Tunghai Science Vol. 11: 01-13
July, 2009

墾丁高位珊瑚礁森林樹冠之不對稱性初探

林葭瑀[1]、林宜靜[2*]

1 國立台灣大學生態與演化生物學研究所

2 東海大學生命科學系

* 通訊作者：407 台中市西屯區台中港路 3 段 181 號
東海大學生命科學系
E-mail：linyc127@thu.edu.tw

摘要

風是影響樹木生長的重要因素之一，恆春半島森林長期受東北季風吹襲，可能導致單一樹冠在迎風與背風方向，枝條生長速率不一，而使樹冠呈現不對稱。樹冠之不對稱性可能會影響倒樹發生之頻率與方向，進而顯著地影響森林的長期動態。本研究評估墾丁高位珊瑚礁森林內樹冠之不對稱程度，並探討樹冠偏離方向與季風方向之關係。作者於 2006 年 2 月間，在墾丁高位珊瑚礁森林保留區內 10 公頃森林動態樣區中，沿步道每隔十五公尺，記錄胸高徑最大樹於東、南、西與北方四個方位之樹冠半徑，繪製樹冠圖，估算「樹冠不對稱指數」。結果顯示，15 棵樹之樹冠呈顯著之不對稱現象，但並未朝特定方向偏離。如此，落山風並非造成樹冠不對稱的主要因子，樹冠之不對稱現象可能受季風以外的其他因子影響。

關鍵詞：不對稱性、循環統計、樹冠、墾丁高位珊瑚礁自然保留區、季風

1. 前言

恆春地區每年十月至次年四月，強勁的東北季風吹拂，俗稱「落山風」。恆春半島森林生態系之組成、結構與動態深受東北季風影響（陳和陳，2003、陳和張，2006)。已有許多研究，由植物群落結構（謝1990）、生理生態（郭和李，2003)、森林動態（趙，2001）與能量循環（劉，1994）等各角度，討論東北季風對恆春半島森林生態系之影響。一般而言，東北季風導致迎風面森林樹木密度高、低矮與多樣性低等特色（Sun and Hsieh 2004）。然而，少有研究探討東北季風對樹冠形態的影響，樹冠的形狀，不但可能影響林木之生理特性，亦可能影響森林之長期動態（Young and Hubbell 1991）。

長期受東北季風吹拂，迎風與背風方向之枝條可能因生長速度不同，而呈現不對稱之形態（asymmetry）。樹冠不對稱之樹木，可能因重量與結構不平均而較易倒下，導致森林孔隙（canopy gaps的產生（Young and Hubbell 1991）。而位於森林孔隙周圍的樹木可能進一步因光線分布不平均，朝向孔隙的方向生長，其樹冠亦呈不對稱性，向較重的一方，即孔隙方向倒下（Young and Hubbell 1991）。如此樹冠之不對稱可能導致倒木之發生非隨機，而傾向於同一點重複的發生（Kubo *et al.* 1996，Lin *et al.* 2004）。

本研究在於評估墾丁高位珊瑚礁森林樹冠之不對稱程度，並探討樹冠偏離方向與落山風方向之關係。本研究可作為未來評估倒木發生原因之依據，以進一步討論影響高位珊瑚礁森林長期動態之因子。

2. 材料與方法

2.1 試驗地概述

墾丁高位珊瑚礁自然保留區位於屏東縣恆春鎮東南方 (東經 120°48’ 北緯 21°58’)，海拔約在 200-30公尺之間（圖 1a)。年均溫約 25 ℃，年平均雨量為 1967 公厘，降雨集中在 6 月到 9 月，氣候乾濕季分明，屬海洋性熱帶季風氣候。每年 7 月到 9 月常受颱風侵襲，時而兼有大雷雨，11 月到隔年 4 月東北季風盛行，俗稱落山風。

