

代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第三期

太魯閣國家公園管理處委託研究報告（一百年度）

『代表性生態系之蘇花海岸生態系
長期生態研究網計畫第三期』

太魯閣國家公園管理處
委託研究報告

中華民國一百年十二月

本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見

國科會 GRB 計畫編號：100301020400G1005

『代表性生態系之蘇花海岸生態系 長期生態研究網計畫第三期』

受委託者：國立東華大學

研究主持人：張世杰

研究助理：鍾欣民

太魯閣國家公園管理處 委託研究報告

中華民國一百年十二月

本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見

目次

目次	I
表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第二章 研究緣起與背景	3
第一節 蘇花海岸生態系的重要非生物環境因子	3
壹、 氣象因子	3
貳、 化學環境因子	4
第二節 環境逆境對植物生態生理學特性的影響	4
第三節 本研究計畫的具體目標	5
第三章 研究方法	7
第一節 雲霧覆蓋的監測	7
第二節 雨水與霧水的化學分析	7
第三節 植物的逆境植物生態生理學特性研究	7
壹、 葉片反射光譜	7
貳、 葉片型態特性	8
參、 量測計畫	8
第四章 結果與討論	9
第一節 雲霧覆蓋	9
第二節 雨水化學	14
第三節 植物生理生態學特性	17
壹、 葉片型態	19

貳、	葉綠素含量.....	22
參、	葉片反射光譜特性.....	27
肆、	綜合討論.....	36
第五章	結論與建議.....	37
第一節	結論.....	37
第二節	建議.....	37
致謝		38
附錄 1: 太魯閣國家公園 100 年度委託研究「代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第三期」	期中報告會議紀錄	39
附錄 2: 太魯閣國家公園 100 年度委託研究「代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第三期」	期末報告會議紀錄	43
參考文獻		47

表次

表 1：以 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 衛星影像分析太魯閣國家公園雲霧覆蓋率。	9
表 2：太魯閣國家公園雨水主要離子濃度的海拔梯度。	15
表 3：太魯閣國家公園主要離子沈降量、總沈降量、以及體積加權平均離子濃度。	16
表 4：植物生理生態學量測植物種類及代碼。	18
表 5：太魯閣國家公園內，植物生理生態學研究樣點和各樣點所量測的植物種類。	18

圖次

圖 1：以 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 衛星影像分析太魯閣國家公園雲霧覆蓋率。	11
圖 2：以 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 衛星影像分析太魯閣國家公園雲霧覆蓋率。	12
圖 3：以 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 衛星影像分析太魯閣國家公園雲霧覆蓋率的 季節變化。.....	13
圖 4：植物葉片比葉重(LMA)隨海拔高度的變化趨勢。.....	20
圖 5：植物葉片比葉重(LMA)隨海拔高度的變化趨勢。.....	21
圖 6：植物葉片葉綠素含量(單位質量)隨海拔高度的變化趨勢。.....	23
圖 7：植物葉片葉綠素含量(單位質量)隨海拔高度的變化趨勢。.....	24
圖 8：植物葉片單位葉面積葉綠素含量隨海拔高度的變化趨勢。.....	25
圖 9：植物葉片單位葉面積葉綠素含量隨海拔高度的變化趨勢。.....	26
圖 10：大葉洩疏(<i>Deutzia pulchra</i>)葉片反射光譜。.....	28
圖 11：刺柏(<i>Juniperus formosana</i>)葉片反射光譜。.....	29
圖 12：植物葉片 Chl NDI 隨海拔高度的變化趨勢。.....	31
圖 13：植物葉片 Chl NDI 隨海拔高度的變化趨勢。.....	32
圖 14：植物葉片 Chl NDI 與葉片單位面積的葉綠素含量單位面積的葉綠素含量相關 分析。.....	33
圖 15：植物葉片 PRI 隨海拔高度的變化趨勢。.....	34
圖 16：植物葉片 PRI 隨海拔高度的變化趨勢。.....	35

摘要

關鍵詞：海岸生態系，衛星影像，大氣沈降，反射光譜，逆境

研究緣起

海岸生態系是地球上生產力最高的生態系，為人類提供豐富的各種生態系服務。根據過去的研究，太魯閣國家公園的蘇花海岸具有獨特的地形景觀和珍貴的生物資源，堪稱台灣最珍貴的海岸之一，也因此是重要的保育熱點。從外觀看來，蘇花海岸生態系擁有茂密的植被覆蓋，然而此處的植物卻必須面對許多嚴苛的環境因子，包括強風、鹽沫沈降、以及由於雲霧及高山阻擋所造成的較低日輻射量。這些海岸生態系的植物如何適應逆境，是我們了解蘇花海岸生態系的最重要科學問題，當然也是保育此生態系的最重要科學基礎。本研究除將延續前 2 年的部分研究項目，對雲霧覆蓋、大氣沈降進行持續分析，也將對蘇花海岸植物進行光合作用生理生態學的研究，以探討海岸植物的適應機制。

研究方法及過程

1. 雲霧的衛星影像分析：以 MODIS Aqua 和 Terra 衛星影像進行分析。以 band 1 的可見光波段進行反照率的計算，以估算蘇花海岸地區及太魯閣國家公園的雲霧覆蓋率，以及覆蓋率的季節變異。
2. 霧水及雨水化學：每 2 週至樣區採樣，進行主要離子的化學分析及沈降量的計算。
3. 以反射光譜儀在野外量測葉片 400 - 1100 nm 的反射光譜，計算光合作用相關的指標，同時進行葉片型態及葉綠素含量的分析，以探討海岸植物的光合作用特性。

重要發現

1. 海岸地區的雲霧覆蓋率高於太魯閣國家公園全區，下午的雲霧覆蓋率高於上午。雲霧覆蓋率在春季及秋季最高，夏季最低。
2. 海岸地區的雨水有極高的 Cl^- 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Mg_2^+ 等離子，其濃度遠高於中海拔及高海拔地區。大量的離子沈降量，將造成海岸生態系的鹽分及水份逆境。
3. 海岸地區植物葉片的比葉重較高，葉綠素濃度較低。葉面反射率遠高於其他海拔地區，以避免過高日輻射輸入。葉片的 Chl NDI 指數與葉綠素濃度有顯著相關，應可作為葉綠素濃度的有效指標。PRI 指標在海岸植物與中低海拔地區相當，顯示海岸植物的光合作用光系統效率沒有特別的變異。
4. 本研究提出海岸生態系植物的適應假說：高鹽分輸入造成的水份逆境，並未對海岸植物造成嚴重傷害，原因是海岸植物葉片有極高的葉片反射率，同時接近中午開始的高度雲霧覆蓋率，使植物降低蒸散需求，因而可以在海岸地區生存。

立即可行建議

目前蘇花海岸生態系的植物應已適應海岸地區的環境，尤其是具有高反射率的這項適應機制。若有在蘇花海岸進行植栽的需求，應盡量取材自海岸地區的天然或人工栽植的小苗。

中長期建議

1. 為了更清楚瞭解海岸生態系植物的適應機制，應更進一步進行植物水份生理學的研究工作。
2. 本研究所進行的大氣沉降、雲霧覆蓋、以及植物生理生態學的量測工作，應持續進行，已獲取更明確的結論。
3. 本研究所獲取的海岸生態系特性，以及海岸植物的適應機制，可適度編入蘇花海岸地區的生態解說教材。

Abstract

The coastal ecosystem of Taroko National Park might represent the most unique piece of the coastal line in Taiwan due to its marvelous topography and valuable natural resources. In the previous study we have identified the significant environmental factors that might stress the coastal plants, which include the strong winds, the high ion deposition caused by salt spray, and the low solar radiation caused by the frequent cloud coverage. How could the coastal plants of the Taroko National Park survive under these harsh conditions remained as an unknown question. The objective of this study was to characterize their ecophysiological properties that might explain the adaptive mechanism. We continued the monitoring program of atmospheric deposition at the coastal plot as well as the other two plots at middle and high altitude in the National Park. The pH, electrical conductivity, and the main ion concentrations were measured biweekly. The determination of cloud coverage for the coastal area was done by analyzing the daily satellite pictures of MODIS-Terra and MODIS-Aqua. The criterion of cloud cover was the albedo larger than 0.3 of Band 1. The ecophysiological properties of photosynthesis were measured by a portable spectral analysis system. Indices related to photosystem efficiency and photosynthetic pigments were calculated. The chlorophyll concentration of leaves and the leaf mass per area were determined. All of the measurements were done for three plant species having cross-altitudinal distribution and for three other coastal plants.

The results showed that the coastal area received significantly higher atmospheric depositions of ions, which might result in a high water stress for the coastal plants. The cloud coverage of the coastal area was significantly higher than that of the whole area of the National Park. The cloud coverage was higher in the afternoon than in the morning. The leaf mass per area was higher and the chlorophyll concentration was lower for the coastal plants. The reflectance in the 400 – 1100 nm range was higher for the coastal plants, indicating that the plants avoid transpiration demand and water stress by reducing the absorption of shortwave radiation.

A hypothesis was addressed according to the findings of this study: the coastal plants in the Taroko National Park have adapted to the environment of high water stress by enhancing the reflectance of the shortwave radiation. The high cloud coverage in this area reduces the transpiration demand, thus further reduce the risk of wilting. Further work on the soil water condition and the sap flow will be needed to test it.

第一章 緒論

全球海岸線長度超過 1.6×10^6 km，在海岸線兩側的潮間帶，以下的大陸棚區，以及以上的緊鄰的陸地，統稱為海岸生態系 (coastal ecosystems) (Burke et al., 2001)。海岸生態系是地球上生產力最豐富的生態系，為人類提供了珍貴的生態系服務 (ecosystem services) 與生態系財貨 (ecosystem goods)。由於其豐富的自然資源與方便的可及性，使其也成為最受人類活動與環境變遷威脅的生態系 (Hassan et al., 2005)。本研究所探討的海岸生態系，僅限於陸地的部分。

太魯閣國家公園範圍內的蘇花海岸，北起和仁溪口，南至崇德隧道，長約 9 km。雖然長度極短，但這個海岸線卻以其緊臨太平洋的陡峭山勢聞名。此海岸最高的清水山 (2408 m a.s.l., $24^{\circ}14' N$, $121^{\circ}39' E$)，與海岸之間的平均坡度高達 35° ，而局部斷崖地形更幾近垂直。如此特殊的地形條件，使得蘇花海岸生態系的大部分區域，得以不受人類干擾而保有自然的狀態。為了保護這個特殊的生態系統，此區被納入於 1986 年成立的太魯閣國家公園的範圍內，使得此生態系除了沿蘇花海岸開闢的蘇花公路與北迴鐵路路廊之外，絕少有人為的干擾。

面對這個極為珍貴的天然海岸生態系，除了保護措施之外，積極地進行生態系的研究工作，將更能讓我們瞭解此生態系的運作機制，進而能採取更好的經營管理策略，以使其能永續長存。生態系的研究包含面向極廣，根據 Smith (1989) 的看法，生態系可以從 3 個面向來定義，分別是：

- 組成份子 (components)：包括無機物質 (inorganic substances)、有機物質 (organic substances)、氣候 (climate)、生產者 (producers)、消費者 (consumers)、與分解者 (decomposers)。
- 結構形式 (structural patterns)：包括食物網 (food web)、多樣性 (diversity: species variation in space)、以及演替 (succession: species variation in time)。
- 功能 (functional processes)：能量流動 (energy flow)、以及生物地球化學循環 (biogeochemical cycling)。

由上可知，我們對生態系組成動植物的物種調查，僅為認識一個生態系的一部份工作而已。對於生物的物理、化學環境的認識，包括氣候條件與土壤條件等，才算對生態系組成份子有較完整的瞭解。進一步而言，這些組成份子在時間與空間上的結構與變化，以及隱含於其中的能量與物質循環，也就是生態系的結構與功能，是我們深入瞭解生態系運作的必要知識。

基於蘇花海岸生態系前兩年的研究工作，我們對蘇花海岸的非生物環境因子，包括氣象因子以及雨水化學因子已經有了初步的認識。蘇花海岸的雲霧覆蓋率高於太魯閣國家公園全區，海岸生態系在遭受颱風的強風吹拂後，森林冠層鬱閉程度明顯降低。海岸地區的雨水含有極高的各種海鹽離子濃度，雨水加上鹽沫的沉降，使得海岸生態系的穿落水含有極高的離子濃度。

在地理阻隔所造成的物種分化的研究上，我們也展現了具體的研究成果。

根據本研究的工作計畫書，第三年的研究工作內容應包括以下各點：(1)持續針對蘇花海岸生態系的非生物環境因子進行監測及分析工作，項目包括各種主要的氣象因子、雲霧覆蓋率、以及大氣沉降化學組成。(2)針對蘇花海岸生態系的重要樹種，研究其在高鹽分和強風兩種逆境下的生態生理學特性。(3)藉由上述兩項研究結果，分析蘇花海岸生態系重要樹種可能的適應機制。(4)蘇花海岸生態系保育監測計畫研擬。

第二章 研究緣起與背景

第一節 蘇花海岸生態系的重要非生物環境因子

蘇花海岸生態系的非生物環境因子，可以從物理環境因子與化學環境因子兩個面向來探討。

壹、氣象因子

氣象因子，包括太陽輻射(solar radiation)、風速風向、氣溫、相對濕度、雨量等，形塑了一個生態系的物理環境，影響了生態系內部生物及化學過程。針對蘇花海岸生態系，以下的氣象因子可能是比較重要的：

- **太陽輻射**：由於整個海岸生態系的陡峭地形面向東方，太陽輻射的每日逐時分佈將與平原地區有明顯差異。晴日日出時間開始，生態系會立即接受太陽輻射；但因為山勢的阻擋，太陽輻射在每日午後會迅速降低。綜觀而言，蘇花海岸生態系的太陽輻射量應顯著低於同緯度及海拔高度的其他生態系，因而將降低生態系的初級生產力。除了太陽入射角度的影響，蘇花海岸受雲霧的影響，可能也會大幅降低直射光與散射光(diffuse radiation)的比例。
- **風**：在特定地區的生態系，風可能是非常重要的非生物環境因子(Kramer et al., 2001, Zhu et al., 2004)。蘇花海岸生態系因為地形與位置的因素，可能具有與其他生態系不同的風場條件(wind regime)。在每日的時間尺度下，海陸風交替的平流風(advection wind)可能遠較內陸地區來得明顯。而在每年的時間尺度下，秋冬季節的東北季風及鋒面系統，可能帶來強風而成為生態系的環境壓力。另外，夏季從東部登陸或是沿太平洋北上的颱風，經常造成大面積的森林樹木受損，是蘇花海岸生態系很重要的干擾(disturbance)因子。Batista and Platt (2003) 在美國佛羅里達州的研究發現，1985 年的颶風 Kate 造成了 7% 的海岸原始森林樹木死亡，森林孔隙(gap)面積由 31% 增大至 62%。強風干擾除了造成樹木的受傷死亡之外，也因為孔隙的增加以及風的媒介，可能造成外來樹種的入侵(Bellingham et al., 2005)。森林結構和組成受颱風干擾的程度，也會受其他環境條件影響，森林土壤養分狀況的不同，似乎會影響森林的耐風程度(Gleason et al., 2008)。
- **雲霧**：海岸以及中海拔山區，是霧林帶較容易出現的地區，雲霧在這些地區也被證實是重要的環境因子(Elias et al., 1995, Dawson, 1998, Weathers et al., 2000)。雲霧顆粒隨著氣流運動，與植物表面碰撞之後，便沈降進入生態系內，成為大氣水分輸入的一部份。雲霧顆粒所含有的各種化學物質濃度，經常高於雨水(Chang et al., 2002)，因此雲霧沈降進入生態系的同時，也有相當多的養分隨之進入生態系。以 Azevedo and Morgan(1974)在美國加州海岸森林的研究為例，夏天的雲霧沈降量可以高達 425 mm，而雲霧帶來的養分輸入，也影響了生態系的養分收支。雲霧對生態系的影響

除了在水分與養分收支之外，也在於對太陽輻射的降低。太陽輻射的降低，讓光合作用的能量來源減少，也大幅降低了蒸發散所需的熱能(Bruijnzeel and Veneklaas, 1998)。由於人類活動造成的空氣污染物質排放，可能造成雲霧物理的改變，因而改變雲霧的光學效應，使能量收支逐漸變化，對生態系造成影響。因此，對雲霧進行大面積且長期的監測，對全球環境及氣候變遷具有重要的意義(Bendix, 2002)。

貳、 化學環境因子

與離海岸較遠的生態系相較，蘇花海岸生態系的化學環境可能受海水的影響很大。隨海浪拍打而飛濺起來的細小海水水滴，可能隨風運動而被帶入海岸的生態系。Clayton (1972)在美國加州海岸的研究指出，海水鹽沫會帶給海岸生態系大量的陽離子輸入量。除了自然的海水鹽沫影響，蘇花海岸可能的化學環境條件還可能受人為影響，包括蘇花公路車輛排氣與砂石車的粉塵，以及位於和仁及和平的水泥廠以及燃煤電廠的廢氣影響。

