

標案案號：OAC112025

「海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法
研析及評估」

成果報告

第二冊

委託機關：海洋委員會

執行單位：國立中興大學

計畫主持人：林幸助

聯絡電話：04-22840416 轉 511

日期：中華民國 112 年 11 月

第一冊目次

摘要	I
Abstract	III
第一冊目次	V
第一冊表次	VIII
第一冊圖次	X
第一章、前言	1
第一節 計畫緣起及目的	1
第二節 計畫架構及工作內容	3
一、蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學	5
二、國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析 ...	6
第二章、文獻及發展現況簡介	7
第一節 藍碳生態系簡介	7
一、臺灣藍碳生態系分布及組成	7
二、臺灣藍碳碳匯研究現況	8
三、臺灣藍碳溫室氣體研究回顧	10
第二節 自然碳匯在臺灣 2050 淨零排放策略之定位	11
第三章、工作執行構想與方法	13
第一節 蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學	13
第二節 國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學適用性評估分析	19
第三節 其他配合事項	24

第四章、預定進度與預期工作成果.....	25
第一節 各項工作預定進度	25
第二節 進度控制	26
一、 期初階段.....	26
二、 期中階段.....	26
三、 期末進度.....	26
四、 結案成果.....	27
第三節 預期成果	28
第四節 研究預期對相關施政之助益	28
第五章、工作執行成果.....	29
第一節 蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學	32
1.蒐集國家溫室氣體清冊指南(2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)海洋碳匯盤查方法，以及至少 3 個國家其海洋碳匯納入溫室氣體排放清冊之盤查作法	32
2.蒐整國際認可(如清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)及自願碳標準(Verified Carbon Standard, VCS))用於實施藍碳溫室氣體減量專案之減量方法學，內容至少包含適用條件與範疇、基線及專案減量計算方法、監測程序，並適用於 2 種以上藍碳(紅樹林、海草床、海藻或鹽沼)生態系	45
3.蒐集國內外海洋碳匯量測技術及我國碳匯實地調查有關文獻，至少須包含紅樹林、海草床及鹽沼等藍碳種類	114
第二節 國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析 ..	121
1.分析現行主要使用之藍碳盤查及溫室氣體減量方法學適用條件及範疇、基線及專案減量計算方式，以及監測方法與參數，並詳細說明各計算方式	

及參數之內涵。	123
2.研擬 2 種以上藍碳碳匯盤查作法，需能應用於行政院環境保護署國家溫室氣體排放清冊對應項目及內容。	124
3.探討減量方法學使用預設參數、引用我國文獻數據及現場監測技術，及其適用條件及範疇，初擬至少各一式可運用於我國濱海 2 種不同之藍碳生態系，並可提送行政院環境保護署審查之減量方法學。	124
4.提出藍碳納入我國溫室氣體排放清冊之短、中、長期程因應策略與規劃建議	149
參考文獻.	154
附件一 臺灣紅樹林碳匯測量標準作業程序.	165
附件二 臺灣海草床碳匯測量標準作業程序.	196
附件三 小規模減量方法：臺灣紅樹林棲地的造林與植林.	230
附件四 小規模減量方法：臺灣紅樹林棲地的造林與植林之專案案例—中部濕地公園的紅樹林造林碳匯專案計畫書	285
附件五 小規模減量方法：臺灣海草床復育方法學.	322
附件六 小規模減量方法：臺灣海草床復育方法學—馬公重光海草床之碳匯專案計畫書	345

第二冊目次

第一冊目次.....	I
第二冊目次.....	IV
附件七 海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及 評估評選審查意見答覆與辦理情形說明	1
附件八 海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及 第一次工作會議紀錄.....	3
附件九 海洋委員會 OAC112025「海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及評估」 期中報告審查會議紀錄	6
附件十 海洋委員會 OAC112025「海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及評估」 期末報告審查會議紀錄	14
附件十一 氣候變遷相關中英文對照及名詞解釋.....	22
附件十二 海南文昌、昌江紅樹林復育專案.....	50
附件十三 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案.....	88
附件十四 Vanga 藍碳專案.....	114
附件十五 濕地碳匯功能調查標準作業程序.....	136

附件七 海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及 評估評選審查意見答覆與辦理情形說明

時間：112 年 1 月 12 日(星期四) 上午 9 時 30 分

地點：海洋委員會 5 樓第 1 會議室(高雄市前鎮區成功二路 25 號 5 樓)

主席：王委員茂城

記錄：

審查意見	答覆說明
一、陳璋玲委員	
1. 研究團隊過去長期投入紅樹林，海草藍碳相關研究，累積豐富成果，事業能力強。	謝謝委員肯定。
2. 本計畫工項之一為提出藍碳納入我國溫室氣體排放清冊之短中長程因為策略與規劃建議，查建議書較少說明環境部對納入清冊的要求為何，以致不清楚團體在調查藍碳碳匯盤查作法之後如何讓比成果符合上述納入清冊的要求，尤其納入清冊需要應用案例，若團隊得標，建議研究成果清楚交待此議題。	謝謝委員指教，已於計畫架構與工作內容補充環境部對藍碳碳匯納入溫室氣體清冊的要求，及各階段所需提供之項目，並說明各階段項目對應之本計畫章節。藍碳碳匯納入溫室氣體清冊的短中長期目標撰寫方向也已依照環境部所需之流程進行撰寫。
3. 本計畫部分工項內容由中興工程顧問社負責，建議書亦說明中興大學和中興工程彼此分工的工項，但有關上述第 2 點之工項似乎未於建議書說明。此外，建議書提及團隊工作人員之專業能力分成「減量方法學分析組」、「藍碳實地調查組」等五組，請問投入本研究主要係那些分組人力投入。	謝謝委員指教，本計畫分工以工作項目為主，主要分為盤查方法及減量方法兩組，詳見圖 1.1-1。
二、謝恆毅委員	
1. P1 需求說明書有提到碳匯包括海藻床，是否亦可針對海洋生態系中雖無「碳匯」，但卻可能減碳的物種進行研析？	謝謝委員指教，關於非三大藍碳(紅樹林、海草床、鹽沼)的濱海潛在固碳物種，我們會參考相關研究，並依照臺灣棲地條件進行初步研析。
2. 是否可針對專有名詞(中英對照)，包括碳匯盤查及減量方法學的內容？	謝謝委員建議，附錄有整理環境部公告的「氣候變遷相關中英文對照及名詞解釋」及「99

審查意見	答覆說明
	年溫室氣體專用名詞手冊」。
3. P23 「7」註冊申請應為1；「8」額度申請應為2。	謝謝委員指教，將針對報告書內容誤植部分進行修正，並於後續提交各期報告書前確認報告內容。
4. P25 第三段「本計畫將參考三之(一)」應為「二之(一)」。	謝謝委員指教，將針對報告書內容誤植部分進行修正，並於後續提交各期報告書前確認報告內容。
5. P33 資料蒐集費委託中興工程顧問社，工作項目為本案「主要」之工作項目，如此委託作法是否有違反採購法第65條「轉包」的認定？	謝謝委員指教，這部份依照採購法辦理。
三、邱祈榮委員	
1. 海洋碳匯、藍碳、濱海藍碳名詞定義有混用現象，建議甲、乙雙方宜釐清計畫執行範疇，避免日後爭議。	謝謝委員指教，關於海洋碳匯、藍碳、濱海藍碳名詞定義有詳述於第一章第一節，由於本計畫主要針對濱海藍碳進行研析，往後章節簡稱的藍碳即為濱海藍碳。
2. 第二項工作項目藍碳納入國家排放清冊之短、中、長期策略及規劃提出建議，目前服務建議書撰寫內容方向著重於抵換專案，與原計畫方向略有不同，建議應著重於： (1) 國家溫室氣體排放清冊內容及國內應提供資料權責機構與相關審議機制。 (2) 針對藍碳納入清冊的部分，提出主政權責機關，活動數據排放參數、不確定性及 QA/QC 提出相關建議。	謝謝委員指教，目前計畫書第二項工作項目藍碳納入國家排放清冊之短、中、長期策略及規劃提出建議，撰寫方向已修正。 溫室氣體排放清冊應提供之資料、相關審議機制、活動數據排放參數、不確定性及 QA/QC，皆以詳述分配於本計畫哪些工作項目，詳見第一章第二節「計畫架構及工作內容」與圖 1.1-1。
3. 減量方法學宜注意是否符合 MRV 原則、外加性與應用範例之內涵。	謝謝委員，我們會針對 MRV 原則、方法學中的外加性等及範例之內涵進行詳述，並提出符合其內涵的減量方法學。

附件八 海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及 第一次工作會議紀錄

時間：112 年 3 月 22 日(星期三) 下午 2 時

地點：海洋委員會 7 樓第 2 會議室(高雄市前鎮區成功二路 25 號 7 樓)

主席：王處長茂城(郭副處長進興代)

記錄：郭哲

瑋

審查意見	答覆說明
一、郭進興副處長	
1. 有關工作計畫附件 3 之濕地碳匯功能調查標準作業程序，是否有實際應用過？此外，紅樹林或海草床等是否皆可適用？	謝謝委員指較，這就是我們平常調查的方法。當然這只是濕地通用的 SOP，紅樹林、海草床會有差異，因此詳細的方法學需要在個別針對撰寫。
2. 本計畫要求研擬藍碳碳匯盤查作法及減量方法學需符合環境部之規定，爰請執行團隊於計畫執行過程中務必與環境部確認相關細節。	謝謝委員指較，我們會持續了解環境部要求來制定方法學，提交環境部方面要再請科長協助聯繫環境部。
3. 盤點文獻回顧之紅樹林、海草床等碳匯能力數值應如何制定採用，以利核算碳匯量。	謝謝委員指較，排放係數的使用會根據 IPCC 的流程，沒有現地或國內數據就會採用 IPCC 的預設係數。國內雖有許多計畫都有碳排放數據，但需要經國際發表才能作為納入國家溫室氣體清冊的國內係數。紅樹林及海草床有較多數據成功發表，鹽沼較少，這會是本計畫外後續須持續努力的部分。
二、國家海洋研究院	
1. 有關基準年的設定執行團隊是否有相關建議？此外，針對不同品種混合生長的情況是否需加以考量？	謝謝委員指較，海草床是 2018 年第一次全國盤點，因此會假定 1990-2018 年的面積資料不變；紅樹林在 1995 年有實地調查的報告約 280 公頃(薛，1995)，1976 至 2011 年亦有航照圖分析面積變化(王等，2015)，2019 年最新的實地盤查則增加至 680 公頃(林等，2019)，因此有紅樹林除了有較精準的 1990 年資料作為基準年，亦有逐年變化的資料可使用。 臺灣紅樹林混林狀況主要在新竹以南，目前還沒有建立碳收支，是未來可精進的部分。

審查意見	答覆說明
2. 目前於藍碳是否有取得環境部許可之查驗機構？	目前環境部在「事業溫室氣體排放量資訊平台」公告認可查驗機構共 7 家，因應國家淨零碳排政策，已新增 3 家通過認證。列於造林與植林的減量方法學僅 BV 為該類別抵換專案合格之查驗機構，其主要係針對造林活動進行減量專案之查驗，故目前並無許可查驗機構可進行藍碳之減量專案之查驗。
三、林群皓科長	
1. 第 18 頁之文獻回顧，建議增加「海洋碳匯」關鍵字。	謝謝委員建議，我們會增加海洋碳匯為關鍵字進行搜尋，雖然會有許多大陸的海洋碳匯研究可參考，我們也會篩選品質較好的研究納入。
2. 不論土地之所有權(公有或私有)，是否都可以納入國家溫室氣體清冊中？	謝謝委員指教，公私有地都能納入，主要是以土地利用方式(活動數據)做分類，會透過內政部國土管理署的航照圖釐清不同活動數據的沿海濕地面積，並且需要設立對應的排放係數。
3. 第 22 頁除所列舉造林與植林案例外，是否可新增海洋碳匯的部分，或海洋碳匯目前的情形？	謝謝委員建議，目前海洋碳匯減量專案的實際案例較少，計畫後續會盡量多補充，當前國外案例可參考 16-17 頁表 3.1-1。
4. 依工作項目要求，須提出可提送環境部審查之減量方法學，因此這部分請執行團隊深入了解符合環境部規定要項之具體資料為何。	謝謝委員指教，減量方法學我們也會再深入了解環境部的要求，這也是此計畫重要的目的，可能以微型碳抵換專案(<20,000 tCO ₂ e)的方式，後續會選有需求的企業進行示範計畫，微型碳抵換專案審查文件僅須符合法規外加性，相對簡單只是目前沒有先例。這部分也會請中興社多協助指教。
5. 工作計畫書建議加入執行團隊之工作人員配置情形。	謝謝委員指教，請參考第 13 頁圖 3.0-1 人員工作配置。
四、郭哲瑋技士	
1. 有關規劃將蒐集美國及澳洲國家溫室氣體清冊指南海洋碳匯盤查作方案例，惟本計畫要求蒐集至少 3 個國家，爰請再新增 1 個國家。	謝謝委員指教，第 3 個國家會以日本及大陸做為考量。
2. 有關藍碳生態系碳匯盤查參考自 2006 IPCC NIR 指南及 2013 IPCC NIR 濕地補充指南，惟另查 IPCC 於	謝謝委員建議，2017 年國土管理署計畫時有將 2013 濕地碳匯指南改成接近臺灣可實施的版本，我們應該優先參照這個版本。關於 2019

審查意見	答覆說明
2019 年有提出精進版 (2019 Refinement to the 2006 IPCC NIR)建議納入參考，俾報告資料內容與國際接軌。	版本的 IPCC 精進版，我們後續會再確認並納入研析。
3. 第 27~28 頁之甘特圖及工作進度，建議再依工作項目進行細部規劃。	謝謝委員指教，第 27 頁甘特圖已補上細部工作進度。

附件九 海洋委員會 OAC112025「海洋碳匯盤查暨溫室氣體減量方法研析及評估」期中報告審查會議紀錄

時間：112 年 6 月 20 日(星期三) 下午 3 時

地點：海洋委員會 7 樓第 1 會議室(高雄市前鎮區成功二路 25 號 5 樓)

主席：王處長茂城

記錄：郭哲瑋

會議討論重點摘要	意見回覆
一、邱祈榮委員 (含書面意見)	
1. 建議統一定義藍碳或海洋碳匯分類框架及範疇，作為盤點的架構，以利清楚掌握目前各子類別的進度。	謝謝委員建議。定義及範疇已補充在第一章第二節計畫架構及工作內容。
2. 請依碳匯應用的不同，如國家清冊與碳權計畫的應用目的，及企業如何應用碳匯於組織碳盤查中的應用，盤點檢視目前應用上活動數據缺口及排放係數缺口(含方法學)，以及推動上面臨的挑戰，如活動數據年度提供，排放係數之整合，及推動上制度、社會及經濟上的難題。	謝謝委員建議。在期末報告中會在更詳細的說明國家清冊與碳權計畫的應用目的。
3. 碳權機制分類(第 47 頁)與現行巴黎機制有落差，尤其 CDM 已於 2020 年終止新案件申請，建議應針對巴黎協定第 6 條說明現今碳權市場的最新趨勢，尤其在自願市場的價格崩盤應特別說明。	謝謝委員建議，期末報告針對自願性市場之部分會再進行內文補充。
4. 藍碳溫室氣體減量方法學建議仍依不同應用目的分列其所需方法學，目前 A/R 方法學屬於 project based 的方法學。	謝謝委員建議。同委員於第 2 點之建議，在期末報告中會在更詳細的說明國家清冊與碳權計畫的應用目的。
5. 建議敘明紅樹林碳匯測量標準作業程序之應用目的，如何應用及如何推廣，且與國際比較如何定位。	紅樹林碳匯測量標準作業程序之應用目的為將紅樹林碳匯納入國家溫室氣體清冊之碳匯量測作法。由委託本計畫的海委會提交該方法學至環境部審查，本團隊則提供顧問諮詢。推廣方面，須待環境部過審以及持續與內政部溝通確認濕地活動數據，才能將利用此方法學將紅樹林納入溫室氣體清冊。在國際間 IPCC

會議討論重點摘要	意見回覆
	2013 NIR 指南建議將沿海濕地納入，不過國家溫室氣體清冊有納入濱海藍碳的國家仍不多。若臺灣能成功推動將沿海濕地納入清冊，將能成為他國參考之對象。
6. 第 15 頁國外減量方法學列表比較，建議多予探討其應用限制。	謝謝委員建議，期末報告會再進行內文補充。
7. 未來濕地部分於國家清冊有必要提出不確定性分析。	謝謝委員建議。本計畫擬定的盤查方法之不確定性分析標準作法及 Tier 2 之不確定分析結果，將於期末報告補充。
8. 簡報第 8 頁，對於紅樹林、潮汐鹽沼及海草床的類別下，有無需要再細分不同子類別？	細分不同子分類及其對應的活動數據及碳排放係數，依照臺灣狀況，紅樹林將依照 4 種紅樹林物種建構碳排放係數。海草床之子分類建議於期末會海草床盤查方法學將一併提供。在他國溫室氣體排放清冊並未細分潮汐鹽沼物種，不過國內目前已有 4 種主要鹽沼物種之排放係數，若後續有建立鹽沼盤查方法，會再詳細評估是否細分。活動數據方面之分類，以 2013 IPCC NIR 指南為依據，並待後續溼地主管機關確認相關土地利用之分類。
9. 簡報第 52 頁，臺灣允許法規外加性，主因在於微型專案，另在圖示外加性並未能正確顯示 A/R 專案。	簡報第 52 頁是呈現 CDM 與臺灣之差異，會再留意呈現方式、內文說明。簡報中外加性之圖示是便於理解以大眾最常接觸之碳排放量進行繪圖而並未以碳匯之移除量進行繪圖。經邱委員之意見未來會以碳移除量進行繪圖與說明。
10. 簡報第 31 頁及第 32 頁，強制性市場、配額型交易及專案型交易機制觀念應予釐清。	謝謝委員，會再留意報告內文。
11. 濕地碳權專案建議可納入新加坡的 Delta Blue Carbon Project 的專案，並應進行可行性探討。	謝謝委員提供案例，本團隊預計在期末對國際案例進行探討，考量臺灣濱海藍碳之面積狀況，案例選擇會著重在生態系統服務所帶給在地的附加價值。
12. 碳匯專案建議未來採用自願減量專案，不能用 GHG 減量。	謝謝委員，如委員所說為採用「溫室氣體自願減量專案」。簡報以 GHG 減量表示，是為了讓不同領域背景之委員快速了解，未來會再留意呈現方式。
13. 國家清冊的活動數據應包括碳移	活動數據碳移除量的監測機制會參考林業部

會議討論重點摘要	意見回覆
除量的監測機制。	門進行研擬，並於期末補充。
二、陳璋玲委員（含書面意見）	
1. 報告內容完整，完成期中報告應完成的進度，予以高度肯定。	謝謝委員。
2. 2050 淨零排放政策，自然碳匯是關鍵策略之一。海洋碳匯部分，海委會勢必應有所作為。本計畫建立藍碳(紅樹林、海草)碳匯盤查方法學及減量方法學可視為是海委會在該議題上的重要貢獻，此對於未來將藍碳納入國家溫室氣體排放清單是重要的基礎工作，未來再協調目的事業主管機關，進行所轄區域碳匯的盤查。至於減量方法學部分，雖然經濟效益不高，可能沒有市場機制形成，但目前企業治理強調 ESG(環境保護、社會責任及公司治理)，未來若建立減量方法學，有助鼓勵企業進行藍碳專案計畫，以實踐溫室氣體減量。	謝謝委員。
3. 有關碳匯量計算，主要變數是棲地活動數據及排放係數，請問排放係數是因地制宜，還是引用國際通用的數值？另棲地活動數據，此數據取得的方法是需現地調查？還是可由衛星遙測或其他工具可取得？建議能否將碳匯計算方法學建立一個可讀性高，可操作性高的使用手冊，敬請參考。	排放係數分為 Tier 1-3 之估算，其內涵如下：在國家沒有自己的排放數據時，採用 IPCC 估計值，屬於 Tier 1 之估算；國家選定國內代表性樣點進行實際測量排放係數，則屬於最精準的 Tier 3 之估算；國家內其他樣點引用該國代表性樣點之排放係數，則屬於 Tier 2 之估算。 活動數據方面，建議將遙測及空拍機結合實地調查，建立 GIS 圖層，以利後續追蹤土地利用變化。 謝謝委員建議，本計畫會朝此方向優化碳匯計算方法學。
4. 溫室氣體減量方法學部分，請問前述的碳匯方法學建立後，可否以該方法計算專案前和專案後的碳匯量，二者的差額就是碳減量，請問這是碳庫差分法嗎？	謝謝委員詢問，兩者概念類似，但用法不同。在本研究所建構之紅樹林溫室氣體自願減量專案方法學部分，其方法一部分確實如委員所說，即使用前述的碳匯(盤查)方法學，其中的碳庫差分法是將兩個時間點的碳儲存量相減，以得到單位時間的碳吸存量(碳匯速率)；法二則是提供專案申請者 CDM 的化簡方法。基線情境與專案情境有各自的碳匯速率，依照

會議討論重點摘要	意見回覆
	專案時間可計算出兩種情境下的碳吸存量，其差額為溫室氣體減量(或稱碳匯增加量)。
三、柳婉郁委員（書面意見）	
1. 林教授帶領團隊蒐集包括藍碳生態系、自然碳匯定位、以及國內外碳匯方法學內容等，內容充實，符合期中報告審查標準。	謝謝委員。
2. 藍碳碳匯計算基於科學基礎(如同報告內容，需要非常完整過程與監測方法)，而未來海委會之碳抵換方法學申請建議盡量簡易與系統化(參數化)，以便於政策執行也更能達成公私協力與社會共好。	謝謝委員建議，期末會補充方法學相關程序，以利後續執行者操作。
3. 建議除了 CDM、VSC 等，可參考日本在地的藍碳碳抵換，因為目前先進國家的自然碳匯抵換多優先給在地企業(除了符合在地，價格也高很多)，因此了解他們機制、申請流程、如何簡易辦理，如何降低監測過程、是否需要政府仲介，可協助海委會未來相關政策推動之參考。	謝謝委員建議，有關國外藍碳碳抵換之機制會於期末報告會再進行內文補充。
四、本會海洋保育署	
1. 報告中提及本署 108 年相關調查計畫之「期末報告書」應修正為「成果報告書」。	謝謝委員，已修正。
2. 據了解農業部漁業署目前也在建立方法學，想請教與農業部漁業署之間的分工情形？	目前漁業署計畫所建立的方法學僅針對海草床碳匯。相較於本計畫的盤查及減量方法學，漁業署方法學會以歐盟海草床減案專案為例，偏向減量專案執行的指南。
3. 本署未來推動藍碳棲地復育工作，是否需每年調查面積、範圍等資料？	原有濱海藍碳棲地分布面積範圍之盤查，大約 3 年進行一次即可。如果是有執行復育工作之棲地，才需要較頻繁的監測(如每年)，確保復育管理之成效。
4. 未來執行減量方法學於地點選擇	方法學建構上會提供預期風險或建議，後續專

會議討論重點摘要	意見回覆
上，是否需要考量生物攝食或因環境影響生長等因素？	案執行將由專案執行者評估專案範圍內的風險。以臺灣紅樹林而言草食作用不明顯，海草床方面可能的風險則較多(如海膽)，但目前臺灣海草床本土研究未證實過度草食(overgrazing)是海草床流失的直接原因。
五、國家海洋研究院 (含書面意見)	
1. 第 53 頁方法名稱為退化紅樹林棲地，但第 55 頁卻為劣化紅樹林棲地，是否為誤植？又退化之界定為何？	謝謝委員，此部分為誤植已進行修正；部分內文則依中國文獻之原文保留「退化」、「再造林」等詞彙。有關劣化紅樹林棲地之定義撰寫於本計畫書附件二，導致專案邊界內紅樹林植被的平均覆蓋率低於 40% 或死亡植株超過 20%，或生態系統結構和功能受損，其穩定度、抗干擾能力下降，且難以自然恢復之紅樹林。而本方法適用條件之劣化紅樹林棲地是指植被狀況無法同時滿足密度 ≥ 1050 株/ha 且鬱閉度 ≥ 0.20 之條件。
2. 第 71 頁中之死有機質碳庫是否為專有名詞或用語，所指為何？或有其他稱法為妥？另「汙」水宜修正為「污」水。	死有機質為轉有名詞 Dead Organic Matter (DOM)。謝謝委員建議，以調整。
3. 第 26 頁預期成果：「一、建立臺灣濱海藍碳量測技術及計算臺灣濱海藍碳之碳匯量(包含紅樹林、海草床及潮汐鹽沼)，但執行成果(第 71 頁、第 73 頁等)卻提及針對紅樹林及海草床，且第四節僅探討紅樹林，後續是否會探討海草床及鹽沼等盤查及減量方法學？」	依據本計畫執行項目第二項之第 3 點為「初擬至少各一式可運用於我國濱海 2 種不同之藍碳生態系」，因此本研究選擇針對紅樹林及海草床進行探討，並於期中部分完成審查標準之比例；期末如委員所說會接續完成海草床之探討。此外，潮汐鹽沼在臺灣分布面積最少，且以外來種互花米草為主，因此方法學開發先以紅樹林及海草床為主。在蒐研國內外海洋碳匯量測技術方面，在期末會補充潮汐鹽沼之相關研究。
4. 是否可補充蒐整藍碳棲地有關土壤各類盤查量測、監測等方法。	濱海藍碳棲地土壤碳匯量測方法學已列在第五章第一節第三小節的紅樹林碳匯量測技術，有土壤碳庫差分法及地表高程變化法。
六、行政院環境保護署 (書面意見)	
1. 蒐研國外藍碳碳匯量盤查實例及藍碳溫室氣體減量方法學。	謝謝委員建議。 (1) 藍碳納入國家溫室氣體排放清冊之短中

會議討論重點摘要	意見回覆
(1) 計畫成果對我國濱海藍碳生態系盤查與碳匯估算方法建立提供重要基礎，有關報告第五章第二節藍碳納入國家溫室氣體排放清冊之規劃，應可更具體提出計畫成果於我國清冊之適用性。 (2) 承上，除參考 IPCC 統計方法學外，相關計畫成果亦可參照清冊報告排放源/匯分類、統計範疇及統計原則等內容進行初步整理，以利後續與清冊報告銜接。	長期規劃，會在期末提供更詳細的具體建議。 (2) 清冊報告排放源/匯分類、統計範疇及統計原則等內容會再參考臺灣溫室氣體清冊進行研擬。另外，由於臺灣濕地主管機關並未明定活動數據，因此若涉及活動數據之分類，將參考 2013 IPCC NIR 及臺灣狀況作預設。
2. 國際藍碳碳匯量盤查及溫室氣體減量方法學之適用性評估分析：針對藍碳碳匯量，宜以建立碳匯量之可量測、可報告及可查驗(MRV)機制為優先，明確國家碳匯量基線後再考量提昇碳匯量之措施及該措施執行成效轉換為減量額度之減量方法學，方法學之建立應參酌國際原則包括符合外加性、保守性、永久性、避免產生危害及重複計算等五大原則。	謝謝委員建議，本計畫主要可分為兩部分，分別為為使用於國家溫室氣體清冊之盤查，以及提供於自願性減量之溫室氣體減量方法學。兩方學之建構皆是以國際標準做為借鏡。
七、內政部國土管理署城鄉發展分署（書面意見）	
1. 本計畫係建立係為建立適用我國紅樹林減量方法學，並參考綜整多個方法學，依現行環境保護署(今環境部)減量方法學申請程序(計畫 69 頁)，撰寫新減量方法須提出應用範例，本計畫是否有相關應用範例規劃？另考量後續申請期程，是否有相關規範明定應用範例所需執行時間需要多久才足以證明方法學之可行性？	如委員所說，在應用範例方面目前考量使用本研究團隊過去之研究計畫「中都濕地公園」作為應用範例，細部資料是否合乎還需再檢視。
2. 有關第 5 章第 4 節台灣劣化紅樹林棲地的造林與植林建議以流程圖表示減量方法執行之流程，以利了解後續整體性操作步驟。	謝謝委員建議，本研究團隊會再進行補充。

會議討論重點摘要	意見回覆
3. 124 頁，有關專案邊界內非二氧化碳之溫室氣體排放量，係考慮專案邊界內受火災所引起的林木地上部生物質燃燒，所造成之非二氧化碳之溫室氣體排放，如無火災發生，本方法學是否只討論二氧化碳排放，忽略原紅樹林濕地本身之 CH ₄ 及 N ₂ O 之排放。	在 CDM AR-AM0014 由於允許整地或管理而燃燒木質生物量，因此計入 CH ₄ 及 N ₂ O；《海南紅樹林造林與在造林碳匯項目方法學》則考量 IPCC 紅樹林本身之 CH ₄ 及 N ₂ O 排放而計入。此部分考量專案申請者之操作性，本研究團隊會再進行討論、補充，謝謝委員。
八、本會海洋資源處王茂城處長	
1. 有關簡報第 3 頁所敘，已申請抵換就不能納入國家溫室氣體清冊部分，請執行團隊進一步清楚說明。	感謝委員建議，已修正成「為避免重覆計算，申請抵換後在納入國家溫室氣體清冊時，需特別標明。」
2. 有關盤查方法學與減量方法學兩者間的差異為何？	兩者的應用目的不相同，在期末報告中會在更詳細的說明國家清冊與碳權計畫的應用目的。
3. 經了解環境部未來自願減量專案管理辦法，於新方法學申請認可程序上，將簡化原有需經查驗機構評估之程序，爰請執行團隊瞭解環境部相關規劃，俾報告內容與未來制度可銜接。	謝謝處長，本研究團隊會持續追蹤、瞭解環境部相關規劃。
九、本會海洋資源處林群皓科長	
1. 第 32 頁，藍碳相關土地利用計算面積有列出 3 種方法，請補充說明此 3 種方法具體內容。	謝謝委員建議，期末會進一步以具體案例作說明。
2. 第 33 頁有關國家溫室氣體排放清冊之藍碳棲地部分，澳洲將境內所有土地皆視為管理土地，而第 35 頁美國僅納入受管理活動的土地，兩個國家間的差異為何？其是如何定義「受管理」土地？	在 IPCC NIR 指南中僅提到受人為管理之土地才能計算溫室氣體排放量，並未明定人為管理之土地如何界定。因此，國際上各國依照各自情況進行定義。以臺灣來說，人口密度高，濱海藍碳棲地多受河川及沿岸活動影響，或是納入國家公園進行管理。因此，本計畫建議臺灣所有藍碳棲地皆應視為受管理土地。
3. 第 47 頁有關碳權機制分有國際機制、獨立機制及國內機制等，而目前環境部係採認 CDM 的方法學，惟 CDM 的方法學於國際上相對不是那麼廣泛受到認同，因此對於行政機關後續的工	國內碳交易平台「碳權交易所」屬於國內機制，並無法在國際間交易。科長所提及之 CDM 疑慮應分為兩個部分說明，方法學與機制。在方法學方面，CDM 標準的方法學被認為是最成熟且最嚴謹的方法，其方法會隨整併與失效

會議討論重點摘要	意見回覆
作推動是否有相關建議？	而減少；但在機制方面確實受到外界質疑，如外加性與基線。 在減量方法方面 CDM 之標準依然具有借鏡之價值，但建立制度與流程方面建議多方參考如 VCS、GS 等標準。
4. 第 71 頁目前已初步研擬紅樹林盤查方法，至於另一種盤查方法係為海草床或其他規劃？	期末如科長所說會接續完成海草床之探討。
5. 第 98 頁起與第 132 頁起之內容相近，請確認是否重複？	謝謝科長，誤植內容已進行修正。

附件十 海洋委員會 OAC112025「海洋碳匯盤查暨溫室氣體 減量方法研析及評估」期末報告審查會議紀錄

時間：112 年 10 月 30 日(星期一) 下午 2 時 30 分

地點：海洋委員會 7 樓第 1 會議室(高雄市前鎮區成功二路 25 號 5 樓)

主席：王處長茂城

記錄：郭哲瑋

會議討論重點摘要	意見回覆
一、邱祈榮委員 (含書面意見)	
1. 使用單位與名詞，建議統一以清冊或抵換專案使用為宜。例如 Mg C/ha 為 t C/ha；儲碳速率為碳移除；碳匯係數為排放係數。	謝謝委員建議，內文已統一。
2. 藍碳調查技術建議依照不同藍碳碳匯量測技術具體提出國內可供執行的建議方法編撰成冊，做為未來國內藍碳碳匯測量施測的依據。	謝謝委員建議，已補充在第五章第一節三小節。
3. 清冊短期規畫建議提出更具體的活動數據及排放係數的部會分工職掌及所需提供的資料，尤其在目前排放係數有所缺失時的處理方式。	謝謝委員建議，已補充在第五章第二節的四小節。
4. 清冊中期規劃建議是否需要規畫建立長期監測機制。	謝謝委員建議，已補充在第五章第二節的四小節。
5. 碳匯參數(排放係數)決定應配合活動數據提供情況而定。在年度碳移除率方面宜注意取樣調查年度的累積效應，未來仍仰賴長期監測係數為主(如簡報 p25 所示)，例如決定生態系排放係數在不同子類型的面積進行面積各自估算等，但要確保所有子類型被兼顧。	謝謝委員建議，不同藍碳棲地排放係數之下的子類型估算建議，已補充在第五章第二節的四小節。
6. 減量方法學部分請依照制式應用範例的方式呈現，便於閱讀以及避	截止於 2023 年 10 月，減量方法學新撰寫格式尚未公告，預計於年底前於資訊平台公開及提供下載，屆時本研究團隊會協助修訂。

會議討論重點摘要	意見回覆
免缺項。	本報告所提之減量方法學與專案案例格式，是依據環境部氣候變遷署，溫室氣體自願減量暨抵換資訊平臺中，最新的檔案 2016/06/07「新減量方法格式_小規模減量方法(ODT 檔)」、2016/07/22「計畫型抵換專案計畫書參考格式(ODT 檔)」，並參考最為相關之國內減量方法 AR-TMS0001 ver 01.0 及其應用範例進行撰寫。
7. 目前方法學上缺乏監測計畫，建議在方法學內，可列舉可用的碳匯測量技術，並應在應用範例說明選定的監測方法學。	本計畫所提之方法學雖無詳細列出監測方法，但於監測程序中，有提供申請者在監測方法的參照依據。針對應用範例，確實如委員所說應補充說明；因此，本團隊已進行補充，謝謝委員。
8. 中都及重光案例欠缺詳細現況說明，及目前適用於造林減量專案的計算說明，同時應呈現目前碳儲存總量資訊，並應說明計入期的每年碳移除量。	中都及重光案例之現況說明、計算說明、碳儲存總量與計入期的每年碳移除量，分別於附件四、附件六。此外，基於中都及重光案例是過去研究的虛擬案例，本團隊已進行補充說明，謝謝委員。
9. 簡報顯示的國外三個抵換專案案例其單位面積的碳移除量明顯與現在估算的移除量差異甚大，請加以說明。	單位面積的碳移除量並無差異甚大，主要是呈現方式所造成，針對此部分會多加留意呈現方式。 簡報中，中國海南紅樹林復育每年每公頃的碳移除量約為 13.24 噸 CO₂e；肯亞 Vanga 紅樹林復育專案則係從 4,428 公頃的紅樹林總面積中指定 460 公頃作為復育區域，因此，每年每公頃的碳移除量應修正為約 10.93 噸 CO₂e。由此可知，本計畫所研析之國外紅樹林復育單位碳移除量差異不大。另美國維吉尼亞海岸之海草復育每年每公頃的碳移除量約為 0.30 噸 CO₂e，其單位碳移除量明顯較紅樹林低。 由於紅樹林為木本植物可以儲存碳且海草床為沉水性植物會受海水影響；因此，土壤碳儲量的單位為紅樹林較高，而海草床是由於全球分布面積較大，所以全球碳儲量較高。此外專案規模、數據來源與估算方式皆會影響碳吸收能力的估算，而美國維吉尼亞海岸海草復育專

會議討論重點摘要	意見回覆
	案在 Verra 公開網站中目前尚無其他監測資料，建議待後續公開監測成果後，可進一步評估海草床實際碳移除情形。
10. 減量方法學發展同時，易應注意抵換專案執行的成本。	本團隊持續留意藍碳專案執行成本，並期望能盡速量化。專案是否能達到資金平衡(三年內)是未來專案能否受到專案申請者申請的重要考量因素，然而藍碳專案成本高且缺乏再利用之經濟價值皆是現階段的劣勢，已寫入本報告(六)、臺灣發展藍碳抵換的建議或藍碳增匯專案規劃之中，並於 WO (劣勢+機會) 提出降低劣勢增加機會之初步方式。
二、陳璋玲委員 (含書面意見)	
1. 報告內容完整，架構清晰，完成計畫預定的工項，予以高度肯定。	謝謝委員肯定。
2. 頁 32，表 5.1-1，表的內容沒有係數。(如頁 38，表 5.1-7 有列係數)	頁 32 表 5.1-1 為 IPCC 2013 溫室氣體清冊濕地副刊對於藍碳棲地活動數據細項分類的建議，每個子分類都有 Tier 1-3 的估算指引，不同國家可依照各國國內狀況自行選擇。頁 38 表 5.1-7 就是澳洲國家溫室氣體清冊的排放係數，依照國內情形選用的估算層級。
3. 頁 40，美國藍碳棲地排放係數建立，表 5.1-8，碳匯計畫有包括甲烷和氧化亞氮嗎？若沒有，請將該表第一列相關文字去除，以避免誤解。	有測甲烷和氧化亞氮，氧化亞氮是在養殖情活動才測量。
4. 頁 48，(三) 國際藍碳溫室氣體減量方法學之蒐研，第一段的內容太多，占約二頁篇幅，請於適當處以分段處理，以利閱讀。	謝謝委員，已做修訂。
5. 頁 130-140，有關海草床部分，內容只有(一) VM0033 潮間帶濕地與海草床復育，為何沒有紅樹林的(二) AR-AM0014 方法學適用性重點分析與評估，及(三) 方法學適用性修正特點，是否內容缺漏，請再確認。	謝謝委員，已做修訂。
6. 有些部會名稱已修改，請予修正，如頁 141 第 8 行，內政部營建署，現濕	謝謝委員，已做修訂。

會議討論重點摘要	意見回覆
地主管機關改為內政部國家公園署。	
7. 頁 141，有關短中長期因應策略，每期列有應完成的項目，內容具體完善，但就各期就應完成的項目，建議列出那些是已完成及尚待完成的項目或內容（建議可另以表呈現），以利相關單位掌握藍碳納入排放清冊的目標應待做的工作，並納入未來計畫辦理。	謝謝委員建議，已補充在第五章第二節第四小節。
8. 建議增加摘要，以及結論一章。於結論章節，建議團隊除綜整本計畫的研究成果外，另提出於完成藍碳納入排放清冊後，藍碳在碳權和碳交易議題上可進一步分析的工作。另查最近水試所和國海院合作研究在風場養殖大型藻類（海葡萄、粗龍鬚菜），其若作為藍碳，後續可能涉及之相關工作。	謝謝委員，針對摘要已做補充，而藍碳在碳權和碳交易議題的進一步工作則撰寫於 SWOT 分析。 現階段國際藍碳的碳權，仍是以濱海藍碳的紅樹林、鹽沼、海草床為主。 雖然 2020 年日本經濟技術開發署認證並發行馬尾藻（Sargassum）的國內碳信用「J-Blue Credit®」。然而，可能有更多角度能研究海藻在減少排放量的貢獻，而不是僅關注在沉積物中的碳儲存；如此，才能夠考量到更多價值。例如 Roque 等人 2021 年的研究顯示在牛飼料中添加海藻，可以減少肉牛高達 82% 的甲烷排放量。
三、環境部氣候變遷署（書面意見）	
本署無意見。	謝謝委員。
四、農業部	
1. 考量濕地納入國家溫室氣體排放清冊需符合時間序列的一致性，活動數據必須回溯至 1990 年，惟除紅樹林、海草床及鹽沼外尚有其他濕地類型，在其它濕地類型相關研究資料相對缺乏情況下，請研究團隊針對未來推動濕地納入排放清冊尚應盤點的資料缺口及研究調查提出相關建議。	謝謝委員，目前 IPCC 並未將其他沿海濕地納入國家溫室氣體清冊，可先依循國際研究共識，是否新增其他海洋棲地。國內方面可從基礎調查的研究著手，釐清其他海洋棲地是否為重要碳匯或碳源，以及如何界定其他海洋棲地的碳庫範圍等等。
2. 有關報告所提 MRV(Monitoring, Reporting and Verification)中的 M	謝謝委員提問，measurement-reporting-verification 有 66 萬筆，monitoring-reporting-verification 有 95 萬

會議討論重點摘要	意見回覆
係指「監測」還是「量測」？	筆。MRV 中的 M，measurement (量測)和 monitoring (監測)都有人用。報告書依據聯合國 2014 年的報告《Handbook on Measurement, Reporting and Verification for Developing Country Parties》所使用 measurement (量測)修訂原先的 monitoring (監測)。
五、內政部國家公園署：	
1. 有關短中長期規劃除紅樹林、海草床及鹽沼生態系外,建議可納入其他海洋棲地生態系提出建設性規劃建議。	謝謝委員建議，目前其他海洋棲地的碳匯研究尚未成熟，建議待國際及學界有更多共識，再納入國家溫室氣體清冊規畫較佳。
六、本會海洋保育署 (含書面意見)	
1. 文字誤植 (1) 報告內容引用文獻出處之年度資料，混合使用民國及西元方式，建議可採以一致性的表示方式。 (2) P106，有關 LG(the litterfall plus incremental growth method)的中文出現 2 種不同譯名(枯落物產量及生長量加總法、凋落物產量加生長增量監控法)，請釐清。	(1) 引用文獻之格式依據「海洋委員會研究報告撰寫及印製格式」中的「註釋或參考資料格式及範例」。 (2) LG(the litterfall plus incremental growth method)的中文也已統一為枯落物產量及生長量加總法。
2. P3 及 P102,「溫室氣體自願減量專案管理辦法」業經環境部於民國 112 年 10 月 12 日公布，建議相關內容一併更新修正。	謝謝委員建議，已更新。
3. P112，此處指出增匯專案計畫書成效，需用量化指標及排放係數來評估，若此 2 項重要因子又分別由增匯方法學及盤查方法學所建立，這是否代表未來此 2 種碳匯方法學均須經環境部審過之條件下，方可評估增匯專案計畫書成效，是否可補充說明？	由於段落陳述方式可能造成誤解，已更新內容。

會議討論重點摘要	意見回覆
4. P142, 為符合溫排清冊報告時間一致性, 本計畫已完成紅樹林及海草床盤查方法和排放係數, 後續完善完成面積估算回溯至 1990 年, 可先試算「維持沿海濕地」之碳匯量, 可否可詳細說明估算回溯方式?	謝謝委員建議, 回溯估算面積的方式已補充在第五章第二節第四小節。
5. 本計畫所完成之藍碳碳匯方法學, 因「溫室氣體自願減量專案管理辦法」環境部剛公布, 相關方法學新撰寫格式據悉可於年底前於資訊平台公開及提供下載, 屆時請中興大學研究團隊協助修訂, 以利本署後續送該部審查。	本團隊會持續與海洋保育署保持聯繫, 並協助後續修訂以利送審。
七、國家海洋研究院(含書面意見):	
1. 本計畫蒐集分析國內外相關文獻報告, 內容豐富。報告內容倘有關第 1 次呈現機關組織全名或相關法規公約等加註英文全名其縮寫都點符號需以英文逗號再空格標示, 如 p1. 聯合國氣候變遷綱要公約 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 第 21 屆締約國會議 (21st session of the Conference of the Parties, COP 21), 宜為 (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC); (21st session of the Conference of the Parties, COP 21); 「國家自定貢獻」 (Nationally Determined Contribution, NDC)。第 2 次呈現除中文全名, 英文以縮寫呈現為適, 如 p14。建議計畫團隊於期末修正定稿調整。	謝謝委員建議, 已更新。

會議討論重點摘要	意見回覆
2. 報告內容使用之單位即專有名詞或術語建議參酌溫室氣體清冊調整為一至相同，俾利草案研提納入清冊。	謝謝委員建議，有關清冊之內文已將專有名詞與清冊統一。
3. 報告提及紅樹林區面積呈現上升趨勢，土地利用改變，惟新增加區包含不同樹種及單位密度與土壤等，倘以現有係數評估分析，評估碳匯是否客觀？或如何避免誤差？	不同紅樹林植株密度及土壤密度等因子略有差異，目前係數的估算是將不同樣點的數據平均。日後因應不同棲地類型的排放係數差異，可從建立資料庫著手。透過資料庫中不同紅樹林樹木及土壤因子的比較及分類，也是可以提高排放係數計算精度的方式。
4. 紅樹林區或鹽沼濕地倘鹽度高於18‰對甲烷生成產生抑制，卻可隨植物體通氣組織增加而提升，雖以結合溫室氣體分析儀即時監測，顯示產生量或濃度偏低，然其監測點設置是否評估該區面積規劃設置點使結果呈現客觀？另密閉腔室收集氣體亦有水氣，對分析溫室氣體濃度及量易有干擾，如何排除？另倘有營養鹽(污水)注入則易增加 N ₂ O 產生，惟紅樹林區或鹽沼濕地所在區多有受營養鹽(污水)影響，量測與評估係數是否客觀？	謝謝委員提問，評估特定區域溫室氣體排放會選擇具有代表性的樣區，以評估環境鹽度及植物作用的共同作用結果。密閉腔室的溫室氣體測量，每次大約測量7分鐘，會避免密閉腔室因為放置太久而累積過多水氣、升溫及氣壓改變太多，以盡量還原棲地溫室氣體排放至大氣自然情況。臺灣紅樹林及鹽沼棲地位於沿海地區及河口，皆屬於人為污染較多的區域。因此溫室氣體現地測量時，應納入將臺灣實際情況納入考量。不過，相較於IPCC提供的高營養條件-養殖活動，臺灣紅樹林及鹽草區域所受的營養鹽污染影響仍較小，因此N ₂ O的排放量也較少。在考量成本有限的情況下，測量項目的先後順序N ₂ O排放可擺在較靠後的位置。
5. 鹽沼植物物種主要為雲林莞草、鹽地鼠尾粟、蘆葦及外來種互花米草，其中互花米草相較其他物種碳儲量較高，惟其為外來種不予考量，業管機關亦將移除，移除後之區域是否有其他物種或方式可增量碳匯？	若成功移除外來種後，可依照當地原先的鹽沼物種進行復育。已碳匯而言，可種植蘆葦，蘆葦的植物體碳吸存能力較強，但蘆葦的陸域化效應也較強。以兼顧生物多樣性的角度，可以種植目前分布面積較少的雲林莞草。
八、本會海洋資源處王茂城處長	
1. 有關推動濕地納入國家溫室氣體排放清冊，建議濕地主管機關內政部可整合各機關就權管區位進行分工及蒐集資料，以避免資源重複投入情形。	謝謝委員建議。

會議討論重點摘要	意見回覆
九、本會海洋資源處林群皓科長	
1. 第 103 頁 SWOT 分析,建議就每項提出之分析項目增加補充說明,此外: (1) 「劣勢」(6)所提《海域管理法》草案係有關建立海域空間有序使用及使用者競合協調等,與此處所敘有所不同,建議修正。 (2) 「劣勢」(8)所提「海洋事務之權責分散於各部會,尚缺乏專案申請之規劃機制」,惟環境部已公告「溫室氣體自願減量專案管理辦法」,並訂有專案申請相關規定,爰請再予釐清。	針對此部分,本團隊已增加補充說明,謝謝科長的建議。
2. 有關短中長期規劃建議,請就推動藍碳自願減量專案除考量成本外,也補充增加生物多樣性、企業 ESG 等論述說明。	謝謝委員建議,發展藍碳自願減量專案之生物多樣性及企業 ESG 效益,已補充在自願減量 SWOT 分析內。

附件十一 氣候變遷相關中英文對照及名詞解釋

112.1.6 氣候變遷辦公室製

■ A：3 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Adaptation	調適	指人類系統對實際或預期發生氣候變遷影響之調整適應過程，藉以緩和因氣候變遷所造成之損害，或利用其有利之情勢，包括自然系統對實際發生氣候變遷影響之調整適應過程，必要時透過適當之人為介入，使其調整適應預期發生之氣候變遷影響。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	調適
Afforestation	造林	通過種植、播種或人為促進天然種子來源，將至少 50 年未植樹造林的土地直接由人為轉變為林地。	CDM terms, Version 11.0 : Glossary	公約 (ETS)
Annex I Parties	附件一締約方	「聯合國氣候變化綱要公約」(The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)將締約方國家進行分類，附件一締約方包括：1992 年加入經濟合作與發展組織 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 之工業化國家，以及經濟轉型國家 (Economies in Transition, EIT)，即前蘇聯為主的國家包含：俄羅斯聯邦、波羅的海國家及幾個中、東歐洲國家。	UNFCCC : Parties & Observers 說明網頁	公約 (一般)

■ B：4 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Blue carbon	藍碳	指沿海(例如紅樹林、鹽沼、海草)和海洋生態系統中活生物體所捕集的碳，並儲存在生物質和沉積物中。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Baseline emissions	基線排放量	基線情景下可能發生的溫室氣體排放量。	CDM terms, Version 11.0 : Glossary	
Baseline scenario	基線情境	在沒有減量專案情況時，會發生的溫室氣體源的人為排放。	CDM terms, Version 11.0 : Glossary	其他
Biomass residue	生質廢棄物	源自植物、動物和微生物的非化石和可生物降解的有機材料，是農業、林業和相關行業的副產品、殘留物或廢棄物。	CDM terms, Version 11.0 : Glossary	盤查 登錄

■ C：20 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Cancun Agreement	坎昆協議	2010 年於墨西哥坎昆召開之聯合國氣候變化綱要公約第 16 次締約方大會 (COP 16)通過坎昆協議，就京都議定書進一步承諾及 UNFCCC 長期合作行動達成一定共識，如：全球 2050 年目標以控制增溫 2°C為主，並將於 2015 年根據科學基礎考量強化未來限制增溫 1.5°C之國際更具企圖心行動。	UNFCCC： Cancun Agreements 說明網頁、1/CP.16 決議文 (FCCC/CP/2010/7/Add.1)	公約
Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)	碳邊境調整機制	由歐盟提出，目的為通過鼓勵非歐盟國家生產者採用綠色生產流程以幫助降低碳洩漏風險，將自 2023 年 10 月起試行，預計於 2026 年正式運作。其運作方式為：歐盟進口商需購買應受管制產品(如：鋼及鐵製品(含重點前驅物及螺絲、螺栓)、鋁、肥料、水泥、氫、進口電力等)基於歐盟境內生產碳排標竿值及本應支付碳成本相應之 CBAM 證書，以符合歐盟碳定價規範水準；若非歐盟生產商可證明其產品生產已於第三方國家支付相應的外顯碳價，則可抵免該費用。就境外生產廠商而言，則負有碳排放盤查與申報之義務，否則將依照歐盟相關產業的排放標竿值予以課徵 CBAM 費率；同時，歐盟進口商亦將可能轉嫁相關碳成本支出於貿易費用上。	European Commission、European Parliament、European Council of the European Union 有關 CBAM 說明網頁	

英文	中文	定義	資料來源	類別
Carbon budget	碳預算	碳預算係指特定時期內溫室氣體排放總量的上限評估的概念包含：1.全球整體碳循環和碳匯評估結果，並由此推算大氣中二氧化碳增長率，稱為「全球碳預算」。包含化石燃料和水泥排放、土地利用變化排放、海洋和陸地碳匯等。2.在全球表面溫度高於基期一定溫度的限制下，以估算全球二氧化碳排放累積量，並考量其他溫室氣體和氣候因子影響。3.考慮公平、成本或效率等因素，將2.中定義的碳預算分配到區域、國家或次國家層面。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Carbon cycle	碳循環	用於描述大氣、水圈、陸地和海洋生物圈及土壤圈中的碳流動，包含各種形式的碳，如二氧化碳、生物質中的碳、及溶解在海洋中的碳(碳酸鹽和碳酸氫鹽)。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Carbon dioxide capture and storage (CCS)	二氧化碳捕集與封存	將二氧化碳從工業和與能源相關產業中分離(捕集)、控制、壓縮，並運至封存地點，使其不排入大氣環境中。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	其他
Carbon dioxide capture and utilisation(CCU)	二氧化碳捕集與利用	將二氧化碳捕集後用於生產新產品。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Carbon dioxide equivalent, CO ₂ e	二氧化碳當量	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質量乘以其全球暖化潛勢計算而得。	ISO14064-1:2018	盤查登錄
Carbon footprint	碳足跡	指產品由原料取得、製造、配送銷售、使用及廢棄處理等生命週期各階段產生之碳排放量，經換算為二氧化碳當量之總和。	IPCC, 2021, Annex I: Glossary. In: IPCC AR6 WGIII.	
Carbon intensity	碳強度	單位變量(如國內生產總值(GDP)、產出能源量等)釋放的二氧化碳(CO ₂)排放量。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	

英文	中文	定義	資料來源	類別
Carbon leakage	碳洩漏	指實施溫室氣體管制，可能導致產業外移至其他碳管制較為寬鬆國家，反而增加全球排碳量之情況。	IPCC, 2021, Annex I: Glossary. In: IPCC AR6 WGIII.	
Carbon neutrality	碳中和	於一範疇內之主體相關的人為二氧化碳排放量與人為二氧化碳移除量相平衡。主題可以是國家、組織、地區或商品等實體，也可以是服務和事件等活動。碳中和通常在生命週期內進行評估，包括間接排放，但也可以限定於特定時期內主體直接控制的碳排放和移除，具體時間由相關計畫確定。	IPCC, 2021, Annex I: Glossary. In: IPCC AR6 WGIII.	
Carbon price	碳定價	為「二氧化碳排放」制定價格之政策工具措施，以降低二氧化碳或其當量排放量。如碳稅或碳排放權交易等的價格。在評估經濟成本的模型中，碳定價多用於作為減緩政策努力過程的經濟手段。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Carbon sequestration	固碳	將碳儲存在碳庫中的過程。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Carbon sink	碳匯	指將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中持續移除後，吸收或儲存之樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Certified emission reduction(CERs)	已驗證減量額度	根據「清潔發展機制」(CDM)規則和要求，依專案活動或行動計畫的溫室氣體減排量發放的單位，等於一公噸 CO ₂ e。	CDM terms, Version 11.0 : Glossary	公約 (CDM)

英文	中文	定義	資料來源	類別
Clean Development Mechanism (CDM)	清潔發展機制	為「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)項下「京都議定書」第 12 條的減緩專案型機制，已開發國家的投資方(政府或公司)，可為開發中國家提供資金以協助溫室氣體的減排或移除，並可得到已驗證減量額度(CER)，可用於已開發國家的減排承諾。建立 CDM 是為了促進實現兩個目標： 1.以低成本高效益的方式促進開發中國家的永續發展。2.實現已開發國家的減排承諾。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	公約 (一般)
Climate neutrality	氣候中和	人類活動對氣候系統沒有淨影響的狀態。為達成此狀態，剩餘排放量與移除量需要達到平衡。並考量人類活動的區域或地區性地球物理效應，例如人類活動影響地表輻射反照率或地區性氣候。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Conference of the Parties (COP)	締約方大會(COP)	「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)的最高決策機構。所有公約締約方均派代表出席締約方大會，審查公約及締約方大會通過的法律文件及執行情況，並作出必要決議，促進公約有效的執行。	UNFCCC： Conference of the Parties (COP) 說明網頁	公約
Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement (CMA)	巴黎協定締約方會議	「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)締約方大會(COP)為《巴黎協定》最高權力機構，並藉由締約方會議 (CMA)，負責監督《巴黎協定》之落實並進行決策促進有效執行；若非為《巴黎協定》的締約方，則仍具備觀察方資格。	UNFCCC： Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement (CMA) 說明網頁	公約
Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol (CMP)	京都議定書締約方會議	「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)締約方大會(COP)為《京都議定書》最高權力機構，並藉由締約方會議 (CMP)，負責監督《京都議定書》之落實並進行決策促進有效執行；若非為「京都議定書」的締約方，則仍具備觀察方資格。	UNFCCC： Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement (CMA) 說明網頁	公約

■ D：3 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Decarbonization	脫碳	國家、個人或其他實體單位以消除人為碳排放為目標的實現過程。通常指減少與電力、工業和運輸相關化石燃料的碳排放。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Direct air carbon capture and storage (DACCS)	周圍空氣直接碳捕存	自環境空氣中捕獲提取二氧化碳之化學過程，亦稱為直接空氣捕存(direct air capture and storage, DACS)。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Doha Amendment to the Kyoto Protocol	京都議定書多哈修正案	2012 年於卡達多哈召開之「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第 18 次締約方大會 (COP 18) 決議通過《京都議定書》第二承諾期為自 2013 年 1 月 1 日開始至 2020 年 12 月 31 日止，締約方第二承諾期目標較 1990 年溫室氣體排放水準削減 18%。	UNFCCC：Doha Amendment to the Kyoto Protocol 說明網頁、1/CMP.8 決議文 (FCCC/KP/CMP/2012/13/Add.1)	公約

■ E：9 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Emissions	排放量	指自排放源排出之各種溫室氣體量乘以各該物質溫暖化潛勢所得之合計量，以 CO ₂ e 表示。	(UNFCCC Article 1.4 (UNFCCC 1992)).	
Emission allowance	排放額度	指進行總量管制時，允許排放源於一定期間排放之額度；以「噸-二氧化碳當量 (t CO ₂ e)」為單位。	世界銀行(The World Bank Group), 2016, APPENDIX A: Glossary. In : Emissions Trading Registries : Guidance on Regulation, Development and Administration.	公約 (ETS)
Emission factor	排放係數	衡量特定過程、燃料、設備或來源排放到大氣中的平均溫室氣體量。	CDM METHODOLOGY BOOKLET	
Emission performance standard	效能標準	指排放源之單位產品、單位原(物)料、單位里程或其他單位用料容許之排放量。	溫管法修法草案第三條第一項第十三款	
Emission Source	排放源	指直接或間接排放溫室氣體至大氣中之單元或程序。	(UNFCCC Article 1.9 (UNFCCC 1992)).、歐盟執委會(European Commission)，EU Grants: InnovFund GHG emission avoidance methodology: V2.0 – 01.11.2022	

英文	中文	定義	資料來源	類別
Emissions Trading	排放交易	以有效方式實現減緩目標的市場手段。將溫室氣體排放最高限額(cap)劃分為可交易的排放許可額度，而這些額度可通過拍賣和免費提供配額這兩種方式分配給在交易方案管轄權之內的實體。各管制對象需要提交等於其排放量的排放許可額度(如若干噸 CO ₂ e)。任一管制對象可將多餘的排放許可額度出售給其他對向像，以更便宜的方式避免排放。交易方案可以發生在公司之間、國內和國際層面。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Energy efficiency	能源效率	能源效率被定義為每單位功率提供的服務的改進。	CDM METHODOLOGY BOOKLET	
Entity	事業	指公司、行號、工廠、民間機構、行政機關(構)及其他經中央主管機關公告之對象。	溫管法修法草案第三條第一項第十一款	
Enhanced Transparency Framework (ETF)	強化透明度架構	基於「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)透明度要求，《巴黎協定》建立強化透明度架構(ETF)。其係賦予各國行動權力以達到全球氣候目標，最遲至 2024 年簽署《巴黎協定》之國家須遵循單一且普遍之透明度流程，ETF 涵蓋《巴黎協定》所有面向議題，蒐集之資訊將提供對於氣候行動與支持之清晰理解，最終並有助全球盤點以檢視《巴黎協定》執行進展。	《巴黎協定》第十三條及 UNFCCC : Moving Towards the Enhanced Transparency Framework 說明網頁	

■ G：5 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Greenhouse Gas (GHG)	溫室氣體	指二氧化碳(CO ₂)、甲烷(CH ₄)、氧化亞氮(N ₂ O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF ₆)、三氟化氮(NF ₃)及其他經中央主管機關公告者。	我國係依聯合國氣候化綱要公約(UNFCCC) 締約國大會決議，將七種溫室氣體納入溫室氣體減量及管理法管制。	盤查 登錄
Greenhouse gas inventory	溫室氣體清冊	溫室氣體源、匯及其溫室氣體排放量及移除量之量化結果清冊。	ISO14064-1:2018	盤查 登錄
GHG reduction	溫室氣體減量	指減少人類活動衍生之溫室氣體排放或增加溫室氣體吸收儲存。	United Nations Framework Convention on Climate Change, Fact sheet: The need for mitigation	
Global Stocktake (GST)	全球盤點	為針對《巴黎協定》執行狀況進行盤點之過程，旨在評估全球實踐協定目的與長期目標之集體進展，《巴黎協定》第一次締約方會議 19/CMA.1 決議概述其模式與投入來源。第一次全球盤點於2023 年完成，其後每五年進行一次盤點。	《巴黎協定》第十三條及 UNFCCC：Global Stocktake 說明網頁、19/CMA.1 決議文 (FCCC/PA/CMA/2018/3/Add.2)	公約
Global warming potential(GWP)	溫暖化潛勢	指單一質量單位之溫室氣體，在特定時間範圍內所累積之輻射驅動力，並將其與二氧化碳為基準進行比較之衡量指標。	溫管法修法草案第三條第一項第五款	

■ I：5 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Inefficient fossil fuel subsidies	低效化石燃料補貼	「無效率化石燃料補貼」係指鼓勵浪費性消費、降低能源安全、阻礙清潔能源資源投資以及破壞因應氣候變遷威脅所付出之努力者。	2009 年 G20 峰會 (G20 Leaders' statement)	
Information to Facilitate Clarity, Transparency, and Understanding (ICTU)	清晰、透明與可理解之資訊	2015 年「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第 21 次締約方大會 (COP 21) 決議要求締約方通訊「國家自定貢獻」(NDC) 應提供清晰、透明與可理解之必要資訊，此後並以建議格式作為各締約方通訊 NDC 內容之規範。	《巴黎協定》第四條第八項及 2016 年摩洛哥馬拉喀什 COP22 會議中 4/CMA.1 決議文	公約
Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)	國家自定預期貢獻	基於 2013 年「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第 19 次締約方大會及 2014 年第 20 次締約方大會有關 1/CP.19 與 1/CP.20 決議，各締約方應進一步談判新氣候協議草案的要素，考慮在減緩、調適、資金、技術發展與轉移、能力建構、行動和支援透明度等方面的工作；並邀請締約方在上述背景下，以清晰、透明與可理解之方式準備「國家自定預期貢獻」(INDC)工作，在 2015 年第一季前提報秘書處，俾利 COP21 召開前完成作業。各締約方於陸續簽署、批准加入《巴黎協定》後，大多將 INDC 轉為「國家自定貢獻」(NDC)。	UNFCCC：Intended Nationally Determined Contributions (INDCs) 說明網頁、1/CP.19 決議文 (FCCC/CP/2013/10/Add.1)	公約

英文	中文	定義	資料來源	類別
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	政府間氣候變遷委員會 (IPCC)	為附屬於聯合國之下的跨政府組織，在1988年由世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)、聯合國環境署(United Nations Environment Programme, UNEP)合作成立。IPCC 結合來自世界的科學家，共同提供客觀且中立的氣候變遷科學報告，其中包括氣候變遷趨勢、目前的研究程度，以及氣候對環境與社會經濟之潛在衝擊等。該會會員限於世界氣象組織及聯合國環境署之會員國。	IPCC：History of the IPCC 說明網頁	公約 (一般)
Internationally Transferred Mitigation Outcomes (ITMOs)	國際間轉讓減緩成果	用以衡量《巴黎協定》第六條跨國自願合作規定下市場制度溫室氣體減緩成果之轉移標的；其可使用噸-二氧化碳當量(t CO ₂ e)為計量方式，亦接受其他單位的轉移模式(如：綠電的 GWh)，惟需在相關透明度報告中予以載明呈現。	UNFCCC decision 1/CMA.3 (FCCC/PA/CMA/2021/L.18)	公約

■ J：2 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Joint Crediting Mechanism (JCM)	聯合抵換額度機制	由日本自 2013 年起陸續建立之雙邊合作制度，其參考《京都議定書》之「清潔發展機制」(CDM)以定量方式適當評估日本對溫室氣體減量或移除之貢獻，以建立雙邊「聯合委員會」(joint committee)的方式與地主國進行減量合作，並將其用於實現日本之減量目標。JCM 預期於 2025 年達到 30 個夥伴國家，並於 2030 年創造符合《巴黎協定》第六條第二項合作方法要項之 1 億噸減量額度。	Ministry of Foreign Affairs of Japan	公約
Just Transition	公正轉型	在尊重人權及尊嚴勞動之原則下，向所有因應氣候變遷轉型及氣候政策受影響之社群進行諮詢，並協助產業、地區、勞工及消費者穩定轉型。	溫管法修法草案第三條第一項第十款	

■ K：2 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Katowice Climate Package	卡托維茲氣候包裹決議	又稱「巴黎協定 - 卡托維茲規則書」(Paris Agreement Katowice Rulebook)，為 2018 年波蘭卡托維茲締約方大會(COP24)中通過有關《巴黎協定》深入的技術性談判協議與執行指導。內涵包括：「國家自定貢獻」(NDC)要項、因應氣候衝擊的努力、透明度架構、氣候資金、全球盤點的工作等規則書項目，並於 2021 年起《巴黎協定》開始執行後啟動。	UNFCCC：The Katowice climate package: Making The Paris Agreement Work For All 說明網頁、1/CP.24 決議文 (FCCC/CP/2018/10/Add.1)	公約

英文	中文	定義	資料來源	類別
Kyoto Protocol	京都議定書	為 1997 年 12 月在日本京都所召開「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第三次締約方會議(COP3)所制定。主要目地為「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水平(以 1990 年的排放量為參考值)，以維持全球環境之永續發展。規則書則於 2007 年完成於摩洛哥馬拉喀什 COP7 會議，並於 2008 至 2012 年導入第一承諾期；2012 年卡達多哈 COP18 會議完成「多哈修正案」以導入 2013 至 2020 年的第二承諾期。	UNFCCC： What is the Kyoto Protocol 說明網頁	公約 (一般)

■ L：3 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Land Use, Land-use Change & Forestry (LULUCF)	土地利用、土地利用變化及林業	清冊部門之一，涵蓋人為直接造成之土地利用、土地利用變化與森林活動所導致之溫室氣體排放或移除。	UNFCCC Glossary	公約 (一般)
Least Developed Countries (LDC)	最低度開發國家	為因應永續發展面臨嚴重結構性障礙之低收入國家，其容易受到經濟與環境衝擊影響，且人力資產水平較低，由聯合國發展政策委員會(CDP)、大會(GA)、社經理事會(ECOSOC) 每三年定義、認定相關國家資格。	UN： LDC Identification Criteria & Indicators 說明網頁	
Long-term Low Emissions and Development Strategies (LT-LEDS)	長期低排放發展策略	《巴黎協定》第四條第十九項要求各締約方應考量其國情條件，基於共同但有區別責任，及相應能力，籌備並通訊其長期低排放發展策略(即約為 2045 至 2060 年為目標的長期策略)，或簡稱為「長期策略」(Long-term Strategies)。	「巴黎協定」第四條及 UNFCCC： Long-term strategies portal 說明網頁	

■ M：2 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Measurement, reporting and verification (MRV)	盤查方法原則	指彙整、計算及分析排放量或碳匯量之作業原則。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Modalities, Procedure and Guidance (MPGs)	模式、程序與指引	依據卡托維茲氣候包裹決議附件(Annex to decision 18/CMA.1)，為針對《巴黎協定》第十三條針對透明度架構之行動與支持之「模式、程序與指引」，並基於八項有關申報資訊、技術專家審議、制度轉型安排、多方程序考量的指導原則。	UNFCCC： Guiding principles for MPGs 說明網頁	

■ N：11 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
National communication	國家通訊	指「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)締約方呈現因應氣候變遷政策成果之重要國家報告，亦為締約國應向公約秘書處提交資訊之主要義務。附件一締約方(主要為工業化國家)依據9/CP.16 決議負有每四年遞交一次的義務；而非附件一締約方應於進入「聯合國氣候變化綱要公約」三年後遞交初版國家通訊，之後亦為每四年提交一次，但為鼓勵性質。	UNFCCC： Preparation of NCs and BRs 及 National Communication submissions from Non-Annex I Parties 說明網頁	公約 (一般)
National Adaptation Plans(NAP)	國家調適計畫	指基於「坎昆調適架構」(Cancun Adaptation Framework)，由各締約方鑑別、發布之「國家調適計畫」(NAP)提交規範，並針對最低度開發國家(LDCs)提出奠定基礎、前期準備、策略執行及報告、監測與檢核等 4 個元素作為國家調適計畫制定與執行建議，提供專業、技術及經費等支援。	UNFCCC： National Adaptation Plans 說明網頁	
Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs)	國家適當減緩行動	根據卡達多哈締約方會議(COP18)結果，開發中國家締約方將在永續發展的背景下採取符合國情的「國家適當減緩行動」(NAMAs)，上開減緩行動係指開發中國家任何減緩排放的行動應由國家倡議、制訂，可針對經濟部門內部轉型政策，或是跨部門的重點行動，並尋求技術、資金與能力建構上的支持，以對應相較基礎情境下的 2020 年減緩目標。NAMAs 有兩個主要範疇，包括國家層級行動，以及有助於達成國家目標的本國個別行動。	UNFCCC： Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) 說明網頁	公約 (一般)

英文	中文	定義	資料來源	類別
National Inventory Report (NIR)	國家清冊報告	「聯合國氣候變化綱要公約」要求附件一締約方每年 4 月 15 日前提交其年度溫室氣體清冊，包括能源；工業製程及產品使用；農業；土地利用、土地利用變化及林業與廢物等五個部門，從基準年(或期間)到清冊提交前兩年的所有年份(例如 2022 年 4 月 15 日提交的清冊涵蓋從基準年到 2020 年的所有年份的排放量和清除量)。清冊應包括透明化文件及數據，使讀者能夠理解排放量統計的基本假設與計算，例如參考資料、資訊來源、數據來源、編撰清冊制度，及與前一版清冊相比的重新計算與變動之說明。	UNFCCC： National Inventory Submissions 網頁	公約 (國家清冊)
Nationally Determined Contribution (NDC)	國家自定貢獻	2015 年「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第 21 次締約方大會 (COP 21)上通過《巴黎協定》決議，自各個締約方提交批准文書後，其原提交之 INDC 因此產生正式之效力，並轉為「國家自定貢獻」(NDC)。依《巴黎協定》第四條要求各締約方應通訊及持續維持其 NDC 承諾，致力藉由國內減量措施達到其承諾目標之貢獻。	UNFCCC： Nationally Determined Contribution (NDC) 說明網頁	公約
Nature based Solution(NbS)	以自然為本的解決方案	為 2009 年首次由世界銀行及國際自然保育聯合會(IUCN)共同提出，指能保護、永續管理和恢復自然或改良生態系統的行動，期能有效與調適地應對社會挑戰，同時提供人類福祉和生物多樣性效益。以解決重大社會挑戰為目標，包含糧食安全、氣候變遷、水安全、人類健康、災害風險、社會和經濟發展、環境惡化與生物多樣性流失等。	UNFCCC： Back to Nature 說明網頁	

英文	中文	定義	資料來源	類別
Non-Annex I Parties	非附件一締約方	「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC) 將締約方國家進行分類，非附件一締約方多為開發中國家，尤其某些容易受氣候變遷負面影響之脆弱國家，包含沿海低窪地區以及容易發生沙漠化及乾旱之國家，以及其他如高度依賴化石燃料生產與經濟活動、容易受氣候變遷因應措施(Response Measures, RM)影響產生潛在衝擊之國家。	UNFCCC : Parties & Observers 說明網頁	公約 (一般)
Non-Market based Approaches	非市場方法	根據《巴黎協定》第六條對於藉由合作方法落實目標之作法，除市場制度外，亦建立「非市場方法」(NMA)，以不涉及任何減緩成果的轉移達成各國 NDC 目標之達成。非市場方法著重氣候政策方面之合作，包含：如碳定價、碳稅等財政措施；2021 年 COP26 會議於「非市場方法架構」下成立工作計畫，並藉由「格拉斯哥非市場方法委員會」(Glasgow NMA Committee) 探索適用、可行的非市場方法，並著手建立 NMA 網絡平台。	UNFCCC : What are Market and Non-Market Mechanisms? 及 Cooperative Implementation 說明網頁	公約
Negative emissions	負排放	藉由人類活動移除大氣中的溫室氣體，不包含自然碳循環過程中移除的量。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Net negative emissions	淨負排放	藉由人類活動使得大氣中的溫室氣體移除量大於排放量，而達成淨負排放狀態。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	
Net zero emissions	淨零排放	指溫室氣體排放量與碳匯量達成平衡。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	

■ P：2 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Paris Agreement	巴黎協定	2015 年「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第 21 次締約方大會(COP21)通過《巴黎協定》，目標將全球暖化於本世紀末前控制於相較工業化前上升 2°C 之內，並致力控制於 1.5°C，並自 2021 年起施行，為首次聯合所有國家共同努力，以應對氣候變遷之具有法律約束力之協定。	UNFCCC： Paris Agreement 說明網頁	公約
Pathways	路徑	自然和/或人類系統向未來狀態的時間演化。路徑概念的範圍從一組定量和定性場景或潛在未來的敘述到以解決方案為導向的決策過程，以實現理想的社會目標。路徑方法通常側重於生物物理學、技術經濟和/或社會行為軌跡，並涉及不同規模的各種動態、目標和參與者。	IPCC, 2021: Annex I: Glossary. In: IPCC AR6 WGIII.	

■ R：4 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Reduction credit	減量額度	指事業及各級政府執行溫室氣體自願減量專案取得之額度。	世界銀行(The World Bank Group), 2016, APPENDIX A: Glossary. In : Emissions Trading Registries : Guidance on Regulation, Development and Administration.	
Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+)	毀林及森林劣化排放溫氣體之減量	其概念始於 2005 年加拿大蒙特婁 COP11 會議，並於 2007 年 COP13 的峇里行動計畫中予以凸顯，旨在努力為森林碳儲存創造金融價值，激勵發展中國家減少林地排放，並為投資低碳永續發展路徑。因此，這也是一種藉由避免毀林以實現減緩的機制。REDD+增加納入森林保護和森林永續管理等活動，以提高森林碳儲存的作用。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	公約 (一般)
Reforestation	植林	通過種植、播種或人為促進天然種子來源在已轉變為非林地的林地上，直接將非林地轉變為林地。	Glossary、CDM terms Version 11.0	

英文	中文	定義	資料來源	類別
Response Measures (RM)	因應措施	締約方在履行「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)承諾時，應充分考慮開發中國家因實施「因應措施」的影響而產生的具體需求和關切。《京都議定書》要求盡量減少對其他締約方的不利經濟、社會和環境影響，特別是開發中國家。「因應措施」遂於峇里路徑、坎昆協定與德班平台等協商中予以強化著墨。在《巴黎協定》中規定，締約方在執行協定時應考慮經濟受因應措施影響最嚴重的締約方，特別是開發中國家。因此「氣候公約」、《京都議定書》和《巴黎協定》力求將實施緩解政策和行動的負面影響降至最低，並將正面影響最大化，並評估、分析、處理和報告這些跨界環境、社會和經濟影響。	UNFCCC : Response Measures 說明網頁	

■ S：4 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Science Based Targets initiative (SBTi)	科學基礎目標倡議	以科學基礎之目標，使企業可根據氣候模型產出之全球排放預算，付出與目標一致之減量努力，為「國際碳揭露計畫」(Carbon Disclosure Project, CDP)、聯合國全球聯盟(UN Global Compact)、世界資源研究所(World Resources Institute)與世界自然基金會(World Wide Fund for Nature, WWF)合夥，建立相關方法與工具以支持企業依此目標設定並規劃相關工作。	UNFCCC : Science-Based Targets Initiative - Driving Bold Business Climate Action 新聞網頁	
Social cost of carbon (SCC)	碳的社會成本	多排放一噸 CO ₂ 所造成總氣候損害的淨值，取決於全球排放變化軌跡。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	

英文	中文	定義	資料來源	類別
Subsidiary Body for Implementation (SBI)	附屬履行機構	負責「聯合國氣候變化綱要公約」及《京都議定書》和《巴黎協定》下涉及執行議題之相關工作，其任務依據氣候協議之履行形塑核心項目，包含透明度、減緩、調適、資金、技術與能力建構等，致力強化各締約方於各個面向之企圖心。	UNFCCC： Subsidiary Body for Implementation (SBI) 說明網頁	公約 (一般)
Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA)	附屬科學與技術諮詢機構	負責「聯合國氣候變化綱要公約」及《京都議定書》和《巴黎協定》下，提供相關締約方會議有關科學與技術上即時資訊與建議，主要工作領域包含氣候變遷影響、減量方法學、科學觀測、氣候資金、調適、促進無害環境之技術發展與移轉、能力建構，以及改進籌備與檢視排放清冊指引之相關技術工作，SBSTA 於專家科學資訊與締約方會議之政策需求間扮演重要角色。	UNFCCC： Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) 說明網頁	公約 (一般)

■ T：1 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Technology development and transfer	技術發展與移轉	基於開發中國家對於取得並部署減緩及調適技術，所需有關技術資金、強化技術研究與發展之組織與人才資源，以及能力建構等面向之支持，「氣候公約」及項下《巴黎協定》第十條就技術與資金及能力建構事項建構「技術機制」與連結「資金機制」及「巴黎能力建構委員會」，並藉由「技術執委會」(TEC)及「氣候技術中心與網絡」(CTCN)加速擴大對於開發中國家氣候技術的發展與移轉；並擬藉由《巴黎協定》第六條的跨國間自願合作之公私協力加速其運作。	UNFCCC： What is technology development and transfer? 說明網頁	公約

■ U：1 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)	聯合國氣候變化綱要公約	於 1992 年 5 月 9 日在紐約通過，並在同年的里約地球高峰會由 150 多個國家及歐洲共同體進行簽署，再於 1994 年 3 月 21 日生效，其終極目標為「使大氣中的溫室氣體濃度保持穩定於一定的水準，確保氣候系統免受危險的人為干擾」，UNFCCC 於 1995 年在德國柏林召開第一次締約方大會(COP1)，全球並區分五大區域輪流主辦締約方大會；目前已經有 198 個締約方。	UNFCCC： What is the United Nations Framework Convention on Climate Change? 說明網頁	公約 (一般)

■ V：1 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
vulnerability	脆弱度	指受到不利影響的傾向或導向。脆弱度包括各種概念和要素，包括對傷害的敏感性或易感性以及缺乏應對和應對的能力調適。	IPCC, 2018, Global Warming of 1.5 °C Special Report: Glossary	

■ W：1 項

英文	中文	定義	資料來源	類別
Warsaw International Mechanism for Loss and Damage associated with Climate Change Impacts (WIM)	華沙國際損失與損害機制	2013 年聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第 19 次締約方大會(COP 19)決議，建立「華沙國際損失與損害機制」(WIM for L&D)，用以解決特別脆弱且易受氣候變遷影響之開發中國家的損失與損害問題。「巴黎協定」將損失與損害納入第八條條文，由華沙國際損失與損害機制委員會負責當中的工作事項執行。2019 年聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第 25 次締約方大會(COP25)成立「聖地牙哥損失與損害網絡」(Santiago Loss & Damage Network)專責建置知識分享與經驗學習之望落；2022 年聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)第 27 次締約方大會(COP27)則通過「損失與損害基金」(Loss & Damage Fund)，以強化對於脆弱受害國家的支援。	UNFCCC： Warsaw International Mechanism for Loss and Damage associated with Climate Change Impacts (WIM) 說明網頁	公約

99 年溫室氣體專用名詞手冊

英文	中文	類別
Accredited Independent Entities (AIEs)	已認證獨立機構	公約(JI)
Accuracy	準確性	盤查登錄
Additionality	外加性	公約(ETS)
Applicant entity(AE)	申請機構	公約(CDM)
Assigned Amount Unit(AAU)	配額單位	公約(一般)
Audit	稽核	公約(國家清冊)
Baseline	基線	其他
Business As Usual(BAU)	基線情境	公約(JI)
Cap and trade	總量管制與排放交易	公約(ETS)
CDM Executive Board(EB)	清潔發展機制執行委員會	公約(CDM)
Clarification request(CL)	澄清要求	公約(ETS)
Completeness	完整性	盤查登錄
Conservativeness	保守性	盤查登錄
Consistency	一致性	盤查登錄
Designated National Authorities (DNA)	指定國家機構	公約(CDM)
Designated Operational Entity (DOE)	指定作業機構	公約(CDM)
Direct greenhouse gas emission (Scope 1)	直接排放溫室氣體(範疇 1)	盤查登錄
Directed actions	管控措施	盤查登錄
Early action	先期行動	其他
Emission Reduction Unit (ERU)	排放減量單位	公約(JI)

英文	中文	類別
Energy indirect Greenhouse gas emission (Scope 2)	間接能源排放溫室氣體(範疇 2)	盤查登錄
Equity share	股權持分	盤查登錄
Estimation uncertainty	估計不確定性	其他
Facility	設施	其他
Forward Action Request(FAR)	後續行動要求	公約(CDM)
Fugitive emissions	逸散性排放	盤查登錄
Greenhouse gas activity data	溫室氣體活動數據	盤查登錄
Greenhouse gas assertion	溫室氣體主張	查驗證
Greenhouse gas emission or removal factor	溫室氣體排放或移除係數	其他
Greenhouse gas emissions	溫室氣體排放(量)	盤查登錄
Greenhouse gas emission removal enhancement	溫室氣體移除增量	其他
Greenhouse gas information system	溫室氣體資訊系統	盤查登錄
Greenhouse gas programme	溫室氣體方案	其他
Greenhouse gas removal	溫室氣體移除(量)	其他
Greenhouse gas reservoir	溫室氣體庫	盤查登錄
Greenhouse gas sink	溫室氣體匯	盤查登錄
Greenhouse gas source	溫室氣體源	盤查登錄
GHG capture	溫室氣體捕集	其他
GHG project	溫室氣體專案	其他
Intended user	預期使用者	盤查登錄
Intensity ratios	密集度比值	其他
Intensity target	密集度目標	其他
International Transaction Log (ITL)	國際交易誌	公約(ETS)
Inventory	盤查	盤查登錄
Joint Implementation(JI)	共同履行(履約)	公約(JI)
Letter of Approval(LoA)	核准函	公約(CDM)
Level of assurance	保證等級	查驗證

英文	中文	類別
Limited level of assurance	有限保證等級	查驗證
Material discrepancy	實質差異	查驗證
Materiality	實質性	查驗證
Materiality threshold	實質性門檻	查驗證
Methodology	減量方法	公約(CDM)
Mitigation	減緩	其他
Multilateral recognition arrangement (MLA)	多邊承認協議	其他
Offset	抵換(量)	其他
Operational boundary	營運邊界	盤查登錄
Organizational boundary	組織邊界	盤查登錄
Other indirect greenhouse gas emission (Scope 3)	其他間接排放溫室氣體 (範疇 3)	盤查登錄
Parameter uncertainty	參數不確定性	其他
Primary effect	主效應	其他
Process emissions	製程排放(量)	盤查登錄
Project Design Document (PDD)	專案設計文件	公約(CDM)
Proponent	提案者	其他
Quantification standard	量化標準	其他
Reasonable level of assurance	合理保證等級	查驗證
Registry	登錄	盤查登錄
Relevance	相關性	盤查登錄
Removal unit (RMUs)	移除單位	公約(CDM)
Renewable energy	再生能源	其他
Reversibility of reductions	減量的可逆性	其他
Rolling base year	滾動式基準年	盤查登錄
Scientific uncertainty	科學不確定性	其他
Secondary effects	次效應	其他

英文	中文	類別
Sectoral approach	部門別處理	公約(一般)
Significance threshold	顯著性門檻	盤查登錄
Stakeholder	權益相關者	盤查登錄
Stationary combustion	固定燃燒	盤查登錄
Structural change	結構性變化	盤查登錄
Transparency	透明度	盤查登錄
Uncertainty	不確定性	其他
Validation	確證	查驗證
Validation criteria	確證準則	查驗證
Validation statement	確證聲明	查驗證
Validator	確證者	查驗證
Verification	查證	查驗證
Verification criteria	查證準則	查驗證
Verification statement	查證聲明	查驗證
Verifier	查證者	盤查登錄
Voluntary Carbon Standard (VCS)	自願碳標準	其他

附件十二 海南文昌、昌江紅樹林復育專案

一、計畫緣起

「海南文昌、昌江紅樹林復育專案」位於海南島北部文昌市東閣鎮、文教鎮、東郊鎮、文城鎮、舖前鎮、金山鎮沿海地區，海南島西部長江黎族自治縣珠碧江口。專案發起單位為自然資源部第三海洋研究所(Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources，簡稱「TIO-MNR」)和 SEE Foundation.。

由於未適當保護和過多人為干擾，專案區紅樹林資源自 1950 年起遭到嚴重破壞，海南省紅樹林總面積於 1950 年為 9,992 公頃，於 1998 年減少至 4,772 公頃，該專案旨在通過於退化的紅樹林生態系統上植樹來增加碳固存，並為當地可持續發展做出貢獻。

為保護及可持續管理和復育紅樹林資源，1981 年建立了自然保護區，根據「海南省紅樹林保護條例」自然保護區內不得進行池塘養殖和圍墾，但當地漁民仍進行海水養殖，造成水污染、土壤擾動等人類活動破壞紅樹林的復育，專案通過海灘紅樹林人工造林，擴大了紅樹林面積，提高紅樹林品質，有效保護紅樹林生態系統，保護紅樹林種資源和珍稀瀕危野生動物資源。同時，該專案實施亦提高紅樹林防風浪、防淤護灘、固岸護堤、防災減災等生態功能，保障人民生命財產安全。

此專案目標包含如下：

- (一) 氣候：通過種植多種原生紅樹林，恢復當地退化的紅樹林生態系統，增加森林覆蓋率，建立健康的當地生態經濟系統。植樹造林專案實施將有助溫室氣體排放清除，該專案預計於 40 年內清除 186,884 噸二氧化碳排放量(tCO₂e)，年均溫室氣體移除量為 4,672 噸(tCO₂e)。
- (二) 社區：紅樹林的建立可以有效抵禦颱風和風暴，保護當地居民的生命財產安全。該專案保護海南島最早居民(黎族)賴以生存的紅樹林生態系統，有利於保護和弘揚黎族傳統習俗文化，並改善當地漁民生活，提供永久和臨時就業機會，增加漁民的收入。

(三) 生物多樣性：紅樹林種植面積共 352.89 公頃，分為紅樹科 (*Rhizophoraceae*)、非紅樹科紅樹林 (*Non-Rhizophoraceae mangrove*) 及半紅樹林 (*Semi-mangrove*) 三類，包括紅海欖 (*Rhizophora stylosa*)、正紅樹 (*Rhizophora apiculata*)、水筆仔 (*Kandelia candel*)、木欖 (*Bruguiera gymnorhiza*)、海蓮 (*Bruguiera sexangula*)、紅蕊紅樹 (*Ceriops tagal*)、桐花樹 (*Aegiceras Corniculatum*)、白骨壤 (*Avicennia marina*)、總狀樹 (*Lumnitzera racemose*)、巴戟天 (*Morinda citrifolia*) 和水黃皮 (*Pongamia pinnata*)，這些為動物，特別是主要生活在紅樹林中的瀕危鳥類提供了更合適的棲息地。

二、 專案區域位置

該專案位於中國海南省文昌市及昌江黎族自治縣，地理坐標為東經 108°38′ 至 111°03′，北緯 18°53′ 至 20°10′ 之間(如圖 1 所示)，根據「氣候、社區和生物多樣性標準(CCB 標準)」(The Climate, COmmunity and Biodiversity Standards, CCB Standards)，文昌市和昌江黎族自治縣被定義為專案區域，其邊界及範圍如圖 2 所示。



圖 1 海南文昌、昌江紅樹林復育專案區域位置

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.



