

代表性生態系之合歡山高海拔生態系 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 100 年 12 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

代表性生態系之合歡山高海拔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

GRB編號：PG10002-0650

代表性生態系之合歡山高海拔生態系 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：吳海音

研究助理：施金德

太魯閣國家公園管理處委託研究報告

中華民國 100 年 12

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

圖次	• • • • •	III
摘要	• • • • •	VII
第一章	緒論 • • • • •	1
	第一節 • • • • •	1
	第二節 • • • • •	2
第二章	研究方法及過程 • • • • •	7
	第一節 • • • • •	8
	第二節 • • • • •	9
	第三節 • • • • •	12
	第四節 • • • • •	13
第三章	研究成果 • • • • •	15
	第一節 • • • • •	15
	第二節 • • • • •	29
	第三節 • • • • •	35
	第四節 • • • • •	39
	第五節 • • • • •	42
第四章	結果與建議 • • • • •	47
	第一節 • • • • •	47
	第二節 • • • • •	55

附錄一	期中簡報會議紀錄	59
附錄二	期末簡報會議紀錄	61
參考書目		63

圖 次

- 圖 1. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區植物相對覆蓋度
（a）、箭竹相對覆蓋度（b）、多樣性指數（c）與 $2m^2$
範圍內箭筍數（d）．．．．． 18
- 圖 2. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區土壤碳含量
（a）、氮含量（b）與碳氮比（c）．．．．． 19
- 圖 3. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區土壤鈣含量（a）
與磷含量（b）．．．．． 20
- 圖 4. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區箭竹葉碳含量
（a）、氮含量（b）、以及碳氮比（c）．．．．． 21
- 圖 5. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區箭竹葉鈣含量
（a）與磷含量（b）．．．．． 22
- 圖 6. 模擬啃食處理期間（六月、七月、九月與十一月），
小奇萊樣區調查樣方（ $2m^2$ ）內箭竹筍數量．．．．． 23
- 圖 7. 模擬啃食處理前後（五月與十一月），小奇萊植物相對覆
蓋度（a）、箭竹相對覆蓋度（b）與多樣性指數（c）．．．．． 24
- 圖 8. 模擬啃食處理前後（五月與十一月），小奇萊土壤碳含
量（a）、氮含量（b）與碳氮比（c）．．．．． 25
- 圖 9. 模擬啃食處理前後（五月與十一月），小奇萊土壤鈣含

量(a)與磷含量(b)	26
圖 10. 模擬啃食處理期間，小奇萊箭竹葉碳含量(a)、氮含量	
(b)與碳氮比(c)	27
圖 11. 模擬啃食處理期間，小奇萊箭竹葉鈣含量(a)與磷含	
量(b)	28
圖 12. 枯落葉分解實驗前(四月)，小奇萊(CH-)與磐石	
(P-)樣區土壤的碳(a)、氮(b)、鈣(c)與磷	
(d)含量	30
圖 13. 枯落葉分解實驗期間，小奇萊(實線)與磐石(虛線)	
樣區枯落葉碳含量(a)、氮含量(b)與碳氮比(c)	31
圖 14. 枯落葉分解實驗期間，小奇萊(實線)與磐石(虛線)	
樣區枯落葉的鈣(a)與磷(b)含量	32
圖 15. 枯落葉分解實驗期間，置於小奇萊(實線)與磐石	
(虛線)樣區枯落葉包旁土壤的碳含量(a)、氮含量	
(b)與碳氮比(c)	33
圖 16. 枯落葉分解實驗期間，置於小奇萊(實線)與磐石(虛	
線)樣區枯落葉包旁土壤鈣(c)與磷含量(d)	34
圖 17. 小奇萊至磐石山區六處箭竹草地樣區中箭筍與水鹿排遺	
堆數分布	37

圖 18.	小奇萊至磐石六處箭竹草地的植物高度 (a) , 植物相對 覆蓋度 (b) 、箭竹相對覆蓋度 (c) 、樣方多樣性指數 (d) 、樣方植種數 (e) 與樣區植物種類數 (f) . . .	38
圖 19.	箭竹與其他植物葉片樣本養份含量比較	40
圖 20.	箭竹地與森林土壤養份含量比較	41
圖 21.	2011 年 4 月至 11 月小奇萊 (a) 與磐石 (b) 兩地各月 平均氣溫 (虛線連部分) 與土溫 (實線連結部份) . . .	44
圖 22.	2011 年 4 月至 11 月小奇萊 (a) 與磐石 (b) 兩地各月 空氣 (虛線連結部份) 與土壤 (實線連結部份) 相對 溼度均值	45

摘要

關鍵詞：箭竹、水鹿、養份、模擬啃食

一、研究緣起

合歡山區以箭竹為優勢種的箭竹生態系，與冷杉林交錯鑲嵌，水鹿與高山田鼠分別為此生態系中主要的大型與小型草食獸。近年來，水鹿數量回升，對箭竹的啃食作用增強，可能影響生態系之養份循環與生物群聚。本計畫探討水鹿啃食對太魯閣高海拔箭竹生態系的影響，以作為高山生態系保育管理的依據，與教育解說的題材。

二、研究方法及過程

於合歡山—奇萊山區進行現地調查與採樣分析，並透過摘除與剪除葉片處理模擬啃食，比較不同水鹿啃食壓力下，植物多樣性、箭竹與土壤養份含量的差異。此外，於小奇萊與磐石進行枯落葉分解實驗，設置氣象站搜集溫濕度資料，比較兩地分解速率，探討其與草食壓力或環境因子間之關聯。

三、重要發現

模擬啃食處理期間，箭竹葉片氮與磷含量先升後降，且植株持續發出新葉，顯現補償性生長現象。處理前後各樣區土壤養份含量皆下降，然以摘除與剪除組下降幅度略高於控制組。分解實驗前後，枯落葉中碳含量下降，氮與鈣含量上升，土壤中各養份含量變動，以磐石較為顯著，可能與兩地溫溼度及土壤養份動態的差別有關。對不同箭竹草地的調查顯示，水鹿與田鼠活動呈負相關，水鹿排遺多處箭竹覆蓋度高，箭筍多，而植物種類數與多樣性偏低。與水鹿其他食草及冷杉土壤相比，箭竹葉與箭竹草地土壤的氮與磷含量高，足以為水鹿極佳的食物與覓食場所。

四、主要建議事項

根據本年度研究成果，提出兩點建議：（一）進行太魯閣國家公園水鹿族群分布潛勢評估研究、（二）推動太魯閣國家公園山區遊客行為與人類活動管理計畫。

建議一

太魯閣國家公園水鹿族群分布潛勢評估研究：立即可行之建議

主辦單位：太魯閣國家公園

協辦單位：各研究單位

山區水鹿數量的增加，可能影響植被與生態系結構與功能，增加與人類活動的衝突。目前，太魯閣國家公園已進行水鹿分布現況與棲地利用調查，有待進一步評估水鹿族群潛勢。參考本研究的發現，建議可以箭竹草地為核心，由養份角度出發，採集並分析園區主要箭竹草地植物與土壤樣本，了解養份含量的空間變異，參考鹿科動物養份需求的資訊，配合現有水鹿族群分布資料，評估並預測水鹿分布與豐度的發展潛勢，作為經營管理的依據。

建議二

太魯閣國家公園山區遊客行為與人類活動的管理：立即可行之建議

主辦單位：太魯閣國家公園

協辦單位：各研究單位

近年山區水鹿數量的增加，引起登山與自然愛好者的注意。目前有以觀賞與餵食水鹿為號召的登山旅遊活動，這些活動可能對水鹿造成影響。

建議管理處藉重各課室、登山學校、志工與義解等人力，加強對民眾、遊客與登山界的宣導與溝通，對園區內與園區週邊聚落社區尋根與農墾活動的了解，以增進對人類活動與水鹿之衝突的管理。

建議三

高山生態系長期生態研究與監測：中長期建議

主辦單位：太魯閣國家公園，其他高山型國家公園

協辦單位：各研究單位

在台灣，高山生態系屬孑遺、孤立、面積侷限、受氣候與其變遷直接衝擊之處。目前，台灣高海拔區域幾近皆落於現有與規劃中國家公園的範圍內，國家公園應加強對此區域之長期生態研究，建立生態研究與監測網絡，以健全以科學為基礎的高山生態系保育與經營管理機制

Abstract

Keywords: *Rusa unicolor swinhoii*, *Yushania niitakayamensis*, Nutrient, Simulated grazing

1. Introduction

Yushan cane (*Yushania niitakayamensis*) grassland in Mts. Hehuan and Chilai areas is the representative subalpine ecosystem in Taroko National Park. Sambar deer is the largest mammalian grazer in Taiwan and has the potential to be the dominant mammal in the subalpine ecosystem if the population trend goes unchecked. Yushan cane is the predominant diet of sambars. The effect of grazing pressure by sambars on Yushan cane growth and on ecosystem structure and function is relevant to the management of this area.

2. Materials and methods

We conducted simulated grazing experiment by picking and cutting off stems and leaves from Yushan canes. We analyzed the nutrient (C, N, Ca and P) concentrations of Yushan cane leaves and soil before, during and after the experiment. We set bags of fallen leaves at two sites of different elevations and compared the change in nutrient concentrations of the leaves and soils at the spot. We surveyed six grassland patches on relative abundance of sambars, voles, plant coverages and species diversity.

3. Main findings

Yushan canes showed signs of compensatory growth in the simulated grazing experiment. Leaf N and P contents in the two treatments underwent

a up-then-down change during the process, while in the control group, leaf N and P decreased. In addition, the plants gave off shoots and put on new leaves under repeated removal of leaves and stems. Soil nutrients in the treatment and control groups decreased at the end of the experiment, but the change extent is larger in the treatment groups. In the decomposition experiment, C concentration in the leaf samples at both sites decreased, while N and Ca increased during the process. Changes in soil nutrient at the spots were more prominent at the site of higher elevation. Grassland patches with higher sambar activity index had lower vole index, higher Yushan cane coverage, more cane shoots, lower plant species and diversity. N and P in Yushan cane leaves and in grassland soil are higher than other food plants of sambar and forest soil, respectively. It suggests Yushan cane and grassland dominated by it are food item and feeding ground of good quality to sambars.

4. Suggestions

According to the findings and results of the present study, we suggest to conduct research on the assessment of the sambar distribution potential in Taroko National Park based on relevant nutrients in food plants and soil. We urge management plan on wildlife-human conflict especially on hikers' behaviors toward sambar deers and crop raiding problems around orchards and vegetable farms in mountain areas. We also suggest a long-term research network on alpine-subalpine ecosystem to provide scientific base for sound conservation management for these relict, isolated and fragile ecosystems atop Taiwan's central ridge.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

生態系是由某特定地區環境中的所有生物與非生物成分組合而成，亦即為該地區生物群聚與非生物環境的結合，透過兩者間的交互作用（即此生態系中的生態過程）呈現出生態系的功能。這些生態過程與功能會受外源性與內生性因素的影響而發生改變，並因此改變了該生態系對人類社會提供之生態系服務的價值。要維繫與確保生態系服務價值，須確認關鍵影響因素，並透過長期生態監測與研究，了解生態系的過程與功能，作為生態系經營管理的基礎。

國家公園是指具有國家代表性之自然區域或人文史蹟，其設置目標在於透過有效的經營管理與保育措施，維護國家公園特殊的自然環境與生物多樣性。我國國家公園以保育、育樂與研究為三大主要目標，應以研究作為保育與管理的基礎，並為國民教育及遊憩提供素材。因此，在主要生態系內建立長期生態研究的建構，對國家公園的經營管理與保育格具重要性。

冷杉林與玉山箭竹草原是太魯閣國家公園高海拔（海拔三千公尺以上）區域主要的植被環境，其中箭竹草原約佔此區域總面積的五成，為太魯閣國家公園高海拔最具代表性的生態系。與台灣其他生態系相較，箭竹草原生態系的組成相對單純，但卻面對較為極端而變化劇烈的環境，且又受到全球性氣候變遷、局部性動物族群消長與人為干擾的壓力。在這些干擾與壓力下，生態系中易受衝擊的對象與其受衝擊的程度為何，需要釐清與確認之，以便規劃後續的監測與研究，及擬定經營管理策略。

第二節 蒐集資料、文獻分析

過去對箭竹草原生態系形成與演替的探討，多由土壤的累積與發育、崩塌、沖蝕、降雪與火災等角度出發，認為伐木與頻仍的火災是造成及維繫箭竹草原的因素，但卻少由動物或土壤微生物的角色，來思考此一問題。然而，國外對山區或中高緯度草原或森林生態系的研究，卻多強調草食作用的重要性。相關研究指出，草食作用會影響草原或森林的養分循環、植物群聚組成、乃至於植群演替。而植物對草食動物啃食壓力的反應，則會隨植種與土壤養分豐富與否而異。在這些生態系中的草食獸，多半以有蹄類與齧齒目動物為主。這些研究關注的焦點，在於草食獸的啃食作用對生態系結構與功能的影響，及其在外力衝擊下的變遷情形。過去，森林砍伐、農業開墾、放牧、狩獵與棲地破壞等，是森林與草原生態系所受到的主要衝擊。近年來，則增添了對氮沉降、氣候變遷、原生物種復育等因素所造成之影響的探討。

草食動物靠植物資源的供養，且是肉食者的資源，在生態系由上而下的瀑布效應中居中介地位。草食動物的取食方式、取用資源的限制、覓食與避敵間的抉擇、及選食偏好等，不僅影響植物群落的組成及演替，與生態系的功能（生產率、分解率、及養分循環速率），也決定肉食者對植物群落及生態系功能的直接與間接效應。以草食作用為主軸的研究，被認為可適當地整合行為生態學、族群生態學、生態系生態學、與演化生態學，而對生態系運作機轉有更深入的理解。

草食作用會改變生態系的結構與功能。對生態系結構上的影響，主要是藉

由草食動物的取食而改變植群的組成與演替方向，藉由其掘洞、踐踏、排泄與排遺等活動與行為，影響其他動物的分布與數量。在對生態系功能的影響，則出於草食動物之取食對枯落物品質與數量的改變，排泄與排遺對養分的添加，而上述作用會改變枯落物的分解速率、土壤的有機庫存與微生物相等，從而影響生態系的淨初級生產力與養份循環，最終反映在植群的組成與演替上。上述的影響方式與規模，又會隨當地氣候條件、土壤肥力、群落中植物種類或草食動物數量等而異，或因草食獸與植物是生態系中的原生物種或是外來種，而有不同的表現。

國外相關研究結果顯示，草食動物的啃食可能加速或減緩生態系的養分循環速率，關鍵在於啃食對植物與其枯落物養分分配與品質的影響，及對土壤微生物作用的影響。在此改變下，食草植物在生態系中的優勢度可能因此而更加鞏固或被打破，致使植物多樣性降低或提升，從而影響其他的動植物，與生態系的過程與功能。

在台灣高海拔的箭竹木質草原中，水鹿(*Rusa unicolor*)與高山田鼠(*Microtus kukuchii*)是草食獸的代表。兩者體型與習性有別，但皆以箭竹為主食，而排遺在活動範圍中都呈叢聚分布。以其體型或族群量，兩者對食草的生長與存活、植被的演替、群聚的結構、生態系能量與養份的傳送，應具有重要的影響。

高山田鼠是台灣特有種的啮齒動物，主要分布在台灣海拔2500公尺以上的山區，為箭竹草原的優勢鼠種，喜食箭竹與莎草科的薹屬植物，在箭竹草原中的數量要多於鄰近的冷杉林。

水鹿是台灣體型最大的陸生哺乳動物。過去受強烈狩獵壓力的影響，水鹿族群數量一度稀少，近年來部分山區的水鹿數量增加。在台灣高海拔的箭竹草原中，水鹿是體型最大的草食獸。棲息於高海拔的水鹿，攝食多量的箭竹、高山芒及紅毛杜鵑，排遺在活動範圍中呈叢聚分布。近年研究亦顯示箭竹草坡是太魯閣高海拔山區水鹿較常出現的環境。目前，在台灣部分山區的樹木已因水鹿過度啃食與磨角而環剝死亡，地被植物也因啃食及踐踏扒掘而覆蓋度降低。在山區水鹿數量增加的趨勢下，是否會造成過度啃食，高山生態系的植被與生態會受到怎樣的衝擊，皆需藉長期監測與研究方能釐清。