樣區內遍佈石灰岩洞穴及隆起珊瑚礁岩，呈現南北縱軸走向，其地形高低起伏高達80公尺（圖1b）。林業試驗所與東海大學於1996年，於保護區內設立一個10公頃的森林永久樣區（圖1b）。植物相以柿樹科（Ebenaceae）、大戟科（Euphorbiaceae）及桑科（Moraceae）為主，重要樹種包括黃心柿（*Diospyros maritima* Blume）、茄苳（*Bischofia javanica* Bl.）、鐵色（*Drypetes littoralis* (C. B. Rob.) Merr.）、皮孫木（*Pisonia umbellifera* (Forst.) Seem.）與咬人狗（*Dendrocnide meyeniana* (Walp.) Chew）等（王等，2004）。王等（2004）使用雙向指標種分析（Twinspan）將此動態樣之植物社會與生育地區分為四大類：1)皮孫木型於凹陷谷地，2) 茄苳-大葉山欖-柿葉茶茱萸型於隆起台地，3) 鐵色-紅柴-樹青-月橘型於隆起岩塊，4) 蟲屎-血桐-土楠型分布

於平坦谷地。

2.2 風速與風向

恆春半島之風速與風向乃由中央氣象局恆春測候站資料估算。自中央氣象局網站（http://www.cwb.gov.tw/），蒐集 1998 年至 2005 年間，恆春地區每月最大風速（m/s）及風向。1998 年至 2005 年間，墾丁地區每月之最大風速以九月至次年三月爲高，可達每秒 12 公尺（圖 2），七月份的風速亦大，可能受颱風影響；九月至次年五月間之風向爲東北向（圖 3）。

2.3 樹冠不對稱性評估

於永久樣區內沿步道，每十五公尺選擇胸高徑最大之樹（表 1），測量東、南、西、北四個方位樹冠邊緣與樹幹之距離（單位：公尺），並記錄胸高徑（diameter at breast height, DBH）、樹木編號與種類。其中，白榕（*Ficus benjamina* L.）與正榕（*Ficus microcarpa* L. f.）之分枝繁雜，難以區分主要樹冠位置，因而排除於取樣之外。

樹冠中心位置，定義爲樹冠之質心，其座標乃根據循環統計（circular statistics）原則計算而得（Batschelet 1981），而樹冠之形狀，則利用 ArcGIS 9.0（ESRI 2002）繪製。於每棵樹之樹冠圖中，連接樹幹與質心位置，藉此畫出中垂線，延伸中垂線將樹冠切割成兩區，分別計算兩區之面積（圖 4）。將較大區域面積與全部面積的之比值定義爲「樹冠不對稱指數」(crown asymmetry index)，作爲樹冠不對稱程度之指標（Young and Hubbell 1991）。若樹冠不對稱指數等於 0.5，樹冠爲完全對稱。樹冠不對稱指數愈高樹冠不對稱程度愈高。單樣本 *t* 檢定（one sample *t* test）用於檢定樹冠不對稱指數是否顯著的偏離 0.5，即樹冠是否顯著不對稱， *t* 檢定之虛無假設爲樹冠形狀爲對稱（crown asymmetry index = 0.5）。我們並利用拔靴法（bootstrap）計算樹冠不對稱指數之 95%信賴區間（Efron and Tibshirani 1993）。最後，由 Rayleigh test of uniformity 決定樹冠之偏離是否具有方向性（Batschelet 1981），Rayleigh test of uniformity 之虛無假設爲樹冠的偏離方向爲逢機。

3. 結果

2006 年 2 月間，於墾丁高位珊瑚礁森林保留區，測得樹木 15 棵。此 15 棵樹木之胸高徑介於 19.6 與 78.9 公分間，平均胸高徑爲 43.6 公分，屬於八個物種（表 1）。

樹冠不對稱指數平均爲 0.66 ± 0.12，拔靴法所得之信賴區間上、下界爲 0.61 與 0.73。樹冠呈現顯著的不對稱性（$t = 5.99$，$p < 0.001$）。樹冠方向以偏向東南或西南較常見（圖 5），但 Rayleigh test of uniformity