圖 2 海南文昌、昌江紅樹林復育邊界及範圍圖

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

三、 永續發展目標

為解決氣候變遷、經濟成長、社會平權、貧富差距等問題，聯合國（United Nations）於 2015 年 9 月 25 日通過「2030 永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）」，包含 17 項 SDGs 目標，海南文昌、昌江紅樹林復育專案實施，有助於實現如下目標(如表 1 所示)。

表 1 海南文昌、昌江紅樹林復育專案實施之永續發展目標

目標	說明
	所有參與紅樹林種植、苗木運輸的員工工資為 200-400 人民幣（29.00-58 美元）/天；監工每月的工資約為 3,000 人民幣（434.99 美元）；來自當地貧困家庭的婦女和弱勢群體不僅獲得了平等的機會，而且有意識地確保他們能夠成為專案的一部分，這些措施可以提高當地居民的收入，減少貧困。
	專案參照「中華人民共和國勞動法」，因地制宜，保障勞動者的健康和 safety。工人健康和 safety 政策包括提供工傷事故健康保險計劃和疏散計劃等項目，並由當地自然資源規劃局和林業局實施。
	專案實施期間，約有 3,112 名當地居民參與了專案活動，其中 1,980 名是婦女，通過接受紅樹林種植和管理技能的培訓，並與其他員工一起參與社區活動，女性比只做家務可以獲得更多的幸福感，有助於增強婦女權能，並建設社區在性別和紅樹林管理方面的能力。
	專案目的是通過種植紅樹林來復育退化的紅樹林生態系統，通過增加土壤有機質或避免土壤退化，達到溫室氣體減量，減輕氣候變化對當地生態環境的影響。
	專案在沿海地區種植紅樹林，有助於恢復沿海棲息地並保護海洋生物(如魚類、貝殼和其他底棲生物)。

目標	說明
	專案可以提高紅樹林植被的質量和數量，並為鳥類提供更多的棲息地，從而加強生物多樣性保護。

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

四、 專案期程

根據 VCS 標準(版本 4.3)，專案開始日期係指實施導致溫室氣體排放減少或減量的活動日期，此專案開始日期為 2021 年 5 月 3 日(開始種植)，專案計算週期為 2021 年 5 月 3 日至 2061 年 5 月 2 日，有效期為 40 年，與 CCB 效益評估期相同，整體專案期程如表 2 所示。

表 2 海南文昌、昌江紅樹林復育專案期程

日期 (西元年/月/日)	里程碑
2020/07	專案設計(含基線氣候調查報告)完成。
2020/05/11	生物多樣性基線調查完成。
2020/11/30	社區基線調查完成。
2021/03/05	開始種植(計算週期開始日期)。
2023/08	2023 年 8 月完成全部紅樹林種植。

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

五、 溫室氣體移除量估算

植樹造林專案實施將有助溫室氣體排放清除，該專案預計於 40 年內清除 186,884 噸二氧化碳排放量(tCO₂e)，年均溫室氣體移除量為 4,672 噸(tCO₂e)(如表 3 所示)。

表 3 海南文昌、昌江紅樹林復育專案歷年溫室氣體移除量估算

年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估算 (tCO _{2e})
1	2,449	11	4,829	21	4,829	31	4,829
2	3,807	12	4,829	22	4,829	32	4,829
3	4,114	13	4,829	23	4,829	33	4,829
4	4,216	14	4,829	24	4,829	34	4,829
5	4,318	15	4,829	25	4,829	35	4,829
6	4,420	16	4,829	26	4,829	36	4,829
7	4,523	17	4,829	27	4,829	37	4,829
8	4,625	18	4,829	28	4,829	38	4,829
9	4,727	19	4,829	29	4,829	39	4,829
10	4,829	20	4,829	30	4,829	40	4,829
溫室氣體移除量總計估算(tCO _{2e})							186,884
計算週期(年)							40
年均溫室氣體移除量							4,672

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

六、 應用方法

(一)VCS 方法和模組

1. VM0033 潮汐濕地和海草復育方法 2.0 版(VM0033 Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration v2.0)。
2. VMD0019 預測未來情境方法 1.0 版(VMD0019 Methods to Project Future COnditions v1.0)
3. VMD0052 潮汐濕地復育和保護專案活動的外加性驗證 2.0 版 (VMD0052 Demonstration of Additionality of Tidal Wetland Restoration and COnservation Project Activities v2.0)

(二)CDM 方法和工具

1. 綜合工具用於確定基線情況和證明 A/R CDM 專案活動的外加性 1.0 版(Combined Tool to Identify the Baseline Scenario and Demonstrate Additionality in A/R CDM Project Activities (Version 1.0))A/R CDM Project Activities (Version 04.2)。
2. 估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳存量和碳存量變化 04.2 版(Estimation of Carbon Stocks and Change in Carbon Stocks of Trees and Shrubs in A/R CDM Project Activities (Version 04.2))。
3. 證明相對關係式在 A/R CDM 專案活動中估算地上樹木生物量的適當性 01.0.0 版 (Demonstrating Appropriateness Of Allometric Equations For Estimation Of Aboveground Tree Biomass in A/R CDM Project Activities (Version 01.0.0))。

七、 專案邊界

(一)時間邊界

因專案區域不涉及泥炭地，因此不計算泥炭耗竭時間(Peat depletion time, PDT)。基線情境之土壤有機碳耗竭時間(Soil Organic Carbon Depletion Time, SDT)為可能的時間邊界，這將限制專案有效主張活動產生的去除量的持續時間。對於未量化基線削減量的專案（即僅限於生物質和/或土壤中 GHG 削減量的計算），無需估算 SDT。地理邊界

1. 專案邊界

專案邊界為海南省文昌市和昌江黎族自治縣的行政邊界。

2. 分層

(1) 基線情境分層

專案區域土壤為濱海砂土，不包括有機土及泥炭土，且礦質土土壤有機碳（Soil Organic Carbon, SOC）含量較低，此種土壤特徵無法為地層區分提供依據。專案實施前，當地生態系統退化，養殖碳庫塘廢棄多年，退化的紅樹林棲息地幾乎完全沒有任何植被，因此，植被覆蓋不會產生地層。

經評估，專案區域未來不會受到海平面上升的影響。因此，基線情景沒有分層。

(2) 專案情境分層

i. 分層關鍵參數

由於專案區域種植的紅樹林種類和密度不同，累積生物量也不同，因此專案分層主要根據植被類型和種植密度進行(如表 4 所示)。

表 4 海南文昌、昌江紅樹林復育專案情境分層

種類	樹種	種植年	面積(公頃)	分層
紅樹科 (<i>Rhizophoraceae</i>)	紅海欖(<i>Rhizophora stylosa</i>)、 正紅樹(<i>Rhizophora apiculata</i>)、	2021 年	170.72	1
紅樹科 (<i>Rhizophoraceae</i>)	水筆仔(<i>Kandelia candel</i>)、 木欖(<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)、 海蓮(<i>Bruguiera sexangula</i>)、 紅蕊紅樹(<i>Ceriops tagal</i>)	2022 年	115.67	2
非紅樹科紅樹林 (<i>Non-Rhizophoraceae mangrove</i>)	桐花樹(<i>Aegiceras Corniculatum</i>)、 白骨壤(<i>Avicennia marina</i>)、 總狀樹(<i>Lumnitzera racemose</i>)	2021 年	50.04	3
半紅樹林 (<i>Semi-mangrove</i>)	巴戟天(<i>Morinda citrifolia</i>)、 水黃皮(<i>Pongamia pinnata</i>)	2021 年	16.46	4

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

i. 鹽度分層用於計算甲烷 (Stratification of Salinity for the Accounting of CH₄)

專案情境中來自土壤之甲烷排放以保守方式忽略不計，因為專案情境下的甲烷排放量與基線情境相比沒有增加。

3. 專案邊界和海平面上升

根據中國自然資源部 2022 年 4 月發布的「2021 年中國海平面公報」，1980 年至 2021 年間，海南島西部東方市海平面上升率為每年 3-4 毫米，海口市海平面上升率為每年 4-5 毫米，預計未來 30 年海南沿海海平面將上升 0.9-1.9m，即未來海南島周邊海平面上升速度與過去幾十年相似。雖然這兩個專案區域都沒有基於土壤增生率現場測量的文獻數據，但專案認為未來海平面上升不會導致專案區域紅樹林的消失，這是因為天然紅樹林的臨海邊界在過去幾十年裡一直保持穩定，甚至可以延伸。最近在與文昌相鄰的海口市東寨港紅樹林中進行的一項研究，測量到地表增生率為每年 13.3-57.9 毫米和地表高程變化率為每年 7.9-35.5 毫米，高於海平面上升速度率，因此，推測海平面上升不會導致紅樹林覆蓋範圍的喪失。

4. 不符合條件的濕地區域

對於量化 CO₂ 削減量的專案，如果在專案開始後的 100 年內，專案邊界在累積碳損失方面未能達到顯著差異（≥ 5%），則不符合基線排放減少的認證資格，而這些區域必須進行繪製。

該專案沒有聲稱由於恢復活動而避免了土壤排放(停止損失)，因此，無需評估 100 年專案和基線情境之間土壤有機碳（Soil Organic Carbon, SOC）儲量的差異。

5. 緩衝區

根據所應用的方法 VM0033(2.0 版)，依照 VCS 規定，必須對建立的緩衝區進行地圖繪製。

專案區域位於廢棄的水產養殖池塘內，該池塘已取消任何養殖活動，通過在專案區域開放池塘實現潮汐連通。根據 VCS 規則第 3.10.4 節，它與陸地上其他濕地不具有水文連通性，僅與鄰近海水保持潮汐連通性，

復育工程不會改變專案區域潮汐連接，即不會對專案區域水文產生負面影響，導致溫室氣體排放大幅增加。專案所在區域滿足 VCS 規則第 3.10.4 條第(2)條規定。因此，本專案不涉及建立緩衝區。

八、 碳庫(Carbon Pools)

專案邊界內所包含和排除的碳庫，彙整如表 5 所示。

表 5 海南文昌、昌江紅樹林復育碳庫的選擇與原因

碳庫	是否包含	原因/說明
地上樹木生物量 (Aboveground tree biomass)	是	包含基線情境下的地上樹木生物量。 包含專案情境下的地上樹木生物量。
地上非樹木生物量 (Aboveground non-tree biomass)	否	專案啟動前，專案區域無活的非林木植物。
地下部生物量 (Below-ground biomass)	是	包含基線情境下的地下部生物量。 包含專案情境下的地下部生物量。
枯落物 (Litter)	否	此碳庫在 WRC 方法中是可選擇的。
枯木 (Dead wood)	否	此碳庫在 WRC 方法中是可選擇的。
土壤 (Soil)	是	包含基線情境下的土壤有機碳存量。 包含專案情境下的土壤有機碳存量。
木製品 (Wood products)	否	與基線情境無關，故在專案情境中以保守方式忽略不計。

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

九、 溫室氣體的來源

專案邊界內所包含和排除的溫室氣體，彙整如表 6 所示。

表 6 海南文昌、昌江紅樹林復育專案邊界內包含或排除的溫室氣體來源

來源	氣體	是否包含	原因/說明
基線	微生物產生的甲烷	否	該專案不會導致鹽度或甲烷排放量發生變化。
	脫硝/硝化	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
	生物質和有機土壤的燃燒	CO ₂	在基線情境中以保守方式忽略不計
		CH ₄	在基線情境中以保守方式忽略不計
		N ₂ O	在基線情境中以保守方式忽略不計
	化石燃料使用	CO ₂	在基線情境中以保守方式忽略不計
		CH ₄	在基線情境中以保守方式忽略不計
		N ₂ O	在基線情境中以保守方式忽略不計
專案	微生物產生的甲烷	否	該專案不會導致鹽度或甲烷排放量發生變化。
	脫硝/硝化	否	與基線情境相比，專案區域不涉及農業活動和化肥。
	生物質的燃燒	CO ₂	不適用，該專案不涉及生物質燃燒。
		CH ₄	不適用，該專案不涉及生物質燃燒。
		N ₂ O	不適用，該專案不涉及生物質燃燒。
	化石燃料使用	CO ₂	報告對化石燃料使用造成的溫室氣體排放進行了估算，並證明這些排放是合理的最低限度。
		CH ₄	在專案燃料使用中並非重要排放源。
		N ₂ O	在專案燃料使用中並非重要排放源。

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

十、 基線情境

需使用最新版本的清潔發展機制(CDM)工具 AR-Tool02 組合工具來確定基線情境，以識別基線情境並證明造林與再造林清潔發展(A/R CDM)專案活動的外加性。

十一、 外加性

基於應用方法 VM0033(2.0 版) ，該方法使用活動方法來證明潮汐濕地保護和復育專案活動的外加效益外加性，對於此類專案活動，請參考模組「VDM0052 潮汐濕地復育和保護專案活動的外加效益示範 2.0 版」。溫室氣體削減量和移除量的量化

(一) 基線排放量

1. 一般方法

基線情境是由於土地仍然退化而繼續現有土地利用。根據所採用的方法 VM0033(2.0 版)，基線情境不涉及化石燃料排放和燃燒，因此基準溫室氣體排放估算如下：

$$GHG_{BSL} = GHG_{BSL-biomass} + GHG_{BSL-soil} \quad (1)$$

$$GHG_{BSL-biomass} = -\sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{BSL}} \left(\frac{44}{12} \times \Delta C_{BSL-biomass,i,t} \right) \quad (2)$$

$$GHG_{BSL-soil} = -\sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{BSL}} GHG_{BSL-soil,i,t} \quad (3)$$

其中：

GHS_{BSL}	=於基線情境中直至 t^* 年之 CO_{2e} 淨排放量； $t \ CO_{2e}$
$GHS_{BSL-biomass}$	=於基線情境中直至 t^* 年之生物質碳庫 CO_{2e} 淨排放量； $t \ CO_{2e}$
$GHS_{BSL-soil}$	=於基線情境中直至 t^* 年之 SOC 碳庫 CO_{2e} 淨排放量； $t \ CO_{2e}$
$GHS_{BSL-fuel}$	=於基線情境中直至 t^* 年之化石燃料 CO_{2e} 淨排放量； $t \ CO_{2e}$
$\Delta C_{BSL-biomass,i,t}$	=於基線情境下地層 i 在第 t 年，生物質碳庫之淨碳存量變化； $t \ C/yr$
$GHG_{BSL-soil,i,t}$	=於基線情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫 GHG 排放量； $t \ CO_{2e}/yr$
i	=基線情境下的 1、2、3... M_{BSL} 地層
t	=自專案開始日起經過 1,2,3... t^* 年

由於該專案不尋求項目減排，因此基線情境下專案計入期內，每個地層每單位面積的未來溫室氣體排放量，不會應用自願碳標準（VCS）模組 VMD0019 方法來預測未來條件。

2. 海平面上升的原因

預計未來海平面變化不會造成專案區域過度淹沒，因此，該專案沒有計算由於海平面上升而損失的地上部生物量的碳儲量以及由於侵蝕和運輸而損失的土壤碳儲量。

3. 基線情境下生物質碳庫之淨碳儲量變化

根據專案參與式農村評估報告(Participatory Rural Appraisal, PRA)，專案區域均為退化養殖池塘，無樹木、灌木和草本植被，因此基線中樹木、灌木和草本植被的碳儲量變化可計算為零。

簡單起見，基線的淨溫室氣體削減量 $\Delta C_{BSL-biomass,i,t}$ 被認為是 0 tCO₂e。

4. 基線情境中土壤之溫室氣體淨排放量

(1) 土壤之溫室氣體淨排放量概述

基線情境中土壤的溫室氣體淨排放量計算如下：

$$GHG_{BSL-soil,i,t} = A_{i,t} \times (GHG_{BSL-soil-CO_2,i,t} - Deduction_{alloch} + GHG_{BSL-soil-CH_4,i,t} + GHG_{BSL-soil-N_2O,i,t}) \quad (4)$$

$$GHG_{BSL-soil-CO_2,i,t} = GHG_{BSL-insitu-CO_2,i,t} + GHG_{BSL-eroded-CO_2,i,t} + GHG_{BSL-excav-CO_2,i,t} \quad (5)$$

其中：

$GHG_{BSL-soil,i,t}$ = 基線情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫之 GHG 體排放量；t CO₂e /yr

$GHG_{BSL-soil-CO_2,i,t}$ = 基線情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫 CO₂ 排放量；t CO₂e /ha· yr

$Deduction_{alloch}$ = 扣除來自於 SOC 碳庫之 CO₂ 排放占碳存量之百分比，用以估算來自外來之土壤有機碳；t CO₂e /ha· yr

$GHG_{BSL-soil-CH_4,i,t}$ = 基線情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫 CH₄ 排放量；t CO₂e /ha· yr

$GHG_{BSL-soil-N_2O,i,t}$ = 基線情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫 N₂O 排放量；t CO₂e /ha· yr

- $A_{i,t}$ =地層 i 在第 t 年，之面積；ha
- $GHG_{BSL-soil-CO_2,i,t}$ =基線情境下地層 i 在第 t 年 SOC 碳庫的 CO_2 排放量；t CO_2e /ha· yr
- $GHG_{BSL-insitu-CO_2,i,t}$ =基線情境下地層 i 在第 t 年現地土壤 SOC 碳庫的 CO_2 排放量；t CO_2e /ha· yr
- $GHG_{BSL-eroded-CO_2,i,t}$ =基線情境下地層 i 在第 t 年受侵蝕 SOC 碳庫的 CO_2 排放量；t CO_2e /ha· yr
- $GHG_{BSL-excav-CO_2,i,t}$ =基線情境下地層 i 在第 t 年 SOC 碳庫土壤因挖掘暴露在好氧環境中之 CO_2 排放量；t CO_2e /ha· yr
- i =基線情境下的 1、2、3... M_{BSL} 地層
- t =自專案開始日起經過 1,2,3.... t^* 年

自 1980 年來，海南省掀起了海水養殖熱潮，八門灣大量海灘和大片紅樹林被開挖用於建設養殖池，堆積土(Piled-Up Soil)中的 SOC 經過長時間的氧化作用，可能已達到穩態值。因此， $GHG_{BSL-soil-CH_4,i,t}$ 和 $GHG_{BSL-soil-N_2O,i,t}$ 在基線情境下以保守方式估計為 0，且 $GHG_{BSL-excav-CO_2,i,t}$ 未計入。

基線情境中退化的紅樹林棲息地，幾乎沒有任何植被，也沒有任何重大的自然復育，在此情況下，SOC 水平將持續下降並最終達到穩定狀態，根據方法論，對於樹冠或植被覆蓋率低於 15%的地區，SOC 累積被認為是微不足道的，在基線情境下現地土壤的 CO_2 排放量以保守方式估計為 0。

僅當 $GHG_{BSL-insitu-CO_2,i,t}$ 為負值(封存)時，才適用外來碳扣除，因基線情境不涉及 SOC 積累，因此無需扣除異地碳。

海平面上升在 100 年內不會導致專案區域受到侵蝕，因此，基線情境中侵蝕土壤的二氧化碳排放以保守方式忽略不計。

(二) 專案排放量

1. 一般方法

專案情境不涉及化石燃料排放和燃燒，因此專案溫室氣體排放估算如下：

$$GHG_{WPS} = GHG_{WPS-biomass} + GHG_{WPS-soil} + GHG_{WPS-fuel} \quad (6)$$

$$GHG_{WPS-biomass} = -\sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{WPS}} \left(\frac{44}{12} \times \Delta C_{WPS-biomass,i,t} \right) \quad (7)$$

$$GHG_{WPS-soil} = -\sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{WPS}} \left(\frac{44}{12} \times \Delta C_{WPS-soil,i,t} \right) \quad (8)$$

$$GHG_{WPS-fuel} = -\sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{WPS}} \left(\frac{44}{12} \times \Delta C_{WPS-fuel,i,t} \right) \quad (9)$$

其中：

GHG_{WP} =專案情境下截至 t^* 年 CO_{2e} 淨排放量； t CO_{2e}

$GHG_{WPS-biomass}$ =專案情境下截至 t^* 年生物質碳庫的 CO_{2e} 淨排放量； t CO_{2e}

$GHG_{WPS-soil}$ =專案情境下截至 t^* 年從 SOC 碳庫的 CO_{2e} 淨排放量； t CO_{2e}

$GHG_{WPS-fuel}$ =專案情境下截至 t^* 年化石燃料使用產生的 CO_{2e} 淨排放量；
 t CO_{2e}

$\Delta C_{WPS-biomass, i, t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，生物質碳庫的淨碳存量變化；
 t C /yr

$\Delta GHG_{WPS-soil, i, t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 GHG 排放量； t CO_{2e} /yr

$\Delta GHG_{WPS-fuel, i, t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，使用化石燃料產生的 GHG 排放量； t CO_{2e} /yr

i =專案情境下的 1、2、3... M_{WPS} 地層

t =自專案開始日起經過的 1，2，3 ... t^* 年

由於該專案不尋求項目減排，因此基線情境下專案計入期內，每個地層每單位面積的未來溫室氣體排放量，不會應用自願碳標準（VCS）模組 VMD0019 方法來預測未來條件。

2. 海平面上升的原因

預計未來海平面變化不會造成專案區域過度淹沒，因此，該專案沒有計算由於海平面上升而損失的地上部生物量的碳儲量以及由於侵蝕和運輸而損失的土壤碳儲量。

3. 專案情境下生物質碳庫的淨碳存量變化估計

計算遵循 VM0033 和 CDM AR Tool 14 估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳存量和碳存量變化(Estimation of Carbon Stocks and Change in Carbon Stocks of Trees and Shrubs in A/R CDM Project Activities (Version 04.2))。

$$GHG_{WPS-biomass} = \Delta C_{WPS-tree/shrub,i,t} + \Delta C_{WPS-herb,i,t} \quad (10)$$

其中：

$GHG_{WPS-biomass}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，生物質碳庫的淨碳存量變化；t C /yr

$\Delta C_{WPS-tree/shrub,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，喬木和灌木碳庫碳庫的淨碳存量變化；t C /yr

$\Delta C_{WPS-herb,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，草本植物碳庫的淨碳存量變化；t C /yr

i =專案情境下的 1、2、3...MWPS 地層

t =自專案開始日起經過的 1，2，3 ... t* 年

本專案中，草本植被的開發並不重要，因此， $\Delta C_{WPS-herb,i,t}$ 未計算在內。

$$\Delta C_{WPS-tree/shrub,i,t} = \frac{44}{12} \times (\Delta C_{TREE_{PROJ},t} + \Delta C_{SHRUB_{PROJ},t}) \quad (11)$$

其中：

$\Delta C_{WPS-tree/shrub,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，喬木和灌木碳庫碳庫的淨碳存量變化；t C /yr

$\Delta C_{TREE_{PROJ},t}$ =專案情境下第 t 年喬木生物質碳存量的變化；t CO₂-e/yr（應用工

具估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳存量和碳存量變化；對每個地層 i 進行計算)

$\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$ =專案情境下第 t 年灌木生物質碳存量的變化；t CO₂-e/yr (應用工具估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳存量和碳存量變化；對每個地層 i 進行計算)

兩個時間點之間樹木碳存量的變化估計如下(估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳存量和碳存量變化(Estimation of Carbon Stocks and Change in Carbon Stocks of Trees and Shrubs in A/R CDM Project Activities (Version 04.2)))(AR Tool 14)。

根據 AR Tool 14，兩個時間點之間樹木碳存量的變化是通過使用以下方法之一或其組合來估計：

- (a) 兩次獨立庫存估計的差異。
- (b) 通過重新測量樣區直接估計變化。
- (c) 按覆蓋比例進行估算。
- (d) “不減少” 示範。

當兩個不同場合的樣區生物量值之間存在顯著相關性時(例如，當地層中沒有收穫或干擾時，因此在第一次估計後，地層中沒有發生明顯的生物量空間重新分布)，方法(b)是有效的。因專案期間不會發生採伐或干擾，因此應選擇方法(b)，但該方法僅適用於專案監測中樹木碳存量變化的事後估算活動。因此，方法(a)用於驗證時的事前估計，方法(b)用於後續驗證的監控。

根據方法(a)，樹木碳儲量的變化和相關的不確定性估計如下：

$$\Delta C_{TREE} = \Delta C_{TREE,t1} - \Delta C_{TREE,t2} \quad (12)$$

$$U_{\Delta C} = \sqrt{\frac{(u_1 \times C_{TREE,t1})^2 + (u_2 \times C_{TREE,t2})^2}{|\Delta C_{TREE}|}} \quad (13)$$

其中：

ΔC_{TREE} = t1 和 t2 兩個時間點期間樹木碳存量的變化；t CO₂-e
 $\Delta C_{TREE,t1}$ =在時間 t1 估計的樹木碳存量；t CO₂-e
 $\Delta C_{TREE,t2}$ =在時間 t2 估計的樹木碳存量；t CO₂-e
 $U_{\Delta C}$ = ΔC_{TREE} 的不確定性
 u_1, u_2 = $\Delta C_{TREE,t1}$ 和 $\Delta C_{TREE,t2}$ 的不確定性

為了初步估算專案的碳存量，採用每個特定紅樹林物種的預設碳固定率(以 tC·ha⁻¹·yr⁻¹ 為單位)來計算整個計入期內樹木內的碳存量(如表 7 所示)，假設該估計中的相關不確定性可以忽略不計。

$$C_{TREE,t} = CR_{tree,i} \times A_{PLANT,i,t} \times T + 44/12 \quad (14)$$

其中：

$C_{TREE,t}$ =在時間 t 時之樹木碳存量；t CO₂-e
 $CR_{tree,i}$ =在地層 i 的碳固定率；tC·ha⁻¹·yr⁻¹
 $A_{PLANT,i,t}$ =地層 i 在第 t 年之種植面積；ha
 T =樹木栽種年數；years

表 7 海南文昌、昌江紅樹林復育專案各物種的預設碳固定率

種類	樹種	碳固定率 (CR _{tree,i}) (tC·ha ⁻¹ ·yr ⁻¹)
紅樹科 (<i>Rhizophoraceae</i>)	紅海欖(<i>Rhizophora stylosa</i>)、 正紅樹(<i>Rhizophora apiculata</i>)、水 筆仔(<i>Kandelia candel</i>)、 木欖(<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)、 海蓮(<i>Bruguiera sexangula</i>)、 紅蕊紅樹(<i>Ceriops tagal</i>)	3.2
非紅樹科紅樹林 (<i>Non-Rhizophoraceae</i> <i>mangrove</i>)	桐花樹(<i>Aegiceras corniculatum</i>)、 白骨壤(<i>Avicennia marina</i>)、 總狀樹(<i>Lumnitzera racemosa</i>)	2.41
半紅樹林 (<i>Semi-mangrove</i>)	巴戟天(<i>Morinda citrifolia</i>)、 水黃皮(<i>Pongamia pinnata</i>)	0.07
註：保守估計，碳固定率為同種類之最小值。		

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

4. 專案情境中土壤之溫室氣體淨排放量

$$GHG_{WPS-soil,i,t} = A_{i,t} \times (GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t} - Deduction_{alloch} + GHG_{WPS-soil-CH_4,i,t} + GHG_{WPS-soil-N_2O,i,t}) \quad (15)$$

$$GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t} = GHG_{WPS-insitu-CO_2,i,t} + GHG_{WPS-eroded-CO_2,i,t} + GHG_{WPS-excav-CO_2,i,t} \quad (16)$$

其中：

- $GHG_{WPS-soil,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 GHG 排放量；t CO_{2e} /yr
- $GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 CO₂排放量；t CO_{2e} /ha· yr
- $Deduction_{alloch}$ =扣除來自於 SOC 碳庫 CO₂排放，用以估算來自外來土壤有機碳占碳存量之百分比；t CO_{2e} /ha· yr
- $GHG_{WPS-soil-CH_4,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 CH₄排放量；t CO_{2e} /ha· yr
- $GHG_{WPS-soil-N_2O,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 N₂O 排放量；t CO_{2e} /ha· yr
- $A_{i,t}$ =地層 i 在第 t 年的面積；ha
- $GHG_{WPS-insitu-CO_2,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，現地土壤 SOC 碳庫 CO₂排放量；t CO_{2e} /ha· yr
- $GHG_{WPS-eroded-CO_2,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，受侵蝕 SOC 碳庫產生的碳排放量；t CO_{2e} /ha· yr
- $GHG_{WPS-excav-CO_2,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，土壤因挖掘暴露在好氧環境下 SOC 碳庫 CO₂排放量；t CO_{2e} /ha· yr
- i =專案情境下的 1、2、3...M_{WPS} 地層
- t =自專案開始日起經過的 1，2，3 ... t* 年

挖掘非專案活動的一部分，因此，未計入 $GHG_{WPS-excav-CO_2,i,t}$ 。

初步計算現地土壤之 CO₂排放量，該專案係透過可行的監測程序得出統計上可靠的土壤有機碳（SOC）積累率的可能性，專案係使用 VM0033 中提供的公式來完成。

$$GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t} = \frac{44}{12} \times -(C_{WPS-soil,i,t} - C_{WPS-soil,i,(t-T)})/T \quad (17)$$

其中：

- $GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 CO₂排放量；t CO_{2e} /ha· yr

$C_{WPS-soil,i,t}$	=專案情境下地層 i 在第 t 年，土壤有機碳存量；t C ha
i	=專案情境下的 1、2、3... M_{WPS} 地層
t	=自專案開始日起經過的 1，2，3 ... t* 年
T	=兩次連續評估之間的時間間隔 (T = t2-t1)

對於專案文件(project documentation ,PD)，初步計算保守使用 VM0033 中提供的預設值，在無法獲得適當的當地數據的情況下，採用土壤有機碳(SOC)累積的預設因子：

$$GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t} = -1.46 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1} \times \frac{44}{12} \quad (18)$$

由於專案初期樹木覆蓋度較小，為保守估計，根據預設值選擇覆蓋度插值法來估算現地土壤 CO₂ 排放，上述預設值可能僅適用於樹冠或植被覆蓋率至少為 50%的區域，相比之下，對於樹冠或植被覆蓋率低於 15%的區域，SOC 累積被認為是微不足道的，可計為零，對於樹冠或植被覆蓋率介於 15%到 50%之間的區域，可應用線性插值法(linear interpolation)。詳情請參閱 ER 表。

根據造林作業項目設計(如圖 3 所示)，所選苗木冠幅為 0.2×0.2m，平均栽植密度為每英畝 867 株左右，苗木栽種後，專案初始覆蓋率為 5%。

過往研究經驗顯示，人工復育的紅樹林群落將在 20 年內達到成熟，若成熟後預設覆蓋率達到 100%，預計定植後每年增加 5%。

- 受侵蝕土壤之二氧化碳排放

海平面上升在 100 年內不會導致專案區域受到侵蝕，因此，基線情境中侵蝕土壤的二氧化碳排放以保守方式忽略不計。



圖 3 海南文昌、昌江紅樹林復育之幼苗

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

- 外來碳的扣除(Deduction for allochthonous carbon)：

可以估算總和或外來土壤有機碳，該等式僅適用於 $GHG_{WPS-insitu-CO_2,i,t}$ 為負(封存)的情況，專案情境需通過紅樹林重新造林來積累有機碳，因此需要考慮外來碳的扣除。Needelman 等人(2018)提供基於土壤碳百分比的外來總土壤有機碳百分比值(% C_{alloch})，可用於含有礦質土的溼地和紅樹林。

$$Deduction_{alloch} = GHG_{WPS-insitu-CO_2,i,t} \times (\%C_{alloch}/100) \quad (19)$$

$$\%C_{alloch} = 213.17 \times \%C^{-1.184} \quad (19-1)$$

其中：

$Deduction_{alloch}$ =扣除來自於 SOC 碳庫 CO_2 排放，用以估算來自外來土壤有機碳

占碳存量之百分比； $t \text{ CO}_2\text{e} / \text{ha} \cdot \text{yr}$
 $\text{GHG}_{\text{WPS-insitu-CO}_2, i, t}$ = 基線情境下地層 i 在第 t 年 SOC 碳庫的 CO_2 排放量； $t \text{ CO}_2\text{e} / \text{ha} \cdot \text{yr}$
 $\%C_{\text{alloch}}$ = 外來土壤有機碳占總土壤有機碳的百分比；%
 i = 專案情境下的 1、2、3... M_{WPS} 地層
 t = 自專案活動開始起經過 1, 2, 3... t^* 年

- 現地之土壤中甲烷(CH_4)排放

專案情境中來自土壤之 CH_4 排放以保守方式忽略不計，因為專案情境下的 CH_4 排放量與基線情境相比沒有增加。

- 現地之土壤中一氧化二氮(N_2O)排放

專案情境中不會導致農業土地利用發生變化，專案情境中來自土壤之 N_2O 排放以保守方式忽略不計，因為專案情境下的 N_2O 排放量與基線情境相比沒有增加。

5. 專案情境中燃料使用之溫室氣體淨排放量

基線中化石燃料排放量保守估算，並未被考慮在內，WRC 專案活動期間車輛和機械設備運行產生的排放超過最低閾值，則將予以考慮，且必須通過應用 CDM AR Tool 5 估算 (Estimation of GHG emissions related to fossil fuel COmbustion in A/R CDM project activities v01)。

$$\text{GHG}_{\text{WPS-fuel}, i, t} = ET_{FC, y} \quad (20)$$

$$ET_{FC, y} = \sum_{j=1}^J ET_{FC, j, y} \quad (21)$$

其中：

$\text{GHG}_{\text{WPS-fuel}, i, t}$ = 專案情境下地層 i 在第 t 年，使用化石燃料產生的 GHG 排放量； $t \text{ CO}_2\text{e} / \text{yr}$
 $ET_{FC, y}$ = 在第 y 年期間，化石燃料燃燒產生的二氧化碳排放量； t

CO₂((derived from application of CDM tool AR-Tool05 Estimation of GHG emissions related to fossil fuel Combustion in A/R CDM project activities v01; calculations are done for each stratum i))

$ET_{FC,j,y}$ =在第 y 年期間，類別 j(車輛/機械設備)燃燒化石燃料產生的二氧化碳排放量；t CO₂ /yr

j =車輛/設備類型

i =專案情境下的 1、2、3...M_{WFS} 地層

t =自專案活動開始起經過 1,2,3....t*年

$ET_{FC,y}$ 可以採用直接法估算：

$$ET_{FC,j,y} = \sum_{i=1}^I FC_{i,j,t} * EF_{CO_2,i} * NCV_i \quad (2)$$

2)

其中：

$ET_{FC,j,y}$ =在第 y 年期間，類別 j(車輛/機械設備)燃燒化石燃料產生的二氧化碳排放量；t CO₂ /yr

$FC_{i,j,t}$ =在第 y 年期間，類別 j(車輛/機械設備)消耗類別 i 燃料的量；mass or volume unit / yr

$EF_{CO_2,i}$ =類別 i 燃料燃燒之二氧化碳排放因子；t CO₂ /GJ

NCV_i =燃料 i 的淨熱值；GJ/mass or volume unit

i =燃燒的燃料類型

AR Tool 4 (Tool for testing significance of GHG emissions in A/R CDM project activities v01)規定，碳庫減少總量和排放增加總量的綜合影響，小於碳庫減少總量和排放增加總量的 5%，或小於人為淨移除量的 5%(以較小的值為準)，即可忽略計算。

$$RC_{Et} = \frac{E_t}{\sum_{i=1}^I E_i} \quad (23)$$

其中：

RC_{Et} =每個來源 i 專案總量和溫室氣體洩漏排放的相對貢獻

E_i =專案來源的溫室氣體排放量以及碳庫和洩漏排放量可能減少的情況

i	=專案來源和溫室氣體洩漏排放指數
t	=考慮的來源總數

化石燃料排在專案情境中是微量排放，將結果與生物質和土壤碳封存結果進行比較，2021 年燃料排放量占淨移除量的 0.69%，2022 年下降至 0.16%，隨後幾年降至小於 0，皆低於 5%(詳情請參閱 ER 表)。因此，化石燃料排放屬於微量排放源。

(三) 洩漏

VM0033 的適用條件的構建是為了確保不發生活動轉移洩漏(activity-shifting leakage)和市場洩漏(market leakage)，專案滿足方法學適用條件情況，專案大部分區域位於海南清瀾港省級自然保護區或國家級保護區內，嚴格限制人為干擾，保護自然生態系統，專案實施後不會發生農業活動轉移，活動轉移洩漏和市場洩漏可假定為零。同時，專案區域位於廢棄多年的養殖池內，與陸地上其他濕地不具有水文連通性，根據 VM0033 可假設專案不發生生態洩漏。因此， $GHG_{LK} = 0$ 。

(四) GHG 淨削減量和移除量

ARR/RWE 專案活動的總 GHG 淨削減量計算如下：

$$NER_{RWE} = GHG_{BSL} - GHG_{WPS} + FRP - GHG_{LK} \quad (24)$$

其中：

NER_{RWE}	=RWE 專案活動的 CO _{2e} 淨減排放量；t CO _{2e}
GHG_{BSL}	=在第 t 年期間，基線情境下的 CO _{2e} 淨排放量；t CO _{2e}
GHG_{WPS}	=在第 t 年期間，專案情境下的 CO _{2e} 淨排放量；t CO _{2e}
FRP	=火災減少價值（由於重新潤濕和火災管理，有機土壤燃燒產生的 CO _{2e} 淨削減量）；t CO _{2e}
GHG_{LK}	=洩漏造成的 CO _{2e} 淨排放量；t CO _{2e}

因專案不存在有機土壤和火，故火災減少價值(FRP)與該專案無關，ARR/RWE 專案活動產生的溫室氣體淨減排量總結如下。

1. 不確定性估計

考慮不確定性而調整後的 NER_t 值計算如下：

$$adjusted_NER_t = NER_t \times (100\% - NER_{ERROR} + allowable_uncert) \quad (25)$$

其中：

$adjusted_NER_t$ = 在第 t 年期間，考慮不確定性而調整後的 GHG 淨削減量； t CO_{2e}
 NER_t = 專案活動開始直到在第 t 年期間，總 GHG 淨削減量； t CO_{2e}
 NER_{ERROR} = RWE 專案活動之總不確定性；%
 $allowable_uncert$ = 允許的不確定度，信賴區間在 90%或 95%，允許的不確定度分別為 20%或 30%；%

(1) 第 1 部分-基線不確定性估算

對於基線情境，不存在與關鍵變量相關的不確定性，因為它們可以忽略不計或使用預設值確定。

(2) 第 2 部分-專案情境後的不確定性

對於專案情境，事前估計是基於公佈值或預設值，因此也不存在與關鍵變量相關的不確定性。對於大多數變量的事後不確定性，將在監測計劃中進行量化，某些變量的不確定性取決於所選擇的方法。

$$Uncertain_{WPS,i} = \frac{\sqrt{(U_{WPS,SS1,i} \times E_{WPS,SS1,i})^2 + (U_{WPS,SS2,i} \times E_{WPS,SS2,i})^2 \dots + (U_{WPS,SSn,i} \times E_{WPS,SSn,i})^2}}{E_{WPS,SS1,i} + E_{WPS,SS2,i} \dots + E_{WPS,SSn,i}} \quad (26)$$

其中：

$Uncertain_{WPS,i}$ = 專案情境下地層 i 碳存量與 GHG 來源的總不確定性；%
 $U_{WPS,SS,i}$ = 專案情境下地層 i 碳存量與 GHG 來源的不確定性百分比（在適當情況下，以平均值的 90%信賴區間作為百分比表示）（1，2... n 代表不同的碳庫和/或 GHG 來源）；%
 $E_{WPS,SS,i}$ = 專案情境下地層 i 碳存量與 GHG 來源（例如樹木、倒枯木等）（1、2... n 代表不同的碳庫和/或 GHG 來源）； t CO_{2e}
 i = 專案情境下的 1、2、3... M_{WPS} 地層

要評估合併地層的不確定性，請參考以下公式：

$$Uncertain_{WPS} = \frac{\sqrt{(U_{WPS,1} \times A_1)^2 + (U_{WPS,2} \times A_2)^2 \dots + (U_{WPS,M_{WPS}} \times A_{M_{WPS}})^2}}{A_1 + A_2 \dots + A_{M_{WPS}}} \quad (27)$$

其中：

- Uncertain_{WPS,I} =專案情境下的總不確定性；%
- U_{WPS,I} =專案情境下地層 i 的不確定性；%
- A_i =地層 i 的面積；ha
- I =專案情境下的 1、2、3...M_{WPS} 地層

(3) 第 3 部分-專案活動的總誤差

$$NER_{ERROR} = \frac{\sqrt{(Uncertain_{BSL} \times GHG_{BSL})^2 + (Uncertain_{WPS} \times GHG_{WPS})^2}}{GHG_{BSL} + GHG_{WPS}} \quad (28)$$

其中：

- NER_{ERROR} =專案活動的總不確定性；%
- Uncertain_{BSL} =基線情境的總不確定性；%
- Uncertain_{WPS} =專案情境的總不確定性；%
- GHG_{BSL} =基線情境下至第 t*年的 CO_{2e} 淨排放量；t CO_{2e}
- GHG_{WPS} =專案情境下至第 t*年的 CO_{2e} 淨排放量；t CO_{2e}

● 長期利益

對於旨在減少基線溫室氣體排放的專案，SOC 碳庫最大允許溫室氣體削減量，係以 100 年後專案情境中的土壤有機碳存量與基線情景之間的差異為上限。

然而，值得注意的是，目前的專案並未聲稱削減基線排放量，而是著重於通過生物質和土壤封存來去除碳。

基線情境假設現地淨溫室氣體排放為 0，因此，當專案情境在 t=100 時，碳存量為最大值，即 $NER_{RWE-max}$ ，總計 186,884 tCO_{2e}，預計該值將在專案實施第 40 年（即 2060 年）實現，在此之後，將不會再提出溫室氣體移除量聲明。

- 非永久性緩衝區及經認證之碳單位(Verified Carbon Units, VCU)估計

驗證碳單位 (VCU) 的數量計算如下：

$$VCU_{t2} = (adjusted_NER_{t2} - adjusted_NER_{t1}) \times Buffer_{t2} \quad (29)$$

$$Buffer_{t2} = (NER_{stock,t2} - NER_{stock,t1} \times Buffer\%_{t2}) \quad (30)$$

其中：

VCU_{t2}	=t2 年的 VCUs 數量
$adjusted_NER_{t1}$	=考慮不確定性調整專案活動截至第 t1 年的 GHG 淨削減總量；t CO ₂ e
$adjusted_NER_{t2}$	=考慮不確定性調整專案活動截至第 t2 年的 GHG 淨削減總量；t CO ₂ e
$Buffer_{t2}$	=t2 年投入 AFOLU 集合緩衝帳戶的緩衝額度數量
$NER_{stock, t2}$	=專案活動至 t2 年的 GHG 淨削減量，不包括土壤和生物質燃燒的非 CO ₂ 排放和化石燃料使用的排放；t CO ₂ e
$Buffer\%_{t2}$	=t2 年投入 AFOLU 集合緩衝帳戶的緩衝額度百分比；%

有關投入 AFOLU 集合緩衝帳戶的緩衝額度百分比，應依據最新版本的 VCS AFOLU 非永久性風險工具應用確定，值為 10%。

根據該專案的非永久風險報告，經評估的總風險確定為 10%，因此根據 VCS AFOLU 要求，將在此監測期間該專案的淨溫室氣體去除量的 10%存入緩衝帳戶。

十二、 監測計畫

(一) 監測方法和工具是否滿足所列的適用性條件

專案執行過程中，監測項目應滿足「VM0033 潮汐濕地和海草恢復方法論 v2.0」相關工具適用性條件。

1. 步驟一：邊界監控

專案邊界坐標應嚴格按照規定進行測量和管理，並保存在 GIS 檔案中文件需要於專案期結束後至少保存兩年，為獲得有效、可靠的邊界資訊，監測團隊需使用 GPS 或其他可驗證的方法來驗證專案邊界，確定實際造林範圍。若實際邊界大於專案工程設計邊界，超出部分不計入專案工程邊界；若實際邊界小於專案工程設計邊界，專案工程邊界應以實際邊界為準。邊界有任何變化都必須通過 GPS 或適當的空間數據(例如衛星圖像)來定位。

2. 步驟二：審查適用性清單

若邊界發生任何變化，監測小組應仔細檢查適用條件的具體清單，記錄每個監測週期的所有相關結果，若不符合適用條件，專家小組應評估情況並將偏差或方法變更提交 Verra 批准。本次監測期間，專案邊界未發生變化，也未發生不符合適用條件的情況。

(二) 監測所選碳庫之碳存量變化

1. 後分層和抽樣方法 (Post-stratification and sampling approach)

首次監測，若區域和邊界發生變化，則專案的碳分層需要更新。若碳層數量和面積發生變化，則需要重新計算樣區數量。

本次監測期間，根據具體紅樹林樹種、種植密度和年份，將原有的 4 個地層進一步劃分為 13 個地層，專案事後碳分層情況如表 8 所示。

樣區尺寸設置為 4m×4m 的矩形土地(植物密度：1m×1m、16m²)或 10m×10m(植物密度：2m×2m、100m²)。

表 8 海南文昌、昌江紅樹林復育專案監測期後分層情況

種類	後分層	樹種	種植密度	種植年	面積 (公頃)
紅樹科 (<i>Rhizophoraceae</i>)	1	紅樹花 (<i>Rhizophora stylosa</i>)	1m×1m	2021 年	32.98

種類	後分層	樹種	種植密度	種植年	面積 (公頃)
	2	細葉紅樹 (<i>Rhizophora apiculata</i>)	1m×1m	2021 年	13.99
	3	秋茄 (<i>Kandelia candel</i>)	1m×1m	2021 年	10.27
	4	木欖 (<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)	1m×1m	2021 年	10.38
	5	六角木欖 (<i>Bruguiera sexangula</i>)	1m×1m	2021 年	17.19
	6	紅蕊紅樹(<i>Ceriops tagal</i>)	2m×2m	2021 年	2.91
	7	紅樹花 (<i>Rhizophora stylosa</i>)、 六角木欖 (<i>Bruguiera sexangula</i>)	2m×2m	2021 年	80.45
	8	紅海欖(<i>Rhizophora stylosa</i>)、正紅樹 (<i>Rhizophora apiculata</i>)、 水筆仔(<i>Kandelia candel</i>)、 木欖(<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)、海蓮 (<i>Bruguiera sexangula</i>)、 紅蕊紅樹(<i>Ceriops tagal</i>)	2m×2m	2022 年	115.67
	9	紅樹花 (<i>Rhizophora stylosa</i>)、 水筆仔(<i>Kandelia candel</i>)	1m×1m	2021 年	5.45
非紅樹科紅樹林 (<i>Non-Rhizophoraceae mangrove</i>)	10	桐花樹 (<i>Aegiceras corniculatum</i>)	1m×1m	2021 年	41.04
	11	白骨壤 (<i>Avicennia marina</i>)	1m×1m	2021 年	3.71
	12	總狀樹 (<i>Lumnitzera racemosa</i>)	1m×1m	2021 年	5.29
半紅樹林 (<i>Semi-mangrove</i>)	13	水黃皮 (<i>Pongamia pinnata</i>)	1m×1m	2021 年	13.56
加總					352.89

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

根據「估算 A/R CDM 專案活動中喬木和灌木的碳存量和碳存量變化 04.2 版(Estimation of Carbon Stocks and Change in Carbon Stocks of Trees and Shrubs in A/R CDM Project Activities (Version 04.2))」工具，某一時間點樹木碳儲量估算可使用以下方法之一或組合方法：

- (a) 通過測量樣區進行估算；
- (b) 通過樹木生長和建模進行估算；
- (c) 按冠蓋比例(proportionate crown COVer)進行估算；
- (d) 通過獨立的變化測量來更新以前的庫存。

本專案選擇方法(a)進行監測，該方法根據樣區測量估算樹木碳儲量，抽樣設計採用分層隨機抽樣方法。

2. 樣區數量計算(Calculation of number of the sample plots)

樣區大部分面積約為 16 m²，根據 A/R CDM 專案活動中測量樣區數量的計算，對於較小的抽樣比例(當抽樣面積為小於工程面積的 5%)，可採用以下簡化公式估算採樣數量：

$$n = \left(\frac{t_{VAL}}{E} \right)^2 \times (\sum_i w_i \times s_i)^2 \quad (31)$$

$$n_i = n \times \frac{w_i \times s_i}{\sum_i w_i \times s_i} \quad (32)$$

其中：

n	=估算專案邊界內生物量庫所需的樣區數量；無單位
t_{VAL}	=對所需的信賴區間進行無限自由度的雙尾學生 T 檢定；無單位
E	=專案邊界內單位面積生物量儲量估算的可接受誤差範圍(即置信區間的一半)；t d.m. ha ⁻¹
w_i	=第 i 層面積的相對權重(即第 i 層面積除以專案面積)；無單位
S_i	=第 i 層單位面積生物量儲量的估計標準差；t d.m. ha ⁻¹

i = 1、2、3 專案邊界內的生物量儲量估算層
 n_i =分配給第 i 層的樣區數量；無單位

最終樣區數量 n 為 36 個。

3. 樣區生物量測量方法(Methods of plot biomass measurement)

應用工具之附錄 1 提供樣區測量方法，可估算樣區中每公頃的樹木生物量，專案選擇固定面積樣區進行隨機採樣計算，測量樣區中超過最小尺寸的所有樹木，並估計每棵樹的生物量，將單棵樹的生物量相加，並將總和除以樣區面積，得到樣區生物量值。樣區生物量值(即樣區每公頃樹木生物量)估計如下：

$$b_{TREE,p,i} = \frac{B_{TREE,p,i}}{A_{PLOT,i}} \quad (33)$$

$$B_{TREE,p,i} = \sum_j B_{TREE,j,p,i} \quad (34)$$

$$B_{TREE,j,p,i} = \sum_l B_{TREE,l,j,p,i} \quad (35)$$

$$B_{TREE,i,j,p,i} = f_j(x_{1,i}, x_{2,i}, x_{3,i}, \dots) \times (1 + R_j) \quad (36)$$

其中：

$b_{TREE,p,j}$ =第 i 層樣區 p 每公頃的樹木生物量；t d.m.ha⁻¹
 $B_{TREE,p,j}$ =第 i 層樣區 p 的樹木生物量；t d.m
 $A_{PLOT,i}$ =第 i 層樣區大小；ha
 $B_{TREE,j,p,j}$ =第 i 層樣區 p 中樹種 j 的生物量；t d.m
 $B_{TREE.l,j,p,j}$ =第 i 層樣區 p 中樹種 j 的生物量，將直徑(Diameter at breast height, DBH)和高度(Height)代入生物量公式估算；t d.m
 $f_j(x_{1,i}, x_{2,i}, x_{3,i}, \dots)$ =由樹種 j 的相對關係式回歸樹木地上部生物量；t d.m
 R_j =樹種 j 的根冠比(Root-shoot ratio)；無單位

樹種 j 的相對關係式 $f_j(x_{1,i}, x_{2,i}, x_{3,i}, \dots)$ 與樹木的木材密度(ρ_j)和樹木的直徑 (D_j)有關：

$$W_{top,j} = 0.251\rho_j D_j^{2.46} \quad (37)$$

其中：

- $W_{top,j}$ = 由樹種 j 的相對關係式回歸樹木地上部生物量；t d.m。 (j = 水筆仔 (*Kandelia obovata*)、桐花樹 (*Aegiceras corniculatum*)、白骨壤 (*Avicennia marina*) 和紅海欖 (*Rhizophora stylosa*))
- D_j = 紅樹科樹種最高支柱根上方 30 公分處的樹幹直徑 ($D_{R0.3,j}$) 或直徑 (DBH)；cm
- ρ_j = 樹種 j 的木材密度；t.m⁻³

本專案採用的樹種均為鄉土樹種，包括紅樹科、非紅樹科、半紅樹三大類，採用相對關係式計算各樹種地上部生物量公式如表 9 所示，各物種之參數使用如表 10 所示。

表 9 各樹種之相對關係式生物量計算方式

種類	相對關係式	直徑範圍 (D)	迴歸值 (R^2)	迴歸值之樣本數量
紅樹科 (<i>Rhizophoraceae</i>)	$W_{top,j} = 0.251\rho_j D_{R0.3KO}^{2.46}$	≥ 5 cm	0.979	104
非紅樹科紅樹林 (<i>Non-Rhizophoraceae mangrove</i>)	$W_{top,j} = 0.251\rho_j DBH_j^{2.46}$			
半紅樹林 (<i>Semi-mangrove</i>)	$W_{top,j} = 0.251\rho_j DBH_j^{2.46}$			

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

表 9 各樹種生物量計算之參數使用

種類	樹種	ρ_j	R_j
紅樹科 (<i>Rhizophoraceae</i>)	紅海欖 (<i>Rhizophora stylosa</i>)	0.77	0.4674
	正紅樹 (<i>Rhizophora apiculata</i>)	0.77	0.4557
	水筆仔 (<i>Kandelia candel</i>)	0.34	0.7328
	木欖 (<i>Bruguiera gymnorhiza</i>)	0.699	0.4234
	海蓮 (<i>Bruguiera sexangula</i>)	0.699	0.6913
	紅蕊紅樹 (<i>Ceriops tagal</i>)	0.746	0.9490

非紅樹科紅樹林 (<i>Non-Rhizophoraceae mangrove</i>)	桐花樹(<i>Aegiceras Corniculatum</i>)	0.34	0.5076
	白骨壤(<i>Avicennia marina</i>)	0.506	0.9591
	總狀樹(<i>Lumnitzera racemose</i>)	0.34	0.4903
半紅樹林(<i>Semi-mangrove</i>)	水黃皮(<i>Pongamia pinnata</i>)	0.34	0.4898

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

專案監測期間，所有紅樹樹種的直徑均低於公式適用的直徑範圍(如圖 4 所示)。根據 AR-TOOL14 (version 04.2) 附錄 1，當直徑低於相對關係式適用直徑範圍的樹苗數量較多時，樣區內樹苗的平均生物量可估算如下，下述程序適用於所有地層。

- (1) 確定現有最小樹苗直徑與相對關係式允許的最小直徑。
- (2) 從樣區外採收少量直徑接近中徑的樹苗，求出每棵樹苗的平均生物量。
- (3) 統計樣區內的所有樹苗，並將該數乘以平均樹苗生物量，即可得出其對樣區生物量的貢獻。



圖 4 採收紅樹林以監測生物量

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

根據 AR-TOOL14 (version 04.2) 附錄 1，專案活動中對於第 i 層，樹木和灌木的碳儲量和碳儲量變化估算之監測程序如下：

1. 步驟一：測量每棵樹的 DBH 或 $DR_{0.3}$ 和 H

測量採用捲尺、測距桿、游標卡尺進行測量，專案監測團隊在每次監測活動前均進行自校準，以保證準確性。

測量樣區內所有幼苗，所有紅樹林樹種的高度均在 1.3 m 以下，即直徑或 $DR_{0.3}$ 還不存在。

2. 步驟二：採收每個樣區區域外的樹苗

所有紅樹林樹種的高度均在 1.3 m 以下，即直徑或 $DR_{0.3}$ 還不存在。

3. 步驟三：測量採獲樹苗的乾生物量

將每棵樹苗先用稱重秤稱出其濕重，然後將其切成四部分（根、莖、枝、葉），分別用乾燥箱乾燥，得到各部分的乾重，總乾重將記錄為樹苗的乾生物量。

4. 步驟四：計算樣區生物量

計算每個樣區內各樹種平均每棵樹苗乾生物量，記錄為該樣區內該樹種的平均樹苗生物量，然後將該樣區內該樹種的總數乘以平均樹苗生物量以獲得其對樣區生物量的貢獻。

專案監測結果及溫室氣體淨排放移除量故算，如表 10 及表 11 所示。

表 10 海南文昌、昌江紅樹林復育專案監測結果

Strata <i>i</i>	Unit	Total	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13
$A_{PROJ,i}$	ha	237.22	32.98	13.99	10.27	10.38	17.19	2.91	80.45	5.45	41.04	3.71	5.29	13.56
w_i	/		13.90%	5.90%	4.33%	4.38%	7.25%	1.23%	33.91%	2.30%	17.30%	1.56%	2.23%	5.71%
w_i^2			1.93%	0.35%	0.19%	0.19%	0.53%	0.02%	11.50%	0.05%	2.99%	0.02%	0.05%	0.33%
s_i (preliminary samples)	tdm·ha ⁻¹	0.06	0.03	0.02	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.05	0.18	0.02	0.08	0.07
s_i (full samples)	tdm·ha ⁻¹		0.03	0.02	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.05	0.18	0.02	0.08	0.07
$s_{\Delta,i}^2/n_i$			0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0015	0.0002	0.0001	0.0008	0.0111	0.0002	0.0021	0.0016
b_{TREE} (preliminary samples)	tdm·ha ⁻¹	0.59	0.33	0.61	0.84	0.51	2.04	0.14	0.56	0.34	0.40	0.56	0.38	0.26
Δb_{TREE} (full samples)	tdm·ha ⁻¹	0.59	0.33	0.61	0.84	0.51	2.04	0.14	0.56	0.34	0.40	0.56	0.38	0.26
E	tdm·ha ⁻¹	0.06												
t_{VAL} (to calculate n)	/	1.645												
t_{VAL} (to calculate $u_{\Delta C}$)	/	1.711												
n		2.45	0.16	0.05	0.05	0.05	0.21	0.01	0.22	0.05	1.38	0.02	0.08	0.17
n_i		36	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$u_{\Delta C}$		5.51%												
ΔC_{TREE}	tCO ₂ ·ha ⁻¹		0.57	1.05	1.45	0.87	3.52	0.25	0.97	0.59	0.69	0.97	0.66	0.45
ΔC_{TREE}	tCO ₂	-242	-19	-15	-15	-9	-61	-1	-78	-3	-28	-4	-3	-6
$GHGWPS_{soil,i,t}$	tCO ₂	-106	-	-26	-11	-	-44	-	-	-	-21	-3	-2	-

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

表 11 海南文昌、昌江紅樹林復育專案溫室氣體淨排放移除量估算

西元 (年)	基線排放或 移除估算 (tCO _{2e})	專案排放或 移除估算 (tCO _{2e})	洩漏排放 估算(tCO _{2e})	溫室氣體淨削減量或移 除量估算(tCO _{2e})
	GHG_{BSL}	GHG_{WPS}	GHG_{LK}	NER_{RWE}
2021	0	-2,449	0	2,449
2022	0	-3,807	0	3,807
2023	0	-4,114	0	4,114
2024	0	-4,216	0	4,216
2025	0	-4,318	0	4,318
2026	0	-4,420	0	4,420
2027	0	-4,523	0	4,523
2028	0	-4,625	0	4,625
2029	0	-4,727	0	4,727
2030	0	-4,829	0	4,829
2031	0	-4,829	0	4,829
2032	0	-4,829	0	4,829
2033	0	-4,829	0	4,829
2034	0	-4,829	0	4,829
2035	0	-4,829	0	4,829
2036	0	-4,829	0	4,829
2037	0	-4,829	0	4,829
2038	0	-4,829	0	4,829
2039	0	-4,829	0	4,829
2040	0	-4,829	0	4,829
2041	0	-4,829	0	4,829
2042	0	-4,829	0	4,829
2043	0	-4,829	0	4,829
2044	0	-4,829	0	4,829
2045	0	-4,829	0	4,829
2046	0	-4,829	0	4,829
2047	0	-4,829	0	4,829
2048	0	-4,829	0	4,829
2049	0	-4,829	0	4,829
2050	0	-4,829	0	4,829

西元 (年)	基線排放或 移除估算 (tCO _{2e})	專案排放或 移除估算 (tCO _{2e})	洩漏排放 估算(tCO _{2e})	溫室氣體淨削減量或移 除量估算(tCO _{2e})
	<i>GHG_{BSL}</i>	<i>GHG_{WPS}</i>	<i>GHG_{LK}</i>	<i>NER_{RWE}</i>
2051	0	-4,829	0	4,829
2052	0	-4,829	0	4,829
2053	0	-4,829	0	4,829
2054	0	-4,829	0	4,829
2055	0	-4,829	0	4,829
2056	0	-4,829	0	4,829
2057	0	-4,829	0	4,829
2058	0	-4,829	0	4,829
2059	0	-4,829	0	4,829
2060	0	-4,829	0	4,829
總計	0	-186,884	0	186,884

資料來源：CCB & VCS Project Description, Mangrove Restoration Project in Wenchang and Changjiang, Hainan, CCB Version 3, VCS Version 3, 2022.

附件十三 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案

一、計畫緣起

「維吉尼亞海岸保護區海草復育專案（VIRGINIA COAST RESERVE SEAGRASS RESTORATION PROJECT）」是由自然保護協會（The Nature Conservancy，簡稱 TNC）的維吉尼亞州分會（Virginia State Chapter）管理和實施的專案。該專案主要目標是復育維吉尼亞海岸保護區（Virginia COast Reserve，簡稱 VCR）的海草床。

美國東岸 VCR 海濱地區是一個龐大而複雜的沿海海洋生態棲息地，包括沼澤、潮汐河流、淺海灣和隔離島嶼（barrier islands）。在 1930 年之前，大葉藻科（Eelgrass，*Zostera Marina*）作為一種原生海草，廣泛分布於 VCR 的沿海海灣，但在 20 世紀 30 年代初期，*Labyrinthula zosterae*（*L. zosterae*，一種微生物）大爆發以及 1933 年的 Chesapeake-Potomac 颶風的強大影響，導致維吉尼亞沿海海灣大葉藻科的海草種群大規模死亡。

VCR 海草復育專案始於 2015 年，期通過直接種植來復育 VCR 的海草床。直到 1990 年代末，VCR 沿海海灣中一直沒有海草床，直到南灣重新出現小型自然大葉藻科，顯示海草生長的條件已經回歸到 VCR。1999 年，TNC 和維吉尼亞海洋科學研究所（Virginia Institute of Marine Science，VIMS）開始在 VCR 進行大規模的大葉藻科復育工作。從 1999 年到 2014 年，TNC 和 VIMS 在 South, Cobb, Spider Crab 和 Hog Island Bays 種植了 185 公頃的大葉藻科種子，加速了 VCR 沿海海灣中大葉藻科的自然擴散。

自 2015 年專案開始，大葉藻科的復育工作已經最大程度地實現了自然復原，繼續增加種子的添加是為了進一步擴大 VCR 沿海海灣中的海草覆蓋範圍。通過直接種植復育區域的數據顯示，可生長面積比自然生長的分

布更廣，顯示繼續添加種子可使大葉藻科覆蓋面積達到 107 平方公里。在碳專案中，將繼續進行直接種植復育區域，以進一步擴大海草覆蓋範圍。

自執行 VCR 專案，維吉尼亞大學（UVA）和 VIMS 一直研究該專案，探討擴大 VCR 海草覆蓋的長期影響以及海草床在減緩氣候變化方面的潛在作用。海草復育直接增加了沉浸式水生植物（SAV）和海洋沉積物中的碳儲存，增強了從大氣中去除溫室氣體（GHG）排放的效果。在 30 年的計入期內，該專案活動估計將產生 40,486 噸二氧化碳當量的淨減排效益。

二、 專案區域位置

該專案位於美國維吉尼亞海岸保護區(如圖 1 所示)，該區域現有海床草範圍與專案邊界及範圍分別如圖 2、圖 3 所示。維吉尼亞東岸的沿海灣區域內專案活動實例占地約 7,787 英畝，如圖 3 所示，包括：位於維吉尼亞州諾桑普頓（Northampton County, Virginia）邊界約 8,500 英畝，包括：南至 Sand Shoal Channel，東至 Gull Marsh，西至 Elkins 和 Eckichy Marshes，北至 Gull Marsh 北端和 Crabbing Marsh 南端。其中，專案排除了區域內私人租賃之貝類養殖區，約 712.74 英畝，及其臨近 200 英尺緩衝區。

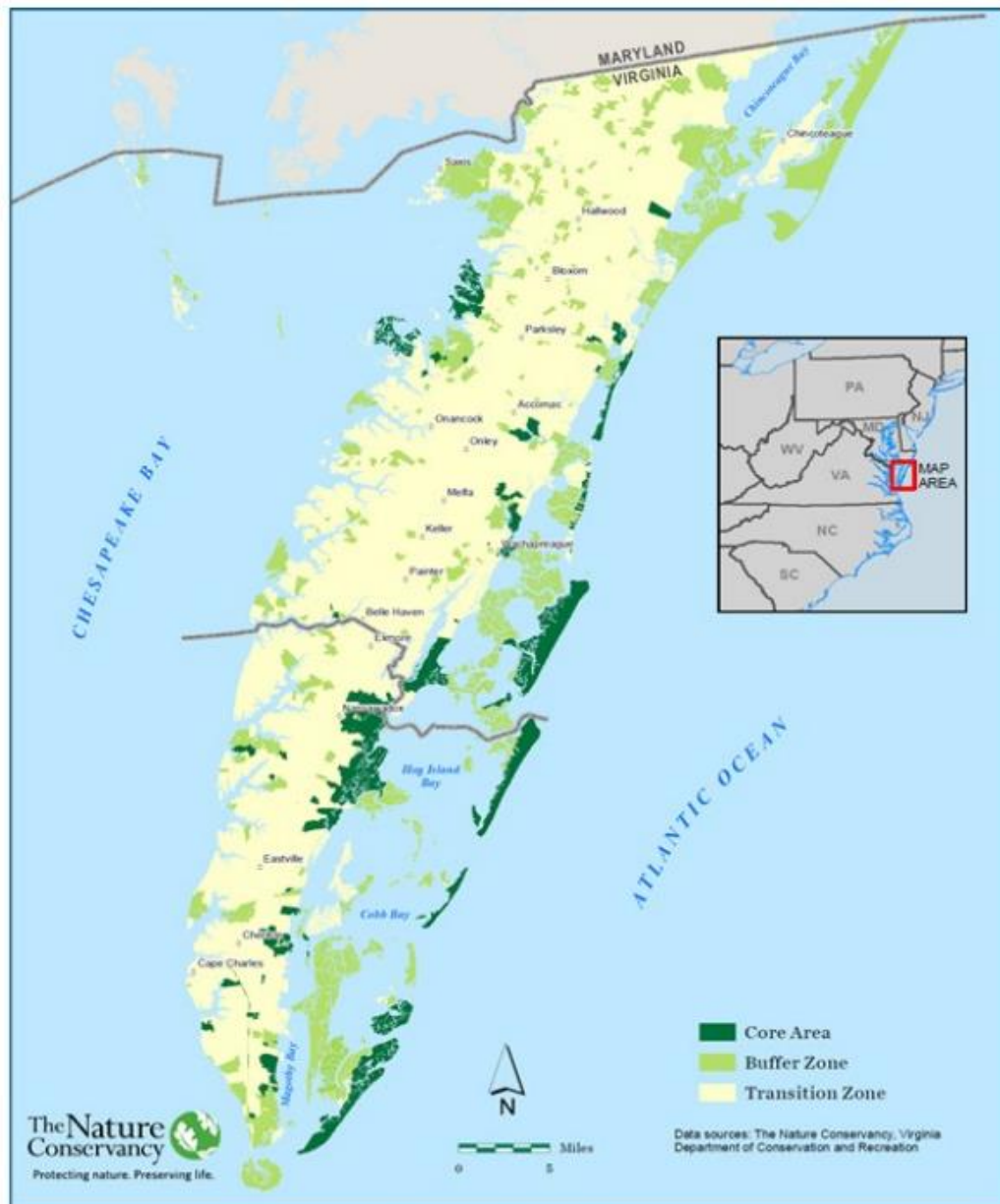


圖 1 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案區域位置

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL，2022。



圖 2 2015 年維吉尼亞海岸保護區現有海草床範圍

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

註：海草床以綠色區塊表示。

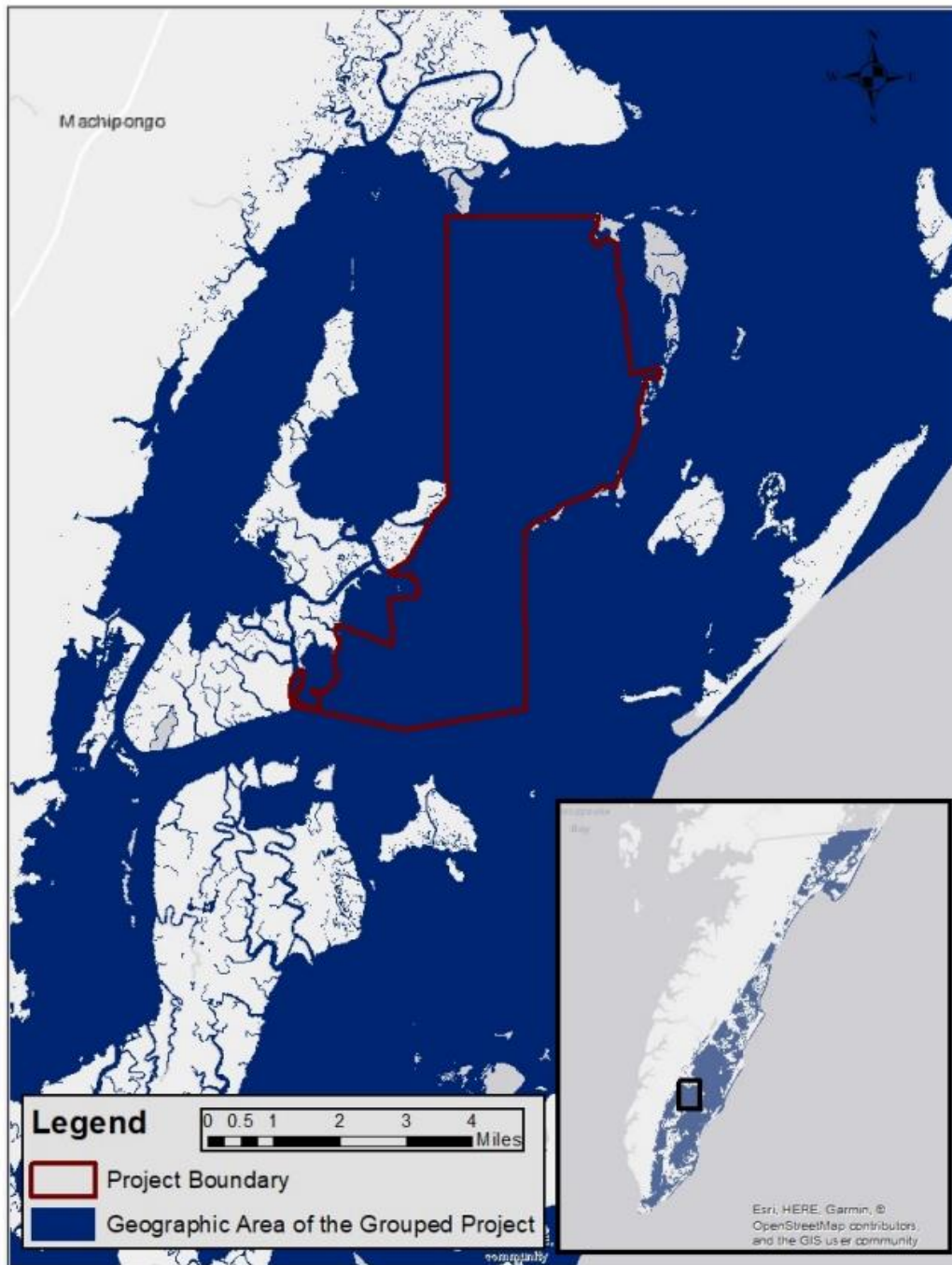


圖 3 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案邊界

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL，2022

三、永續發展目標

為解決氣候變遷、經濟成長、社會平權、貧富差距等問題，聯合國（United Nations）於 2015 年 9 月 25 日通過「2030 永續發展目標（Sustainable Development Goals, SDGs）」，包含 17 項 SDGs 目標，維吉尼亞海岸保護區海草復育專案實施，有助於實現如下目標(如表 1 所示)。

2018 年，美國永續發展報告提供了對 50 個州在永續發展目標方面的基線評估，發現在對抗由人類引起的氣候變化方面需要取得重大進展。儘管 2018 年的報告未評估 SDG 14 的進展，但海洋生態為國家永續發展的重要優先事項。

海洋的永續性對全球食品系統、生計和環境健康至關重要。然而，在美國的次國家級別監測海洋是具有挑戰性的。儘管沿海州可能更直接參與導致海洋資源惡化的產業，但內陸州的需求也推動了不可持續的海洋利用。由於這類複雜性的原因，故海洋資源主要在州際、國家和國際層面進行管理。

表 1 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案實施之永續發展目標

目標	說明
	專案雖然有助於美國實現 SDG 13 和 SDG 14 的進展，但對於監測和報告方面沒有正式的規定。
	

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

四、 專案期程

專案計算週期為 30 年，從 2015 年 10 月 7 日開始，至 2045 年 10 月 6 日結束。

五、 溫室氣體移除量估算

專案估算與專案活動相關的復育區域，以及專案活動可歸因的非相鄰海草床區域預計的未來面積。預計於 30 年內清除 27,902 噸二氧化碳排放量(tCO_{2e})，年均溫室氣體移除量為 930 噸(tCO_{2e})(如表 2 所示)。

表 2 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案歷年溫室氣體移除量估算

年	溫室氣體 移除量估 算(tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估 算(tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估 算(tCO _{2e})	年	溫室氣體 移除量估 算(tCO _{2e})
2015	0	2023	580	2031	957	2039	1,482
2016	0	2024	636	2032	1,012	2040	1,551
2017	0	2025	684	2033	1,075	2041	1,627
2018	6	2026	732	2034	1,137	2042	1,699
2019	113	2027	782	2035	1,205	2043	1,773
2020	229	2028	823	2036	1,271	2044	1,853
2021	467	2029	870	2037	1,339	2045	1,151
2022	525	2030	913	2038	1,410	-	-
溫室氣體移除量總計估算(tCO _{2e})							27,902
計算週期(年)							30
年均溫室氣體移除量							930

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

六、 應用方法

該專案為應用 VCS VM0033 潮汐濕地和海草復育方法 1.0 版(VM0033 Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration v1.0)。

七、 方法學的適用性

該專案符合所適用方法學的每個適用條件，說明如下：

- (一) 復育潮汐濕地（包括海草床，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。該專案是通過種植本地大葉藻科物種來復育 VCR 的海草床。

(二) 專案活動可以包括以下任何一項或多項組合：

1. 創造、復育和/或管理水文條件（例如拆除潮汐屏障、改善水文連通性、復育潮汐流至濕地或降低堤防濕地水位）。
2. 改變沉積物供應（例如有利地利用疏濬材料或將河流沉積物轉移至缺乏沉積物的區域）。
3. 改變鹽度特性（例如將潮汐復育到受潮汐限制的區域）。
4. 改善水質（例如減少養分負荷，提高水質澄清度以擴大海草床，復育潮汐和其他水文沖洗與交換，或減少養分滯留時間）。
5. （重新，Re-）引入本土植物群落（例如重新種植或再造林）。
6. 改善管理方法（例如移除外來物種、減少放牧）。

該專案通過人工將 *Zostera Marina*（一種原生於維吉尼亞東岸的大葉藻科）種子散播到種植區域中，重新引入該植物物種，因此，適用條件（e）適用。

(三) 在專案開始前，專案邊界需符合以下條件之一：

1. 不受任何可能將用地轉移至專案邊界以外的影響，並以下列至少一種方法進行證明：
 - i. 在專案開始前，該專案邊界已被廢棄兩年以上。
 - ii. 由於鹽漬侵蝕、市場力量或其他因素而使得專案邊界用於商業利用（如貿易）不具營利性。此外，專案邊界的基線情境中不會進行木材採伐。
 - iii. 在國內不會發生因新的農業用地而導致其他濕地退化的情況，或通過強制執行的法律予以禁止。

或

2. 屬於可在遷移到專案邊界外的土地使用方式，但在此情況下，不應計算該土地使用方式的基線排放量，並且國內進一步開墾濕地用於新的農業/水產養殖用地的情況不會發生或已被法律禁止。

或

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（例如採集蘆葦或乾草、採集柴火、自給自足的捕撈等）。

專案申請人必須根據可驗證的資訊，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（a）、（b）或（c）中的一種。

專案區域包括維吉尼亞州的水下底地，分為兩種不同的使用分配：Baylor Grounds 和 Baylor Grounds 外未指定的水下底地。

在 1890 年代進行 Baylor 調查確定了公共貝殼魚床或「Baylor Grounds」的界限。這些是廣泛設立的區域，旨在保護剩餘的天然牡蠣（*Crassostrea Virginica*）礁。維吉尼亞州要求管理這些州政府擁有的水下底地中的天然貝殼魚床，以造福該州的公民。然而，由於過去 120 年來與氣候變化和過度捕撈相關的海濱沿岸灣發生了重大變化，因此，在 Baylor Grounds 內，只有 56%的區域適合野生牡蠣生長，而不到 10%的區域適合野生蛤蜊收穫。因此，基於上述情況，適用條件（a）或（c）均符合條件。

1890 年代的 Baylor 調查未包括的區域可供維吉尼亞州的公民租賃，用於種植和養殖貝殼魚類。近幾十年來，商業貝殼魚類養殖已取代野生貝殼魚類的收穫，成為維吉尼亞州東岸主要的海鮮產業。租賃地曾用於轉植野生牡蠣，現在用於孵化場基礎上的貝殼魚類的密集養殖，包括蛤蜊和牡蠣。在 VCR 沿岸灣，這種養殖主要涉及硬蛤蜊 *Mercenaria Mercenaria*。在硬蛤蜊養殖中，孵化場生產的「種蛤蜊」

(大小為 10 - 20 毫米)被種植在租賃底部的低潮間帶或淺次潮間帶，生長期平均約為兩年。

海草床恢復區域設置在 Baylor Grounds 或在 Baylor Grounds 外的未租賃區域，這些區域不涉及可能轉移到專案區域之外的土地利用。專案區域與 Baylor Grounds 重疊的區域可能在專案期間繼續採集貝殼魚類，然而，由於該區域的大部分已不再支持有生產力的野生牡蠣和蛤蜊漁業，預計在與 Baylor Grounds 重疊的專案實例中將幾乎沒有貝殼魚類的採集活動。雖然 VMRC 的政策是避免 VIMS 在過去 5 年中繪製的任何海草床上授權任何新的結構或活動，但並未規定禁止海草侵入現有水產養殖租賃的情況下續租。因此，專案將在計入期內，對專案實例進行監測，以檢測任何海草覆蓋的損失。

- (四) 專案區域可能存在活樹植被，並且在基線情境和專案情境下均可能受到碳存量變化，如由於採伐而造成的影響：**不適用**，海草復育是發生在水下底地上，因此，專案區域中不存在活樹木植被。
- (五) 專案活動可能包括對地上之草本和灌木地上部生物量進行控制性燃燒（覆蓋物燃燒）：**不適用**。在水下底地上不會發生火災，專案活動中也不會進行預定的燃燒。
- (六) 如果專案申請人預計通過減少泥炭火災的頻率來獲得削減額度，專案活動必須包括重新濕化和火災管理的組合：**不適用**。
- (七) 如果專案申請人預計通過減少泥炭火災的頻率來獲得削減額度，則必須證明存在頻繁的現場火災威脅，且有機土壤起火原因是人為的，例如泥炭的排水、縱火：**不適用**。
- (八) 在有機土壤層中，造林、再造林與植被復育（ARR）活動必須結合重新濕化：**不適用**。

本方法學不適用於以下情況，說明如下：

- (一) 專案活動符合改善森林管理（IFM）或毀林及森林退化排放溫氣體之減量（REDD）：**專案不符合 IFM 或 REDD 的資格。**
- (二) 基線活動包含商業林業：**基準活動不包括商業林業，海草復育發生在水下底地上，該地區不存在活樹木植被。**
- (三) 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：**專案涉及人工將種子散播到水下底地上的草地復育區域，地下水位不會降低。**
- (四) 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：**專案不會導致區域水位深度變化，因此不會影響相鄰區域的水位深度變化；故專案區域與相鄰區域的水文連通不會導致專案區域外的溫室氣體排放大幅增加。**
- (五) 專案活動包含有機土壤的燃燒：**專案不包括有機土壤的燃燒，此外，水下底地中不會發生火災。**
- (六) 專案活動計入期，在專案邊界內使用氮肥，如化肥或糞肥：**在專案計入期間，專案區域不會施用氮肥。**

八、 專案邊界

(一) 時間邊界

專案未量化基準排放的減少，因此，無需估算土壤有機碳耗盡的時間(Soil Organic Carbon Depletion Time, SDT)。專案計入期間為 30 年，自 2015 年 10 月 7 日開始，到 2045 年 10 月 6 日結束。

(二) 地理邊界

1. 專案邊界

專案邊界為維吉尼亞東岸的沿海灣區域內實例占地約 7,787 英畝，包括：位於維吉尼亞州諾桑普頓(Northampton County, Virginia) 邊界約8,500英畝，包括：南至Sand Shoal Channel，東至Gull Marsh，西至Elkins 和 Eckichy Marshes，北至 Gull Marsh 北端和Crabbing Marsh 南端。其中，排除了專案區域內私人租賃之貝類養殖區約 712.74 英畝，與鄰近 200 英尺緩衝區。現有的海草床將從專案排放的計算中排除。

2. 分層

專案內每個專案活動實例的專案區域將根據重新種植的日期分層，以便在計量過程中應用適當的土壤 CO₂排放因子。

鑒於海草在不同的光線和深度環境下可能有不同反應，應用方法允許區分出現在不同深度的海草床區域，前提是存在明確的水深和底質變化。根據應用方法，監測專案時可以對分層進行事後修訂。

另專案將排除專案開始前每個專案活動內的海草床區域。僅估算海草復育區域中種植種中所產生的新海草床。如果新海草床由自然擴展產生的，並與海草復育區域相鄰，則也將納入專案計算。若有復育海草床與現有海草床融合的情況下，則將劃定兩個海草床間的界線，並排除計算現有海草床。專案開始後於至少四年內觀察到的非相鄰海草床區域也將被劃定估算。儘管種子密度在種植時通常距離源頭約 300 - 400 米，但透過 1990 年代觀察到來自於欽科提格海灣 (Chincoteague Bays) 的大葉藻科海草種子重新出現在南灣，顯見海草種子的傳播距離極遠。此外，由復育種子產生的新海草床區域在估算上，非相鄰海草床區域的百分比，不得超過復育海草床面積相對於總海草床面積的比例。

3. 海平面上升

在定義地理專案邊界和地層時，專案必須考慮預期的相對海平面上升以及向陸地擴展專案區域的潛力，以評估濕地遷移、淹沒和侵蝕的情形。

根據 Wachapreague, VA (1978 – 2019, NOAA) 收集的經同行評審的發表數據確定，在專案區域，預測相對海平面上升率為每年 5.48 ± 0.60 毫米。然而，已觀察到在 VCR 的復育海草床中的地表增積速率約為每年 6.0 毫米。因此，由於復育海草床增加了地表堆積，預計專案區域在 100 年後的深度將保持在對大葉藻科建立和長期存活至關重要的範圍內，即 0.8 至 1.5 米 MSL。故預測專案區域內濕地邊界 100 年內保持不變。

4. 不符合條件的濕地區域

對於量化減少 CO₂ 排放的專案，專案區域如果在專案開始後的 100 年內未實現累積碳損失的顯著差異 ($\geq 5\%$) 則不符合條件，且必須對這些區域進行量測。由於該專案不量化 CO₂ 排放減少，僅量化 CO₂ 的移除，因此，不適用此要求。

九、 碳庫(Carbon Pools)

專案邊界內所包含和排除的碳庫，彙整如表 3 所示。

表 3 維吉尼亞海岸保護區海草復育碳庫的選擇與原因

碳庫	是否包含	原因/說明
地上樹木生物量 (Aboveground tree biomass)	否	復育大葉藻科發生在沒有活樹木植被的水底地帶。
地上非樹木生物量 (Aboveground non-tree biomass)	是	在基準情境中，碳庫的碳存量可能會增加，在專案情境中可能會增加或減少。
地下部生物量 (Below-ground biomass)	是	在基準情境中，必須包括地下部生物量。在專案情境中，地下部生物量可以包括，也可以以保守方式忽略不計。

碳庫	是否包含	原因/說明
枯落物 (Litter)	否	對於 WRC 方法來說，碳庫是選擇性的。枯落物只在與草本生物量的量化相關時間間接包括在內。
枯木 (Dead wood)	否	對於 WRC 方法來說，碳庫是選擇性的。
土壤 (Soil)	是	由於專案活動的實施，土壤有機碳存量可能會增加。
木製品 (Wood products)	否	復育大葉藻科發生在水下底部，沒有活樹木植被存在。

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

十、溫室氣體的來源

專案邊界內所包含和排除的溫室氣體，彙整如表 4 所示。

表 4 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案邊界內包含或排除的溫室氣體來源

來源		氣體	是否包含	原因/說明
基線	微生物產生的甲烷	CH ₄	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
	脫硝/硝化	N ₂ O	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
	化石燃料使用	CO ₂	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
		CH ₄	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
		N ₂ O	否	在基線情境中以保守方式忽略不計
專案	微生物產生的甲烷	CH ₄	是	在專案情境中，低鹽度和淡水區域可能是潛在主要排放源。
	脫硝/硝化	N ₂ O	是	可能因專案活動而增加。
	化石燃料使用	CO ₂	是	在專案情境中，是潛在的主要排放源。該專案確認石化燃料的排放極小，請參閱專案計

來源	氣體	是否包含	原因/說明
			畫書第 4.2.5 節。
	CH ₄	否	在專案燃料使用中非重要排放源。
	N ₂ O	否	在專案燃料使用中非重要排放源。

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

十一、基線情境

基準情境是使用清潔發展機制(CDM)工具來識別基線情境並證明造林與再造林清潔發展(A/R CDM)專案活動的外加性，不考慮與外加性相關的工具有素。

十二、外加性

基於應用方法，該方法使用活動方法來證明美國海草床復育專案的外加性。

十三、溫室氣體削減量和移除量的量化

(一) 基線排放量

1. 一般方法

基線情境中的排放歸因於草本植物和土壤有機碳的碳存量變化，微生物產生的甲烷，以及脫硝/硝化。基線情境中來自石化燃料的排放以保守方式忽略不計。因此，基準情景中的排放估算如下：

$$GHG_{BSL} = GHG_{BSL-biomass} + GHG_{BSL-soil}$$

$$GHG_{BSL-biomass} = - \sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{BSL}} \left(\frac{44}{12} \times \Delta C_{BSL-biomass,i,t} \right)$$

$$GHG_{BSL-soil} = - \sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{BSL}} GHG_{BSL-soil,i,t}$$

其中：

GHG_{BSL} = 於基線情境中直至 t^* 年之 CO_{2e} 淨排放量； t CO_{2e}

- $GHS_{BSL-biomass}$ = 於基線情境中直至 t^* 年之生物質碳庫 CO_{2e} 淨排放量； $t \ CO_{2e}$
- $GHS_{BSL-soil}$ = 於基線情境中直至 t^* 年之 SOC 碳庫 CO_{2e} 淨排放量； $t \ CO_{2e}$
- $\Delta C_{BSL-biomass,i,t}$ = 於基線情境下地層 i 在第 t 年，生物質碳庫之淨碳存量變化； $t \ C/yr$
- $GHG_{BSL-soil,i,t}$ = 於基線情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫 GHG 排放量； $t \ CO_{2e}/yr$
- i = 基線情境下的 1、2、3... M_{BSL} 地層
- t = 自專案開始日起經過 1,2,3... t^* 年

2. 海平面上升的原因

在基線情境中，專案計算包括大葉藻科海草床區域不會因氧化而喪失地上部生物量的碳存量，也不會因侵蝕和運輸到專案區域之外而喪失土壤碳存量。

3. 基線情境下生物質碳庫之淨碳存量變化

大葉藻科復育發生在水下底部，沒有活樹木或灌木的存在，因此，基線情境中樹木和灌木碳存量池中的淨碳存量變化設定為 0。由於專案區域中的基線情境是淺水區域，基線情境中草本碳儲庫的淨碳存量變化也設定為 0。

4. 基線情境中土壤之溫室氣體淨排放量

基線情境中的土壤淨排放設定為零，因為用於估算專案情境中土壤淨排放的發布值（詳見該文件第 4.2 節）已經扣除基線土壤二氧化碳、異地土壤碳、土壤甲烷和土壤氧化亞氮的排放，這些數值是根據在與專案區域相同的系統中收集的數據所得，因此，僅限用於與專案區域相同或相似的系統，具有相似的地貌、水文和生物特性，並且受到與應用方法學要求的管理制度相似的地區。

(二) 專案排放量

1. 一般方法

專案情境中的排放歸因於草本生物量和有機土碳存量的變化、微生物產生的甲烷、脫硝/硝化以及來自化石燃料的排放。由於在專案中不會發生燃燒、因人為火災（GHGWPS-burn）而引起的有機土壤燃燒，故未納入排放計算。專案情境中的化石燃料排放被認為極微小，故根據 CDM 工具《A/R CDM 專案活動中溫室氣體排放重要性測試工具》的應用而未被計算。因此，專案溫室氣體排放估算如下：

$$GHG_{WPS} = GHG_{WPS-biomass} + GHG_{WPS-soil}$$

$$GHG_{WPS-biomass} = - \sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{WPS}} \left(\frac{1}{12} \times \Delta C_{WPS-biomass,i,t} \right)$$

$$GHG_{WPS-soil} = - \sum_{t=1}^{t^*} \sum_{i=1}^{M_{WPS}} \left(\frac{1}{12} \times \Delta C_{WPS-soil,i,t} \right)$$

其中：

GHG_{WPS} =專案情境下截至 t^* 年 CO_2e 淨排放量； t CO_2e

$GHG_{WPS-biomass}$ =專案情境下截至 t^* 年生物質碳庫的 CO_2e 淨排放量； t CO_2e

$GHG_{WPS-soil}$ =專案情境下截至 t^* 年從 SOC 碳庫的 CO_2e 淨排放量； t CO_2e

$\Delta C_{WPS-biomass,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，生物質碳庫的淨碳存量變化； t C/yr

$\Delta C_{WPS-soil,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 GHG 排放量； t CO_2e/yr

i =專案情境下的 1、2、3... M_{WPS} 地層

t =自專案開始日起經過的 1，2，3 ... t^* 年

GHG_{WPS} 的預估係基於事先定義且使用最新版本的 VCS 模組 VMD0019「未來情況預測方法」所進行的專案情景預測。

2. 海平面上升的原因

關於土壤碳存量，對於有浪潮作用的地區，保守地假設沉積物將侵蝕，碳將被氧化。對於專案情境，氧化常數被保守地設置為 1。

3. 專案情境下生物質碳庫的淨碳存量變化估計

海草復育係發生在沒有活樹木或灌木的水下底部，因此，專案情境中樹木和灌木碳庫的淨碳存量變化設定為 0。

4. 專案情境中土壤之溫室氣體淨排放量

$$GHG_{WPS-soil,i,t} = A_{i,t} \times (GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t} - Deduction_{alloch} + GHG_{WPS-soil-CH_4,i,t} + GHG_{WPS-soil-N_2O,i,t})$$

其中：

$GHG_{WPS-soil,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 GHG 排放量；t CO_{2e} /yr

$GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 CO₂ 排放量；t CO_{2e} /ha· yr

$Deduction_{alloch}$ =扣除來自於 SOC 碳庫 CO₂ 排放，用以估算來自外來土壤有機碳占碳存量之百分比；t CO_{2e} /ha· yr

$GHG_{WPS-soil-CH_4,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 CH₄ 排放量；t CO_{2e} /ha· yr

$GHG_{WPS-soil-N_2O,i,t}$ =專案情境下地層 i 在第 t 年，SOC 碳庫的 N₂O 排放量；t CO_{2e} /ha· yr

$A_{i,t}$ =地層 i 在第 t 年的面積；ha

i =專案情境下的 1、2、3...M_{WPS} 地層

t =自專案開始日起經過的 1，2，3 ... t* 年

詳見文件第 5.1 節說明，本專案使用經過同行評審發表之 $GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t}$ 、 $GHG_{WPS-soil-CH_4,i,t}$ 和 $GHG_{WPS-soil-N_2O,i,t}$ 的數據，這些數據基於與專案區域相同的系統中二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）和氧化亞氮（N₂O）排放的平均速率。未來若有新的發表研究可用，數據將進行監測並更新。因此，這些數據僅限於位於與專案區域相同或相似地區，具有相似的地形、水文和生物特性，並且受到所應用方法所要求的相似管理體制的系統。 $GHG_{WPS-soil-CO_2,i,t}$ 、 $GHG_{WPS-soil-CH_4,i,t}$ 和 $GHG_{WPS-soil-N_2O,i,t}$ 已扣除基線土壤二氧化碳、外源土壤碳、土壤甲烷和土壤氧化亞氮排放，這些排放是在裸露沉

積物中測量的，因此，代表由於海草復育而導致的土壤對溫室氣體淨排放的影響。

(三) 洩漏

VM0033 的適用條件的構建是為了確保不發生活動轉移洩漏 (Activity-Shifting Leakage) 和市場洩漏 (Market Leakage)，專案滿足方法學適用條件情況，因此， $GHG_{LK} = 0$ 。

