

探討不同海拔梯度下昆蟲幾丁質和降水中氫氧 同位素之關係

-以步行蟲及其群聚為例

The Stable Isotopic Relationship between Insect Chitin and Precipitation
along Elevation Gradients

- Use Carabidae (Coleoptera: Carabidae) Assemblages as an Example

內政部太魯閣國家公園管理處受理研究生研究報告書

中華民國九十九年十二月

探討不同海拔梯度下昆蟲幾丁質和降水中氫氧 同位素之關係

-以步行蟲及其群聚為例

The Stable Isotopic Relationship between Insect Chitin and Precipitation
along Elevation Gradients

- Use Carabidae (Coleoptera: Carabidae) Assemblages as an Example

研究生 詹偉平

指導教授 袁孝維 教授

內政部太魯閣國家公園管理處受理研究生研究報告書

中華民國九十九年十二月

目次

圖次	III
摘要	IV
壹、 文獻回顧	1
貳、 研究方法及過程	2
參、 研究結果	3
肆、 討論	6
伍、 結論	9
陸、 施政建議	10
柒、 參考資料	11
捌、 圖表	13
玖、 附錄	

圖次

圖 1 雨水樣點位置圖.....	13
圖 2 步行蟲採集樣點位置及陷阱設置示意圖.....	13
圖 3 步行蟲食性偏好分析圖.....	14
圖 4 不同種類步行蟲海拔分佈圖.....	15
圖 5 不同季節步行蟲分佈海拔與降水中氧同位素值比較圖.....	16
圖 6 不同海拔之步行蟲群聚結構圖.....	17
圖 7 不同季節之步行蟲群聚結構圖.....	17
圖 8 不同坡向與步行蟲分佈關係圖.....	18
圖 9 步行蟲多樣性指標沿海拔分佈圖.....	18
圖 10 步行蟲物種豐度及均度沿海拔分佈圖.....	19
圖 11 步行蟲多樣性指標與腐植質覆蓋度關係圖.....	19
圖 12 步行蟲物種豐度與腐植質覆蓋度關係圖.....	20
圖 13 步行蟲物種均度與腐植質覆蓋度關係圖.....	20
圖 14 不同植群類型下步行蟲多樣性指標、物種豐度與均度關係圖.....	21
圖 15 $\delta^{18}\text{O}$ 值時間及海拔分佈圖.....	21
圖 16 年平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值與海拔關係圖.....	22
圖 17 時間尺度下 $\delta^{18}\text{O}$ 值與步行蟲多樣性指標、物種豐度、均度關係圖.....	23
圖 18 時間尺度下 $\delta^{18}\text{O}$ 值與步行蟲海拔分佈關係圖.....	24

摘要

關鍵字：同位素、海拔、降水、步行蟲、氣候

穩定同位素在近半世紀以來被廣泛應用於各種不同的研究領域中，1961 年 Craig 提出了第一篇全球降水同位素關係後，全世界的科學家開始大量投入降水中同位素研究，研究指出降水中氧同位素的比例與實際的氣候狀況關係甚密。隨著近年來全球暖化造成氣候變遷，科學家開始關心動物群聚的改變，步行蟲為生態結構及狀況的重要指標物種，因此其多樣性及群聚結構能反映出環境生態的變遷，且目前已知其受海拔所造成的氣候變化如氣溫、雨量、濕度等影響甚巨，此一特性與降水中的氧同位素雷同，若能以降水中的氧同位素做為步行蟲群聚結構的指標，將有助於對步行蟲生態的瞭解，進而對於海拔梯度上各群聚的結構有更進一步的分析。本研究成功地建立起降水中氧同位素 ($\delta^{18}O$) 和步行蟲多樣性、物種豐度、及分佈海拔間的關係，同時呈現了海拔梯度上及不同季節間步行蟲群聚的差異，並與過去調查結果相比較，發現步行蟲活動海拔明顯上移，有可能是全球暖化所造成，另外對於 2009 年擬食蝸步行蟲自保育動物名錄移除後之族群量進行調查，發現其族群並未因此而大量減少，族群量甚至有增加的趨勢。

壹、文獻回顧

太魯閣國家公園地區提供了建立不同海拔高度之昆蟲幾丁質和降水氧同位素關係的絕佳環境。太魯閣國家公園涵蓋的山區，在短短四十七公里間海拔由 0 公尺上升至 3000 多公尺，相較於世界上許多經緯度跨距大的三千公尺以上之高山，本山區更能排除距海遠近及緯度之影響。過去於太魯閣地區的研究顯示，降雨中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值會隨著海拔遞增而遞減 (張原謀，未發表) (Yoshimura et al. 2001)。隨著海拔遞增，環境溫度會逐漸降低，造成氣團 (air mass) 沿著山脈爬升的過程中逐漸釋放水氣；水氣釋放時，受到分子鍵能影響，含重同位素 (heavy isotopes, i.e.: D 及 ^{18}O) 的水分子比含輕同位素 (light isotopes, i.e.: H 和 ^{16}O) 的水分子容易凝結形成降雨而離開氣團 (Dansgaard 1964, Dansgaard and Tauber 1969, Gonfiantini et al. 2001)。加上海拔越高溫度越低，導致水汽的蒸散作用隨之降低 (Bowen and Wilkinson 2002)，使得高海拔地區蒸散進入雲團的水氣較低海拔輕，造成降水中重同位素比例降低 (Poage and Chamberlain 2001)。總而言之，氣團隨海拔抬升時不斷降下同位素較重的水，且不斷補充含同位素較輕的水氣，導致氣團內所含的水氣越來越輕，因此沿海拔截線所獲得的降水之同位素越來越低 (Poage and Chamberlain 2001)。

在台灣山區步行蟲分布廣泛 (中興大學楊正澤老師，私人通訊)，且因其食性多為腐食，以小型昆蟲及螺類等小型動物之死亡屍體為食 (張，2000)，因此在農業林業中扮演控制害蟲等重要角色 (章和趙，1996)，其多樣性及豐富度被認為是環境生態結構與功能的重要指標 (谷等，2004)，但除了前保育類物種擬食蝸步行蟲 (*Coptolabrus nankototaijanus*) 外，其他種類步行蟲的研究報告相當缺乏。

步行蟲的分佈受到海拔影響甚巨 (Penev, 1996)，主要由於隨海拔上升而隨之變化的溫度、雨量、濕度，造成植群結構改變，進而影響步行蟲群聚結構 (Blake et al., 2003)。而降水中的氧同位素亦同時受到相關氣候因子的影響，因此，若有機會能利用這其中的相關性建立降水中氧同位素與步行蟲群聚結構之相關性，對於步行蟲群聚生態研究上會是很大的一步。再者若將此一理論模式套用至其他會與海拔氣候相關的物種上，將可對整

個生態系的生物多樣性做指標性地評估。

貳、研究方法及過程

一、樣區地點

我們選擇太魯閣國家公園管理處(海拔 91 m)、布洛灣(海拔 339m)、綠水(海拔 438 m)、天祥(海拔 509m)、西寶(海拔 956m)、洛韶(海拔 1179m)、新白楊(海拔 1676 m)、慈恩(海拔 2014 m)、碧綠神木(海拔 2231 m)、關原(海拔 2415 m)、大禹嶺(海拔 2500m)、合歡農場(海拔 2740m)、小風口(海拔 2876m)、34.5 公里處(海拔 3152m)及武嶺(海拔 3282m)等十五點做為雨水收集的樣點。(圖一)

昆蟲採集樣點則從太魯閣國家公園開始，海拔每提高 250±50 公尺，選擇一緩坡設置一樣區。每一樣區共設 3 組，每組 3 個掉落式陷阱。(圖二)

二、雨水採樣與保存

雨水的收集開始於 2010 年二月持續進行至 2010 年十一月，以瞭解降雨中 $\delta^{18}\text{O}$ 與海拔之關係以及其季節變化。雨水的收集器包括了一個褐色玻璃瓶(1500 cc)，玻璃瓶瓶口放置一個口徑 6 公分的塑膠漏斗，收集器內先注入 2 公分高的礦物油，以防止落入瓶中的雨水蒸發而改變了 $\delta^{18}\text{O}$ 的數值(δ 本身就是一比值了)。收集瓶每二至三週檢查一次，並收集與記錄雨水的總體積，這些雨水在分析前皆先保存在 4°C 冰箱中。

三、昆蟲調查與鑑定

我們使用掉落式陷阱在上述樣點附近進行調查(附錄)，一年調查三季(三月、六月、九月)，每期連續調查六週，每次調查為期一週，調查方式之細節描述如下：

(一)掉落式陷阱(Pit fall)

在十公尺見方的緩坡擺設 3x3 的陷落式陷阱陣列，每個陷阱間距離至少一公尺，其中四個陷阱中加入代用福馬林，另外五個陷阱則不加。陷落式陷阱之製作方法參考楊正澤老師的製作方法(中興大學楊正澤老師，私人通訊)，陷阱架設一周後將陷阱所捕獲的生物

取出，以攜帶型冷凍櫃保存攜回，存放於-20℃冷凍櫃中。

(二)鑑定

所有取得的昆蟲樣本將以酒精保存，並挑出主要目標一歩行蟲科之昆蟲進行分類至屬，在可能的情況下將之鑑定至屬。

(三)生物多樣性指標的估算

不同樣點之生物多樣性，以 Simpson index 與 Shannon-Wiener index 計算：

Simpson index：

$$D = \sum_{i=1}^s P_i^2 = \sum_{i=1}^s (n_i / N)^2$$

D = 種類歧異度

P_i = 第 i 種生物所佔的比例

N = 個體總數

n_i = 第 i 種生物的個體數

s = 種數

D 值介於 0 與 1 之間，數值越靠近 1 則多樣性越高，反之則越低。

Shannon-Wiener index：

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

P_i = 第 i 種生物所佔比例

S = 種數

Shannon index 是最為廣泛使用的多樣性指數之一，其值越大表示多樣性越高，反之則越低。

四、氧同位素分析

雨水的氧同位素使用 Gasbench II (Finnigan, Berlin) on-line gas preparation 及 Delta Plus

IRMS (Thermo Finnigan, San Jose, Calif.) 進行分析。

參、研究結果

(一)步行蟲的種類與食性

本次所採集之步行蟲約有十一種，分別為蘇氏步行蟲(*Apotomopterus sauteri*)、擬食蝸步行蟲(*Coptolabrus nankototaijanus*)、艷胸步行蟲(*Trigono toma*)、*Lesticus* 屬 3 種步行蟲、*Pterostichus* 屬 2 種步行蟲、*Trichotichus* 屬 1 種步行蟲、*Platynus* 屬 1 種步行蟲，另外尚有 1 種步行蟲為確認其屬。其中較為重要的種類為前保育類物種擬食蝸步行蟲，於本實驗中共採集到 14 隻。

