

代表性生態系經營管理之
合歡山高海拔生態系長期生態研究網計畫(二)
生態系物種間交互作用調查及保育措施評估

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辦理計畫報告

中華民國九十九年十二月

目次

表次	III
圖次	V
摘要	XI
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起	1
第二節 研究背景	2
壹、啃食生態系	3
貳、箭竹草原生態系的啃食作用	5
第二章 研究方法	9
第三章 結果與討論	17
第一節 結果	17
壹、啃食生態系	17
貳、三次調查間	18
第二節 討論	21
第四章 結論與建議	51
第一節 結論	51
第二節 建議	52

附錄	55
附錄一 太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫	
期中簡報會議記錄	55
附錄二 太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫	
期末簡報會議記錄	57
參考書目	59

表 次

表 3-1	三次調查中，小奇萊與磐石坡底樣區未圍網樣方植物、枯落 物與土壤的總氮重量百分比（％）．．．．．	23
-------	--	----

圖 次

圖 2-1	研究地與調查樣站的位置圖	13
圖 2-2	小奇萊 (C) 樣區坡頂與坡底圍網樣方，及穿越線位置 圖	14
圖 2-3	月形池 (M) 樣區坡頂與坡底圍網樣方，及穿越線位置 圖	15
圖 2-4	磐石 (P) 樣區坡頂與坡底圍網樣方，及穿越線位置 圖	16
圖 3-1	六月圍網之初，三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中箭竹高度的比較	24
圖 3-2	六月圍網之初，三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中箭竹頂端葉片數的比較	25
圖 3-3	六月圍網之初，三地 (C, M 與 P) 兩樣區 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區) 十條穿越線上箭竹高度的比較	26
圖 3-4	六月圍網之初，三地 (C, M 與 P) 兩樣區 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區) 十條穿越線上箭竹頂端葉片數的比較	26
圖 3-5	六月圍網之初，三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中植物相對覆蓋比的比較	27
圖 3-6	六月圍網之初，三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方)	

中箭竹相對覆蓋比的比較	28
圖 3-7 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中植物高度的比較	29
圖 3-8 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）調查樣帶（5m x 0.5m）中的竹筍數	30
圖 3-9 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）十條穿越線上竹筍數量的比較	31
圖 3-10 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中植物種類數的比較	31
圖 3-11 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）各組穿越線上水鹿的排遺量	32
圖 3-12 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中水鹿的排遺量	32
圖 3-13 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）各組穿越線中高山田鼠的排遺量	33
圖 3-14 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中箭竹高度的比較 . . .	34
圖 3-15 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，	

M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中箭竹頂端葉片數的比較	35
圖 3-16 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區) 十條穿越線上箭竹高度 (上圖) 與頂端葉片數 (下圖) 的比較 . . .	36
圖 3-17 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中植物相對覆蓋比的比較	37
圖 3-18 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中箭竹相對覆蓋比的比較	38
圖 3-19 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中植物高度的比較 . . .	39
圖 3-20 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區) 十條穿越線上箭竹筍數目的比較	40
圖 3-21 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中箭竹筍數目的比較 . . .	41
圖 3-22 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區;	

E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中植物種類的比較．．．	42
圖 3-23 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中水鹿的排遺推數．．．．．	43
圖 3-24 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）穿越線上水鹿（上圖）與高山田鼠（下圖）的排遺推數．．．．．	44
圖 3-25 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）土壤的 pH 值．．．．．	45
圖 3-26 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）兩樣方（E，圍網樣方；U，未圍網樣方）土壤的氨氮濃度（mg/kg）．	46
圖 3-27 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）兩樣方（E，圍網樣方；U，未圍網樣方）土壤的硝酸氮濃度（mg/kg）．	47
圖 3-28 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）兩樣方（E，圍網樣方；U，未圍網樣方）土壤的無機氮濃度（mg/kg）．	48
圖 3-29 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）兩樣方（E，圍網樣方；U，未圍網樣方）植物、枯落物與土壤的有機碳	

重量百分比 (TOC)	49
-----------------------	----

摘 要

關鍵詞：啃食作用、氮、磷、水鹿、玉山箭竹

一、研究緣起

玉山箭竹木質草原與冷杉林鑲嵌的合歡山區，是太魯閣國家公園海拔三千公尺以上高山生態系的代表區域，草食獸的啃食作用有影響高山生態系養分循環及植物群落演替的潛力。草食動物族群的消長，及其對稀有及瀕危植物與生態系的影響，是在全球氣候變遷衝擊下經營管理生態系時重要的資訊。本計劃以草食性哺乳動物的啃食作用為焦點，規劃與建構高山生態系的長期生態研究。

二、研究方法及過程

本期規劃的工作項目為調查箭竹草原草食獸的啃食與活動情形，分析箭竹植物體、枯落物及土壤養份濃度，比較啃食壓力有別之箭竹草原間的差異，以做為後續建立圍網樣區長期監測的基礎資料。選取水鹿活動頻度由低而高的小奇萊、奇萊北峰月形池與磐石山西峰三處箭竹草原，在坡頂與坡底谷地各設一樣區，於樣區內劃設樣方與調查樣線，針對草食獸的活動、箭竹的成長、植被組成及結構、植物與土壤之養份含量進行調查與分析。於各樣區設圍網與不圍網樣方一組，阻隔水鹿與其他偶蹄目動物進入，比較有無啃食壓力下植物與養份循環的差異。

三、重要發現

本研究各項調查與分析結果顯示，小奇萊、月形池與磐石三處水鹿與高山田鼠的數量有別，箭竹地的植物覆蓋與高度、半年期間植物的生長狀況，也都具有差異。但同一樣區圍網內外的各項測量，及在三次調查間的變化有限。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，但三次調查間有所變動，而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。因圍網時間僅半年，圍網內外各項養分分析差異不顯，而相關的分析項目仍有不足，待後續補強，以釐清啃食壓力對箭竹地養份循環及植被結構的影響。本計畫藉由架設圍網、植物調查與養份分析，建立對箭竹生態系組成與功能長期研究架構，及初始基本資料，作為後續監測的基礎，以供高山生態系管理參考。

四、主要建議事項

根據研究結果，對太魯閣國家公園高山生態系的長期研究規劃與經營管理，提出下列具體建議。

立即可行建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處

協辦機關：營建署與各國家公園

善用登山學校，培養與訓練山區巡視與調查員，儲備與善用人力資源於山區資源調查、研究與巡查的工作。

中長期建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處

整合不同領域研究團隊的意見與需求，選擇適當地點，建立適當的研究據點。

主辦機關：內政部營建署國家公園組，林務局

協調相關資源管理單位與研究機構，彙集國內對近年來草食獸數量變遷的資訊，研擬未來的研究與管理策略。

ABSTRACT

Keywords: Grazing, Nutrient cycling, Nitrogen, Carbon, *Rusa unicolor*,

Yushania niitakayamensis

Yushan cane (*Yushania niitakayamensis*) grassland in Mts. Hehuan and Chilai areas is the dominant the representative subalpine ecosystem in Taroko National Park where mammalian grazers may exert profound influence on its succession and ecosystem processes. Knowledge on the fluctuation of grazer populations and its impact on flora/fauna and ecosystem functions are valuable to ecosystem management, especially under threats from climate change. A long-term ecological study in subalpine ecosystem focusing on mammalian grazing by sambar deer (*Rusa unicolor*) is proposed. The study aims to collect information on occurrence of sambar deers, grazing on vegetation, and nutrient concentrations of nitrogen and carbon in plants, litter and soil at three sites (sites S, M and P) in Mts. Henuan and Chilai areas. A pair of fenced and unfenced plots were set in each site to prevent grazing by large mammals. The numbers of fecal pellets of sambar deers and voles, various height and coverage measures of Yushan cane and of vegetation differ in three sites but not between fenced and control plots in the same site. There was no significant difference between three sites in plant and litter N and C concentrations and soil pH. But there were differences in the three sampling times. Site P showed different temporal variation pattern from sites S and M. The results showed rates of nutrient cycling may be different in three sites. More detailed analysis and long term monitoring are needed to elucidate the role of grazing on the structure and function of Yushan cane grassland ecosystem.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起

太魯閣國家公園三千公尺以上的高海拔地區，以溫差凝露霜雪為特色。植被環境由鐵杉林(*Tsuga formosana*)、冷杉林(*Abies kawakamii*)、玉山圓柏(*Juniperus squamata* var. *morrisonicola*)、高山杜鵑(*Rhododendron psuedo chrysanthum*)及其他高山植物帶自下而上交替嵌布而成，在森林區塊間及林下則以高山箭竹(*Rhododendron psuedo chrysanthum*)為優勢。生活與此的生物長期面對日照、地表冷暖、及霜雪豐枯的環境挑戰，與高山島嶼地理分隔效應的作用，種化現象明顯，而物種對環境發展出特殊的適應與依賴。然而，此區域過去頻受火災侵擾及伐木的壓力，目前與未來則要面對全球氣候變遷帶來的異常氣候與暖化效應、生物種群數量與群聚結構的變遷、及遊憩與交通開發等方面衝擊。由保育及經營管理的角度觀之，對此區域的高山生態系研究是重要且必要的，尤其是在此變遷下動物族群消長對生態系的影響，及人為活動對此系統的衝擊，更是值得關切。

第二節 研究背景

生態系立基於環境的地土水氣，透過食物網中生產者、消費者與分解者間的營養關係，傳遞著存在於物質中的能量與養分，維繫生態系的過程與功能，而各物種則在環境條件的限制下，及與其他物種的互動中，演化出種種的生物特性與生存策略。

物質與養分循環是生態系重要的過程，也是生態系經營管理的終極對象。生態系中的物質與養份循環，係透過生態系組成份子間的營養關係而達成。因此，要探究生態系重要的生態過程與功能，必須由對生態系之結構與組成的研究著手。

台灣地處北半球中低緯度交界帶，以山脈為中軸。冰河幾度進退之間，山區植被帶的分布也因而向上或向下遷移。太魯閣國家公園海拔三千公尺以上的山區，便是鐵杉林、冷杉林、玉山圓柏、玉山杜鵑及其他高山植物帶自下而上交替嵌布的區域。其中鐵杉林向上侵入冷杉林的分布範圍，冷杉林壓縮了高山植物帶的空間，而在冷杉林的區塊間，則交雜嵌佈了以玉山箭竹為優勢種的高地木質草原。玉山箭竹草原與冷杉林，是太魯閣國家公園海拔三千公尺以上區域的主要植被環境，其中的箭竹草原，更佔此區域總面積的五成，而為太魯閣國家公園高山地區最主要的生態系。

對箭竹草原生態系形成與演替的探討，過去多由土壤的累積與發育、崩塌、沖蝕、降雪與火災等角度出發，認為伐木與頻仍火災的干擾是造成及維繫箭竹草原的因素，而動物甚或土壤微生物在植物社會演替上扮演的角色，則少有探討。對於動物與台灣高海拔植被更新及演替間關係的研究，僅有1990年代對嚙齒動物與針葉樹種子散佈與存活間關係的推論，及目前對高山田鼠取食及排遺對植物多樣性與土壤含氮量的探討。

然而，在國外對山區或中高緯度地區草原或森林生態系的研究中，則不乏對動物

有所著墨者。相關研究指出，草食獸的活動，包括啃食、掘洞、踐踏、排泄與排遺等，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。而植物對草食獸啃食壓力的反應，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，氮沉降對生態系養份循環的影響，氣候變遷與生態系二氧化碳吸存的關聯，及各種生態系復育的企圖，賦予這些研究新的使命。

壹、啃食生態系

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。相關研究探討的對象，或為植食性昆蟲，或為草食獸。以植食性昆蟲為主題的研究，除具有林業與農業上的重要性外，更因昆蟲的體型小，世代短，便於以小規模網箱或田野中之圍網的方式進行操作性實驗，以建立理論或驗證模式。對草食獸的研究，多以鹿科或其他有蹄類動物為對象。這些大型草食獸，不論是因狩獵而數量減少，因復育而重新建立族群，或是因放牧而數量過多，牠們啃食作用的移除或強化，被認為會影響草原或森林的更新與演替，並與生態系養分循環密切相關，因而受到廣泛重視。

草食獸的啃食作用會改變植群的結構、組成、及演替的方向，而其掘洞、踐踏、排泄與排遺等活動與行為，也會影響掠食者、小獸類、草原性與底棲性鳥類等的生存與繁殖。除去對動植物群聚的影響外，草食獸取食、排泄與排遺作用對養分的移除與添加，則會改變枯落物的品質與分解速率、土壤的有機庫存與微生物相等，影響生態系的淨初級生產力與養份循環，並從而影響植群的組成。

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。

上述的研究，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。

貳、箭竹草原生態系的啃食作用

箭竹及其為優勢植種的箭竹草原生態系，在台灣高海拔山區佔有相當的面積比例。然而，過去對箭竹及此生態系的生態研究，則相對有限。早年，林學界認為拓殖與擴展力強的箭竹會影響造林的成功，而對其進行基礎生態與防除研究，植物生態學上更曾探討箭竹對其他植物之毒他作用的潛勢與機制。其後，陸續有學者對箭竹的生長、型態、箭竹草地的群落組成、更新與植種間的競爭機制，進行觀察與研究，並探討箭竹草原與針葉林間推移帶的動態結構。而在2001年雪山東峰箭竹火災及其後集體開花之際，則有過對箭竹物候、開花、結實、及族群中營養系大小與分佈調查的系列研究。對箭竹養份含量、枯落物的分解、及與土壤中養分濃度間的關係，則有在塔塔加地區對箭竹草原土壤中養分含量的分析可資參考。至於草食獸對箭竹的選取食，及由此對箭竹之養份分配、枯落物分解、植物群落組成、及生態系養分循環的影響，則尚無相關研究。

在台灣高海拔的箭竹草原中，以水鹿與高山田鼠為草食獸的代表。兩者體型與習性有別，但皆以箭竹為主食，而兩者的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，但目前國內對此尚無深入的研究。

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。目前對合歡山區高山田鼠的生態研究發現，高山田鼠喜食箭竹與莎草科的薹屬植物，在箭竹草原中的數量多於鄰近的冷杉林，其分布似乎受食物資源的影響。至於高山田鼠草食作用對植物群聚與生態系的影響，及與養份循環間的關係，目前有其他團隊進行相關研究中。

水鹿是台灣體型最大的陸生哺乳動物，過去承受強烈的狩獵壓力，族群數量一度

稀少，近年來在台灣部分山區族群量已見回升。相關研究顯示，水鹿的食性隨海拔與棲息環境而不同，中低海拔族群以樹葉及闊葉草類為主食，而棲息於高海拔的水鹿，則攝食多量的箭竹、高山芒及紅毛杜鵑。目前，在台灣部分水鹿族群數量增加的山區，已有樹木因水鹿啃食與磨角而環剝死亡，與地被植物因水鹿的啃食及踐踏扒掘而覆蓋度減少等現象。在此趨勢之下，植被與生態系會受到怎樣的衝擊，也逐漸引起相關單位的重視。然而，由於缺乏過往研究與紀錄的比對，無法回溯水鹿數量下降前台灣山區森林的樣貌，水鹿過往族群量的實質變遷，及在此變遷過程中植被的變動情形，因而難以評斷目前水鹿啃食造成的林木死亡與地被植物量減少，是否會對生態系造成“危害”。

