

研究報告

安平港區海茄苳之林分結構及枯落物量變化

范貴珠¹ 葉俊宏² 游皓鈞²

【摘要】本研究調查台南市安平港區海茄苳 (*Avicennia marina*) 之林分構造，並測定 2003 年 8 月至 2004 年 7 月之枯落物量變動情形。結果顯示幼齡林區、壯齡林區及老齡林區之樹高為 3.4-3.5 m，胸高直徑為 5.8-8.7 cm，林分密度則分別為 9667、8000 及 4667 株 ha⁻¹。保護區各月份不同種類之枯落物量均有顯著差異，以 11 月之 275.6 g m⁻² month⁻¹ 最高，1 年之總枯落物量為 23.7 t ha⁻¹ yr⁻¹。枯落物組成份中以葉部比例最高 (58.7%)，其次為枝條 (19.8%) 及其他部分 (17.8%)，而繁殖體部分則佔較少 (3.7%)。造成枯落物量變動之原因與生育地之氣溫及風速等環境因子並無相關。

【關鍵字】海茄苳、林分結構、枯枝落葉

Research paper

Structure and Litterfall Dynamics of *Avicennia marina* Stand at Anping Harbor

Kuei – Chu Fan¹ Chun – Hung Yeh² Hao – Chun Yu²

【Abstract】The purpose of this study is to estimate stand structure and litterfall dynamics from August 2003 to July 2004 of a *Avicennia marina* stand located at Anping Harbour in Tainan City. The results showed that tree height of young, mature and old growth stand were 3.4-3.5 m, diameter of three areas were 5.8-8.7 cm, and stand density were 9667, 8000 and 4667 tree ha⁻¹ respectively. Monthly amount of litterfall were significant different of this area, maximum litterfall occurred in November (275.6 g m⁻² month⁻¹), total annual litterfall in *Avicennia* stand was 23.7 t ha⁻¹ yr⁻¹. Leaf litter was the main component for 58.7% of total litterfall. The 19.8% was branches, 17.8% was the remainder, and reproductive litter was only 3.7%, contained the lowest part. There were no correlations between litterfall amount and temperature and wind speed.

【Key words】*Avicennia marina*, Stand structure, Litterfall.

1. 國立屏東科技大學森林系副教授，通訊作者。屏東縣內埔鄉學府路 1 號森林系。

Associate Professor, Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan. Corresponding author.

2. 國立屏東科技大學森林系學士。

Bachelor, Department of Forestry, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan.

一、前言

紅樹林 (mangrove) 為熱帶至亞熱帶海岸最特殊之濕地生態系，近年來已成為海岸地區氣候變遷影響之重要指標 (Blasco *et al.*, 1996; Wolanski and Chappell, 1996)，而且在熱帶地區之碳素固定 (carbon fixation) 及碳素儲藏 (carbon stocking) 扮演重要角色 (Ong, 1993; Komiyama *et al.*, 2000)。由於紅樹林生態系與陸地生態系有極大差異，屬於一個開放性的生態系，養分隨著潮汐輸出至鄰近的海洋生態系 (Slim *et al.*, 1996; Kathiresan and Bingham, 2001)。紅樹林生態系若要維持平衡則必須瞭解其結構 (structure) 及功能 (function)，但此結構與功能易受環境因子左右，因此族群結構、林木生長與環境因子間相互關係為生態研究之重要課題 (Tam *et al.*, 1998; Sherman *et al.*, 1998; Ashton and Macintosh, 2002)。不同紅樹林生態系的組成結構會因樹種、環境因子與演化階段而有很大差異 (Fromard *et al.*, 1998)，即使同種的紅樹林例如巴基斯坦喀拉蚩港市的海茄苳 (*Avicennia marina*) (Saifullah *et al.*, 1994) 與分佈在紐西蘭沿岸者 (Osunkoya and Creese, 1997)，無論是林分高度、胸徑及林分密度均變異很大，主要因生育地緯度及環境差異所致。此外，因直接估算紅樹林生態系之生產力相當困難，而森林枯落物量是有機質流動及養分循環的重要途徑，因此評估紅樹林枯落物可作為估計生產力的指標 (Bunt, 1995; Tam *et al.*, 1998; Kathiresan and Bingham, 2001)。枯落物量需定期調查樣區以推估全林分者，無論野外調查及室內分析過程均相當辛苦 (Coulter *et al.*, 2001)，但世界各地不同種紅樹林之枯落物量及養分循環已有相當豐富的研究文獻 (Clarke, 1994; Bunt, 1995; Mackey and Smail, 1995; Hegazy, 1998; Tam *et al.*, 1998; Dodd *et al.*, 1999; Clough *et al.*, 2000; Alongi *et al.*, 2005)。台灣地區則因紅樹林面積過小且零散，僅黃元勳 (1983) 曾調查淡水水筆仔紅樹林生態系之枯落物量、土壤及水質等營養物質之循環，至

今尚未見其他研究文獻，資料相當缺乏。

台灣現有水筆仔 (*Kandelia obovata*) (Sheue *et al.*, 2003)、海茄苳、五梨跤 (*Rhizophora stylosa*) 及欖李 (*Lumnitzera racemosa*) 等 4 種紅樹林，其中海茄苳具有鹽腺構造可以排除鹽分，屬於最耐鹽的紅樹林樹種 (Tomlinson, 1994; Osborne and Berjak, 1997)。本種在台灣的總面積約 173 ha，除在南部少數地區有較大面積之純林外，其餘大部份均呈零星分佈狀態 (詹煥榮, 2003)。本校自 1998 年起受交通部高雄港務局委託，進行台南市安平港主要紅樹林生育地之環境監測及復育工作，每季提出報告及具體可行建議，以供紅樹林經營管理之參考。其中健康路紅樹林保護區面積最大但亦僅約 4.6 ha，海茄苳族群雖為優勢種而約佔 1.5 ha，其餘為紅樹林難以生長之惡劣環境 (范貴珠等, 2004)。海茄苳面積雖小且非復育栽植樹種，但需定期監測其生長狀況，因此 2000 年時即已調查天然下種苗之生長變化，並且在林分中進行生長及族群結構調查；同時在施工便道旁設置樣區，砍取樣木調查地上部生長參數及生物量，以瞭解本樹種族群之演替模式 (葉慶龍等, 2002)。惟當初對保護區之狀態尚未完全掌握，因此並未調查保護區入口老齡林，導致樣區數量不足無法說明族群結構。本研究在 2003 年 8 月重新設置調查樣區，除監測海茄苳林分之生長及林分密度變化外，同時估算不同區域每月林分枯落物之變化，以瞭解此位於人口密集且面積小之保護區其養分庫現狀，作為本樹種在台灣紅樹林生態研究及保育工作之重要基本資料。