第二節 環境逆境對植物生態生理學特性的影響

在逆境之下，植物必須改變生理特性才能適應和維持生命(Günthardt-Goerg and Vollenweider, 2007)。植物葉片是最重要的維生器官，藉由光合作用獲取全株植物所需的碳和能量。植物藉由調控巨觀的葉片形態以及微觀的葉肉細胞化學組成及生理生化過程，得以在短期及長期的逆境下維持光合作用的進行，進而得以生存。因此，植物葉片的生態生理學特性，常被用於植物逆境的分析研究(Günthardt-Goerg and Vollenweider, 2007, Richardson et al., 2003, de Vos et al., 2010)。隨著海拔高度的變化，溫度、雨量、日照等環境因子皆隨之變化，因此海拔梯度上的植物生態生理學特性，就常被拿來作為逆境生理學的研究材料(Richardson and Berlyn, 2002, Richardson et al., 2003)。

植物光合作用及影響因子可從多種空間尺度進行分析。在葉片的尺度，可以使用 chamber 進行 CO₂ 交換量的量測，或以可調控的 chamber 進行光反應曲線的分析，也可使用葉綠素螢光分析儀進行光反應的探討等。在林份尺度可以使用渦流相關法(eddy covariance method)進行淨生態系 CO₂ 交換量(net ecosystem exchange)的量測，以定量植被的光合作用和呼吸作用等通量。至於在較大的空間尺度，則常以衛星遙測的方法透過地面光譜/反射光譜的特性分析來定性/定量光合作用。

隨著野外可攜式儀器的發展，在現地進行非破壞性且快速的植物生態生理學量測，逐漸普及。生態學家得以探討在特定環境梯度下，植物生態生理學的特性，並從而分析植物的適應情形(Richardson et al., 2003)。Richardson et al. (2003)利用可攜式的葉片反射光譜儀，在美國 Mt. Mansfield 的 3 個不同海拔高度，量測了 *Betula papyrifera* var. *cordifolia* (Regel) Fern. 葉片的反射光譜，並藉多個反射光譜值計算了 photochemical reflectance index (PRI)、red edge position (λ

RE)、structure-independent pigment index (SIPI)等指數，從而推估此樹種是對環境逆境極為敏感的。Weng et al. (2011)在台灣中部山區兩個不同海拔樣點，進行了植物光合作用特性的研究，也提出利用 PRI 可以有效代表光合作用特性的結論，對於植物逆境生態生理學的研究有極大助益(Weng et al., 2006, Weng et al., 2011)。

太魯閣國家公園涵蓋面積廣大，海拔梯度及化學物質濃度梯度在國家公園內，應是形塑各種不同生態系的重要因子。利用在野外易操作的植物生態生理學特性，應能幫助我們釐清影響國家公園植物分佈的因子。

第三節 本研究計畫的具體目標

- 持續監測蘇花海岸生態系的非生物環境因子，並藉由多年的資料分析環境因子的時間變異。
- 利用植物的生態生理學特性，分析蘇花海岸生態系植物在遭受環境逆境時的反應。由於植物最重要的生理與生長特性都與葉片的光合作用有關，因此本研究將以葉片的反射光譜推估葉片色素與化學組成特性，並以實測的葉片葉型態特性及葉綠素濃度驗證反射光譜的量測結果。
- 藉由非生物環境因子的監測，以及生態生理學特性的量測，本研究將分析蘇花海岸生態系的植物適應機制。
- 藉由適應機制的認識，在太魯閣國家公園保育措施的制訂上，本研究將提出具體的建議。

第三章 研究方法

第一節 雲霧覆蓋的監測

本研究將持續以衛星遙測技術，進行大面積的雲霧分佈推估。可用的衛星遙測資料為美國航空及太空總署(NASA)地球觀測系統(EOS)的兩顆衛星 Terra 和 Aqua。這兩顆衛星載有 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)偵測器，提供了 0.62-12.27 μm 的 31 個波段的電磁波資料。這兩顆衛星為太陽同步衛星，每天分別可以提供一次衛星資料。本研究將利用前兩年的方法，利用可見光波段的反照率(albedo)作為判斷標準，分析海岸地區以及太魯閣國家公園範圍的雲霧分佈。

第二節 雨水與霧水的化學分析

雨水的化學組成，包含了乾沉降(dry deposition)與濕沉降(wet deposition)來源。分析雨水化學組成，可以相當程度地判讀大氣的化學狀況，因而可能可以幫助判斷污染/營養元素的來源。大氣沉降量的分析，也可以了解生態系接受大氣沉降物質的輸入量，有助於瞭解生態系土壤養分的收支情形。本研究將延續前一年的雨水與霧水分析架構，在中橫公路 3 個海拔高度進行雨水的收集，每兩週進行化學分析。化學分析項目包括酸鹼值、導電度、以及主要的陰陽離子(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+)濃度。除了雨水，本研究也將持續分析碧綠神木站霧水的化學組成。霧水的收集將以主動式雲霧收集器(active fog collector)進行，由能見度儀的雲霧資料自動判斷收集器的運作時間。霧水也將兩週分析一次，分析項目與雨水相同。

第三節 植物的逆境植物生態生理學特性研究

蘇花海岸生態系植物在高鹽度(鹽沫及土壤鹽分)和強風逆境下，葉片的反射光譜和光合作用特性可能會有相應的調適，而與非逆境下的植物有所區別。本計畫將使用可攜式儀器在野外進行現場量測，藉以瞭解植物遭受環境逆境的反應情形。具體研究步驟如下：

壹、 葉片反射光譜

本研究預計使用可攜式的反射光譜儀(UniSpec-SC Spectral Analysis System, PP Systems, USA)進行量測工作。此反射光譜儀的波長範圍為 310 至 1100 nm，掃描一次的時間小於 1 sec。適用的葉片包括針葉樹及闊葉樹。本研究將利用反射光譜計算下列各項指數：

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): $(R_{750} - R_{675}) / (R_{750} + R_{675})$
- Chl NDI: $(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$

- Structure-independent Pigment Index (**SIPI**): $(R_{800} - R_{445}) / (R_{800} - R_{680})$
- Photochemical Reflectance Index (**PRI**): $(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$

貳、 葉片型態特性

針對進行葉片反射光譜分析的葉片，本研究將進行基本型態特徵的量測，包括葉片面積、乾重、以及比葉面積(specific leaf area)。葉片剪取後放入封口袋冷藏攜回實驗室，以掃描器掃描葉片以進行面積的計算。掃描後的葉片一部份留下進行葉綠素分析，其餘則以烘箱在 65 °C 烘乾兩天，秤重後計算比葉面積。葉綠素的分析採用乙醇萃取法，再以分光光度計量測波長 665 nm 和 649 nm 的吸光值(A_{665} 和 A_{649})。葉綠素 a 和葉綠素 b 的計算方式如下：

- $\text{Chl a} = 13.7 * A_{665} - 5.76 * A_{649}$
- $\text{Chl b} = 25.8 * A_{649} - 7.60 * A_{665}$

參、 量測計畫

由前兩年的研究結果得知，蘇花海岸地區的雨水與穿落水含有極高的各種離子濃度，而海岸地區受強風吹襲後，樹冠層開闊度將因葉片掉落而提高。蘇花海岸植物受到鹽分與風的環境逆境，應該高於國家公園離海岸較遠區域的植物。因此本計畫將沿中橫公路從低海拔至高海拔，設置研究樣點進行葉片的量測工作。中橫公路海拔高度從海岸的海平面，上升至 3275 m 的武嶺。本研究預計每隔海拔 300 m 設置一個樣點，共設置 10 個樣點。每一個樣點選取數種植物進行上述葉片植物生態生理學的分析工作。植物物種的選取將參考太魯閣國家公園的植物名錄，以該海拔具代表性的植物作為選取依據。為了瞭解同樣物種在不同環境下的適應情形，物種的選取將考慮廣泛分佈的物種。

為了瞭解植物生態生理學特性的季節變化，前述的量測工作將每季進行一次。

第四章 結果與討論

第一節 雲霧覆蓋

本研究收集 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 兩顆衛星每天所拍攝的台灣範圍影像，利用反照率大於 0.3 的條件進行雲霧覆蓋率的推估。本研究報告分析的資料範圍除了 2011 年 1 月 1 日至 10 月 31 日的衛星影像，也把 2009 年和 2010 年的資料一併分析，以獲取更具代表性的雲霧覆蓋特性。Terra 衛星通過台灣上空拍照時間平均為上午的 10 時 36 分，而 Aqua 拍照時間則為下午的 13 時 13 分(表 1)。扣除拍照條件不佳的照片，本次分析所使用的衛星影像分別為 Terra 的 953 張和 Aqua 的 891 張。

將近 3 年的資料顯示，蘇花海岸地區因為低層雲的影響，雲霧覆蓋率顯著高於太魯閣國家公園全區(表 1)。在上午的時間，海岸地區的雲霧覆蓋率已達 58%，而此時太魯閣國家公園全區的覆蓋率為 42%。下午的雲霧覆蓋率增加，海岸地區的雲霧覆蓋率達到 74%，太魯閣國家公園全區的雲霧覆蓋率也增加到 58%。

表 1：以 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 衛星影像分析太魯閣國家公園雲霧覆蓋率，資料為 2009 年 1 月 1 日至 2011 年 10 月 31 日的每日影像。將近 3 年的衛星影像時間，MODIS Terra 為 9:50 – 11:20(平均 10:36)，MODIS Aqua 為 12:30 – 13:55(平均值 13:13)。雲霧覆蓋率以 MODIS Terra 和 Aqua 兩顆衛星所拍攝的遙測影像進行分析。

Satellite	Number of Picture time picture	Picture time	Cloud coverage Whole area [%]			Cloud coverage Coastal area [%]		
			Mean	Median	Mode	Mean	Median	Mode
Terra	953	10:36	42	33	100	58	65	100
Aqua	891	13:13	58	61	100	74	97	100

雲霧覆蓋率的每日變化相當大，藉由直方圖分析可以發現，不管是 MODIS Terra 或 MODIS Aqua，雲霧覆蓋均非常態分佈(圖 1)。早上 11 點的時間，最常出現的是低於 10%和高於 90%的覆蓋率。然而到了下午，蘇花海岸地區雲霧覆蓋率高於 90%的日子，高達總日數的 56%。3 年的時間裡，只有約 10%的日子在下午時間，其雲霧覆蓋率低於 10%。

由於每日的雲霧覆蓋率變化很大，因此我們將 2 年 10 個月的時間序列以月平均值呈現，來進行雲霧覆蓋率季節變化的探討。在這將近 3 年的時間裡，雲霧覆蓋率最高的月份分別在 4

月、4月、和5月。每年的1-2月及7-9月則有較低的雲霧覆蓋率(圖 2)。進一步將3年的月平均資料彙整，可更清楚顯示出雲霧覆蓋率的季節變化(圖 3)。太魯閣國家公園的雲霧覆蓋率，基本上有兩個高峰，分別是春季和秋季。至於蘇花海岸地區的雲霧覆蓋率與國家公園全區的比較，只有在7、8月份的下午沒有顯著差異，其餘月份的上下午資料都顯示了海岸地區有較高的雲霧覆蓋率(t-test for dependent samples, $p < 0.05$)。

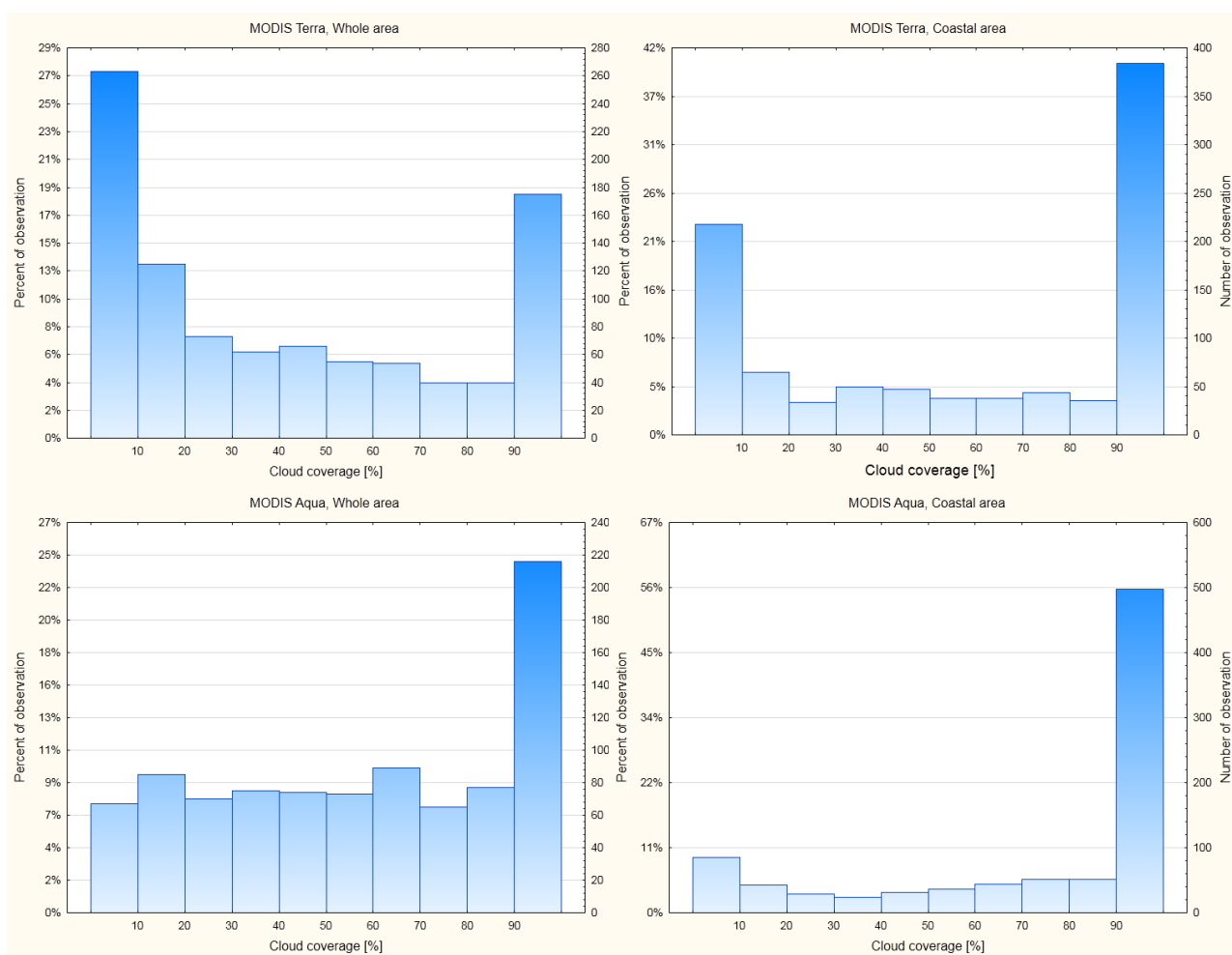


圖 1：以 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 衛星影像分析太魯閣國家公園雲霧覆蓋率，資料為 2009 年 1 月 1 日至 2011 年 9 月 30 日的每日影像。曲線圖表示衛星照片時間的雲霧覆蓋率，以當月的平均值呈現。將近 3 年的衛星影像時間，MODIS Terra 為 9:50 – 11:20（平均值 10:36），MODIS Aqua 為 12:30 – 13:55（平均值 13:13）。紅色虛線表示蘇花海岸地區，藍色實線則為太魯閣國家公園全區。誤差線代表標準誤差（standard error of mean）。

