葉子；petiole：葉柄；vertical rhizome：垂直莖；clip leaf：剪去葉片一角之標記；new leaves：葉片缺口標記後新生之葉片。

5.2.3.2.地下部生長量

地下部生長量使用綁線法測量，卵圓形葉片之海草僅需計算水平莖生長量 (G_R)，長帶形葉片之海草需再包含垂直莖生長量 (G_S)，如公式 (20)、(21)、(22)、(23)、圖4、圖5及附錄。水平莖生長量與5.2.3.2.卵圓形葉片海草地上部生長量標記的綁線法相似 (圖4)。依照海草水平莖芽點算起的第一株海草綁上棉線標記為基準點，記錄棉線基準點與水平莖芽點之長度，再將水平莖及芽點埋回沉積物。大約7-40天後採收，依照海草個體大小差異選擇放置時間 (詳見附錄)。將採收之樣本帶回實驗室清洗後，截下棉線標記點到水平莖芽點之間的水平莖，並且扣除一開始標記時棉線基準點與水平莖芽點之長度的片段，烘乾至恆重並秤重即為新增的水平莖生物量 ($d.m.R$)。將新增的水平莖生物量 ($d.m.R$) 除以單位面積水平莖芽點數量 (N_R)，再除以綁線標記後放置的時間 (t_R)，即為每

個海草水平莖芽點單位時間水平莖生長量 (G_R) (Short and Coles, 2001)。

長帶形葉片的海草種類，需另外計算直立莖生長量，需要參數包含葉間期 (PI_L)、垂直莖節數 (N_{SN}) 及垂直莖乾重 ($d.m._{SN}$)。由於長帶形海草葉片基部的生長點在長出新葉片時，在垂直莖上會產生新的節，因此計算垂直莖上的節數可以回推垂直莖生長時間。每一節的生長時間即為葉間期 (PI_L)，葉間期須利用地上部戳針法 (如5.2.3.1)，標記點需盡可能接近葉基部，待7-10天回收標記之海草樣本後，計算平均每株成功標記的海草植株裡有多少沒有戳針針孔的新生葉片數 (N_{NL})，將戳針標記後放置的時間 (t_L) 除以每株海草的新生葉片數 (N_{NL})，即可得到葉間期 (PI_L)。將每株海草垂直莖截下計算節數後烘乾至恆重。將垂直莖乾重 ($d.m._{SN}$) 除以垂直莖節數 (N_{SN}) 和葉間期 (PI_L)，即為每株海草單位時間垂直莖生長量 (G_S) (Short and Coles 2001)。

$$\Delta B_{B-season} = G_R \times D_R + G_S \times D_S \quad \text{-----} \quad (20)$$

$$G_R = \frac{d.m._R}{N_R \times t_R} \quad \text{-----} \quad (21)$$

$$G_S = \frac{d.m._{SN}}{N_{SN} \times PI_L} \quad \text{-----} \quad (22)$$

$$PI_L = \frac{t_L}{N_{NL}} \quad \text{-----} \quad (23)$$

- $\Delta B_{B-season}$ —各季海草地下部每日生長量 (乾重)，單位為 g d.m./m²·day；
- G_R —由海草水平莖芽點每日新生成之水平莖生長量 (乾重)，單位為 g d.m./shoot day；
- D_R —單位面積海草水平莖數量，單位為 shoots/m²；
- G_S —每株海草每日垂直莖生長量 (乾重)，單位為 g d.m./shoot day；
- D_S —單位面積海草株數，單位為 shoots/m²；
- $d.m._R$ —新增的海草水平莖生物量 (乾重)，單位為 g；
- N_R —樣框內標記水平莖芽點數 (shoots)；
- t_R —綁線標記後放置時間 (days)；
- $d.m._{SN}$ —海草垂直莖生物量 (乾重)，單位為 g；
- N_{SN} —垂直莖節數；
- PI_L —葉間期 (days)；
- t_L —戳針標記後放置時間 (days)；
- N_{NL} —新生葉片數。

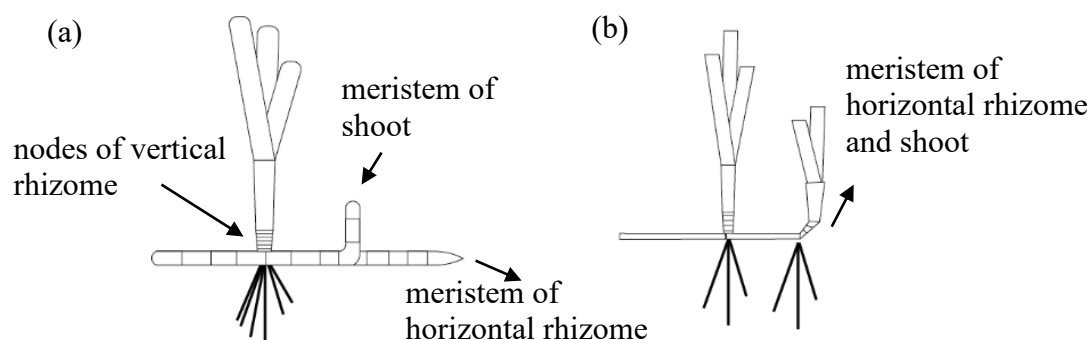


圖5、海草床地下部構造及型態(a)雙生長點(b)單一生長點

nodes of vertical rhizome：垂直莖節點；meristem of shoot：植株生長點；meristem of horizontal rhizome：水平莖生長點；meristem of horizontal rhizome and shoot：垂直莖及植株共同生長點。