(四) GHG 淨削減量和移除量

1. 溫室氣體淨削減量計算

本專案未聲明火災減少價值 (Fire Reduction Premium) 或溫室氣體基線排放減量，因此，專案活動的溫室氣體淨削減量計算如下：

$$NER_{RWE} = GHG_{BSL} - GHG_{WPS} - GHG_{LK}$$

其中：

NER_{RWE} = RWE 專案活動的 CO_{2e} 淨減排放量；t CO_{2e}

GHG_{BSL} = 在第 t 年期間，基線情境下的 CO_{2e} 淨排放量；t CO_{2e}

GHG_{WPS} = 在第 t 年期間，專案情境下的 CO_{2e} 淨排放量；t CO_{2e}

GHG_{LK} = 洩漏造成的 CO_{2e} 淨排放量；t CO_{2e}

2. 不確定性估計

在基線情境下，排放和碳存量變化的估算不確定性計算如下：

$$Uncertain_{BSL,i} = \frac{\sqrt{(U_{BSL,SS1,i} \times E_{BSL,SS1,i})^2 + (U_{BSL,SS2,i} \times E_{BSL,SS2,i})^2 \dots + (U_{BSL,SSn,i} \times E_{BSL,SSn,i})^2}}{E_{BSL,SS1,i} + E_{BSL,SS2,i} \dots + E_{BSL,SSn,i}}$$

其中：

$Uncertain_{BSL,i}$ = 基線情境下地層 i 碳存量與 GHG 來源的總不確定性；%

$U_{BSL,SS,i}$ = 基線情境下地層 i 碳存量和 GHG 來源的不確定性（在適當情況下，以平均值的 90%信賴區間作為百分比表示）（1、2...n 代表不同的碳庫和/或 GHG 來源）；%

$E_{BSL,SS,i}$ = 基線情境下地層 i 碳存量和 GHG 來源（例如樹木、倒枯木）（1、2...n 代表不同的碳庫和/或 GHG 來源）；t CO₂e

i = 基線情境下的 1、2、3...MBSL 地層

在基線情境下，跨組合的不確定性使用以下公式進行評估：

$$Uncertain_{BSL} = \frac{\sqrt{(U_{BSL,1} \times A_1)^2 + (U_{BSL,2} \times A_2)^2 \dots + (U_{BSL,MBSL} \times A_{MBSL})^2}}{A_1 + A_2 \dots + A_{MBSL}}$$

其中：

$Uncertain_{BSL}$ = 基線情境下的總不確定性；%

$U_{BSL,i}$ = 基線情境下地層 i 的不確定性；%

A_i = 地層 i 的面積；ha

專案情境中排放和碳庫變化估算的不確定性計算如下：

$$Uncertain_{WPS,i} = \frac{\sqrt{(U_{WPS,SS1,i} \times E_{WPS,SS1,i})^2 + (U_{WPS,SS2,i} \times E_{WPS,SS2,i})^2 \dots + (U_{WPS,SSn,i} \times E_{WPS,SSn,i})^2}}{E_{WPS,SS1,i} + E_{WPS,SS2,i} \dots + E_{WPS,SSn,i}}$$

其中：

$Uncertain_{WPS,i}$ = 專案情境下地層 i 碳存量與 GHG 來源的總不確定性；%

$U_{WPS,SS,i}$ = 專案情境下地層 i 碳存量與 GHG 來源的不確定性百分比（在適當情況下，以平均值的 90%信賴區間作為百分比表示）（1、2...n 代表不同的碳庫和/或 GHG 來源）；%

$E_{WPS,SS,i}$ =專案情境下地層 i 碳存量與 GHG 來源(例如樹木、倒枯木等)(1、2...n 代表不同的碳庫和/或 GHG 來源)；t CO₂e
i =專案情境下的 1、2、3...MWPS 地層

評估合併地層的不確定性以以下公式計算：

$$Uncertain_{WPS} = \frac{\sqrt{(U_{WPS,1} \times A_1)^2 + (U_{WPS,2} \times A_2)^2 \dots + (U_{WPS,M_{BSL}} \times A_{M_{BSL}})^2}}{A_1 + A_2 \dots + A_{M_{BSL}}}$$

其中：

$Uncertain_{WPS,i}$ =專案情境下的總不確定性；%

$U_{WPS,i}$ =專案情境下地層 i 的不確定性；%

A_i =地層 i 的面積；ha

專案活動的總誤差：

$$NER_{ERROR} = \frac{\sqrt{(Uncertain_{BSL} \times GHG_{BSL})^2 + (Uncertain_{WPS} \times GHG_{WPS})^2}}{GHG_{BSL} + GHG_{WPS}}$$

其中：

NER_{ERROR} =專案活動的總不確定性；%

$Uncertain_{BSL}$ =基線情境的總不確定性；%

$Uncertain_{WPS}$ =專案情境的總不確定性；%

GHG_{BSL} =基線情境下至第 t*年的 CO₂e 淨排放量；t CO₂e

GHG_{WPS} =專案情境下至第 t*年的 CO₂e 淨排放量；t CO₂e

在 90%信賴區間下，允許的不確定性為 20%。如果滿足此精密度水準，則不得扣除不確定性。如果超過此精密度水準，則必須根據超過允許水準的不確定性進行扣除。為了考慮不確定性，NER_t 調整值必須計算如下：

$$adjusted_NER_t = NER_t \times (100\% - NER_{ERROR} + allowable_uncert)$$

其中：

adjusted_NER_t = 根據不確定性調整 t 年的 GHG 淨削減量；t CO₂e

NER_t = 專案活動截至第 t 年的 GHG 淨削減總量；t CO₂e

NER_{ERROR} = WRC 專案活動的總不確定性；%

allowable_uncert = 允許的不確定性；在信賴區間為 90%或 95%下分別為 20%或 30%；%

- 經認證之碳單位(Verified Carbon Units, VCU_s)估計

驗證碳單位 (VCUs) 的數量計算如下：

$$VCU_{t2} = (adjusted_NER_{t2} - adjusted_NER_{t1}) \times Buffer_{t2}$$

$$Buffer_{t2} = (NER_{stock,t2} - NER_{stock,t1} \times Buffer\%_{t2})$$

其中：

VCU_{t2} = t2 年的 VCUs 數量

adjusted_NER_{t1} = 考慮不確定性調整專案活動截至第 t1 年的 GHG 淨削減總量；t CO₂e

adjusted_NER_{t2} = 考慮不確定性調整專案活動截至第 t2 年的 GHG 淨削減總量；t CO₂e

Buffer_{t2} = t2 年投入 AFOLU 集合緩衝帳戶的緩衝額度數量

NER_{stock, t2} = 專案活動至 t2 年的 GHG 淨削減量，不包括土壤和生物質燃燒的非 CO₂排放和化石燃料使用的排放；t CO₂e

Buffer%_{t2} = t2 年投入 AFOLU 集合緩衝帳戶的緩衝額度百分比；%

緩衝區積分百分比是通過應用最新版本的 VCS AFOLU 非永久性風險工具確定的。表 5 中展示基線排放/移除、專案排放/移除、洩漏排放和溫室氣體淨排放和移除的預估數據。預估值代表了與專案活動有

關的未來海草床面積，包括與復育區域相鄰的海草床和可以歸因於專案活動的非相鄰海草床復育區域。對於初始專案活動實例，預估的最大海草擴張面積是參考自 Oreska（2018）對 VCR 潛在海草擴張進行的模式模擬結果取得。

表 5 維吉尼亞海岸保護區海草復育專案邊界內預估排放或削減量

專案年	日曆年	估計的基線排放量或移除量 (tCO ₂ e)	估計的專案排放量或移除量 (tCO ₂ e)	估計的洩漏量 (tCO ₂ e)	估計的 GHG 淨排放削減量或移除量 (tCO ₂ e)
0	2015	0	0	0	0
1	2016	0	0	0	0
2	2017	0	0	0	0
3	2018	0	6	0	6
4	2019	0	113	0	113
5	2020	0	229	0	229
6	2021	0	467	0	467
7	2022	0	525	0	525
8	2023	0	580	0	580
9	2024	0	636	0	636
10	2025	0	684	0	684
11	2026	0	732	0	732
12	2027	0	782	0	782
13	2028	0	823	0	823
14	2029	0	870	0	870
15	2030	0	913	0	913
16	2031	0	957	0	957
17	2032	0	1,012	0	1,012
18	2033	0	1,075	0	1,075
19	2034	0	1,137	0	1,137
20	2035	0	1,205	0	1,205
21	2036	0	1,271	0	1,271
22	2037	0	1,339	0	1,339
23	2038	0	1,410	0	1,410
24	2039	0	1,482	0	1,482
25	2040	0	1,551	0	1,551

專案年	日曆年	估計的基線排放量或移除量 (tCO ₂ e)	估計的專案排放量或移除量 (tCO ₂ e)	估計的洩漏量(tCO ₂ e)	估計的 GHG 淨排放削減量或移除量(tCO ₂ e)
26	2041	0	1,627	0	1,627
27	2042	0	1,699	0	1,699
28	2043	0	1,773	0	1,773
29	2044	0	1,853	0	1,853
30	2045	0	1,151	0	1,151
總計		0	27,902	0	27,902

資料來源：VCS-Project-Description_VCR_V4_20211203-FINAL, 2022

十四、 監測計畫

監測計畫包括獲取、紀錄、編製和分析監測數據和參數的過程和時間表。該專案將執行以下監測任務：

- 監測項目碳儲量變化和溫室氣體排放
- 估算事後淨碳儲量變化和溫室氣體排放

有關每個監測任務的描述，包括技術要求、測量參數、收集數據和數據收集技術、監測頻率、品質保證和品質控制（QA/QC）程序，以及資料儲存程序等說明如下。

(一) 海草床復育區域位置：每年透過 TNC 使用地理資訊系統（GIS）進行每個專案活動實例中海草床復育區域位置和面積的紀錄和儲存。

(二) 海草分布與密度：專案區域內海草床邊界至少每 5 年確定一次。TNC 使用地理資訊系統(GIS)來劃定和儲存沿海草床的邊界；每年由 VIMS 使用多光譜航空影像繪製的水下水生植物（SAV）分布和密度資訊，以利於劃定專案中包含的海草床邊界，說明如下：

1. 航拍

多光譜航空影像是 VIMS 用來評估維吉尼亞東岸的 Chesapeake Bay 和沿岸海灣 SAV 分布和豐度的主要來源。飛行將定期在每個地區

物種高生長季節進行，將遵守有關潮汐階段、植物生長、太陽角度、大氣透明度、濁度、風、傳感器操作和陸地特徵等指南，確保以近於最佳的條件來獲取影像，以便檢測 SAV，進而確保整體準確性。如有偏離這些指南的情況，需要事先獲得 VIMS 工作人員的批准，並確保落實品質保證與校準程序。

相機設定由自動曝光控制選擇，拍攝的比例、高度、相機設定和焦距組合會協調一致，以便能夠解析 1 平方公尺大小的 SAV 區域。地面風速每小時監測一次，在正常操作條件下，飛行通常在風速低於 10 英里/小時 (mph) 時進行；超過這個速度，風引起的波浪會攪動底部沉積物，並可能在一小時內遮蔽 SAV 區域。飛行員將根據經驗知識來確定可接受濁度情形，以利完整描繪 SAV 區域，在過於混濁條件下將影響攝影。最大雲層覆蓋水平的確定亦將透過飛行員經驗判定。相關參數紀錄將保存在飛行紀錄中。專案會盡量以在 13,000 英尺以下沒有雲層覆蓋時進行拍攝，而相關影像資訊將儲存在硬碟內。

2. 繪製

航拍影像會經過正射校正，以創建正射圖像，這些圖像會以電腦仔細檢查確認，並繪制輪廓以識別出所有可見的水下植被區域，進而以 GIS 分析區域的面積和位置。

多光譜航空影像將透過標準操作程序 (SOP) 進行地理校正和正射校正，以生成一系列航拍圖像。使用 ERDAS IMAGINE Photogrammetry 影像處理軟件來對每個航拍照片進行正射校正。攝像機鏡頭校準數據將與基準點的影像位置相匹配，以定義內部攝像機模型。外部和內部模型與美國地質調查局國家高程數據集 (NED) 的 10 米分辨率數字高程模型 (DEM) 相結合，以生成每個航拍照片的正射圖片。

SAV 區域將以上述方法獲取與說明，通過圖像識別和劃定包括：對水生草類的了解、前一年從航拍影像中獲得的 SAV 分布情況、地面

調查信息以及航拍地點的調查。除了劃定 SAV 區域邊界外，並將以視覺化比較估算 SAV 密度。海草床的密度分為四個類別，包括(1)非常稀疏 (<10%覆蓋率)、(2)稀疏 (10-40%)、(3)中等 (40-70%)、(4)密集 (70-100%)。部分海草床將被分為幾個部分，以劃定 SAV 密度的變化。此外，每個不同的 SAV 區域都將分配唯一的 1 或 2 個字母的標識，用於地圖上的標示，並結合 SAV 四分位數和攝影年份，將其標識在資料庫中。

SOP 包括：正射校正、圖像製作和照片解釋的詳細過程；以及用於紀錄航拍線和四分位數處理追蹤表；與所有操作的每週總結報告。

3. 地面調查

地面調查是由多個機構和個人的合作努力完成的，該專案將整理同一年獲得圖像的地面調查資訊，並輸入到 SAV 的 GIS 中。

4. 大葉藻科海草分布與密度資料的替代來源

海草床分布和密度的評估，可以使用不同的圖像來源或地面調查中常用的技術，來繪製種植區域半徑 1 公里內海草床的分布和密度圖。執行時，應遵循品質保證和品質控制 (QA/QC) 程序以及資料儲存程序的相同標準。潛在的替代圖像來源包括國家農業圖像計劃 (NAIP) 的航拍圖像、通過 NGA NextView 計畫從 Digital Globe 獲得的 WorldView 2 和 3 衛星圖像、從 Apollo Mapping 購買的 WorldView 4 圖像、來自 Planet Labs 的 PlanetSCOpe 衛星圖像。

(三) 專案淨碳存量變化和溫室氣體排放的事後估算：

每隔 5 年確定專案淨碳存量變化和溫室氣體排放。

附件十四 Vanga 藍碳專案

一、計畫緣起

「Vanga 藍碳專案(The Vanga Blue Forest, VBF)」位於肯亞(Kenya)南海岸的誇勒縣(Kwale County)。專案發起單位為肯亞海岸帶生態系統協會。因 Vanga 擁有廣泛的自然資源，包括：紅樹林、陸地沿海森林、海草床、珊瑚和漁業，且當地社區對這些資源的分配與管理係屬當地治理結構管轄，其對於林業，已頒布《森林法》(2005 年)；對於海洋相關資源已於 2008 年頒布《漁業法》，該法允許社區透過制定當地參與性森林管理計劃(PFMP)來開發自然資源，而萬加已有經批准之 PFMP。爰此，專案邊界以部分大陸地區以及 Sii 島紅樹林，並使用 VCS 提出之《VM0033：潮汐濕地和海草復育方法》、AR-Tool14，以及 IPCC (2013) 發表之《國家溫室氣體清單指南：濕地》執行碳抵換相關計算及專案規劃。

該地區過去的二十年間，紅樹林面積估計每年減少 1.2%，相當於每年損失 60 公頃的紅樹林，高於肯亞全國紅樹林消失的平均速率(0.7%)。Vanga 紅樹林的消失和轉變，其根本原因為人口的增加、當地居民的貧困狀況、治理不善與對紅樹林生態系統價值的認知缺乏，其中，治理不善的行為包含：非法採伐以及砍伐紅樹林以作為農業與人類居住區域。本專案將透過 20 年結合社區生計活動的管理，減少 100,379 噸二氧化碳當量的排放，除了緩解氣候變化的效益外，預期在該地區發展多種社區和生物多樣性之效益，如：提升當地教育和衛生，以及增加漁業資源和恢復力等。

二、專案區域位置

VBF 專案位於肯亞(Kenya)南海岸的誇勒縣(Kwale County)(經緯度為：南緯 40°39'00"；東經 39°13'00")，當地跨域紅樹林係從肯亞希莫尼(Shimoni)延伸至坦桑尼亞(Tanzania)的坦噶(Tanga)，總面積約 5,000 公頃，當地將其劃分為：萬加(Vanga)、金博(Jimbo)、基韋古(Kiwegu)、

馬約雷尼 (Majoreni)和四伊(Sii)島。Sii 島為 Kisite Mpunguti 海洋保護區的重要緩衝區，係因島上的生物多樣性和對當地漁業的貢獻而得名。部分大陸地區 (Mainland) 以及 Sii 島紅樹林被定義為專案區域，其邊界及範圍如圖 1 所示。

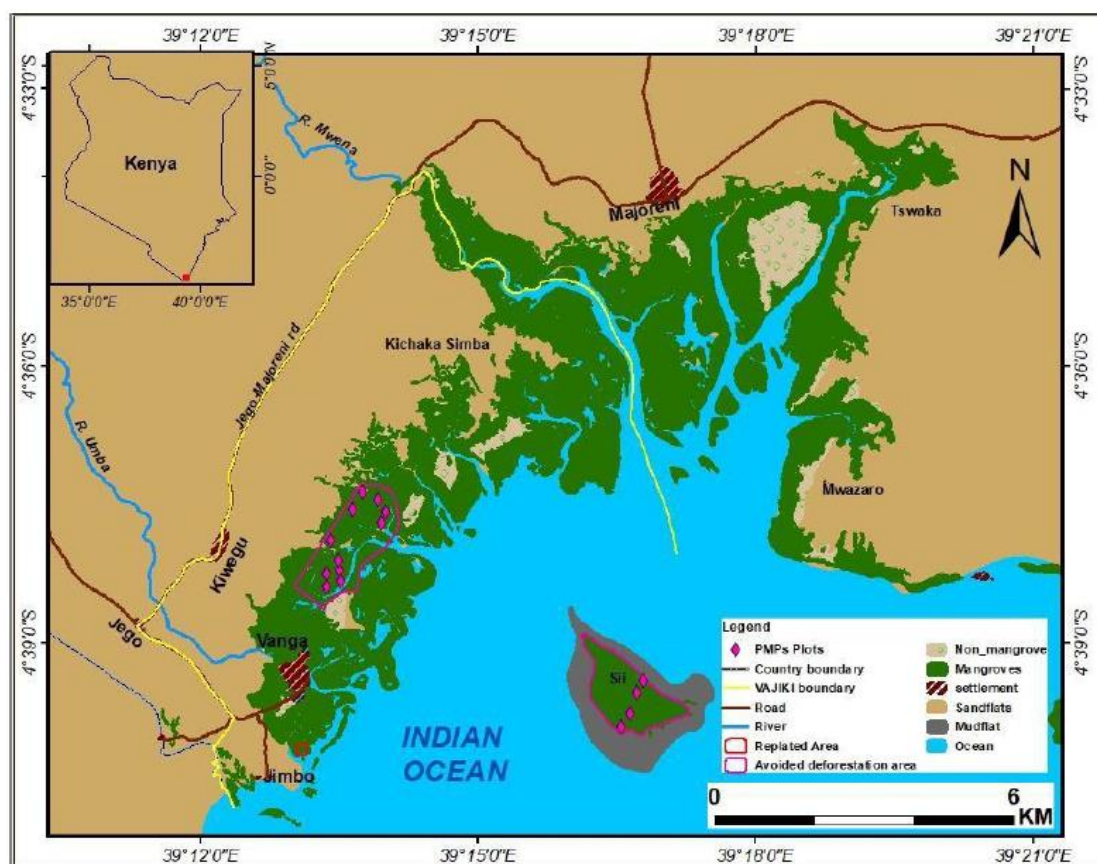


圖 1 VBF 專案區域位置與專案範疇

資料來源：<https://www.planvivo.org/vanga-documents>

三、 永續發展目標

VBF 專案直接響應之聯合國永續持續發展目標(SDG)，包含：SDG 13(氣候行動)和 SDG 14(保育海洋及海洋資源)，間接響應 SDG 1(消除貧困)、SDG2(終止飢餓)、SDG 4(優質教育)、SDG 6(清潔飲水與衛生設施)、SDG 8(體面工作與經濟增長)，以及 SDG 15(陸地生態)，相關說明綜整於表 1。

表 1 VBF 實施之永續發展目標

直接響應之 SDG	綜合說明
	本專案之範疇包含兩部分，分別為大陸地區以及 Sii 島，宗旨為防止兩範疇內之既有紅樹林遭到濫伐，以維持紅樹林商品和服務的永續提供，並期望在 20 年內防止排放超過 93,077 噸二氧化碳，且 Sii 島為海洋保護區的重要緩衝區，故亦納入維護島上生物多樣性之目標。
	
間接響應之 SDG	綜合說明
	本專案範疇內之紅樹林，預計可透過專案之執行保育 22.1 公頃(ha)之紅樹林免於濫伐，且預計一年之碳權銷售額為 35,133 美元，將用於支持當地居民教育、當地用水、公共衛生以及環境保護等方面之社區發展項目。本專案若成功落實，將產生碳匯外的效益，包括：增加漁業和其他生物多樣性、保護海岸線以及民生生計，例如：養蜂業、小規模農業和紅樹林生態旅遊觀光業等。
	
	
	
	
	

資料來源：<https://www.planvivo.org/vanga-documents>

四、 專案期程

VBF 專案的計入期為 20 年（即 2019 年至 2039 年）。這是 Plan Vivo 標準允許的最短期限，對於新的紅樹林森林成熟需要的時間大多數估計也是如此。

為避免森林砍伐，建議的期限被認為足以實現有意義的生態影響，有關紅樹林生物多樣性和生態系統的復育，根據 Gazi Bay Mikoko Pamoja 的經驗，生物量和吸收方面的可量測變化需要 3-5 年，而樹根數量和人為干預跡象的變化則需要 1 年。

五、 溫室氣體移除量估算

VBF 專案將從 Vanga 紅樹林總面積（4,428 公頃）中指定 460 公頃。專案區域將包括 450 公頃的避免砍伐，5.0 公頃的已建立紅樹林人工林和每年 0.25 公頃的新人工林/復育森林，為期 20 年。針對 1991 年至 2016 年間 Landsat 衛星影像分析顯示，Vanga 4,428 公頃的整體紅樹林覆蓋率估計每年損失 0.5%。預期將執行各項專案措施以提高 Vanga 紅樹林品質，恢復其完整性，減緩或停止紅樹林碳庫之損失。根據 IPCC 方法和指南（2003 年）進行預測，VBF 專案在減少減緩風險和 5% 洩漏風險緩衝之前，將具有每年 6,702 噸二氧化碳當量的淨碳效益。扣除 20% 的非永久性和 5% 的洩漏風險緩衝後，估計每年淨削減量為 5,027 噸，20 年為 100,379 噸 CO₂e（表 2）。另目前表 2 呈現之數字僅為預測值，一旦執行專案措施，將可能會有所不同。

表 2 VBF 各專案措施預期每年淨碳效益總表

類型(活動)	專案面積 (ha)	基線排放 (t CO ₂ e/yr)	專案導致的吸收/排放減少(t CO ₂ e/yr)	預期洩漏損失(t CO ₂ e/yr)	風險緩衝的扣減-碳效益 20% (t CO ₂ e/yr)	淨碳效益(t CO ₂ e/yr)
區域 1 避免退化 (Sii Island)	200	0	1,721	86	344	1,291
區域 2 避免退化 (Mainland)	248	0	4,282	214	856	3,211
區域 1 避免森林砍伐(AGB)	200	0	53	2.65	10.6	40
區域 2 避免森林砍伐(AGB)	250	0	260	13	52	195
區域 1 和 2 避免森林砍伐(土壤碳)	44	0	273	14	55	205
重新造林(區域 3, old stands in Jimbo)	5	0	102	5	20	77
生態復育區(區域 4, new plantation)	0.25	0	11	1	2	8
總計(噸 CO ₂)					1,340	5,027

六、 應用方法

碳存量的量測是使用經 VCS 批准之 VM0033 潮汐濕地和海草復育方法，以及 2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指南中 2013 年的補充。

七、 專案邊界

(一) 地理邊界

專案邊界為肯亞(Kenya)南海岸 Sii 島（區域 1，200 公頃）與部分大陸地區（Mainland，區域 2，250 公頃），執行措施如下所述。

1. 防止紅樹林退化/增加碳儲量（區域 1）：

本專案指定用於碳強化的地點為 Sii 島，也就是區域 1，紅樹林覆蓋面積為 200 公頃，島上之紅樹林為附近的岸礁提供了保護，而此些岸礁則是範疇內村莊漁民的主要漁場，然而此場域之漁獲量長期下降，因此，保護漁場以及棲息地，並改善區域生態為當務之急。

2. 維持紅樹林生態/避免退化（區域 2）：

為這項活動預留了 250 公頃的大陸紅樹林，該範疇將採用多種方法維持紅樹林生態，包括：

- (1) 對不同用戶群體在森林中的活動進行分區和明確劃分：這將消除活動實施中的衝突，並加強法規的執行，允許並鼓勵在劃定的森林中對紅樹林進行非消耗性利用，例如：養蜂和生態旅遊。
- (2) 社區對以下方面的教育和認識：毀損森林的原因和造成之影響、森林保護法以及監測方法。
- (3) 讓當地社區一起定期聯合巡邏。
- (4) 創建數據庫及製作報告紀錄。
- (5) 嚴格執行現行環境法律法規。
- (6) 通過建造瞭望塔來建立物理和技術基礎設施，並為社區偵察員配備適當的監測工具及設備，例如：GPS 和現代通信設備。

3. 重新造林（區域 3）：

Jimbo 當地社區與合作夥伴 KFS(Kenya Forest Services) 及 KMFRI(Kenya Marine & Fisheries Research Institute) 合作，在 Jimbo 重新種植了 5 公頃的紅樹林，這類自願種植的人工林沒有得到正式或非正式的保護，因此本專案將在執行期間保護並監控該區域。假設碳封存潛力為每年每公頃 20.4 噸 CO₂，該活動預計將積累

每年 102 噸 CO₂。

4. 恢復生態系統（區域 4）：

Jimbo 村附近約 5.0 公頃的紅樹林為建立鹽田而受摧毀，最終鹽田也無疾而終。因此，本專案將結合水文學，以人工方式重新種植該地區之紅樹林，必要時將使用當地採購的苗木和苗圃進行培育，期望於 20 年內實現該地區植被完全覆蓋之目標。

專案規劃每年皆監測此區域之客觀進展，因此屬非線性變化，所以不會為目標設定定期的年度增量。

此類透過增強該地區之生態系統完整性、生物量積累，以增加紅樹林之碳固存，保守估計碳封存潛力為每年每公頃 4.0 噸 CO₂，該活動預計每年可積累 1.0 噸 CO₂，雖然此舉對本專案之碳預算貢獻薄弱，但仍能從中復育生態系，並獲得其他額外效益。

(二) 邊界內氣候資訊

專案範疇內之氣候屬熱帶乾濕氣候，季節受季風影響較大，溫度及雨量顯示如圖 2，四月至六月間為季節性雨季，十月至十二月間則為短暫雨，平均年降雨量為 1,200 mm，年均溫為 26 °C。因此，充沛的降雨量以及多孔的土壤提供該地區豐富的地下水，有利於林業和農業活動，故人們多以種植水稻和玉米維持生計。

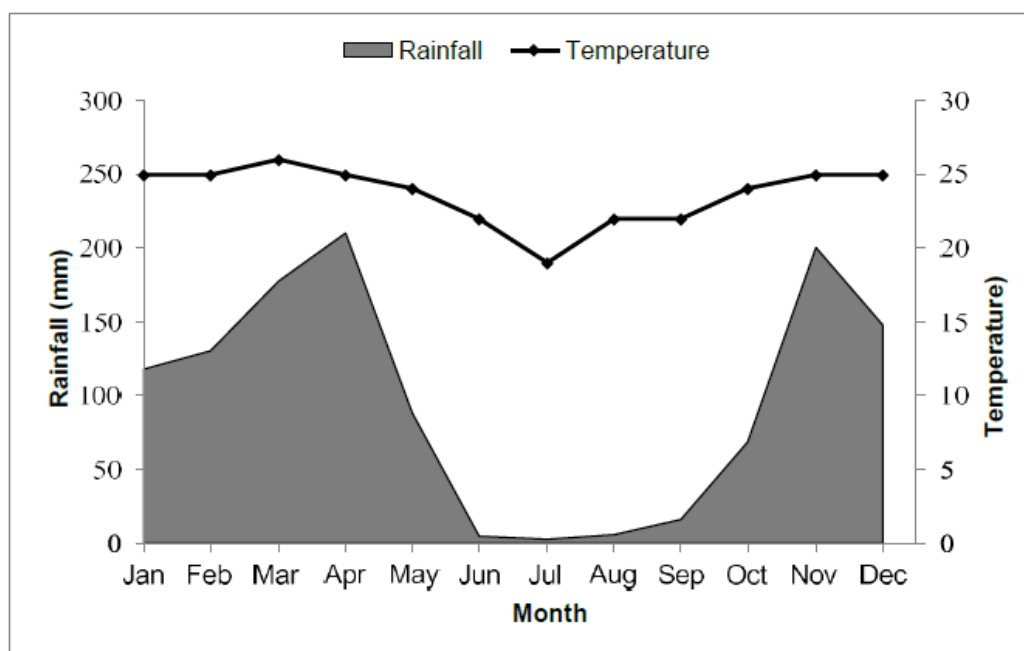


圖 2、專案區域之氣候圖

八、 碳庫(Carbon Pools)

包含地上部生物量(Above Ground Biomass, AGB)、地下部生物量(Below Ground Biomass, BGB)和地下 1 m 的土壤碳，相關選擇原因說明如表 3 所示。

表 3 VBF 碳庫的選擇與原因

碳庫	計算	影響	評估與說明
地上部生物量 (包含活樹與死樹)	是	高	根據該區域已發布和本地化的相對關係式，可以輕鬆量化和監測。
地下部生物量(地下 60 公分以下之活根與死根)	是	中	根據已確定的芽：根比估算。紅樹林的根系生物量可高達地上部生物量的 50%。
地下 1 m 的土壤碳	是	高	● 紅樹林生態系統；占生態系統總碳儲量的 90%。 ● 小規模森林砍伐造成的沉積物碳損失基於 Lang' at 等人 (2014 年) 在專案區域附近進行的碳通量實驗。
枯木	否	低	這裡不計算枯木碳，因為大部分倒下的木頭都是由社區收集用作柴火的。
枯落物	否	低	垃圾碳不包括在內，因為它會被螃蟹或潮

碳庫	計算	影響	評估與說明
			洩清除； 並部分融入沉積物碳中。

九、 基線情境

(一) 紅樹林現況：

Sii 島上之紅樹林生態中主要樹種為紅樹混合林，其有 116.5 公頃之占地面積，島上的紅樹林生態與離岸礁(fringing reefs)相連，而離岸礁是附近村莊的主要漁場(如圖 3 所示)。1991 年至 2016 年 Sii 島衛星數據顯示，紅樹林覆蓋率雖然僅損失 0.1%，惟大陸地區之村落居民對紅樹林產品的需求不斷增加，如果不加強保護，這些森林正面臨潛在威脅，可能在不久的將來遭受越來越嚴重的森林消失和退化。另外，在大陸地區，1991 年至 2016 年間紅樹林的損失面積估計為每年 0.5%，相當於每年損失 18 公頃。導致大陸地區紅樹林損失和退化的主要因素包括：非法採伐紅樹林木材用於建築電線桿和能源、侵占土地及海岸線的變化。本專案團隊根據已發布的模型，針對肯亞南海岸紅樹林變化動態進行的詳細推測，表示若不執行本專案，上述情形可能會持續甚至加劇，而既有數據已將 Vanga 紅樹林覆蓋率從 1991 至 2016 年之變化彙整如圖 4 所示。



圖 3、Sii 島附近為當地居民之漁場

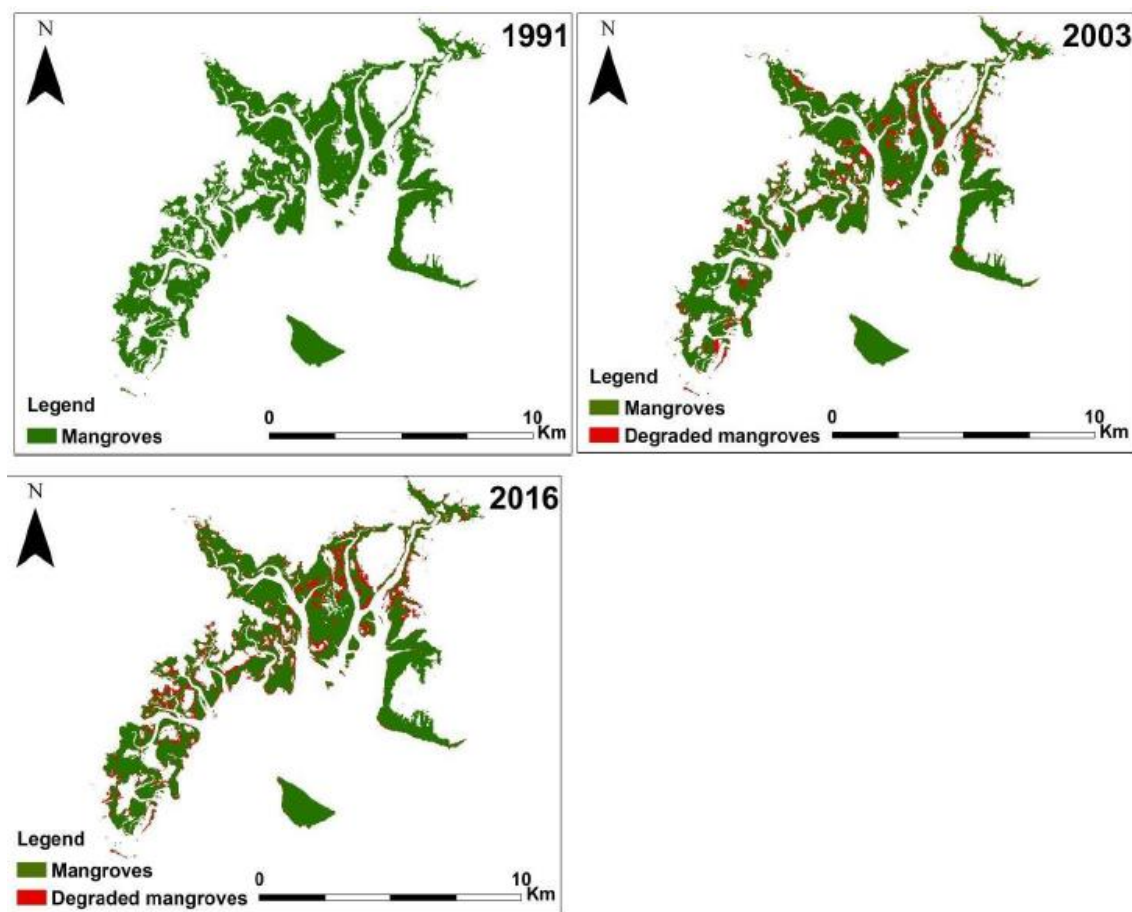


圖 4、Vanga 紅樹林覆蓋率於 1991、2003 及 2016 年之變化圖

(二) 社區現況：

本專案範疇內之總人口約 13,546 人，其中穆斯林人口較多。村落中大多數房屋為半永久性建築，約 87 %的家庭使用木材作為主要能源，僅 6 %的家庭具國家電網，衛生條件普遍落後。

(三) 碳權相關法規：

本專案之土地所有權和碳權，根據 2005 年頒佈之《森林法》，肯亞的所有紅樹林均作為森林保護區，此法要求所有國家的森林(包括紅樹林)，須透過批准的管理計劃(PFMP)和利益相關者的共同參與執行管理。另外，《森林法》鼓勵居住在森林保護區附近的社區註冊社區森林協會(CFA)，以便與肯亞林務局共同合作管理及保護森林，亦授權森林林業協會制定當

地森林的管理計劃，並規定紅樹林提供之商品和服務方面的使用者權利。

十、 溫室氣體削減量和移除量的量化

(一) 基線排放量

本專案區域假設之基線情境係為非法開採和人類侵占而擴張邊界，並透過建模方式預測將造成之森林砍伐量及面積消失。該區域曾商業性開採紅樹林，並在城市中心出售，因而於村落附近修建一條用於生態旅遊的紅樹林木板路，但由於該地區旅遊業減少，致使經濟衰退，導致當地陷入金融危機且生態無法復育，而反覆地發生洪水，導致食物、房屋，甚至是生命的嚴重損失，更進一步地減少當地活動。

若無本專案，該區域預計在 20 年內，避免人為砍伐之總面積將由 450 公頃減少至 424 公頃。

(二) 專案排放量

若執行本專案，則只會減少到 444 公頃（假設保守減少毀林 80%），因此，在 20 年計入期內，將有 22 公頃的森林免遭砍伐。大陸區域（區域 2）避免退化的碳封存率係基於熱帶紅樹林的地上部生物量(AGB)和地下部生物量(BGB)排放率進行保守估計（IPCC，2013）（實際效益將於事後測量）。該估算值之假設為：若無本專案之干涉，大陸地區（地區 2）之紅樹林將繼續以每年 0.5 %的速率消失，而 Sii 島（地區 1）將以每年 0.1 %的速率消失，其他地區之紅樹林將以每年 0.5 %的速率消失。這將導致 Sii 島（地區 1）和大陸地區（地區 2）的淨碳封存量為零，且上述皆屬保守假設，若使用 IPCC 估計值，將遠低於從 Gazi 獲得的數據之建議值，該地點雖沒有隨時間變化的詳細種群估計序列，但有充分的證據表明，單位面積的種群數量已經下降，並且於無專案之情況下，其淨封存量可能為負值。

專案執行了一項情境假設：當森林消失時，AGB 和相關碳亦會全部消失(包含森林砍伐後沉積物中的地下碳)，並在鄰近之加齊森林進實際模廠試驗。數據顯示，將面積 12 平方米的小規模森林砍伐後，第一年即損失 35 噸二氧化碳，本專案假設相同的初始速率，並應用以下指數模型進行估算：

$$C \text{ loss (in year } t) = \text{Total eventual loss} * (1 - \exp^{-kt})$$

本專案指定的紅樹林總面積為 460 公頃，為了避免估算毀林地點內的碳排放量，專案使用 IPPC 建議的濕熱帶紅樹林固定速率。

(三) 生態系統服務效益

VBF 專案預計在 20 年內減少 22.1 公頃的紅樹林砍伐，在專案措施執行下，假設非永久性和洩漏緩衝為 25%，將減少 80% 的排放。專案符合資格的年均碳效益將為 5,023 噸 CO₂/年，預計在 20 年內可獲得可計入額度的碳效益總數將達到 100,469 噸 CO₂ (表 4)。

表 4 VBF 的專案措施和活動

類型(活動)	森林類型	面積 (ha)	每年每公頃碳效益(t CO ₂ e/yr ha)	總計碳效益 (t CO ₂ e/yr)	收入 (US\$) ^e
1.區域 1 避免退化 (Sii Island)	自然林地	199	8.65 ^a	1,721	12,049
2.區域 2 避免退化 (Mainland)	自然林地	248	17.3 ^a	4,282	29,972
3.區域 2 避免森林砍伐(AGB)	自然林地	0.94	275	53	2,119
4.區域 1 避免森林砍伐(AGB)	自然林地	0.16	334	260	2,119
5.區域 1 和 2 ^b 避免森林砍伐(土壤碳)	自然林地	1.10	248	273	1,913
6.重新造林(區域 3)	10 年植被 ^c	5	20.4	102	714
7.生態復育區(區域 4)	新植林地 ^d	0.25	4	11	73.5
總計				6,698	46,885
永久性風險緩衝(20 %)				1,340	
洩漏緩衝(5%)				334.896	
平均每年可出售的總數				5,023	35,164
20 年內的總銷售量				100,469	703,282

- a. 避免退化的碳吸收速率是基於乾燥熱帶紅樹林估算的 AGB 和 BGB 排放速率(IPCC, 2013)的保守值，考慮到 Sii 島的較高蓄積量，此速率被減半。
- b. 由於森林清理對沉積物的碳損失基於位於 Vanga 生態系統附近的 Gazi Bay 紅樹林森林中的碳通量實驗，請參見該文件附件 IX。
- c. 過去 10 年由 Jimbo 社區修復的受損紅樹林的面積。
- d. 重新造林紅樹林林地的碳吸收速率是基於 Kairo 等人(2008 年)在 Gazi Bay 的保守估算，請參見該文件附件 X 以計算每年 10.5 的平均效益。
- e. 計算假定每噸二氧化碳當量的保守價格為 7.0 美元。

(四) 洩漏與不確定性

為了減少碳洩漏，該專案提議建立至少 2.0 公頃的社區林地，並支持社區生計和收入增長活動，其目的是產生可持續的木材、柴火和收入供應，從而減輕紅樹林的壓力。碳洩漏計算（著重在處理木材需求）如下：

1. 平均每日本材燃料使用量估計為每人 1.2 千克，其中紅樹林 (*Rhizophora mucronata*) 提供了 9.6%。
2. 鑑於當地約有 8,700 人口，這意味著每天總需求為 10,440 千克，每日需求紅樹林 *Rhizophora mucronata* 約為 1,002 千克，或每年需求 366 噸紅樹林木材。
3. 由於木材是從大陸地區森林中取得的（Sii 島太遠不使用），故建議保護 4,428 公頃大陸地區森林中的 260 公頃，即占 5.9%。假設 366 噸需求目前來自整個森林，保護 5.9% 意味著替代 22 噸/年。
4. 一公頃的 *Casuarina equisetifolia* 林地 在 10 年後生產超過 120 噸，平均產量為每年 12 噸，專案規劃建立 2 公頃的林地，應能生產超過所需（包括定期疏伐）。
5. 此外，專案將在前 3 年提供至少 150 個改進型烹飪爐，估計將通過提高效率（假設提高 33%）進一步減少柴火需求，每年約減少 22 噸。
6. 社區對林地的訪問和使用將由 VBF 委員會在與當地居民、學校和青年團體的研商中確定，這些團體將負責管理林地。因此，木材使用的最終規則尚待確定。然而，基於 Mikoko Pamoja 的經驗，專案預計免費提供木材給所有當地居民收集，而木材將分配給當地需求（以贈送或低於市場價格出售），並出售給市場以籌集賠償參與管理和種植所需的資金。
7. 作為額外的保守假設，我們對所有預期的碳效益都假定了 5% 的碳洩漏緩衝。

這些措施的目的是減少森林砍伐的需求，從而減少潛在的碳洩漏。

(五) 主要參數、公式與假設

表 5 是用於估算碳效益的主要參數和公式，以及使用保守假設的理由。

表 5 VBF 專案碳效益估算所需參數、數值與公式摘要表

描述	數值或公式	來源	保守假設的註釋和理由
熱帶濕地紅樹林森林的年生長增量	每年每公頃 9.9 噸乾重物質，相當於每年每公頃 17.3 噸二氧化碳	IPCC 2013, 表 4.4	位於與 Gazi 相似區域的現地生長紀錄超過該數值。實際成果仍將基於實地測量後估算。
復育區（區域 4）年度二氧化碳封存量	每年每公頃 4 噸，來自於每年每公頃 8.9 噸乾重物質	Kairo et al., 2008	該值是關於肥沃林地 12 年的地上部生物量，相當於每公頃約 15 噸 CO ₂ 。由於 12 年內生長曲線（即最初幾年的生長速度如何與後來的生長速度相比）是未知的，且專案區域可能生長較慢，因此，選擇高度保守數值，低於該生長率的 1/3，並未考慮地下部生物量。以上述情形帶入 20 年專案計入期，並假設 5 公頃林地均能復育，以呈現每年平均碳效益。
社區種植區域（區域 3）年度二氧化碳封存量	每年每公頃 20.4 噸，來自於每年每公頃 11 噸乾重物質	Kairo et al., 2008	該值取自於 12 年類似環境的林地（Vanga 種植地已有 10 年的歷史）成果，並包括地下部生物量。此為保守數值，包括 0 到 12 年間所有年齡段。在 VBF 中，林地已種植 10 年。
區域 2 避免森林砍伐的地上碳效益	每年 0.94 公頃森林免於砍伐，平均每公頃地上部生物量含有 75 噸碳，相當於每年減少 260 噸二氧化碳排放。	本專案	該值係基於研究地點原始實地數據量測而得，因此，具有第 3 級(Tier 3)品質數據的特點。在 20 年內，未假設平均地上部分生物量 (AGB) 有任何增長，因此，以保守方式估算。
區域 1 避免森林砍伐的地上碳效益	每年 0.16 公頃森林免於砍伐，平均每公頃地上部生物量含有 91 噸碳，相當於每年減少 53 噸二氧化碳排放。	本專案	該值係基於研究地點原始實地數據量測而得，因此，具有第 3 級(Tier 3)品質數據的特點。在 20 年內，未假設平均地上部分生物量 (AGB) 有任何增長，因此，以保守方式估算。
區域 1 和 2 避免森	20 年 22 公頃面	C _{loss} 參考	專案團隊在 Gazi 進行的研究是唯一

描述	數值或公式	來源	保守假設的註釋和理由
林砍伐所帶來的地下碳收益	積，每年碳收益可達 273 噸二氧化碳。公式： $C_{loss} = Total\ Loss * (1 - \exp^{-kt})$ ，其中 k 是初始損失速率，極限值為每公頃 180 噸。	Lang'at 等人在 2014 年的研究。採用了文件中附錄 IX 的指數模型，詳細結果請參見 IXa 表。	關於紅樹林移除後碳損失的實驗，結果顯示第一年起，每公頃損失了 9.5 噸碳，損失將持續一段未知的時間。文獻中遵循指數曲線（Siikamäki 等，2012 年），並假設頂層 1 米土壤中最終損失 60% 的碳。專案採取保守的假設，只有 50% 損失（因此將漸近值設定為 180 噸損失），即使專案瞭解在第一年後，1 米深的影響是可見的（Lang'at 等，2014 年）。273 是所有綜合數值，損失速率取決於其樹齡；專案計畫書附錄 IX 中展示詳細的計算過程。

十一、 監測計畫

(一) 關於監測方法選擇的說明

1. 永久樣區(Permanent Monitoring Plots, PMP)：因專案若使用隨機設計可能需要至少三倍的樣本量才能達到相同的統計成效，因此，專案將使用 15 PMP 來紀錄兩個區域的森林面積變化。

本專案參考源自 Gazi 的 Mikoko Pamoja 樣區數據，可進行以下功效計算，以使用配對設計檢測每個樣區樹樁數量的變化如表 6。

因此，根據現場數據，若使用 12 個樣區，即可達到 0.9 的高統計功效以檢測樹樁數量翻倍情形；若使用 15 個樣區便會超過了這個值。

表 6 樹樁計算

每樣區之平均樹樁數	15
差異標準差	14
樹樁平均變化百分比	100
統計成效	0.9

α	0.05
所需樣本量	12

將採用類似的配對方法來檢測再生狀態的變化(以及再生類別頻率分布的定性比較)。專案將使用適當的相對關係式(源自肯亞對這些物種的研究),根據對 PMP 中所有樹木的測量來估計生物量增加。

2. 永久樣區外之活動:PMP 將用於準確紀錄樹樁數量、更新和森林生物量增量。此外,專案將使用兩種方法監控這些樣區之外的活動:

- (1) 定期進行周邊巡邏和出入點觀察,森林偵察員將每週進行一次定性監測,並紀錄任何變化或入侵的跡象。
- (2) 冠層變化遙測:每五年執行一次遙測(因需 KMFRI 專業工作人員的技術操作),透過遙測來確認總冠層覆蓋度的變化。

(二) 社會經濟影響

VAJIKI 藍碳專案的社會經濟影響監測為每年報告一次,並與基線進行比較。在監測過程中,將根據上一年實際的產出、成果和影響來評估專案的投入。結果將通過報告、簡報和演示等多種媒體提供給所有主要利益相關者和感興趣的各方,並用於討論次年之工作專案以及由銷售碳權的優先社區計畫,這些收益是根據上一年工作專案的成功執行所獲得的。

(三) 環境和生物多樣性之影響

除了監測和評估生態系統服務的變化外,還將監測其他生物多樣性影響,如表 7 所示。每年需監測以更新紅樹林中魚類、軟體動物和腹足動物等動物群的豐富度和多樣性,並確定避免砍伐森林和重新造林活動區域的土壤增生和侵蝕率,其對於確定紅樹林生態系統功能的恢復以及評估專案目標是否實現至關重要。KMFRI 將透過其研究量能對社區進行有關環境和

生物多樣性影響的參與式監測和培訓。監測結果將按照 Plan Vivo 指南每年報告一次。

表 7 監測環境影響的建議指標與方法

影響	基線和指標	方法	主導者
生物多樣性的影響	植物區系：該地區新紅樹林的數量/自然更新的數量。	每年對專案區域永久監測樣區動植物物種進行更新採樣。	KMFRI、KFS、弗吉尼亞州社區
	動物群：記錄了軟體動物的豐度和物種多樣性，如果可能的話，還有螃蟹。		
水土保持影響	土壤增生和侵蝕率	使用表面高程表 (SET) 或更便宜的替代方法每年監測土壤增生和侵蝕率。	KMFRI

(四) 海草

自願海草管理區(The Voluntary Seagrass Management Area, CMA) 將根據海草觀察協議進行監測，該協議是一項全球科學、非破壞性、參與性海草評估和監測計劃，本監測調查每年進行一次。

專案將對監測數據進行評估，以告知將海草保護和監測納入技術規範。ACES(Association for COastal ECOsystem Services) 作為專案協調員，積極從政策、財務和技術角度探索將海草納入 PES 項目的潛力，初步納入將使該專案能夠探索將海草納入 PES 項目的後勤和財務可行性，並獲得充分認可碳或其他效益。若海草保護的初步實施可行且成功，技術規範的未來迭代可能會以更全面的方式納入海草藍碳。

(五) 與社區共享監測結果並用於適應性管理

所有監測數據的副本將由 Vanga 專案協調員集中保存，並開放給任何人檢查。主要監測結果（特別是樹樁數量、覆蓋度和生物量積累）的摘要將公開於專案永久展示板上，年度報告將由 VBF(Vanga Blue Forest)委員會共同撰寫並與 VBF 委員會充分討論。

十二、 監測報告

本專案於 2019 年至 2039 年，目前已執行三年之監測專案，其所產製之報告內容包含：最新現況、監測項目之數據、成本及效益等，目前最新年度(2022 年)監測報告之關鍵指標數據彙整如表 8，而碳效益總表彙整如表 9 所示。

表 8 VBF 關鍵指標數據報告

區域	森林屬性	面積 (ha)	2021 年測值	基線	評論	是否達到監測目標
1 (Sii 島)	地上部生物量(AGB)(t dw)	361	294	261	AGB 出現大幅度增長，可能為去年低估所致；平均每個樣區的樹樁從 0.75 個增加到 2 個，亦可能是統計誤差，目前未發現樹木遭砍伐。	是
	樹樁數量	200	75	200		是
2 (大陸地區)	地上部生物量(AGB)(t dw)	84	78	75	AGB 增加，樹樁減少，其原因可能為每個區域的平均數量比 Sii 島大，導致統計誤差；目前觀察後並無發現樹木遭砍伐。	是
	樹樁數量	945	1136	1364		是
區域 3	樹樁數量	未知	未知	未知	考慮到其他目標，預計將從 2023 年開始執行監測。	否
區域 4	復育跡象	定性描述	未測得	每月 2 棵樹 (面積覆蓋率 23%)	水文復育作為已開始，包含：建立了新的排水系統，並在苗圃中準備了超過 1,000 棵樹，以便在需要時進行種植	是

表 9 VBF 專案年度報告碳效益總表

監測項目	指標及測量數據	效益(outCOme)
門檻量測(Threshold)	樹樁計數	沒有明顯增加

measures)	明顯砍伐的證據	沒有明顯砍伐的證據
避免退化(區域 1)	預設測值(Default measure)為每年每公頃 8.65 噸 CO ₂	$199 \times 8.65 = 1,721$
避免退化(區域 2)	預設測值(Default measure)為每年每公頃 17.3 噸 CO ₂	$247.5 \times 17.3 = 4,282$
避免森林砍伐(ABG) (區域 1 和 2)	5 年透過衛星監測取得資訊；每年亦會執行實地調查和閾值測量，若滿足門檻，則每年得計 309 噸 CO ₂	309 噸 CO ₂
避免森林砍伐(土壤 碳) (區域 1 和 2)	5 年透過衛星監測取得資訊；每年亦會執行實地調查和閾值測量，若滿足門檻，則每年得計 273 噸 CO ₂	273 噸 CO ₂
重新造林(區域 3)	樹椿計數和生長增量；每年將累積 102 噸 CO ₂	尚未量測
生態復育區(區域 4)	實現自然恢復的長期目標，每年 10.5 噸 CO ₂	本項工作為今年開始，減少 10.5 噸二氧化碳
總計(噸 CO ₂)		6,596

附件十五 濕地碳匯功能調查標準作業程序

內政部國土管理署城鄉發展分署「106-107 年度重要濕地碳
匯調查計畫」附錄

濕地碳匯功能調查標準作業程序

林幸助、陳渭中

國立中興大學生命科學系

目錄

目錄.....	- 1 -
圖目錄.....	- 17 -
表目錄.....	- 18 -
公式目錄.....	- 20 -
第一章 導言.....	- 21 -
1.1 背景說明	- 21 -
1.1.1 決策樹之指導說明	- 24 -
1.1.1.1 有機土壤	- 24 -
1.1.1.2 濕潤土壤	- 24 -
1.1.1.3 排水的沿岸礦物土壤和內陸濕地礦物土壤	- 25 -
1.1.1.4 水淹地	- 25 -
1.1.1.5 為廢水處理用途的濕地	- 25 -
1.1.1.6 沿海土地	- 26 -
1.1.1.7 內陸礦物土壤	- 26 -
1.2 農林和其他土地利用部門溫室氣體排放和儲存	- 29 -
1.2.1 科學背景	- 29 -
1.2.1.1 農林和其他土地利用中的溫室氣體	- 29 -
1.2.1.2 排放和儲存過程	- 30 -
1.2.1.3 生物量	- 30 -
1.2.1.4 死有機物質	- 31 -
1.2.1.5 土壤	- 32 -
1.2.1.6 牲畜	- 33 -
1.2.2 碳匯定義和非 CO ₂ 氣體.....	- 33 -
1.3 農林和其他土地利用部門清單編制	- 34 -
1.3.1 土地利用和管理類別	- 34 -
1.3.2 農林和其他土地利用中方法分級	- 35 -
1.3.2.1 方法 1	- 35 -
1.3.2.2 方法 2	- 36 -
1.3.2.3 方法 3	- 36 -
1.3.3 關鍵類別確定	- 37 -
1.3.4 編制清單估算的步驟	- 39 -
第二章 碳匯通用方法.....	- 41 -
2.1 前言	- 41 -
2.2 碳庫變化估算	- 41 -
2.3 非 CO ₂ 排放估算.....	- 44 -

2.4 將碳庫變化轉化為 CO ₂ 排放.....	45 -
2.5 CO ₂ 排放和儲存的通用方法.....	45 -
2.5.1 生物量碳庫的變化.....	45 -
2.5.2 死有機物質中的碳庫變化.....	47 -
2.5.3 土壤中的碳庫變化.....	48 -
2.6 非 CO ₂ 排放.....	49 -
2.7 方法 3 的通用指導原則.....	51 -
2.7.1 基於測量的方法 3 清單.....	51 -
2.7.1.1 步驟 1 建立採樣方案.....	51 -
2.7.1.2 步驟 2 選擇採樣地點.....	52 -
2.7.1.3 步驟 3 收集最初樣本.....	52 -
2.7.1.4 步驟 4 定期對監測網路進行重新採樣.....	53 -
2.7.1.5 步驟 5 分析資料和確定碳庫變化/非 CO ₂ 排放，並且推斷國家排放和儲存的估算值及不確定性的指標.....	53 -
2.7.1.6 步驟 6 報告和歸檔.....	54 -
2.7.2 基於模式的方法 3 清單.....	54 -
2.7.2.1 步驟 1 選擇/建立一種模式.....	54 -
2.7.2.2 步驟 2 用校準資料進行評價.....	55 -
2.7.2.3 步驟 3 收集關於活動和相關環境條件的時空資料.....	55 -
2.7.2.4 步驟 4 量化不確定性.....	55 -
2.7.2.5 步驟 5 執行模式.....	56 -
2.7.2.6 步驟 6 用獨立資料進行評估.....	56 -
2.7.2.7 步驟 7 報告和歸檔.....	57 -
2.8 立項策劃和野外測定方案制定.....	57 -
2.8.1 立項策劃.....	57 -
2.8.2 項目區域邊界的界定.....	57 -
2.8.3 項目區域的細分.....	57 -
2.8.4 碳庫的確定.....	57 -
2.8.5 樣方類型、數量和位置確定.....	57 -
2.8.6 測定頻率的確定.....	57 -
第三章 農田.....	63 -
3.1 前言.....	63 -
3.2 生物量碳庫.....	64 -
3.2.1 方法選擇.....	64 -
3.2.1.1 方法 1.....	64 -
3.2.1.2 方法 2.....	64 -
3.2.1.3 方法 3.....	65 -
3.2.2 排放因數選擇.....	65 -

3.2.2.1 地上部木材生物量的生長率	- 65 -
3.2.2.1.1 方法 1	- 65 -
3.2.2.1.2 方法 2	- 66 -
3.2.2.1.3 方法 3	- 66 -
3.2.2.2 地下部生物量的累積	- 66 -
3.2.2.2.1 方法 1	- 66 -
3.2.2.2.2 方法 2	- 66 -
3.2.2.2.3 方法 3	- 67 -
3.2.2.3 清除、燃木和干擾產生的生物量損失	- 67 -
3.2.2.3.1 方法 1	- 67 -
3.2.2.3.2 方法 2 和方法 3	- 67 -
3.2.3 活動資料選擇	- 67 -
3.2.3.1 方法 1	- 68 -
3.2.3.2 方法 2	- 68 -
3.2.3.3 方法 3	- 68 -
3.2.4 不確定性評估	- 69 -
3.2.4.1 方法 1	- 69 -
3.2.4.2 方法 2	- 69 -
3.2.4.3 方法 3	- 69 -
3.3 死有機物質	- 70 -
3.3.1 方法選擇	- 70 -
3.3.1.1 方法 1	- 70 -
3.3.1.2 方法 2 和方法 3	- 70 -
3.3.2 排放/吸收因數選擇	- 71 -
3.3.2.1 方法 1	- 71 -
3.3.2.2 方法 2	- 71 -
3.3.2.3 方法 3	- 71 -
3.3.3 活動資料選擇	- 72 -
3.3.4 不確定性評估	- 72 -
3.4 土壤碳庫	- 72 -
3.4.1 方法選擇	- 72 -
3.4.1.1 礦質土壤	- 73 -
3.4.1.1.1 方法 1	- 73 -
3.4.1.1.2 方法 2	- 73 -
3.4.1.1.3 方法 3	- 73 -
3.4.1.2 有機土壤	- 74 -
3.4.1.2.1 方法 1	- 74 -
3.4.1.2.2 方法 2	- 74 -

3.4.1.2.3 方法 3	- 74 -
3.4.2 碳庫變化和排放因數選擇	- 74 -
3.4.2.1 礦質土壤	- 74 -
3.4.2.1.1 方法 1	- 74 -
3.4.2.1.2 方法 2	- 74 -
3.4.1.2.3 方法 3	- 74 -
3.4.2.2 有機土壤	- 75 -
3.4.2.2.1 方法 1	- 75 -
3.4.2.2.2 方法 2	- 75 -
3.4.2.2.3 方法 3	- 75 -
3.4.3 活動資料選擇	- 75 -
3.4.3.1 礦質土壤	- 75 -
3.4.3.1.1 方法 1	- 75 -
3.4.3.1.2 方法 2	- 77 -
3.4.3.1.3 方法 3	- 77 -
3.4.3.2 有機土壤	- 77 -
3.4.3.2.1 方法 1	- 77 -
3.4.3.2.2 方法 2	- 78 -
3.4.3.2.3 方法 3	- 78 -
3.4.4 不確定性評估	- 79 -
3.5 源自生物量燃燒的非 CO ₂ 溫室氣體排放	- 81 -
3.5.1 方法選擇	- 81 -
3.5.2 排放因數選擇	- 82 -
3.5.2.1 方法 1	- 82 -
3.5.2.2 方法 2	- 82 -
3.5.2.3 方法 3	- 82 -
3.5.3 活動資料選擇	- 82 -
3.5.3.1 方法 1	- 82 -
3.5.3.2 方法 2	- 83 -
3.5.3.3 方法 3	- 83 -
3.5.4 不確定性評估	- 83 -
3.6 完整性、時間序列、品質保證/品質控制和報告	- 84 -
3.6.1 完整性	- 84 -
3.6.1.1 方法 1	- 84 -
3.6.1.2 方法 2	- 85 -
3.6.1.3 方法 3	- 85 -
3.6.2 建立一致的時間序列	- 85 -
3.6.2.1 方法 1	- 85 -

3.6.2.2 方法 2	- 86 -
3.6.2.3 方法 3	- 86 -
3.6.3 品質保證和品質控制	- 86 -
3.6.3.1 方法 1	- 86 -
3.6.3.2 方法 2	- 87 -
3.6.3.3 方法 3	- 87 -
3.6.4 報告及歸檔	- 88 -
3.6.4.1 方法 1	- 88 -
3.6.4.2 方法 2	- 88 -
3.6.4.3 方法 3	- 89 -
3.7 稻田 CH ₄ 排放	- 89 -
3.7.1 方法選擇	- 89 -
3.7.1.1 方法 1	- 90 -
3.7.1.2 方法 2	- 90 -
3.7.1.3 方法 3	- 91 -
3.7.2 排放因數和換算係數的選擇	- 92 -
3.7.2.1 方法 1	- 92 -
3.7.2.2 方法 2	- 93 -
3.7.2.3 方法 3	- 94 -
3.7.3 活動資料選擇	- 94 -
3.7.4 不確定性評估	- 95 -
3.7.5 完整性、時間序列、品質保證/品質控制和報告	- 95 -
3.7.5.1 完整性	- 95 -
3.7.5.2 建立一致時間序列	- 96 -
3.7.5.3 報告及歸檔	- 96 -
3.7.5.4 清單品質評估和品質控制(QA/QC)	- 97 -
3.7.5.4.1 標準 CH ₄ 排放的測量	- 97 -
3.7.5.4.2 編制國家排放清冊	- 97 -
第四章 濕地	- 99 -
4.1 前言	- 99 -
4.2 管理泥炭地	- 100 -
4.2.1 仍為泥炭地的泥炭地	- 101 -
4.2.1.1 仍為泥炭地的泥炭地中產生的 CO ₂ 排放	- 102 -
4.2.1.1.1 方法選擇	- 103 -
4.2.1.1.1.1 方法 1	- 103 -
4.2.1.1.1.2 方法 2	- 103 -
4.2.1.1.1.3 方法 3	- 103 -
4.2.1.1.2 排放因數選擇	- 104 -

4.2.1.1.2.1 方法 1	- 104 -
4.2.1.1.2.2 方法 2 和方法 3	- 104 -
4.2.1.1.3 活動資料選擇	- 104 -
4.2.1.1.3.1 方法 1	- 105 -
4.2.1.1.3.2 方法 2 和方法 3	- 105 -
4.2.1.2 仍為泥炭地的泥炭地中產生的非 CO ₂ 排放.....	- 106 -
4.2.1.2.1 甲烷	- 106 -
4.2.1.2.2 氧化亞氮	- 106 -
4.2.1.2.2.1 方法選擇	- 107 -
4.2.1.2.2.1.1 方法 1	- 107 -
4.2.1.2.2.1.2 方法 2	- 107 -
4.2.1.2.2.1.3 方法 3	- 107 -
4.2.1.2.2.2 排放/清除因數選擇.....	- 107 -
4.2.1.2.2.2.1 方法 1	- 107 -
4.2.1.2.2.2.2 方法 2 和方法 3	- 108 -
4.2.1.2.2.3 活動資料選擇	- 108 -
4.2.1.2.2.3.1 方法 1	- 108 -
4.2.1.2.2.3.2 方法 2 和方法 3	- 108 -
4.2.1.3 不確定性評估	- 109 -
4.2.1.3.1 排放因數	- 109 -
4.2.1.3.2 活動資料	- 110 -
4.2.2 轉化為泥炭挖掘的土地	- 110 -
4.2.2.1 為泥炭挖掘進行轉化土地上產生的 CO ₂ 排放.....	- 110 -
4.2.2.1.1 方法的選擇	- 110 -
4.2.2.1.1.1 方法 2	- 110 -
4.2.2.1.1.2 方法 3	- 111 -
4.2.2.1.2 排放/清除因數的選擇.....	- 111 -
4.2.2.1.2.1 方法 2	- 111 -
4.2.2.1.2.2 方法 3	- 111 -
4.2.2.1.3 活動資料的選擇	- 112 -
4.2.2.1.3.1 方法 2	- 112 -
4.2.2.1.3.2 方法 3	- 112 -
4.2.2.2 正在轉化為管理泥炭地的土地產生的非 CO ₂ 排放.....	- 112 -
4.2.2.3 不確定性評估	- 112 -
4.2.2.3.1 排放因數	- 112 -
4.2.2.3.2 活動資料	- 113 -
4.3 水淹地	- 113 -
4.3.1 仍為水淹地的水淹地	- 113 -

4.3.2 轉化為水淹地的土地	- 114 -
4.3.2.1 轉化為水淹地的土地產生的 CO ₂ 排放.....	- 114 -
4.3.2.1.1 方法和排放因數選擇	- 114 -
4.3.2.1.2 活動資料選擇	- 114 -
4.3.2.2 轉化為水淹地的土地產生的非 CO ₂ 排放.....	- 114 -
4.3.2.3 不確定性評估	- 114 -
4.4 完整性、時間序列一致性和品質保證/品質控制.....	- 115 -
4.4.1 完整性	- 115 -
4.4.2 建立一致的時間序列	- 115 -
4.4.3 品質保證/品質控制(QA/QC)	- 115 -
4.4.4 報告及歸檔	- 116 -
4.4.4.1 排放因數	- 116 -
4.4.4.2 活動資料	- 116 -
4.4.4.3 趨勢分析	- 116 -
4.5 未來方法學的發展	- 117 -
第五章 內陸排水有機土壤.....	- 119 -
5.1 前言	- 119 -
5.2 維持相同土地利用類別的土地	- 120 -
5.2.1 內陸排水有機土壤的二氧化碳排放/吸收量.....	- 120 -
5.2.2.1 內陸排水有機土壤現場排放及儲存的二氧化碳	- 121 -
5.2.2.1.1 方法的選擇	- 121 -
5.2.2.1.1.1 方法 1	- 121 -
5.2.2.1.1.2 方法 2	- 122 -
5.2.2.1.1.3 方法 3	- 122 -
5.2.2.1.2 排放和儲存因數選擇	- 123 -
5.2.2.1.2.1 方法 1	- 123 -
5.2.2.1.2.2 方法 2	- 125 -
5.2.2.1.2.3 方法 3	- 126 -
5.2.2.1.3 活動資料選擇	- 126 -
5.2.2.1.3.1 方法 1	- 126 -
5.2.2.1.3.2 方法 2 與方法 3	- 126 -
5.2.2.1.3.3 不確定性評估	- 128 -
5.2.2.2 內陸排水有機土壤因溶解碳損失的非現場二氧化碳排放	- 128 -
5.2.2.2.1 方法選擇	- 128 -
5.2.2.2.2 排放因數選擇	- 129 -
5.2.2.2.2.1 方法 1	- 129 -
5.2.2.2.2.2 方法 2	- 129 -
5.2.2.2.2.3 方法 3	- 130 -

5.2.2.2.3 活動資料選擇	- 131 -
5.2.2.2.3.1 方法 1	- 131 -
5.2.2.2.3.2 方法 2 與方法 3	- 131 -
5.2.2.2.3.3 不確定性評估	- 132 -
5.2.2.3 內陸排水有機土壤的非二氧化碳排放與儲存	- 132 -
5.2.2.3.1 內陸排水有機土壤的甲烷排放與儲存	- 132 -
5.2.2.3.1.1 方法選擇	- 133 -
5.2.2.3.1.1.1 方法 1	- 133 -
5.2.2.3.1.1.2 方法 2	- 133 -
5.2.2.3.1.1.3 方法 3	- 134 -
5.2.2.3.1.2 排放因數選擇	- 134 -
5.2.2.3.1.2.1 方法 1	- 134 -
5.2.2.3.1.2.2 方法 2	- 135 -
5.2.2.3.1.2.3 方法 3	- 135 -
5.2.2.3.1.3 活動資料選擇	- 137 -
5.2.2.3.1.3.1 方法 1	- 137 -
5.2.2.3.1.3.2 方法 2 與方法 3	- 137 -
5.2.2.3.1.3.3 不確定性評估	- 139 -
5.2.2.3.2 內陸排水有機土壤的氧化亞氮排放	- 139 -
5.2.2.3.2.1 方法選擇	- 140 -
5.2.2.3.2.1.1 方法 1	- 140 -
5.2.2.3.2.1.2 方法 2	- 140 -
5.2.2.3.2.1.3 方法 3	- 141 -
5.2.2.3.2.2 排放因數選擇	- 141 -
5.2.2.3.2.2.1 方法 1	- 141 -
5.2.2.3.2.2.2 方法 2	- 141 -
5.2.2.3.2.2.3 方法 3	- 142 -
5.2.2.3.2.3 活動資料選擇	- 143 -
5.2.2.3.2.3.1 方法 1	- 143 -
5.2.2.3.2.3.2 方法 2 與方法 3	- 143 -
5.2.2.3.3 內陸排水有機土壤火災造成的二氧化碳/非二氧化碳排放	- 144 -
5.2.2.3.3.1 方法選擇	- 144 -
5.2.2.3.3.1.1 方法 1	- 147 -
5.2.2.3.3.1.2 方法 2 與方法 3	- 147 -
5.2.2.3.3.2 活動資料選擇	- 148 -
5.2.2.3.3.2.1 方法 1	- 148 -
5.2.2.3.3.2.2 方法 2 與方法 3	- 148 -
5.2.2.3.3.3 不確定性評估	- 149 -

5.3 土地轉換為新的土地利用類型	- 150 -
5.3.1 內陸排水有機土壤的二氧化碳排放量與儲存量	- 150 -
5.3.1.1 內陸排水有機土壤的現場二氧化碳排放/吸收 (CO ₂ -CON-SITE) ..	- 150 -
5.3.1.1.1 方法選擇	- 150 -
5.3.1.1.1.1 方法 1	- 150 -
5.3.1.1.1.2 方法 2	- 151 -
5.3.1.1.1.3 方法 3	- 151 -
5.3.1.1.2 排放/吸收因數選擇	- 151 -
5.3.1.1.2.1 方法 1	- 151 -
5.3.1.1.2.2 方法 2	- 151 -
5.3.1.1.2.3 方法 3	- 152 -
5.3.1.2 內陸排水有機土壤碳損失引起的非現場二氧化碳排放	- 152 -
5.3.1.2.1 方法選擇	- 152 -
5.3.1.2.1.1 方法 1	- 152 -
5.3.1.2.1.2 方法 2	- 152 -
5.3.1.2.1.3 方法 3	- 152 -
5.3.1.2.2 排放/吸收因數選擇	- 152 -
5.3.2 內陸排水有機土壤的非二氧化碳排放/吸收量	- 153 -
5.3.2.1 內陸排水有機土壤的甲烷排放/吸收	- 153 -
5.3.2.1.1 方法選擇	- 153 -
5.3.2.1.2 排放/吸收因數選擇	- 153 -
5.3.2.2 內陸排水有機土壤的氧化亞氮排放/吸收量	- 153 -
5.3.2.2.1 方法的選擇	- 153 -
5.3.2.2.2 排放/吸收因數選擇	- 153 -
5.3.2.3 內陸排水有機土壤上燃燒產生的非二氧化碳排放	- 153 -
5.3.2.3.1 排放/吸收因數的選擇	- 153 -
5.4 完整性、時間序列一致性、質量保證和質量控制、報告和文件 ...	- 154 -
5.4.1 完整性	- 154 -
5.4.2 時間序列一致性	- 154 -
5.4.3 質量保證與質量控制	- 154 -
5.4.4 報告和文件	- 154 -
第六章 再濕潤有機土壤	- 156 -
6.1 前言	- 156 -
6.2 溫室氣體排放與儲存	- 156 -
6.2.1 再濕潤有機土壤的二氧化碳排放量/儲存量	- 158 -
6.2.1.1 方法選擇	- 159 -
6.2.1.1.1 方法 1	- 160 -
6.2.1.1.2 方法 2	- 161 -

6.2.1.1.3 方法 3	- 162 -
6.2.1.2 排放因數選擇	- 162 -
6.2.1.2.1 EF _{CO2}	- 162 -
6.2.1.2.1.1 方法 1	- 162 -
6.2.1.2.1.2 方法 2 與方法 3	- 163 -
6.2.1.2.2 EF _{DOC_rewettered}	- 163 -
6.2.1.2.2.1 方法 1	- 163 -
6.2.1.2.2.2 方法 2	- 165 -
6.2.1.2.2.3 方法 3	- 165 -
6.2.2.2 再濕潤有機土壤的甲烷排放和吸收	- 166 -
6.2.2.2.1 方法選擇	- 166 -
6.2.2.2.1.1 方法 1	- 166 -
6.2.2.2.1.2 方法 2 與方法 3	- 167 -
6.2.2.2.2 排放因數選擇	- 167 -
6.2.2.2.2.1 方法 1	- 167 -
6.2.2.2.2.2 方法 2 與方法 3	- 168 -
6.2.3 再濕潤有機土壤的氧化亞氮排放	- 168 -
6.2.3.1 方法 1	- 169 -
6.2.3.2 方法 2 與方法 3	- 169 -
6.2.4 活動資料選擇	- 169 -
6.2.4.1 方法 1	- 169 -
6.2.4.2 方法 2	- 170 -
6.2.4.3 方法 3	- 171 -
6.2.5 不確定性評估	- 171 -
6.3 完整性，時間序列一致性和質量保證/質量控制	- 172 -
6.3.1 完整性	- 172 -
6.3.2 質量保證和質量控制（QA / QC）	- 172 -
第七章 沿海濕地	- 173 -
7.1 前言	- 173 -
7.2 二氧化碳排放與儲存	- 176 -
7.2.1 紅樹林管理作法	- 177 -
7.2.1.1 生物量	- 177 -
7.2.1.1.1 方法選擇	- 177 -
7.2.1.1.1.1 方法 1	- 177 -
7.2.1.1.1.2 方法 2	- 178 -
7.2.1.1.1.3 方法 3	- 178 -
7.2.1.1.2 排放/吸收因數選擇	- 179 -
7.2.1.1.2.1 方法 1	- 179 -

7.2.1.1.2.2 方法 2	- 179 -
7.2.1.1.2.3 方法 3	- 179 -
7.2.1.1.3 活動資料選擇	- 180 -
7.2.1.1.3.1 方法 1	- 180 -
7.2.1.1.3.2 方法 2 與方法 3	- 182 -
7.2.1.1.3.3 不確定性評估	- 182 -
7.2.1.2 死有機質	- 182 -
7.2.1.2.1 方法選擇	- 183 -
7.2.1.2.1.1 方法 1	- 183 -
7.2.1.2.1.2 方法 2	- 183 -
7.2.1.2.1.3 方法 3	- 183 -
7.2.1.2.2 排放/吸收因數選擇	- 184 -
7.2.1.2.2.1 方法 1	- 184 -
7.2.1.2.2.2 方法 2	- 184 -
7.2.1.2.3 活動資料選擇	- 184 -
7.2.1.2.3.1 方法 1	- 184 -
7.2.1.2.3.2 方法 2 與方法 3	- 184 -
7.2.1.2.3.3 不確定性評估	- 185 -
7.2.1.3 土壤碳	- 185 -
7.2.2 開採	- 185 -
7.2.2.1 生物量	- 187 -
7.2.2.1.1 方法選擇	- 187 -
7.2.2.1.1.1 方法 1	- 187 -
7.2.2.1.1.2 方法 2	- 188 -
7.2.2.1.1.3 方法 3	- 188 -
7.2.2.1.2 排放/吸收因數選擇	- 188 -
7.2.2.1.2.1 方法 1	- 188 -
7.2.2.1.2.2 方法 2	- 188 -
7.2.2.1.2.3 方法 3	- 189 -
7.2.2.1.3 活動資料選擇	- 189 -
7.2.2.1.3.1 開採	- 189 -
7.2.2.1.3.2 水產養殖和鹽業生產	- 190 -
7.2.2.1.3.3 不確定性評估	- 190 -
7.2.2.2 死有機質	- 191 -
7.2.2.2.1 方法選擇	- 191 -
7.2.2.2.1.1 方法 1	- 191 -
7.2.2.2.1.2 方法 2 與方法 3	- 192 -
7.2.2.2.2 排放/吸收因數選擇	- 192 -

7.2.2.2.2.1 方法 1	- 192 -
7.2.2.2.2.2 方法 2	- 192 -
7.2.2.2.2.3 方法 3	- 193 -
7.2.2.2.3 活動資料選擇	- 193 -
7.2.2.2.3.1 不確定性評估	- 193 -
7.2.2.3 土壤碳	- 193 -
7.2.2.3.1 方法選擇	- 193 -
7.2.2.3.1.1 方法 1	- 193 -
7.2.2.3.1.2 方法 2	- 194 -
7.2.2.3.1.3 方法 3	- 194 -
7.2.2.3.2 排放因數選擇	- 195 -
7.2.2.3.2.1 方法 1	- 195 -
7.2.2.3.2.2 方法 2	- 195 -
7.2.2.3.2.3 方法 3	- 195 -
7.2.2.3.3 活動資料選擇	- 195 -
7.2.2.3.3.1 不確定性評估	- 195 -
7.2.3 紅樹林、潮間帶草澤與海草床的再濕潤、植被恢復與創建	- 196 -
7.2.3.1 生物量	- 197 -
7.2.3.2 死有機質	- 197 -
7.2.3.3 土壤碳	- 198 -
7.2.3.4 方法選擇	- 198 -
7.2.3.4.1 方法 1	- 198 -
7.2.3.4.2 方法 2	- 199 -
7.2.3.4.3 方法 3	- 199 -
7.2.3.5 排放/吸收因子選擇	- 199 -
7.2.3.5.1 方法 1	- 199 -
7.2.3.5.3 方法 3	- 200 -
7.2.3.6 活動資料選擇	- 200 -
7.2.3.7 不確定性評估	- 201 -
7.2.4 紅樹林與潮間帶草澤排水	- 201 -
7.2.4.1 生物量	- 201 -
7.2.4.2 死有機質	- 202 -
7.2.4.3 土壤碳	- 202 -
7.2.4.4 方法選擇	- 202 -
7.2.4.4.1 方法 1	- 202 -
7.2.4.4.2 方法 2	- 203 -
7.2.4.4.3 方法 3	- 203 -
7.2.4.5 排放/吸收因子選擇	- 203 -

7.2.4.5.1 方法 1	- 203 -
7.2.4.5.2 方法 2	- 203 -
7.2.4.5.3 方法 3	- 203 -
7.2.4.6 活動資料選擇	- 204 -
7.2.4.6.1 方法 1	- 204 -
7.2.4.6.2 方法 2 與方法 3	- 204 -
7.2.4.6.3 不確定性評估	- 205 -
7.3 非二氧化碳排放	- 205 -
7.3.1 再濕潤土壤與重建紅樹林/潮間帶草澤的甲烷排放	- 205 -
7.3.1.1 方法選擇	- 206 -
7.3.1.1.1 方法 1	- 206 -
7.3.1.1.2 方法 2	- 206 -
7.3.1.1.3 方法 3	- 206 -
7.3.1.2 排放因子選擇	- 206 -
7.3.1.2.1 方法 1	- 206 -
7.3.1.2.2 方法 2	- 207 -
7.3.1.2.3 方法 3	- 207 -
7.3.1.3 活動資料選擇	- 207 -
7.3.1.4 不確定性評估	- 208 -
7.3.2 紅樹林、潮間帶草澤和海草床的水產養殖過程中氧化亞氮排放	- 208 -
7.3.2.1 方法選擇	- 208 -
7.3.2.1.1 方法 1	- 208 -
7.3.2.1.2 方法 2	- 209 -
7.3.2.1.3 方法 3	- 209 -
7.3.2.2 排放因數選擇	- 209 -
7.3.2.2.1 方法 1	- 209 -
7.3.2.2.2 方法 2 與方法 3	- 210 -
7.3.2.3 活動資料選擇	- 210 -
7.3.2.4 不確定性評估	- 210 -
7.4 完整性，時間序列一致性，質量保證/控制	- 210 -
7.4.1 完整性	- 210 -
7.4.2 時間序列一致性	- 210 -
7.4.3 質量保證/控制	- 211 -
第八章 內陸濕地礦物質土壤	- 212 -
8.1 導言	- 212 -
8.2 維持土地利用類別的土地	- 213 -
8.2.1 二氧化碳的排放與儲存	- 213 -
8.2.1.1 生物量和死有機質	- 213 -

8.2.1.1.1 方法選擇與排放/吸收因子	- 213 -
8.2.1.1.2 活動資料選擇	- 214 -
8.2.1.1.3 不確定性評估	- 214 -
8.2.1.2 土壤碳	- 215 -
8.2.1.2.1 方法選擇	- 215 -
8.2.1.2.1.1 方法 1	- 216 -
8.2.1.2.1.2 方法 2	- 216 -
8.2.1.2.1.3 方法 3	- 216 -
8.2.1.2.2 排放因數選擇	- 216 -
8.2.1.2.2.1 方法 1	- 216 -
8.2.1.2.2.2 方法 2	- 219 -
8.2.1.2.2.3 方法 3	- 219 -
8.2.1.2.3 活動資料選擇	- 219 -
8.2.1.2.3.1 方法 1	- 220 -
8.2.1.2.3.2 方法 2	- 221 -
8.2.1.2.3.3 方法 3	- 221 -
8.2.1.2.4 不確定性評估	- 221 -
8.2.2 IWMS 管理土地的甲烷排放	- 222 -
8.2.2.1 方法選擇	- 223 -
8.2.2.1.1 方法 1	- 223 -
8.2.2.1.2 方法 2	- 223 -
8.2.2.1.3 方法 3	- 224 -
8.2.2.2 排放因數選擇	- 224 -
8.2.2.2.1 方法 1	- 224 -
8.2.2.3 活動資料選擇	- 225 -
8.2.2.4 不確定性評估	- 225 -
8.3 土地轉換為新的土地利用類別	- 225 -
8.3.1 二氧化碳的排放與儲存	- 226 -
8.3.1.1 生物量和死有機質	- 226 -
8.3.1.1.1 方法與排放/吸收因數選擇	- 226 -
8.3.1.1.2 活動資料選擇	- 226 -
8.3.1.1.3 不確定性評估	- 226 -
8.3.1.2 土壤碳	- 226 -
8.3.1.2.1 方法選擇	- 226 -
8.3.1.2.2 排放/吸收因子選擇	- 227 -
8.3.1.2.3 活動資料選擇	- 228 -
8.3.1.2.4 不確定性評估	- 228 -
8.3.2 甲烷排放	- 228 -

8.3.2.1 方法與排放因數選擇	- 228 -
8.3.2.2 活動資料選擇	- 228 -
8.3.2.3 不確定性評估	- 229 -
8.4 完整性、報告和文件	- 229 -
8.4.1 完整性	- 229 -
8.4.2 報告與文件	- 229 -
8.4.2.1 排放因數	- 229 -
8.4.2.2 活動資料	- 229 -
8.4.2.3 趨勢分析	- 230 -
第九章 用於廢水處理的人工濕地.....	- 231 -
9.1 前言	- 231 -
9.1.1 廢水處理功能的人工濕地	- 231 -
6.1.2 用於廢水處理的人工濕地類型	- 231 -
6.1.3 表面流人工濕地	- 232 -
6.1.4 地下流人工濕地	- 233 -
6.1.5 混合型人工濕地	- 233 -
6.1.6 來自不同類型人工濕地的溫室氣體	- 234 -
9.1.7 指導原則涵蓋內容	- 236 -
9.1.7.1 污水類型和氣體的覆蓋範圍	- 236 -
9.2 人工濕地的甲烷排放	- 237 -
9.2.1 方法問題	- 237 -
9.2.1.1 方法 1	- 238 -
9.2.1.2 排放因數選擇	- 239 -
9.2.1.3 活動數據選擇	- 241 -
9.2.2 時間序列一致性	- 241 -
9.2.3 不確定性	- 242 -
9.2.4 質量保證/控制、完整性和報告	- 243 -
9.3 人工濕地的氧化亞氮排放	- 244 -
9.3.1 方法問題	- 244 -
9.3.1.1 方法選擇	- 244 -
9.3.1.2 排放因數選擇	- 246 -
9.3.1.3 活動資料選擇	- 247 -
9.3.2 時間序列一致性	- 248 -
9.3.3 不確定性	- 249 -
9.3.4 質量控制/保證、完整性和報告	- 249 -
9.3.4.1 報告	- 249 -
第十章 參考文獻.....	- 251 -

圖目錄

圖 1.1 IPCC 指南決策樹與其對應指導章節.....	- 26
圖 1.2 濕地補充指南中涉及的土壤子類別.....	- 27 -
圖 1.3 有機和濕潤土壤的典型管理做法.....	- 28 -
圖 1.4 管理生態系統中的主要溫室氣體排放/儲存和過程.....	- 30 -
圖 1.5 確定維持土地利用類型不變的土地的相應層級的決策樹(以仍為林地的林地為例).....	- 38 -
圖 1.6 確定土地轉化為另一種土地利用類別的相應層級決策樹(以轉化為林地的土地為例).....	- 39 -
圖 2.1 陸地農林和其他土地利用生態系統中的廣益碳迴圈，表明了進出系統及系統內 5 種碳匯間的碳流動.....	- 42 -
圖 2.2 建立方法 3 基於模式清單估算系統的步驟.....	- 57 -
圖 2.3 野外測定計畫的準備步驟.....	- 57 -
圖 2.4 紅樹林項目區域細分示例.....	- 57 -
圖 3.1 農田系統分類方案.....	- 79 -
圖 3.2 水稻生產中 CH ₄ 排放的決策樹.....	- 92 -
圖 4.1 估算泥炭中溫室氣體排放的決策樹.....	- 102 -
圖 5.1 排水有機土壤通量途徑總結.....	- 120 -
圖 5.2 確定適當層級方法的通用決策樹(用於估算有機土壤火災產生的溫室氣體排放).....	- 146 -
圖 6.1 估算再濕潤有機土壤二氧化碳及甲烷排放/儲存的決策樹.....	- 160 -
圖 7.1 沿海濕地具體管理活動導致溫室氣體排放的第一層級估算決策樹...	- 175 -
圖 9.1 污水處理用途人工濕地的分類與配置.....	- 232 -
圖 9.2 廢水處理系統和排放途徑.....	- 236 -
圖 9.3 人工濕地的甲烷排放決策樹.....	- 239 -

圖 9.4 人工濕地的氧化亞氮排放決策樹.....	- 246 -
---------------------------	---------

表目錄

表 1.1 五種碳匯定義.....	- 34 -
表 3.1 一國可能存在的多年生農田分類的樣例.....	- 68 -
表 5.1 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層及二氧化碳排放/吸收係數	- 123 -
表 5.2 排水有機土壤溶解態有機碳的預設排放係數.....	- 131 -
表 5.3 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層級甲烷排放/吸收係數 ($EF_{CH_4_LAND}$).....	- 136 -
表 5.4 排水溝渠的預設甲烷排放係數.....	- 139 -
表 5.5 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層級氧化亞氮直接排放/吸收係數	- 142 -
表 6.1 再濕潤有機土壤的預設二氧化碳排放係數(EF_{CO_2})和相關的不確定性(以下 單位皆為 $tonnes\ CO_2-C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	- 163 -
表 6.2 再濕潤有機土壤溶解態有機碳預設排放係數($EF_{DOC_REWETED}$)， $TOONES\ CO_2-C\ HA^{-1}\ YR^{-1}$).....	- 165 -
表 6.3 再濕潤有機土壤的預設甲烷排放係數，以下單位皆為 $KG\ CH_4-C\ HA^{-1}\ YR^{-1}$..	- 168 -
表 7.1 沿海濕地的具體管理活動.....	- 173 -
表 7.2 紅樹林地上部生物量的碳比例($TONNES\ C\ (TONNES\ D.M.)^{-1}$)	- 179 -
表 7.3 紅樹林地上部生物量($TONNES\ D.M.\ HA^{-1}$)	- 179 -
表 7.4 紅樹林地上部生物量生長($TONNES\ D.M.\ HA^{-1}\ YR^{-1}$)	- 180 -
表 7.5 紅樹林地下部生物量與地上部生物量的比值(R)	- 180 -
表 7.6 紅樹林木的平均密度($D: TONNES\ M^{-3}$).....	- 180 -
表 7.7 紅樹林凋落物和枯木的第一層級碳儲存預設值.....	- 184 -
表 7.8 開採活動中碳儲存初始變化的第一層級估算摘要.....	- 186 -

表 7.9 潮間帶草澤的地下部和地上部生物量比值(R).....	- 189 -
表 7.10 海草床的地下部和地上部生物量比值(R).....	- 189 -
表 7.11 用於開採活動的紅樹林、潮間帶草澤和海草床的土壤碳儲存.....	- 197 -
表 7.12 開始重建植被再濕潤(EF _{RE})有機及礦物聚合土壤的年度排放係數(TONNES C HA ⁻¹ YR ⁻¹).....	- 200 -
表 7.13 排水 (EF _{DR})有機及礦物土壤的年度排放係數(TONNES C HA ⁻¹ YR ⁻¹) ...	- 203 -
表 7.14 由紅樹林或潮間帶草澤再濕潤土地的甲烷排放係數(EF _{REwet})第一層級估算.....	- 207 -
表 7.15 水產養殖在紅樹林、潮間帶草澤及海草床的氧化亞氮排放的排放係數 (EF _F).....	- 209 -
表 8.1 第五章更新及提供的新指南.....	- 212 -
表 8.2 自然植被濕地礦物土壤(深度 0-30 公分)的土壤有機碳儲存(SOC _{REF})預設參考值.....	- 217 -
表 8.3 長期耕種(20 年以上)IWMS 農地和再濕潤(超過 20 年和 40 年)IWMS 農地的相對儲存量變化係數(F _{LU})	- 218 -
表 8.4 來自 IWMS 管理土地水位提升的預設甲烷排放係數.....	- 225 -
表 9.1 影響人工濕地甲烷和氧化亞氮排放的選擇係數.....	- 235 -
表 9.2 在人工濕地開始輸入有機碳(TOC)和總氮(TN)時，相關的甲烷和氧化亞氮排放量及排放量佔輸入量的比例.....	- 235 -
表 9.3 人工濕地的廢水類型和溫室氣體排放.....	- 237 -
表 9.4 不同人工濕地類型的甲烷校正係數(MCF).....	- 240 -
表 9.5 生活及工業廢水的預設不確定性範圍.....	- 242 -
表 9.6 富氮工業廢水中氮含量的例子.....	- 248 -
表 9.7 氧化亞氮方法的預設不確定性.....	- 249 -