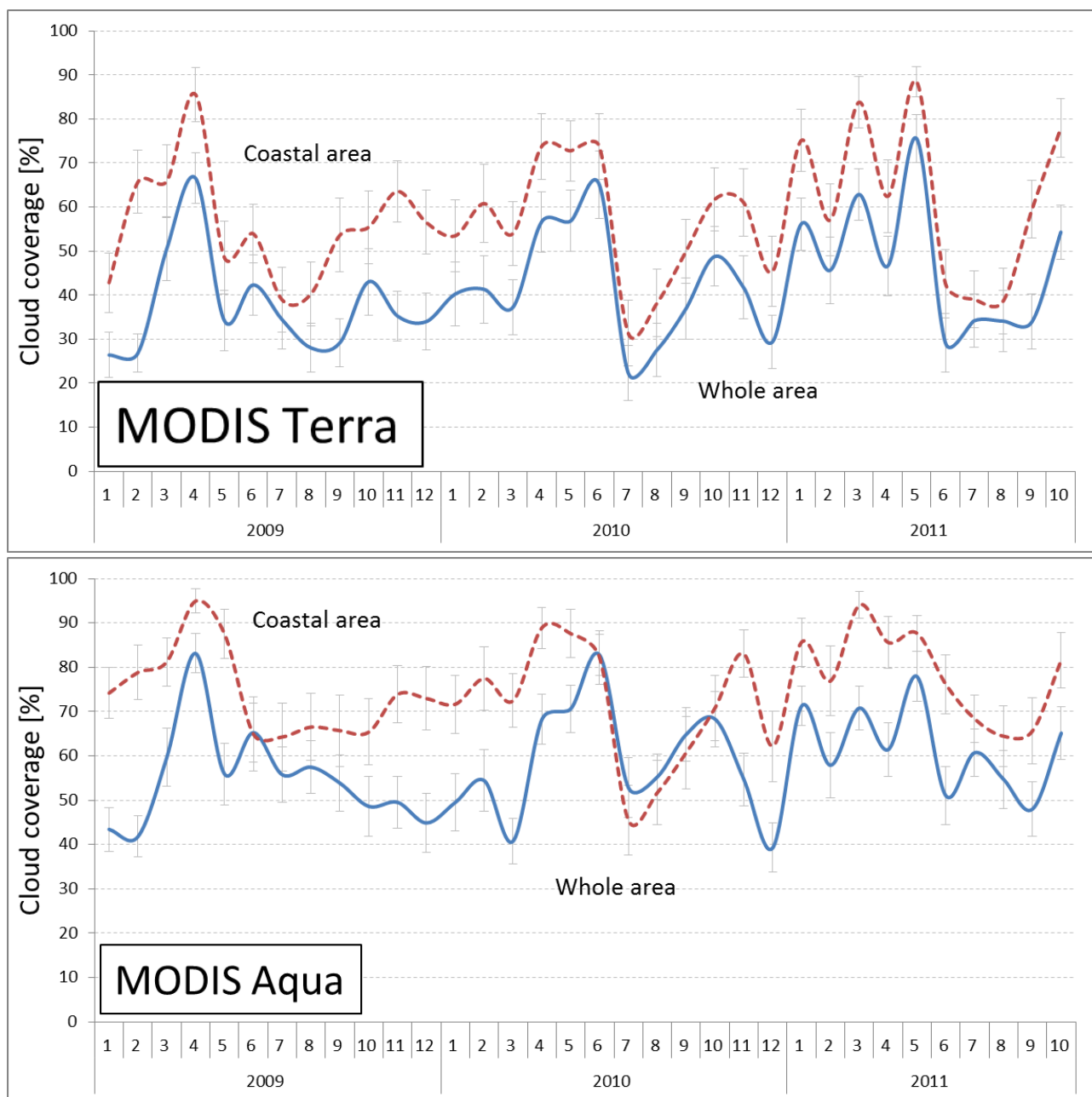


圖 2：以 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 衛星影像分析太魯閣國家公園雲霧覆蓋率，資料為 2009 年 1 月 1 日至 2011 年 9 月 30 日的每日影像。曲線圖表示衛星照片時間的雲霧覆蓋率，以當月的平均值呈現。將近 3 年的衛星影像時間，MODIS Terra 為 9:50 - 11:20 (平均 10:36)，MODIS Aqua 為 12:30 - 13:55 (平均值 13:13)。紅色虛線表示蘇花海岸地區，藍色實線則為太魯閣國家公園全區。誤差線代表標準誤差 (standard error of mean)。

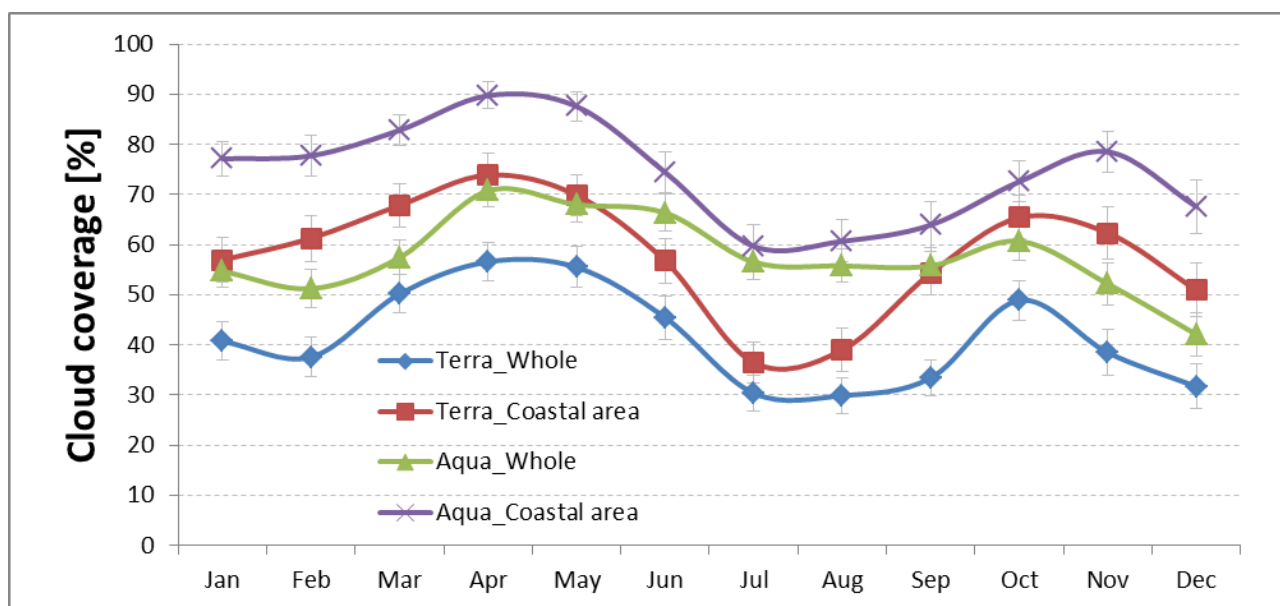


圖 3：以 MODIS Terra 和 MODIS Aqua 衛星影像分析太魯閣國家公園雲霧覆蓋率的季節變化，資料為 2009 年 1 月 1 日至 2011 年 9 月 30 日的每日影像。曲線圖表示衛星照片時間的雲霧覆蓋率，以研究期間的月平均值呈現。將近 3 年的衛星影像時間，MODIS Terra 為 9:50 – 11:20（平均 10:36），MODIS Aqua 為 12:30 – 13:55（平均值 13:13）。誤差線代表標準誤差（standard error of mean）。

第二節 雨水化學

本研究於 2011 年 3 月 9 日設置完成雨水與霧水的收集裝置，分別是位於太魯閣國家公園管理處(TH)遊客中心頂樓、碧綠神木(BL)、和合歡山管理站(HH)旁箭竹草坡上的雨水收集裝置，以及碧綠神木的霧水收集器。裝置設置完成後，每 2 週至野外收集一次(2011 年 4 月 14 日的樣品為 3 週的水樣)，攜回實驗室進行化學分析。本研究報告分析的樣品至 2011 年 12 月 16 日，共計 18 個採樣日期。

表 2 為各次化學分析的結果。與前兩年相同，代表蘇花海岸生態系的太魯閣國家公園管理處樣點，雨水含有遠高於另外兩個樣站的各種陰陽離子。海岸地區雨水的高濃度離子，除了來自海洋的鹽沫沈降，也可能部分來自交通工具廢氣。在所有的數據中，以 4 月 29 日的樣品有最高的濃度。每年 3 月至 5 月盛行的中國沙塵暴(Wang et al., 2004)，應是造成春季離子濃度較高的主因。

將各次離子濃度乘以降雨量，可得到各次採樣期間的離子沈降量(表 3)。加總後可得研究期間的總沈降量，並可計算體積加權的平均離子濃度。樣品資料期間的 282 天，海岸地區的降雨量為 1706 mm，高於碧綠樣站的 1496 mm，但低於合歡山管理站的 2132 mm。儘管海岸地區的降雨量低於高山地區，但多種離子的大氣沈降量卻遠遠高於高山地區，包括 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、和 Ca^{2+} 。這些離子主要的來源為海水鹽沫，沈降於海岸植被與土壤，將對生態系統造成鹽分逆境。

表 2：太魯閣國家公園雨水主要離子濃度的海拔梯度。雨水收集樣點為太魯閣國家公園管理處（TH）、碧綠神木站（BL）、和合歡山管理站（HH）。分析時間為 2011 年 3 月 9 日至 2011 年 12 月 16 日，除了特殊狀況，每次的樣品為 2 週的累積雨水。數據為 3 個重複樣品的平均值。

Sampling date		Conductivity	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		[$\mu\text{S cm}^{-1}$]									
2011/03/23	HH	8	6.12	0.18	0.56	0.92	0.03	0.24	0.05	0.03	0.03
	BL	11	5.41	0.22	0.45	1.11	0.05	0.01	0.12	0.04	0.14
	TH	72	5.32	3.86	5.19	7.45	4.74	1.77	0.09	0.44	3.13
2011/04/14	HH	6	6.48	0.18	0.55	0.66	0.04	0.15	0.05	0.04	0.07
	BL	7	6.53	0.20	0.18	0.93	0.05	0.01	0.09	0.05	0.49
	TH	68	6.54	4.78	7.16	8.60	4.89	1.24	0.26	0.62	4.71
2011/04/29	HH	21	4.83	1.37	6.95	27.21	0.05	0.70	0.09	0.01	0.15
	BL	24	4.57	2.20	6.78	32.50	0.10	0.01	0.10	0.01	0.29
	TH	105	5.49	81.56	71.48	165.02	2.37	2.28	0.12	0.44	1.50
2011/05/12	HH	7	5.40	0.49	2.77	5.20	0.03	0.04	0.09	0.00	0.10
	BL	4	5.93	1.10	0.06	3.90	0.06	0.01	0.10	0.01	0.12
	TH	38	6.22	27.47	8.84	53.98	0.88	0.13	0.10	0.12	0.76
2011/05/26	HH	3	5.93	0.78	0.88	1.70	0.04	0.01	0.09	0.00	0.09
	BL	2	6.21	0.16	0.07	1.30	0.02	0.00	0.09	0.00	0.09
	TH	40	4.39	11.94	15.63	35.00	0.36	0.05	0.09	0.04	0.35
2011/06/09	HH	2	5.56	0.12	0.06	0.14	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
	BL	3	5.94	0.13	0.06	0.14	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02
	TH	14	5.67	0.82	1.06	2.09	0.50	0.04	0.02	0.09	0.31
2011/06/22	HH	3	6.03	0.14	0.33	0.31	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02
	BL	5	5.94	0.23	0.06	0.36	0.03	0.03	0.11	0.02	0.04
	TH	24	6.11	2.61	0.84	2.95	1.90	0.06	0.06	0.24	1.55
2011/07/05	HH	4	5.54	0.12	0.18	0.24	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
	BL	5	5.70	0.21	0.06	0.31	0.04	0.01	0.10	0.01	0.03
	TH	26	6.03	1.88	1.37	4.20	1.29	0.12	0.07	0.20	1.65
2011/07/20	HH	5	5.54	0.22	0.11	0.26	0.03	0.05	0.19	0.00	0.01
	BL	4	5.88	0.13	0.05	0.24	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01
	TH	17	6.13	1.01	0.82	2.32	0.70	0.01	0.02	0.13	1.19
2011/08/05	HH	4	5.73	0.20	0.06	0.21	0.05	0.01	0.04	0.00	0.02
	BL	17	6.02	0.76	0.23	0.55	0.65	0.05	0.84	0.12	1.14
	TH	42	6.66	3.95	0.49	1.99	2.91	0.02	0.12	0.40	3.79
2011/08/16	HH	5	5.98	0.15	0.36	0.23	0.02	0.73	0.05	0.00	0.01
	BL	7	6.25	0.25	0.07	0.33	0.04	0.01	0.28	0.01	0.04
	TH	27	6.21	1.90	0.67	2.16	1.35	0.00	0.06	0.20	1.38
2011/09/01	HH	3	5.93	0.19	0.17	0.19	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01
	BL	2	6.45	0.14	n.a.	0.16	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01
	TH	8	6.39	1.13	0.05	0.47	0.75	0.00	0.02	0.05	0.03
2011/09/19	HH	9	6.16	0.36	0.08	0.95	0.17	0.01	0.46	0.06	0.14
	BL	8	5.69	0.29	0.06	1.52	0.12	0.02	0.16	0.04	0.12
	TH	43	6.80	4.86	0.45	3.08	3.63	0.00	0.73	0.44	3.00
2011/09/28	HH	5	6.23	0.20	0.14	0.18	0.06	0.00	0.03	0.01	0.02
	BL	11	5.72	0.19	0.74	0.56	0.26	0.20	0.04	0.01	0.04
	TH	35	6.53	3.27	3.15	3.69	2.45	0.07	0.10	0.31	2.25
2011/10/14	HH	2	6.41	0.11	0.07	0.09	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00
	BL	2	6.41	0.19	0.11	0.13	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
	TH	11	5.91	1.63	0.25	0.80	1.05	0.03	0.01	0.09	0.02
2011/10/27	HH	6	6.44	0.15	0.11	0.18	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02
	BL	10	5.70	1.18	0.69	0.39	0.19	0.03	0.04	0.01	0.03
	TH	14	5.51	0.63	1.45	1.89	0.35	0.07	0.02	0.08	0.45
2011/12/02	HH	2	6.46	0.02	0.09	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01
	BL	3	6.21	0.08	0.15	0.09	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01
	TH	7	5.77	0.56	0.24	0.55	0.42	0.07	0.15	0.04	0.06
2011/12/16	HH	2	6.31	0.11	0.10	0.11	0.02	0.01	0.07	0.00	0.01
	BL	5	6.00	0.10	0.14	0.14	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	TH	10	6.10	0.79	0.37	0.71	0.49	0.07	0.02	0.06	0.14

表 3：太魯閣國家公園主要離子沈降量、總沈降量、以及體積加權平均離子濃度。雨水收集樣點為太魯閣國家公園管理處（TH）、碧綠神木站（BL）、和合歡山管理站（HH）。分析時間為 2011 年 3 月 9 日至 2011 年 12 月 16 日，除了特殊狀況，每次的樣品為 2 週的累積雨水。數據為 3 個重複樣品的平均值。