表8、各類海草生長量測量之標記方法

海草種類	部位	葉片形狀/生長型態	生活史	樣框面積 cm ²	放置天數	生長量標記方法
泰來草	地上部	長帶形	個體大/ 周轉慢	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 獨立水平莖芽點		400	45-50	綁線法計算水平莖，並用葉間期計算垂直莖
單脈二藥草	地上部	長帶形	個體中/ 周轉快	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 水平莖芽點具海草植株		400	15-20	綁線法計算水平莖，並用葉間期計算垂直莖
甘草	地上部	長帶形	個體中/ 周轉快	100	6-8	戳針法
	地下部	具垂直莖/ 水平莖芽點具海草植株		400	15-20	綁線法計算水平莖，並用葉間期計算垂直莖
貝克氏鹽草	地上部	卵圓形、具葉柄/蓮座生長	個體小/ 周轉快	100	6-8	綁線法，並製造缺角標記老葉，以及棉線基準點後 2-3 株海草新分支之植株
	地下部	獨立水平莖芽點		100	6-8	綁線法，並計算棉線基準點後 2-3 株海草新分枝之水平莖
卵葉鹽草	地上部	卵圓形、具葉柄	個體小/ 周轉快	100	6-8	綁線法，並以葉面積及葉柄長度之生物量迴歸公式計算葉片生物量變化
	地下部	獨立水平		100	6-8	綁線法

		莖芽點				
--	--	-----	--	--	--	--

5.3. 植物體有機碳含量百分比

將野外採集的海草植物體各組織，包含地上部葉子、葉柄及地下部垂直莖、水平莖和根，帶回實驗室清洗烘乾，加以磨碎並用0.5 mm 之篩網過篩，並進行碳元素分析。將屬於地上部及地下部植物組織碳含量百分比各別平均，即為海草床植物體地上部及地下部有機碳含量百分比數值 (Howard et al. 2014)。

5.4. 死有機質及碳含量百分比

海草床的死有機質由枯落葉片、死水平莖和果實等組成，且容易被水流帶離海草床，因此各類海草床中地表死有機碳庫僅占一小部分或可以忽略。測定方式為隨機樣框 (1000-2500 cm²) 採樣，將框內所有枯落葉片等死有機質帶回實驗室清洗及烘乾至恆重，即為單位面積死有機質乾重。將烘乾的死有機質樣本，使用5.3. 植物體有機碳分析方式，磨碎並用0.5 mm 之篩網過篩，並進行碳元素分析，即可得到死有機質碳含量百分比。將單位面積死有機質乾重乘上死有機質碳含量百分比，即可得到單位面積海草床死有機質碳儲量 (Howard et al. 2014)。

5.5. 沉積物碳儲量年變化量

海草床沉積物碳儲量變化量計算方式分為沉積物碳庫差分法及增減法。

沉積物碳庫差分法適用沙質底海草床，計算參數詳見5.5.1.-5.5.3.及5.5.6.小節。底土深度較淺可使用5.5.1.方法測量地表高程變化之海草床，沉積物碳儲量變化量計算如公式 (8)、(9)；底土深度太淺，無法量測地表高程變化之海草床，沉積物碳儲量變化之測量方式需將表層30 cm 沉積物分層，計算各層沉積物碳儲量 (g C/ cm²)，加總各層沉積物在不同年份的碳儲量變化量，即可得到海草床沉積物碳儲量變化量 (g C/cm²·yr)。沉積物分層至少為深度0-10 cm、10-20 cm 及20-30 cm，共三層。若人力等實驗資源允許，可增加分層數量 (如深度0-5 cm、5-10 cm、10-15 cm、15-20 cm、20-25 cm 及25-30 cm)，以提高估算精度。或利用5.5.6.小節的經驗公式方法，測量不同年份的沉積物碳儲量後相減，也能得到海草床沉積物碳儲量年變化量 (g C/cm²·yr)。

增減法適用泥質底海草床，計算參數詳見5.5.4.小節，沉積物碳儲量變化量計算如公式 (10)、(11)。惟增減法所量化的沉積物碳儲量變化量，僅包含海草床自源性的沉積物碳埋藏貢獻。

5.5.1. 海草床地表高程年變化量

量測海草床地表高程變化 (SEC)，可使用30-60 cm 之營釘由沉積物表層垂直向下戳至底岩，藉由營釘總長度減掉露出土表之長度，即為底土深度。不同時間的底土深度相減，即可得到海草床地表高程變化率 (cm/yr)。

5.5.2. 沉積物總體密度

野外採集依照土柱二次取樣法 (Howard et al. 2014)，使用不鏽鋼底土採集管 (圖6a) 採集30 cm 深的沉積物樣本，再用小型採集器 (圖6b) 取樣0-10、10-20和10-30 cm 各層之沉積物。將樣本冷藏於4°C，帶回實驗室烘乾至恆重。將每個小採集器的沉積物樣本乾重除以採集體積即為沉積物總體密度。可測量沉積物地表高程變化的海草床，僅需計算表層0-5 cm 深的沉積物總體密度，可用小型採集器直接從沉積物表層採集。

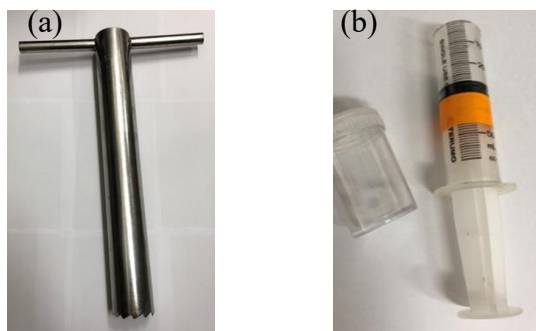


圖6、表層沉積物採集器

(a)不鏽鋼底土採集管(b)小型採集器

5.5.3. 沉積物有機碳含量百分比及沉積物碳儲量

同5.5.2.採集方法，實驗室分析階段，將採集所得之沉積物樣本冷凍乾燥、均質後以0.5 mm 篩網過篩。用酸洗去除無機碳，再以二次水清洗避免後續元素分析因酸液殘留而產生誤差。最後將去除酸液的沉積物樣本冷凍乾燥，進行碳元素分析，即可得到各層沉積物有機碳含量百分比 (Howard et al. 2014)。