此外，水鹿對箭竹的高取食率，是因箭竹為生態系中最優勢植種而然，或是水鹿主動選食的結果。箭竹是在啃食壓力下會有補償性生長的耐啃食性植物，或是在強大啃食壓力下族群會逐漸衰退的對啃食敏感的植物。換言之，以箭竹為優勢種的生態系是靠啃食壓力維繫，抑或是因為缺少動物啃食而擴展，而生態系中的植物多樣性會藉由啃食而提升，還是將因水鹿的持續啃食而減少。這些問題，也需要長期的監測與研究，方能釐清。

太魯閣國家公園的合歡—奇萊山區，擁有廣大而綿延，林草交織的山稜與谷地。有中橫公路的連接，為其提供便利的交通，而成為台灣高海拔地區可及性最高之處。近年來的調查觀察紀錄顯示，目前水鹿在太魯閣高海拔部分地區，也已有穩定的族群，以在南湖與奇萊山區的數量較多，在合歡山區較為少見。但以其在各處山區拓展範圍的趨勢估之，鹿蹤再現合歡之日可期。水鹿數量回升對高山生態系植群及生態系影響、對交通與遊憩的衝擊、及對周邊農業的危害，將是未來水鹿族群與生態系管理上的重要課題。

綜合上述，本計畫以太魯閣高海拔箭竹生態系的水鹿為核心，研擬建構長期研究

與監測系統，逐步探究合歡山區生態系的結構、功能與生態過程，及草食作用對箭竹草原群聚組成及生態系功能的影響，以作為高山生態系保育措施與經營的依據。

本年度計畫的執行規劃，設定為調查箭竹草原草食獸的啃食與活動情形，箭竹植物體與枯落物，及土壤中的養份濃度，並比較啃食壓力有別之箭竹草原間的差異，以做為後續建立圍網樣區長期監測的基礎資料。基於前一年度的調查結果，選取水鹿活動頻度由低而高的小奇萊、奇萊北峰月形池與磐石山西峰三處箭竹草原，在坡頂與坡底谷地各設一樣區，於樣區內劃設樣方與調查樣線，針對草食獸的活動、箭竹的成長、植被組成及結構、植物與土壤之養份含量進行調查與分析。於各樣區設圍網與不圍網樣方一組，阻隔水鹿與其他偶蹄目動物進入，比較有無啃食壓力下植物與養份循環的差異。

第二章 研究方法

在合歡山區小奇萊、奇萊北峰月形池與磐石山西峰三處箭竹草原（分別簡稱小奇萊、月形池與磐石，並以C，M與P代之），分別選取坡頂與坡下兩樣區（圖2-1）。於各樣區內設立圍網與不圍網樣方（5mX5m）兩種處理，在樣區內劃設十條10m的穿越線（圖2-2，2-3，2-4），調查草食獸活動、箭竹成長、與植被之結構與組成，並於圍網與不圍網區內取植物、落葉與土樣，進行養份分析。每季對三地兩樣區兩處理樣方進行以下的調查與取樣各一次。

以水線貼地圍出圍網與不圍網樣方的邊界，作為植被與箭竹調查，及取得養分分析樣本的區域。在圍網樣方周邊以白鐵與黑色塑膠網圍起高度1.5m的圍網，以排除偶蹄目草食獸的進入。

將各樣方粗分為4x4個方格，於各方格中央取1個0.5mx0.5m的小樣方。對小樣方以0.1m為間隔區劃出方格系統，紀錄小樣方邊線與中間共36個點（方格經緯的交點）上有無植物及其物種，計算點佔有率作為所有植物或箭竹之相對覆蓋比（%）。此外，對各小樣方估計植被頂層高度，紀錄出現在小樣方中的植物種類，並估計箭竹與其他植物在小樣方中的覆蓋面積比（%）。在各樣方中取三條長度5m長的平行線，彼此相距1.25m。在各線上每0.2m取一株最靠近的箭竹，測量高度，紀錄葉片數目與有無啃咬痕，並綁上編號待後續追蹤觀察。另取一條通過上述三線中心且與之垂直的樣帶（5mx0.5m），計算樣帶中箭竹筍的數目。搜尋各樣方的地面，紀錄其中偶蹄目與高山田鼠排遺堆數，並移除樣方內的動物排遺。

在各樣區內以水線貼地標定10條10m穿越線，用以調查樣區內草食獸的活動及對箭竹的啃食情形。在每條穿越線上每隔1m標定一根箭竹，記錄高度及有無啃咬，同時計算線上的箭竹筍數目。以穿越線為中線，設10mx1m的樣帶，計算偶蹄目與高山

田鼠排遺堆數。

在各處樣區圍網及不圍網樣方中分別選取四個採樣點，於各採樣點剪取植物的地上部與地面枯落物，再以採土器挖取表層10cm的土壤。將各樣方內四個採樣點所採集的植物、枯落物及土壤樣本各自充分混合後，取適量作為養分分析之樣本，帶回實驗室冰存，待進行C、N與P等養分含量分析。

所有樣本均以-50℃冷凍乾燥24-48小時後，土壤樣本以0.15mm孔徑過篩，植物與枯落物樣本則以果菜汁機打碎後，冰存於-20℃。土壤樣本將進行pH、總碳（TOC）、銨態氮（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、硝酸態氮（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）及凱氏氮（ K-N ）的分析，植物及枯落物樣本則進行TOC及 K-N 的分析。以下就各養分含量分析方法進行介紹。

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。

總碳（TOC）

取0.01g的樣本置於500ml的燒杯內，加入20ml 1N的重鉻酸鉀溶液與15ml含硫酸銀的濃硫酸，靜置30分鐘後。再加入10ml的濃磷酸與200ml的去離子水，靜置至冷卻後，加入10-15滴的二苯胺指示劑，以攪拌器進行攪拌，以0.5M的硫酸亞鐵銨滴定直到顏色由藍色變為綠色為止。最後紀錄滴定的量並進行濃度計算。

銨態氮（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）

先配置濃度0mg/l、0.2mg/l、0.4mg/l、0.6mg/l、0.8mg/l、1mg/l的銨態氮檢量線。

取5g的土壤樣本加入50ml 2M的KCl溶液，將此樣本以150rpm的速度震盪1小時後，再以Whatman GF/A濾紙進行過濾。取20ml的濾液加入1ml 6%的Na₂EDTA混合均勻後加入4ml的sodium salicylate-sodium nitroprusside reagent與2ml的buffered hypochlorite reagent。以37°C水浴30分鐘後置於室溫下冷卻10分鐘，最後再將此樣本置於23°C下呈色2小時。最後用波光光度計以波長667nm檢測吸光度。以檢量線求出樣本濃度後，再以下公式計算出土壤中的銨態氮含量。

$$X \text{ mg/l} \times 0.05\text{L} \div Y\text{g} \times 1000 \text{ g/kg} = \text{Ans mg/kg}$$

X：檢量線求得之濃度

Y：土壤樣本之重量

硝酸態氮 (NO₃-N)

配置濃度0ml/l、0.5ml/l、1ml/l、1.5ml/l、2ml/l、2.5ml/l、3ml/l、3.5ml/l硝酸鹽氮的檢量線。取10g的土壤樣本加入50ml 0.02N的硫酸銅溶液，以速度150rpm震盪15分鐘後，用2張Whatman No.42的濾紙重疊過濾。取3ml的濾液置於燒杯內，將燒杯放入冰水中冷卻，並一滴一滴的加入0.1%的變鉻酸鈉溶液1ml。沿著杯緣加入6ml的濃硫酸，將樣本置於室溫下冷卻，最後用波光光度計以波長430nm檢測吸光度，以檢量線求出樣本濃度後，再用上述公式計算出土壤中的硝酸鹽氮含量。

凱氏氮 (K-N)

取土壤樣本0.05g，或植物與枯落物樣本0.02g置於凱氏消化管內，加入2.5g的奇達爾助消化片劑與15μl的去離子水，再加入10ml的濃硫酸與3-4顆沸石，混合均勻後置於加熱爐上加熱。以370°C高溫連續加熱兩小時後，將消化管取出置於室溫下冷卻。

以去離子水將試液洗出，並定量至100ml，混合均勻後，取25ml置於蒸餾瓶內，並加入10ml 10N的NaOH。取3ml 4%的H₃BO₃與15ml的去離子水混合並加入5滴的滴定顯色劑，混合均勻後置於冷凝接收口做為接收液，此時接收液的顏色為淡粉紅色。將蒸餾瓶內所有的試液蒸餾出，並冷凝至接收液內，此時接收液的顏色會轉變成淡綠色。用濃度0.01N的硫酸進行滴定，當顏色再變回淡粉紅色即可停止，需同時進行空白組實驗。用以下公式計算總氮量。

$$\text{總氮量 (\%)} = \{ [(S-B) \times N \times 14 \times 10^{-3}] / W \} \times 100$$

N：硫酸滴定液濃度

S：樣本消耗滴定液之體積（ml）

B：空白組消耗滴定液之體積（ml）

W：樣本重（g）

在山區劃設樣區與調查的工作進度，受天候影響有所延宕。年度之初，奇萊北峰與磐石山西峰積雪至四月，阻礙進入樣區架設圍網與各樣方樣線的工作。其後數次上山皆遇大雨，減緩工作進度，直到四月與五月才陸續佈設完成各區的圍網，及養分分析樣本的採集。但六月時月形池與磐石的圍網被強風吹垮，到七月初才重新架設完成，並進行架網後第一次的調查與採樣。其後，於九月及十一月進行第二次與第三次的調查與採樣。

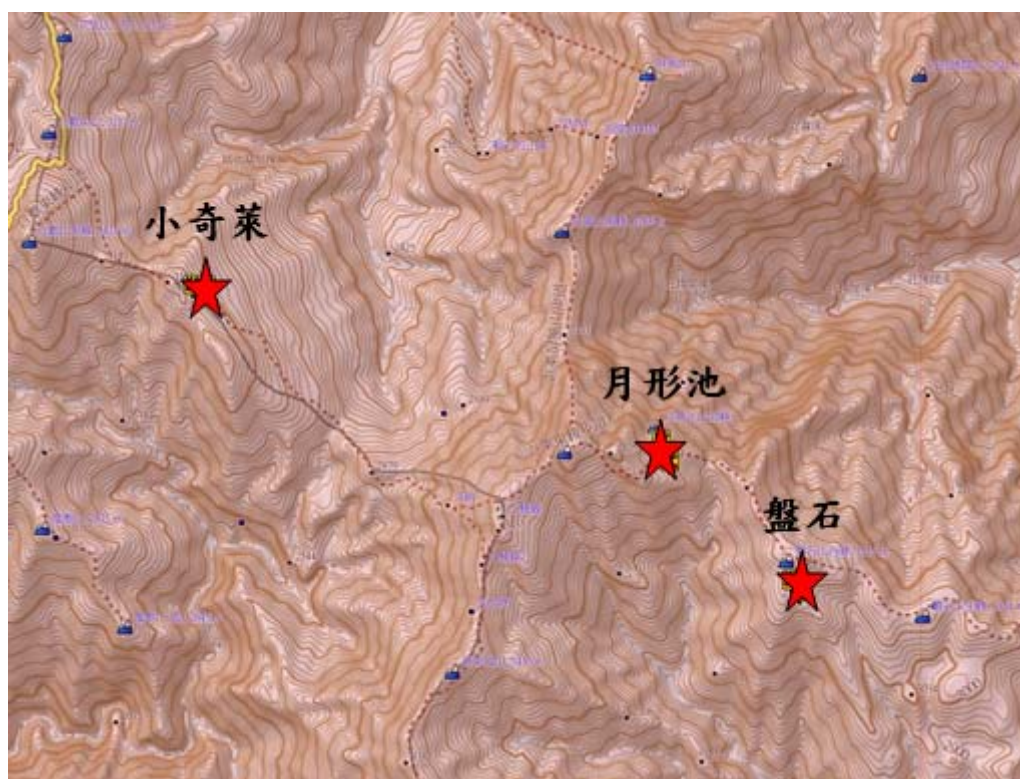


圖 2-1 研究地與調查樣站的位置圖。



圖 2-2 小奇萊 (C) 樣區坡頂與坡底圍網樣方，及穿越線位置圖。

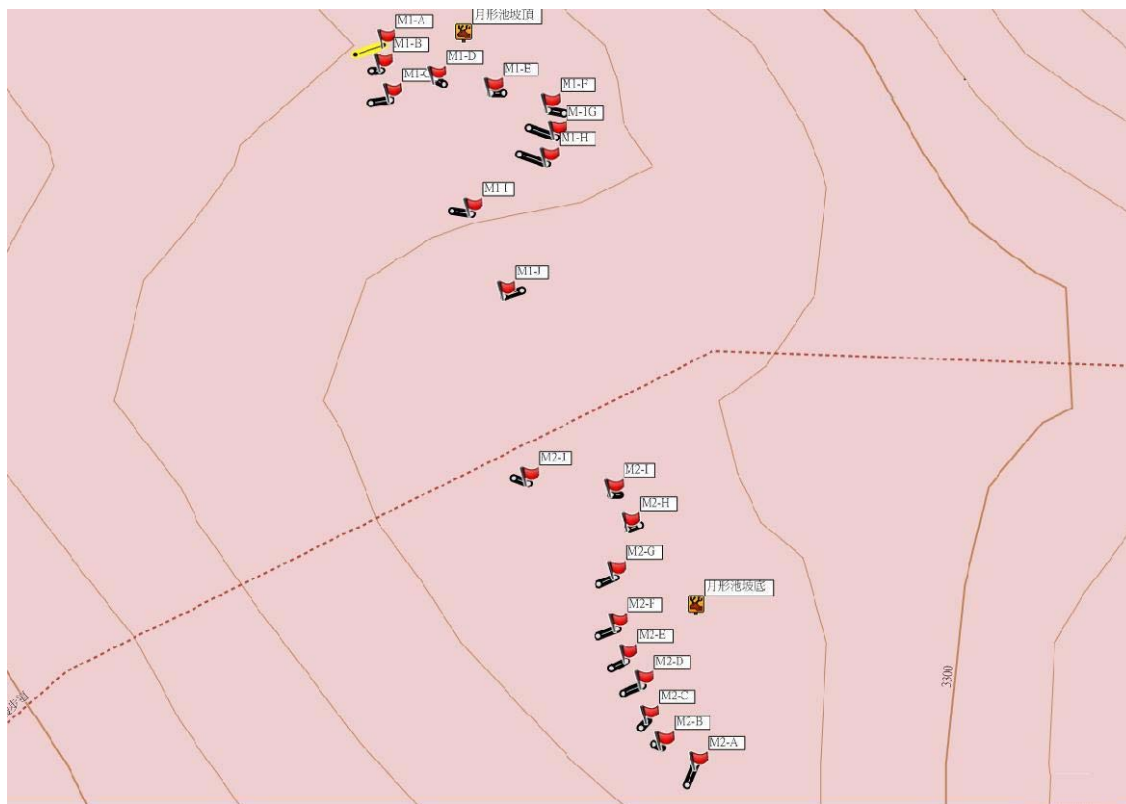


圖 2-3 月形池 (M) 樣區坡頂與坡底圍網樣方，及穿越線位置圖。



圖 2-4 磐石（P）樣區坡頂與坡底圍網樣方，及穿越線位置圖。

第三章 結果與討論

第一節 結果

壹、圍網之初

處理樣方中的箭竹高度在三地兩樣區與樣方間有顯著差異（圖3-1）。三地中以小奇萊的箭竹最高，月形池次之，磐石最矮，而月形池與磐石兩地坡底的箭竹較坡頂高。樣方中箭竹頂端的葉片數，在三地間有顯著差異，而在樣區與處理樣方間則無（圖3-2）。對三地之十條穿越線上上的調查結果，與前述趨勢一致。穿越線上箭竹的高度在三地兩樣區間具顯著差異（圖3-3），而頂端葉片數則僅在三地間有顯著差異（圖3-4）。