Sampling date	Location	H ₂ O	H ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		[mm]	[kg ha ⁻¹]								
2011/03/23	HH	95	0.0007	0.173	0.539	0.875	0.032	0.226	0.045	0.027	0.032
	BL	38	0.0015	0.082	0.170	0.422	0.020	0.005	0.046	0.016	0.055
	TH	23	0.0007	0.877	1.180	1.695	1.078	0.401	0.020	0.100	0.712
2011/04/14	HH	121	0.0004	0.221	0.661	0.800	0.051	0.180	0.056	0.050	0.080
	BL	61	0.0002	0.122	0.112	0.565	0.033	0.007	0.054	0.029	0.299
	TH	20	0.0001	0.966	1.450	1.738	0.991	0.252	0.052	0.126	0.953
2011/04/29	HH	83	0.0124	1.140	5.780	22.635	0.041	0.584	0.078	0.009	0.124
	BL	22	0.0059	0.480	1.510	7.103	0.021	0.003	0.022	0.002	0.064
	TH	15	0.0005	11.914	10.433	23.991	0.349	0.336	0.018	0.065	0.221
2011/05/12	HH	107	0.0043	0.524	2.957	5.559	0.029	0.045	0.093	0.005	0.110
	BL	35	0.0004	0.384	0.020	1.358	0.021	0.002	0.035	0.003	0.042
	TH	24	0.0001	6.697	2.148	13.156	0.215	0.031	0.023	0.030	0.186
2011/05/26	HH	424	0.0050	3.445	3.755	7.232	0.184	0.037	0.364	0.012	0.363
	BL	155	0.0010	0.251	0.102	2.010	0.026	0.005	0.132	0.004	0.136
	TH	71	0.0180	5.730	7.360	16.439	0.172	0.022	0.043	0.019	0.167
2011/06/09	HH	84	0.0023	0.101	0.047	0.115	0.008	0.004	0.006	0.001	0.013
	BL	69	0.0008	0.092	0.040	0.099	0.012	0.003	0.010	0.003	0.012
	TH	88	0.0019	0.720	0.939	1.842	0.438	0.031	0.014	0.080	0.276
2011/06/22	HH	63	0.0006	0.088	0.208	0.191	0.011	0.017	0.006	0.005	0.014
	BL	49	0.0006	0.113	0.028	0.177	0.015	0.015	0.051	0.008	0.017
	TH	50	0.0004	1.310	0.418	1.485	0.958	0.029	0.033	0.121	0.778
2011/07/05	HH	124	0.0036	0.150	0.227	0.298	0.017	0.018	0.009	0.005	0.015
	BL	21	0.0004	0.044	0.013	0.065	0.008	0.003	0.021	0.002	0.006
	TH	42	0.0004	0.797	0.579	1.782	0.547	0.051	0.028	0.086	0.698
2011/07/20	HH	160	0.0045	0.342	0.182	0.422	0.045	0.078	0.295	0.005	0.012
	BL	106	0.0014	0.135	0.053	0.259	0.017	0.009	0.015	0.004	0.014
	TH	42	0.0003	0.421	0.346	0.971	0.294	0.005	0.010	0.053	0.498
2011/08/05	HH	31	0.0006	0.060	0.019	0.064	0.015	0.004	0.013	0.001	0.006
	BL	2	0.0000	0.016	0.005	0.011	0.013	0.001	0.018	0.003	0.023
	TH	12	0.0000	0.482	0.060	0.243	0.355	0.003	0.014	0.049	0.461
2011/08/16	HH	72	0.0007	0.109	0.257	0.167	0.015	0.518	0.038	0.001	0.006
	BL	26	0.0001	0.065	0.018	0.083	0.010	0.002	0.073	0.003	0.009
	TH	51	0.0003	0.962	0.338	1.089	0.682	0.003	0.032	0.099	0.696
2011/09/01	HH	300	0.0035	0.574	0.501	0.561	0.050	0.079	0.027	0.015	0.032
	BL	372	0.0013	0.511	n. a.	0.605	0.061	0.003	0.057	0.013	0.027
	TH	507	0.0014	5.752	0.232	2.369	3.792	0.005	0.102	0.261	0.132
2011/09/19	HH	11	0.0001	0.040	0.008	0.106	0.019	0.001	0.053	0.006	0.015
	BL	15	0.0002	0.043	0.008	0.223	0.018	0.003	0.024	0.006	0.018
	TH	22	0.0000	1.073	0.100	0.678	0.801	0.000	0.161	0.097	0.663
2011/09/28	HH	18	0.0001	0.037	0.026	0.033	0.011	0.001	0.006	0.002	0.003
	BL	30	0.0004	0.057	0.225	0.170	0.081	0.062	0.013	0.004	0.011
	TH	33	0.0001	1.084	1.044	1.222	0.811	0.025	0.033	0.103	0.744
2011/10/14	HH	401	0.0016	0.433	0.263	0.367	0.038	0.072	0.033	0.010	0.018
	BL	463	0.0012	0.882	0.503	0.581	0.051	0.092	0.044	0.015	0.031
	TH	609	0.0075	9.905	1.496	4.887	6.369	0.187	0.068	0.559	0.149
2011/10/27	HH	38	0.0001	0.058	0.040	0.069	0.012	0.006	0.003	0.005	0.006
	BL	32	0.0006	0.377	0.221	0.128	0.061	0.011	0.012	0.004	0.009
	TH	95	0.0030	0.592	1.366	1.788	0.330	0.068	0.019	0.079	0.429
2011/12/02	HH	376	0.0013	0.076	0.343	0.110	0.062	0.069	0.032	0.011	0.035
	BL	298	0.0018	0.248	0.451	0.257	0.065	0.110	0.042	0.016	0.035
	TH	95	0.0016	0.531	0.225	0.529	0.404	0.070	0.145	0.036	0.057
2011/12/16	HH	179	0.0009	0.191	0.171	0.189	0.038	0.019	0.117	0.007	0.014
	BL	134	0.0014	0.133	0.182	0.186	0.029	0.016	0.009	0.007	0.017
	TH	146	0.0011	1.152	0.535	1.031	0.715	0.108	0.034	0.088	0.210
total flux	HH	2686	0.0427	7.7632	15.9855	39.7946	0.6776	1.9572	1.2745	0.1770	0.9001
	BL	1928	0.0192	4.0348	3.6613	14.3026	0.5602	0.3524	0.6785	0.1413	0.8247
	TH	1947	0.0375	50.9650	30.2505	76.9345	19.3012	1.6265	0.8487	2.0510	8.0302
volume-weighted conc.	HH		0.0016	0.289	0.595	1.481	0.025	0.073	0.047	0.007	0.034
	BL		0.0010	0.209	0.190	0.742	0.029	0.018	0.035	0.007	0.043
	TH		0.0019	2.617	1.554	3.951	0.991	0.084	0.044	0.105	0.412

第三節 植物生理生態學特性

為了瞭解海岸地區植物光合作用相關的植物生理生態學特性，同時也探討這些特性隨著海拔高度的變化情形，本研究於 2011 年 4 月份開始在蘇花海岸以及中橫公路沿線，尋找適宜的樣點和植物。經過野外量測工作難易度的評估後，共計選擇了 8 種植物及 13 個樣點，植物種類及用於本研究報告的代碼列於表 4，各樣點的海拔高度及經緯度則詳列於表 5。原則上，相鄰樣點之間的海拔高度差為 300 m 左右。海拔高度 129 m 的樣點，為崇德隧道外的廢棄舊蘇花公路，本研究以此樣點做為海岸生態系樣點，針對 7 種植物進行量測工作。本研究另外以台灣馬桑和大葉溲疏這兩種廣佈的物種，作為跨海拔高度的生理生態學量測對象。除此之外，針對刺柏這種在海岸以及 3000 m 以上高海拔地區都能被發現的針葉樹，本研究也特別嘗試量測其在不同海拔高度的生理生態特性。經過多次的野外踏查，可以攜帶儀器抵達且安全無虞的量測點有 5 處，分別在海岸、錐鹿古道 2.5 K 處、研海林道流籠頭、以及高海拔的 2724 m 及 2979 m 樣點。

除了特殊情況，每個樣點的每種植物均選取 3 個植物個體，並在每個植物個體選取 5 片成熟葉片進行量測。量測的項目為葉片的反射光譜，使用的儀器為可攜式的反射光譜儀 (UniSpec-SC Spectral Analysis System, PP Systems, USA)。為了進行其他分析工作，本研究也採取葉片攜回實驗室。採取的數量與反射光譜的量測相同，均為 3 個植物體，每個植物體 5 片葉片。刺柏的採樣數量較少，因為在海岸以及錐鹿古道的植物個體相當少。野外的量測工作共進行 3 次，分別是 2011 年 5 月底至 6 月初、7 月份、以及 11 月，分別代表春季、夏季、以及秋季。第一次的野外工作在反射光譜的量測方面，由於燈源光強度的設定不當，致使部分植物葉片在 600 nm 以下波長的反射率為零，以致無法計算各種指標。儘管植物葉片在實驗室的分析項目沒有問題，但本研究報告還是略過春季的分析結果，只進行夏季及秋季研究結果的分析。

表 4：植物生理生態學量測植物種類及代碼。

代碼	中文俗名	學名
Coin	台灣馬桑	<i>Coriaria intermedia</i>
Depu	大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i>
Jufo	刺柏	<i>Juniperus formosana</i>
Dovi	車桑子	<i>Dodonaea viscosa</i>
Sath	雀梅藤	<i>Sageretia thea</i>
Arfo	台灣蘆竹	<i>Arundo formosana</i>
Rhse	羅氏鹽膚木	<i>Rhus semialata</i> var. <i>roxburghiana</i>
Elol	椴木	<i>Elaeagnus oldhamii</i>

表 5：太魯閣國家公園內，植物生理生態學研究樣點和各樣點所量測的植物種類。

海拔高度 [m]	經度	緯度	量測植物
2979	E 121° 17.243'	N 24° 09.741'	刺柏，台灣馬桑
2724	E 121° 18.260'	N 24° 10.801'	刺柏，台灣馬桑，大葉溲疏
2425	E 121° 19.683'	N 24° 11.239'	台灣馬桑，大葉溲疏
2071	E 121° 23.211'	N 24° 10.990'	大葉溲疏
1785	E 121° 25.192'	N 24° 11.104'	大葉溲疏
1500	E 121° 25.492'	N 24° 12.130'	台灣馬桑，大葉溲疏
1133	E 121° 26.157'	N 24° 12.320'	台灣馬桑，大葉溲疏
1099	E 121° 30.931'	N 24° 10.093'	刺柏
900	E 121° 28.889'	N 24° 12.232'	台灣馬桑，大葉溲疏
772	E 121° 33.211'	N 24° 10.701'	刺柏
600	E 121° 29.484'	N 24° 11.818'	台灣馬桑，大葉溲疏
503	E 121° 30.048'	N 24° 10.862'	台灣馬桑，大葉溲疏
129	E 121° 39.612'	N 24° 11.372'	刺柏，大葉溲疏，車桑子，雀梅藤，台灣蘆竹， 羅氏鹽膚木、椴木

壹、 葉片型態

本研究分析葉片形態中與光合作用關係密切的參數：比葉重(Leaf Mass per Area, LMA)。葉片攜回實驗室後以掃描器掃描成數位影像後，再以繪圖軟體計算其面積。掃描完的葉片以 65°C 烘乾後秤重，獲得葉片乾重。將乾重除以面積即得到比葉重，單位為 $[g\ cm^{-2}]$ 。

2011 年 7 月份的研究結果顯示，大葉溲疏、台灣馬桑、和刺柏在海岸地區有較高的比葉重。亦即，在海岸地區的葉片較為厚實。隨海拔高度增加，比葉重逐漸下降，一直到海拔 1500 m 左右達到最低(圖 4)。比葉重在海拔 1500 m 以上又逐漸增加。大葉溲疏和刺柏在海拔 3000 m 左右，葉片比葉重又達到與海岸地區相當的較高值。刺柏這個唯一跨海拔分佈的針葉樹種，比葉重顯著高於其他的植物。

夏季樣品比葉重所展現的明顯海拔梯度變化，在 2011 年 11 月份的研究結果卻不再出現(圖 5)。除了大葉溲疏還略有夏季的觀察趨勢，其餘植物的比葉重在各個海拔高度的變化不大。甚至對台灣馬桑而言，海拔較低的葉片反而有較小的比葉重。這個明顯的季節差異，必須有更長的研究觀察才能確認。但如果這樣的季節變化的確存在，而不是由於取樣誤差所造成，則可能的原因是中海拔地區葉片的增厚較晚發生。為了確認此假說，我們有必要以非破壞性的葉片測量方法，持續對相同的葉片進行葉片大小以及厚度的觀察。

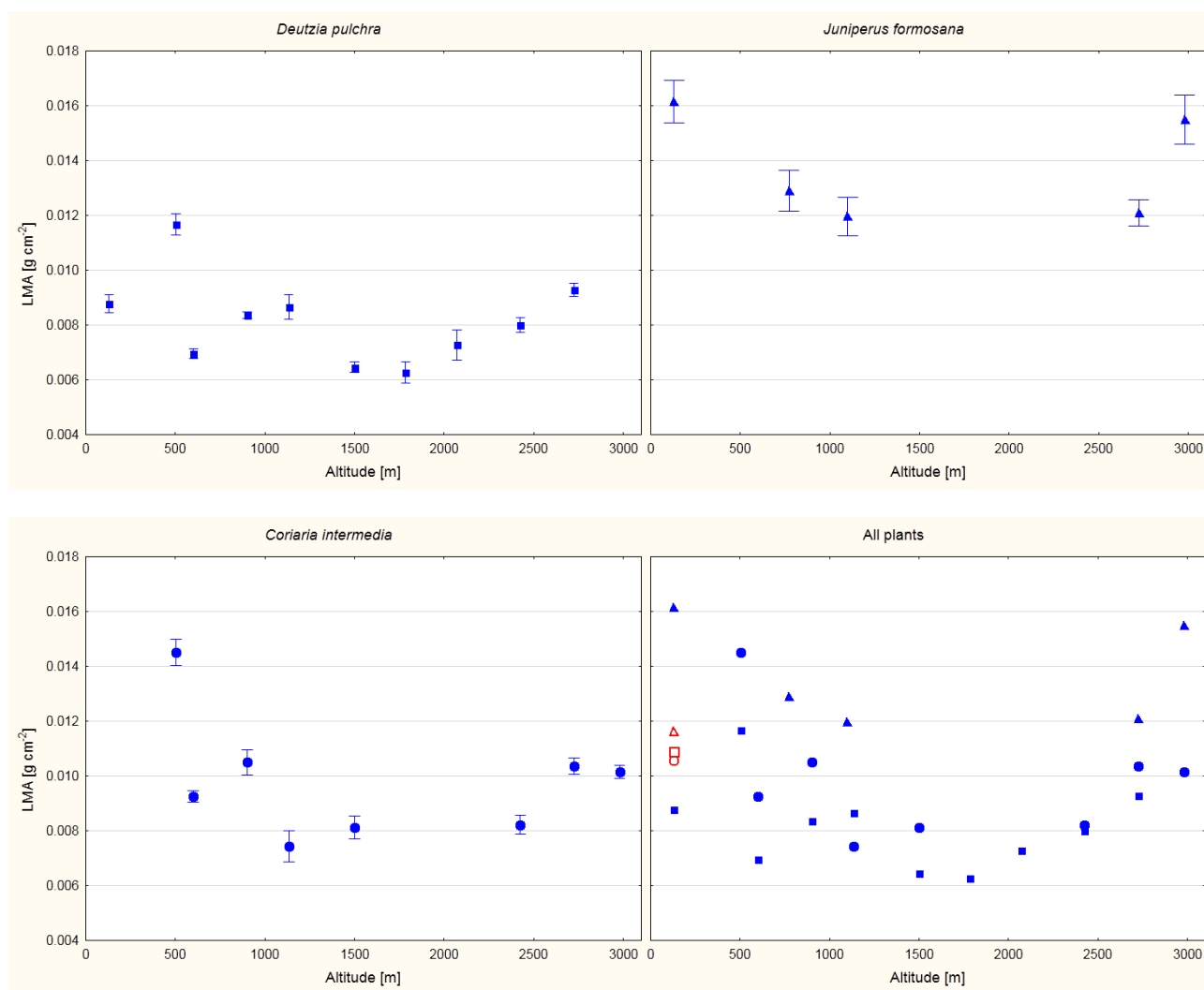


圖 4：植物葉片比葉重（LMA）隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏（*Deutzia pulchra*，實心正方形）、刺柏（*Juniperus formosana*，實心三角形）、台灣馬桑（*Coriaria intermedia*，實心圓形）、車桑子（*Dodonaea viscosa*，空心正方形）、羅氏鹽膚木（*Rhus semialata* var. *roxburghiana*，空心圓形）、以及椴櫚（*Elaeagnus oldhamii*，空心三角形）。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差（standard error of mean）。取樣時間為 2011 年 7 月。

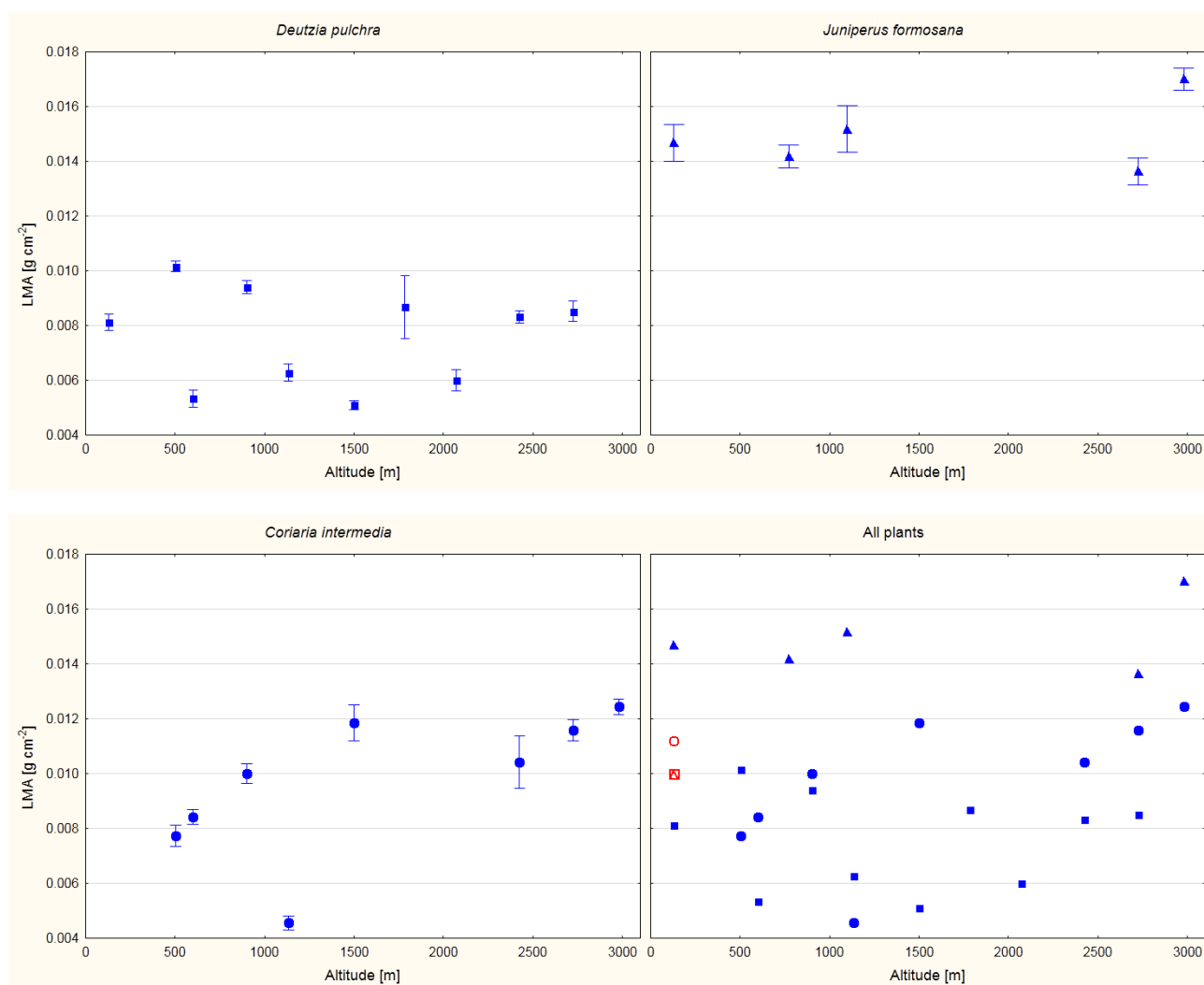


圖 5：植物葉片比葉重 (LMA) 隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*, 實心正方形)、刺柏 (*Juniperus formosana*, 實心三角形)、台灣馬桑 (*Coriaria intermedia*, 實心圓形)、車桑子 (*Dodonaea viscosa*, 空心正方形)、羅氏鹽膚木 (*Rhus semialata* var. *roxburghiana*, 空心圓形)、以及檲桤 (*Elaeagnus oldhamii*, 空心三角形)。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差 (standard error of mean)。取樣時間為 2011 年 11 月。