公式目錄

公式 5.1.....	- 120 -
公式 5.2.....	- 121 -
公式 5.3.....	- 122 -
公式 5.4.....	- 129 -
公式 5.5.....	- 130 -
公式 5.6.....	- 134 -
公式 5.7.....	- 140 -
公式 5.8.....	- 145 -
公式 6.1.....	- 157 -
公式 6.2.....	- 157 -
公式 6.3.....	- 158 -
公式 6.4.....	- 161 -
公式 6.5.....	- 161 -
公式 6.6.....	- 164 -
公式 6.7.....	- 166 -
公式 6.8.....	- 167 -
公式 6.9.....	- 169 -
公式 7.1.....	- 178 -
公式 7.2.....	- 185 -
公式 7.3.....	- 186 -
公式 7.4.....	- 187 -
公式 7.5.....	- 191 -
公式 7.6.....	- 193 -
公式 7.7.....	- 198 -
公式 7.8.....	- 202 -
公式 7.9.....	- 206 -
公式 7.10.....	- 209 -
公式 8.1.....	- 223 -
公式 9.1.....	- 238 -
公式 9.2.....	- 240 -
公式 9.3.....	- 241 -
公式 9.4.....	- 241 -
公式 9.5.....	- 245 -
公式 9.6.....	- 247 -
公式 9.7.....	- 248 -

第一章 導言

1.1 背景說明

《2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指導原則》中第4卷《農業、林業和其他土地利用》為編制農業、林業和其他土地利用(AFOLU)部門的年度溫室氣體清單提供指導意見。本卷整合了以前《1996年IPCC國家溫室氣體清單指導原則修訂本》中關於農業(第4章)和土地利用、土地利用變化和林業(第5章)的分別指導原則。這種整合考慮到造成溫室氣體排放和儲存的各種過程以及不同形式的陸地碳庫可能發生在各種類型的土地上。此次整合還考慮到土地利用變化可能涉及到所有的土地類型。本方法的目的是在於提高估算和溫室氣體排放和儲存報告的一致性和完整性。

相較於《1996年IPCC指導原則》(就土地利用變化，林業和農業部分)，《2006年IPCC指導原則》中的主要差別在於詳盡描述《國家溫室氣體清單較佳作法指導原則和不確定性管理》(GPG2000)和《土地利用、土地利用變化和林業較佳作法指導原則》(GPG-LULUCF)。這些包括：

- 引入在GPG-LULUCF中使用的六種土地利用類別(即林地、農田、草地、濕地、聚居地和其他土地)。這些土地類別進一步被細分為：保持土地利用類型不變的土地和轉化為另一種土地利用類別的土地。土地利用類別旨在涵蓋一個國家所有的管理土地；
- 報告管理土地上的所有人為溫室氣體的源排放和匯儲存，而未管理土地上的排放和儲存不用報告；
- 採用附加報告要點來報告管理土地上的所有溫室氣體排放和儲存；
- 計算生物量，死亡有機物質和土壤碳庫變化的通用方法以及估算生物量燃燒產生的溫室氣體排放的通用方法，這些方法可以應用於所有土地利用類別；
- 納入關於管理土壤及生物量燃燒中的非CO₂排放的方法，和農業中的牲畜種群特徵及糞便管理系統；

- 引入三級方法，其範圍從預設排放因數和簡單公式到利用各國資料和模式來考慮本國情況；
- 描述可供選擇的方法，來估算和報告與採伐的木材產品相關的碳庫變化；
- 納入針對土地利用分類、碳匯和CO₂及非CO₂溫室氣體排放的關鍵類別分析；
- 遵循計算碳庫變化的品質平衡原理；
- 增強土地面積分類的一致性，以選擇適合的排放因數及碳庫變化因數和活動資料；
- 改進預設排放因數和庫變化因數，以及建立排放因數資料庫(EFDB)，作為《2006年IPCC指導原則》的補充工具，提供與檔案相關可供選擇的排放因數；
- 合併了水淹地中CO₂和CH₄排放的方法，以反映有限的科學資訊。

農林和其他土地利用部門的清單編制方法具有一些特點。有很多過程會導致溫室氣體的排放和儲存，使溫室氣體在空間上分佈廣泛，在時間上變化大。影響排放和儲存的因數既可以是自然的，也可以是人為的(直接和間接的)，很難明確區分這些因果關係。

當明確其複雜性時，清單方法需要具備實際性和可操作性。《2006年IPCC指導原則》旨在協助估算和報告人為溫室氣體排放與儲存的國家清單。針對農林和其他土地利用部門，人為溫室氣體源排放與匯儲存定義為全部發生在“管理土地”上。管理土地是指應用人類干預作法，以實現生產、生態或社會功能的土地。所有的土地定義和分類必須具體以透明的方式描述，並且長時間持續使用。不需要報告源於未管理土地的溫室氣體排放/吸收。但是，較佳作法是各國應量化未管理土地的面積，並在不同時間進行追蹤，以便在土地利用方式改變時可以保持面積計算的一致性。

將管理土地用作人為影響的替代方法在GPG-LULUCF中被採用，並且在現有指導原則中保留下來。使用這種方法的關鍵理由是人為影響主要出現在管理土地上。按照定義，全部人為因素直接引起的溫室氣體排放和儲存僅發生在管理

土地上。當地表面積都受到人為影響(例如，CO₂施肥)時，許多溫室氣體的人為間接影響(例如，氮沉降增加，火燒事故)，在人類活動集中的管理土地上表現得尤其明顯。由於自然原因引起的當地和短期的排放和儲存變化可能很大(例如，火燒引起的排放)，溫室氣體的排放和儲存的自然“背景”往往隨著時間和空間的變化達到某些平衡，因此管理土地的溫室氣體排放和儲存主要是人類活動的作用。

目前估算農林和其他土地利用部門溫室氣體排放量和儲存量的指導原則和方法包括：

- 所有管理土地上，生物量、死亡有機物質和礦質土壤中的碳庫變化引起的CO₂排放和儲存；
- 所有管理土地上發生火燒而引起的CO₂和非CO₂排放；
- 所有管理土壤中的N₂O排放；
- 對管理土壤施用石灰和尿素有關的CO₂排放；
- 稻子種植產生的CH₄排放；
- 有機耕作土壤中的CO₂和N₂O排放；
- 管理濕地中的CO₂和N₂O氮排放；
- 牲畜中的CH₄排放(腸道發酵)；
- 糞便管理系統中的CH₄和N₂O排放；
- 與採伐的木材產品有關的碳庫變化。

《2006年IPCC國家溫室氣體清單指導原則》承認其第四卷（農業、林業及其他土地利用）第七章(濕地)內的指導方法不夠完善，而且僅能估算排水及清理後作為能源生產、種植及其他用途之泥炭地上的二氧化碳、氧化亞氮排放，或土地轉換為發電、灌溉及航行用途之水庫的二氧化碳排放。2010年12月，聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)的附屬科學諮詢機構(SBSTA)，邀請IPCC從事進一步濕地方法的修正工作。因應SBSTA的邀請，針對IPCC 2006年指導原則進行補

充的IPCC 2013年指導原則，對於估計濕地及各種人為土地利用類型的溫室氣體排放，補充並提供了新的指導。濕地補充的部分有：內陸排水有機土壤、再濕潤有機土壤、沿海濕地、內陸礦物土壤濕地及廢水處理用途的人工濕地。清單編輯者可以利用圖1.1的決策樹，作為對應IPCC 2006年指導原則及本補充指導原則的相關章節導引。

1.1.1 決策樹之指導說明

1.1.1.1 有機土壤

有機土壤是有高濃度有機物質的土壤。根據 IPCC 2006 年指導原則，每個非有機土壤的土壤都被歸類為礦物土壤。有機土壤利用下列標準 1 和 2 或 1 和 3 來確認(FAO 1988)：

1. 有機層的厚度大於或等於 10 公分。低於 20 公分水準的則必須有 12%或更多的有機碳含量。
2. 未受水飽和影響的土壤，幾天後仍有超過 20%重量的有機碳(約 35%的有機質)。
3. 受水飽和影響的土壤，有以下狀況之一：
 - (1) 如果土壤不含黏土，至少含有 12%有機碳（約 20%有機質）。
 - (2) 如果土壤具有 60%或更多的黏土，至少有 18%有機碳（約 30%有機質）。
 - (3) 土壤含中等含量的黏土及中等含量的有機碳。

1.1.1.2 濕潤土壤

濕潤土壤係指一年四季或部分時間被水淹沒飽和的土壤，其生物群集特別是微生物和有根植物適應厭氧環境，並控制了年淨溫室氣體排放量和吸收量。每個不屬於濕潤土壤的土壤都歸類於乾燥土壤。

排水是人為降低土壤水位的過程。在濕地補充指導原則中，這個術語是用來描述把土壤從濕潤變為乾燥的行為。排水前的土壤是濕潤的，但由於人類行為，

轉變為乾燥的土壤。假定所有的有機土壤本來都是濕潤的，因此乾燥的有機土壤，會被歸類於排水的有機土壤。

再濕潤，是將排水後的土壤變為濕潤土壤的過程。曾經是排水乾燥的土壤因為人為干預，而再次濕潤為濕潤的土壤。同樣地，濕地是人為干預的結果，就像在濕地創造中一樣，將原本乾燥的土壤變為濕潤。恢復是協助已經退化、受損或毀壞的生態系統重新建立的過程。在過去的濕地被排水乾燥的情況下，修復的過程必定包括再濕潤。

“濕地礦物土壤”包括在 IPCC 2006 年指導原則中定義的“濕地土壤”，指排水受限導致週期性淹水和厭氧條件的土壤。其中濕的砂質土壤並不包括在內。

1.1.1.3 排水的沿岸礦物土壤和內陸濕地礦物土壤

有機質含量較高的排水礦物土壤和那些從未濕潤的礦物土壤及原本濕潤但後來長期乾燥的礦物土壤有著不同的溫室氣體排放特徵。但是這些差異會隨著時間推移而消失，在濕地補充指導原則中，這個過程被稱為排水。

1.1.1.4 水淹地

IPCC 2006 年指導原則，將水淹地定義為透過人類活動水位調節引起水體表面積變化的土地。其中一個例子就是用於灌溉、發電和航行的水庫。與被洪水淹沒的生態系統相比，湖泊及河川因為沒有大面積水域變化，不被視為水淹地。有些稻田是透過淹水種植的，但由於稻作的獨特性，稻田的詳細指導原則列於另外章節。

1.1.1.5 為廢水處理用途的濕地

廢水處理濕地是指用於或受廢水處理影響的濕地。

1.1.1.6 沿海土地

沿海土地為沿海或靠近海岸的土地。一個國家根據本國情況明確界定沿海土地的概念及海陸邊界，並在整個國土地區和一段時間內一貫適用此一定義。所有不包含於沿海土地的土都皆屬於內陸的。

1.1.1.7 內陸礦物土壤

內陸礦物土壤指全部不在沿海土地上的礦物土壤。

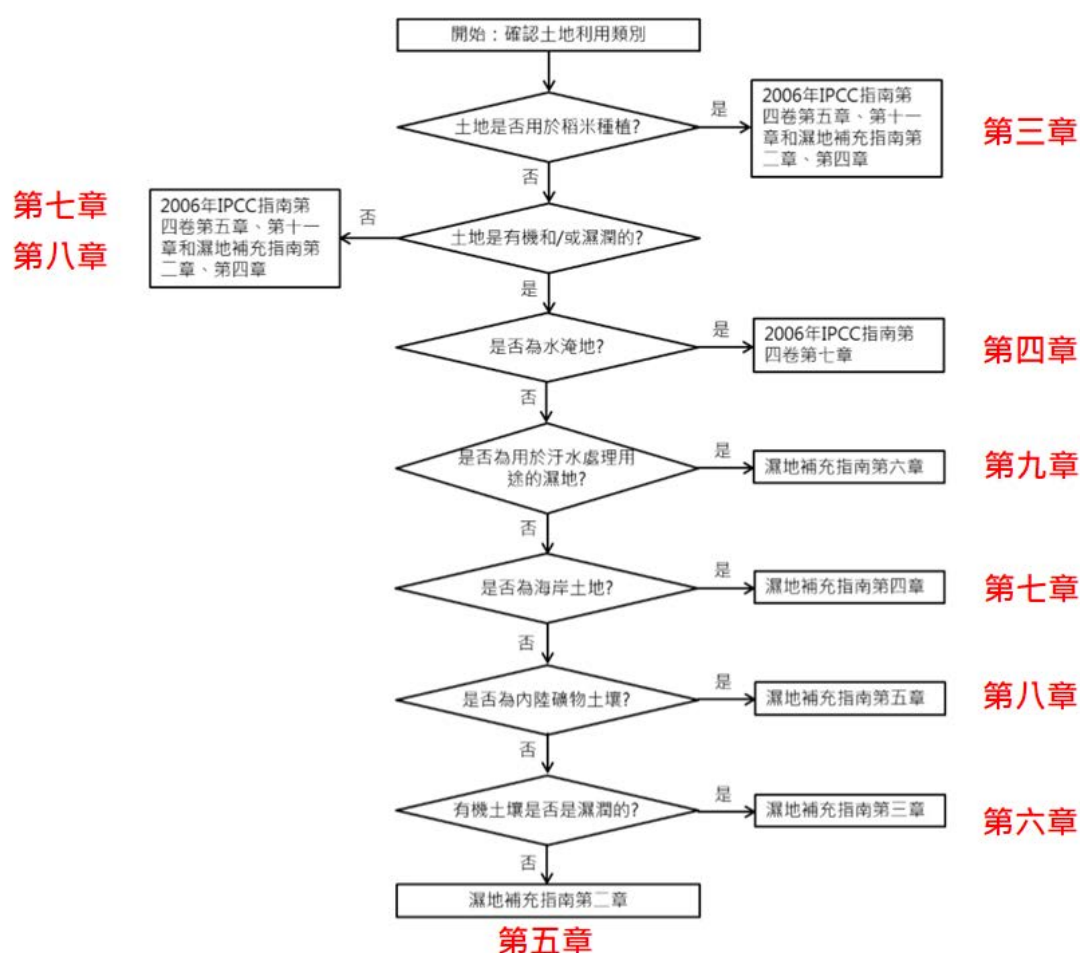


圖 1.1 IPCC 指南決策樹與其對應指導章節
(文字框外章節為計畫重新編製之對應章節)

與IPCC 2006年指導原則相比，2013年濕地補充指導原則確定了相關子類別（圖1.2），並規範了所有土地利用類別的排放係數，包括有機土壤及排水/濕

潤礦物土壤。而且濕地補充指導原則對沿海土地及內陸土地進行了區分，因為相同的土地利用類別，水的鹽度和動態（如潮汐）可能會改變排放係數。圖1.3顯示了濕地補充指導原則中所包含的典型通用管理實踐示意圖。

		林地	農地	草地	濕地	居住地	其他土地
		鹽 內	鹽 內	鹽 內	鹽 內	鹽 內	鹽 內
礦物土壤	礦物排水	礦物排水	礦物排水	礦物排水	礦物排水	礦物排水	礦物排水
	礦物濕潤	礦物濕潤	礦物濕潤	礦物濕潤	礦物濕潤	礦物濕潤	礦物濕潤
有機土壤	有機排水	有機排水	有機排水	有機排水	有機排水	有機排水	有機排水
	有機濕潤	有機濕潤	有機濕潤	有機濕潤	有機濕潤	有機濕潤	有機濕潤

圖 1.2 濕地補充指南中涉及的土壤子類別



(Figure by Riikka Turunen, Statistics Finland)

圖 1.3 有機和濕潤土壤的典型管理做法

1.2 農林和其他土地利用部門溫室氣體排放和儲存

1.2.1 科學背景

土地利用和管理會影響多種生態系統作用，進而對溫室氣體流量產生影響(圖 1.1)，如光合作用、呼吸作用、分解作用、硝化/反硝化作用、腸道發酵和燃燒等。這些關於碳和氮轉換的過程由微生物作用(微生物，植物和動物的活動)和物理作用(燃燒，淋溶和徑流)引起。

1.2.1.1 農林和其他土地利用中的溫室氣體

主要被關注的溫室氣體有 CO_2 、 N_2O 和 CH_4 。大氣和生態系統間的 CO_2 流量主要受以下活動控制：植物光合作用吸收 CO_2 ，呼吸作用、分解作用和有機物的燃燒釋放 CO_2 。 N_2O 主要是作為硝化和反硝化作用的副產物從生態系統中釋放出來。而 CH_4 則透過土壤和糞肥儲存中厭氧產生 CH_4 的過程，腸道發酵過程以及從有機物的不完全燃燒中釋放出來。其他值得關注的氣體(來自燃燒和土壤)包括： NO_x 、 NH_3 、NMVOC 和 CO ，因為它們是大氣中形成溫室氣體的前驅物。由氣體前驅物形成的溫室氣體排放被視為是間接排放。間接排放也與氮化合物的淋溶和徑流有關，特別是土壤中的 NO_3^- 的損失，部分 NO_3^- 隨後透過反硝化作用轉變成 N_2O 。

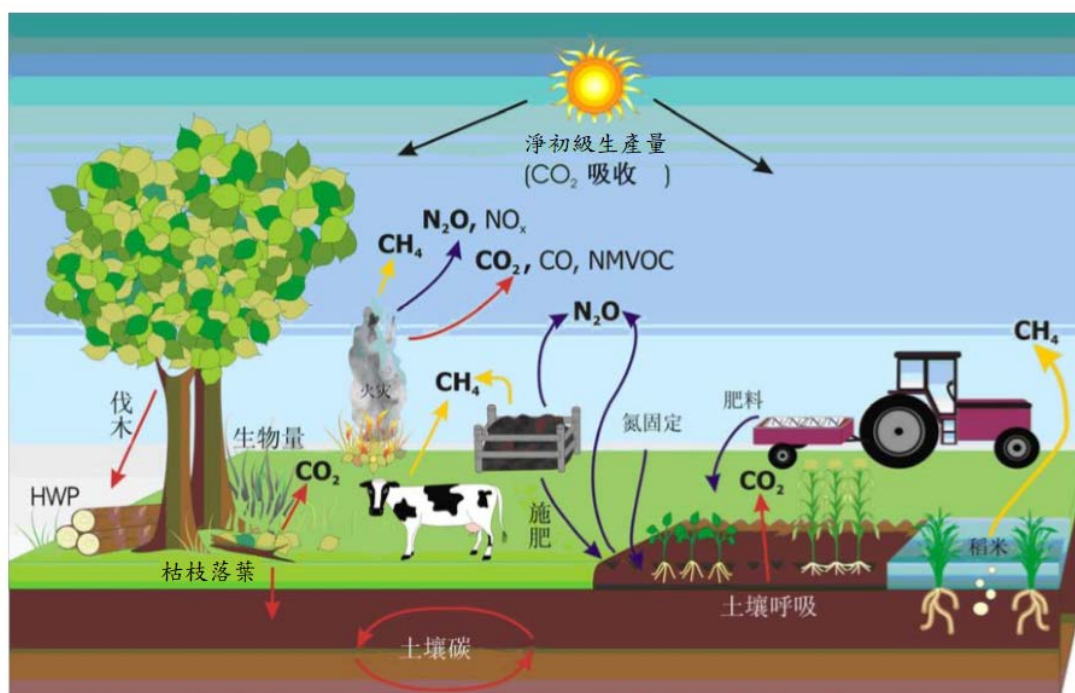


圖 1.4 管理生態系統中的主要溫室氣體排放/儲存和過程

1.2.1.2 排放和儲存過程

農林和其他土地利用部門的溫室氣體流量可以用二種方式估算：1)以碳庫隨時間的淨變化表示(適用於多數CO₂流量)以及2)直接以來自和進入大氣層的氣體流通率表示(用於估算非CO₂氣體排放和部分CO₂排放和儲存)。用碳庫變化估算CO₂排放和儲存基於以下事實：多數生態系統碳庫變化(但並不是唯一)是通過陸面和大氣層間的CO₂交換實現的(即假定其他碳遷移過程如淋溶忽略不計)。因此，碳庫總量隨時間的增加量等於大氣中CO₂的淨儲存量，而總碳庫的減少量(很少轉變為其他形式如採伐的木材產品)等於CO₂淨排放量。非CO₂排放主要由微生物作用(即土壤、動物消化道和糞便內)和有機質燃燒過程產生。針對主要生態系統碳庫和作用，描述了農林和其他土地利用部門的排放和儲存過程，並以生態系統組成描述：1)生物量, 2)死亡有機物質, 3)土壤以及4)牲畜。

1.2.1.3 生物量

植物生物量包括地上和地下部分，是大氣中CO₂儲存的主要管道。大量的CO₂

主要通過光合作用和呼吸作用在大氣和陸地生態系統中遷移。透過光合作用吸收的CO₂量一般叫做總初級生產量(GPP)。約一半的總初級生產量(GPP)由植物呼出，返回到大氣層中，剩下的構成淨初級生產量(NPP)。NPP是一年內生物量和死有機質的總和。如果沒有干擾損失，淨初級生產量減去異營呼吸的損失量(枯枝落葉、死木和土壤中的有機質分解)等於一個生態系統中的淨碳庫變化，一般叫做淨生態系統生產量(NEP)。

淨生態系統生產量(NEP)減去在土地利用變化中由於干擾(例如火燒)和伐木引起的額外碳損失，一般叫做淨生物群系生產量(NBP)。國家溫室氣體清單中報告的針對土地利用類別的碳庫變化等於淨生物群系生產量(NBP)。

淨初級生產量(NPP)受多種人為的土地利用和管理行為影響，例如砍伐森林、造林、施肥、灌溉、採伐和物種選擇。採伐樹木降低土地上的生物量庫，但是對採伐木材要給予更多的關注，因為部分碳可以存藏在木材產品(使用中的和垃圾填埋場中的)裡數年到數百年之久。因而，部分碳能夠迅速從生態系統中釋放到大氣層，而部分碳轉變為其他碳庫，同時使得排放延遲。在非森林生態系統中(例如，農田和草地)，多年生非木本和一年生植被在生物量中占主導地位，它們在生態系統碳庫總量中占的比重比林地小的多。非木本生物量每年或在幾年內周轉，因而淨生物量碳庫可以大致保持恆定。如果土地發生退化，碳庫可能隨時間的變化而減少。在草地和森林上，土地管理者可以將火燒作為一種管理手段，或者在管理土地上野火可能自然發生，這些都會導致大量生物量碳的損失。火燒不僅會通過生物量燃燒過程排放CO₂到大氣層中，而且也會直接或間接的排放其他溫室氣體，包括CH₄、N₂O、NMVOC、NO_x及CO。

1.2.1.4 死有機物質

大部分包含在活體植物物質中的生物量產量(NPP)最終轉為死有機物質(DOM)庫(例如，死木和枯枝落葉)。部分死有機物質分解迅速，將碳還原到大氣層中，但是部分會殘留數月，數年甚至數十年。土地利用和管理會影響分解速率和新

鮮腐質的投入，進而影響死有機物質的碳庫。死有機物質燃燒會產生碳損失，包括CO₂、N₂O、CH₄、NO_x、NMVOC和CO的排放。

1.2.1.5 土壤

一旦死有機物質破碎分解，它們就轉變成土壤有機質(SOM)。土壤有機質中包含各種各樣的物質，這些物質隨著在土壤中停留時間的不同而變化很大。這些物質部分是由不穩定的化合物組成，易於被微生物有機體快速分解，還原碳到大氣層中。可是，部分土壤有機碳轉變為難分解化合物(例如，有機-無機複合體)。這種化合物分解緩慢，因而能在土壤中殘留數十年至數百年甚至更久。火燒之後，留下少量被稱為“黑碳”的物質，經過數千年的轉變，這種物質成為近乎惰性炭的一部分。

土壤有機碳庫受土地利用和管理活動的影響。後者影響枯枝落葉投入速率和土壤有機質損失速率。控制土壤有機碳庫平衡的主要過程是來自植物剩餘物的碳投入和分解作用產生的碳排放，但在部分生態系統中，相當數量的碳以顆粒形式或溶解碳形式損失。控制投入主要是受影響淨初級生產量(NPP)和/或死有機物質滯留的決策，如多少採伐的生物量以產品的形式消除及多少生物量作為殘餘物留下。輸出主要受管理決策的影響，這些決策影響著土壤有機質的微生物和物理分解，如耕作密度。取決於以前的土地利用、氣候、土壤特性之間的相互作用，管理方法的變化可以引起土壤碳庫的增加或減少。一般來說，管理導致的碳庫變化在數年到數十年的期間內顯現，直至土壤碳庫接近一個新平衡點。除了人類活動的影響之外，氣候變化和其他環境因素也會影響土壤碳的動態以及生物量和死有機物。

在淹水條件下，如濕地環境和水稻生產等，大部分被分解的死有機質和土壤有機質以CH₄的形式返回到大氣層中。在大量的土地用來生產稻米的國家裡，這是一個重要的排放源。幾乎所有的水淹土壤都釋放CH₄，但淨土壤碳庫在一段時間可以增加或減少，或保持不變，這取決於總體碳平衡上的管理和環境控制。

在排水較佳的土壤中，少量CH₄被甲烷氧化細菌消耗(氧化)。

土壤也包含無機碳匯，以形成土壤的母質中含的原生礦物(例如，石灰石)的形式，或是以土壤形成過程中出現的次生礦物(例如，成土碳酸鹽)的形式。土壤無機碳庫受管理方法的影響，不過一般說來它不屬於有機碳匯的範圍。

部分土壤管理方法並不僅僅改變碳庫，還會影響溫室氣體的排放。例如，施用石灰降低了土壤酸性，同時提高植物產量，但這也是CO₂的直接排放源。因為施用石灰透過去除石灰石和白雲石沉澱中的碳酸鈣，將碳從地殼中轉移到大氣層中，並且將碳投入到土壤中，同時碳酸鹽離子轉變為CO₂。施氮是增加淨初級生產量(NPP)和作物產量的常見作法，包括施用合成氮肥和有機添加物(例如，糞便)，特別適用於農田和草地。土壤氮量的增加會增加土壤中N₂O的排放，N₂O是硝化和反硝化作用的副產物。透過放牧動物進行的施氮(糞肥和尿)也會刺激N₂O的排放。同樣地，如果伴隨土壤有機質的強化分解以及隨後的氮礦化，土地利用變化會加速N₂O的排放，如在濕地、林地和草地上的開始耕作等。

1.2.1.6 牲畜

動物生產系統，特別是與反芻動物有關的生產系統，是溫室氣體的重要排放源。例如，反芻動物消化系統中的腸道發酵導致CH₄的產生和排放。關於糞便處理和存藏的管理決定會影響CH₄和N₂O的排放，CH₄和N₂O是在分解糞便時分別作為CH₄產生過程和硝化及反硝化作用的副產物而形成的。此外，糞便管理系統和土壤中NH₃和NO_x的揮發損失，會導致溫室氣體的間接排放。

1.2.2 碳匯定義和非 CO₂ 氣體

在每種土地利用類別內，碳庫變化和排放量/儲存量的估計涉及五種碳匯，定義請見表1.1。對部分土地利用類別和估計方法而言，碳庫變化可以基於三種碳匯的總計(即生物量，死有機物質(DOM)和土壤)。根據各國實際情況可能需要對這裡介紹的碳匯定義作修改，但在使用修改定義時，除了須明確外，確保修

改的定義在一段時間內一致使用，並且證明各種碳匯既不遺漏也不重複計算。農林和其他土地利用部門主要關心的非CO₂氣體是甲烷(CH₄)和氧化亞氮(N₂O)。其他氮氣體包括NO_x和NH₃的排放也被考慮，因為它們能作為隨後N₂O排放的來源(因此被稱為間接排放源)。

表 1.1 五種碳匯定義

庫		說明
生物量	地上部生物量	土壤以上所有草本、木本活體植物生物量，包括莖、樹樁、枝、樹皮、種子和葉。 註：如果下層林木在地上部生物量碳匯中佔較小的部分，那麼用於某些層級的方法和相關數據將這部分排除在外是可接受的，但要在整個清單時間中使用統一的層級方法。
	地下部生物量	活根的全部生物量。直徑不足(建議)2毫米的細根有時不計算在內，因為往往不能憑經驗將它們與土壤有機質或枯落物做區分。
死有機質	死木	包括不含在枯落物中的所有非活性木材生物量，無論是直立的、橫倒的或在土壤中的。死目包括橫躺在地表的木材、死根和直徑大於或等於10公分的樹樁
	枯落物	包括直徑大於對土壤有機質的限定(建議2公分)而小於國家選定的最小直徑(例如10公分)、躺在砂質土或有機質土上或裡面已經死亡、腐敗狀況各不相同的所有非活生物量。包括通常定義在土壤類型中的枯落物層。在憑經驗不能加以區分時，礦物土或有機土上的活細根(小於建議的地下部生物量直徑限度)包括在枯落物中。
土壤	土壤有機質	包括達到國家選擇規定深度的礦質土中的有機碳，並在時間序列中統一使用。在憑經驗不能加以區分時，土壤中的活細根、死細根和死有機質，小於針對根或死有機質的最小直徑限度(建議2公分)，包括在土壤有機質中。土壤深度缺省是30公分。

1.3 農林和其他土地利用部門清單編制

為農林和其他土地利用部門編制清單，在六種土地利用類別內對每個類別的CO₂和非CO₂溫室氣體的排放和儲存進行單獨估算。其他CO₂和非CO₂排放類別，如與牲畜相關的排放、土壤氮管理中的排放、土壤石灰施用引起的排放和採伐木材產品可在國家統計層次中估算，因為通常關於這些僅能得到總計資料。可是如果有資料，則可根據土地利用類別分開計算這些總量資料。

1.3.1 土地利用和管理類別

2006年IPCC指導原則中的六種土地利用類別：林地、農田、草地、濕地、

聚居地及其他土地。每個土地類別進一步被細分為：保持土地利用類型不變的土地(如仍為林地的林地)和轉化為另一種土地利用類別的土地(如轉化為農田的林地)。根據氣候或其他生態區，國家可以選擇對每個類別的土地進一步分層，這取決於選擇的方法及其要求。所確定的每個特定土地的溫室氣體排放量和儲存量，包括生物量、死有機質和土壤中的CO₂排放(以碳庫變化的形式)以及燃燒產生的非CO₂排放，這取決於土地利用類別和其他具體源的非CO₂排放(例如稻米產生的CH₄排放)。

牲畜管理系統中，對主要動物類型的CH₄和N₂O的排放進行估算，例如乳牛、其他牛、家禽、綿羊、豬和其他牲畜(水牛、山羊等)。動物排泄物管理系統包括厭氧塘、液體系統、固體存儲、乾燥育肥場、草場/牧場/圍場和各種其他系統。

管理土壤中的N₂O的排放估算通常來自施加到土壤中的氮累積資料，包括氮肥的使用或銷售、作物殘餘物管理和土地利用轉化，這些會提高土壤有機質中氮的礦化。同樣地，石灰和尿素施用到管理土壤中產生的CO₂排放量通常用總計資料進行估算。

採伐的木材產品是構成碳迴圈的一個組成，能估算基於國家資料的碳庫變化，可是對溫室氣體排放的估計和報告目前仍在政策商議中。

1.3.2 農林和其他土地利用中方法分級

1.3.2.1 方法 1

使用起來最簡單，因為指導原則為方法1提供了方程和預設參數值(例如排放和庫變化因數)。需求資料為各國家的特定活動資料，但對於方法1，經常存在的是全球範圍適用的活動資料估值(例如毀林率、農業生產統計資料、全球土地覆蓋圖、肥料使用、牲畜種群資料等)，但這些通常都是空間範圍內粗略估計資料。

1.3.2.2 方法 2

可以採用與方法1相同的方式，但採用最為重要的土地利用和牲畜類別的排放和庫變化因數，因為這些因數都是基於國家或地區特定資料。國家確定的排放因數/活動資料最適合於該國的氣候區域、土地利用系統和牲畜類別。方法2所利用的時間和空間解析度較高，也利用分類程度較高的活動資料，以便與本國為特定區域和專門土地利用類別或牲畜類別確定的係數相一致。

1.3.2.3 方法 3

使用更高層級的方法，包括適合處理國家情況的各種模式和清查測量系統，可長期重複使用，並採用高解析度活動資料，甚至可更細緻區分拆解。與較低層級的方法相比，這些較高層級的方法所提供的估計值確定性更高。此類系統包括廣泛於定期間隔中重複的現場樣品和/或基於地理資訊系統(GIS)的年代、分類/生產資料、土壤資料和土地利用及管理活動資料系統，整合不同類型的監測。對土地用途發生變化的地塊需在一段時間內進行追蹤統計。在多數情況下，這些系統具有氣候依賴性，從而可提供帶有年度間變化率的估計值。使用詳細的牲畜種群分類，尤其分類是根據動物類型、年齡、身體重量等之紀錄。模式應接受品質檢查、審計和驗證並要從頭至尾詳細記錄。

一般而言，高層級的方法會提高清單的精確性，降低不確定性，但用高層級方法編制清單增加複雜性並且需要更多的資源。如果需要，可以使用綜合方法，例如對生物量使用方法2，對土壤碳則使用方法1。指導原則中所列的方法和資料集中於方法1清單。這些方法一般會應用於方法2清單，但是列出的方法1預設資料將部分或全部由國家資料所取代，以作為方法2估算的部分。方法3之應用仍很少。

1.3.3 關鍵類別確定

關鍵源/匯類別在國家清單體系中被列為優先的類別，因為它的估計值從絕對排放水準、排放趨勢或排放和儲存的不確定性角度看，對一個國家直接溫室氣體清查總量具有重大的影響。關鍵類別分析可幫助國家用可獲得的資源得出最可靠的清單。並不是其他所有類別都是關鍵，因而針對不重要的類別可運用所提供簡單方法估算(方法 1)，以便能夠編制完整的 AFOLU 清單，而且不需要對相對小的類別進行大量資源投資。關鍵類別分析需要確定以下內容：

- 哪些土地利用和管理活動重要；
- 哪種土地利用或牲畜類別重要；
- 哪些來自各種碳匯的CO₂排放或儲存重要；
- 哪些非CO₂氣體重要和它們來自哪些類別；
- 需要用哪種方法報告。

相關分析應該在IPCC源或庫類別層面上進行。進行分析時應當利用每種氣體的全球增暖潛勢(GWPs)估算的CO₂當量排放。由於與這些氣體、庫和類別相對應的方法、排放因數及相應的不確定性都各不相同，關鍵類別的評估就應針對各種氣體分別進行。在進行分析前，應對基於共同假設採用相同排放因數的源類別進行總合。對於每種關鍵類別，清單機構應加以確定，某些子源類別是否在排放中佔據重要比例。例如，在牲畜腸道發酵中的甲烷排放中，一些特殊族群的排放(例如，家牛、水牛或綿羊)很可能佔據了較大比例。在CO₂排放/吸收中，某些土地類別(例如，轉化為林地的土地)，甚至某些碳匯可以(例如，地上的生物量)在淨CO₂排放/吸收中占主導分量。

不同土地利用和牲畜類別的累積或分類層次，取決於一個土地利用或牲畜系統占國內溫室氣體清單的比例，同時也取決於國內可獲得的用於清單活動的資源水準。土地和牲畜類別的分類有助於減少不確定性，但會提高清單編制過程中的成本。因而，需要在分類層面和可用於編制清單的資源之間取得平衡。

確定保持土地利用類型不變的土地的相應層級的決策樹(圖 1.2)，如仍為濕地的濕地的例子；確定土地轉化為另一種土地利用類別的相應層級的決策樹(圖 1.3)，如轉化為林地的濕地的例子。

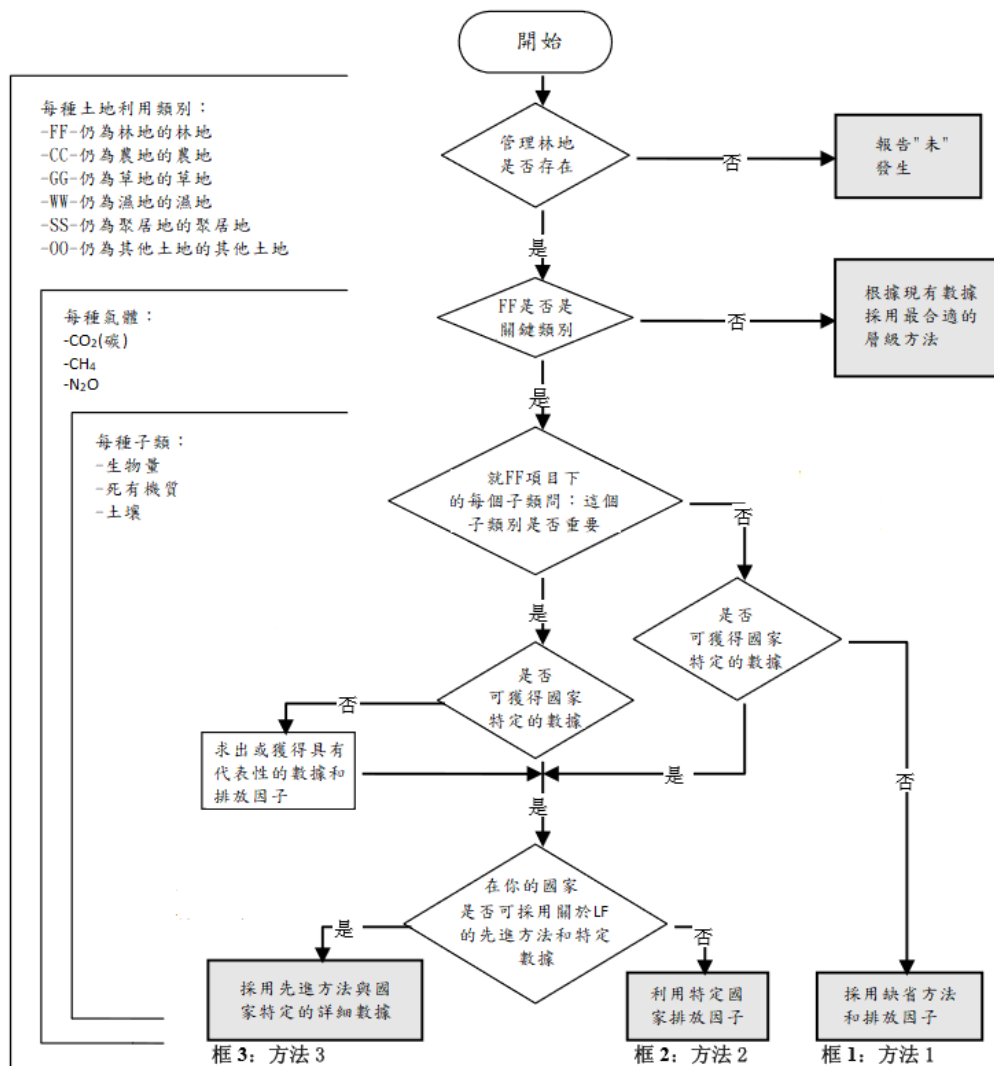


圖 1.5 確定維持土地利用類型不變的土地的相應層級的決策樹(以仍為林地的林地為例)

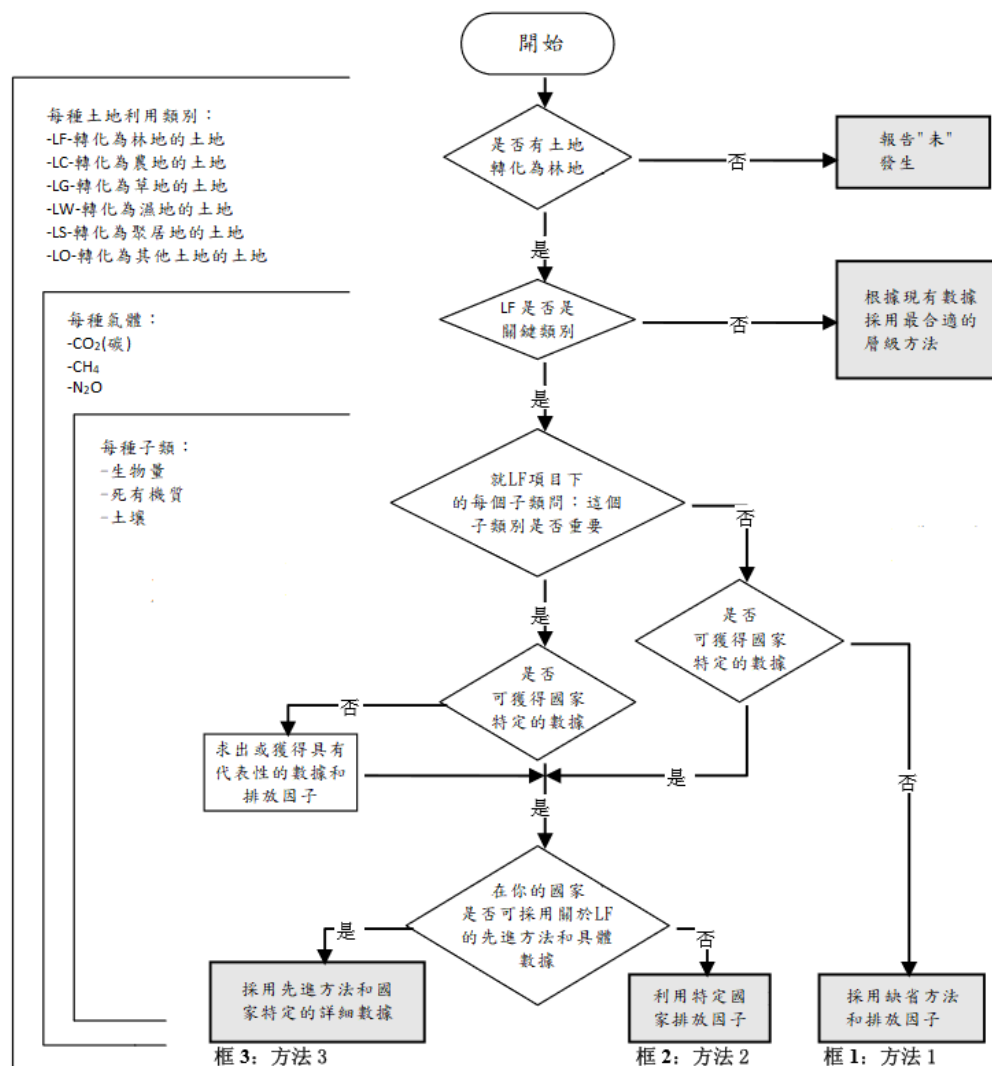


圖 1.6 確定土地轉化為另一種土地利用類別的相應層級決策樹(以轉化為林地的土地為例)

1.3.4 編制清單估算的步驟

以下步驟描述了農林和其他土地利用部門溫室氣體清單的編制：

1. 把所有的土地劃分為管理的和未管理的。
2. 建立一個適用於全部六種土地類別(即林地、農田、草地、濕地、聚居地和其他土地)的國家土地分類系統，並進一步以適合國家的氣候、土壤類型或生態區域加以細分。
3. 如果可能，編輯每個土地利用類別(按類別劃分)的土地面積和土地面積變化

資料。如果可能，用定義每種土地利用類別(按類別)的特定管理系統對土地面積進行分類，這個分類為分配排放因數和庫變化因數提供基礎，這是特定的估計方法所需要的。

4. 編輯牲畜、糞便管理系統、土壤氮管理及石灰和尿素施用的國家統計資料(如果關於土壤施肥和石灰活動的特定土地利用的活動資料存在，這些排放源類別可以按第二步驟所描述的進行分級)。
5. 在適當層級估算CO₂排放量及儲存量和非CO₂排放量，用以支持關鍵類別分析。很可能使用方法1或方法2進行初步的清單編制。如果之前已經建立好了方法並搜集了支援活動和輸入資料，最好可以進行方法3。
6. 如果有必要使用關鍵類別分析基礎上更高層次的方法，對CO₂排放量及儲存量和非CO₂排放量需進行再估計。
7. 估計不確定性，並完成品質保證(QA)/品質控制(QC)程式。
8. 計算整個清單階段每種源類別的CO₂排放、儲存及非CO₂排放總量，以及牲畜、糞便和氮管理中的排放量。
9. 將整合資訊轉化成報告表。如果可能，按土地利用類別將碳庫變化轉換為CO₂排放量及儲存量，並輸入非CO₂溫室氣體排放量。結合基於國家統計資料(例如，牲畜、糞便管理和土壤管理/改良)的任何排放估計，估算農林和土地利用部門的總排放量和儲存量。
10. 對使用的所有資訊進行檔案整理和歸檔，建立一份清單。除了每種排放源的結果，這份清單還包括活動資料及其他輸入資料，排放因數，資料來源及中繼資料檔，方法說明及模型軟體或編碼，QA/QC程式和報告。
11. 基於現有清單的完整性、不確定性和QA/QC過程中產生的問題，確定AFOLU部門的未來清單的優先順序。基於最新完成的清單，修改關鍵類別分析以說明作出未來優先順序的決定。

第二章 碳匯通用方法

2.1 前言

在農業、林業和其他土地利用(AFOLU)部門，溫室氣體排放和儲存的估算方法可分為兩大類別：1) 對於任何一種類別的土地利用，可用相同的方法(即對林地、農田、草地、濕地、聚居地和其他土地的通用方法)；2) 僅應用於單一土地利用或應用於國家統計資料(沒有指明具體土地利用)的方法。本章主要說明了在類別(1)下針對生態系統碳庫變化以及火燒引起的非CO₂流量的通用估算方法。這些方法能應用於六種土地利用類別中的任何一種。通用方法包括：

- 在特定土地類別中應用方法的一般框架；
- 方法的選擇，包括用於估算碳庫變化和非CO₂排放的方法1公式和預設值；
- 較高層級方法的一般性使用指導；
- IPCC排放因數資料庫的使用(EFDB)；
- 不確定性估計。

2.2 碳庫變化估算

在農林和其他土地利用部門，基於生態系統碳庫變化，對每種土地利用類別的CO₂排放和儲存進行估算，包括保持一種土地利用類別的土地及轉化為另一種土地利用類別的土地。建議以所有土地利用類別的變化總和，估算整個農林和其他土地利用部門的年度碳庫變化。

對於每種土地利用類別，估算這個土地利用類別中所選的土地面積的所有層或亞類(例如，氣候帶、生態型、土壤類型、管理制度等)的碳庫變化。按第1章表1.1中的定義，考慮5種碳匯內的碳循環過程，估算一個層內的碳庫變化。碳循環的廣義流程圖(圖2.1)顯示了全部5種碳匯及相關流量，包括系統輸入和輸出，以及碳匯間所有可能的轉換。總體上，通過所有碳匯內的變化之和來估算一個層內的碳庫變化。並且可以將土壤中的碳庫變化分為礦物質土壤中的碳庫

變化和有機土壤中的排放。採伐的木材產品(HWP)還列為一種附加碳庫。

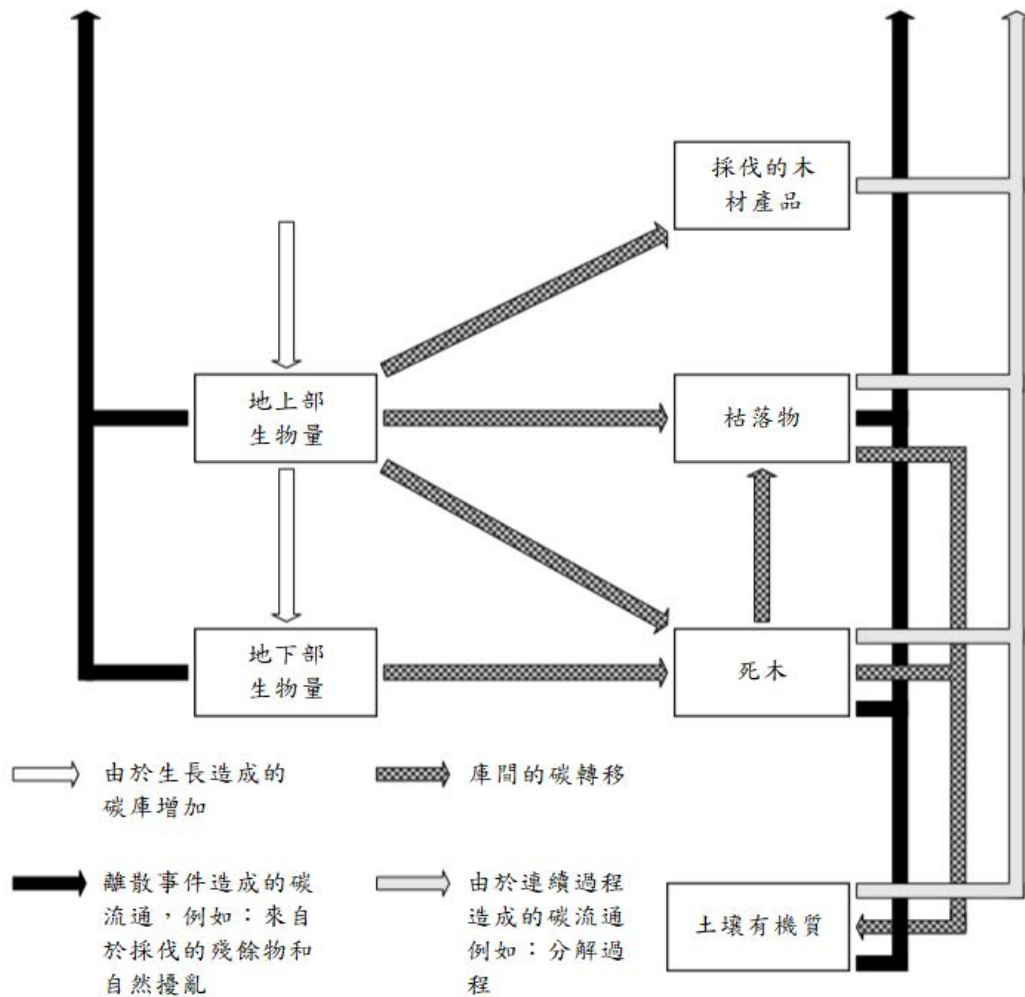


圖 2.1 陸地農林和其他土地利用生態系統中的廣益碳迴圈，表明了進出系統及系統內 5 種碳匯間的碳流動

碳匯和流量變化的估算取決於資料和模式的可獲得性以及收集和分析附加資訊的資源及能力。方法1有簡化之假設：

- 在方法 1 下，假設地上部生物量碳庫變化為零(在方法 2 下，關於地下部和地上部生物量比例的國家特定資料可用來估算地下部庫變化)；
- 在方法 1 下，死木和枯枝落葉池通常合稱為“死有機物質”；
- 在方法 1 下，假設非森林土地利用類別的死有機物質庫為零。對於轉化為另一種土地利用類別的林地，方法 1 提供了估算死有機物質碳庫的預設值。

碳循環包括連續過程(即生長，衰減)和離散事件(即干擾，如採伐、火燒、蟲災、土地利用變化和其他事件)引起的碳庫變化。連續過程每年均會影響所有地區的碳庫變化，而離散事件在事件發生的年份會在特定地區(即發生干擾的地方)引起氣體排放和重新分配生態系統碳。干擾亦可能有持續影響，如風倒或燒樹的衰減。出於實際考慮，方法 1 假設以部分干擾事件(即在干擾發生的年份)估算干擾後的所有排放(砍伐的木材產品較少)。例如，在事件發生的年份估算所有干擾後的排放，而不是在干擾發生後的幾年期間裡估算留下的死有機物質的衰減。

在方法 1 下，假設轉換成死有機物質(死木和枯枝落葉)的平均速率等於死有機物質轉換成別的物質的平均速率，因此淨庫變化為零。這個假設意味著，對於保持在一種土地利用類別的土地區域，在方法 1 下不需要量化其死有機物質(死木和枯枝落葉)的碳庫。這個方法的理論依據是，死有機物質庫特別是死木的變化很大並且有特定地點，這取決於森林類型和年齡、干擾歷史和管理。由於分解速率的資料缺乏，因此認為不能制定全球適用的預設因數和進行不確定性估算。對於森林中的森林類型或干擾或管理辦法發生明顯變化的國家，鼓勵其使用方法 2 或方法 3 建立國家資料，以估算這些變化帶來的影響和報告碳庫變化及非 CO₂ 排放和清除。

碳庫變化的所有估算，即增長、內部轉移和排放，均以碳為單位，以保持所有計算的一致性。生物量庫、增量、採伐等資料最初以乾重為單位，在隨後的計算中需要換算成噸重碳。存在 2 種完全不同但同樣有效的估算庫變化的方法：1) 基於過程的方法，用來估算添進和清出碳庫的淨平衡；2) 基於庫的方法，用來估算 2 個時點碳庫的差異。碳匯的年碳庫變化增加可以歸因於生長(生物量的增加)和來自另一種碳庫的碳轉移(例如，由於採伐和自然干擾，碳從活生物量碳匯轉移到死有機物質池中)。增加通常標注為正號(+)。損失可以歸因於碳從一種碳庫轉移到另一種庫(例如，在採伐活動中，砍伐物中的碳是來自地上部生物量池中的損失)，或由於腐爛、採伐、燃燒等造成的排放。損失通常標記為

負號(-)。

CO₂ 儲存是從大氣轉入一個庫，而 CO₂ 排放是從一個庫轉入大氣。並非所有的轉移均包括排放或儲存，因為任何從一個庫到另一個庫的轉移是捐贈庫的一個損失，但是亦是接受庫的一個等量增加。例如，從地上部生物量庫到死木庫的轉移是地上部生物量庫的一個損失，而是死木庫一個同等大小的增加，這個轉移並不一定會導致 CO₂ 立即排放到大氣中（取決於使用的方法層級）。如果按每公頃估算碳庫變化，然後用算出的值乘以每一層的總面積，可得到庫變化估算總值。在部分情況下，活動資料可以是國家統計的形式(例如，採伐木材)，在這種情況下，庫變化估算可以直接應用適合的因數將活動資料轉化成碳品質單位。當對一個特定土地利用類別使用儲量差分法時，重要的是保證該類別內的土地面積在時間 t1 和 t2 時是相同的，以避免混淆庫變化估算與面積變化。

過程方法本身是建模方法，使用衍自經驗研究資料的相關係數。這些方法可比庫變化方法消除更大程度的年份間變率，因為庫變化方法依賴於 2 個時間點間庫估值的差異。兩種方法均是有效的，但它們要能夠表述真實的干擾及連續變化趨勢，並且可以通過與真實測量進行比較而得到驗證。

2.3 非 CO₂ 排放估算

非 CO₂ 排放衍自多種源，包括土壤、牲畜及糞便中的排放，以及生物量、死木和枯枝落葉燃燒產生的排放。與根據生物量碳庫變化而估算 CO₂ 排放的方法不同，對非 CO₂ 溫室氣體排放的估算通常涉及從一個源直接排入大氣的排放速率。速率一般決定於一種特定氣體(例如，CH₄、N₂O)和源類別及面積(例如，就土壤或燒毀面積來說)的排放因數，定義排放源的總體(例如，就牲畜來說)或品質(例如，就生物量或糞肥來說)。

非CO₂溫室氣體的許多排放不是與一種特定土地利用（例如，稻米中的CH₄排放）相關，就是一般估算自全國匯總的統計資料(例如，牲畜的CH₄排放和管理土壤中的N₂O排放)。

2.4 將碳庫變化轉化為 CO₂ 排放

可以透過將碳庫變化乘以-44/12，將碳庫類別變化(包括轉入大氣的)轉化為 CO₂ 排放單位。如果大量的碳庫變化是通過 CO₂ 和 CH₄ 的排放，那麼應從使用為這些氣體估算提供的方法得到的 CO₂ 估算排放量或儲存量中減掉這些非 CO₂ 的碳排放量。在估算時，清單編制者應該評估每種類別，以確保這類碳還沒有被假設所覆蓋，沒有在估算 CO₂ 排放中做出近似估算。還應指出並非每種庫變化均相應於一種排放。將 C 轉化成 CO₂ 是基於分子量比率(44/12)。符號(+)的變化是由於碳庫的增加規則，即正(+)庫變化，代表大氣中的儲存量(或“負”排放量)，而碳庫的減少，即負(-)庫變化，代表進入大氣的正排放。

2.5 CO₂ 排放和儲存的通用方法

在農林和其他土地利用部門內 CO₂ 排放量和儲存量的估算通常基於生態系統碳庫的變化。這些包括地上部和地下部生物量、死有機物質(即死木和枯枝落葉)和土壤有機質。用生態系統碳庫總量的淨損失來估算進入大氣中的 CO₂ 排放量，用生態系統碳庫總量的淨增加來估算大氣中的 CO₂ 儲存量。必要時可以考慮庫間的轉移。直接通過清單方法或過程模式可以估算碳庫變化。每種碳庫可存在於任意土地利用類別中。在特別情況下，碳庫的損失可能為非 CO₂ 氣體的隱含排放，如甲烷、一氧化碳、非甲烷揮發性有機碳和其他氣體。為避免漏算和重複計算，檢查由碳庫內損失引起的 CO₂ 和非 CO₂ 排放的完整性。

2.5.1 生物量碳庫的變化

植物生物量構成許多生態系統的一種重要碳庫。一年生和多年生植物的地上部分和地下部分均含生物量。與一年生和多年生草本(即非木本)植物相關的生物量的生命相對短暫，例如植物每年或每幾年就會衰減和再生。所以透過由再生長引起的儲存來平衡衰減中的排放，使得生物量中的總淨碳庫長期相當穩定。因此，

方法集中在與木本植物和樹相關的生物量庫變化，它們在其生命週期中能積累大量碳(達到每公頃成百上千噸)。由於管理及採伐、自然干擾、自然死亡和森林再生造成大量碳流量，林地生物量中的碳庫變化可能是一個重要的亞類。此外，從林地轉變成其他土地利用通常導致來自生物量庫的大量碳損失。樹和木本植物可以存在於六種土地利用類別中的任意一種，但是林地上的生物量庫通常最多。以清單為目的，為(1)保持相同土地利用類別的土地及(2)轉變為新的土地利用類別的土地，估算生物量中的碳庫變化。

生物量碳增加包括地上和地下部組分中的生物量增長。損失分為木材的伐倒或採伐、燃木收集和管理土地上的自然干擾，如火燒、蟲災和極端天氣事件（例如，颶風、洪水）。估算生物量中碳庫變化的兩種方法：(1)增加-損失方法，需要從生物量碳增加中減去生物量碳損失；(2)儲量差分法，需要2個時點的給定土地面積的生物量碳庫清單。年生物量變化是時間 t_1 和 t_2 間的生物量庫差額，除以清單間的年份數。在有些情況下，主要的生物量資料可以用木材量資料的形式，例如來自森林調查，此種情況下提供了將木材量轉換為碳品質單位的因數。在應用增加-損失或儲量差分法中，相關地區很明顯是進行估算清單在年末仍保持相關類別的地區。在土地利用變化發生後，土地保持在轉化類別的時間長度預設為20年，因為在1996年IPCC指導原則中為計算預設係數而假設碳庫達到平衡的時間長度，並保留在GPG-LULUCF中繼續使用。但是在高層次方法下可以根據國情利用其他時間長度。因此，按預設假設，土地屬於一個給定土地利用20年後，將會從轉換類別轉變成保持類別。部分碳庫變化將會在轉化的年份裡發生，然而保持土地停留在轉化類別的期限的一致性很重要，否則土地面積估算的方法將無效。轉化後1年內完成的碳庫變化將與每年轉化的面積相關，並且相關土地面積需要被作為轉化類別的一種亞類，不過應該保持在轉化類別內，直到20年預設期或其他轉化期期滿。

以上兩種方法均可以用來估算可能存在多年生木材生物量的所有土地類別（例如，仍為林地的林地、仍為草地的草地和仍為農田的農田）的生物量碳庫變

化。部分生物量損失會導致除CO₂外的碳排放，如生物量消耗和通過白蟻和野生哺乳動物釋放的CH₄。目前並沒有制定這些排放源的預設方法，希望估算和報告這些排放的國家應該建立和實施方法。

2.5.2 死有機物質中的碳庫變化

死有機物質(DOM)包含死木和枯枝落葉。估算死有機物質的碳動態，可在報告碳排放和儲存於何時何地發生方面提高準確性。例如，在生物量燃燒中死亡的生物量中僅有部分碳，在火燒年份裡釋放到大氣中。大部分的生物量加入到死木、枯枝落葉和土壤庫中(死的細根包含在土壤中)，一旦死有機物質分解，碳將會在數年到數十年內釋放。不同的地區間，從極其溫暖和潮濕的環境到非常寒冷乾燥的環境，分解率差異極大。儘管對死有機物質庫的碳動態已經作了較佳的定性瞭解，各國仍然可能發現很難獲得國家範圍內關於死有機物質庫及其動態的真實資料。

在森林生態系統，由於地上部和地下部剩餘生物量添加引起的林分替換干擾，死有機質庫往往成為最大的碳匯。在干擾發生後的幾年，隨著衰減引起的碳損失速度超過因枯枝落葉、死亡和生物量周轉引起的碳添加速度，死有機質庫會降低。之後在林分發展中，死有機質庫會再次增加。表述這些動態，需要分別估算與林分動態關聯的樹齡決定的投入及產出和與干擾相關的投入及損失。這些較為複雜的估算程式需要高層級的方法。

針對所有土地利用類別的死木和枯枝落葉池的方法1假設是：在相同的土地利用類別中它們的庫不會隨時間而變化。例如，假設在干擾或管理事件程序中死亡的生物量碳(其次是採伐的木材產品的清除)，在事件發生的年份完全釋放到大氣中。這個假設等同於：轉移到死有機物質的非出材和非商業組分量，等於透過分解和氧化作用從死有機物質釋放到大氣中的碳量。各國可以使用高層級方法來估算死有機物質的碳動態。使用方法1估算保持土地利用不變的土地中死有機物質庫(DOM)的國家報告，來自這些碳庫或碳排放為零變化。按此規則，在火燒中

死有機物質燃燒引起的CO₂排放不用報告，在火燒發生後的幾年裡死有機物質碳庫的增加亦不用報告。但是報告了死有機物質燃燒引起的非CO₂排放。估算DOM中碳庫變化的方法2計算了死木和枯枝落葉池中的變化，可以使用2種方法：追蹤投入和產出或估算2個時點DOM庫的差異。這些估算需要兩種詳細的清查，包括死木和枯枝落葉庫的重複測量，或模擬死木和枯枝落葉動態的模型。較佳作法是確保這些模型經過現場測量並歸檔。

2.5.3 土壤中的碳庫變化

儘管土壤中既能發現有機態碳亦能發現無機態碳，但土地利用和管理一般對有機碳庫產生重大影響。因此，這些指導原則裡提供的方法主要集中於土壤有機碳。總得來說，土地利用和管理對土壤有機碳的影響在礦質土壤和有機土壤上表現有明顯不同。有機（例如，泥炭和肥料）土壤最小含12%-20%品質的有機質，並且在極難排水的濕地條件下形成。其他所有土壤均歸為礦質土壤類型，並且一般來說有機質含量相對較低，在中等到極易排水條件下發生並主要發生在除了濕地的多數生態系統中。

礦質土壤是一種會被土地利用和管理活動影響的碳匯。土地利用對這種庫的大小影響很大，透過活動如當地草地和林地轉化為農田等方式影響，其中損失了20%-40%最初的土壤碳庫。在一種土地利用類型中，多種管理行為還會對土壤有機碳產生重要的影響，特別是在農田和草地中。原則上，如果土壤的碳投入和碳損失間的淨平衡被改變，土壤有機碳庫隨著管理或干擾而改變。管理行為透過以下方式影響有機碳的投入，如植物生產(如為提高作物生長進行的施肥或灌溉)的改變、有機添加物的直接碳增加和生物量清除活動(如農作物收穫、林木採伐、火燒或放牧)後留下的碳量。分解作用主要能控制碳輸出，並且水氣和溫度狀況的改變和管理活動引起的土壤干擾會影響分解。其他因素亦會影響分解，如氣候和土壤特徵。土地利用改變和管理活動透過改變侵蝕速率和隨後某一地點的碳損失，進而還會影響土壤碳儲存量。部分被侵蝕的碳在轉移中分解且CO₂還原到大氣中，

而剩下的碳在另一個地方再沉澱。可是，透過土地管理改變土壤侵蝕的淨效應具有極大的不確定性，因為儲存在濕地、湖、河三角洲和海濱地帶裡埋葬的沉澱物中的侵蝕碳的比例未知。

在不排水有機土壤中，一般厭氧條件下有機質的投入量超過分解的損失量，並且隨著時間的變化累積大量的有機質。這些土壤的碳動態與水文條件有密切關聯，包括存在的水氣、地下水位的深度和氧化還原條件。特定成分和少量化學成分亦會影響那些動態。當排水後，土壤變成有氧條件時，有機土壤中儲存的碳將會穩定地分解。排水是為了提高植物生長地點的條件，在農業和林業中使用的一種措施。損失率隨著氣候而改變，隨著在暖熱條件下排水導致分解速率加快。 CO_2 的損失亦受排水深度、石灰施用、肥料及有機基質的一致性和溫度的影響。有機土壤的排水一般會釋放 CO_2 到大氣中，在未排水的有機土壤中 CH_4 排放量亦會降低。可是，除了一些管理濕地的情況，清單指導原則中不涉及未排水有機土壤中的 CH_4 排放。同樣地，國家清單一般不估算土壤庫中來自未排水有機土壤中植物腐質累積引起的碳累積。總體而言，濕地環境中碳增加的速率相對在有機土壤中來說較慢，並且估算碳增加甚至是估算透過恢復濕地產生的碳增加，亦需要考慮 CH_4 排放的增加。

2.6 非 CO_2 排放

生物量燃燒、牲畜及糞便管理或土壤中會產生大量非溫室氣體的排放。下文描述了估算火燒引起的溫室氣體排放(CO_2 和非 CO_2 氣體)的通用方法，含林地、草地和農田相關章中的特定土地利用改進。較佳作法是檢查由碳庫內損失引起的 CO_2 和非 CO_2 排放的完整性，以避免漏算和重複計算。火燒引起的排放不僅包括 CO_2 ，還包括氣體溫室氣體或由燃料不完全燃燒產生的溫室氣體前驅物，包括一氧化碳(CO)、甲烷(CH_4)、非甲烷揮發性有機化合物(NMVOC)和氮類(例如 N_2O , NO_x)。火燒被視為一種干擾，不僅影響生物量(特別是地上部)，亦影響死有機物質(枯枝落葉和死木)。術語“生物量燃燒”被廣泛使用並在這些指導原

則中得到保留，但除了生物量之外的燃料成分一般更為重要，特別在森林系統中。對於含很少木本植被的農田和草地來說，通常以生物量燃燒為參考，因為生物量是受火燒影響的一個主要碳庫。

當估算林地、農田和草地中火燒引起的溫室氣體排放時，各國應遵行以下原則：

- 報告的範圍：需要報告管理土地上(除了草地引起的 CO₂ 排放)發生的所有火燒(計畫火和野火)引起的排放(CO₂ 和非 CO₂)。當土地利用改變時，應該在新土地利用類別下包括火燒引起的任何溫室氣體排放。不需要報告未管理土地上野火(和逸出的計畫火)引起的排放，除非以後這些土地利用發生了變化(即變成管理土地)。
- 火燒作為一種管理手段(計畫燒除)：報告燒除面積產生的溫室氣體排放，如果未管理土地受到火燒影響，那麼亦還應該報告火燒之後土地利用改變引起溫室氣體的排放。
- CO₂ 排放量和儲存量的相等(同步性)：當生物量的 CO₂ 排放量和儲存量在清查年中不相等時，應該報告 CO₂ 淨排放量。對於草地生物量燒除和農業殘餘物燃燒來說，相等假設一般說來是合理的。然而，木本植被亦可能在這些土地類別中被燒除，應該用更高層級的方法報告這些源排放的溫室氣體。此外，在世界上許多地方，放牧是林地中最主要的土地利用形式，林地定期進行燒除(例如，放牧的林地和稀疏草原)，對這樣的系統假設同步性之前，必須要慎重考慮。對於林地來說，如果大量木材生物量死亡(即損失為數年的生長和碳累積)，就不可能做到同步性，而應該報告淨排放。例子包括：天然森林的清邑，轉化為農業和/人工林及林地中的野火。
- 可燃燒的燃料：應該說明可降低可燃燒燃料量的因素(例如，來自放牧、衰減、生物燃料清除、牲畜飼料等)。為了避免低估和重複計算，應該採用品質平衡方法來計算殘餘物。

- 年度報告：儘管火燒在空間和時間上存在較大的內在可變性(特別是野火的)，各國應該每年估算和報告火燒中的溫室氣體排放。

除了燃燒產生溫室氣體排放外，火燒亦會導致惰性碳庫的形成(木炭或炭)。火燒發生後的殘餘物主要有未燒除和部分燒除的成分，以及少量由於其化學性質而極難分解的碳組成。目前關於不同燃燒條件下炭形成率和隨後周轉率的知識有限，就清單而言這些不足以建立可靠的方法，因而沒有列入這些指導原則中。此外，儘管火燒還會引起非甲烷揮發性化合物(NMVOC)的排放，但本指導原則不涉及它們，因為估算需要的資料和許多重要參數不確定性大小的缺乏，不能建立與之相關的可靠的排放估算。

2.7 方法 3 的通用指導原則

本指導原則主要集中於方法1以及輔助方法2清單建立的一般指導原則。指導原則中較少涉及方法3，方法3清單是使用測量和/或建模的高級系統，目的是改進溫室氣體(GHG)排放量和儲存量的估值，超越了方法1或方法2可能得到的估值。

2.7.1 基於測量的方法 3 清單

清單可以基於碳庫變化的直接測量，從中估算出碳的排放量和清除量。測量部分非CO₂溫室氣體的排放是可能的，但因為非CO₂排放在空間上和時間上變化很大，方法3將可能結合過程模式和測量來估算非CO₂排放。如基於使用國家森林清查的重複測量可以不依賴過程模式而獲取碳庫變化的估算值，但對於國家清單的地塊測量的空間和時間範圍，它們需要合適的統計模式。一般說來，施行基於測量的方法3清單包括6個步驟：

2.7.1.1 步驟 1 建立採樣方案

採樣方案能用多種方法建立，但一般包括一個層次內取樣地點的部分隨機分佈。清單編制者將根據國家的大小，關鍵環境變數(如氣候)和其地區的管理體系

來確定合適的方法。後兩者可能當作層變數，假設抽樣方案不是完全隨機的。此外，關於採樣的較佳作法是為特定關鍵源類別提供排放和/或儲存的廣泛空間覆蓋。

清單編制者應該建立合適的時間段。如果採用重複測量設計，在這個時間段內可以進行重新抽樣。重新測量的時間將取決於庫變化率或非CO₂溫室氣體的排放量。例如，在樹生長緩慢和死有機物質(DOM)庫在某一年很少發生變化的北方和部分溫帶地區，重新測量的時期會長於碳動態變化更迅速的環境。當直接測量流量時，若空間和時間有更大的變化性，需要更頻繁或更密集的抽樣以捕捉流量，否則可能會造成測量記錄的缺失。

部分方法不包括對同一地點的重新採樣。這樣的設計是可接受的，但可能限制分析的統計效力，並因此導致更大的不確定性。重複測量設計很可能將為多數國家進行碳庫變化或排放的估算提供更好的基礎。

2.7.1.2 步驟 2 選擇採樣地點

採樣點的具體位置取決於採樣設計。較佳作法是採樣備好替代地點，以防在原來的位置不能進行採樣。在重複測量設計中，這些地點將成為一個監測網路，定期重新採樣。確定採樣地點很可能涉及地理資訊系統的使用。地理資料庫可以包括多種環境和管理資料，如氣候、土壤、土地利用和牲畜生產，取決於源類別和分層。如果不能獲取國家基礎的關鍵資料，清單編制者應該對步驟1中的設計和分層(如果使用)進行重新評估，並且可能修改採樣設計。

採樣可能需要不同國家部會或地方政府、公司和私有土地擁有者之間的合作協調。在收集這些最初樣本之前，要在這些相關利益方之間建立聯繫。向利益相關方通報持續監測的資訊，亦可能會有用處並能讓監測專案施行更成功。

2.7.1.3 步驟 3 收集最初樣本

一旦確定了最終地點，採樣團隊可以造訪這些地點、建立地塊和收集最初樣

本。最初樣本將提供最初碳庫，或作為排放的初次測量。較佳作法是在樣本收集前，制定現場測量和實驗程序。此外，可能有益的作法是，借助全球定位系統確定地塊位置或樣本點的地理座標，如果計畫進行重複測量，可永久標記地點以方便將來找尋和進行重新採樣。

較佳作法是採取相關測量和記錄抽樣點的環境條件及管理。這將確定條件與抽樣方案設計的一致性，還可以用於資料分析中(步驟5)。如果採用分層抽樣的方法，會很明顯在許多或多數地點不能與預期環境條件和管理體系相一致。較佳作法是重複步驟1，重新進行評價，並可能基於新資訊修改採樣方案。

2.7.1.4 步驟4 定期對監測網路進行重新採樣

對於重複測量設計來說，為了評估清查時期碳庫或非CO₂排放，在採樣點定期進行重新抽樣再次測量之間的時間，取決於碳庫變化率或排放變數、監測專案的可用資源以及抽樣方案的設計。如果使用破壞性抽樣，如除去土心或生物量的樣本等，較佳作法是在同一地點進行重新採樣，但並不是在樣本過去被除去的確切位置。在確切原位置進行破壞性抽樣會產生測量誤差。這樣的誤差會危害監測，並使產生的結果不能代表整體趨勢。

2.7.1.5 步驟5 分析資料和確定碳庫變化/非 CO₂ 排放，並且推斷國家排放和儲存的估算值及不確定性的指標

較佳作法是基於抽樣設計選擇用於資料分析的適合統計方法。統計分析的總體結果是碳庫變化或排放測量的估算值，從中可以獲取國家排放和儲存的估算值。較佳作法是還包括對不確定性的估算，包括測量樣本收集和實驗室處理中的錯誤(後者的處理可能使用了標準並通過獨立實驗室交叉檢驗了結果)，與監測設計相關的抽樣公式以及其他相關的不確定性源。分析可能包括更大時間或空間領域的測量尺度，這再次取決於採樣方案的設計。尺度範圍從簡單平均或加權平均到更為詳細的內推和外推技術。

為了獲得庫變化或非CO₂溫室氣體排放的估算值，通常必須使用考慮環境條件、管理和其他活動資料的模式，外推測量值。當通過純重複測量碳庫來估算碳基溫室氣體的淨變化時，通常採用統計或其他模式，有助於將地塊測量值擴展到國家估算值。非CO₂溫室氣體排放的國家估算值不可能僅源自測量，因為獲取測量值花費很大並很困難。例如，不能根據經驗確定森林火燒中的N₂O排放量，但通常可以從樣本、燃燒區域的活動資料和燃料消耗估算值中推斷出來。相反地，可以使用密閉罩估算土壤N₂O的排放量，但建立採樣密度的網路很昂貴，這個網路需要提供國家排放估算值，且僅基於測量不使用外推模式。較佳作法是分析相關於環境條件的排放，以及多種管理方式對那些趨勢的貢獻。相關模式的解釋有助於評估未來減排的可能性。

2.7.1.6 步驟 6 報告和歸檔

較佳作法是用系統和透明的方式彙集結果以供報告之用。歸檔包括對採樣方案及統計方法、抽樣時間表(包括重複抽樣)、庫變化和排放估算的描述，以及對排放趨勢的解釋(例如管理活動的貢獻)。此外，報告應該填寫並歸檔 QA/QC，包括品質保證程式，其中未參與分析的同行評議人評價方法學。

2.7.2 基於模式的方法 3 清單

編制基於模式的清單可採用經驗的、基於過程或其他類型的高階模式。較佳方法是採用獨立的測量來確定，因為此類模式能夠估算受關注的源類別排放和儲存量。一般說來，實施基於模式的方法3清單使用7個步驟（圖2.2）。

2.7.2.1 步驟 1 選擇/建立一種模式

計算庫變化和/或溫室氣體排放量應該選擇或建立一個模式，能比方法 1 和方法 2 更準確地表示庫變化或非 CO₂ 溫室氣體排放。作為這種決策的一部分考量是考慮輸入資料的可獲得性(步驟 3)和計算運行模式所需的資源(步驟 5)。

2.7.2.2 步驟 2 用校準資料進行評價

這是清單建立中最重要的一步。可將模式結果直接與用於模式校準/參數化的測量值進行比較。使用統計測試和/或用圖表進行比較，目的是表示模式能有效地類比所關心的源類別中多種條件所測量的趨勢。較佳作法是確保模式適當回應活動資料中的變化，並確保模式能夠按照所列出的土地利用分類來報告結果。如果模式不能捕捉一般趨勢或存在大量系統偏差，可能必須重新校準模式或修改結構及演算法。在有些情況下，基於這些評估，可能要選擇或建立新模式。評估結果是報告文檔的重要組成部分，說明用於量化一個源類別中排放的特定模式的使用情況。

2.7.2.3 步驟 3 收集關於活動和相關環境條件的時空資料

這些是模式輸入所需的。為了估算與某個源類別相關的溫室氣體排放量和清除量，模式(甚至用於方法1和方法2)需要具體的輸入資訊。這些輸入資訊的範圍可能從天氣及土壤資料到牲畜數量、森林類型、自然干擾或種植管理作法。較佳作法是輸入資料要與模式的時空尺度相一致。例如，如果模式按照每日的時間步驟運作，那麼輸入資料應該提供關於環境特徵或活動資料的每日變化資訊。在有些情況下，輸入資料可能是模式選擇的一個限制因素，按照可獲得的活動和/或環境資料，需要將部分模式視為不合適而丟棄。

2.7.2.4 步驟 4 量化不確定性

不確定性產生於導致溫室氣體流量的活動或過程的知識不完善，一般表現在模式結構和輸入中。因此，不確定性分析旨在提供一種嚴格的信度衡量，是由基於模式結構和輸入中不確定性的模式估算引起的，能衡量碳庫變化或非CO₂溫室氣體流量中的變化。

2.7.2.5 步驟 5 執行模式

這步驟主要需要考慮的是有足夠的計算資源和人時可準備輸入資料、開展模式模式和分析結果。這將取決於程式腳本的有效性、模式的複雜性，以及類比的時空範圍和解析度。在部分情況下，計算資源的缺乏可能限制複雜性和時空解析度的範圍，此種分辨率可用於國家層級的執行（即在更精細時空範圍上的類比需要更多計算資源）。

2.7.2.6 步驟 6 用獨立資料進行評估

重要的是認識到步驟2與步驟6之間的差別。步驟2涉及以現場資料測試模式的輸出，用作校準的基礎(即參數化)。相反地，用獨立資料進行評估是利用來自模式校準的一套完整獨立資料集，對模式組成和結果進行更嚴格的評價。獨立評估最好應該基於來自監測網絡或研究地點的測量，並且這些測量不曾用於校準模式參數。網路應該在原理上與一系列地點相似，這些地點用於基於測量的清單。然而，採樣不需要密集，因為網路不是估算碳庫變化或非CO₂溫室氣體流量的基礎，就像在純基於測量的清查中一樣，它卻是用來核查模式結果。

在部分情況下，單獨評估可能顯示基於模式的估算系統並不合適，這是由於模式結果與來自監測網路所觀測到的趨勢之間存在大量不可預測的差別。問題可能源自以下3種可能性之一：實行步驟的錯誤，不可靠的輸入資料，或不合適的模式。執行問題一般來自電腦程式的錯誤，而如果這些資料不能代表管理活動或環境條件，模式輸入可能產生不正確的結果。在這兩種情況下，對於清單編制者而言，較佳作法是根據具體情況返回步驟3或步驟6。如果步驟2視為合理，模式不合適的可能性較小。然而，如果是這種情況，較佳作法是返回模式選擇/建立階段(步驟1)。在選擇/建立階段後的步驟2中，較佳作法是避免用獨立評估資料進行再校準或修正演算法。如果這種情況發生，這些資料將不再適合用於獨立評估，因此在這個清單方法中不能用於步驟6。

2.7.2.7 步驟 7 報告和歸檔

較佳作法是用系統和透明的方式彙集結果用於報告。歸檔可能包括模式的說明、模式輸入資料來源的總結、模式評估結果(包括來自監測網路的實驗源和/或測量資料)、庫變化和排放的估算值以及排放趨勢解析(即管理活動的貢獻)。報告應該填寫並歸檔 QA/QC。

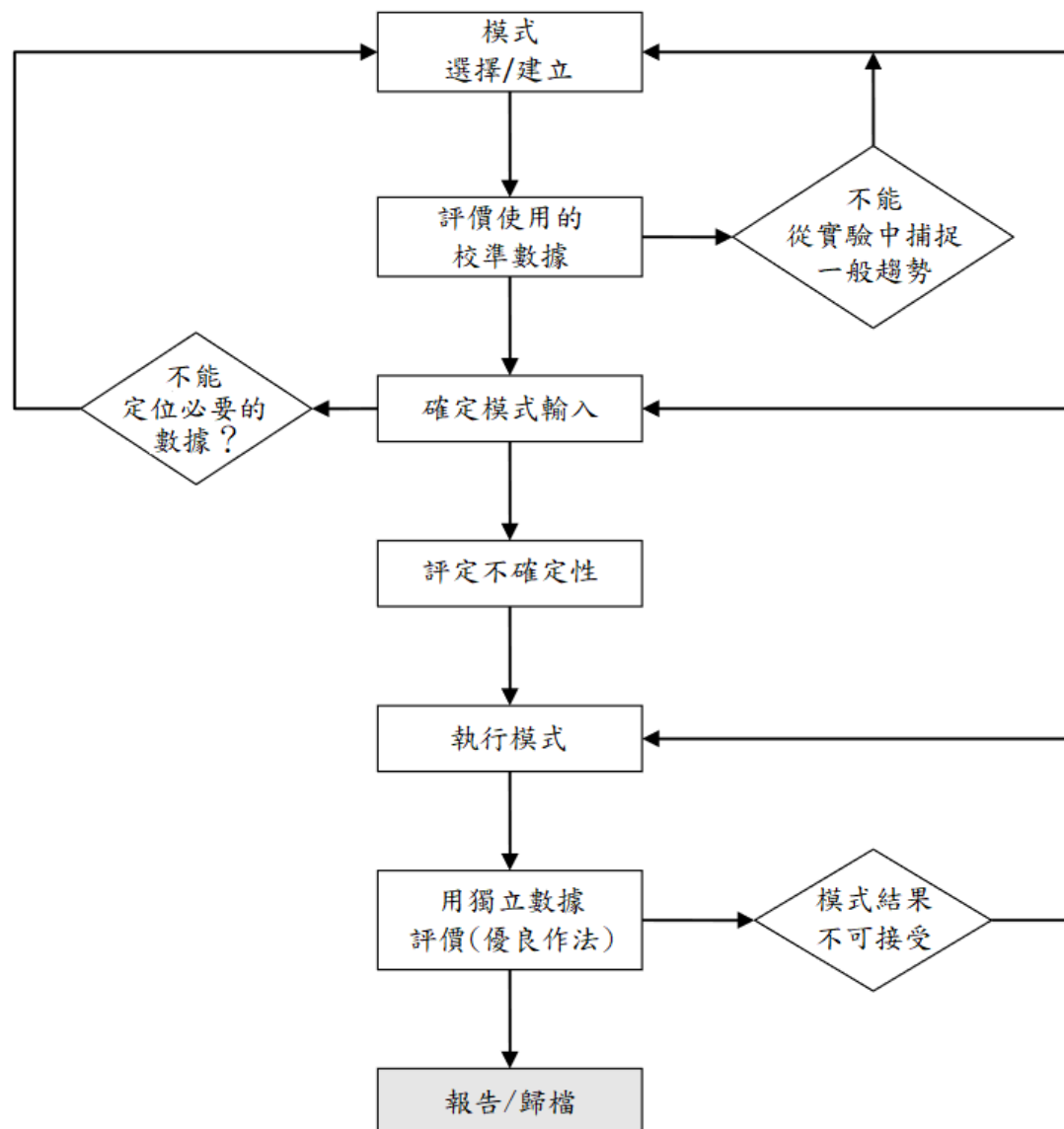


圖 2.2 建立方法 3 基於模式清單估算系統的步驟

2.8 立項策劃和野外測定方案制定

計畫制定包括以下四項要素：

- (1) 項目策劃；
- (2) 碳庫的野外採樣方案；
- (3) 樣品製備和實驗室分析方法；
- (4) 碳儲量上推到項目區域的計算方法。

2.8.1 立項策劃

圖 2.3 展示了野外測定計畫的主要準備步驟。步驟應具有連續性、合理性，每個操作應詳細記錄。



圖 2.3、野外測定計畫的準備步驟(Howard *et al.* 2014)

2.8.2 項目區域邊界的界定

項目區域邊界界定由項目的範圍和目標決定。項目範圍可以小到單一的地點(幾十公頃)，也可以大到整個國家(幾百到幾千公頃)。範圍內可能會有退化或功能轉換的生態系統。項目範圍內的區域可能是一塊完整、連續的土地，也可能是由整個區域內的許多小板塊構成。邊界一旦界定，盡力不去改變；改變不可避免時，應當詳細記錄。相應地，總碳儲量或單個碳儲量的測定方法都應調整，以反映面積的變化。

項目調查地點和尺度確定後，應該繪製地圖。地圖可以方便野外人員做出最佳選擇，如選擇最佳的取樣地點，使之盡量涵蓋的區域地理範圍；環境變化和生物物理變化；地點也方便確認道路、潮溝和河流。從一開始就繪製精準的

地圖，不僅便於確認採樣地點，也便於通過個體樣本碳儲量上推到大尺度的項目區域碳儲量。如果未來需要重新評估，並進行預測，精確的原始地圖就十分重要，可用於確認碳庫和生態系統服務的變化。地形、土地利用類型、土壤和植被分布圖、航拍圖等資料通常可以從當地政府機構獲得，通過不同精度的圖片辨別項目邊界。衛星圖像和遙感技術對於生態系統的製圖極為有用，它們可用於廣泛收集生態系統的相關信息。

2.8.3 項目區域的細分

區是將存在異質性的調查區域(需要較多樣本來解釋內部的差異)劃分為性質均一的小區(只需要少量樣本)。在野外實施和資源限制的條件下，當密集採樣受限時，分區就非常有用，(以紅樹林為例，圖 2.4)。分區是將項目區域劃分為生態同質(如物種多樣性和地貌學相似)的亞區或“層”。地方資料、衛星圖像和地理信息系統等現有資料都有助於分區。



圖 2.4、紅樹林項目區域細分示例(© Boone Kauffman, OSU)

分區的標準應該與測量的變量一致。就碳匯而言，主要變量是碳，因此，分區標準應該是所有影響碳儲量的因素。碳儲量受植被種類和密度的影響。其他影響分區的因素有：

- (1) 現有土地利用方式(如潮汐鹽沼區域變為農業用地)；
- (2) 潛在的土地利用方式(如容易被改為水產養殖或被開發的區域)；
- (3) 土壤性質的變化(如土壤深度或類型，沉積物顆粒等級)；
- (4) 地貌特徵(如鄰近地質特徵、排水特點)；
- (5) 離海距離(如每天潮汐淹水區域，或只在特大高潮時淹沒的區域)。

雖然分區可用來減少採樣的樣本數量並提高碳儲量估算的準確性，但標準嚴格時會使小區數量增加(所有樣品都需要進行採樣)，標準寬鬆時只能形成幾個

大分區(容易忽略變異的存在)，使分區失去意義。因此，分區的大小和數量應該綜合考慮精確度、所需時間和可利用資源三者的平衡。

2.8.4 碳庫的確定

目標區域內的每一個小區通常有一個以上的碳庫。項目目標決定了每個小區內所需測定的碳庫類型。當然，並非所有碳庫都重要，並非所有項目都要量化。只要不顯著改變評估結果，可以不包含部分碳庫，但至少在有代表性的採樣地點上測定所有碳庫。根據項目預算或其他限制，可以減少碳儲量較小的碳庫或碳儲量受影響很小的碳庫測定頻率，甚至不用測量。

總的來說，滿足以下任意條件的碳庫都應當測定：

- 重要的碳庫(例如占總碳庫的比例大於5%的碳庫)
- 發生或已經發生顯著變化的碳庫(因為氣候變化和極端天氣；或受人為影響，包括土地利用方式改變或挖掘等)。
- 從未測定過的碳庫。

2.8.5 樣方類型、數量和位置確定

在保證精確度的條件下確定最小的樣方數量，這有助於降低野外初始測定和長期監測的成本。不過，取樣密度最終由項目目標和精確度要求決定。

應用等級 2 進行評估時，要求有足夠的數據才能估算出國家或地區的碳儲量，並且可以通過較低的採樣密度獲得較大區域的碳儲量數據。

根據生態系統和項目分區的現存碳庫大小，我們需要確定最優的小區形狀、大小和採樣強度，並使結果能準確而精練地描述該生態系統的特性。因此，樣方設定應充分考慮項目目標、準確性、採樣效率和安全性。

2.8.6 測定頻率的確定

碳儲量評估的測定頻率(和測定重複)取決於評估目標和所研究生態系統的可能變化速率。這些變化包括自然干擾(如颱風)；植物生產力的差異和自然的固碳速率、土地利用方式改變(如水產養殖或潮上帶的農業)，以及氣候變化引起的改變(如海平面上升)。測定頻率也應考慮當地法規、管理或資金的需求，資源的可用性；它也取決於被測定的碳庫。例如，海草床地上生物量碳庫的變化比土壤碳庫要快。同時，季節性的生長或死亡的生長模式使地上生物量全年量全年波動並極有可能互相抵消。對於生物量碳的測定，我們建議每年在地上生物量達到高峰時(每年夏季末)進行測量；重複測定應在每年同一時間進行(Fourqurean et al. 2001)。大約 5 年的間隔就足夠監測地上碳儲量的變化(Pearson et al. 2005；Pearson et al. 2007)。變化較緩慢的碳儲量(如紅樹林、潮汐鹽沼和海草床的土壤)，在沒有特殊事件干擾的前提下，一般採樣間隔可以較長(可達 10 年，甚至 20 年)。但較長的時間間隔可能無法捕獲其中發生的自然或人為干擾(Pearson et al. 2007)。因此，突發或偶發事件發生時，如強熱帶風暴、快速海平面上升或土地利用方式改變等，可以在原計畫的基礎上增大測定頻率。

第三章 農田

3.1 前言

農田包括可耕地和耕地、稻田以及農林結合體系(其植被結構低於林地類閾值，且預計以後也不會超過這些閾值)。農田包括所有的一年生和多年生作物農田及臨時休耕地(即再次耕種之前擱置一年或數年的土地)。一年生作物包括穀物、油料作物、蔬菜、塊根作物和飼料。多年生作物包括與草本作物混合生長的樹木和灌木(例如農林結合體系)或果園、葡萄園及種植園，如：可可、咖啡、茶葉、油椰、椰子、橡膠樹和香蕉，但符合林地歸類標準的土地除外。通常用於種植一年生作物，但作為一年生作物—牧草輪作(混合體系)的組成部分，臨時用於飼料作物或放牧可耕地，屬於農田類別。

