

# 國立台灣大學森林環境暨資源學系研究所

## 九十六學年第一學期森林生物組專題討論

### 海岸沙丘植群動態探討

#### 壹、前言

- 一、海岸沙丘的植物生態
- 二、海岸沙丘地形

#### 貳、文獻回顧

- 一、肯亞 Malindi 海岸沙丘之植群 (Musila *et al.*, 2001)
- 二、南非東好望角的海岸沙丘植群 (Avis and Lubke, 1996)
- 三、南非 Kleinemonde 的沙丘低地植群 (Avis and Lubke, 1996)

#### 參、綜合討論

- 一、影響沙丘植物的環境因子
- 二、沙丘植物分布與地形關係

#### 肆、結論

#### 伍、參考文獻

學 生：張之珩

學 號：R96625021

指導教授：應紹舜 老師

日 期：96 年 11 月 21 日

地 點：森林館 林一教室

## 壹、前言

### 一、海岸沙丘地形

#### (一)、沙丘的成因

沙丘 (sand dune) 主要是指被風搬運堆積的沙石碎屑，因為風力減弱或風沙在前進途中遇到阻礙物而停止運動，落在地面所堆積成的丘狀地形 (徐美玲, 2007)。在沙丘的迎風面，因受風的吹蝕作用而坡度平緩，被吹蝕的沙粒滑至沙丘脊頂後，快速掉落至背風面堆積，因此背風側的坡度較陡；且由於沙粒不斷的從沙丘的迎風坡被吹蝕，而在背風側堆積，造成沙丘不斷往下風方向移動，除非利用植物固定，否則沙丘通常不會固定在原地 (徐美玲, 2007)。

由此可知，沙丘是一個地景上的動態元素，它藉由沿岸漂流 (longshore drift) 或海邊沉積物作為沙粒的主要來源。當退潮時，乾燥的沙子就有可能會藉由風的吹送向陸地移動，而生長在陸上的植物減少了風的影響，攔截了沙粒，是謂沙丘系統 (dune system) 的開始；若陸地上缺乏植群的生長，則容易變動的活動沙丘地景則可能成為當地海岸地區的特色。此外，若在無明顯退潮、沙粒來源缺乏或沙粒直徑過大的地區，則很少會有沙丘形成。

#### (二)、沙丘地形的演育

隨著時間的進行，海岸沙丘的型態會逐漸發育成為沙丘系統中的各個不同階段。若依照海邊至內陸的發展順序，則大致上可以分為沙丘胚 (embryo dune)、前濱沙丘 (foredune) 和第一道沙丘脊 (the first dune ridge)，再往內陸排序甚至還可逐漸隨著時間形成年齡更老的第二道或第三道沙丘脊。而且形成年代越久遠，其系統規模也越擴大，只不過許多愈靠近內陸的老齡沙丘，因為其沙源補充的減少再加上不斷招受風蝕搬運，終使其高度逐漸衰退、外觀型態也逐漸彎曲破碎化。然而，沙丘地形當中還有個特殊的環境，那就是介於各個沙丘脊之間的沙丘低地 (dune slack)，其因為長期受到風力的侵蝕，地勢較低窪、地表也比較接近地下水水面，因此也呈現出不同於沙丘其他地方的植被情況。

此外，沙丘若依照演育所形成的外觀型式來做分類，一般來說則大約可分為以下幾種：拋物線沙丘 (parabolic dune)、新月丘 (crescent dune)、星狀丘 (star dune)、縱沙丘 (longitudinal dune)、橫沙丘 (transverse dune)、新月連丘 (barchanoid dune) 和對丘 (reversing dune)。其中拋物線丘和新月丘的主要差別在於其新月丘的尖角面對下風處，而拋物線丘則剛好相反，其尖角是面對上風處的；新月丘密集的時候，左右彼此連結就會形成新月連丘。更甚者，其波浪般的連結形狀經風力長久侵蝕搬運後，則會成為所謂的橫沙丘。

## 二、海岸沙丘的植物特性

生長在海岸的植物雖然並非海岸沙丘形成的必要條件，但是它卻是影響海岸沙丘形成的重要因數。植群藉由減少氣流的動量、攔截砂粒、提供腐植質增加表土水分保持力，來幫助或著控制沙丘的形成。而植物為了面對海岸邊多鹽沫、沙埋、強風、土壤貧瘠乾燥和海水浸淹等的狀態，因此在型態上特化出種種適應環境的特徵，例如：(1) 匍伏生長，植株貼近地面，以減少強風吹拂的傷害；(2) 莖節長根，幫助吸收水分、攔截有機質和固著植物體；(3) 隱藏根莖，只留莖和花在地面上進行必要的營養生長或生殖；(4) 肥厚的莖葉，以保存較多的水分，維持整長的生理機能；(5) 深根性，使其可以使用較深的地下水位元或儲存多餘的養分物質以供備用（鄭元春，1984）。