貳、 葉綠素含量

葉綠素 a 是植物吸收太陽輻射進行光合作用的最重要色素分子，其濃度的高低與葉片的光合作用速率有很高的相關性。由圖 6 可以看出，在 2011 年 7 月份，3 種跨海拔梯度分佈植物的葉片的葉綠素 a 濃度(單位葉片質量所含的葉綠素 a 質量)，在低海拔的海岸地區最低，隨著海拔高度上升，而有逐漸上升的趨勢。過了中海拔高度之後，葉綠素 a 濃度又開始下降，在 3000 m 的海拔高度降到最低。在 2011 年 11 月的研究中，海拔梯度的變化依然存在(圖 7)。另外，若比較夏季和秋季的兩次分析數據，可發現葉綠素 a 濃度在這兩個季節之間並沒有顯著的變化。

除了以單位葉片質量來表示葉綠素的濃度，我們也可以計算單位葉片面積的葉綠素含量。從夏季與秋季兩次的數據看來，除了刺柏仍保有顯著的海拔梯度變化，大葉溲疏和台灣馬桑的單位葉面積葉綠素含量並不隨著海拔變化(圖 8，圖 9)。季節之間也看不出顯著的變化

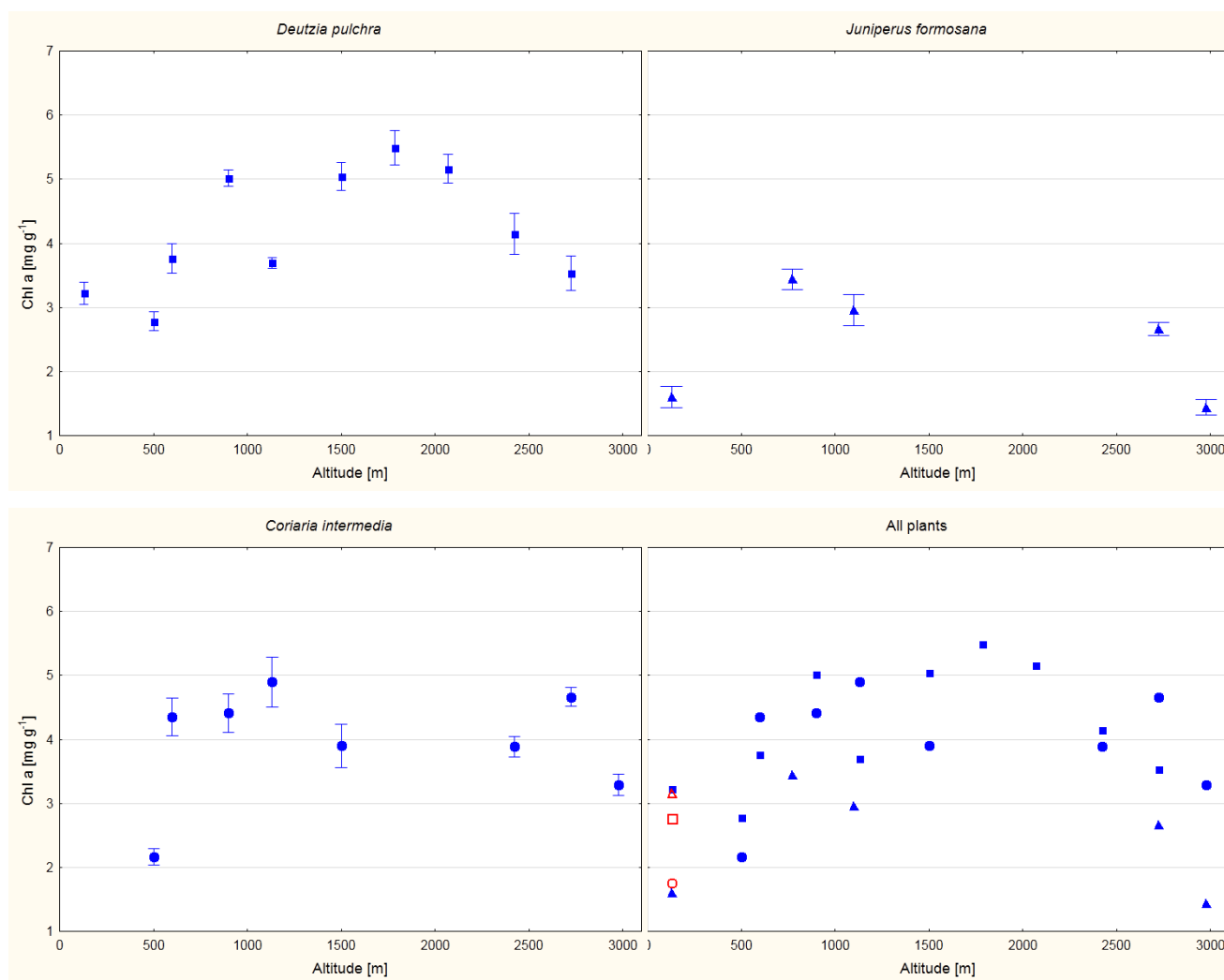


圖 6：植物葉片葉綠素含量（單位質量）隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏（*Deutzia pulchra*，實心正方形）、刺柏（*Juniperus formosana*，實心三角形）、台灣馬桑（*Coriaria intermedia*，實心圓形）、車桑子（*Dodonaea viscosa*，空心正方形）、羅氏鹽膚木（*Rhus semialata* var. *roxburghiana*，空心圓形）、以及椴木（*Elaeagnus oldhamii*，空心三角形）。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差（standard error of mean）。取樣時間為 2011 年 7 月。

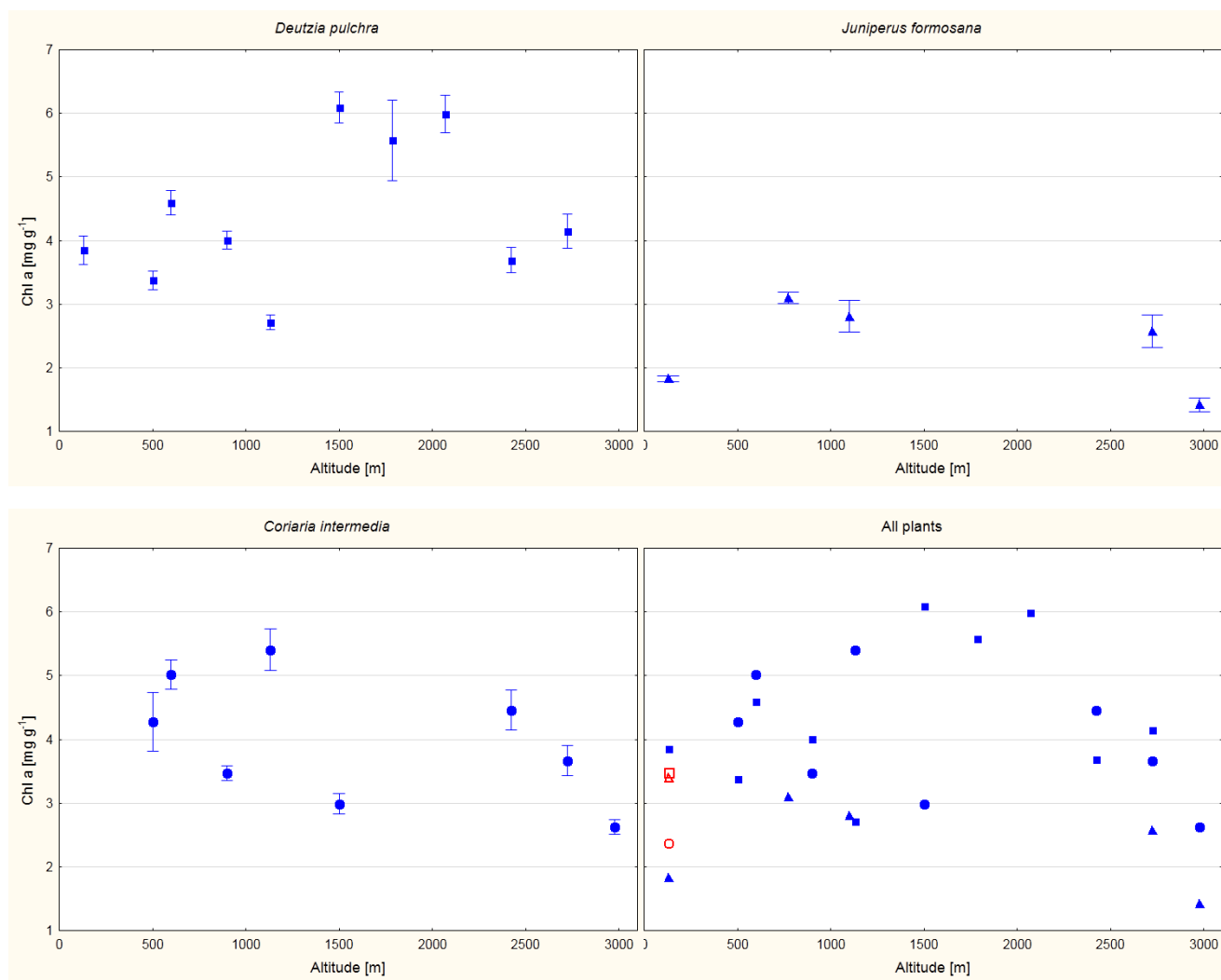


圖 7：植物葉片葉綠素含量（單位質量）隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏（*Deutzia pulchra*，實心正方形）、刺柏（*Juniperus formosana*，實心三角形）、台灣馬桑（*Coriaria intermedia*，實心圓形）、車桑子（*Dodonaea viscosa*，空心正方形）、羅氏鹽膚木（*Rhus semialata* var. *roxburghiana*，空心圓形）、以及檜梧（*Elaeagnus oldhamii*，空心三角形）。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差（standard error of mean）。取樣時間為 2011 年 11 月。

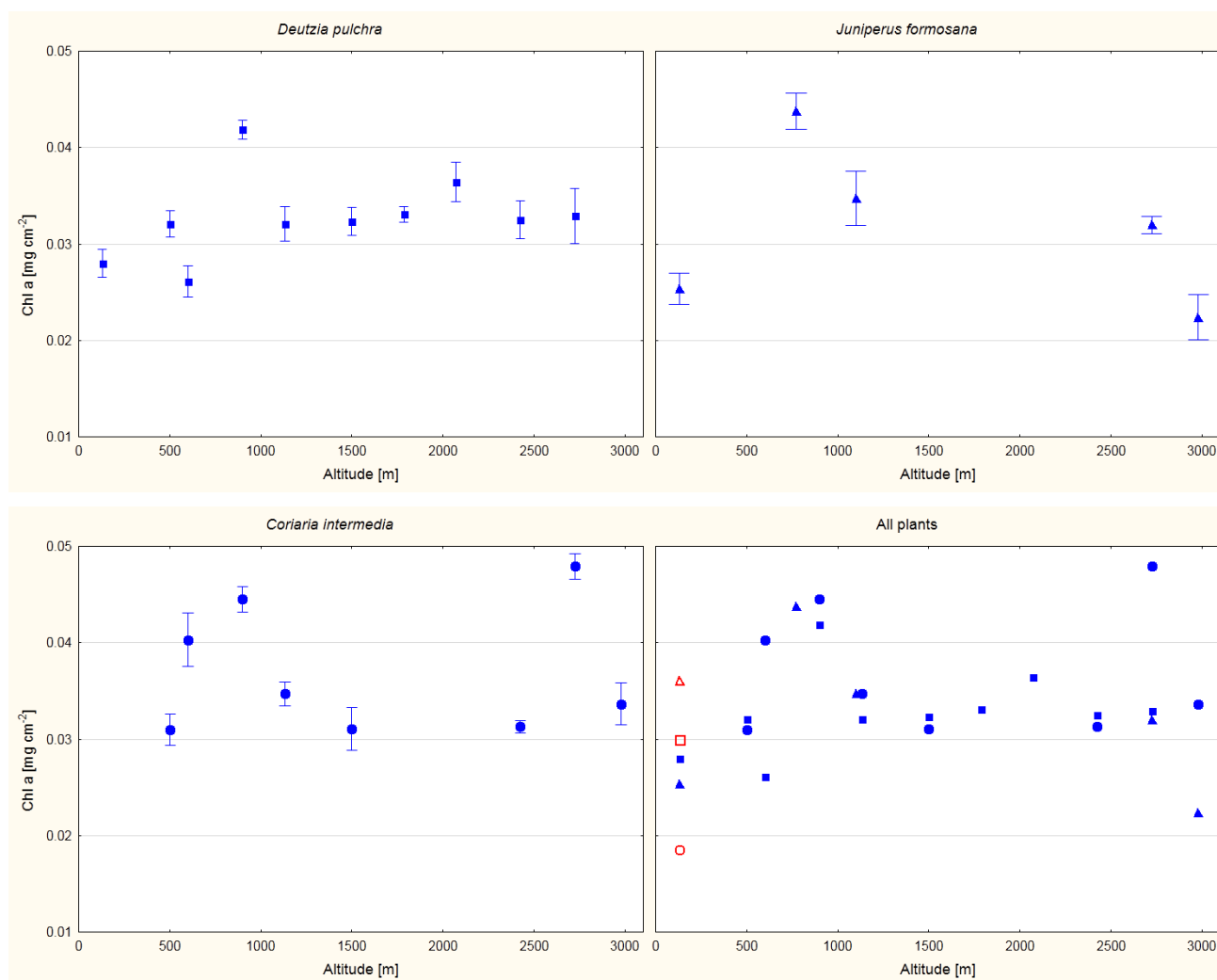


圖 8：植物葉片單位葉面積葉綠素含量隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*，實心正方形)、刺柏 (*Juniperus formosana*，實心三角形)、台灣馬桑 (*Coriaria intermedia*，實心圓形)、車桑子 (*Dodonaea viscosa*，空心正方形)、羅氏鹽膚木 (*Rhus semialata* var. *roxburghiana*，空心圓形)、以及檵木 (*Elaeagnus oldhamii*，空心三角形)。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差 (standard error of mean)。取樣時間為 2011 年 7 月。