在植物的覆蓋度上，16個小樣方中植物與箭竹的起始相對覆蓋比在樣區間有別，而在三地與不同處理間則無顯著差異（圖3-5），此結果主要來自月形池與磐石兩地坡頂樣區較低的植物相對覆蓋比。由於箭竹為各樣區中的優勢植種，故樣方間箭竹相對覆蓋比的比較結果與前述結果相同（圖3-6），而小樣方的植被高度在三地兩樣區兩樣方間的差異（圖3-7），亦與前述箭竹高度的比較結果（圖3-1）相同。

六月時，各樣區箭竹地的竹筍數量以月形池與磐石較多（圖3-9）。比較各組10m穿越線的竹筍數，三地間有顯著差異，以月形池的數量最高，小奇萊最低（圖3-9）。在植物的種類數上，三地及兩處理樣區間有顯著差異，以月形池的植物種類較少，小奇萊較多，而有無圍網的兩處理樣區間則無明顯的差距（圖3-10）。

與原先的研究假設一致，水鹿在樣區附近的活動以小奇萊最少。六月時各組穿越線的水鹿排遺，在三地間有顯著差異，在小奇萊的穿越線中沒有發現水鹿的排遺（圖3-11）。對樣方內的調查結果亦相近，在小奇萊沒有發現水鹿排遺，在月形池坡頂處有

較多的水鹿排遺，而磐石有三個樣方中有水鹿排遺（圖3-12）。此外，雖然各樣方中都沒發現高山田鼠的排遺，但穿越線調查結果顯示三地田鼠的排遺量有別，以小奇萊處最多，磐石最少（圖3-13）。

貳、三次調查間

處理樣方中的箭竹高度除在三地兩樣區與樣方間有顯著差異外，在三次調查間的差異亦顯著（圖3-14），主要是十一月時磐石樣方箭竹高度增加所致。樣方中箭竹頂端的葉片數，在三地間及在三次調查間有顯著差異，而在樣區與處理樣方間則無（圖3-15）。各樣方箭竹頂端的葉片數皆都是以九月時最多，而三地中以小奇萊的數量最多。對三地之十條穿越線上上的調查結果，與前述趨勢一致（圖3-16）。

在植物的覆蓋度上，各樣方植物與箭竹的相對覆蓋比在樣區及三次調查間的差異顯著（圖3-17，圖3-18）。主要差異在於植物與箭竹的相對覆蓋比在三次調查中漸次增加，其中以小奇萊與磐石樣方中箭竹覆蓋度的增加較為明顯。各樣方中的植被高度在三次調查間及三地兩樣區兩樣方間的差異皆顯著（圖3-19），其中磐石樣方中箭竹高度漸增時（圖3-16），整體的植物高度反而漸減。

三次調查中各樣區穿越線上的竹筍數量不高，但在三地及三次調查間有所變動（圖3-20）。三地中以小奇萊的竹筍數最少，月形池較多，月形池與磐石的竹筍數量逐次遞減。各樣方中調查的結果亦與前相似（圖3-21）。在植物的種類數上，各樣方內起始的種類數有別，然而，三次調查間的變動則僅在一種之內（圖3-22）。

在各樣區水鹿與高山田鼠的排遺數量上，三次調查皆未在小奇萊四樣方中尋獲水鹿排遺，月形池坡頂未圍網樣方的水鹿排遺最多（圖3-23）。高山田鼠的排遺，則僅見於月形池坡頂樣方。就穿越線上的資料來看，小奇萊沒有水鹿排遺，月形池與磐石穿越線

上排遺均值約在1至2間；高山田鼠排遺則是以小奇萊穿越線上較多，月形池與磐石次之（圖3-24）。

養份分析

七月份第一次調查時，對三地兩樣區各採一份植物、枯落物與土壤樣本，其後兩次調查對各樣區中兩處理樣方分別採樣。對各樣本的分析結果分述如下。

土壤 pH

研究區的土壤偏鹼性，三次調查各樣方土壤酸鹼度測值在3.84至4.37間。三地的土壤pH值在三次調查間都是先降後昇，並都是以九月時最低（圖3-25）。與植被相近的塔加箭竹樣區相較，合歡奇萊山區箭竹樣區的土壤的pH值較低。

土壤的氨氮濃度（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）

研究區土壤的氨氮濃度在7-66 mg/kg間，變動很大，但大抵有特定的趨勢（圖3-26）。三次調查中以七月的濃度最低，其後小奇萊與月形池土壤的氨氮濃度漸次升高，且在四樣方中都有同樣的變動。在磐石的情形則是九月時氨氮濃度較高，十一月時下降至七月時的水平。

土壤的硝酸氮濃度（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）

研究區土壤的硝酸氮濃度在3-14 mg/kg間，各地樣區與樣方間無一致的變動趨勢（圖3-27）。然而，與氨氮濃度相同，各次調查中皆以七月的濃度最低，九月略升，到十一月時各樣方有升有降，但仍略高於七月的濃度。

土壤的無機氮濃度（ $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ ）

將前述兩項濃度相加，作為土壤中無機氮濃度的觀測值，結果與土壤中氮氮的變化趨勢一致（圖3-28）。研究區土壤無機氮濃度在80 mg/kg以下，三樣區在七月時土壤無機氮濃度相近，但小奇萊與月形池的濃度逐次遞增，而磐石處則是再十一月時下降到與七月的濃度相當。

有機碳重量百分比

取自各樣方之植物、枯落物與土壤樣本的有機碳重量百分比（TOC），以土壤中的數值較低，枯落物與植物的TOC相近（圖3-29）。同類樣本的TOC，在三地與三次調查間的變動不大。第二次與第三次調查間，植物與枯落物樣本的TOC有些許下降，土壤TOC在小奇萊與月形池兩處略為上升，而在磐石則有下降的趨勢。

總氮重量百分比

取小奇萊與磐石坡下未圍網樣方中的植物、枯落物與土壤樣本，進行凱氏氮（K-N）的分析，代表各樣本的總氮濃度（%）。部分同樣方重複樣本的分析所得結果差異甚大，在此暫採用與同樣方其他樣本較為接近的數值（表一）。整體而言，植物、枯落物與土壤樣本的總氮，在第一次與第二次調查都有上升的趨勢。植物中的總氮，第一次調查時以磐石樣本較高，第二次時小奇萊較高，但兩地差異不大。第一次調查時磐石枯落物的總氮較高，其後兩地差異不大。

第二節 討論

本研究各項調查與分析結果顯示，小奇萊、月形池與磐石三處水鹿與高山田鼠數量上的差異，符合原先的研究假設，三處應有不同的啃食壓力。三處箭竹地的植物覆蓋與高度，半年期間植物的生長狀況，也都具有差異。但同一樣區圍網內外的各項測量，及在三次調查間的變化，則因圍網時間僅半年，而差別有限。

三處土壤、枯落物與植物的pH值、氮濃度與有機碳含量相近，但三次調查間有所變動，而變動情形在三樣區間有別，磐石的季節變動趨勢不同於其他兩處，顯示顯示三處的養份循環速率有別。然而，這樣的差異可能與三處的環境條件有關，或是與三處的啃食壓力、植物的養分品質、土壤養分含量、土壤微生物相與分解速率相關，在此尚無法確認。在圍網內外的比較上，則因圍網時間僅半年，尚不足以顯現移除啃食壓力的效應，對養分濃度及分解速率相關的分析項目亦有不足，有待持續進行與補強，以釐清啃食壓力對箭竹地養份循環及植被結構的影響。

與其他地區養份分析結果相比，本研究三樣區之箭竹、枯落物與土壤的總碳濃度與別處相仿，而總氮與無機氮濃度皆偏高。由於樣本不足，測值變異大，故未計算碳氮比。然偏高的氮濃度應會使比值偏低，但這是否代表土壤肥力高，植物的養分品質佳，則有待商榷。植物生長是否受到養份供應的限制，尚與土壤中磷的含量，及其與氮的相對濃度有關，當土中氮濃度高或植物組織的氮磷比值偏高時，代表植物的生長將受限於磷。另有研究顯示，草食獸的啃食作用則會降低植物葉部的氮磷比，使植物的生長由受限於磷轉為受限於氮。合歡與奇萊山區箭竹生態系偏高的氮量，或許代表此區域承受的啃食壓力不足。受此影響下的土壤環境與養分供應情形，對此生態系結構與功能的衝擊為何，值得深入探討。

本計劃進行的各項分析結果，以總氮與總碳濃度的變動較大，而少數重複樣本的測量值有極大差異。可能原因在於三類樣本本身具異質性，如植物不同部位或不同植株的養分濃度會有差異，而土壤有機層的厚度與土中有機物分布的不均，皆會影響自不同樣本中測到的濃度。未來可將不同植種與部位分開分析，並增加樣本數，以解決此問題。

表 3-1 三次調查中，小奇萊與磐石坡底樣區未圍網樣方植物、枯落物與土壤的總氮重量百分比（%）

		七月	九月	十一月
植物	小奇萊	2.66 (1.13)	5.10	? (0.91 & 7.15)
	磐石	3.77 (0.29)	4.65	2.27 (0.58)
枯落物	小奇萊	1.65	4.17	5.80
	磐石	3.73	4.23	5.87
土壤	小奇萊	0.28	0.77	0.69
	磐石	? (0.03)	0.77 (0.19)	0.53

括號中為與同樣區其他樣本數值差異大之重複樣本測量值。

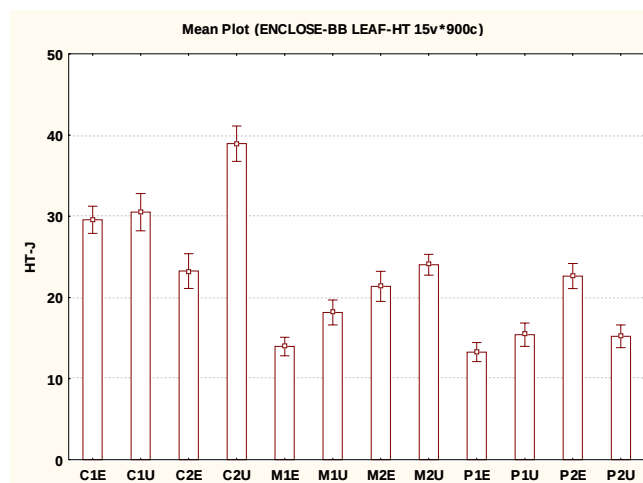


圖 3-1 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中箭竹高度的比較。圖中所示為各處理樣方中箭竹高度的平均值與 95%信賴區間。

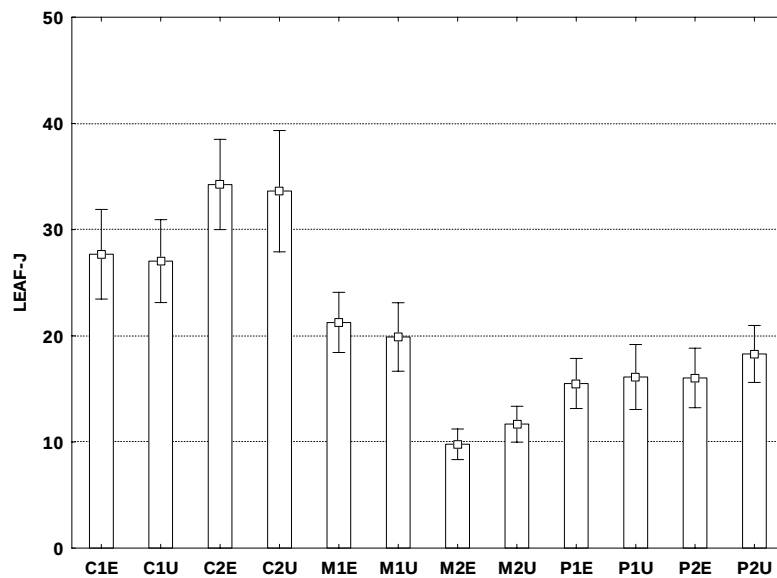


圖 3-2 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中箭竹頂端葉片數的比較。圖中所示為各處理樣方中箭竹頂端葉片數的平均值與 95%信賴區間。

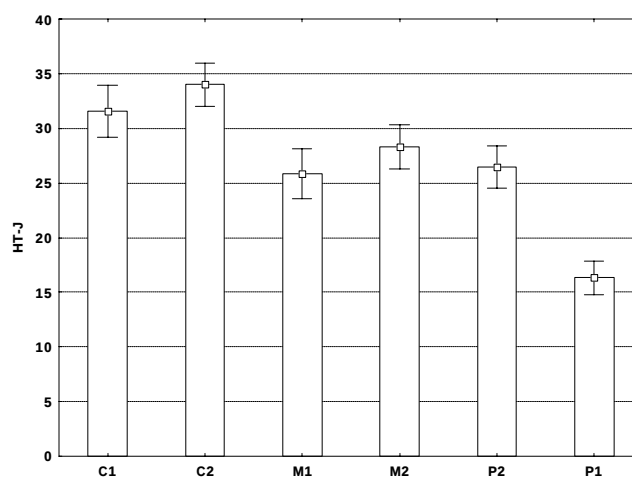


圖 3-3 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）十條穿越線上箭竹高度的比較。圖中所示為各組穿越線上箭竹高度的平均值與 95%信賴區間。