## 貳、文獻回顧

### 一、肯亞（Kenya）Malindi 海岸沙丘之植群（Musila *et al.*, 2001）

這份研究探討了靠近肯亞 Malindi 海岸沙丘植群的組成、結構和分佈。

#### (一)植群組成

此研究一共記錄了 60 個科，130 個屬和 156 種植物。最大的科是禾本科（Gramineae），總共有 17 個種，約占全部的 11.0%。第二大的科是蝶形花科（Papilionaceae），總共有 16 個種，約占全部的 10.3%。主要的屬為馬唐屬（*Digitaria*），一共被記錄到有六種，分別是：*D. argyrotrichum* (Anders), *D. ciliaris* (Retz.) Koel, *D. gazensis* Rendle, *D. macroblephara* (Hack.) Stapf., *D. milanjiana* (Randle) Stapf. 和 *D. nuda* Schumach.。

#### (二)植群的結構

各個地形單元上物種的總數量和物種歧異度指數顯示在表一。在化石前濱沙丘脊（fossil foredune ridges）上物種豐量最高；積水凹地（drowned valley）中等；沙丘胚（embryo dune）和陰影沙丘（shadow dune）最少。物種的歧異度一樣是化石前濱沙丘脊高於其他的地形單元。而且地形單元越靠近海，其物種歧異度越低，只有當逐漸遠離海之後，物種歧異度才會較高。

一般說來，在積水的自然凹地上大多數的植物都是草本植物，而且也擁有最多的族群數量；反之，越界沙丘（transgressive dune）則是最少的。在調查紀錄中，低地（slack）和積水凹地擁有最大的草本植物族群；而靠近海邊的地形單元則最小。化石前濱沙丘脊擁有最高的灌木族群，而越界沙丘則完全沒有。另外喬木和爬藤植物在化石前濱沙丘非常普遍；但是，在最前面比較靠近海的四個地形單元中是完全沒有的（表一）。

表一 不同地形單元上植物種各生長型 (growth form) 的數目 (Musila *et al.*, 2001)

地形單元	物種 豐富度	物種 歧異度	生長形式單位：物種種數				
			禾本類	草本類	灌木類	喬木類	爬藤類
沙灘邊緣 (beach berm)	5	4.43	1	3	1	-	-
無脊沙丘平臺 (unridged dune platform)	4	4.30	1	2	1	-	-
越界沙丘 1 (transgressive 1)	3	2.22	1	2	-	-	-
越界沙丘 2 (transgressive 2)	2	2.10	1	1	-	-	-
越界沙丘 3 (transgressive 3)	23	13.2	5	10	4	1	3
初期前濱沙丘脊 (incipient foredune ridge)	27	16.6	6	6	9	2	4
化石前濱沙丘脊 (fossil foredune ridges)	59	28.9	5	17	19	11	7
主要和次要的低地 (Primary and Secondary slacks)	29	16.3	7	17	3	1	1
積水凹地 (Drowned valley)	39	21.3	7	19	8	2	3

### (三) 植群的分佈

這些植物社會 (plant community) 描繪了清楚的分佈帶。*Halopyrum mucronatum* 和 *Ipomoea pes-capra* 植物社會常常出現在不穩定的地形單元上。*Cordia somaliensis* 和 *Pluchea dioscoridis* 植物社會常出現在較穩定的地理單元上。在較穩定地形單元上的大多數植物都是灌木和喬木。肉質的灌木常被發現生長在潮濕積水的凹地或溪谷低地中。若以各個地形單元中擁有最高重要值的植物做為代表種。則植物社會的區分結果整理於表二。

表二 不同地形單元上植群型的主要生活型 (life form)、分佈位置、分佈特性；整理自 (Musila *et al.*, 2001)。

植群型	主要生活型	分佈位置	分佈特性	附注
<i>Halopyrum mucronatum</i>	生長高度大於 50cm 的高草原社會	Sabaki 河北邊的海灘邊緣、無脊沙丘平臺和越界沙丘上	出現在靠近海的地點，是個不穩定且常常變動的地方	
<i>Ipomoea pes-caprae</i>	草本植物社會	Sabaki 河南邊沙灘邊緣、無脊沙丘平臺和越界沙丘	沙灘邊緣比較優勢	
<i>Cordia somaliensis</i>	灌木型社會	越界沙丘和初期前濱沙丘脊	常出現在離海較遠的活動沙丘之後	常會形成 1~5m 高的灌木單獨層次，許多的物種出現乾旱環境的變異形態。
<i>Tephrosia purpurea</i>	草本植物社會	只在 Sabaki 河南邊的初期前濱沙丘脊	離海遠、沙的移動少	較溫和的環境
<i>T. purpurea</i> — <i>H. mucronatum</i>	多肉的雙子葉草本、禾本植物	低挖凹地所庇護的乾沼澤	濕潤而且沙的表面穩定	植物屬於乾旱型，只依賴露水或降雨為水份來源
<i>Pluchea dioscoridis</i> — <i>Portulaca parensis</i>	早先是深根性灌木類植物，最近則是肉質草本	Sabaki 河南北邊的濕沼澤	依賴地下水為來源的濕沼澤	擁有水生性植物，地下水位接近地表。
<i>Fimbristylis cymosa</i> — <i>Sporobolus virginicus</i>	低草叢(15-30cm)類型的植物	地下水位接近地面的積水凹地		植物形成稠密墊子，遭受牛群嚴重取食
<i>T. purpurea</i> — <i>Phyla nodiflora</i>	<i>T. purpurea</i> 為優勢種			植物具有淺薄廣闊的根系使他們能利用較高的地下水位
<i>C. somaliensis</i> — <i>P. dioscoridis</i>	擁有豐富的植物變異性	化石前濱沙丘脊的穩定沙丘上		<i>C. somaliensis</i> 為優勢種，灌木層中混生著喬木
<i>Achyranthes aspera</i> — <i>Justicia flava</i>	草本型社會	化石前濱沙丘脊形成的	較其他的地形單元穩定	擁有最高的物種豐量