5.5.4. 分解剩餘量及自源性沉積物碳埋藏貢獻

海草床分解實驗參考 Mateo and Romero (1996)，用5.2.1方法收集海草地上部及地下部組織，將清洗後的地上部及地下部擦乾，各別取5-20 g 放入網目0.1 mm 的分解袋 (15 cm × 10 cm)，最後將分解袋放回海草床待不同時間點回收並測量其分解剩餘量。若人力資源允許，放入分解袋中的新鮮樣本應盡量達20 g，以確保能測得海草組織分解剩餘的重量。地上部分解袋放置於海草床地表，地下部分解袋需埋至5-10 cm。分解袋在300天內需回收5-7次，如放置14、30、60、120、240天之後收回，每次回收後須清洗樣本並烘乾至恆重。最後依照 Olson (1963) 的指數迴歸模型計算，即可得到分解剩餘百分比 (Zou et al. 2021)。一般海草碎屑於240到365天之間，剩餘量已分解趨緩而變動不大，因此可作為碎屑分解後貢獻的沉積物碳埋藏量。

海草床自源性的沉積物碳埋藏貢獻計算如公式 (10)、(11)，其中的參數海草地上部碎屑 (DA) 由海草地上部生長量乾重 (ΔB_A) 減掉海草床碎屑輸出量 (DA_{out})，單位為 t d.m./ha·yr，詳見5.5.5.小節)，再乘以地上部有機碳含量百分比 (CF_{AB})；海草地下部有機碎屑 (DB)，可直接以海草地下部生長量乾重 (ΔB_B) 數值乘以地下部有機碳含量百分比 (CF_{BB}) 估算，單位為 t C/ha·yr。由於僅有海草地上部容易隨水流輸出，因此需要考慮側向運輸後剩餘的有機碎屑，才會留在海草床中的分解。地下部從新生、枯死到分解都在沉積物裡，且不易區分剛死亡的地下部，所以可以直接用地下部每年新增的生物量作為地下部碎屑的年增加量。

5.5.5. 海草床碎屑年輸出量

隨機選定採樣區後，清除卡在底土和海草植被上的有機碎屑及落葉，罩上 30 cm × 30 cm × 45 cm 之網袋 (圖7)，以收取新凋落而被海浪或海流帶離的海草地上部落葉碎屑，但不撿拾留在沉積物表面的有機碎屑。每次碎屑收集網放置時間為兩天，取回網內碎屑以60°C烘乾至恆重除以放置時間，即可得到每日海草床碎屑輸出量 g d.m./m²·d (Huang et al. 2015)。四季量測每日海草床碎屑輸出量平均後轉換時間及面積單位，即可得到海草床有機碎屑單位面積年輸出量 (DA_{out})，單位為 t d.m./ha·yr。



圖7、海草床碎屑攔截網

5.5.6. 海草地下部生物量及沉積物碳儲量經驗公式

海草床地下部生物量為重要的沉積物有機碳來源，透過建立參數間轉換的迴歸式，可藉由5.2.1.實際採集的地下部生物量或由5.2.2.所估計的地下部生物量，估算海草床沉積物碳儲量 (Stankovic et al. 2021; Stankovic et al. 2018)。目前臺灣尚待建立地下部生物量與沉積物碳儲量的關係式，建立方法須在同一樣框內採集地下部生物量 (詳見5.2.1.) 及沉積物碳儲量 (詳見5.5.3.) 樣本，採集足夠重複數後即可畫出地下部生物量與沉積物碳儲量的迴歸式 (Stankovic et al. 2021; Stankovic et al. 2018)。

5.6. 非二氧化碳溫室氣體年排放量

使用密閉罩蓋法，將密閉罩蓋在棲地沉積物、水體或植物體上，再連接至溫室氣體分析儀，計算罩蓋內溫室氣體濃度隨時間的變化量 (Lin et al. 2020)。隨後考量罩蓋體積、測量溫度和罩蓋覆蓋在棲地沉積物、水體或植物體上的面積，以各溫室氣體溫暖化潛勢的二氧化碳當量進行換算，即可得到單位面積單位時間棲地沉積物、水體或植物體的溫室氣體排放量 ($t\ CO_2e/ha\ yr$)。常用罩蓋 (圖8) 及儀器之相關參數，詳見附件8.1-8.3。海草床沉積物溫室氣體測量需考慮棲地積水，如封閉水域之海草床在積水情況可用浮體罩蓋測量溫室氣體。

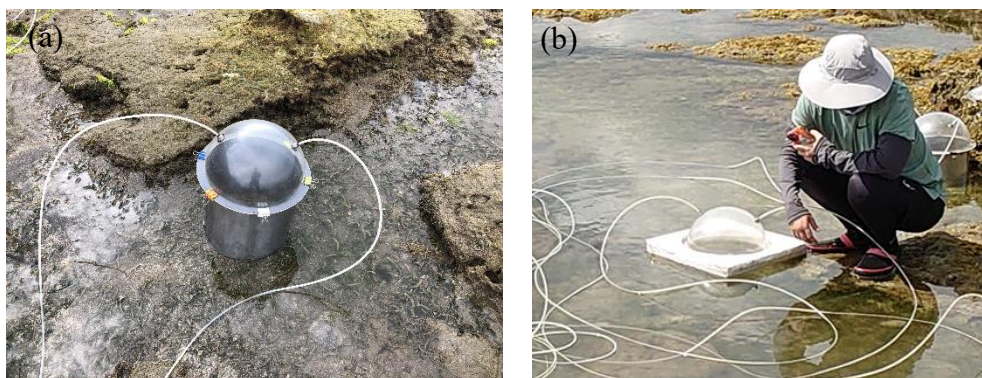


圖8、海草床溫室氣體量測常用之各類型罩蓋
(a)沉積物圓形罩蓋(b)水體浮體罩蓋

6. 品質保證與管控

6.1. 完整性

完整的海草床溫室氣體清單包括前述海草床的排放估計值。應注意不要列入已經算入其它農業、林業和其他土地利用領域 (AFOLU) 各章或重複計算各碳庫的溫室氣體排放量。