永久農田中排放或儲存的碳數量，取決於作物類型、管理作法以及土壤和氣候變化。例如，每年都會收穫一年生作物(如穀物、蔬菜)，沒有長期的生物量碳存儲。但是，果園、葡萄園和農林結合體系中多年生木本植被能將大量的碳儲存在長壽的生物量中，其數量取決於物種類型和培育品種、密度、生長速率和收穫及修枝方法。土壤中的碳庫可能很大，而且庫的變化可能與土壤特性和管理作法有關，包括作物類型和輪作、犁耕、排水、殘餘物管理以及有機土壤改良。作物殘餘物的燃燒產生大量非CO₂溫室氣體。

土地利用由林地、草地和濕地轉化為農田，通常會導致生物量和土壤中碳的淨損失，以及N₂O的排放。然而，在先前植被稀疏或受到嚴重干擾的土地(例如採礦地)上營造的農田，會導致生物量和土壤碳的淨增加，特別是與土壤碳相關的一些變化，可能會發生在一年之後的時期。“土地利用轉化”僅指土地從一種利用類型變為另一種。如果現有的多年生作物農田再植相同或不同的作物，土地利用仍為農田，因此應當採用與仍為農田的農田相關的方法來估算碳庫的變化。

本章所指農地為至少20年期間未經過任何土地利用轉化的農田的溫室氣體清單。仍為農田的農田的年度溫室氣體的排放和儲存包括：估算所有碳匯和源的

年度碳庫變化及估算所有碳匯和源的非CO₂氣體年度排放。

3.2 生物量碳庫

3.2.1 方法選擇

碳可儲存在多年生木本植被農田的生物量中，包括但不限於下述單一栽培，如：咖啡、油椰、椰子、橡膠園、水果和堅果園以及多種栽培(如農林綜複合體系)。只估算了多年生木本作物的生物量變化。對於一年生作物，假設單一年份中生物量庫的增加等於當年收穫和死亡引起的生物量損失，這樣生物量碳庫無淨累積。農田生物量中的碳變化可以估算自：(a)年度生物量增加和損失率或者(b)兩個時點的碳庫。第一種辦法(增加-損失方法)提供了預設方法，並且經下文所述的方法改進後，也能用作方法2或方法3。第二種辦法(儲量差分法)適用於方法2或方法3，但不適用於方法1。較佳作法是根據給定的情況，透過採用可行的最高層級方法改進清單。如果仍為農田的農田的碳排放和儲存是一個關鍵類別，並且生物量的子類別被視為非常重要，較佳作法是各國採用方法2或方法3估算。

3.2.1.1 方法 1

預設方法是用生長引起的生物量淨累積的估值乘以多年生木本作物農田的面積，並減去與收穫或採集或干擾相關的損失。將農田面積(收穫多年生木本作物)與碳庫值相乘來估算損失。預設方法1假設為：清除的多年生木材生物量(例如，清除並改種另一種作物的生物量)中所有的碳在清除當年排放；而且多年生木本作物在相當於名義收穫/成熟週期的一段時間內累積碳。後一種假設意味著，多年生木本作物在有限期間內累積生物量，直至它們經收穫被清除或達到一種穩定狀態為止。在這種狀態下，生物量中沒有碳的淨累積，因為生長速率已經放慢，而且生長引起的增量被自然死亡、修枝或其它損失所抵消。

3.2.1.2 方法 2

使用方法2估算生物量中的變化，可以採用兩種方法。方法1(亦稱為增加-損

失方法)要求從報告年的生物量碳增量中減去生物量碳損失；方法2(亦稱為儲量差分法)要求對兩個時間點的特定土地利用面積進行生物量碳庫清查。相反，方法2估算一般確立按氣候區劃分的主要木本作物類別的估值。如果可能，採用國家特定碳累積率或庫損失，或兩個時間點的國家特定碳庫估值。按照方法2，估算多年生木本植被中地上部和地上部生物量的碳庫變化。方法2要求按主要農田類型和管理體系所列的生物量庫國家特定或區域特定估值，以及主要管理體系（例如，主要作物，生產管理）作用下庫變化的估值。較佳作法是各國應盡可能地使用國家特定或區域特定資料，以納入多年生作物或樹木生物量變化。

3.2.1.3 方法 3

方法3估算可採用高度拆解的方法2或涉及過程模式和/或詳細測量的國家特定方法。方法3涉及長期採用碳庫統計抽樣和/或過程模式的清查體系，按氣候、農田類型和管理制度進行分類。例如，納入了如收穫和施肥等管理效應的經過驗證的國家特定生長模型，以及與其相應的管理活動資料，可用來估算農田生物量碳庫隨時間的淨變化。

模型或許結合測量(如森林清查中的測量)，可用來估算庫變化乃至外推整個農田面積，如方法2中所示。選擇合適模式的關鍵標準為：它們能夠表現在活動資料中體現的所有管理作法。關鍵是在代表了國內氣候、土壤和農田管理體系的國家或特定區域現場位置進行獨立觀測，來驗證模式。

3.2.2 排放因數選擇

估算碳庫變化所需的排放和儲存因數包括(a)生物量年累積率或年生長率，及(b)受到清除(採伐)、燃木採集和干擾等活動影響的生物量損失因數。

3.2.2.1 地上部木材生物量的生長率

3.2.2.1.1 方法 1

《2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指導原則》中提供了主要氣候區域和農

業體系的生物量庫和生物量生長率及損失的估值。然而，鑒於作物體系（包括樹木或木本作物）中的重大變化，較佳作法是尋求地上部木材生物量生長率的國家資料。

3.2.2.1.2 方法 2

在更細分類的類別，木材生物量年生長率資料可以依據不同作物和農林結合體系的國家資料來源。估算年度木材生物量生長率的變化率應當反映特定管理/土地利用活動(例如施肥、收穫、疏伐)中的變化。應將實地研究的結果與其它來源的生物量生長估值作比較，以查核它們是在紀錄範圍內。在生物量累積率估算的推導中，重要的是認識到生物量生長率主要產生於管理改變後的最初20年，20年後生長率將趨於一個新的穩定狀態(很少或沒有發生變化)水準，除非管理條件發生進一步變化。

3.2.2.1.3 方法 3

需要高度拆解的生物量累積係數。這可能涉及物種的分類，納入管理效應(如收穫和施肥)的特定生長模式。地上部生物量的測量是必須的，這與定期測量地上部生物量累積的森林清單相似。

3.2.2.2 地下部生物量的累積

3.2.2.2.1 方法 1

假設農業體系中多年生樹木的地下部生物量沒有發生變化，目前無法獲得用於農業體系的地下部生物量的預設值。

3.2.2.2.2 方法 2

實際測量多年生木本植被地下部生物量資料。可獲得的地下部生物量的資料是有限的，應盡可能使用由經驗求出的特定區域或植被類型的根莖比例。

3.2.2.2.3 方法 3

如果採用儲量差分法，將包括使用實地研究(與森林清單相同)和建模研究資料。

3.2.2.3 清除、燃木和干擾產生的生物量損失

3.2.2.3.1 方法 1

假設所有生物量損失在同一年被排放。沒有農田來源產生的生物量清除、燃木收集和干擾損失的資料。糧農組織提供圓木和燃木消費總數據，但並沒有按來源(例如，農田、林地等)分類。全球關於燃木的統計資料極為缺乏而且並不確定。清除和燃木收集的統計資料可能包括來自農田的生物量(如，來自家庭庭院的燃木採伐)，因此必須確保不重複計算損失。如果不能獲得源自農田的圓木或燃木資料，預設辦法會包括林地中的損失，但不包括來自農田的損失。

3.2.2.3.2 方法 2 和方法 3

更精細尺度的國家級數據，依據不同來源(包括農業體系)的清單研究或生產和消費研究，可用來估算生物量損失。這些資料可以通過多種方法獲得，包括通過航空攝影(或者高解析度衛星圖像)和基於地面的測量林地來估算木本植被的密度(林冠覆蓋)。農田類型和條件的不同，使得物種組成、密度和地上部與地下部生物量的比例均有極大的不同，因而，最有效的是按農田類型對採樣和調查地塊進行分層。

3.2.3 活動資料選擇

活動資料指多年生木本作物蓄積量和收穫土地的土地面積估計值。資料應視作總農田面積的層以確保土地利用資料的一致性，並應根據採用的方法層及生長和損失因數的可獲性進行拆解。農田分類的樣例見表 3.1。

表 3.1 一國可能存在的多年生農田分類的樣例

廣義分類	具體分類
果園	芒果、柑桔、蘋果
種植園	橡膠、椰子、油椰、咖啡、可可
農林結合體系	灌木種植(條植)、改良的休耕地、多層體系、家庭庭園、邊界種植、防風林

3.2.3.1 方法 1

採用年度或定期調查來估算定植的以及收穫或清除的多年生木本作物年均面積。將面積估值進一步細分為一般氣候區或土壤類型，以匹配預設生物量增加和損失值。計算可使用國際統計資料，如糧農組織資料庫和其它來源的資料，來估算多年生木本作物的土地面積。

3.2.3.2 方法 2

使用了更詳細的年度或定期調查來估算不同類別的多年生木材生物量作物的土地面積。面積進一步分類為相關亞類，以使多年生木本作物類型和氣候區的所有主要組合都按各自的面積估值來表述。這些面積估值必須與用方法2得出的任何國家特定的生物量碳增量和損失值相匹配。如果只能獲得部分國家特定的較高解析度資料，鼓勵各國利用根據最佳可獲知識所做的可靠假定來推斷多年生木本作物的整體土地基礎。-

3.2.3.3 方法 3

需要拆解到精細格網程度的高解析度活動資料。與方法2相似，土地面積根據主要氣候和土壤類別以及其它具有潛在重要性的區域變數(例如，區域管理作法的模式)，分為多年生木本作物的各特定類型。較佳作法是結合使用空間明晰的面積估值與當地生物量增量估值、損失率和管理作法，以提高估值的準確性。

3.2.4 不確定性評估

3.2.4.1 方法 1

不確定性的來源包括：土地面積估值以及碳累積和損失率預設值的準確度。不同作物體系的面積估值不確定性可能較低(<10%)，因為大多數國家每年都會使用可靠方法估算農田面積。雖然預設值是從各項研究中求出，但與它們有關的不確定性範圍未包括在出版物中。因此，根據專家判斷，參數值的不確定性水準可默認為 $\pm 75\%$ 。

3.2.4.2 方法 2

方法2將降低總體不確定性，因為國家特定的排放和清除因數比率應能提供本國境內作物體系和氣候區碳增量和損失的更準確的估值。較佳作法是計算國家特定的碳增長率的誤差估值(即標準差、標準誤差或範圍)，並將這些變數用於基本的不確定性評估。較佳作法是各國評估國家特定係數的誤差範圍，並與碳累積係數預設值的誤差範圍作比較。如果國家特定比率有著等於或大於預設係數的誤差範圍，較佳作法是使用方法1，並根據更多的實地測量進一步精確國家特定比率。方法2也可利用更高解析度的活動資料，如本國境內不同氣候區或特定作物體系的面積估值。較高解析度的資料與那些更精細尺度的土地基礎界定的生物量碳增量因數的結合使用，可進一步降低不確定性水準(例如，求咖啡種植園的面積時用咖啡種植係數相乘，而不是通用的農林結合體系預設值)。

3.2.4.3 方法 3

方法3與方法1和方法2相比，能提供最大程度的確定性。較佳作法是計算所有本國界定的生物量增長和損失率的標準差、標準誤差或範圍，建立各國模式參數的概率密度函數，以用於蒙地卡羅模擬。對耕作系統而言，不確定性，特別是與面積估值相關的，可能較小或不存在。

3.3 死有機物質

兩種類型死有機物質庫：(1)死木及(2)枯枝落葉。死木是一個多變的碳庫，在實地測量和轉為枯枝落葉、土壤或排放到大氣層中的速率的相關不確定性測量方面有著許多實際困難。死木碳在景觀林分間變化很大。死木的量取決於最後干擾的時間、干擾時投入的量(死亡)、自然死亡率、衰減率以及管理。枯枝落葉累積可衡量枯枝落葉年度脫落量(包括所有的樹葉、細枝條及小樹枝、乾草、果實、花和樹皮)減去年分解率。枯枝落葉量還受最後干擾的時間和干擾類型的影響。木材和牧草的採伐、燃燒和放牧等管理極大地改變了枯枝落葉的性質，然而很少有研究能明確記錄管理對枯枝落葉碳所產生的效應。一般而言，農田含少量或不含死木、作物殘餘物或枯枝落葉(除了農林結合系統)，可算入農田或林地。

3.3.1 方法選擇

估算死有機物質碳庫的變化需要死木庫和枯枝落葉庫變化的估值。每個死有機物質庫(死木和枯枝落葉)應分別處理，但確定每個庫變化的估算是相同的。

3.3.1.1 方法 1

假設農田中不存在死木和枯枝落葉庫，或者它們處於平衡狀態(如在農田結合系統和果園中)。因此，不必估算這些碳庫變化。

3.3.1.2 方法 2 和方法 3

方法2和方法3可計算由管理作法引起的死木和枯枝落葉的碳變化。估算死有機物質中碳庫變化有兩種方法。方法(1)亦稱為增加-損失方法，涉及估算農田管理類別的面積，以及由死木及枯枝落葉庫轉入和轉出的年均轉移量。這需要仍為農田的農田下的面積估值：1)不同氣候或農田類型；2)管理制度，或其它明顯影響死木和枯枝落葉碳匯的因素；3)根據不同的農田類型。每公頃轉為死木和枯枝落葉庫的生物量，以及由死木和枯枝落葉庫轉為生物量的數量。方法(2)亦稱為儲量差分法，涉及估算農田的面積，以及兩個時間段(t_1 和 t_2)的死木和枯枝落葉

庫。用庫變化除以兩次測量之間的時期(年)，得到清查年死木和枯枝落葉庫的變化量。對於進行定期清查的國家，方法2是可行的。當國家存在國家特定排放因數和國家資料時，可採用方法3。

3.3.2 排放/吸收因數選擇

死木和枯枝落葉的碳比例是變化的，取決於分解的階段。木材的變化比枯枝落葉的小的多，可採用值為0.50噸碳/噸乾物質的碳比例。

3.3.2.1 方法 1

假設所有仍為農田的農田中，死有機物質碳庫都微不足道或未發生變化，因此不需要排放/吸收因數和活動資料。農田管理或干擾發生明顯變化(很可能影響死有機物質庫)的國家，鼓勵其使用方法2或方法3建立國內資料以量化這種影響。

3.3.2.2 方法 2

對於部分農田類別，如果不能獲得國家特定或區域值，較佳作法是結合預設值，採用不同農田類別中死有機物質的國家級資料。從被採伐的活體樹轉移到採伐殘餘物的碳的國家特定值，以及分解率(方法1的情況下)或死有機物質庫中的淨變化(方法2的情況下)，可以在國家特定資料中獲得，同時應考慮農田類型、生物量利用率、採伐作法和採伐活動中損壞的植被量。

3.3.2.3 方法 3

國家應建立自己的方法學和參數，以估算死有機物質的變化。國家級分解的死有機物質碳估值應該確定為國家農田清單，國家模式的組成部分，或者來自專項溫室氣體清單專案，遵循定期採樣資料。清單資料可以結合模式研究以捕捉所有農田碳匯的動態。

3.3.3 活動資料選擇

活動資料包括仍為農田的農田面積，按主要農田類型和管理作法進行概述。將這些資訊與國家土壤、氣候、植被和其它地理資料相聯繫，使其更易於評估死有機物質的變化。

3.3.4 不確定性評估

因為假設死有機物質庫是穩定的，所以方法1不需要進行不確定性的估算。對於方法2和方法3，應該獲得面積資料和不確定性的估值，並應該在當地評估碳累積和損失因數。

3.4 土壤碳庫

農田管理改良土壤碳庫的變化程度，取決於具體活動如何影響土壤體系的碳投入和產出。影響農田中土壤碳庫的主要管理作法分類為：殘餘物管理類型、耕作管理、肥料管理(礦肥和有機改良)、作物的選擇和耕作系統的強度(例如，連作與休耕時期的輪作)、灌溉管理以及輪作中作物和乾草或牧草的混合體系。此外，有機土壤的排水和種植可降低土壤碳庫。

為了計算仍為農田的農田的相關土壤碳庫變化，各國至少需要有清單期開始和結束時農田面積的估值。如果土地利用和管理活動資料有限，那麼總計資料，如糧農組織關於農田的統計資料，與土地管理體系大概分佈(例如，中等、低和高投入耕作系統等)的專家知識一起，可以用作起點。農田管理分類的分層必須根據氣候區和主要土壤類型，後者可根據預設或國家特定分類。其實現方法是將土地利用與適當的氣候和土壤圖吻合。

3.4.1 方法選擇

可採用方法1、2或3編制清單，每一連續層方法需要比前一層更多的詳細資

料和來源。各國將有可能採用不同的層級方法，準備對各土壤碳亞類的估算(即礦質土壤和有機土壤中土壤有機碳庫變化；以及與土壤無機碳匯相關的庫變化)。

3.4.1.1 礦質土壤

3.4.1.1.1 方法 1

估算方法基於影響土壤有機碳的管理發生變化後一個有限時期內土壤有機碳庫的變化。估算礦質土壤中土壤有機碳庫的變化，透過清查期開始年的碳庫減去清查時期最後一年的碳庫，並除以庫變化因數的時間。實際上，必須獲得關於土地利用和管理的國家特定資料，並且歸入各種適合的土地管理體系(例如，高、中等和低投入種植)，包括耕作管理，然後按IPCC氣候區和土壤類型進行分層。採用預設參考碳庫和預設庫變化因數來估算清查期開始和結束時的土壤有機碳庫。

3.4.1.1.2 方法 2

採用與方法1相同的公式，但是納入了國家特定資訊，以更好的表述庫變化因數、參考碳庫、氣候區、土壤類型和/土地管理分類體系。

3.4.1.1.3 方法 3

採用動態模式和/或詳細的土壤碳清查測量作為估算年度庫變化的基礎。採用估算土壤碳淨變化的耦合公式計算模式的估值。選擇合適模式的關鍵標準是：模式能夠表述相關的所有農田管理作法/體系；模式投入(即驅動變數)與全國範圍投入資料的可獲得性相匹配；並可按試驗資料進行驗證。亦可能採用基於測量的方式建立方法3，在此方式中對監測網定期採樣以估算有機土壤碳庫的變化。將可能需要比所用模式更高密度的基準場點，以適當代表土地利用和管理體系、氣候和土壤類型的組合。

3.4.1.2 有機土壤

3.4.1.2.1 方法 1

基本方法是按氣候區對有機耕作土壤進行分層，並設定特定氣候區的年碳損失率。將排放因數乘以土地面積，然後相加，以估算年度碳排放。

3.4.1.2.2 方法 2

使用與方法1相同的基本方程式，但納入了國家特定資訊，以更好地表述特定排放因數、氣候區和/ 或管理分類體系。

3.4.1.2.3 方法 3

採用動態模式和/或測量網路。

3.4.2 碳庫變化和排放因數選擇

3.4.2.1 礦質土壤

3.4.2.1.1 方法 1

假設庫變化的時間段為20年，並且管理作法影響至30公分深度的庫，這亦是一般土壤碳庫的深度。

3.4.2.1.2 方法 2

需要估算國家特定庫變化因數。若基於經驗分析，更加細分的類別中庫變化因數有著明顯的差別，較佳作法是求出管理、氣候和土壤類型的更高解析度分類值。

3.4.1.2.3 方法 3

恆定庫變化率因數本身的估算不太可能優於多變速率，多變速率能更準確地捕捉土地利用和管理效應。

3.4.2.2 有機土壤

3.4.2.2.1 方法 1

《2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指導原則》提供了有機耕作土壤的預設排放因數。淺排水將導致與森林管理更為相似的排放，而多年生樹木系統的深度排水將產生與一年生耕作系統更為相似的排放。

3.4.2.2.2 方法 2

排放因數從方法2的國家特定實驗資料中求出。較佳作法是求出用於有機土壤和/或更細氣候區分類上特定農田土地管理類別的排放因數。

3.4.2.2.3 方法 3

恆定庫變化率因數本身的估算不太可能優於多變速率，多變速率能更準確的捕捉土地利用和管理效應。

3.4.3 活動資料選擇

3.4.3.1 礦質土壤

3.4.3.1.1 方法 1

圖3.1提供了農田分類系統，清單編制者應該採用這種分類，以與變化因數一致的方式劃分管理系統。方法2和方法3可能進一步進行這種分類。一般說來，增加碳儲量的作法是高投入，如灌溉、礦肥施用、有機改良、種植覆蓋作物以及種植產生大量殘餘物的作物等。減少碳儲量的作法是低投入，如殘餘物燃燒/清除、休耕地以及種植多種低殘餘物的作物等。這些作法用來劃分管理系統，然後估算土壤有機碳庫的變化。不考慮用於小於三分之一輪作的作法。稻子生產、多年生農田和閒置土地(即從生產中清除的土地)，被視為獨特的管理系統。

根據耕作管理，進一步劃分每種一年生耕作系統(低投入、中等投入、高投入，以及高投入之有機改良)。耕作方法分為不耕作(不經初耕直接播種並且在播種帶只有最低限度干擾土壤；典型情況下使用殺蟲劑控制雜草)，減少耕種(初次和/或二次耕地，但是減少對土壤的干擾，通常是淺翻或不全翻；通常種植時地表殘餘物覆蓋率>30%)和充分耕作(對土壤進行充分耕作等大量的干擾和/或年內進行頻繁耕地，在種植時，地表覆蓋的殘餘物<30%)。較佳作法是如果持續使用，僅考慮減少耕種和不耕作，因為在減少或不耕狀態下即使偶爾進行充分耕作都將明顯降低預期土壤有機碳儲量。評估輪作耕作系統(即混合減少耕作，不耕作和/或充分耕作方法)對土壤碳庫的影響會需要運用方法2。

土地利用活動資料的主要類型為：(1)總計統計資料(方法1)；(2)含土地利用轉化明晰資訊但不含具體地理參照的資料(方法2)或(3)含土地利用轉化和地理參照明晰資訊的資料(方法3)。管理活動資料對土地利用資料進行補充，提供了管理系統分類(如作物類型和輪作、耕作方法、灌溉、糞肥施用、殘餘物管理等)的資訊。這些資料還可以是總計統計資料(方法1)或關於明晰管理變化的資訊(方法2或3)。較佳作法是確定與耕作系統(例如輪作和耕作方法)相關的土地面積的具體管理作法，而不是僅按作物列示面積。遙感資料是土地利用和管理活動資料的一個關鍵來源，而專家知識可能是耕作方法資訊的另一個來源。

根據在相同地點重複調查的國家土地利用和資源清單，由採用方法2或3所收集的活動資料組成，並且與總計的土地利用和農田管理資料(方法1)相比具有優勢。時間序列資料可以更易與特定耕作系統相關聯(即結合一系列年份的作物類型和管理)，而土壤類型的確定可通過抽樣或通過在合適的土壤圖上查找該位置。根據適當的統計設計選定的清查點還能夠估算與活動資料相關的變率，這可作為正式不確定性分析的組成部分。

活動資料需要各國國內的補充資訊，以便按氣候和土壤類型對面積進行分層。如果此類資訊還未彙編，初步的辦法是用本國或全球來源的土壤和氣候圖吻合現有的土地覆蓋/土地利用圖，如糧農組織《世界土壤圖》和來自聯合國環

境規劃署的氣候資料。土壤分類基於土壤分類學說明和質地資料，而氣候區基於年均溫度和降水量、海拔高度、霜凍發生量和可能蒸發量。

3.4.3.1.2 方法 2

如果能夠獲得足夠的資料，方法2可能涉及比方法1更細的管理系統的分層。這可能涉及進一步細分一年生作物投入類別（即低、中、高和用添加劑的高投入）、稻子栽培、多年生耕作系統和閒置地。較佳作法是基於經驗資料將預設類別進一步細分，這些資料能顯示所提及類別的土壤有機碳儲量間的重要差別。此外，方法2可能涉及氣候區和土壤類型更細的分層。

3.4.3.1.3 方法 3

為了在方法3中應用動態模式和/或直接基於測量的清單，相對於方法1和方法2，需要總合氣候、土壤、地形和管理資料的相似或更詳細的資料，但是確切的要求取決於模式或測量設計。

3.4.3.2 有機土壤

3.4.3.2.1 方法 1

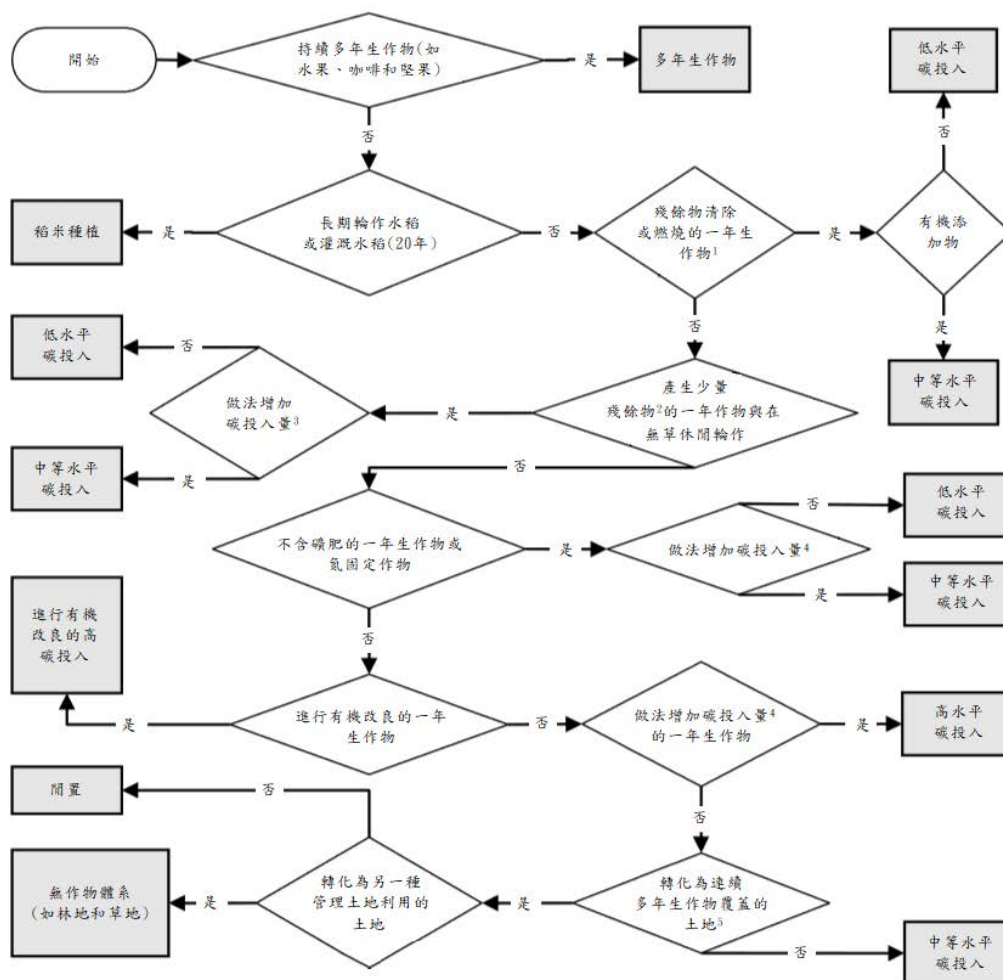
與礦質土壤應用方法相反，有機土壤的農田不分為各種管理系統基於以下假設：與所有農田管理類型相關的排水，可刺激之前在基本缺氧環境下聚集的有機質的氧化，但必須將農田按照氣候區和土壤類型進行分層。關於在方法1的討論下所列示的用於礦質土壤的相似資料庫和方法可以用於求出面積估值。可以透過將氣候和土壤地圖吻合土地利用地圖，來確定農田有機土壤的土地面積。與土地利用調查相結合的排水專案的特定資料，可用來獲得更加精確的相關面積估值。

3.4.3.2.2 方法 2

如果可以獲得充足的資料，方法2可能涉及管理系統的分層，可能涉及按排水類別、作物類型或耕作干擾，細分一年生耕作系統。方法2可以對氣候區進行更細的分層。

3.4.3.2.3 方法 3

相對於方法 1 和方法 2，用於有機土壤的方法 3 可能包括關於氣候、土壤、地形和管理資料更詳細的資料，但是確切要求將取決於模式或測量設計。



註：

1. 一般不包括田間放牧的殘餘物。

2. 例如，棉花、蔬菜和煙草。

3. 增加碳投入量使其超過低殘留量品種一般產生的量，其方法有添加有機物、種植保護作物/綠肥和作物/牧草混作系統。

4. 通過加強殘餘物生產提高碳投入的方法，如灌溉、種植保護作物、綠肥、植被性休耕、種植產生大量殘餘物的作物和混合作物體系。

5. 多年生作物覆蓋不常收穫。

註：僅考慮用於至少三分之一輪作種植序列的做法，如灌溉、剩餘物燃燒/清除、使用磷肥、種植固氮植物、添加有機物種植保護作物/綠肥、種植低殘餘物作物或休耕。

圖 3.1 農田系統分類方案。

為了將農田管理系統分類，清單編制者應該從頂端開始並順著流程圖回答問題(如果答案為肯定的，越過分之)，直到達到流程圖的末端。按耕作方法進一步細分碳投入類別(即低、中等、高和用有機添加物的高投入)。

3.4.4 不確定性評估

土壤碳清單中存在三大類不確定性來源：(1)土地利用及管理活動和環境資料中的不確定性；(2)如果採用方法1或方法2時參考土壤碳庫中的不確定性；(3)

有關方法1或方法2庫變化/排放因數中的不確定性，方法3基於模式方式的模式結構/參數誤差，或者與方法3基於測量清單相關的測量誤差/抽樣變率。一般說來，清單的精確度隨著三大類別估算值抽樣數的增加而提高(得到較小的信賴區間)，然而減少偏差(即提高準確性)。

清單編制者需要處理土地利用和管理資料中的不確定性，然後使用適合的方法(如簡單誤差傳播公式)與預設因數和參考碳庫(僅礦質土壤)的不確定性合併。如果對於活動資料採用土地利用面積的總計統計資料(例如，糧農組織資料)，清查機構可能不得不採用土地面積估值的不確定性預設級別($\pm 50\%$)。對於清單編制者來說，較佳作法是用國家特定活動資料取代預設水準求出不確定性。

當應用到特定國家時，礦質土壤的預設參考碳庫和庫變化因數以及有機土壤的排放因數可存在內在的高不確定性，特別是偏差。預設值表示土地利用和管理影響或參考碳庫全球平均值，可能與區域特定值不同。採用方法2求出國家特定因數或建立方法3國家特定估算系統，可以減少偏差。高層級方法的基本依據將是在國家或附近區域進行實驗，研究土地利用和土壤碳管理的效應。較佳作法是透過計算國內土地利用和管理影響中的明顯差別(如氣候區和/或土壤類型中的變異)，以降低因數估值的準確性為代價，進一步最小化偏差。對於報告庫變化來說，偏差被認為更加困難，因為在不確定性範圍中不一定捕捉了偏差(即如果因數中存在明顯偏差，那麼真實庫變化可能在報告的不確定性範圍之外)。

更完備的國家體系可以減少土地利用活動統計中的不確定性，如建立或擴展採用附加採樣地的地表調查，和/或納入覆蓋更廣的遙感。較佳作法是設計可用充足的樣本捕捉多數土地利用和管理活動的分類，以最小化國家不確定性。

對於方法2，國家特定資訊被納入清單分析，以減少偏差。例如，採用國家特定資料及特定因數的概率分佈函數，以及關於農業土壤的活動資料和參考碳庫。較佳作法是評價因數、參考碳庫或土地利用及管理活動資料間的依賴性。

尤其是土地利用和管理活動資料中一般有很強的依賴性，因為管理作法在時間和空間上趨於相關。總合庫變化/排放因數、參考碳庫和活動資料中的不確定性，可以採用諸如簡單誤差傳播公式或蒙地卡羅程式等方法，以估算土壤碳庫變化的平均和標準差。

方法3更為複雜，簡單誤差傳播公式可能無法有效量化與產生的估值相關的不確定性。蒙地卡羅分析可能可行，但是如果模式參數過多(部分模式可能含數百個參數)，此種分析可能很難執行，因為必須創建量化方差和參數間協方差的聯合概率分佈函數。還有其它方法，如基於經驗的方法等，這些方法採來自監測網路的測量結果，以統計學角度評價測量結果和模式結果間的關聯。與建模方式所相反，基於測量的方法3清單中不確定性的確定可以參照抽樣方差、測量誤差和其它相關源的不確定性。

3.5 源自生物量燃燒的非CO₂溫室氣體排放

來自仍為農田的農田中的非CO₂排放(特別是CH₄、CO、NO_x和N₂O)，通常與農業殘餘物的燃燒相關，後者隨國家、作物和管理系統而變化。不必報告來自生物量燃燒的CO₂排放，因為假設燃燒過程中釋放的碳會在下一個生長季節被植被再吸收。農業殘餘物就地燒除的百分比(可燃燒的燃料品質)的估算，應該考慮燃燒前動物消耗造成的殘餘物清除比例、田間衰減比例以及其它再部門使用比例(例如，生物燃料、家畜飼料、建築材料等)。這對消除重複計算的可能性來說很重要。估算應基於年度資料。

3.5.1 方法選擇

在方法1下，活動資料通常被高度拆解，燃燒和排放因數是之前提供的預設值。在方法2下，按氣候區所分的主要作物類型的估值建立，一般採用國家特定殘餘物累積率和國家特定燃燒及排放因數估值。方法3是包含過程建模和/或詳細測量的國家特定方法。所有國家都應努力改進清查和報告辦法，根據本國情

況，盡可能採用高層級方法。如果仍為農田的農田的燃燒是關鍵類別，各國應該採用方法2或方法3。

3.5.2 排放因數選擇

3.5.2.1 方法 1

採用方法1的各國應該用《2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指導原則》提供的預設排放因數。

3.5.2.2 方法 2

此方法是方法1的擴展，包括使用國家特定的可用燃料、燃燒和排放因數。各國可以根據作物生產統計資料以及作物產量和所產生殘餘物的比例，估算可用燃料的量。需要進行實地研究，以估算從田間清除的作物殘餘物(作為燃料或草料)比例和留下的不同耕作系統燃燒的殘餘物比例。各國應該側重於將要燃燒的最重要作物或每公頃生物量和每單位土地排放水準相對高的系統(例如，甘蔗、棉花)。

3.5.2.3 方法 3

此方法使用基於國家特定參數的模式，採用國家清單資料，以確保沒有忽略作物殘餘物的燃燒。方法3取決於在不同氣候區和管理系統下，現場測量的不同耕作系統就地燒除的殘餘物量。各國應該優先建立國家特定燃燒和排放因數，以將被燃燒的最重要作物殘餘物作為重點。

3.5.3 活動資料選擇

3.5.3.1 方法 1

活動資料包括農業殘餘物一般會被燒除的作物類型的土地面積估值。諮詢國家農業政府部門則可以獲得，例如，缺乏衛星圖像的客觀資料。各國還可以估算種植一年生作物生產的作物面積，以及每公頃平均產量的估值。如果不能

獲得國家估值，可以採用糧農組織統計資料。較佳作法是利用國家來源交叉檢驗糧農組織資料。

3.5.3.2 方法 2

各國應該採用按特定國家和作物管理系統特定的殘餘物累積率進一步拆解的面積估值(例如，按氣候區分的主要作物類型)。其完成可以採用更詳細的年度或定期調查估算不同作物類別土地面積。應該將面積進一步分為相關亞類，以使表述的作物類型和氣候區的所有主要組合，都有各自的面積估值。

3.5.3.3 方法 3

需要在國家以下一級拆解到精細格網尺度的高解析度活動資料。與方法2類似，按主要氣候及土壤類別和其它模式中將使用的具有潛在重要性的區域變數(例如區域管理作法的模式)，將土地面積分為特定作物類型。各國應該努力獲得空間明晰面積估值，以便完成農田的覆蓋並確保面積沒有被高估或低估。此外，空間明晰面積估值可以與當地相關排放率和管理影響相聯繫，以改進估值的精確度。用於不同耕作系統的面積資料應該與前些節(生物量、死有機物質)中所用的面積相一致，但是殘餘物可能只在總面積的某部分燒除。

3.5.4 不確定性評估

通常會燒除殘餘物的每種作物類型的種植面積估值，可能有較高的不確定性。全球作物生產的統計資料，可能是間接估算種植面積的一種方法，如果不能基於每年更新此統計資料，可能會產生極大的不確定性。田間燃燒農業殘餘物比例的變數可能存在最大不確定性。如基於國家特定參數，方法 2 估值會更為精確。較佳作法是提供國家特定燃燒和排放因數以及燒除面積的誤差估值(即標準差、標準誤差、範圍)。

3.6 完整性、時間序列、品質保證/品質控制和報告

3.6.1 完整性

3.6.1.1 方法 1

完整的農田清單包括三個要素：(1)已經估算了清查期內所有轉化為農田的土地以及仍為農田的農田上生物量燃燒引起的碳庫變化和非 CO_2 (CH_4 、 CO 、 N_2O 、 NO_x) 排放；(2)清單分析考慮了方法1中所描述的所有管理作法的影響；(3)分析說明了影響排放和清除的氣候和土壤變數。

後兩種要素要求將管理系統分配到農田面積中，並按氣候區和土壤類型分層。較佳作法是除了對生物量燃燒，還要區分生物量和土壤庫。這可確保一致性和透明性，並允許有效利用土地調查和其它資料收集工具，可明確聯繫生物量和土壤庫中 CO_2 清除，以及生物量燃燒產生的非 CO_2 排放。

估算生物量和土壤碳庫，農田清單應當考慮土地利用變化(轉化為農田的土地)和管理的影響。然而，在部分情況下活動資料或專家知識可能不足以估算農林結合、作物輪作作法、耕作方法、灌溉、糞肥施用、殘餘物管理等產生的影響。在這些情況下，各國可進行僅涉及土地利用的清查，但是結果會不完整，因此在報告檔中必須明確標明遺漏的管理作法以保持透明性。如果有遺漏，較佳作法是為未來清單收集附加活動資料，特別是生物量或土壤碳為關鍵源類別時。對於溫室氣體排放和儲存可忽略不計，或長期不變的某些農田面積可以不計算碳庫變化，例如沒有管理或土地利用變化的非木本作物農田。在這種情況下，較佳作法是各國歸檔並解釋遺漏原因。

對於生物量燃燒，應估算所有主要作物殘餘物類別的非 CO_2 溫室氣體，注意計算因能源生產等其它目產生的田間殘餘物的清除量，以及收穫與燃燒活動期間因放牧和分解引起的殘餘物的損失量。當林地轉化為農田時，應包括死有機物質燃燒和清除的樹木生物量產生的排放。

3.6.1.2 方法 2

完整的方法2清單與方法1有著相似的要素，但是納入了國家特定資料，如估算碳庫變化因數、參考土壤碳庫、殘餘物估值(燃料載量)、生物量燃燒的燃燒和排放因數，並進行氣候說明和土壤分類以及改善管理系統分類。此外，對於方法2清單，較佳作法是納入每一分組的國家特定資料。

3.6.1.3 方法 3

除了方法1和方法2的考慮，方法3清單的完整性還取決於國家特定評估系統的區分。實際上，方法3清單能充分說明來自農田的排放和清除，使用了關於氣候、土壤、生物量燃燒和管理系統的更多精細分析資料。對於清單編制者，較佳作法是描述國家特定系統的要素並記錄成文，說明方法和資料來源的完整性。一旦明確了漏缺，較佳作法是收集額外資料並進一步建立國家特定系統。

3.6.2 建立一致的時間序列

3.6.2.1 方法 1

對於評估排放或清除趨勢，一致的時間序列不可或缺。為了保持一致性，編制者應在整個清查期應用相同的分類和因數，包括氣候、土壤類型、管理系統分類，碳庫變化因數、參考土壤碳庫、殘餘物估值(可燃物載量)、燃燒因數和非CO₂排放因數。土地基礎也應長期保持一致，除了轉化為農田的土地或轉化為其它土地利用的農田。整個清單中，國家應採用一致來源的土地利用、管理和生物量燃燒的活動資料。如果使用採樣方法，應在清查期間堅持使用，以確保方法一致。如果創建了亞類，各國應對如何定義它們保持明晰記錄，並在清單中一致應用這些亞類。

在一些情況下，隨著新資訊的獲得，長期內活動資料來源、定義或方法可能發生變化。清單編制者應確定資料或方法的變化對趨勢的影響，如果影響被視為重大，應該再次計算整個時間序列的排放和清除量。

對於碳庫變化，產生一致時間序列的一個重要要素是確保在先前各報告期轉化為農田的土地下報告的碳庫與所報告的當前報告期仍為農田的土地庫狀況間的一致性。例如，如果在先前報告期從林地轉化為農田的土地上，50噸地上部活生物量轉化為死有機物質庫，本階段的報告必須假設這些土地的死有機物質的開始碳庫為50噸。

3.6.2.2 方法 2

較佳作法是在整個清單中應用新值或從國家特定資訊中得出分類，並重新計算時間序列。否則，碳庫或生物量燃燒為正趨勢或負趨勢，可能部分起因於時間序列中某時間點的清單方法改變，但不代表真實的趨勢。另一方面可能無法獲得整個時間序列的新的國家特定資訊。在這些情況下，較佳作法是證明因活動水準變化與國家特定資料或方法的更新所產生的影響。

3.6.2.3 方法 3

與方法 1 和方法 2 相似，較佳作法是在整個時間序列中應用國家特定估算系統。在整個清查期中，清查機構應使用相同的測量程式(採樣策略、方法等)和/或模式系統。

3.6.3 品質保證和品質控制

3.6.3.1 方法 1

較佳作法是對農田清單資料實施品質保證/品質控制的內部和外部審查。內部評審應由負責清查的機構進行，而外部評審由未直接涉足清單編制的其它機構、專家和組織進行。內部評審應著重於清單實施過程以確保(1)已經將活動資料按氣候區和土壤類型進行了合適的分層；(2)管理分類/說明已經適當應用；(3)已經將活動資料適當地轉錄至工作表或清單計算軟體中；(4)已經適當地分配了庫變化因數、參考土壤碳庫、殘餘物估值(燃料載量)以及生物量燃燒和排放因

數。品質保證/品質控制方法可能包括直觀檢查以及嵌入程式的功能，以核查資料登錄和結果。總合統計資料也可能有用，如將工作表中的層面積相加，以確定它們是否與土地利用統計資料保持一致。總面積應該在清查期內保持不變，並且層面積應僅隨土地利用或管理分類而變化(氣候和土壤面積應保持不變)。外部評審需要考慮清單方法的可靠性、清單檔的徹底性、方法的說明和整體的透明性。重要的是評估農田總面積是否真實，並且評審者應交叉檢驗不同土地利用類別(即林地、農田、草地等)的面積估值，以確保清查期內一整個土地基礎的總和每年都相等。

3.6.3.2 方法 2

除了方法1的品質保證/品質控制方法，清查機構還應該審查國家特定氣候區、土壤類型、管理系統分類、碳庫變化因數、參考碳庫、殘餘物估值(可燃物載量)、燃燒因數和/或生物量燃燒的非CO₂排放因數。如果採用基於直接測量的因數，清查機構應審查測量結果以確保它們代表環境和土壤管理條件的實際範圍，而且是按照公認的標準制定的。如果可行，較佳作法是將國家特定因數與情況可比的其它國家所用的方法2庫變化和排放因數以及IPCC預設值相比較。

鑒於排放和清查趨勢的複雜性，外部審查應吸納行業專家，以評鑑剩餘可燃物載量估值、庫變化因數、燃燒和排放因數以及國家特定氣候區、土壤類型和/或管理系統詳情。

3.6.3.3 方法 3

國家特定清單系統可能需要額外的品質保證/品質控制方法，但這取決於所建立的系統。較佳作法是建立特定國家高級清單系統的具體品質保證/品質控制程式，將報告存檔，包括報告檔中的總合結果。

3.6.4 報告及歸檔

3.6.4.1 方法 1

較佳作法是將生成國家清單估值所需的所有資訊記錄和歸檔。清單編制者應將農田活動資料趨勢和不確定性編制成文。關鍵活動包括土地利用變化、礦肥的使用、農林結合作法、有機添加物、耕作管理、輪作、殘餘物管理（包括燃燒）、灌溉方法、混作系統的範圍、水稻系統中的水管理，以及土地利用變化。較佳作法是將下述真實資料庫存檔，諸如農業普查資料和資料的處理常式；分類所用的定義或總計活動資料；將活動資料按氣候區和土壤類型進行分層的程式(用於方法1和方法2)。應當將為產生結果所製作的輸入/輸入檔與工作表或清單軟體一起存檔。

當活動資料不能直接從資料庫中獲得或多種組合資料集總合時，應說明求取活動資料所用的資訊、假設和過程。此歸檔應包括資料收集和估算的頻率以及不確定性。使用的專家知識應編寫成文並相應存檔。較佳作法是歸檔並解釋生物量和土壤碳庫的趨勢，以及土地利用和管理活動中的生物量燃燒。生物量庫的變化應與土地利用或農林結合作法的變化直接聯繫，而土壤碳庫的趨勢可能起因於土地利用或關鍵管理活動的轉變。殘餘物的生物量燃燒排放取決於用於整地(為種植)的燃燒的範圍。應解釋各年間排放的重大波動。各國需要包括下列文檔：清單完整性，與時間序列一致性或其漏缺相關的事項，以及品質保證/品質控制方式和結果。

3.6.4.2 方法 2

清單編制者應該成文並歸檔國家特定碳庫變化因數、參考土壤碳庫、殘餘物估值(可燃物載量)、生物量燃燒的燃燒和排放因數、管理系統分類、氣候區和/或土壤類型的基本依據。較佳作法是將估算國家特定值所用資訊的中繼資料和資料來源存檔。報告檔應包括國家特定因數(即平均值和不確定性)。較佳作法是在清單報告中包括關於國家特定因數和方法1預設值，以及來自類似國情區域的

報告國家的方法2因數之間差別的討論。如果不同的年份使用不同的排放因數、參數和方法，應解釋這樣做的理由並成文歸檔。清查機構應說明國家特定的管理分類、氣候和/或土壤類型，因此建議應紀錄歸檔基於新分類的改進清單方法，例如，耕作管理辦法可被細分為方法1類別(即減少、免耕和充分耕作)外的額外類別，但是如果新類別間的庫變化或排放因數有著極大的差異，進一步的細分僅可改善清單估值。討論排放和清除趨勢時，應年年區分活動水準變化與方法變化，並將這些變化的原因成文歸檔。

3.6.4.3 方法 3

與較低層級方法類似，方法3清單也需要關於活動資料和排放/清除趨勢的類似檔，但應包括額外檔以解釋國家特定估算系統的基本依據和框架。對於基於測量的清單，較佳作法是將抽樣設計、實驗程式和資料分析技術成文歸檔。應將測量資料與資料分析結果一起存檔。對於採用模式的方法3，較佳作法是將模式版本記錄歸檔並提供模式說明，以及建立所有模式輸入檔、源編碼和執行程式的永久檔案附件。

3.7 稻田 CH₄ 排放

水灌稻田中土壤有機質厭氧分解產生甲烷(CH₄)，並主要透過水稻作物的傳輸作用釋放到大氣中。特定面積的稻田CH₄年排放量，可衡量水稻生長期和種植季數、種植前和種植期間水分狀況以及有機無機土壤的改良。土壤類型、溫度和稻米種植品種也影響CH₄的排放。

3.7.1 方法選擇

將日排放因數乘以稻子種植期和年收穫面積，估算 CH₄ 的排放量。以其最簡單的形式，使用國家活動資料(即，國家平均稻子種植期和收穫面積)和統一的排放因數，實施此公式。然而，在一個國家內，稻子生產的自然條件和農業管

理可能會有很大變化。較佳作法是透過將國家總收穫面積分為數個子單位(例如，不同水分狀況的收穫面積)，解釋這種變異性。將每個子單位的收穫面積乘以各自的種植期以及定義該子單位所代表狀況的排放因數。此拆解方法中，年排放總量等於各收穫面積子單位排放量之和。

應考慮不同的條件，包括水稻生態系統、種植期前和種植期間的灌水方式，以及有機添加物的類型和數量。如果可以獲得與這些條件與CH₄排放間關係的有關國家特定資訊，分類可以考慮土壤類型和水稻品種等其它條件。如果國家水稻生產將不同生產系統(例如灌水方式)細分為多種氣候區，應分別各在地區應用。如果可使用水稻統計資料或專家判斷區分管理作法、行政單位(行政區或省)或其它要素，則採用同樣的方式。如果在特定年收穫不止一季作物，應估算每一種植季節的排放量，同時考慮栽培作法間的可能差別(例如有機添加劑的使用、種植期前和種植期的灌水方式)。圖3.2的決策樹通過應用IPCC較佳作法是方法的過程指導清單機構工作。該決策樹顯示實施IPCC方法是按層級拆解結構。在此層級中，被清單機構利用的拆解水準將取決於活動和排放因數資料的可獲取性，以及水稻促成國家溫室氣體排放的重要性。

3.7.1.1 方法 1

適用於稻子種植產生的 CH₄ 排放並非關鍵源類別的國家，或國家特定排放因數不存在的國家。水稻年收穫面積的分類至少需要三種基準水分狀況，包括灌溉、雨量和高地。鼓勵納入盡可能多的影響 CH₄ 排放的條件，將基準預設排放因數(稻子種植前 180 天內沒有進行李前灌水的田地以及無有機添加物的連續水灌田)乘以多種換算係數，調整每一子單位的排放量，分別計算每一水分狀況和有機添加物。

3.7.1.2 方法 2

方法2採用與方法1相同的方法學，但是應使用國家特定排放因數和/或換算

係數。這些國家特定因數需要反映影響CH₄排放的當地條件影響，最好通過收集實地資料確定。

3.7.1.3 方法 3

方法 3 包括適合處理稻子種植國家情況的模式和監測網路，採用高解析度活動資料並在次國家水準拆解，可長期重複使用。可以為經驗模式或機制模式，但是兩種情況都必須經國家或特定區域研究的獨立觀測(覆蓋一定範圍的稻子種植特性)進行驗證。因此，關於資料、假設、公式和模式的有效性和完整性的適當記錄檔是重要的。方法 3 還應考慮颱風損害、乾旱壓力等引起的年度間的變化。在理想情況下，評估應建立在最新衛星資料的基礎上。

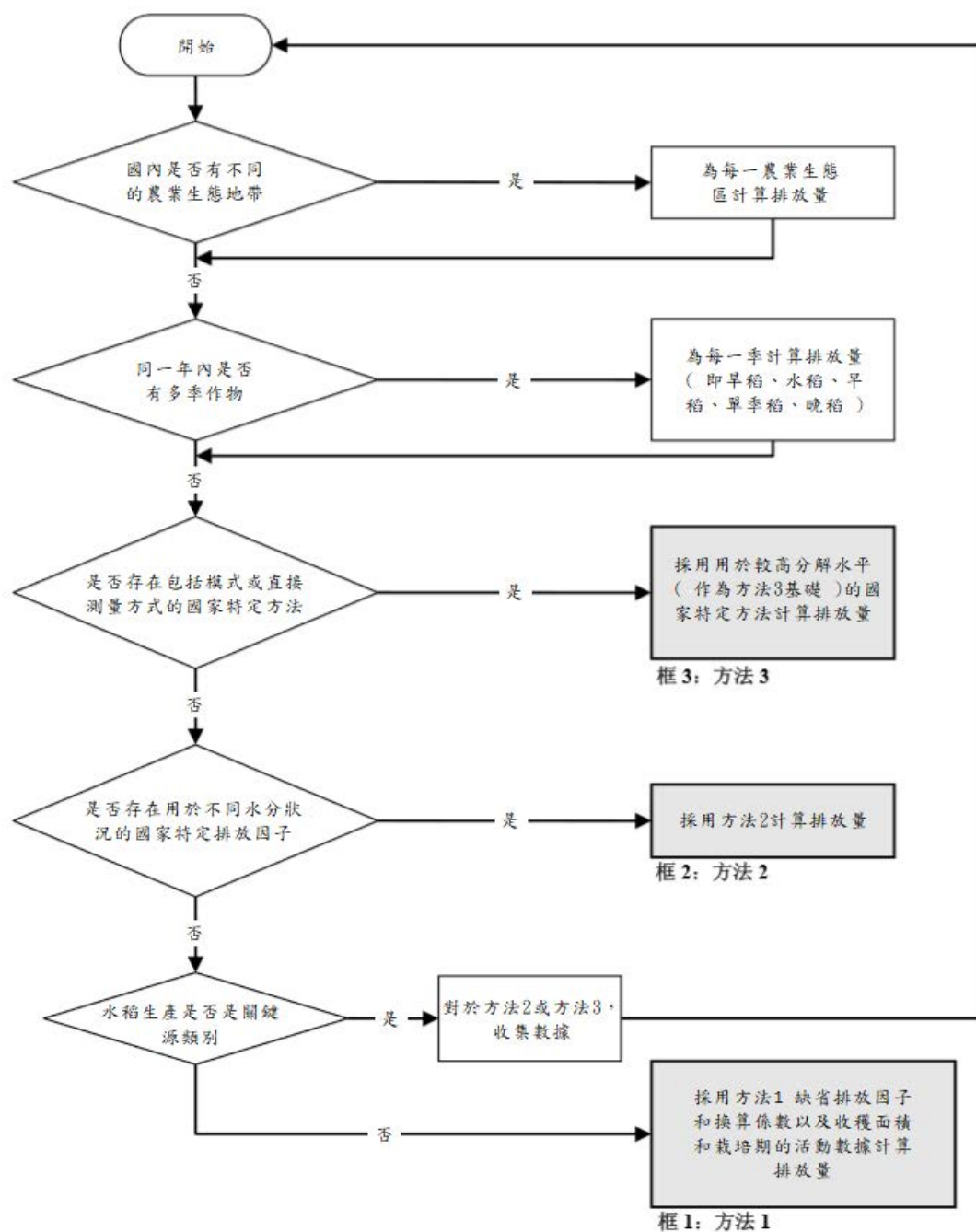


圖 3.2 水稻生產中 CH₄ 排放的決策樹

3.7.2 排放因數和換算係數的選擇

3.7.2.1 方法 1

稻子種植前180天內未灌水的田地以及種植期內無有機添加物的連續水灌田的基準排放因數，作為起點。不含有機添加物的持續性灌水稻田的基準排放因數(EFc)的IPCC預設值為1.30kg CH₄/公頃/日(誤差範圍為0.80-2.20)，透過可獲得的

現場測量資料統計分析進行估算收穫面積的特定子單位的調整後日排放因數(EFI)。最重要的換算係數(即，種植期和種植期前的水分狀況和有機添加物)的預設值，分別列示在《2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指導原則》中。僅在國家特定換算係數基於深入研究和歸檔的測量資料時，才可使用它們。如果可以獲得關於土壤類型、水稻品種和其它因素的資料，可以考慮採用這些資料。

在分類的情況下，灌水方式可以分為下列三種亞類。較佳作法是收集分類程度較高的活動資料，並且只要可能，就要考慮不同情況。稻子種植前的三種不同水分狀況：

1. 季前180天內不進行灌水，通常發生在雙季水稻作物的情況下；
2. 季前超過180天不進行灌水，例如乾旱休耕期後單一稻子種植；
3. 季前進行灌水，其中最小灌水間隔設為30天；即較短的灌水期(通常為耕作而進行的整地)不包括在此類別中。

當不能獲得季前水分狀況的活動資料時，採用總體情況因數。較佳作法是收集分類程度較高的活動資料。如果可獲得國家特定資料，可採用額外的水分狀況換算係數。較佳作法是結合採用的有機添加物（堆肥、農家肥料、綠肥和稻子秸稈）類型和數量的資訊，來確定換算係數。對同品質的物質，含有易於分解的碳量越高，CH₄排放也較多，並且每種有機質應用得越多排放也會相應增加。稻子秸稈通常在收穫後還原到土壤中。在稻田秸稈還田後處於長期休耕狀態的情況下，在隨後的水稻生長季節中的 CH₄ 排放將少於在插秧前不久將稻子秸稈還田情況下的 CH₄ 排放。在一些國家，可獲得不同土壤類型和水稻品種的排放資料。經驗模式和機制模式都證實了這些因素的重要性，然而可獲資料間極大的變化使之不能合理確定季節性預設值。

3.7.2.2 方法 2

清查機構可使用來自涵蓋各自國家稻子種植條件的現場測量的國家特定排放因數。較佳作法是基於存在的現場測量編制國家特定資料庫，可透過未納入

排放因數的其它測量項目對排放因數資料庫進行補充。然而，這些現場測量需要遵守一定標準的品質保證/品質控制要求。

在方法2中，清查機構可根據各自國家的普遍條件確定基準管理，並確定這個基準的國家特定排放因數。然後，除了基準係數，清查機構還可以確定管理作法的國家特定換算係數。在無法獲得國家特定換算係數的情況下，可以使用預設換算係數。然而，如果條件不同於基準情況，可能需要重新計算這些換算係數。

3.7.2.3 方法 3

方法3不需要選擇排放因數，而以對驅動力和參數透徹理解為基礎。

3.7.3 活動資料選擇

除了需要基本活動資料，較佳作法還將有機質添加物和土壤類型的資料與相同拆解水準的活動資料相匹配。可能需要完成種植方法的調查，以獲得使用的有機質添加物的類型和數量的資料。活動資料主要依據收穫面積的統計資料，資料應從國家統計機構獲取，以及關於種植期和農藝作法的補充資訊。活動資料應根據稻子種植方法或水分狀態的區域差異進行分類。可透過已認可的報告方法，在國家範圍內獲得不同條件下的收穫面積估值。當地驗證地面積與不同條件(如氣候、農藝作法和土壤特性等)下排放因數的可用資料相聯繫時，使用這些面積最有價值。如果這些資料在本國不能獲得，可以從國際資料來源獲得。例如，國際水稻研究所(1995年)和世界水稻統計資料(國際水稻研究所網站)，其中包括主要水稻生產國按生態系統類型列出的水稻收穫面積、每個國家的水稻作物日曆，以及其它有用資訊，以及糧農組織網站上的糧農組織統計資料庫。當地驗證地面積與不同條件(如氣候、農學作法和土壤特性等)下排放因數的資料相關時，使用這些面積將最有價值。可能必須請教當地專家，以調查與CH₄排放相關的農藝作法(有機添加物、水分管理等)。

與排放因數的準確性相比，活動資料很可能更可靠。然而，不同季節的面積統計可能會有偏差，因此鼓勵使用遙測資料查核國家(部分地區)的收穫面積統計資料。除了需要基本活動水準資料，特別是在方法2和方法3中，較佳作法是將有機質添加物和土壤類型等其它條件的資料與相同拆解水準的活動資料相匹配。

3.7.4 不確定性評估

排放和換算因數的不確定性可能受自然變化(如氣候的年變化)以及各單元中假定是同步變化(如田間或土壤單元的空間變化)的影響。對該源類別而言，如可獲得足夠的實驗資料，較佳作法應允許使用標準統計方法確定不確定性。某些這種不確定性的量化研究很少，但仍可獲得(例如土壤類型引起的變化)。

分配換算係數(即栽培技術和有機質添加物的資料)所必需的重要活動水準資料，可能在當前的資料庫/統計資料中無法獲得。因而，估算稻農使用特定作法或改良所占的比例，必須以專家判斷為基礎，而且估算比例的不確定性範圍，亦應基於專家判斷。上述比例估值的不確定性預設值為 ± 0.2 (例如使用有機質添加物的農民比例估算為0.4，不確定性範圍在0.2-0.6)。為量化操作中的不確定性提供了建議，包括將專家判斷和經驗資料納入總體不確定性估算。

如果CH₄排放產生自稻子種植，方法1各值(排放因數和換算係數)的不確定性範圍，可直接取自《2006年IPCC國家溫室氣體清單指導原則》。範圍定義為平均值的標準差，顯示與此源類別給定預設值相關的不確定性。公式5.3中指數的不確定性範圍為0.54 - 0.64。方法2和方法3的不確定性評估取決於各自的資料庫和所用的模式。

3.7.5 完整性、時間序列、品質保證/品質控制和報告

3.7.5.1 完整性

完整範圍的排放源類別，需要估算下述活動的排放：

- 如果土壤淹沒不局限於實際的水稻生長季節，那麼也應包括水稻生長季節之外的排放
- 其它的稻田生態系統類別，如沼澤地、內陸鹽鹼地或潮汐稻田，按照當地排放測量方法均可在每個亞類中區分；
- 如果每年不只種植一季水稻，則應根據當地定義(例如早稻、晚稻、雨季水稻、旱季水稻)分別報告這些水稻作物。擁有不同的季節性綜合排放因數和由於其它變化(如有機添加物)產生的不同修正因數的水稻作物，可能分屬於不同的類別。

3.7.5.2 建立一致時間序列

每一時間序列中稻田產生的CH₄排放的估算方法，應在同一分級層面上每年連續使用。如果不能獲得早年的詳細活動水準資料，那麼這些年的排放應該重新計算。在整個時間序列內如果影響CH₄排放的農藝作法有很大變化，那麼估算方法應分級使用以充分認識變化的影響。例如，在(亞洲)出現了各種不同的水稻農業趨勢：如採用新水稻品種、增加無機肥使用、改良水分管理、改變有機添加物的使用，以及直接播種都可能導致溫室氣體總體排放的增加或減少。為了衡量這些變化的影響，可能必須使用模型來進行研究。

3.7.5.3 報告及歸檔

較佳作法是將編制國家排放清單估算所需的所有資訊記錄並存檔，透過報告《2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指導原則》中水稻工作表要求填寫的資訊，記錄排放估值。不使用工作表的清單機構應提供可比資訊。使用國家特定排放因數的清單機構應提供每一排放因數來源和基礎的資訊，同時與其它公佈的排放因數進行比較，解釋所有重大的差別，並嘗試設定不確定性的範圍。如果排放估算按地區分級，那麼每個地區的資訊都應報告。

為保證透明度，如果可能，應報告下列補充資訊：

- 水分管理方法；
- 使用的有機添加物的類型和數量。(水稻秸杆或前一季非水稻作物的殘餘物都應當作有機添加物，不過這可能是正常的生產活動，而且並不像糞肥添加旨在提高營養水準為目的)；
- 用於水稻農業的土壤類型；
- 一年內水稻生長的季數；
- 最主要的稻子種植品種。

3.7.5.4 清單品質評估和品質控制(QA/QC)

較佳作法是實施品質控制檢查，以及關於排放估算的專家評審，尤其是運用較高層級方法來估算這種排放源的排放量時。

3.7.5.4.1 標準 CH₄ 排放的測量

用於稻田的品質控制程式清單主要由當地科學家確定。然而，有些國際確定的程式，可獲得所有的監測計畫應通用的“標準排放因數”。對於每個報告國家的實驗室，最好獲得此標準排放因數，以確保用於建立國家特定排放因數的擴充資料集可相互比較和相互校準。

3.7.5.4.2 編制國家排放清冊

在採納排放資料前，清查機構應對資料品質和抽樣程式進行評估。此類評審要求與國家實驗室密切合作，以獲得足夠的資訊來核實所報告的排放。評估項目應包括：樣本再計算、評估農藝和氣候資料的可靠性、確定方法學中可能的偏差以及提出改進建議。

目前，不可能通過外部測量對該排放源類別的排放估算進行交叉檢驗。然而，清單機構應確保排放估算的品質控制按照如下原則進行：

- 國家總體作物產量和報告的田地面積統計資料，與國家總數據或其它來源的

作物產量/面積資料進行交叉參照；

- 根據總計排放量和其它資料反推國家排放因數；
- 所報告的國家總排放與其它國家的預設值和資料進行交叉參照。

第四章 濕地

4.1 前言

濕地包括全年或一年中部分時間被水覆蓋或浸透，且不屬於林地、農田、草地類別的任何土地。管理濕地僅限於地下水位經過人為改變(例如排水或抽水)的濕地，或人類活動(例如，攔河築壩)營建的濕地。指導原則未估算未管理濕地中產生的排放。本章為下述活動提供了方法學：為能源、園藝或其它用途進行泥炭開採而清除和排水的泥炭地；為能源生產、灌溉、航行、休閒進行儲水或蓄水。當前的評估範圍包括所有轉變為永久水淹地的土地中產生的CO₂排放。水淹地不包括調節的湖泊和河流，除非其水面積出現了明顯增加。

濕地經常進行管理以為其它土地利用，如森林和草地管理，或農田。一般說來，各種濕地溫室氣體平衡的科學知識仍然不足且不確定。因為不能獲取適當的方法，有些濕地利用未被涵蓋，包括：糞肥管理塘、工業廢水塘、水產養殖漁塢，以及先前排水濕地的回潮或濕地恢復。這些活動較多的國家應考慮進行研究，以評估它們對溫室氣體排放或清除的貢獻。管理濕地中因非點排放源農業廢水過濾產生的N₂O排放，諸如施肥和使用殺蟲劑，包括在土壤添加劑產生的間接排放。多數濕地生態分類，包括《拉姆薩爾濕地公約》中的分類，將許多這些土地視為濕地，即使它們受人類活動所干擾或人為建造。《拉姆薩爾濕地公約》所採用的濕地分類廣泛用於處理管理問題。本報告中的濕地分類與《拉姆薩爾公約》的若干定義相通。

濕地生態系統的生物和地球化學過程以及產生的溫室氣體排放和儲存受控於水浸透的程度以及氣候和可獲得養分。如同其它生態系統，進出大氣層的淨碳流量來自透過光合作用從大氣中攝入的碳和通過分解作用釋放的碳之間的差額。碳攝入和衰減損失的速率均受氣候、可獲養分、水浸透或可獲氧分的影響。在多數旱地生態系統中普遍存在的耗氧條件下(氧充足)，分解作用釋放CO₂；而CH₄排放主要在厭氧條件下產生。在多數濕地中，一次生產總量中約90%的碳通過衰減

重新回到大氣層。未衰減的物質沉在水體底部，並累積在先前沉積的物質上。

在浸透情況或水灌環境下，耗氧細菌和其它衰減有機體的活動受可獲氧的限制。缺氧(氧氣耗盡)條件一般存在於水體底部，防止了這些有機體進一步分解有機物質。其他細菌、甲烷微生物、硫化生物等，至少能分解部分有機物質，這會導致CH₄和其它氣體的排放。如果CH₄通過水柱或包氣土壤頂層向上擴散，在釋放前仍然有另一組別的細菌，即嗜甲烷菌將CH₄部分氧化成CO₂。一般而言，濕地是CH₄的一種天然排放源，估算其排放量為55-150 Tg CH₄/年。

一般說來，浸透生態系統中產生的N₂O排放量非常小，除非能夠持續提供外源性氮。如果在濕地，特別是泥炭地進行排水，N₂O排放率主要受礦化氮量的控制，從而受土壤肥力的影響。在礦養(富營養)條件下，其它控制條件諸如pH、溫度和水位，會調節礦質氮的硝化作用，並隨後還原成N₂O。

總而言之，濕地排水會導致CH₄排放量減少，土壤有機質氧化的增加會引起CO₂排放的增加，以及礦養濕地中N₂O排放量的增加。相反地，通過灌水建立濕地改變了溫室氣體排放的格局，增加了CH₄排放和減少了CO₂排放。依據氣候和貯藏特徵，透過水淹生物量的衰減，以及淹沒的土壤有機質和其它溶解的有機物質顆粒的分解作用，均能釋放CO₂和CH₄。

4.2 管理泥炭地

在濕地中，當死有機物質的年生產量超過衰減量時，泥炭進行累積。泥炭沉積的格局隨著氣候和水文情況而發生變化，並且任一地區泥炭地類型的演替可能很複雜。每年的碳固存可能僅為20-50公斤/公頃，與作物收穫產量相比，這值很小。多數沉積的泥炭至今已累積了數千年，且許多泥炭自距今8000年前最後一次冰河期冰川退縮起，一直開始不斷累積。

泥炭地區的生產迴圈包括三個階段：

1. 為泥炭挖掘準備土地轉化：轉化以建造主要和次要排水溝渠開始，以允許水從該地區中排出。一旦地下水位開始降低，表層生物量，包括所有樹木或灌

叢，以及產生泥炭植被的活體層，會被清除和去除。該階段可能持續數年。亦可能是在之前為其它目的而排水的地區建立泥炭挖掘區。一般說來，這僅需要對排水方式進行一些改進或完善。該過程中主要的溫室氣體流量為生物量清除以及排水泥炭衰減所產生的CO₂排放。此階段與轉化為泥炭地的土地對應。

2. 挖掘：一種類型的挖掘是每年將泥炭表面“磨細”或打碎成顆粒狀，然後在夏季月份中風乾。之後收集風乾的泥炭顆粒，並從挖掘地轉運到儲藏堆。一種舊形式的挖掘法是將泥炭沉積的表面切割為小塊，以使其變乾。不論採用何種挖掘技術，變乾的速度和年泥炭生產量隨著乾旱天氣條件頻率而增加。挖掘過程可能持續20-50年，才能達到泥炭沉積的經濟深度。此階段中產生的主要溫室氣體排放是來自於現場(排水、外露的泥炭)和離場(別處的泥炭挖掘和使用)的泥炭衰減所產生的排放。本階段對應於仍為泥炭地的泥炭地。由於正在挖掘的泥炭地產生的排放與轉化為泥炭挖掘的土地中產生的排放，在程度和類型上有著很大差異，開展泥炭工業的國家應相應地區分其管理泥炭地。
3. 撈荒、恢復或轉為其它土地利用：如果從沉積中挖掘泥炭不再獲利時，停止泥炭挖掘。一般說來，這些土地中繼續排放溫室氣體，並且只要土地未轉化成另一種利用，就應報告這些排放。因為沒有提供恢復泥炭地中溫室氣體排放和儲存的估算方法，存在大量恢復泥炭地的國家可考慮研究或收集科學資訊，以支援溫室氣體估算方法的建立。已造林或耕種的轉換泥炭地應報告在轉化為林地的土地和轉化為農田的土地類別下。

4.2.1 仍為泥炭地的泥炭地

本節論述現行泥炭挖掘過程中泥炭地產生的排放。泥炭的使用範圍分佈廣泛，大約一半的泥炭用於能源，其它的泥炭用於園藝、景觀、工業廢水處理和其它目的。無論泥炭的最終用途如何，溫室氣體的所有現場排放源均應報告在此類別中。但離場泥炭能源使用產生的排放應報告在能源部門中。

4.2.1.1 仍為泥炭地的泥炭地中產生的 CO₂ 排放

估算進行泥炭挖掘的土地中產生的CO₂排放包含兩個基本要素：在挖掘階段來自泥炭沉積的現場排放，以及泥炭的園藝(非能源)用途中的離場排放。泥炭挖掘開始時會進行植被清除，這可防止進一步的碳吸存，因此僅考慮CO₂的排放。

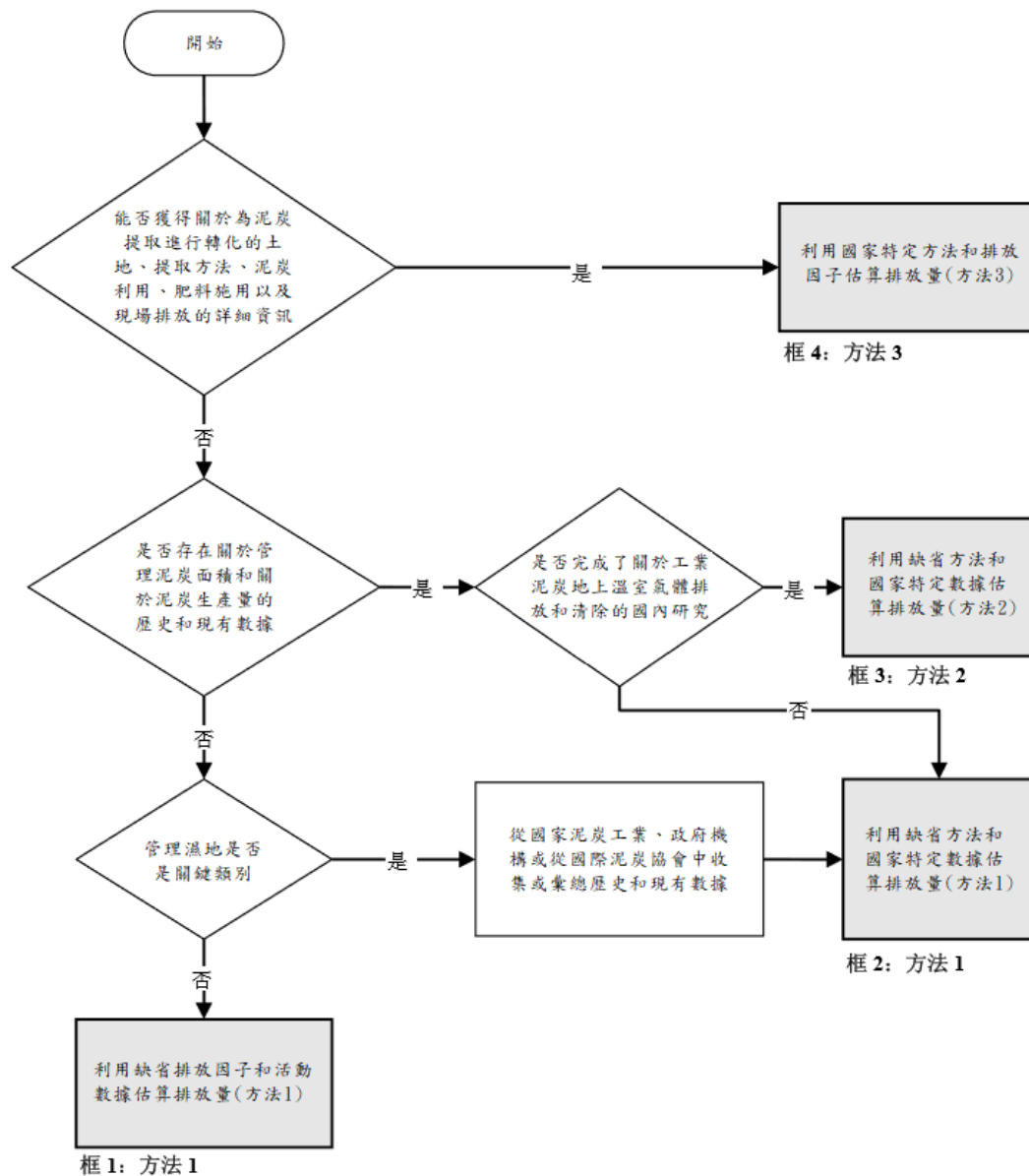


圖 4.1 估算泥炭中溫室氣體排放的決策樹

4.2.1.1.1 方法選擇

4.2.1.1.1.1 方法 1

提供的預設方法可涵蓋現場CO₂排放(泥炭生產階段沒有區別)和泥炭的園藝用途。方法1僅考慮生物量清除產生的排放。當管理泥炭地的總面積增加時，會發生朝泥炭地的轉化。為泥炭挖掘進行的泥炭地轉化包括植被的清除，因此假設管理泥炭地中活體生物量碳庫的其它變化為零。

4.2.1.1.1.2 方法 2

採用國家特定排放因數和參數，按空間拆解以反映區域內重要作法和主要生態動態變化。合適的作法可能是，依據挖掘方法(例如，用來乾燥和挖掘泥炭的技術)、受先前植被覆蓋影響的泥炭肥力和組成，以及當地氣候下風乾泥炭的碳比例，將活動資料和排放因數進一步劃分。一般說來，泥炭地的排水導致泥炭緊實和沉陷以及氧化和碳損失，而不是成為CO₂。頂層泥炭(上層，泥炭中的耗氧層)易受水氣含量體積的季節性變化影響，特別是當泥炭結構已經改變時。因此，測量泥炭土壤中的碳庫變化很困難，而且不可能準確估算這些土壤中產生的CO₂流量，因此建議不要進行此類測量，除非這些資料經過了認真校準。方法2包括將為泥炭挖掘正轉化的泥炭地區劃分為已開始生產商業性泥炭的泥炭地。應注意避免重複計算生物量清除中產生的CO₂排放。

4.2.1.1.1.3 方法 3

方法3涉及全面理解和表述管理泥炭地上CO₂排放和清除的動態，包括以下因素的效應：立地特徵、泥炭類型和深度、挖掘技術，以及泥炭挖掘階段。方法學將包括所有已知的CO₂現場排放源。泥炭轉化係指土地轉化中產生的排放，包括生物量碳庫和土壤排放中的變化；泥炭挖掘對應於方法1中要報告的現場排放。風乾泥炭堆集中產生的排放更為不確定。較高的溫度可引起儲藏堆比挖掘場地釋放更多的CO₂，但目前研究資料尚不足。撈荒泥炭地中產生的CO₂排放的

格局隨著恢復技術以及土壤呼吸和植被再生長速度而變化。這些排放格局取決於特定地點。和方法2一樣，建議不要直接測量土壤碳庫的變化。

4.2.1.1.2 排放因數選擇

4.2.1.1.2.1 方法 1

方法1的實施需要應用預設現場排放因數，例如富泥炭和貧泥炭，以及按重量表示的預設泥炭碳比例或按體積表示的碳比例，以分別估算按重量和體積的生產資料中的離場排放。在北溫帶地區以貧營養的沼澤為主，而在溫帶地區，富營養的沼澤和泥潭更為常見。由泥炭的最終用途可推斷出泥炭地的類型：主要產於貧瘠沼澤中的水蘚泥炭，最好用作園藝用途，而在礦養(富營養)沼澤中更為常見的草炭，則更適合於能源生產。北溫帶國家沒有關於富營養和貧營養泥炭地面積的資訊，應使用貧營養泥炭地的排放因數。沒有此類資料的溫帶國家應使用富營養泥炭地的排放因數。熱帶地區只有一種預設因數，因此對於採用方法1的熱帶國家，不必按土壤肥力拆解泥炭地面積。

4.2.1.1.2.2 方法 2 和方法 3

降低排放因數的不確定性，方法是測量在當地氣候和挖掘方法下挖掘泥炭的水氣含量和碳比例，同時考慮各年間的氣候變化。按空間拆解的CO₂流量的測量應用於確定更精確的現場排放因數，修正由溶解有機碳的淋溶或徑流產生的碳損失。在北方溫度帶，冬季排放量可占年淨排放量的10-30%，應對此進行估算。來自泥炭堆集、撈荒的或恢復的泥炭挖掘地點的分類的CO₂流量的測量，會有助於進一步減少估值的不確定性。當各國泥炭品質、環境條件和挖掘方法相似時，如文獻稀缺，鼓勵各國分享其資料。

4.2.1.1.3 活動資料選擇

所有層級均需要關於為泥炭挖掘管理的泥炭地的面積資料，以及按重量或體

積表示的風乾泥炭的生產資料。

4.2.1.1.3.1 方法 1

預設方法假設一國存在當前和以前挖掘的泥炭地的總面積估值，包括未轉化為其它利用的以前商業性泥炭地。在溫帶和北溫帶地區，應結合與上文排放因數選擇建議一致的預設假設，將此面積分為富營養和貧營養區。此外，必須瞭解年度泥炭挖掘數量(以乾重或體積表示)，藉以估算離場CO₂排放。

有關泥炭挖掘地點和產量的各個國際資料庫，在品質和一致性方面均有差別。生產和面積資料的來源可能不相同，並且各來源和國家間不同的定義和年份很可能產生不一致性。因為泥炭挖掘方式取決於使泥炭變乾的乾燥和晴朗的天數，因此年產量的變化取決於適合的夏季天氣。為了估算離場排放量，應根據諸如園藝泥炭和燃燒泥炭等最後用途區分泥炭生產資料。如果不能按照最後用途區分生產的泥炭數量，泥炭消耗中產生的排放應算入與國內生產泥炭的主要最終用途相應的清單部門。如果面積或生產資料缺其一，可透過採用等同於當地產業所提供的平均生產率的預設換算係數，由另一數據求出。在成熟的工業化泥炭生產中，採用大塊切割方法，每年每公頃的風乾泥炭產量可高達1750噸，而用真空方法每年每公頃可挖掘最多100噸泥炭。風乾泥炭的含水量量為35%–55%。

4.2.1.1.3.2 方法 2 和方法 3

採用高層級方法的各國應獲取國家泥炭生產資料和相應泥炭地的面積。在北溫帶和溫帶地區，這些面積資料需按土壤肥力拆解以對應於合適的預設排放因數。此類資料可能的來源是國家能源統計機構、泥炭開採公司、泥炭行業協會、景觀行業協會和主管土地利用和地質調查的政府部門。如果不能按泥炭肥力進行分層，各國可依賴專家判斷。北溫帶氣候往往有助於貧營養的高位沼澤形成，而溫帶和海洋性氣候往往有助於富營養泥炭地的形成。確定國家特定活

動資料的重點包括：1. 現在和以前為泥炭挖掘管理的有機土壤的面積，根據養分狀況進行拆解；2. 泥炭生產資料；3. 反映泥炭挖掘時周圍條件的當地水氣含量；4. 國家特定碳含量，最好按泥炭類型分類。

更為先進的估算方法需要確定泥炭挖掘週期三個階段的面積，包括撈荒面積，其中排水或先前泥炭挖掘產生的影響仍然存在。如果必要，包括按不同泥炭挖掘技術、泥炭類型和挖掘深度分類的面積。如果場地恢復工作正在進行，鼓勵各國單獨報告已恢復的先前為泥炭挖掘管理的有機土壤面積，並估算這些土地中產生的排放和清除。此外，存在大量園藝泥炭生產的各國可確定監測挖掘泥炭離場演化的資料，以建立時間敏感衰減曲線。

4.2.1.2 仍為泥炭地的泥炭地中產生的非 CO₂ 排放

4.2.1.2.1 甲烷

如果為準備泥炭挖掘對泥炭地進行排水，自然產生的CH₄大量減少，但不能完全消除，因為產CH₄細菌僅在厭氧條件下大量繁殖。在方法1中，假設這些排水泥炭地中產生的CH₄排放可忽略不計。在較高層級，鼓勵各國審查地形較低和排水溝渠中產生的CH₄排放格局，這些排在管理泥炭地產生的溫室氣體總排放中占重要的比例。

4.2.1.2.2 氧化亞氮

根據立地肥力，泥炭沉積中可含大量惰性有機氮。排水可允許細菌將氮素轉化成硝酸鹽，然後淋溶入地表並還原為N₂O。在排水泥炭地中，可能釋放的N₂O的數量取決於泥炭中氮含量。碳氮比超過25時，可將N₂O排放視為微不足道。

目前沒有估算方法可將N₂O排放區分於園藝泥炭離場使用過程中的有機物質衰減。在使用前通常將氮肥添加到園藝泥炭中，因此這一來源在N₂O排放格局中將可能占主導地位。為了避免重複計算肥料使用中釋放的N₂O，可用預設方法估算為泥炭挖掘進行管理的土地中產生的N₂O排放，但不包括園藝泥炭中

有機氮衰減產生的排放。使用圖4.1中的決策樹以確定用於N₂O排放的合適方法層級。

4.2.1.2.2.1 方法選擇

4.2.1.2.2.1.1 方法 1

估算排水濕地產生的N₂O排放的方法1，類似於為農業或林業排水有機土壤所說明的方法，然而排放因數的值通常較低，因此預設方法僅考慮富營養泥炭地。

4.2.1.2.2.1.2 方法 2

在方法2中，按照諸如泥炭類型和肥力、泥炭挖掘階段和排水活動開始時間等附加因素，將活動資料進行拆解。相應的排放因數為國家特定，並考慮到了泥炭挖掘的條件和方法、排水深度和C-N比例隨泥炭狀況而變化。

4.2.1.2.2.1.3 方法 3

方法3涉及全面理解和表述管理泥炭地上CO₂排放和清除的動態，包括以下因素的效應：立地特徵、泥炭類型和深度、挖掘技術以及泥炭挖掘階段。此方法將包括所有N₂O的相關排放源。現場和離場排放均會考慮，並應考慮常規挖掘和利用條件下泥炭衰減的速率。方法應與CO₂排放估算程式一致，例如應使用相同的離場衰減率。如果使用基於過程的模式，應用代表國家條件的獨立測量進行校準和驗證。

4.2.1.2.2.2 排放/清除因數選擇

4.2.1.2.2.2.1 方法 1

《2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指導原則》提供了方法1的預設排放因數。

4.2.1.2.2.2 方法 2 和方法 3

應用方法2的國家建立國家特定的排放因數，可區分土地轉化為泥炭地期間的排放率和泥炭挖掘期間產生的排放率。方法2和方法3需要的國家特定排放資料，可說明立地特徵、泥炭類型和深度、挖掘技術、泥炭挖掘階段或其它相關因數。泥炭類型尤其相關到其分解性以及產生的 N_2O 排放。園藝泥炭離場使用中產生的排放應包括在方法3中。但目前文獻稀缺且結果有時會相反。如果各國環境條件和挖掘方法相似，鼓勵分享可相比的資料。

4.2.1.2.2.3 活動資料選擇

4.2.1.2.2.3.1 方法 1

應使用相同的活動資料估算管理泥炭地中產生的 CO_2 和 N_2O 排放。對於採用方法1的北溫帶和溫帶地區的國家，因為僅考慮富營養泥炭土壤，應根據土壤肥力將面積資料分層。如果可獲資訊不能按泥炭肥力進行分層，各國可依賴專家判斷。北溫帶氣候往往有助於貧營養的高位酸性沼澤或鹼性沼澤的形成，而溫帶和海洋性氣候往往有助於富營養的泥炭地的形成。低肥力的泥炭地通常是酸性的(較低的pH值)。在方法1中，唯一的預設 CO_2 和 N_2O 排放因數的使用會產生更多不確定性，該因數應用於轉化為泥炭挖掘的土地和仍為泥炭地的泥炭地，其氮含量以及有機碳和氮的生物活性會隨著深度而改變。

4.2.1.2.2.3.2 方法 2 和方法 3

確定國家特定活動資料的重點包括：為泥炭挖掘進行管理的有機土壤的面積、根據養分狀況進行拆解以及年度泥炭生產資料。更為先進的估算方法將需要確定泥炭挖掘週期三個階段的面積，包括撈荒面積，其中排水或先前泥炭挖掘產生的影響仍然存在；如果必要，包括按不同泥炭挖掘技術、泥炭類型和挖掘深度分類的面積。如果現場恢復工作正在進行，各國應單獨報告已恢復的先前為泥炭挖掘而管理的有機土壤面積，並估算這些土地中產生的排放和清除。

此外，存在大量園藝泥炭生產的各國，可確定監測所挖掘泥炭的離場演化資料，以建立時間敏感衰減曲線。

4.2.1.3 不確定性評估

4.2.1.3.1 排放因數

對於CO₂和N₂O而言，方法1估算程式中的關鍵不確定性為預設排放因數，以及如風乾泥炭的水氣含量等其它參數。排放因數和參數的建立僅根據很少(不足10個)的資料點，主要在溫帶和北溫帶地區，因而可能無法代表大的面積或氣候區。排放因數的標準差易超過均值的100%，但是基礎概率函數有可能是非常態分布的。泥炭比重以及其持水量的變異性是此不確定性的重要組分。依據泥炭特徵，各年間降水量的變化可將有機質衰減率改變25%–100%。泥炭水氣含量和泥炭品質的變化促成風乾泥炭碳含量不確定性的20%。一般來說，鼓勵各國使用範圍表示而不是以標準差。

許多有機土壤已經進行排水並轉化為其它利用，例如農業或林業生產。這些土壤常常位於更高肥力的土地上，因此排放因數值亦較高。除了排水，管理活動也會改變土壤層有機質的分佈，因而影響溫室氣體的排放格局。因此，預期不同土地管理作法下有機土壤中的CO₂的排放格局均不相同。當制定了國家特定因數時，各國應使用足夠的樣本大小和技術，將標準誤差降到最低。理想作法是應求出所有國家界定參數的概率密度函數(即提供平均值和方差估值)。至少，方法2應為每種國家界定的參數提供誤差範圍。這類資料可用於高級不確定性分析，如蒙地卡羅模擬。

在方法3中，排放因數及與其相關的概率密度函數可用於高級程式(例如蒙地卡羅)，以求出整個類別的平均值和信賴區間。基於過程的模式原則上會提供更真實的估值，但需要透過測量進行校準和驗證。模式使用中產生的不確定性需要用相似的程式進行量化。

4.2.1.3.2 活動資料

在歐洲和北美，國家使用的管理泥炭地的統計活動資料應具有50%的不確定性，但在世界上其它地方這一因數可能為2。如果管理泥炭地面積依據總(管理和未管理)泥炭地或生產資料，則不確定性較高，因為泥炭管理很大程度上依賴於較好的天氣條件。在方法2和方法3中，按相關生態氣候參數和/或管理作法進行空間拆解的泥炭地面積，關於泥炭最終用途的資訊，以及最近轉化的泥炭地與正進行生產及修復的泥炭地之間區分。這些資訊將使估算過程更準確。

4.2.2 轉化為泥炭挖掘的土地

在方法1中，不區分進行泥炭挖掘的泥炭地(仍為泥炭地的泥炭地)和正為泥炭挖掘進行轉化的土地的活動資料。採用方法2的各國應對此進行區分。

4.2.2.1 為泥炭挖掘進行轉化土地上產生的 CO₂ 排放

如前節所介紹的，泥炭挖掘迴圈有三個階段，第一個階段是為泥炭挖掘而建立或進行轉化，其特徵是進行大量排水工作，但只進行少量泥炭挖掘。轉化階段一般持續2-5年。和其它土地利用轉化相比，對於轉化為泥炭挖掘的土地，建議預設過渡期為5年。

為泥炭挖掘而正進行清除和排水的土地產生的溫室氣體排放，與目前正在進行泥炭挖掘或已經挖掘耗盡並撈荒的土地產生的排放有明顯的不同。轉化過程中主要排放來自於泥炭地生態系統中活體生物量的清除和去除，以及來自排水中的土壤。由於這些土地還未進行生產，未進行泥炭挖掘，因此沒有來自挖掘泥炭的離場排放。

4.2.2.1.1 方法的選擇

4.2.2.1.1.1 方法 2

除了排水過程中來自土壤的排放外，估算這些數量的各方程式並沒有獨特

性。如果清除的現存植被為林地或草地，林地或草地轉化為農田的過程中會有活生物量產生排放的估算。如果採用火燒清除植被，亦會產生非CO₂氣體排放，即CH₄和N₂O，亦可遵循之前所提供的指導原則來估算這些排放。如果可獲得國家特定的排放因數，可估算生物量燃燒以及未燃燒生物量和死有機物質的衰減。正進行排水的土地面積可根據泥炭肥力、泥炭類型和先前的土地利用或土地覆蓋進行拆解。