我們將所使用的餌料與所捕捉到的步行蟲進行分析可以發現 *Lesticus* 屬中的 L. sp1 和 L. sp2 偏好使用腐肉($P < 0.01$)，而蘇氏步行蟲(*Apotomopterus sauteri*)與 *Pterostichus* 屬中的 P. sp1 則偏好使用鳳梨($P < 0.01$)，其他種類的步行蟲則無明顯的食性偏好(圖三)。

(二)步行蟲的活動季節與海拔分佈

圖四中將不同種類步行蟲的分佈範圍清楚標示，可以明顯看到在春季時步行蟲的分佈海拔多偏低，而在夏季跟秋季之後分佈海拔明顯提高，步行蟲的平均分佈海拔會隨著季節而向上移動，雖然整體活動海拔提高，但分佈下界不一定會上升，在圖五 a 中有更為清楚的結果，在夏季步行蟲平均分佈海拔約在 1400 公尺左右，夏季上升至 1900 公尺，秋季則是 2100 公尺，分佈上界的最大值出現在夏季。圖六中將圖四所提到的結果做更清楚的呈現，可以發現在海拔 1500 至 2750 公尺為步行蟲族群量較大的區段，另外，*Lesticus* 屬的步行蟲族群尤其龐大，遠超過其他種類的步行蟲。特別的是，色澤與擬食蝸步行蟲不相上下的艷胸步行蟲(*Trigono toma*)僅於海拔 250 公尺處的樣點採集到。由圖七中我們可以發現，步行蟲的大量活動期間為夏末秋初，從春天開始有少數族群開始活動，入夏後至秋初開始大量出現，有些活動時間較短的步行蟲甚至在夏末秋初時才開始活動。另外較為有趣的是，*Platynus* 屬的步行蟲出現時間是較為寒冷的春秋兩季，與其

他屬的步行蟲明顯不同。我們也發現在東北和西南坡向的步行蟲捕獲率較高 (圖八)。

(三)生物多樣性指標

我們將各海拔樣點計算得到的 Shannon-Wiener Index 與 Simpson Index 繪於圖九中，可以發現兩種指數的結果相當接近，且在中低海拔會有較高的生物多樣性，在海拔 3000 公尺以上生物多樣性則銳減。此外，在海拔 250 公尺以及 1500-2750 公尺有較高的物種豐度，而在海拔 250、1000、1750、2500 公尺物種均度則是較高的(圖十)。

由圖十一可以看出，步行蟲的多樣性與地表腐植質覆蓋度高度相關($r^2=0.81$ ， $P<0.01$)，且與物種豐度相關($r^2=0.52$ ， $P<0.01$)(圖十二)，但與物種均度則無明顯關係(圖十三)。除此之外，由於土壤腐植質與植群形態相關，因此我們將不同的植群加以分類，發現上部山地-山地-下部山地針闊葉次生混淆林的生物多樣性及生物均度顯著高於平均($P<0.01$)，亞高山-上部山地-山地針闊葉灌叢的生物多樣性及物種豐度則顯著低於各種其他植群型($P<0.01$)(圖十四)。

(四)雨水中的穩定同位素

圖十五中將一年中各海拔降水的氧同位素值呈現出來，可以發現隨著海拔升高 $\delta^{18}\text{O}$ 會遞減，隨著季節的轉變同位素值也會出現波動。圖十六中更清楚的顯示了 $\delta^{18}\text{O}$ 的海拔效應($r^2=0.92$ ， $P<0.01$)。

(五) $\delta^{18}\text{O}$ 與步行蟲的多樣性

由圖十七可以看到，隨著 $\delta^{18}\text{O}$ 的升高，Shannon-Wiener Index 也隨之成指數成長，物種豐度與 $\delta^{18}\text{O}$ 呈現 n 字形關係，而物種均度則是與 $\delta^{18}\text{O}$ 成 u 字形的關係。圖十八 a 則是將步行蟲在三季中的活動海拔與 $\delta^{18}\text{O}$ 相比較，可以發現如前面結果所提，步行蟲活動海拔隨季節增加， $\delta^{18}\text{O}$ 則在夏季有波谷出現，將上述兩者關係整合成圖十八 b 可以發現 $\delta^{18}\text{O}$ 和步行蟲活動海拔約略成 n 字形的二次曲線關係。

肆、討論

本次所採集到的步行蟲種類較 2008 年葉人瑋「太魯閣地區海拔梯度與步行蟲群聚之關係研究」為少，作者認為主要由於分子分類法與傳統型態學分類上的差異所致，若將本研究中所採集的樣本使用分子分類法進行分類，生物多樣性等計算結果可能與現在迥然不同。此外，本研究中擬食蝸步行蟲(*Coptolabrus nankototaijanus*)的採集數量較 2008 年採集數量為多，若同時考慮所設陷阱數及採集日數，本研究的擬食蝸步行蟲採集率為每陷阱每日 0.0025 隻，葉人瑋 2008 年研究為每陷阱每日 0.0013 隻，這顯示擬食蝸步行蟲的族群量仍然呈現穩定甚至有增加之趨勢，也說明了在 2009 年該種步行蟲自保育動物名錄中除名後，其族群量並未因此而銳減，然而此一結果仍須日後更長時間尺度的調查來支持。

在各樣點的步行蟲種類上，碧綠神木一帶步行蟲種類及數量豐富，不論在本研究亦或是 2008 年的研究中皆可發現，推測可能由於位處霧林帶，其土壤濕度充足，且該植群形(山地常綠闊葉林)非常適合步行蟲生活。另一推測為，該海拔(2000 公尺)屬中海拔，正值不同種類步行蟲小生境(niche)的重疊區域，造就了豐富的步行蟲種類及多樣性。

餌料偏好方面，步行蟲偏好腐食是廣為人知的，但目前尚無研究記錄不同種類步行蟲種類是否存在著對於不同種類的腐食有特別的偏好，本研究亦僅僅做簡單記錄，以提供日後欲針對單一屬所進行研究的人員其偏好之食餌資料。

在各種類步行蟲的分佈海拔上，本研究的擬食蝸步行蟲(*Coptolabrus nankototaijanus*)分佈自海拔 76 公尺至 2374 公尺，2008 年的研究則是 60 公尺至 2000 公尺；蘇氏步行蟲(*Apotomopterus sauteri*)的分佈自海拔 1544 公尺至 1741 公尺，2008 年的研究則是 1000 公尺至 1500 公尺；*Lesticus* 屬的分佈自海拔 1544 公尺至 3270 公尺，2008 年的研究則是 60 公尺至 1000 公尺；*Pterostichus* 屬的分佈自海拔 358 公尺至 3270 公尺，2008 年的研究則是 1500 公尺至 2500 公尺；*Platynus* 屬的分佈自海拔 2023 公尺至 2744 公尺，2008 年的研究則是 1500 公尺至 2500 公尺。在這麼多不同屬的步行蟲中可以明顯發現，2010 年步行蟲的活動海拔較 2008 年為高，這極有可能是由於全球暖化所造成的結果，但因

無充足證據證明此一假設，因此這部分的猜測仍需較長時間尺度的調查才能加以證實。此外，許多海拔從架設陷阱迄今皆未曾捕獲步行蟲，但其植群類型或土壤腐植質厚度與其它樣點並無顯著不同，推測距離道路遠近可能會是主要的影響原因，但作者並沒有將這部分的資料加以記錄和分析，僅就觀察結果做此推論，這部分仍待日後的研究對於距道路遠近進行記錄並分析才能得以證實。再者，作者發現一個有趣的現象，*Platynus* 屬步行蟲於夏季連續六星期的採集中並無捕獲，但於氣溫較低之春季與秋季皆有捕獲，推測可能由於其分佈海拔較高(2023-2744 公尺)，所適應的環境溫度較低，當夏季來臨溫度升高時較不適合其活動，因此活動季節及區域才會在春秋兩季氣候較溫暖的中高海拔地區。其他步行蟲的出現其約莫及中於夏秋兩季，有些於春季開始有些許族群數量，如同其他研究所示，溫度逐漸升高對於昆蟲而言是關鍵性的因子(Blake *et al.*, 2003)，造成昆蟲會在特定季節出來活動。

在生物多樣性方面，一般認為中低海拔會有較高的生物多樣性，本研究的結果亦符合此一假說，特別的是低海拔的樣點(布洛灣)擁有極高的生物多樣性，推測由於該樣區土壤腐植質覆蓋度高且厚，造就良好的生活環境，因此步行蟲多樣性才會較高；反之在高海拔地區，箭竹草坡為主的植被中步行蟲的多樣性反而明顯銳減。將此一想法加以延伸，由圖十一中可以發現土壤腐植質覆蓋度和該樣點的生物多樣性高度的二次相關($r^2=0.81$, $P<0.01$)，由此可知步行蟲多樣性並非隨著土壤腐植質覆蓋度而呈線性增加，而是在覆蓋度 50%-70%會有極大值，筆者推測可能由於並非所有步行蟲皆適合生活於腐植質覆蓋度高的環境，所以當環境中存在較多元的棲地類型時，步行蟲的多樣性自然也會增加，在物種豐度與腐植質覆蓋度的分析中亦可用相同的理論加以解釋。中海拔地區(1500-2750 公尺)之所以步行蟲物種豐度較高，是由於位處於不同種類步行蟲小生境(niche)重疊處，因此在步行蟲出現季節變動時，位於中海拔地區會有較高的物種豐度。此外，在海拔 250、1000、1750、2500 公尺物種均度較高，是因為在這些樣點各種種類的步行蟲族群數量皆達到一定值，且較少單一物種獨霸的現象發生，因此均度較高，但詳細原因就目前資料而言尚無法做明確分析及說明。