之結果顯示，樹冠偏斜並無方向性（p =0.14）。

4. 討論

由結果得知，高位珊瑚礁森林中樹冠的確呈高度不對稱性，但偏離之方向卻不固定，不符合「樹冠不對稱性受落山風影響」之假說。推測樹冠之不對稱性可能受其他因子影響，落山風非主要因子。

本研究中所觀察到的樹冠不對稱性，可能反應林木周邊的環境，如光線、土壤之不均勻分布（許等，2004），或可能由相鄰林木之競爭所造成。由於實驗區內珊瑚礁岩塊林立，這些珊瑚礁岩塊，可能造成樹木生長障礙，而使近礁岩側之枝條生長受到限制，而使谷地側之枝條生長狀況較佳，而形成樹冠之不對稱性。

此外，本實驗地林立之珊瑚礁岩塊，可能成爲障礙物，破壞風的剖面，造成風向的不一致，因而減弱風的影響。Kruijt *et al.*（1995）發現當風通過不同介面時，會產生亂流，干擾原本固定的風向與風速而亂流影響的範圍，可達樹冠高度的十倍。墾丁高位珊瑚礁森林之樹冠約 15 公尺（林等，未發表資料），如此，對單一珊瑚礁岩塊而言，亂流的影響可達 150 公尺。本區珊瑚礁岩塊綿延不絕，岩塊間之距離又遠小於 150 公尺，因此，整個動態樣區可能均受到亂流的影響，導致季風的影響，缺乏一致的方向。

未來將針對優勢樹種，全面取樣，以降低種間差異，並將比較不同棲地間，樹冠不對稱性的方式，以評估樹冠不對稱性的發生原因。另外，此地生長環境特殊，各樹種是否因此而發展出不同的生存策略，形成不同樣貌的樹冠，皆有待近一步之研究，藉此全面了解森林動態。

5. 誌謝

作者感謝中央氣象局提供氣象資料，高雄醫學大學經費支持，高雄醫學大學林彥宏、江庭蔚、王牧芸、任永旭等同學協助野外工作，林業試驗所王相華博士提供樹木基本資料與仲琦科技郭玫君小姐協助 ArcGIS 使用。

6. 引用文獻

[1] 王相華、孫義方、簡慶德、潘富俊、郭紀凡、游孟雪、伍淑惠、古心蘭、鄭育斌、陳舜英、高瑞卿。2004。墾丁喀斯勒森林永久樣區之樹種組成及生育地類型。台灣林業科學，19: 323-335。

[2] 許正一、王相華、伍淑惠、張英琇。2004。墾丁高位珊瑚礁自然保留區土壤之化育作用與分類。台灣林業科學，19: 153-164。

[3] 陳朝圳、張瑋尹。2006。東北季風對立木外部形態之影響。台灣林業，32: 45-53。

[4] 陳朝圳、陳正華。2003。以地景生態理論探討東北季風對南仁山森林生態系之影響。中華林業季刊，36: 311-318。

[5] 郭耀綸、李彥屏。2003。台灣南部南仁山迎風與背風分布樹種葉片耐脫水能力及比葉重的比較。台灣林業科學，18: 283-292。

[6] 趙國容。2001。南仁山低地雨林木本植物社會之短期動態。國立台灣大學植物學研究所碩士論文。

[7] 謝宗欣。1990。南仁山區亞熱帶雨林樹種的組成和分佈類型。國立台灣大學植物學研究所碩士論文。

[8] 劉湘瑤。1994。南仁山區亞熱帶雨林凋落物量及其養分含量之研究。國立台灣大學植物學研究所碩士論文。

[9] Batschelet, E. (1981) Circular statistics in biology. Academic Press, London.

[10] Efron, B., and Tibshirani. R. J. (1993) An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall, New York.

[11] ESRI (2002) ArcGIS 9.0. Environmental Systems Research Institute, Redlands, California, USA.

[12] Kubo T., Iwasa, Y., and Furumoto, N. (1996) Forest spatial dynamics with gap expansion: Total gap area and gap size distribution. *Journal of Theoretical Biology* **180**, 229–246.