二、健康路紅樹林保護區概述

(一) 地理位置

安平港健康路紅樹林保護區位於北緯 22° 59'，東經 120° 4'，係在台南市安平區健康路 3 段 (圖 1)，位於污水處理廠與通往市區航行河道之間；保護區面積為 4.6 ha，各區微地形差異很大，環境較適宜的生育地已被海茄苳所佔

據(約佔 1.5 ha)，其餘地區春季則藻類大量繁殖及冬季強勁大潮沖蝕之影響(約 0.5 ha)。另有 1 ha 為每日受潮水影響之深水區，漲潮時淹水深度達 1.2-1.6 m 左右，以上地區之水文條件及環境衝擊均不適合紅樹林生長(范貴珠等，2004)。

(二) 水質與土壤概況

本保護區自 2002 年 10 月起，每季採集水樣及土壤樣本分析結果顯示，紅樹林與河道區之 pH 在鹼性範圍(7.1-7.9)，水質電導度變化在 41.4-51.4 ms/cm 之間，鹽度之變化範圍在 24.3-32.6 ‰。保護區水質重金屬含量均較高，尤其河道區之銅、鋅、鉛、鎳、鉻及錳離子濃度分別為 0.16、0.81、1.43、0.63、0.06 及 0.35 ppm(范貴珠等，2004)。

河道區土壤之土樣酸鹼值微酸性(6.2-6.6)，紅樹林區則屬微鹼性(7.3-7.7)。土壤重金屬濃度在河道區與紅樹林區呈現極大的差異，河道區銅離子濃度為 76.2-92.1 ppm，鋅離子為 140.2-178.3 ppm，鉛離子為 12.9-18.3 ppm，鎳離子為 15.5-24.1 ppm，鉻離子為 3.04-4.21 ppm，錳離子為 1.02-1.83 ppm。河道區之土壤重金屬濃度都高於紅樹林區甚多，有些甚至高達 7 倍，推測此保護區河道污染程度可能已相當高(范貴珠等，2004)。

(三) 植群概況

保護區主要紅樹林樹種除了原有之海茄苳外，尚有本校自 1998 年起在各區域復育之五梨朥及欖李，其中五梨朥之生長相當健壯。保護區水邊濕地之優勢種為海馬齒(*Scavium portulacastrum*)、海雀稗(*Paspalum vaginatum*)；塹岸以孟仁草(*Chloris barbata*)為優勢種，尚有大黍(*Panicum maximum*)、蒺藜(*Tribulus terrestris*)、蘆葦(*Phragmites communis*)、鯽魚膽(*Pluchea indica*)、苦林盤(*Clerodendrum inerme*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、馬鞍藤(*Ipomoea pes-caprae*)、濱刀豆(*Canavalia rosea*)、濱豇豆(*Vigna marina*)、毛西番蓮(*Passiflora foetida*)、印度牛膝(*Achyranthes*

aspera)及雙花蟛蜞菊(*Wedelia biflora*)等海岸植物(范貴珠等，2004)。

三、材料與方法

(一) 氣象資料收集

自 2003 年 8 月至 2004 年 7 月止，由中央氣象局網站收集台南測候站每月平均氣溫、最高氣溫、最低氣溫、降雨量、降水日數、最大風速及相對濕度等資料，並記錄調查侵襲本保護區之颱風等。

(二) 調查樣區設置

1. 樣區設置

通常紅樹林樹種樹幹缺乏明顯年輪，其中海茄苳樹幹直徑與年齡間之關係並不明顯(Gill, 1971; Fromard *et al.*, 1998)，因此無法知道本研究不同區域海茄苳之實際年齡，僅能以離河道出口遠近、樹幹粗壯程度及林分密度，人為分層取樣將海茄苳林分設置為靠近便道旁之幼齡林區(離水道出口最近)、壯齡林區(水塘旁堤岸區)及老齡林區(離水道出口最遠)等 3 大區。幼齡林區每隔 10 m 設置 1 個 5 m × 5 m 的小樣區，共設置 A、B、C 等 3 個小樣區，幼齡林樣區之樹冠上約有 2-3 個鷺鳥之巢穴；而壯齡林區及老齡林區則因地形及林相差異較大，在堤岸區隨機設置相同大小的 D 及 E 樣區，老齡林區則設置有 F、G 及 H 等 3 個小樣區，此 2 區僅在 2-4 月有少數鷺鳥在樣區上方營巢，整個保護區共計設置 8 個調查樣區。靠深水區雖然亦有一較幼齡之林分，但曾因復育之五梨朥及欖李生長而疏伐海茄苳；此區之鷺鳥營巢數亦相當密集，每株林木樹冠上層約 6-12 個鳥巢，為避免干擾鷺鳥營巢之生態，故未在此林分內設立枯落物收集網(圖 1)。

2. 海茄苳樹高、胸高直徑及密度

2003 年 8 月在每 1 樣區調查直徑 2 cm 以上之單株林木，每株樣木記錄樹高與胸高直徑。樹高在 30 cm 以下分叉者，則每一分叉記錄為 1 株。各樣區分別計算平均樹高、胸徑及每公頃密度。