降水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 清楚地呈現了在空間與時間上的溫度效應和雨量效應，在海拔上主要

影響因子是溫度，因此隨著海拔升高溫度降低的溫度效應造成 $\delta^{18}\text{O}$ 隨海拔升高而降低又稱為海拔效應；在時間尺度上夏季主要受到大量降雨所導致的雨量效應影響而有較低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值，稱做季節效應。我們的 $\delta^{18}\text{O}$ 分析結果完全符合這兩種已廣為人知的效應。應用上述 $\delta^{18}\text{O}$ 與季節的關係，我們可以進一步與步行蟲多樣性做連結，不論是步行蟲的多樣性、物種豐度以及物種均度皆與 $\delta^{18}\text{O}$ 有著二次曲線的關係，也因此未來我們將有機會可以利用 $\delta^{18}\text{O}$ 的值預測時間尺度上的步行蟲多樣性、豐度以及均度，亦可將 $\delta^{18}\text{O}$ 與昆蟲分佈海拔的關係相結合，當知悉一地 $\delta^{18}\text{O}$ 值即可推知該時間下步行蟲分布的海拔可能範圍，將可成為調查步行蟲生態上一項有力的工具，並可將此一概念應用於更多生態系中物種的多樣性調查，甚至可以對於整個生態系統的多樣性進行指標性的評估。

伍、結論

本研究連結了降水中的氧同位素及步行蟲的分佈與多樣性，呈現了降水中氧同位素與 **Shannon diversity index** 與物種豐度的關係，另外對於各種種類步行蟲在太魯閣地區的海拔分佈以及活動時間有了更進一步的分析，同時也對於前保育類物種擬食蝸步行蟲 (*Coptolabrus nankototaijanus*) 於 2009 年自保育類動物名錄移除後的族群狀況做討論。最重要的是與 2008 年的研究相比較，步行蟲分佈海拔有明顯上移的現象，值得後人持續關注該現象是否屬實及其與全球暖化之間的關係。

陸、施政建議

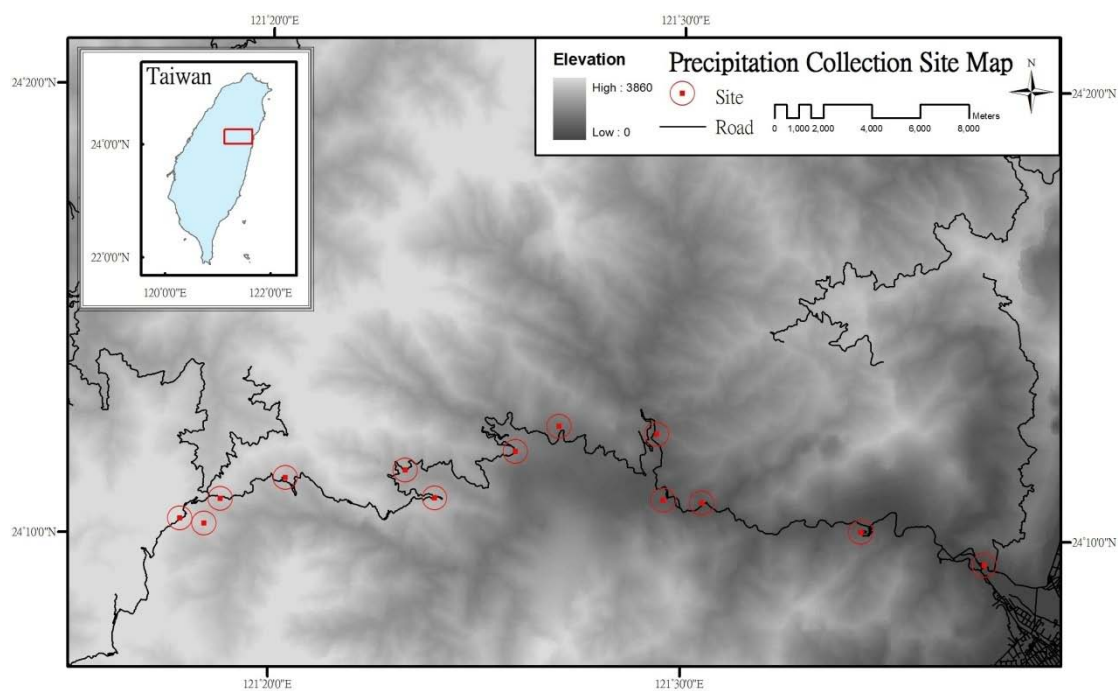
步行蟲在海拔上的分佈隨著時間逐漸上移可能是一個非常重要的全球暖化結果，未來若能持續對於該物種分佈海拔進行調查，將有助於面對其他物種因全球暖化而分佈逐漸上移的問題。若能將步行蟲群聚結構與生態系之群聚結構做連結，便有機會將此一研究結果加以運用，使得降水中的同位素能真正達到「指標」之功能。同時也能仿照本研究建立起同位素與其他物種群聚結構間的關係，對於未來太魯閣國家公園內動物群聚的改變將有所助益。此外，本研究之結果可用在教育解說以及保育上，未來欲做特定屬之步行蟲研究亦提供了相當的背景知識做為參考。最後，擬食蝸步行蟲的調查結果可於其他生態地位相似之保育類動物是否自保育類動物名錄中移除之參考。

柒、參考資料

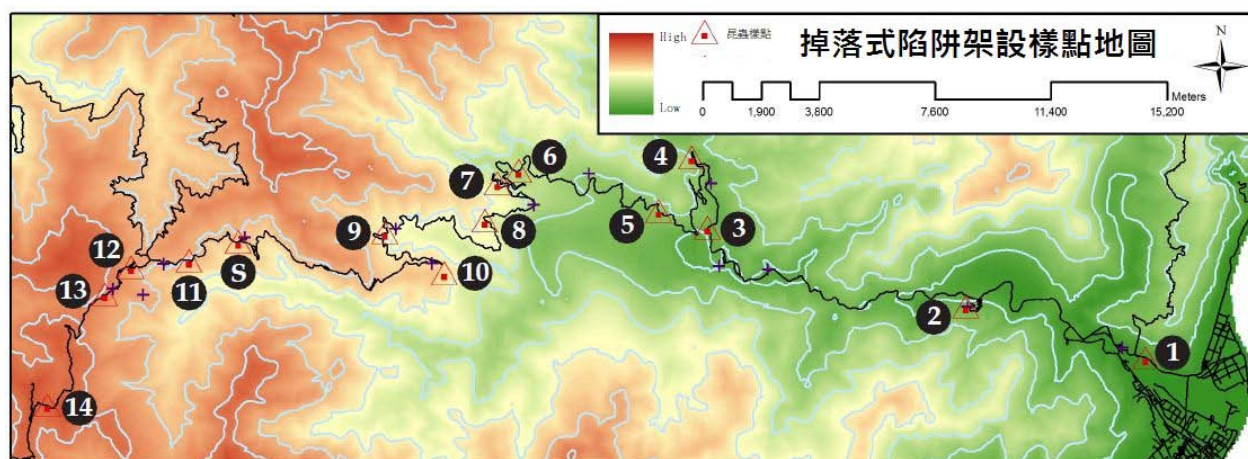
- 谷衛彬、宇振榮、胡敦孝。2004。華北鹽漬化改造區農田步甲群落及其動態研究：以河北省曲周縣為例。生物多樣性 12 (2)：262-268。
- 張永仁。2000。玉山的甲蟲。423頁。內政部營建署玉山國家公園管理處。南投縣。
- 章士美、趙泳華。1996。中國農林昆蟲地理分布。102-135 頁。中國農業出版社。北京市。
- Aaby, B. and H. Tauber. 1995. Eemian Climate and Pollen. *Nature* **376**:27-28.
- Bierstedt, A., B. A. Stankiewicz, D. E. G. Briggs, and R. P. Evershed. 1998. Quantitative and qualitative analysis of chitin in fossil arthropods using a combination of colorimetric assay and pyrolysis gas chromatography mass spectrometry. *Analyst* **123**:139-145.
- Blake, S., D. I. McCracken, M. D. Eyre, A. Garside and G. N. Foster. 2003. The relationship between the classification of Scottish ground beetle assemblages (Coleoptera, Carabidae) and the National Vegetation Classification of British plant communities. *Ecography* **26**: 602 — 616.
- Bowen, G. J. and B. Wilkinson. 2002. Spatial distribution of delta O-18 in meteoric precipitation. *Geology* **30**:315-318.
- Conkey, L. E. 1986. Red Spruce Tree-Ring Widths and Densities in Eastern North-America as Indicators of Past Climate. *Quaternary Research* **26**:232-243.
- Cook, E. R., B. M. Buckley, J. G. Palmer, P. Fenwick, M. J. Peterson, G. Boswijk, and A. Fowler. 2006. Millennia-long tree-ring records from Tasmania and New Zealand: a basis for modelling climate variability and forcing, past, present and future. *Journal of Quaternary Science* **21**:689-699.
- Dansgaard, W. and H. Tauber. 1969. Glacier Oxygen-18 Content and Pleistocene Ocean Temperatures. *Science* **166**:499-&.
- Dansgaard, W. 1964. Stable Isotopes in Precipitation. *Tellus* **16**:436-468.
- Gonfiantini, R., M. A. Roche, J. C. Olivry, J. C. Fontes, and G. M. Zuppi. 2001. The altitude effect on the isotopic composition of tropical rains. *Chemical Geology* **181**:147-167.
- Grocke, D. R., A. Schimmelmann, S. Elias, and R. F. Miller. 2006. Stable hydrogen-isotope ratios in beetle chitin: preliminary European data and re-interpretation of North American data. *Quaternary Science Reviews* **25**:1850-1864.
- Guiot, J., A. Pons, J. L. Debeaulieu, and M. Reille. 1989. A 140,000-Year Continental Climate Reconstruction from 2 European Pollen Records. *Nature* **338**:309-313.
- Hardenbroek, M. R. v. 2006. Stable isotope ratios in water beetle chitin: towards a new palaeotemperature proxy. Royal Holloway University of London, Egham.
- Miller, R. F. 1991. Chitin Paleoecology. *Biochemical Systematics and Ecology* **19**:401-411.
- Miller, R. F., P. Fritz, and A. V. Morgan. 1982. The use of the deuterium/hydrogen ratio in chitin of coleoptera as a paleoclimatic indicator. *Geological Society* **14**:p.566.