綜合上述，本計畫以草食作用為核心，以水鹿為研究對象，以合歡山區為範圍，探究太魯閣高海拔箭竹生態系的結構、生態過程與功能，及草食作用對箭竹草原群聚組成及生態系功能的影響，作為高山生態系保育措施與經營的依據，及教育解說的題材。

在第一期計畫中，利用籠具、餌站及排遺堆找尋等方式，探查合歡及奇萊山區箭竹草地中高山田鼠、水鹿與其他草食哺乳動物的分布，並在合歡山區小風口與合歡東峰兩處劃設樣區進行小型哺乳動物、排遺與植被調查，作為選取長期研究與監測樣區的參考。調查結果顯示，高山田鼠在玉山箭竹草原中並非普遍存在，在各樣區的捕獲量與排遺量間無一致的關係，兩者與植被高度及覆蓋度的關係也不明確。此外，高山田鼠的捕獲率在草地與林緣間無固定偏向，但在以高山芒為優勢種處的捕獲率較低。在幾處山區的調查中，高山田鼠在合歡東峰與小風口兩處的出現率較高，但在水鹿活動較頻繁的奇萊北峰則較少。兩者間的交互作用，及啃食對植被與生態系的影響，有待進一步探討。由於調

查確認高山田鼠數量較多處，與其他團隊研究與捕捉地點重疊，為免對動物造成過多干擾，且為開拓對草原生態系全面的了解，故於第二期起以水鹿的啃食作用為核心，進行後續的研究。

在第二期計畫中，以合歡山區啃食壓力有別之小奇萊、奇萊北峰月形池與磐石山西峰三處箭竹草原為樣區，並設置隔絕鹿科動物進入的圍網樣區，調查水鹿與其他草食獸的啃食與活動情形，比較箭竹的成長、植被組成及結構，分析箭竹、枯落物及土壤養份濃度。調查結果再次確認小奇萊、月形池與磐石三處水鹿與高山田鼠的數量有別，而三區箭竹地的植物覆蓋、高度與生長狀況，也都具有差異。三處土壤、枯落物與植物的氮濃度、有機碳濃度、及土壤pH值相近，而在不同季節有所變動，且磐石的季節變動趨勢不同於其他兩處，顯示三處的養份循環速率有別。然而，磐石與其他兩處養份循環速率的差異，是啃食壓力造成，或是與環境因子的差異有關，則尚無法確認。

為確認水鹿與其啃食作用對箭竹生態系過程與功能的重要性，在第三期計畫中於合歡山—奇萊山區進行現地調查與採樣分析，並透過模擬啃食操作，比較不同水鹿啃食壓力下，植物多樣性、箭竹生長及養份含量的差異。此外，於小奇萊與磐石進行枯落葉分解實驗，以確認第二期所見兩地養分循環速率有別的結果，配合自行架設之氣象站搜集到的資料，探討分解速率與草食壓力或環境因子間之關聯。

第二章 研究方法及過程

本年度原本預計循前一年度的設計與規劃，對小奇萊、月形池與磐石三區及圍網與對照樣區，繼續調查箭竹生長、草食動物活動量、植物組成，分析植物、枯落物與土壤養分，並分析不同地區枯落物分解速率與土壤氮礦化速率。但計劃前期重新探查樣區與進行化學分析測試後，考慮進出山區採樣與化學分析儀器的實質限制，及人為干擾對樣區與水鹿活動的影響等問題，重新評估與檢討計畫工作項目並加以修正，實際執行方式說明如下。

為確認水鹿與其啃食作用對箭竹生態系過程與功能的重要性，在第三期計畫中於合歡山—奇萊山區進行模擬啃食操作、現地調查與採樣分析，比較不同水鹿啃食壓力下植物多樣性、箭竹與土壤養份濃度的差異，及箭竹葉的分解速率。

第一節 模擬啃食實驗

在小奇萊劃設 $2\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的長條型樣區15個，做為模擬啃食實驗樣區。樣區分三組：無啃食的對照組，及以摘除與剪除方式模擬啃食的實驗組，每組各五重複。摘除處理是用手拔除箭竹植株上半部的葉片，不含枝條；剪除處理則是以修枝剪剪除箭竹植株上半部的葉片，包含側枝。兩種處理皆移除各植株半數以上的葉片量。對各樣區觀察與紀錄箭竹生長（長葉、發筍）、調查植種與覆蓋度、分析箭竹葉片、枯落物與土壤養分。

於四月份進行樣區選取與劃設，在各樣區標定50株箭竹作為持續觀察箭竹生長的樣株。五月至十一月間，共進行四次摘剪葉片的操作，五、七、九月與十一月各一次，並對以下各項目進行取樣與調查：植種與覆蓋度調查（五月與十一月）、養份分析用土樣（五月與十一月）與箭竹葉的採集（五月、九月與十一月）、箭竹樣株生長紀錄（五月、九月與十一月）、箭筍、啃痕與動物排遺數量調查（六月、七月、九月與十一月）。各次摘剪葉片處理，係於當月各項調查完成後進行，並以摘剪下的葉片，作為養份分析的樣本。對照組樣本取自樣區周圍的箭竹。十一月時，於各樣區採集箭竹葉，作為處理後的分析樣本。土樣與箭竹葉帶回實驗室後冰存或烘乾保存，而後進行養份分析。

對各樣區的植種與覆蓋度調查，係以點截法（point intercept method）進行。在樣區中取兩個 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 的方格，將之劃分成 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ 的網格，紀錄邊緣與中間隔線相交共36個點位上的植種。合併各樣區中兩方格的資料，以各植種的交點佔有率為其相對覆蓋度（%）。

第二節 枯落物分解實驗

為比較小奇萊與磐石兩處枯落葉分解速率，在小奇萊收集箭竹枯落葉，將之裝袋分置兩地，而後取回分析養分。四月時於小奇萊收集枯落葉，僅取枯落葉層最上層部分，帶回實驗室風乾後，挑揀形狀完整且尚未白化的箭竹葉片，秤取10公克分裝入不織布網袋中。五月時於小奇萊與磐石樣區各放置五組枯落葉袋，每組三袋，七月、九月與十一月時於各組中取回一袋。放置與各次取樣時，於各枯落葉袋放置地點鑽取三個土樣，混合成一個樣本，帶回實驗室分析養分。

除去上述各項採樣外，另於11月時蒐集小奇萊至磐石間兩處土壤與三種植物樣本各兩份，分析養分含量，以與箭竹樣區各樣本比較。土壤樣本取自冷杉林，林下為高的箭竹所覆蓋。箭竹樣區土壤資料則取小奇萊模擬啃食控制組樣站5月與11月、小奇萊與磐石枯落葉分解樣站4月至11月土壤樣本的資料，以涵蓋月份間的變動。三種植物皆為水鹿會取食的植種，包括磐石的高山芒草與森氏杜鵑，及小奇萊的紅毛杜鵑。箭竹葉養份資料取小奇萊模擬啃食控制組樣站5至11月葉片養份資料，及11月份於磐石採集箭竹葉樣本的分析資料。

於十一月時對前一年度於磐石架設的圍網與無圍網樣區，進行複查，調查樣區內草食動物排遺數量與植物覆蓋度，並採集箭竹葉片、枯落物與土壤樣本，分析養分濃度，以與前一年度樣本及與小奇萊資料比較。

一、樣本處理

所有樣本先以-50℃冷凍乾燥24-48小時，或用烤箱以50℃烘24小時，而後以

研鉢磨碎土壤樣本，以粉碎機打碎植物與枯落物樣本，以孔徑2 mm及0.15 mm篩網過篩，分裝入封口袋冰存（-20℃）。對植物與土壤樣本進行C、N、Ca、P含量分析，並檢測土壤樣本的pH值。

二、土壤與植物樣本分析

植物與枯落物的C與N含量分析

取7-15mg的風乾樣本，置於8×5mm的錫囊內，將錫囊內的空氣擠出避免空氣中的氮氣影響。將錫囊折疊包裹確認無樣本露出後，以碳-氫-氮-硫元素分析儀（CHNS-Elemental Analyzer, EA, elementar vario EL）分析C與N含量。標準品採用Atropina：C 70.56%、N 4.84%。

植物與枯落物的Ca與P含量分析

稱取0.5g的風乾樣本置於坩鍋內，放入烘箱以105℃烘24小時，取出置於乾燥皿內待冷卻至室溫後，稱重並計算其含水率。將計算完含水率的樣本置入高溫灰化爐，升溫至490℃後加熱4小時，待樣本冷卻至105℃時，取出置於乾燥皿內待其冷卻至室溫後，稱重並計算其灰化率。將灰化後的樣本加入5 ml 2N HCl靜置10分鐘，以蒸餾水將樣本洗入50 ml定積瓶中並定積。使用Millipore 0.45μm濾紙過濾樣液，將濾液以感應耦合電漿原子發射光譜分析儀（ICP, JY2000, Jobin Yvon Emission）分析Ca與P的濃度。

土壤pH值

取20g未冷凍乾燥過的土壤樣本置於50ml的燒杯內，再加入20ml的去離子

水，將此燒杯置於震盪機中以150rpm的速度，震盪搖晃5分鐘。再將樣本倒入塑膠離心管中，離心30分鐘後，直接測量樣本上層液體的PH值。

土壤C與N含量分析

與植物樣本分析方法相同，取 30 mg 的土壤樣本包於錫囊內。以碳-氫-氮-硫元素分析儀分析 C、N 含量。

土壤Ca與P含量分析

取 5 g 的樣本置於坩鍋，放入烘箱以 105°C 烘 24 小時後，取出置於乾燥皿待其冷卻至室溫後，秤重並計算含水率。另取 2.5 g 的樣本加入 2.5 g 的純水濕潤後，再加入 50 ml Mehlich No.3 萃取液。將樣液置於迴旋式震盪機以 160 rpm 震盪 5 分鐘後，以 Whatman no. 42 濾紙過濾樣液於 100 ml 的塑膠瓶中。將以過濾的樣液以 Millipore 0.45 μ m 濾紙再過濾一次，最後使用感應耦合電漿原子發射光譜分析儀分析 Ca、P 的濃度。

對葉片與土壤樣本的各项化學分析，由農業委員會林業試驗所土壤研究室協助完成。

第三節 草食獸與植物多樣性調查

為進一步分析箭竹生態系草食獸相對活動量與植物多樣性間關係，於小奇萊到磐石山區間選取6個箭竹草地樣區，劃設樣方與樣帶進行調查。在各樣區劃設20個0.5 m × 0.5 m 的植物調查樣方，估計樣方箭竹高度，以前述點截法調查樣方中植物的種類與覆蓋度。對各樣方中除箭竹以外的植物，各採一份樣本帶回鑑定種類。在各樣區中拉設5條10 m × 1 m的樣帶，調查樣帶內箭竹的新筍數、高山田鼠與台灣水鹿的排遺堆數。

第四節 小奇萊與磐石環境因子量測

為取得小奇萊與磐石的環境資料，在兩樣區架設簡易型氣象站。以 Temperature/RH Smart Sensor (S-THB-M002) 量測大氣中的溫度與濕度，以 12-Bit Temperature Smart Sensor (Part # S-TMB-M002) 測量土下 30 公分處的土壤溫度，以 Soil Moisture Smart Sensor (S-SMA-M005) 測量土下 30 公分處的土壤濕度，所有的資料均每半小時記錄一筆傳入 HOBO micro station 儲存。

第三章 研究成果

第一節 模擬啃食實驗

在模擬啃食實驗前（五月），對各樣區植物組成調查與養分分析的結果顯示，三組樣區背景條件相近，僅箭竹葉 N 含量具組間差異。各項測值比較結果如下。

小奇萊三組模擬啃食樣區的植物組成極為相似，組間無顯著差異。三組樣區都以箭竹為絕對優勢，其他植物的種類與相對覆蓋度皆低。五月模擬處理前，樣區所有植物與箭竹的相對覆蓋度皆以 C 組較高（0.94 與 0.85），A 組較低（0.86 與 0.68），Simpson 多樣性指數（1-D）以 A 組較高（0.29），B 組較低（0.13）（圖 1）。除箭竹外，高山芒草為次優勢植種，以點截法調查到的其他植物，依出現頻度高低，尚有羊茅、石松與薹屬植物。樣區中箭筍數以 B 組最多（ $10.8/2m^2$ ），A 組最少（ $3.8/2m^2$ ）（圖 1）。各組樣區中箭竹被啃食的量極微，也未見到田鼠、水鹿或其他草食獸的排遺。

樣區土壤養分組成在三組間無顯著差異。土壤中 C 的重量百分比在 12.24% 至 12.56% 間，N 含量在 0.93% 至 0.97% 間，C/N 比在 12.99 至 13.45 間（圖 2）。土壤中 Ca 濃度約為 110mg/kg，以 C 組略高，B 組較低；磷含量約 120mg/kg，以 B 組為高，C 組較低（圖 3）。

在樣區箭竹葉各項養分含量中，僅 N 含量的組間差異顯著。五月時各組樣區箭竹葉的 C 含量約 45%；N 含量略高於 2%，C/N 比在 18.8 至 20.6 間（圖 4），三組間差異顯著（ $F=7.94, p<0.01$ ），以 B 組的 N 含量最高，以致其 C/N 比顯著

低於其他兩組 ($F=9.09, p<0.01$)。Ca 濃度約 2.8mg/g ，以 C 組略高，B 組較低；P 含量約 1.7mg/g ，以 C 組略高，B 組較低 (圖 5)。各項養分含量組間差異不大，除磷以外，竹葉與土壤養份的組間變動趨勢一致。

模擬啃食實驗期間，樣區箭竹發筍數量在各次調查間有別，但組間差異不顯著 (圖 6)。六月首次調查時，樣區竹筍數雖以 B 組為高，但與其他兩組的差異不顯著。七月至十一月間三次複查中，三組樣區箭竹數量的變化趨勢相近，皆以七月筍量最高，其後漸少。七月的箭竹量，依然以 B 組樣區最高 ($22.4/2\text{m}^2$)，A 組最低 ($12.6/2\text{m}^2$)。然六月至七月間樣區箭竹的增加量，在組間無顯著差異。

模擬啃食操作前後 (五月 vs 十一月)，三組樣區植物組成的變化不大。三組樣區所有植物與箭竹相對覆蓋度的變化，與 Simpson 多樣性指數的變動，皆不顯著 (圖 7)。

實驗前後土壤與葉片養分含量變化情形有別。樣區土壤的各項養分含量皆呈下降趨勢 (圖 8，圖 9)，其中 N 與 P 含量的前後差異顯著，且下降幅度皆以控制組最少，剪除組最多。處理期間，葉片 N 與 P 含量的組間變化顯著，N、Ca 與 P 含量在各次處理間差異顯著，而不同處理與不同次調查間之間交互作用在 P 含量變化上具顯著性 (圖 10，圖 11)。以下分別說明各項養份含量在組間與各次處理間的變動情形。各組的 C 含量皆隨時間呈小幅下降。N 含量在摘除與剪除處理組皆是先升後降，而處理前後相較，控制組略升，摘除組下降，剪除組的變動不大。三種處理下葉片的 Ca 含量皆是先降後升，各次處理間變動具顯著性，且升降幅度皆以控制組最小，剪除組最大，而前後比較之下，三組葉片 Ca 含量

皆上升，上升程度相近。P 含量的變化在處理間、各次調查間及兩者交互作用上皆顯著，而其變動趨勢在控制組是逐次小幅下降，而在摘除與剪除兩組則是先升後降，升降幅度相互抵銷，故前後差異不大。