## 二、南非東好望角 (Eastern Cape) 的海岸沙丘植群 (Avis and Lubke, 1996)

在南非東好望角的海岸線上，遍佈著植物覆蓋的沙丘或沒有植物覆蓋的移動沙丘 (mobile dune)，而沙丘低地 (dune slack) 則有顯著良好的植被覆蓋。早期的棲地動態研究指出，較佳的土壤濕度、較少的沙礫移動和鹽沫傾向於建立適應中濕性 (mesic) 環境的物種。此研究則進一步地描述和解釋不同植物社會之間的演替關係。

### (一)、植群的形式和屬性

一 共在 62 個地點設立了 152 個樣區，並且依據其位置、生育地和社會的演替階段為基礎進行雙項指標分析 (Two Way Indicator Species Analysis, TWINSpan)，分析結果區分出七個海岸社會群 (表三)。此外，七個植物社會生活型的組成情況和歧異度的計算則整理在表四。

表三 在南非東好望角的研究中，海岸植物社會群的描述 (Avis and Lubke, 1996)。

植物群落	描述
沙丘先趨植群 (Dune Pioneer Communities)	Dominated by small, creeping herbs often with succulent leaves, or grasses ( <i>Sporobolus virginicus</i> ) or the woody shrub. Diversity low and cover sparse. Found mainly on foredunes or in exposed positions. Three community types were distinguished: Embryonic, Hummock and Incipient Fore-dune Communities.
沙丘低地植群 (Dune Slack Communities)	Herbs dominate, but sedges and rushes are abundant ( <i>Scirpus nodosus</i> and <i>Juncus kraussii</i> ). Diversity and cover are relatively high. Shrubs may be fairly common in older slacks, which may have two strata. Usually found in interdune hollows behind foredunes as isolated patches of vegetation. Four slacks community types were distinguished: dry, river mouth, mature and wet slacks
岩石峭壁植群 (Rocky Cliff Communities)	Several wind pruned community restricted to rocky headlands. Two distinct community types occur. The herbaceous community is dominated by pioneer species, and grasses, succulents and halophytes are common. Diversity and cover similar to Dune Pioneer Community. Thicket community dominated by herbs and shrubs, but most life forms are represented. Diversity and cover are high, but community seldom taller than 1m.

續表三

植物群落	描述
灌木群叢植群 ( Bushpocket Community )	Creepers and shrubs dominate, but the grass <i>Ehrharta villosa</i> is also common. The shrub, <i>Myrica cordifolia</i> and a predominance of woody species characterize this community. Diversity is similar to Dune Scrub, to which it is closely related. This community occurs as isolated patches in wide dunefields.
沙丘灌木植群 ( Dune Scrub Community )	All life forms are represented, but shrubs and herbs dominate. Community is fairly diverse, with a species composition similar to the Bushpocket community. Most species are not restricted to this community, and trees are not common. Shrubs form a fairly open canopy of 2-3m high. Occurs on slipfaces and on margin of Dune Thicket. More frequent in the central portion of the coastline.
Fynbos 灌木林植群 ( Fynbos Community )	Species rich community dominated by species with a Cape floristic affinity. Two distinct types occur. The Scrub Fynbos is dominated by broad-leafed shrubs, and is physiognomically similar to Dune Scrub, but differs floristically. Shrubs such as <i>Pterocelastrus tricuspidatus</i> are most conspicuous, whereas herbs and restios such as <i>Restio eliocharis</i> dominate the Dune Fynbos. Usually found further west in similar habitat to Dune Scrub.
沙丘雜木林植群 ( Dune Thicket )	Diverse and species rich, dominated by herbs, shrubs and trees. Latter form a compact canopy at about 5 m, but may be pruned by wind and salt-spray. Shrubs are more common than trees, and form a dense under-growth. Distinct from Dune Scrub due to presence of trees, typically <i>Mimusops caffra</i> and vines. More common further east on rear dunes, and grades into forest as rainfall increases and climate becomes more favourable. In Dune Forest, larger trees are more common and the undergrowth is less dense.