- Miller, R. F., P. Fritz, and A. V. Morgan. 1988. Climatic Implications of D/H Ratios in Beetle Chitin. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* **66**:277-288.
- Miller, R. F., M. F. Vossfoucart, C. Toussaint, and C. Jeuniaux. 1993. Chitin Preservation in Quaternary Coleoptera - Preliminary-Results. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* **103**:133-140.
- Penev, L. 1996. Large-scale variation in carabid assemblages, with special reference to local fauna concept. *Ann. Zool. Fennici* **33**: 49-63.
- Poage, M. A. and C. P. Chamberlain. 2001. Empirical relationships between elevation and the stable isotope composition of precipitation and surface waters: Considerations for studies of paleoelevation change. *American Journal of Science* **301**:1-15.
- Rossignolstrick, M. and N. Planchais. 1989. Climate Patterns Revealed by Pollen and Oxygen Isotope Records of a Tyrrhenian Sea Core. *Nature* **342**:413-416.
- Schimmelmann, A. 2009. Carbon, nitrogen and oxygen stable isotope ratios in chitin Indiana.
- Schimmelmann, A. and M. J. Deniro. 1985. Determination of Oxygen Stable Isotope Ratios in Organic-Matter Containing Carbon, Hydrogen, Oxygen, and Nitrogen. *Analytical Chemistry* **57**:2644-2646.
- Schimmelmann, A. and M. J. Deniro. 1986. Stable Isotopic Studies on Chitin .3. The D/H and O-18/O-16 Ratios in Arthropod Chitin. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* **50**:1485-1496.
- Stankiewicz, B. A., D. E. G. Briggs, R. P. Evershed, and R. F. Miller. 1997. The fate of chitin in tertiary and quaternary sediments. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* **214**:39-Geoc.
- Stankiewicz, B. A., D. E. G. Briggs, R. P. Evershed, R. F. Miller, and A. Bierstedt. 1998. The fate of chitin in quaternary and tertiary strata. *Nitrogen-Containing Macromolecules in the Bio- and Geosphere* **707**:211-224.
- Tzedakis, P. C., K. D. Bennett, and D. Magri. 1994. Climate and the Pollen Record. *Nature* **370**:513-513.
- Yoshimura, K., S. Nakao, M. Noto, Y. Inokura, K. Urata, M. Chen, and P. W. Lin. 2001. Geochemical and stable isotope studies on natural water in the Taroko Gorge karst area, Taiwan - chemical weathering of carbonate rocks by deep source CO₂ and sulfuric acid. *Chemical Geology* **177**:415-430.

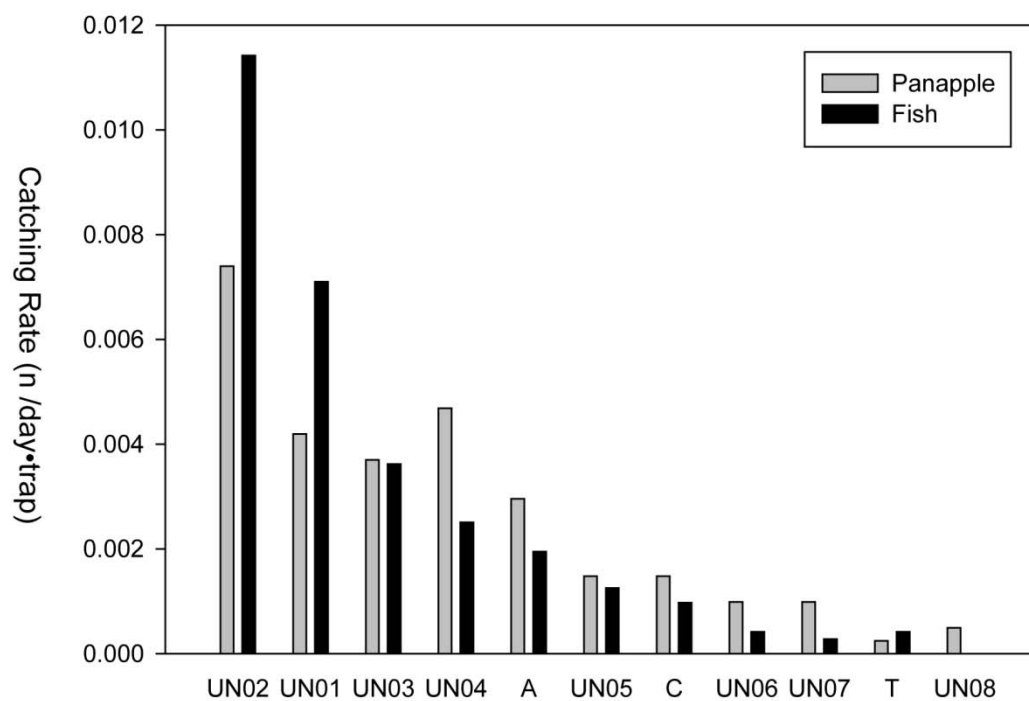
柒、圖表



圖一、雨水樣點位置圖



圖二、步行蟲採集樣點位置及陷阱設置示意圖



圖三、

步行蟲食性偏好分析圖

其中 UN01 為 *Lesticus* sp.1

UN02 為 *Lesticus* sp.2

UN03 為 *Lesticus* sp.3

UN04 為 *Pterostichus* sp.1

UN05 為 *Trichotichus* sp.

UN06 為 *Pterostichus* sp.2

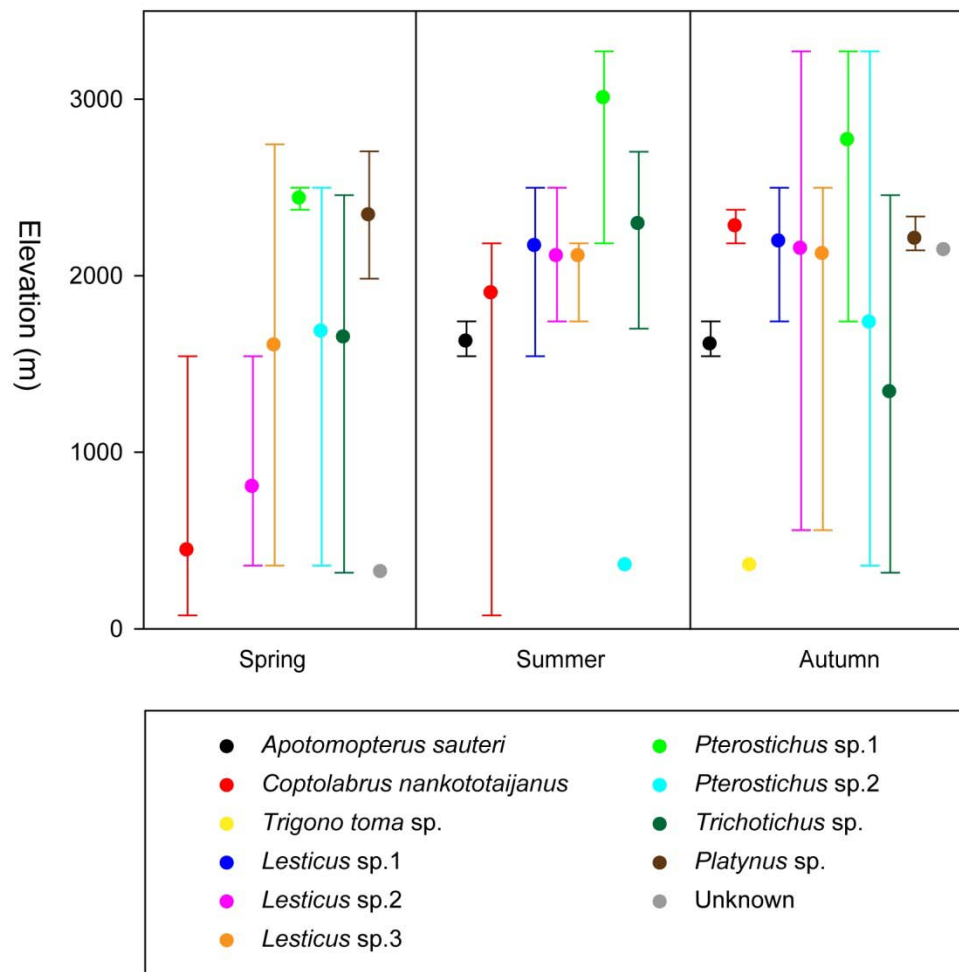
UN07 為 *Platynus* sp.