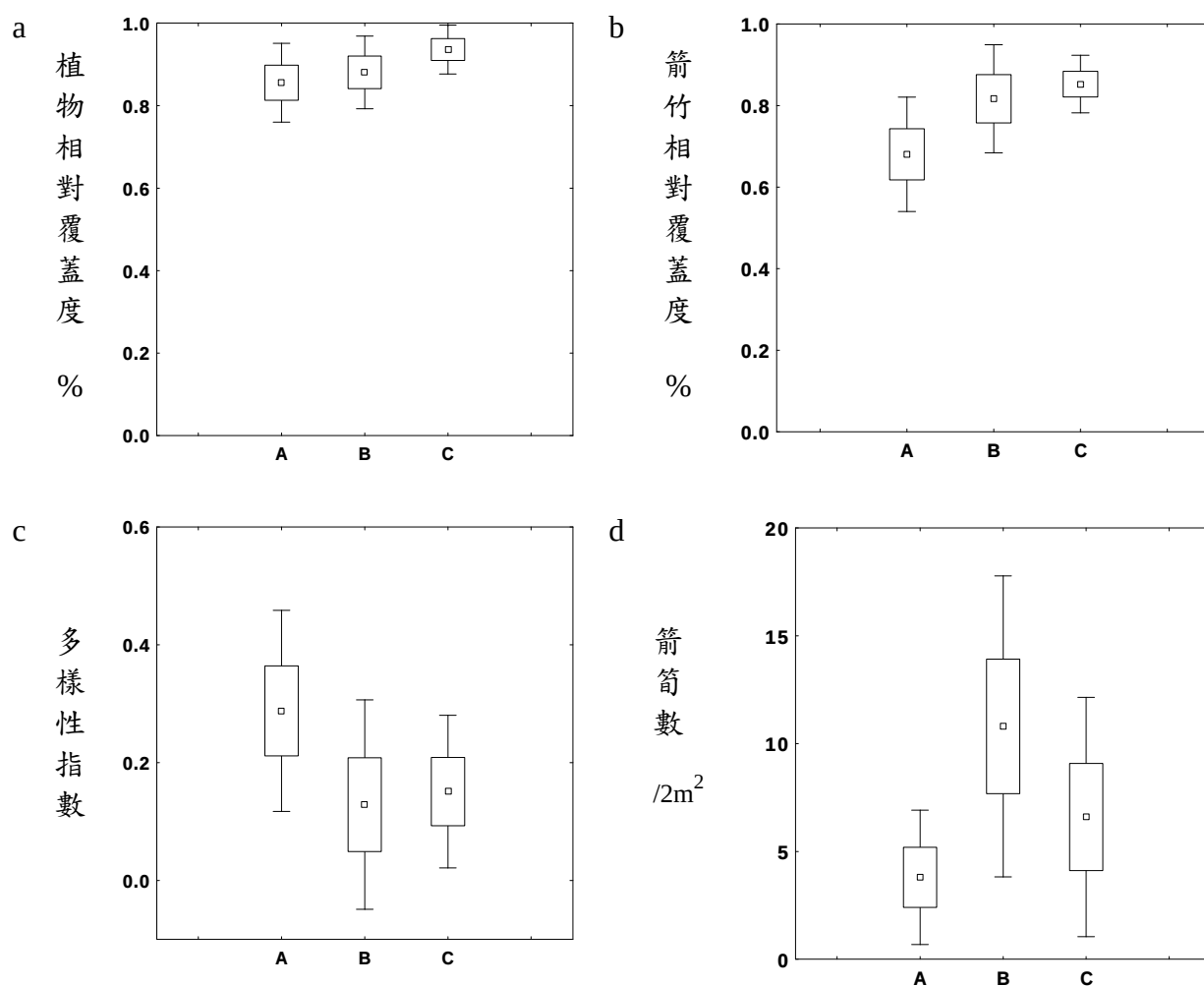


圖 1. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區植物相對覆蓋度（a）、箭竹相對覆蓋度（b）、多樣性指數（c）與 2m² 範圍內箭筍數（d）。圖示為觀測值的均值、SE 與 SD。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。多樣性指數為 1-D，

D 為 Simpson index， $\hat{D} = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$ 。（資料來源：本研究）

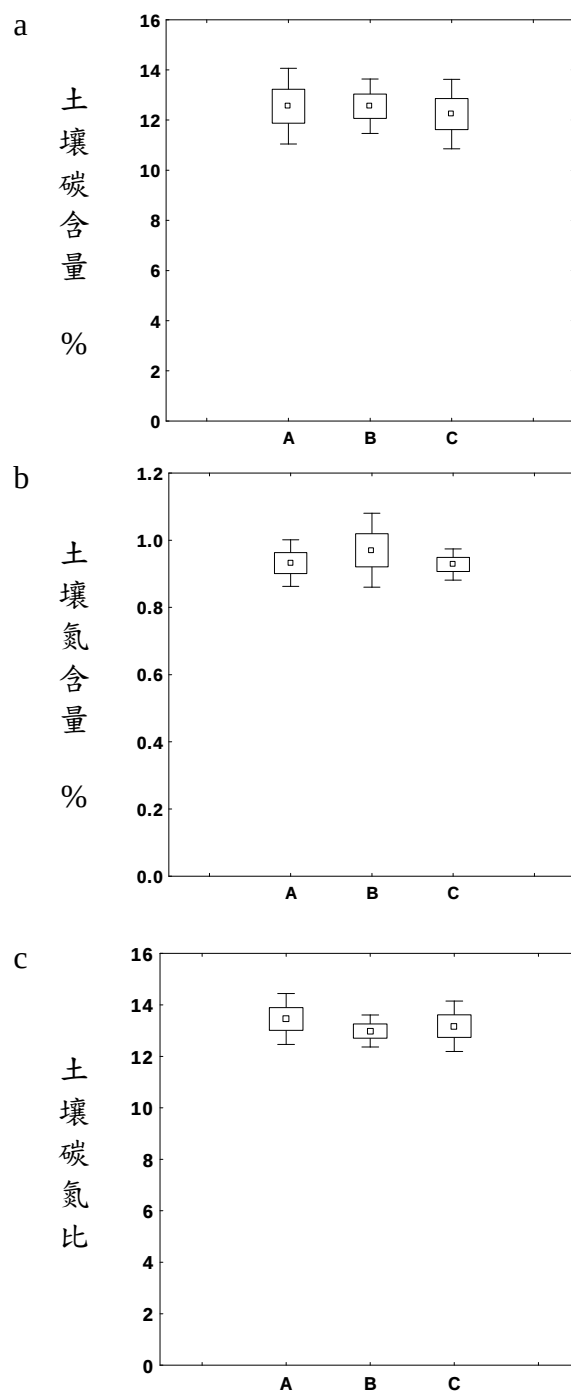


圖 2. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區土壤碳含量（a）、氮含量（b）與碳氮比（c）。圖示為均值、SE 與 SD。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。（資料來源：本研究）

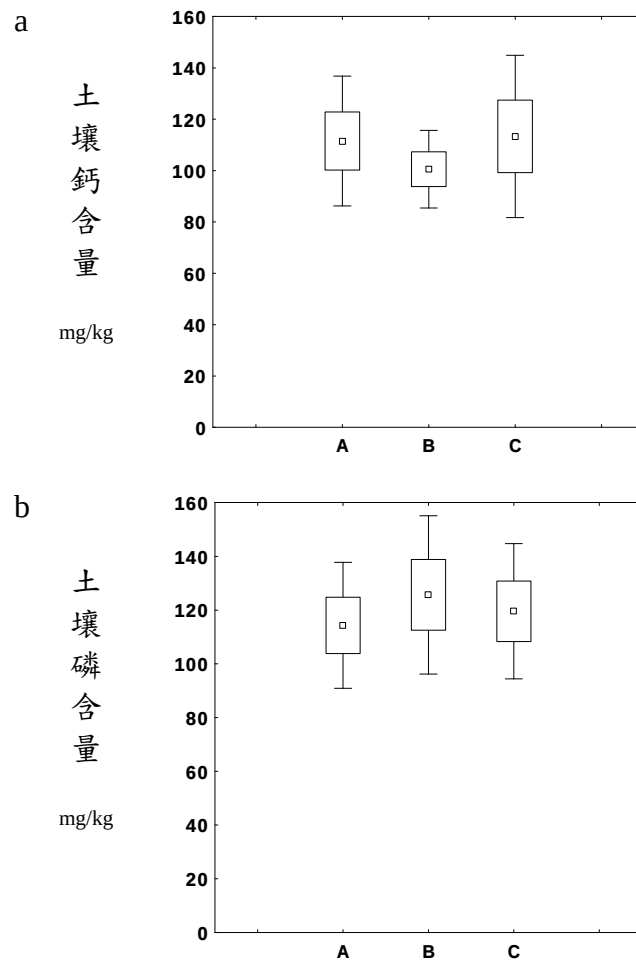


圖 3. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區土壤鈣含量（a）與磷含量（b）。圖示為觀測值的均值、SE 與 SD。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。（資料來源：本研究）

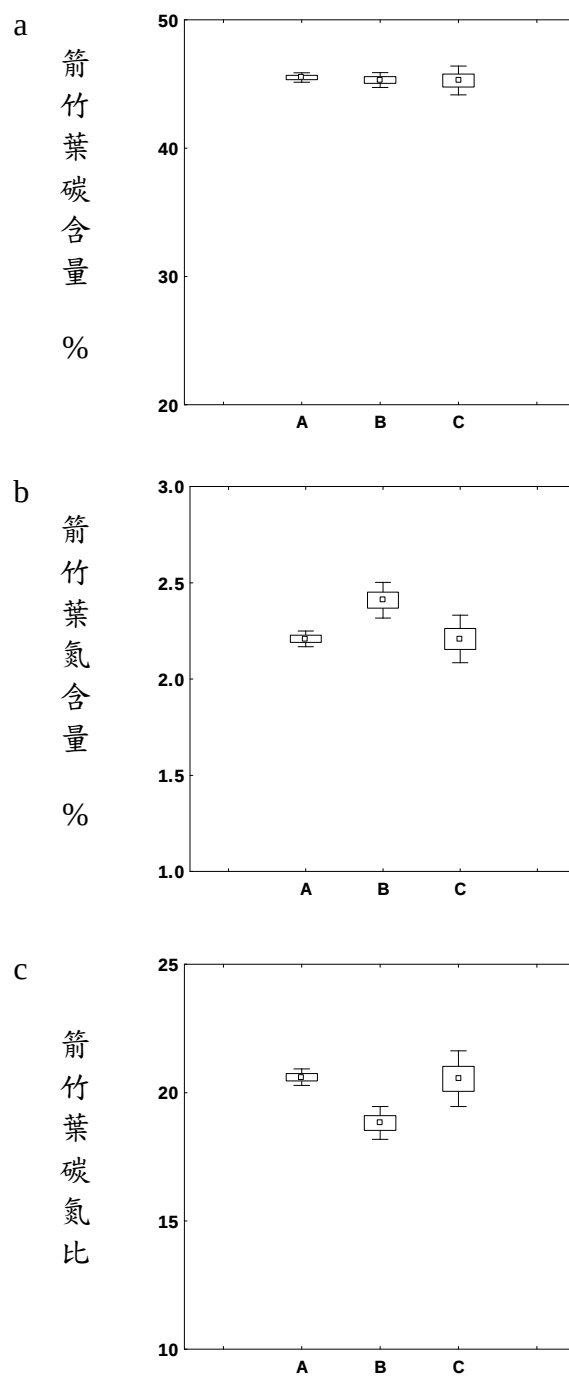


圖 4. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區箭竹葉碳含量（a）、氮含量（b）、以及碳氮比（c）。圖示為均值、SE 與 SD。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。（資料來源：本研究）

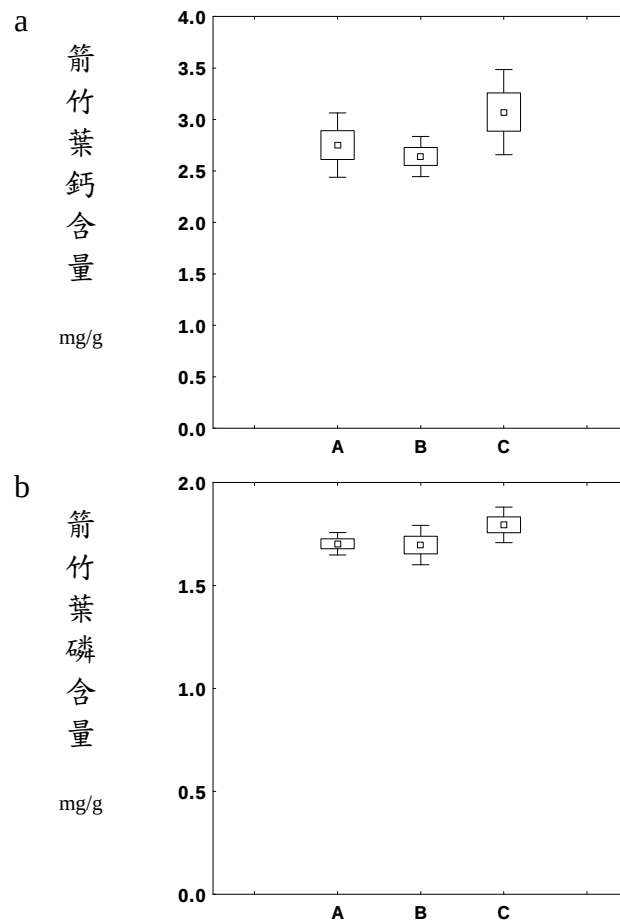


圖 5. 模擬啃食處理前（五月），小奇萊樣區箭竹葉鈣含量（a）與磷含量（b）。圖示為均值、SE 與 SD。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。（資料來源：本研究）

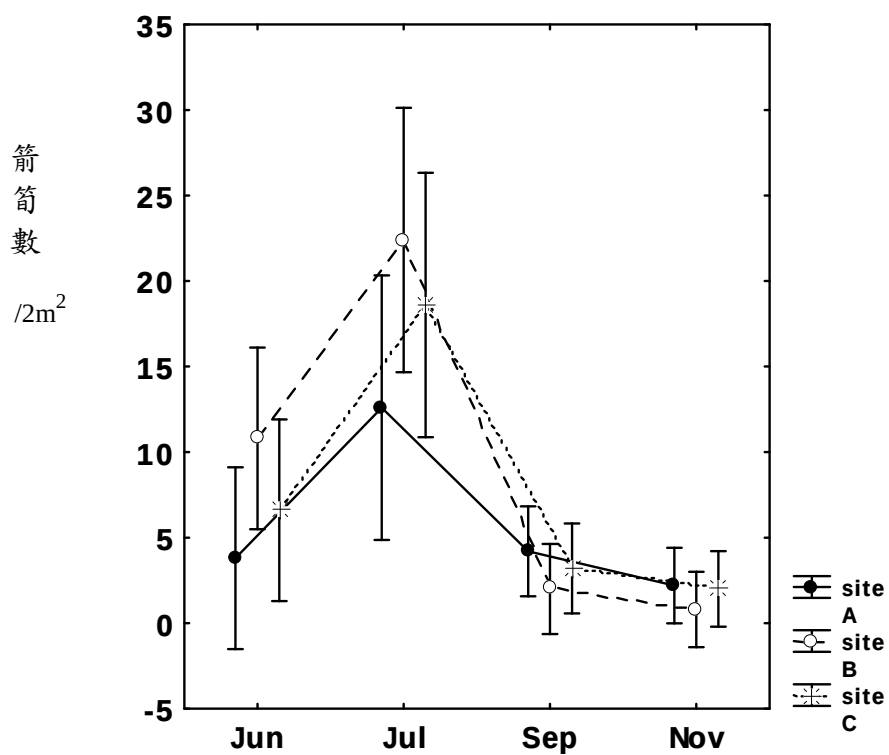


圖 6. 模擬啃食處理期間（六月、七月、九月與十一月），小奇萊樣區調查樣方（ 2m^2 ）內箭竹筍數量。圖示為均值與 95%信賴區間。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。（資料來源：本研究）