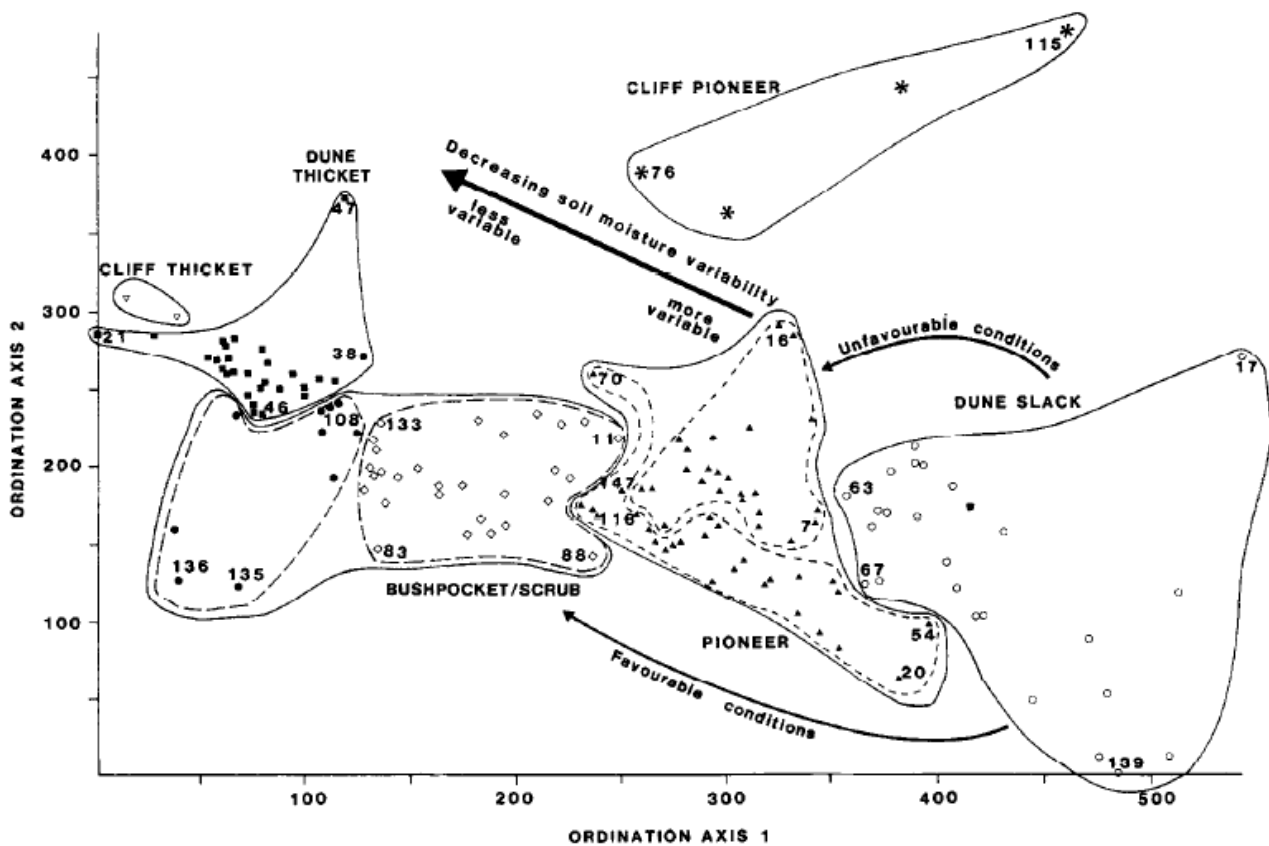
表四 經過 TWINSpan, 七個植物社會生活型的組成情況和歧異度的測量值 (Avis and Lubke, 1996)。

Parameters	Dune pioneer	Dune slack	Cliff herbaceous	Cliff woody	Bushpocket / scrub	Dune thicket
Species Richness	68	53	27	65	78	92
Mean no. of species per releve	10.36± 0.96	12.42±1.42	14.25±0.75	32.4±3.21	19.7±2.48	23.8±1.63
No. of releves	56	24	4	5	37	26
Simpson's Dominance	0.356 ± 0.025	0.333 ±0.038	0.263 ±0.035	0.187 ±0.0129	0.316 ±0.0222	0.300 ±0.002
Simpson's Diversity	0.644 ± 0.025	0.682 ±0.032	0.737 ±0.035	0.833 ±0.085	0.683 ±0.021	0.686 ±0.089
Shannon Diversity	0.6± 0.029	0.642±0.040	0.700±0.037	1.011±0.045	0.710±0.064	0.850±0.044
Lifeform composition of communities (%) :						
Grasses	18	14.5	23	9	14	7.5
Sedges/ Rushes	2	10.5	9	0	4.5	1.5
Succullents	7.5	6	23	5	5	6
Herbs	38	42	41	26.5	35	30
Creepers	11	6	0	5	7.5	14
Vines/Climbers	3.5	2	0	5	5	6
Geophytes	2	0	0	3.5	1.5	3
Shrubs	18	19	4	30	33	20
Trees	0	0	0	16	10.5	12

## (二)、植群的動態

將上述的區分再進行降趨勢對應分析 (Detrended Correspondence Analysis, DECORANA), 其排序結果如圖一, 顯示沙丘低地在圖的右邊, 緊接著先趨植物、灌木群叢和位於左邊的雜木叢植物社會。隨著由右到左群落複雜度的增加, 土壤有效濕度則下降。而不論是哪一個社會都能對應到演替序列中的某一個階段。





圖一 顯示資料組在軸 1 和軸關係 3 之間的排序，展示 TWINSpan 分析，獨立植物社會分佈的結果 (Avis and Lubke, 1996)。

### 三、南非 Kleinemonde 的沙丘低地植群 (Avis and Lubke, 1996)

此研究主要探討了在南非 Kleinemonde 的沙丘低地上，植群於演替上所扮演的角色。利用航空照片判定物種組成和複雜度，區別出六種的植物群落。包括九個以前濱沙丘物種為主的樣區；十個在沙丘低地的樣區；八個在灌木群叢社會的樣區；五個在沙丘雜木叢邊緣的樣區和四個在雜木叢內的樣區。資料共包括 36 個樣區，一共 97 個物種。