UN08 為 Unknown

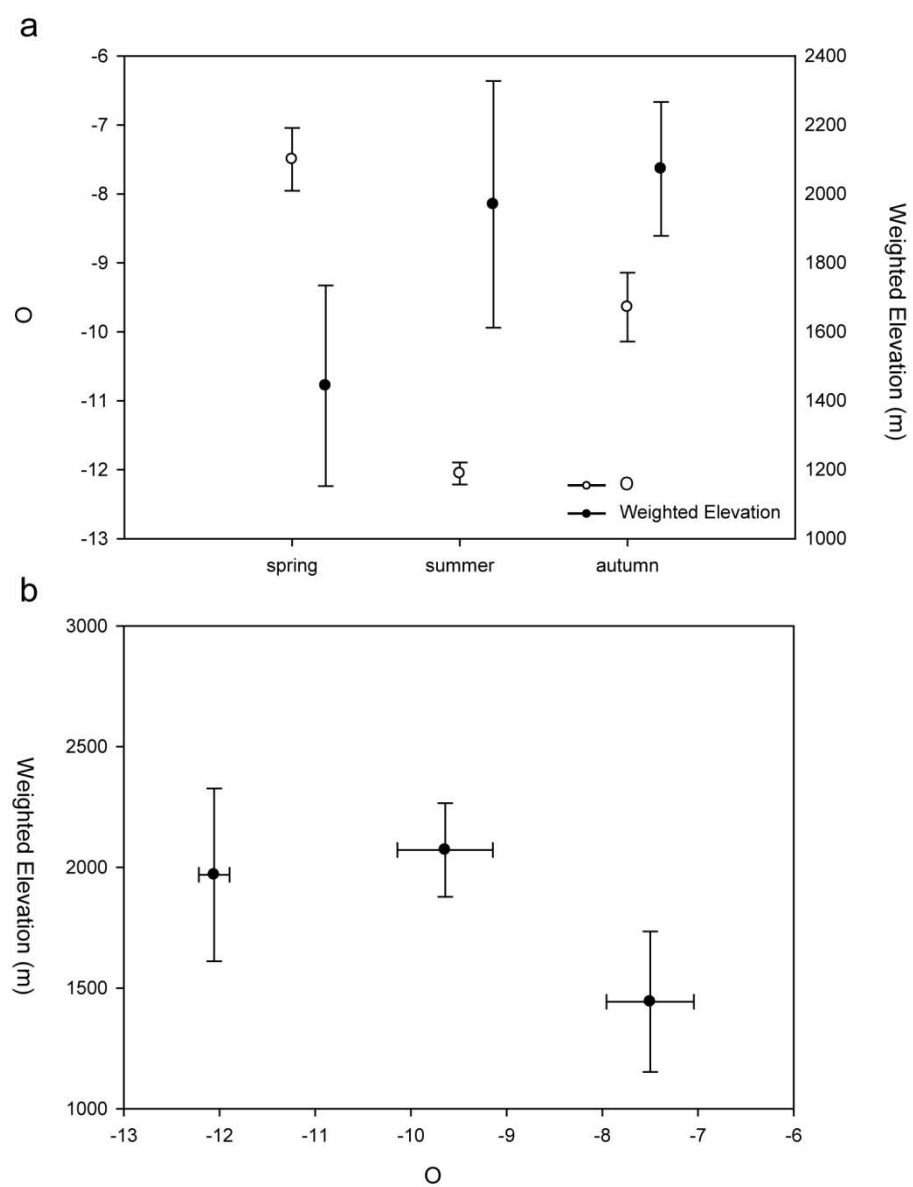
A 為蘇氏步行蟲(*Apotomopterus sauteri*)

C 為擬食蝸步行蟲(*Coptolabrus nankototaijanus*)

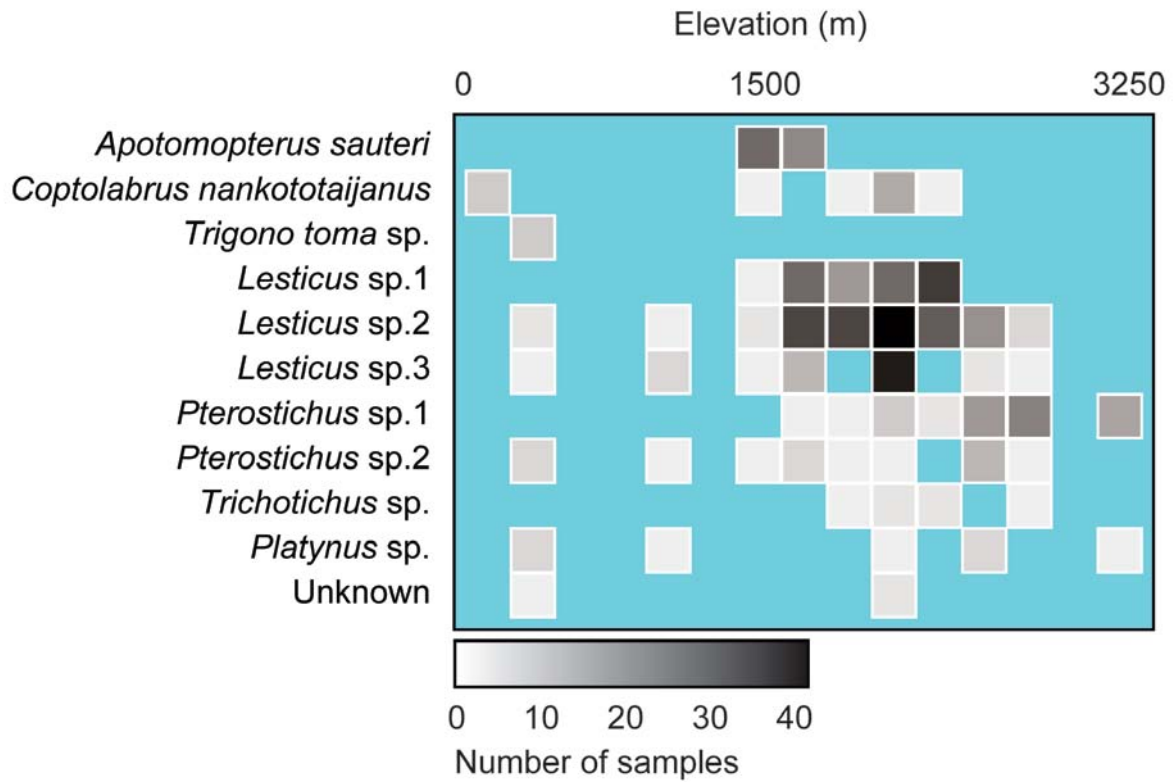
T 為艷胸步行蟲(*Trigono toma*)