[13] Kruijt B., Klaassen, W., and Hutjes, R. W. A. (1995) Edge effects on diffusivity in the roughness layer over a forest. Pages 60-70 *in* Coutts, M.P. and Grace, J. editors. *Wind and Trees*. Cambridge University Press, Cambridge.

[14] Lin, Y., Hulting, M. L., and Augspurger, C. K. (2004) Causes of spatial patterns of dead trees in forest fragments in Illinois. *Plant Ecology* **170**, 15–27.

[15] Sun, I. F., and Hsieh., C. F. (2004) Nanjenshan forest dynamics plot, Taiwan. Pages 564-573 *in* Losos, E. C., and Leigh, Jr., E. G. editors. *Tropical forest diversity and dynamism: Findings from a large-scale plot network*. University of Chicago Press, Chicago.

[16] Young, T. P., and Hubbell, S. P. (1991) Crown asymmetry, treefalls, and repeat disturbance of broad-leaved forest gaps. *Ecology* **72**, 1464-1471.

表 1：墾丁高位珊瑚礁自然保留區內，15 棵樣木之基本資料，包含樹種名稱與胸高徑。

樹種	學名	胸高徑（公分)
皮孫木	*Pisonia umbellifera*	78.9
皮孫木	*Pisonia umbellifera*	60.3
稜果榕	*Ficus septica*	22.0
皮孫木	*Pisonia umbellifera*	77.6
大葉山欖	*Palaquium formosanum*	30.9
黃心柿	*Diospyros maritima*	23.5
黃心柿	*Diospyros maritima*	20.1
茄苳	*Bischofia javanica*	61.5
茄苳	*Bischofia javanica*	31.4
茄苳	*Bischofia javanica*	63.1
無患子	*Sapindus mukorossii*	33.8
皮孫木	*Pisonia umbellifera*	19.6
山埔姜	*Vitex quinata*	39.0
皮孫木	*Pisonia umbellifera*	58.7
大葉楠	*Machilus japonica*	34.1