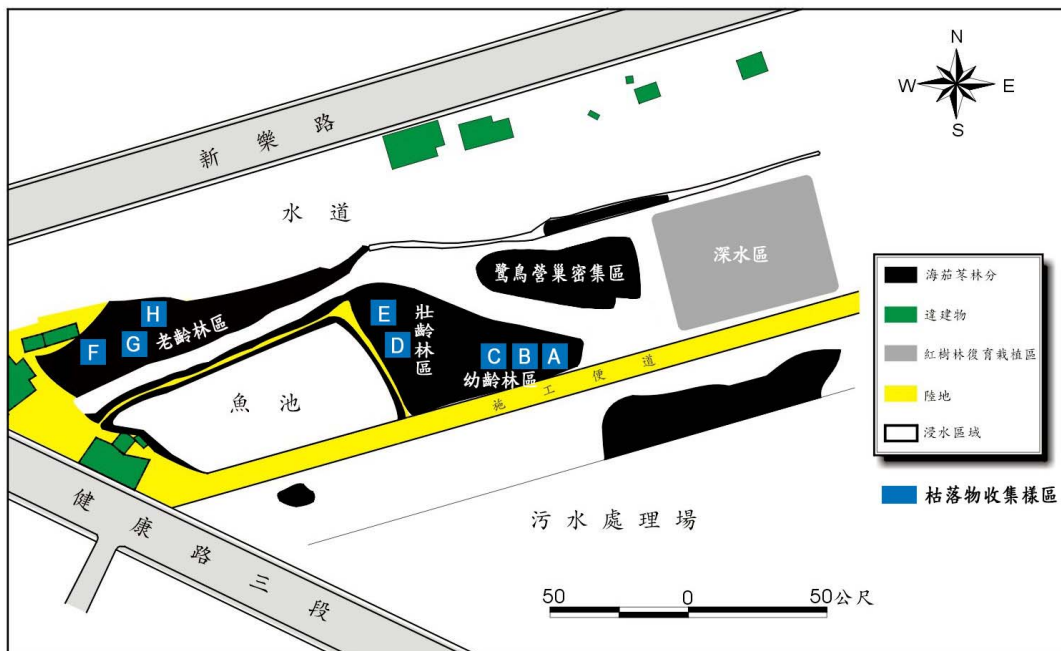


圖 1. 試驗地枯落物收集樣區位置

Fig. 1. Location of study area showing sites of litterfall plots.

3. 林分枯落物量調查

(1) 收集網架設

以網孔為 1 mm 尼龍網做成直徑為 50 cm 之圓形網袋，深約 30 cm。將收集網懸掛在 8 個樣區海茄苳樹冠下方枝條，懸掛高度需避免漲潮淹水影響。在每小樣區內設置 2 個收集網為 1 重複，共計 16 個枯落物收集網。調查時間為 2003 年 8 月至 2004 年 7 月止，共計收集 1 年枯落物資料。

(2) 枯落物收集及測定

每月收集網內枯落物攜回實驗室，先以 65°C 預乾 1-2 天後，分為葉、枝條、繁殖體及其他（昆蟲、排泄物或不可分辨之碎屑）等 4 大類，再經 70°C 烘乾 1 星期後，秤各枯落物之乾重。

四、結果

(一) 健康路保護區之氣象資料

本調查自 2003 年 8 月至 2004 年 7 月期間

的平均氣溫為 24.7°C (表 1)，最高溫度之 7 月則升高至 35.8°C，平均最低溫之 1 月則驟降至 6.7°C。調查期間之降雨量及降雨日數均較少，分別僅 863.8 mm 及 75 日，12 月甚至無降雨；主要的降雨係由 2003 年 8 月 30 日至 9 月 1 日之中度杜鵑颱風帶來，此颱風近中心最大風速為 43.0 m/sec。爾後 2004 年 6 月 29 日至 7 月 2 日之中度敏督利颱風引進強烈的西南氣流，台南市當月降雨量即增加至 375.7 mm。全年的平均日照時數為 189.7 hrs，最高日照時數為 5 月，最低日照時數則為 9 月。全年平均風速為 10.1 m/s，以 2004 年 7 月份的平均風速為最高，高達 14.8 m/s，係因當月之敏督利颱風所導致；全年相對濕度於 2004 年 7 月及 2003 年 8、9 月較高，在 80-82% 間，主要因夏季午後雷陣雨及颱風所帶之雨量所致。

(二) 海茄苳之樹高、胸高直徑及密度

便道旁幼齡林區、土堤旁壯齡林區及入口老齡林區之平均樹高並無明顯差異，約在 3.4-

3.5 m 間 (表 2)。保護區林木胸徑最大者為入口處老齡林分，平均胸徑為 8.7 cm，其次為壯齡林之 7.3 cm，幼齡林區之平均胸徑僅 5.8 cm。林分密度係以幼齡林區之 9667 株 ha⁻¹ 較

大，壯齡林區之林分密度則降至 8000 株 ha⁻¹，但 2 分區間並無明顯差異。保護區入口之老齡林分林分密度為 4667 ha⁻¹，為 3 分區中林分密度最小者。

表 1. 台南市 2003 年 8 月至 2004 年 7 月之氣象資料

(資料來源：中央氣象局 <http://www.cwb.gov.tw/index-f.htm>)

Table 1. Climatic conditions during the period from Aug. 2003 to Jul. 2004 at Tainan city. (Records from the Central Weather Bureau Web site: <http://www.cwb.gov.tw/index-f.htm>)

年/月	平均溫度 (°C)	最高溫度 (°C)	最低溫度 (°C)	降水量 (mm)	降水日數 (日)	日照時數 (小時)	最大風速 (m/s)	相對濕度 (%)
2003/8	29.4	34.7	22.9	238.4	15	186.8	12.3	80
2003/9	29.0	33.9	24.2	48.5	6	161.2	9.8	80
2003/10	26.2	33.2	20.5	2.0	2	221.1	8.2	71
2003/11	24.0	31.8	15.0	10.0	2	142.5	8.6	78
2003/12	18.8	29.8	10.7	0.0	0	207.7	9.9	70
2004/1	17.6	27.5	6.7	3.1	5	181.7	10.7	75
2004/2	18.6	28.5	10.9	14.1	2	180.5	8.5	79
2004/3	20.8	29.7	11.8	6.9	8	157.3	9.6	77
2004/4	24.9	32.3	14.1	61.7	6	209.1	8.2	75
2004/5	28.4	34.5	21.8	86.5	8	221.2	10.6	78
2004/6	29.2	35.8	24.5	16.9	7	209.2	9.9	76
2004/7	29.0	35.6	22.8	375.7	14	193.0	14.8	82
平均或 合計	24.7	32.3	17.2	863.8	75	189.3	10.1	76.8

表 2. 不同區域海茄苳之平均樹高、胸徑及密度

Table 2. Tree height, diameter and density of *Avicennia* stand at different area.