#### (一)、群落的形式和屬性

藉由 TWINSpan 一共分出六個社會群，其詳細描述見表六。

前濱沙丘 (foredune) 的先趨植物 (pioneer) 社會為低覆蓋、低歧異度的優勢草本。年輕的低地沙丘 (young slack) 則為低覆蓋、卻具有稍高歧異度的莎草和禾草類植物。老的峽谷沙丘 (old slack) 則有較多的灌木生長，而具有較佳的總平均覆蓋。根據灌木叢 (bushclump) 的外觀來看，灌木叢擁有較佳的總平均覆蓋、歧異度和生活型組成，使得它比起低地沙丘更加的複雜。雜木林邊緣 (thicket margin) 的社會在結構上與灌木叢相似，但是植相卻更複雜。雜木林群叢 (thicket) 為外觀和植相上最複雜的社會代表 (表五)。

表五 六個植物社會的生活型組成比例，及其覆蓋度，物種數量，種豐富度的平均值，加上 Simpson 歧異度、優勢度的計算數值（Avis and Lubke, 1996）。

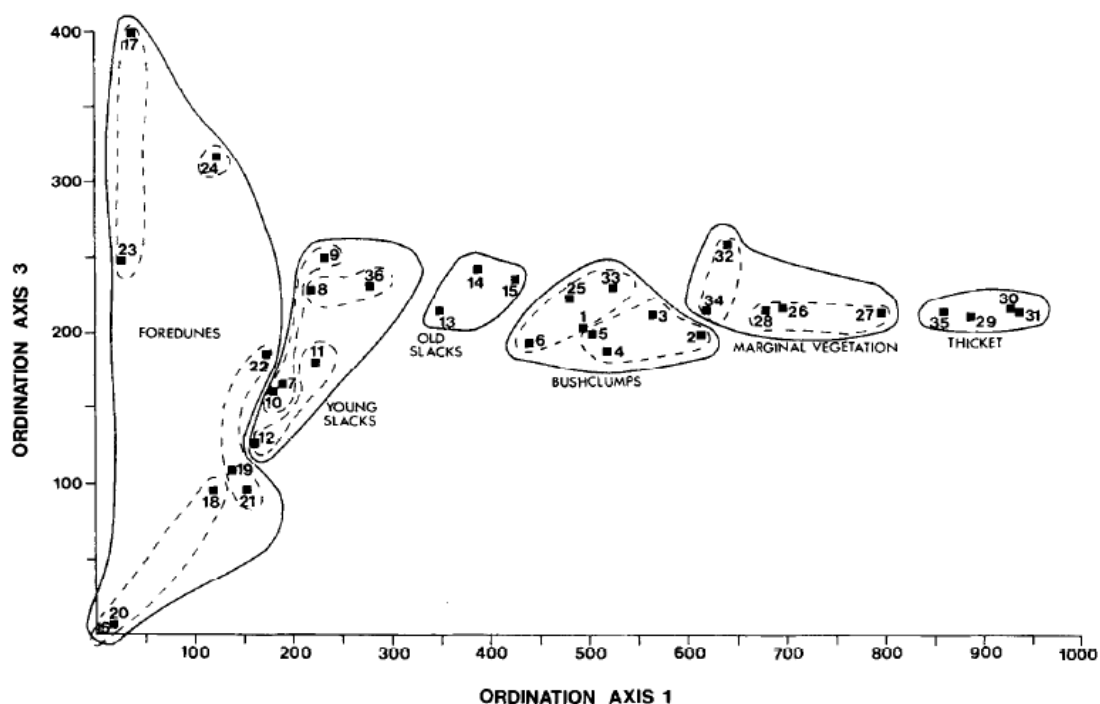
Parameters	Pioneer	Young Slacks	Old Slacks	Bushclumps	Thicket Margin	Thicket
Releve number	1 - 18; 20; 23; 24	7 - 12; 19; 21; 22; 36	13 - 15	1-6; 25; 33	26 - 28; 32; 34	29 - 31; 35
Total mean cover (%)	30.17±2.38	27.7±3.3	59.52±5.26	81.31±7.24	106.10±10.44	116.32±5.67
Species richness value	17	21	21	30	48	54
Mean number of species per releve	4.2±0.76	6.2±3.16	10.0±4.51	10.63±1.77	19.80±2.20	25.72±3.52
Simpson diversity	0.37±0.12	0.57±0.08	0.66±0.21	0.817±0.023	0.887±0.018	0.901±0.009
Simpson dominance	0.63±0.12	0.43±0.08	0.34±0.12	0.183±0.023	0.113±0.018	0.099±0.009
% Occurance of :						
Herbs (including succulents)	68	34	14	18	1	6
Grasses	22	34	25	1	21	18
Half-woody shrubs	5	1	68	69	32	14
Vines and creepers	5	0	0	12	24	7
Sedges and rushes	0	31	16	0	0	0
Trees	0	0	0	0	31	35

表六、六種的植物社會及其描述 (Avis and Lubke, 1996)