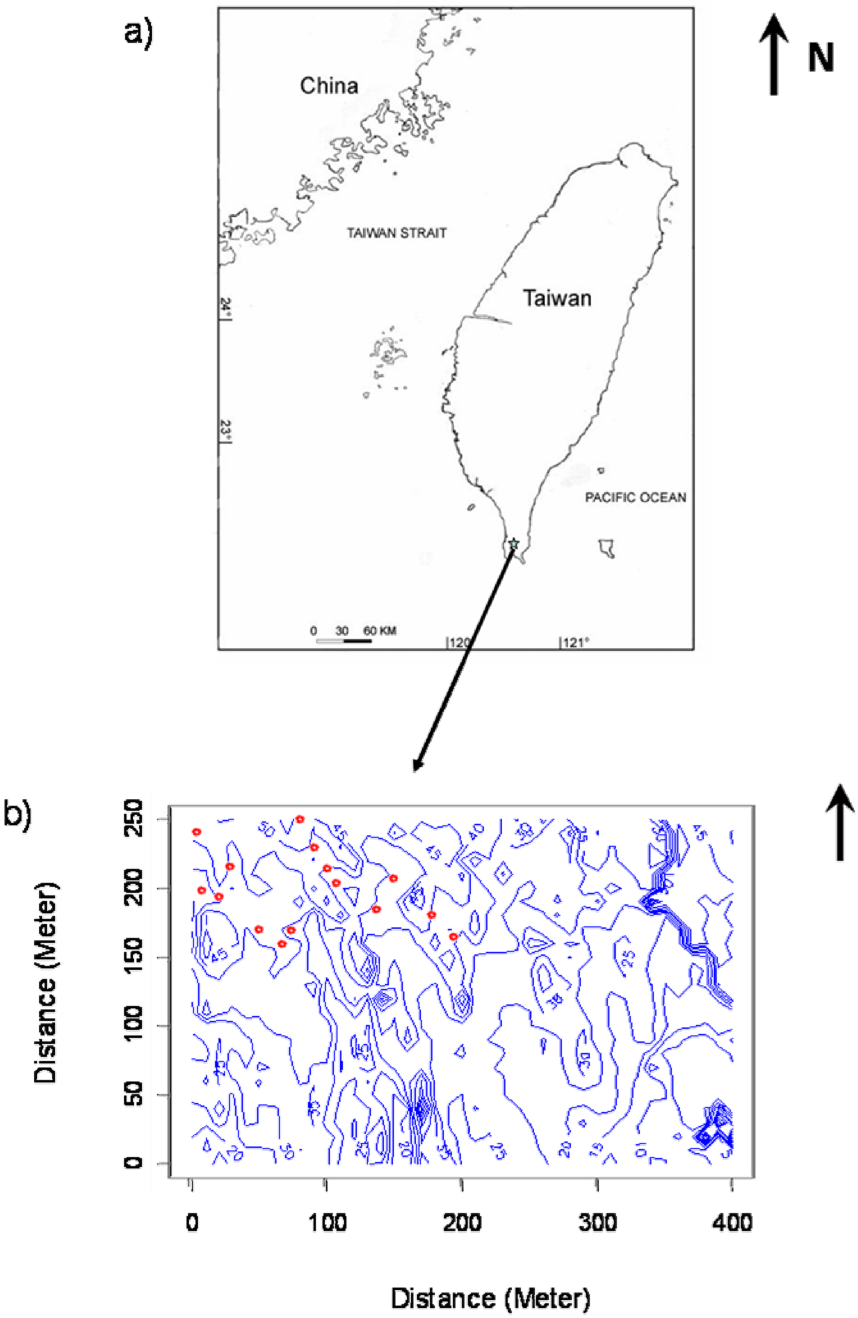

圖 1：a) 墾丁高位珊瑚礁森林保護區之位置圖，b) 墾丁高位珊瑚礁森林動態樣區之地形圖，背景爲 5 公尺之等高線圖，圓點爲 15 棵樣樹位置（資料來源：王等，2004）。

