

微型規模自願減量專案計畫書

專案編號

C

-

一、基本資料

公司/單位名稱	財團法人日月光環保永續基金會		
計畫名稱	日月光汐止拱北段低蓄積林增匯專案計畫		
計畫書版本	第1版	製作日期	114年 01月 19日
減量編號/名稱 (中英文)	低蓄積林增匯專案 The project of increasing carbon sink from the Low Stocking Forest		
減量方法版本	版本 01.0	範疇別	11 林業
專案總減量	4,021 噸二氧化碳當量(tCO ₂ eq)		

二、專案活動描述

申請類別	■ 移除類型 ■ 新申請：☐ 固定型 (30年)；■ 展延型 (20年) □ 展 延：☐ 第一次 (10年)；☐ 第二次 (10年) □ 減少或避免排放類型 □ 新申請：☐ 固定型 (10年)；☐ 展延型 (5年) □ 展 延：☐ 第一次 (5年)；☐ 第二次 (5年)			
專案計入期	112年 7 月 1 日 ~ 132年 6 月 30 日 (實際計入期以註冊通過日起算)			
專案類型	☐ 再生能源類型：總裝置容量_____瓩 ☐ 節能類型：每年總節電量_____度 ■ 減碳類型：溫室氣體每年排放量總減量 <u>201.1</u> 噸二氧化碳當量			
參與機構 (實際減量單位)	參與機構名稱	參與機構性質	角色說明	分配比例
	財團法人日月光環保永續基金會	實際減量單位	土地所有人	100%
	國際氣候發展智庫	參與相關單位	提供減量方法服務	0%
執行費用	■ 設置成本 <u>300,000</u> 元；☐ 能源或燃料成本_____元； ☐ 政府補助_____元；■ 維運成本(含人力) <u>50,000元/年</u> 元 ■ 其他 <u>500,000</u> 元 (行政成本查驗證費用....)			
執行地點	地址：新北市汐止區拱北段 TWD97二度分帶座標： 中心點 X=316005;Y=2774726 左界 X=315777 右界 X=316277 上界 Y=2775129 下界 Y=2774213 基地南側緊鄰汐止都市計畫。聯絡道路西側為北29鄉道、西南側為康寧街，基地西南側有一條現有通路，聯外道路為省道台 5 甲。拱北段基地占地約 23.5067公頃。北側為林業用地 12.2892公頃，中間為農牧用地 8.3160公頃，南			

側屬於都市計畫區的保護區 2.9015 公頃。

地號	使用分區	使用地類別	面積 m ²	面積 m ²
1489	非都市土地【山坡地保育區】	林業用地	33,297.38	122,892.52
1489-1	非都市土地【山坡地保育區】	林業用地	1,961.98	
1491	非都市土地【山坡地保育區】	林業用地	61,942.32	
1491-1	非都市土地【山坡地保育區】	林業用地	1,794.79	
1493	非都市土地【山坡地保育區】	林業用地	8,065.61	
1508	非都市土地【山坡地保育區】	林業用地	15,830.44	83,159.74
1506	非都市土地【山坡地保育區】	農牧用地	83,159.74	
1915	都市計畫內【保護區】	保護區	29,015.23	29,015.23
合計			235,067.49	

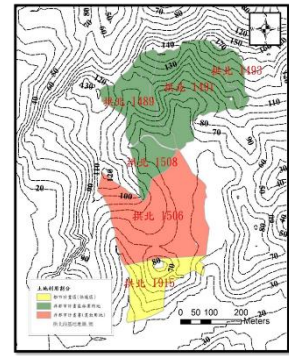


圖1、汐止拱北段基地位置圖

基地全區面積23.5067公頃為範圍，目前基地內森林覆蓋面積為19.96公頃；非森林覆蓋面積為3.5467公頃，扣除建物與水體面積0.2公頃，因此專案範圍面積為23.3067公頃，現有森林覆蓋面積19.96公頃與非森林覆蓋面積3.3467公頃：



圖2、專案活動範圍內森林覆蓋情形

減量措施、設備說明

依據2022年林分調查結果顯示，專案範圍內林分蓄積量經林分高度加權計算為43.4118 m³/ha，相較於第四次森林資源調查區外林地調查成果，闊葉樹林型樣區共1,183個樣區平均蓄積量為107.78為低，顯示本林分可認定為低蓄積林。依據2022年調查結果顯示，本林分植群類型可分為：山紅柿型 (*Acacia confusa* — *Diospyros morrisiana* type)、森氏紅淡比型 (*Cleyera japonica* var. *morii* type)、澀葉榕型 (*Ficus irisana* Elm type)及食茱萸-烏白型 (*Zanthoxylum ailanthoides* — *Sapium sebiferum* type)，為典型次生林型。目前林相低蓄積量情形下，可以透過下層伐採，林下間植固碳量大的相思樹，完成局部林相更新，來增加碳匯吸存能力，提高林分碳匯。

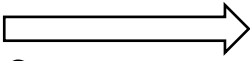
本專案範圍內森林覆蓋面積共計19.96公頃，透過無人機光達掃描，掌握全區林分高度，並依林分高度分為：高於10m、介於5-10m 及低於5m 三種高度級別。伐採作業針對林分高度小於5m 之區域，面積8.27公頃，扣除基線動態樣區0.8公頃，將有7.47公頃區域進行下層疏伐，且於孔隙地栽植相思樹，其餘部分維持現有之林分狀態不予變動，以減少對於棲地生態之干擾。