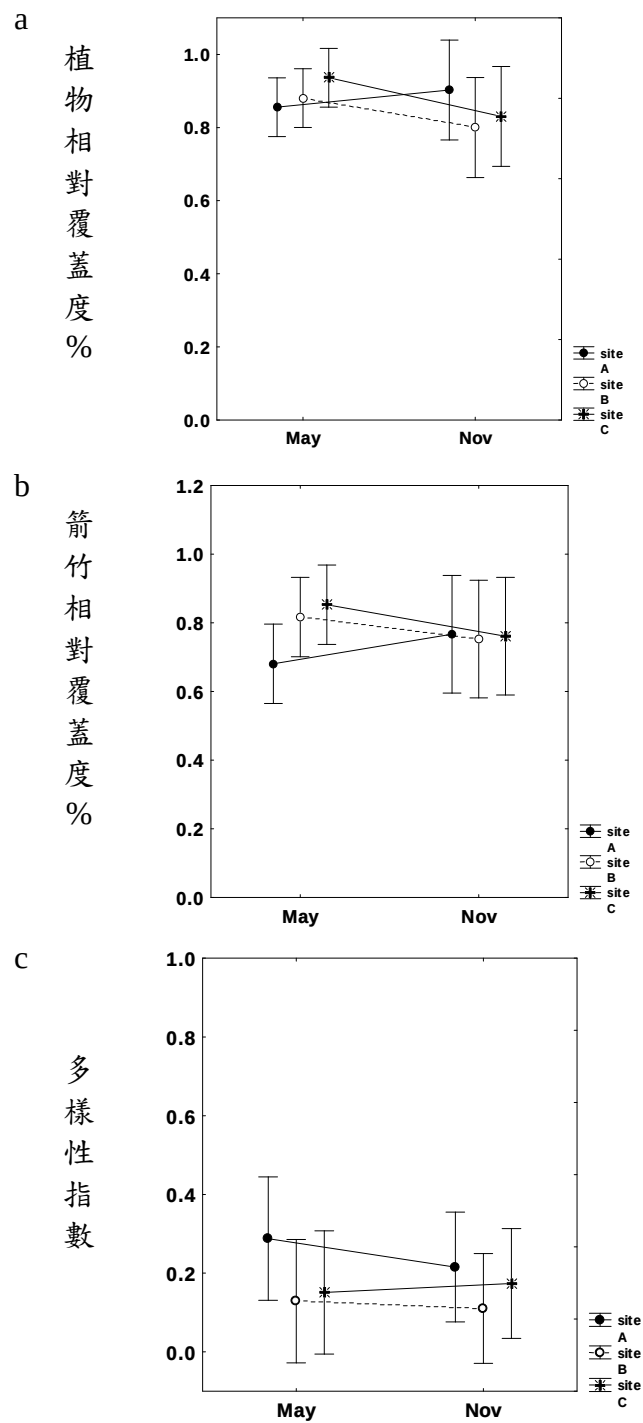


圖 7. 模擬啃食處理前後(五月與十一月),小奇菜植物相對覆蓋度(a)、箭竹相對覆蓋度(b)與多樣性指數(c)。圖示為均值與 95%信賴區間。樣區代號:A,無啃食對照組;B,摘除葉片組;C,剪除葉片組。多樣性指數為 $1-D$, D 為 Simpson index, $\hat{D} = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$ 。(資料來源:本研究)

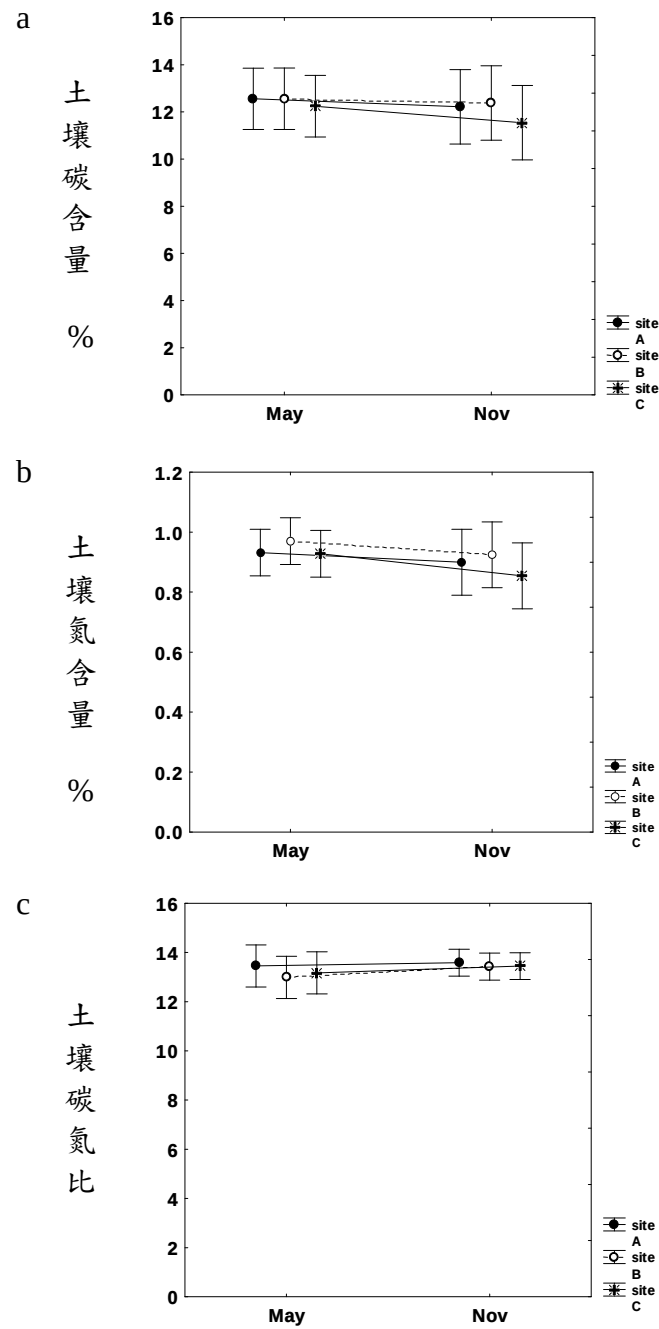


圖 8. 模擬啃食處理前後（五月與十一月），小奇萊土壤碳含量（a）、氮含量（b）與碳氮比（c）。圖示為均值與 95%信賴區間。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。（資料來源：本研究）

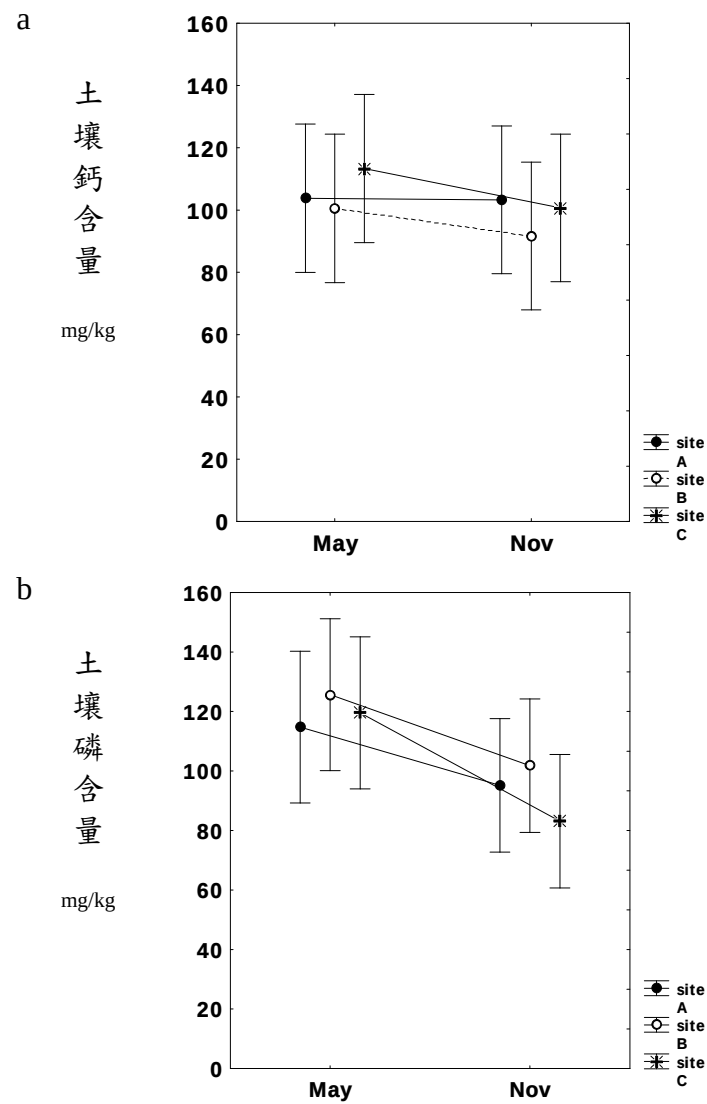


圖 9. 模擬啃食處理前後（五月與十一月），小奇菜土壤鈣含量（a）與磷含量（b）。圖示為均值與 95%信賴區間。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。（資料來源：本研究）

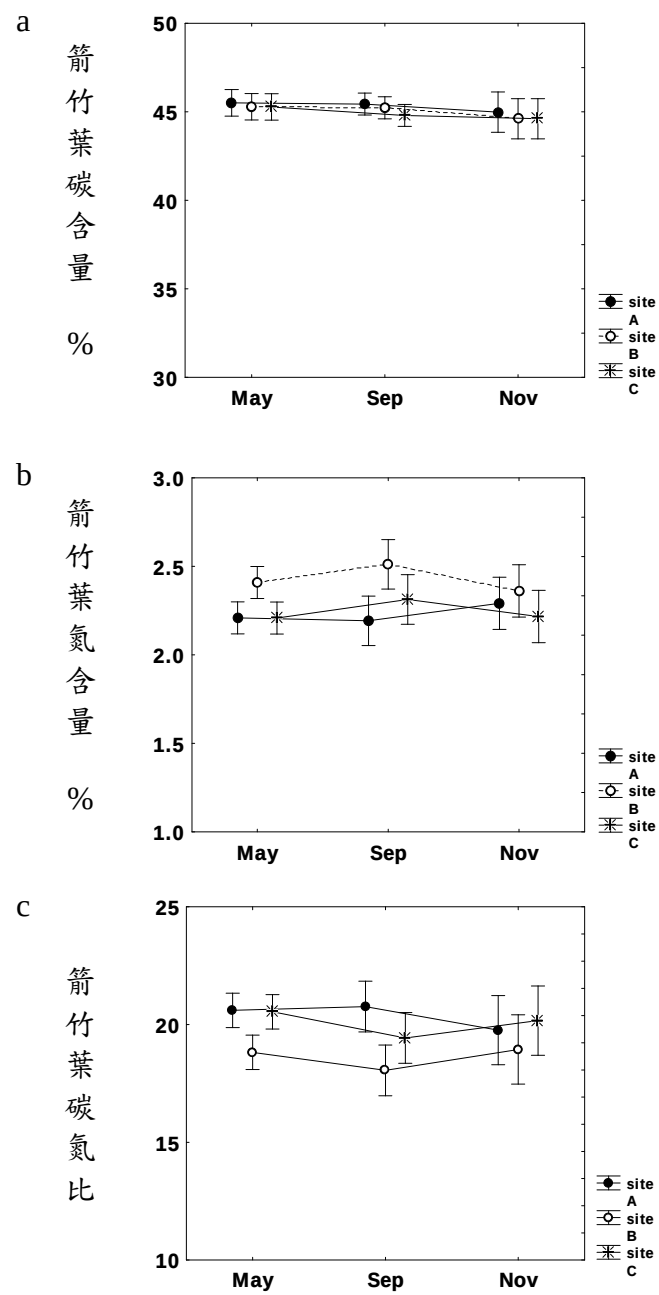


圖 10. 模擬啃食處理期間，小奇萊箭竹葉碳含量(a)、氮含量(b)與碳氮比(c)。圖示為均值與 95%信賴區間。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。(資料來源：本研究)

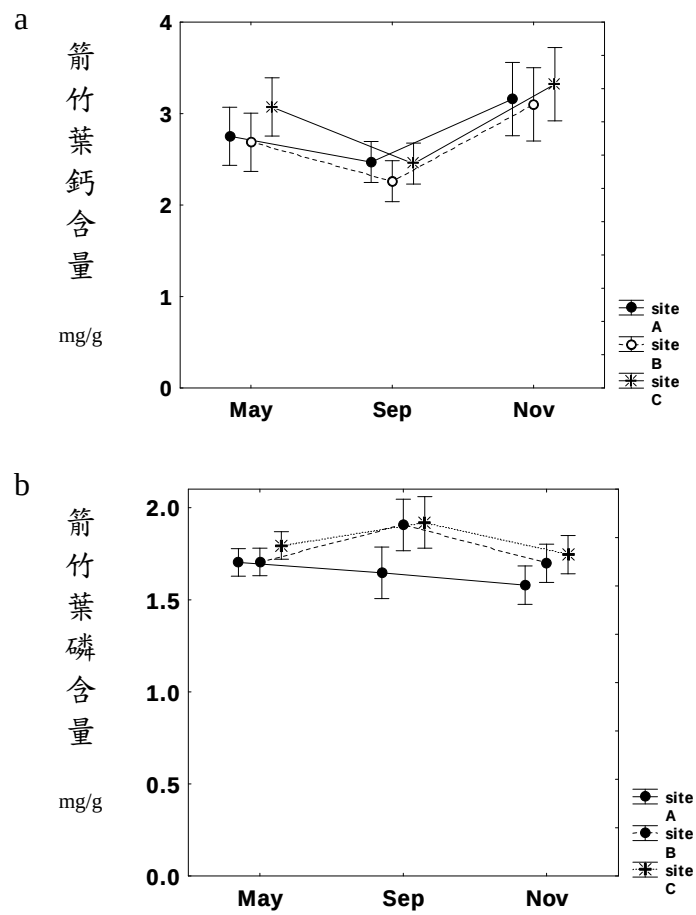


圖 11. 模擬啃食處理期間，小奇萊箭竹葉鈣含量 (a) 與磷含量 (b)。圖示為均值與 95%信賴區間。樣區代號：A，無啃食對照組；B，摘除葉片組；C，剪除葉片組。(資料來源：本研究)

第二節 枯落物分解實驗

四月放置枯落葉包之初，小奇萊與磐石樣區土壤的C與N含量相近，而Ca與P含量有別（圖12）。小奇萊與磐石土樣的C含量約15.4%，N含量約1.2%，兩地差異不顯著。磐石樣區土壤的Ca與磷濃度分別為148mg/kg與220mg/kg，皆顯著高於小奇萊樣區（88mg/kg與127mg/kg）。

五月於小奇萊與磐石兩地置放枯葉包後，於七月、九月與十一月分批取回一組樣本分析，結果顯示，除P含量外，其餘三種養份在兩地與三批樣本間皆有顯著差異。整體而言，分解過程中，磐石樣本的C含量略高於小奇萊樣本，N、Ca與P含量則略低於小奇萊樣本；C含量隨時間下降，N含量則逐次上升（圖13），Ca含量先升而後持平，P含量隨時間的變化甚小（圖14）。

枯落葉包放置點旁土壤的養分含量，在兩地與四次調查間（四月、七月、九月與十一月）的變化情形，依養分項目而異：C與N含量的變化不顯著，而Ca與P含量在兩地間差異顯著。整體而言，土壤養份含量在各次調查間的變動以磐石較大，小奇萊的變動較緩（圖15，圖16）。四次取樣間，磐石土壤四種養份含量皆是自四月到九月持續下降，而九月與十一月間差異較小。