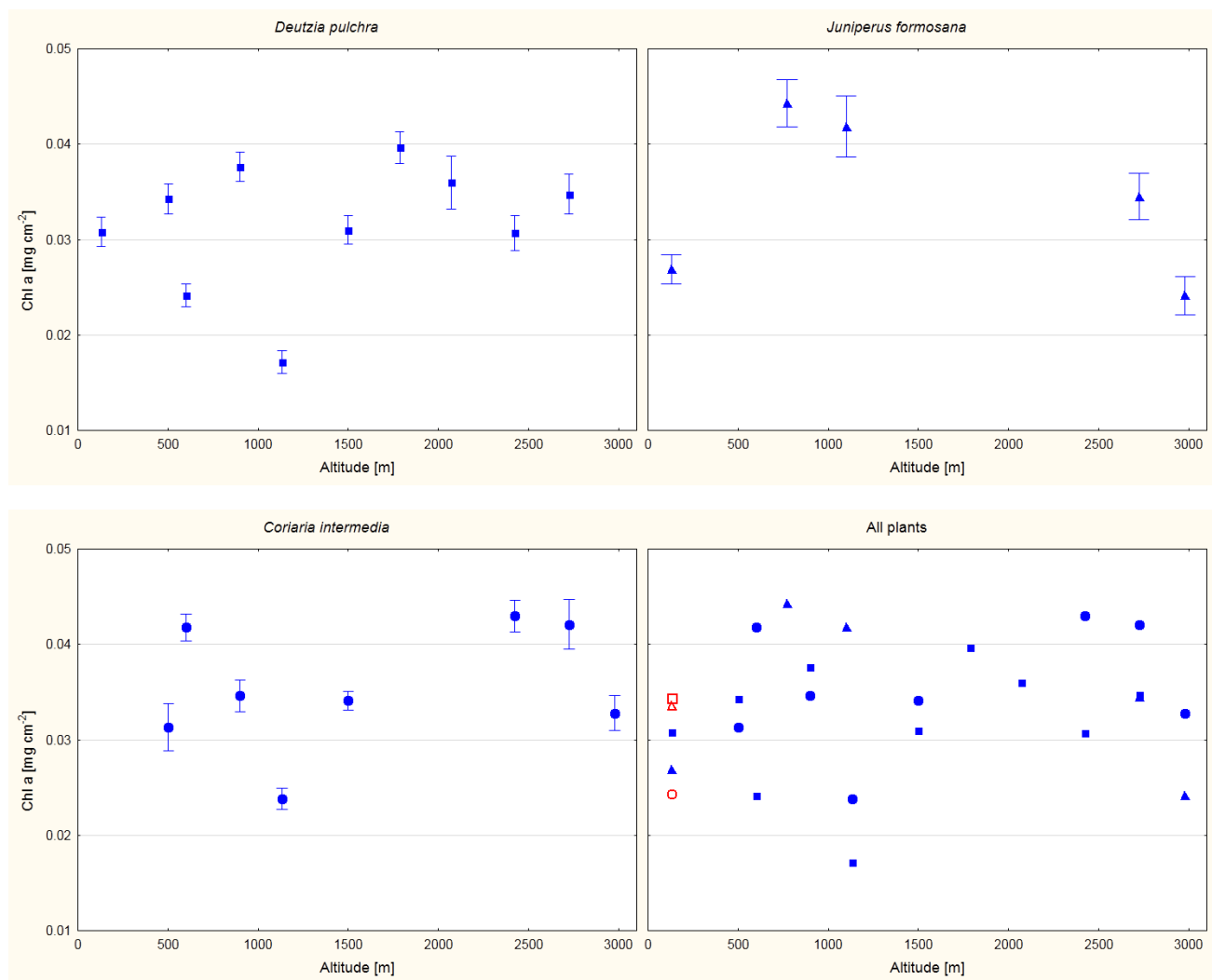


圖 9：植物葉片單位葉面積葉綠素含量隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*，實心正方形)、刺柏 (*Juniperus formosana*，實心三角形)、台灣馬桑 (*Coriaria intermedia*，實心圓形)、車桑子 (*Dodonaea viscosa*，空心正方形)、羅氏鹽膚木 (*Rhus semialata* var. *roxburghiana*，空心圓形)、以及椴樹 (*Elaeagnus oldhamii*，空心三角形)。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差 (standard error of mean)。取樣時間為 2011 年 11 月。

參、 葉片反射光譜特性

2011 年 5 月至 6 月的第 1 次野外葉片反射光譜量測，共計量測了 495 個葉片。由於經驗不足，在儀器光源強度參數的設定部分不正確，致使一部份葉片在 600 nm 以下波長的反射率為零，因而無法計算所有的反射光譜參數。2011 年 7 月份進行第 2 次的野外量測，共量測了 375 個葉片，包括海拔梯度的台灣馬桑、大葉溲疏、和刺柏，以及海岸區域的車桑子、楨梧、和羅氏鹽膚木。2011 年 11 月的第 3 次量測工作，則是量測了 365 片葉子，量測地點和物種都和第 2 次量測相同。

每一片葉片的反射光譜都進行 3 重複的量測，記錄下來的各波段的光強度平均值除以標準光強度，所得即為各波段的反射率。針對每一個葉片，可從反射光譜計算各種光譜指標。本研究報告呈現的指標為 PRI、SIPI、以及 Chl NDI。

圖 10 為不同海拔高度大葉溲疏的反射光譜圖，顯示了典型的植物葉片反射光譜特性。在可見光 400 nm 至 700 nm 的範圍，反射率遠低於近紅外光範圍。而可見光中的綠光(550 nm 為中心)則比紅光與藍光有較高的反射率。比較不同海拔大葉溲疏的反射光譜圖，則可以發現在海岸地區的大葉溲疏葉片有最大的反射率，包括可見光以及近紅外光的所有波段。離開海岸地區進到低海拔山區後，大葉溲疏的各波段反射率降至最低。而隨者海拔逐漸上升，反射率又逐漸上升。不僅大葉溲疏如此，刺柏的反射率也是在海岸地區最高，而其餘的地區則是隨海拔升高，反射率漸增(圖 11)。然而不知原因為何，位於研海林道的刺柏也有很高的反射率。

海岸地區植物葉片的反射率最高，表示此處的植物葉片可能必須避免過多的太陽短波輻射的吸收。一方面可以降低潛熱通量(latent heat flux)的需求，另一方面也可降低光合作用的光反應，以避免海岸地區因海鹽沈降所帶來的水份逆境傷害。由葉綠素濃度的資料也可以支持此論點，在海岸地區的植物葉片，葉綠素濃度較低，也可以降低光反應量，避免水份逆境。

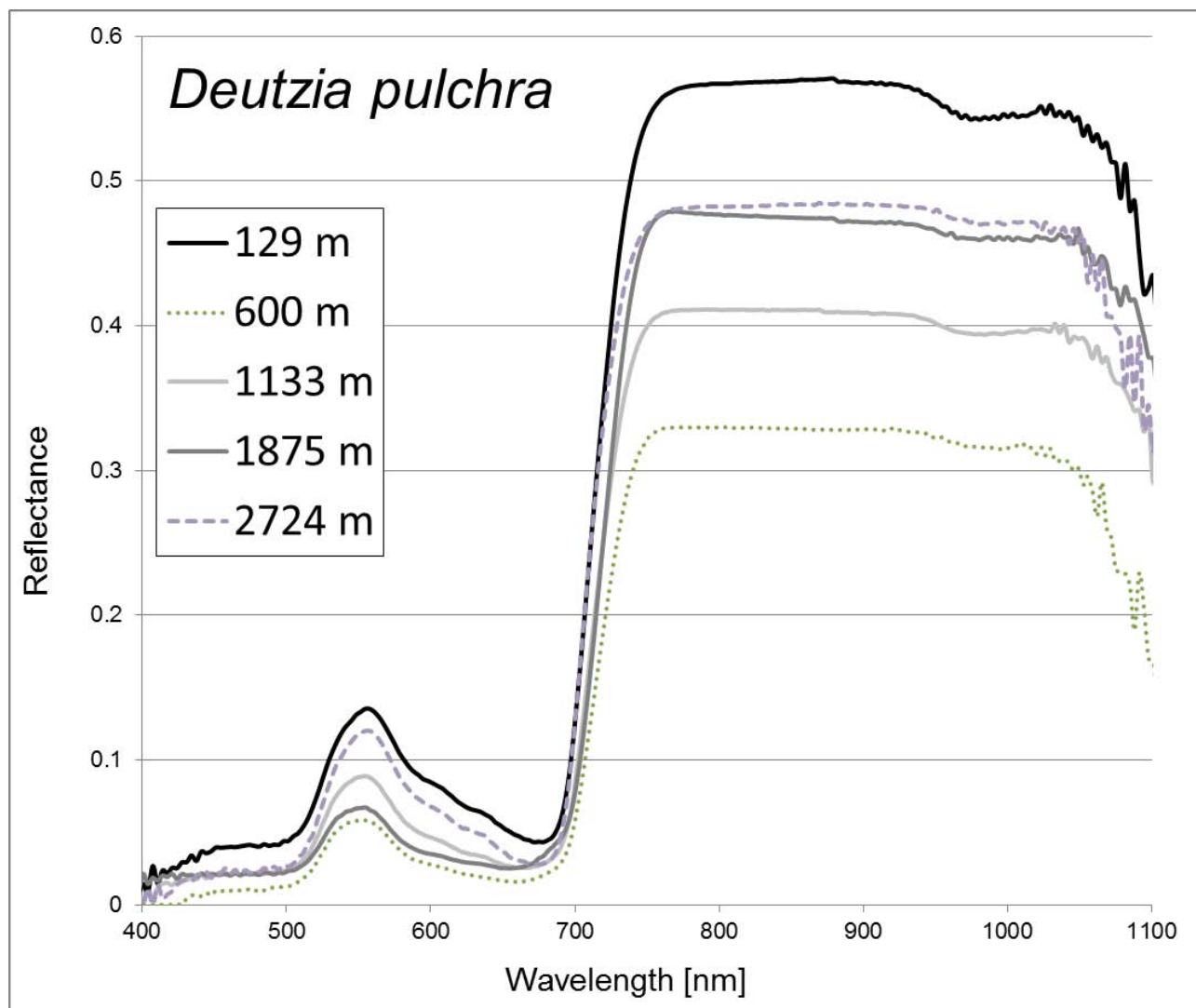


圖 10：大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*) 葉片反射光譜。樣品為太魯閣國家公園 5 個不同海拔高度各 15 個樣品的其中一個，取樣時間為 2011 年 11 月。

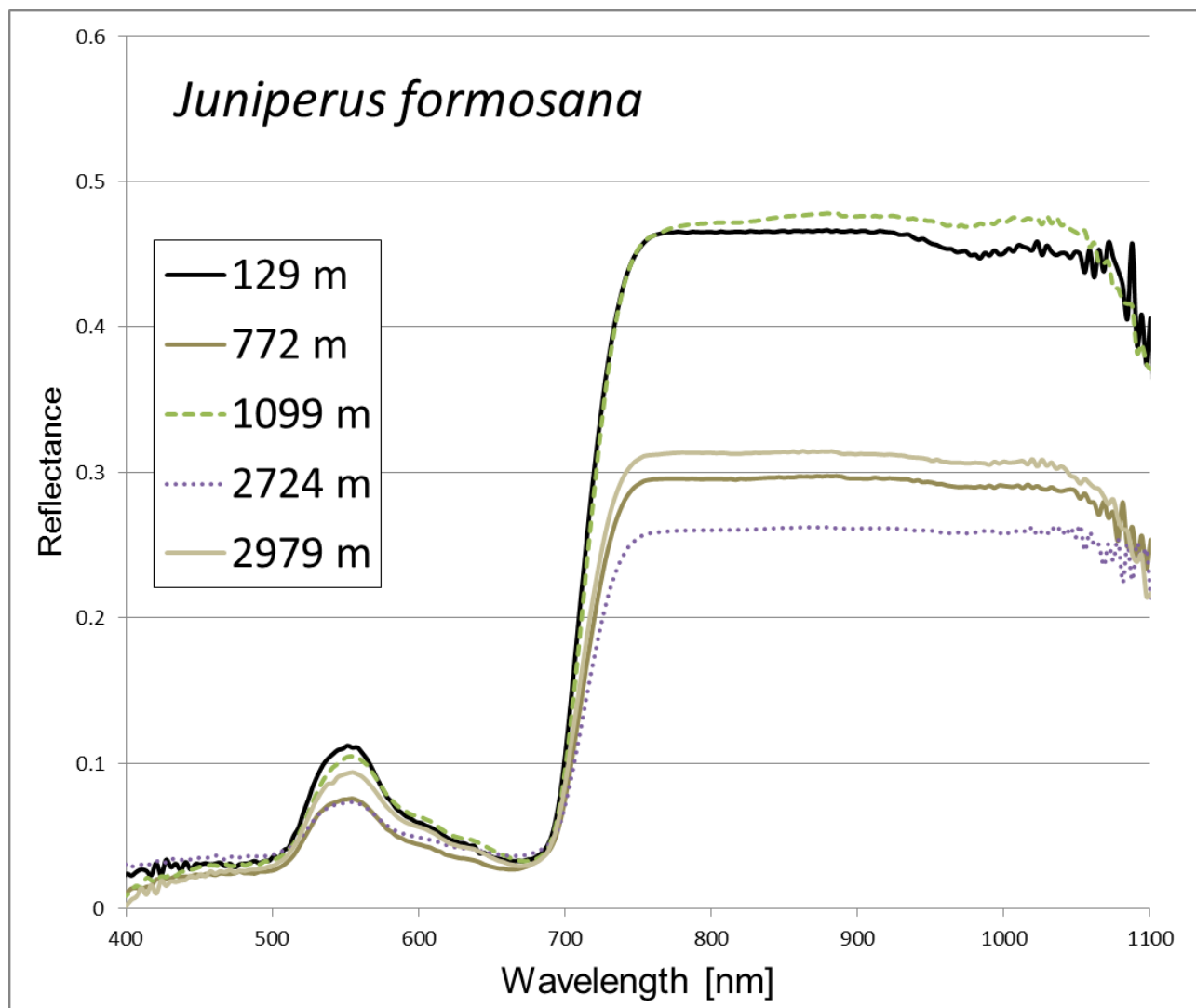


圖 11：刺柏 (*Juniperus formosana*) 葉片反射光譜。樣品為太魯閣國家公園 5 個不同海拔高度各 15 個樣品的其中一個，取樣時間為 2011 年 11 月。

由植物葉片的反射光譜計算得到的 Chl NDI 值，常被用來指示葉片內葉綠素的濃度。從 2011 年 7 月份的 Chl NDI 資料看來，海岸地區植物的 Chl NDI 值較低，中海拔葉片較高，而高海拔葉片又降低。這樣的現象在大葉溲疏以及刺柏葉片最明顯，台灣馬桑葉片 Chl NDI 隨海拔上生有較大的上下變動，較無一致的趨勢(圖 12)。進入秋季後，這個海拔變化的趨勢不再有夏季時的明顯(圖 13)。

為了了解 Chl NDI 與實際測量所得的葉片內葉綠素 a 濃度的相關性，我們把每次採樣每個採樣點的 15 個葉片的平均 Chl NDI 值，以及 15 個葉片的葉綠素 a 濃度平均值，進行一次線性迴歸分析。結果如圖 14 顯示，Chl NDI 與單位葉面積的葉綠素含量有顯著的線性相關。大葉溲疏的迴歸公式為 $y = -0.0131 + 0.0829 \cdot x$ ($p = 0.0419$; $R^2 = 0.2104$)，刺柏的迴歸公式為 $y = 0.0006 + 0.074 \cdot x$ ($p = 0.0311$; $R^2 = 0.4599$)，台灣馬桑的迴歸公式為 $y = -0.0167 + 0.0951 \cdot x$ ($p = 0.0002$; $R^2 = 0.6494$)。Chl NDI 這個反射光譜指標，確實與葉片葉綠素濃度有顯著的相關性。然而針對大葉溲疏和刺柏，Chl NDI 僅能解釋不到 50% 的葉綠素 a 濃度變異。本研究量測葉片反射光譜和葉綠素濃度的葉片，為不同的樣本，因此可能導致相關性偏低。未來若要瞭解此種相關性，應在量測完葉片反射光譜後，直接採取同一葉片進行色素濃度的分析。此外，本次的分析是將 2011 年 7 月和 11 月的資料混合一起。季節性的變化也可能導致相關性降低。另一個值得注意的地方是，Chl NDI 與單位質量葉綠素 a 含量的相關性，比與單位葉面積葉綠素 a 含量的相關性還低。在葉綠素 a 濃度的海拔高度變化上，反而是單位質量葉綠素 a 含量有較顯著的海拔梯度變化。

PRI 是另一個與光合作用有關的反射光譜指標，可以用來代表光反應系統 II(photosystem II)的效率，另外也常被用來代表葉片消散過多能量的葉黃素循環(xanthophyll cycle)效率。圖 15 和圖 16 顯示 PRI 隨海拔高度的變化情形。高海拔地區的葉片 PRI 最低，而海岸地區的葉片 PRI 略低於中低海拔的葉片。這個結果顯示了，海岸地區植物的光反應系統效率及葉黃素循環效率並不差