	目前森林覆蓋區域造林方式使用原生樹種相思樹進行林間孔隙造林，每公頃預計種植2000株，於林間孔隙進行造林，預計共栽植14,940株。目前專案範圍內非森林覆蓋面積3.3467公頃區域將直接進行造林，同樣栽植相思樹，預計栽植6,694株苗木。兩者合計造林面積10.8167公頃，共栽植21,634株苗木。造林後前2年將進行補植，本專案規劃第1~2年每年進行3次人工刈草，第3~6年每年進行2次人工刈草，第7~20年僅視需要進行人工修枝及刈草作業。
設備壽齡	專案起始日113年9月1日；舊設備起始使用時間____年____月____日； 設備剩餘壽齡____年 ☐屬節能類型專案，得免除壽齡佐證限制 ☐引用運輸業類別減量方法，屬汰舊換新措施得免除壽齡佐證限制 ☐清潔發展機制設備壽齡評估工具預設年限：____（設備名稱）預設值____年 ☐經第三方檢測單位進行評估，應檢附相關證明文件 ☐設備預設使用年限____，應檢附設備供應商提供之證明文件 ☐國家統計資料____年，資料來源_____

三、減量方法應用說明

	條件	符合性	說明與佐證
適用條件說明	1. 專案範圍應能出具合法土地經營使用權利，如土地所有權證明、土地租賃契約或公有林租賃契約為佐證。	☒符合 ☐不適用	專案範圍內土地所有權為日月光投資控股（股）公司及其子公司董事及監察人所有，未來擬委託財團法人日月光環保永續基金會代為管理並由本會申請環境部自願減量專案。土地所有權證明詳附於附件1。
	2. 專案範圍為至少過去20年維持林木覆蓋之森林(不包括竹林與灌木林)，無商業性伐採作業，且在專案活動實施後仍須維持為森林。可提出足以證明過去林木覆蓋的航照影像、衛星影像圖或其他有效資料(如獎勵造林契約)作為佐證。	☒符合 ☐不適用	有1974-2019年之土地變遷航照圖作為佐證過去20年本專案區域為森林覆蓋。從1974及1979年航照影像可以清楚看出基地北側植生較為稀疏，至1988年逐漸恢復植生狀態，由此可初步判定本基地大致從1979年逐漸回復次生林狀態，因此在估算林分生長期，至少已有約40年左右的生長期。

	3. 專案範圍現存蓄積量可提出蓄積調查及比較基準佐證：低於或容許10%誤差範圍之內之相同林型平均蓄積量。	☒ 符合 ☐ 不適用	依據2022年林分調查結果顯示，專案範圍內林分蓄積量經林分高度加權計算為46.7755 m ³ /ha，相較於第四次森林資源調查區外林地調查成果，闊葉樹林型樣區共1,183個樣區平均蓄積量為107.78 m ³ /ha上下加減10%誤差範圍(97.00至118.59 m ³ /ha)為低，顯示本林分可認定為低蓄積林。
	4. 適用於可促進森林生長且相較基線情境增加碳移除之森林管理措施，包括有疏伐、林相調整、森林保護(含病蟲害防治、防火)、林間孔隙造林、森林撫育等一系列促進森林生長的森林管理措施。	☒ 符合 ☐ 不適用	專案範圍的森林覆蓋區域實施下層疏伐及林間孔隙造林。非森林覆蓋區域則實施一般造林措施。
	5. 專案活動不超過10%的水文或土壤擾動，並須符合水土保持及森林經營相關規範要求(含「公私有林經營及輔導作業規範」)。本方法不適用濕地管理活動。	☒ 符合 ☐ 不適用	專案活動對森林覆蓋區域面積7.47公頃進行下層疏伐及林間造林，於非森林覆蓋區域進行一般造林，以人工刈草整地，均未實施機械整地，對土壤擾動僅為植穴大小，符合專案活動不超過10%的水文或土壤擾動，及其他水土保持及森林經營相關規範要求(含「公私有林經營及輔導作業規範」)。
	6. 除為改善林分蓄積而實施的森林經營活動外，不移除枯死木和地表枯落物，事前整地或事後處置殘留物時不採行焚燒。	☒ 符合 ☐ 不適用	專案活動不移除枯死木和地表枯落物，並保存調查記錄以茲證明。並承諾事前整地或事後處置殘留物時不採行焚燒。
	7. 收穫林產品之儲存量不納入減量計算。	☒ 符合 ☐ 不適用	林木伐採碳量不納入減量計算。
	8. 適用於溫室氣體年平均減量/移除量小於或等於20,000公噸二氧化碳當量(tCO ₂ eq)之專案活動。	☒ 符合 ☐ 不適用	專案活動溫室氣體年平均減量/移除量小於20,000公噸二氧化碳當量(tCO ₂ eq)，為197.4公噸二氧化碳當量/年。
外加性分析 (法規)	☐ 無 【中央法規】 ☐ 環境影響評估法 ☐ 空氣污染防治法 ☐ 鍋爐空氣污染物排放標準 ☐ 能源管理法 ☐ 能源用戶訂定節約能源目標及執行計畫規定		