特別是部分濕地可能接收含有高營養含量的非點排放源的污水和沉澱物，

這些濕地釋放的有機或無機氮以及有機碳，可能已包括在林地或農田，或廢棄物部門的估算方法中。如果能證實這些濕地碳或氮的非點源排放，較佳作法是在合適的清單部門和類別中報告相關的溫室氣體排放。

6.2. 不確定性

層級1之估計值不確定性可參考2006 IPCC NIR 指南和內政部營建署濕地碳匯標準作業(林幸助與陳渭中 2019)；層級2、3之估計值不確性可參考2006 IPCC NIR 指南和2022中華民國國家溫室氣體排放清冊報告第六章其中的林業部門計算方式。海草床面積變化因結合航照圖，無法用統計方法估算不確定性，且屬於國家統計資料，因此依照2006 IPCC NIR 指南將不確定性設定為5%。國家特定海草床碳儲存增加量之不確定性採用誤差傳播法，藉由各係數文獻數值、標準差與標準誤計算不確定性，如公式(24)、公式(26)、公式(26)、公式(27)；不同係數採用加法計算時，不確定性總和需使用加法規則，如公式(28)；不同係數採用乘法計算時，不確定性總和需使用乘法規則，如公式(29)。

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{-----} \quad (24)$$

- SD —標準差；
- x_i —第 i 筆係數數值；
- \bar{x} —文獻收集之係數平均值；
- n —數據筆數。

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad \text{-----} \quad (25)$$

- SE —標準誤；
- SD —標準差；
- n —數據筆數。

$$U = \frac{SD \times 1.96}{\bar{x}} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (26)$$

- U —文獻數量或計算數據小於 30 筆之不確定性；
- SD —標準差；
- \bar{x} —文獻收集之係數平均值。

$$U = \frac{SE \times 1.96}{\bar{x}} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (27)$$

- U —文獻數量或計算數據為 30 筆以上之不確定性；
- SE —標準誤；
- \bar{x} —文獻收集之係數平均值。

$$U_{total} = \sqrt{\frac{(U_1 \times E_1)^2 + (U_2 \times E_2)^2 + \cdots + (U_n \times E_n)^2}{E_1 + E_2 + \cdots + E_n}} \quad \text{-----} \quad (28)$$

- U_{total} —不確定性之總和(加法規則)；
- U_1, U_2, U_n —不同變量的不確定性；
- E_1, E_2, E_n —不同變量。

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \text{ -----} \quad (29)$$

- U_{total} —不確定性之總和(乘法規則)；
- U_1, U_2, U_n —不同變量的不確定性。

6.3. 時間序列一致性

明確定義海草床之活動數據，並持續使用是一種較佳的作法。時間序列的一致性中要求在整個時間序列中需使用相同的方法。每當使用新的方法時，時間序列中的所有數值應該使用新方法重新計算，並報告為何新的方法被認為更準確或更不精確。重新計算以前數據時的一個潛在問題是某些過去的數據可能無法使用。克服這一限制之相關詳細方法，請參考2006 IPCC NIR 指南第一卷第五章及濕地，在兩次海草床資源調查期間，可使用內差法推得各年度海草種類分布面積之數據。

6.4. 品質保證/品質控制

品質保證/品質控制 (QA/QC) 是對於國家溫室氣體排放的定期審查，以促進國家溫室氣體清冊的透明度、一致性、可比較性、完整性及準確性。關於品質保證/品質控制 (QA/QC) 規定的制定和實施在2013 IPCC NIR 濕地補充指南，國內特定排放係數須建立固定海草床樣區定期量測，以確保其準確性。

7. 本方法學碳匯項目及建議量測方法

本方法學針對估算層級2-3的海草床排放係數，整理各項目量測及計算方法，如表9。

表9、臺灣海草床排放係數估算層級2-3計算方法彙整表

海草床 排放係數項目		是否需要計算	估算層級2-3計算方法
植物體 碳庫	地上部	澳洲國家溫室氣體 清冊沒列入計算	碳庫差分法- 1.帶狀型葉片：戳針法 2.非帶狀型葉片：綁線法
	地下部	重要碳匯項目	碳庫差分法- 1.水平莖：綁線法 2.垂直莖：葉間期計算
死有機質碳庫		一般不計算，僅在 沉積物表面死有機 質層明顯時計算	碳庫差分法
沉積物 碳庫	沙質 沉積物	重要碳匯項目	碳庫差分法- 1.用營釘量測地表高程變化 2.無法計算高程變化時，需計算 表層各層沉積物碳庫變化
	泥質 沉積物	重要碳匯項目	增減法- 計算植物體分解後，對沉積物 碳庫的貢獻

非二氧化碳 溫室氣體排放	甲烷	一般不計算，僅在 低潮水體鹽度<18 psu 時計算	通量法- 密閉罩蓋法
	氧化 亞氮	一般不計算，僅在 低潮水質中度優養 化時計算	