分區	平均樹高(m)	平均胸徑(cm)	密度(株 ha ⁻¹)
幼齡林區	3.4 ± 0.5 ^a	5.8 ± 0.4 ^c	9667 ± 2082 a
壯齡林區	3.5 ± 0.2 ^a	7.3 ± 0.6 ^b	8000 ± 0 a
老齡林區	3.5 ± 0.2 ^a	8.7 ± 0.5 ^a	4667 ± 1155 b

註：每行平均值後之字母(a, b, c.....)不同，表示達 5% 差異顯著性水準。

表 3. 安平港區海茄苳枯落物重量 ($\text{gm}^{-2} \text{month}^{-1}$) 月變化Table 3. Monthly litterfall ($\text{g m}^{-2} \text{month}^{-1}$) of *A. marina* stand at Anping Harbor.

調查日期	葉部	枝條	繁殖體	其它	合計
2003 年 8 月	72.6 ^d	12.3 ^d	21.0 ^a	20.1 ^{cd}	125.9 ^c
9 月	115.0 ^b	19.4 ^d	4.4 ^{cd}	10.1 ^d	148.9 ^c
10 月	153.2 ^b	16.3 ^d	1.7 ^d	7.5 ^d	178.6 ^b
11 月	240.3 ^a	24.1 ^{cd}	2.0 ^d	9.3 ^d	275.6 ^a
12 月	103.2 ^{bc}	16.1 ^d	2.0 ^d	8.0 ^d	129.2 ^c
2004 年 1 月	146.1 ^b	73.8 ^a	2.5 ^d	20.5 ^{cd}	242.9 ^a
2 月	86.8 ^{cd}	53.1 ^b	0.5 ^d	26.2 ^c	166.6 ^{bc}
3 月	102.2 ^{bc}	73.3 ^a	1.1 ^d	37.4 ^c	214.0 ^a
4 月	99.3 ^c	78.6 ^a	1.4 ^d	65.8 ^b	245.1 ^a
5 月	77.3 ^d	49.8 ^{bc}	5.3 ^c	76.2 ^b	208.6 ^{ab}
6 月	56.4 ^e	54.3 ^b	9.4 ^b	102.5 ^a	222.6 ^a
7 月	71.8 ^d	64.6 ^b	11.5 ^b	60.9 ^b	208.8 ^{ab}
總計	1324.1	535.5	62.8	444.4	2366.8

註：每行平均值後之字母(a, b, c.....)不同，表示達 5% 差異顯著性水準。

表 4. 安平港區海茄苳枯落物之百分比(%)月變化

Table 4. Monthly litterfall percentage (%) of *A. marina* stand at Anping Harbor.

調查日期	葉部	枝條	繁殖體	其它
2003 年 8 月	57.9	9.0	17.6	15.4
9 月	77.5	12.3	2.7	7.5
10 月	85.5	9.2	1.0	4.3
11 月	87.2	8.7	0.7	3.3
12 月	79.8	12.4	1.6	6.3
2004 年 1 月	66.5	24.5	1.1	7.9
2 月	57.4	28.2	0.7	13.6
3 月	49.8	33.4	0.6	16.2
4 月	40.1	29.6	0.7	29.6
5 月	36.2	21.6	3.4	38.8
6 月	29.3	20.2	7.7	42.8
7 月	36.7	28.0	6.8	28.5
平均	58.7	19.8	3.7	17.8

(三) 安平港區海茄苳枯落物量及組成分變化

安平港區海茄苳各部位之枯落物在月份間均呈很大變化(表 3)，其中葉部枯落物乾重以 11 月之 $240.3 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 最高，在 6 月 ($56.4 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$) 較低。枝條則在 4 月 ($78.6 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$) 顯著較高，但與 1 月及 3 月之枝條量並無顯著差異，分別為 73.3 及 $73.8 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 。繁殖體乾重量則以 8 月的 $21.0 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 最高，其次為 6 及 7 月份，其他月份之重量則非常少。其他部分則以 6 月份之 $102.5 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 顯著較其他月份為高，其次為 4、5 及 7 月，乾重量約在 60.9 - $76.2 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 。若以安平港區整個海茄苳林分觀之，枯落物量較高者為 11 月之 $275.6 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ ，但 1 至 7 月(2 月除外) 每月的枯落物量大致均在 208.6 - $245.1 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ ，並無明顯差異，1 年之總計枯落物量為 $2366.8 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 。安平港區海茄苳林分 4 類枯落物百分比以葉部>枝條>其他>繁殖體(表 4)；葉部枯落物百分年平均為 58.7%，最高者為 11 月之 87.2%，最低者為 6 月之 29.3%。枝條之年枯落量平均為 19.8%，最高者為 3 月之 33.4%，但 2、4 及 7 月者百分比相差亦不大，最低者為 11 月之 8.7%。其他部分之年枯落物百分比為 17.8%，6 月枯落物百分比可達 42.8%，但 11 月則僅有 3.3%。繁殖體部分年枯落物百分比則最少(3.7%)，以 8 月之 17.6% 最高，3 月之繁殖體百分比最低(0.6%)。