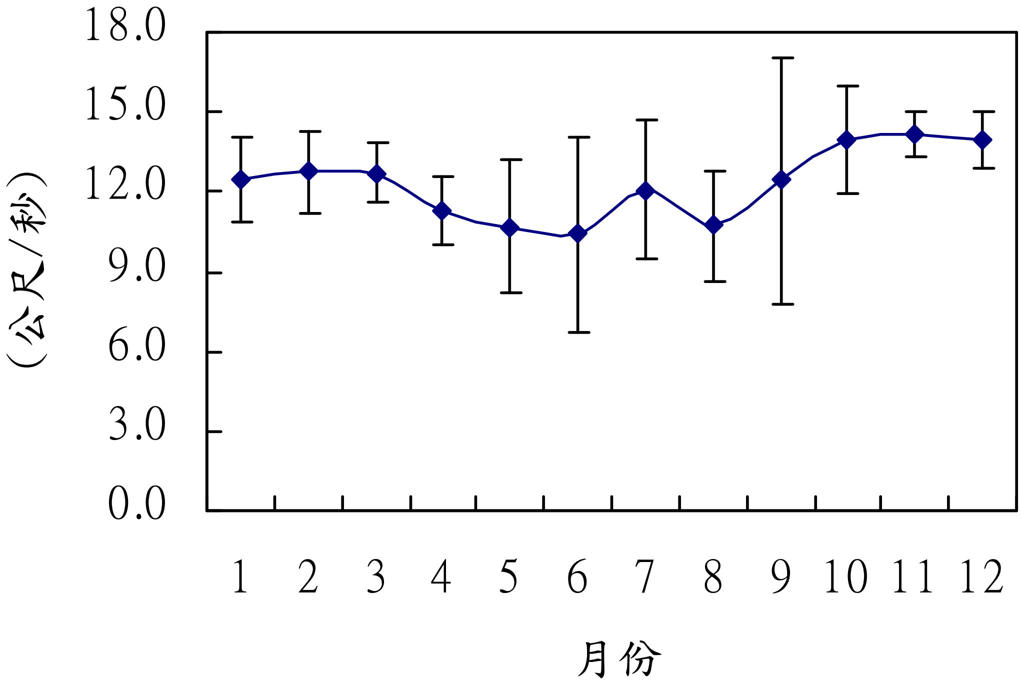

圖 2：自 1998 至 2005 年間，墾丁地區每月之最大風速平均值與標準差。

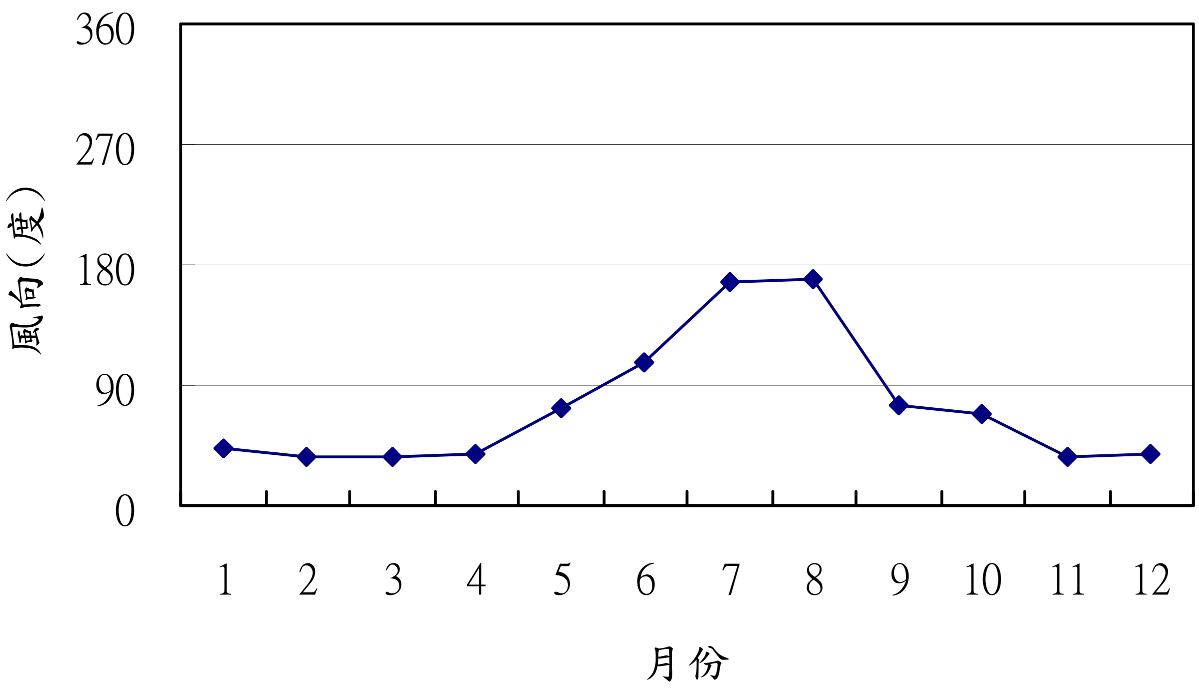

圖 3：自 1998 至 2005 年間，墾丁地區每月之平均風向，圖中數值爲與正北方之角度。

