

高苑科技大學土木工程研究所
碩士論文

濕地碳匯功能之研究-以七股海岸濕
地為例

Study on Carbon Sink
Capacity of Wetlands-Example of
Chiku Coastal Wetland

研 究 生：王宥瑩

指導教授：鄭魁香 博士

中華民國 103 年 7 月

高苑科技大學
土木工程研究所
碩士學位論文考試推薦書

本所 王宥笙 (學號:6001141045) 君所提之論文
濕地碳匯功能之研究-以七股海岸濕地為例
係由本人指導撰述，同意提付學位考試。

指導教授： 鄧魁香 (簽章)

日期： 103 年 8 月 29 日

高苑科技大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

土木工程 研究所 王宥瑩 君所提之論文

濕地碳匯功能之研究-以七股海岸濕地為例
(題 目)

經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人

鄭 祥

委 員

蔡 明 勇
鄭 祥

(簽章)

中 華 民 國 103 年 7 月 31 日

摘要

近年來，濕地研究蓬勃發展，在全球氣候變遷的過程中，因長期封存大氣中的二氧化碳（CO₂）而扮演重要的角色。因其具有吸收或排放二氧化碳的功能，亦即具有碳匯之效能，因濕地具高水位及厭氧底部之環境特性。

本研究即以七股海岸濕地為基礎，作為估算西部海岸濕地含碳量，進行碳封存及氣體交換通量測量計算方法之分析，以因應國際發展趨勢，發展濕地碳匯管理的技術，以濕地碳封存能力及碳庫量估算法，針對沿海濕地能封存多少碳，再以每單位面積乘上碳量，即可求得海岸濕地碳吸存能力。

七股濕地碳匯調查成果完備，故為台灣西部海岸型濕地重要之一環。本文將七股海岸濕地含碳量數據，推估台灣西部海岸濕地碳匯通量。對碳循環貢獻，由七股碳匯模式，推估西部海岸濕地年均碳匯總量約為 $29.10712 \times 10^{10} \text{ g C yr}^{-1}$ 。

關鍵字：二氧化碳、七股濕地、碳匯、西部海岸濕地

Abstract

In recent years, the research of wetlands has played an important role in the process of global climate change due to the long-term sequestration of atmospheric carbon dioxide (CO₂). Because of its functionality to absorb or emit carbon dioxide, together with the performance of carbon sequestration, wetlands have the environmental characteristics of high water levels and anaerobic bottom. This study is based on the Chiku coastal wetlands to estimate the amount of carbon in the western coastal wetlands and to analyze carbon sequestration gas flux measurements calculated exchange. The research can respond the international development trends, and develop the technology of wetland carbon management.

The wetland carbon sink capacity and carbon estimation method on coastal wetlands can be used in carbon sequestration, and then multiplied by the per unit area of the carbon quantity, one can obtain carbon sink capacity this of similar type of wetland.

Chiku wetlands, carbon survey results are complete, it is an important part of Taiwan's west coast wetlands. Chiku carbon quantity data can be used to estimate the western coast of Taiwan wetlands, carbon fluxes, the contribution of carbon emissions by Chiku carbon sink model, the western coastal wetlands, estimated annual carbon sequestration total is about $29.10712 \times 10^{10} \text{ g C yr}^{-1}$.

Keywords: *Carbon dioxide* 、 *Chiku wetlands* 、 *Carbon sink* 、 *Western coastal wetlands*

謝誌

本研究期間，感謝指導教授鄭魁香博士，指導論文內容，才有今日的成果。

感謝口試委員詹明勇、鄒禕老師，在百忙之中審閱內文與指導，才能順利完成。

由衷感謝，指導教授、口試委員在此謹致上最深摯謝意。

感謝父母在兩年碩士期間的全力支持與協助，尤其是母親的交通接送辛苦，無以回報。父母親感謝您！

目錄

摘要	I
Abstract.....	II
謝誌	III
目錄	IV
圖目錄.....	V
表目錄.....	VI
第一章前言	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	1
1.3 研究流程	2
第二章文獻回顧	3
2.1 濕地	3
2.2 紅樹林	13
2.3 潮間帶	17
第三章濕地碳匯理論	22
3.1 碳循環	22
3.2 濕地碳匯	25
3.3 森林碳匯	27
3.4 土壤碳匯	29
第四章七股濕地碳匯推估西部海岸濕地總碳匯量	32
第五章結論與建議	34
5.1 結論	34
5.2 建議	34
參考文獻	35

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖	2
圖 2-1 水生植物的根區圖	14
圖 2-2 紅樹林分布和海岸變遷關係示意圖	15
圖 2-3 歷年潮間帶地形圖	19
圖 3-1 濕地中碳循環的可能途徑示意圖	23
圖 3-2 二氧化碳交換概念圖	23
圖 3-3 紅樹林生態系中二氧化碳循環示意圖	24
圖 3-4 二氧化碳於生態系統循環示意圖	25
圖 3-5 濕地乾濕域系統空間型態示意圖	27

表目錄

表 2-1 濕地定義一覽表	4
表 2-1 濕地定義一覽表（續）	5
表 2-2 濕地的各種價值與功能表	7
表 2-3 濕地類型特徵一覽表	9
表 2-3 濕地類型特徵一覽表（續）	10
表 2-4 濕地生態系統定義表	11
表 2-5 紅樹林樣區落葉生產量調查結果表	16
表 2-5 紅樹林樣區落葉生產量調查結果表（續）	17
表 2-6 棲地類型一覽表	20
表 2-6 棲地類型一覽表（續）	21
表 3-1 不同種類植被之碳吸存量表	22
表 3-2 全球陸域植被與其土壤之碳吸存量估算表	30
表 4-1 台灣沿岸濕地面積分佈	32
表 4-2 紅樹林落葉含碳量表	32
表 4-3 台灣西部紅樹林碳匯	33
表 4-4 臺灣西部潮間帶碳匯	33
表 4-5 台灣西部海岸濕地平均碳匯	33

第一章 前言

1.1 研究動機

環境議題逐年受到重視，森林對碳循環研究，已有相當大的貢獻，而濕地紅樹林也具有陸域上樹木的特性，樹木藉由光合作用與呼吸作用，將部分二氧化碳儲存於植物體內，對於碳循環亦為有相當的作用。

七股濕地碳匯調查成果完備，將紅樹林枯落物採樣數據的乾燥重，以假設乾燥重為幾克碳，推估紅樹林淨初級生產量。七股海岸濕地為台灣西部海岸型濕地的重要一環，將七股海岸濕地潮間帶含碳量數據，推估台灣西部海岸濕地潮間帶碳匯通量，七股潮間帶地質區分與西部海岸類似，多為沙泥海岸，符合七股鹽田潮間帶灘地面積區分比例，而用以評估西部海岸濕地地質類型，對碳排放貢獻，可由七股碳匯模式，推估西部海岸濕地年均碳匯量。

本研究從台灣沿海濕地關係，以七股海岸濕地為研究基礎，高水位及厭氧底部環境，藉由碳匯進行碳存量相關分析，調降大氣中二氧化碳含量數據，依形成質地環境與生長植物優勢，濕地性質具有儲存二氧化碳之功能。本文將七股海岸濕地含碳量數據，依比例推估台灣西部海岸濕地，對碳排放貢獻，分析能封存多少的碳匯量。

1.2 研究目的

綜整本論文之研究目的，即以評估七股鹽田濕地之高水位及厭氧底部環境且為海岸濕地類型，發展出七股濕地的碳匯模式。並以七股濕地案例進行案例分析，除計算出七股濕地的碳匯量外，再進一步推估西部海岸濕地的總碳匯量，本研究目的如下所示。

- 一、台灣西部海岸紅樹林灌木的淨初級生產量
- 二、台灣西部海岸濕地潮間帶碳匯通量
- 三、台灣西部海岸濕地年均碳匯量

1.3 研究流程

本研究之研究流程如下：

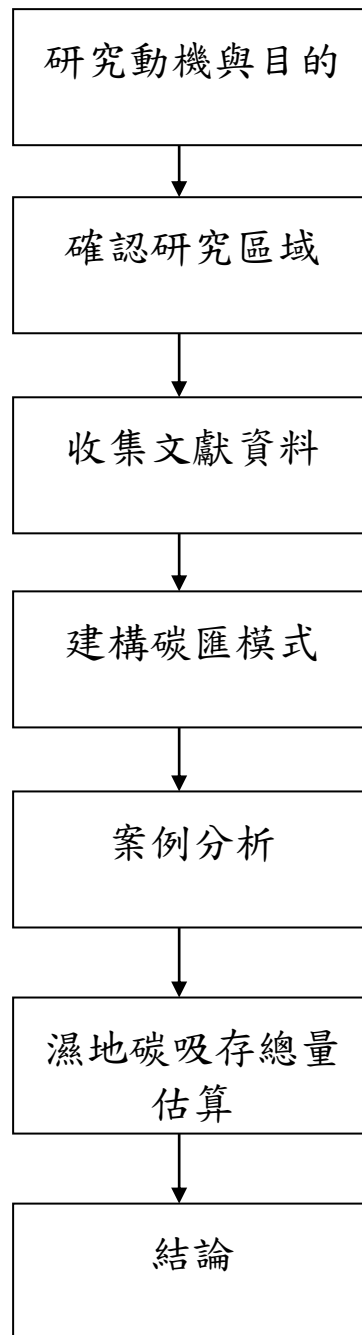


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 濕地

謝佳殷（2002）對海岸地區（Coastal zone）泛指濱海地區，海岸區、海岸、海岸地帶、海岸土地、海濱地區、沿海地區、海岸線等名詞皆是，並無統一定義及界線，而所傳達之意仍不脫「海陸交會處」、「海域與陸域交接之帶狀區域」、「海洋與陸地交會而相互影響的地區」、「海洋與陸地交會的帶狀地區」。

杜政榮（2005）認為濕地是水域與陸地之間過渡性的生態系統，它兼有水域和陸地生態系統的特點，具有其獨特的結構和功能濕地生態包含了各種不同的棲地類型：如河流、湖泊、沼澤，甚至是人造濕地如魚塭、水田、灌溉農地、鹽田、水庫、污水塘和運河溝渠等。因此，濕地指的是陸與水交接的地帶，這個地帶或許出現在高山溪流、湖泊、埤塘、水田、鹽田、河口沼澤，或沿岸沙洲、潟湖、潮間帶灘地或鹽澤，行政院農業委員會曾對濕地做以下的敘述，其內容與美國魚類及野生動物協會的定義相去不遠。

一、發生季節性氾濫期間通常是在該土地能被供為農業用途之時間。

二、在陸生及水生體系間過渡之土地，其水位通常位於或近於地面，或是該地積有淺水；必須具備有下列三種性質之一種：

一、該地至少是週期性的，以水生植物為優勢。

二、基質主要是無法排水之積水土壤。

三、基質非為土壤，而在每年生長季之某些期間內，為水所飽和或積有淺水。

閻克勤、王櫻燕（2007）歸納濕地的分類方式有依照分布地點、區位、土壤及植物種類、植物生長區分來分類，以及國際自然及自然資源聯盟分類等方式，沿海濕地中的泥質灘地，土壤及植物種類屬草本沼澤中的鹹草木沼澤，且有紅樹林等植物的生長，屬於有植物濕地。

台灣濕地保護聯盟，於國內目前，對濕地並未有法定的解釋條文，而世界各國約有 50 種定義來解釋「濕地」一詞表 2-1 所示，而其中最被大家所熟知及通用的，是各國於 1971 年，在伊朗拉姆薩所共同決議通過的「國

際重要水鳥棲地保育公約」(Convention on Wetland of International Importance Especially as Waterfowl Habitat)，簡稱「濕地公約」(Wetland Convention)或「拉姆薩公約」(Ramsar Convention)。

濕地必須具有以下三種特性中的一種或一種以上：

- 一、至少是週期性，土地上有優勢的水生植物種。
- 二、在底層的土壤是以不利排水的還原性土壤為主。
- 三、底層土壤在每年的生長季節期間，由水形成的飽和狀態或是被水所覆蓋。