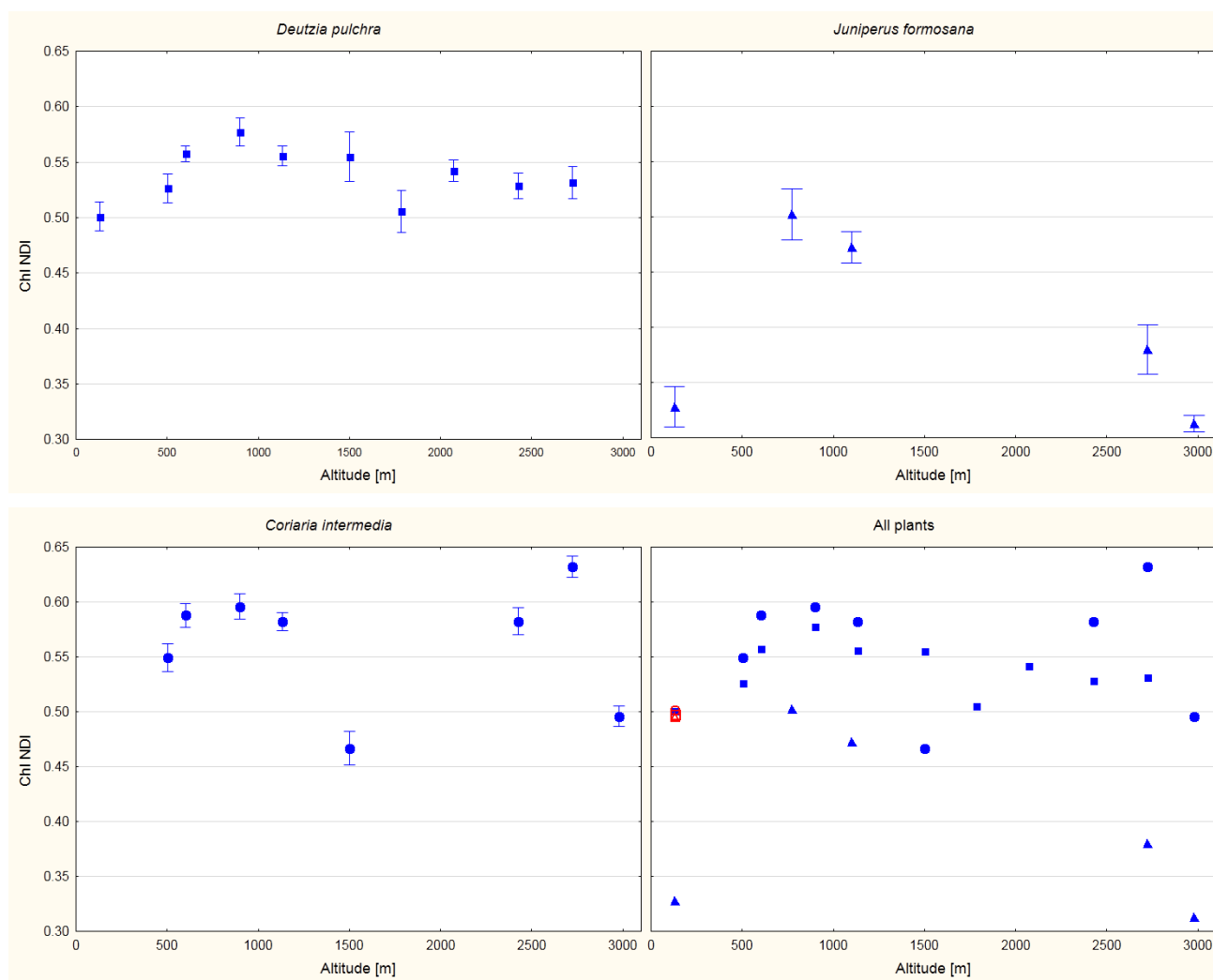


圖 12：植物葉片 Chl NDI 隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*, 實心正方形)、刺柏 (*Juniperus formosana*, 實心三角形)、台灣馬桑 (*Coriaria intermedia*, 實心圓形)、車桑子 (*Dodonaea viscosa*, 空心正方形)、羅氏鹽膚木 (*Rhus semialata* var. *roxburghiana*, 空心圓形)、以及椴木 (*Elaeagnus oldhamii*, 空心三角形)。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差 (standard error of mean)。取樣時間為 2011 年 7 月。

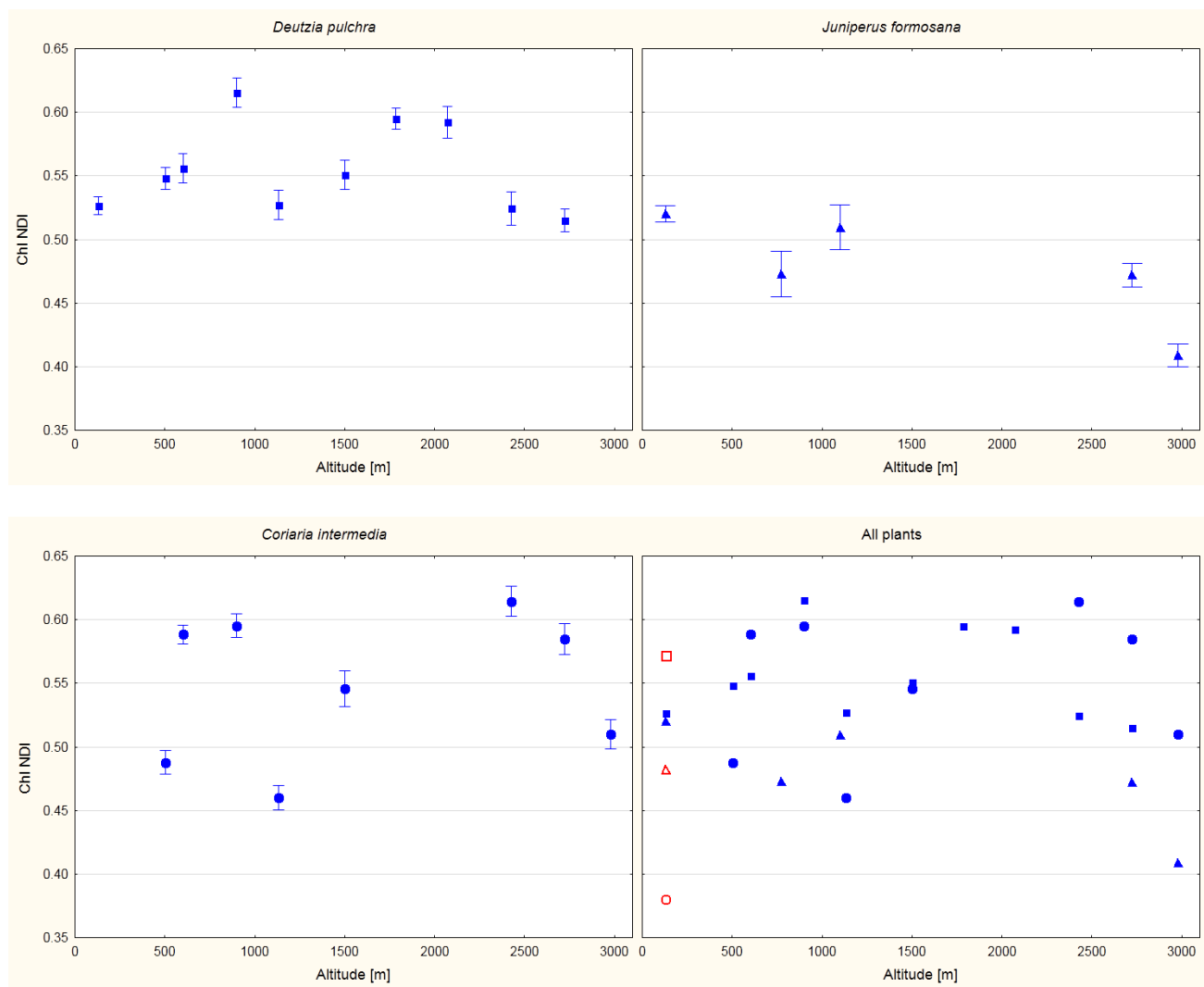


圖 13：植物葉片 Chl NDI 隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*, 實心正方形)、刺柏 (*Juniperus formosana*, 實心三角形)、台灣馬桑 (*Coriaria intermedia*, 實心圓形)、車桑子 (*Dodonaea viscosa*, 空心正方形)、羅氏鹽膚木 (*Rhus semialata* var. *roxburghiana*, 空心圓形)、以及椴木 (*Elaeagnus oldhamii*, 空心三角形)。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差 (standard error of mean)。取樣時間為 2011 年 11 月。

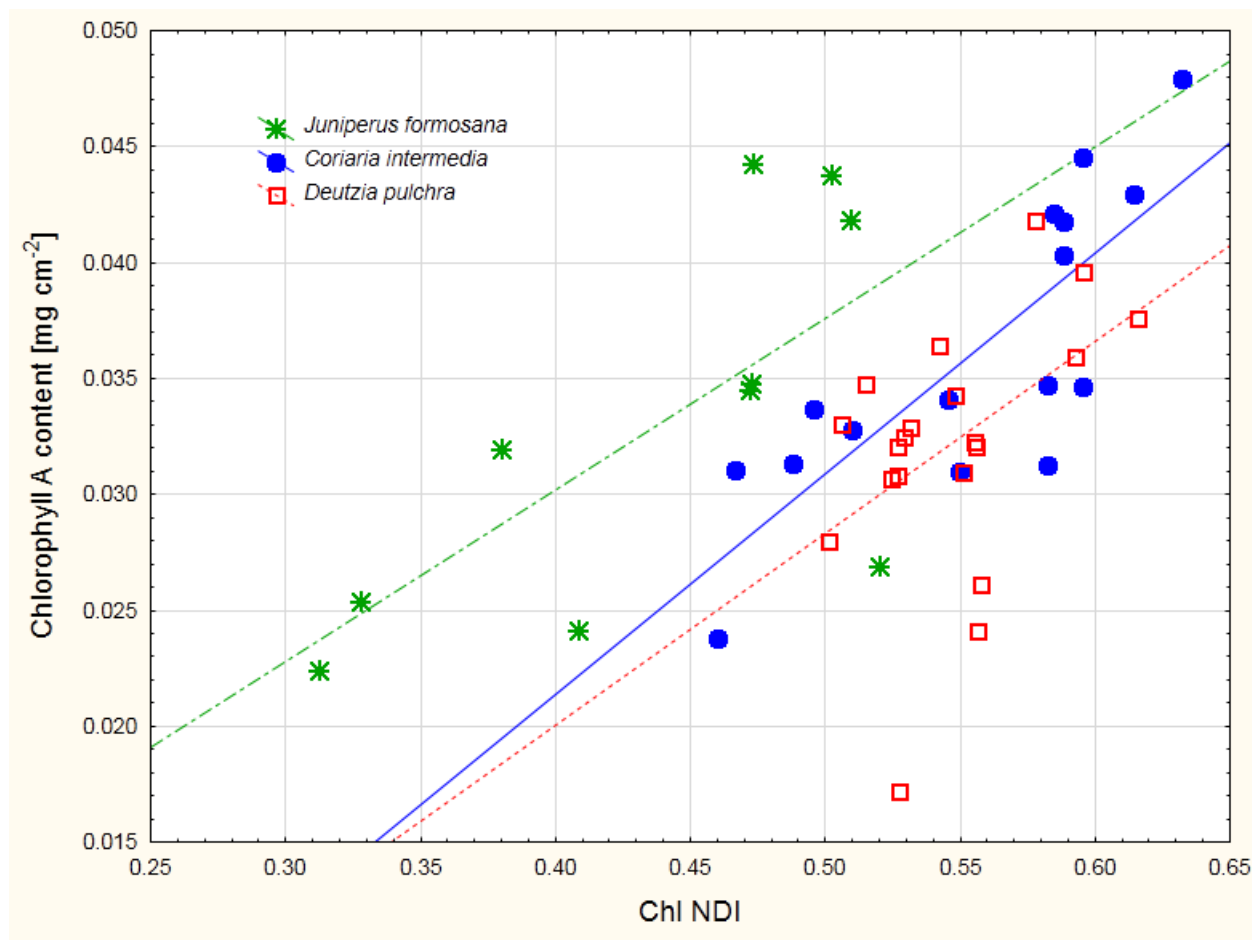


圖 14：植物葉片 Chl NDI 與葉片單位面積的葉綠素含量單位面積的葉綠素含量相關分析。研究的植物包括：大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*)、刺柏 (*Juniperus formosana*)、以及台灣馬桑 (*Coriaria intermedia*)。每個數值為單一次採樣時間但同一個採樣點的 15 個葉片的平均值，取樣時間為 2011 年 7 月和 11 月。圖中的直線為針對個別植物所進行的一次線性迴歸分析結果。

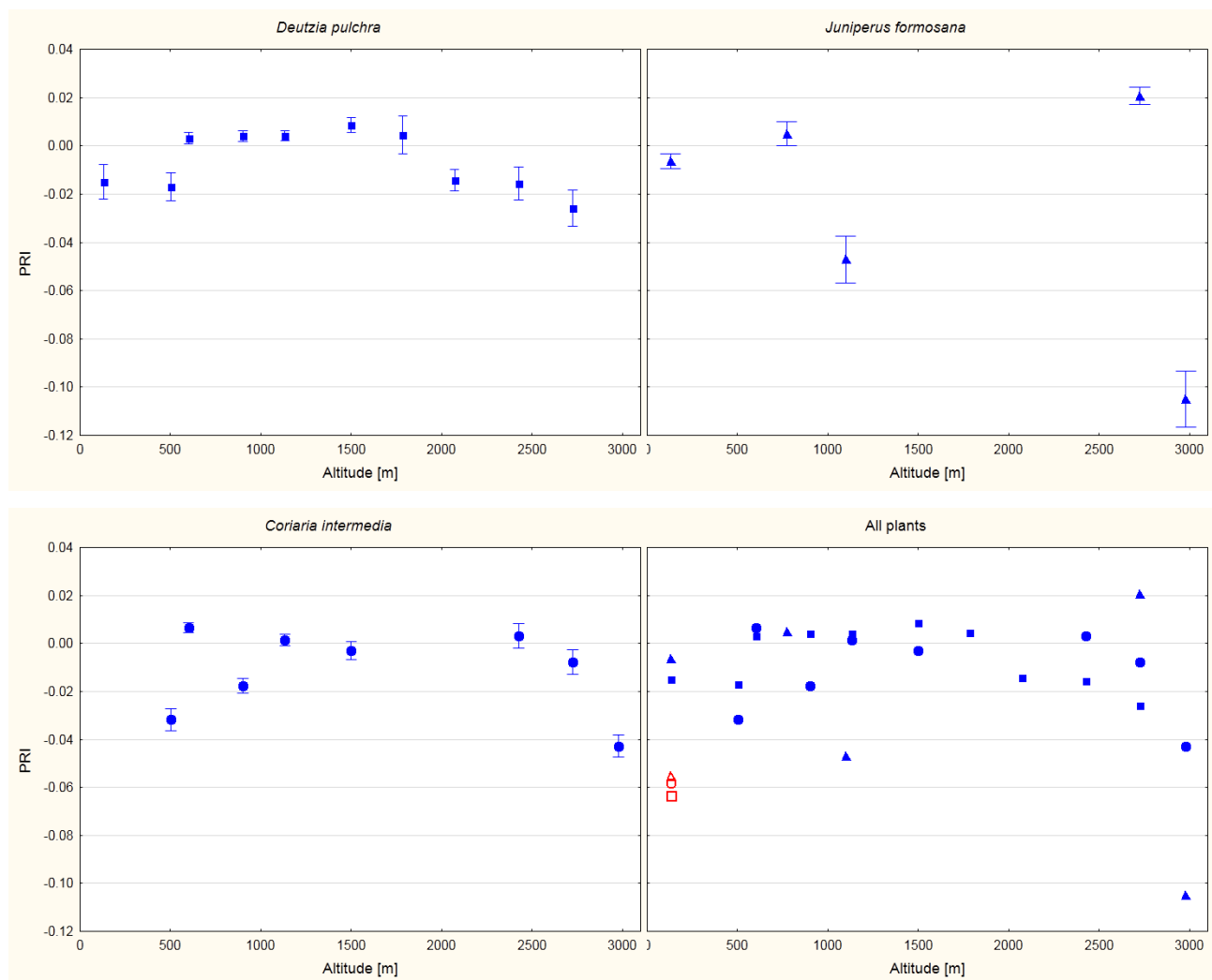


圖 15：植物葉片 PRI 隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉溲疏 (*Deutzia pulchra*, 實心正方形)、刺柏 (*Juniperus formosana*, 實心三角形)、台灣馬桑 (*Coriaria intermedia*, 實心圓形)、車桑子 (*Dodonaea viscosa*, 空心正方形)、羅氏鹽膚木 (*Rhus semialata* var. *roxburghiana*, 空心圓形)、以及椴木 (*Elaeagnus oldhamii*, 空心三角形)。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差 (standard error of mean)。取樣時間為 2011 年 7 月。