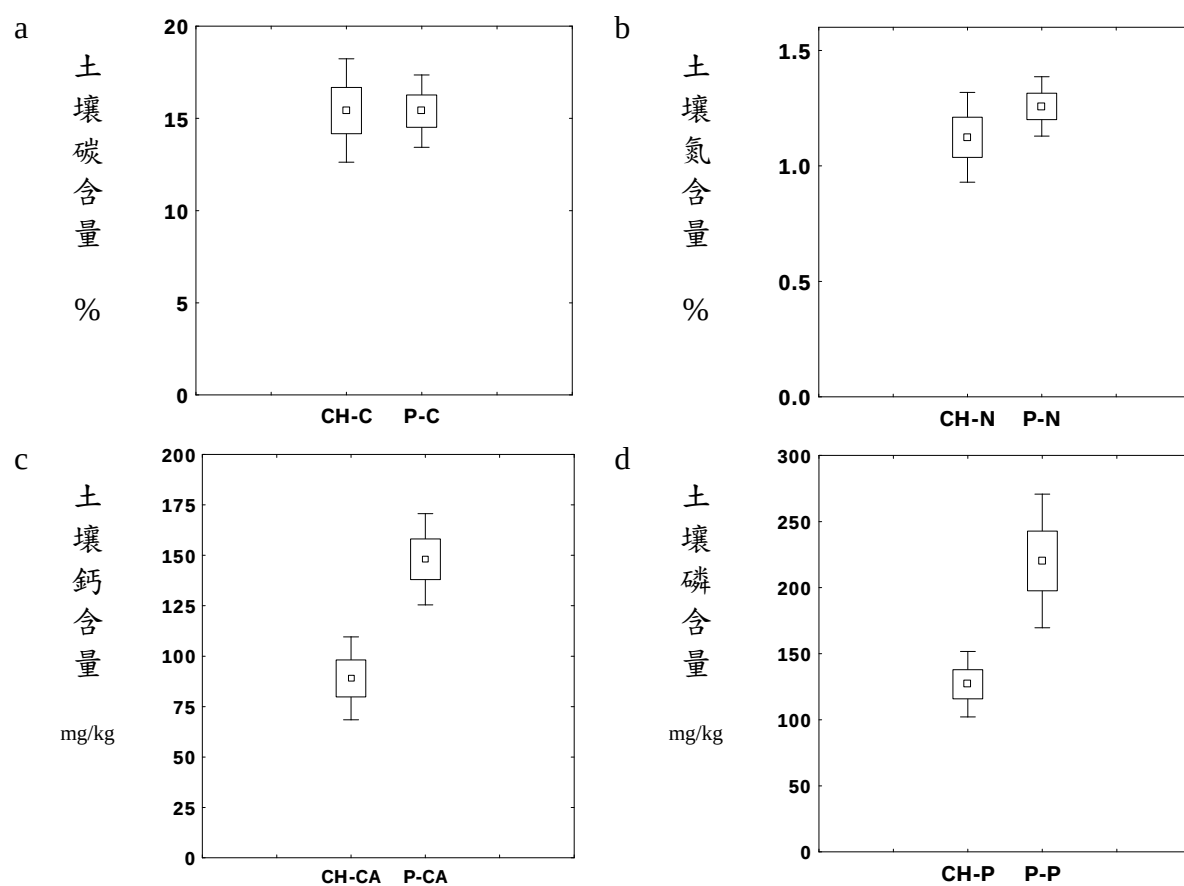


圖 12. 枯落葉分解實驗前 (四月)，小奇萊 (CH-) 與磐石 (P-) 樣區土壤的碳 (a)、氮 (b)、鈣 (c) 與磷 (d) 含量。圖示為均值、SE 與 SD。(資料來源：本研究)

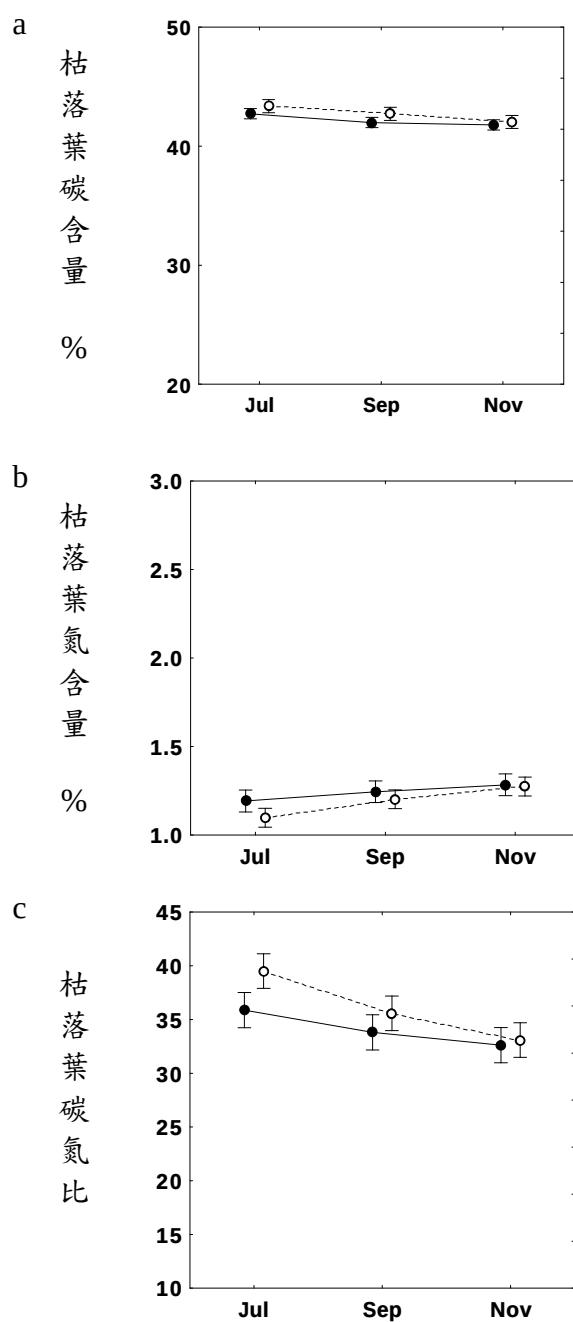


圖 13. 枯落葉分解實驗期間，小奇萊（實線）與磐石（虛線）樣區枯落葉碳含量（a）、氮含量（b）與碳氮比（c）。

圖中所示為均值與 95%信賴區間。（資料來源：本研究）

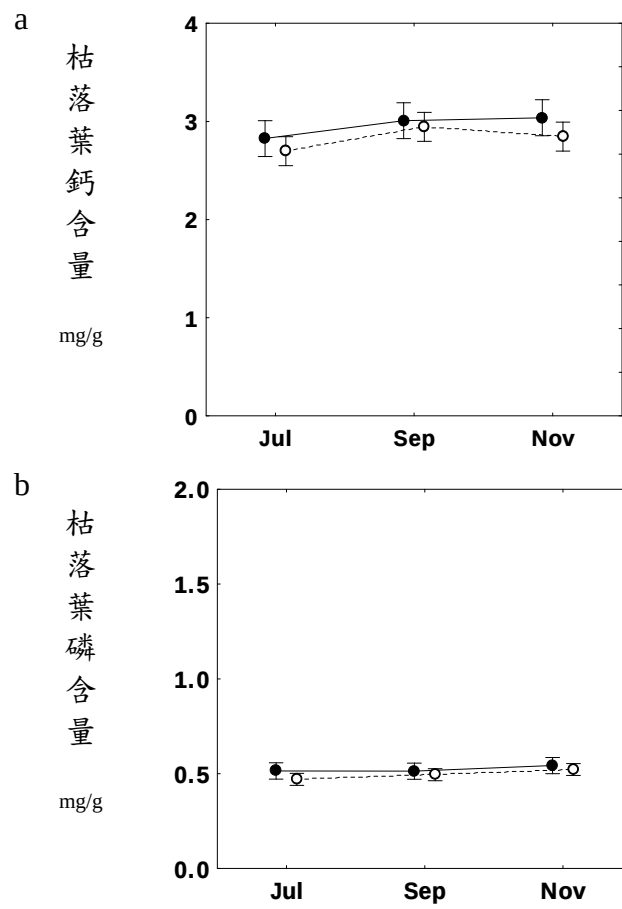


圖 14. 枯落葉分解實驗期間，小奇萊（實線）與磐石（虛線）樣區枯落葉的鈣（a）與磷（b）含量。圖示為均值與 95%信賴區間。

（資料來源：本研究）

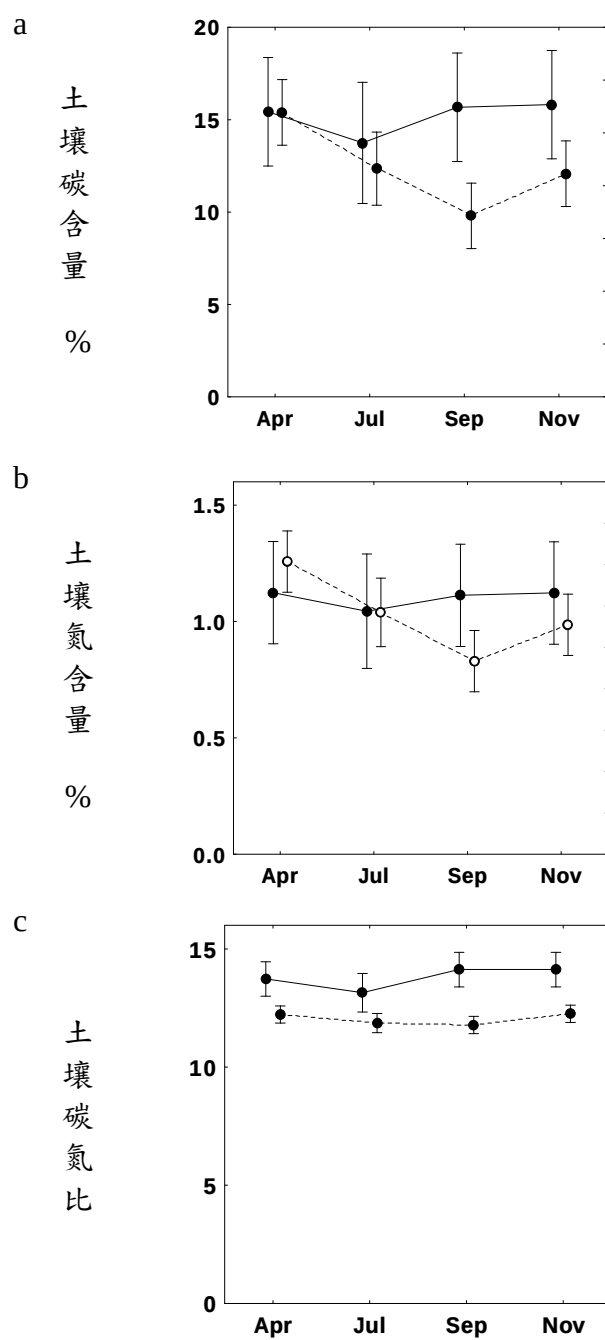


圖 15. 枯落葉分解實驗期間，置於小奇菜（實線）與磐石（虛線）樣區枯落葉包旁土壤的碳含量（a）、氮含量（b）與碳氮比（c）。圖示為均值與 95%信賴區間。（資料來源：本研究）

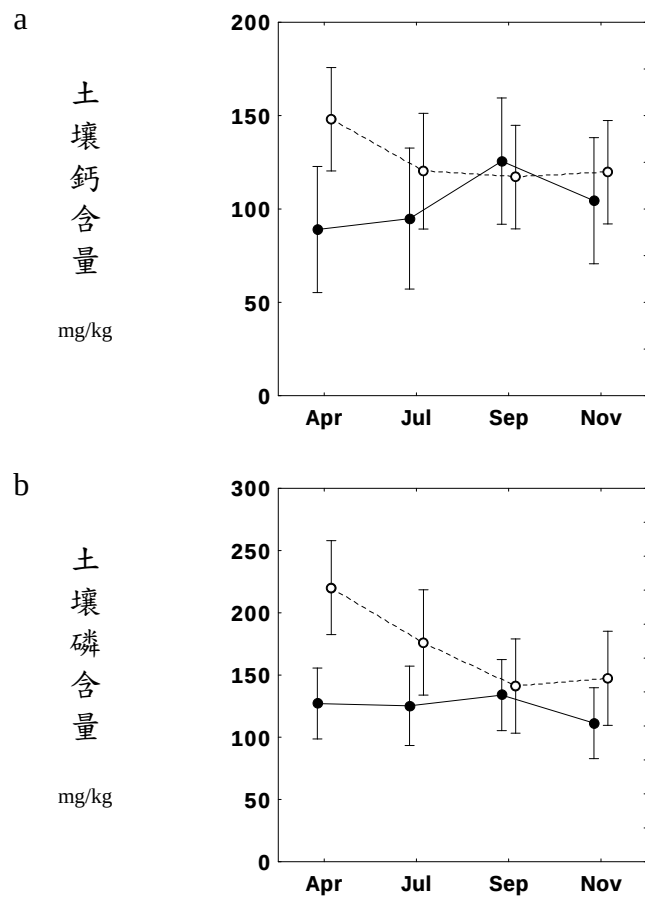


圖 16. 枯落葉分解實驗期間，置於小奇萊（實線）與磐石（虛線）樣區枯落葉包旁土壤的鈣含量（c）與磷含量（d）。圖示為均值與 95%信賴區間。（資料來源：本研究）

第三節 草食獸與植物多樣性

在各樣區中選取五條樣線，調查其中動物排遺的數量。合併五樣線（共 50m²）的調查資料，在六樣區中僅 A 區中無水鹿活動痕跡，其他五區中以 B 區的水鹿排遺最多（四條樣線上共 18 堆），D 區次之（五條樣線上共 10 堆），E 與 F 區各有 7 堆排遺分布於四樣線上（圖 17）。樣區中高山田鼠的活動痕跡不多，在六樣區中僅 A、C 與 E 區有高山田鼠糞堆 1 至 3 堆。

利用上述樣線調查各樣區的箭筍量。在六樣區中以 D 區的箭筍最多，50m² 調查面積中有 894 支箭筍，E 區次之（479 支），A、B 與 C 三區數量相近（291-318），F 區最少（216 支）（圖 17）。

在小奇萊至磐石間，選取六個箭竹草地樣區調查植物組成與草食獸排遺量。綜合對各樣區中 20 個樣方的調查結果，六樣區的植物生長狀況有別（MANOVA, $F=6.323$, $p<0.001$ ）。各因子中，植被高度與植物種類數在六樣區間具顯著差異，植物覆蓋度、箭竹覆蓋度與多樣性指數則否（圖 18）。六樣區中，以 A 樣區植被的平均高度最高（39.9cm），其他各區在 20-30 公分間；各樣區植物覆蓋度平均在 80%到 90%間，其中箭竹的優勢度高，平均覆蓋度在 73%到 86%間；樣方中植種數以 A 與 B 樣區較多（5.9 種與 6.2 種），D 樣區中最少（3.2 種）；樣方的多樣性指數亦以 A 區最高（0.219），D 區最低（0.075）。在各樣區 20 個樣方中紀錄到的植種總數以 B 區最高（27 種），B 區次之（20 種），D 及 E 區最低（9 種）。如以各種植物在 20 個樣方中的出現頻度（該植種出現的樣方數）為資料，計算樣區的多樣性指數，則六樣區中以 B 樣區的多樣性較高（0.937），A 區次之（0.915），D 區最低（0.800）。

對上述資料的相關分析結果顯示，因子間呈顯著相關的計有：水鹿與高山田鼠排遺堆數（ $r=-0.86$ ），植物覆蓋度與箭筍數（ $r=0.87$ ），及樣方植種數、樣區植種數與樣區多樣性三者間（ $r=0.99$ ）。亦即，水鹿排遺多處高山田鼠排遺少，植物覆蓋度高處箭竹筍較多，而樣區植物種類數多處多樣性高，而各樣方中的植種亦多。此外，箭竹覆蓋度高處水鹿排遺多（ $r=0.75$ ），箭筍亦較多（ $r=0.64$ ），且不論由樣區或樣方尺度，植物種類數與多樣性皆偏低（ $r=-0.43\sim-0.66$ ）。