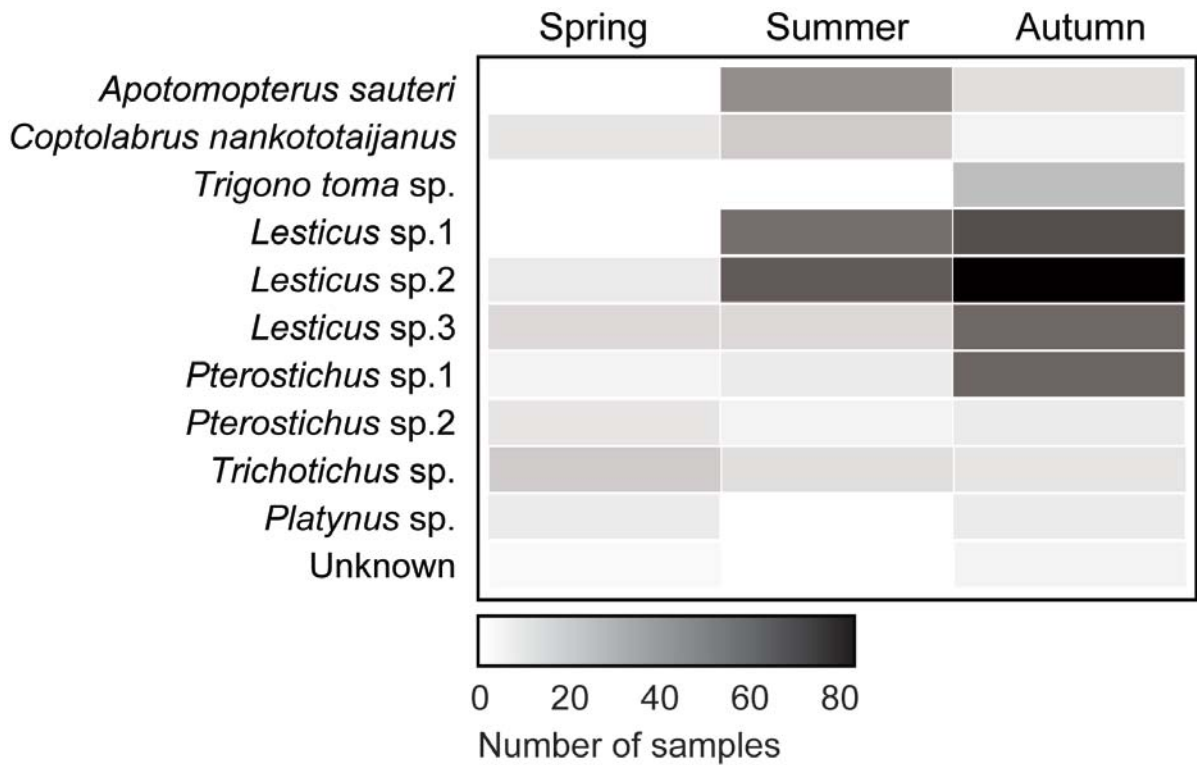
圖四、不同種類步行蟲海拔分佈圖



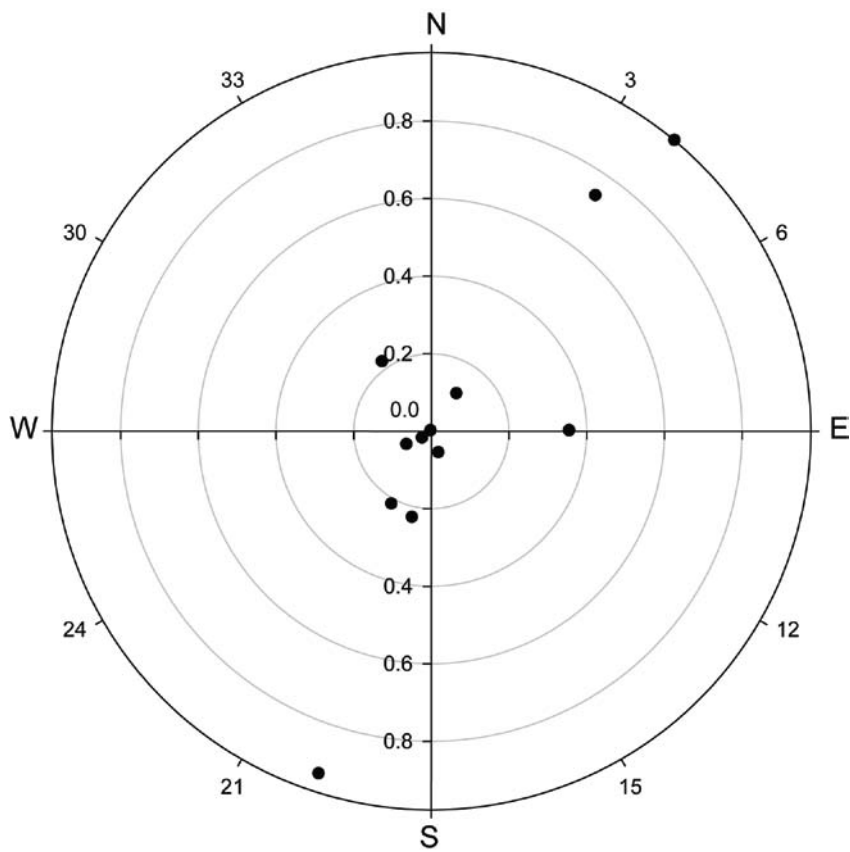
圖五、不同季節步行蟲分佈海拔與降水中氧同位素值比較圖



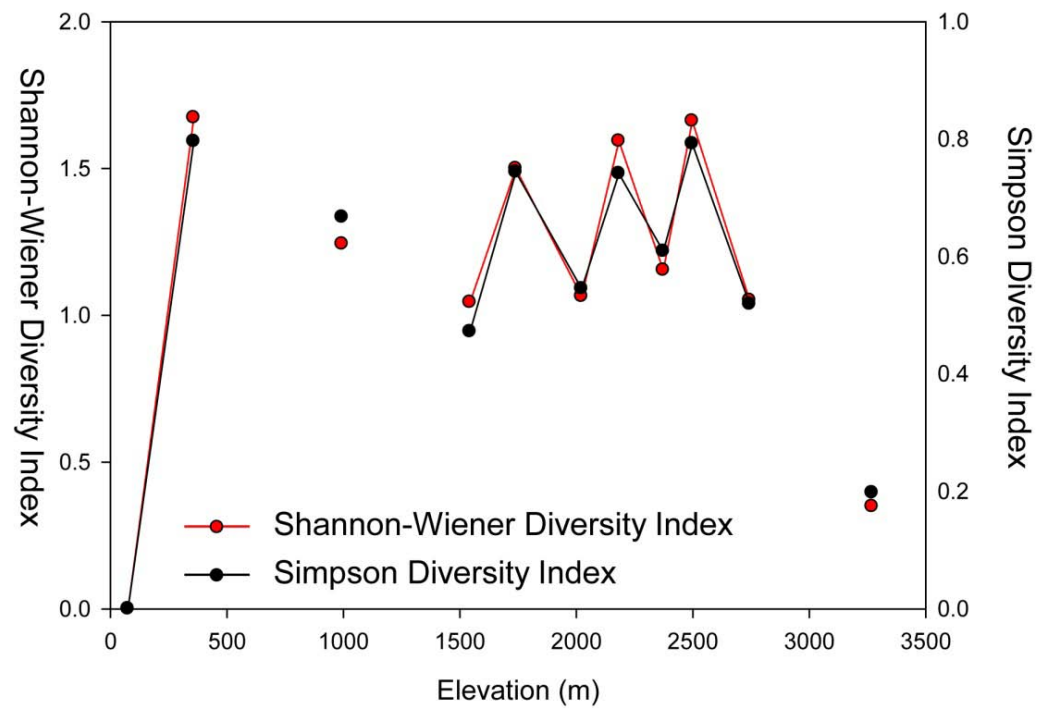
圖六、不同海拔之步行蟲群聚結構圖



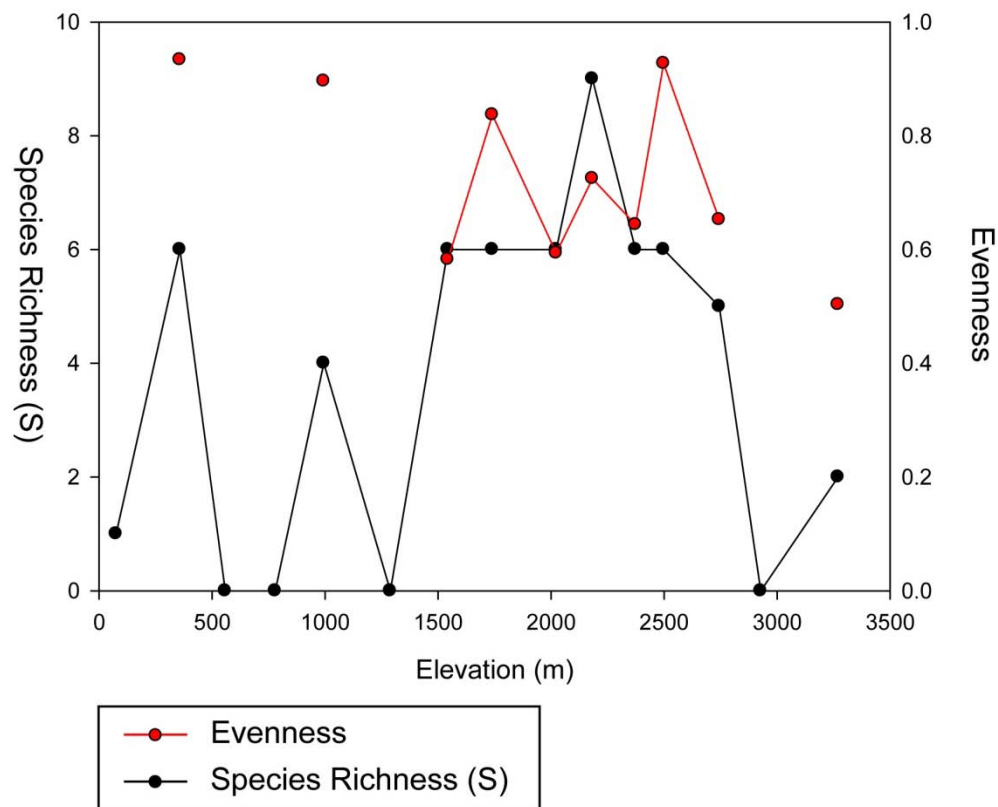
圖七、不同季節之步行蟲群聚結構圖



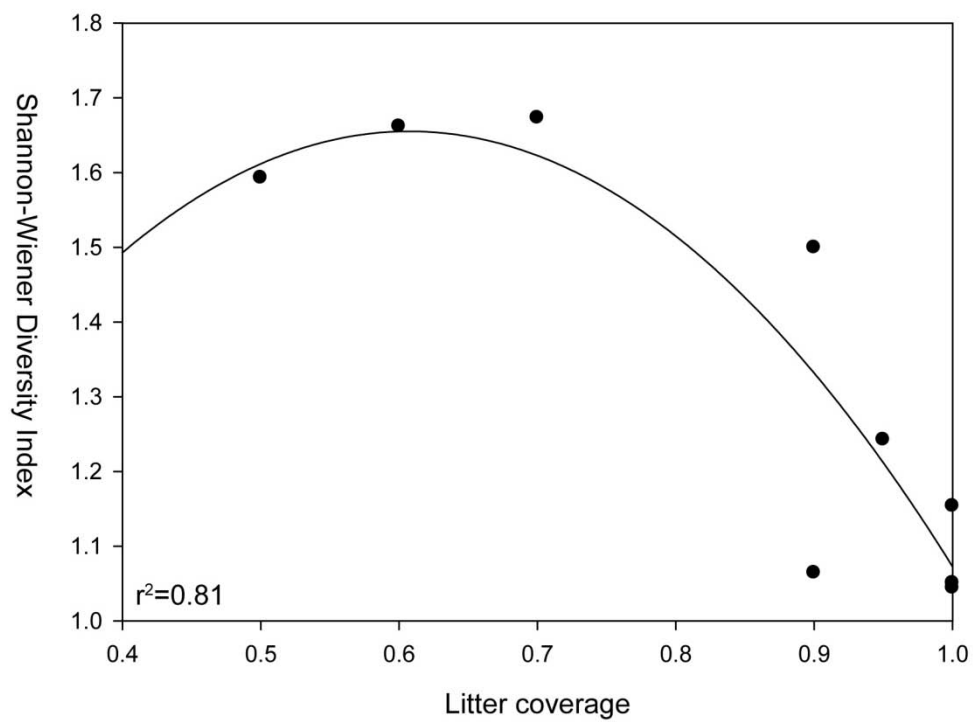
圖八、不同坡向與步行蟲分佈關係圖