表 2-1 濕地定義一覽表

出處單位與年份	定義
拉姆薩公約，1971	舉凡草澤、林澤、泥炭澤或水域範圍，無論自然或人工，永久或暫時，帶有靜止或流動的水，淡水、淡水或海水，包含低潮位時海水深度在最低潮時不超過6 m 者
美國濕地深水棲息地之分類，1979	陸域和水域之交匯處，水位接近或位於地表面，或有淺層積水，至少具一種以上下列特徵： (1)具有優勢水生植物 (2) 底層土主要為飽含水分之濕土 (3) 於每年之生長季節，底層有時會被水淹沒
美國聯邦手冊，1980；1982	係指土壤在一定頻率下，為表面水或地下水所淹沒或飽和，期間於正常情況下，可孕育出優勢狀態的植物種類，通

表 2-1 濕地定義一覽表（續）

出處單位與年份	定義
美國聯邦手冊，1980；1982	常包含林澤（swamps）、草澤（marshes）、酸泥沼（bogs）或者類似的土地。
美國內政部，1991	受洪水入侵；或充滿地表水或地下水，持續供當地植被生長繁衍，以適應當地充沛水分之土壤環境。
加拿大國際濕地工作群，1979	表土以濕土為主，並有水生植物；氣候溫暖時，地下水位接近或高於地表面。
加拿大濕地資料中心，1979	水位接近或高於地表面，土壤含水長期處於飽和狀態，有植物生長，且具有適於潮濕環境之生物活動進行。
臺灣行政院農委會自然保育通訊月刊，1987	具備以下三種條件者： (1) 週期性，以水生植物為優勢種 (2) 主要為無法排水之積水土壤 (3) 基質非土壤，而是於每年生長季節的某些時間內，含有飽和水分，或者積有淺水的土地
中華民國野鳥學會，1994	陸地與水域之過渡帶，泛指潮濕的土地，如：池塘、灘地、泥沼、沼澤、低窪積水區等地
David Salvesen（1991）in 威爾康辛州，USA	地表或靠近地面上下有足夠的水能夠支持水生動物或水域植物且具有濕地的指標土壤
國際自然保育聯盟（IUCN）	有水生植物生長的地區

資料來源：台灣的濕地樂園、尤姝媚（2009）、黃淑媚（2012）、林藜臻（2013）

Hammer (1996) 對各類型濕地功能分類如下：

一、自然濕地 (Natural wetlands)：

在這些地區中，至少周期性且地面植生以水生植物為優勢；土壤形態為以未排水的還原性土壤為主或非土質介質（岩石或礫石）在每年生長季中的某段時期為水所飽和或者是處於水淹狀態。自然濕地必須能持續維持還原性的介質同時適合濕地植物、動物棲息。

二、復育型濕地 (Restored wetlands)：

指過去曾為自然濕地的地區，其後因經過改變與其他的用途而喪失了原本典型的植物與動物生態，然而經過更改能重新回復排水不佳的土壤與濕地動植物樣貌外，還增添洪水控制、遊憩、教育等其他價值如表2-2所示。復育濕地與自然濕地同屬於美國水體而受清潔水法案第404條款中許可程序的管制。

三、創造型濕地 (Created wetlands)：

原本具有陸地的動植物相且排水良好的土壤，但經改變後，形成排水不佳的土壤與濕地的人文環境，使具有提供濕地生態維生、洪泛控制、遊憩、教育等其他價值。創造型濕地未必是為了補償自然濕地因開發而損失的替代品，倘若它們屬於補償性濕地，則受404條款的約束。若非補償性濕地，則視是否與美國水體有直接的水面比例而決定是否受404條款的約束。

四、人工濕地 (Constructed wetlands)：

存有陸生的環境而被改變成排水不佳的土壤與存在於濕地動植物所需的水文條件，以去除廢水中的污染物為主要目的。人工濕地本質上是廢水處理系統，僅受美國國家污染排放標準管制而不受 404條款的約束。

五、漂浮性水生系統 (Floating aquatics system)：

自然處理系統之一，而一般以漂浮性的水生植物生長於污水處理塘中，此系統因設計概念的不同而不歸類為人工濕地。漂浮性水生系統早已受美國國家污染排放標準妥善地管制。

表 2-2 濕地的各種價值與功能表

社會價值	環境品質價值	魚類及野生動物價值
洪水之控制	水質保持	提供魚類及甲殼類棲息地
海浪損害的防治	汙染過濾	提供水鳥及其他鳥類棲地
海岸侵蝕之控制	沉澱物去除	提供野生動物棲息地
地下水與水源之供應	製造氧氣	
木材與其他自然資源	營養物循環	
能源資源(泥煤)	化學及營養物吸收	
家畜放牧	水棲動物的生產力	
釣魚及貝類採收	微氣候的調節	
獵捕	世界氣候的調節(臭 氧)	
遊憩資源		
景觀美質		
教學及科學研究		

資料來源：邱文彥（1999）

蔡曉明（2002）濕地環境有機物難以分解，故多泥炭的積累，是濕地常呈現的發展過程：隨著泥炭逐漸的積累，礦質營養逐漸減少，因此可以根據礦物質的多寡或發展程度分類有：富養（低位）沼澤、中養（中位）沼澤和貧養（高位）沼澤之分，分別說明如下：

一、富養沼澤：

是沼澤發育的最初階段。水源補給主要是地下水，水流帶來大量礦物質，營養較為豐富。植物主要是苔草、蘆葦、蒿草、柳、落葉松、水松等。

二、貧養沼澤：

往往是沼澤發育的最後階段，由於泥炭層的增厚，形成沼澤中部高於周圍，故稱為高位沼澤。水源補給僅靠大氣降水，營養貧乏。植物主要是苔蘚植物和小灌木，以泥炭蘚為優勢，形成高大蘚丘，所以這類沼澤又稱泥炭蘚沼澤。

三、中養沼澤：

介於上述兩者之間的過渡類型。營養狀態中等。既有富養沼澤植物，也有貧養沼澤植物。苔蘚植物較多，但未形成蘚丘，地表形態平坦。

內政部營建署城鄉發展分署（2011），將其他類型之濕地特徵於表2-3所示，而海岸濕地碳匯調查之類型則有：

一、紅樹林（Mangroves）：分布在熱帶與亞熱帶之間，（約在北緯及南緯25度之間範圍）的海岸生態系統，且位於潮間帶區域，存在的植物多數屬於能生長在半鹹水及海水的耐鹽性喬木或灌木林（如海茄苳、欖李、水筆仔）。

二、潮間帶灘地（Intertidal）：位於河口或海岸因沖刷帶來大量沉積物所形成的淺灘，位於潮間帶，無明顯的植物存在，但灘地表面有藻類及蘚苔類生長。又有泥地及砂地兩種分級。

三、鹹水草澤（Saltmarshes）：分布在極地到亞熱帶緯度範圍的海岸生態系統，且位於潮間帶區域，存在的植物多數屬於耐鹽性的草本科植物（如雲林莞草、蘆葦）。

四、河（溪）口水域（Estuarine waters）：河（溪）海交界區域且在潮位線以下的水域。

五、潟湖（Lagoons）：位於海岸由沙洲圍繞成封閉性或部分開放性且在潮位線以下（Subtidal）的水域。

六、魚塢（Aquaculture ponds）：人為建造及管理的海岸景觀分散於近海岸線的陸地上，經常於漲潮時接收海水進行水產養殖，並於退潮時排放養殖排水。

表 2-3 濕地類型特徵一覽表

	類型	特徵
海洋／海岸濕地	永久性淺海水域	多數情況下低潮時水位小於 6m，包括海灣和海峽
	海草層	包括潮下藻類、海草、熱帶海草植物生長區
	珊瑚礁	珊瑚礁及其鄰近水域
	岩石性海岸	包括近海岩石性島嶼、海邊峭壁
	砂灘、礫石與卵石灘	包括濱海砂洲、海岬以及砂島；砂丘及丘間沼澤
	河口水域	河口水域和河口三角洲水域
	灘地	潮間帶泥灘、砂灘和海岸其他鹹水沼澤
	鹽沼	包括濱海鹽沼、鹽化草甸
	潮間帶森林濕地	包括紅樹林沼澤和海岸淡水沼澤森林
	鹹水潟湖	有通道與海水相連的鹹水潟湖
	海岸淡水湖	包括淡水三角洲潟湖
	海濱岩溶洞穴水系	濱海岩溶洞穴
內陸濕地	永久性內陸三角洲	內陸河流三角洲
	永久性的河流	包括河流及其支流、溪流、瀑布
	時令河	季節性、間歇性、定期性的河流、溪流、小河
	湖泊	面積大於 8hm ² 永久性淡水湖，包括大的牛軛湖
	時令湖	大於 8hm ² 的季節性、間歇性的淡水湖；包括漫灘湖泊
	鹽湖	永久性的鹹水、半鹹水湖
	時令鹽湖	季節性、間歇性的鹹水、半鹹水湖及其淺灘
	內陸鹽沼	永久性的鹹水、半鹹水沼澤與泡沼
	時令鹹水鹽沼	季節性、間歇性的鹹水、半鹹水沼澤、泡沼

表 2-3 濕地類型特徵一覽表（續）

	類型	特徵
內陸濕地	永久性的淡水草本沼澤、泡沼	草本沼澤及面積小於8hm ² 泡沼，無泥炭積累，大部分生長季節伴生浮水植物
	氾濫地	季節性、間歇性洪泛地，濕草甸和面積小於 8hm ² 的泡沼
	草本泥炭地	無林泥炭地，包括蘚類泥炭地和草本泥炭地
	高山濕地	包括高山草甸、融雪形成的暫時性水域
	苔原濕地	包括高山苔原、融雪形成的暫時性水域
	灌叢濕地	灌叢沼澤、灌叢為主的淡水沼澤，無泥炭積累
	淡水森林沼澤	包括淡水森林沼澤、季節氾濫森林沼澤、無泥炭積累的森林沼澤
	森林泥炭地	泥炭森林沼澤
	地熱濕地	溫泉
	內陸岩溶洞穴水系	地下溶洞水系
人工濕地	水產池塘	例如魚、蝦養殖池塘
	水塘	包括農用池塘、儲水池塘，一般面積小於8hm ²
	灌溉地	包括灌溉渠系和稻田
	農用泛洪濕地	季節性氾濫的農用地，包括集約管理或放牧的草地
	鹽田	曬鹽池、採鹽場等
	蓄水區	水庫、攔河壩、堤壩形成的一般大於 8hm ² 的儲水區
	採掘區	積水取土坑、採礦地
	廢水處理場所	污水場、處理池、氧化池等
	運河、排水渠	輸水渠系
	地下輸水系統	人工管護的岩溶洞穴水系等

資料來源：濕地與濕地保護，李楊帆、劉青松，中國環境科學出版（2003）

行政院研究發展考核委員會（2001）所研訂之海洋政策白皮書可知，海岸地區是為海岸線兩側海陸相鄰的帶狀地區，包括濱海陸地及近岸海域，前者為海水或鹽分等海岸因子影響所及的陸地，後者為陸地或大陸棚上的自然或人為作用影響所及的海域如表2-4所示，而主要利用空間則以水深30公尺或離岸6公里以內的海域空間及沿岸陸域空間為主體。

表 2-4 濕地生態系統定義表

濕地型態	環境釋義
海岸濕地生態系統，計有 感潮性鹹水濕地 感潮性半鹹水濕地 紅樹林濕地	河口感潮潛沒型，含鹽分 河口感潮潛沒型，半鹹淡 河口感潮林化型及灌木林型，含鹽分
內陸濕地生態系統，計有 淡水草澤 北方泥碳地 南方深水林澤 河口濕地	多型態併合潛沒型 多型態併合蘚苔型 河口感潮林化型及灌木林型 河口感潮林化型及灌木林型

資料來源：台灣沿海地區自然環境保護計畫通盤檢討及其資料庫暨劃設重要濕地與珊瑚礁及海岸保育軸之研究，參考地景出版社『濕地』（2005）

此亦為比較廣泛的說法，以下將對海岸的定義作一論述：

曾宏揚（2001）以聯合國國際經濟與社會事務部（United Nations Department of international Economic and Social Affairs）於1982年依世界各國對海岸地區的定義、管理範圍，歸納出四個常用標準：

