

臺灣水鹿跨域整合研究（三）

太魯閣國家公園管理處委託研究報告

中華民國 103 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）

國科會 GRB 編號

PG10303-0251

臺灣水鹿跨域整合研究（三）

受委託者：中華民國國家公園學會

研究主持人：王穎

協同主持人：朱有田、翁國精

研究員：顏士清、洪千翊、邱峻文、陳匡洵、

李冠逸、葉川逢、楊書懿、陳怡君、

林子祐、劉士豪、廖昱銓、林函瑜、

沈祥仁

太魯閣國家公園管理處委託研究報告

中華民國 103 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）

目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
Abstract.....	XI
第一章 緒論	
第一節 研究緣起與目標.....	1
第二節 文獻探討.....	6
第二章 研究方法	
第一節 研究地區.....	15
第二節 研究方法.....	16
第三章 結果.....	33
第四章 討論.....	89
第五章 建議事項.....	101
參考文獻.....	105
附錄.....	109

表次

表 2-1、2014 年太魯閣、玉山、雪霸國家公園自動相機站基本資料.....	24
表 3-1、2013 年 11 月至 2014 年 6 月，南湖山區自動相機監測結果.....	35
表 3-2、2013 年 9 月至 2014 年 10 月，楠溪林道自動相機監測結果.....	37
表 3-3、2014 年 4 月至 2014 年 8 月，八通關地區自動相機監測結果.....	38
表 3-4、2014 年 5 月至 2014 年 10 月，雪東線與志樂河流域自動相機監測結果...	39
表 3-5、2014 年各樣區自動相機拍攝之水鹿 OI 與環境因子之相關性.....	41
表 3-6、花蓮縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料.....	45
表 3-7、台東縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料.....	46
表 3-8、宜蘭縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料.....	48
表 3-9、南投縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料.....	49
表 3-10、苗栗縣、新竹縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料.....	50
表 3-11 志樂溪上游區域各月份相機分析結果。M ^h (JK1)估算結果為成體公鹿族群量，成體水鹿族群量是由成體公鹿族群量與性別比例換算.....	55
表 3-12、臺灣水鹿各採樣地區、中文名稱、英文縮寫對照表、採樣數量與獲得序列數量表.....	67
表 3-13、各樣區臺灣水鹿 D-loop 基因單套型分布數量表(Haplotypes Inference)	69
表 3-14、臺灣水鹿 D-loop 序列群的中性檢測分析結果.....	77
表 3-15、根據 D-loop 序列計算不同水鹿亞種間遺傳距離與分歧時間.....	77
表 3-16、蓮花池沉積物芯之基本資料表.....	83
表 3-17、蓮花池 Lotus-4 沉積物芯之碳十四加速器年代測定結果.....	83
表 4-1、根據臺灣水鹿 D-loop 序列，計算臺灣水鹿兩大類群遺傳多樣性估計值...	98
表 4-2、根據臺灣水鹿 D-loop 序列差異，計算臺灣水鹿兩兩族群間平均遺傳距離與遺傳分化值(FST)	98