植物群落	描述
先趨植物社會 (Pioneer)	相對較低的平均覆蓋百分比、較低的歧異度和相對應的高優勢，整體缺乏喬木類物種而只擁有一點點的灌木；草本植物為這裏的優勢生活型，而禾本類植物同樣常見
年輕沙丘低地社會 (Young Slacks)	相對較低的覆蓋百分比和中高的歧異度；生活型相似於前濱沙丘，沒有喬木只有一點點灌木；然而草本植物還是優勢的生活型，最多數量的禾本類主要是由與 <i>Juncus kraussii</i> 和 <i>Vellereophyton vellereum</i> 共同生長的 <i>Sporobolus virginicus</i> 為主。
老年沙丘低地社會 (Old Slacks)	較高的總平均覆蓋、較多的灌木 (35.5%) 以及一點點的草本和禾本；歧異度相似於年輕的低地，但是每個樣區的平均物種數量較高。
灌木叢社會 (Bushclumps)	獨立且更複雜的植群區塊；其擁有較佳的總平均覆蓋、歧異度和物種豐富度；木質灌木為優勢，攀爬植物則首次出現；優勢物種包括灌木 <i>Passerina rigida</i> ， <i>Myrica cordifolia</i> 和 <i>Anthospermum littoreum</i> 。
邊緣雜木林社會 (Thicket Margin)	外觀相似於灌木叢社會，但植相比之更加複雜；優勢物種包括，爬藤植物 <i>Rhoicissus digitata</i> ，灌木植物 <i>Rhus crenata</i> 和 <i>Brachylaena discolor</i> ，喬木植物 <i>Sideroxylon inerme</i> 。
雜木林社會 (Thicket)	型態和植相最複雜的樣區，因此擁有最高的平均覆蓋、物種豐富度、每個樣區的物種平均數量、歧異度，以及最多數量的喬木類物種。雖然這區也有很多的常見灌木與喬木，但是其中有 27 個物種只出現在這個區域，因而更顯得此植物社會的特別。

## (二)、群落的動態

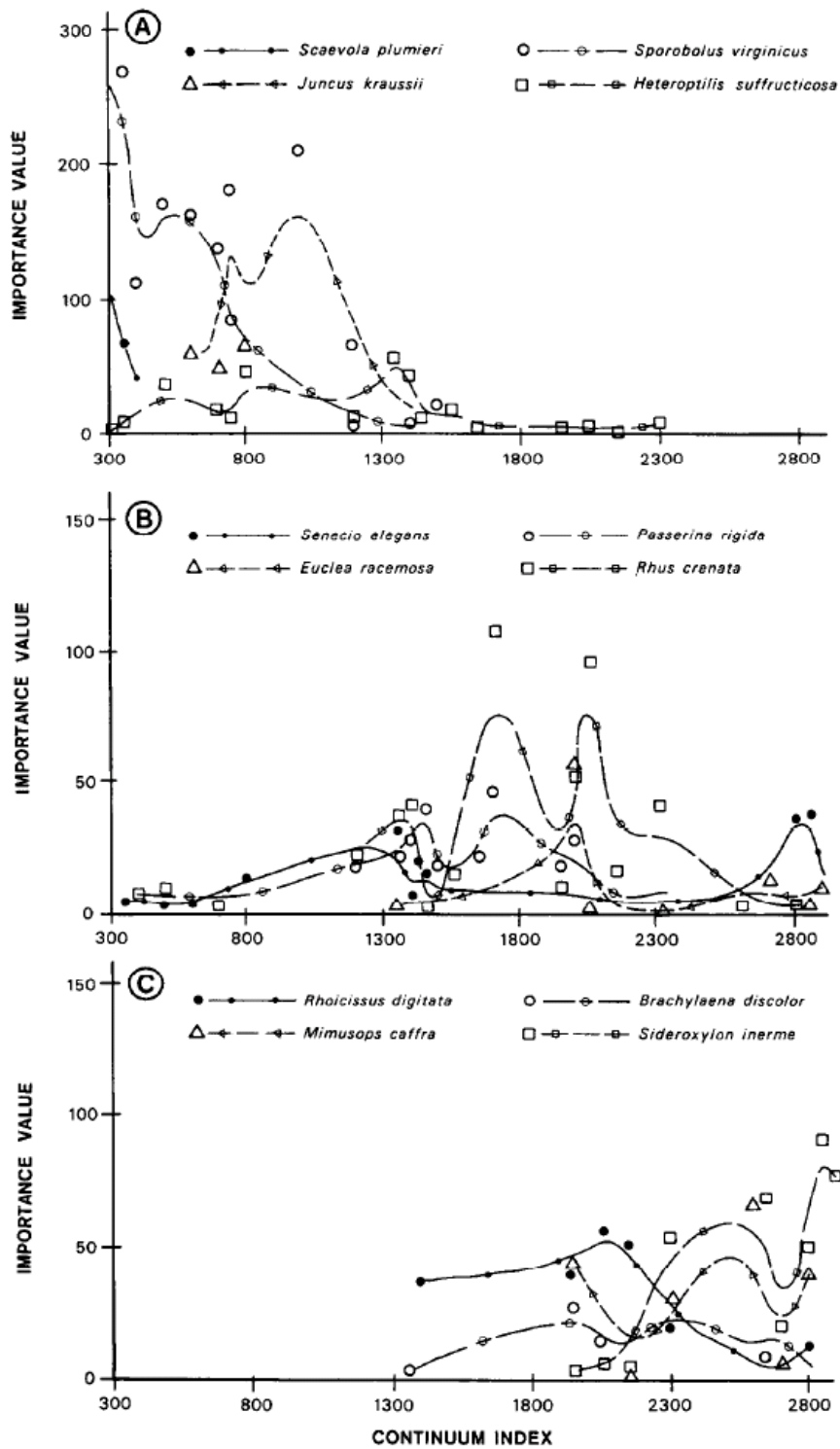
採用之前 TWINSPAN 所描述的分類群組，藉由 DECORANA 的排序結果，顯示植物社會的梯度明顯隨著離海距離愈遠而愈增加，依序分別稱為先驅植物社會、年輕沙丘的植物社會、老沙丘的植物社會、灌木叢植物社會、雜木林邊緣社會和雜木林群叢植物社會 (圖二)。沿著座標軸 1 可以發現一個從前濱沙丘到極盛植群的梯度。而各群組之間隨著由左到右的梯度，社會的複雜度、年齡和離海的距離都逐漸增加。座標軸 3 則代表物種歧異度和優勢度的梯度。