一、物理標準（Physical criteria）：考慮實質的自然條件、地形狀況或主要濱海公路作為海岸地區界線。陸域包括沿海集水區（Watershed）、海岸山稜線（Coastal mountain range）、重要公路服務範圍；海域則為大陸棚界線。若以實質條件為主要考量因子，則陸域部份以沿海集水區範圍作為管

理範圍較普遍。海域部分則將基本自然資源（如油礦源等）及近海漁業資源涵蓋在內。

二、行政疆界 (Administrative boundaries)：指運用既有的行政區劃分，來作為界定海岸地區的標準，尤其在陸域界線的劃定，其管理及展現完整性且較考慮周延，既合法又簡易可行。

三、任意距離 (Arbitrary distances)：指直接明定海岸地區向陸及向海的距離，但較無法表明海岸地區海洋自然生態體系的狀況標準例如：美國加州即明定以平均高潮線向陸一千碼及向海三英哩為海岸地區。

四、特定環境區 (Selected environmental units)：將具有生態上或科學上重要性的特定環境區逐一系列，進而組成整體海岸地區範圍。

張隆盛 (1987) 與謝佳殷 (2002) 台灣位於全世界最大的大陸棚邊緣，又因四面環海，海岸線總長1,566 公里，全台26個縣市僅南投縣行政範圍沒有臨海，因此在全世界沿海國中屬單位海岸線分佈極高的地區。

閻克勤 (2006) 綜歸聯合國、世界各國及我國區劃海岸地區的方法，列整如下：

(一) 陸地範圍

- 1.自高潮線往內陸推移至一定距離處
- 2.以地形或植被有顯著變化之處為界
- 3.以潮汐可達到之處為界
- 4.以土壤所含鹽分比例至某一程度的地域為陸界
- 5.以公路或行政界線、地籍產權界線明顯之處為界

(二) 海域範圍

- 1.以當地河川挾帶沉積物得直接影響所及之近岸淺水域之區
- 2.以大陸棚為界
- 3.以領海寬度為界
- 4.以水深至某一高度為界
- 5.以水質含鹽濃度至某種程度為界

閻克勤 (2006) 海岸地區潛在面積變更因素，考量海岸環境在開發時可能面臨的環境威脅及損失破壞，將海岸環境土地利用發展限制條件分成：

天然災害的損失(洪害、地震)、人為因素的影響(土壤污染、地表水污染、山坡地地質災害、地下水污染、噪音)、特殊資源的破壞(水源涵養、水景美質、水域生物資源、陸域生物資源)、自然環境的變化(表土流失、地表逕流增加、地形產生變化、海岸侵蝕、岬灣淤積)等，依此建立之海岸環境土地利用發展限制體。

2.2 紅樹林

Ramsar Convention (1917)統計1917年國際濕地公約全世界登錄了3,740萬公頃面積濕地。薛美莉(1995)迄至2008年12月19日的統計Ramsar Convention(2009)全世界紅樹林總面積為68,985,680 公頃。

薛美莉(1995)認為在臺灣因西側面臨臺灣海峽，大部分為單調、平直、降坡平緩的沙岸，海底大陸棚廣大，多沙洲、沼澤。而橫貫西部的各河川時常挾帶著大量泥沙及腐植質沉積在流速漸緩的河口附近，再加上海積作用及風浪較少等因素，在河口地帶自然形成一連串的泥質灘地，所以非常適合紅樹林的生育。

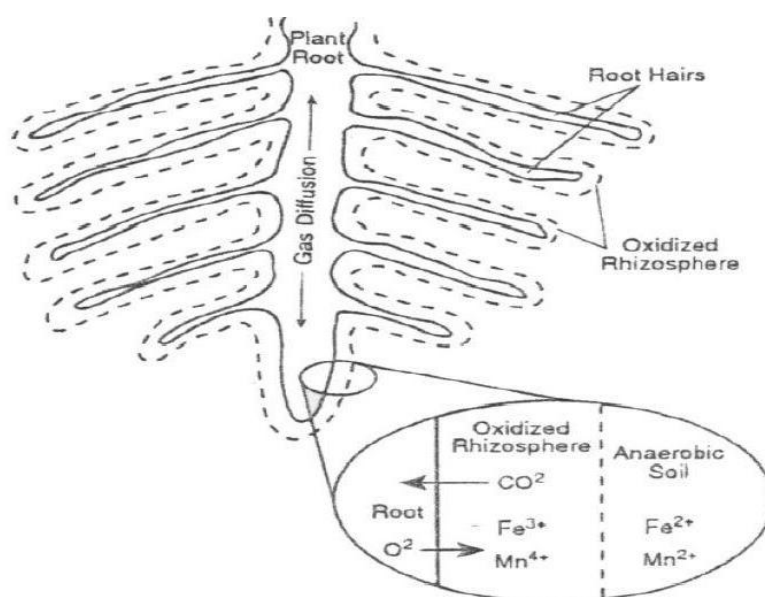
薛美莉(1995)對定義紅樹林(Mangroves)是指生長在熱帶海岸潮間帶、泥濘及鬆軟土地上所有植物總稱。狹義紅樹林則限生長於熱帶海岸最高潮線以下及平均高潮線以上之喬木或灌木。

李建堂(2009)認為紅樹林，泛指出現於熱帶、副熱帶海岸地區的一些優勢物種，對紅樹林的了解可能在於它有特殊的「胎生苗」，即果實成熟後並不脫落，而是形成具有胚芽和根的胎生幼苗，繼續自母株吸取養分，待成熟後再掉落，如水筆仔、五梨跤。主要分布在有遮蔽的海岸、泥灘地和河口地區的常綠灌木或喬木，屬乾旱性和耐鹽的植物群落。

NatureNews (2011)的一項新的研究指出，分布在印尼及太平洋的紅樹林，鄰近的土壤中，有較多碳，其存碳量可能超過以往的估計。砍伐佔熱帶森林面積不到1%的紅樹林，可能釋放的碳高達全球森林因砍伐而釋出碳量的10%。破壞熱帶泥碳地會釋出約四分之一因森林砍伐所釋出二氧化碳的量。而紅樹林在過去半世紀以來，因為開發、濫伐及沿海養殖，而消失了50%的面積，所以估計其固碳能力，在擬定減緩氣候變遷策略時，非常重要，以目前紅樹林消失的速率估計，每年因為紅樹林消失所釋出的碳量，可能達到泥碳林消失所釋出的40%。

李建堂（2009）認為紅樹林群落主要由紅樹科的植物和一些在分類上關係疏遠的植物所組成，其中紅樹科的植物具有顯著的胎生苗特性，發展出特殊的根部特性以適應每日漲退潮、經常淹水和泥濘的生長環境。

胡志清(2003)認為植物之所以可以輔助去除污染物是因為具有根區效應(root zone effect)，也就是植物可藉由將氧氣傳輸至根部，使得附近土壤成為好氧區，而其他區域的土壤則為厭氧區，再由根部表面或附近所附生的微生物進行同化及異化作用，及進行硝化(Nitrification)、脫硝作用(Denitrification)(Martin, 1997)、及磷的化學沉澱，此一輸氧至根部而形成根部好氧區的功能，稱為根區效應如圖2-1所示。此效應會促使濕地中的營養鹽物質去除，而達到淨化水質的效果(楊磊，2000)。

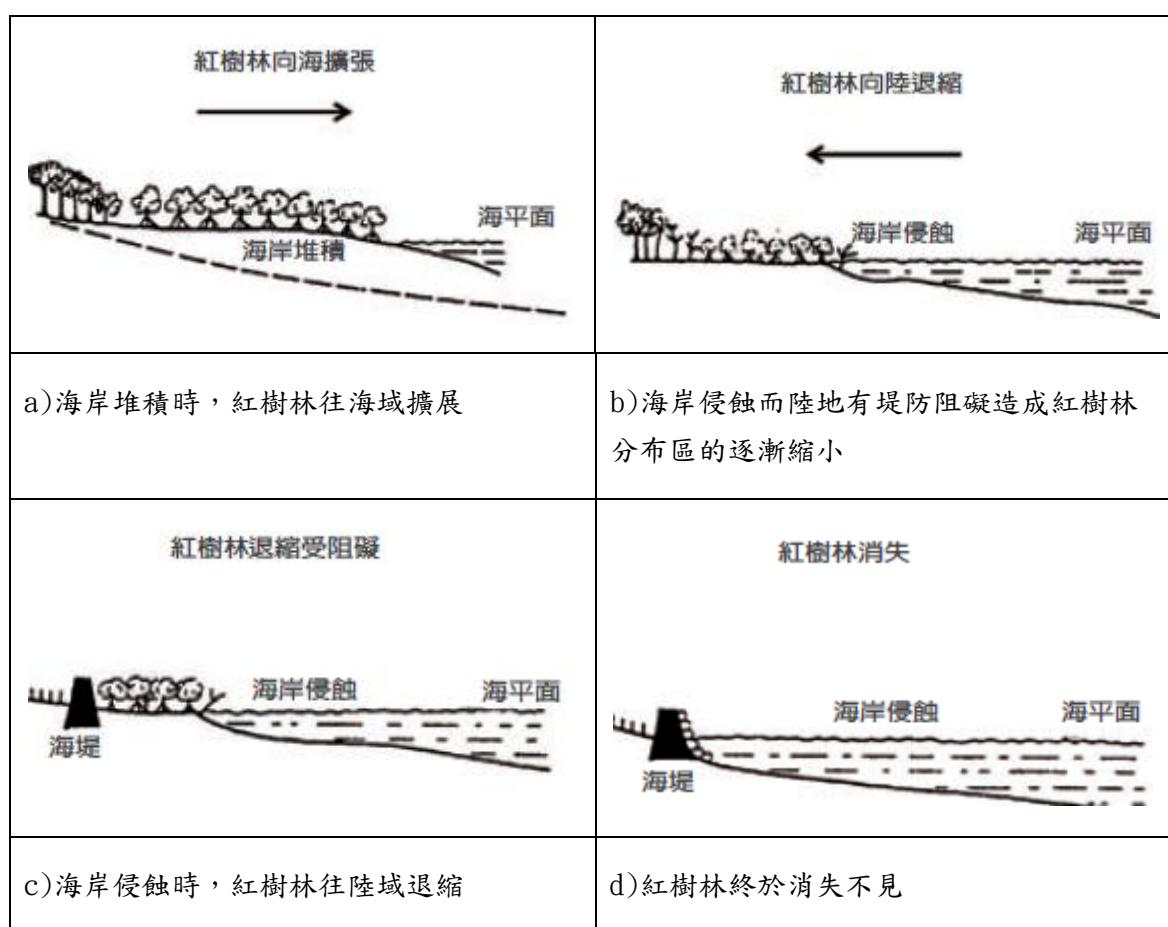


資料來源：胡志清(2003)

圖 2-1 水生植物的根區圖

李建堂（2009）認為紅樹林部分物種具有商業性、市場價值，同時有保護海岸、提供近海生態系所需養分、淨化水質等生態功能，以及科學研究和環境教育的價值，紅樹林大範圍的商業性砍伐，以及大規模變更為農業、水產養殖等生產用地，造成全球紅樹林面積的快速縮小。紅樹林分布與氣候變遷相關密切，紅樹林隨著海岸線變動遷移，全球暖化與超抽地下

水可能造成海平面上升，海水上升會造成海岸侵蝕，反之則有利於海岸堆積增加面積，海平面的升降會影響地形與生態，這些都會影響紅樹林分布的變遷，故氣候變遷反映出對海岸濕地作用調適的結果。如圖2-2所示，紅樹林在地域足夠時，能夠增加堆積作用往外擴張。而海岸線退縮或發生海岸侵蝕時，紅樹林分布則會向陸域退縮，這時陸地後方若沒有足夠的空間退縮，即人為構造物時，如堤防、消波塊，這時就會阻礙遷移空間，當海岸線持續上升作用，紅樹林棲地將沒有空間生存。