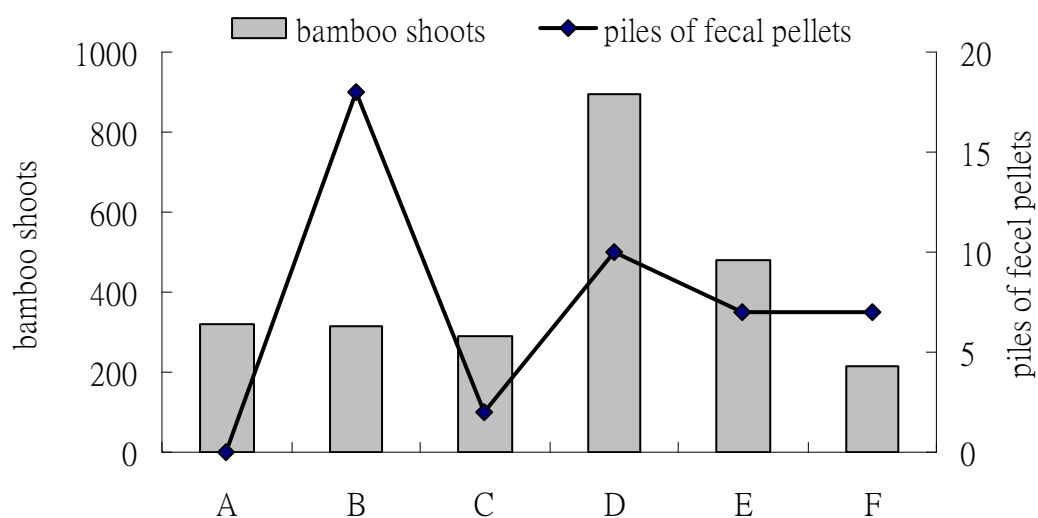


圖 17. 小奇萊至磐石山區六處箭竹草地樣區中箭筍與水鹿排遺堆數分布。
圖示為五條樣線（合計 50m²）上的箭筍與排遺堆總數。（資料來源：本研究）

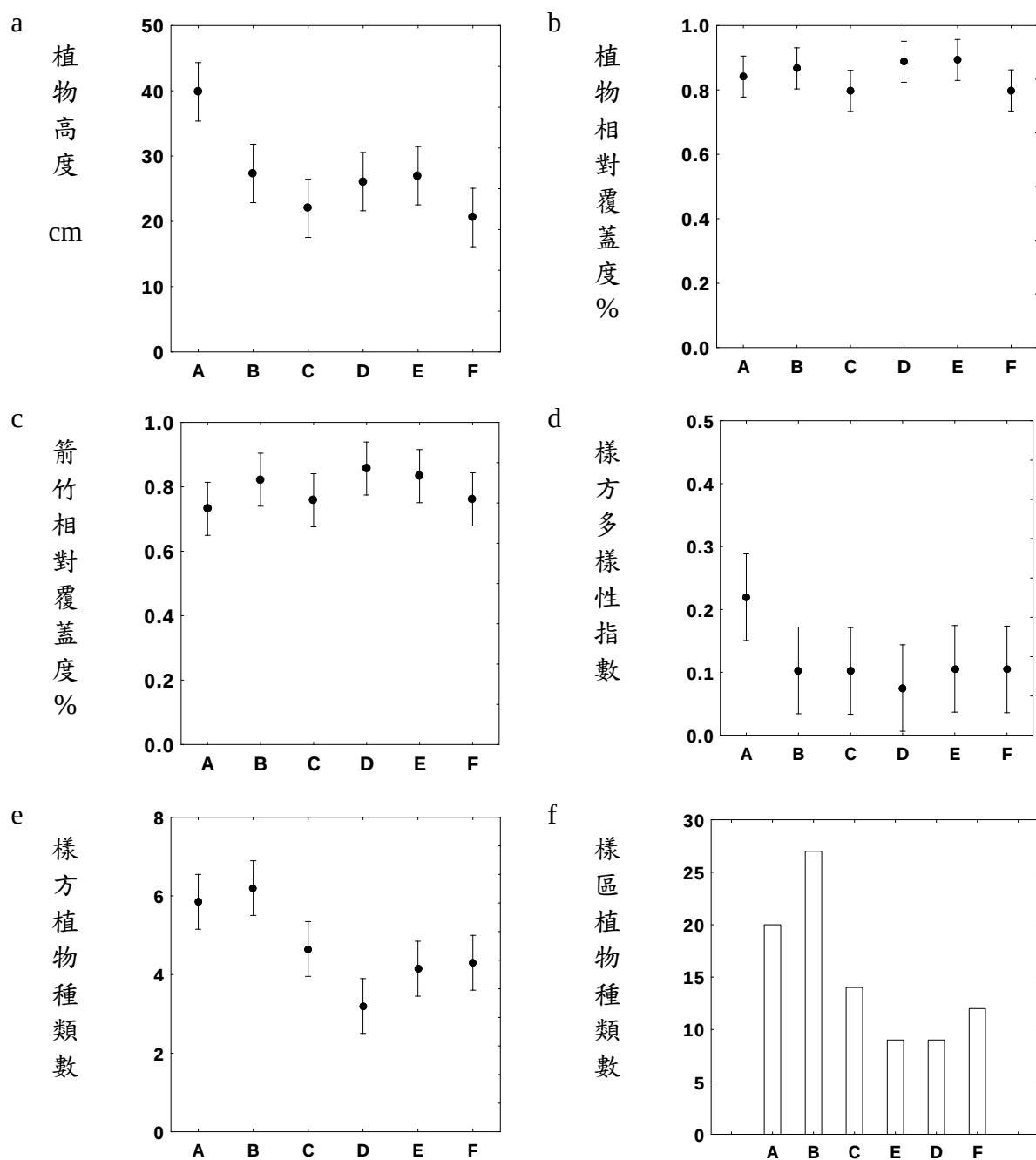


圖 18. 小奇萊至磐石山區六處箭竹草地樣區的植物高度 (a)，植物相對覆蓋度 (b)、箭竹相對覆蓋度 (c)、樣方多樣性指數 (d)、樣方植種數 (e) 與樣區植物種類數 (f)。

a-e 圖示為均值與 95% 信賴區間。多樣性指數為 $1-D$ ， D 為 Simpson index， $\hat{D} = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$ 。

(資料來源：本研究)

第四節 其他植物與土壤養份含量

箭竹葉片的養份與水鹿會吃的其他三種植物葉片有明顯差異。與小奇萊與磐石不同月份的箭竹葉相比，高山芒、森氏杜鵑與紅毛杜鵑葉片的碳含量較高，而氮與磷含量偏低（圖19）。此外，高山芒葉片鈣含量低於箭竹，而兩種杜鵑則遠大於箭竹。

在土壤養份含量上，箭竹草地土壤四種養份含量皆高於兩處冷杉林的土壤，其中以P的差異最大（圖20）。小奇萊與磐石箭竹地土壤中的P在100mg/kg以上，在磐石甚至可超過200mg/kg，而冷杉林土壤中的P平均不到50mg/kg。在Ca含量上，其中一處冷杉樣點兩樣本的差異極大，平均後該處冷杉林土壤的Ca含量接近箭竹地。

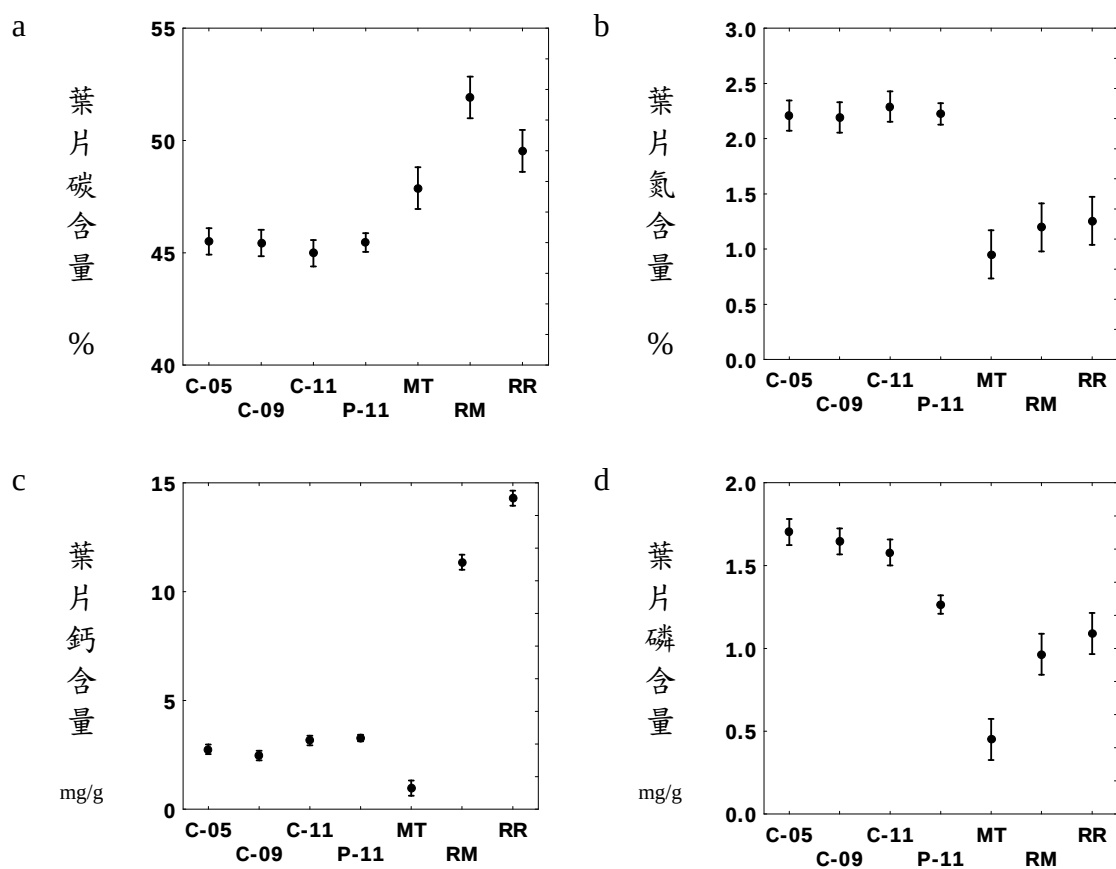


圖 19. 箭竹與其他植物葉片樣本養份含量比較。樣本代號：C-05、C-09 與 C-11，小奇萊模擬啃食控制組樣站 5 月、9 月與 11 月的箭竹；P-11，磐石 11 月的箭竹；MT，磐石 11 月的高山芒草；RM，磐石 11 月的森氏杜鵑；RR，小奇萊 11 月的紅毛杜鵑。圖中所示為均值與 95%信賴區間。(資料來源：本研究)

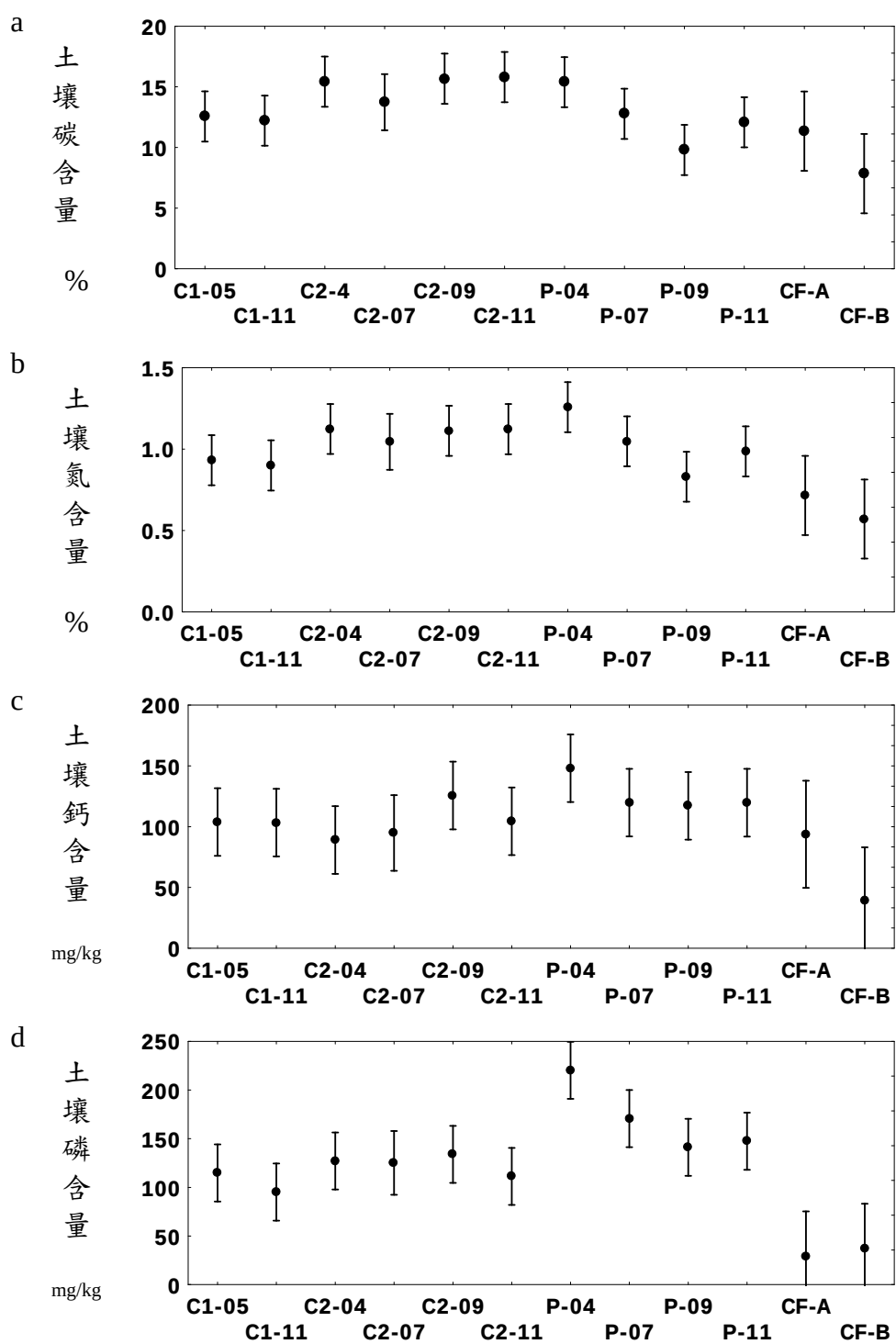


圖 20 箭竹地與森林土壤養份含量比較。樣本代號：C1，小奇菜模擬啃食控制組樣站 5 月與 11 月；C2，小奇菜枯落葉分解樣站 4 月至 11 月；P，磐石枯落葉分解樣站 4 月至 11 月；CF，小奇菜至磐石間冷杉林土壤。圖示為均值與 95%信賴區間。

(資料來源：本研究)

第五節 小奇萊與磐石溫溼度月變化與日週性

研究期間利用架設於小奇萊與磐石的簡易型氣象站，紀錄到4月23日到11月3日間完整的大氣與土壤溫溼度。以下僅就整月紀錄完整的5月到10月資料加以比較。

在此期間，小奇萊月均氣溫以10月的 9.1°C 最低，7月的 12.3°C 最高，月均土溫在5月的 9.9°C 到8月的 13.7°C 間變動，月均氣溫約較土溫低1至 3°C （圖21）。磐石地區氣溫與土溫的變化趨勢與小奇萊相近，但個別溫度較小奇萊低1至 2°C ，月均氣溫以10月的 7.9°C 最低，7月的 10.92°C 最高，土溫則是在5月的 8.0°C 到8月的 11.6°C 間變動（圖21）。

在濕度方面，小奇萊各月空氣的平均相對溼度以8月的82.3%最低，5月的92.3%最低；土壤的相對溼度（相對於土壤體積含水量最大值的百分比）以9月的73.2%最低，5月的84.5%最高（圖22）。磐石地區空氣的平均相對溼度以9月的81.6%最低，5月的89.0%最高；土壤的相對溼度（相對於土壤體積含水量最大值的百分比）以9月的63.5%最低，10月的91.2%最高（圖22）。兩地相對濕度的月變化趨勢一致，空氣相對濕度差距僅在4%以內，且多以小奇萊的相對溼度較高；土壤相對溼度差距較大，最多可達10%。

整體而言，小奇萊與磐石兩地全年溫溼度變動趨勢相近（圖23）。在四項測量值中，兩地氣溫與空氣相對溼度的日週性變化明顯，但互為消長，中午氣度高而濕度低，夜間氣溫下降，溼度則逐漸上升。然而，土溫與土壤相對溼度晝夜變