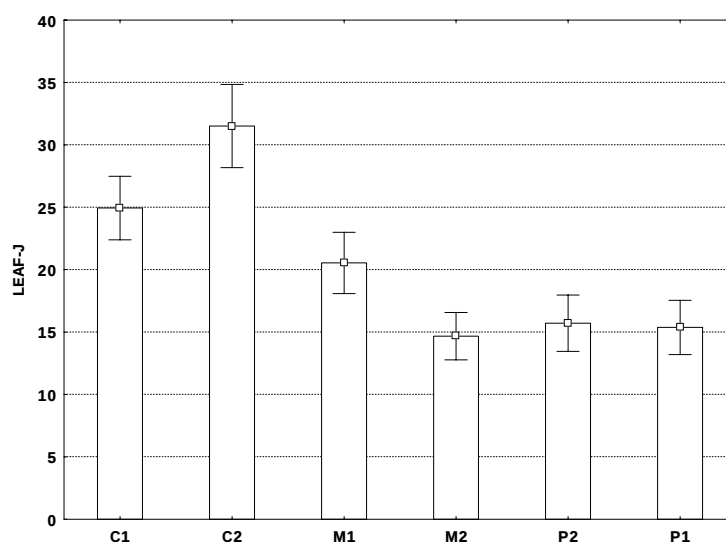


圖 3-4 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）十條穿越線上箭竹頂端葉片數的比較。圖中所示為各組穿越線上箭竹頂端葉片數的平均值與 95%信賴區間。

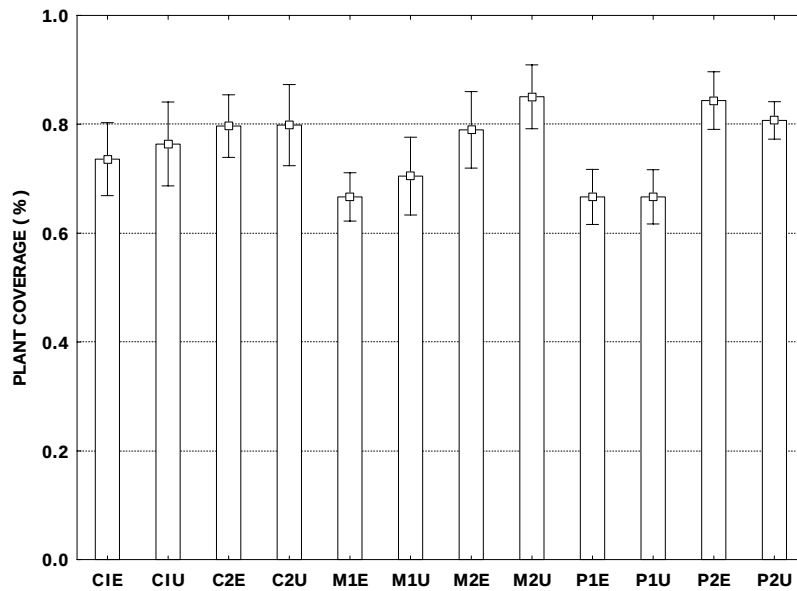


圖 3-5 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中植物相對覆蓋比的比較。圖中所示為各處理樣方中植物相對覆蓋比的平均值與 95%信賴區間。植物的相對覆蓋比指植物在 0.5 公尺平方小樣方上十六個點位的佔有率。

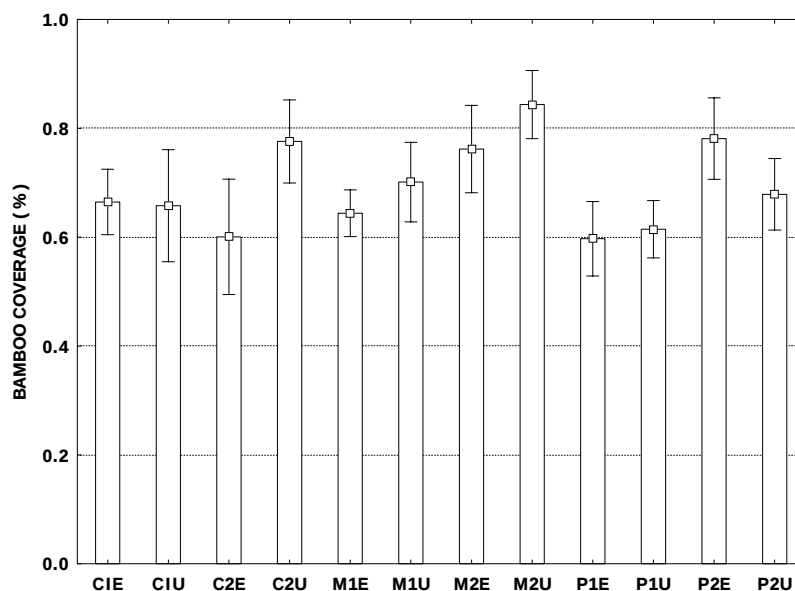


圖 3-6 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中箭竹相對覆蓋比的比較。圖中所示為各處理樣方中箭竹相對覆蓋比的平均值與 95%信賴區間。箭竹相對覆蓋比是指箭竹在 0.5 公尺平方小樣方上十六個點位的佔有率。

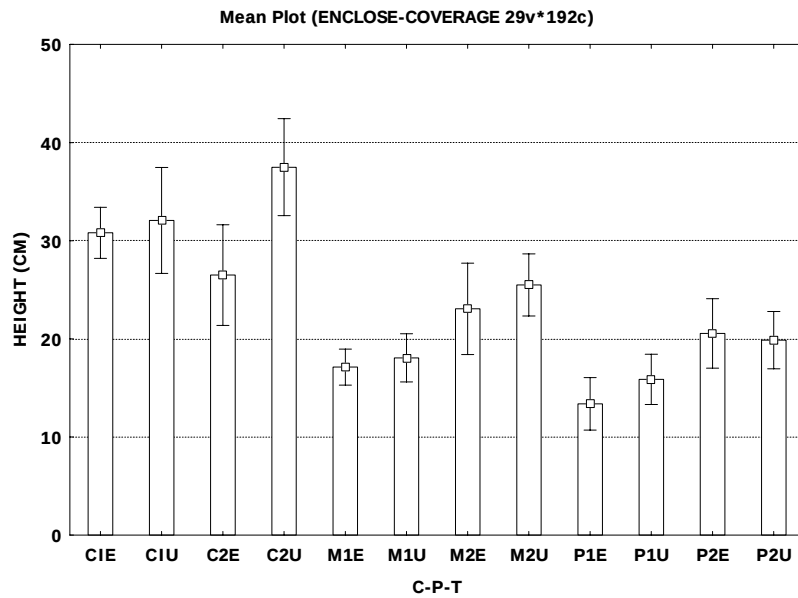


圖 3-7 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中植物高度的比較。圖中所示為各處理樣方之十六個小樣方中植物高度的平均值與 95%信賴區間。

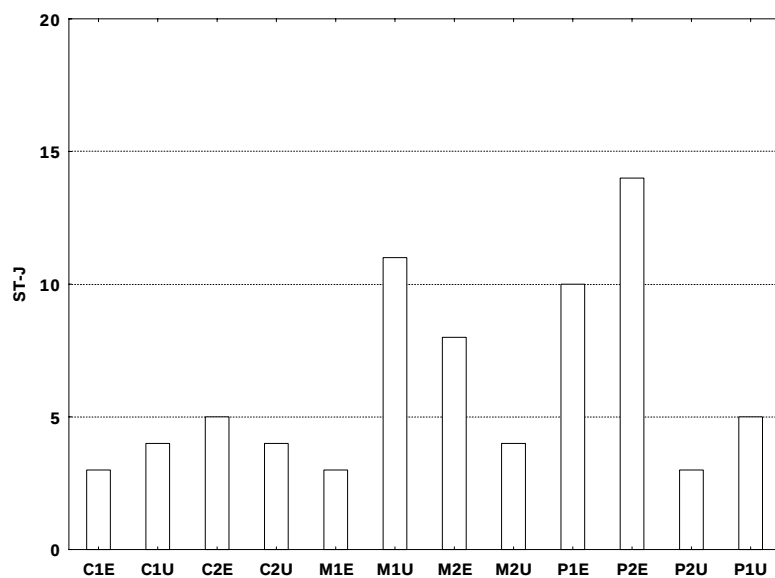


圖 3-8 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）調查樣帶（5m x 0.5m）中的竹筍數。

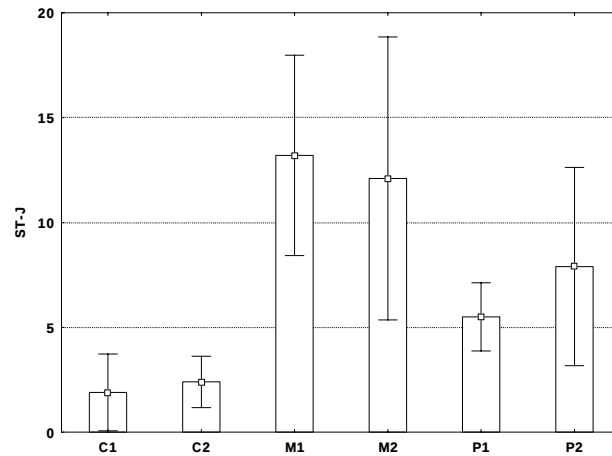


圖 3-9 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）十條穿越線上竹筍數量的比較。圖中所示為各組穿越線上竹筍數的平均值與 95%信賴區間。

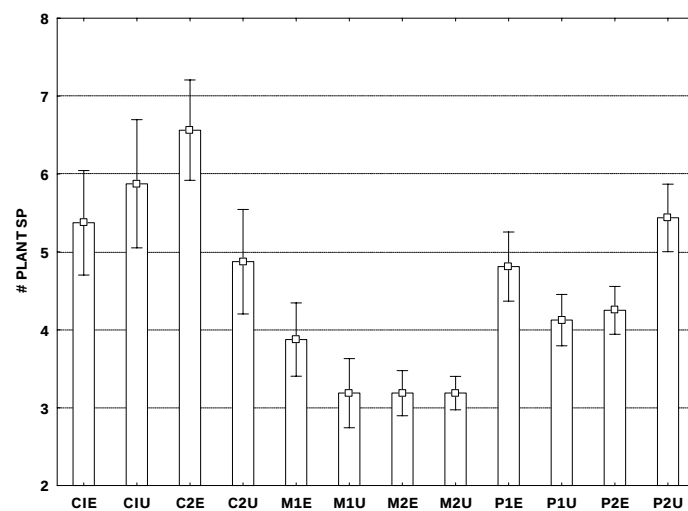


圖 3-10 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中植物種類數的比較。圖中所示為各樣方內十六個小樣方中植物種類數的平均值與 95%信賴區間。

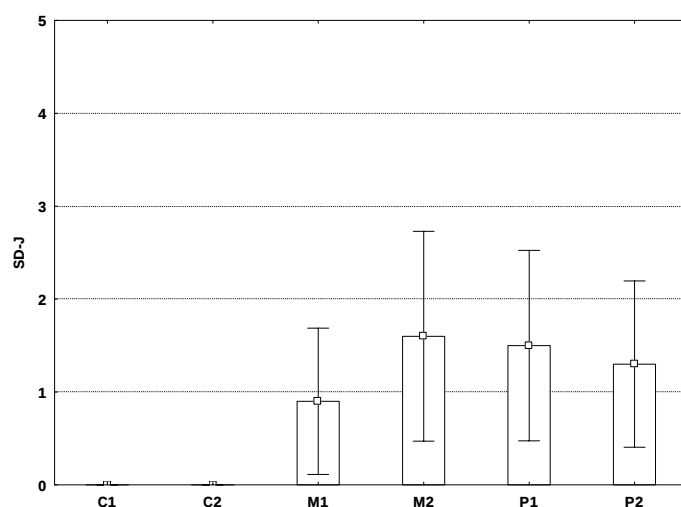


圖 3-11 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）各組穿越線上水鹿的排遺量。圖中所示為各樣區十條穿越線上水鹿排遺的平均值與 95%信賴區間。

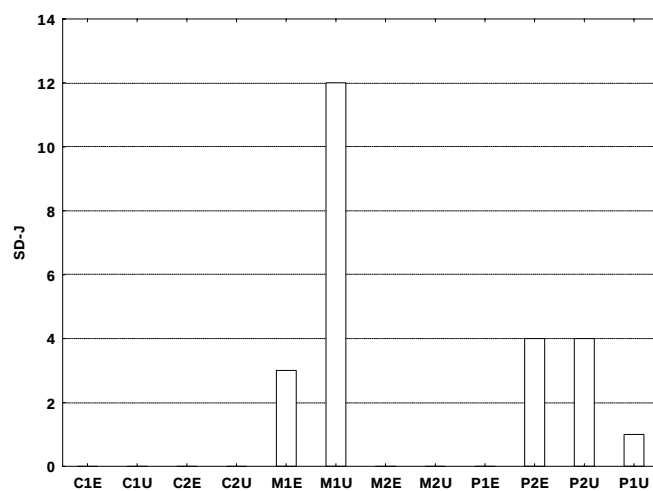


圖 3-12 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區兩樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中水鹿的排遺量。圖中所示為各樣方十六個小樣方中水鹿的排遺量。

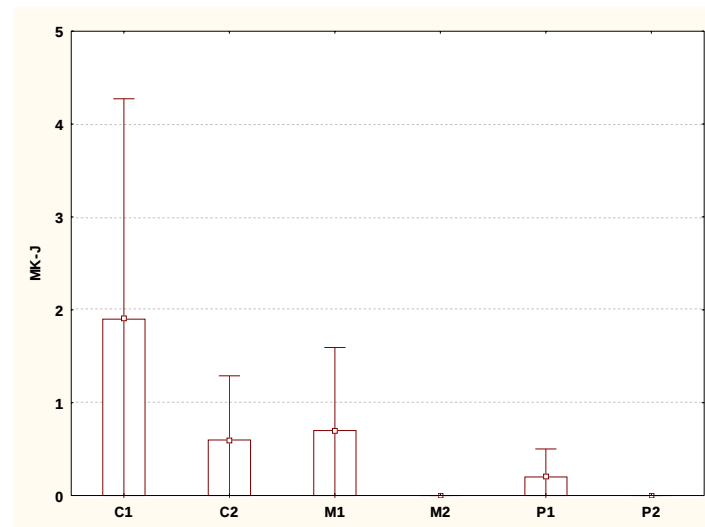


圖 3-13 六月圍網之初，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）各組穿越線中高山田鼠的排遺量。圖中所示為十條穿越線上高山田鼠排遺量的平均值與 95%信賴區間。