資料來源：李建堂（2009）

圖 2-2 紅樹林分布和海岸變遷關係示意圖

薛美莉（1995）認為政府推動紅樹林保育區，紅樹林面積日益減少。台灣原紅樹林共六種植物，現在尚存四種紅樹林植物水筆仔、海茄苳，欖李，五梨跤等，已滅絕兩種，紅茄苳與細蕊紅樹。

鄧書麟等(2008)探討紅樹林分布面積，在台灣西部沿海與鄰近島嶼，目前紅樹林總面積約320公頃，其中以海茄苳佔面積最大(約170公頃)，其次為水筆仔(130公頃)其它類型(20公頃)，海茄苳、水筆仔佔全部紅樹林面積的93.7%。實際總面積隨著時間、人為與自然因素而有變動。

林幸助等(2011)估算高美濕地甘草生產力，以每一樣框中所有植株新長出葉片的乾重，經面積加權計算後，假設每 3.33 g 乾重的植物組織有 1 g 的碳重。

何佳穎(2012)七股紅樹林灌木的淨初級生產量為 $626 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，以胸徑測量估算法估測紅樹林的落葉淨初級生產量(L_{NPP})、地面上生物量淨初級生產量(AGB_{NPP})及地面下根部淨初級生產量(BGB_{NPP})，三者加總。調查結果如表 2-5 所示。

表 2-5 紅樹林樣區落葉生產量調查結果表

監測日期	項目	落葉量			落葉含碳量		
		落葉	枝條	總和	落葉	枝條	總和
	監測樣區	g m^{-2}	g m^{-2}	g m^{-2}	g C m^{-2}	g C m^{-2}	g C m^{-2}
2010/09/16	紅樹林 1	0	0	0	0	0	0
	紅樹林 2	0	0	0	0	0	0
	紅樹林 3	0	0	0	0	0	0
2010/10/19	紅樹林 1	228	102	330	93	43	136
	紅樹林 2	33	15	48	13	6	20
	紅樹林 3	126	53	179	51	22	74
2011/3/24	紅樹林 1	76	0	76	31	0	31
	紅樹林 2	110	34	144	45	14	59
	紅樹林 3	195	17	212	79	7	86
2011/5/13	紅樹林 1	34	8	42	14	3	17
	紅樹林 2	110	8	118	45	3	48
	紅樹林 3	51	4	55	21	2	22

表 2-5 紅樹林樣區落葉生產量調查結果表（續）

監測日期	項目	落葉量			落葉含碳量		
2011/8/27	紅樹林 1	78	39	117	32	16	48
	紅樹林 2	97	7	104	40	3	42
	紅樹林 3	66	8	74	27	3	30
2011/12/2	紅樹林 1	86	34	120	35	14	49
	紅樹林 2	119	15	134	49	6	55
	紅樹林 3	72	14	86	29	6	35
2012/3/15	紅樹林 1	108	53	161	44	22	66
	紅樹林 2	94	7	101	38	3	41
	紅樹林 3	57	9	66	23	4	27
備註：2010/09/16 因初始監測而無法評估							

資料來源：何佳穎（2012）

2.3 潮間帶

Batjes(1996)認為近幾年來人類已了解土壤是全球碳庫重要的匯聚與來源，同時也是大氣中二氧化碳濃度改變的主要原因。當土壤有機碳庫改變1 Pg時，大氣中CO₂濃度將隨之改變0.47 ppm，全球土壤中的有機碳及無機碳化物總和約是大氣中碳含量之二倍，僅次於海洋為全球第二大碳庫。

王巧萍(2005)認為土壤因植物之落枝葉和其他環境物質經生物生態循環，將碳固定於土壤中，土壤對於碳貯存數量，以每年期每單位面積可產生之碳吸存量，排除氣候條件、地形、土壤性質、樹種、生長時間與落枝葉、自然與人為的擾動等影響因素。

Bridgham et al.(2006)認為濕地中的植物與藻類等生產者會利用大氣中的CO₂進行光合作用，將碳保存在濕地底層低分解的厭氧土中但厭氧環境下，土壤中的細菌會進行無氧呼吸分解有機質產生能量，當其他如氧氣(Oxygen, O₂)、硝酸鹽(Nitrate, NO₃⁻)、硫酸鹽(Sulfate, SO₄⁻²)等電子接受者皆被還原後，最後會由CO₂接受電子後還原成CH₄逸散到大氣中此一現象即為產甲烷菌(Methanogens)進行的甲烷化作用。

李麗華與林幸助（2010）以整體觀點分析高美濕地的底棲微藻每年約可吸納約 $22 \text{ g C/m}^2 \text{ yr}$ ，為大安森林公園的2倍之多（ 4 t C/yr ）。又因海水中硫酸根離子（ SO_4^{2-} ）可降低甲烷菌活性，使得海岸濕地產生較少溫室氣體甲烷（ CH_4 ），且底土間隙被海洋無機沉積物填滿，因而減弱底土生物有氧分解的效能，讓有機物質較易累積蓄存。交互作用下，高美濕地為一處擁有良好碳匯能力的海岸濕地。

中華民國野鳥學會在1993年的估計，天然濕地約有118.9平方公里的面積，海岸濕地面積約為113.56平方公里，相當於11,356公頃。

內政部國土測繪中心自93年度起至97年度止辦理潮間帶地形測繪計畫，臺灣西部潮間帶地形測量，逐年分區執行潮間帶地形圖圖資測繪工作，執行範圍由桃園老街溪至高雄興達港沿海地區如圖2-3，總計辦理比例尺1/2,500圖幅數量共達882幅，涵蓋面積約1,070平方公里。

石再添（1980）由北至南以大甲溪及曾文溪為界，劃分3種海岸類型，北段沙礫灘岸、中段泥沙海岸、南段沙質海岸。

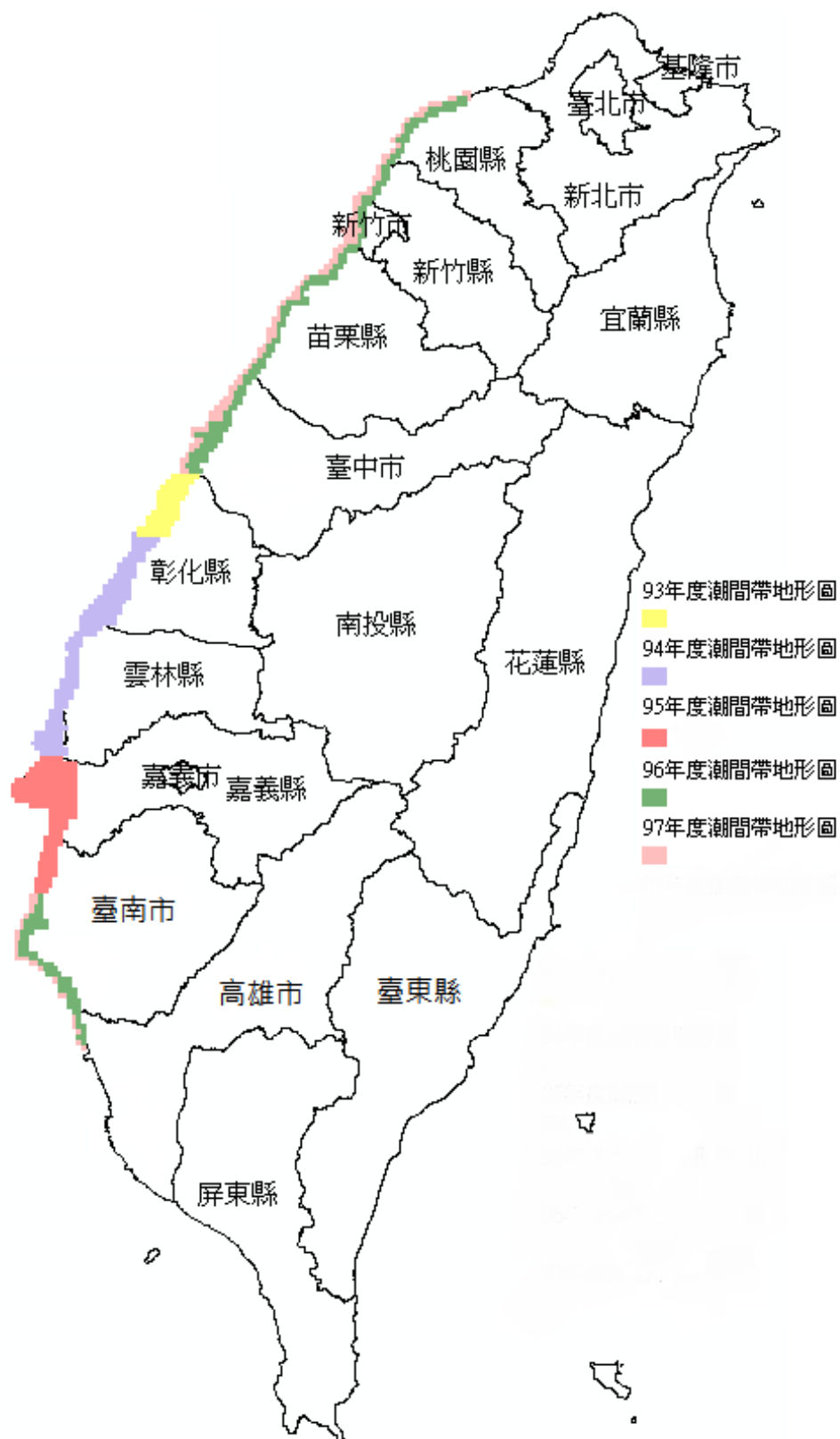
林玉紳（2010）臺灣沿岸地型區分為：

- 一、東部及東北部：岩礁，
- 二、北部、西部沿海或河流出口：泥質灘地
- 三、南部或離島：珊瑚礁

萬鑫偉（2011）七股鹽田潮間帶灘地總面積約為 12 km^2 。估算七股鹽田潮間帶灘地整理如下表2-6所示

表2-6七股鹽田潮間帶灘地質所佔面積

地質類型	沙地	泥沙地	泥地
土壤有機碳密度	$1748 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$1997 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$3883 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$
面積比例	1	2	2
面積	2.4 km^2	4.8 km^2	4.8 km^2
七股潮間帶碳匯	$41,952 \times 10^5 \text{ g C}$	$95,856 \times 10^5 \text{ g C}$	$186,384 \times 10^5 \text{ g C}$
總合	$3.24192 \times 10^{10} \text{ g C}$		



資料來源：內政部國土測繪中心（2011）

圖 2-3 歷年潮間帶地形圖

林惠真(1998)依據東海大學1998年的調查結果顯示，高美濕地內的棲地依土質種類、植被、淡水注入情形等，分為潮溪區、草澤區、沙地區、碎石地區、雲林莞草區、泥灘地區及低潮線等7種類型的棲地如表2-6所示。

表 2-6 棲地類型一覽表

潮溪區	潮溪係指在河口區中，與陸地中的淡水直接相通的水體；此水體中水的來源包括漲退潮後留滯於潮間帶的海水，以及大部份來自堤岸內陸大排水溝的淡水，在潮間帶匯流形成潮溪。
草澤區	草澤區位於北岸靠近堤防處，四周為潮溪、泥灘地、沙質地所環繞。在這一大大片潮濕泥質地中，主要的植物相為禾本科的台灣蘆竹、甜根子草、蘆葦等，這一類群植物的根莖發達，莖桿細長、直立，適應環境能力佳，拓植快速，族群分佈濃密。除了禾本科的植物之外，還有許多蔓性、匍匐性草本植物如蔓荊、馬鞍藤、台灣濱藜等
碎石區	高美濕地中的碎石區包括兩大地區：一是位於北岸垂直堤防的海堤；二是自北岸延續至南岸幼稚園前，堤防邊的石礫堆，兩者都是人工堆置，形成濕地中另一類型的生物棲所。
雲林莞草區	莎草科的雲林莞草，被視為瀕臨絕種的植物，而在高美濕地中有龐大的族群分佈；雲林莞草生長於泥灘地上，所分佈的區域中地質、地貌變化不大。
泥灘	泥質灘地指中、高潮線，空曠、無植被覆蓋且基質為泥質的地型。此種地型成區塊分佈，在接近調查範圍北邊的草澤及雲林莞草區當中常有小區塊、無植被的泥質灘地出現，但多為暫時性，可能隨季節、氣候等因素出現或消失；面積較大，且固定無質被的泥灘地型則分佈在濕地南邊及中潮線。