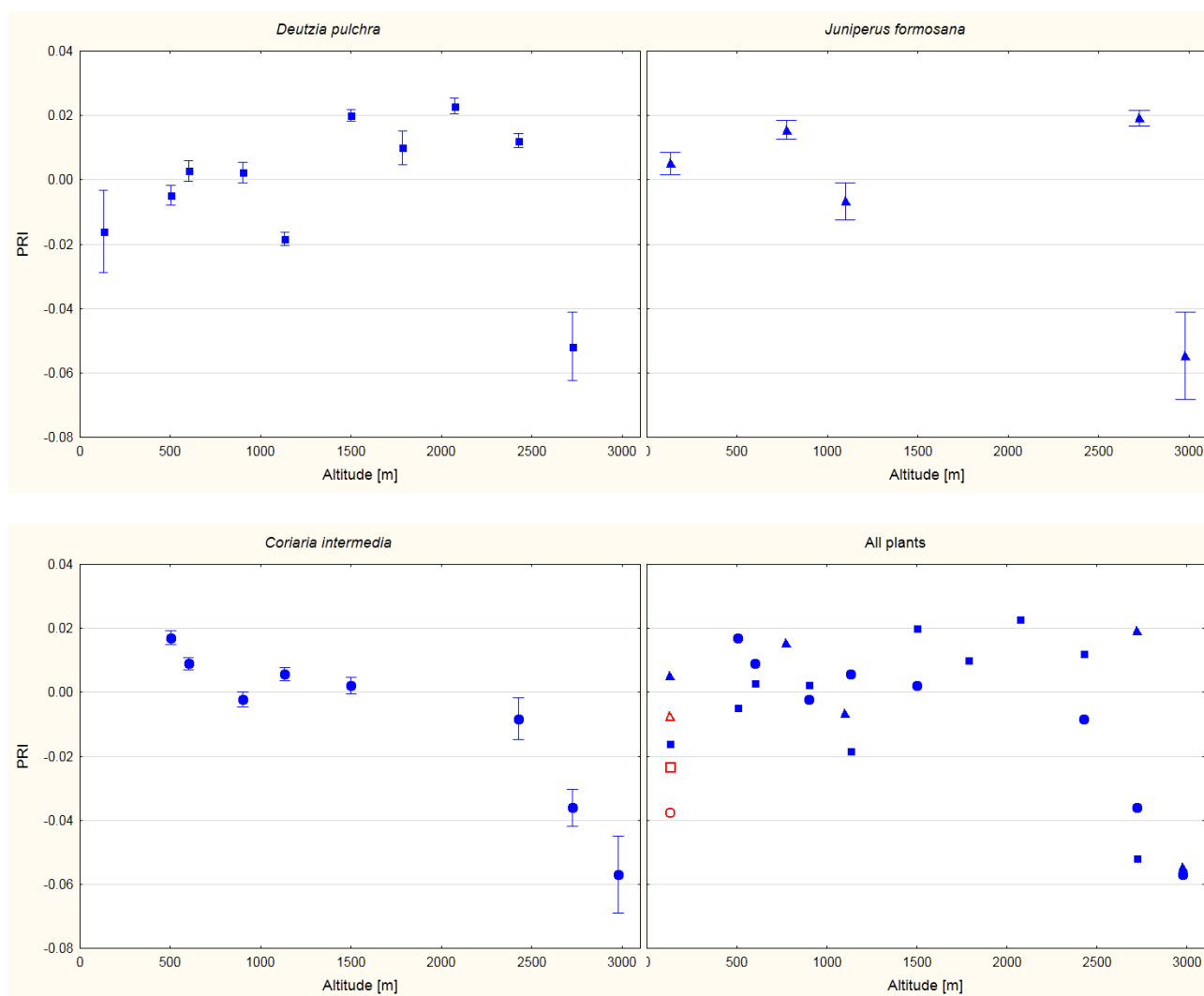


圖 16：植物葉片 PRI 隨海拔高度的變化趨勢。研究的植物包括：大葉洩疏 (*Deutzia pulchra*，實心正方形)、刺柏 (*Juniperus formosana*，實心三角形)、台灣馬桑 (*Coriaria intermedia*，實心圓形)、車桑子 (*Dodonaea viscosa*，空心正方形)、羅氏鹽膚木 (*Rhus semialata* var. *roxburghiana*，空心圓形)、以及檵木 (*Elaeagnus oldhamii*，空心三角形)。每個數值為 15 個葉片的平均值，同時顯示 1 倍的標準誤差 (standard error of mean)。取樣時間為 2011 年 11 月。

肆、 綜合討論

綜合蘇花海岸生態系的化學環境、雲霧覆蓋、以及植物生理生態學特性的研究結果，由海鹽沈降所造成的土壤鹽分及水份逆境，可能是海岸生態系最大的限制因子。水份的限制，若加上強烈的日輻射能量輸入，將造成植物的嚴重傷害。但從雲霧覆蓋的資料看來，蘇花海岸地區在早上 11 點的雲霧覆蓋率就已經達到 58%，而下午 13 點左右更增高到 75%，正午時間的強烈日輻射可藉由雲霧的散射作用而降低，因而降低水份的需求。另一方面，由反射光譜的資料也可看出，海岸地區植物葉片的反射率高於其他海拔的葉片。這樣的機制可進一步降低水份散失的量，避免造成植物的凋萎。然而這個假說的驗證，有待進一步的植物水份利用，以及土壤水份狀態的研究。

Zinnert et al. (2011)在實驗室對海岸植物進行不同的鹽分處理，發現 PRI 與植物組織內的氯離子濃度有關，因此可以做為植物遭遇鹽分逆境的指標。他們的研究結論指出，由於全球氣候變遷造成海平面上升，海岸植物面對鹽分環境的威脅逐漸增加，使用 PRI 來監測海岸植物，將可能可以作為鹽分逆境的預警指標。本研究並未對蘇花海岸生態系的植物進行組織養分的測定，此點應是未來研究可以進行的項目。若 PRI 也與鹽分逆境有顯著的相關性，則可以應用作為蘇花海岸海平面變遷/鹽分逆境變遷的指標。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究結果顯示，蘇花海岸生態系的植物面臨多重的環境逆境，包括了由海鹽沈降所帶來的鹽分及水份逆境；由較高的雲霧覆蓋率所造成的光環境逆境；以及由先前研究所證實的強風逆境。然而藉由植物葉片生理生態學的研究，我們發現海岸地區植物葉片的反射率高於其他海拔的葉片，而且海岸地區植物的光合作用光反應系統效率並不低。這顯示了海岸地區植物在面對鹽分及水份逆境時，日輻射的降低(藉由雲霧覆蓋以及植物本身的高反射率)反而是減緩水份逆境的有利條件。海岸生態系的植物可以利用清晨日出後一直到中午雲霧覆蓋前的陽光，進行所需的光合作用，並不至影響植物的生長。

我們認為，相較於世界其他多數的海岸生態系，太魯閣國家公園蘇花海岸生態系的最大特色，就在於陡峭地形所造成的雲霧覆蓋以及較早的日落時間，使得一般常見於海岸植物的嚴重水份逆境得以減緩，因而可以發展出蘇花海岸的茂密植被。

第二節 建議

壹、 立即可行建議

目前蘇花海岸生態系的植物應已適應海岸地區的環境，尤其是具有高反射率的這項適應機制。若有在蘇花海岸進行植栽的需求，應盡量取材自海岸地區的天然或人工栽植的小苗。

貳、 中長期建議

1. 為了更清楚瞭解海岸生態系植物的適應機制，應更進一步進行植物水份生理學的研究工作。
2. 本研究所進行的大氣沈降、雲霧覆蓋、以及植物生理生態學的量測工作，應持續進行，已獲取更明確的結論。
3. 本研究所獲取的海岸生態系特性，以及海岸植物的適應機制，可適度編入蘇花海岸地區的生態解說教材。

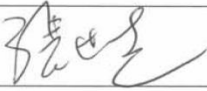
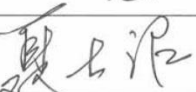
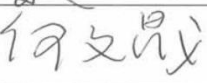
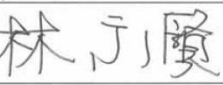
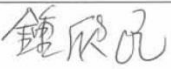
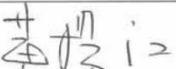
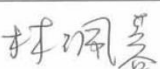
致謝

感謝中央氣象局花蓮氣象站陳世嵐主任協助氣象資料的取得與分析。太魯閣國家公園管理處保育課同仁，以及太魯閣國家公園合歡山管理站同仁，在研究工作進行時給予多方的協助，在此一併致謝。

附錄 1：太魯閣國家公園 100 年度委託研究「代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第三期」期中報告會議紀錄

太魯閣國家公園管理處

「代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第三期」期中簡報簽到簿

時 間：100 年 7 月 14 日(星期四)上午 11 點 00 分	
地 點：本處會議室	
主持人：曾處長偉宏	
紀錄：高欣	
報告人：張世杰教授 	
出席	簽 到 處
張副處長登文	
林秘書忠杉	
企劃經理課	
環境維護課	
解說教育課	
保育研究課	 
遊憩服務課	
合歡山管理站	
天祥管理站	
布洛灣管理站	
蘇花管理站	
	  

『代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第
三期』

期中簡報會議紀錄

一、時間：100年7月14日上午10時30分

二、地點：本處大會議室

三、主持人：曾處長偉宏

記錄：高 欣

四、與會人員：張副處長登文、林秘書忠杉、聶世詔、黃揚江、何
文晟、陳俊山、林永賢、陳孟江、蔡佩芳、江淑敏、黃東暉。

五、主辦課室報告：依合約第二條規定應於100年7月25日前提
出期中報告書，本案國立東華大學於100年7月11日送達，符
合合約規定，並出席本處排定今日之期中審查會議。

六、討論（略）：

七、結論：

（一）有關100年度各委託（研究）辦理計畫簡報電子檔，會後保存
於本處公用區U:\業務資料區\（04-簡報區）\保育課\100期中
簡報 資料夾中，提供本處各業務課室經營管理參考運用。

（二）本案蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫，因近兩年相關區域
調查已完成蘇花海岸兩棲爬蟲動物地理分布與蘇花海岸稀有
植物相調查等，今年預期完成蘇花海岸之物理、化學逆境等

與植物適應之生理機制探討，以加強相關蘇花海岸生態系之生境調查。本案由於資料蒐集與分析範圍廣闊，本處授權受託團隊就現有之調查項目，篩選較完整部分在下半年進一步行分析，以提供較完整具體之研究成果並作為未來蘇花替代道路設置前後生態環境變遷之相關參考依據。

- (三) 本案期中簡報原則通過，請依合約規定辦理第二期款款項請領程序，並依規登錄國科會GRB系統進度資料及提送登錄內政部研考資訊系統所需報告電子檔。

附錄 2：太魯閣國家公園 100 年度委託研究「代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第三期」期末報告會議紀錄

「代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第三期」案

期末審查會議出席人員簽名冊

主辦單位：保育研究課

時間	100 年 12 月 9 日上午 10 時 30 分	地點	本處會議室
主持人	曾處長偉宏	紀錄	高欣
出席人員			
機關 (單位)	簽名 (請以正楷書寫，以利辨識)		
1	國立東華大學	張明 鍾欣民	
2			
3	太魯閣國家公園 副處長		
4	秘書	林忠邦	
5	企劃經理課	連建	
6	環境維護課		
7	遊憩服務課		
8	解說教育課	蘇素貞	
9	蘇花管理站		
10	布洛灣管理站	黃清波	
11	天祥管理站		
12	合歡山管理站		
13	保育研究課	陳俊 高欣 江淑妃 蔡祥	
14		夏尊瑞	
15			

『代表性生態系之蘇花海岸生態系長期生態研究網計畫第三期』

期末簡報會議紀錄

一、時間：100年12月09日上午10時30分

二、地點：本處大會議室

三、主持人：曾處長偉宏

記錄：高 欣

四、與會人員：（如簽到簿）

五、主辦課室報告：依合約第二條規定應於100年11月25日前提出期

中報告書，本案國立東華大學於100年11月16日送達，符合合約

規定，並出席本處排定今日之期末審查會議。

六、討論（略）：

七、結論：

（一）本案研究植物面對蘇花海岸嚴厲之環境逆境產生之生理適應機

制，所得成果請團隊協助編寫，提供本處做為蘇花海岸特殊

生境之解說題材。

（二）成果報告書請依據內政部委託研究計劃作業規定格式檢核表修

正後，經承辦人確認後再行印製。

（三）本案期末簡報內容符合本處需求，審核通過，請受託單位依合

約規定辦理後續結案相關事宜，並依規登錄國科會GRB系統進

度資料及提送登錄內政部研考資訊系統所需報告電子檔。

參考文獻

- Azevedo, J. & Morgan, D. L. (1974) Fog precipitation in coastal California forests. *Ecology*, **55**, 1135-1141.
- Batista, W. B. & Platt, W. J. (2003) Tree population responses to hurricane disturbance: syndromes in a south-eastern USA old-growth forest. *Journal of Ecology*, **91**, 197-212.
- Bellingham, P. J., Tanner, E. V. J. & Healey, J. R. (2005) Hurricane disturbance accelerates invasion by the alien tree *Pittosporum undulatum* in Jamaican montane rain forests. *Journal of Vegetation Science*, **16**, 675-684.
- Bendix, J. (2002) A satellite-based climatology of fog and low-level stratus in Germany and adjacent areas. *Atmospheric Research*, **64**, 3-18.
- Bruijnzeel, L. A. & Veneklaas, E. J. (1998) Climatic conditions and tropical, montane forest productivity: The fog has not lifted yet. *Ecology*, **79**, 3-9.
- Burke, L., Kura, Y., Kassem, K., Revenga, C., Spalding, M. & McAllister, D. (2001) Pilot Assessment of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems., pp. 93. World Resources Institute, Washington, DC, USA.
- Chang, S. C., Lai, I. L. & Wu, J. T. (2002) Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan. *Atmospheric Research*, **64**, 159-167.
- Clayton, J. L. (1972) Salt spray and mineral cycling in two California coastal ecosystems. *Ecology*, **53**, 74-81.
- Dawson, T. E. (1998) Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia*, **117**, 476-485.
- de Vos, A. C., Broekman, R., Groot, M. P. & Rozema, J. (2010) Ecophysiological response of *Crambe maritima* to airborne and soil-borne salinity. *Annals of Botany*, **105**, 925-937.
- Elias, V., Tesar, M. & Buchtele, J. (1995) Occult precipitation: sampling, chemical analysis and process modelling in the Sumava Mts. (Czech Republic) and in the Taunus Mts. (Germany). *Journal of Hydrology*, **166**, 409-420.
- Günthardt-Goerg, M. S. & Vollenweider, P. (2007) Linking stress with macroscopic and microscopic leaf response in trees: new diagnostic perspectives. *Environmental Pollution*, **147**, 467-488.
- Gleason, S. M., Williams, L. J., Read, J., Metcalfe, D. J. & Baker, P. J. (2008) Cyclone effects on the structure and production of a tropical upland rainforest: implications for life-history tradeoffs. *Ecosystems*, **11**, 1277-1290.
- Hassan, R., Scholes, R. & Ash, N. (2005) Ecosystems and human well-being : current state and trends : findings of the Condition and Trends Working Group. *The millennium ecosystem assessment series*, pp. 948. Island Press, Washington, DC, USA.
- Kramer, M. G., Hansen, A. J., Taper, M. L. & Kissinger, E. J. (2001) Abiotic controls on long-term windthrow disturbance and temperate rain forest dynamics in southeast Alaska. *Ecology*, **82**, 2749-2768.

- Richardson, A. D. & Berlyn, G. P. (2002) Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Betula papyrifera* (Betulaceae) leaves along an elevational gradient on Mt. Mansfield, Vermont, USA. *American Journal of Botany*, **89**, 88-94.
- Richardson, A. D., Berlyn, G. P. & Duigan, S. P. (2003) Reflectance of Alaskan black spruce and white spruce foliage in relation to elevation and latitude. *Tree Physiology*, **23**, 537-544.
- Smith, W. H. (1989) Effects of acidic precipitation on forest ecosystems in North America. *Acidic precipitation, Vol. 2: Biological and ecological effects* (eds D. C. Adriano & A. H. Johnson), pp. 165-188. Springer-Verlag, New York, USA.
- Wang, X. M., Dong, Z. B., Zhang, J. W. & Liu, L. C. (2004) Modern dust storms in China: an overview. *Journal of Arid Environments*, **58**, 559-574.
- Weathers, K. C., Lovett, G. M., Likens, G. E. & Caraco, N. F. M. (2000) Cloudwater inputs of nitrogen to forest ecosystems in southern Chile: Forms, fluxes, and sources. *Ecosystems*, **3**, 590-595.
- Weng, J.-H., Liao, T.-S., Hwang, M.-Y., Chung, C.-C., Lin, C.-P. & Chu, C.-H. (2006) Seasonal variation in photosystem II efficiency and photochemical reflectance index of evergreen trees and perennial grasses growing at low and high elevations in subtropical Taiwan. *Tree Physiology*, **26**, 1097-1104.
- Weng, J. H., Wong, S. L., Lai, K. M. & Lin, R. J. (2011) Relationships between photosystem II efficiency and photochemical reflectance index under different levels of illumination: comparison among species grown at high- and low elevations through different seasons. *Trees-Structure and Function*, DOI **10.1007/s00468-011-0596-0**.
- Zhu, J.-j., Liu, Z.-g., Li, X.-f., Takeshi, M. & Yutaka, G. (2004) Review: effects of wind on trees. *Journal of Forestry Research*, **15**, 153-160.
- Zinnert, J. C., Nelson, J. D. & Hoffman, A. M. (2011) Effects of salinity on physiological responses and the photochemical reflectance index in two co-occurring coastal shrubs. *Plant and Soil*, DOI: **10.1007/s11104-011-0955-z**.