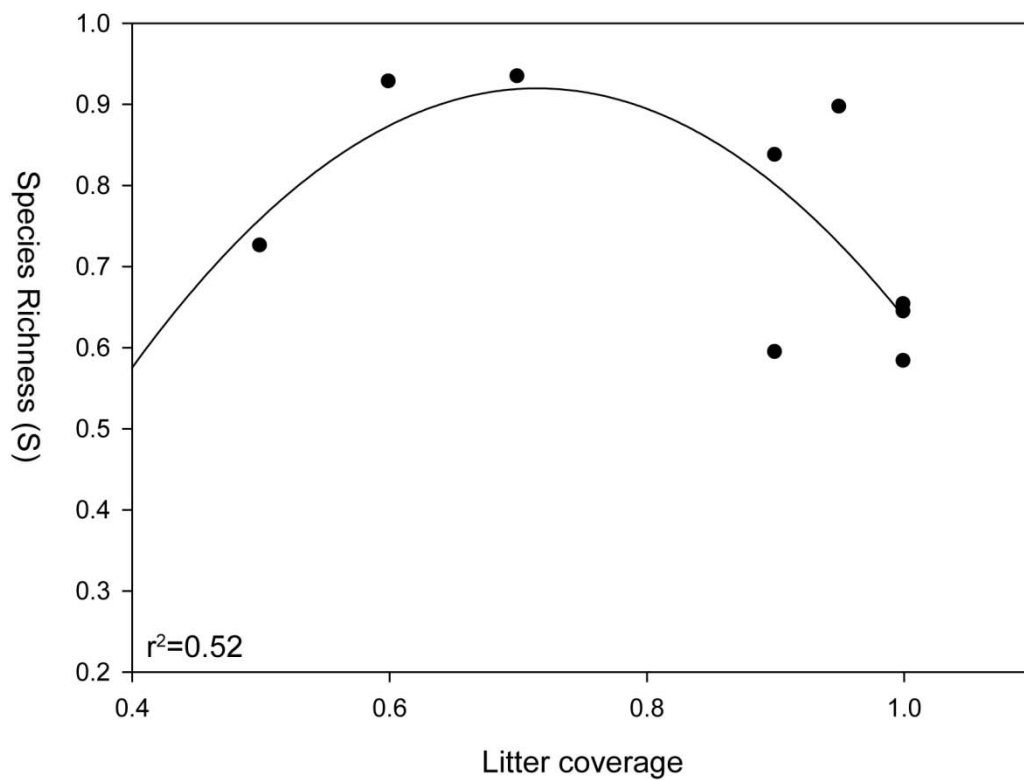
圖九、步行蟲多樣性指標沿海拔分佈圖



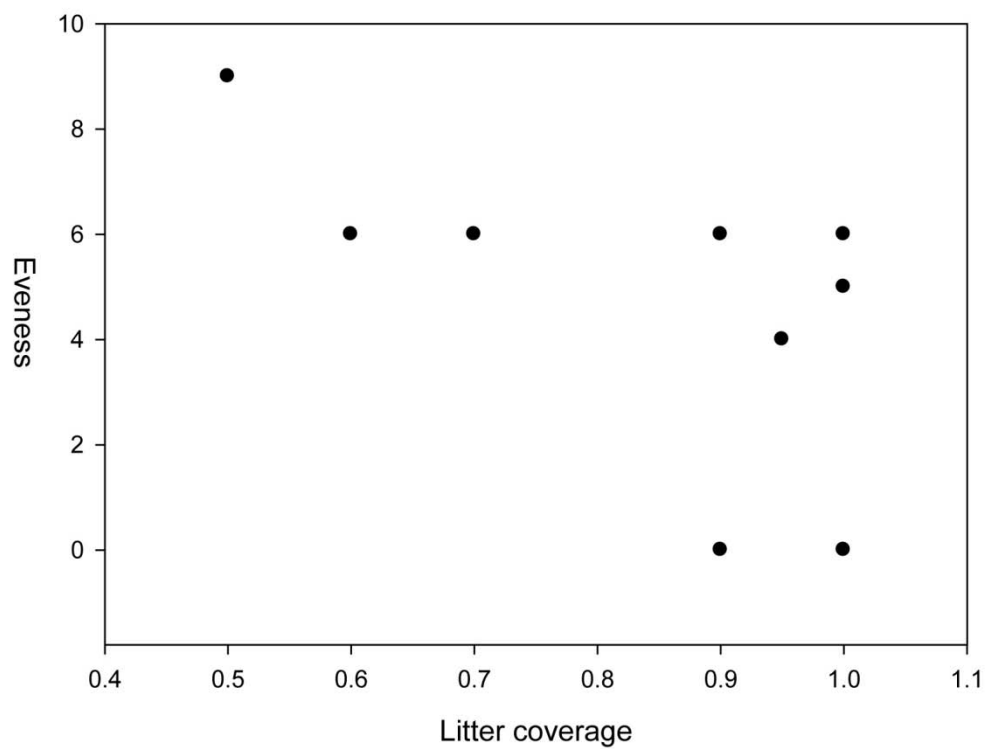
圖十、步行蟲物種豐度及均度沿海拔分佈圖



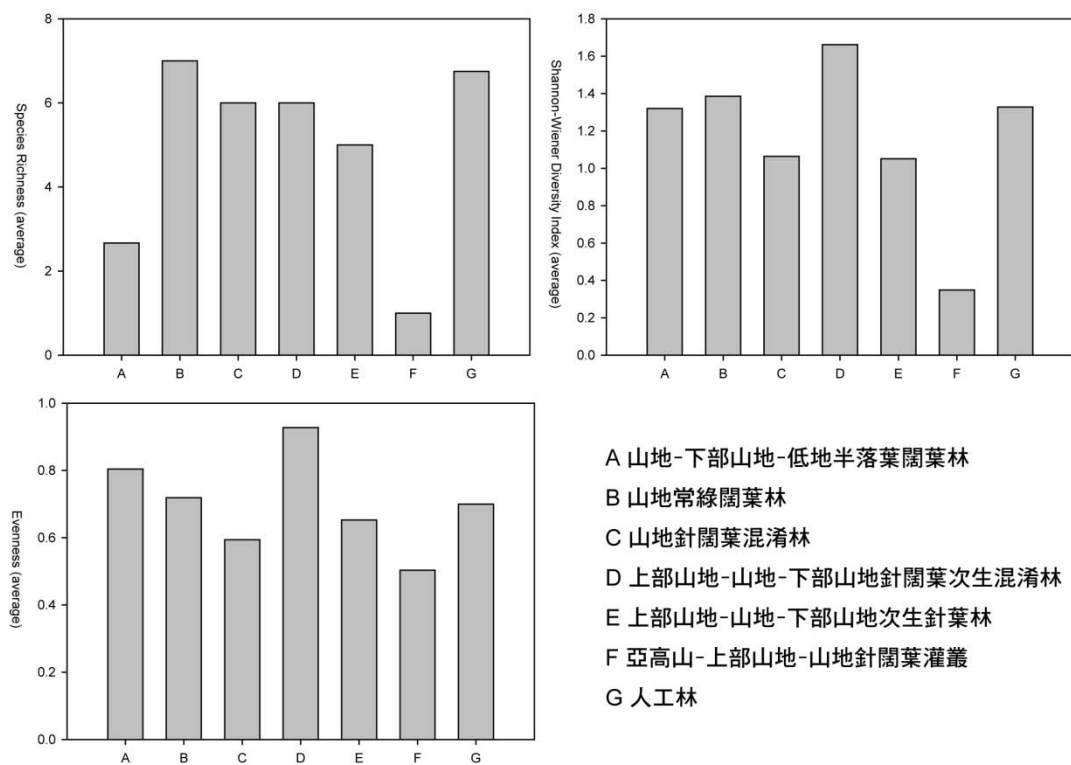
圖十一、步行蟲多樣性指標與腐植質覆蓋度關係圖



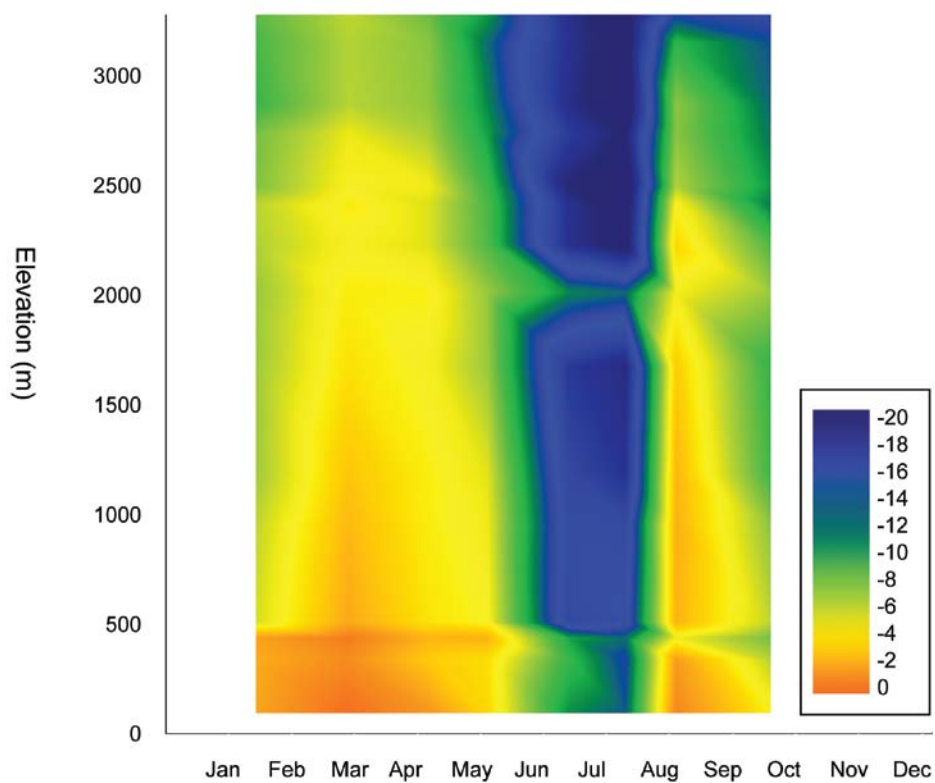
圖十二、步行蟲物種豐度與腐植質覆蓋度關係圖



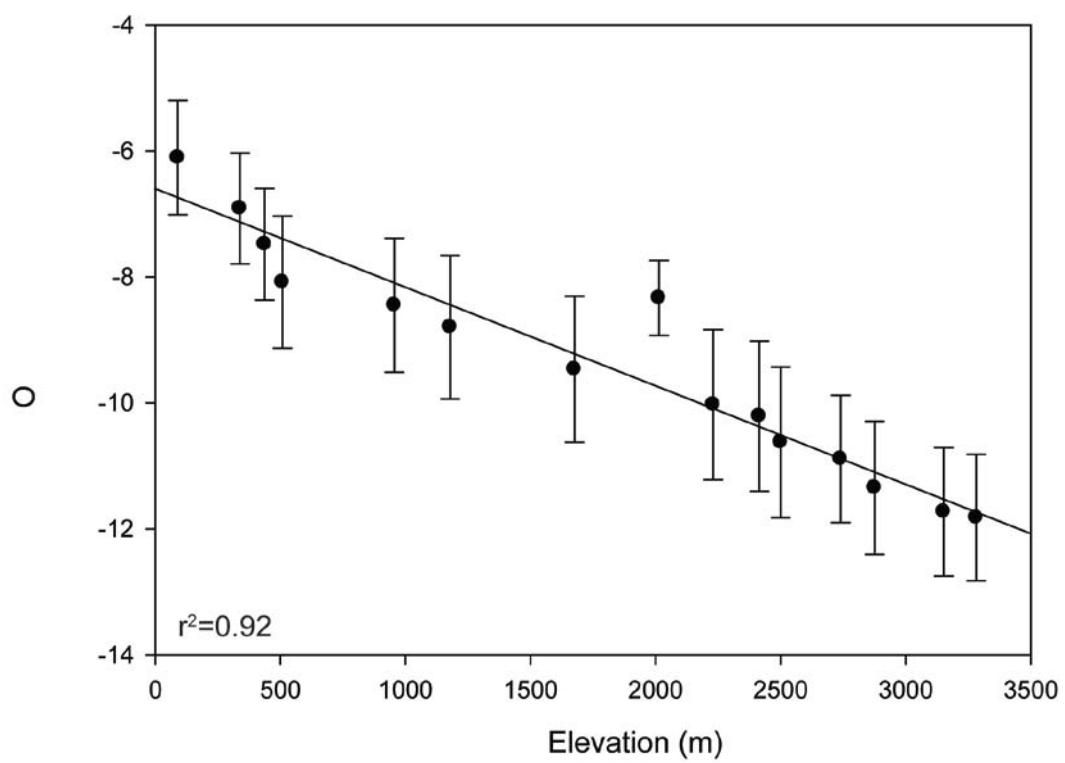
圖十三、步行蟲物種均度與腐植質覆蓋度關係圖