4.2.2.1.1.2 方法 3

方法3要求全面理解和表述轉化為泥炭挖掘的土地上CO₂排放和清除的動態，包括泥炭類型和肥力的效應、沼澤覆蓋或高位沼澤等立地特徵，以及之前的土地利用或土地覆蓋。這些動態可與合適的排放因數和/或基於過程的模式相結合。該方法可包括所有碳庫的演化、轉化後碳庫間的轉移(例如生物量轉為死有機物質)，並可區分立即和延遲排放。應根據溶解有機碳的淋溶、徑流產生的死有機質損失或作為CH₄排放所引起的碳損失，對建立碳庫變化基礎上的估值作出修正。

4.2.2.1.2 排放/清除因數的選擇

4.2.2.1.2.1 方法 2

採用方法2的國家將建立國家特定排放因數，例如排水富泥炭和排水貧泥炭土地，以區分土地轉化過程中的排放率與泥炭挖掘階段的持續排放。可進一步按泥炭類型、其肥力和排水深度、之前土地利用或土地覆蓋以及氣候帶，進一步區分各排放因數。

4.2.2.1.2.2 方法 3

所有參數都應是國家特定的。如果缺少文獻，較佳作法是求出國家特定排放因數，並應在環境條件相似的各國間分享相關資料。

4.2.2.1.3 活動資料的選擇

4.2.2.1.3.1 方法 2

所需的基本活動資料是為泥炭挖掘進行轉化並按養分狀況(或肥力)進行拆解的有機土壤面積。面積資料的可能來源為：泥炭開採公司、泥炭行業協會、以及主管土地資訊的政府部門。在方法2中，各國亦可納入基於正進行轉化土地的原始土地利用、泥炭類型以及泥炭肥力的資訊。這些資訊可從定期更新的國家泥炭清單中收集。

4.2.2.1.3.2 方法 3

在方法3中，需要關於為泥炭挖掘進行轉化的面積的原始土地利用、泥炭類型和泥炭肥力的詳細資訊。可依據估算程式確定更具體的資料需要。

4.2.2.2 正在轉化為管理泥炭地的土地產生的非 CO₂ 排放

因為在土地轉化和整地階段沒有進行泥炭挖掘，因此前節關於“仍為泥炭地中的泥炭地產生的非CO₂排放”的方法及問題討論，除了園藝泥炭離場衰減產生的非CO₂排放之外，亦適用於本節。在較高層級下，可能不能再假設可忽略正進行排水土地的CH₄及N₂O排放，可運用預設方法估算。

4.2.2.3 不確定性評估

4.2.2.3.1 排放因數

受先前土地利用所影響的，與轉化前植被覆蓋的碳含量相關的不確定性，應納入CO₂估值的不確定性評估中。排放的不確定性概率分佈有可能是非常態分布的，所以這裡將95%的對數常態分布區間假定為預設不確定性，建議採用這一範圍，而不是對稱的標準差。

4.2.2.3.2 活動資料

提供面積資料的機構應具有關於面積不確定性的資訊，否則可採用面積估算建議相關的預設不確定性資料。

4.3 水淹地

水淹地的定義是人類活動引起水覆蓋表面積發生改變的水體，一般是透過水位調節。水淹地的例子包括為水力發電、灌溉和航運為目的的蓄水。經調節的湖泊和河流，與水淹前的生態系統相比，水面積未發生重大變化，則不被視為水淹地。部分水稻透過對田地灌水進行種植，但因稻子種植的獨特性，關於水稻論述請參見農田一章。

水淹地可釋放大量 CO_2 、 CH_4 和 N_2O ，這取決於它的各種特性，如年代、水淹前的土地利用、氣候和管理作法。排放量隨空間和時間改變。灌水導致了 CH_4 排放增加，特別在熱帶地區。然而，在時間和空間上有很大變化的 CH_4 排放，迄今仍阻礙著所有氣候區預設排放因數的建立，因此需要更多的科學研究數據。

通常水淹地中產生的 N_2O 排放量極少，除非有來自小流域的大量有機或無機氮投入。該投入很可能源自於人為活動，如土地利用變化、污水處理或小流域中肥料的施用。為避免重複計算這些人為排放源的溫室氣體動態平衡中已捕獲的 N_2O 排放，鑒於文獻報告中水淹地產生的 N_2O 排放的貢獻極為有限，本節中將不考慮這些排放。

4.3.1 仍為水淹地的水淹地

對於仍為水淹地的水淹地，目前沒有相關方法學探討。水淹地上產生的 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放，請暫時參閱其它部門所介紹的方法學中。鼓勵更多的本土科學研究以制定國家排放因數。

4.3.2 轉化為水淹地的土地

目前僅有轉化為水淹地的土地產生的CO₂排放的估算指導原則。

4.3.2.1 轉化為水淹地的土地產生的 CO₂ 排放

4.3.2.1.1 方法和排放因數選擇

遵循其它章節為各種土地利用類別所描述關於活生物量的量化方法，可對轉化之前的土地碳庫進行估算。這裡假設轉化後的碳庫為零。有可能在灌水之前轉化土地上剩餘的碳可在水淹後數年間釋放，但對於此時土地轉化為水淹地引起的土壤碳庫變化，並沒有相關指導原則方法。碳庫變化方法是假設水淹之前存在的生物量中所有的碳均被釋放，這可能導致對排放量的高估。鼓勵各國基於模式、測量和相關參數，建立高層級國家特定方法。

4.3.2.1.2 活動資料選擇

各國獲得其水淹地面積的來源包括：排水流域覆蓋分析、國家大壩資料庫、國際大壩委員會或世界水壩委員會報告。

4.3.2.2 轉化為水淹地的土地產生的非 CO₂ 排放

轉化為水淹地的土地中CH₄排放的可獲資訊見《2006 年 IPCC 國家溫室氣體清單指導原則》。

4.3.2.3 不確定性評估

應可獲得大壩後面保留的水淹面積的相關國家統計資料，並且可能準確到10%以內。如果不能獲得關於水壩的國家資料庫，則可使用其它資訊，而且關於大壩後面保留的水淹面積的不確定性也許會大於50%，特別是在淹水面積較大的國家，也可能難以獲取較小水壩位置、類型和功能的詳細資訊。然而根據可獲得資料的水庫大小分佈，也許可作統計推論。建造水庫的多種原因也會影

響資料的可獲取性，因此表層面積的不確定性取決於國家的具體條件。

4.4 完整性、時間序列一致性和品質保證/品質控制

4.4.1 完整性

完整的溫室氣體清單將包括如上文所描述的泥炭地與水淹地兩類管理濕地的排放估計值，除非國家領土中不存在這些濕地類型。如同其它土地類別，鼓勵各國監測管理濕地的演化，並避免與其它類別土地重複計算。較佳作法是將水庫面積範圍資訊成文歸檔。泥炭地一經泥炭挖掘，這些土地將保持在管理泥炭類別中(甚至在泥炭挖掘活動已經停止後)，直至其轉化為另一種利用。土壤的回潮，或地下水位回到排水前的水準，均不會改變泥炭地的狀況。

採用高級方法和資料的各國，應注意不要報告已經算入其它AFOLU各章或本指導原則其它各章中的溫室氣體排放。特別是濕地可能接收含有高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排放源，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；為了避免估值偏差，鼓勵各國制定、編匯或使用可獲資訊。

4.4.2 建立一致的時間序列

排放量的估算方法，應在同一空間拆解層面一致地使用於時間序列中每一年。此外，在使用國家特定資料時，國家清查機構應在整個時間序列中使用相同的測量方法(採樣策略、方法等)。如無法這樣做，應採用內推技術和重新計算的指導原則。應說明清查年間的排放差異，例如，透過泥炭地或水淹地面積的變化，或透過更新排放因數。

4.4.3 品質保證/品質控制(QA/QC)

應按本報告前所述，制定和執行品質保證/品質控制(QA/QC)程式，亦可開

展附加、特定源類別品質控制和品質保證活動。如果運用較高級方法量化這種排放源的排放量則更是如此。採用國家特定的排放因數時，它們應基於採用嚴格測量計畫得出的高品質的實驗資料，並充分記錄歸檔。

目前，還不可能用其它測量方法來交叉檢驗源自泥炭挖掘的管理有機土壤的排放估計值。然而，清單機構應確保排放估算經過如下品質控制：

- 用預設值和科學文獻中已公佈的或其它國家報告的值，交叉參照已報告的國家特定排放因數；
- 用泥炭工業和泥炭生產的資料核查活動資料的準確性；
- 根據情況可比較的其它國家估計值，評估估計值的合理性。

4.4.4 報告及歸檔

合適的作法將得出國家排放/清除清單估值所需的全部資訊成文並歸檔。

4.4.4.1 排放因數

應充分說明新的國家特定排放因數、參數和模式的科學依據，並成文歸檔。這包括界定投入參數和說明求取排放因數、參數及模式的過程，以及說明產生不確定性的根源。

4.4.4.2 活動資料

應記錄計算中使用的所有活動資料的來源(資料來源、資料庫和土壤圖參考資料)，並與企業進行交流。這種檔案應包含資料收集和估算的頻率、準確度和精確度估算，以及導致排放水準產生重大變化的原因。

4.4.4.3 趨勢分析

應解釋各年間排放的重大波動。應區分各年間活動水準的變化與排放因數、參數和方法的變化，並將這些變化的原因成文歸檔。如果不同的年份使用

不同的排放因數、參數和方法，應解釋這樣做的理由並成文歸檔。

4.5 未來方法學的發展

其它類型的管理濕地可能釋放或隔離大量溫室氣體，特別是恢復濕地或人工濕地。恢復濕地是已經進行排水並可能在過去轉為其它利用，但最近恢復回濕地生態系統功能(透過將水位提升到排水前水準)的濕地。在最近數十年，許多國家開展的公共、非盈利和其它計畫，已經開始恢復先前的濕地並將高地改造成濕地。主要目的是減少來自農業田地和聚居地的逕流。逕流會引起湖泊、河口和封閉港灣以及海洋中的富營養化、藻類滋生和缺氧死區。其它重要的效益包括減少洪水損害、穩固海岸線和江河三角洲、減緩鹽水滲透、補充含水層以及改善野生動物、水禽和魚類的棲息地。

多數濕地恢復行動自1990年進行。文獻描述了在北美洲、歐洲、亞洲以及澳大利亞和紐西蘭等15個國家的計畫和專案，特別是在江河口三角洲地帶的計畫和專案。濕地生態系統可以恢復，但需經過多變的時期，重現天然濕地生態系統的程度亦不盡相同。目前尚無恢復濕地和人工濕地的全球面積可獲之編制檔。據IPCC關於土地利用、土地利用變化和林業的特別報告的估算，可獲恢復濕地的最大面積範圍為0.3—2.5億公頃。

基於發表的觀測資料與研究很有限，無法建立任一主要溫室氣體(CO₂、CH₄或N₂O)的預設排放因數，還需要更好的理解排水流域中生物地球化學的流量，以避免肥料施用和廢棄物處理引起的重複計算。因此，恢復濕地或人工濕地中的溫室氣體排放和儲存的估算仍是需進一步發展的領域。

預期有機土壤的回潮會引起CH₄排放的增加。在溫帶和北溫帶氣候下，被森林覆蓋的回潮有機土壤產生的CH₄排放，初步估計在0-60 kg CH₄/公頃/年的範圍內，而在熱帶氣候下，則在280-1260 kg CH₄/公頃/年的範圍內。然而，短期內這些排放量可能無法恢復到其排水前水準。

非點營養源對水淹地(水庫)的影響，記錄甚少。採用高級國內方法的各國應

施行跨部門核查。理想的是，採用品質平衡方法，以確保適當計算小流域中釋放的所有碳和氮的演化。亞洲水庫觀測資料的缺乏，是用於建立水淹地CO₂排放因數的資料抽樣中一個明顯漏缺，未來需要納入此區域更多資訊。

第五章 內陸排水有機土壤

5.1 前言

本章的指導原則適用於本報告所述時已經排水的所有內陸有機土壤，即至今仍然存在的已排水或剛進行排水的土地，地下水位至少暫時低於自然水準。自然水準意味著年平均地下水位接近土壤表面，但仍可經歷季節性波動。在每種土地利用類別中，水位水準根據不同土地利用目的而不同程度地被操控。例如：種植穀物、稻米或水產養殖，可以透過不同的排水類別來反映。

本章更新 IPCC 2006 年指導原則：

- 排水有機土壤的 CO₂ 排放量及儲存量。
- 排水有機土壤的 CH₄ 排放量。
- 排水有機土壤的 N₂O 排放量。

本章提供 IPCC 2006 年指導原則中未包含的新指導意見：

- 提供估算排水溝渠甲烷排放的方法和排放因數。
- 提供排水有機土壤釋放的溶解有機碳(DOC)的非現場 CO₂ 排放估算方法及排放因數。
- 提供泥炭地火災的 CO₂、CH₄ 和 N₂O 排放的估算方法及因數。

所有排水有機土壤的通量途徑總結於圖 5.1 中。

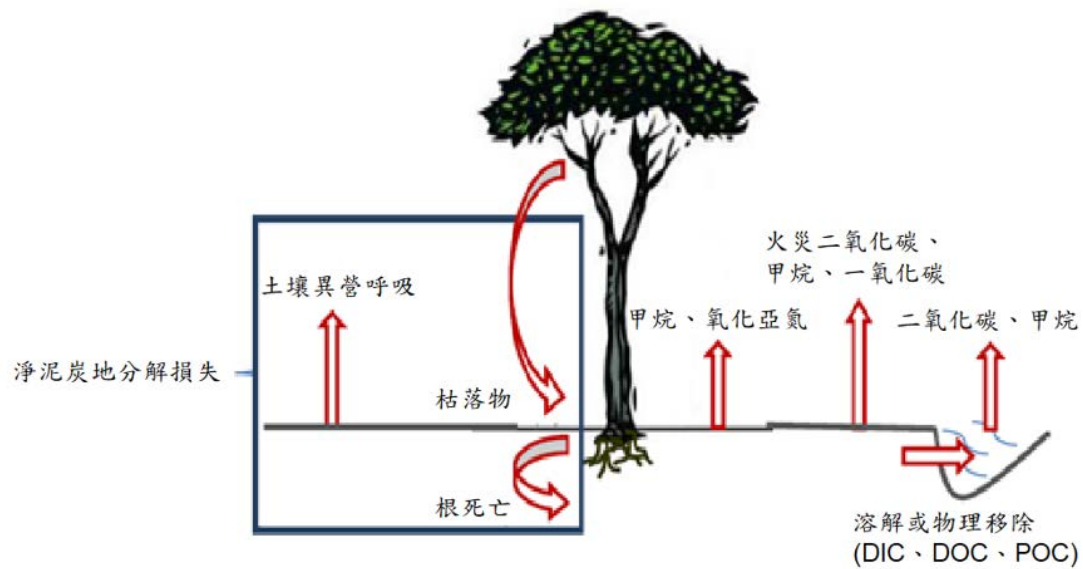


圖 5.1 排水有機土壤通量途徑總結

5.2 維持相同土地利用類別的土地

5.2.1 內陸排水有機土壤的二氧化碳排放/吸收量

本節討論排水及排水造成的DOC流失對有機土壤二氧化碳排放量和儲存量的影響。公式5.1指的是所有土地利用類別層次的年度碳儲存量變化的碳庫總和。

公式 5.1

公式 5.1

所有土地利用類別年度碳儲存量變化的碳庫總和。
(IPCC 2006年指南第四卷第二章的公式2.3)

$$\Delta C_{LU_i} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

ΔC_{LU_i} = 所有土地利用類別碳儲存量變化
下標標示以下碳庫：

- AB = 地上部生物量
- BB = 地下部生物量
- DW = 死木
- LI = 枯落物
- SO = 土壤
- HWP = 林產品收穫

為了區分排水及再濕潤土壤，進一步在公式5.2中指定為CO₂-C_{organic, drained}。
CO₂-C_{organic, drained}現場二氧化碳（CO₂-C_{on-site}）排放和儲存來自有機土壤的礦化和封存過程，異地的排放則來自於有機土壤（CO₂-C_{DOC}）及人為泥炭地火災（L_{fire}）中淋溶出的二氧化碳。泥炭地火災的二氧化碳排放在IPCC 2006年指導原則中沒有被提到，但在排水有機土壤的排放中可能是重要的，因此泥炭地火災的排放被包含於公式5.2中。

5.2.2.1 內陸排水有機土壤現場排放及儲存的二氧化碳

5.2.2.1.1 方法的選擇

5.2.2.1.1.1 方法 1

估算排水有機土壤每年碳損失如本節公式5.2所示。公式5.3為公式5.2中的CO₂-C_{on-site}照氣候區域和營養狀態做土地利用類型分層。對於表5.1中區分的土地利用類型和氣候類別僅需做營養狀況和排水類別的區分。

在方法 1 中，長期排水的有機土壤和初始排水或深層排水有機土壤的 CO₂ 排放沒有差別。排水的有機土壤即使剛進行排水，就算土地利用沒有變化仍會發生高碳損失。

公式 5.2

公式 5.2

排水有機土壤二氧化碳碳排放/吸收

$$CO_2 - C_{organic, drained} = CO_2 - C_{on-site} + CO_2 - C_{DOC} + L_{fire} - CO_2 - C$$

CO₂-C_{organic, drained} = 排水有機土壤二氧化碳碳排放/吸收，tonnes C yr⁻¹

CO₂-C_{on-site} = 排水有機土壤現場二氧化碳碳排放/吸收，tonnes C yr⁻¹

CO₂-C_{DOC} = 排水有機土壤輸出溶解有機碳的二氧化碳排放，tonnes C yr⁻¹

L_{fire}-CO₂-C = 排水有機土壤火災的二氧化碳排放，tonnes C yr⁻¹

公式 5.3

公式 5.3
排水有機土壤全年現場二氧化碳排放(不包括火災排放)

$$CO_2-C_{on-site} = \sum_{c,n,d} (A \cdot EF)$$

$CO_2-C_{on-site}$ = 排水有機土壤各土地利用類別的全年現場二氧化碳排放/吸收，
tonnes C yr⁻¹

A = 排水有機土壤在不同氣候域(c)、營養狀態(n)和排水類別(d)下的土地利用類別土地面積，ha

EF = 排水有機土壤在不同氣候域(c)、營養狀態(n)和排水類別(d)的排放係數、
tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

5.2.2.1.1.2 方法 2

方法2將特定國家資訊納入排水有機土壤的公式5.2和5.3，來估算CO₂排放與儲存量。方法2與方法1使用同樣的程序步驟進行計算。相較於方法1的改進部分為：

- 1) 國家特定排放因數的推導
- 2) 為了改進排放因數進行合適的氣候區域規範
- 3) 更詳細、更精細的管理系統與土地利用強度層級分類
- 4) 排水類別的區分
- 5) 自排水以來或排水類別改變後的排放因數分類(例如：在加深、新的排水或長期穩定水位後排放因數間產生的額外排放)
- 6) 更詳細、精細的營養狀態分類(例如氮、磷和 pH 值)

5.2.2.1.1.3 方法 3

可以使用建立模型或測量方法來估算出有機土壤的CO₂排放與儲存。動態的機制模型通常會被用來模擬潛在的過程，並同時捕捉土地利用和管理的影響，尤其是季節性排水水準對分解的影響。IPCC 2006年指導原則中提供的一般性考慮也適用於此。為了記錄在清單中選擇和應用該模型的考慮因素及根據IPCC

2006年指導原則的指導，建議提供國家情況的證明，透明地描述方法和模型。

5.2.2.1.2 排放和儲存因數選擇

5.2.2.1.2.1 方法 1

根據所有土地利用類別和氣候區域大量的測量數據，所有一級排放因數都根據IPCC 2006年指導原則進行了更新。跟IPCC 2006年指導原則相比，這個新的證據進一步根據營養狀態來分類更多的土地利用類別和氣候領域。

GPG-LULUCF和IPCC 2006年指導原則區分了一些土地利用類型和氣候區域之間的營養豐富和營養貧乏的有機土壤。此方法於此繼續沿用。表5.1提供兩種關於營養貧乏林地的排放與儲存因數，各國應選用符合各自國土使用的定義。

排水有機土壤假設的排放與儲存因數（表5.1），是使用文獻中的沉降和通量數據所組合產生。

表 5.1 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層及二氧化碳排放/吸收係數

土地利用類別		氣候/植被帶	排放係數(tonnes CO ₂ -C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% 信賴區間		測站數	引用/註釋
林地，排水，包括灌木叢和可能不屬於森林的排水土地	營養缺乏	寒帶	0.37	-0.11	0.84	63	Lohila <i>et al.</i> , 2011; Minkinen & Laine, 1998; Minkinen <i>et al.</i> , 1999; Ojanen <i>et al.</i> , 2010, 2013; Simola <i>et al.</i> , 2012
林地，排水	營養缺乏	寒帶	0.25	-0.23	0.73	59	Lohila <i>et al.</i> , 2011; Minkinen & Laine, 1998; Minkinen <i>et al.</i> , 1999; Ojanen <i>et al.</i> , 2010, 2013; Simola <i>et al.</i> , 2012
	營養豐富	寒帶	0.93	0.54	1.3	62	Laurila <i>et al.</i> , 2007; Lohila <i>et al.</i> , 2007; Minkinen & Laine, 1998; Minkinen <i>et al.</i> , 1999, 2007b; Ojanen <i>et al.</i> , 2010, 2013; Simola <i>et al.</i> , 2012
林地，排水		溫帶	2.6	2.0	3.3	8	Glenn <i>et al.</i> , 1993; Minkinen <i>et al.</i> , 2007b; von Arnold <i>et al.</i> , 2005a, b; Yamulki <i>et al.</i> , 2013
林地和砍伐林地(灌木叢)，排水		熱帶	5.3	-0.7	9.5	21	Ali <i>et al.</i> , 2006; Brady, 1997; Chimmer & Ewel, 2005; Comeau <i>et al.</i> , 2013; Dariah <i>et al.</i> , 2013; Darung <i>et al.</i> , 2005; Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Hadi <i>et al.</i> , 2005; Harrison <i>et al.</i> , 2007; Hergoualc'h & Verchot, 2011; Hertel <i>et al.</i> , 2009; Hirano <i>et al.</i> , 2009, 2012; Imbushu <i>et al.</i> , 2003; Ishida <i>et al.</i> , 2001; Jauhainen <i>et al.</i> , 2008, 2012a; Mellings <i>et al.</i> , 2005a, 2007a; Rahaoje <i>et al.</i> , 2000; Shimamura & Momose, 2005; Sulistiyanto, 2004; Sundari <i>et al.</i> , 2012

表 5.1(續) 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層及二氧化碳排放/吸收係數

土地利用類別	氣候/植被帶	排放係數(tonnes CO ₂ -C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% 信賴區間		測站數	引用/註釋
種植園，排水，未知或長期輪作	熱帶	15	10	21	n.a.	Average of emission factors for acacia and oil palm
種植園，排水，短期輪作，例如：相思樹屬	熱帶	20	16	24	13	Basuki <i>et al.</i> , 2012; Hooijer <i>et al.</i> , 2012; Jauhainen <i>et al.</i> , 2012a; Nouvellon <i>et al.</i> , 2012; Warren <i>et al.</i> , 2012
種植園，排水，油棕	熱帶	11	5.6	17	10	Comeau <i>et al.</i> , 2013; Couwenberg & Hooijer, 2013; Dariah <i>et al.</i> , 2013; DID & LAWO, 1996; Henson & Dolmat, 2003; Hooijer <i>et al.</i> , 2012; Lamade & Bouillet, 2005; Marwanto & Agus, 2013; Melling <i>et al.</i> , 2005a, 2007a, 2013; Warren <i>et al.</i> , 2012
種植園，淺層排水(少於0.3公尺)，一般用於農作，例如西米棕櫚	熱帶	1.5	-2.3	5.4	5	Dariah <i>et al.</i> , 2013; Hairiah <i>et al.</i> , 1999; Ishida <i>et al.</i> , 2001; Lamade & Bouillet, 2005; Matthews <i>et al.</i> , 2000; Melling <i>et al.</i> , 2005a, 2007a; Watanabe <i>et al.</i> , 2009
農地，排水	寒帶和溫帶	7.9	6.5	9.4	39	Drosler <i>et al.</i> , 2013; Elsgaard <i>et al.</i> , 2012; Grönlund <i>et al.</i> , 2008; Kasimir-Klemetsson <i>et al.</i> , 1997; Leifeld <i>et al.</i> , 2011; Majanen <i>et al.</i> , 2001a, 2003a, 2004, 2007; Morrison <i>et al.</i> , 2013; Petersen <i>et al.</i> , 2012

表 5.1(續) 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層及二氧化碳排放/吸收係數

土地利用類別	氣候/植被帶	排放係數(tonnes CO ₂ -C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% 信賴區間		測站數	引用/註釋
農地和休耕，排水	熱帶	14	6.6	26	10	Ali <i>et al.</i> , 2006; Chimner, 2004; Chimner & Ewel, 2004; Dariah <i>et al.</i> , 2013; Darung <i>et al.</i> , 2005; Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Gill & Jackson, 2000; Hairiah <i>et al.</i> , 2000; Hirano <i>et al.</i> , 2009; Ishida <i>et al.</i> , 2001; Jauhainen <i>et al.</i> , 2012a; Melling <i>et al.</i> , 2007a
農地，排水，水稻	熱帶	9.4	-0.2	20	6	Dariah <i>et al.</i> , 2013; Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Hadi <i>et al.</i> , 2005; Hairiah <i>et al.</i> , 1999; Inubushi <i>et al.</i> , 2003; Ishida <i>et al.</i> , 2001; Matthews <i>et al.</i> , 2000; Melling <i>et al.</i> , 2007a
草地，排水	寒帶	5.7	2.9	8.6	8	Grönlund <i>et al.</i> , 2006; Kreshtapova & Maslov, 2004; Lohila <i>et al.</i> , 2004; Majanen <i>et al.</i> , 2001a, 2004; Nykänen <i>et al.</i> , 1995; Shurpali <i>et al.</i> , 2009
草地，排水，營養缺乏	溫帶	5.3	3.7	6.9	7	Drosler <i>et al.</i> , 2013; Kuntze, 1992
草地，深層排水，營養豐富	溫帶	6.1	5.0	7.3	39	Augustin, 2003; Augustin <i>et al.</i> , 1996; Czaplak & Dembek, 2000; Drosler <i>et al.</i> , 2013; Elsgaard <i>et al.</i> , 2012; Höper, 2002; Jacobs <i>et al.</i> , 2003; Kasimir-Klemetsson <i>et al.</i> , 1997; Langeveld <i>et al.</i> , 1997; Leifeld <i>et al.</i> , 2011; Lorenz <i>et al.</i> , 1992; Meyer <i>et al.</i> , 2001; Nieveen <i>et al.</i> , 2005; Okruszko, 1989; Schothorst, 1977; Schrier-Uijl <i>et al.</i> , 2010a, c; Veenendaal <i>et al.</i> , 2007; Weinzierl, 1997

表 5.1(續) 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層及二氧化碳排放/吸收係數

土地利用類別	氣候/植被帶	排放係數(tonnes CO ₂ -C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% 信賴區間		測站數	引用/註釋
草地，淺層排水，營養豐富	溫帶	3.6	1.8	5.4	13	Drosler <i>et al.</i> , 2013; Jacobs <i>et al.</i> , 2003; Lloyd, 2006
草地，排水	熱帶	9.6	4.5	17	n.a.	Updated from Table 6.3, Chapter 6, Volume 4, 2006 IPCC Guidelines ^a
泥炭地，管理萃取	寒帶和溫帶	2.8	1.1	4.2	20	Ahlholm & Silvola, 1990; Glatzel <i>et al.</i> , 2003; McNeil & Waddington, 2003; Shurpali <i>et al.</i> , 2008; Strack & Zuback, 2013; Sundh <i>et al.</i> , 2000; Tuittila & Komulainen, 1995; Tuittila <i>et al.</i> , 2000, 2004; Waddington <i>et al.</i> , 2010
泥炭地，管理萃取	熱帶	2.0	0.06	7.0	n.a.	Table 7.4, Chapter 7, Volume 4, 2006 IPCC Guidelines
居住地	所有氣候區	There is no fixed default emission/removal factor for Settlements. For this category, it is good practice to take the default emission/removal factor from Table 2.1 of the land-use category that is closest to national conditions of drained organic soils under Settlements. Information about national conditions could include drainage level, vegetation cover, or other management activities. For example, drained organic soils in urban green areas, parks or gardens could use the default Tier 1 emission/removal factor for Grassland, deep-drained given in Table 2.1.				
其他土地	所有氣候區	Other Land Remaining Other Land: 0 Land Converted to Other Land: maintain emission factor of previous land-use category				

5.2.2.1.2.2 方法 2

排水有機土壤中碳損失將特定國家的資訊納入公式5.2用以估算排放量。方法2的計算與方法1程序相同。各土地利用類型的方法2排放因數一般可根據a) 氣候、b) 排水、c) 營養狀況和d) 土地利用的強度與規範來制定。

方法 2 排放因數的改進如下：

- 使用當地測量或計算的特定國家排放因數時，考慮提供比這裡定義的更濕潤或乾燥排水類別的氣候因素。
- 使用當地測量的國家特定排放因數時，考慮到可能使排水類別比這裡定義的排水類別更濕潤或乾燥的坡度因數(例覆蓋沼澤)。
- 如果兩個排放因數有明顯差異，則按營養狀態(豐富/貧乏)推算寒帶林地的排放因數(見表 5.1)。
- 根據土地利用強度發展寒帶和溫帶草原排放因數，例如：區分高強度(施肥、耕作與補種)與低強度(永久草原)，或排水覆蓋沼澤的粗放牧(更強壯的綿羊品種)。
- 整合與分解速率變化相關的時間動態，變化可能與泥炭地因時間推移造成排水、管理或物/化學變化有關。

5.2.2.1.2.3 方法 3

方法3允許使用多種方法，可以使用測量、過程模型或其他更精細的方法，使用考慮到時間、空間變化測量數據的充分驗證。方法3應對排水有機土壤CO₂排放和儲存動態有全面的了解與表述，包括管理實踐的效果、地點特徵、泥炭類型、深度與排水深度等因數。

方法3可透過建立排水、養分狀況與異營性CO₂排放量來開始，並透過土地利用類別和施肥來更進一步細化。此外，林地的有機土壤經歷了一個與樹木輪作有關的週期，也應該考慮到砍伐和整地有關的碳損失，可藉由模型來描述地下水位的變化。

5.2.2.1.3 活動資料選擇

5.2.2.1.3.1 方法 1

方法1要求每個土地利用類別的排水有機土壤面積數據按適用的氣候區域、營養狀態與排水類別來分類。IPCC 2006年指導原則中各土地利用章節提供了構成方法1清單基礎的活動資料分類系統。

GPG-LULUCF和IPCC 2006年指導原則區分了一些土地利用類型和氣候帶營養豐富/貧乏的有機土壤。在北方區域，營養貧乏的土壤占主導地位，而在溫帶地區，營養豐富的有機土更為常見。對於那些缺乏營養豐富/貧乏有機土壤資訊的北方國家來說，直接使用營養貧乏有機土壤的排放因數，是一個好的作法。而沒有這些數據的溫帶國家，使用富含有機質土壤的排放因數，是一個好的作法。一個提供給熱帶的假設因數，在使用方法1時，熱帶氣候區不需要土壤肥力的分解。由於缺乏數據，熱帶有機土壤中的稻田沒有按照水資源管理制度來分類。

5.2.2.1.3.2 方法 2 與方法 3

更高估算層級的活動資料通常根據IPCC 2006年指導原則中介紹的方法得

出。活動資料可能在空間上是明確的，並且可照管理類型進行分類。如果不同的土地管理系統使用不同的排水深度及養分狀態，而且可取得適當的排放因數，則排水深度和養分狀態的數據可以改善清單準確度。

土地利用數據庫和土壤地圖或明確空間數據相結合，可以描述並結合土地利用類別、氣候區域、排水類別和管理系統，以及它們隨著時間推移的變化。數據及其文件可結合，以提供專門為有機土壤製作的土地利用轉換矩陣資訊。

分類的排水資訊來源可能包括：

- 國家土地利用統計資料、土地利用和土壤地圖、水及自然的水資源管理保護區地圖、濕地。
- 國家水資源管理統計：在大多數國家，包括農田在內的農業用地通常會在亞國家等級下定期進行調查，提供關於不同土地用途，農作物，耕作方式和管理其他方面的數據。這些數據可能部分來自於遙感方法，從中可以得到關於濕潤季節或季節性淹水的額外資訊。
- 清單數據來自基於統計及繪圖採樣系統的有機土壤地表水、地下水位井及溝渠：地下水位在特定的永久測站上連續或定期監測。必須記錄的是，水資料代表了有機土壤中的地下水位、土地利用及排水層的數據，並且這些數據涵蓋了一個具代表性的時期，代表多年平均年度地下水位。
- 水管理計畫和水管理設施的文件。
- 排水地圖，包括遙感在內的排水或(部分)再濕潤工程地圖。

方法 1 計算方式：

估算排水有機土壤的土壤碳直接損失的方法如下：

步驟一：

確定每個土地利用類別下排水有機土壤的面積，按照上述的氣候領域和其他適當因素分類。就一級排放因數而言，如果必要的話，土地面積將進一步分層為營養豐富和營養貧乏的有機土壤。溫帶的營養豐富的草地進一步分層為淺層排水

和深層排水。

步驟二：

根據表 5.1 確定每種土地利用類別，氣候區域，營養狀況和排水類別層次的 CO₂ 年度損失的適當排放因數。

步驟三：

使用公式 5.3 將每個區域乘以適當的排放因數。

5.2.2.1.3.3 不確定性評估

在估算有機土壤排放和儲存方面存在三大不確定性來源：1) 土地利用、管理活動和環境數據的不確定性；2) 方法1與方法2的排放/吸收因數的不確定性；3) 方法3基於模型的模型結構/參數誤差，或基於測量的清單相關測量誤差/取樣變異性。一般來說，隨著土地利用類別的估計值越多，採樣越多，清單的精度就越高，信賴區間越小。透過實施納入特定國家資訊的更高層級方法，準確度可能因而提高。

5.2.2.2 內陸排水有機土壤因溶解碳損失的非現場二氧化碳排放

溶解碳包括DOC、POC、溶解的CO₂、甲烷氣體以及溶解的碳酸鹽物質(HCO₃⁻, CO₃²⁻)。有機土壤中的顆粒性無機碳(PIC)損失可以忽略不計。總體而言，溶解碳輸出可以代表有機土壤整體碳預算的主要部分，並且在某些情況下可以超過淨陸地與大氣CO₂交換量。因此，重要的是將溶解碳包括於通量(即增加減少)的土壤碳估算方法中，避免低估土壤碳損失。在土地利用導致土壤裸露的情況下，空氣中(侵蝕性)POC的損失可能也很大，但很少有量化數據。

5.2.2.2.1 方法選擇

公式5.4為估算與排水有機土壤溶解碳損失有關的年度非現場CO₂排放量的基本方法：

公式 5.4

公式 5.4

排水有機土壤損失溶解碳有關的全年非現場二氧化碳排放

$$CO_2-C_{DOC} = \sum_{c,n} (A \bullet EF_{DOC})$$

CO_2-C_{DOC} = 排水有機土壤損失溶解碳有關的全年非現場二氧化碳排放，tonnes C yr⁻¹

$A_{c,n}$ = 排水有機土壤在不同氣候域(c)、營養狀態(n)的各土地利用類別土地面積，ha

$EF_{DOC,c,n}$ = 排水有機土壤損失溶解態有關的全年非現場二氧化碳排放在不同氣候域(c)、營養狀態(n)的排放係數，tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

由於其他溶解碳通量組成的數據缺乏，且因為其來源和宿命的不確定性，與溶解碳相關的非現場CO₂排放量在此階段僅由DOC損失表示。但是如果將來有足夠的數據可用或者有用於更高層級的數據，清單編制者可以擴展公式5.4用以包含POC和/或DIC。

5.2.2.2.2 排放因數選擇

5.2.2.2.2.1 方法 1

測量結果顯示寒帶、溫帶和熱帶有機土壤間，天然DOC通量的明顯差異，因此方法1遵循基於氣候區的廣泛分類。根據不同氣候區進行的一系列研究數據，目前對所有有機土壤/土地利用類別都提出了一個 $\Delta DOC_{DRAINAGE}$ 的預設值。許多科學證據表示，水域生態系統中有機土壤衍生的DOC大部分會轉化為CO₂，在此基礎上建議的預設Frac_{DOC-CO2}值為0.9(± 0.1)。

5.2.2.2.2.2 方法 2

評估DOC的方法2可遵循上面所述的方法1，但應盡可能使用國家特定的資訊來改進所使用的排放因數。在數據支持的情況下可能的改進如下：

- 使用來自天然(未經排水)有機土壤的國家級測量數據，以獲得該國 $DOC_{FLUX_NATURAL}$ 的準確數值。例如建立上升沼澤、泥澤與覆蓋沼澤的特定值。
- 使用有機土壤排水對 DOC 通量影響的國家級數據，推導得出反映當地有機土壤類型、排水作法和隨後土地利用性質的 $DOC_{DRAINAGE}$ 的具體數值。如果有充足、穩定且直接的測量結果，則可用這些測量值來估算排水地點的 DOC 通量，代替公式 2.5 中的 $DOC_{FLUX_NATURAL}$ 。在數據支持這種分層水準的情況下，也可以考慮來自不同土地利用類別的排水有機土壤的特定 DOC 通量估算值。
- 使用 $Frac_{DOC-CO_2}$ 的替代值，其中有證據可用於估算從排水有機土壤中輸出 DOC 轉化為穩定的長期碳儲存（如湖泊或海洋沉積物）的 DOC 比例。

公式 5.5

公式 5.5

排水有機土壤溶解碳流失造成全年二氧化碳排放的排放係數

$$EF_{DOC} = DOC_{FLUX_NATURAL} \bullet (1 + \Delta DOC_{DRAINAGE}) \bullet Frac_{DOC-CO_2}$$

EF_{DOC} = 排水地點溶解碳排放係數，tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

$DOC_{FLUX_NATURAL}$ = 自然(無排水)地點的溶解性有機碳通量，tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

$\Delta DOC_{DRAINAGE}$ = 排水地點相對於不排水地點的溶解性有機碳通量增加比例

$Frac_{DOC-CO_2}$ = 溶解態有機碳從現場輸出後轉換為二氧化碳的轉換係數

5.2.2.2.2.3 方法 3

方法3可能包括使用更詳細的數據，來發展和應用描述DOC釋放作為植被組成、營養水準、土地利用類別、地下水位和水文的函數過程模型，以及DOC在土地利用變化(例如初始排水)及持續管理活動(例如排水維護與森林管理)之後幾年時間變化後的釋放。

5.2.2.2.3 活動資料選擇

5.2.2.2.3.1 方法 1

活動資料由排水有機土壤的土地利用類別中各土地面積組成，總結為有機土壤類型、氣候區和土地利用類型(特別是排水的發生)。總面積應根據IPCC 2006年指導原則中規定的方法確定，並應與清單其他部分的報告一致。還需要與現地CO₂排放的活動資料一致。對於寒帶和溫帶上升沼澤與泥澤，年平均降雨量的其他數據可用於改進排放量估算，如表5.2所示。

表 5.2 排水有機土壤溶解態有機碳的預設排放係數

氣候區	DOC _{FLUX_NATURAL} (t C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	ΔDOC _{DRAINAGE} ^a	Frac _{DOC-CO₂}	EF _{DOC_DRAINED} (t C ha ⁻¹ yr ⁻¹)
寒帶	0.08 (0.06–0.11)	0.60 (0.43–0.78)	0.9 (± 0.1)	0.12 (0.07–0.19)
溫帶	0.21 (0.17–0.26)			0.31 (0.19–0.46)
熱帶	0.57 (0.49–0.64)			0.82 (0.56–1.14)

5.2.2.2.3.2 方法 2 與方法 3

對於更高層次的方法，活動資料的額外要求可能包括排水有機土壤有關的土地利用類型以及排水強度等具體資訊。在國家尺度或國家內使用變動Frac_{DOC-CO₂}值需要下游河川網路的特徵資訊(水滯留時間、湖泊及水庫範圍、湖泊沉積速率)。方法3的建模方式包括排水時間、排水維護和土地管理(例如森林管理、化肥施用率對DOC生產的影響)的其他資訊。

方法 1 計算步驟

估算排水有機土壤碳排放量的步驟如下：

步驟一：

根據以上所述的氣候域和其他適當因素，確定每種土地利用類別下，排水有機土壤土地維持相同利用類別的土地面積。

步驟二：

用表 2.2 為每個土地利用類別和氣候域的 $DOC_{FLUX-NATURAL}$ 、 $DOC_{FLUX_NATURAL}$ 、 $FracDOC-CO_2$ 分配適當的值。

步驟三：

使用公式 2.5 計算每種土地利用類別的 EF_{DOC} 。

步驟四：

將活動資料乘以每個土地利用類別的排放因數，並總和所有土地利用類別之和。

5.2.2.2.3.3 不確定性評估

估算非現場排放和儲存時，存在三大不確定性來源：1) 土地利用、管理活動和環境數據的不確定性；2) 方法1和2的排放/吸收因數的不確定性；3) 以 CO_2 排放的部分DOC的不確定性。一般而言，要使清單的精準度增加、信賴區間縮小，可採更多樣來估計這些類別的值。而透過納入特定國家資訊的更高層級方法，準確度可能再提高。

5.2.2.3 內陸排水有機土壤的非二氧化碳排放與儲存

在IPCC 2006年指導原則中，假定所有排水有機土壤的 CH_4 排放可以忽略不計。然而，最近的研究顯示，一些 CH_4 排放可能來自排水後的地表以及排水過程中建造的溝渠網絡。

5.2.2.3.1 內陸排水有機土壤的甲烷排放與儲存

在IPCC 2006年指導原則中，假定所有排水有機土壤的 CH_4 排放可以忽略不計。然而，最近的研究顯示，一些 CH_4 排放可能來自排水後的地表以及排水過程中建造的溝渠網絡。

5.2.2.3.1.1 方法選擇

5.2.2.3.1.1.1 方法 1

根據氣候和土地利用類型，使用簡單的排放因數(見公式5.6)估算地表CH₄排放。預設方法是考慮寒帶、溫帶和熱帶氣候，以及營養豐富/缺乏的有機土壤。不同的土地用途意味著不同深度的排水。CH₄排放因數取決於氣體流量測量，無論是來自於密閉氣罩還是(地面排放)渦流協變性法。溝渠CH₄排放量應該針對任何有溝渠或排水渠的排水有機土壤區域進行量化。在溝渠仍然存在的再濕潤有機土壤中，CH₄也能從溝渠排放，儘管在方法1中假定這種通量等於來自再濕潤地點的其餘部分。溝渠CH₄排放量的估算需要關於土地利用類別和排水溝渠網路所佔用面積的資訊，即Frac_{ditch}。

5.2.2.3.1.1.2 方法 2

估算排水有機土壤CH₄排放的方法2，將特定國家的資訊納入公式5.6。方法2計算程序步驟與方法1相同。在方法2下，排水有機土壤表面CH₄排放因數可以透過排水深度、土地利用子類別或植被類型(例如可以將土壤中CH₄轉運至大氣中的植物是否存在)進一步分層。

排水溝渠CH₄排放的方法2，一般遵循上述方法1中具體國家測量或年平均溝渠CH₄排放量的估算，以及反映當地排水操作的國家/地區部分溝渠面積估算。表5.4中的土地利用子類別可酌情擴大或細分，以反映在排水有機土壤中觀察到的土地利用範圍。

公式 5.6

$$CH_4_{organic} = \sum_{c,n,p} \left(A_{c,n,p} \cdot \left((1 - Frac_{ditch}) \cdot EF_{CH_4_{land_{c,n}}} + Frac_{ditch} \cdot EF_{CH_4_{ditch_{c,p}}} \right) \right)$$

- $CH_4_{organic}$ = 排水有機土壤的全年甲烷排放量，kg CH₄ yr⁻¹
- $A_{c,n,p}$ = 各土地利用類型排水有機土壤在不同氣候域(c)、營養狀態(n)和土壤類型(p)的土地面積，ha
- $EF_{CH_4_{land_{c,n}}}$ = 排水有機土壤在不同氣候域(c)和營養狀態(n)甲烷直接排放的排放係數，kg CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹
- $EF_{CH_4_{ditch_{c,p}}}$ = 排水溝渠在不同氣候域(c)和土壤類型(p)甲烷直接排放的排放係數，kg CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹
- $Frac_{ditch}$ = 溝渠佔排水有機土壤總面積的比例。溝渠面積可以計算為溝渠寬度乘以其總長度。溝渠岸邊垂直下切時，寬度為兩岸距離；溝渠岸坡傾斜時，寬度則計算為開闊水域的平均寬度加上任何飽和水狀態濱岸植被。

5.2.2.3.1.1.3 方法 3

估算排水有機土壤CH₄排放量的方法3，涉及全面了解和管理泥炭地及有機土壤CH₄排放和儲存的動態，包括地點特色、泥炭/土壤類型、泥炭降解和深度、土地利用強度、排水深度、管理系統以及新鮮有機物質輸入。對於排水溝渠的CH₄排放，方法3的制定可以考慮到土地管理活動(如農田添加有機物質)對溝渠中CH₄生產基質供應的影響，溝渠也可能受到短期擾動、土地利用變化以及過去土地利用遺留(如營養豐富的土壤)影響到CH₄的排放。關於排水溝渠特性和維持的資訊可用於改善溝渠CH₄排放的估算，例如考慮到：1) 溝渠內植物或藻類生長的潛在影響；2) 農田和草地中存在地下排水系統；3) 水流量、輸送長度和氧氣狀態；4) 溝渠維修活動；5) 從溝渠中儲存的有機物質沉積到鄰近區域。

5.2.2.3.1.2 排放因數選擇

5.2.2.3.1.2.1 方法 1

表5.3提供了EF_{CH₄_land}方法1的預設排放因數，表5.4則提供了EF_{CH₄_ditch}。

EF_{CH₄_land}來自每個土地利用類別內所有數據的平均值，通常來自密閉氣罩測量，參考文獻見表5.3。目前文獻的數據足以為寒帶和溫帶地區四種主要土地利用類別（森林、草地、農田和用於泥炭開採的濕地）提供EF_{CH₄_ditch}的方法1預設值（表5.4）。熱帶有機土壤的溝渠CH₄排放，目前數據有限，因此為各土地利用類別提供單一的方法1排放因數。

5.2.2.3.1.2.2 方法 2

方法2排放因數EF_{CH₄_land}可能基於排水有機土壤表面CH₄排放的國家或地區特定排放因數。可以透過排水類別、營養狀態或植被特色將土地利用類別分層。提供的方法1排放因數EF_{CH₄_ditch}是基於有機層內溝渠的測量結果。地下排水系統可能代表農地和草地CH₄排放的其他來源，只要有適當的測量數據可供參考，可以納入方法中。鼓勵各國為重要的土地利用類別更新測量數據，來改進當前的資料庫，並制定國家特定的方法2排放因數。在環境條件和管理相似的情況下，各國之間互享數據可能是適當的。

5.2.2.3.1.2.3 方法 3

排水有機土壤CH₄排放的方法3，可能包括了更進一步的細節和過程，或獲得CH₄排放的季節性動態，以作為分層的附加要素或進行動態模擬。排水溝渠CH₄排放的方法3可能使用更詳細數據(排水溝渠特性/維護功能)來發展和應用流程模型，例如考慮到：1) 溝渠內藻類或植物生長的潛在影響；2) 水流量、水輸送長度與氧氣狀態；3) 溝渠維護活動；4) 從溝渠中儲存的有機物質沉積至鄰近陸地區域。方法3估算CH₄排放可以考慮水文條件、不穩定基質/營養供應和溝內植被組成的時間變化，這些可能會提高或降低排放率。

表 5.3 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層級甲烷排放/吸收係數
(EF_{CH₄}_LAND)

表 5.3 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層級甲烷排放/吸收係數(EF _{CH₄} _LAND)						
土地利用類別	氣候/植被帶	排放係數 (kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% 信賴區間 (以平均為中心)		測站數	引用/註釋
林地， 排水	營養缺乏 寒帶	7.0	2.9	11	47	Komulainen <i>et al.</i> , 1998; Lohila <i>et al.</i> , 2011; Maljanen <i>et al.</i> , 2006; Martikainen <i>et al.</i> , 1992, 1993, 1995b; Minkinen & Laine, 2006; Minkinen <i>et al.</i> , 2007a; Nykänen <i>et al.</i> , 1998; Ojanen <i>et al.</i> , 2010, 2013
	營養豐富 寒帶	2.0	-1.6	5.5	83	Komulainen <i>et al.</i> , 1998; Laine <i>et al.</i> , 1996; Maljanen <i>et al.</i> , 2001b, 2003b, 2006; Makiranta <i>et al.</i> , 2007; Martikainen <i>et al.</i> , 1992, 1995b; Minkinen & Laine, 2006; Minkinen <i>et al.</i> , 2007a; Nykänen <i>et al.</i> , 1998; Ojanen <i>et al.</i> , 2010, 2013
林地，排水	溫帶	2.5	-0.60	5.7	13	Glenn <i>et al.</i> , 1993; Moore & Knowles, 1990; Sikström <i>et al.</i> , 2009; von Arnold <i>et al.</i> , 2005a, b; Weslien <i>et al.</i> , 2009; Yamulki <i>et al.</i> , 2013
林地和砍伐林地 (灌木叢)，排水	熱帶/亞熱帶	4.9	2.3	7.5	7	Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Hirano <i>et al.</i> , 2009; Jauhainen <i>et al.</i> , 2008
森林種植園，排水	熱帶/亞熱帶	2.7	-0.9	6.3	5	Basuki <i>et al.</i> , 2012; Jauhainen <i>et al.</i> , 2012c
植被：油棕	熱帶/亞熱帶	0	0	0	1	Melling <i>et al.</i> , 2005b
植被：西米棕櫚	熱帶/亞熱帶	26.2	7.2	45.3	6	Inubushi <i>et al.</i> , 1998; Melling <i>et al.</i> , 2005b; Watanabe <i>et al.</i> , 2009
農地，排水	寒帶和溫帶	0	-2.8	2.8	38	Augustin, 2003; Augustin <i>et al.</i> , 1998; Drösler <i>et al.</i> , 2013; Elsgaard <i>et al.</i> , 2012; Flessa <i>et al.</i> , 1998; Kasimur-Klemetsson <i>et al.</i> , 2009; Maljanen <i>et al.</i> , 2003a, b, 2004, 2007; Petersen <i>et al.</i> , 2012; Regina <i>et al.</i> , 2007; Taft <i>et al.</i> , 2013
農地	熱帶/亞熱帶	7.0	0.3	13.7	5	Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Hirano <i>et al.</i> , 2009

表 5.3(續) 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層級甲烷排放/吸收係數
(EF_{CH₄}_LAND)

表 5.3(續) 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層級甲烷排放/吸收係數(EF _{CH₄} _LAND)						
土地利用類別	氣候/植被帶	排放係數 (kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% 信賴區間 (以平均為中心)		測站數	引用/註釋
水稻	熱帶/亞熱帶	143.5	63.2	223.7	6	Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Hadi <i>et al.</i> , 2005; Inubushi <i>et al.</i> , 2003
草地，排水	寒帶	1.4	-1.6	4.5	12	Grönlund <i>et al.</i> , 2006; Guðmundsson & Óskarsson, 2008; Hyvönen <i>et al.</i> , 2009; Maljanen <i>et al.</i> , 2001b, 2003b, 2004, 2010b, c; Nykänen <i>et al.</i> , 1995; Regina <i>et al.</i> , 2007
草地，排水， 營養缺乏	溫帶	1.8	0.72	2.9	9	Drösler <i>et al.</i> , 2013; Kasimur-Klemetsson <i>et al.</i> , 2009; van den Bos, 2003
草地，深層排水， 營養豐富	溫帶	16	2.4	29	44	Augustin <i>et al.</i> , 1996; Best & Jacobs, 1997; Drösler <i>et al.</i> , 2013; Flessa & Beese, 1997; Flessa <i>et al.</i> , 1998; Jacobs <i>et al.</i> , 2003; Kroon <i>et al.</i> , 2010; Langeveld <i>et al.</i> , 1997; Meyer <i>et al.</i> , 2001; Nykänen <i>et al.</i> , 1995; Petersen <i>et al.</i> , 2012; Schrier-Uijl <i>et al.</i> , 2010a, b; Teh <i>et al.</i> , 2011; van den Bos, 2003; van den Pol-van Dasselaar <i>et al.</i> , 1997; Wild <i>et al.</i> , 2001
草地，淺層排水， 營養豐富	溫帶	39	-2.9	81	16	Augustin, 2003; Drösler <i>et al.</i> , 2013; Jacobs <i>et al.</i> , 2003; van den Pol-van Dasselaar <i>et al.</i> , 1997
草地	熱帶/亞熱帶	7.0	0.3	13.7	5	Same emission factor as tropical Cropland
泥炭萃取	寒帶和溫帶	6.1	1.6	11	15	Hyvönen <i>et al.</i> , 2009; Nykänen <i>et al.</i> , 1996; Strack & Zuback, 2013; Sundh <i>et al.</i> , 2000; Tuittila <i>et al.</i> , 2000; Waddington & Day, 2007
居住地	所有氣候區	There is no fixed default emission/removal factor for Settlements. For this category, it is <i>good practice</i> to take the default emission/removal factor from Table 2.3 of the land-use category that is closest to national conditions of drained organic soils under Settlements. Information about national conditions could include drainage level, vegetation cover or other management activities. For example, drained organic soils in urban green areas, parks or gardens could use the default Tier 1 emission/removal factor for Grassland, deep-drained given in Table 2.3.				
其他土地	所有氣候區	Other Land Remaining Other Land: 0 Land Converted to Other Land: maintain emission factor for previous land-use category				

5.2.2.3.1.3 活動資料選擇

5.2.2.3.1.3.1 方法 1

使用相同的活動資料來估算排水有機土壤的CO₂、N₂O及CH₄排放量是一個較佳的作法。估算排水溝渠CH₄排放量的方法1所需的活動資料包括按土地利用類別分層（林地，草地，農田和用於泥炭開採的濕地）的排水有機土壤面積，如表5.4所示。已發表研究中紀錄的部分溝渠面積，已被用來提供表5.4中土地利用類別的指標性Frac_{ditch}值。但應該注意的是，這些比例可能因為國家而有所不同，因此盡可能根據當地土地利用習慣，來發展部分國家特定的活動資料。這部分溝渠面積可能取決於地形情況和有機土壤屬性，而不僅僅依靠土地利用類別。可以透過溝渠和渠道網絡的空間明確資訊來計算部分溝渠面積。有機土壤溝渠面積可以從溝渠的長度寬度或溝渠的間距來導出。透過將有機土壤上溝渠面積除以有機土壤排水面積，可將這些幾何資訊轉換為部分溝渠面積。

5.2.2.3.1.3.2 方法 2 與方法 3

較高層級方法所需要的活動資料可能包括更詳細的土地利用資訊，特別是草地和農地類別內的土地利用強度。高層方法的活動資料可能在空間上是明確的，由不同森林類型，泥炭開採，生產系統，園藝和種植園管理的排水有機土壤區域組成，根據有機土壤的營養狀況進行分類。

為了估算排水溝渠的CH₄排放量，需要在每個土地利用類別中的部分溝渠區域提供額外的活動資料。部分溝渠區域的國家特定值用於反映排水方法，如預設的溝渠間距、深度、寬度、長度、維護（如植被清除）和土地利用方式。根據有機土壤類型、地形情況、泥炭/土壤性質和土地利用情況，部分溝渠區域可以進行分層。

排水溝渠CH₄排放的活動資料可納入地下水位、變異性(如水的季節性管理制度)、流速、溝渠內植被和土地利用因數影響CH₄生成基質供應的其他資訊，例如牲畜密度、集約草地和農田的施肥。納入季節性和短期的排放控制措施，

需要有關農業活動(如有機質添加)的性質、時間和水文參數的額外活動資料。

方法 1 計算步驟

估算排水有機土壤 CH₄ 排放量的步驟如下：

步驟一：

確定每個土地利用類別下，排水有機土壤的面積，按照上述氣候域和其他適當因素分類，與排水有機土壤現場排放估計的方法一樣。如果方法 1 需要，陸地區域進一步分層為營養豐富與貧乏的有機土壤。溫帶營養豐富的草地進一步分層為淺層和深層排水。

步驟二：

使用國家統計數據為溝渠覆蓋的部分區域分配適當的值。如果統計數據不可用，表 2.4 中提供了適當的預設值。

步驟三：

分別從表 5.3 和表 5.4 中分配合適的排放因數值($EF_{CH_4_land}$ 、 $EF_{CH_4_ditch}$)。

步驟四：

使用方程式 2.6 將每個區域乘以適當的排放因數，並將土地利用類別相加。

表 5.4 排水溝渠的預設甲烷排放係數

氣候區	土地利用	$EF_{CH_4, ditch}$ (kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Uncertainty range ^a (kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	測站數	Frac _{ditch}	引用
寒帶和溫帶	排水林地 排水濕地	217	41–393	11	0.025	Cooper & Evans, 2013; Glagolev <i>et al.</i> , 2008; Minkinen & Laine, 2006 (two study areas); Roulet & Moore, 1995 (three study areas); Sirin <i>et al.</i> , 2012 (three study areas); von Arnold <i>et al.</i> , 2005b
	淺層排水 草地	527	285–769	5	0.05	Best & Jacobs, 1997; Hendriks <i>et al.</i> , 2007, 2010; McNamara, 2013; van den Pol-van Dasselaar <i>et al.</i> , 1999a; Vermaat <i>et al.</i> , 2011
	深層排水 草地 農地	1165	335–1995	6	0.05	Best & Jacobs, 1997; Chistotin <i>et al.</i> , 2006; Schrier-Uijl <i>et al.</i> , 2010b, 2011; Sirin <i>et al.</i> , 2012; Teh <i>et al.</i> , 2011; Vermaat <i>et al.</i> , 2011
	泥炭萃取	542	102–981	6	0.05	Chistotin <i>et al.</i> , 2006; Hyvönen <i>et al.</i> , 2013; Nykänen <i>et al.</i> , 1996; Sirin <i>et al.</i> , 2012; Sundh <i>et al.</i> , 2000; Waddington & Day, 2007
熱帶	排水 所有土地 利用類型	2259	599–3919 ^d	2	0.02	Jauhiainen & Silvennoinen, 2012 (drained and abandoned, and pulpwood plantations)

5.2.2.3.1.3.3 不確定性評估

排水有機土壤 CH₄ 排放的不確定性來源主要是活動資料，包括溝渠覆蓋的排水面積比例和排放因數的相關訊息。表 5.3 列出了每種有機土壤/土地利用類別的 $EF_{CH_4, ditch}$ 值。表 5.3 中的不確定性範圍表示為 95%信賴區間或標準誤差，具體取決於可用的研究數量。這些值不確定性的主要來源是許多基於方法 1 來估算的研究太少，以及在某些類別內進行不同研究所測得通量有高度異質性。

5.2.2.3.2 內陸排水有機土壤的氧化亞氮排放

土壤中的 N₂O 是透過硝化及脫氮作用的微生物過程產生的。這些過程受多種因素控制，包括孔隙水、溫度、礦物氮濃度。排水有機土壤排放大量的 N₂O，

而濕潤有機土壤的排放則趨近於零。

5.2.2.3.2.1 方法選擇

5.2.2.3.2.1.1 方法 1

本節介紹估算排水有機土壤 N₂O 直接排放的方程式，如公式 5.7 所示。該方程式用於估算特定土地利用類別的 N₂O，但沒有足夠的數據可用於發展透過特定條件變量(例如排水深度變化)修改的排放因數。方程 11.1 和 11.2 已經修改包括了北半球氣候區的變量，也加入了 F_{OS,CG,Bor,NR}，F_{OS,CG,Bor,NP}，F_{OS,F,Bor,NR} 和 F_{OS,F,Bor,NP}(下標 CG，F，Bor，NR 和 NP 分別指農田和草地，林地，寒帶林，營養豐富和營養貧乏)和它們各自的排放因數。

公式 5.7

公式 5.7

排水有機土壤的氧化亞氮直接排放

$$N_2O - N_{OS} = \left[\begin{aligned} &(F_{OS,CG,Bor} \cdot EF_{2CG,Bor}) + (F_{OS,CG,Temp} \cdot EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} \cdot EF_{2CG,Trop}) + \\ &(F_{OS,F,Bor,NR} \cdot EF_{2F,Bor,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NR} \cdot EF_{2F,Temp,NR}) + \\ &(F_{OS,F,Bor,NP} \cdot EF_{2F,Bor,NP}) + (F_{OS,F,Temp,NP} \cdot EF_{2F,Temp,NP}) + (F_{OS,F,Trop} \cdot EF_{2F,Trop}) \end{aligned} \right]$$

N₂O-N_{OS} = 排水有機土壤全年的氧化亞氮直接排放，kg N₂O-N yr⁻¹

F_{OS} = 年排水有機土壤面積，ha (CG：農地和草地、F：林地、Temp：溫帶、Trop：熱帶、NR and NP：營養豐富及營養缺乏)

EF₂ = 排水有機土壤的氧化亞氮排放係數，kg N₂O-N ha⁻¹ yr⁻¹

5.2.2.3.2.1.2 方法 2

方法 2 估算將基於方法 1 的公式 5.7，但使用到國家或地區特定的排放因數。可以透過排水類別、土壤營養狀況或其他用於有機土壤 N₂O 直接排放的標準來進一步分層。相應的排放因數是國家或地區特定的，並且要考慮到土地管理系統。方法 2 可以遵循方法 1 的假設，即有機質降解產生的氮礦化量超過氮輸入量，因此測得的 N₂O 排放量全部歸屬於排水有機土壤。

5.2.2.3.2.1.3 方法 3

方法 3 可以將排水有機土壤中的 N_2O 排放量分別歸因於泥炭/有機物質的礦化量、化肥/作物殘留物/有機改良劑的氮輸入。歸因可以取決於施肥後的 N_2O 峰值排放量，或從 N_2O 總排放量中減去肥料排放因數。排水有機土壤的氮礦化可以透過 $\text{CO}_2\text{-C}$ 排放及表層土壤 C/N 比來估算，這個值可以用來預測 N_2O 的排放量。

方法 3 基於模型建立或測量方法。模型可以模擬控制 N_2O 排放量變化/規模的土壤和環境變量之間的關係。

5.2.2.3.2.2 排放因數選擇

5.2.2.3.2.2.1 方法 1

IPCC 2006 年指導原則提供了依土地利用類型或氣候區分類的排放因數。科學數據的可取得性改進預設排放因數的選擇(表 5.5)。預設的排放因數來自每個土地利用類型內所有數據的平均，通常來自於罩蓋測量。不確定性範圍計算為 95%信賴區間，參考文獻如表 5.5。

5.2.2.3.2.2.2 方法 2

方法 2 的排放因數可能是基於排水有機土壤表面 N_2O 排放的國家或地區特定排放因數。可以透過排水類別、營養狀況或植被特徵進一步分類土地利用類別。鼓勵各國為重要的土地利用類別量測新數據，以改進當前的資料庫，並編製國家特定的二級排放因數。在環境條件和管理相似的情況下，各國之間共享數據可能是適當的。

表 5.5 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層級氧化亞氮直接排放/吸收係數

土地利用類別		氣候/植被帶	排放係數 (kg N ₂ O-N ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% 信賴區間		測站數	引用/註釋
林地，排水	營養缺乏	寒帶	0.22	0.15	0.28	43	Lohila <i>et al.</i> , 2011; Majanen <i>et al.</i> , 2006; Martikainen <i>et al.</i> , 1993, 1995a; Ojanen <i>et al.</i> , 2010, 2013; Regina <i>et al.</i> , 1996
	營養豐富	寒帶	3.2	1.9	4.5	75	Ernfors <i>et al.</i> , 2011; Makiranta <i>et al.</i> , 2007; Majanen <i>et al.</i> , 2001b, 2003a, 2006, 2010a; Martikainen <i>et al.</i> , 1993, 1995a; Ojanen <i>et al.</i> , 2010, 2013; Pihlatie <i>et al.</i> , 2004; Regina <i>et al.</i> , 1998; Saari <i>et al.</i> , 2009
林地，排水		溫帶	2.8	-0.57	6.1	13	Sikström <i>et al.</i> , 2009; von Arnold <i>et al.</i> , 2005a, b; Weslien <i>et al.</i> , 2009; Yamulki <i>et al.</i> , 2013
林地和砍伐林地 (灌木叢)，排水		熱帶/亞熱帶	2.4	1.3	3.5	10	Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Jauhainen <i>et al.</i> , 2012b; Takakai <i>et al.</i> , 2006
植被：油棕		熱帶/亞熱帶	1.2	n.a.	n.a.	1	Melling <i>et al.</i> , 2007b
植被：西米棕櫚		熱帶/亞熱帶	3.3	n.a.	n.a.	1	Melling <i>et al.</i> , 2007b
農地，排水		寒帶和溫帶	13	8.2	18	36	Augustin <i>et al.</i> , 1998; Drösler <i>et al.</i> , 2013; Elsgaard <i>et al.</i> , 2012; Flessa <i>et al.</i> , 1998; Kasimir-Klemetsson <i>et al.</i> , 2009; Majanen <i>et al.</i> , 2003a, b, 2004, 2007; Petersen <i>et al.</i> , 2012; Regina <i>et al.</i> , 2004; Taff <i>et al.</i> , 2013
農地，除了稻作		熱帶/亞熱帶	5.0	2.3	7.7	8	Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Jauhainen <i>et al.</i> , 2012b; Takakai <i>et al.</i> , 2006
稻作		熱帶/亞熱帶	0.4	-0.1	0.8	6	Furukawa <i>et al.</i> , 2005; Hadi <i>et al.</i> , 2005; Inubushi <i>et al.</i> , 2003
草地，排水		寒帶	9.5	4.6	14	16	Gronlund <i>et al.</i> , 2006; Hyvönen <i>et al.</i> , 2009; Jaakkola, 1985; Majanen <i>et al.</i> , 2001b, 2003a, 2004, 2009, 2010b; Nykänen <i>et al.</i> , 1995; Regina <i>et al.</i> , 1996, 2004
草地，排水，營養缺乏		溫帶	4.3	1.9	6.8	7	Drösler <i>et al.</i> , 2013; Kasimir-Klemetsson <i>et al.</i> , 2009

表 5.5(續) 所有土地利用類別排水有機土壤的第一層級氧化亞氮直接排放/吸收係數

土地利用類別	氣候/植被帶	排放係數 (kg N ₂ O-N ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% 信賴區間		測站數	引用/註釋
草地，深層排水， 營養豐富	溫帶	8.2	4.9	11	47	Augustin & Merbach, 1998; Augustin <i>et al.</i> , 1996, 1998; Drösler <i>et al.</i> , 2013; Flessa & Beese, 1997; Flessa <i>et al.</i> , 1998; Jacobs <i>et al.</i> , 2003; Kroon <i>et al.</i> , 2010; Langeveld <i>et al.</i> , 1997; Meyer <i>et al.</i> , 2001; Nykänen <i>et al.</i> , 1995; Petersen <i>et al.</i> , 2012; Teh <i>et al.</i> , 2011; van Beek <i>et al.</i> , 2010; Velthof <i>et al.</i> , 1996; Wild <i>et al.</i> , 2001
草地，淺層排水， 營養豐富	溫帶	1.6	0.56	2.7	13	Drösler <i>et al.</i> , 2013; Jacobs <i>et al.</i> , 2003
草地	熱帶/亞熱帶	5.0	2.3	7.7	8	The emission factor for tropical Cropland can be used
泥炭地，管理萃取	寒帶和溫帶	0.30	-0.03	0.64	4	Hyvönen <i>et al.</i> , 2009; Nykänen <i>et al.</i> , 1996; Regina <i>et al.</i> , 1996
泥炭地，管理萃取	熱帶/亞熱帶	3.6	0.2–5.0			Emission factors from Table 7.6 of Chapter 7, Volume 4 of the 2006 IPCC Guidelines can be used.
居住地	所有氣候區	There is no fixed default emission/removal factor for Settlements. For this category, it is <i>good practice</i> to take the default emission/removal factor from Table 2.5 of the land-use category that is closest to national conditions of drained organic soils under Settlements. Information about national conditions could include drainage level, vegetation cover or other management activities. For example, drained organic soils in urban green areas, parks or gardens could use the default Tier 1 emission/removal factor for Grassland, deep-drained given in Table 2.5.				
其他土地	所有氣候區	Other Land Remaining Other Land: 0 Land Converted to Other Land: maintain emission factor of previous land-use category				

5.2.2.3.2.2.3 方法 3

方法 3 的排放因數/關係基於特定國家的排放數據和模型進行管理操作的校準，例如：1) 排水強度；2) 作物、牲畜或森林類型；3) 肥料或有機物質添加；4) 泥炭開採技術；5) 泥炭開採階段或 N₂O 排放的其他相關因素。

5.2.2.3.2.3 活動資料選擇

5.2.2.3.2.3.1 方法 1

N₂O 活動資料使用與 CO₂ 和 CH₄ 一致的土壤排放活動資料是個好的作法。

5.2.2.3.2.3.2 方法 2 與方法 3

更高層級方法所需的活動資料可能包括更多關於土地利用的詳細訊息，特別是草地和農田類別內的土地利用強度。如果有足夠的數據可用於估計排放因數，其他類別可能需要進一步分層。

方法 1 計算步驟

估算排水有機土壤 N₂O 排放量的步驟如下：

步驟一：

根據上述氣候域和其他適當因素分類，確定每種土地利用類別下排水有機土壤的面積。如果方法 1 排放因數需要，進一步分層為營養豐富和貧乏的土壤。溫帶營養豐富的草地進一步分層為淺層排水及深層排水。

步驟二：

針對每種土地利用類別、氣候域、營養狀況和排水類別分層，為表 2.5 中的 EF₂ 分配適當的值。

步驟三：

根據公式 2.7 將每種土地利用類別的排放因數乘與活動資料。

5.2.2.3.2.3.3 不確定性評估

排水有機土壤 N₂O 直接排放的估算不確定性是由與排放因數有關的不確定性引起（關於不確定性範圍見表 2.5），包括溫度與降水的年際變動、活動資料、缺乏測量的覆蓋範圍、空間聚集與缺乏對特定農田的管理訊息。

5.2.2.3.3 內陸排水有機土壤火災造成的二氧化碳/非二氧化碳排放

火災可能是溫室氣體的變動和大量來源，並會明顯影響氣候系統內的其他反饋。與地上植被的燃燒相比，不受控制的野火和有機(泥炭)土壤管理的火災，排放量相當高。在有機土壤火災中，分為消耗植被、垃圾的表面火災以及燃燒到地表下的地面火災。地面火災消耗土壤有機質和枯木作為燃料來源。這是可以持續很長一段時間的悶燒火災，反應不斷變化的土壤濕度和水文，並滲透到不同深度。本節討論到的是土壤有機物質燃燒產生的排放。

IPCC 2006 年指導原則涵蓋了地上碳儲量(生物量和死有機質)燃燒產生的排放量，但未涵蓋有機土壤燃燒排放的大量釋放。在有機土壤的所有管理土地上報告火災引起的溫室氣體排放，是好的作法，包括所有與自然火災有關的火災排放物和人為原因(如土壤排水)導致的排放物，即使火災發生的本質上是非人為的(如雷擊)。

5.2.2.3.3.1 方法選擇

計算燃燒有機土壤產生的 CO₂ 和非 CO₂ 排放量所需的參數為燃燒面積、可供消耗的燃料量、燃燒因數(也稱為燃燒效率，可用於表示悶燒或燃燒)和排放因數。與植被火災相比，估算有機土壤火災排放所涉及的不確定性更高，因為有機土壤可以反覆燃燒並且深度不一。此外，土壤有機物質的類型、密度和燃燒效率將決定排放氣體和其他化合物的性質。燃燒因數描述了火災事件期間有多少實際被消耗的燃料量，即被轉換為 CO₂ 或非 CO₂ 氣體。排放因數(Gef)決定每單位燃料燃燒所排放的 CO₂ 或非 CO₂ 氣體的質量(例如 g CO₂/kg dry fuel)。CO₂ 或非 CO₂ 氣體的總排放量由燃燒區域相應的生物量負載、燃燒因數和排放因數計算得。

表 5.6 和表 5.7 提供了方法 1 的預設值或方法 2 的部分組成。對於更高層級，併入可獲得燃料量變化的數據(根據現場或區域特定數據，包括有機土壤燃燒面積、有機土壤深度、燃燒深度和/或地下水位深度/土壤濕度和土壤密度)。

圖 5.2 提供了一個決策樹，指導選擇合適的層級來報告有機土壤燃燒產生的 CO₂ 和非 CO₂ 排放。

公式 5.8

公式 5.8 有機土壤火災造成的全年二氧化碳及非二氧化碳排放 $L_{fire} = A \bullet M_B \bullet C_f \bullet G_{ef} \bullet 10^{-3}$
--

L_{fire} = 二氧化碳或非二氧化碳排放，例如：火災的甲烷排放，tonnes

A = 火災燃燒總面積，ha

M_B = 可用於燃燒的燃料量，tonnes ha⁻¹ (舉例：乾燥有機土壤燃料量)(表2.6中的預設值，單位因氣體種類而異)

C_f = 燃燒係數，無單位

G_{ef} = 不同氣體的排放係數，g kg⁻¹ dry matter burnt(表2.7中的預設值)

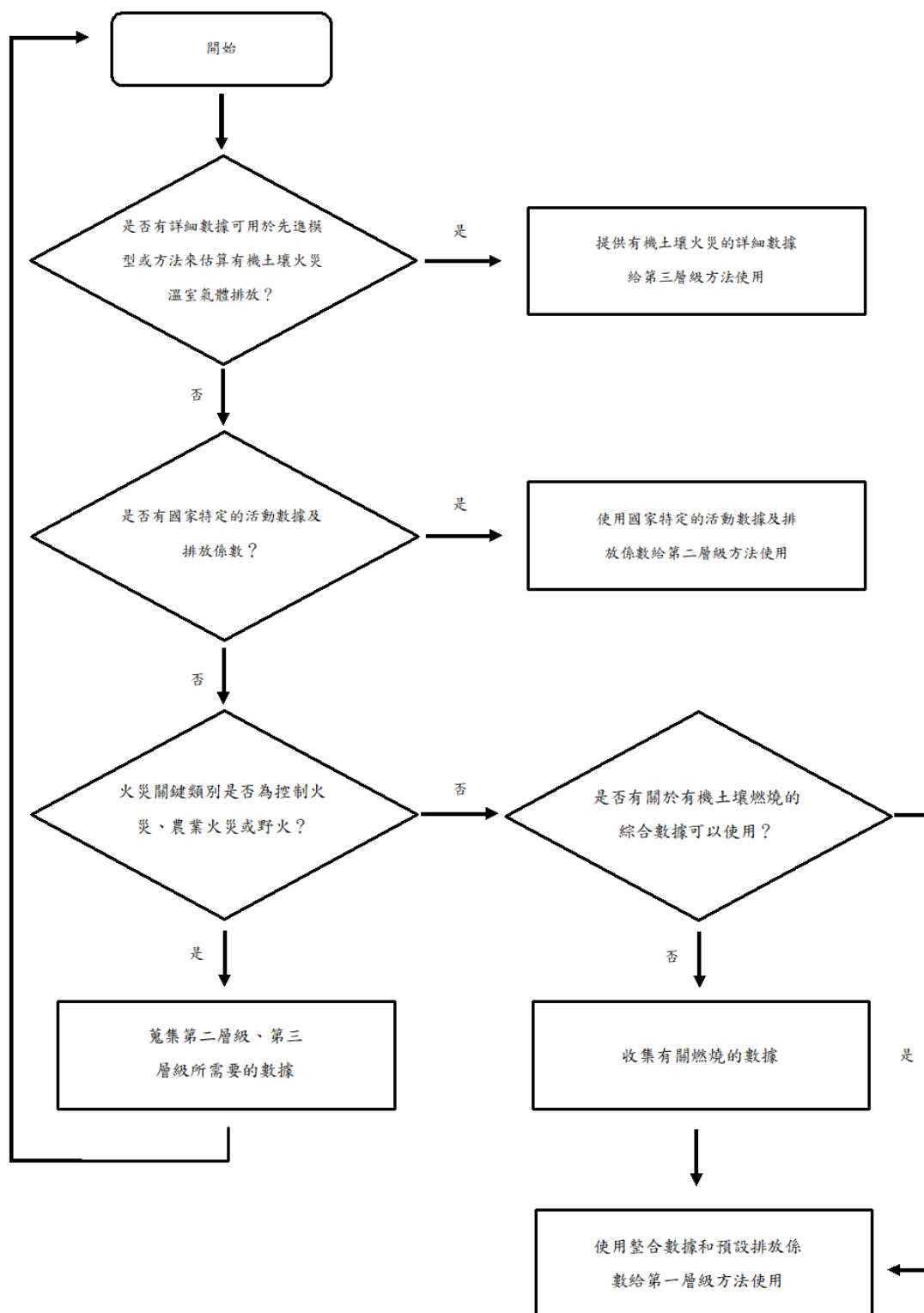


圖 5.2 確定適當層級方法的通用決策樹(用於估算有機土壤火災產生的溫室氣體排放)

5.2.2.3.3.1.1 方法 1

如果有機土壤火災不是關鍵類別，各國可以選擇使用方法 1 來報告 CO₂ 排放量。這個方法基於高度彙整的數據和預設因數。如果生態系統中有機土壤燃燒是一個關鍵類別，鼓勵各國在給定國家情況的情況下，盡可能採用最高等級來報告排放量。在方法 1 中，假定有機土壤火災期間土壤有機物質沒有/幾乎沒有燃燒損失。

5.2.2.3.3.1.2 方法 2 與方法 3

方法 2 採用與方法 1 相同的計算步驟，對方法 1 的潛在改進包括：

- 了解消耗有機物質的量
- 土壤水位相對於地表的位置
- 改進關於土地利用/管理及其對有機土壤條件(特別是水文狀況)影響的資訊
- 改進區域燃燒資訊，使用具有適當空間和時間分辨率的遙感數據進行估算，並根據適當週期的抽樣設計進行驗證，以考慮燃燒面積的月變化
- 估計多個有代表性地點的燃燒深度

各國可根據燃燒深度、有機土壤條件(例如排水與未排水)和火類型(野火與控制火)之間關係，分層燃燒區域數據。

可發展具有計算式的模型，使用來自多個來源和中等空間分辨率的衛星數據，來合成地區尺度的燃燒地圖。驗證模型結果，例如透過使用由實地觀察增強的高空間分辨率數據，並盡可能根據驗證結果進行改進。使用較高等級報告應該區分不同強度燃燒的火焰(方法 3 的關鍵)，並且以不同比例的悶燒與燃燒(即不同比例的改進燃燒效率(MCE)定義為 $\Delta\text{CO}_2 / (\Delta\text{CO}_2 + \Delta\text{CO})$)，這是一個悶燒與燃燒相對比例的指標)。發展有效評估有機土壤燃燒嚴重程度的方法，可以更準確地量化地下火災溫室氣體排放量。

5.2.2.3.3.2 活動資料選擇

活動資料包括土地利用類別中的土地區域，其中有機土壤按氣候區和火災類型分層。總面積應根據 IPCC 2006 年指導原則中規定的方法確定，並應與清單其他部份的報告一致。如果可以將這些資訊與國家土壤和氣候數據、植被清單、燃燒區域地圖和其他生物物理數據結合使用，那麼將可驅動土壤碳火災的變化評估。根據氣候區劃分土地利用類別或基於預設/特定國家分類，可以透過在適當的氣候和土壤圖上疊加土地利用來完成。

5.2.2.3.3.2.1 方法 1

方法 1 需要有機土壤燃燒區域的數據，這些有機土壤按氣候區域和火災類型（野生和控制）分層。一些國家或地區可能建立了一套既定的火災清單方法，鼓勵他們進行維護而不是採用較不全面的衛星方法。對於較大或較不易接近的位置，通常從遠程遙測的時間序列圖像中獲取燃燒面積數據。理想狀況下，國家區域燃燒地圖應繪製成 Landsat TM 尺度（30-50 公尺分辨率）。如果該分辨率下數據不可用，則可以使用 250 公尺，甚至 1000 公尺的數據。

關於有機土壤位置的數據可以從下列機構獲得，其中包括國際標準研究諮詢機構和糧農組織，這些機構具有包括有機土壤的國家特定和全球地圖：

<http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/>

<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>

<http://www.isric.org/>

已經成立了一個全球聯盟來製作全新的高分辨率土壤地圖（<http://www.globalsoilmap.net/>）。

5.2.2.3.3.2.2 方法 2 與方法 3

更高層級的方法要求更加明確、分層的活動資料。這包括根據排水類別、植被類型和條件（後者指濕度、葉片開/關等因素）、排水深度和土地管理狀況進行分

類，以改進方法 1 的估算。它也可能考慮到諸如季節性規則和由於季節性天氣模式引起的地下水位變化等變量。關於燃燒深度的數據(從現場測量中獲得)以及關於有機土壤比重和碳含量的國家特定數據也將大大提高對燃料消耗量和碳排放量的了解，然後將火災排放的季節性變化彙整為年排放量。

方法 1 的計算步驟

評估個土地利用類別排水有機土壤火災引起的 CO₂ 和非 CO₂ 排放量的步驟如下：

步驟一：

依 IPCC 2006 年指導原則的指導，根據氣候區和火災類型對每個土地利用類別中的排水有機土壤進行分層。

從國家數據庫中獲得 A（燃燒區域）的估計數據，如果沒有，則從全球資料庫中獲得。

步驟二：

為氣體分配表 2.6 和 2.7 中適當的燃料消耗值 ($M_b \cdot C_f$ with $C_f=1$) 和排放因數 (G_{ef})。

步驟三：

使用公式 2.8，將燃燒面積乘以表 2.6 和 2.7 中適當的燃料消耗值 (M_B) 和排放因數 (G_{ef}) 來估算 CO₂ 或非 CO₂ 的排放量。

步驟四：

使用表 2.7 中的排放因數(G_{ef})對每種溫室氣體重複進行步驟三。

5.2.2.3.3.3 不確定性評估

估計有機土壤火災引起的 CO₂ 和非 CO₂ 排放有關的不確定性來源有不同濕地類型，其火災行為差異很大，因此營養結構的分層精確度可更高。燃料實際燃燒的部分(燃料因數)會有變化，不僅生態系統之間，在火災、年間以及土地管理操作皆會有不同影響。來自特定火災、年份和地區的測量值不能外推到其他地點、

年份或生物群的尺度。造成不確定性的一個重要原因是排放因數的選擇。將排放分為 CO₂、CO 和其他微量氣體，因為這主要是由發生燃燒與悶燒的燃燒量所驅動，這可能在有機土壤中變化很大，而且在現場數據沒有較佳的反應。此外，燃燒面積估算的準確性、可用燃料的氧化比例和可用生物質燃料也會造成排放的不確定性。根據採用的方法，燃燒區域估計的不確定性有明顯差異，例如：在使用高分辨率遙感的情況下，它可能是±20%的數量級，而使用全球火災地圖可能導致高達兩倍的差異。估計大型地區火災溫室氣體排放的不確定性可能至少為±50%，即使是針對國家的具體數據也是如此，並且在僅使用預設數據的情況下至少為兩倍。

5.3 土地轉換為新的土地利用類型

5.3.1 內陸排水有機土壤的二氧化碳排放量與儲存量

土地轉換為另一土地利用類型後的 CO₂ 排放量/清除量，與各土地利用類型的 CO₂ 排放量/清除量的計算方法相同。轉換類別土地的 CO₂ 排放量/清除量使用公式 5.1 和 5.2 計算。

所有五個碳庫都可能發生排水有機土壤土地利用變化後的現場 CO₂ 排放量。由於生物量清除/（重新）種植，土地利用變化可能導致直接損失和增加。這是透過對 IPCC 2006 指導原則中規範轉換為另一土地利用類別的土地，地上、地下生物量和死有機物質碳庫變化的指導。

5.3.1.1 內陸排水有機土壤的現場二氧化碳排放/吸收（CO₂-CON-SITE）

5.3.1.1.1 方法選擇

5.3.1.1.1.1 方法 1

在清查時期內，排水有機土壤轉化為另一土地利用類別的 CO₂ 排放量/儲存量與各土地利用類別的 CO₂ 排放量/儲存量計算方法相同。如果土壤已經耗盡，轉換類別中土地的 CO₂ 排放量/儲存量將使用公式 2.3 計算。IPCC 2006 年指導

原則提供了其他土地利用類別的具體指導。在方法 1 中，排水有機土壤沒有 CO₂ 排放的過渡期，因為陸地立刻轉換到新的土地利用類別方法。由於缺乏推導預設排放因數的數據，方法 1 並未涵蓋到過渡階段。有機土壤初始排水後，如果發生過渡階段，應採用更高階層的方法來解決。

5.3.1.1.1.2 方法 2

針對特定國家的二級排放因數，可能包括土地轉化後過渡階段的 CO₂ 排放量，特別是有機土壤初始排水後以及較深度排水的土地轉化。

5.3.1.1.1.3 方法 3

方法 3 可以進一步考慮過渡階段額外的 CO₂ 現場排放動態，這在過渡階段的前幾年可能最高。

5.3.1.1.2 排放/吸收因數選擇

5.3.1.1.2.1 方法 1

在方法 1 中，轉換類土地的 CO₂ 排放/吸收因數與各土地利用類別相同。方法 1 的因數在表 5.1 中提供。

5.3.1.1.2.2 方法 2

如果排水有機土壤的土地轉換對土壤的 CO₂ 排放造成重大影響、CO₂ 排放是一個關鍵類別，那麼發展國家特定且包括轉換過程中額外 CO₂ 排放的排放因數是個較佳的作法。方法 2 的排放因數可以按土地利用轉換類別和排水後的地下水位變化幅度分層。除非有其他國家的具體證據，否則使用二十年的預設過渡階段長度。

5.3.1.1.2.3 方法 3

方法 3 可以發展反應函數或模型，用以捕捉過渡階段 CO₂ 現場排放（CO₂-C_{soil-on-site}）的動態特性。

5.3.1.2 內陸排水有機土壤碳損失引起的非現場二氧化碳排放

5.3.1.2.1 方法選擇

5.3.1.2.1.1 方法 1

在方法 1 中，清查時期轉化為另一土地利用類別的排水有機土壤，CO₂ 排放/吸收量與各土地利用類別的計算方法相同。轉換類別土地的二氧化碳排放/清除量使用公式 5.4 和 5.5 計算。

5.3.1.2.1.2 方法 2

方法 2 的排水有機土壤溶解碳損失包括了特定國家資訊來估算排放量。方法 2 的計算步驟與方法 1 相同。一般而言，轉換為另一土地利用類別的土地，與各土地利用類別的分層方式相同。土地利用變化的方法 2 可以根據土地利用變化以來的時間進一步分層。具體的過渡期可以根據土地利用變化的類型與排放/移除的持續性來考慮，這與長期處於新土地利用類別的土地不同。或者，可適用 IPCC 2006 年指導原則中新土地利用類別的預設過渡期。

5.3.1.2.1.3 方法 3

一般而言，對於轉換為另一種土地利用類別的土地，應與各土地利用類別採用同樣的方法。方法 3 進一步區分土地利用變化後，損失的溶解碳增加/減少的轉換效應。

5.3.1.2.2 排放/吸收因數選擇

轉換土地利用類別的 CO₂ 排放/吸收因數與各土地利用類別相同。方法 1 因

數在表 5.2 提供。

5.3.2 內陸排水有機土壤的非二氧化碳排放/吸收量

5.3.2.1 內陸排水有機土壤的甲烷排放/吸收

5.3.2.1.1 方法選擇

在清查期間內，轉化為另一土地利用類別的土地的 CH₄ 排放/吸收量與各土地利用類別的計算方法相同。轉換類別土地的 CH₄ 排放/清除量用公式 2.5 計算。

5.3.2.1.2 排放/吸收因數選擇

轉換土地利用類別的 CH₄ 排放/吸收因數與各土地利用類別相同。方法 1 因數在表 5.3、5.4 提供。

5.3.2.2 內陸排水有機土壤的氧化亞氮排放/吸收量

5.3.2.2.1 方法的選擇

轉換土地利用類別的有機土壤 N₂O 排放量計算方式與各土地利用類別相同。轉換土地利用類別的 N₂O 排放量使用公式 5.7 計算。

5.3.2.2.2 排放/吸收因數選擇

轉換土地利用類別的 N₂O 排放因數與各土地利用類別相同。方法 1 因數在表 5.5 提供。

5.3.2.3 內陸排水有機土壤上燃燒產生的非二氧化碳排放

5.3.2.3.1 排放/吸收因數的選擇

轉換土地利用類別的非 CO₂ 排放因數與各土地利用類別相同。方法 1 因數在表 5.6 和 5.7 中提供。

5.4 完整性、時間序列一致性、質量保證和質量控制、報告和文件

5.4.1 完整性

完整的溫室氣體清單將包括本章提供的方法 1 指導原則對內陸排水有機土壤的所有溫室氣體排放量和清除量的估計，適用於在國家領土內所有類型的有機土壤和土地利用類別。

5.4.2 時間序列一致性

各國將有機土壤明確定義，並且隨時間推移始終如一地使用同一定義是較佳的作法。

時間序列的一致，要求在整個時間序列中使用相同的方法。無論何時使用新的方法，都應該使用新方法重新計算以前的估計值，以適應時間序列中的所有年份。同時報告新的估計是更準確或是更不準確的，也是較佳的作法。重新估計以前的計算有一個潛在問題，某些資料庫可能在早先是無法使用的。

5.4.3 質量保證與質量控制

鼓勵採用方法 1 的國家，嚴格評估典型假設與其國情的適用性。地下水位下降後的水位或排水類別和時間可能對溫室氣體排放和儲存產生最強烈的影響。應將地下水位訊息納為評估排放因數的適用性或發展的因素。鼓勵各國將重點放在質量保證/控制程序的工作上，以提高地下水訊息的準確性。

5.4.4 報告和文件

各國報告並記錄他們如何定義有機土壤、如何確保與 IPCC 定義保持一致以及如何確定有機土壤的排水，是一較佳的作法。鼓勵使用方法 1 的國家，紀錄他們對典型假設是否適用其國情的評估，以及典型假設不被考慮或僅部分適用的情況下所採取的行動。紀錄國家數據與典型假設的對比，以及他們為何會有所不同，