7. 參考文獻

- 行政院環保署(2022)。2022中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，頁6-1 – 6-15。
- 林幸助、陳渭中(2019)。106-107年度重要濕地碳匯調查計畫案成果報告書-附錄：濕地碳匯功能調查標準作業程序。內政部營建署城鄉發展分署。
- 林幸助、邵廣昭 (2020)。我國海洋生態調查監測網與監測規範建立之整體規劃，國家海洋研究院。
- 林幸助(2022)。臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署。
- Agostini, S., Pergent, G. & Marchand, B. (2003) Growth and primary production of *Cymodocea nodosa* in a coastal lagoon. *Aquatic Botany* 76(3): 185-193.
- Aioi, K. (1980) Seasonal change in the standing crop of eelgrass *Zostera marina* in Odawa Bay, Central Japan. *Aquatic Botany* 8(4): 343-354.
- Aioi, K., Mukai, H., Koike, I., Ohtsu, M. & Hattori, A. (1981) Growth and organic production of eelgrass *Zostera-marina* in temperate waters of the Pacific coast of Japan. 2. Growth Analysis in Winter. *Aquatic Botany* 10(2): 175-182.
- Aioi, K. & Pollard, P. C. (1993) Biomass, Leaf growth and loss rate of the seagrass *Syringodium isotifolium* on Dravuni Island, Fiji. *Aquatic Botany* 46(3-4): 283-292.
- Asmus, R. M., Sprung, M. & Asmus, H. (2000) Nutrient fluxes in intertidal communities of a South European lagoon (Ria Formosa) - similarities and differences with a northern Wadden Sea bay (Sylt-Romo Bay). *Hydrobiologia* 436(1-3): 217-235.
- Bandeira, S. O. (2002) Leaf production rates of *Thalassodendron ciliatum* from rocky and sandy habitats. *Aquatic Botany* 72(1): 13-24.
- Boon, P. I. (1986) Nitrogen pools in seagrass beds of *Cymodocea serrulata* and *Zostera capricorni* of Moreton Bay, Australia. *Aquatic Botany* 25(1): 1-19.
- Brouns, J. (1985) A comparison of the annual production and biomass in three monospecific stands of the seagrass *Thalassia hemprichii* (Ehrenb) Aschers. *Aquatic Botany* 23(2): 149-175.
- Brouns, J. (1987) Aspects of production and biomass of four seagrass species *Cymodoceoideae* from Papua New Guinea. *Aquatic Botany* 27(4): 333-362.
- Brun, F. G., van Zetten, E., Cacabelos, E. & Bouma, T. J. (2009) Role of two contrasting ecosystem engineers *Zostera noltii* and *Cymodocea nodosa* on the food intake rate of *Cerastoderma edule*. *Helgoland Marine Research* 63(1): 19-25.
- Cebrian, J., Pedersen, M. F., Kroeger, K. D. & Valiela, I. (2000) Fate of production of the seagrass *Cymodocea nodosa* in different stages of meadow formation. *Marine Ecology Progress Series* 204: 119-130.
- Change, C. (2007). IPCC fourth assessment report. The physical science basis, 2, 580-595.
- Chen, K. Y., & Lin, H. J. (2022). High-Resolution Mapping of Seagrass Biomass Dynamics Suggests Differential Response of Seagrasses to Fluctuating Environments. *Diversity*, 14(11), 999
- Coles, R. G., Long, W. J. L., Watson, R. A. & Derbyshire, K. J. (1993) Distribution of Seagrasses, and Their Fish and Penaeid Prawn Communities, in Cairns Harbour, a Tropical Estuary, Northern Queensland, Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 44(1): 193-210.
- Collier, C. J., Lavery, P. S., Ralph, P. J. & Masini, R. J. (2009) Shade-induced response and recovery of the seagrass *Posidonia sinuosa*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 370(1-2): 89-103.
- de Boer, W. F. (2000) Biomass dynamics of seagrasses and the role of mangrove and seagrass vegetation as different nutrient sources for an intertidal ecosystem.

- Aquatic Botany 66(3): 225-239.
- Daby, D. (2003) Effects of seagrass bed removal for tourism purposes in a Mauritian bay. *Environmental Pollution* 125(3): 313-324.
- Devereux, R., Yates, D. F., Aukamp, J., Quarles, R. L., Jordan, S. J., Stanley, R. S. & Eldridge, P. M. (2011) Interactions of *Thalassia testudinum* and sediment biogeochemistry in Santa Rosa Sound, NW Florida. *Marine Biology Research* 7(4): 317-331.
- Dos Santos, V. M., Matheson, F. E., Pilditch, C. A. & Elger, A. (2012) Is black swan grazing a threat to seagrass? Indications from an observational study in New Zealand. *Aquatic Botany* 100: 41-50.
- Dixon, L. K. & Leverone, J. R. (1995) Light requirements of *Thalassia testudinum* in Tampa Bay, Florida: final report.
- Dunton, K. H. (1996) Photosynthetic production and biomass of the subtropical seagrass *Halodule wrightii* along an estuarine gradient. *Estuaries* 19(2B): 436-447.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marba, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J. & Serrano, O. (2012) Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience* 5(7): 505-509.
- Hackney, J. W. (2003) Morphometric variability and allometric relationships in the seagrass *Thalassia testudinum* in Florida Bay. In: University of North Carolina.
- Halun, Z., Terrados, J., Borum, J., Kamp-Nielsen, L., Duarte, C. M. & Fortes, M. D. (2002) Experimental evaluation of the effects of siltation-derived changes in sediment conditions on the Philippine seagrass *Cymodocea rotundata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 279(1-2): 73-87.
- Hebert, A. B., Morse, J. W. & Eldridge, P. M. (2007) Small-scale heterogeneity in the geochemistry of seagrass vegetated and non-vegetated estuarine sediments: causes and consequences. *Aquatic Geochemistry* 13(1): 19-39.
- Herbert, D. A. & Fourqurean, J. W. (2008) Ecosystem structure and function still altered two decades after shortterm fertilization of a seagrass meadow. *Ecosystems* 11(5): 688-700.
- Herbert, D. A. & Fourqurean, J. W. (2009) Phosphorus Availability and Salinity Control Productivity and Demography of the Seagrass *Thalassia testudinum* in Florida Bay. *Estuaries and Coasts* 32(1): 188-201.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
- Holmer, M., Andersen, F. O., Nielsen, S. L. & Boschker, H. T. S. (2001) The importance of mineralization based on sulfate reduction for nutrient regeneration in tropical seagrass sediments. *Aquatic Botany* 71(1): 1-17.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (eds.) (2014) Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.
- Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S. & Khanal, S. K. (2012) Nitrous Oxide (N₂O) Emission from Aquaculture: A Review. *Environmental Science & Technology* 46(12): 6470-6480.
- Huang, Y. H., Lee, C. L., Chung, C. Y., Hsiao, S. C., & Lin, H. J. (2015). Carbon budgets of multispecies seagrass beds at Dongsha Island in the South China Sea. *Marine Environmental Research*, 106, 92-102.
- Ismail, N. (1993) Preliminary study of the seagrass flora of Sabah, Malaysia. *Pertanika*