五、討論

本研究在 2001 年 4 月沿著便道旁調查幼林區時，海茄苳平均樹高僅 1.9 m，平均胸徑為 3.8 cm (葉慶龍等, 2002)；而 2003 年 8 月再度調查時，平均樹高則增為 3.4 m，平均胸徑增為 5.8 cm (表 2)，推測因紅樹林為陽性樹種，幼齡林木生長速度很快 (Tomlinson, 1994)，因此直徑增加速度相當快。而幼齡林林分密度為 9667 株/ha (表 2)，較 2001 年 4 月調查之 8452 株/ha 為高 (葉慶龍等，

2002)，主因前次調查每個小樣區間的距離很小 (< 2 m)，本次調查則將小樣區相隔位置增大至 15-20 m，並深入幼林區內設置樣區，因此得到的林分密度較大。水塘土堤旁之壯齡林在 2001 年 4 月調查時，平均樹高為 3.3 m，平均胸徑為 6.2 cm，林分密度則為 5062 株/ha (葉慶龍等, 2002)。本次調查時平均樹高變化不大，但平均胸徑則增為 7.7 cm (表 2)。此區海茄苳族群密度為 8000 株/ha，亦較前次調查時增加，主要亦因設置樣區位置差異所致。本復育區以往並未調查入口老齡林分之生長資料，本次調查結果顯示平均樹高與其他 2 區並無差異，但因林木年齡較大，因此平均胸徑達 8.7 cm。由於林冠下方之幼木因缺乏陽光而逐年枯死，加上蛀蟲類蛀食幹部，因此林分密度僅為 4667 株/ha，為整個保護區中族群密度最低的區域。

國外之海茄苳族群結構調查報告中指出，巴基斯坦喀拉蚩港市的 12 個海茄苳林分，密度範圍為 60-9400 株/ha，平均胸高斷面積為 13.3 m^2 (Saifullah *et al.*, 1994)。墨西哥 Laguna de Términos 沿岸者林分樹高為 20 m，而直徑為 8.6 cm 者每公頃密度為 1890 株；而樹高為 6 m，直徑為 5.3 cm 者每公頃密度僅 345 株 (Day *et al.*, 1987)。紐西蘭南島及北島的海茄苳林分，各樣區之樹高平均為 0.58-2.93 m，平均直徑在 3.41-10.11 cm，而每公頃林分密度則在 1747-5505 株 (Osunkoya and Creese, 1997)。本研究海茄苳族群結構與上述學者研究有所差異，主因地區、樹齡及環境條件均不相同，無法進行客觀性比較說明。由平均胸高直徑、樹高與每公頃株數之空間分布可知(表 2)，安平港區之海茄苳族群係由入口老齡林分，逐漸向堤岸之壯齡林區方向擴展，再向便道旁之幼林區擴展，而深水區則因每天漲退潮約有 1.2-1.6 m 淹水深度，因此海茄苳果實完全無法在此區成活。紐西蘭南島及北島的海茄苳林分，族群分佈狀況亦為向海方向密度較大 (Osunkoya and Creese, 1997)；台南縣急水溪口

南北岸之海茄苳林分，樹高為 4.1-5.7 m，胸高直徑約 2.6-2.9 m，林分密度為 4250-7700 株/ha，海茄苳族群亦呈此種拓展方式（范貴珠，未發表資料），與本調查均有相似結果。

枯落物為森林生態系養分循環的基礎，也是有機物及養分由林木轉移至土壤的基本橋樑。全世界區域性森林枯落物量有極大差異，北半球寒帶林年枯落物量為 $0.32 \text{ ton ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ ，溫帶針葉林為 $4.4 \text{ ton ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ ，而熱帶雨林則為 $11.5 \text{ ton ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ （林國銓，1997；Chale，1996）。而各地區紅樹林年枯落物量高且差異極大，大約在 1.3 至 $18.7 \text{ ton ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ 間（Kathiresan and Bingham, 2001）。本研究調查健康路保護區在 2003 年 8 月至 2004 年 7 月間，全區每月之枯落物乾重在 125.9 - $275.6 \text{ g m}^{-2}\text{month}^{-1}$ ，1 年總計枯落物量為 $2366.8 \text{ g m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ （表 3），顯示安平港區海茄苳林分年枯落物量甚至較熱帶雨林為高。而紅樹林枯落物會因不同生育地區之緯度、樹種、氣候狀況、乾燥程度、土壤、水文狀況等而有很大差異（Chale, 1996; Kathiresan and Bingham, 2001），表 5 即顯示不同地區、不同樹種之年枯落物量變異很大。至於與本研究相同之海茄苳林分，在澳洲不同生育地所調查枯落物量為 3.40 - $34.4 \text{ ton ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ 間（Clarke, 1994; Bunt, 1995; Mackey and Smail, 1995; Alongi *et al.*, 2005）。在阿拉伯聯合大公國因氣候乾燥，因此年枯落物量為 5.10 - $8.50 \text{ ton ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ （Dodd *et al.*, 1999），甚至僅 0.8 - $1.88 \text{ ton ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ （Hegazy, 1998），顯示安平港區之海茄苳林分枯落物量除較 Alongi *et al.* (2005) 在澳洲海岸的調查結果低外，均較世界各地之調查數據為高。台灣至今少有紅樹林枯落物之相關報告，僅台南縣北門海茄苳保護區亦在相同期間設立 72 個枯落物收集樣區，調查之年枯落物量約為 $12.1 \text{ ton ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ （范貴珠，未發表資料），顯示安平港區海茄苳林分之年枯落物量高出北門保護區者約 1 倍，主要為 2 地區之生育環境、年齡、林分密度、鷺鳥營巢數量及人為干擾不同所致。