	□再生能源發展條例 說明：_____ 【地方自治條例】 □桃園市發展低碳綠色城市自治條例 □臺中市發展低碳城市自治條例 □臺南市低碳城市自治條例 □高雄市環境維護管理自治條例 說明：_____ 【政策、方案、綱領】 □第一期溫室氣體階段管制目標-電力排放係數目標之涵蓋範圍 □部門溫室氣體排放管制行動方案-電力排放係數目標之涵蓋範圍 說明：_____ ■其他法規 <u>公私有林經營及輔導作業規範</u> 說明：於實施各項森林經營管理措施，符合「公私有林經營及輔導作業規範」
專案實施前後示意圖	專案範圍森林覆蓋區域19.96公頃，依據無人機光達掃描資料，分成高(大於10m)、中(介於5-10m)及低(小於5m)三種林分高度級，其分布應是鑲嵌分布於林分內。 圖2 林分高度分層圖 專案活動於森林覆蓋區域將林分內高度低於5m的低矮林分區域，其面積有8.27公頃，扣除基線動態樣區0.8公頃，將有7.47公頃進行下層疏伐並於林間孔隙造林，栽植相思樹苗木，其餘部分維持現有之林分狀態不予變動。至於非森林覆蓋區域3.3467公頃，栽植相思樹苗木，合計共栽植21,634株苗木 專案邊界根據低蓄積林增匯專案方法學，地上部地下部生物量主要考量林木生長導致的碳儲存增加、自然死亡及火災導致的生物碳損失。專案起始時對低林分下層林木進行伐採之碳損失將納入專案排放，其餘專案期間不進行伐採。 專案實施前：  森林覆蓋區域 基線移除量 (保留木生長量) 非森林覆蓋區域 基線移除量為零 專案活動：  ● 森林覆蓋區域下層疏伐及林間孔隙造林 ● 非森林覆蓋區域一般造林 專案移除量 及專案排放量 (新植木碳量) 專案排放量 (下層疏伐木碳量+苗木運輸排放量)

四、計算方法

根據低蓄積林增匯專案方法學，基線情境將透過實際調查估算，並在專案區域內未處理之對照樣地中設立生長監測樣區，在專案計入期間與專案情境同步持續監測。本專案運用無人機空載光達掃描資料建立 1 公尺精度的數值地形資料，並利用光載資料出林分高度資訊，分成：高(高於 10m)、中(介於 5-10m)及低(低於 5m)三種林分高度級，並扣減推算其比例：

表1 森林林分高分層面積統計表

林分高度分層	林分高度範圍	面積(ha)	比例(%)
高林分	高於10m	3.67	18.38
中林分	介於5-10m	8.02	40.17
低林分	低於5m	8.27	41.45
總面積		19.96	100.00%

林分調查分成林木調查樣區及生長監測樣區(動態樣區)兩種樣區進行調查：

一、林木調查樣區

林木調查樣區主要用途在於設置較多的小樣區，全面涵蓋專案邊界，以掌握專案邊界內植生狀態。規劃設置方面，考量不同地形位置(山頂、山腰及山底(山腳))的植群社會有所不同。因此在樣區設置規劃方面，乃參照地形位置與林分高度做為樣區分層設置原則。實務上依地形位置(山頂、山腰及山底)與不同林分高度(高、中、低林分)，進行樣區位置的配置規劃，現場調查時，依據實際地形及交通可達性狀況調整，共設置40個10*10m 林木調查樣區如下：

表2 林木調查樣區設置表

地形位置	高(H)林分 (>10m)	中(M)林分 (5-10m)	低(L)林分 (<5m)
山頂(T)	TH (4)	TM (6)	TL (4)
山腰(M)	MH (5)	MM (5)	ML (6)
山底(B)	BH (4)	BM (4)	BL (2)

*：括號內為樣區配置數量

二、基線生長監測樣區(動態樣區)

將林木調查樣區調查資料進行植群分析，將40個樣區分為4個林型：山紅柿型 (*Acacia confusa* — *Diospyros morrisiana* type)、森氏紅淡比型 (*Cleyera japonica* var. *morii* type)、澀葉榕型 (*Ficus irisana* Elm type)及食茱萸-烏臼型 (*Zanthoxylum ailanthoides* — *Sapium sebiferum* type)，再依照各植群型樣區的平均胸徑與林分高度，同時考量日後生長監測調查的樣區可達性，由 40 個林木調查樣區篩選出 20 個樣區擴大至20*20m 樣區，成為基線動態樣區。數量亦超過方法學建議：依國內獎勵造林檢測作業流程設置樣區數量15個，並且在調查樹木胸徑處標註記號與掛牌，便於後續追蹤調查。20 個基線動態樣區面積0.8公頃，不施行專案管理措施，將不納入專案範圍計算。

(一)基線淨移除量計算：

基線淨移除量(基線溫室氣體淨移除量)表示在基線情境下，專案邊界範圍內所選碳庫儲存量變化之和。由於專案區域屬於常年未經營之森林，無商業伐採行為，因此林產品碳儲存在基線情境下保守視為零。專案範圍分成森林覆蓋與非森林覆蓋區域，非森林覆蓋區域其基線移除量因現況無林木存在，故為零。至於森林覆蓋區域其基線淨移除量計算如下：