這是一個較佳的作法。無論何時使用國家方法，最好的作法是紀錄透明和完整的數據來源，包括基本假設、方法 1 中假設的相容性或偏差原因、所用數據以及國家方法中使用的模型和計算算法。紀錄文件是一較佳作法，鼓勵各國公布其評估國家情況的原因、方法及評估結果，並記錄質量保證/控制程序，例如在應用清單之前，對方法進行同行評審。

第六章 再濕潤有機土壤

6.1 前言

再濕潤是提高排水土壤的水位，以恢復水飽和狀態的蓄意行為，例如透過阻止排水溝渠或停用抽水設施。再濕潤的目標：濕地恢復或允許飽和有機土壤上的其他管理措施，例如濕地種植 (paludiculture)。濕地恢復旨在永久重建干擾前的濕地生態系統，包括水飽和土壤典型的水文和生物地理化學過程及干擾前的植被覆蓋。通常情況下，恢復先前被排乾的濕地，伴隨著再濕潤；而恢復不排水但受干擾的濕地，可能不需要再濕潤。復原工作可能涉及以前排乾有機土壤的各種作法，作法可能包括再濕潤。在沒有再濕潤的排水場地上重建植被，是一種場地復原的形式。本章的重點是有機土壤的再濕潤，恢復和其他管理措施對再濕潤的有機土壤沒有具體處理。

水位高低是濕地溫室氣體生物地理化學過程的主要控制因數。一般而言，再濕潤會減少有機土壤中的 CO_2 排放量，並在一定條件下導致淨生態系統碳匯的恢復。為了恢復土壤碳吸存的碳匯功能，重新建立再濕潤有機土壤上的植被覆蓋是必要的。透過再濕潤促進植被演替後，碳匯可能達到典型的不排水生態系統水準。再濕潤通常會增加 CH_4 的排放量，儘管在某些情況下測得的排放量較低。在溫帶地區， N_2O 排放量在再濕潤後會迅速下降至接近於零。再濕潤有機土壤的碳主要透過溶解有機碳 (DOC) 的形式流失。大部分碳最終以 CO_2 排放到大氣中。再濕潤的過程，被認為會減少 DOC 淋溶到一定程度，與不排水的有機土壤相當。

6.2 溫室氣體排放與儲存

關於土壤庫，本章闡述了對有機土壤 CO_2 排放量或儲存量和 CH_4 排放量的估算，不管再濕潤活動的最終目的如何(例如恢復或其他土地管理作法)。不排水或再濕潤的有機土壤如果有植被覆蓋，是可以累積碳的，因此假設再濕潤能夠成功的建立碳匯功能，再濕潤有機土壤可以獲得大量的碳。公式6.1反映了再濕

潤有機土壤的碳庫變化，是由於CO₂和CH₄排放與儲存平衡造成的碳淨收益或損失。

在大型碳庫(如有機土壤)中，CO₂淨排放量(或植被的儲存量)可以更準確地直接作為CO₂通量進行測量，而不是源於碳儲存的變化。同樣地，CH₄排放通常以流量來衡量。在本章中，這些通量分別表示為CO₂-C、CH₄-C，淨碳通量則分別為CO₂和CH₄。這個表示法與IPCC 2006年指導原則使用方式相同。

公式 6.1

公式 6.1

二氧化碳和甲烷排放量與吸收量之間的平衡產生的淨碳收益或損失

$$\Delta C_{\text{rewetted org soil}} = CO_2\text{-}C_{\text{rewetted org soil}} + CH_4\text{-}C_{\text{rewetted org soil}}$$

$\Delta C_{\text{rewetted org soil}}$ = 再濕潤有機土壤的淨碳收益或損失，tonnes C yr⁻¹

$CO_2\text{-}C_{\text{rewetted org soil}}$ = 再濕潤有機土壤的二氧化碳淨碳通量(排放或吸收)，tonnes C yr⁻¹

$CH_4\text{-}C_{\text{rewetted org soil}}$ = 再濕潤有機土壤的甲烷淨碳通量(通常為排放)，tonnes C yr⁻¹

CO₂-C 和 CH₄-C 的表示有助於調整淨通量與碳儲存變化，以進行估算。然而，報告的慣例仍然是使用 IPCC 2006 年指導原則，CO₂ 排放量和儲存量按照碳儲存變化報告，CH₄ 排放量和清除量以噸為單位報告。使用公式 6.2 進行 CH₄-C 和 CH₄ 間的轉換。

公式 6.2

公式 6.2

甲烷淨通量

$$CH_4_{\text{rewetted org soil}} = CH_4\text{-}C_{\text{rewetted org soil}} \cdot 16/12$$

$CH_4_{\text{rewetted org soil}}$ = 再濕潤有機土壤甲烷淨通量，tonnes CH₄ yr⁻¹

$CH_4\text{-}C_{\text{rewetted org soil}}$ = 再濕潤有機土壤甲烷碳淨通量，tonnes CH₄-C yr⁻¹

6.2.1 再濕潤有機土壤的二氧化碳排放量/儲存量

來自再濕潤有機土壤的 CO₂-C 排放/吸收，具有以下組成部分：

公式 6.3

公式 6.3 再濕潤有機土壤的二氧化碳排放/吸收量 $CO_2-C_{rewetted\ org\ soil} = CO_2-C_{composite} + CO_2-C_{DOC} + L_{fire}-CO_2-C$

CO₂-C_{rewetted org soil} = 再濕潤有機土壤的二氧化碳排放/吸收量，tonnes C yr⁻¹

CO₂-C_{composite} = 土壤和非樹木植被的二氧化碳排放/吸收量，tonnes C yr⁻¹

CO₂-C_{DOC} = 再濕潤有機土壤輸出的溶解有機碳造成的非現場二氧化碳排放，tonnes C yr⁻¹

L_{fire}-CO₂-C = 再濕潤有機土壤火災燃燒造成的二氧化碳排放，tonnes C yr⁻¹

現場排放/吸收：CO₂- C_{composite}

由於本章中預設的 CO₂-C EFs 全部來自通量測量的結果，所以 CO₂-C_{composite} 綜合結果來自土壤和非樹木植被排放或儲存的淨通量。CO₂ 排放是異營生物分解有機土壤過程中產生的，並且受到土壤中氧氣供應及土壤溫度的強烈控制。而非樹木植被的貢獻，則透過光合作用（CO₂ 儲存）和地上/地下自營呼吸（CO₂ 排放）這兩個過程發生。

非現場排放/吸收：CO₂-C_{DOC}

本指導原則第二章介紹了溶解碳輸出（各種不同形式），作為連接有機土壤碳庫與大氣途徑的重要性，以及不同形式溶解碳在再濕潤後的各種來源。在所有類型的有機土壤中，不論天然或再濕潤土壤，DOC 已被證明是水中碳損失的最大組成部分，將被反應並完全返回大氣中。因此將 DOC 納入基於通量的碳估算計算，以避免低估土壤碳損失是一個較佳的作法。CO₂-C_{DOC} 是由有機土壤透過水途徑損失的有機碳(DOC)分解產生的，並導致非現場 CO₂ 排放。

燃燒產生排放： $L_{\text{fire-CO}_2\text{-C}}$

雖然再濕潤有機土壤發生火災的可能性很低(與排水有機土壤相比)，但火災的風險仍然存在。應該包括燃燒生物質、死有機質和土壤的任何排放($L_{\text{fire-CO}_2\text{-C}}$)。IPCC 2006 年指導原則第四卷第二章提供了估算植被和死有機質燃燒產生二氧化碳排放的一般方法，而林地、農地、草地和濕地中的植被和 DOM 燃燒具體法見 IPCC 2006 年指導原則第四卷第四到七章。燃燒有機土壤產生的排放可以照第五章公式 5.8 的方法來估算，使用表 5.6 的不排水有機土壤燃料消耗值(所有氣候相同)，以及表 5.7 中的排放因數。

6.2.1.1 方法選擇

圖 6.1 中的決策樹提供了選擇用於評估再濕潤有機土壤溫室氣體排放/吸收的適當方法層級指導。

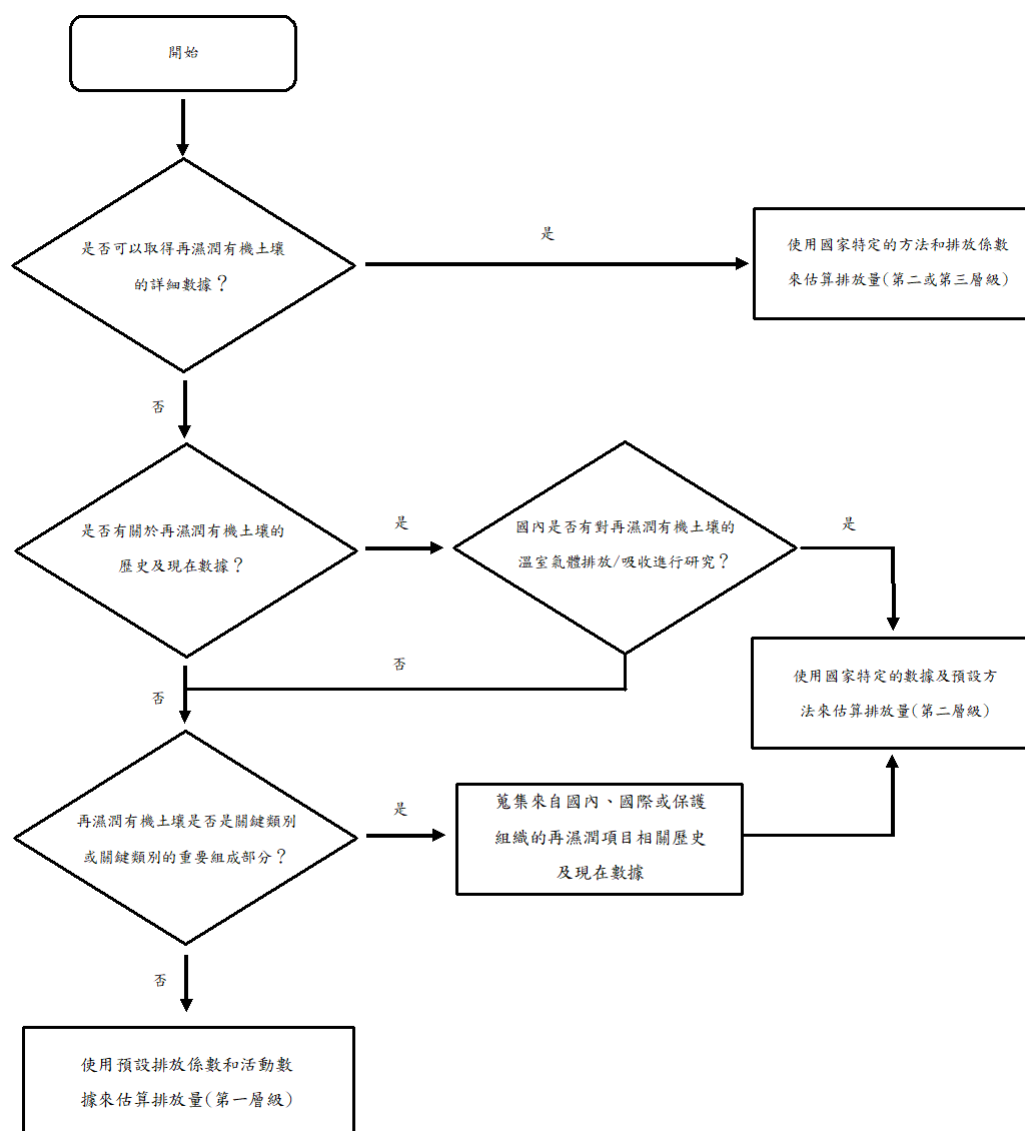


圖 6.1 估算再濕潤有機土壤二氧化碳及甲烷排放/儲存的決策樹

6.2.1.1.1 方法 1

在方法 1 中，估算再濕潤有機土壤的年度碳排放/吸收的基本方法在公式 6.3 中給出，並且可以使用公式 6.4 和 6.5 來編輯。其中，來自全國的再濕潤有機土壤面積乘以排放因數，該因數按氣候帶及營養狀態(營養豐富/貧乏)來分類。

公式 6.4

公式 6.4
再濕潤有機土壤年度現場二氧化碳碳排放/吸收量

$$CO_2-C_{composite} = \sum_{c, n} (A \cdot EF_{CO_2})$$

$CO_2-C_{composite}$ = 土壤和非樹木植被的二氧化碳碳排放/吸收量, tonnes C yr⁻¹

$A_{c,n}$ = 不同氣候域(c)和營養狀態(n)的再濕潤有機土壤面積, ha

$EF_{CO_2,c,n}$ = 不同氣候域(c)和營養狀態(n)再濕潤有機土壤的二氧化碳碳排放係數, tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

公式 6.5

公式 6.5
再濕潤有機土壤溶解碳流失造成的年度非現場二氧化碳碳排放

$$CO_2-C_{DOC} = \sum_c (A \cdot EF_{DOC_REWETTED})$$

CO_2-C_{DOC} = 再濕潤有機土壤溶解態有機碳輸出產生的非現場二氧化碳碳排放, tonnes C yr⁻¹

A_c = 不同氣候域(c)的再濕潤有機土壤面積, ha

$EF_{DOC_rewetted, c}$ = 不同氣候域(c)再濕潤有機土壤溶解態有機碳輸出產生的二氧化碳碳排放係數, tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

6.2.1.1.2 方法 2

方法 2 使用國家特定的排放因數和參數，將空間拆解以反映區域重要的管理及佔主導地位的生態動態。根據當前植被組成、地下水位深度、土壤特性或再濕潤前土地利用（如森林、草地、農地和濕地）細分活動資料及排放因數可能是適當的。

如果有實驗數據可以改進排放因數，估算 DOC 分解產生排放的方法 2 應該使用到國家特定資訊，尤其是關於不同類型排水/不排水和再濕潤的有機土壤（例如具有各種營養狀況和發展的泥炭地，如上升沼澤、覆蓋沼澤及泥沼）。計算 EF_{DOC} 的精簡方法，在 $EF : EF_{DOC_rewetted}$ 的選擇提出。現場的通量測量不會將碳損失捕獲為 DOC，因此明確地將碳損失作為 DOC 添加到基於通量的碳估計，是較佳的作法。如果採用土壤沉降法來推導公式 6.3 中的 $CO_2-C_{composite}$ ，DOC

的損失包含在沉降數據中，不應重複加入。

6.2.1.1.3 方法 3

方法 3 涉及全面了解和反映再濕潤有機土壤 CO₂-C 排放和儲存的動態，包括現場特徵、土壤特性、植被組成、土壤溫度和平均地下水位的影響。這些可以被整合到一個動態，基於機制的模型中，或者透過基於測量的方法。這些參數除了諸如水流量和水滯留時間之類的其他參數外，也可以採用基於過程的模型，用於描述系統中流失的河流碳(DOC)，將水文學和其他因素結合起來。方法 3 可能還包括從再濕潤地點輸出的全部 DOC，並考慮再濕潤幾年中 DOC 釋放的時間變化，這也將取決於所使用的再濕潤技術。

6.2.1.2 排放因數選擇

6.2.1.2.1 EF_{CO2}

6.2.1.2.1.1 方法 1

方法 1 的實施要求，應用表 6.1 中提供的預設 EF_s，按照氣候區(寒帶、溫帶及熱帶)分類，其中寒帶和溫帶有機土壤只透過養分狀態(營養貧乏和營養豐富)來分類。證據顯示，來自自然/不排水和再濕潤有機土壤的 CO₂ 通量與平均地下水位有關。此外，確定在溫帶和寒帶地區，這個相關性在自然/不排水及再濕潤兩種類型中間沒有明顯差異。因此，在這些地區，除了來自再濕潤地點的 CO₂ 通量之外，還使用了來自自然/不排水地點的 CO₂ 通量，提供表 6.1 中所示的 EF 有效估計。由於沒有可用於熱帶再濕潤有機土壤的數據，因此提供預設 EF 值為零。

考慮到現有科學文獻的侷限性，方法 1 基本方法學假設沒有短暫的時期，並且在 CO₂ 流量動態方面，再濕潤有機土壤就像自然/不排水有機土壤一樣。結合溫帶和寒帶地區長期再濕潤後的觀測結果，是避免任何偏差的最簡單方式。當熱帶再濕潤有機土壤是關鍵類別的重要組成時，與表 3.1 中的預設 EF 相比，使用特定國家 EF_s 是一個較佳作法。

表 6.1 再濕潤有機土壤的預設二氧化碳排放係數(EF_{CO2})和相關的不確定性(以下單位皆為 tonnes CO₂-C ha⁻¹ yr⁻¹)

氣候區	營養狀態	EF _{CO2}	95% range
寒帶	缺乏	-0.34 (n=26)	-0.59 – -0.09
	豐富	-0.55 (n=39)	-0.77 – -0.34
溫帶	缺乏	-0.23 (n=43)	-0.64 – +0.18
	豐富	+0.50 (n=15)	-0.71 – +1.71
熱帶		0	
註：負值代表從大氣移除的二氧化碳；n為測站數；95%信賴區間用來給出95%範圍			

6.2.1.2.1.2 方法 2 與方法 3

應用方法 2 應該使用國家特定排放因數。應該在時間分辨率下進行經驗通量測量（渦流協變或靜置氣罩法），所述時間分辨率定義為盡可能涵蓋非生物（例如輻射、土壤性質包括土壤溫度及平均水位深度）和生物（例如植被組成）因數，這些因素驅動再濕潤有機土壤中的 CO₂ 動態。沉降測量還可以用於確定再濕潤有機土壤的中長期收益/損失。透過考慮其他因素，如先前土地利用、當前植被結構以及再濕潤後時間，進行分析進一步發展排放因數。

方法 3 涉及全面了解再濕潤有機土壤中 CO₂ 排放/吸收的動態，包括管理措施的影響。方法包括所有庫中碳的命運和轉換後庫之間的碳儲存。特別是，還必須考慮生物質庫中所含碳的命運，包括透過 DOM 衰變、最終在現場釋放或者在收穫木質生物質之後（濕地種植）的非現場釋放。方法 3 可能包括發展基於通量的監測系統，以及使用需要比方法 2 更高水準過程資訊的先進模型。確保模型根據現場測量進行校正和驗證是較佳的作法。

6.2.1.2.2 EF_{DOC_rewettered}

6.2.1.2.2.1 方法 1

研究發現天然/不排水有機土壤的 DOC 輸出通量，在排水後增加。來自再濕

潤地點的可用數據不足，但再濕潤後 DOC 減少的水準大致等於排水後的 DOC 增加。為了充分利用現有數據，已使用自然/不排水以及再濕潤地區的數據，按照公式 3.6 計算再濕潤有機土壤的 EFs：

公式 6.6

公式 6.6

再濕潤有機土壤溶解有機碳輸出造成之年度二氧化碳碳排放係數

$$EF_{DOC_REWETTED} = DOC_{FLUX} * Frac_{DOC-CO_2}$$

$EF_{DOC_REWETTED}$ = 天然(未排水)和再濕潤有機土壤的溶解有機碳排放係數，tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

DOC_{FLUX} = 天然(未排水)和再濕潤有機土壤的溶解有機碳淨通量，tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

$Frac_{DOC_CO_2}$ = 溶解有機碳轉換為二氧化碳的轉換係數，相當於0.9

零值與所有 DOC 輸出在湖泊或海洋沉積物中穩定沉積相一致，因為這只會代表穩定儲存之間的碳轉移，因此不需要進行估算。然而，大多數關於 DOC 處理的數據顯示，在河源、河流、湖泊和沿海海域，高比率的 DOC 轉化為 CO₂。為了反映當前科學不確定性，提出了方法 1 的預設 $Frac_{DOC_CO_2}$ 為 0.9，其中不確定性範圍為 0.8 至 1.0。表 3.2 提供了 $EF_{DOC_REWETTED}$ 值。

表 6.2 再濕潤有機土壤溶解態有機碳預設排放係數($EF_{DOC_REWETED}$)，TONNES $CO_2-C\ HA^{-1}\ YR^{-1}$)

表 6.2 再濕潤有機土壤溶解態有機碳預設排放係數($EF_{DOC_REWETED}$)，TONNES $CO_2-C\ HA^{-1}\ YR^{-1}$			
氣候區	DOC_{FLUX} (tonnes C $ha^{-1}\ yr^{-1}$)	測站數	$EF_{DOC_REWETED}$ (tonnes $CO_2-C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)
寒帶	0.08 (0.06 – 0.11)	10 undrained	0.08 (0.05 – 0.11)
溫帶	0.26 (0.17 – 0.36)	12 undrained and 3 rewetted	0.24 (0.14 – 0.36)
熱帶	0.57 (0.49 – 0.64)	4 undrained	0.51 (0.40 – 0.64)

6.2.1.2.2.2 方法 2

評估DOC的方法2，可遵循上面提供的方法1，但應盡可能使用國家特定的資訊來改進所使用排放因數及轉換因數。細化可能導致的更多分類如下：

- 使用自然和再濕潤有機土壤的國家級測量數據，為該國獲得更準確的 DOC_{FLUX} 值。由於觀測到DOC隨著不同植被組成、生產力以及土壤溫度而變化，因此不同類型的天然和再濕潤有機土壤（營養豐富/缺乏，例如提出的上升沼澤及覆蓋沼澤）。
- 使用不同修復技術、初始狀態（泥炭降解、以前的土地利用）以及再濕潤後時間的國家級測量結果。當已經收集到再濕潤有機土壤中DOC通量的長期直接測量值時，這可單獨用於公式3.6中，用 $DOC_{FLUX_REWETTED}$ 值代替 DOC_{FLUX} 值，從而取代再濕潤有機土壤恢復到排水前DOC通量的預設假設。
- 使用替代值作為轉換因數 $Frac_{DOC_CO_2}$ ，其中有證據可用來估算再濕潤有機土壤輸出DOC轉換化為穩定的長期碳儲存（如湖泊或海洋沉積物）的比例。

6.2.1.2.2.3 方法 3

方法 3 可能包括使用描述 DOC 釋放的水文功能(尤其是流量)、植被組成、營養水準、地下水位以及再濕潤和持續管理活動之後數年 DOC 釋放時間變化的過程模型。

6.2.2.2 再濕潤有機土壤的甲烷排放和吸收

再濕潤有機土壤 CH₄ 排放和吸收：1) CH₄ 產生和氧化之間的平衡和 2) 火災期間由土壤有機物質燃燒產生的 CH₄ 排放（公式 6.7）。

公式 6.7

公式 6.7 再濕潤有機土壤的甲烷碳排放/吸收 $CH_4-C_{rewetted\ org\ soil} = CH_4-C_{soil} + L_{fire}-CH_4-C$
--

$CH_4-C_{rewetted\ org\ soil}$ = 再濕潤有機土壤的甲烷碳排放/吸收，tonnes C yr⁻¹

CH_4-C_{soil} = 土壤排放/吸收的甲烷，tonnes C yr⁻¹

$L_{fire}-CH_4-C$ = 再濕潤有機土壤燃燒產生的甲烷碳排放，tonnes C yr⁻¹

本節提供的預設 EF 值僅包括 CH_4-C_{soil} 。這些 CH₄ 排放源於微生物在厭氧條件下分解有機土壤，並受到土壤內氧氣供應和土壤溫度的強烈調控。CH₄ 排放也來自非樹木植被的減少，因為這些庫不能在有機土壤上輕易被分離，所以它們在這被合併為 CH_4-C_{soil} 。如果地下水位位於地表附近，再濕潤有機土壤發生火災的可能性很小，但為了完整起見，火災可能產生的土壤排放量也包括在內。應根據本指導原則提供的指導原則，估算土壤燃燒產生的排放 ($L_{fire}-CH_4-C$)，表 5.6 提供不排水有機土壤上野火的燃料消耗值，表 5.7 提供 CH₄ 的排放因數。表 5.7 中的 EF 應乘以 12/16，以獲得 $CH_4-C\ yr^{-1}$ 的噸數。

6.2.2.2.1 方法選擇

6.2.2.2.1.1 方法 1

預設方法涵蓋了再濕潤有機土壤中的 CH₄ 排放（公式 6.7）。基本方法不會根據再濕潤地點（復原或其他管理活動）的目標進行區分。方法 1 假設對於再濕潤有機土壤，沒有短暫時間，因此預設的 EFs 值適用於再濕潤的年份。

公式 6.8

公式 6.8 再濕潤有機土壤的年度甲烷碳排放 $CH_4-C_{soil} = \frac{\sum_{c,n} (A \cdot EF_{CH_4 soil})_{c,n}}{1000}$
--

CH_4-C_{soil} = 再濕潤有機土壤的甲烷碳排放，tonnes C yr⁻¹

$A_{c,n}$ = 不同氣候區(c)和營養狀態(n)的再濕潤有機土壤面積，ha

$EF_{CH_4 soil}$ = 不同氣候區(c)和營養狀態(n)再濕潤有機土壤的甲烷碳排放係數，kg CH₄-C ha⁻¹ yr⁻¹

6.2.2.2.1.2 方法 2 與方法 3

方法 2 的計算使用特定國家的排放因數和參數，在空間上拆解以反映地區重要的生態系統或措施，以及佔主導地位的生態動態(例如莎草、西米棕櫚或蘆葦的種植)。再濕潤有機土壤區域可能考慮的因數，包括地下水位深度、先前土地利用情形、再濕潤後的時間以及植被覆蓋和溝渠是否存在。

方法 3 包括全面了解和再現有機土壤中 CH₄ 排放的動態，包括上述 CH₄ 動態主要驅動力之間的交互作用，並可能涉及不同的通量管道，包括沸騰。可能的方法包括詳細的特定國家對 CH₄ 排放/吸收的監測，這些監測涉及代表各種地下水位、先前土地利用和再濕潤的時間。

6.2.2.2.2 排放因數選擇

6.2.2.2.2.1 方法 1

方法 1 實施要求應用表 6.3 中提供的預設排放因數 EF_{CH_4} ，其中按照氣候區（寒帶、溫帶和熱帶）和營養狀態（貧乏、豐富）進行分解。如果寒帶或溫帶地區再濕潤有機土壤的營養狀況尚不清楚，那麼各國應在寒帶地區使用預設的營養貧乏 EF，而在溫帶地區則應使用預設的營養豐富 EF。再濕潤熱帶有機土壤的排放因數假設全年水位接近地表。對於經歷了明顯旱季（地下水位低於地表 20 公分）的熱帶地區，表 6.3 中的排放因數應乘以濕潤月份，再除以 12。

表 6.3 再濕潤有機土壤的預設甲烷排放係數，以下單位皆為 $\text{KG CH}_4\text{-C HA}^{-1} \text{YR}^{-1}$

氣候區	營養狀態	EF_{CH_4}	95% range
寒帶	缺乏	41 (n=39 sites)	0.5 – 246
	豐富	137 (n=35 sites)	0 – 493
溫帶	缺乏	92 (n=42 sites)	3 – 445
	豐富	216 (n=37 sites)	0 – 856
熱帶		41 (n=11 sites)	7 – 134

6.2.2.2.2 方法 2 與方法 3

為每個氣候區和營養狀態制定針對國家的具體排放因數，是較佳作法。地下水位差異解釋了各地點間年度 CH_4 通量變化的很大部分。因此，使用與地下水位相關的國家特定 EFs 估算 $\text{CH}_4\text{-C}$ 排放/吸收將有較大改善。進一步提高對再濕潤有機土壤 CH_4 排放/吸收的估算，包括將 CH_4 排放與特定耕作方式、從前土地利用、植被覆蓋和再濕潤後的時間相關聯。如果這些作法具有國家重要性，那麼最好從相關文獻推導出針對特定國家的排放因數，同時要考慮到地下水位動態。

6.2.3 再濕潤有機土壤的氧化亞氮排放

再濕潤有機土壤中的 N_2O 排放量受控於硝化和反硝化作用的氮量，以及這些化學反應所需的氧氣量。氧氣可用性又取決於水位深度的調控。提高地下水位深度將導致 N_2O 的排放迅速下降，如果地下水位深度低於地表以下 20 公分，則幾乎下降到零。公式 6.9 包含估算再濕潤有機土壤 N_2O 的基本要素。已公布的數據不足以發展有機土壤燃燒的 N_2O 排放因數，因此公式 6.9 的 $\text{L}_{\text{fire-N}_2\text{O-N}}$ 在此未被考慮。

公式 6.9

公式 6.9

再濕潤有機土壤的氧化亞氮排放

$$N_2O_{\text{rewetted org soil-N}} = N_2O_{\text{soil-N}} + L_{\text{fire-N}}N_2O-N$$

$N_2O_{\text{rewetted org soil-N}}$ = 再濕潤有機土壤的氧化亞氮排放，kg N₂O-N yr⁻¹

$N_2O_{\text{soil-N}}$ = 再濕潤有機土壤的土壤庫氧化亞氮排放，kg N₂O-N yr⁻¹

$L_{\text{fire-N}}N_2O-N$ = 再濕潤有機土壤燃燒的氧化亞氮排放，kg N₂O-N yr⁻¹

6.2.3.1 方法 1

在方法 1 中，來自再濕潤有機土壤的 N₂O 排放被認為是可以忽略不計的。

6.2.3.2 方法 2 與方法 3

若再濕潤有機土壤是重要類別組成部分的國家，應該考慮這些地點的 N₂O 排放模式，特別是在流域的氮通量可能受到當地或區域輸入的潛在影響，例如大規模農田發展。特定國家排放因數的發展應考慮到再濕潤生態系統中重要的氮輸入，可能源於諸如周圍流域化肥使用等外部來源。測量方案的設計應能夠分離這些輸入，避免重複計算可能已經作為流域內人為氮輸入的間接排放報告的 N₂O 排放量。應根據科學證據估算再濕潤有機土壤火災產生的 N₂O 排放量。

6.2.4 活動資料選擇

所有層級方法學都要求提供有關再濕潤有機土壤區域的資料，並根據氣候區和營養狀況細分。

6.2.4.1 方法 1

蒐集一個國家擁有關於再濕潤有機土壤區域的數據，包括有機土壤在寒帶和溫帶氣候下的營養狀況，以及有關再濕潤作法的基本資訊，例如無植被階段的持續時間。根據國情，直接鑑定再濕潤有機土壤可能更有效。數據可以從國內土壤

統計數據庫、空間、土地覆蓋（特別是濕地）、土地利用和農作物（例如常在有機土壤上生長的作物）獲得，這些資訊可以用來鑑別有機土壤覆蓋較高的區域。

在沒有國內土壤數據的情況下，建議諮詢國際土壤參考和資訊中心（ISRIC; www.isric.org; FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012. Harmonized World Soil Database (version 1.2) . FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria）。

清單編制者還應該調查有關再濕潤或復原計劃的可用文件，包括國際泥炭協會（Commission V： Restoration, rehabilitation and after-use of peatlands, www.peatociety.org）、國際沼澤保護組織（www.imcg.net）和驗證碳標準（v-c-s.org）。

當從各種來源收集訊息時，應進行交叉檢查，以確保土地管理實施和地區完整一致的代表性。例如，如果一個地區在一年中受到若干管理措施的約束，則不應該計算兩次。相反地，這些作法的綜合影響應該被估計為對該地區的一次再濕潤。

6.2.4.2 方法 2

方法 2 可能涉及比方法 1 更詳細的空間分層，以及根據再濕潤後的時間、從先前土地利用、當前土地利用和管理實踐以及植被結構進一步細分。在方法 2 中，活動資料的空間分辨率更高，可以透過特定國家類別分類全球數據，或收集針對具體國家的活動資料。

國內數據來源通常比國際數據來源更適合支持高層級別的評估方法。更複雜的估算方法需要確定年平均地下水位深度、再濕潤前的土地利用和管理作法、植被組成和生物量隨時間的演替。這類型的資訊可以透過在各種條件下對再濕潤地點進行監測來獲得，並且應該與對溫室氣體排放或儲存與這些因素之間的相關過程有更深入了解。

6.2.4.3 方法 3

為了在方法 3 中應用直接測量的清單，與方法 1 和方法 2 相比，需要關於氣候、土壤、地形和管理數據組合的類似或更詳細數據。綜合現場採樣，在適當情況下定期重複的遙感系統，將提供有機土壤的高空間分辨率、自再濕潤以來的時間以及土地利用和管理活動資料。

科學團隊通常積極參與方法 3 的發展。高等級評估方法的可行性部分依賴於設計較佳的訊息系統，它們能夠提供適當空間和時間覆蓋率、分辨率的相關活動資料，具有完備的數據收集和質量控制，並且得到更新和維護的長期財務的支持。

6.2.5 不確定性評估

由於 EF 和其他參數的不確定性，活動資料的不確定性以及方法 3 基於模型的方法的結構/參數誤差，會導致估算的再濕潤有機土壤溫室氣體排放/吸收的不確定性。IPCC 2006 年指導原則提供了關於誤差估算和誤差組合的進一步指導。對於方法 1，預設排放因數的不確定性水準代表 CO₂-C 和 DOC 的 95%信賴區間，在表 6.1 和 6.2 中列出。雖然在推導 EF 中使用的每個數據點仍然存在相當大的不確定性，但表 6.1 和表 6.2 中列出的 95%信賴區間值主要反映了使用單個預設 EF 的不確定性，以及（1）目前的非生物和生物特徵、（2）在再濕潤前的土地利用。使用預設排放因數時的不確定性來源，還包括資料庫中代表性不足的環境條件（包括初始條件和再濕潤操作）、缺乏代表再濕潤各階段和試驗指標的數據（例如過渡期）。

關於活動資料的不確定性來源，可能包括遺漏或重複再濕潤的地區，特別是如果數據是從各種來源收集來的。來源還有可能包括：缺少關於再濕潤有機土壤的歷史數據、關於再濕潤後的植被演替、地下水位深度以及過程的試驗指標訊息不足。透過使用來自各國家，地區和當地機構的特定國家活動資料，可以提高準確性，並根據數據收集方法和專家判斷估計不確定性。當從各種來源收集關於活動資料的訊息時，應該進行交叉檢查，以確保土地管理實踐和地區完整一致的代

表性。

6.3 完整性，時間序列一致性和質量保證/質量控制

6.3.1 完整性

完整的溫室氣體清單包括本章提供的方法 1 指導對所有再濕潤有機土壤溫室氣體排放量和儲存量的估算，適用於國家領土內所有類型的有機土壤。應為每種土地利用類別提供有機土壤排水和再濕潤地區的比例訊息。總體而言，在每種土地利用類別下報告的有機土壤再濕潤面積總和，應等於國家再濕潤有機土壤的總面積。

6.3.2 質量保證和質量控制（QA/QC）

採用方法 1 嚴格評估預設假設對其國情的適用性是一種較佳作法。例如，鼓勵各國確定土地利用的排水或再濕潤如何影響生物量和死有機物質庫，並調整假設或方法以將其結果納入估算。應該仔細設計更高層次的方法，以確保估算結果在不同庫之間兼容。特別是，如果將基於通量的排放因數估計值納入與儲存變化估計值結合，則可能會對排放量或儲存量進行重複計算。例如，植被中的碳儲存包括在大氣淨通量和生物量庫的變化中，則可能發生這種情形。在使用國家特定排放因數的情況下，它們應基於高質量的現場數據，使用嚴格的測量程序發展，並且要有充分的文件記錄。

針對這一類別的排放和吸收發展額外特定類別的質量控制和質量保證程序是一種較佳作法。此類程序的例子包括檢查所有土地利用類別中管理有機土地總面積的時間序列，以確保沒有不明原因的土地收益或損失。對應用於再濕潤有機土壤的排放因數和未排水類似生態系統的通量進行比較分析，以確保再濕潤有機土壤的面積和位置與排水有機土壤提供的訊息一致。

第七章 沿海濕地

7.1 前言

本章提供了關於估算受管理海岸濕地的人為溫室氣體(GHG)排放和儲存之指導。海岸濕地儲存了大量的碳在生物量與土壤中(全球碳儲存:紅樹林約~8 Pg C; 潮間帶草澤(或鹽沼)約~0.8 Pg C; 海草床約 4.2 - 8.4 Pg C)。土壤中的碳主要來自當地的生物量和枯落物,與陸域森林相比,海岸濕地可形成明顯的碳匯,亦稱藍碳。

海岸濕地通常由有機土或礦物土組成,植被由維管束植物覆蓋,這些土壤可能全年或部分時間被潮汐淡水、半淡鹹水或鹹水所淹沒。沿海濕地的邊界可能延伸至潮汐淹沒的陸地範圍,並且可能向海延伸至維管植物植物的最大深度。各國需要根據國情和能力製定適合該國海岸濕地的定義。本章重點是紅樹林、潮間帶草澤和海草床。

表 7.1 沿海濕地的具體管理活動

活動	子活動	受影響植被類型
與二氧化碳排放量和吸收量有關的活動		
紅樹林的森林管理實踐	種植、疏伐、收成、木材清除、薪柴清除、木炭生產	紅樹林
抽沙	挖掘以建設港口、海港和碼頭; 填充或疏浚以提高土地高程	紅樹林、潮間帶草澤、海草床
	水產養殖(結構)	紅樹林、潮間帶草澤
	鹽生產(結構)	紅樹林、潮間帶草澤
排水	水產養殖、林業、滅蚊	紅樹林、潮間帶草澤
再濕潤, 植被恢復和創建	透過恢復水文和重建植被, 從排水土壤轉換為飽和土壤	紅樹林、潮間帶草澤
	未排水土壤的植被重新建立	海草床
與非二氧化碳排放有關的活動		
水產養殖	水產養殖的氧化亞氮排放	紅樹林、潮間帶草澤、海草床
再濕潤土壤	恢復水文狀態後改變為自然植被的甲烷排放	紅樹林、潮間帶草澤

根據各國狀況編制沿海濕地的定義是一種較佳作法。應用特定國家定義後，需要確定具體的管理活動(表 7.1)，並使用本章提供的方法報告排放量和儲存量。導致土壤開採的管理活動(如建造水產養殖漁塭)可能導致紅樹林和潮間帶草澤中的大量 CO₂ 排放。N₂O 排放可能來自水產養殖活動，而再濕潤會增加排水的淡水潮間帶系統的 CH₄ 排放量並增加紅樹林生物量、枯木和土壤中的碳累積。管理活動可能會或可能不會導致土地利用變化。無論土地利用方式是否發生變化，最好的作法是根據各國特定的定義量化和報告沿海濕地管理活動產生的碳排放和儲存(表 7.1)。

可參考 2006 年 IPCC 指導原則中關於估算溫室氣體排放的許多基本方程式，並在必要時在本報告中有提供新的指導。決策樹(圖 7.1)指導清單編制者針對本章涵蓋的每項具體管理活動的適當估算方法。

本章提供方法 1 中用於估算沿海濕地的紅樹林生物量和枯木的碳存量的變化的通用數據：

- 對開採管理活動（包括建造水產養殖和鹽業生產池），排水後再濕潤、植被恢復和創建的有機和礦物土壤CO₂排放和儲存指導原則；
- 用於估算紅樹林、潮間帶草澤和海草床土壤人為CO₂排放量和儲存量的通用數據；
- 對水產養殖過程中N₂O排放的指導原則；
- 紅樹林、潮間帶草澤和海草床再濕潤、植被恢復和闢建後CH₄排放的指導原則。

人為活動改變往往導致沿海濕地的面積減少。自 1980 年以來，全球大約有 35% 的紅樹林面積消失，當前全球面積損失率在每年 0.7% 至 3% 之間。導致大部分紅樹林損失的管理活動包括林業活動(26%)和水產養殖，其中包括為蝦池(38%)和養魚場(14%)建造和開採土壤。目前全球潮間帶沼澤的面積損失率估計在每年 1% 至 2% 之間。為了農業排水、在潮間帶中隔離草澤、在開採後填充沉積物，以及建造用於鹽業生產的池塘期間開採土壤是影響潮間帶草澤的常見管理

活動。目前海草床的全球的損失率約在每年 0.4% 到 2.5% 之間。在全球範圍內，海草損失的主要原因是疏浚等管理活動，挖掘土壤以增加低窪地區的土地面積，並做為定居和水產養殖的新土地之用。

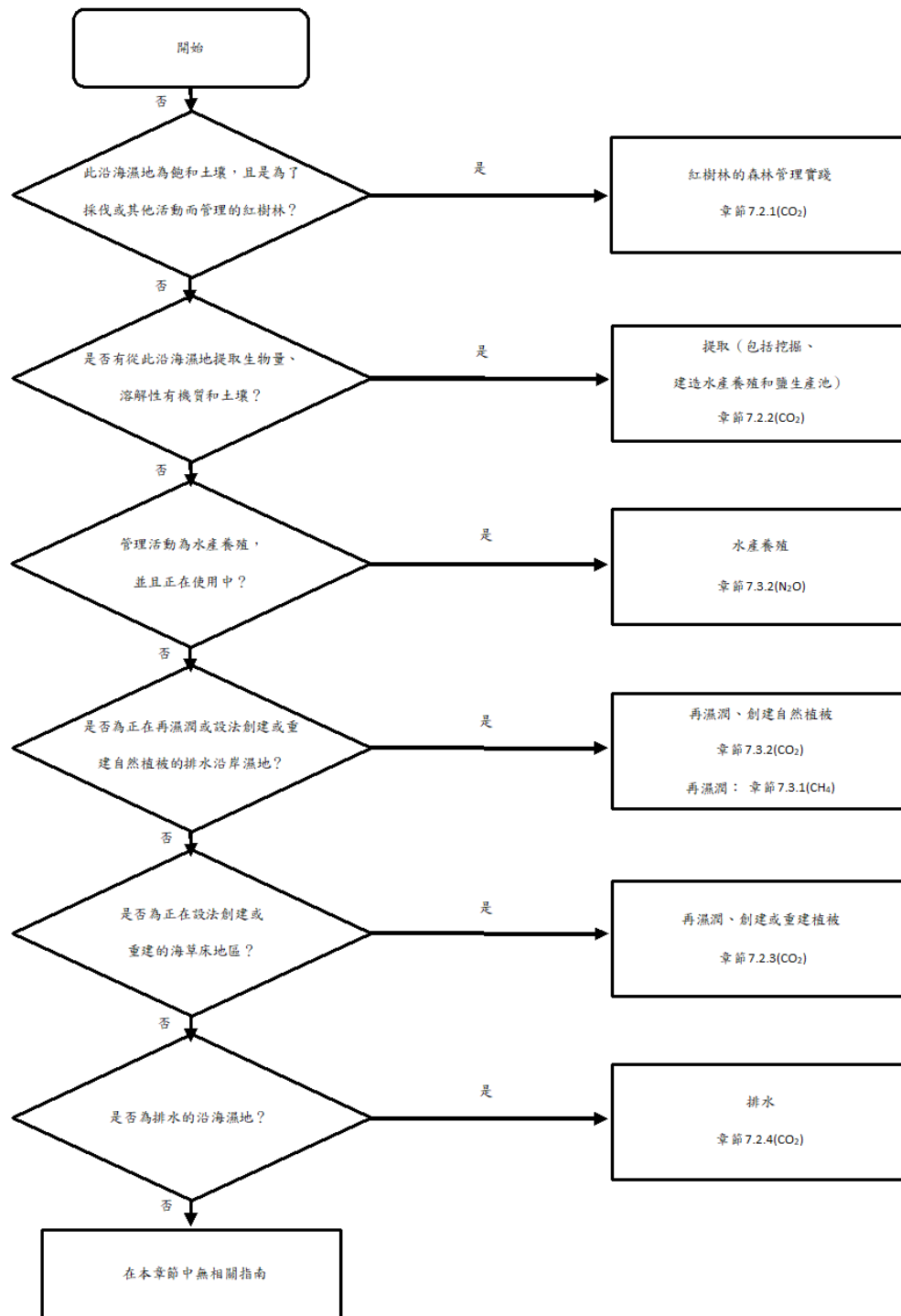


圖 7.1 沿海濕地具體管理活動導致溫室氣體排放的第一層級估算決策樹

7.2 二氧化碳排放與儲存

本節提供估算沿海濕地中人類活動產生的 CO₂ 排放量和儲存量之方法，其中包括紅樹林的管理作法，開採，排水和再濕潤。這裡提供的方法指導與先前指導原則中關於生物量與死有機物體的方法一致，且大部分基於以下方法指導：(1) 紅樹林管理作法中，生物量和死有機體的方法大部分基於前章指導原則；(2) 開採活動的方法指導大致符合對泥炭土開採的指導；(3) 再濕潤和排水活動，本指導原則的其他章節中的方法指導與此處介紹的方法一致。表 7.1 描述了本章包含的活動內容。

表 7.1 沿海濕地的具體管理活動

表 7.1 沿海濕地的具體管理活動		
活動	子活動	受影響植被類型
與二氧化碳排放量和吸收量有關的活動		
紅樹林的森林管理實踐	種植、疏伐、收成、木材清除、薪柴清除、木炭生產	紅樹林
抽沙	挖掘以建設港口、海港和碼頭；填充或疏浚以提高土地高程	紅樹林、潮間帶草澤、海草床
	水產養殖(結構)	紅樹林、潮間帶草澤
	鹽生產(結構)	紅樹林、潮間帶草澤
排水	水產養殖、林業、滅蚊	紅樹林、潮間帶草澤
再濕潤， 植被恢復和創建	透過恢復水文和重建植被，從排水土壤轉換為飽和土壤	紅樹林、潮間帶草澤
	未排水土壤的植被重新建立	海草床
與非二氧化碳排放有關的活動		
水產養殖	水產養殖的氧化亞氮排放	紅樹林、潮間帶草澤、海草床
再濕潤土壤	恢復水文狀態後改變為自然植被的甲烷排放	紅樹林、潮間帶草澤

7.2.1 紅樹林管理作法

本節涉及與紅樹林管理作法相關的 CO₂ 排放和儲存。按照國家對森林定義，在紅樹林濕地具有樹木時適當的指導是一種較佳的作法，但並不一定滿足國家森林定義的所有閾值。根據土地的分類方式，紅樹林的管理作法可能會或不會導致土地利用方式的變化。估算方法參見第二章提供的通用指導原則，以及相關章節中有更具體的指導，用於報告地上部生物量，地下部生物量和死有機體（枯落物和枯木）的二氧化碳排放和儲存。

7.2.1.1 生物量

生物量可以儲存在含有多年生木本植物的紅樹林中。在指導原則第二章中提供了估算木本植物生物量碳存量變化的通用方法。生物量變化的估計僅針對紅樹林中的多年生木本植物。紅樹林生物量的變化可以透過以下兩種方式進行估算：

（1）每年生物量的輸入率和輸出率或（2）兩個時間點的碳存量變化。

第一種方法(輸入-輸出法)可以用於方法 1 的估算(並在更高層級的方法上改進)，而第二種方法可用於方法 2 或方法 3 的估算。在不同國家的狀況下，各國努力改進調查報告方法是一種較佳的作法，可以盡可能推進到較高的層級方法的使用。對於非木本的植被(即海草床和許多潮間帶草澤)的沿海濕地，假設一年內生物量碳存量的輸入等於輸出，因此淨變化量為零。

7.2.1.1.1 方法選擇

7.2.1.1.1.1 方法 1

如果土地為（1）符合國家森林的定義或（2）擁有木本植物的紅樹林濕地，但不符合國家的森林定義，並且在未發生土地利用變化的森林中進行管理活動，在後節中土地利用類別提供具體的指導。如果土地（1）符合國家的森林定義或（2）擁有木本植物的紅樹林濕地，並且土地利用方式改變或樹木因森林活動管理而被砍伐，則使用後節中轉換為另一土地利用方式的土地的具體指導。可應用

本章提供的通用數據(表 7.2-7.6)和具體指導。當生物量存量或其類別(或子類別)的變化是重要的類別時，最好選擇較高層級的方法進行估算。方法 1 和方法 2 的選擇取決於數據的類別和可用性、模型精確性、空間等級和各國狀況。

由於生物量轉換和擴展因數(BCEF)不適用於紅樹林。若地上部生物量是從商售蓄積估計，則以年度淨增量的轉換或利用木本和薪柴除去體積換算為地上生物量的去除，採用公式 7.1。其中 BCEF 是根據木材密度(表 7.6)或一個通用值 BEF。

公式 7.1

公式 7.1 使用 BEF 和木材密度估算 BCEF $BCEF = BEF \cdot D$ (Section 2.3.1.1, Chapter 2 of the 2006 IPCC Guidelines)
--

BCEF = 將生長儲存量、淨年增長量或木材清除量轉化為地上部生物量、地上部生物量增長或清除量的轉換/擴展係數，tonnes d.m. M⁻³

BEF = 生物量擴展係數，無單位。擴大可銷售庫存的乾重、木材淨年度增長或清除，以計入非可售部分

D = 木材密度，tonnes d.m. m⁻³

7.2.1.1.1.2 方法 2

與方法 1 相同，可以使用各國家/地區特定的數據應用“輸入－輸出法”。此外還可以使用各國特定排放因數應用“存量差異法”。若使用存量差異法，可以應用各國特定的 BEF、BCEF 或木材密度。在方法 2 中，轉換為另一種土地利用方式或在紅樹林移除後生物量為零時各國可立即修正預設。請參閱其他相關章節，以獲得關於紅樹林管理方法 2 的進一步指導。

7.2.1.1.1.3 方法 3

以方法 3 評估生物量碳庫變化時可採用多種方法，包括以基於過程(process-based)模式模擬生物量碳庫的變化動態。國家定義的方法可以根據異速生長方程

式估算地上部生物量或永久樣區的詳細調查清單。方法 3 還可能涉及植物類型，生態區和鹽度等大量的國家數據。方法 3 可以根據物種、生態區、生產力和管理強度分層生長曲線。如果發展替代方法，則需要明確記錄這些方法。請參閱其他相關章節，以獲得有關方法 3 紅樹林管理作法的進一步指導。

7.2.1.1.2 排放/吸收因數選擇

7.2.1.1.2.1 方法 1

對於使用方法 1 中“輸入-輸出法”的國家來說，估算全年生物量的碳輸入需要以下內容：地上生物量的含碳百分比、地上部生物量的平均值、地上部生物量平均年輸入率、地下部生物量與地上部生物量之比值和平均木材密度。這些參數的預設值分別在表 7.2-7.6 中提供。應用年輸入率是不錯的作法，較不會高估或低估。

7.2.1.1.2.2 方法 2

國家數據可以包括各國的特定值和方法 1 中使用的任何參數。可使用“存量差異法”估算生物量碳庫變化的值。有關進一步指導，請參閱其他相關章節。

7.2.1.1.2.3 方法 3

方法 3 可能會使用更高等級的空間數據，這取決於各國家內各地區的鹽度差異變化、適用於特定年齡的森林生長率。有關進一步指導，請參閱其他相關章節。

表 7.2 紅樹林地上部生物量的碳比例(TONNES C (TONNES D.M.)⁻¹)

組成	%C	95% CI	Range
葉+木	45.1 (n = 47)	42.9, 47.1	42.2-50.2

表 7.3 紅樹林地上部生物量(TONNES D.M. HA⁻¹)

氣候域	區域	地上部生物量	95% CI	Range	n
熱帶	熱帶濕潤	192	187, 204	8.7-384	49
	熱帶乾燥	92	88, 97	3.2-201	13
亞熱帶		75	66, 84	3.9-129	10

表 7.4 紅樹林地上部生物量生長(TONNES D.M. HA⁻¹YR⁻¹)

氣候域	區域	地上部生物量生長	95% CI	Range	n
熱帶	熱帶濕潤	9.9	9.4, 10.4	0.1-27.4	23
	熱帶乾燥	3.3	3.1, 3.5	0.1-7.5	6
亞熱帶		18.1	17.1, 19.1	5.3-29.1	4

表 7.5 紅樹林地下部生物量與地上部生物量的比值(R)

氣候域	區域	R [tonne root d.m. (tonne shoot d.m.) ⁻¹]	95% CI	Range	n
熱帶	熱帶濕潤	0.49	0.47, 0.51	0.04-1.1	18
	熱帶乾燥	0.29	0.28, 0.30	0.09-0.79	9
亞熱帶		0.96	0.91, 1.0	0.22-0.27	18

表 7.6 紅樹林木的平均密度(D: TONNES M⁻³)

	D	95% CI ²	Range	n
林木	0.71	0.64, 0.74	0.41-0.87	85

7.2.1.1.3 活動資料選擇

7.2.1.1.3.1 方法 1

方法 1 數據可從以下來源獲得：

- FAOSTAT (聯合國糧農組織)：

<http://faostat.fao.org/>

- Global Mangrove Database & Information System (全球紅樹林資料庫與資訊系統)：

<http://www.glomis.com/>

- The UNESCO Mangrove Programme (聯合國教科文組織的紅樹林計劃)：

<http://www.unesco.org/csi/intro/mangrove.htm>

- Mangrove and the Ramsar Convention (紅樹林和拉姆薩爾公約)：

http://www.ramsar.org/types_mangroves.htm

- USGS Global Mangrove Project (美國地質調查局全球紅樹林計畫)：

<http://lca.usgs.gov/lca/globalmangrove/index.php> Mangrove.org：

<http://mangrove.org/>

- Mangrove Action Project (紅樹林行動計畫)：

<http://www.mangroveactionproject.org/>

- FAO Mangrove Management (聯合國糧農組織紅樹林管理)：

<http://www.fao.org/forestry/mangrove/en/>

- USGS National Wetlands Research Center (美國地質調查局國家濕地研究中心)：

<http://www.nwrc.usgs.gov/index.html>

- World Atlas of Mangrove (世界紅樹林地圖集)：

<http://data.unep-wcmc.org/datasets/22>

World Distribution of Coral Reefs and Mangroves (世界珊瑚礁和紅樹林的分佈)：
<http://www.unep-wcmc.org>

美國地質局 (USGS) 已繪製了全球紅樹林地圖，分別為“1975” (1973-1983)， “1990” (1989-1993) 和“2000” (1997-2000) 三個時期，可於 <http://edcintl.cr.usgs.gov/ip/mangrove/download.php> 下載。聯合國環境規劃署世界養護監測中心(UNEP-WCMC)與國際紅樹林生態系統學會(ISME)合作編制了“全球紅樹林分佈”(V3.0,1997)。日本宇宙航空研究發展機構(JAXA)的全球紅樹林觀察計畫使用合成孔徑雷達繪製了 1995 年和 2007-2010 年的全球紅樹林範圍地圖(JAXA 2010a)以及 1995 - 2007 年，2007 - 2008 年，2008 - 2009 年和 2009 - 2010 年的紅樹林年度變化圖。

(<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/kyoto/mangroviewatch.htm>)。提供近期沿海濕地面積可以幫助各國了解這些趨勢的情況以及管理活動對它們的貢獻(<http://archive.org/stream/worldatlasofseag03gree#page/n5/mode/2up>;
<http://nicholasinstitute.duke.edu/publications?topics=34>)。

7.2.1.1.3.2 方法 2 與方法 3

在方法 2 和方法 3 中，應用了各國特定的活動資料，而方法 3 中則採用所需的解析度。在更高的層級上，這些數據可能來自當地、州或地區政府部門的網站，因為許多國家和地區政府當局都會報告此資訊。各國也有自己的遙感系統，可用於土地變化繪製。方法 2 和方法 3 需要使用不同物種的木材密度值。紅樹林可以用航空影像進行評估，當 ALOS-2 衛星投入使用時，可利用雷達製作年度紅樹林範圍和變化圖。

7.2.1.1.3.3 不確定性評估

所有濕地類型中特別是紅樹林主要的不確定性來源為不同樹種的含碳百分比、森林年齡、物種組成、潮間帶位置、土壤肥力和群集結構的差異。表 7.2-7.6 中列出的信賴區間範圍約為 24%至 200%。為了減少不確定性，鼓勵各國發展針對特定國家或地區的 BEF 和 BCEF 值。若特定國家或地區的值無法使用，最好檢查預設參數的來源及其與現有物種的對應關係以及各國的條件。

造成紅樹林生長的原因包括氣候，地區生長條件和土壤肥力。人工更新和管理的森林變異較天然林少。提高這些濕地估計值準確性的方法之一為應用各國或地區特定的估算方法，計算當地的優勢物種。如果使用預設值，則需要明確指示和記錄估計值的不確定性。

7.2.1.2 死有機質

本節提供的關於紅樹林中死有機物體(DOM；枯木和枯落物)碳庫變化的指導

原則。直徑 ≤ 2 mm 的死根周轉快速，假設其處於穩定狀態，包含在土壤碳庫中，因此不在死亡有機物體碳庫中考慮。死有機質碳庫可能因潮汐淹沒時間和頻率、土壤氧化與植被覆蓋而異。細凋落物可能隨著潮汐輸出，而大部分衰老的木質殘體被埋藏或原地分解。在濕地中，死有機質中特別是木材的分解緩慢，並以土壤有機質的形式積累。估算死有機質碳儲量的輸入、輸出或變化時需要仔細考慮避免重複計算。當沿海濕地因人為管理活動導致紅樹林覆蓋度發生變化時，最好考慮死亡有機物體碳庫的變化。

7.2.1.2.1 方法選擇

7.2.1.2.1.1 方法 1

如果土地（1）符合國家的森林定義或（2）擁有木本植物的紅樹林濕地，但不符合國家的森林定義，並且在未發生土地利用方式變化的森林中進行管理活動，請參考維持土地利用類別之土地中提供具體的指導。如果土地（1）符合國家的森林定義或（2）擁有木本植物的紅樹林濕地，並且土地利用方式改變或樹木因森林活動管理被砍伐，則請參考轉換土地利用類別的土地相關章節中的具體指導。以上可使用本章提供的預設數據(表 7.7)和具體指導。

7.2.1.2.1.2 方法 2

方法 2 的估算方法可以遵循方法 1，但應用各國特定的數據。如果各國在兩個時間點上有來自相同森林的調查數據，則可應用存量差異法。文獻數據或碳資料庫可以提供更多可行和具成本效益的數據來應用此方法。

7.2.1.2.1.3 方法 3

因潮汐造成的枯木和凋落物的輸出也需加入考慮。方法 3 可能會進一步採用生態區或干擾程度進行分級以減少不確定性。總而言之，以枯木和凋落物的變化來報告死有機質總量的變化是一種較佳的作法。

7.2.1.2.2 排放/吸收因數選擇

7.2.1.2.2.1 方法 1

表 7.7 提供了方法 1 中用於評估排放和儲存的預設值。

7.2.1.2.2.2 方法 2

若能夠以合理的成本獲取各國特定的數據則可以使用方法 2。

7.2.1.2.2.3 方法 3

方法 3 的排放因數包括模型的輸出和驗證以及分類數據的來源。現場測量可以用於驗證方法 3 的模型輸出發展。方法 3 可以利用經驗方程式來估算紅樹林樹冠層下枯落物及枯倒木的調查。

表 7.7 紅樹林凋落物和枯木的第一層級碳儲存預設值

氣候域	生態系類型	成熟林的凋落物碳儲存 (tonnes C ha ⁻¹) with 95% CI	成熟林的枯木碳儲存 (tonnes C ha ⁻¹) with 95% CI
熱帶/亞熱帶	紅樹林	0.7 (0-1.3)	10.7 (6.5-14.8)

7.2.1.2.3 活動資料選擇

7.2.1.2.3.1 方法 1

通常在方法 1 中不會報告死有機質中的碳存量變化，因為沿海濕地的管理活動不會因人為影響而導致紅樹林覆蓋率發生變化，因此不需要任何活動資料。若因為土地利用方式改變導致木本植物生物量碳庫存增加，最好在報告中提到死有機質碳存量的變化。

7.2.1.2.3.2 方法 2 與方法 3

使用更高層級的方法需要更全面性的資料，例如，利用氣候作為拆解因素並

有更高解析度的空間和時間數據。

7.2.1.2.3.3 不確定性評估

IPCC 2006 年指導原則第四卷第四章 4.2.2.5 節提出評估紅樹林死有機質碳庫變化的不確定性來源。其他不確定性來源包括分解或潮汐導致的有機物質輸出。

7.2.1.3 土壤碳

方法 1 中假設紅樹林管理作法中的土壤 CO₂ 排放量和儲存量為零(EF = 0)。這個假設可以在較高層級的方法上修改。在更高層級中，建議估算因移除森林而產生的土壤 CO₂ 排放量。方法 1 中還會考慮由於森林管理作法，可能會出現的再濕潤和排水活動。在這種情況下，按照土壤碳存量變化估算 CO₂ 排放量和儲存量的指導。

7.2.2 開採

開採包含以下活動：(A)開挖（與挖泥有關），用於提供土壤以提高土地的高程，或開挖以建造港口或碼頭；(B)建造水產養殖池；(C)建造鹽業生產池，在池塘中盛水的地方挖掘土壤以建造護岸。每種開採活動都與移除生物量，死有機物質和土壤有關，當它們從飽和(淹水)到不飽和(有氧)條件時會導致大量 CO₂ 排放。

公式 7.2

公式 7.2 第一層級估算開採後造成的碳儲存初始變化(所有碳庫) $\Delta C_{EXT} = \Delta C_{excav} + \Delta C_{aq-constr} + \Delta C_{sp-constr}$

ΔC_{EXT} = 所有開採活動造成的碳儲存變化，tonnes C

ΔC_{excav} = 開採提取的生物量、死有機質和土壤碳儲存的初始變化，tonnes C

$\Delta C_{aq-constr}$ = 建設水產養殖池過程中的生物量、死有機質和土壤碳儲存初始變化，tonnes C

$\Delta C_{sp-constr}$ = 建設鹽生產池過程中的生物量、死有機質和土壤碳儲存初始變化，tonnes C

公式 7.2 應用於發生開採活動的沿海濕地總面積。各個開採活動的每個碳庫中的初始變化： ΔC_{excav} ， $\Delta C_{\text{aq-constr}}$ 和 $\Delta C_{\text{sp-constr}}$ 總和被估計為 $\Delta C_{\text{CONVERSION}}$ （公式 7.4-7.6）。公式 7.3 應用於單一開採活動(和上述 A-C 活動)，以估計每個碳庫的初始變化。

公式 7.3

公式 7.3 開採造成的碳儲存初始變化(所有碳庫) $\Delta C_{\text{excav}} = \Delta C_{\text{excav-AB}} + \Delta C_{\text{excav-BB}} + \Delta C_{\text{excav-DOM}} + \Delta C_{\text{excav-SO}}$

ΔC_{excav} = 開採時生物量、死有機質和土壤碳儲存的初始變化，tonnes C

$\Delta C_{\text{excav-AB}}$ = 開採時地上部生物量碳儲存的初始變化，tonnes C

$\Delta C_{\text{excav-BB}}$ = 開採時地下部生物量碳儲存的初始變化，tonnes C

$\Delta C_{\text{excav-DOM}}$ = 開採時死有機質碳儲存的初始變化，tonnes C

$\Delta C_{\text{excav-SO}}$ = 開採時土壤碳儲存變化為年度二氧化碳排放和移除量，tonnes C

公式 7.3 提供了用於估算挖掘活動中每個碳庫中碳存量初始變化的公式。為了估算這些碳庫用於建設水產養殖池和鹽業生產池碳庫的碳存量初始變化，分別使用公式 7.3 中的 $\Delta C_{\text{aq-constr}}$ 和 $\Delta C_{\text{sp-constr}}$ 代替 ΔC_{excav} 。

方法 1 中假設生物量、死有機質和土壤全部被移除。在有氧條件下，所有碳庫中的碳在開採年份以 CO_2 的形式排放(符合 IPCC 2006 年指導原則中對泥炭土開採的假設)，並且不會產生後續排放。

表 7.8 中總結了開採活動各層級指導，特別是在水產養殖和鹽業生產施工階段的挖掘工作。(1)漁業養殖和鹽業生產進行時(生產階段)或(2)當活動已停止(停止階段)時，不用估算 CO_2 排放量和儲存量，但會與其他開採活動一起考慮，因為活動是相關聯的。

表 7.8 開採活動中碳儲存初始變化的第一層級估算摘要

			碳庫			
			紅樹林生物量、死有機質和凋落物	土壤		
				紅樹林和潮間帶草澤		海草床
				有機	礦物	礦物
開採活動	提取		第一層級	第一層級	第一層級	第一層級
	水產養殖和鹽生產	建造	第一層級	第一層級	第一層級	無
		使用	無指南			
		中止	無指南			

7.2.2.1 生物量

本節介紹了沿海濕地建設水產養殖和鹽業生產池挖掘活動所造成的生物量變化(地上與地下部)。關於在潮間帶草澤和海草床的沿海濕地所進行的開採活動，僅在方法 2 或更高的層級估算生物量碳存量的變化。報告紅樹林開採過程中地上部和地下部生物量的轉化是一個較佳的作法。

7.2.2.1.1 方法選擇

7.2.2.1.1.1 方法 1

開採活動可能會也可能不會導致土地利用方式發生變化。然而，紅樹林中不論其土地利用方式為何，皆使用與森林相同的方法。

公式 7.4

公式 7.4 開採活動造成生物量碳儲存初始變化的第一層級估算 $\Delta C_{B-CONVERSION} = \sum_{v,c} \{B_{AFTER} \cdot (1+R) - B_{BEFORE} \cdot (1+R)\} \cdot CF \cdot A_{CONVERTED_{v,c}}$
--

$\Delta C_{B-CONVERSION}$ = 開採活動造成的生物量碳儲存變化，tonnes C

B_{AFTER} = 透過植被類型(v)和氣候(c)轉換後，每單位面積的地上部生物量中的碳儲存量，tonnes d.m. ha⁻¹；預設值 = 0

B_{BEFORE} = 轉換前每單位面積的地上部生物量中的碳儲存量，tonnes d.m. ha⁻¹

R = 不同植被類型(v)和氣候(c)的地下部與地上部生物量比值，tonnes d.m. below-ground biomass (tonnes d.m. above ground biomass)⁻¹

CF = 乾物質的碳含量，tonnes C (tonnes d.m.)⁻¹

$A_{CONVERTED}$ = 透過植被類型(v)和氣候(c)轉換後的面積，ha

在方法 1 中，對於沒有多年生生物量或樹木的沿海濕地，假設生物量碳庫的初始變化 $\{B_{\text{AFTER}} \cdot (1 + R) - B_{\text{BEFORE}} \cdot (1 + R)\}$ 為零。對於具有多年生生物量或樹木的紅樹林濕地，方法 1 轉化後的碳存量變化（ B_{AFTER} ）為零。

7.2.2.1.1.2 方法 2

在方法 2 中，利用 $\Delta C_{\text{B-CONVERSION}}$ 公式，使用各國特定的排放因數和 R （地上部與地下部生物量之比值），可估算潮間帶草澤和海草床植被地上部生物量中碳庫的變化。在表 7.9 和 7.10 中，有關於各國特定地上部生物量的數據。在方法 2 中，開採活動（例如水產養殖和鹽業生產）可採用輸入 - 輸出或存量差異方法估算紅樹林的生物量的碳庫變化。方法 2 還可評估轉化為有氧環境的生物量碳庫。

7.2.2.1.1.3 方法 3

在方法 3 中，估算包括將飽和條件下保留的生物量碳儲量部分數據納入方法，以改進碳氧化的比例估算。

7.2.2.1.2 排放/吸收因數選擇

7.2.2.1.2.1 方法 1

方法 1 的預設數據是根據表 7.2-7.6 與第 7.2.1 節中地上部生物量碳儲量、含碳百分比以及地下與地下部生物量的比值構成，適用於不同氣候地區和地區。

7.2.2.1.2.2 方法 2

在方法 2 中，應用各國特定數據來估計地上部生物量碳儲量的變化。估算在潮間帶草澤和海草床的地上和地下生物量的轉化分別使用表 7.9 和表 7.10 的數據。這些數據將與各國特定的乾重碳含量以及地上部生物量碳存量一起使用。

表 7.9 潮間帶草澤的地下部和地上部生物量比值(R)

氣候域	R [tonne root d.m. (tonne shoot d.m.) ⁻¹]	95% CI	Range	n
地中海型	3.63	3.56, 3.70	1.09-7.15	5
亞熱帶	3.65	3.56, 3.74	2.23-9.41	5
溫帶淡水感潮帶	1.15	1.12, 1.18	0.36-3.85	7
溫帶	2.11	2.07, 2.15	0.33-10.15	17

表 7.10 海草床的地下部和地上部生物量比值(R)

氣候域	R [tonne root d.m. (tonne shoot d.m.) ⁻¹]	95% CI	Range	n
熱帶	1.7	1.5, 1.9	0.05-25.62	396
亞熱帶	2.4	2.3, 2.6	0.07-16.8	391
溫帶	1.3	1.1, 1.5	0.14-13.8	91

7.2.2.1.2.3 方法 3

野外調查數據可用於驗證方法 3 的模型輸出並改進挖掘活動的數據，例如根據真實受影響的土地面積、生物量移除的深度或比例，可用於發展和驗證模型。

7.2.2.1.3 活動資料選擇

7.2.2.1.3.1 開採

在國際和國家層級皆可以找到相關的開採規定。國際法規包含 1982 年聯合國海洋法公約(UNCLOS)([www.un / org / Depts / los / index.htm](http://www.un.org/Depts/los/index.htm))。締約方有義務公佈/通報關於監測和評估開採潛在有害影響的報告。“奧斯巴德公約(OSPAR Convention)1992”(www.ospar.org)為控制東北大西洋地區人類活動的方案和措施提供指導。“砂石礫石開採協議”規定，在考慮環境影響評估後，授權從生態敏感點開採海洋土壤。1992 年赫爾辛基公約(Helsinki Convention)(www.helcom.fi)涵蓋了波羅的海地區，要求將環境影響評估作為開採過程的一部分進行，並且“監測數據”和“環境影響評估的結果可用於科學評估”。1995 年

巴塞隆納公約(Barcelona Convention)(www.unepmap.org)涵蓋了地中海的監測架構。1964 年 ICES 公約(www.ices.dk)為 OSPAR 和赫爾辛基委員會提供數據處理服務。其他此類活動資料來源包括，例如奧斯卡馬丁區域的沙石礫石開採統計資料。若 1990 年以前的時間序列數據無法使用，則建議使用替代數據，這些數據來源於統計報告/資料庫，其中包含有關代理因素(如人口密度，港口或碼頭發展，港口收入，運輸噸位等)時間變化和商品出口的資訊。這些數據可以從網路取得。

7.2.2.1.3.2 水產養殖和鹽業生產

糧農組織漁業和水產養殖部整理了提供水產養殖生產統計資料的年度數據(1950 年至今)。關於沿海濕地水產養殖(例如淡水或半淡鹹水)和水產養殖生產面積的其他數據在國家概況中有概述(<http://www.fao.org/fishery/countryprofiles/search/en>)。由於當地法規通常適用於發展新的水產養殖活動(即執照許可)，因此通常適用於向漁業和海洋事務部(或同等國家)報告此類活動的法規。

有關鹽生產活動的類似項目資訊可以從鹽研究所(www.saltinstitute.org)獲得。文獻來源還可以提供用於水產養殖和鹽生產的池塘或結構的航空照片的國家地區變化統計數據。

世界養護監測中心(WCMC; <http://data.unep-wcmc.org/>)目前正在為歐洲，美國，澳大利亞、中國和印度等地提供潮間帶草澤分佈圖並有區域數據。全球海草分佈圖(V2.0,2005)也可在 WCMC (<http://data.unep-wcmc.org/>)上獲得，並與 Frederick T. Short 博士合作編制。其他區域和國家地圖也可以使用(http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00426_zostera_beds)。

7.2.2.1.3.3 不確定性評估

關於紅樹林的不確定性評估，請參閱本章第 7.2.1 節。涉及紅樹林開採的不

確定因素也遵循 2006 年 IPCC 指導原則相關規定。潮間帶草澤生物量的變化將歸因於優勢物種和物種之間的競爭差異、洪水、鹽度、潮汐氾濫頻率和氣候。大多數經驗數據都可以從溫帶地區和北美獲得，北半球亞熱帶潮汐淡水和潮間帶草澤的數據有限。根據優勢種和土壤肥力的不同，海草平均地下部和地上部生物量的比例是不同的。這些數據主要來自北美，西歐和澳大利亞沿海的觀測資料，南美和非洲的數據很少。

7.2.2.2 死有機質

7.2.2.2.1 方法選擇

當死有機質(DOM)暴露於有氧條件下時可能產生大量的 CO₂ 排放。根據“2006 年 IPCC 森林土地準則”，在沿海濕地中，當開採活動導致紅樹林的覆蓋度因這些人為影響而發生變化時，最好考慮死有機質碳庫變化。

7.2.2.2.1.1 方法 1

在開採活動期間，由於植被被移除導致現地的死有機質碳庫可能會減少到零，同時沒有新的碳源輸入至死有機質碳庫中。在方法 1 中，潮間帶草澤和海草床中死有機質中碳儲量的變化假設為零。然而，值得注意的是，在具有多年生木質生物量的潮間帶草澤中導致植被或土壤擾動的開採活動可能對 CO₂ 排放和儲存具有明顯影響。如果可行的話，針對各國特定的方法來估算這些案例是較佳的作法。無論土地利用類別如何，與開採活動有關的死有機質的損失估計根據適用於泥炭土開採方法的 ΔC 轉換，在此修改為公式 7.5：

公式 7.5

公式 7.5

開採活動造成死有機質碳儲存初始變化的第一層級估算

$$\Delta C_{\text{DOM-CONVERSION}} = \sum_v (\text{DOM}_{\text{AFTER}} - \text{DOM}_{\text{BEFORE}})_v \cdot A_{\text{CONVERTED}v}$$

$\Delta C_{\text{DOM-CONVERSION}}$ = 不同植被類型(v)的開採活動導致的死有機質碳儲存初始變化, tonnes C

$\text{DOM}_{\text{AFTER}}$ = 植被類型(v)轉換後每單位面積死有機質的碳儲存量, tonnes d.m. ha⁻¹, 預設值 = 0

$\text{DOM}_{\text{BEFORE}}$ = 植被類型(v)轉換前每單位面積死有機質的碳儲存量, tonnes d.m. ha⁻¹

$A_{\text{CONVERTED}}$ = 植被類型(v)轉換的土地面積, ha

方法 1 假設死有機物體在有氧條件下被移除。在有氧條件下, 所有碳在開採時以 CO₂ 的形式排放, 並且不會發生後續排放。

7.2.2.2.1.2 方法 2 與方法 3

對於估算具多年生或木本生物量的潮間帶草澤中死有機物質庫的管理活動, 建議採用方法 2 或更高層級的估算方法。

7.2.2.2.2 排放/吸收因數選擇

7.2.2.2.2.1 方法 1

表 7.7 中提供了方法 1 中用於估算紅樹林的死有機質碳存量(枯木和枯落物)的預設值。在潮間帶草澤和海草床中, 方法 1 假設由開採活動產生的死有機體碳庫中的碳存量變化為零。

7.2.2.2.2.2 方法 2

在方法 2 中, 可以重新評估在轉化年份中所有死亡的有機物質都被氧化的假設。方法 2 也可以假設潮間帶草澤中死有機質碳庫為零, 在這種情況下, 如果能夠以合理的成本獲得各國特定的數據, 對於紅樹林和具有多年生生物量的潮間帶草澤的死有機體碳儲量, 使用各國特定的估計值是較佳的作法。

7.2.2.2.3 方法 3

方法 3 排放因數包括模型輸出和驗證以及數據來源分類。

7.2.2.3 活動資料選擇

活動資料的選擇遵循第 7.2.2.1 節提供的指導，可應用於開採活動發生時相同面積的碳庫，特別是森林生物量。

7.2.2.3.1 不確定性評估

第四章中所述的不確定性討論也適用於紅樹林的開採。

7.2.2.3 土壤碳

沿海濕地內發生的開採活動可能會影響土壤中有機和礦物土的碳存量，這兩種土壤類型都包含在方法 1 中(表 7.11)。在開採活動期間，被移除的土壤碳存量取決於土壤類型。在方法 1 的估算中，如果沒有土壤地圖數據或其他資源來區分土壤類型，則可以應用以下假設：

1. 假設海草生長的土壤都是礦物土。
2. 假設所有的土壤，無論在河口，不論優勢植被，還是大型和/或高山流域和高流量為特徵的土壤，皆為礦物土。對於所有其他紅樹林和潮間帶草澤來說，土壤為有機土。
3. 如果土壤不能分類為有機和礦物土，則使用表 7.11 中的預設數據。

7.2.2.3.1 方法選擇

7.2.2.3.1.1 方法 1

無論土地利用方式為何，與開採活動有關的土壤輸出按照泥炭土開採的方法估算為 ΔC ，此處修改為公式 7.6：

公式 7.6

公式 7.6

開採活動造成土壤碳儲存量初始變化的第一層級估算

$$\Delta C_{\text{SO-CONVERSION}} = \sum_{v,s} (SO_{\text{AFTER}} - SO_{\text{BEFORE}})_{v,s} \cdot A_{\text{CONVERTED}v,s}$$

$\Delta C_{\text{SO-CONVERSION}}$ = 開採活動使植被類型(v)和土壤類型(s)轉換造成的土壤碳儲存量初始變化，tonnes C

SO_{AFTER} = 植被類型(v)和土壤類型(s)轉換後每單位面積土壤的碳儲存量初始變化，tonnes C ha⁻¹，
預設值 = 0

SO_{BEFORE} = 植被類型(v)和土壤類型(s)轉換前每單位面積土壤的碳儲存量初始變化，tonnes C ha⁻¹

$A_{\text{CONVERTED}}$ = 植被類型(v)和土壤類型(s)轉換後的土地面積，ha

在方法 1 中，建造水產養殖和鹽生產池開採的土壤深度平均為 1 公尺。更高層級中各國可能會修改此假設。方法 1 假定土壤在有氧條件下被移除，在開採年份期間碳儲存以 CO₂ 的形式排放(被氧化)。追蹤這些土地以考慮未來在這些土地上可能發生的管理活動以及更高層級的估算是一種較佳作法。方法的選擇如 7.2.2 節所述。對於方法 1 中 CO₂ 排放量為發生活動時土壤碳的轉化率，用於區分有機土壤和礦物土壤的植被類型和可用活動資料可見表 7.11 中的數據。

7.2.2.3.1.2 方法 2

在方法 2 中，可以根據植被類型和土壤類型的分類應用。開採活動若有足夠的數據，各國可以使用國家特定的數據確定其開採過程和去除的土壤量。由於潮間帶草澤可發生在不同氣候條件下，如果可以獲得各國特定的數據，則可以採用氣候分類來改進估算。方法 2 還可以透過施工階段時關於各國特定的挖掘深度資訊來改進挖出的土壤碳存量的估算值。

7.2.2.3.1.3 方法 3

方法 3 可根據不同季節和氣候下溫度和鹽度對植被類型和土壤氧化的影響，採用模型估算 CO₂ 排放量。在方法 3 中各國透過野外測量驗證模型是一種較佳的作法。方法 3 還可以包括測量特定地點的含碳百分比、總體密度、黏土含量、鹽度和氧化還原電位等以確定排放的基本過程。

7.2.2.3.2 排放因數選擇

7.2.2.3.2.1 方法 1

表 7.11 列出了方法 1 用於計算 CO₂ 排放的紅樹林、潮間帶草澤和海草床土壤碳儲量(深度 1 公尺)的預設數據。這些數據將與公式 7.6 一起用來估算排放量。如果土壤類型未知，可以應用有機土壤和礦物土壤的預設值(表 7.11)。

7.2.2.3.2.2 方法 2

方法 2 使用各國特定的排放因數，可用土壤類型和植被類型的分類改進方法 1 的估算。各國特定的數據可能包括挖掘深度，以改進土壤開採的預設估計值。

7.2.2.3.2.3 方法 3

方法 3 可以考慮到 CO₂ 通量隨時間變化的模型。例如，在施工階段，紅樹林移除後和開挖前直接從土壤中排出的 CO₂，隨後隨著時間的推移 CO₂ 通量隨著時間的對數減少。對於魚塭和蝦塘，可以考慮挖掘的實際面積和挖掘土壤的深度，因為這隨水產養殖和鹽業生產的方式變化。

7.2.2.3.3 活動資料選擇

活動資料的選擇遵循第 7.2.2.1 節提供的指導原則，開採活動發生的區域將與每個碳庫應用的面積相同。

7.2.2.3.3.1 不確定性評估

土壤碳儲量的變化將來自許多原因。若以全球平均土壤碳庫估算可能低估或高估特定國家的排放量和儲存量。使用方法 2 來推導各國特定的碳庫可以減少不確定性。國家之間的差異可能也很大，因為：(1) 存在於紅樹林，潮間帶草澤

或海草床中的優勢種，(2) 氣候條件和 (3) 植被生存的環境背景，這些都可能影響碳庫。

7.2.3 紅樹林、潮間帶草澤與海草床的再濕潤、植被恢復與創建

本節討論與紅樹林，潮間帶草澤和海草床有關的再濕潤、植被恢復和創建活動的碳存量變化和二氧化碳排放量及儲存量。

再濕潤與和植被恢復活動包含：(1) 再濕潤：使先前在紅樹林和潮間帶草澤中排水的土壤飽和，並且是透過自然的植被恢復，直接播種而重建原始植被的先決條件和/或有目的的種植；(2) 升高或降低土壤高程，以便透過自然方式直接播種和/或有目的的種植來重建原始植被；(3) 創建沿海濕地時可能難以確定先前的邊界；(4) 透過自然植被恢復，直接播種和/或有目的的種植在不排水的土壤上重建海草。

表 7.11 用於開採活動的紅樹林、潮間帶草澤和海草床的土壤碳儲存

有機土壤 (TONNES C HA ⁻¹)				
植被類型	SO _{BEFORE}	95% CI	range	n
紅樹林	471 ²	436, 510	216-935	43
潮間帶草澤	340 ³	315, 366	221-579	35
海草床	NA			
礦物土壤 (TONNES C HA ⁻¹)				
植被類型	SO _{BEFORE}	95% CI	range	n
紅樹林	286 ⁵	247, 330	55-1376	77
潮間帶草澤	226 ⁶	202, 252	15.6-623	82
海草床	108 ⁸	84, 139	9.1-829	89
有機及礦物聚合土壤 (TONNES C HA ⁻¹)				
植被類型	SO _{BEFORE}	95% CI	range	n
紅樹林	386	351, 424	55-1376	119
潮間帶草澤	255	254, 297	15.6-623	117

7.2.3.1 生物量

土壤碳庫的積累只有在有植物存在的情況下才有可能發生，需透過有目的的播種/種植植物來達成。對於潮間帶草澤和海草床而言，生物量碳存量的變化僅在方法 2 或更高層級的方法中估算。估算潮間帶草澤和海草床生物量碳存量變化的指導原則請遵循先前關於輸入-輸出法和存量差異方法的內容。這些數據與表 7.9 和表 7.10 中提供的關於地上生物量庫存和地下至地上生物量比率的國家級數據一起使用。

7.2.3.2 死有機質

在紅樹林中，估算死有機質碳庫變化的指導，包括方法的選擇和排放/吸收因子的選擇，見本章第 4.2.1.2 節。對於潮間帶草澤和海草床而言，生物量碳儲量的變化僅在方法 2 或更高層級方法中估算。估算潮間帶草澤和海草床的死有機質碳儲量變化的指導請遵循先前輸入-輸出法和存量差異方法。這些與各國家/地區特定的數據一起使用。

7.2.3.3 土壤碳

本節提供有關土壤的指導與第三章不同，因為在沿海濕地的土壤中，當植被重建後會發展成碳匯導致土壤有機碳的積累。當重新飽和的土壤沒有植被時，CO₂排放因子趨近於零。這與本指導原則第三章介紹的溫帶和熱帶地區的再濕潤土壤的預設 EF_s 值一致。根據再濕潤的有機土壤的自然通量資訊，再濕潤有效阻止土壤有機質氧化，但碳匯功能不一定能重新建立。

沿海濕地的再濕潤和植被恢復活動指導原則遵循方法 1 的假設：

1. 在對先前排水的土壤進行再濕潤和重新植被，建立紅樹或潮間帶草澤或重建海草床時，當天然植被建立時開始土壤碳的累積。
2. 土壤碳累積速率相當於自然環境中的速率。

7.2.3.4 方法選擇

7.2.3.4.1 方法 1

估計由紅樹林，潮間帶草澤和海草床的再濕潤、植被恢復和創建活動造成的土壤碳變化，它們代表了大氣中可能有大量的碳被儲存。

公式 7.7

公式 7.7 再濕潤、重建植被和創建沿海濕地產生的二氧化碳排放 $CO_{2SO-RE} = \sum_{v,s,c} (A_{RE} \cdot EF_{RE})_{v,s,c}$

CO_{2SO-RE} = 各植被類型(v)、土壤類型(s)和氣候類型(c)下再濕潤、重建植被和創建活動產生的二氧化碳排放，tonnes C yr⁻¹

A_{RE} = 各植被類型(v)、土壤類型(s)和氣候類型(c)下再濕潤、重建植被和創建活動影響的土壤面積，ha

EF_{RE} = 各植被類型(v)、土壤類型(s)和氣候類型(c)下再濕潤、植被重建和創建活動影響的礦物及有機聚合土壤二氧化碳排放，tonnes C ha⁻¹ yr⁻¹

在方法 1 中當透過重新移植或重新種植植被時，應用 EF_{RE}(表 7.12)。但是如果重建過程無植被恢復，則在方法 1 中應用 EF_{RE} = 0。以 EF_{RE} 作為應用的基

礎是一個較佳方法。當植被建立時， EF_{RE} 就植被類型進行分類。有機和無機土壤在特定植被類型內沒有區分，因為有機碳輸入主要來源於類似的土壤飽和條件下地上部和地下部生物量的產生。土地面積估算應基於新的土地利用類別(如果適用)內的土地分類中方法 1 的 EF_{RE} 。

7.2.3.4.2 方法 2

根據方法 2，各國特定的碳累積率可以根據有機土壤和礦物土壤的面積分類。在可以獲取這些特定國家數據並用於改進估算的地方，也可以應用氣候區分類。

7.2.3.4.3 方法 3

根據方法 3，再濕潤前的土地利用，氣候和植被類型也可以考慮在內。可以在方法 3 中採用現場測量的含碳百分比、總體密度、黏土含量、鹽度和氧化還原電位等對 CO_2 氣體排放因子動態進行全面理解。方法 3 也可以使用經驗測量和模型，這考慮了一系列時間序列上通量的時間依賴特性，相對於低到高潮帶的位置或其他動態。

7.2.3.5 排放/吸收因子選擇

7.2.3.5.1 方法 1

方法 1 中的 EFs 的選擇是基於再濕潤、植被恢復或創建活動建立的沿海濕地植被類型。假設在每種植被類型中，無論如何促進植被恢復的適宜條件， CO_2 排放量都是相同的。如果透過直接播種或有目的的種植來重建植被，則應用表 7.12 中 EF_{RE} 。如果再濕潤、植被恢復或創建活動與重新拓殖相關(無直接補植或再補植)，則應用 $EF_{RE} = 0$ 。如果再濕潤和植被重建活動導致生物量斑塊化(如果有覆蓋率數據)， $EF_{RE} > 0$ 應該僅在紅樹林、潮間帶草澤植物或海草覆蓋率至少達到總面積的 10% 時才應用。

7.2.3.5.2 方法 2

在方法 2 中，可以應用各國進行再濕潤、植被恢復或創建活動的特定排放因子。在植被尚未建立的地區，假設 $EF_{RE} = 0$ 也可以重新評估。根據有機土壤和礦物土壤和氣候的分類，可以應用各國特定的排放因子。

7.2.3.5.3 方法 3

在方法 3 中可以使用野外測量發生再濕潤和植被恢復活動的地區的土壤有機碳含量和 CO_2 排放量來建立一個經驗關係，例如簡單的回歸公式。植被恢復活動發生在一個特定的地區或國家時，該關係可以用於其他再濕潤地點。發展針對特定國家的數值來模擬 CO_2 排放量可能與時間變化相關。隨著植被的生長和生物量的成熟，土壤碳累積速率可能會發生變化。因此，這些潮間帶濕地中的 CO_2 排放率會因這些綜合因素而有所不同，考慮這些因素可使對 CO_2 排放有更準確的估計。

表 7.12 開始重建植被再濕潤(EF_{RE})有機及礦物聚合土壤的年度排放係數(TONNES C HA⁻¹ YR⁻¹)

生態系	EF_{REWET}	95% CI	range	n
紅樹林	-1.62	1.3, 2.0	0.10-10.2	69
潮間帶草澤	-0.91	0.7, 1.1	0.05-4.65	66
海草床	-0.43	0.2, 0.7	0.09-1.12	6

7.2.3.6 活動資料選擇

如果有合適的空間解析度，歷史照片和沿海濕地地圖可用於估算恢復前的濕地面積。有關區域濕地恢復和全球創建項目的資訊可以從糧農組織全球通道地理資訊系統網站 (www.fao.org) 以及濕地網站 (www.wetlands.org) 和 www.globalrestorationnetwork.org 取得。如果缺乏數據，專家對類似條件下項目成功率的判斷可用於初步評估(例如項目規模、植被類型、沿海附近潮差範圍及氣候)。一般而言，對於包括有目的種植或直接再種植的再潤濕活動， EF_{RE} (使用

表 7.12)適用於方法 1 估算。

7.2.3.7 不確定性評估

估算紅樹林、潮間帶草澤和海草床的再濕潤、植被恢復和創建造成的 CO₂ 排放和儲存的不確定性主要在於實施的基本假設和地區與 EF 值的使用。表 7.12 中 EF_{REWETTED} 的值代表全球平均值，但由於土壤碳積累速率的變化隨著 1) 潮間帶深度，2) 優勢種類型(形態和生長速率)，及 3) 氣候具有較大的不確定性。對於植被尚未重建的再濕潤/飽和土壤，EF_{RE} = 0 的基本假設可能會給估算帶來不確定性。此外，假設有或沒有植被覆蓋的完整區域可能會導致低估或高估。

7.2.4 紅樹林與潮間帶草澤排水

本節涉及紅樹林和潮間帶草澤的排水和 CO₂ 排放量及儲存量的變化。排水可能伴隨著土地清理，也會導致生物量和死有機物質碳庫的變化。有關估算生物量碳儲量變化的方法和預設數據，請參閱本報告的第 7.2.1 節關於紅樹林的指導以及第 7.2.2 節關於潮間帶草澤的指導。保留關於排水的沿海濕地的資訊很重要，以便在排水條件發生改變的情況下，可以應用本補充指導原則。

排水造成土壤乾涸，並且通常會增加有機物分解速率，導致土壤釋放 CO₂。與大量降低地下水位有關的活動往往與排水溝渠的建造有關，這些排水溝渠導致由於排水渠道運載的水中 DOC 和 POC 氧化造成的 CO₂ 通量。然而目前沒有足夠的資訊來提供 DOC 和 POC 輸出的排放因子。

7.2.4.1 生物量

估算生物量中碳庫變化的方法指導，包括方法的選擇和排放/吸收因子的選擇，參見本章第 7.2.3.1 節。對潮間帶草澤來說，方法 1 中假設一年內生物量庫的輸入量等於同一年度的生物量輸出量。