許多研究指出紅樹林之枯落物組成分配比例，係以葉部>繁殖體>枝條>其他，其中葉部枯落物之 47-83% 佔大部分（López-Portillo and Ezcurra, 1985; Mackey and Smail, 1995; Chale, 1996; Tam *et al.*, 1998; May, 1999; Clough *et al.*, 2000; Mfilinge *et al.*, 2005）。而高緯度及溫帶地區之紅樹林林分，繁殖體枯落物量佔總乾重之 25-32%，但繁殖體輸出量過高則林分生產力會降低（Clarke, 1994; Imbert and Ménard, 1997）。安平港區海茄苳保護區之各類枯落物百分比中，葉部年枯落物量佔 58.7%，枝條約佔 19.8%，繁殖體部分則為 3.7%，其他部分約 17.8%（表 4）。同時期調查台南縣急水溪出海口之海茄苳族群，南、北岸林分之葉部比例平均為 67.5%，而枝條所佔百分比為 12.5%，繁殖體則約佔 16.2%，其他部分僅佔 4.5%（范貴珠，未發表資料），2 處保護區差異最大的為繁殖體所佔百分比。國外有些學者指出紅樹林之各類枯落物量與樹種物候學有關（Duke, 1990; Clarke, 1994; Gwada and Kairo, 2001）。國內詹煥榮 (2003) 調查南台灣海茄苳開花期在 5 月中旬至 7 月中旬，果落期在 8 月至 9 月中旬。安平港區海茄苳林分之繁殖體枯落物量，在 5 月時因開花及果實發育而增加，至 8 月落果期時達最大（表 3），顯示本區的海茄苳族群開花物候與學者之調查結果相符。另從樹木外部形態觀察，安平港區海茄苳之林齡應比北門保護區大，推測林木生理活性已降低，因此植株開花結實量均較低，以致繁殖體枯落物量相當少，惟爾後應更進一步探討相關機制。

另一方面，安平港區海茄苳林分面積僅約 1.5 ha，雖位於台南市健康路人口密集處，但此地正值河海交會之紅樹林分布地區，夾雜著淺灘、深水、魚塢、溝渠、幼林、密林及老齡林等高歧異棲息地，提供鷺鳥隱蔽及充份食物之繁殖處所（葉慶龍等，2002）。顏重威 (1995) 調查鷺鳥築巢的高度、材料和大小時指出，無論是夜鷺 (*Nycticorax nycticorax*)、小白鷺 (*Egretta garzetta*) 或牛背鷺 (*Bubulcus ibis*) 的

築巢材料均以樹枝和竹枝為主。本保護區內亦出現上述 3 種鷺鳥，鷺鳥營巢時多用海茄苳枝條為材料，尤其幼齡林區枯落物網均設在鷺鳥巢穴下方，而且餵食幼鳥之食物常會掉落於網內，成鳥及幼鳥之鳥糞亦相當多，因此其他部分亦佔相當大比例。台南縣北門保護區位於急水溪出海口，面積相當遼闊約 24.5 ha，枯落物收集樣區內少有鷺鳥營巢情形，推測此為枝條及其他部分比例較安平港區者為少的原因。

許多研究指出紅樹林枯落物量的分佈模式與生育地之環境因子有關 (Amarasinghe and Balasubramaniam, 1992; Saenger and Snedaker, 1993; Bunt, 1995)，例如鹽度、養分輸入及微地形特徵 (Day *et al.*, 1987; Bunt, 1995)、平均水位、陽光照射時間、溫度及蒸發量 (López-Portillo and Ezcurra, 1985; May, 1999; Arreola-Lizárraga *et al.*, 2004)、生育地潮汐高度及最大風速 (Mackey and Smail, 1995) 及颱風侵襲與否 (黃元勳, 1983; Mfilinge *et al.*, 2005) 等均會影響林分枯落物量。此外，降雨量亦為重要之影響因子之一，例如澳洲海茄苳林分 (Mackey and Smail, 1995) 及中國福田地區的紅樹林混合林中 (Tam *et al.*, 1998)，林分枯落物量均以夏天 (7-8 月) 的雨季最多。惟 López-Portillo and Ezcurra (1985) 認為墨西哥的紅樹林枯落物量與雨量無明顯關係。Chale (1996) 亦指出南美 Guyana 的 *A. germinans* 葉部枯落量在 8 月最高，主要是因亞馬遜河水之淹沒，但與當地之降雨量無關。Slim *et al.* (1996) 指出肯亞的 *R. mucronata* 與 *Ceriops tagal* 在下雨的濕季枯落物量較少，可能是因葉部之氯離子濃度較低所致。

本研究雖在每月大潮期間有調查水質之 pH、溫度、電導度及鹽度等，但是較難解釋與

枯落物量多寡的關係，僅能以中央氣象局的資料間接說明。安平港區海茄苳之葉部枯落物量以 11 月最大 (表 3)，對照表 1 之氣象資料可看出，本月份之平均溫度為 24°C，降雨量僅 10.0 mm，最大風速亦僅 8.6 m/s，顯示本月屬於降雨量少之乾季。肯亞的海茄苳落葉量亦在乾季 (10 至 1 月) 最多 (Slim *et al.*, 1996)，與本研究結果相符，推測安平港區海茄苳林分在乾季枯落物量較多，可能為乾季致使植物體鹽分濃度增高而脫落所致。調查期間在 2003 年 8 月有中度杜鵑颱風侵襲，在 2004 年 7 月有敏督利颱風，使得此 2 月平均最大風速達 12.3 及 14.8 m/s，而且平均溫度均超過 29.0°C (表 1)，但 2 個月份的枯落物量分別為 125.9 及 208.8 g m⁻² month⁻¹，並未較 11 月之 275.6 g m⁻² month⁻¹ 為高 (表 3)，顯示本保護區枯落物與氣溫及最大風速並無明顯關係。推測可能 2 次颱風主要毀壞林分邊緣之林木，枯落葉收集樣區者因生長較密集且非迎風面，因此對當月枯落量之影響較少。本次調查雖有測定各樣區之土壤及水質資料，但並未設儀器測定各樣區之微氣象資料，因此較無法說明枯落物量及生育環境因子間關係，此為爾後進行相關研究時需改進者。