基線淨移除量($\Delta C_{BSL,t}$)主要考慮基線林木生物量碳庫的碳儲量變化($\Delta C_{TREE_BSL,t}$)，計算公式如下：

$$\text{公式(1): } \Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t}$$

監測樣區以林分高度進行分層取樣，以分層增加碳庫估算精準度。根據分層，計算各基線林木生物量碳儲存年變化量之和，即為基線林木生物量碳儲存變化量($\Delta C_{TREE_BSL,i,t}$)。計算公式如下：

$$\text{公式(2): } \Delta C_{TREE_BSL,t} = \sum_i \Delta C_{TREE_BSL,i,t}$$

假定一段時間內（第 t_1 至 t_2 年）基線林木生物量的變化是線性的，基線林木生物量碳儲存變化量($\Delta C_{TREE_BSL,i,t}$)。計算公式如下：

$$\text{公式(3): } \Delta C_{TREE_BSL,i,t} = (C_{TREE_BSL,i,t_2} - C_{TREE_BSL,i,t_1}) / (t_2 - t_1)$$

在林木生物量碳儲存量($\Delta C_{TREE_BSL,i,t}$)估算方面，主要將各樹種每公頃林木生物量($G_{TREE_BSL,i,j,t}$)乘上各樹種種植面積($A_{BSL,i,j}$)，再利用各樹種含碳率(CF_j)將林木生物量轉化為碳含量，再利用 CO_2 與 C 的分子量比值將碳含量轉換為二氧化碳當量，計算公式如下：

$$\text{公式(4): } C_{TREE_BSL,i,t} = 44/12 \times \sum_j (G_{TREE_BSL,i,j,t} \times A_{BSL,i,j} \times CF_j)$$

本專案使用生物量擴展係數法。透過測定林木胸高直徑(DBH)、樹高(H)和(或)林齡，運用國有林林產物處分作業要點材積方程式： $(\text{胸高形數} \times (\text{胸高直徑}/100/2)^2 \times \pi \times \text{樹高})$ 計算該樹種單株林木樹幹材積($V_{TREE_BSL,i,j,t}$)，再利用生物量轉換與擴展係數($BCEF_j$)將林木樹幹材積轉化為林木地上部生物量，再利用地下部生物量與地上部生物量比值(R_j)將地上生物量轉化為林木全株生物量，再乘上該樹種每公頃株數($N_{TREE_BSL,i,j,t}$)，即可求得該樹種每公頃林木生物量($G_{TREE_BSL,i,j,t}$)，計算公式如下：

$$\text{公式(6): } G_{TREE_BSL,i,j,t} = V_{TREE_BSL,i,j,t} \times BCEF_j \times (1 + R_j) \times N_{TREE_BSL,i,j,t}$$

若直接的生物量轉換與擴展係數($BCEF_j$)不可得，可使用生物量擴展係數(BEF_j)及基本比重(D_j)相乘得出，如下：

$$\text{公式(7): } BCEF_j = BEF_j \times D_j$$

在事前估計部分，基線情境假設為維持現有之森林組成(即原有之森林狀態)，而專案情境為將低林分(林分高度小於5m)伐採後再造林進行孔隙栽植，其餘的中林分和高林分維持不變。估算生物量及碳量所需的木材密度及碳含量比例，參照農委會水土保持局108年度「水土保持樹種固碳能力與儲碳潛力計算資料庫之建置」結案報告書附錄2水土保持樹種木材密度及碳含量資料庫的資料。如果該樹種沒有列於該附錄，則採用 IPCC 建議的0.5帶入計算。

不同樣區樹木實際測量數據，及根據公式計算出樣區總碳量如下：

表 3 不同樣區規劃配置組合平均胸徑、平均樹高及樣區總碳量

樣區規劃	株數	平均胸徑 (cm)	平均樹高 (m)	樣區總碳量 (ton C)
TH	22	12.80	7.33	1.0221
TH	21	13.88	6.99	0.8235
TH	24	12.74	6.98	0.6742
TH	10	23.26	8.59	1.2410
TM	15	13.64	6.11	0.4270
TM	4	22.06	7.73	0.3643
TM	10	9.57	5.78	0.1646
TM	2	22.95	8.41	0.3046
TM	16	15.87	9.50	0.8275
TM	33	10.93	6.68	0.5777
TL	9	11.38	6.57	0.1270
TL	18	14.24	8.37	0.5241
TL	15	13.21	5.45	0.4404
TL	19	10.89	4.36	0.2491
MH	11	9.31	4.95	0.0684
MH	9	18.83	6.79	0.3101
MH	7	16.97	8.08	0.2978
MH	41	11.71	8.07	1.2399
MH	20	11.35	6.00	0.3207
MM	44	9.86	6.60	0.1036
MM	9	17.11	8.14	0.4538
MM	11	10.07	6.11	0.1248
MM	8	19.87	8.42	0.5333
MM	29	12.57	5.15	0.4816
ML	16	10.81	4.61	0.3060
ML	10	17.50	7.84	0.3685
ML	12	17.91	6.56	0.4966
ML	14	10.85	4.41	0.1076
ML	15	19.25	7.45	1.9011
ML	43	7.05	6.54	0.2592
BH	11	14.15	7.17	0.4810
BH	16	14.24	8.75	0.5655
BH	39	10.84	9.01	0.8244
BH	31	10.22	9.35	0.6538