表 2-6 棲地類型一覽表（續）

沙地	沙地地形限於北岸防波堤以北的地區，地質均單純由細沙所構成，排水性良好，表面經陽光曝曬後容易乾燥，由風吹或海浪拍打，則地形、地貌變動幅度較大，因此相較於此濕地中的其他地形，沙地地形為較不穩定的類型。
低潮線區	低潮線區為調查範圍中離岸最遠，而靠海最近的區域，大約距離堤 800-1000 公尺，其地貌與中高潮線無植被的泥質及沙灘地比較並無太大差異，然而此區域潮水覆蓋的時間較長，地表環境的物理化學因子受潮水影響較大，且地表常覆蓋一層積水，而其鹽度通常為千分之 20 以上至千分之 35 之間，也就是偏向海水的鹽度。

資料來源：林惠真(1998)

第三章濕地碳匯理論

3.1 碳循環

曾文政（2009）從 2000 年到 2005 年估算全球最大碳匯(Carbon sinks)潛力為每年 15.3 億-24.7 億噸(ton)，其中造林的碳匯潛力約占 28%，再造林約占 14%，農用林約占 7%如表 3-1 所示。

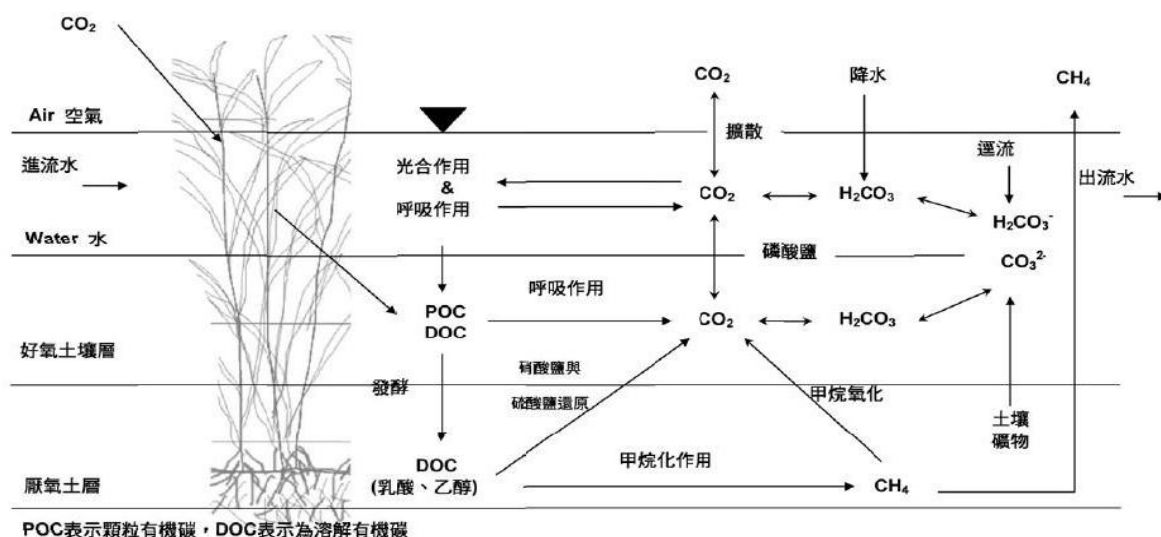
根據 Tateda et al.(2005)研究，推估亞洲地區的紅樹林二氧化碳吸存量每年每公頃，在日本(Japan)為 1.9 ton、越南(Vietnam)為 2.0 ton、泰國(Thailand)為 4.9 ton、印尼(Indonesia)為 2.4 ton。

表 3-1 不同種類植被之碳吸存量表

植被類型	固碳能力(ton/ha. yr)
熱帶森林	4.5-16
溫帶森林	2.7-11.25
寒帶森林	1.8-9
農田	0.45-2
草地	1.3
凍原和沙漠	約熱帶森林的1%

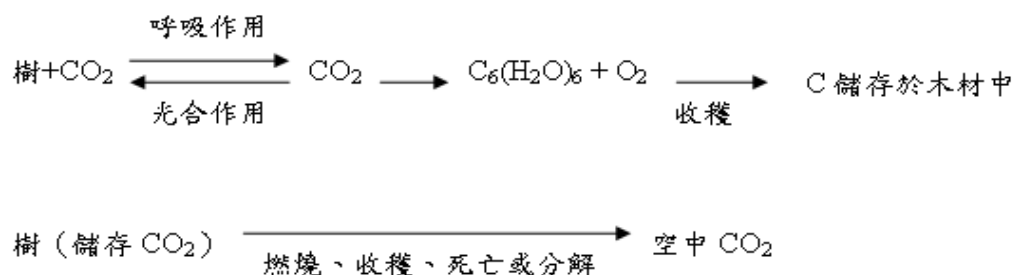
資料來源：IPCC(2000)

曾文政（2009）認為二氧化碳吸存：紅樹林亦是森林生態系一種，藉行光合作用吸收大氣中的二氧化碳，並將之轉化為有機碳的形式貯存於紅樹植物體內如圖 3-1 所示，所貯存的碳量隨著紅樹林的生產力增加而累積，直到紅樹林成熟生長停滯，而腐朽增加，吸存碳的能力即會降低。紅樹林同時具有吸存二氧化碳、貯碳及降低鄰近濕地水氣蒸散，減少溫室氣體效應功能如圖 3-2 所示。



資料來源：章盛傑、邱文雅（1998）

圖 3-1 濕地中碳循環的可能途徑示意圖



資料來源：曾文政（2009）

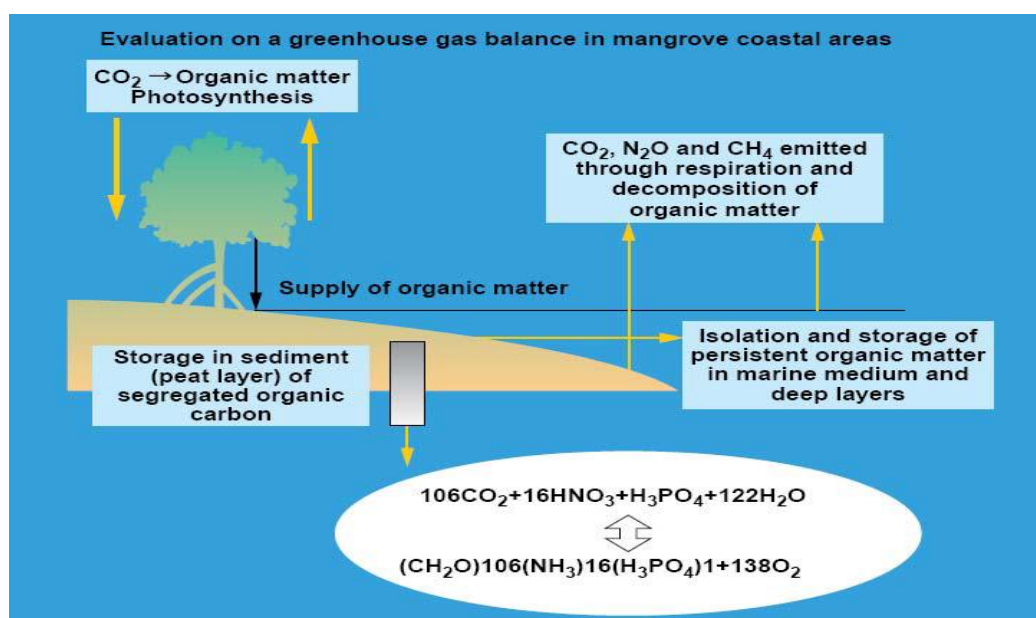
圖 3-2 二氧化碳交換概念圖

蔡志聰（2009）認為林木因環境差異很大，即使同一樹種其生理表現亦不同，故對碳吸存量所扮演之角色與發揮之效益有很大差異。樹木由於本身具有光合作用之生理特性，吸收大氣中之二氧化碳並釋出氧氣，同時也會因呼吸作用排出二氧化碳，而光合作用會將碳元素在樹木體內轉化為有機形式加以固定貯存，經過時間累積而形成木材組織。

范貴珠和葉慶龍(2002)認為紅樹林是森林生態系的一種，但學者為避免

混淆，將 Mangrove 指為森林生態系中的「個別樹種」。而森林是陸域生態系中，最主要的儲碳庫，依據 IPCC (2000) 發佈的報告指出，全球陸域生態系碳吸存量約 24,770 噸，其中植被碳吸存約佔 20%，土壤碳吸存量約 80%；以佔全球陸域面積 26.8% 的森林而言，其碳吸存量佔全球植被的 77%，森林土壤佔全球土壤的 39%；不同種類植被，其碳吸存能力也不同。

李國忠(1999)認為森林資源兼具有吸收、儲存與釋放二氧化碳的機能，其生長對碳吸存具重要的貢獻，直接或間接影響森林生態系和大氣間碳的循環，主要部位為植被(林木)、腐植質(枯枝落葉)、森林土壤，以及林木產品的吸存與釋放，這四類加總可求得森林部門的碳吸存量。紅樹林對碳吸存之機能則兼具以上四類如圖 3-3 所示。

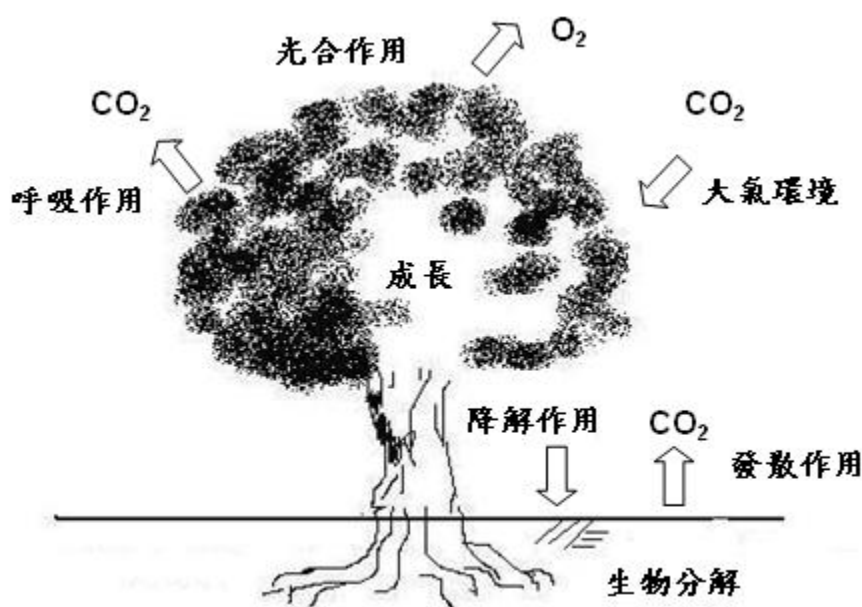


資料來源：Tateda(2002)

圖 3-3 紅樹林生態系中二氧化碳循環示意圖

蔡志聰（2009）探討台灣地區推行樹葬對於碳匯模式之研究自然環境包含陽光、空氣、水、土壤及生存其中之動植物，在森林生態中林木藉由本身生理特性進行光合作用如圖 3-4 所示，吸收大氣中二氧化碳，並進行呼吸作用排放氧氣及二氧化碳，光合作用與呼吸作用的差值即淨同化作用，所貯存的二氧化碳轉化為有機碳形式貯存於林木內，表現於生長則為林木蓄積，而林木蓄積除地上物質部還包括根系部分。樹木成長中受氣候環境