- Journal of Tropical Agricultural Science 16(2): 111-118.
- Jensen, S. & Bell, S. (2001) Seagrass growth and patch dynamics: cross-scale morphological plasticity. *Plant Ecology* 155(2): 201-217.
- Kim, S. H., Kim, Y. K., Park, S. R., Li, W. T. & Lee, K. S. (2012) Growth dynamics of the seagrass *Halophila nipponica*, recently discovered in temperate coastal waters of the Korean peninsula. *Marine Biology* 159(2): 255-267
- Kirkman, H. & Reid, D. D. (1979) A study of the role of the seagrass *Posidonia australis* in the carbon budget of an estuary. *Aquatic Botany* 7(2): 173-183.
- Kowalski, J. L., DeYoe, H. R. & Allison, T. C. (2009) Seasonal Production and Biomass of the Seagrass, *Halodule wrightii* Aschers. (Shoal Grass), in a Subtropical Texas Lagoon. *Estuaries and Coasts* 32(3): 467-482.
- Larkum, A. W. D., Collett, L. C. & Williams, R. J. (1984) The standing stock, growth and shoot production of *Zostera capricorni* aschers. in Botany Bay, New South Wales, Australia. *Aquatic Botany* 19(3-4): 307-327.
- Larned, S. T. (2003) Effects of the invasive, nonindigenous seagrass *Zostera japonica* on nutrient fluxes between the water column and benthos in a NE Pacific estuary. *Marine Ecology Progress Series* 254: 69-80.
- Lebreton, B., Richard, P., Radenac, G., Bordes, M., Breret, M., Arnaud, C., Mornet, F. & Blanchard, G. F. (2009) Are epiphytes a significant component of intertidal *Zostera noltii* beds? *Aquatic Botany* 91(2): 82-90.
- Lee, K. S., Park, S. R. & Kim, J. B. (2005) Production dynamics of the eelgrass, *Zostera marina* in two bay systems on the south coast of the Korean peninsula. *Marine Biology* 147(5): 1091-1108.
- Lee, S. Y. (1997) Annual cycle of biomass of a threatened population of the intertidal seagrass *Zostera japonica* in Hong Kong. *Marine Biology* 129(1): 183-193.
- Lee, S. Y., Oh, J. H., Choi, C. I., Suh, Y. & Mukai, H. (2005) Leaf growth and population dynamics of intertidal *Zostera japonica* on the western coast of Korea. *Aquatic Botany* 83(4): 263-280
- Lillebo, A. I., Flindt, M. R., Pardal, M. A. & Marques, J. C. (2006) The effect of *Zostera noltii*, *Spartina maritima* and *Scirpus maritimus* on sediment pore-water profiles in a temperate intertidal estuary. *Hydrobiologia* 555: 175-183.
- Lindeboom, H. J. & Sandee, A. J. J. (1989) Production and consumption of tropical seagrass fields in Eastern
- Lipkin, Y. (1979) Quantitative aspects of seagrass communities, particularly of those dominated by *Halophila stipulacea*, in Sinai (Northern Red Sea). *Aquatic Botany* 7(2): 119-128.
- Longstaff, B. J. & Dennison, W. C. (1999) Seagrass survival during pulsed turbidity events: the effects of light deprivation on the seagrasses *Halodule pinifolia* and *Halophila ovalis*. *Aquatic Botany* 65(1-4): 105-121.
- Indonesia measured with bell jars and microelectrodes. *Netherlands Journal of Sea Research* 23(2): 181-190.
- Marba, N. & Duarte, C. M. (2001) Growth and sediment space occupation by seagrass *Cymodocea nodosa* roots. *Marine Ecology Progress Series* 224: 291-298.
- Mateo, M. A. & Romero, J. (1997) Detritus dynamics in the seagrass *Posidonia oceanica*: Elements for an ecosystem carbon and nutrient budget. *Marine Ecology Progress Series* 151(1-3): 43-53.
- Mateo, M. A., & Romero, J. (1996). Evaluating seagrass leaf litter decomposition: an experimental comparison between litter-bag and oxygen-uptake methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 202(2), 97-106.
- McGlathery, K. J., Reynolds, L. K., Cole, L. W., Orth, R. J., Marion, S. R. & Schwarzschild, A. (2012) Recovery trajectories during state change from bare sediment to eelgrass dominance. *Marine Ecology Progress Series* 448: 209-221.
- McKenzie, L. (1994) Seasonal changes in biomass and shoot characteristics of a