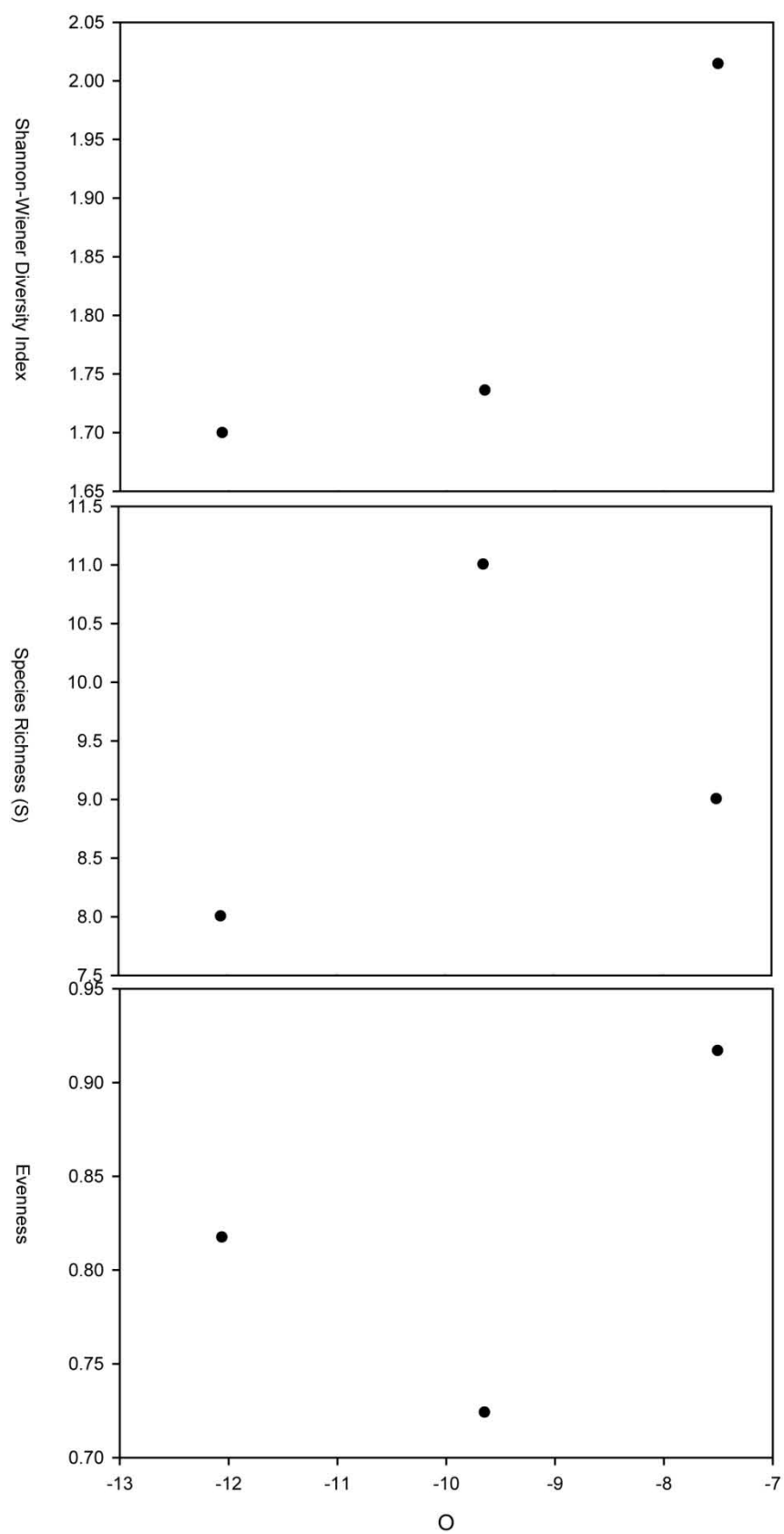
圖十四、不同植群類型下步行蟲多樣性指標、物種豐度與均度關係圖



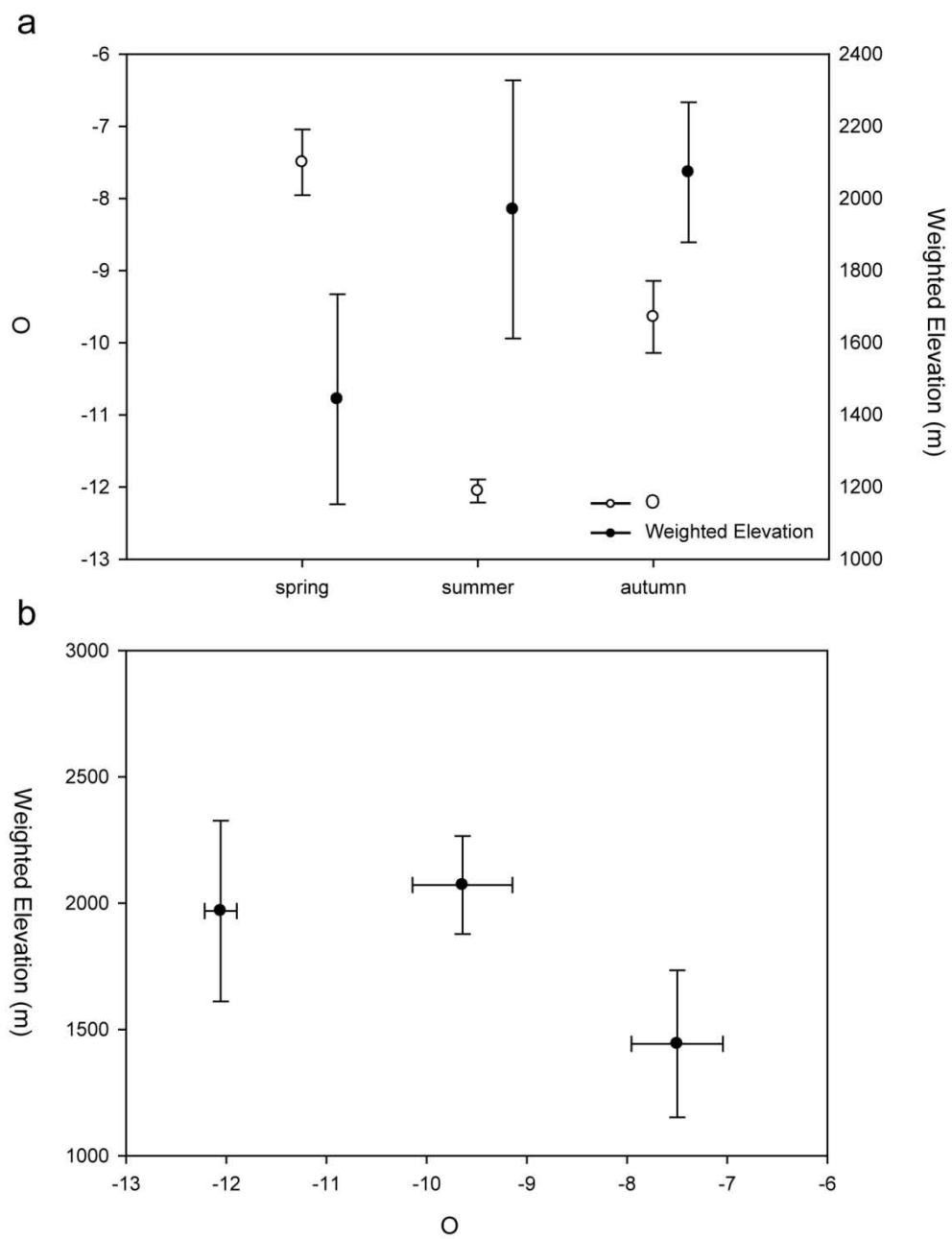
圖十五、 $\delta^{18}\text{O}$ 值時間及海拔分佈圖



圖十六、年平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值與海拔關係圖



圖十七、時間尺度下 $\delta^{18}\text{O}$ 值與步行蟲多樣性指標、物種豐度、均度關係圖



圖十八、時間尺度下 $\delta^{18}\text{O}$ 值與步行蟲海拔分佈關係圖