動小，土壤溫度在六月之後變動小，但九月時小奇萊與磐石兩處的土壤濕度皆大幅降低。

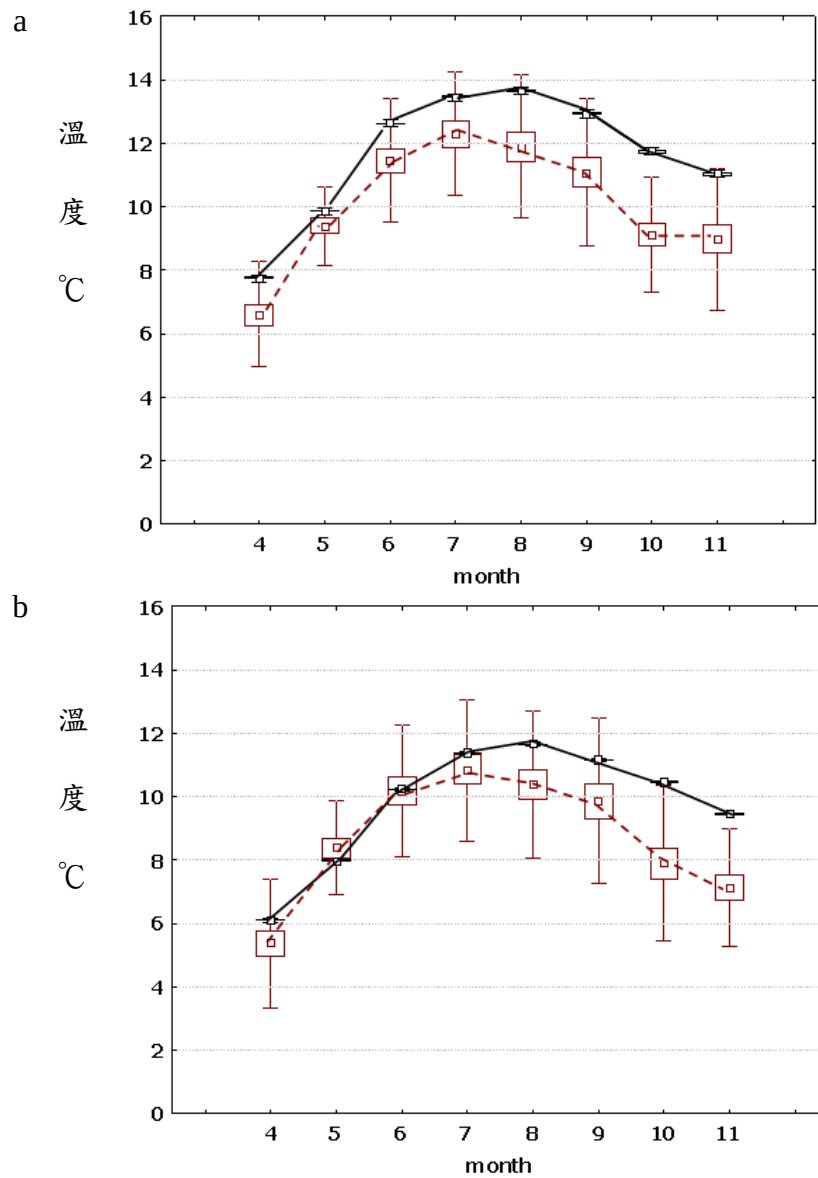


圖 21. 2011 年 4 月至 11 月小奇萊 (a) 與磐石 (b) 兩地各月平均氣溫 (虛線連部分) 與土溫 (實線連結部份)。圖示為均值、SE 與 SD。
(資料來源：本研究)

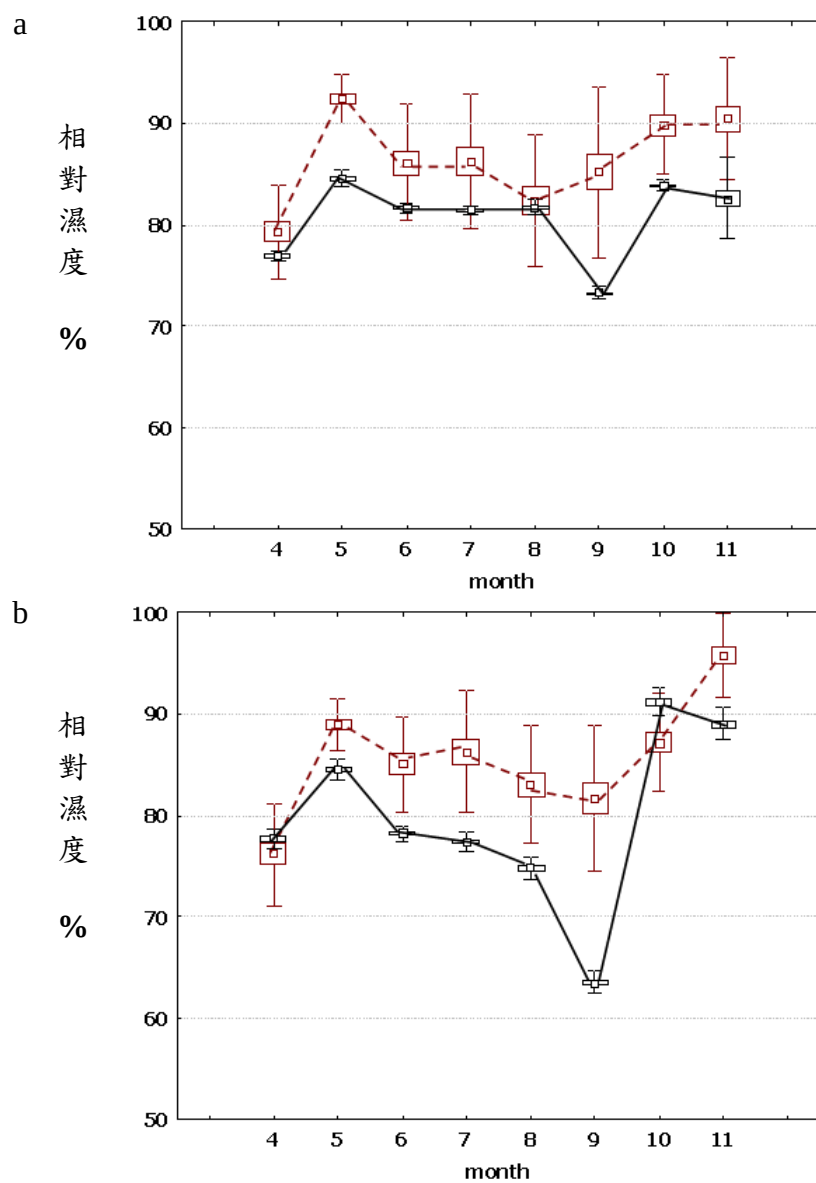


圖 22. 2011 年 4 月至 11 月小奇萊 (a) 與磐石 (b) 兩地各月空氣 (虛線連結部份) 與土壤 (實線連結部份) 相對溼度均值。圖示為均值、SE 與 SD。

(資料來源：本研究)

第四章 結論與建議

第一節 討論

一、水鹿與箭竹

小奇萊模擬啃食實驗三組樣區箭竹高度與覆蓋度雖有差異，但土壤與箭竹養分的起始狀況相近，以之作為樣區，比較不同處理下養份及植物組成差異，應屬適切。

模擬啃食之下，樣區植物與箭竹的覆蓋度略升，多樣性略降，但與控制組的差異不顯著。標定的箭竹樣株，在持續摘剪除處理下，仍有新葉展出，植株摘剪除處理位置下方部分的葉片亦持續生長。

由葉片養份分析結果上，可偵測出箭竹對摘剪除處理的反應。相較於控制組，摘剪除葉片養份含量或有相同趨勢，但變動幅度大於控制組（C 與 Ca 含量），或有不同的變動趨勢（N 與 P 含量）。相較於控制組持續下降的葉片 N 與 P 含量，九月時摘剪除處理組數值的升高，顯示箭竹對模擬啃食的摘剪除呈現補償性生長的反應。

各組和各次取樣中土壤的養份，僅 N 與 P 含量在各次取樣間的變動顯著。配合葉片中上 N 與 P 含量的變化，似乎反映摘剪除處理增加箭竹對土壤養份的需求。

枯落葉分解實驗分小奇萊與磐石兩地進行，擬檢視在環境條件與水鹿啃食壓力有別下，兩地枯落物的分解速率為何，並探討與周邊土壤養份變動的可能關聯。比較簡易型氣象站蒐集的資料，磐石空氣與土壤之溫度與相對濕度略低於小

奇萊，但季節與日周性變化趨勢相近。土壤養分方面，兩地土壤的 C 與 N 含量相近，而磐石土壤 Ca 與 P 含量顯著高於小奇萊。水鹿啃食壓力上，磐石經常有水鹿出沒，在箭竹地中啃食竹葉，而小奇萊則鮮少有水鹿的蹤跡。

七月至十一月間，除 P 以外，枯落葉包樣本養份含量在磐石與小奇萊間有顯著差異，而各批樣本間的差異顯著，但變動趨勢一致。然而，此變動趨勢並未反映在土壤養份含量上。雖然缺少放置前樣本起始養份含量資料，但由於小奇萊與磐石兩地枯落葉包葉片皆取自小奇萊同一地點，起始養份含量應相似，因此自七月所見兩地樣本養份的差異，可能是最初兩個月分解作用所致。然在七月至十一間間，養份含量的變化不大，或許至此時已進入分解作用趨緩期，但逐次間的差異仍具顯著性。

與小奇萊採自箭竹植株上的葉片相較，七月時枯落葉各項養份含量皆低，且以 N 與 P 減少最多。造成 N 與 P 含量差異的可能原因，包括植株過冬或落葉前再吸收作用與初期分解作用。箭竹葉生長時序是春夏季發新葉，秋末冬初葉尖黃化，但仍可保持綠色越冬，至隔年春初全面變黃掉落。本研究自四月份採自小奇萊的落葉中，挑選完整較新的竹葉作為分解實驗的樣本，這些落葉應以當季的新落葉為主。然而，採集與樣本處理上的失當，造成初始樣本的遺失，而缺漏的分解作用前的養份分析資料。此外，箭竹的地下莖系發達，度冬時可能將養份運至地下儲存，冬末竹葉變黃掉落前，植株也可能回收葉中養份，致使初春落葉的養份含量較低。本研究缺少對冬季竹葉與春季新落葉樣本的養份分析，無法評斷兩者的可能性。

枯落葉包周邊土壤養份隨時間的變動情形，以小奇萊地區較為緩和，磐石地區則較為劇烈。在小奇萊處的變動，與模擬啃食實驗中控制組的變動趨勢相近。兩組樣區土壤養份含量基準有別，枯落葉包處土壤養份的 C 與 N 含量高於啃食控制組，Ca 與 P 含量則相近。實驗前後兩組土樣的 C、N 與 Ca 含量皆相近，僅 P 含量的變動在啃食控制組為下降，在分組實驗組為持平。由此觀之，枯落葉包的置放對小奇萊土樣養份變動的影響不大。然而，磐石樣區的土壤養份卻有較大的變動。由於沒有對照組的資料可供比對，無法確認其為枯落葉包放置的影響，或是兩地土壤與其中養份動態本身的差異。由於前一年度分析中，已見兩地土壤氮與硝酸氮濃度與變動趨勢的差異，而兩地的溼度變動與溫度有別，或許此間於磐石所見土壤養份的變動，與兩地氣候條件及伴隨之養份動態差異的關連性較高。

在小奇萊模擬啃食處理下，箭竹地植物組成與多樣性差異不大，這或許因為實驗處理的時空尺度不足。拉大著眼尺度，本研究調查與比較了不同箭竹草地草食獸活動與植物多樣性間關係。結果發現水鹿與高山田鼠排遺多寡間呈負相關（ $r=-0.86$ ），這與第一年度調查結果相同。此外，植物覆蓋度與箭筍數量間為正相關（ $r=0.87$ ），而水鹿活動多（排遺多）的地方，有較高的箭竹覆蓋度與箭筍數，較低的植種數與多樣性。在此，由於樣本數不多，取樣面積不大，所以相關性分析的有效性有限，且無法區辨其間因果，但可配合本研究其他結果，及其他相關資訊，提出關於箭竹生態系結構的推論。田鼠為地棲穴居性，喜食箭筍，水鹿多啃食箭竹頂部葉片。水鹿活動造成之踐踏效應會影響田鼠的棲息，而田鼠數量的降低則減少被啃食箭筍的數量。配合前述模擬啃食實驗中觀察到箭竹對啃食

的補償性生長效應，適量的水鹿啃食也許可促進箭竹生長，過密的箭竹又可能壓縮了別種植物的生存空間。由此推論，水鹿、田鼠與箭竹間應有相互牽制的互動關係，間接影響該區植物組成與其他動物的活動。

對鹿科動物而言，含氮量高的食草品質較佳。然而，除氮以外，鈣與磷的攝取亦極為重要。兩者關係到骨骼與鹿角的生長，雌鹿懷孕與泌乳期的需求，神經與肌肉功能的維繫（鈣），及體內酵素的合成（磷）等重要生理機能，更被認為是決定大型草食獸分布與豐度的重要因子。如非洲塞倫蓋提草原上草食獸的分布與遷徙，便與食草含磷量的時空變化相關。環境與植物中的鈣多半充份，但磷卻普遍不足。相關研究建議鹿科動物食草的鈣磷比最好維持在 1：1 到 2：1 間，而配合生理上相關量測，則發現鹿在取食含磷量 0.14-0.19%（1.4-1.9mg/g）之食草時的健康狀況要優於取食更高濃度的食草。

在本研究有限的分析與比較下，對水鹿而言，箭竹確實為品質高且具取食效益的食草。就取食效益而言，箭竹是唾手可得的動物資源。在台灣的高海拔山區，箭竹佔有相當優勢度。除箭竹草原外，山區森林底層亦多為箭竹所壟斷。就養分而言，箭竹葉的氮與磷含量較高，鈣含量雖較低，但已足供應動物需求。與高山芒、及兩種杜鵑葉片養份相比，箭竹葉的含氮量與含磷量皆高，且含磷量與鈣磷比皆與其他研究所示之最佳數值與比例相近。杜鵑葉的含磷量雖也接近 1mg/g，但其氮量不足，而鈣與碳含量過高，可能影響適口性與消化率。

本研究觀察到小奇萊地區箭竹葉含磷量在冬季顯著下降，而磐石箭竹含磷量顯著低於小奇萊地區。若食草含磷量確實為影響鹿科動物分布與數量的關鍵因

子，或許可用以解釋水鹿在冬季移偏向使用較低海拔森林，而在發角與生殖季則常在箭竹草地覓食的現象。甚或可藉由對不同區域箭竹養分，或其他水鹿食草養份的分析，預測水鹿未來的分布與使用潛勢。

二、太魯閣國家公園高海拔長期生態研究

本研究緣起於太魯閣國家公園希望為轄區內重要的生態系界定保育與經營管理的關鍵課題，建立長期生態研究的基礎並研擬其架構，充實國家公園作為提供研究之環境所需的基本設置，以吸引與國家公園重要資源及與關鍵管理課題切合的外部研究計畫，而其研究成果可作為國家公園保育管理與教育解說等基礎。為此，對太魯閣國家公園高海拔地區的生態系特色及未來保育管理可能面對的問題，進行評估。

台灣高海拔地區的主要生態系包括針葉林、箭竹草原與高山灌叢（高山植群帶）。這些高山生態系都面對氣候變遷與長程傳輸污染物的威脅，在太魯閣合歡山區更因可及性高而有頻繁的人類活動，在管理上與解說上有較高的重要性。此外，近年台灣山區水鹿數量增加，水鹿的過度啃食是否會影響林木更新或高山植群帶的植物多樣性，是否會對山區農作造成危害，則都引起關切與討論，並將成為未來野生動物與生態系管理上的炙手問題。由於箭竹是高海拔地區水鹿的主要食物，箭竹草坡是水鹿主要的活動場所，而箭竹草原在太魯閣高海拔地區的面積廣大，而環境與物種相對單純，研究上的可行性較高，因此，由水鹿對箭竹啃食出發，探討箭竹草原生態系的過程與功能，應具有研究上的發展性與管理上的必要性。