六、謝誌

本研究感謝交通部高雄港務局經費支援，並感謝王石樹先生及安平分局所有同仁在研究期間鼎力協助。另外，感謝屏東科技大學森林系葉慶龍老師，高健豪、鍾英煒、黃立婷、張雅心、蔡佳容同學等在野外調查及取樣分析上協助，使本文得以順利完成，在此謹致最誠摯之謝忱。

表 5. 不同地區紅樹林之枯落物量 (ton ha⁻¹ yr⁻¹)Table 5. Litter production in different mangrove forests. (ton ha⁻¹ yr⁻¹)

Species	Location	Total	Reference
<i>Aegiceras corniculatum</i>	Jervis Bay, New South Wales, Australia	2.10	Clarke, 1994
<i>A. corniculatum</i> + <i>Kandelia candel</i>	Futian, China	11.70	Tam <i>et al.</i> , 1998
<i>A. germinans</i>	Tabasco, Mexico	6.14	López-Portillo and Ezcurra, 1985
<i>A. germinans</i>	California Gulf, Mexico	1.75	Arreola-Lizárraga <i>et al.</i> , 2004
<i>A. germinans</i>	Guyana, South America	17.71	Chale, 1996
<i>A. marina</i> var. <i>australasica</i>	Northland, New Zealand	1.80-6.20	May, 1999
<i>A. marina</i> var. <i>resinifera</i> (3.5-4.0 m)(tall)	Auckland, New Zealand	3.65	Woodroffe, 1982
(< 1 m)(low)		2.00	
<i>A. marina</i>	Jervis Bay, New South Wales, Australia	3.10	Clarke, 1994
<i>A. marina</i>	Mean value of Australia coasts	15.98	Bunt, 1995
<i>A. marina</i>	Brisbane River, Queensland, Australia	8.31-9.22	Mackey and Smail, 1995
<i>A. marina</i>	Western Australia	9.80-34.40	Alongi <i>et al.</i> , 2005
<i>A. marina</i> (4-8 m)	Arabian Gulf, United Arab Emirates	7.40-8.50	Dodd <i>et al.</i> , 1999
<i>A. marina</i> (1-3 m)		5.10-6.90	
<i>A. marina</i>	Arabian Gulf, United Arab Emirates	0.8-1.88	Hegazy, 1998
<i>A. marina</i>	Mida Creek, Kenya	8.58	Gwada and Kairo, 2001
<i>A. marina</i>	台南縣急水溪口, 台灣	12.10	范貴珠, 未發表資料
<i>A. marina</i>	台南市健康路, 台灣	23.67	本研究
<i>A. officinalis</i>	Mandovi-Zuari Estuary, India	10.20	Wafar <i>et al.</i> , 1997
<i>Ceriops tagal</i>	Gazi Bay, Kenya	0.01	Slim <i>et al.</i> , 1996

<i>C. tagal</i>	Mean value of Australia coasts	12.90	Bunt, 1995
<i>C. tagal</i>	Mida Creek, Kenya	22.70	Gwada and Kairo, 2001
<i>R. apiculata</i>	Mandovi-Zuari Estuary, India	11.70	Wafar <i>et al.</i> , 1997
<i>R. apiculata</i>	Mekong Delta, Vietnam	9.41-18.79	Clough <i>et al.</i> , 2000
<i>R. mucronata</i>	Gazi Bay, Kenya	0.02	Slim <i>et al.</i> , 1996
<i>R. mucronata</i>	Mida Creek, Kenya	16.39	Gwada and Kairo, 2001
<i>R. mucronata</i>	Mandovi-Zuari Estuary, India	11.80	Wafar <i>et al.</i> , 1997
<i>R. stylosa</i>	Mean value of Australia coasts	23.69	Bunt, 1995
<i>R. stylosa</i>	Western Australia	23.0-34.0	Alongi <i>et al.</i> , 2005
<i>Sonneratia alba</i>	Mandovi-Zuari Estuary, India	17.00	Wafar <i>et al.</i> , 1997
Mixed forest (<i>A. marina</i> + <i>R. mucronata</i>)	Kala Oya, Erumathivu, Sri Lanka	4.07-5.88	Amarasinghe and Balasubramaniam, 1992
Mixed forest (<i>Bruguiera</i> <i>gymnorhiza</i> + <i>K. candel</i> + <i>R.</i> <i>stylosa</i>)	Okinawa Island, South, Japan	12.95	Mfilinge <i>et al.</i> , 2005

七、參考文獻

- 林國銓 (1997) 福山闊葉林枯落物及枝葉層之動態變化。台灣林業科學 12(2) : 135-144。
- 范貴珠、葉慶龍、顏江和、許博行 (2004) 安平港紅樹林復育監測計畫 (第三期)。交通部高雄港務局、屏東科技大學合作報告。268 頁。
- 黃元勳 (1983) 竹圍紅樹林生態系營養物質流轉之動力學研究。國立台灣大學植物學研究所碩士論文。59 頁。
- 葉慶龍、范貴珠、顏江河、許博行 (2002) 安平港紅樹林復育監測計畫 (第二期)。交通部高雄港務局、屏東科技大學合作報告。218 頁。
- 詹煥榮 (2003) 台灣產海茄苳生物學之研究。國立嘉義大學農學院林業研究所碩士論文。128 頁。
- 顏重威 (1995) 鷺鳥築巢的高度、材料和小。台灣省立博物館年刊 38: 125-133。
- Alongi, D. M., Clough, B. F. and Robertson, A. I. (2005) Nutrient-use efficiency in arid-zone forests of mangrove *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina*. Aquatic Botany 82:121-131.
- Amarasinghe, M. D. and Balasubramaniam, S. (1992) Net primary productivity of two mangrove forest stands on the northwestern coast of Sri Lanka. Hydrobiologia 247:37-47.
- Arreola-Lizárraga, J. A., Flores-Verdugo, F. J. and Ortega-Rubio, A. (2004) Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, Mexico. Aquatic Botany 79:137-143.
- Ashton, E. C. and Macintosh, D. J. (2002) Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. Forest Ecology and Management 166:111-129.
- Blasco, F., Saenger, P. and Janodet, E. (1996) Mangrove as indicators of coastal change. Catena 27:167-178.
- Bunt, J. S. (1995) Continental scale patterns in mangrove litter fall. Hydrobiologia 295:135-140.
- Chale, F. M. M. (1996) Litter production in an *Avicennia germinans* (L.) stearn forest in Guyana, South America. Hydrobiologia 330:47-53.
- Clarke, P. J. (1994) Baseline studies of temperate mangrove growth and reproduction; demographic litterfall measures of leafing and flowering. Australian Journal Botany 42:37-48.
- Clough, B., Tan, D. T., Phuong, D. X. and Buu, D. C. (2000) Canopy leaf area index and litter fall in stands of the mangrove *Rhizophora apiculata* of different age in the Mekong Delta, Vietnam. Aquatic Botany 66:311-320.
- Coulter, S. C., Duarte, C. M., Tuan, M. S., Tri, N. H., Ha, H. T., Giang, L. H. and Hong, P. N. (2001) Retrospective estimates of net leaf production in *Kandelia candel* mangrove forests. Marine Ecology Progress series 221:117-124.
- Day, Jr., J. W., Conner, W. H., Lou, F. L., Day, R. H. and Navarro, A. M. (1987) The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, Mexico. Aquatic Botany 27:267-284.
- Dodd, R. S., Blasco, F., Ruffi, Z. A. and Torquebiau, W (1999) Mangroves of the United Arab Emirates: ecotypic diversity in cuticular waxes at the bioclimatic extreme. Aquatic Botany 63:291-304.
- Duke, N. C. (1990) Phenological trends with latitude in the mangrove tree *Avicennia marina*. Journal of Ecology 78:113-133.

- Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Marty, G., Betoulle, J. L. and Cadamuro, L. (1998) Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia* 115:39-53.
- Gill, A. M. (1971) Endogenous control of growth-ring development in *Avicennia*. *Forest Science* 17(4):462-465.
- Gwada, P. and Kairo, J. G. (2001) Litter production in three mangrove stands of Mida Creek, Kenya. *South African Journal of Botany* 67:443-449.
- Hegazy, A. K. (1998) Perspectives on survival, phenology, litter fall and decomposition, and caloric content of *Avicennia marina* in the Arabian Gulf region. *Journal of Arid Environments* 40:417-429.
- Imbert, D. and Ménard, S. (1997) Structure de la végétation et production primaire dans la mangrove de la Baie de Fort-de-France, Martinique (F. W. I.). *Biotropica* 29(4):413-426.
- Kathiresan, K. and Bingham, B. L. (2001) Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology* 40:84-254.
- Komiyama, A., Havanond, S., Srisawatt, W., Mochida, Y., Fujimoto, K., Ohnishi, T., Ishihara, S. and Miyagi, T. (2000) Top/root biomass ratio of a secondary mangrove (*Ceriop tagal* (Perr.) C. B. Rob.) forest. *Forest Ecology and Management* 139:127-134.
- López-Portillo, J. and Ezcurra, E. (1985) Litter fall of *Avicennia germinans* L. in a one-year cycle in a mudflat at the Laguna de Mecoacán, Tabasco, Mexico. *Biotropica* 17(3):186-190.
- Mackey, A. P. and Smail, G. (1995) Spatial and temporal variation in litter fall of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. in the Brisbane River, Queensland, Australia. *Aquatic Botany* 52:133-142.
- May, J. D. (1999) Spatial variation in litter production by the mangrove *Avicennia marina* var. *australasica* in Rangaunu Harbour, Northland, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 33:163-172.
- Mfilinge, P. L., Meziane, T., Bachok, Z. and Tsuchiya, M. (2005) Litter dynamics and particulate organic matter outwelling from a subtropical mangrove in Okinawa Island, Southe Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 63:301-313.
- Ong, J. E. (1993) Mangroves- A carbon source and sink. *Chemosphere* 27(6):1097-1107.
- Osborne, D. J. and Berjak, P. (1997) The making of mangroves: the remarkable pioneering role played by seeds of *Avicennia marina*. *Endeavour* 21(4):143-147.
- Osunkoya, O. O. and Greese, R. G. (1997) Population structure, spatial pattern and seedling establishment of Grey mangrove, *Avicennia marina* var. *australasica*, in New Zealand. *Australian Journal of Botany* 45:707-725.
- Saenger, P. and Snedaker, S. C. (1993) Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia* 96:293-299.
- Saifullah, S. M., Shaukat, S. S., and Shams, S. (1994) Population structure and dispersion pattern in mangroves of Karachi, Pakistan. *Aquatic Botany* 47: 329-340.
- Sherman, R. E., Fahey, T. J. and Howarth, R. W. (1998) Soil-plant interactions in a neotropical mangrove forest: iron, phosphorus and sulfur dynamics. *Oecologia* 115:553-563.
- Sheue, C. R., Liu, H. T. and Yong, W. H. (2003) *Kandelia ovovata* (Rhizophoraceae), a new mangrove species from Eastern Asia. *Taxon*

- 52:287-294.
- Slim, F. J., Gwada, P. M., Kodjo, M. and Hemminga, M. A. (1996) Biomass and litterfall of *Ceriops tagal* and *Rhizophora mucronata* in the mangrove forest of Gazi Bay, Kenya. *Marine and Freshwater Research* 47:999-1007.
- Tam, N. F. Y., Wong, Y. S., Lan, C. Y. and Wang, L. N. (1998) Litter production and decomposition in a subtropical mangrove swamp receiving wastewater. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 226:1-18.
- Tomlinson, P. B. (1994) *The Botany of Mangroves*, Cambridge University press. New York. 419pp.
- Wafar, S., Untawale, A. G. and Wafar, M. (1997) Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44:111-124.
- Wolanski, E. and Chappell, J. (1996) The response of tropical Australian estuaries to a sea level rise. *Journal of Marine Systems* 7:267-279.
- Woodroffe, C. D. (1982) Litter production and decomposition in the New Zealand mangrove, *Avicennia marina* var. *resinifera*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 16:179-188.