- Zostera capricorni* Aschers. Dominant meadow in Cairns Harbour, northern Queensland. Marine and Freshwater Research 45(7): 1337-1352.
- McMahan, C. A. (1968) Biomass and salinity tolerance of shoalgrass and manateeegrass in Lower Laguna Madre, Texas. The Journal of Wildlife Management 32(3): 501-506
- McRoy, C. P. (1974) Seagrass productivity: Carbon uptake experiments in eelgrass, *Zostera marina*. Aquaculture 4: 131-137.
- Meling-Lopez, A. E. & Ibarro-Obando, S. E. (1999) Annual life cycles of two *Zostera marina* L-populations in the Gulf of California: contrasts in seasonality and reproductive effort. Aquatic Botany 65: 59-69.
- Mellors, J., Marsh, H., Carruthers, T. J. & Waycott, M. (2002) Testing the sediment-trapping paradigm of seagrass: Do seagrasses influence nutrient status and sediment structure in tropical intertidal environments? Bulletin of Marine Science 71(3): 1215-1226.
- Moriarty, D. J., Roberts, D. G. & Pollard, P. C. (1990) Primary and bacterial productivity of tropical seagrass communities in the Gulf of Carpentaria, Australia. Marine Ecology Progress Series 61: 145-157.
- Mukai, H., Aioi, K., Koike, I., Iizumi, H., Ohtsu, M. & Hattori, A. (1979) Growth and organic production of eelgrass *Zostera marina* L. in temperate waters of the Pacific coast of Japan. I. Growth analysis in spring–summer. Aquatic Botany 7: 47-56.
- Mumby, P. J., Edwards, A. J., Green, E. P., Anderson, C. W., Ellis, A. C., & Clark, C. D. (1997). A visual assessment technique for estimating seagrass standing crop. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 7(3), 239-251.
- Nienhuis, P., Coosen, J. & Kiswara, W. (1989) Community structure and biomass distribution of seagrasses and macrofauna in the Flores Sea, Indonesia. Netherlands Journal of Sea Research 23(2): 197-214.
- Ogden, J. C. & Ogden, N. B. (1982) A preliminary study of two representative seagrass communities in Palau, Western Caroline Islands (Micronesia). Aquatic Botany 12: 229-244.
- Olesen, B. & Sand-Jensen, K. (1994) Biomass-density patterns in the temperate seagrass *Zostera marina*. Marine Ecology-Progress Series 109: 283-283.
- Olson, J. S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology, 44(2), 322-331.
- Paling, E. I. & McComb, A. J. (2000) Autumn biomass, below-ground productivity, rhizome growth at bed edge and nitrogen content in seagrasses from Western Australia. Aquatic Botany 67(3): 207-219.
- Park, S. R., Kim, Y. K., Kim, J.-H., Kang, C.-K. & Lee, K.-S. (2011) Rapid recovery of the intertidal seagrass *Zostera japonica* following intense Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) harvesting activity in Korea. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 407(2): 275-283.
- Paynter, C. K., Cortés, J. & Engels, M. (2001) Biomass, productivity and density of the seagrass *Thalassia testudinum* at three sites in Cahuita National Park, Costa Rica. Rev. Biol. Trop 49(Suppl 2): 265-272.
- Poovachiranon, S. & Chansang, H. (1994) Community structure and biomass of seagrass beds in the Andaman Sea. I. Mangrove-associated seagrass beds. Phuket Marine Biological Center Research Bulletin 59: 53-64.
- Povidisa, K., Delefosse, M. & Holmer, M. (2009) The formation of iron plaques on roots and rhizomes of the seagrass *Cymodocea serrulata* (R. Brown) Ascherson with implications for sulphide intrusion. Aquatic Botany 90(4): 303-308.
- Powell, G. V., Kenworthy, J. W. & Fourqurean, J. W. (1989) Experimental evidence for nutrient limitation of seagrass growth in a tropical estuary with restricted circulation. Bulletin of Marine Science 44(1): 324-340.
- Preen, A. (1995) Impacts of dugong foraging on seagrass habitats: observational and