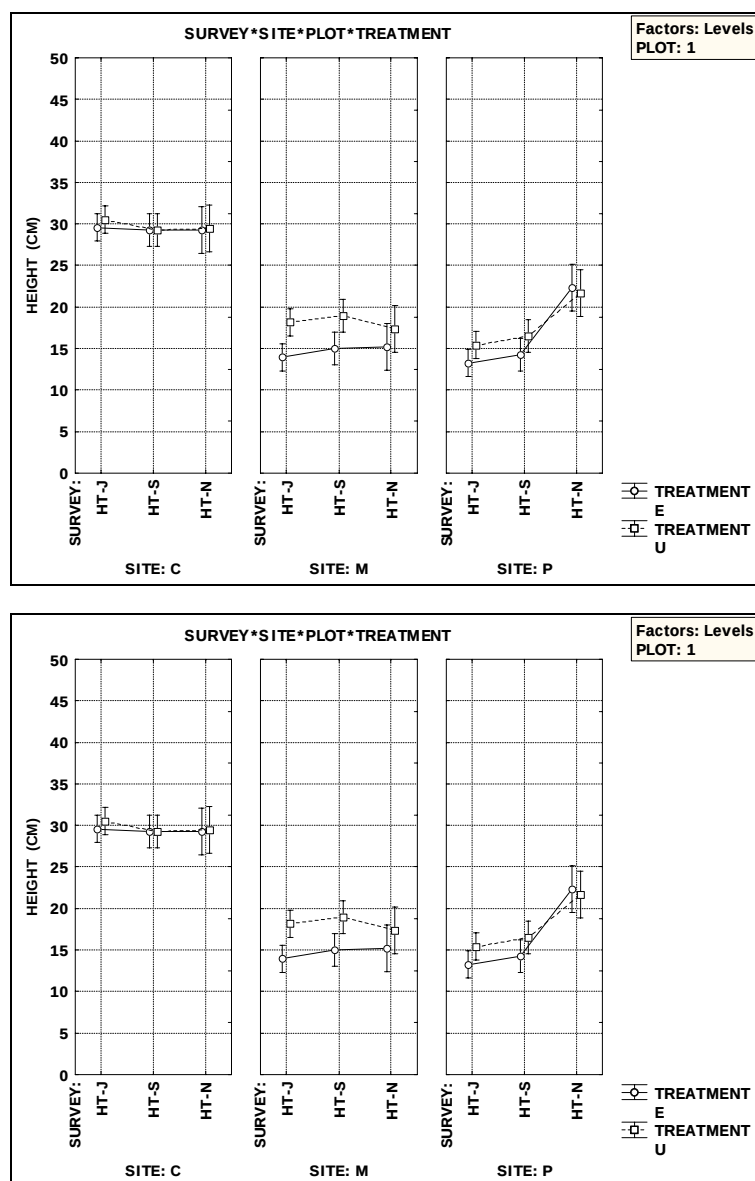


圖 3-14 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中箭竹高度的比較。圖中所示為各次調查時處理樣方中箭竹高度的平均值與 SE。

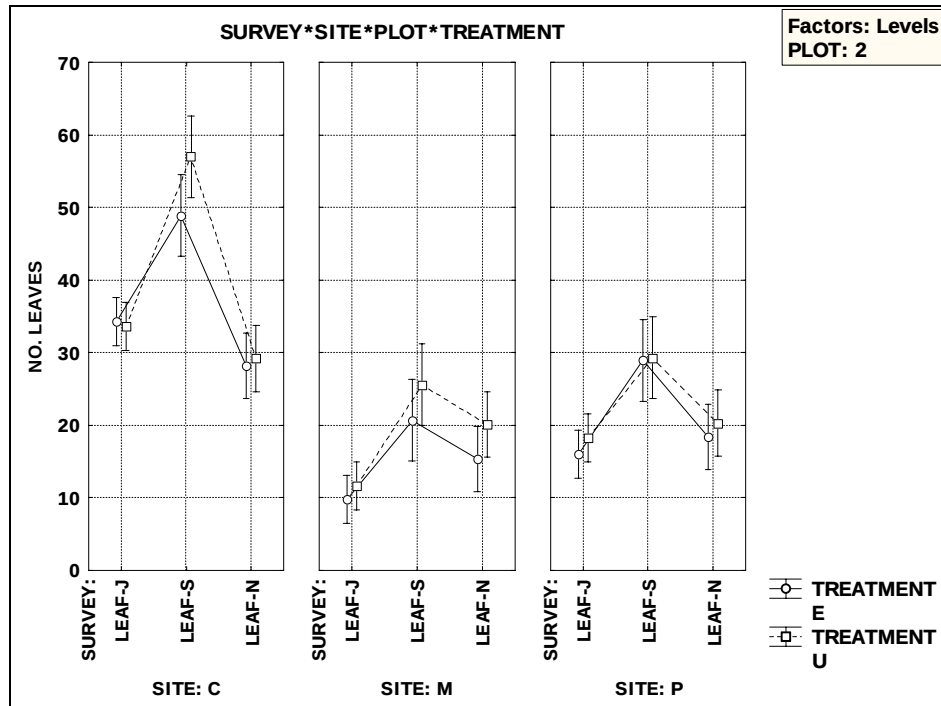


圖 3-15 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中箭竹頂端葉片數的比較。圖中所示為各次調查時處理樣方中箭竹葉片數的平均值與 SE。

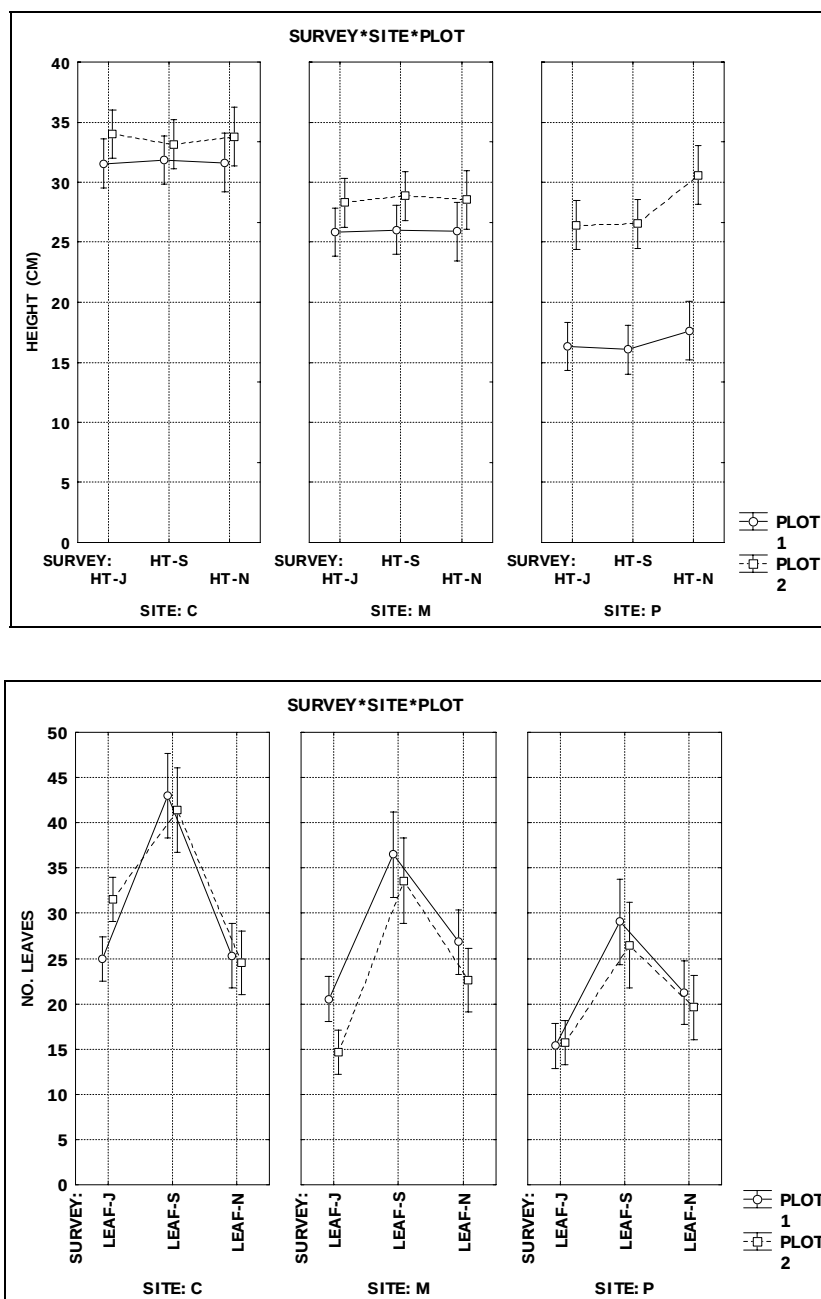


圖 3-16 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）十條穿越線上箭竹高度（上圖）與頂端葉片數（下圖）的比較。圖中所示為各組穿越線上箭竹高度與頂端葉片數的平均值與 SE。

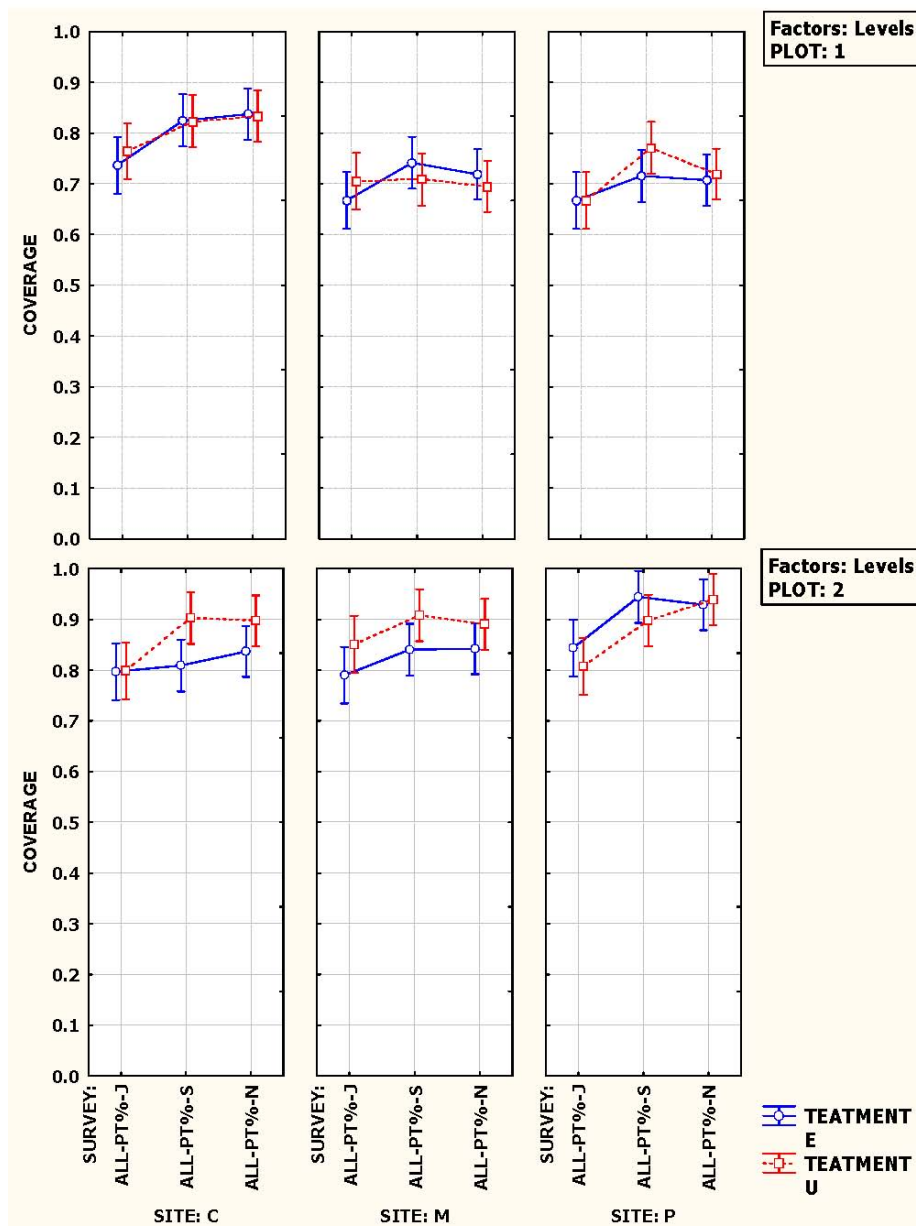


圖 3-17 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中植物相對覆蓋比的比較。圖中所示為各處理樣方中植物相對覆蓋比的平均值與 SE。植物的相對覆蓋比指植物在 0.5 公尺平方小樣方中十六個點位的佔有率。

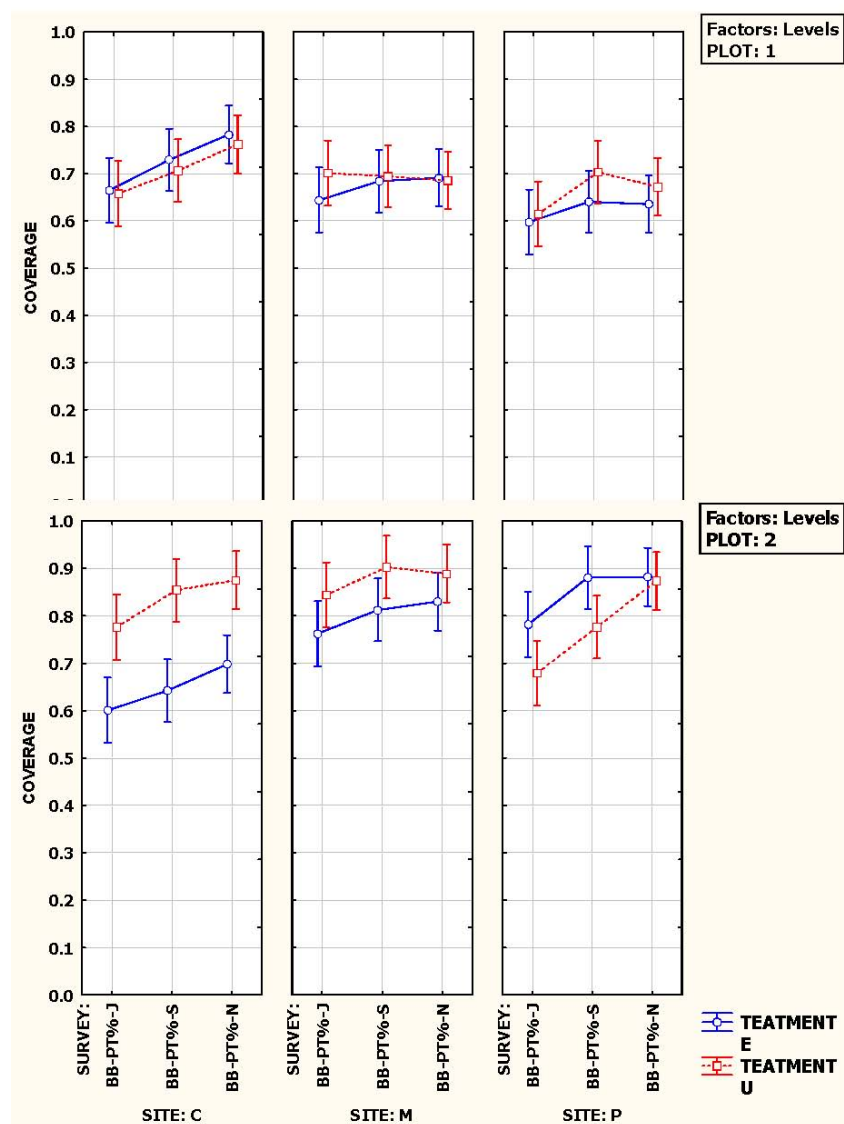


圖 3-18 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中箭竹相對覆蓋比的比較。圖中所示為各處理樣方中箭竹相對覆蓋比的平均值與 SE。箭竹的相對覆蓋比指箭竹在 0.5 公尺平方小樣方中十六個點位的佔有率。