圖二 152 個使用 DECORANA 分析排序的樣區，顯示經過 TWINSpan 所分類的群組 (Avis and Lubke, 1996)。

(三)、在時間序列上的植相分布狀態

12 個特徵物種的重要值曲線突顯出了這些關鍵物種沿著時間序列上的分佈狀態(圖三)。先驅物種僅限制於一開始，而低地沙丘物種則為序列上的中間部份。較耐寒的物種擁有較廣泛的分佈，而沙丘雜木林物種只在晚期出現。早期研究的模式也指出，這個沿著演替序列方向改變的趨勢常依賴由自然所引起的干擾而轉變。



圖三 沙丘區域中 12 個鑑別物種的重要值和連續性指數 (continuum index) 的散佈圖。A 部分為沙丘和沙丘低地的拓殖植物；B 部分為沙丘矮灌木的物種；C 為極盛沙丘雜木林的物種 (Avis and Lubke, 1996)。

## 參、綜合討論

### 一、影響沙丘植物的環境因數

綜合三個案例所得到的結果，顯示影響沙丘植群動態的環境因數共有兩點，一個是砂粒的穩定程度，另一個則是土壤濕度的有效性。

在肯亞海岸沙丘的例子中，植物社會的主要區別可以根據沙粒的穩定程度。穩定沙粒的社會發生並建立在離海較遠的地形單元上，例如：化石前濱海岸沙丘脊；另外，不穩定的沙丘社會發生在靠近海的地形單元上，例如：海灘邊緣和無脊沙丘平臺。在兩種極端之間是混合的植物社會過渡地帶，為沙丘和半穩定沙丘的結合。這些就發生在同時擁有不穩定物種與穩定物種的帶狀越界沙丘上。因此，在決定沙丘植物的分佈上，沙粒的穩定性扮演了一個很重要的角色。這代表著任何在沙丘上的活動，只要是能增加沙粒不穩定性的，就會影響到植群的分佈 (Musila *et al.*, 2001)。

另外在南非的兩個例子中，則認為土壤溼度的有效性限制並決定了沙丘區域物種發展的區塊。土壤溼度與沙子的保水性、沙子在乾季時的移動性和地下水位的深度有關。前兩個因子取決於降雨量的協調性和強風在乾季的頻率 (強風能改變沙丘的微地形)。最後一個因子會影響水文的循環和季節性水位等級的最大最小範圍。例如在肯亞的雙子葉草本植物大多生長在低地、積水凹地和化石前濱沙丘脊，這些依據地下水位的環境形成了潮濕又穩定的低地或積水凹地。不過，低地的區域也有可能在一年的特定時段內有水池存在，但是在乾季卻會被沙子掩埋。這些非常態的因子在各個棲地 (低地沙丘的變動性高) 之間會造成土壤濕度有效性的減少 (Avis and Lubke, 1996)。

此外，在沙丘灌木叢由於有機物質的增加、減少了水因蒸發作用所造成的喪失以及增加了膠結層所攔截的雨水，使得我們可以預期土壤的濕度也會比沒有有機物質時來得高 (Avis and Lubke, 1996; Tinley, 1985)。例如在肯亞例子中的化石前濱沙丘脊上，就是因為擁有灌木、喬木和稠密低矮樹叢對於直射陽光所造成的遮蔭，所以形成了較濕潤的環境。

### 二、沙丘植物分佈與演替的關係

在肯亞的例子中顯示了不同生長型式適應不同環境的即時結果。其靠近海邊的地形單元：海灘邊原、無脊沙丘平臺和越界沙丘，孕育了以雙子葉草本和禾本的優勢先趨物種。在這裡的植物多具有地下莖或者匍匐莖，使其可以在這不穩定與變動的環境下生存。例如：匍匐狀的馬鞍藤 (*Ipomoea pes-caprae*) 和具有地下莖的 *Halopyrum mucronatum*。因為這裡離海最近，所形成的鹽霧、不穩定與易變動環境，使得這些植物必須具有耐鹽的特性以便能茂盛的生長在鹽份堆積的環境下 (Musila *et al.*, 2001)。