影響掉落枝葉，枝葉分解後成為土壤與微生物碳的來源。空氣中之二氧化碳也有部分降解至土壤，經有生物系統分解為土壤有機與無機碳形式存在。



資料來源：蔡志聰（2009）

圖 3-4 二氧化碳於生態系統循環示意圖

曾文政（2009）則推估碳吸存量計算式為：調查面積 \times 單位面積二氧化碳固定量推估值 \times 轉換係數 \times 碳與二氧化碳之分子比(即 12/44)。在研究期間現場調查海茄苳生長面積，面積以攜帶之測尺量測後再以幾何比例法推算。

3.2 濕地碳匯

林務局（2006）碳匯一詞指物質歸結之所，自然界的碳被固定在海洋、土壤、岩石與生物體中，這些都是碳匯。各種碳匯儲存或固定碳的能力於估計上有很大出入。一般認為海洋、土壤與森林是地球上主要的碳匯，海洋每年可沉積20億噸的碳，森林每年可淨吸收約5億噸的碳。

內政部營建署城鄉發展分署（2011）濕地（由其是北方的泥炭濕地）土壤的碳密度高於其他生態系統，因此暖化導致氣溫增高後，對濕地的碳循環及碳庫之影響會高於其他生態系統。氣溫增加可能會加速泥炭濕地的細菌分解（亦即呼吸作用）增加二氧化碳的排放，使得泥炭地由碳儲場轉變為碳來源，若被排乾水或轉化為其他用途（如農耕或工業區開發），將不僅喪失濕地的碳吸存能力，且濕地過去長期（幾十年、幾百年或上千年）所積存的大量碳庫，包括植物的生物量及土壤中的有機物，將被剷除並暴露於好氧環境，很快地被分解而損失排放到大氣中，成為溫室氣體的排放源。

陳均龍等（2013），根據美國大氣及海洋總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）指出，海岸生態系的碳匯功能為熱帶森林的二至四倍，碳儲存則是熱帶森林的三至五倍。海岸紅樹林的每公頃固碳量超過 2,000 噸，河口紅樹林超過 1,500 噸，海草床及海岸鹽澤則是介於 500 至 900 噸之間，至於陸上的熱帶森林則約為 800 噸左右，顯示部分海岸生態環境儲存有機碳的能力高於陸上的熱帶森林。

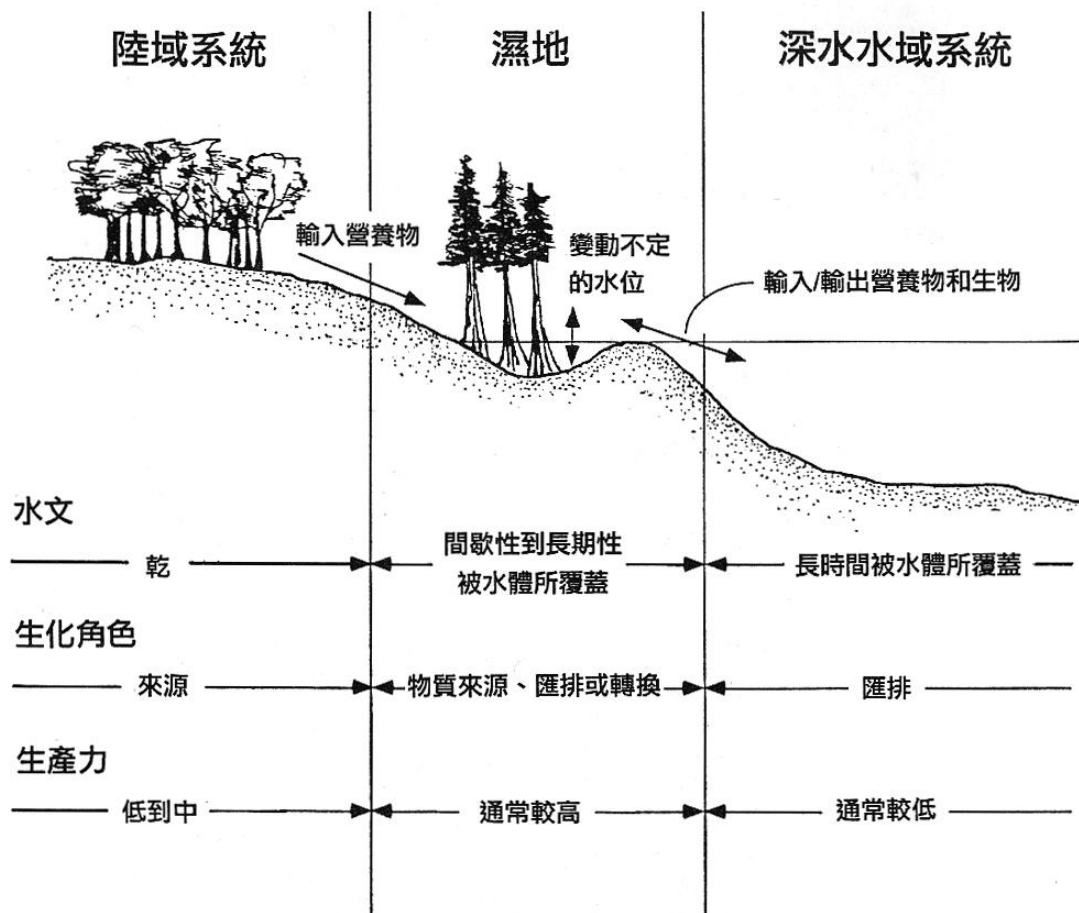
林幸助（2011）根據台灣農委會特有生物研究保育中心2009年針對高美濕地的研究顯示，溫帶沿海的濕地，因冬季寒冷氣溫，淨吸碳力即呈現負值；但亞熱帶濕地的淨吸碳力則全年呈現正值；顯示亞熱帶、熱帶海岸的濕地碳吸存能力更可觀。

Zedler, J.B. and Kercher, S. (2005)全球濕地雖僅佔陸地不到9%的面積，固碳率更佔陸域生物碳庫的 44%~71%，與雨林生態系同為全球「碳匯」。

Tiner(2009)分布在泥炭豐富的寒帶地區(北緯50°-70°)的濕地，佔總數量將近一半；其中森林濕地和沼澤分布在北緯20°及南緯30°之間三分之一的濕地分布於熱帶及亞熱帶地區，其餘20%分布於溫帶地區。

戴湘瑩（2014）根據世界自然保育監察中心估計，地球表面土地約6%為濕地，總面積約為5.7億ha，當中2%為湖泊、 30% 為泥塘、26%為泥沼、20%為沼澤、15%為泛濫氾原。

戴湘瑩（2014）認為從極地到熱帶，濕地是世界上最重要的環境資源之一，涵蓋大量動植物資源，存在於每一個國家和每一個氣候帶，分布在世界各地，即使是乾旱的地區，仍有濕地如圖3-5所示。



資料來源：章盛傑、邱文雅（1998）

圖 3-5 濕地乾濕域系統空間型態示意圖

3.3 森林碳匯

蔡志聰（2009）認為森林吸存大氣二氧化碳的多寡乃取決於森林淨生長量，在未受干擾的天然林雖可吸收大量的二氧化碳，但森林生態系統下產生自然生態平衡，在群落中其他的植物、動物和微生物呼吸量，枯枝落葉大量分解消耗有機質而釋放出二氧化碳，加上森林空間所造成固定之植被量體積，因此天然林吸收和釋放的二氧化碳基本上是平衡的。天然林在貯存量雖保存高蓄積，但其生產量與枯死量略維持平衡，故其淨生長量大致為零。並且森林吸存大氣二氧化碳的多寡乃取決於森林淨生長量，在未受干擾的天然林雖可吸收大量的二氧化碳，但森林生態系統下產生自然生

態平衡，在群落中其他的植物、動物和微生物呼吸量，枯枝落葉大量分解消耗有機質而釋放出二氧化碳，加上森林空間所造成固定之植被量體積，因此天然林吸收和釋放的二氧化碳基本上是平衡的。天然林在貯存量雖保存高蓄積，但其生產量與枯死量略維持平衡，故其淨生長量大致為零。另外，因為天然林多為老林木；而人工林因計劃性之育林營林其累計生產量逐年生高另外楊盛行(1997)認為人工林及未成熟林木吸收二氧化碳能力較高，而老齡之林木則因光合作用與呼吸作用平衡而其淨生長量或碳吸收量幾乎為零。

柳中明等(2007)估算在1976~1984年間，日本全森林2500萬公頃林地，每年可生長量為1660萬噸，其中天然林1500萬噸，生長量為300萬噸，只佔了18%，而人工林1000萬噸，生長量卻達1360萬噸，佔了82%。

林俊成等(1999)考慮森林生態系經營之重要準則之一即係有關碳吸存的問題，在陸地生態系中，森林生態系對CO₂吸收與固定具重要的貢獻，其中影響森林生態系和大氣間碳的循環，主要為林木的生長蓄積、森林土壤及腐植質(枯枝落葉)，與林產品的吸收與釋放。林木為CO₂主要吸收者，藉由林木本身生理特性進行光合作用吸收大氣中CO₂，同時因呼吸作用排放CO₂，所貯存的CO₂即轉化成有機碳之形式儲存於植物體內，森林的生長與紅樹林碳吸存，有相似機制，因此森林的生長對減緩溫室效應有相當大的貢獻。

馮豐隆、楊榮啟(1988)針對林木生長收穫模式研究，數學模式是使用數式以表示合乎邏輯的擬說，模式是真實世界情況的抽象縮影，雖然無法將現實的情況完全表達出來，但能夠扼要的表現出近似現實情況之有用資訊，便於理解及掌握，利用數量化的數學模式可助我們將真實的情況模擬，並能加以思考、預測及作決策，以評估模式是否適當，描述或探討生長行為的數學模式稱作生長模式。

楊榮啟(1987)理論模式又稱為結構模式(Mechanistic model)，係以生物學之理論為依據配合邏輯推衍所產生之生長模式，理論模式必須能符合生物生長現象，由於其乃由生長原理推導而得之生長模式，故其建立過程為演繹法

李訓煌(1978)研究溪頭柳杉，發現其生物量至30年生時可達275.41ton/ha，枝條所佔之比例隨林齡增加而增大；葉部生物量隨林齡之增

加而減少。

王銘鐘(1984)以台大實驗林水里營林區之杉木林為材料，探討不同林齡之杉木人工林生物量與五種養分元素之積聚情形，結果顯示 32 年生時，現存地上部生物量達最大，為 202.60 ton/ha，以葉部現存生物量而言，7 年生林分隨林齡增大而增加，於 14 年左右達最大，之後則趨下降。

李意德等（1997）以林木碳素的估算方法有(1)以森林生物量數據為基礎的蓄積量法與(2)以森林蓄積量數據為基礎的蓄積量法而生物量法係根據單位面積林木生物量、生物量在林木各器官中的分配比例、林木各器官之平均碳含量及森林面積等參數計算而得。

林裕仁等(2002)之蓄積量法中，森林蓄積量數據的獲得是來自林分的森林資源調查資料，再根據林木平均比重求算乾材部分的生物量及生物量在各器官分配比例的關係，求整個林分之生物量與碳含量。生物量法較適合用於小面積、與樹種及林木結構單純的林分。

王銀波、劉黔蘭(1994)分析森林每公頃每日可以吸收 1 公噸之二氧化碳而排放 0.73 公噸之氧氣。

Sedjo(1989)曾試算造林對碳的貯存量，在普通人工林每公頃年平均生長量為 15m³ 的林地，1m³ 可吸收 0.26 公噸的碳。

黃凱洛（2003）分析林木內所含碳量，在不同直徑級與幹部、枝部、葉部與不同部位間具有明顯差異性，顯示推估林木之碳含量時，須將各部位分開測計，杉木枝部、幹部與地上部，乾重皆隨胸徑增大而增加。就其現存生物量，所佔之百分比而言，葉部及枝部生物量，隨著林齡增加而逐漸下降，幹部生物量則隨林齡之增大而增高，另外李訓煌(1978)研究溪頭柳杉，發現其生物量至 30 年生時可達 275.41ton/ha，枝條所佔之比例隨林齡增加而增大；葉部生物量隨林齡之增加而減少。