植食性動物對生物群聚與生態系功能的影響，是生態學上重要的研究課題，長期以來，國外有許多研究探討草食獸在草原或森林生態系中的角色。依環境與開發程度的不同，各地的居民或以原生草食獸為維生的食物或休閒狩獵的對象，或以引進的放牧種類為重要的經濟物種。森林與草原是草食獸主要棲息的生態系，而這些生態系在過去與現在面對著不同的威脅。過去，森林砍伐、農業開墾、放牧、狩獵與棲地破壞等，是森林與草原生態系面對的主要衝擊。近年來，氮沉降與氣候變遷對生態系養份循環與物種存續的影響，則受到廣泛的關注。因此，對生態系中草食作用的種種研究，便基於對原生物種保育、有害或過度放牧物種經營管理的需求而生，更由傳統的物種與族群生態學研究，擴及以養份循環為主軸，或以生態系復育為目標的生態系生態學領域。

相關研究指出，草食獸的活動，會影響草原或森林的養分循環、植物群聚組成、乃至於植群演替。草食獸跨生態系的移動，則對生態系養分的輸出及輸入有所貢獻。而植物對草食獸啃食壓力的反應，則會隨植種與土壤養分豐富與否而異。近年來，更有人開始探討草食獸對生態系中其他成員的間接作用，例如，草食獸的排遺或屍骨造成養份與基質空間分佈的異質性，並為特定無脊椎動物或植物提供棲所，而有助於提升物種多樣性。

草食獸的取食，會改變植物的生長、繁殖與存活，因而影響植物的生物量與初級生產力。當草食動物對不同植物有不同的取食偏好時，則會改變群落中的不同植種的相對量，甚或演替的方向。上述影響的程度與規模，又因群落中植物種類或草食動物數量的不同而異。這樣的交互作用，更會因為草食獸與植物是該生態系的原生物種或是外來種，而有不同的表現。

在養份循環的過程中，草食獸的角色也不容忽視。草食獸啃食作用對養份循環的影響可分為直接與間接作用。以氮循環為例，直接作用包括草食獸經啃食移除食草、經排泄排遺作用添加養分、動物踐踏或挖土等活動減少枯落物的累積、耐啃食植物在啃食壓力下的補償性生長等；間接作用則是經由草食獸對不同植物的差別性選食，改變植物社會的組成，及枯落物中高低品質者的相對量。這些作用會改變枯落物的量與品質（C/N比值）、土壤中氮的輸入與流失，從而影響枯落物的分解速率、土壤的微生物相、有機物組成及養分循環速率等。一般而言，適應動物啃食壓力的植種，在遭受啃食時會有補償性生長，植物體及枯落物的品質不因啃食而下降。不耐啃食的植種，在啃食壓力下養分品質降低，或是因成長不佳而被其他動物不喜選食的植種取代，兩種途徑都會造成枯落物品質下降而降低分解速率。因此，具選食性的草食獸被認為會改變枯落物的養分含量與分解速率，進而影響土壤中不同養分的相對量。至於啃食作用對養份循環之直接與間接作用的相對強度，則因動物與植物的種類、數量、環境條件（如水分與溫度）、土壤中微生物相組成、養分濃度等的差異，而有所不同，可能加速，也可能減緩養份循環速率。

上述研究需透過野外圍網與不圍網之實驗與對照組樣區的設計，在圍網樣區中移除或施加啃食壓力，比較圍網內外植物的組成與相對量，植物、枯落物與土壤中的養分濃度，及枯落物的分解速率等。以此為基礎，尚可針對不同體型或種類的草食獸進行移除處理，長年追蹤與比較啃食壓力不同地區或樣區的養分循環與植被演替，甚或沿營養層級往上探討食肉目透過對草食獸的掠捕，如何影響生態系的養分動態。

除去利用圍網長期觀察外，也有些研究以空間換取時間，對較廣泛區域進行取樣，同步調查草食獸數量或啃食強度、溫濕度等環境因子、植物、枯落物、與土壤養分、土壤微生物量與活性、土壤礦化速率、枯落物分解速率等與生態系養分循環相關的因子，分析其間的關聯性。

針對箭竹草原生態系，除本研究由草食作用與箭竹養分循環的角度切入外，國內目前有對合歡山區高山田鼠族群生態、社會行為與草食作用的研究，及對水鹿分布、食性與活動範圍等的研究，而田鼠與水鹿正為箭竹生態系中最主要的草食哺乳動物。上述研究的整合，應可作為箭竹草原生態系長期生態研究的基礎與架構。

第二節 建議

建議一

太魯閣國家公園水鹿族群分布潛勢評估研究：立即可行之建議

主辦單位：太魯閣國家公園

協辦單位：各研究單位

近年來，台灣山區水鹿復跡與族群量增加，受到相關自然資源管理單位、登山與自然愛好者的關注。水鹿數量的增加，會影響山區植被與生態系的結構與功能，而其族群分布範圍的擴張，則可能增加與人類活動的衝突。對水鹿分布現況的調查與族群潛勢的評估，是經營管理所需的重要資訊。目前，太魯閣國家公園已針對園區內水鹿的分布、空間與棲地利用，進行調查與研究，而國內也有對區域性與全國性之水鹿或野生動物分布預測模式的建構。然而，現有預測模式多以現有分佈點位之環境狀況與地理條件為基礎，或以物種出現之相對數量為加權，進行空間上之推估，而少以棲地適宜性與環境承載量的角度出發。參考本研究的發現，在此提出由養份的角度進行水鹿分布潛勢評估之建議。可以箭竹為主，輔以其他水鹿主要食草，採集並分析園區主要箭竹草地植物與土壤樣本，了解養份含量的空間變異，參考鹿科動物養份需求的資訊，配合現有水鹿族群的分布，評估並預測水鹿分布與豐度的發展潛勢，作為經營管理的依據。

建議二

太魯閣國家公園山區遊客行為與人類活動的管理：立即可行之建議

主辦單位：太魯閣國家公園

協辦單位：

原本為保育類之動物，在族群量增加後，反成為與人類活動與產業發生衝突甚或造成危害者，在許多國家與台灣都不乏案例。關於這些物種與衝突的管理，是野生動物與保育界近年努力的項目之一。

如前所述，近年山區水鹿數量的增加，引起登山與自然愛好者的注意，目前已有以觀賞與餵食水鹿為號召的登山旅遊活動，這些活動可能對水鹿造成影響。建議管理處藉重各課室、登山學校、志工與義解等人力，加強對民眾、遊客與登山界的宣導與溝通，對園區內與園區週邊聚落社區尋根與農墾活動的了解，以增進對人類活動與水鹿之衝突的管理。

建議三

高山生態系長期生態研究與監測：中長期建議

主辦單位：太魯閣國家公園，其他高山型國家公園

協辦單位：各研究單位

在台灣，高山生態系屬孑遺、孤立、面積侷限、受氣候與其變遷直接衝擊之處。目前，台灣高海拔區域幾近皆落於現有與規劃中國家公園的範圍內，國家公園應加強對此區域之長期生態研究，建立生態研究與監測網絡，以健全以科學為基礎的高山生態系保育與經營管理機制

。

附錄一

『代表性生態系之合歡山高海拔生態系長期生態研究網計畫第三期』案期中簡報會議紀錄

一、時間：100 年7 月15 日上午9 時30 分正

二、地點：本處會議室

三、主持人：曾處長偉宏

記錄：蔡佩芳

四、出席人員：詳簽名冊（略）。

五、主辦課室報告：

本案已依合約第二條規定(100 年7 月25 日前) 於100 年7 月11 日(公文號1000002997)提出期中報告書，並出席本處排定今日之期中審查會議。

六、討論：(略)

七、結論：

(一) 草食作用之研究係屬長期性之生態研究，請受託單位提供國外相關研究議題之研究方法與操作方式等資料，做為本處後續辦理相關研究之參考。

(二) 本計畫係為長期性之研究，請受託單位儘力協助建立本處可操作性之模式，以利本處對該生態系之經營。

(三) 本期中簡報符合本處要求，同意備查，並依合約辦理後續作業。

八、散會：10 時25 分正。

「代表性生態系之合歡山高海拔生態系長期生態研究網計畫第三期」案

期中審查會議出席人員簽名冊

主辦單位：保育研究課

時間	100 年 7 月 15 日上午 9 時 30 分	地點	本處會議室
主持人	曾處長偉宏	記錄	蔡佩芳
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	吳伯亨、施金德	
2			
3	太魯閣國家公園 副處長	范志文	
4	秘書	林忠雄	
5	企劃經理課	蔡豐志	
6	環境維護課	張國華	
7	遊憩服務課		
8	解說教育課	黃志強、林煥海	
9	蘇花管理站		
10	布洛灣管理站		
11	天祥管理站		
12	合歡山管理站		
13	保育研究課	陳俊山 黃朝江、江淑敏	
14	人事室	黃揚仁	
15			

附錄一

『代表性生態系之合歡山高海拔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11時00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15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) 本案針對高海拔植物箭竹面對草食獸的啃食之生理適應機制進行探究，惟相關植物體內含碳氮比（C：N）對植物生理包含開花結果與生長的影響，相關歷年文獻亦請團隊蒐集分析並納入報告參考。
- (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。

5

「代表性生態系之合歡山高海拔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 11 時正	地點	本處會議室
主持人	曾處長偉宏	記錄	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	吳海音	
2			
3	太魯閣國家公園 副處長		
4	秘書	林忠明	
5	企劃經理課	連玉生 陳長作	
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	陳信宏 高欣 江淑妃 黃輝	
14		夏尊湯	
15			

參考書目

- 李玲玲和林宗以。2003。台灣水鹿 (*Cervus unicolor swinhoei*) 的食性研究。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 91-3 號。
- 李玲玲、林宗以和蔡振光。2006。台灣水鹿食性暨玉里野生動物保護區水鹿族群生態研究 (三)。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 93-2 號。
- 吳海音。2005。太魯閣國家公園高山地區動物資源基礎調查。太魯閣國家公園管理處。
- 金恆鑣、唐凱軍、黃正良、李聖餘。1990。合歡山玉山箭竹草原土壤之發育與分類。太魯閣國家公園管理處。
- 郭寶章、張明洵。1984。玉山箭竹之生態及防除。中華林學季刊 17 (1): 33-51。
- 陳玉峰、林俊義、王忠魁。1992。台灣高地植群生態研究系列 (II) — 玉山箭竹之生長與體型變異。Yushania 9: 117-143。
- 陳玉峰。1994。太魯閣國家公園高山植物群落之調查研究—高地草原。太魯閣國家公園管理處。
- 陳玉峰。1997。台灣冷杉生態研究系列 (II): 生態觀察與天然更新。國家公園學報 7 (1-2): 29-52。
- 陳明義、賴國祥。1993。合歡北峰針葉樹種子之散佈與發芽量。中華林學季刊 26 (2): 3-14。
- 賴國祥。1983。台灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 賴國祥。1992。台灣亞高山針葉樹林與草生地間推移帶動態結構之探討。國立中興大學植物學研究所博士論文。
- 賴國祥、陳明義。1992。合歡北峰台灣二葉松林火燒後之植群與嚙齒類消長。

中華林學季刊 25 (2) : 33-42。

賴國祥、陳明義。1995。台灣亞高山針葉樹林與草生地間推移帶之植群結構。

中華林學季刊 28 (3) : 13-22。

顏士清、王穎、歐恒佑。2009。太魯閣國家公園台灣水鹿分布之預測。生物學報 44 (2) : 89-96。

劉業經、呂福原、歐辰雄、賴國祥。1984。台灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。中華林學季刊 17 (1) :1-32。

Bakker, E. S., J. M. H. Knops, D. G. Milchunas, M. E. Ritchie & H. Olff (2009) Cross-site comparison of herbivore impact on nitrogen availability in grasslands: the role of plant nitrogen concentration. *Oikos*, **118**, 1613-1622.

Bakker, E. S., H. Olff, M. Boekhoff, J. M. Gleichman & F. Berendse (2004) Impact of herbivores on nitrogen cycling: contrasting effects of small and large species. *Oecologia*, **138**, 91-101.

Bakker, E. S., H. Olff & J. M. Gleichman (2009) Contrasting effects of large herbivore grazing on smaller herbivores. *Basic and Applied Ecology*, **10**, 141-150.

Bakker, E. S., M. E. Ritchie, H. Olff, D. G. Milchunas & J. M. H. Knops (2006) Herbivore impact on grassland plant diversity depends on habitat productivity and herbivore size. *Ecology Letters*, **9**, 780-788.

Bokdam, J. (2001) Effects of browsing and grazing on cyclic succession in nutrient-limited ecosystems. *Journal of Vegetation Science*, **12**, 875-886.

Britton, A. & J. Fisher (2007) NP stoichiometry of low-alpine heathland: Usefulness for bio-monitoring and prediction of pollution impacts. *Biological Conservation*, **138**, 100-108.

Carline, K. A., H. E. Jones & R. D. Bardgett (2005) Large herbivores affect the stoichiometry of nutrients in a regenerating woodland ecosystem. *Oikos*, **110**, 453-460.

- Chapin, F. S., III, P. A. Matson & H. A. Mooney (2002) Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, New York.
- Feeley, K. J. & J. W. Terborgh (2005) The effects of herbivore density on soil nutrients and tree growth in tropical forest fragments. *Ecology*, **86**, 116-124.
- Frank, D. A. (2008) Ungulate and topographic control of nitrogen: phosphorus stoichiometry in a temperate grassland; soils, plants and mineralization rates. *Oikos*, **117**, 591-601.
- Gonzales, E. K. & P. Arcese (2008) Herbivory more limiting than competition on early and established native plants in an invaded meadow. *Ecology*, **89**, 3282-3289.
- Grasman, B. T and E. C. Hellgren (1993) Phosphorus nutrient in white-tailed deer: nutrient balance, physiological responses, and antler growth. *Ecology*, **74**, 2279-2296.
- Gusewell, S. (2004) N : P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, **164**, 243-266.
- Harrison, K. A. & R. D. Bardgett (2003) How browsing by red deer impacts on litter decomposition in a native regenerating woodland in the Highlands of Scotland. *Biology and Fertility of Soils*, **38**, 393-399.
- Moe, S. R. & P. Wegge (2008) Effects of deposition of deer dung on nutrient redistribution and on soil and plant nutrients on intensively grazed grasslands in lowland Nepal. *Ecological Research*, **23**, 227-234.
- Mohr, D. & W. Topp (2005) Influence of deer exclusion on soil nutrients in oak forests of a Central European low mountain. *Land Degradation & Development*, **16**, 303-309.
- Ramirez, R. G., G. F. W. Haenlein, A. Trevino and J. Reyna. (1996) Nutrient and mineral profile of white-tail deer (*Odocoileus virginianus*) diets in northeastern Mexico. *Small Ruminant Research*, **23**, 7-16.
- Schmitz, O. J. (2008) Herbivory from Individuals to Ecosystems. *Annual Review of*

Ecology Evolution and Systematics, **39**, 133-152.

Schmitz, O. J., J. H. Grabowski, B. L. Peckarsky, E. L. Preisser, G. C. Trussell & J. R. Vonesh (2008) From individuals to ecosystem function: toward an integration of evolutionary and ecosystem ecology. *Ecology*, **89**, 2436-2445.

Schutz, M., A. C. Risch, G. Achermann, C. Thiel-Egenter, D. S. Page-Dumroese, M. F. Jurgensen & P. J. Edwards (2006) Phosphorus translocation by red deer on a subalpine grassland in the Central European Alps. *Ecosystems*, **9**, 624-633.

Singer, F. J. & K. A. Schoenecker (2003) Do ungulates accelerate or decelerate nitrogen cycling? *Forest Ecology and Management*, **181**, 189-204.

Sirotnak, J. M. & N. J. Huntly (2000) Direct and indirect effects of herbivores on nitrogen dynamics: Voles in riparian areas. *Ecology*, **81**, 78-87.

Tessier, J. T. & D. J. Raynal (2003) Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology*, **40**, 523-534.

Weisberg, P. J. & H. Bugmann (2003) Forest dynamics and ungulate herbivory: from leaf to landscape. *Forest Ecology and Management*, **181**, 1-12.

Wisdom, M. J., M. Vavra, J. M. Boyd, M. A. Hemstrom, A. A. Ager & B. K. Johnson (2006) Understanding ungulate herbivory-episodic disturbance effects on vegetation dynamics: Knowledge gaps and management needs. *Wildlife Society Bulletin*, **34**, 283-292.