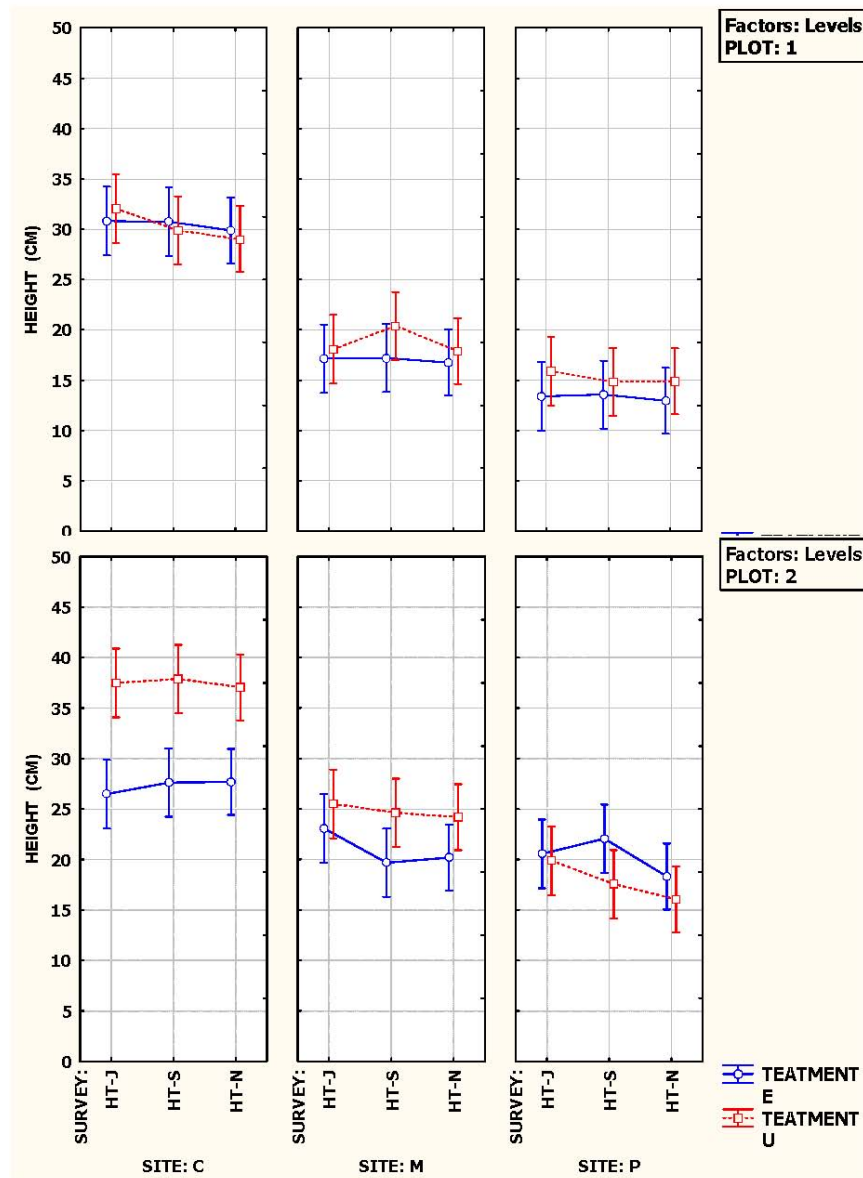


圖 3-19 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩處理樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中植物高度的比較。圖中所示為各處理樣方中十六個小樣方植物高度的平均值與 SE。

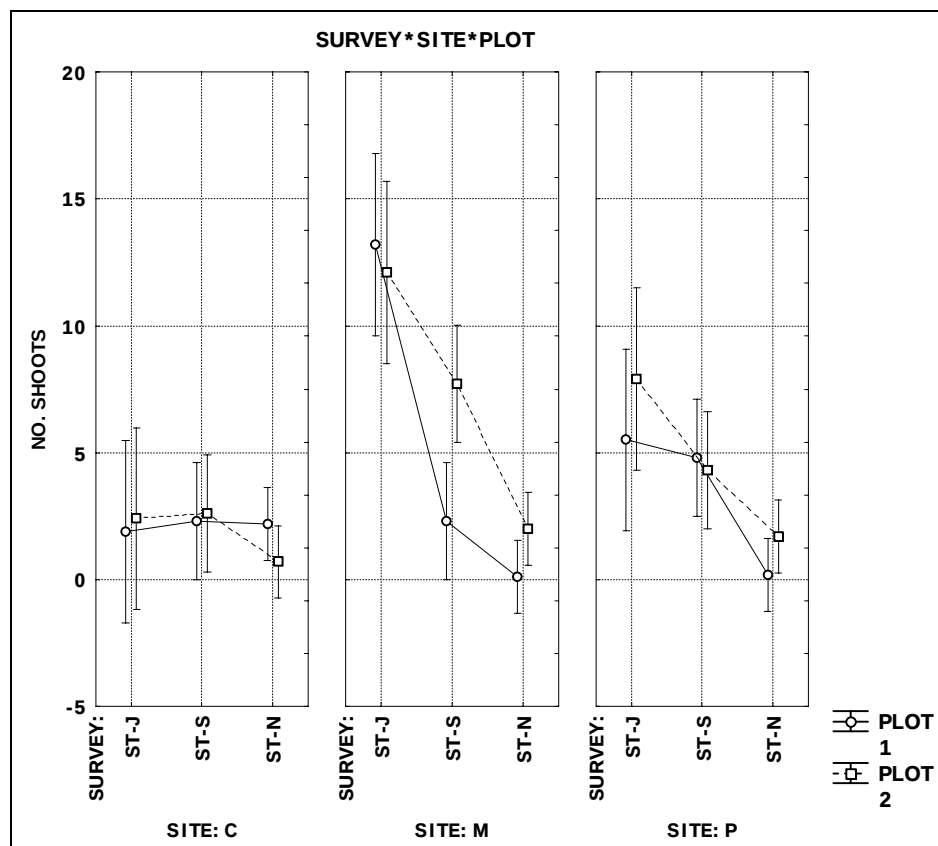


圖 3-20 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）十條穿越線上箭竹筍數目的比較。圖中所示為各樣區中穿越線上竹筍數的平均值與 SE。

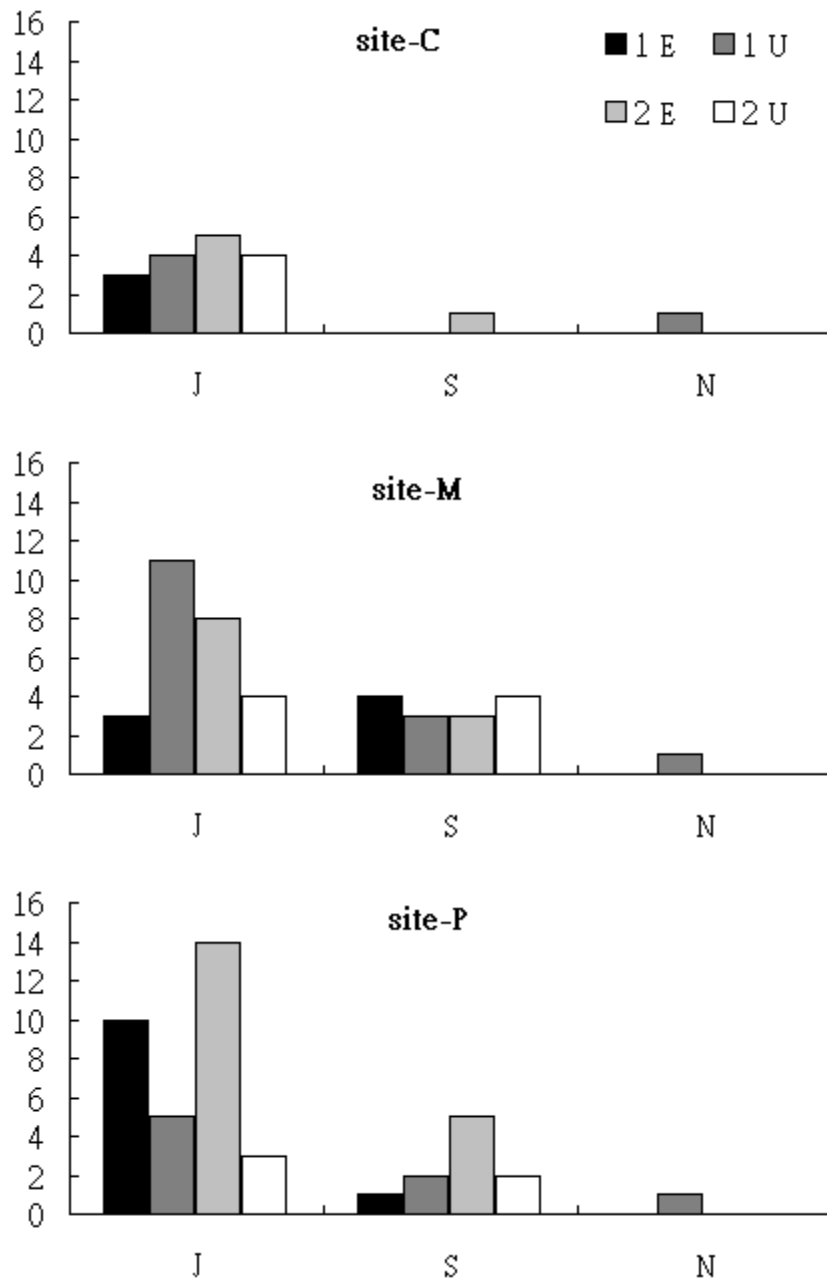


圖 3-21 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 中箭竹筍數目的比較。

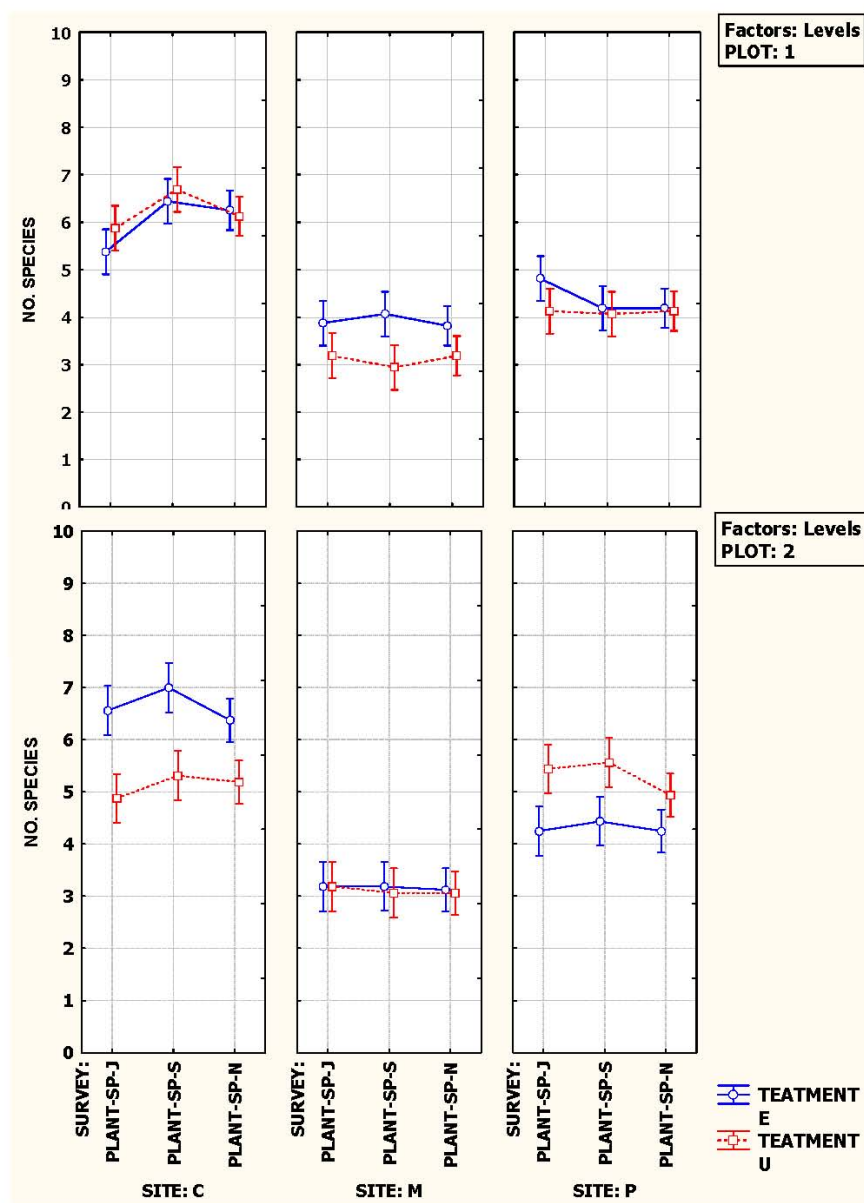


圖 3-22 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中植物種類的比較。圖中所示為各樣方內十六小樣方中植物種類數的平均值與 SE。

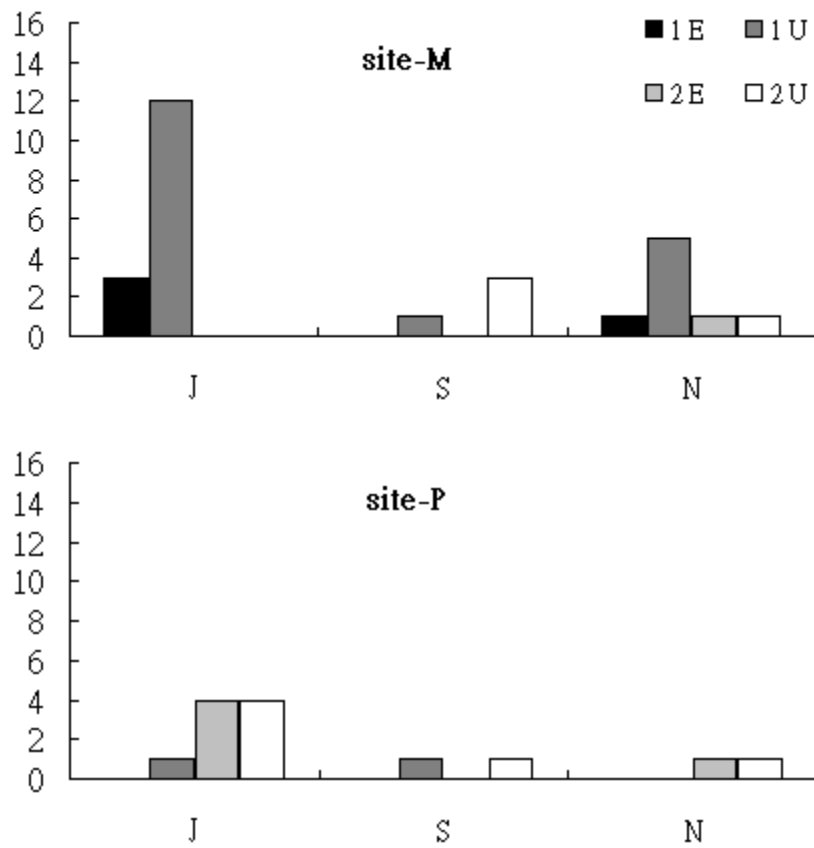


圖 3-23 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區兩處理樣方（1，坡頂樣區；2，坡底樣區；E，圍網樣方；U，未圍網樣方）中水鹿的排遺推數。三次調查中，小奇萊的四個樣方中都沒有水鹿排遺，故未以圖示。