7.2.4.2 死有機質

估算死有機質碳庫變化的方法指導，包括方法的選擇和排放/吸收因子的選擇，見本章第 7.2.3.2 節。對於潮間帶草澤，生物量和死有機物體變化造成的 CO₂ 排放量和儲存量在方法 1 中為零。

7.2.4.3 土壤碳

排水礦物有機土壤的年度碳輸出在方法 1 估計(表 7.13)中同樣適用於紅樹林和潮間帶草澤，但不適用於海草床。關於紅樹林排水導致 CO₂ 排放的數據有限，但潮間帶草澤排水導致 CO₂ 排放率被認為為方法 1 提供了適當的排放因子。

7.2.4.4 方法選擇

7.2.4.4.1 方法 1

沿海濕地排水指導原則中方法 1 估算的假設：

1. 土壤保持排水，土壤碳儲量被氧化；
2. 排水條件的特點是充分排水，即水分已經改變到土壤表面以下 1 公尺的有機和礦物土壤。

根據公式 4.8 估算方法 1 排水紅樹林和潮間帶草澤的土壤碳排放量。

公式 7.8

公式 7.8 排水有機和礦物土壤的二氧化碳排放 $CO_{2-SO-DR} = (A_{DR} \cdot EF_{DR})$

CO_{2-SO-DR} = 排水後有機及礦物聚合土壤的二氧化碳排放，tonnes C yr⁻¹

A_{DR} = 排水的土地面積，ha

EF_{DR} = 排水有機或礦物土壤碳排放的二氧化碳，tonnes C ha⁻¹yr⁻¹

7.2.4.4.2 方法 2

方法 2 的估算方法與方法 1 相同，但是如果這些(國家)數據以合理的成本提供，則可用另外根據各國家特定數據植被、土壤類型和區域氣候因素進行分類。

7.2.4.4.3 方法 3

方法 3 可以考慮排水濕地管理方面的差異。基於特定地點對含碳百分比、總體密度、黏土含量、鹽度和氧化還原電位與氣體通量的經驗測量，以確定排放的基本過程。方法 3 也可以考慮現場排水活動頻率的差異，以及其他可用於分類的數據包括鹽度和潮汐輸出的 DOC 和 POC。

7.2.4.5 排放/吸收因子選擇

7.2.4.5.1 方法 1

在方法 1 中，不論植被或土壤類型為何，預設排放因子適用於排水系統(表 7.13)。也就是說，無論涉及土壤排水的管理活動如何，都應用相同的 EF 值。

表 7.13 排水 (EF_{DR})有機及礦物土壤的年度排放係數($TONNES\ C\ HA^{-1}\ YR^{-1}$)

生態系	EF_{DR}	95% CI	Range	N
潮間帶草澤和紅樹林	7.9	5.2, 11.8	1.2-43.9	22

7.2.4.5.2 方法 2

在情況允許下，方法 2 的排放因子適用各國特定的土壤類型、植被類型和氣候分類的數據。自排水以來排放量變化的數據可以額外實施。

7.2.4.5.3 方法 3

在方法 3 中，排水地點土壤有機碳含量和 CO_2 排放的現場測量將有助於建立經驗關係，例如土壤碳含量與碳去除率的簡單回歸公式。可以發展針對具體國

家的數值來模擬 CO₂ 排放量的時間依賴性變化，例如與土壤排水的時間和速率、排水深度以及有關年平均水位和土地利用類型或根據國家特定資訊的變化。可於方法 3 中採用基於含碳百分比、總體密度、黏土含量、鹽度和氧化還原電位等現場測量數據的 CO₂ 排放因子動態的全面了解和描述。

7.2.4.6 活動資料選擇

7.2.4.6.1 方法 1

方法 1 要求在沿海濕地中確定每種土地利用類別的排水土地面積數據。IPCC 2006 年指導原則各章提供了構成一級清單基礎的活動資料分類系統。

7.2.4.6.2 方法 2 與方法 3

通常根據 IPCC 2006 年指導原則中介紹的方法得出更高層估算的活動資料。按土壤類型和植被類型分類，包括國際土壤改良與生物標準委員會和糧農組織在內的若干機構制定了具體國家和全球地圖，其中包括有機土壤 (<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home> 或 <http://www.isric.org/>)。全球性聯盟以精細的解析度製作一張全新的數位土壤地圖 (<http://www.globalsoilmap.net/>)。

足夠解析的排水訊息來源可能包括：

- 國家土地利用、土地利用地圖和土壤地圖、限制用水管理和自然保護區的地圖、濕地。
- 統計國家水資源時，在多數國家，包括農田在內的農業用地基地通常會定期進行調查，提供關於不同土地用途的分配數據和其他管理方面的數據。這些統計數據部分來自遙感方法，從中可得到有關濕度或季節性淹水時期的附加資訊。
- 對有機土壤中的水位井、溝渠和地表水進行測繪。來自統計基礎的數據，在

特定的永久性樣區上連續地或在定期調查地下水位。必須記錄的是，水資料代表了有機土壤中的地下水位及土地利用和排水層，並且數據涵蓋代表性的時期。

- 來自水管理設施的水管理計劃和文件。
- 排水地圖。

7.2.4.6.3 不確定性評估

在估算排水的排放和儲存量時存在三大不確定性來源

1. 土地利用和環境數據的不確定性；
2. 方法 1 或方法 2 的排放/吸收因數的不確定性；
3. 方法 3 基於模型的方法的模型結構/參數誤差，或與方法 3 基於測量的清單相關的測量誤差/取樣變異。

一般而言，更多的採樣可以使精確度增加，估計這些類別的值可使信賴區間範圍更小，而透過實施納入特定國家資訊的更高層級的方法，準確度更可能提高。

7.3 非二氧化碳排放

本節提供了估算再濕潤紅樹林和潮間帶草澤 CH_4 排放量以及水產養殖 N_2O 排放量之方法。

7.3.1 再濕潤土壤與重建紅樹林/潮間帶草澤的甲烷排放

透過重建水文使排水的土壤再濕潤，將微生物分解從有氧條件轉變為厭氧條件會增加 CH_4 的排放。在低鹽度環境下(特別是 <5 psu)，有機物的微生物分解可能導致 CH_4 的產生。 CH_4 排放與紅樹林、潮間帶草澤土壤鹽分呈反比關係。估算再濕潤的紅樹林和潮間帶草澤的 CH_4 排放指數與估算 CO_2 排放量相關的 CH_4 排放指數不同。在方法 1 中，無論現有植被如何， CH_4 的 EF 都保持不變。

7.3.1.1 方法選擇

7.3.1.1.1 方法 1

對於先前在農業(或任何其他排水)土地利用類別中再次潤濕的土地，方法 1 估算 CH₄ 排放量時不考慮再濕潤前的土地利用方式。

公式 7.9

公式 7.9

再濕潤土壤、創建潮間帶草澤和紅樹林的甲烷排放

$$\text{CH}_{4\text{-SO-REWET}} = \sum_v (\text{A}_{\text{REWET}} \cdot \text{EF}_{\text{REWET}})_v$$

CH_{4-SO-REWET} = 各植被類型(v)再濕潤和創建海岸濕地的甲烷排放，kg CH₄ yr⁻¹

A_{REWET} = 各植被類型(v)再濕潤(包括潮間帶草澤或紅樹林溼地創建)的土壤面積，ha

EF_{REWET} = 各植被類型(v)礦物或有機再濕潤土壤的甲烷排放，kg CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹

7.3.1.1.2 方法 2

在方法 2 中，可以使用各國的特定值。若國家的數據包括更多的鹽度和植被類型的分類，則可修正估算公式。

7.3.1.1.3 方法 3

在方法 3 中，可以使用各國的特定值來模擬 CH₄ 排放量以及水產養殖用的 N₂O 排放量之方法。方法 3 也可考慮植被組成和密度，因為植物可作為土壤和大氣之間氣體交換的管道。

7.3.1.2 排放因子選擇

7.3.1.2.1 方法 1

方法 1 中 CH₄ 排放量以及水產養殖用的 N₂O 排放量之方法的排放因子見表 7.14，應與公式 7.9 一起使用。方法 1 的排放因子的選擇區別於淡水、半淡鹹水 (<18 psu) 和鹹水 (> 18 psu) 的再濕潤。在鹽度 > 18 psu 的鹹水草澤和紅樹

林中 CH₄ 排放量以及水產養殖用的 N₂O 的排放量接近 0，但在鹽度<18 psu 的淡水、半淡鹹水草澤和紅樹林中，CH₄ 排放量以及水產養殖用的 N₂O 排放量大於零(表 7.14)。在不同植被類型中，不論管理活動為何，管理活動 CH₄ 排放量以及水產養殖的 N₂O 排放量之方法皆相同。

表 7.14 由紅樹林或潮間帶草澤再濕潤土地的甲烷排放係數(EF_{REwet})第一層級估算

植被類型	鹽度(ppt)	EF _{REwet} (kg CH ₄ ha ⁻¹ y ⁻¹)	95% CI	Range
潮間帶淡水和鹹水草澤及紅樹林	<18	193.7	99.8, 358	10.95-5392
潮間帶鹽水草澤和紅樹林	>18	0		0-40

7.3.1.2.2 方法 2

在方法 2 中，鼓勵使用各國特定的 CH₄ 排放量以及水產養殖用的 N₂O 排放量之方法。根據再濕潤紅樹林或潮間帶草澤的鹽度，可提供更好的估計，特別是確定來自潮間帶半淡鹹水草澤的 CH₄ 排放量以及水產養殖的 N₂O 排放量之方法。

7.3.1.2.3 方法 3

在方法 3 中，排放的現場測量結果可用於建立經驗方程式，例如簡單的鹽度與 CH₄ 排放速率的回歸公式，並應用於其他的再濕潤場地、特定地區或國家。因此，可以發展各國的特定值來模擬 CH₄ 排放量以及水產養殖的 N₂O 排放量之方法。

7.3.1.3 活動資料選擇

排放因子估算排放量部分是指上文第 7.2.3 節中的再潤濕指導原則。當鹽度數據不可得時，再潤濕的類型和位置可以代替鹽度做估算。在應用潮間帶淡水草澤的指導原則時，根據各國狀況確定用於淡水濕地的的內陸邊界是一種較佳的作

法，並始終將這些條件應用於識別這些濕潤的土地。若有更多關於再濕潤區域的鹽度資訊，可以更精確的估算 CH₄ 排放量以及水產養殖的 N₂O 排放量。

7.3.1.4 不確定性評估

目前幾乎沒有溫度、潮汐頻率或洪水持續時間等因素的經驗測量數據，這些因素造成全球排放因子的不確定性。但是，更高層級的方法可以考慮這些因素來改善估計。幾乎沒有報告可以提供可能在地理上不同再潤濕活動類型的具體情況。排放因子方面可能受到限制，因此方法 1 排放因子的數據基於專家彙整的知識。另外時間、深度和土壤受影響的時間以及植被對 CH₄ 排放量以及水產養殖的 N₂O 排放量也存在不確定性。

7.3.2 紅樹林、潮間帶草澤和海草床的水產養殖過程中氧化亞氮排放

造成沿海濕地 N₂O 排放的最主要活動是水產養殖。全球約三分之一人為排放的 N₂O 來自水域生態系統，預計到 2030 年每年水產養殖的 N₂O 排放量將增長 6%。與源自陸地活動或廢水處理間接排放的 N₂O 相反，沿海濕地的水產養殖是 N₂O 的直接來源，包括做為水產養殖漁塭使用的紅樹林與潮間帶草澤。國家可以排除在沒有紅樹林，潮間帶草澤或海草床的水產養殖活動(即沿海濕地地區以外)所產生的 N₂O 排放量。

7.3.2.1 方法選擇

7.3.2.1.1 方法 1

水產養殖池的 N₂O 排放量可根據水產養殖活動的魚/蝦產量進行估算。N₂O 排放估算在公式 7.10 中列出。

公式 7.10

公式 7.10 水產養殖的直接氧化亞氮排放 $N_2O-N_{AQ} = F_F \cdot EF_F \text{ (based on fish production)}$
--

N_2O-N_{AQ} = 水產養殖的年度直接氧化亞氮氮排放，kg N_2O-N yr⁻¹

F_F = 年度魚獲產量，kg fish yr⁻¹

EF_F = 魚獲產生氧化亞氮排放的排放係數，kg N_2O-N (kg fish produced)⁻¹

7.3.2.1.2 方法 2

方法 2 的估算方法遵循方法 1，其中附加資訊由各國的特定數據提供。

7.3.2.1.3 方法 3

方法 3 的估算方法包括考慮魚/蝦類型、飼料類型和密度、水產養殖類別（魚/蝦物種或飼料），水產養殖使用強度以及環境因素（如氣候帶，季節，和鹽度）。

7.3.2.2 排放因數選擇

7.3.2.2.1 方法 1

氮來源負荷量與污水處理廠 N_2O 排放量之間有一定關係存在，估計氮排放量的 1.8% 是以 N_2O 的形式排放(每公斤產生的魚排放 0.00169 kg N_2O-N)。 EF_F 應用於水產養殖的“使用”階段(表 7.15)。

表 7.15 水產養殖在紅樹林、潮間帶草澤及海草床的氧化亞氮排放的排放係數 (EF_F)

SEAGRASS MEADOWS		
Default EF (kg N_2O-N per kg fish produced)	95% CI	引用
0.00169 kg N_2O-N per kg fish produced	0, 0.0038	Hu <i>et al.</i> , 2012

7.3.2.2.2 方法 2 與方法 3

在水產養殖設施建設和停產的階段， $EF = 0$ 時假設非 CO_2 (其他溫室氣體) 的排放量可以忽略不計。在方法 1 中，各國可以考慮將此 EF 應用於水產養殖中的其他物種。由於 EF 是為魚發展的，所以更廣泛的應用可能會帶來更多的不確定性。

7.3.2.3 活動資料選擇

魚和蝦生產數據是必要的。這些數據可以從 FAO 獲得 (<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en>)。有關更多指導，請參閱 7.2.1 節。

7.3.2.4 不確定性評估

水產養殖系統 N_2O 的排放因子是基於魚體的蛋白質含量，魚體的總氮含量和濕重與以 N_2O 形式排放的氮百分比之間的關係。沒有蝦類生產的相關數據，因此以魚類數據代替增加了很高的不確定性。與魚相關的因素可能有很大的差異，部分因環境條件而異，魚類養殖系統之間可能會發生很大的變化。在方法 2 和方法 3 中可透過反映蝦和魚物種以及食物類型(碎屑與雜魚)，以降低 N_2O 排放量變化的不確定性。透過更精確地估計蝦和魚的產量，可以大大降低與養殖設施放養相關的 N_2O 排放量的不確定性。

7.4 完整性，時間序列一致性，質量保證/控制

7.4.1 完整性

關於完整性的一般指導請參見濕地之描述。

7.4.2 時間序列一致性

各國明確定義沿海濕地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。有些方法或許可以克服這一限制，請參 IPCC 2006 年指導原則第一卷第五章及濕地。

7.4.3 質量保證/控制

關於質量保證/控制（QA/QC）規定的制定和實施在 IPCC 2013 年補充指導原則第七章中詳述。

第八章 內陸濕地礦物質土壤

8.1 導言

本章為所有內陸濕地礦物質土壤(IWMS)土地利用類別的管理，估算和報告溫室氣體(GHG)的排放/吸收提供指導。本章內容包括“內陸”的管理 WMS 土地；沿海的 WMS 土地在第七章(海岸濕地)中有詳細說明。本指導原則的第九章(廢水處理人工濕地)論述了 IWMS 的人工濕地。

本章包含內容(表 8.1)：

- 在所有六種土地利用類別中，IWMS 在所有氣候區中的有機碳儲存 (SOC_{REF})。
- 以 IWMS 長期種植農田的預設土壤有機碳(SOC)儲存變化因子(F_{LU})。
- 為土地利用(F_{LU})提供新的預設 SOC 庫變化因子，用於被分類為農地的排水 IWMS 的再濕潤。
- 為任何經過再潤濕的土地利用類別下排水 IWMS 的經營性土地，提供 CH_4 排放的方法學和排放因數(EF_s)，以及因為創造濕地而被淹沒的內陸礦物質土壤。

表 8.1 第五章更新及提供的新指南

IPCC土地利用類型	土壤有機碳 (SOC)	甲烷排放
維持相同土地利用類型的土地		
林地	Updated SOC _{REF} for IWMS	EF _{CH₄-IWMS} for rewetting of drained IWMS, and created wetlands on managed lands with mineral soils
農地	Updated SOC _{REF} for IWMS; SOC stock change factors for land-use (F _{LU}) for long-term cultivation, and rewetting of drained IWMS	
草地	Updated SOC _{REF} for IWMS	
濕地	Updated SOC _{REF} for IWMS	
居住地	Updated SOC _{REF} for IWMS	
轉換為新土地利用類型的土地		
所有土地利用轉換	Updated SOC _{REF} for IWMS; SOC stock change factors for land-use (F _{LU}) for long-term cultivation, and rewetting of drained IWMS.	EF _{CH₄-IWMS} for rewetting of drained IWMS, and created wetlands on managed lands with mineral soils

本章提供的指導原則適用於：(i)人工排水，這裡定義為從具有含水條件的土壤中去除水分，使得地表水在特定類型的土地利用方面發生明顯改變；(ii)人為排水並隨後允許再濕潤的 IWMS(以下簡稱為“再濕潤”)；(iii) 為了“創造濕地”的目的，人為淹沒的礦質土壤。沒有為其他 IWMS 提供指導，如鹽土 IWMS 或水庫。

8.2 維持土地利用類別的土地

“維持土地利用類別的土地”定義為那些土地至少在二十年預設期內，沒有經過任何土地利用轉換。

8.2.1 二氧化碳的排放與儲存

管理土地的 CO₂ 排放量和儲存量是根據碳庫碳儲存的變化估計的：生物量(地上和地下生物量)、死有機質(枯木和枯枝落葉)和土壤有機碳。

8.2.1.1 生物量和死有機質

IPCC 2006 年指導原則提供了生物量(地上、地下)和死有機質(死木、枯落物)碳庫變化的指導原則，本指導原則對於土地利用類別中剩餘土地的 IWMS 受管理土地指導保持不變。對於 IWMS 的受管理土地，歸類為林地、農地、草地、聚居地或其他土地利用類別中的土地時，生物量和死有機質的變化應根據相關章節的規定辦理。

8.2.1.1.1 方法選擇與排放/吸收因子

方法 1 是用預設排放因數以及為特定土地利用類別提供的生物量和死有機質相關參數。這些也將適用於 IWMS 的任何受管理土地利用類別。對於較低層級的方法，可以假設濕地植被的生物量碳密度並不比陸地植被高。但是如果有國家特定數據可以使用，最好使用這些數據來估算生物量碳密度。

目前還沒有可信的科學訊息，來發展特定管理活動下生物量和死有機物的排

放因數，如排水 IWMS 土地，再濕潤的排水 IWMS 土地或濕地創造。如果有關於排水或再濕潤/創造濕地時的生物量和/或死有機物質變化的可靠數據，則可使用方法 2 推導出特定國家的估計值。

8.2.1.1.2 活動資料選擇

對於方法 1，活動資料包括維持土地利用類別的 IWMS 土地管理區域，按照土地利用類別、氣候區、土壤類型和管理方法分層。總面積應根據 IPCC 2006 年指導原則概述的方法來確定，並應與清單其他部分的報告一致。根據氣候區劃分土地利用類別，根據預設或特定國家的分類，可藉由將土地利用覆蓋在氣候和土壤圖上來完成。用於 IPCC 方法 1 廣義土壤類別的空間分布 GIS 資料庫可以在 <http://isirc.org/data/ipcc-default-soil-classes-derived-harmonized-world-soil-data-base-ver-11> 下載和使用。

該數據來源於世界土壤資料庫和糧農組織土壤分類，包括七個預設的 IPCC 土壤類別，包括濕地土壤(在 IPCC 2006 年指導原則稱為濕地土壤，本指導原則中稱為濕地礦物土壤)。這個資料庫可以用於缺乏更詳細土壤資訊的國家和大尺度。更高層級的方法可以根據標準的活動資料適當分層，所述標準例如植被類型和/或地下水位和水週期(例如連續淹沒與間歇淹沒)。

8.2.1.1.3 不確定性評估

受管理 IWMS 土地，生物量和死有機質變化的不確定性來源，取決於土地的使用類別。一般來說，不確定性可能來自：

- 1) 土地測繪、土地利用分類和管理活動資料的不確定性。
- 2) 碳收益和損失的不確定性，碳儲存以及其他用於估算生物量和死有機物質碳庫變化的參數，如生物量擴張因子。

8.2.1.2 土壤碳

受管理的 IWMS 土地中，土壤碳儲存主要受排水和其他管理措施的影響，包括在農地、林地和草地(包括長期種植、排水改善和放牧)，以及再濕潤前活躍耕作土地，並恢復自然水文條件(例如：移除排水磚、堵塞排水溝渠或類似活動)。其他可以改變 IWMS 土壤碳儲存的管理措施包括在容易沼澤化的森林裡採伐，以及透過建造水壩、堤壩和河流溝渠來管理河流氾濫平原系統，使氾濫平原與河流的水文相互作用斷開，從而減少氾濫平原的沉積物沉積速率。

本指導原則涉及以下內容：

- 表 5.2 提供了用於 IWMS(例如濕地土壤)的更新預設值，用於任何土地利用類別。
- 表 5.3 提供了與 IWMS 長期耕作相關土地利用(F_{LU})的更新儲存變化因子和用於農田排水 IWMS 再潤濕的土地利用新儲存變化因子(F_{LU})。

為了解釋各土地利用類別土地相關管理措施變化相關的 IWMS SOC 儲存變化，各國至少需要維持同樣土地利用類別的土地，估算受管理 IWMS 土地面積。

對礦物質土壤做出兩個假設：

- i. 隨著時間的推移，SOC 在土壤特有氣候、土地利用和管理實踐下，會達到空間平均值。
- ii. 在向新平衡發展的過渡期間，SOC 儲存變化以線性方式發生。

8.2.1.2.1 方法選擇

可使用方法 1、方法 2、方法 3 來發展清單，每個連續的層級需要比前一層級更多的細節和資源。IPCC 2006 年指導原則中為礦物質土壤提供了一個決策樹，以協助清單編輯者選擇其土壤碳清單的適當層級。

8.2.1.2.1.1 方法 1

針對土地利用類別(包括 IWMS)中剩餘土地礦物土壤的方法 1 估算，是基於影響 SOC 管理的有限變化過渡期內 SOC 儲存的改變。IPCC 2006 年指導原則公式($\Delta C_{\text{mineral}} = (SOC_0 - SOC_{(0-T)})/D$)用於估算礦物質土壤 SOC 儲存的變化。從清單時間開始時的碳儲存($SOC_{(0-T)}$)中減去清單時間段 (SOC_0) 的最後一年 SOC 庫存，並除以儲存變化因子(D)的時間依賴性。根據土地利用(LU)、管理制度(MG)和有機物質輸入(I)使用預設參考碳儲存(SOC_{REF})(表 9.2)和預設儲存變化因子(FLU、FMG、FI)，從清單進行時間的開始和結束時估計 SOC 儲存。

8.2.1.2.1.2 方法 2

對於方法 2，使用與方法 1 相同的基本公式，但納入了特定國家的訊息以提高儲存變化因子，請參考 SOC 儲存、氣候地區、土壤類型和/或土地管理分類。

8.2.1.2.1.3 方法 3

方法 3 可能使用經驗、基於過程或其他類型的模型作為估算碳儲存年變化的基礎。選擇適當模式的關鍵標準包括能夠代表土地利用類別的所有相關管理實踐/系統；模型輸入(即驅動變數)與全國性數據的輸入兼容可用性；並根據實驗、監測或其他測量數據進行驗證。

方法 3 也可使用基於測量的方法發展，其中定期對監測地點進行採樣以估計 SOC 儲存的變化。與使用土地利用的管理系統、氣候和土壤類型相結合的模型相比，可能需要密度更高的基準點。

8.2.1.2.2 排放因數選擇

8.2.1.2.2.1 方法 1

表 8.2 提供了 IWMS 的更新預設參考 SOC 儲存(SOC_{REF})。清單編制者應使用 IPCC 2006 年指導原則第四卷中六個土地利用類別(第四到九章)的相應章節

中提供的儲存變化因子，並結合表 8.2 中方法 1 的數據。

表 8.2 自然植被濕地礦物土壤(深度 0-30 公分)的土壤有機碳儲存(SOC_{REF})預設參考值

氣候區	tonnes C ha ⁻¹	標準偏差	誤差 (95% confidence interval)	測站數
寒帶	116	94	±99	6
寒溫帶，乾燥	87	n/a	n/a	n/a
寒溫帶，潮濕	128	55	±17	42
暖溫帶，乾燥	74	45	±13	49
暖溫帶，潮濕	135	101	±39	28
熱帶，乾燥	22	11	±4	32
熱帶，潮濕	68	45	±12	55
熱帶，重濕	49	27	±9	33
熱帶，高山	82	73	±46	12

表 8.3 提供了更新的方法 1 預設儲存變化因子，用於在“長期種植”下的土地利用 (FLU)。請注意，更新後的因子僅適用於長期耕地用於溫帶/寒帶的乾燥/濕潤氣候區域。IPCC 2006 年指導原則中所有其他預設儲存變化因子均未改變。更新後的值與 IPCC 2006 年指導原則中溫帶/寒帶濕潤氣候的值相似，但低於溫帶/寒帶乾燥氣候的值。因此，此次更新應該可以減少乾旱氣候下 IWMS 土壤碳儲存變化的不確定性。

在表 8.3 中，對於方法 1，在 IWMS 農地再濕潤之後，也提供了土地利用 (FLU) 的新預設儲存變化因子。這個因子適用於 IWMS 農地，其中自然水文已得到恢復，農作物生產則可能會或可能不會繼續。請注意，該因子適用於所有氣候地區，但需要注意的是，該值可能更能代表溫帶和寒帶氣候的再濕潤活動，因為它來源於限於這些地區的研究。庫存變化(D)的預設時間段為 20 年，但恢復自然水文的額外碳收益將持續 20 年，並將在 40 年後達到參考 SOC 儲存水準(表 8.2 中的 SOC_{REF} 值)。同樣重要的是，長期種植因子用於排水和種植作物生產的地區。如果高地下水位恢復，即在農田再濕潤的情況下，則應使用兩組 20 年(即 0-20 和 21-40 年)的 FLU 進行再濕潤。

表 8.3 長期耕種(20 年以上)IWMS 農地和再濕潤(超過 20 年和 40 年)IWMS 農地的相對儲存量變化係數(F_{LU})

係數值類型	管理	溫度境況	濕潤境況	Default	Error ^A	描述
土地利用(F_{LU})	長期耕種	溫帶/寒帶	乾燥和潮濕	0.71	41%	IWMS農地連續管理超過20年，主要是一年生作物
土地利用(F_{LU})	再濕潤(1-20年)	寒帶、溫帶和熱帶	乾燥和潮濕	0.80	10%	再濕潤(恢復自然水文)的IWMS農地，可能是或不是活躍的作物生產
	再濕潤(21-40年)			1.0	N/A	

對於維持土地利用類別的長期耕作和再濕潤 IWMS 農地的新儲存變化因子的主要考慮因素(表 8.3)為：

- IPCC 2006 年指導原則為林地、農地、草地和聚居地提供礦物質土壤中 SOC 的儲存變化因子，適用於所有具有 IWMS 的管理土地，分類為任何土地利用類型的土地利用類別中剩餘土地。
- 表 8.3 中提供的 IWMS 農地進行長期種植和再濕潤的新儲存變化因子，可應用於 IWMS 剩餘農地。應考慮以下因素：
 - i. 長期種植的 IWMS 農地，土地利用(FLU)的新儲存變化因子應代替所有礦物質土壤類型長期種植的農地現有儲存變化因子。
 - ii. 對易於再濕潤的 IWMS 農地土地利用(FLU)的儲存變化因子應按照以下方式用於剩餘農地：
 - 對於容易再濕潤的 IWMS 農地，在第一年再濕潤後的頭 20 年，最終 SOC 儲存，即儲存時間最後一年的 SOC 庫存(SOC_0)，使用 $FLU = 0.80$ 與其他管理和投入的儲存變化因子。用於估算初始 SOC 儲存量 ($SOC_{(0-T)}$) 的儲存變化因子將與再潤濕前的農地土地利用（長期耕

作，常年等）以及管理和投入制度相對應。

- 對於下一個 20 年(即再濕潤後 21-40 年)，應使用 $FLU = 1$ 來估算最終的 SOC 儲存(SOC_0)以及用於管理和輸入的適當儲存變化因子。用於估算初始的庫存變化因子($SOC_{(0-T)}$)將與再潤濕後 20 年的農地土地利用($FLU = 0.8$)以及管理和輸入制度相對應。

8.2.1.2.2.2 方法 2

方法 2 涉及對特定國家儲存變化因子的估計。實證分析顯示，如果更多的分類類別中儲存變化因子存在明顯差異，那麼推導出更高分辨率的管理和氣候分類的是一個較佳作法。參考 SOC 儲存也可以根據方法 2 中的國家特定數據得出。

8.2.1.2.2.3 方法 3

在方法 3 中，不變的儲存變化率因子本身不太可能被估計出，因此使用浮動率以支持更加準確地反映土地利用和管理的影響。

8.2.1.2.3 活動資料選擇

活動資料至少包括維持土地利用類別的 IWMS 管理土地區域，按土地利用類別、氣候域、土壤類型和管理實踐分層。此外，可能出現 IWMS 的再濕潤農地需要根據再濕潤(0-20 或 21-40 年)後的時間進行分層，以正確應用儲存變化因子。如果編制者沒有足夠的訊息從轉換後的時間內將再濕潤 IWMS 的地區拆解出來，那麼所有具有 IWMS 區域的濕潤農田可以假定在再濕潤的 0-20 年內，因此 $FLU = 0.8$ 可以應用於與整個 IWMS 和再濕潤農地。

總面積應根據 IPCC 2006 年指導原則所述方法確定，並應與清單其他部分所報告的一致。根據氣候區劃分土地利用類別，或特定國家分類，可以透過在氣候和土壤地圖上疊加土地利用來進行。在使用諸如模型和/或數據等方法進行估算的情況下，鼓勵提供透明且清晰完整的文件。

8.2.1.2.3.1 方法 1

方法 1 要求按照氣候區和土壤類型分層的各土地利用類別 IWMS 管理土地面積。作為第一層級的方法，現有的土地覆蓋/土地利用地圖，無論是針對具體國家，還是基於全球資料庫(如 IGBP_DIS，<http://daac.ornl.gov>)，都可以與土壤和氣候圖做結合(特定國家或全球地圖，如 ISRIC，<http://www.isric.org> 或 FAO，<http://www.fao.org/home/en>)。顯示用於 IPCC 方法 1 廣義土壤類別的空間分佈全球 GIS 數據庫，可以在 <http://isirc.org/data/ipcc-default-soil-classes-derived-harmonized-world-soil-data-base-ver-11> 下載和使用。

IPCC 2006 年指導原則為各土地利用章節提供了方法 1 清單活動資料的分類系統。方法 1 通常需要特定於相應土地利用類別的土地利用活動資料和管理活動資料。雖然組織目錄沒有因為國家或全球因濕地再濕潤或創造而導致面積發生變化，但是可以從農業，林業或自然資源機構、非政府組織或其他機構獲得用於受管理 IWMS 土地再濕潤或創建濕地的當地活動資料。

方法 1 計算步驟

用於土地利用類別剩餘土地 IWMS 管理用地的 SOC_0 ， $SOC_{(0-T)}$ 和淨有機土壤碳儲存變化的估算步驟如下：

步驟 1：根據收集活動資料的年份，將數據依時間序列重新組織。

步驟 2：根據各自的土地利用類別，將土地分類為適當的管理系統。

步驟 3：在每個土地利用類別下，根據氣候區在第一個清單時間段開始時，按照土地利用類別中剩餘土地來確定受管理土地的面積。清單時間段的第一年將取決於活動資料的時間階段(0-T；例如 5, 10 或 20 年前)。

步驟 4：基於氣候區域，從表 5.2 中為 IWMS 指定本地參考 SOC 儲存值(SOC_{REF})。

步驟 5：根據相應土地利用類別的管理分類(步驟 2)，分配土地利用因子(F_{LU})，管理因子(F_{MG})和有機物質輸入因子(F_I)。有關土地利用類別的章節提供了 F_{LU} ， F_{MG} 和 F_I 的值。表 5.3 列出長期耕作農地水分管理 F_{LU} 的最新值。

步驟 6：用 SOC_{REF} 乘以適當的儲存變化因子(F_{LU} ， F_{MG} ， F_I)以估計清單時間段的'初始'SOC 儲存($SOC_{(0-T)}$)。

步驟 7：透過使用相同的 SOC 重複步驟 1 到 5 來估算最終的 SOC 儲存(SOC_0)，但土地利用、管理和輸入因子代表最近(第 0 年)清單年內管理土地的條件。

步驟 8：透過從 SOC_0 中減去 $SOC_{(0-T)}$ ，然後除以與庫存變化因子(D)的時間相關性，估算剩餘 IWMS 土地利用類別($\Delta C_{Mineral}$)中管理土地的 SOC 儲存年平均變化，預設因子是 20 年。如果清單時間段大於 20 年，則除以時間段的初始和最後一年的差異。

步驟 9：如果有額外的清單時間段，請重複步驟 2 至 8。

8.2.1.2.3.2 方法 2

如果有足夠的數據可以取得，方法 2 可能涉及在相應的土地利用類別下，更詳細的管理系統分層。這可能包括管理實踐的進一步劃分和氣候區域的更精細分層。在方法 2 中，需要較高的活動資料空間分辨率，可以透過將全球數據分解為特定國家類別或透過收集特定國家的活動資料來獲得。

8.2.1.2.3.3 方法 3

方法 3 可能包括使用基於經驗、基於過程或其他類型的模型和/或直接基於測量的清單。在這種情況下，與方法 1 和方法 2 相比，需要更詳細的氣候，土壤和管理實踐數據。具體要求取決於模型或測量設計。模型輸入數據的例子包括農田管理實踐活動資料(作物類型、耕作方式、肥料和有機質改良)以及氣候，土壤，生物量和地下水位。

8.2.1.2.4 不確定性評估

土壤碳清單存在三大不確定性來源：

1) 土地利用、管理活動及環境數據的不確定性。

2) 如果採用方法 1 或方法 2，則參考土壤碳儲量存在不確定性;如果採用方法 3，則採用初始條件。

3) 方法 1 和方法 2 的儲存變化/排放因數的不確定性，方法 3 基於模型方法的模型結構/參數誤差或與基於測量的清單相關測量誤差/採樣變異性。

另外一個不確定性來源於在土壤、植被類型和不同管理活動下，為了分類目的準確測繪濕地的困難。自從清單方法發展以來，這一直是一個問題，而且即使技術和遙感技術的進步仍然是個問題。鑑於水文學沒有明顯變化，濕地土壤和植被特性將隨著時間的推移保持一致，即使在年氣候變化的情況下繪圖區域應保持相對不變。

對於方法 1，不確定性可參考 8.2 中的參考土壤有機碳儲存和 IPCC 2006 年指導原則中各土地利用類別章節的儲存變化因子，以及表 8.3。透過使用方法 2 推導國家特定因素或發展方法 3 國家特定估算系統，可以減少誤差。更高層級方法的基礎依據，是使用國家或鄰近地區的實驗或土壤碳監測數據，這些數據可以解決土地利用和管理對土壤碳的影響和/或可用於評估土壤碳變化的模型預測。透過考慮土地利用和管理影響的明顯國內差異，例如氣候地區和/或土壤類型之間的差異，即使以降低因子估計的精確度為代價，可以進一步減少偏差。偏差被認為對報告儲存變化造成更大問題，因為它不一定在不確定性範圍內被框住，即如果在因素中存在明顯的偏差，真實的庫存變化可能超出報告的不確定性範圍。

土地利用活動統計數據的不確定性，可能透過更好的國家系統來減少，例如發展或擴大土地調查，增加樣本地點和/或納入遙感以提供額外覆蓋。設計分類方法是一種較佳的作法，該分類方法要能夠涵蓋大部分土地利用和管理活動，並且具有足夠的樣本量，盡可能減少全國範圍的不確定性。

8.2.2 IWMS 管理土地的甲烷排放

改變含有 IWMS 土地地下水位的管理活動可能會影響這些地區的 CH₄ 排放。涉及提高地下水位的兩項常見管理活動包括：重新潤濕先前排水的 IWMS，以及

在濕潤或乾燥的礦物質土壤上創建濕地。再濕潤和濕地的創建往往是為了棲息地和野生動物的保護。研究顯示，透過再濕潤和/或濕地創造，IWMS 提高受管理土地的地下水位會增加 CH₄ 排放。本手冊提供了提高受管理 IWMS 土地水位的結果來估算 CH₄ 排放量的相關指導。排水和降低地下水位通常導致的 CH₄ 排放量較低或可忽略不計。雖然我們目前對 CH₄ 生產和排放過程的理解正在改善，但主要由於空間變化大，以及控制因素(如水位和溫度)的季節和年際變化等因素，我們仍然難以高度信心估計 CH₄ 排放。研究顯示，在具有相似氣候，植被和地形的大面積區域，以及在地形上有微小變化的小區域內，CH₄ 排放具有高度空間變異性。

8.2.2.1 方法選擇

8.2.2.1.1 方法 1

透過簡單的排放因數方法(公式 8.1)，對管理活動導致地下水位上升至地表或以上的管理活動進行估算，估算 IWMS 或乾礦物質土壤管理土地的 CH₄ 排放，並按氣候區分層。預設方法考慮到寒帶、溫帶和熱帶氣候區域。

公式 8.1

公式 8.1

IWMS管理土地上再濕潤及創建濕地的年度甲烷排放

$$CH_{4-IWMS} = \sum_c (A_{IWMS} \cdot EF_{CH_4-IWMS})_c$$

CH_{4-IWMS} = 管理活動使地下水位提高至地表以上的IWMS土地年度甲烷排放，kg CH₄ yr⁻¹

A_{IWMS, c} = 各氣候區(c)受管理礦物土壤水位上升的總面積，ha

EF_{CH₄-IWMS, c} = 各氣候區(c)水位上升的受管理礦物土壤排放係數，kg CH₄ ha⁻¹ yr⁻¹

8.2.2.1.2 方法 2

方法 2 根據重要參數資訊(如地下水位和水文週期)，使用特定國家的排放因數。發展和使用國家特定排放因數來考慮地下水位及其與 CH₄ 排放量的關係時，

這是較佳的作法。當地下水位持續處於或高於地面，而不是間歇性低於地面時，IWMS 的年 CH₄ 排放通常較大。水位的季節和年際變化以及地表以上的持續時間受多個變量影響，包括水源波動、河岸濕地河流流量變化以及蒸散和降水。

8.2.2.1.3 方法 3

方法 3 須詳細考慮 IWMS 的 CH₄ 排放主要驅動力，包括但不限於：地下水位、水淹的季節變化、土壤溫度、CH₄ 冒泡的重要性的和植被群落動態。透過促進從淹沒土壤運輸到大氣中，以及為生產 CH₄ 提供基質，植物可以對 CH₄ 排放產生重要影響。確定這些驅動力對 CH₄ 排放的重要性，從而減少排放因數不確定性的可能方法包括詳細的 CH₄ 排放實地研究和/或土壤碳循環特定模型的使用。

8.2.2.2 排放因數選擇

8.2.2.2.1 方法 1

表 8.4 提供了 IWMS 的預設排放因數(EF_{CH₄-IWMS})，按氣候區分層。方法 1 的排放因數不能區分連續性和間歇性淹沒，因為它們源自於涵蓋一系列淹沒持續時間的研究，因此呈現了 CH₄ 排放一定程度的變化。EFs 中的不確定性可以透過使用特定國家的 EF 來降低，這些 EF 包含了更高層級的地下水位和淹沒期訊息。

表 8.4 來自 IWMS 管理土地水位提升的預設甲烷排放係數

氣候區	EF _{CH4-IWMS} (kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	95% Confidence Interval	Number of Studies
寒帶	76	±76	1
溫帶	235	±108	21
熱帶	900	±456	18

8.2.2.3 活動資料選擇

方法 1 要求受管理的 IWMS 土地的地區數據，例如在再濕潤或創建濕地時地表水位已升高，且按氣候區分層。儘管沒有國家或全球範圍內因再濕潤或創建濕地而造成的變化目錄，但可以從農業、林業或自然資源機構、非政府保護組織或其他政府來源獲得 IWMS 創建濕地或再濕潤管理區域的當地活動資料。方法 2 和方法 3 通常要求 IWMS 管理土地按土地面積、年平均地下水位以及淹水的季節和/或年際變化分層。

8.2.2.4 不確定性評估

對於每個氣候區域，EF_{CH4-IWMS} 的不確定性估計值為±95%信賴區間，請參表 8.4。這些數值不確定性的主要來源是估算所依據的研究數量很少，以及研究是不同淹沒時期研究所組成(例如持續淹沒和間歇性淹沒)。國家特定排放因數的發展將有助於減少不確定性。

8.3 土地轉換為新的土地利用類別

IPCC 2006 年指導原則將土地轉變為新的土地利用類別定義為，過去預設期 20 年間轉換土地利用類型的土地。IPCC 2006 年指導原則提供了通用和土地利用類別具體指導，可用於估算轉化為所有土地利用類別的新土地碳庫的碳儲存變化及非 CO₂ 排放量。

8.3.1 二氧化碳的排放與儲存

用於估算維持土地利用類別的受管理 IWMS 土地年碳儲存變化的通用公式在本指導原則第二章中提供，這也適用於將土地轉為新的土地利用類別的 IWMS 管理土地。

8.3.1.1 生物量和死有機質

8.3.1.1.1 方法與排放/吸收因數選擇

第 8.2.1.1 節中提供的指導也適用於管理土地轉變為新的土地利用類別的土地。應使用 IPCC 2006 年指導原則中有關土地轉化為新的土地利用類別的章節中的指導。

8.3.1.1.2 活動資料選擇

活動資料由管理土地的區域組成，IWMS 土地轉化為新的土地利用類別，至少要按照土地利用類別、氣候區域、土壤類型和管理實踐進行分層。

8.3.1.1.3 不確定性評估

第 8.2.1.1 節中提供的指導也適用於管理土地轉變為新的土地利用類別的土地。應使用 IPCC 2006 年指導原則中有關土地轉化為新的土地利用類別的章節中的指導。

8.3.1.2 土壤碳

8.3.1.2.1 方法選擇

第 8.2.1.2 節中提供的指導也適用於管理土地轉變為新的土地利用類別的土地。應使用 IPCC 2006 年指導原則中有關土地轉化為新的土地利用類別的章節中的指導。

8.3.1.2.2 排放/吸收因子選擇

第 8.2.1.2 節中提供的指導原則也適用於所有土地利用類別 IWMS 土地轉換為新土地利用類別的土地，其中包括 IWMS 更新的 SOC_{REF} (表 8.2)以及更新的儲存因子變化(F_{LU} ，表 8.3)。使用 IWMS 管理土地的儲存變化因子應用中的關鍵考慮因素：

- IPCC 2006 年指導原則為林地、農地、草地和聚居地提供的礦物質土壤 SOC 儲存庫變化因子，適用於所有土地利用轉換涉及在任何土地利用類別的 IWMS 管理土地。
- 表 8.3 中提供的 IWMS 農地進行長期種植和再濕潤的新儲存變化因子可以適用於涉及農田的土地利用轉換，具體考慮如下：
 - (i) 長期種植的 IWMS 農地土地利用新增儲存變化因子應代替所有礦質土長期耕作的現有儲存變化因子類型；
 - (ii) 再潤濕 IWMS 農地土地利用儲存變化因子(F_{LU})可用於涉及農地的土地利用轉換，具體包括：
 - 對於容易出現再濕潤的 IWMS 土地利用轉換，SOC 最終儲存 (SOC_0) 由第一年再潤濕後 0-20 年的 $F_{LU} = 0.80$ 確定，以及與土地利用轉換後管理和輸入制度相對應的相關儲存變化因素。
 - 對於可能經歷土地利用轉換為其他土地利用類別的 IWMS 農地， $FLU = 1$ 應分別使用 21-40 年或自再濕潤活動第一年起超過 40 年，以及與土地利用轉換後管理和輸入制度相對應的相關儲存變化因素。應使用新土地利用類別(例如林地或草地)的管理和投入的儲存變化因子來確定最終 SOC 儲存(SOC_0)，以及與土地利用轉換後管理和輸入制度相對應的相關儲存變化因素。
 - 關於土地轉換為新土地利用類別，應使用 IPCC 2006 年指導原

則。

8.3.1.2.3 活動資料選擇

活動資料由管理土地的區域組成，將 IWMS 土地轉換為新的土地利用類別，至少要根據土地利用類別、氣候區域、土壤類型、管理實踐和轉換以來的時間進行分層。再濕潤的 IWMS 農地面積，需要在再濕潤(0-20 或 21-40 年)後分層，以便正確應用儲存變化因子。如果編制者沒有足夠的訊息將轉化後的 IWMS 再濕潤農地進行分解，那麼所有再濕潤 IWMS 農地區域都可以假定為在 0~20 年之內，因此 $F_{LU} = 0.8$ 可以應用於整個再濕潤 IWMS 農地。

8.3.1.2.4 不確定性評估

第 8.2.1.2 節提供的指導原則也適用於土地利用類型轉換為新土地利用類別，且地下水位已經提高的管理 IWMS 土地。關於土地轉換為新土地利用類別應使用 IPCC 2006 年指導原則。

8.3.2 甲烷排放

第 8.2.2 節中提供的指導也適用於轉換為新土地利用類別的 IWMS 管理土地。

8.3.2.1 方法與排放因數選擇

第 8.2.2 節中提供的指導也適用於轉換為新土地利用類別的 IWMS 管理土地。

8.3.2.2 活動資料選擇

活動資料由管理土地的區域組成，將 IWMS 土地轉換為新的土地利用類別，至少要根據土地利用類別、氣候區域、土壤類型、管理實踐和轉換以來的時間進行分層。

8.3.2.3 不確定性評估

第 8.2.2 節中提供的指導也適用於轉換為新土地利用類別的 IWMS 管理土地。

8.4 完整性、報告和文件

8.4.1 完整性

如果可能的話，根據國家情況將管理土地類型與 IWMS 拆解並採用國家特定排放因數是較佳作法。建議水資源管理系統明確將淹沒的土地(包括水庫)、泥炭地和沿海濕地排除在土地之外，並且在整個報告期內貫徹如一。

如果在本章中對某些土地、氣候、碳匯和一些溫室氣體沒有提供 IWMS 的指導意見，那是因為缺乏相關數據可以制定排放因數。鼓勵各國發展新的研究和計算法來填補空白，以更好地了解排水濕地、再濕潤濕地或創建濕地的碳儲量、溫室氣體排放量和儲存量的變化。土地分類、活動資料和排放因數的標準以及清單方法與 IPCC 2006 年指導原則所述的一般方法一致。

8.4.2 報告與文件

8.4.2.1 排放因數

應充分描述和記錄新的國家特定排放因數、參數和模型的科學基礎。這包括定義輸入參數並描述排放因數、參數和模型的推導過程，並描述不確定性的來源。

8.4.2.2 活動資料

應記錄計算中使用的所有活動資料來源，包括資料庫和土壤地圖參考資料，以及與行業溝通的任何保密考慮因素。本文件應包括數據收集和估算的頻率、準確度和精確度的估計以及排水程度等任何重大變化的原因。

8.4.2.3 趨勢分析

應解釋幾年之間排放量的任何明顯波動。活動水準的變化與排放因數、參數和方法的變化之間應有區別，並記錄這些變化的原因。如果在不同的年份使用不同的排放因數、參數和方法，那麼應該解釋並記錄其原因。

第九章 用於廢水處理的人工濕地

9.1 前言

9.1.1 廢水處理功能的人工濕地

濕地生態系統可以作為營養物和碳的源、匯和轉介場所。濕地在水質改善方面的功能，廣泛應用於自然和人工濕地(CWs)。人工濕地是用於污水處理的完全人造濕地，採用各種技術設計，利用與天然濕地的過程，包括水文、土壤、微生物和植物。因此，人工濕地是經過設計和構建的工程系統，旨在利用涉及濕地植被，土壤及其相關微生物組合的自然過程來協處理廢水。“構建”的同義詞包括“人工”、“工程”或“人造”。用於廢水處理的“半自然濕地”(SNTWs)就是為此目的而改建的天然濕地系統。這些系統可以在淡水和沿海濕地中找到。SNTW 的功能與表面流 CW 相似。本章為做為污水處理功能的 CW 和 SNTW 提出估算溫室氣體排放指導。建議作法是報告污水處理的排放完整情況，包括所有生活和工業廢水。

6.1.2 用於廢水處理的人工濕地類型

人工濕地可根據不同的設計參數進行分類，但三個最重要的項目是水文(水面流動和地下流動)，水生植物生長形式(浮水、沉水、自由浮動和浮葉植物)和流動路徑(水平和垂直流動)(圖 9.1)。

不同類型的 CW 可以互相結合(稱為混合或組合系統)，以利用不同系統的特定優點。例如，為了保證更有效地去除氮和總氮，在 20 世紀 1990 年代和 2000 年代，增強設計方法結合了垂直和水平流動的 CWs 以獲得更高處理效率。

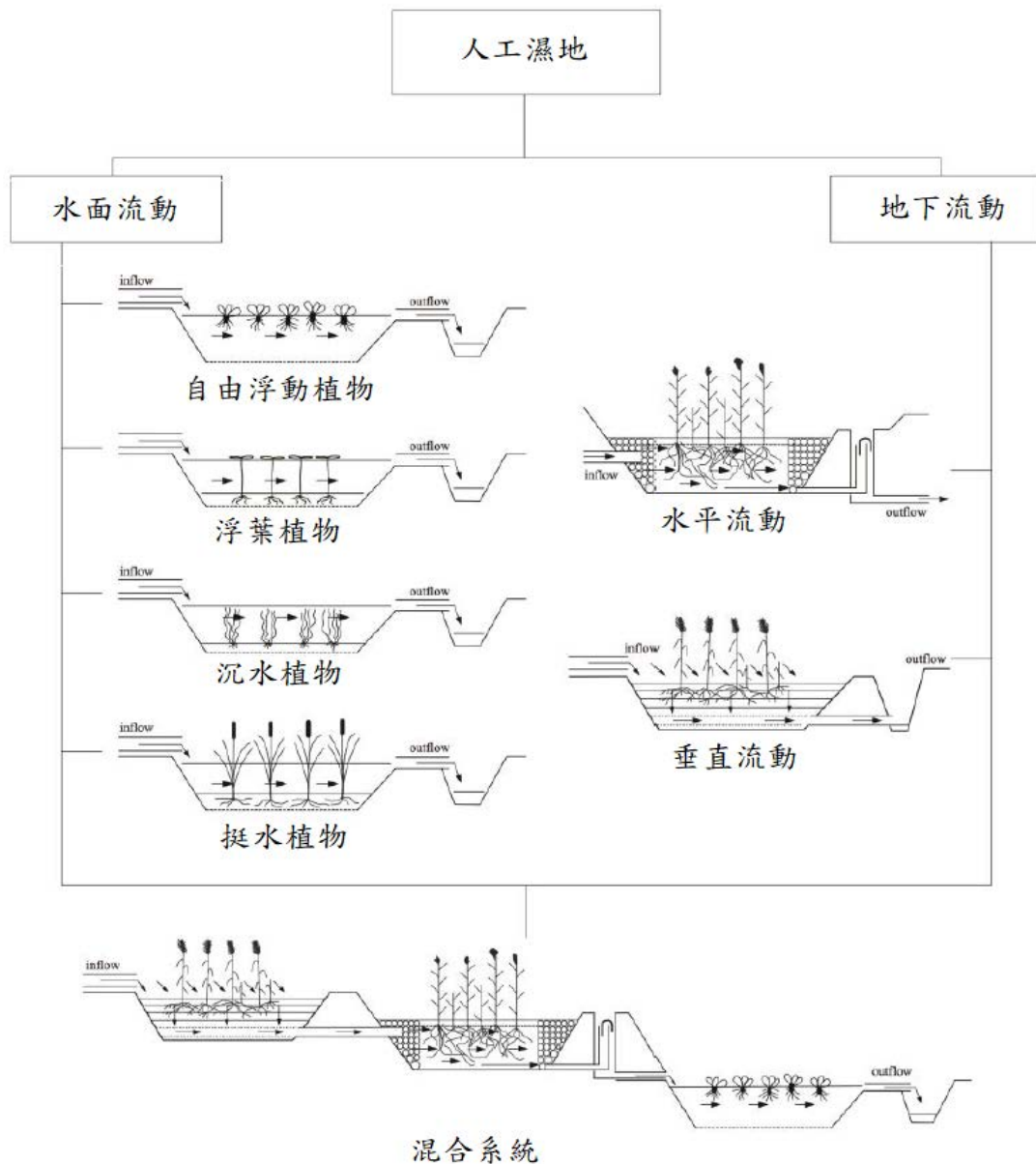


圖 9.1 污水處理用途人工濕地的分類與配置

6.1.3 表面流人工濕地

具有表面流動(SF)的人工濕地，稱為自由水面 CWS，包含開放水域及浮水、沉水和漂浮植物的區域。水淺、低流速、植物莖和枯落物的存在可以調節水流量，特別是在狹長的通道中，可以確保更好的淨化水質。SFCWs 最常見的應用是城市污水的三級處理以及降雨逕流和礦井排水。SFCWs 適用於所有氣候，包括遠北寒冷地區。

6.1.4 地下流人工濕地

在水平地下流人工濕地(HSSF CWs)中，廢水從入口流入並緩慢流過栽植床表面下的多孔介質到出口，在透過水位控制結構離開之前收集過濾水。在透過的過程中，廢水會與好氧、缺氧和厭氧區域的網絡接觸。由於栽植床永久飽和狀態，大部分為缺氧/厭氧。好氧區發生在將氧氣滲入底部的根部和根莖周圍。HSSF CWs 通常用底襯密封，以防止滲漏並且確保可控制的出流。HSSF CWs 通常用於城市廢水的二級處理。

在垂直地下流人工濕地(VSSF CWs)中，平放的砂礫平台上鋪滿了植有大型植物的沙子。VSSF CWs 連續供水系統有大量的間歇性廢水流入，流入床層表面，然後滲透過床層再透過底部，由排水網絡收集。床完全排空水時，可以讓空氣重新充滿床。因此，VSSF CWs 提供更多的氧氣進入床層，產生硝化(高 NO_3^-)流出物，但沒有提供合適的反硝化條件來轉化成可向大氣逸散的氣態氮。在最近發展的潮汐(“填充和排水”)流動系統中，廢水與介質上的微生物更好地保持接觸，明顯增強了淨化效果。

6.1.5 混合型人工濕地

各種類型的 CWs 可以結合使用，以達到更高的去除效率，尤其是氮。該設計由兩個階段組成，先是平行垂直流(VF)床，接著是 2 或 3 個串聯的水平流(HF)床(VSSF-HSSF 系統)。另一種配置是 HSSF-VSSF 系統，先放置大型 HSSF 床以除去有機物和懸浮固體並促進反硝化作用，再間歇性輸入小型 VF 床以額外去除有機物和懸浮固體以及將氨硝化成硝酸鹽。來自 VF 床的硝化流出物再循環至沉澱池，以去除最多總氮。VSSF-HSSF 和 HSSF-VSSF CWs 是最常見的混合動力系統，但總體而言，任何類型的 CWs 都可以結合使用以獲得更高的處理效率。

6.1.6 來自不同類型人工濕地的溫室氣體

CH₄ 和 N₂O 等溫室氣體的排放，是人工濕地的副產物，近年來其重要性日益增加。CH₄ 由甲烷菌生成產生，而 N₂O 由微生物反硝化和/或硝化含氮化合物產生。在控制溫室氣體排放的環境因子中，碳和營養(特別是氮)的可取用性，直接取決於廢水裝載、溫度、水文狀態(脈衝 VS 穩定流)、地下水位深度、過濾材料水分(充水土壤空隙(WFSP))和通氣組織的存在(表 9.1)。

土壤溫度、氧化還原電位和土壤濕度(WFSP，地下水位深度)是影響 CWS 甲烷排放的最重要因素。水位高於濕地表面 20 公分和/或水淹土壤，會氧化大部分 CH₄ 通量。然而，N₂O 通量與土壤/空氣溫度沒有明顯的相關性，但曾在冬季觀察到大量的 N₂O 排放。凍融循環可能會增加 N₂O 的排放。水文狀態也對 CWS 的溫室氣體排放有影響。連續脈衝和地下水位的波動，會增加 CO₂ 的排放，但明顯降低 CH₄ 排放。相較之下，N₂O 排放沒有顯示出脈衝的明確模式。表 9.2 顯示初始碳和氮輸入量與 CWS 中 CH₄ 和 N₂O 排放量之間的關係，可得出 CH₄ 和 N₂O 的轉化率。SF 和 VSSF CWS 的初始輸入量與 CH₄ 和 N₂O 排放量之間也存在明顯正相關，而 HSSF CWS 類型則沒有發現相關性。表面上看來，HSSF CWS 條件的高變異性和多種因子組合，可能是造成此結果的原因。然而目前可用數據有限，無法為 HSSF CWS 推導可靠的關係。來自 SF CWS 的 CH₄ 高排放因數(表 9.4)，被認為是由於 SF CWS 底部累積的沉積物額外產生 CH₄ 所造成的。

表 9.1 影響人工濕地甲烷和氧化亞氮排放的選擇係數

係數/處理	CH ₄	N ₂ O
較高的水/土壤/空氣溫度	大部分皆上升，少數例外	無明顯關係
土壤或過濾材質的水分含量較高(WFSP值較高)	明顯上升	下降
較高廢水輸入	上升	上升
具有通氣組織植物	上升；下降(取決於狀態)	上升；下降
水文脈衝狀態(間歇輸入)	明顯下降	上升；於部分SF CWs中下降
HSSF CWs中較深的地下水位	下降	上升

表 9.2 在人工濕地開始輸入有機碳(TOC)和總氮(TN)時，相關的甲烷和氧化亞氮排放量及排放量佔輸入量的比例

人工濕地類型	Influent TOC* (mg C m ⁻² h ⁻¹)	CH ₄ -C emission* (mg CH ₄ -C m ⁻² h ⁻¹)	CH ₄ -C/ TOC** (%)	Influent TN* (mg N m ⁻² h ⁻¹)	N ₂ O-N emission* (mg N ₂ O-N m ⁻² h ⁻¹)	N ₂ O-N/TN** (%)
SF	1.04-173.6 (10) 1-11	0.15-181.0 (10.7) ¹⁻¹¹	42 (20)	0.76-202.8 (12) ^{2, 3, 6-11, 21-23}	0.009-0.65 (0.03) ^{2, 6-11, 21-23}	0.13 (0.02)
HSSF	15.0-2190.2 (177) ^{8, 10-12, 15-20}	0.048-17.5 (1.7) ^{8, 10, 11, 15-20}	12 (6.9)	1.04-295.20 (40) ^{6, 10, 12, 15-17, 24, 25}	0.014-0.89 (0.10) ^{6, 10-12, 15-17, 25}	0.79 (0.4)
VSSF	17.88-1417.50 (317) ^{6, 8, 10, 12}	0.3-5.4 (1.3) ^{6, 8, 10, 12}	1.17 (0.33)	102.5-2105.0 (155) ^{6, 8, 10, 12-14}	0.033-0.424 (0.03) ^{6, 8, 10, 11, 12-14}	0.023 (0.005)
* Range and standard error (in parentheses) ** Average and standard error (in parentheses) Source: ¹ Tanner <i>et al.</i> , 1997; ² Wild <i>et al.</i> , 2001; ³ Tai <i>et al.</i> , 2002; ⁴ Johansson <i>et al.</i> , 2004; ⁵ Stadmark and Leonardson 2005; ⁶ Søvik <i>et al.</i> , 2006; ⁷ Søvik and Kløve 2007; ⁸ Gui <i>et al.</i> , 2007; ⁹ Ström <i>et al.</i> , 2006; ¹⁰ Liu <i>et al.</i> , 2009; ¹¹ Van der Zaag <i>et al.</i> , 2010; ¹² Teiter and Mander 2005; ¹³ Inamori <i>et al.</i> , 2007; ¹⁴ Wang <i>et al.</i> , 2008; ¹⁵ Mander <i>et al.</i> , 2003; ¹⁶ Mander <i>et al.</i> , 2008; ¹⁷ Liikanen <i>et al.</i> , 2006; ¹⁸ Garcia <i>et al.</i> , 2007; ¹⁹ Picsek <i>et al.</i> , 2007; ²⁰ Chiemchaisri <i>et al.</i> , 2009; ²¹ Xue <i>et al.</i> , 1999; ²² Johansson <i>et al.</i> , 2003; ²³ Wu <i>et al.</i> , 2009; ²⁴ Inamori <i>et al.</i> , 2008; ²⁵ Fey <i>et al.</i> , 1999						

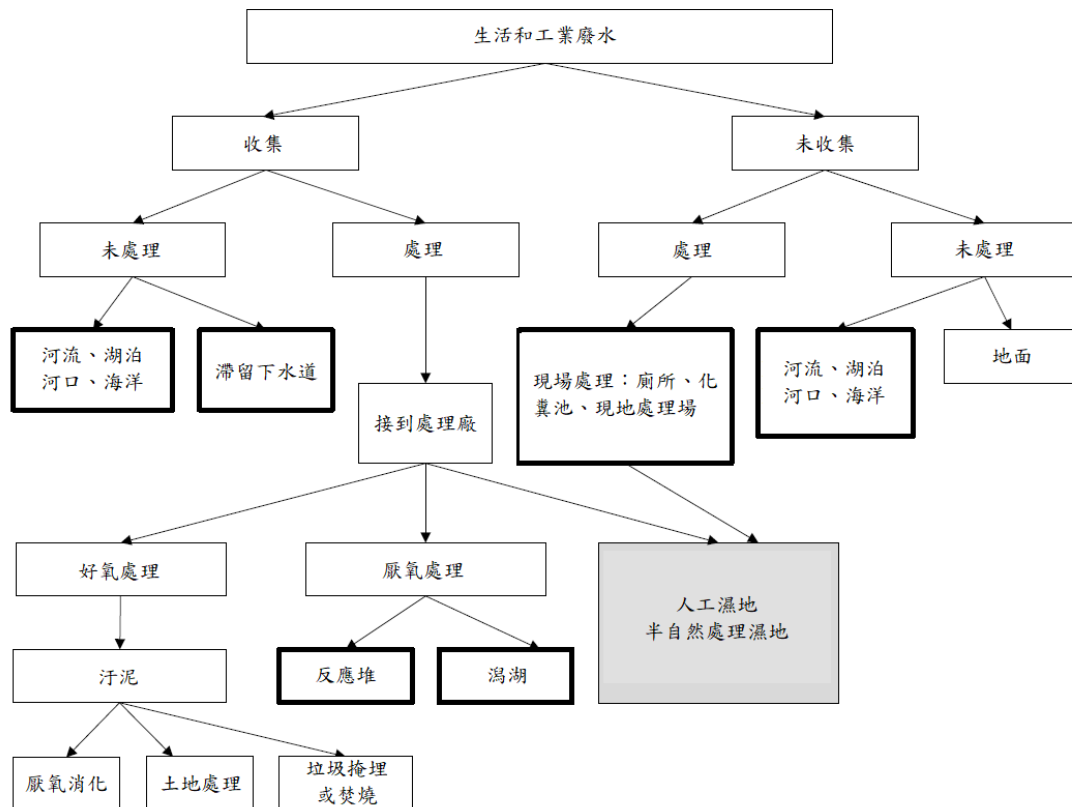


圖 9.2 廢水處理系統和排放途徑

9.1.7 指導原則涵蓋內容

本章是針對 IPCC 2006 年指導原則廢水處理與排放的補充，包括估算 CWS 和 SNTWs 的 CH₄ 和 N₂O 排放指導。CWS 和 SNTWs 處理工業廢水與處理生活污水的甲烷/氧化亞氮排放因數相同。廢水中的 CO₂ 排放量不包括在溫室氣體排放量中，因為廢水中的 CO₂ 被認為是生物源。

9.1.7.1 污水類型和氣體的覆蓋範圍

IPCC 2006 年指導原則曾介紹使用基於處理技術估算生活污水中 CH₄ 和 N₂O 的排放因數估算。人工濕地在本指導原則中是額外的處理技術。本章提供的排放因數包括了 CWS 和 SNTWs(收集/未收集和處理過的；見圖 9.2)。提供的方法用於估算生活和工業廢水中的 CH₄ 和 N₂O 排放(表 9.3)。IPCC 2006 年指導原則曾介紹了農地氮淋溶和徑流的 N₂O 間接排放。來自農產品加工廠和奶水場

廢水處理的排放物、農地土壤徑流和垃圾掩埋場滲濾液被認為是工業廢水。根據 IPCC 2006 年指導原則的規定，固體廢棄物中的所有可降解有機碳(DOC)都需要估算掩埋場中的 CH₄，並且由於滲濾液態碳損失比例較低，因此不考慮在內。

表 9.3 人工濕地的廢水類型和溫室氣體排放

廢水類型	甲烷	氧化亞氮
生活污水	Included in this supplement (Section 6.2) with provision of methane correction factors (MCFs)	Included in this supplement (Section 6.3) with the provision of default emission factors
工業廢水，包括農產品加工廠和奶牛場的廢水	Included in this supplement (Section 6.2) with provision of MCFs	Included in this supplement (Section 6.3) with provision of default emission factors
來自農田的徑流	Emissions can be calculated using the same methodology as for industrial wastewater and are covered in this supplement (Section 6.2)	Emissions can be calculated using the same methodology as for industrial wastewater and are covered in this supplement (Section 6.3) Note: Indirect N ₂ O emissions from N leaching and runoff from agricultural land are considered in Chapter 11, Volume 4 of the 2006 IPCC Guidelines. If agricultural runoff is collected and treated by CWs or SNTWs, the amount of N flowing into CWs or SNTWs must be subtracted to avoid double counting.
來自垃圾掩埋場的滲濾液	The amount of DOC leached from a solid waste disposal site is not considered in the estimation of DOC _f . Generally the amount of DOC lost with the leachate is less than 1 percent and can be neglected in the calculations (Chapter 3, Volume 5, 2006 IPCC Guidelines) and is not considered in this supplement	Emissions can be calculated using the same methodology as for industrial wastewater and are covered in this supplement (Section 6.3)

9.2 人工濕地的甲烷排放

9.2.1 方法問題

三種層級的 CWs 中 CH₄ 排放估算方法：

方法 1: 使用了排放因數和活動參數的預設值。對於數據有限的國家，這種方法被認為是最佳作法。

方法 2: 採用與方法 1 相同的方法，但允許加入國家特定排放因數和活動資料。

例如：基於現場測量的具體排放因數。

方法 3: 需要有較佳數據以及具先進技術的國家使用。更先進的國家特定方法可以考慮特定處理系統的數據，例如植物栽種、氣候、溫度、季節效應和廢水成分。

9.2.1.1 方法 1

圖 9.3 顯示了生活廢水和工業廢水的決策樹。估算生活和工業廢水的化學需氧量、甲烷排放量見公式 9.1。

公式 9.1

公式 9.1
人工濕地的甲烷排放

$$CH_4 Emissions = \sum_j (TOW_j \cdot EF_j) + \sum_{i,j} (TOW_{i,j} \cdot EF_j)$$

CH ₄ emissions	= 庫存年度甲烷排放，kg CH ₄ yr ⁻¹
TOW _j	= 年度庫存廢水進入人工濕地中的有機物，kg BOD yr ⁻¹ or kg COD yr ⁻¹
EF _j	= 排放係數，kg CH ₄ /kg BOD (僅有生活廢水)或kg CH ₄ /kg COD(生活及工業廢水) 假如工業廢水使用多種類型人工濕地，係數將為TOW _{i,j} 的加權平均值
<i>i</i>	= 工業部門
<i>j</i>	= 人工濕地類型

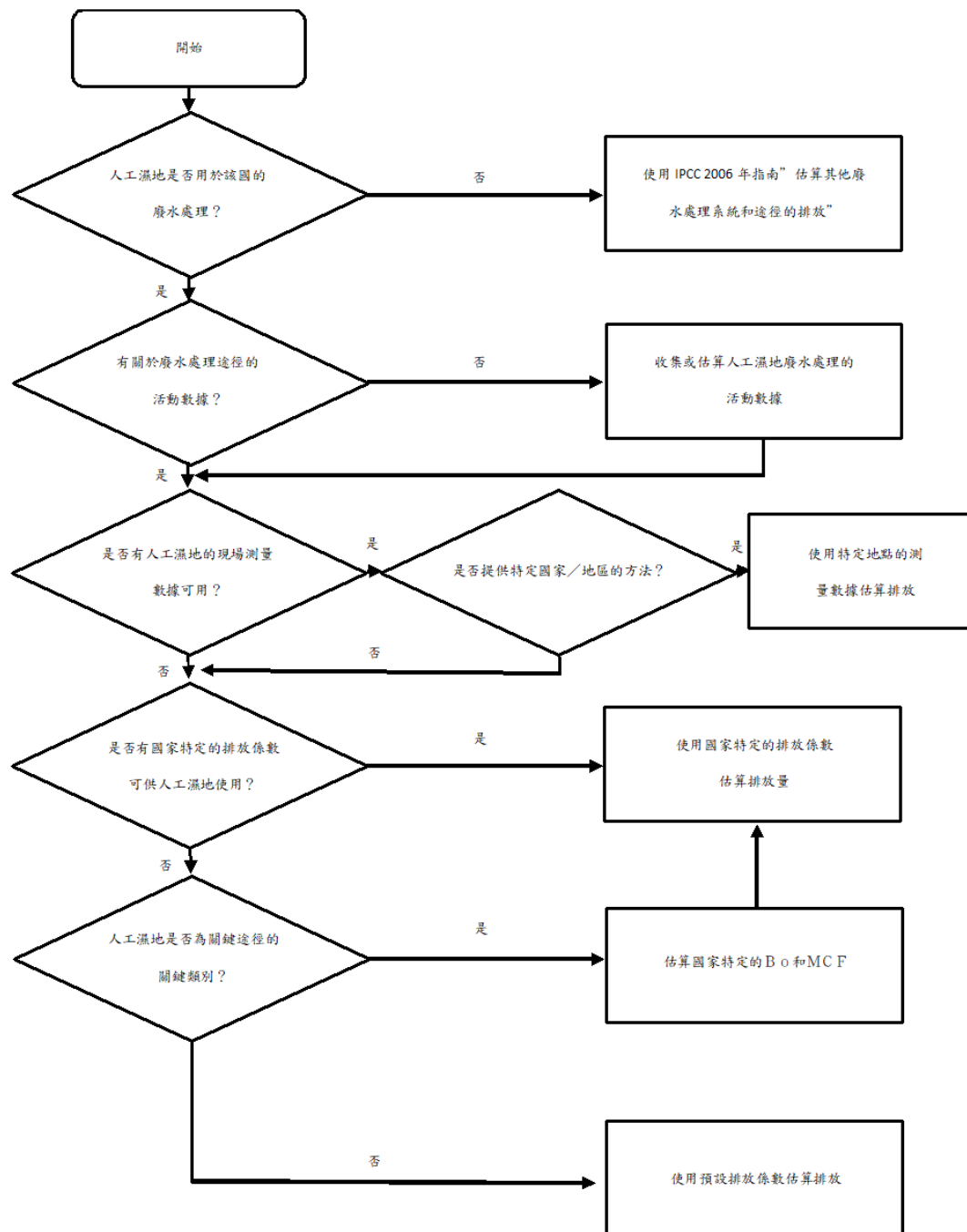


圖 9.3 人工濕地的甲烷排放決策樹

9.2.1.2 排放因數選擇

使用 CWS 進行廢水處理的排放因數，是 CH_4 最大生產潛力(Bo)的函數和校正因子(MCF)。

公式 9.2

公式 9.2 人工濕地的甲烷排放係數 $EF_j = B_o \cdot MCF_j$
--

EF_j = 排放係數，kg CH₄/kg BOD 或 kg CH₄/kg COD
 j = 人工濕地的類型
 B_o = 最大甲烷生產能力，kg CH₄/kg BOD 或 kg CH₄/kg COD
 MCF_j = 甲烷校正係數(分數)，見表 9.4

較佳的作法是使用國家特定的 B_o 數據(如果可以取得)，以生活廢水去除 kg CH₄/kg BOD 或工業廢水中去除 kg CH₄/kg COD 表示，與活動資料保持一致。如果國家或地區特定數據不可取得，則可以使用 IPCC 2006 年指導原則提供了生活和工業廢水的預設 B_o 值，分別為 0.6 kg CH₄/kg BOD 和 0.25 kg CH₄/kg COD。

MCF 顯示了 B_o 在每種類型 CW 中排放程度，這表示系統的厭氧程度。基於甲烷轉化率的文獻分析，表 9.4 提供了 SF、HSSF 和 VSSF CWs 的建議 MCFs 值。表 9.4 中的每個 MCF 都是根據表 9.2 中提供的參考文獻得出的初始 TOC 輸入量與 CH₄ 排放通量之間的關係計算而來的。

表 9.4 不同人工濕地類型的甲烷校正係數(MCF)

人工濕地類型	MCF	Range
表面流動(SF)	0.4	0.08-0.7
水平表面流動(HSSF)	0.1	0.07-0.13
垂直表面流動(VSSF)	0.01	0.004-0.016

混合系統的實際測量數據不足以導出預設的 MCF 值。如果可以確定混合系統的 SF、VSSF 和 HSSF 的面積比例，則可以將混合系統的 MCF 值估算為 SF、VSSF 和 HSSF 的 MCF 的面積加權平均值。通常 SNTW 是 SF 類型，因此可使用預設的 MCF 0.4。如果無法識別 CW 類型，則表面流的 MCF 可以用保守值估計。國家特定的數據應該用於更高層級的方法。

9.2.1.3 活動數據選擇

該來源類別的活動資料是 CW 處理的廢水中有機物質的含量(TOW)。該參數是 CWS 系統服務人口的函數，和每人每天的生化需氧量(BOD)。IPCC 2006 年指導原則提供了選定國家的 BOD 預設值。在工業廢水的情況下，可以使用每天輸入 CW 系統的 COD (kg COD/day)量。IPCC 2006 年指導原則提供了各行業工業廢水數據的例子。

如果工業廢水排放到生活廢水管中，則與生活廢水一起估計。TOW 的公式如下：

公式 9.3

公式 9.3

生活廢水內的總有機可降解物質

$$TOW_j = P_j \cdot BOD \cdot I \cdot 0.001 \cdot 365$$

公式 9.4

公式 9.4

工業廢水內的總有機可降解物質

$$TOW_{i,j} = COD_i \cdot W_{i,j} \cdot 365$$

- TOW_j = 清單年間人工濕地處理的生活廢水中總有機物，kg BOD yr⁻¹
- $TOW_{i,j}$ = 清單年間人工濕地處理的工業廢水中總有機物，kg COD yr⁻¹
- i = 工業部門
- P_j = 在人工濕地處理廢水的人口。應從IPCC 2006年指南第五卷第六章公式6.3中使用的總人口中減去，以避免重複計算
- BOD = 清單年間的每人平均BOD生產量，g BOD person⁻¹ day⁻¹
- I = 排入下水道的額外工業BOD(收集：預設值為1.25；未收集：預設值為1.00)
- COD_i = 清單年間進入人工濕地中的工業廢水COD濃度，kg COD/m³
- $W_{i,j}$ = 人工濕地處理的工業廢水日流量，m³ day⁻¹

9.2.2 時間序列一致性

應該使用相同的方法和資料庫來估算每年 CWS 處理廢水的排放量。不同處

理系統的 MCF 不應每年都變化，除非變化是合理和有紀錄的。如果在不同處理系統中處理的廢水量有變化，則應紀錄這些變化發生的原因。對於來自人口數據的活動資料，各國必須確認 CWS 系統服務的人口比例。如果處理廢水量的數據缺失一年或以上，則可使用 IPCC 2006 年指導原則“時間序列一致性”中所述的拼接技術(如使用替代數據和外推/內插)來估算排放量。CWS 的處理廢水排放量，通常不會每年有大幅度波動。

9.2.3 不確定性

IPCC 2006 年指導原則就量化不確定性提供了指導。它包含了引導和使用專家判斷的指導，結合經驗數據可以提供總體不確定性估計。表 9.5 提供了生活和工業廢水排放因數和活動資料的預設不確定性範圍。被認為非常不確定的參數：

- 在 CWS 和 SNTWS 中處理的廢水量。
- 污水收集過程中，有機物轉化為 CH₄ 的部分。這將取決於廢水收集管道中的水滯留時間、溫度、廢水收集管道中的厭氧條件及工業廢水中可能對厭氧菌有毒的部分。
- 來自發展中國家，中小型工業和農村生活廢水排放到 CWS 的工業 TOW 量。
- CWS 上不同植物物種間的氣體交換。

表 9.5 生活及工業廢水的預設不確定性範圍

參數	不確定性範圍
排放係數	
最大甲烷生產能力(B ₀)	± 30%
甲烷校正係數(MCF)	SF: ± 79% HSSF: ± 31% VSSF: ± 56%
活動數據	
人口	± 5%
每人BOD	± 30%
排入下水道的額外BOD校正係數(I)	For uncollected, the uncertainty is zero %. For collected the uncertainty is ± 20%
工業廢水的COD輸入量	-55%, +103%

9.2.4 質量保證/控制、完整性和報告

按照 IPCC 2006 年指導原則中質量保證/控制與驗證，來進行質量控制(QC)和質量保證(QA)程序是一種較佳的作法。基本的 QA/QC 程序包括：

活動資料

- 確保所有類型廢水過程的廢水流量總和(包括 CWS)，等於該國收集/未收集和處理的廢水。
- 清單編輯者應將國家特定的生活廢水 BOD 數據與 IPCC 預設值進行比較。如果清單編制者使用特定國家的值，應提供文件證明，為何該國家特定值更適合其國家之情形。

排放因數

- 對於生活廢水，清單編輯者可以將 Bo 的國家特定值與 IPCC 預設值(0.25 kg CH₄/kg COD 或 0.6 kg CH₄/kg BOD)進行比較。由於廢水厭氧處理的部分沒有 IPCC 預設值，因此鼓勵清單編輯者將 MCF 值與其他具有類似廢水處理國家的值進行比較。
- 清單編輯者應確認用於廢水中的有機可降解材料單位(TOW)與 Bo 單位之間的一致性。這兩個參數應該基於相同的單位(BOD 或 COD)來計算排放量。在比較排放量時應考慮到同樣的因素。
- 對於使用國家特定參數或更高層級方法的國家，清單編輯者應該使用 IPCC 預設方法和參數對國家估算值與估算的排放量進行核對。
- 對於工業廢水，清單編輯者應該交叉檢查 MCF 的值與其他具有類似 CW 類型的國家的值。

完整性

完整性可以根據所有廢水處理系統使用的處理、排放系統或路徑(T)的利用程度進行驗證。T 的總和應等於 100%。為國家繪製圖表是一個好的作法，可

以考慮所有可能的厭氧處理、排水系統和途徑，包括了收集/未收集以及處理/未處理。

清單編輯者應定期重新調查工業資源，特別是在某些行業快速增長的情況下。此類別應包括現場處理的廢水。排放到生活廢水系統中的工業廢水排放應予以解決，並納入生活廢水中。

報告

CWs 污水處理的 CH₄ 排放量，在廢棄物部門的生活或工業廢水類別中報告。來自收集農業土地逕流的 CWs 之 CH₄ 排放，在報告中屬於工業廢水類。

9.3 人工濕地的氧化亞氮排放

9.3.1 方法問題

N₂O 排放可以作為人工濕地污水處理透過硝化和反硝化作用的直接排放而發生。排放量是根據輸入到人工濕地的總氮和排放因數計算而得的。估計這一類別的 N₂O 排放量的三種方法總結如下：

方法 1 應用排放因數和活動參數的預設值。對於沒有國家特定數據的國家來說，這種方法被認為是較佳的作法。方法 2 採用與方法 1 相同的方法，但允許納入國家特定排放因數和特定國家活動資料。具有較佳數據和先進方法的國家使用方法 3。更先進的國家特定方法基於特定處理系統的數據，如植物物種和廢水成分。

9.3.1.1 方法選擇

生活和工業廢水的決策樹如圖 9.4 所示。估算處理生活或工業廢水的人工濕地 N₂O 排放量的一般公式見公式 9.5。

公式 9.5

公式 9.5 人工濕地的氧化亞氮排放 $N_2O \text{ Emissions} = \sum_j (N_j \cdot EF_j \cdot 44/28) + \sum_{i,j} (N_{i,j} \cdot EF_j \cdot 44/28)$

- N_2O emissions = 清單年間的氧化亞氮排放，kg N_2O yr⁻¹
- N_j = 清單年間進入人工濕地的生活廢水總氮，kg N yr⁻¹
- $N_{i,j}$ = 清單年間進入人工濕地的工業廢水總氮，kg N yr⁻¹
- EF_j = 排放係數，kg N_2O -N/kg N
假如工業廢水使用多種類型人工濕地，係數將為 $N_{i,j}$ 的加權平均值
- i = 工業部門
- j = 人工濕地類型

係數44/28將kg N_2O -N轉換為 N_2O

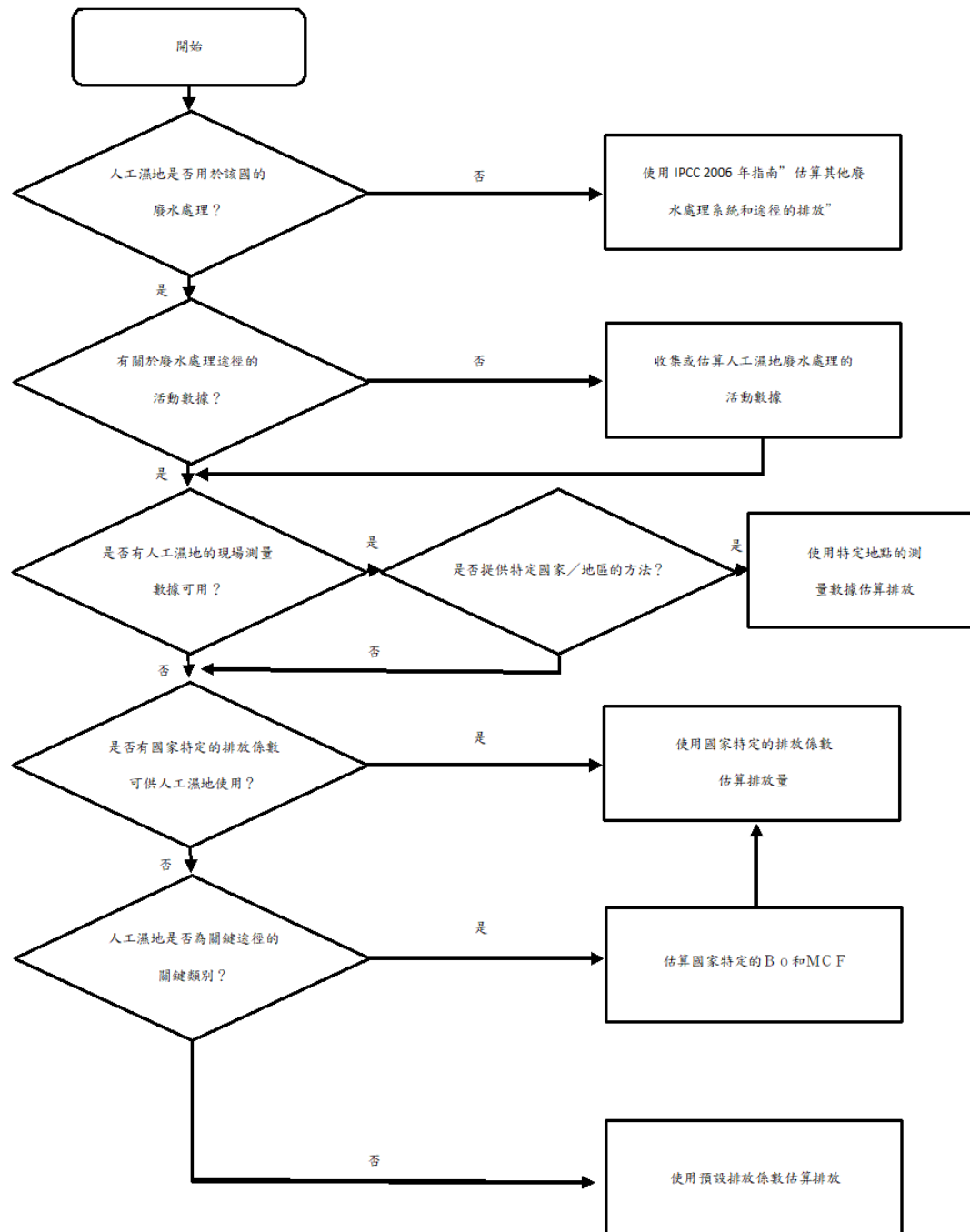


圖 9.4 人工濕地的氧化亞氮排放決策樹

9.3.1.2 排放因數選擇

經處理的家庭和工業廢水排放的 N_2O 排放因數分別為 SF (0.0013 kg N_2O -N/kg N)、HSSF (0.0079 kg N_2O -N/kg N)和 VSSF(0.00023 kg N_2O -N/kg N)。這些值基於文獻（表 9.2）中提供的數據，並受 CWs 發生的硝化和反硝化作用程

度、植被覆蓋度和氣候條件的影響。混合系統的實際測量數據不足以推導出排放因數。如果可以確定混合系統的 SF，VSSF 和 HSSF 的面積，則可以將混合系統的排放因數估計為 SF，VSSF 和 HSSF CW 的排放因數的面積加權平均值。較佳作法是使用國家特定的排放因數數據，以 kg N₂O-N / kg N 表示生活和工業廢水的輸入量。

9.3.1.3 活動資料選擇

該來源類別的活動資料是輸入 CWs 的廢水中氮量(TN)。該參數是 CWs 系統服務的人群，每人每年平均蛋白質消耗量以及添加到生活污水廢水中的非消耗氮的因子函數。在工業廢水的情況下，可以直接使用庫存年的 TN 裝載量(kg N)。

確定生活和工業廢水 TN 的公式為：

公式 9.6

公式 9.6 生活廢水的總氮 $N_j = P_j \cdot Protein \cdot F_{NPR} \cdot F_{NON-CON} \cdot F_{IND-COM}$
--

公式 9.7

$$N_{i,j} = TN_i \cdot W_{i,j}$$

工業廢水的總氮

N_j	=	清單年間人工濕地處理生活廢水中總氮，kg N yr ⁻¹
N_i	=	清單年間人工濕地處理工業廢水中總氮，kg N yr ⁻¹
i	=	工業部份
P_j	=	在人工濕地處理廢水的人口
Protein	=	每人平均蛋白質消耗量，kg person ⁻¹ yr ⁻¹
F_{NPR}	=	氮於蛋白質佔的部分(預設值為0.16 kg N/kg protein，如同IPCC 2006年指南提供)
$F_{NON-CON}$	=	未消耗的氮加入廢水的係數(沒有垃圾處理的國家：預設值=1.1；有垃圾處理的國家：預設值=1.4)
$F_{IND-COM}$	=	工業和商業共排放蛋白質進入下水道系統的係數(預設值=1.25)
TN_i	=	清單年間進入人工濕地的工業廢水總氮濃度，kg N m ⁻³
$W_{i,j}$	=	人工濕地處理的工業廢水流量，m ³ yr ⁻¹

N_i 是總氮濃度的函數，流量可透過乘以本指導原則表 9.6 中的工業生產 P (ton/yr)、廢水產生量(m³/ton product)和氮含量來估計。

表 9.6 富氮工業廢水中氮含量的例子

工業類型	生產廢水量 W (m ³ /ton product)	氮含量
酒精精煉	24 (16-32) ¹	2.40 (0.94-3.86) ²
魚類加工業	5 (2-8) ²	0.60 (0.21-0.98) ³
調味品工業	NA	0.60 (0.22-1.00) ³
肉類 & 家禽	13 (8-18) ¹	0.19 (0.17-0.20) ³
澱粉生產	9 (4-18) ¹	0.90 (0.80-1.10) ⁴
氮肥廠	2.89 (0.46-8.3) ²	0.50 (0.10-0.80) ²
垃圾滲濾液	15-20% of annual precipitation in well compacted landfill site. 25-50% of annual precipitation for not well compacted landfill site ⁶ .	0.74 (0.01-2.50) ⁵

Note: Average value and range (in brackets) are presented
Sources: ¹ IPCC 2006; ² Samokhin (1986); ³ Pilot Plant Development and Training Institute (1994); ⁴ Hulle *et.al.* (2010); ⁵ Kjeldsen *et al.* (2002); ⁶ Ehrig (1983)

9.3.2 時間序列一致性

應使用相同的方法和資料庫來估算每年 CWS 的 N₂O 排放量。如果一個國家

決定將估算方法從預設方法(方法 1)改為國家方法(方法 2)，則必須對整個時間序列進行此更改。

9.3.3 不確定性

由於現有數據有限，CWS 對 N₂O 排放的預設排放因數存在高度不確定性(表 9.7)。

表 9.7 氧化亞氮方法的預設不確定性

參數	預設值	範圍
排放係數 (kg N ₂ O-N/kg N)	0.0013 for SF 0.0079 for HSSF 0.00023 for VSSF	± 90% for SF ± 79% for HSSF ± 70% for VSSF
活動數據		
人口	Country-specific	± 10%
每人年平均蛋白質消耗量	Country-specific	± 10%
蛋白質中氮的比例	0.16	0.15-0.17
非消耗氮的係數	1.1 for countries with no garbage disposals, 1.4 for countries with garbage disposals	1.0-1.5
工業廢水輸入的總氮	Country-specific	-55%, +103%

9.3.4 質量控制/保證、完整性和報告

此方法使用之預設參數建議徵求專家意見，評估所提議預設因子的適宜性。估算排放量的方法基於國內和工業相關的氮排放，無論是在收集系統 CWS / SNTWs 中處理或未收集並排入 CWS / SNTWs。這個估計可以被看作是保守估計值，涵蓋了與生活和工業廢水排放有關的全部來源。

9.3.4.1 報告

廢棄物處理部門報告了 CWS 排放廢水中的大量 N₂O 排放量，包括生活或工業廢水。來自農業土地和垃圾填埋場滲濾液處理 CWS 收集到的逕流 N₂O 排放屬於工業廢水。如果農業逕流由 CWS 或 SNTWs 收集和處理，則流入 CWS /

SNTWs 的氮氣量必須減去以避免重複計算。

第十章 參考文獻

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,
Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme,
Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).
Published: IGES, Japan.

IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National
Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe,
K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds).
Published: IPCC, Switzerland.