在南非的例子中，沙丘先驅族群擁有在演替上間接的促進作用；藉由初期前濱沙丘的發展，這些物種減少了飛沙和攔截了鹽沫，因此在潮濕的低地中創造出更適宜且受保護的棲息地，使得像是 *Scirpus nodosus* 的低地沙丘族群能夠入侵進駐。先驅物種能夠進駐前濱沙丘並在初期沙丘發展，甚至可能在沒有其他族群物種可以演替它們的情況下高度專業化地成長，直到它們不再是那麼特殊和專一為止。事實上，它們也許不能改變前濱沙丘的微環境，到一種足以使其他物種能夠充分入侵的適宜狀態，從這份和其他研究的證據看來，也只有沿著初階海岸線的前濱沙丘才能夠被後來的物種入侵與拓殖 (Avis and Lubke, 1996)。

總結來說，草本和灌木生長在接近海的地方，暴露在迎風面之下；灌木普遍出現在離海邊較遠的初期穩定沙丘上。在較內陸的地方，沙粒變得比較穩定，因此灌木與喬木在內陸比較有遮蔽的地方成為優勢種。因此在沙丘系統從海岸往陸地的方向上，我們依據地形單元的觀察，發現微環境或大環境之間的多樣性，導致植物社會的分布也存在著明變化 (Musila *et al.*, 2001)。這變化有些是具有自發性與方向性的，與低地沙丘扮演歧異度的中心和前濱沙丘保護中性濕地遠離鹽沫和飛沙等因子，所提供的間接促進作用有關。多種演替的可能途徑在這些系統中作用，反映了普遍存在的嚴苛環境狀態，但是在這個描述的層次，並不容易去做說明。然而，在時間序列上，促進作用模式依然為變遷的主要機制，例如東好望角的前濱沙丘在促進作用中就是扮演一個間接的角色。藉由減少飛沙和阻擋鹽沫，使位於他們後面的潮濕低地能受到更多的保護，使得中溼性的物種能在之後入侵生長。

海岸線的促進作用在前面的階段都比較直接，直到過去向海面的舊沙丘被一個新前濱沙丘的發展所保護，而低耐性的物種能夠入侵為止。因此在這個社會演替序列的假設上，植群的出現也能代表其生育地所相對應的地形單位年代。

#### 肆、結論

綜觀所有沙丘系統的自然植群，明確的植群帶狀改變發生在沙丘系統中從海岸到陸地內的地形單元變化裏。而且初期的沙丘都幾乎缺乏植物的覆蓋，接著則演替成移動沙丘，直到形成穩定的老年沙丘時，才幾乎擁有完整的植群覆蓋。若在沙丘生態系中決定移除地表上覆蓋的植群，則將同時減少陸生和水生棲地對於生命的承載能力。

在沙丘地景的管理上，前濱沙丘藉由減少沙礫移動與防護鹽霧侵襲，使得之後的區域能有一個較佳的庇護環境，因此前濱沙丘的保護一直是經營的重點。然而比起前濱沙丘，儘管沙丘低地的面積小並且呈現區域性的分佈，但他們扮演的角色仍是非常重要的，因為低地沙丘的表面穩定，讓較多種類

的物種能夠入侵，而成為歧異度的中心。使其成為先驅物植物社會和老年低地沙丘社會中間的過渡地帶，帶有兩個社會共同擁有的大量植物種，扮演著演替序列中重要的連結。因此在沙丘地景的管理上，若期望維持部份沙丘地帶植群的動態平衡時，前濱沙丘的角色和低地沙丘都必須被考慮。經營措施也應該注重在保護兩種不同的生育地上。

植物社會的分佈跟沙丘的動態和他們所生長的沙丘位置有關。這代表穩定的沙丘環境比起有自然週期性擾動的地方能支持更多的植物豐量和歧異度。而這些海岸線沙丘地區的植群動態平衡，對於像是人為的重度干擾十分敏感，因此必須針對這些生育地環境進行經營管理的保護。不過，是否要在沙丘地景建立一個較佳的棲地多樣性和保育價值，擁有非常大的爭議。但是，不論是考慮這個系統是否也需要操控，以增加它的功利價值，或者恢復從前自然的（例如：沙埋）或人為的（例如：踐踏）擾動，經營沙丘者都應該要注意沙丘植群的動態情況。

#### 伍、參考文獻

徐美玲、高華繪圖 (2007) 遠足圖解地理辭典。遠足文化。第 220~221 頁。

鄭元春 (1984) 台灣的海濱植物。度假出版社有限公司。第 8 頁。

Avis, A. M. and R. A. Libke (1996) Dynamics and succession of coastal dune vegetation in the Eastern Cape, South Africa. *Landscape and Urban Planning* 34: 237- 254.

Musila, W. M., J. I. Kinyamario and P. D. Jungerius (2001) Vegetation dynamics of coastal sand dunes near Malindi Kenya. *Africa Journal Ecology* 39:170-177.

Tinley, K. L. (1985) Coastal dunes of South Africa. S. A. National Scientific Programmers. Report No. 109. CSIR, Pretoria, 300pp.