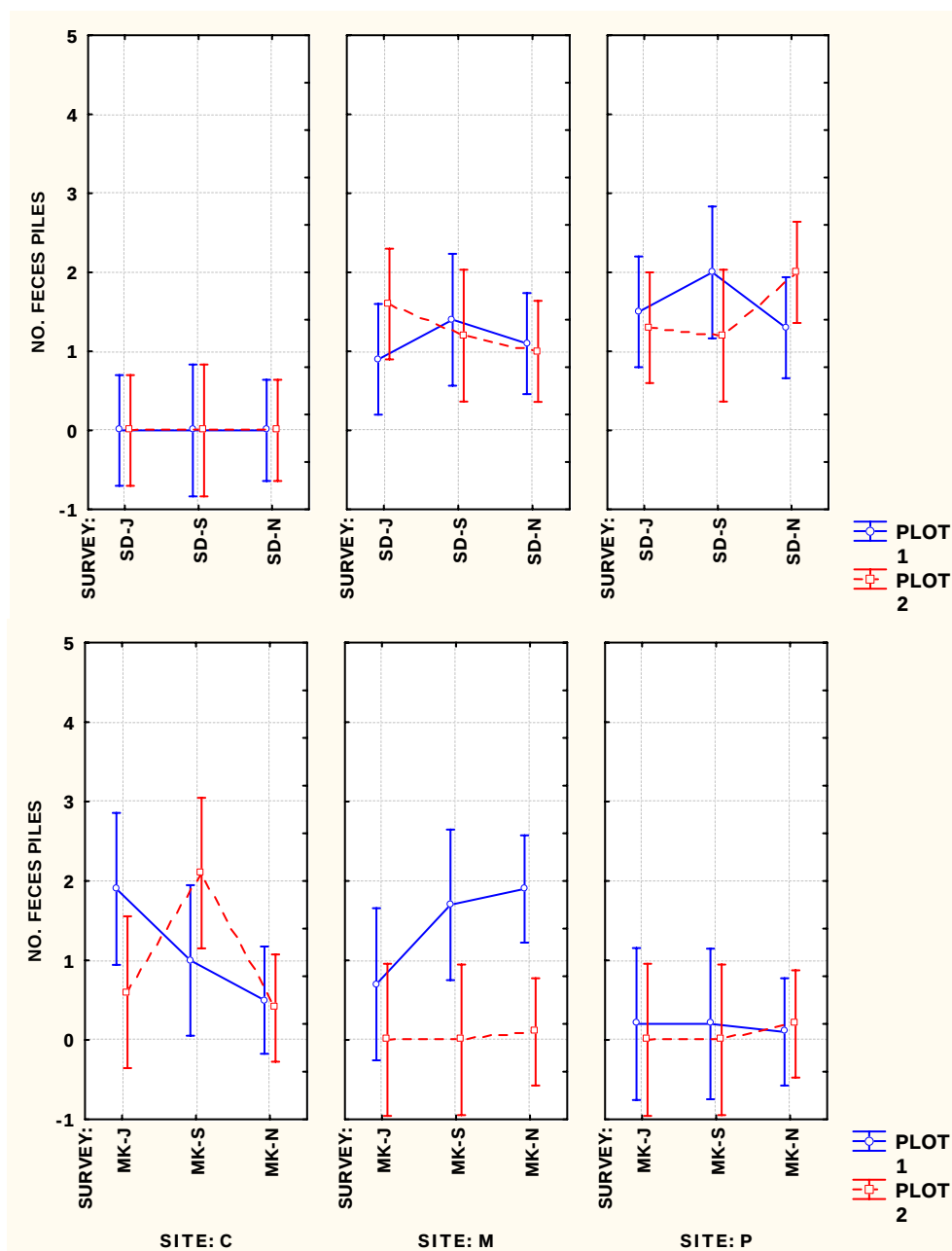


圖 3-24 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）穿越線上水鹿（上圖）與高山田鼠（下圖）的排遺推數。

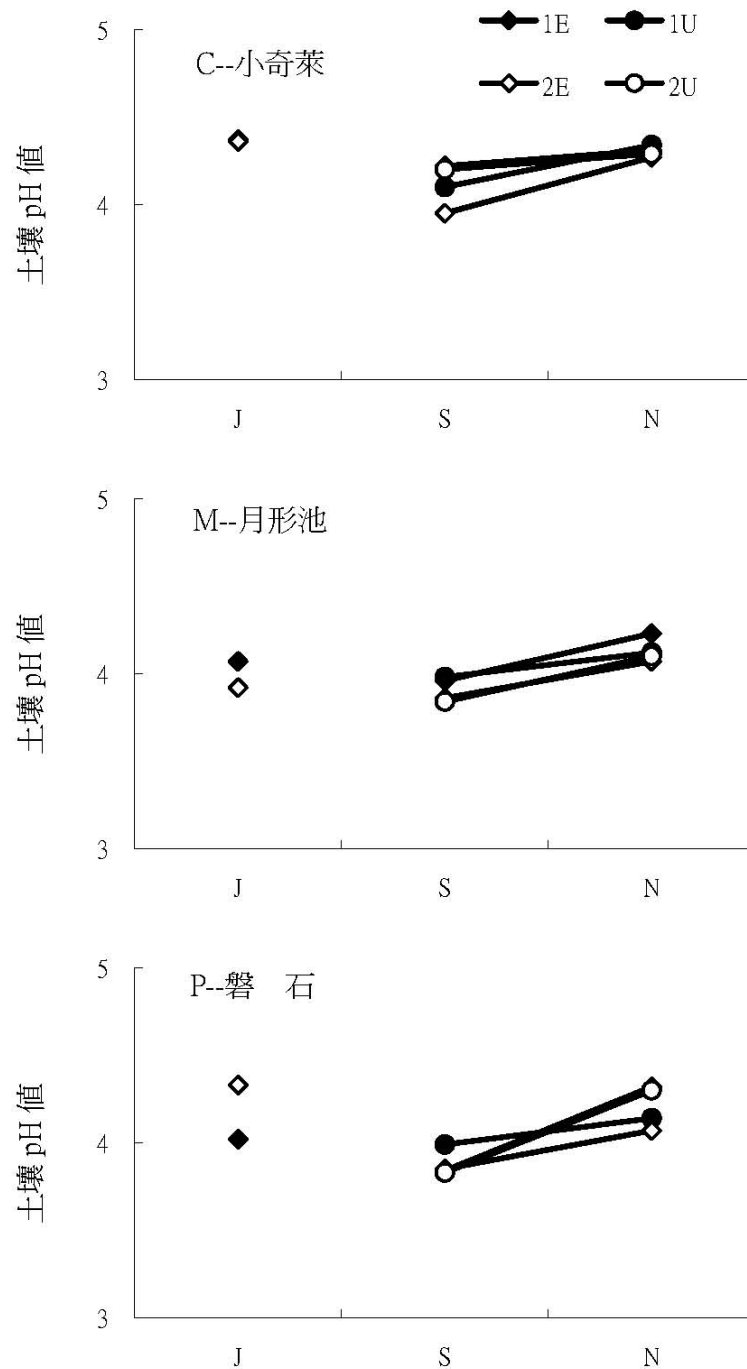


圖 3-25 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區兩樣方 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區; E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 土壤的 pH 值。

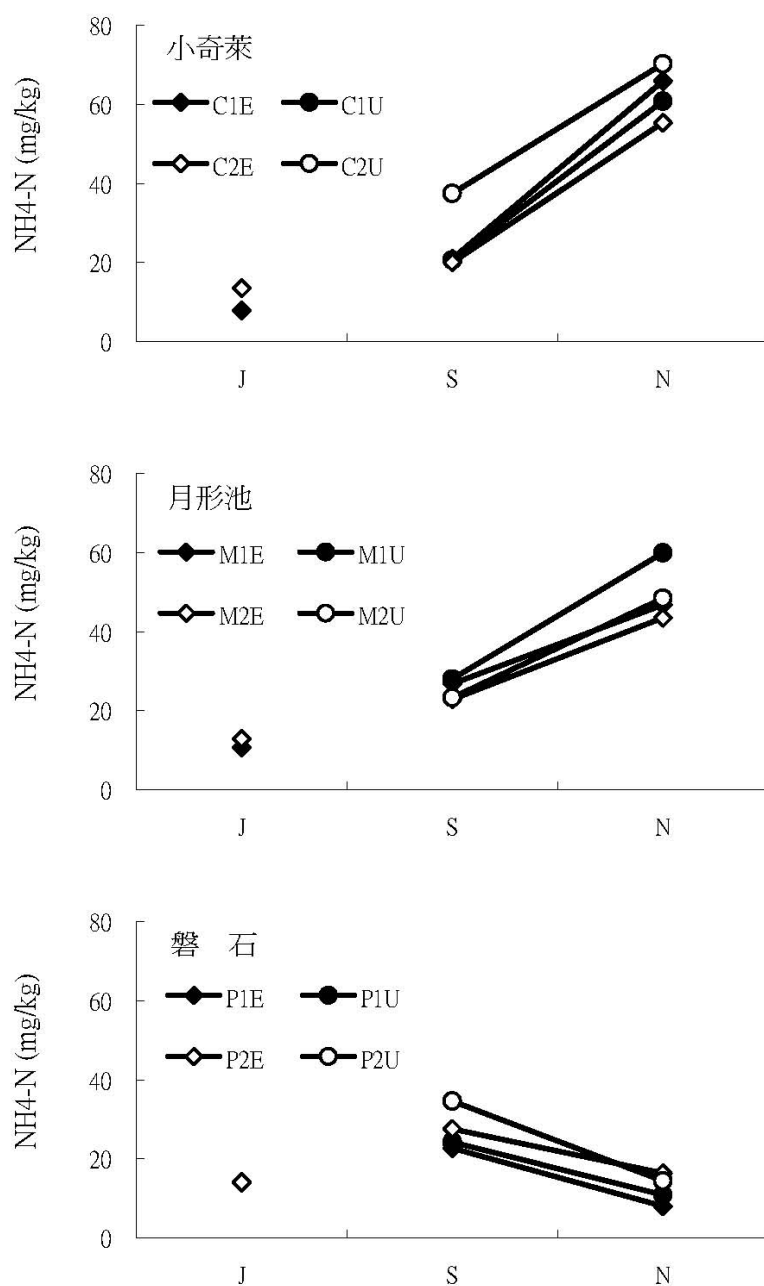


圖 3-26 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）兩樣方（E，圍網樣方；U，未圍網樣方）土壤的氨氮濃度（mg/kg）

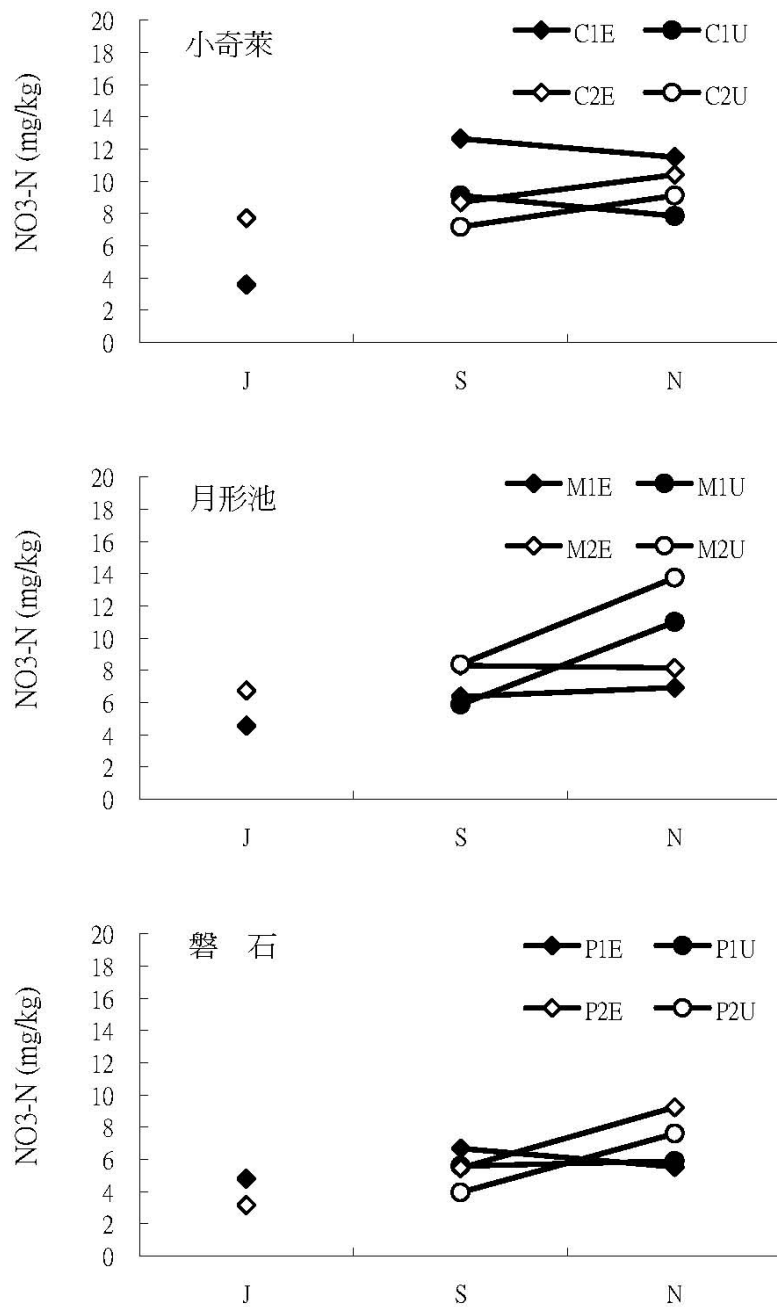


圖 3-27 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區) 兩樣方 (E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 土壤的硝酸氮濃度 (mg/kg)。