BM	7	14.04	6.78	0.1518
BM	12	12.57	7.91	0.3229
BM	12	10.40	4.83	0.1815
BM	12	15.52	7.10	0.4479
BL	10	23.27	4.99	0.8351
BL	12	14.48	9.87	0.5508

統整出不同林分之碳儲存量如下：

表4 不同林分之碳儲存量

林分高分層	樣區平均碳量 (ton C/ha)	面積(ha)	碳儲存量 (ton C)	碳量比例
高林分	38.54	3.67	141.4418	36.77%
中林分	27.25	8.02	218.5450	56.81%
低林分	2.99	8.27	24.7273	6.43%
總 計		19.96	384.7141	100.00%

林分碳吸存量屬於兩個時期間變化量，需要兩次調查結果，方能計算其變化量。本次調查為第一次進行碳儲存量估算，無法進行碳吸存量估算，因此改以總平均生長概念來估算碳吸存量。亦即假設目前林分係經長期演替生長而成，可以將目前碳儲存量當成總量，除以假設長期生長演替年數，可計算出總平均生長。一般而言，長期演替的低蓄積林，其晚期的生長應該趨緩，年度生長量會低於總平均生長量，若以較高的總平均生長量替代現時的年度生長量，應該是較為高估，符合保守性原則。實務上從歷史航照可以得知 1979 年有部分區域呈現裸露狀態，之後都呈現森林覆蓋情形。1979 至今已超過 40 年，因此假設本區林木應至少有 40 年之生長時間，以此來推估總平均生長量：

高林分為 $141.4418 / 40 = 3.5360 \text{ ton/yr}$

中林分為 $218.5450 / 40 = 5.4636 \text{ ton/yr}$

低林分為 $24.7273 / 40 = 0.6128 \text{ ton/yr}$

總平均年度碳儲存量為 $384.7141 / 40 = 9.6179 \text{ ton/yr}$ ，轉換為二氧化碳當量 $9.6179 * 44/12 = 35.2655 \text{ tCO}_2\text{eq/ yr}$ ，該假設即為基線林木生長吸存量，做為基線淨移除量。未來區內動態樣區有保留樹高高於 5m 的樹木，當完成生長監測調查時，應可予以比較。

項	參數	定義/說明	數值	單位	數據來源
1	t	專案執行年數	-	yr	☐ 預設 ☒ 監測 說明：_____
2	$G_{TREE_BSL,i,j,t}$	基線情境下，第 t 年時，第 i 碳層樹種 j 的平均每公頃林木生物量	-	t.d.m. ha ⁻¹	☐ 預設 ☒ 監測 說明：使用生物量擴展係數法。透過測定林木胸高直徑及樹高，運用 IPCC 材積方程式計算該樹種單株

					林木樹幹材積
3	$ABSL_{i,j}$	基線情境下，第 t 年時，第 i 碳層樹種 j 的總面積	-	ha	☐ 預設 ☒ 監測 說明：_____
4	CF_j	樹種 j 生物量中的含碳率	依各樹種	t C (t.d.m.) ⁻¹	☒ 預設 ☐ 監測 說明：參照農委會水土保持局108年度「水土保持樹種固碳能力與儲碳潛力計算資料庫之建置」結案報告書附錄 2
5	R_j	樹種 j 地下部生物量與地上部生物量的比值	0.24	-	☒ 預設 ☐ 監測 說明：參照方法學附錄1，天然闊葉林係數
6	$N_{TREE_BSL,i,j,t}$	基線情境下，第 t 年第 i 碳層樹種 j 的每公頃株數	-	株 ha ⁻¹	☐ 預設 ☒ 監測 說明：_____
8	D_j	樹種 j 的基本比重(連皮)	依各樹種	t.d.m. m ⁻³	☒ 預設 ☐ 監測 說明：參照農委會水土保持局108年度「水土保持樹種固碳能力與儲碳潛力計算資料庫之建置」結案報告書附錄 2
9	BEF_j	樹種 j 的生物量擴展係數，即林木主幹生物量與地上部生物量之轉換係數	1.4	-	☒ 預設 ☐ 監測 說明：參照方法學附錄1，天然闊葉林係數

(二)專案實際移除量計算：

森林經營是包括疏伐、森林保護(含病蟲害防治、防火)、造林、森林撫育等一系列的林業活動。為施行專案活動所進行之整地、移除原生植被、林相組成變更等作業，其過程中損失的原生木本植物生物量將會被計算入專案活動排放量中。

在森林經營專案活動期間，專案排放表示在專案情境下，專案邊界內所選碳庫的碳儲存變化量($\Delta C_{PROJ,t}$)，主要考量林木生物量之碳儲存變化量($\Delta C_{TREE_PROJ,t}$)，不考慮灌木、枯死木、枯落物、土壤有機質及收穫林產品的碳儲存變化量，並減去專案活動引起的二氧化碳及非二氧化碳溫室氣體排放量($GHG_{E,t}$)。專案實際移除量 $\Delta C_{ACTUAL,t}$ 計算如下：

$$\text{公式(8): } \Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{PROJ,t} - GHG_{at} - GHG_{E,t}$$

$$\text{公式(9): } \Delta C_{PROJ,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t}$$