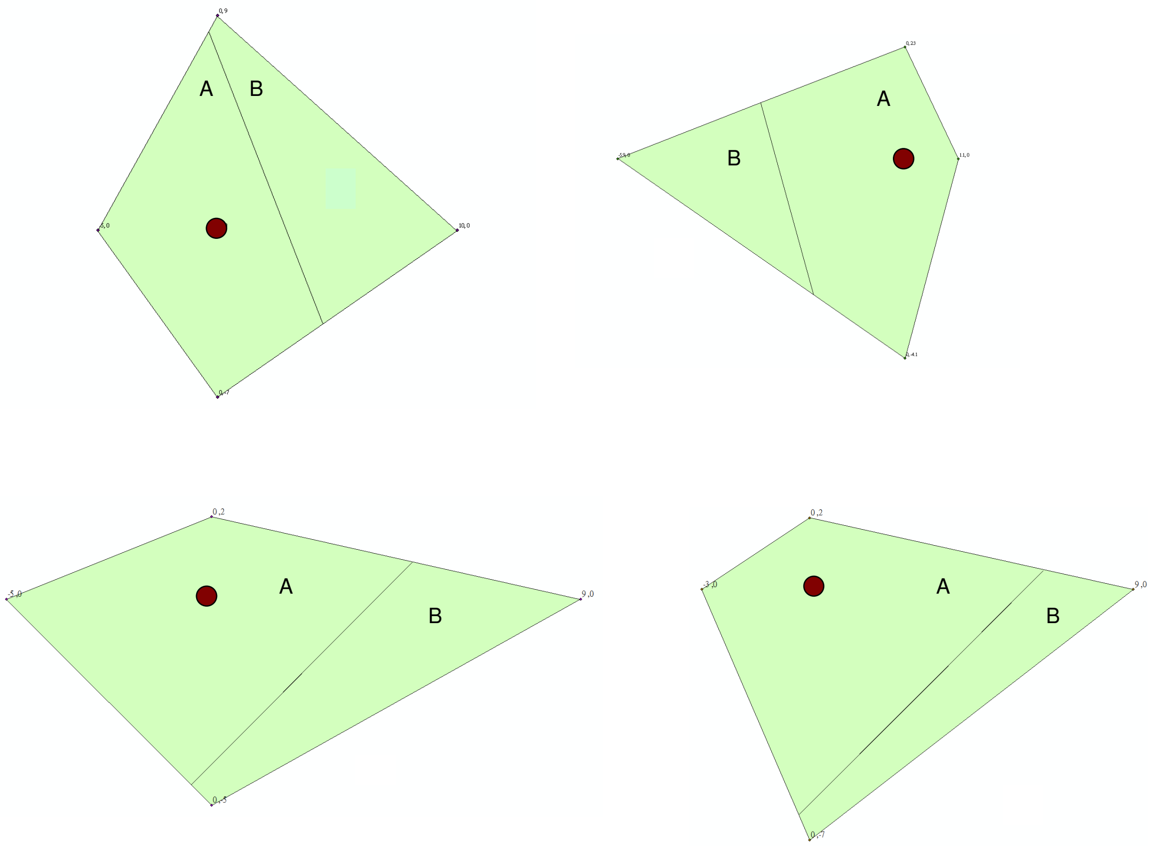

圖4：墾丁高位珊瑚礁森林中，4棵樣樹之樹冠圖。圓形記號爲樹幹位置，作爲原點。以原點與中心連線之中垂線切割整體，分出大塊面積(A)及小塊面積(B)。大塊面積與全部面積之比值，即定義爲「樹冠不對稱指數」。