3.4 土壤碳匯

王巧萍(2005)計算全球土壤中有機碳及無機碳化物總合約含 1146 至 1550 億噸的碳，是大氣中碳含量的二倍左右。據估算全球的森林約貯存了 1146 億噸的碳，其中 69%是存在森林土壤及其枯枝落葉層中(約 787 億噸，佔全球土壤碳庫的一半)，為林木之 2 倍。森林土壤之碳吸存能力，以及釋

出溫室效應氣體(如 CO₂、CH₄ 及 N₂O)之速率，同時影響著全球氣候的變遷。當土壤有機碳庫改變 1 億噸時，大氣中 CO₂ 濃度將隨之改變 0.47 ppm，因此當我們考慮藉由造林及撫育來增加森林碳吸存量的同時，不能忽略土壤碳庫的變化如表 3-2 所示。

表 3-2 全球陸域植被與其土壤之碳吸存量估算表

植被	面積 (10 ⁶ km ²)	碳儲存量 (十億噸 碳)		
		植物體	土壤	總量
熱帶雨林	17.6	212	216	428
溫帶林	10.4	59	100	159
北方針葉林	13.7	88	471	559
熱帶疏林	22.5	66	264	330
溫帶草原	12.5	9	295	304
沙漠與半沙漠	45.5	8	191	199
凍原	9.5	6	121	127
濕地	3.5	15	225	240
農用地	16	3	128	131

資料來源：邱祈榮等 (2010)

Behara et al.(1990)認為土壤之碳貯存量並非不變的，大氣與土壤內部生物系統的改變亦會對土壤之碳貯存產生影響，此為土壤碳流動的現象，亦為土壤呼吸現象，土壤呼吸(Soil respiration)通常又稱為土壤二氧化碳釋放(Soil CO₂ evolution)，代表土壤中有機質的分解、微生物的活動與根系的呼吸作用，土壤中大量釋放二氧化碳，可高達數千 ppm，約是大氣中的 10-15 倍

顏江河(2005)以惠蓀林場杉木人工林疏伐與未疏伐之土壤釋放二氧化碳的監測。森林生態系中碳的固定與循環，杉木人工林疏伐與未疏伐之土壤呼吸量範圍在 $5.87\sim 218.21\text{kg ha}^{-1}\text{day}^{-1}$ 與 $4.22\sim 138.83\text{kg ha}^{-1}\text{day}^{-1}$ 顯示疏伐之土壤呼吸量大於未疏伐之土壤呼吸量。

黃淑媚(2012)認為濕地主要構成要素：水體、土壤和植被，藉由植物進行光合作用，產生的化學反應式如公式 3-1 所示，推算植物生產 1 公克葡萄糖會吸收 1.62 公克的二氧化碳和釋放 1.2 公克的氧氣。



碳酸鈣封存二氧化碳的化學反應如公式 3-2 所示，可估計每 100 公克之碳酸鈣可封存 44 公克二氧化碳。



濕地上有殼動物也具有固碳功能如牡蠣，因外殼其成分為碳酸鈣構成碳酸鈣的條件，即二氧化碳溶於水產生碳酸氫根在與鈣離子和生物結合而成，當帶殼動物死亡後，外殼進而成為沉積岩，封存在海洋，所以有殼動物也具有固碳作用，碳匯（Carbon Sinks）系統即為濕地貼切的自然形態。

廖靜蕙(2011)以地處熱帶與亞熱帶間且四面環海的台灣，海岸溼地面積近約 11,356 公頃，林幸助(2011)根據台灣農委會特有生物研究保育中心 2009 年針對高美濕地的研究顯示，溫帶沿海的濕地，因冬季寒冷氣溫，淨吸碳力即呈現負值；但亞熱帶濕地的淨吸碳力則全年呈現正值；顯示亞熱帶、熱帶海岸的濕地碳吸存能力更可觀。

Huang(2013)認為土壤通常由不同尺寸的顆粒組成，也就是一般所說的土壤粒徑，土壤粒徑影響著植物的生長，因為其組成與土壤的物理和化學性質有關。

戴湘瑩(2014)以濕地土壤是許多濕地化學物質進行轉換的場所，同時對大多數濕地植物而言，是養分的主要儲存場所。濕地土壤大部份時期或終年為水淹沒，呈現還原狀態，使有機物大量累積。美國水土保持署，更直接指出濕地土壤必須為還原性。國家還原性土壤技術委員會(National Technical Committee for Hydric Soil, 簡稱 NTCHS)對還原性土壤的定義為：「凡是土壤的表層在其生長期中因飽和、淹沒或因積水，足以使土壤產生還原狀態者」。

第四章七股濕地碳匯推估西部海岸濕地總碳匯量

台灣西部海岸，多為沙泥海岸有沙灘、沙洲與潟湖。大致符合七股鹽田潮間帶灘地面積區分比例，而用以評估西部海岸濕地地質碳匯。

臺灣西部潮間帶面積 $1,070\text{km}^2$ ，與七股鹽田潮間帶灘地同屬於西部海岸型濕地，將七股鹽田潮間帶灘地假設與西部潮間帶地質含碳量與面積區相似，濕地與潮間帶和紅樹林面積整理如下表 4-1 所示。

本論文將七股紅樹林樣區落葉生產量調查結果表，採用估算高美濕地甘草生產力，假設每 3.33g 乾重的植物組織有 1g 的碳重。為紅樹林落葉含碳量如表 4-2。

表 4-1 台灣沿岸濕地面積分佈

紅樹林總面積	臺灣西部潮間帶面積	海岸型濕地面積
0.32 km^2	$1,070\text{km}^2$	113.56 km^2

由文獻資料顯示，台灣西部潮間帶面積大於海岸型濕地面積。海岸型濕地面積約佔台灣西部潮間帶面積的 10.6% 。

表 4-2 紅樹林落葉含碳量表

項目	落葉量總和	落葉含碳量總和	年落葉的碳含量
紅樹林 1	846g m^{-2}	347 g C m^{-2}	$347 \div 1.5 = 231.33\text{ DW/m}^2 \cdot \text{yr}$
紅樹林 2	649g m^{-2}	224 g C m^{-2}	$224 \div 1.5 = 149.33\text{ DW/m}^2 \cdot \text{yr}$
紅樹林 3	672g m^{-2}	274 g C m^{-2}	$274 \div 1.5 = 182.67\text{ DW/m}^2 \cdot \text{yr}$
落葉含碳量總和除以累積總天數，即可估算一整年落葉枝條的碳含量，假設以乾重與碳重平均數的比值約以 $3.33\text{g} : 1\text{g}$ $(231.33 + 149.33 + 182.67) / 3 = 187.78\text{ DW/m}^2 \cdot \text{yr}$ $187.78\text{ DW/m}^2 \cdot \text{yr} \times 3.33 = 625\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$			

將七股紅樹林樣區落葉生產量調查結果表，採用估算高美濕地甘草生產力，假設每 3.33 g 乾重的植物組織有 1 g 的碳重。乘上台灣西部沿海與鄰近島嶼紅樹林面積即為台灣西部紅樹林碳匯如表 4-3 所示。

表 4-3 台灣西部紅樹林碳匯

紅樹林淨初級生產量	台灣西部沿海與鄰近島嶼面積	台灣西部紅樹林碳匯
$625 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$3,200,000 \text{ m}^2$	$2 \times 10^9 \text{ g C yr}^{-1}$

以七股濕地潮間帶面積比例 1：2：2。為推估台灣西部潮間帶沙地、泥沙地、泥地的面積比值，估算西部潮間帶面積比例，如表 4-4 所示。

表 4-4 台灣西部潮間帶碳匯

地質類型	沙地	泥沙地	泥地
土壤有機碳密度	$1748 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$1997 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$	$3883 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$
面積比例	1	2	2
面積	214 km^2	428 km^2	428 km^2
台灣西部潮間帶碳匯	$374,072 \times 10^5 \text{ g C}$	$854,716 \times 10^5 \text{ g C}$	$1,661,924 \times 10^5 \text{ g C}$
含碳比例	13%	30%	57%
總合	$28.90712 \times 10^{10} \text{ g C}$		

台灣西部海岸濕地平均碳匯，將西部沿海與鄰近島嶼的紅樹林碳匯量和西部潮間帶碳匯加總結果如表 4-5 所示。

表 4-5 台灣西部海岸濕地平均碳匯

	紅樹林碳匯	潮間帶碳匯	濕地總碳匯
含碳量	$2 \times 10^9 \text{ g C yr}^{-1}$	$28.90712 \times 10^{10} \text{ g C yr}^{-1}$	$29.10712 \times 10^{10} \text{ g C yr}^{-1}$
含碳比例	1%	99%	100%
西部海岸濕地年均碳匯通量	$2,563.15 \text{ g C yr}^{-1} \text{ m}^{-2}$		

第五章 結論與建議

5.1 結論

本論文研究可得到下列四點的結論：

一、將一整年落葉枝條的碳含量，假設以乾重與碳重平均數的比值約以 3.33 g : 1g，紅樹林灌木的淨初級生產量約 $625 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，和七股紅樹林灌木的淨初級生產量，以胸徑測量估算法的估測值十分近似。

二、推估台灣西部海岸濕地潮間帶碳匯通量，七股潮間帶地質區分與西部海岸類似，多為沙泥海岸，大致符合七股鹽田潮間帶灘地面積區分比例。因而類推評估西部海岸濕地地質類型，對年均碳排放貢獻約 $28.90712 \times 10^{10} \text{ g C}$ 。

三、由七股碳匯模式，推估西部海岸濕地總碳匯約 $29.10712 \times 10^{10} \text{ g C yr}^{-1}$ 。將西部海岸濕地總碳匯除以海岸濕地面積，即西部海岸濕地年均碳匯通量約為 $2,563.15 \text{ g C yr}^{-1} \text{ m}^{-2}$ 。

四、本研究所匯整資料：紅樹林面積 (0.32 km^2) < 海岸型濕地面積 (113.56 km^2) < 西部潮間帶面積 ($1,070 \text{ km}^2$)。

5.2 建議

海岸濕地環境變化影響紅樹林與潮間帶面積等因素，而紅樹林會因樹齡影響二氧化碳封存。但由碳匯功能調查顯示，濕地對環境調節的貢獻重大；因此模式不夠精確且對海岸濕地過於簡化，均是後續研究所需要進一步詳加考慮的地方。

本研究考慮海岸濕地對碳匯的貢獻，目前僅考量潮間帶與紅樹林的碳吸存，沒有考慮到海岸濕地的其他面積之碳匯影響，因此本研究所得到的海岸濕地碳匯總量，應比實際值為低。

參考文獻

中文參考文獻

- 王巧萍 (2005)，氣候變遷下之森林生態系碳循環，森林與環境變遷研討會論文集，國立中興大學森林學系 pp.226。
- 尤姝媚 (2009)，「應用多時序遙測影像於海岸濕地監測與評估」，國立成功大學，衛星資訊暨地球環境研究所碩士論文。
- 內政部營建署城鄉發展分署 (2011)，國家重要濕地碳吸存功能調查計畫，結案報告。
- 中華民國野鳥協會 (1995)，濕地歷史文獻，第二屆海岸及濕地生態保育研討會論文集。
- 王銀波、劉黔蘭 (1994)，農業生產與環境，農業與環境教育華香園出版社。
- 王銘鐘 (1984)，「不同林齡杉木林分地上部生物量及養分含量之積聚」，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 台灣沿海地區自然環境保護計畫通盤檢討及其資料庫暨劃設重要濕地與珊瑚礁及海岸保育軸之研究 (2005)。
- 石再添 (1980)，台灣西部海岸線的演變及海埔的開發，國立台灣師範大學地理系地理研究報告(6)：1-36。
- 行政院研究發展考核委員會編印 (2001)，海洋政策白皮書，台北：行政院。
- 邱文彥 (1999)，台灣濕地環境的生態教育。環境教育季刊 (39)：23-32。
- 邱祈榮、蔡維倫、林思吟、陳莉坪 (2010)，台灣林業碳匯管理策略探討，中華林學季刊 (Quarterly Journal of Chinese Forestry) 43(2):277—293。
- 何佳穎 (2012)，「南台灣紅樹林濕地碳吸存能力之調查及估算」，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文。
- 杜政榮 (2005)，台灣濕地環境之永續管理，生活科學學報，9：93-113。
- 李訓煌 (1978)，「不同齡級柳杉林之生長及樹木生物量生產之研究」，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 李建堂 (2009)，紅樹林分布的變遷，科學發展第 440 期。
- 李國忠 (1999)，森林生態系保育經營之資源面與社會面意義，枯立木與資源保育研討會，台北，1-21。