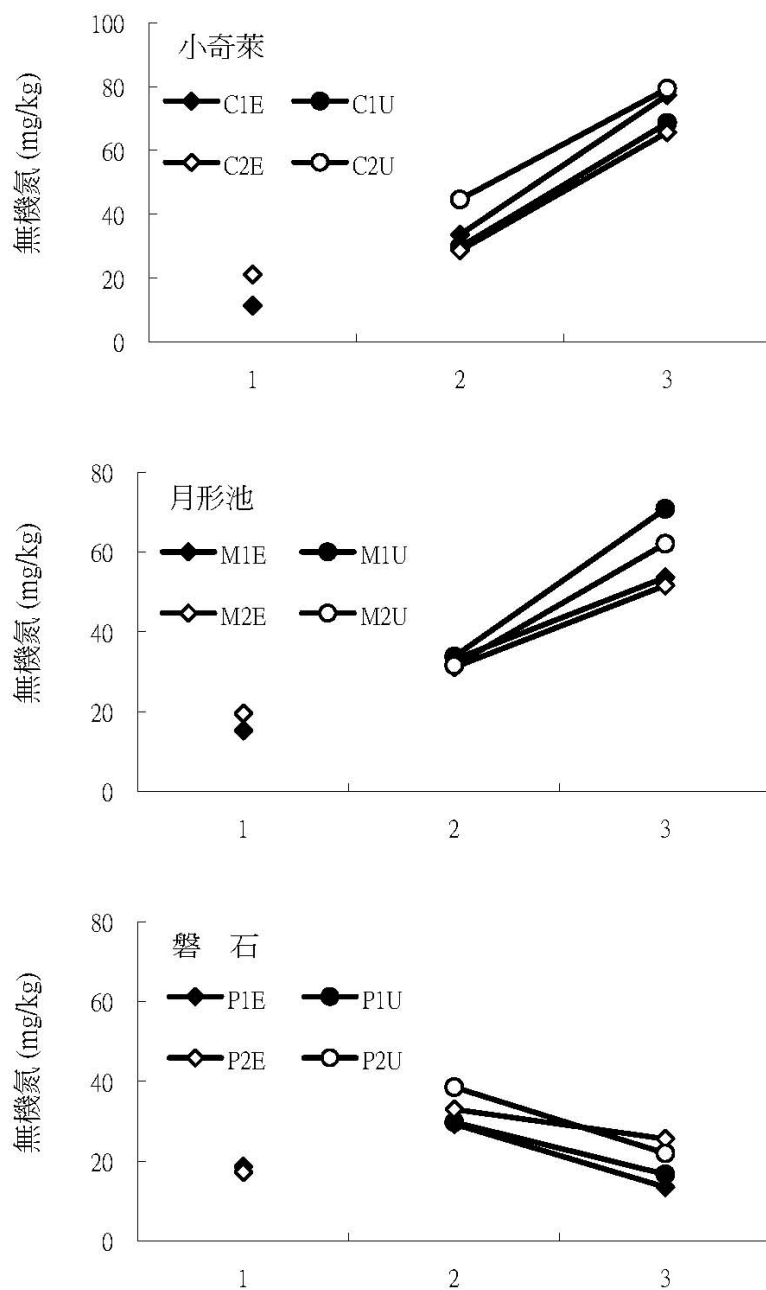


圖 3-28 三次調查（J，七月；S，九月；與 N，十一月）中，三地（C，M 與 P）兩樣區（1，坡頂樣區；2，坡底樣區）兩樣方（E，圍網樣方；U，未圍網樣方）土壤的無機氮濃度（mg/kg）。

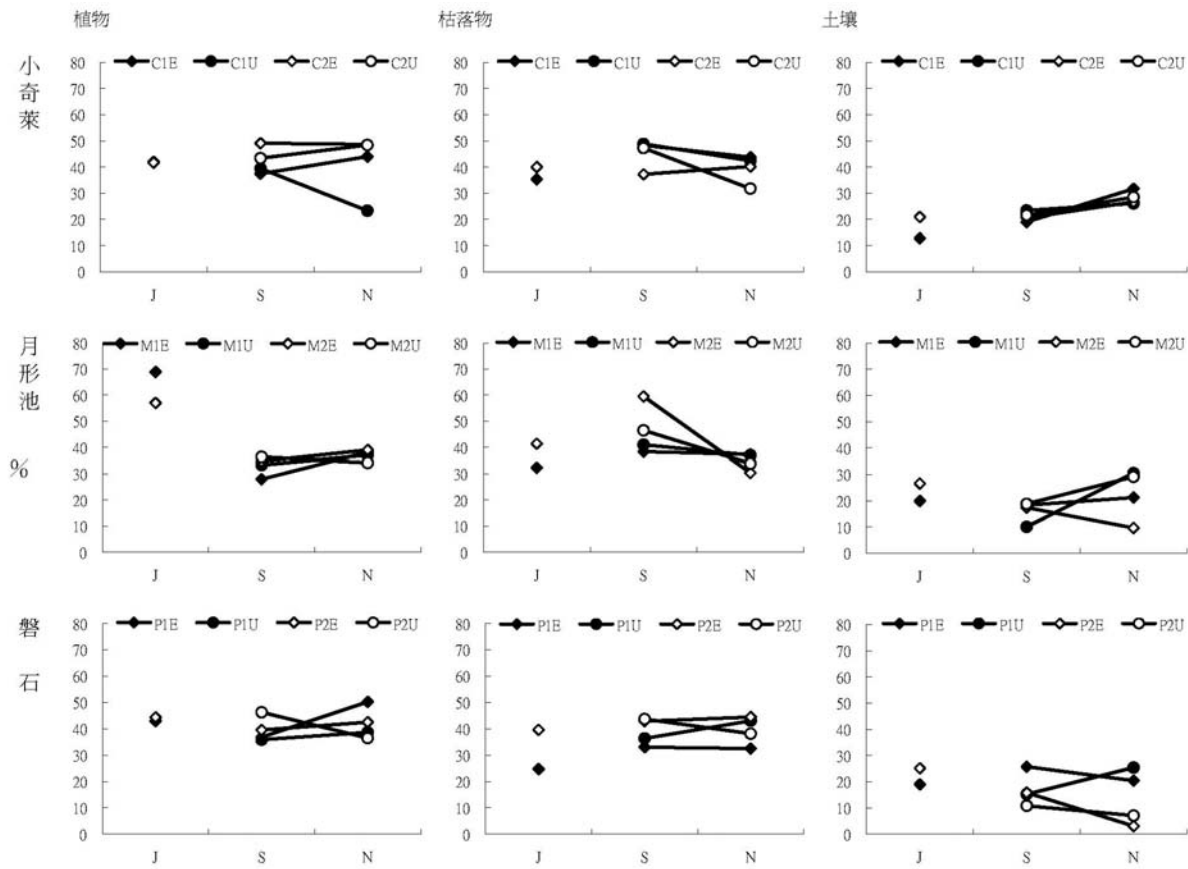


圖 3-29 三次調查 (J, 七月; S, 九月; 與 N, 十一月) 中, 三地 (C, M 與 P) 兩樣區 (1, 坡頂樣區; 2, 坡底樣區) 兩樣方 (E, 圍網樣方; U, 未圍網樣方) 植物、枯落物與土壤的有機碳重量百分比 (TOC)。

代表性生態系經營管理之合歡山高海拔生態系長期生態研究網計畫（二）—
生態系物種間交互作用調查及保育措施評估

第四章 結論與建議

第一節 結論

本年度藉由架設圍網、植物調查與養份分析，建立了對箭竹生態系組成與功能間長期研究與監測的架構，各項分析結果，可作為初始的基本資料。以此架構為基礎，可比較不同草食動物對養份循環的影響、捕食草食動物之掠食者對植物及生態系功能的間接作用、土壤微生物在此系統中扮演的角色、或作為監測與評估高山生態系在氮沉降量增加或全球變遷等大尺度衝擊下的反應。上述基礎研究的成果，將有助於高山生態系的管理。

第二節 建議

建議一

（建議主題）：中長程建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處

協辦機關：

太魯閣國家公園合歡奇萊山區，極具發展成台灣高山生態系研究的基地，但缺乏簡便的研究設施，方便研究人員的駐留與野外工作。進行相關生態研究時，基本氣象因子的量測與紀錄，亦極具重要性。建議整合不同領域研究團隊的意見與需求，選擇適當地點，建立適當的研究據點。

建議二

（建議主題）：中長程建議

主辦機關：內政部營建署國家公園組，林務局

協辦機關：

在台灣多處山區數量漸增的水鹿，以造成部分地區林木的死亡與地被植物覆蓋的改變，但其對生態系的長期衝擊，仍未有整合性的探討。本計畫企圖以圍網阻隔水鹿的啃食，以觀察其對植物與養份循環的影響。目前僅在箭竹草原中架設小規模圍網，尚未觸及森林環境。國外對於類似問題的探討，多利用大規模多重圍網的長期監測，有些甚至已觀察數十年，因而能對動植物與生態系的諸多關係，有較深入的了解，並利用於野生動物與生態系的管理。建議協調相關資源管

理單位與研究機構，彙集國內對近年來草食獸數量變遷的資訊，研擬未來的研究與管理策略。

建議三

(建議主題)：立時可行建議建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處

協辦機關：營建署與各國家公園

高山生態系脆弱敏感，環境艱困多變，對遊客、山友或研究調查人員都具有挑戰性，而也易受到不經心的破壞，除需要基礎研究與監測的關注，更需要具專業技能及熱忱的工作人員的巡護照看，及對山區活動的協助與管理。太魯閣國家公園目前設有登山學校，也具有不同可及性與難度的山區，具備有培養與訓練山區巡視與調查員的環境。而負責管理台灣主要高山地區的各國家公園與營建署，也應積極儲備與善用這些人力資源，進行山區資源調查、研究與巡查的工作。

附錄一

太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫期中簡報會議記錄

太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫
「代表性生態系經營管理之合歡山高海拔生態系長期生態研究網計畫
(二) —生態系物種間交互作用調查及保育措施評估」

期中簡報會議記錄

一、時間：99 年 6 月 29 日 上午 10 時 00 分

二、地點：本處會議室

三、主持人：游處長登良

記錄：朱何宗

四、報告人：吳海音教授

五、出席人員

張副處長登文	
許秘書英文	許英文
企劃經理課	夏士宗
解說教育課	黃志強
遊憩服務課	林慶祥
環境維護課	
保育研究課	陳俊心 朱何宗 蔡佩芳
天祥管理站	
布洛灣管理站	
合歡山管理站	王如華
蘇花管理站	

六、結論：

- （一） 受託單位已於會議當天提送期中報告書面資料 15 份，內容進度符合合約規定。
- （二） 在盤石山區有關植物遭水鹿啃咬的敘述因無法排除山羊啃食的可能性，建議期末報告時修正為大型草食獸啃咬。
- （三） 水鹿啃食樹皮的情況推測是當地植物組成配合動物數量共同影響的結果。
- （四） 未來在土壤與植物體養分循環的測定中應考慮地形因素，在坡頂及凹地都需取樣，在經費許可下盡量增加檢測樣本數量。
- （五） 月形池及盤石山區氣候嚴苛，對圍網設施的材質及架設是一大考驗，建議架設圍網時要備妥適當工具，圍柱儘可能深埋土中。
- （六） 圍網試驗需長期監測才能凸顯生態意義，經本年度前期試驗結果，請受託單位於期末報告時建議圍網的架設位置及設計供參，未來期由本處進行更牢固的圍網設施施作，以便執行長期監測。
- （七） 與會人員相關意見請受託單位納入參考。
- （八） 本期中簡報審查通過，准予備查。請受託單位依合約規定備妥相關資料請領第二期款。

附錄二

太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫期末簡報會議記錄

太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫
「代表性生態系經營管理之合歡山高海拔生態系長期生態研究網計畫（二）生態系物種間交互作用調查及保育措施評估」

期末簡報會議記錄

一、時間：99 年 12 月 8 日 下午 14 時

二、地點：本處會議室

三、主持人：游處長登良

記錄：朱何宗

四、報告人：吳海音教授

五、出席人員

張副處長登文	
許祕書英文	
企劃經理課	陳安石
解說教育課	黃志強 連福祥
遊憩服務課	
環境維護課	
保育研究課	陳俊山 朱何宗 華佩芳
天祥管理站	黃清波
布洛灣管理站	
合歡山管理站	許敏賢
蘇花管理站	
	林展興 林同義

六、討論：

- （一）受託單位已於會議前提送期末報告書面資料 15 份，內容進度符合合約規定。
- （二）本研究針對草食動物啃食箭竹草與環境之交互作用設計出實驗方法，也已獲得三次現場調查資料，初步結果顯示圍網樣方與穿越線調查結果是一致的，表示本實驗設計是可行的；未來可在關鍵季節進行調查，或用人為操作模擬水鹿啃食的方法來進行實驗。
- （三）依國外的經驗生態圍網試驗為長時間的實驗，經常動輒數年或數十年，因此建議未來可以進行長時間的調查。
- （四）磐石山區生態圍網試驗可為水鹿與植物交互作用提供學術的科學依據，對未來高海拔生態系的經營管理極具參考價值。
- （五）未來研究建議增加植物調查，以更精確掌握物種間之交互作用模式。

七、結論：

- （一）與會人員相關意見，請受託單位納入參考。
- （二）期末報告撰寫格式請依內政部委託研究作業規定辦理。
- （三）本期末簡報審查通過，准予備查。請受託單位依會議結論修正書面報告，俟完成驗收後，依合約規定備妥相關資料請領第三期款。

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。
- 呂孟栖。1991。合歡山地區高山田鼠 (*Microtus kikuchii*) 的生態與生殖研究。私立東海大學生物學研究所碩士論文。
- 吳培傑。1998。合歡山地區高山田鼠 (*Microtus kikuchii*) 族群生態及活動模式研究。私立東海大學生物學研究所碩士論文。
- 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。

賀函芝。2009。合歡山地區高山田鼠與高山草原植物的交互作用：從優勢草本植物的營養與
豐富度來探討。國立台灣大學生態與演化生物學研究所碩士論文。

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。

Augustine, D. J., S. J. McNaughton & D. A. Frank (2003) Feedbacks between soil nutrients and
large herbivores in a managed savanna ecosystem. *Ecological Applications*, **13**, 1325-1337.

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.
- Frank, D. A., M. M. Kuns & D. R. Guido (2002) Consumer control of grassland plant production. *Ecology*, **83**, 602-606.
- Gonzales, E. K. & P. Arcese (2008) Herbivory more limiting than competition on earely and established native plants in an invaded meadow. *Ecology*, **89**, 3282-3289.
- 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.
- Howe, H. F., B. Zorn-Arnold, A. Sullivan & J. S. Brown (2006) Massive and distinctive effects of meadow voles on grassland vegetation. *Ecology*, **87**, 3007-3013.
- 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.
- 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.
- Sterner, R. W. & J. J. \elser. (2002) Ecological Stoichiometry. Princeton University Press, Princeton.
- 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.