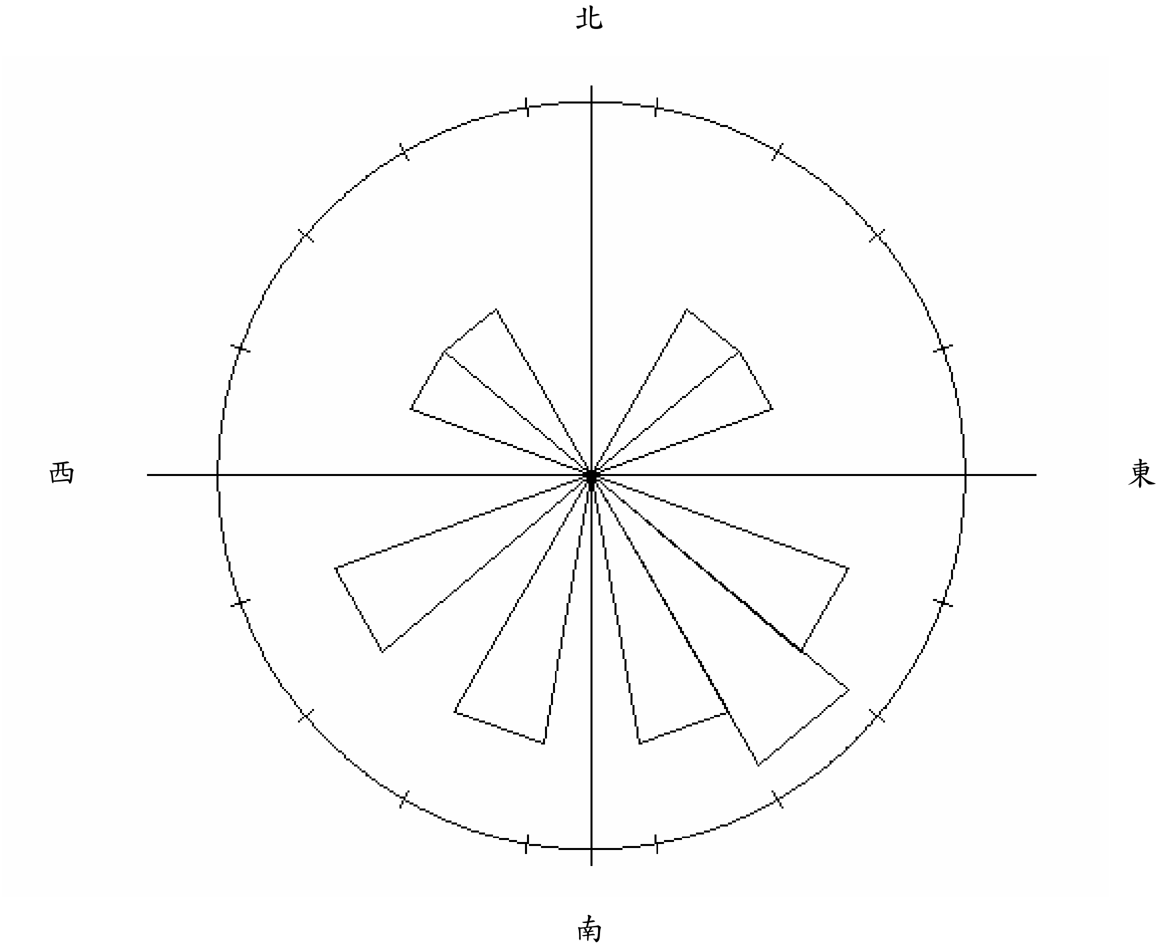

圖 5：墾丁高位珊瑚礁森林，15 棵樹木樹冠偏移方向之頻度分佈圖。將 360 度區分成 18 個方向，錐形符號代表樹冠沿著該方向偏移之頻度。

Crown asymmetry in the Kenting Uplifted Coral Reef Forest

Abstract

Monsoons play an essential role in determining the structure, composition, and dynamics of forest ecosystems in the Hengchun Peninsula. Branches in windward and leeward sides of the crown may grow at unequal rates and result in crown asymmetry. Such asymmetry may further impact the frequency and directions of treefalls, thus casting significant impacts on long-term forest dynamics. The objective of this study is to evaluate the degree of crown asymmetry and its relationship to the directionality of monsoons in a tropical forest in the Kenting Uplifted Coral Reef Nature Reserve. We measured crown radii in four cardinal directions (North, East, South, and West) of fifteen canopy trees along a trial in the Kenting Forest Dynamics Plot in February, 2006. Crown asymmetry indices of these fifteen trees were estimated from crown radii. The results indicate that tree crowns of these fifteen trees are significantly asymmetric, but are not skewed towards a certain direction. Thus, the results suggest that monsoons are not the most important factor determining the shape of tree crowns. Crown asymmetry may be generated by factors other than prevailing monsoons in the Kenting area.

Key words: Asymmetry, Circular statistics, Crown, Kenting Uplifted Coral Reef Nature Reserve, Monsoons