- 李意德、曾慶波、吳仲民、周光益、陳步峰（1997），熱帶森林生態系統研究與管理科學出版社北京。
- 李楊帆、劉青松（2003），*濕地與濕地保護*，中國環境科學出版。
- 李麗華與林幸助（2010），沿海濕地生態系碳通量研究，第一屆台灣濕地生態系研討會。
- 柳中明、李國忠、林俊成、劉育慈（2007），造林復育對台灣環境二氧化碳減量之貢獻，1-21。
- 林玉紳（2010），「以生態系統管理觀念為基礎的濕地政策研究」，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所第九屆碩士論文。
- 林幸助（2011），〈台灣沿海濕地的碳匯生態服務〉收錄於《濕地石化島嶼想像》。
- 林幸助、侯昌豪、童莉婷、陳添水（2011），國家重要濕地社會經濟及績效評估先期作業成果報告，附錄六高美濕地經濟與環境價格之估算，國立中興大學生命科學系。
- 林俊成、李國忠、林裕仁（1999），柳杉人工林碳貯存效果與適應成本研究台大實驗林研究報告 13(1)：51-60。
- 林惠真(1998)，高美濕地生物資源，台中縣政府。
- 林惠真(2009)，國家重要濕地環境調查及資料整合計畫，內政部營建署城鄉發展分署。
- 林裕仁、李國忠、林俊成（2002），以生物量與材積關係式推估台灣地區森林林木碳貯存量之研究，台大實驗林研究報告，16(2)：71-79。
- 林憲德（2007），綠建築解說與評估手冊，內政部建築研究所，台北，pp.56。
- 林藜臻（2013），濕地與濕地植物之多樣性、所面臨的威脅及保育國立屏東科技大學森林系碩士班，專題討論報告。
- 胡志清(2003)，「以模廠型人工濕地處理煉油及煉鋼廠廢水之研究」，國立中山大學海洋環境及工程學系碩士論文，pp.144。
- 范貴珠，葉慶龍（2002），紅樹林生態系復育之觀念與作法，台灣林業，28（1）：35-45。
- 陳均龍、陳郁凱、吳繼倫（2013），藍碳-碳匯、碳儲存與氣候變遷，行政

- 院農業委員會水產試驗所，海洋漁業組第 90 期。
- 國家重要濕地社會經濟及績效評估先期作業成果報告（2011），內政部營建署城鄉發展分署。
- 國家重要濕地碳匯功能調臺標準作業程序(SOP)（2011），內政部營建署城鄉發展分署。
- 國家重要濕地導覽手冊，中華民國野鳥學會 pp.6。
- 章盛傑、邱文雅(1998)，濕地 Wetlands，Second edition，William J.Mitsch&James G. Gosselink，地景企業股份有限公司。
- 張隆盛（1987），海岸地帶發展與管理，台灣地區海資源保育與管理研討會論文集，台北：臺灣大學。
- 曾文政（2009），「以遙感探測暨地理資訊系統應用於屏東地區紅樹林碳吸存之可行性研究」，屏東科技大學環境工程與科學系所碩士論文。
- 曾宏揚（2001），「臺灣海岸地區規劃開發法治化之研究」，國立臺灣大學法律學系研究所碩士論文。
- 黃淑媚（2012），「以能值理論分析濕地生態經濟系統之研究 -以臺灣七股海岸濕地為例」，國立成功大學地球科學研究所碩士論文。
- 黃凱洛（2003），「杉木人工林生長量與碳吸存之研究」，國立中興大學森林系碩士班碩士論文。
- 馮豐隆、楊榮啟（1988），使用貝爾陀蘭斐模式研究台灣七種樹種生長之適用性的探討中華林學季刊 21（1）：47-64。
- 馮豐隆、楊榮啟（1988），森林生長模式之建立，中華林學季刊 21(4)：3-15。
- 鄧書麟、林佳芸、呂福原、許原瑞、曾喜育(2008)，台灣與鄰近島嶼紅樹林組成、分布與相關保育措施探討，台灣林業，34（6）：3-11。
- 楊盛行（1997），台灣地區森林二氧化碳之涵容量估算，中華生質能源學會會誌 16(1/2)：1-10。
- 楊榮啟（1987），森林生物統計學，國立編譯館。
- 葉榮椿（1995），海岸地區整體規劃之研究—第二冊，台北：內政部營建委託研究計畫。
- 楊磊(2001)，人工濕地應用於海岸及離島型工業區廢水循環處理之研究。

- 萬鑫偉 (2011),「七股鹽田濕地潮間帶灘地初級生產量及溫室氣體通量調查」,嘉南藥理科技大學環境工程與科學系碩士論文。
- 劉增進、張鈺婧、常鳳蘭、潘樂 (2008),濕地生態系統價值評價方法研究,安徽農業科學。(34): 15147-15148。
- 潮間帶資料整合處理工作,工作總報告書(修正版),2011,內政部國土測繪中心。
- 蔡志聰 (2009),「探討台灣地區推行樹葬對於碳匯模式之研究」,弘光科技大學環境工程研究所碩士論文。
- 蔡曉明 (2002),生態系統生態學,科學出版社,北京。
- 閻克勤 (2006),「海岸環境管理與資源利用評估之研究—以新竹海岸濕地為例」,台北大學都市計劃研究所博士論文。
- 閻克勤、王櫻燕 (2007),新竹香山溼地海岸生態環境資訊調查系統之建立,地理資訊系統季刊,1 (4), 16-24。
- 謝佳殷 (2002),「我國海岸管理法規體系與行政機制之研究」,國立海洋大學海洋法律研究所碩士論文。
- 薛美莉 (1995),消失中的濕地森林—記台灣的紅樹林,台灣省特有生物研究保育中心,5-30。
- 薛美莉 (1995),消失中的濕地森林—記臺灣的紅樹林,臺灣省特有生物研究保育中心出版, pp.116。
- 戴湘瑩 (2014),濕地環境類型及濕地植物之特色,國立屏東科技大學森林系碩士班,專題討論報告。
- 顏江河 (2005),人工林疏伐作業對土壤呼吸量與土壤中碳存量之影響 (II),行政院農業委員會九十四年度科技研究計畫研究報告,92 農科-11.2.1-務-e2(6)。

英文參考文獻

- Alongi, D.M., Clough, B.F., Robertson, A.I. (2005), Nutrient-use efficiency in arid-zone forests of the mangroves *Rhizophorastylota* and *Avicennia marina*. *Aquatic Botany* 82: 121-131.
- Behara N., S. K. Joshi and D.P. Pati(1990), Root contribution to total soilmetabolism in a tropical forest soil from Orissa,India,For *Ecol.Manage*,36:125-134
- Batjes N.H.(1996), Total Carbon and Nitrogen in the Soils of the World.*EuropeanJournal of Soil Science*47, Available On-line at Source Link.
- Bedford, L. B., D. J. Leopold, and J. P. Gibbs (2001), Wetlands Ecosystems,pp.781-804. In: Levin, S. A. (ed.) *Encyclopedia of Biodiversity*, Vol 5. Academic Press, New York.
- Bridgham S.D., Megonigal J.P., Keller J.K., Bliss N.B., and Trettin C. (2006), The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands*26:889-916.
- Bouillon, S. (2008), Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates, *Global Biogeochem. Cycles*, 22, GB2013, doi:10.1029/2007GB003052.
- Cowardin LM, Carter V, Golet FC, LaRoe ET.(1979),Classification of wetlands and deepwater habitats ofthe United States. U.S. Fish & Wildlife Service Pub.FWS/OBS-79/31, Washington, DC.
- Cowardin, L. M., V. Carter, F. C. Golet, and E. T. LaRoe (1979),Classificaion of wetlands and deepwater habitats of the United States. United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D. C. pp.131
- Hammer, D. A.(1996),Creating freshwater wetlands, 2nd ed., Lewis.United States Environmental Protection Agency Office of Water Washington, DC 20460EPA-822-R-02-017 March 2002,Wetlands Classification - US Environmental Protection Agency
- Huang, L., B. C. Dong.,W. Xue,Y. K. Peng, M. X. Zhang, and F. H. Yu

- (2013), Soil particle heterogeneity affects the growth of a rhizomatous wetland plant. *PloS One* 8(7): 1-7.
- IPCC(2000), Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Emissions Scenarios 2000, No. 570, Cambridge University Press.
- Martin, J. F., and K. R. Reddy (1997), Interaction and spatial distribution of wetland nitrogen processes. *Ecological Modelling* 105: 1-21.
- Mitsch, W. J., and J.G. Gosselink (2007) , *Wetlands*. Nova Science Publishers, United States of America. pp. 589
- Ramsar Convention(2009), Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands. Gland, Switzerland, The Ramsar Convention
- Sedjo, R. A.(1989), Forest to offset the greenhouse effect. *Jour. For.* 87(7):12-15.
- Secretariat, Available at: www.ramsar.org, Accessed 20 January (2009).
- Tateda, Y.(2002), Greenhouse Gas Balance in Mangrove Coastal Areas, CRIEPI News, No. 361, Central Research Institute of Electric Power Industry, Tokyo.
- Tateda, Y., Imamura, M., Ishi, T.(2005), Estimation of CO₂ Sequestration Rate by Mangrove Ecosystem, *Annu Res Rep Cent Res Inst Electr Power Ind*, Vol. 364, pp. 32-33.
- Tiner, R. W. (2009), Global distribution of wetlands. *Encyclopedia of Inland Waters*, pp. 526-530
- Zedler, J.B. and Kercher, S.(2005), Wetland Resources: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 30, pp. 39-74.

網站參考文獻

台灣濕地保護聯盟

<http://www.wetland.org.tw/newweb/wetland/WhatIsWetland.htm>

台灣濕地網

http://wetland.e-info.org.tw/index.php?option=com_bfquiz&view=bfquiz&catid=24&Itemid=52

台灣的濕地樂園

<http://wetland.nmmba.gov.tw/print/1.pdf>

台灣的海岸

<http://www.tlsh.tp.edu.tw/~t127/yang5/tai03.htm>

林務局（2006）森林資源經營隊碳吸存貢獻

<http://www.forest.gov.tw/ct.asp?xItem=21099&ctNode=1584&mp=1>

廖靜蕙（2011），本土研究證實：亞熱帶海岸濕地固碳效果佳

<http://e-info.org.tw/node/71077>

利用碳質量平衡法評估人工濕地碳匯功能之研究

http://wetland.e-info.org.tw/index.php?option=com_k2&view=item&id=580:%E5%88%A9%E7%94%A8%E7%A2%B3%E8%B3%AA%E9%87%8F%E5%B9%B3%E8%A1%A1%E6%B3%95%E8%A9%95%E4%BC%B0%E4%BA%BA%E5%B7%A5%E6%BF%95%E5%9C%B0%E7%A2%B3%E5%8C%AF%E5%8A%9F%E8%83%BD%E4%B9%8B%E7%A0%94%E7%A9%B6&Itemid=27

高美濕地生態系統碳通量

http://wetland.e-info.org.tw/index.php?option=com_k2&view=item&id=119:%E9%AB%98%E7%BE%8E%E

濕地若遭破壞將釋暖化「碳炸彈」

<http://two217.pixnet.net/blog/post/20658562-%E6%BF%95%E5%9C%B0%E8%8B%A5%E9%81%AD%E7%A0%B4%E5%A3%9E-%E5%B0%87%E9%87%8B%E6%9A%96%E5%8C%96%E3%80%8C%E7%A2%B3%E7%82%B8%E5%BD%88%E3%80%8D>

NatureNews:Carbon-rich mangroves ripe for conservation[3 April 2011]

<http://www.nature.com/news/2011/110403/full/news.2011.205.html>