- experimental evidence for cultivation grazing. Marine ecology progress series. Oldendorf 124(1): 201-213.
- Rasheed, M. A. (1999) Recovery of experimentally created gaps within a tropical *Zostera capricorni*(Aschers.) seagrass meadow, Queensland Australia. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 235(2): 183-200.
- Rismondo, A., Curiel, D., Marzocchi, M. & Scattolin, M. (1997) Seasonal pattern of *Cymodocea nodosa* biomass and production in the lagoon of Venice. Aquatic Botany 58(1): 55-64
- Sand-Jensen, K. & Borum, J. (1983) Regulation of growth of eelgrass(*Zostera marina* L.) in Danish coastal waters. Marine Technology Society Journal 17(2): 15-21.
- Schwarz, A.-M., Morrison, M., Hawes, I. & Halliday, J. (2006) Physical and biological characteristics of a rare marine habitat: sub-tidal seagrass beds of offshore islands. Department of Conservation.
- Short, F. T., & Coles, R. G. (Eds.). (2001). Global seagrass research methods. Elsevier.
- Stankovic, M., Ambo-Rappe, R., Carly, F., Dangan-Galon, F., Fortes, M. D., Hossain, M. S., Kiswara, W., Luong, C. V., Minh-Thu, P., Mishra, A. K., Noiraksar, T., Nurdin, N., Panyawai, J., Rattanachot, E., Rozaimi, M., Htun, U. S., & Prathep, A. (2021). Quantification of blue carbon in seagrass ecosystems of Southeast Asia and their potential for climate change mitigation. Science of the Total Environment, 783, 146858.
- Stankovic, M., Tantipisanuh, N., Rattanachot, E., & Prathep, A. (2018). Model-based approach for estimating biomass and organic carbon in tropical seagrass ecosystems. Marine Ecology Progress Series, 596, 61-70.
- Townsend, E. C. & Fonseca, M. S. (1998) Bioturbation as a potential mechanism influencing spatial heterogeneity of North Carolina seagrass beds. Marine Ecology Progress Series 169: 123-132.
- Udy, J. W. & Dennison, W. C. (1997) Growth and physiological responses of three seagrass species to evaluated sediment nutrients in Moreton Bay, Australia. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 217: 253-277.
- Van Houte-Howes, K., Turner, S. & Pilditch, C. (2004) Spatial differences in macroinvertebrate communities in intertidal seagrass habitats and unvegetated sediment in three New Zealand estuaries. Estuaries 27(6): 945-957.
- Van Lent, F., Nienhuis, P. & Verschuure, J. (1991) Production and biomass of the seagrasses *Zostera noltii* Hornem. and *Cymodocea nodosa*(Ucria) Aschers. at the Banc d'Arguin (Mauritania, NW Africa): a preliminary approach. Aquatic Botany 41(4): 353-367.
- Van Tussenbroek, B. I. (1998) Above-and below-ground biomass and production by *Thalassia testudinum* in a tropical reef lagoon. Aquatic Botany 61(1): 69-82.
- Vermaat, J., Agawin, N., Duarte, C., Fortes, M., Marba, N. & Uri, J. (1995) Meadow maintenance, growth and productivity of a mixed Philippine seagrass bed. Marine ecology progress series. Oldendorf 124(1): 215-225.
- Vermaat, J., Beijer, J., Gijlstra, R., Hootsmans, M., Philippart, C., Van den Brink, N. & Van Vierssen, W. (1993) Leaf dynamics and standing stocks of intertidal *Zostera noltii* Hornem. and *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson on the Banc d'Arguin (Mauritania). Hydrobiologia 258(1): 59-72.
- Walker, D. (1985) Correlations between salinity and growth of the seagrass *Amphibolis antarctica*(labill.) Sonder & Aschers., In Shark Bay, Western Australia, using a new method for measuring production rate. Aquatic Botany 23(1): 13-26.
- West, R. & Larkum, A. (1979) Leaf productivity of the seagrass, *Posidonia australis*, in eastern Australian waters. Aquatic Botany 7: 57-65.
- Williams, S. L. (1987) Competition between the seagrasses *Thalassia testudinum* and *Syringodium filiforme* in a Caribbean lagoon. Marine Ecology Progress Series 35: 91-98.

- Yarbro, L. A. & Carlson Jr, P. R. (2008) Community oxygen and nutrient fluxes in seagrass beds of Florida Bay, USA. *Estuaries and Coasts* 31(5): 877-897.
- Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., Wangqiang, Z., & Wei, L. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Zou, Y. F., Chen, K. Y., & Lin, H. J. (2021). Significance of belowground production to the long-term carbon sequestration of intertidal seagrass beds. *Science of The Total Environment*, 800, 149579.

8. 附件

8.1. 溫室氣體分析儀列表

儀器型號 (公司名稱)	測量氣體 (濃度單位)	數據記錄時間	測量範圍/誤差
LI-820 (LICOR)	CO ₂ (ppm)	LI1400 資料收集器， 每 30 秒記錄一筆	0-20000 ppm/ 野外氣溫 30°C 時±22 ppm
GLA132 (ABB)	CH ₄ (ppm)	每 20 秒記錄一筆	0-100 ppm/ ±0.2-0.5 ppb
LI-7810(LICOR)	CO ₂ (ppm) CH ₄ (ppb)	每 1 秒記錄一筆	CO ₂ :0-10000 ppm/ 400 ppm 時±3.5 ppm CH ₄ :0-100 ppm/ 2000 ppb 時±1 ppb
LI-7820(LICOR)	N ₂ O	每 1 秒記錄一筆	N ₂ O:0-100 ppm/ 330 ppb 時±0.4 ppb

資料來源：「臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫」成果報告 (林幸助 2022)

8.2. 沉積物溫室氣體測量常用罩蓋列表

	V (罩蓋體積，L)	A (罩蓋底面積， m ²)	使用情境
圓框 圓罩蓋	6.4 L+沉積物及積水層以上 之金屬框深度 m*圓框罩蓋 底面積 m ²	0.07	積水不深
浮體罩 蓋	6.4 L+浮體罩蓋固定腔室深 度 0.02 m*圓框罩蓋底面積 m ²	0.07	積水

資料來源：「臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫」成果報告 (林幸助 2022)

8.3 溫室氣體排放量計算公式及各儀器單位轉換係數

公式： $F = (flux * V * t) * (R * T * A)^{-1} * unit^{-1}$			
溫室氣體分析儀	<i>flux</i>	t	unit
LI-820	ppm CO ₂ /30 sec	120	1000
GLA132	ppm CH ₄ /20 sec	180	1
LI-7810 (CO ₂)	ppm CO ₂ /sec	3600	1000
LI-7810 (CH ₄)	ppb CH ₄ /sec	3600	1000
LI-7820 (N ₂ O)	ppb N ₂ O/sec	3600	1000
<p>F：氣體通量(mmol CO₂/m²·h)及(μmol CH₄/N₂O/m²·h)</p> <p><i>flux</i>：迴歸線斜率，數值單位因儀器不同</p> <p>V：罩蓋體積(L)，數值因罩蓋不同，詳見 8.2.、8.3.</p> <p>t：時間轉換，數值單位因儀器不同</p> <p>R：理想氣體常數，0.082 (L atm/K·mol)</p> <p>T：絕對溫度(K)</p> <p>A：罩蓋底面積(m²)，數值因罩蓋不同，詳見 8.2.、8.3.</p> <p>unit：單位轉換係數，數值單位因儀器不同</p>			

資料來源：「臺灣沿海重要碳匯生態系統調查與評估計畫」成果報告(林幸助 2022)