專案林木生物量碳儲存變化量($\Delta C_{TREE_PROJ,i,t}$)之計算公式如式3至式6，用字母下標「PROJ」公式中的字母下標「BSL」。

林木生物量碳儲存量變化 ($\Delta C_{TREE_PROJ,t}$)：

對專案邊界內各再造林林地的生長量進行事前估計，專案活動計劃將低林分(林分高度小於5m)伐除，計入面積則為7.47公頃。根據林俊成等(2002)之研究計算結果，來假設栽植相思樹為造林樹種之情況下的總碳儲存量，除以20年即為新植木平均年度生長吸收量。

表5、不同樹種在不同林齡時之年度碳儲存量表 (取自林俊成等(2002))

Units: ton/ha

Age of stand (yr)	<i>Cinnamomum camphora</i>	<i>Calocedrus formosana</i>	<i>Zelkova serrata</i>	<i>Acacia confusa</i>	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Liquidambar formosana</i>	<i>Cunninghamia lanceolata</i>	<i>Fraxinus formosana</i>
6	47.88	29.46	96.91	96.59	40.04	83.43	38.83	99.87
7	59.47	35.54	112.21	110.92	45.66	88.97	43.61	121.22
8	69.89	57.63	127.50	126.59	51.67	94.57	48.68	143.38
9	80.93	79.09	142.80	143.43	57.99	100.25	53.98	165.88
10	91.39	99.90	158.09	161.32	64.52	106.01	59.45	188.33
11	101.76	118.87	173.39	180.15	70.50	111.84	64.43	210.34
12	111.50	138.14	188.69	199.81	77.21	117.76	70.12	231.58
13	120.45	156.72	203.98	220.23	83.96	123.75	75.92	251.73
14	129.86	174.59	219.28	241.32	90.71	129.84	81.83	270.55
15	139.57	191.71	234.57	263.04	97.44	136.02	87.85	287.79
16	149.36	195.13	249.87	285.36	97.65	142.29	88.13	303.27
17	159.20	209.76	265.16	308.25	103.87	148.67	93.99	316.84
18	167.82	223.64	280.46	331.71	110.02	155.14	99.97	328.38
19	177.92	236.75	295.75	355.72	116.10	161.72	106.09	337.82
20	186.28	249.08	311.05	380.31	122.10	168.41	112.35	345.11

以表5中相思樹為造林樹種，20年吸存量為380.31 tCO₂eq/ha，依據第6年開始的吸存量換算成每年吸存量，前5年因表中並無數據，乃採第6年溯回前5年處理。每年吸存量乘上林間孔隙造林面積共7.47公頃，可估算出專案邊界內新植木之年平均吸存量，為專案移除量。其餘11.69公頃之高林分及中林分在理想情況下，會因下層伐採而促進保留木之生長，然事前計算無法預測生長量，因此保守假設為維持基線情境之年度生長吸收量為保留木生長吸存量：

高林分保留木為 $3.5360 * 44/12 = 12.9655$ tCO₂eq/ yr

中林分保留木為 $5.4636 * 44/12 = 20.0333$ tCO₂eq/ yr。

專案碳儲存年變化量應為新植木移除量+保留木移除量

此即為專案情境下的林木生物量碳儲存變化。未來監測計畫會同步基線動態樣區，確認基線生長情形，並當成長期動態基線予以去除。

本專案活動僅對低林分7.47公頃進行下層伐採，而原有低林分林木的碳儲存量則全部視為專案排放量。因其死亡損失所造成的專案碳排放量即為原來低林分的碳匯儲存量 $24.7273 * 44/12 = 90.6969$ tCO₂eq。

根據低蓄積林增匯專案方法學，因專案實施造成邊界內溫室氣體排放，可分為二氧化碳及非二氧化碳溫室氣體排放：二氧化碳排放包含有因運輸苗木、使用機器刈草及其他活動所造成的排放。本範例中，苗木多達21,634株苗木，有必要估算其苗木運輸所造成的排放；刈草因位於林下將採人工草刀刈草方式，不計算其碳排放。二氧化碳排放於經營過程中如有林木伐採，則假定在

林木伐採時立即排放，且損失計入林木生物量碳儲存變化中。另因事前計算無法預測專案邊界內火災發生情況，因此不考慮森林火災造成的專案邊界內非二氧化碳排放溫室氣體排放：

專案邊界內二氧化碳排放依方法學公式12-14，僅以苗木運輸碳排放為準，其計算如下：

$$GHG_{at} = ST_t + FA_t \quad \text{式12}$$

$$ST_t = TD_t \times Car_t \times EF_{car\ t} \quad \text{式13}$$

$$FA_t = Oil_t \times FEF_{tool,t} \quad \text{式14}$$

參數	定義	單位
GHG_a	專案活動實施 t 年後，因施行專案活動而增加之二氧化碳溫室氣體排放量	tCO ₂ eq yr ⁻¹
ST_t	第 t 年時，因運輸造成的 CO ₂ 溫室氣體排放量。	tCO ₂ eq yr ⁻¹
FA_t	第 t 年時，因使用機具造成的 CO ₂ 溫室氣體排放量。	tCO ₂ eq yr ⁻¹
TD_t	第 t 年時，運輸距離	km
Car_t	第 t 年時，運輸車輛噸數	ton
$EF_{car\ t}$	第 t 年時，運輸機具延噸公里碳足跡	kgCO ₂ eq /ton/km
Oil_t	第 t 年時，機具使用柴油量	L
$EF_{tool,t}$	第 t 年時，柴油碳足跡	tCO ₂ eq/L

專案地點與苗木供應處：暖東苗圃距離約13公里，依據環境部產品碳足跡資訊平台營業17噸大貨車延噸公里碳足跡為0.131 kgCO₂e，每車次能運送苗木1000株，總計運輸來回 22*2 = 44 趟次，計算公式如下：

$$\text{苗木運輸} = 0.131 \times 17 \times (13 \times 44) = 1273.8440 \text{ kgCO}_2\text{e} = 1.2738 \text{ tCO}_2\text{eq}$$

綜合上述計算專案排放量為 90.6969 + 1.2738 = 91.9707 tCO₂eq

(三)洩漏量計算，公式()： ☐ 適用 ☒ 不適用

根據方法學適用條件，不適用於專案實施可能引起的專案前農業活動的轉移，因此在本方法學下，造林活動不存在潛在洩漏，即 LK_t = 0，其中 LK_t 為第 t 年專案活動所產生的洩漏排放量。

(四) 專案淨移除量計算

$$\text{公式(10): } \Delta C_{NET,t} = (\Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t) \times (1 - UNC_t)$$

參數	數值	單位
$\Delta C_{NET,t}$	第 t 年專案淨移除量	tCO ₂ eq yr ⁻¹
$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年專案實際移除量	tCO ₂ eq yr ⁻¹
$\Delta C_{BSL,t}$	第 t 年基線淨移除量	tCO ₂ eq yr ⁻¹
LK_t	第 t 年因洩漏之溫室氣體排放量，根據本方法學的適用條件，專案活動不存在潛在洩漏，因此可視為0	tCO ₂ eq yr ⁻¹
UNC_t	第 t 年的不確定性	%
t	1, 2, 3, 4 ...，專案活動開始以後的年數	yr

根據公式，專案邊界內二氧化碳減量之結果(專案淨移除量)，為專案活動實施後之專案實際移除量，減去專案基線淨移除量，並也需減去專案邊界內洩漏溫室氣體排放量(LKt)。根據方法學適用條件，不適用於專案實施可能引起的專案前農業活動的轉移，因此在本方法學下，造林活動不存在潛在洩漏，即 $LK_t = 0$ ，

UNC_t ：第 t 年的不確定性，與抽樣誤差相關的不確定性須被量化並加以解釋，其計算如下：

$$UNC_t = \text{MIN} (100\%, \text{MAX} (0, T \times \left| \frac{1}{n} \times S_{wp,t}^2 + \frac{1}{n^2} \times \sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^n W_{bsl,i,j}^2 \times S_{bsl,t}^2) \right|^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{1}{\overline{ER}_t} \right) - 15\%))$$

式14

參數	定義	單位
UNC_t	第 t 年的不確定性，表示為在90%信賴區間下半寬(half width)佔平均值的百分比	%
$S_{wp,t}^2$	專案情境下，第 t 年結束時的監測區間內，存量變化(stock change)的變異數	-
$S_{bsl,t}^2$	基線情境下，第 t 年結束時的監測區間內，存量變化(stock change)的變異數	-
$W_{bsl,i,j}$	單元基線樣地 j 在配對之複合基線 i 中的權重，在0到1之間	-
T	顯著水平 $\alpha = 0.05$ 時 Student's t 分佈的臨界值(即即 $1 - \alpha = 95\%$ 的信賴區間)	
$\overline{ER}_t$	第 t 年的樣區平均減少排放量	tCO ₂ eq
n	專案和基線情境下存量變化值均可用的樣本單元數量	
c	獨特單元基線樣地 j 的總數	

UNC_t ：將於未來實際監測調查時依調查數據計算

專案活動實施後之20年專案移除量預計為4,773.6752 tCO₂eq，專案排放量僅有第1年伐木損失之 90.6969 tCO₂eq 及苗木運輸碳排放 1.2738 tCO₂eq，合計為 -91.9707 tCO₂eq。則專案實際移除量四捨五入至整數為後為 4,681 tCO₂eq，扣除基線淨移除量32.9988*20 四捨五入為 660 tCO₂eq，最終

專案淨移除量預計為 4,021 tCO₂eq，平均每年可移除 201 tCO₂eq，平均每公頃8.62 tCO₂eq。

表6、計入期計算摘要(未計入不確定性因子)

年度	專案移除量 (tCO ₂ eq)	專案排放量 (tCO ₂ eq)	基線淨碳移除 量 (tCO ₂ eq)	洩漏排放 (tCO ₂ eq)	專案淨移除量 (tCO ₂ eq)
第1年	207.1296	-91.9707	32.9988	0	83.4339
第2年	207.1296	0	32.9988	0	174.1308
第3年	207.1296	0	32.9988	0	174.1308
第4年	207.1296	0	32.9988	0	174.1308
第5年	207.1296	0	32.9988	0	174.1308
第6年	207.1296	0	32.9988	0	174.1308
第7年	188.0021	0	32.9988	0	155.0033
第8年	202.4965	0	32.9988	0	169.4977
第9年	215.1520	0	32.9988	0	182.1532
第10年	226.5096	0	32.9988	0	193.5108
第11年	236.6773	0	32.9988	0	203.6785
第12年	245.6551	0	32.9988	0	212.6563
第13年	253.8758	0	32.9988	0	220.8770
第14年	261.1230	0	32.9988	0	228.1242
第15年	267.9375	0	32.9988	0	234.9387
第16年	274.4275	0	32.9988	0	241.4287
第17年	280.5931	0	32.9988	0	247.5943
第18年	286.7586	0	32.9988	0	253.7598
第19年	292.7078	0	32.9988	0	259.7090
第20年	298.9815	0	32.9988	0	265.9827
總計	4,773.6752	-91.9707	659.9760	0	4021.7285

項	數據/參數	定義/說明	數值	單位	數據來源
1	$\Delta C_{NET,t}$	第 t 年實際淨移除量	依表6：專案淨移除量欄位數值	tCO ₂ eq yr ⁻¹	☐ 預設 ☒ 監測 說明：_____
2	$\Delta C_{ACTUAL,t}$	第 t 年之專案實際碳移除量	依表6：專案移除量減去專案排放量欄位數值	tCO ₂ eq yr ⁻¹	☐ 預設 ☒ 監測 說明：_____
3	$\Delta C_{BSL,t}$	第 t 年之基線淨碳移除量	依表6基線淨碳移除量欄位數值	tCO ₂ eq yr ⁻¹	☐ 預設 ☒ 監測 說明：_____
4	LK_t	第 t 年因洩漏之溫室氣體排放量，根據本方法學的適用條件，專案活動不存在潛在洩漏，因此可視為0	0	tCO ₂ eq yr ⁻¹	☒ 預設 ☐ 監測 說明：_____

五、監測計畫

設置兩種監測樣區：基線動態樣區及專案生長監測樣區。

- ✧ 基線動態樣區：於專案實施前已依不同植群型設置20個基線動態樣區，不實施專案管理措施，做為未來實施專案活動成效的比較基線。
- ✧ 專案生長監測樣區：於基線動態樣區附近同樣設置20個專案生長監測樣區，做為掌握專案活動碳匯增量計算的依據。

單木碳匯量估算採用生物量擴展係數法，透過測定林木胸高直徑(D)、樹高(H)，運用立木材積式計算該樹種單株林木樹幹材積，再利用木材密度及生物量擴展係數將林木樹幹材積轉化為林木地上部生物量，再利用地下部生物量與地上部生物量比值(R)將地上生物量轉化為林木全株生物量，再乘上碳含量比例即得單木的碳儲存量。加總樣區內所有樣木碳儲存量得到樣區碳儲存量，平均不同樣區碳儲存量，可推算林地單位密積碳儲存量，再乘以專案面積，得出專案範圍碳儲存量。

- (1) 材積估算：量測監測樣區內樣木胸高直徑(D)與樹高(H)，相思樹立木材積估算將以 $V = 0.0000446 * D^{1.5357} * H^{1.5066}$ (姚鶴年，1987)，其他樹種則依一般材積通式進行估算： $V = (D/2)^2 * \pi * H * 0.45$ 。
- (2) 相關轉換參數：樹種木材密度及碳含量比例參數將參採「水土保持樹種固碳能力與碳儲存潛力計算資料庫之建置」計畫報告(趙國容、2019)的資料，若不在該報告內的樹種將以IPCC預設值0.5處理。以相思樹為例，木材密度為0.77，碳含量比例為47.2%。
- (3) 其他擴展係數將以國家溫室氣體排放清冊報告為依據：生物量擴展係數針葉樹為1.27，闊葉樹為1.40；根莖比針葉樹為0.22，闊葉樹為0.24。
- (4) 預期監測頻率：至少5年執行一次監測，以追蹤碳庫之碳儲存變化及專案排放。
- (5) QA/QC程序：為確保數據蒐集與篩選的準確性，針對調查人員施予調查品質測試程序，並設立林木調查稽核機制（抽查5%林木進行稽核，其容許誤差為 $DBH \pm 0.6 \text{ cm}$ ， $H \pm 1 \text{ m}$ ，參照美國森林調查量測品質目標定為90%，亦即抽查林木結果應有90%以上於容許誤差範圍內。），並在必要

時修正異常值。

(6) 資料保存程序：包括電子文件的更新。所有監測過程中蒐集的數據，包括QA/QC資料，必須以電子方式存檔或紙本方式保存，並保存至最後一次核發減量額度後2年。

(7) 監測團隊和管理階層的分工、職責與能力：管理階層應由具備森林經營專業之人員擔任，如林業技師或其他具專業能力證明者；監測團隊則應經過森林調查品質訓練合格，並分為調查小組及稽核小組進行監測。

引用文獻：

1. 姚鶴年，1987，臺灣主要樹種立木材積－求積式之解析，臺灣林業 13(5)：3－13。
2. 趙國容，2019，水土保持樹種固碳能力與碳儲存潛力計算資料庫之建置結案報告書，行政院農委會水土保持局委託研究計畫。
3. 環境部，2024，2024中華民國國家溫室氣體排放清冊報告，環境部。

六、環境衝擊分析與公眾意見

環境衝擊分析	依據「溫室氣體自願減量專案管理辦法」第8條第2項，溫室氣體每年排放量總減量小於或等於二萬公噸二氧化碳當量者，得免除環境衝擊分析。
公眾意見	依據「溫室氣體自願減量專案管理辦法」第8條第2項，溫室氣體每年排放量總減量小於或等於二萬公噸二氧化碳當量者，得免除公眾意見。