圖次

圖 2-1、2014 年水鹿棲地選擇研究，太魯閣國家公園南湖山區調查樣線與自動相機站位置.....	26
圖 2-2、2014 年水鹿棲地選擇研究，玉山國家公園楠溪林道自動相機站位置...	27
圖 2-3、2014 年水鹿棲地選擇研究，玉山國家公園八通關地區調查樣線與自動相機站位置.....	28
圖 2-4、2014 年水鹿棲地選擇研究雪霸國家公園雪東線至志樂溪自動相機站位置.....	29
圖 2-5、2014 年水鹿分布調查，雪霸國家公園大鹿林道、聖稜線、雪東線至志樂溪調查樣線.....	30
圖 2-6、2014 年水鹿對森林植被影響之研究，雪霸國家公園志樂溪上游流域樣區.....	31
圖 2-7、2014 年水鹿對森林植被影響之研究，左為玉山國家公園楠溪林道研究樣區，右為楠溪林道啃食頻度樣區及相機位置圖.....	31
圖 2-8、新啃食傷口以蠟筆沿傷口周圍進行標記圖.....	32
圖 2-9、台灣水鹿啃食紅檜樹皮造成之傷口.....	32
圖 3-1、楠溪林道水鹿、山羌、山羊、獼猴四種動物相對豐度季節變化情形.....	40
圖 3-2、2014 年原住民之水鹿傳統知識與態度訪查，訪查鄉鎮分布位置.....	51
圖 3-3、志樂溪上游區域自動相機架設點位圖.....	56
圖 3-4、2014 年火石山樣區 6-10 月水鹿族群密度、年齡與性別比例.....	57
圖 3-5、2014 年完美谷樣區 6-10 月水鹿族群密度、年齡與性別比例.....	57
圖 3-6、2014 年 6-10 月志樂溪上游區域水鹿出現指數與禾草覆蓋度、闊葉草覆蓋度與蕨類覆蓋度之關係.....	58
圖 3-7、2014 年 6-10 月志樂溪上游區域水鹿出現指數與樹木被磨角比例之關係.....	58
圖 3-8、2014 年志樂溪上游區域 6 個輻射穿越帶內樹木遭啃食及磨角損害與徑級分佈比較圖.....	59
圖 3-9、2014 年楠溪林道紅檜造林地水鹿每月啃食頻度、啃食棵數及啃食面積之變化圖.....	59

圖 3-10、2014 年楠溪林道紅檜造林地每月啃食速率變化圖.....	60
圖 3-11、2014 年楠溪林道成體水鹿每月族群量與平均 OI 值變化.....	60
圖 3-12、楠溪林道茸角與解角的水鹿個體數與紅檜造林地內新啃痕數的每月變化圖.....	61
圖 3-13、臺灣水鹿樣本採樣地點位置圖.....	70
圖 3-14、以 D-loop 基因單套型序列以 Maximum Likelihood、Neighbor-Joining、Bayesian 方法所繪製之臺灣水鹿親緣關係樹.....	71
圖 3-15、以臺灣水鹿 D-loop 基因單套型(RUS01-RUS20)序列，使用軟體 BEAST 所繪製之貝葉氏親緣關係樹.....	72
圖 3-16、臺灣水鹿之 Nested Clade Analysis 網狀關係圖(Minimum spanning network).....	73
圖 3-17、臺灣水鹿族群核苷酸錯位分布分析.....	77
圖 3-18、檢測臺灣水鹿歷史族群變動事件之貝氏天際線圖.....	78
圖 3-19、以臺灣水鹿 D-loop 基因單套型(RUS01-RUS20) 及亞洲水鹿 D-loop 序列，使用軟體 BEAST 所繪製之貝葉氏親緣關係樹.....	79
圖 3-20、本計畫所鑽取的 8 口沉積物芯之空間位置分布圖.....	83
圖 3-21、蓮花池 5 口較長沉積物芯之取樣位置及影像圖.....	84
圖 3-22、沉積物芯 Lotus-4 中深度 44-48 公分的純淨石英粉砂.....	84
圖 3-23a、蓮花池 Lotus-4 深度 2-4 公分樣品中之花粉照片.....	85
圖 3-23b、蓮花池 Lotus-4 深度 2-4 公分樣品中之花粉照片.....	86
圖 3-24、蓮花池 Lotus-4 深度 88-90 公分樣品中之花粉照片.....	87
圖 4-1、臺灣水鹿七個族群中，各族群中陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群序列數量組成比例示意圖.....	99

摘要

一、研究緣起與方法

此研究承續 2013 年度研究計畫[臺灣水鹿跨域整合研究(二)]，本年度分成數個部分進行：1. 在南湖山區、楠溪林道、八通關地區、雪東線與志樂溪流域以沿線調查與自動相機，研究監測中大型哺乳動物概況、水鹿分布範圍、水鹿棲地選擇；2. 在苗栗縣、宜蘭縣、花蓮縣、南投縣、台東縣、新竹縣的原住民部落進行訪查，以了解原住民對水鹿的傳統知識與利用方式；3. 於雪山志樂溪上游以自動相機配合捕捉-標記-再捕捉法估算樣區內的水鹿族群密度，並評估台灣水鹿啃食或磨角損害現況以及對於森林植被結構與更新影響；4. 在楠溪林道紅檜造林地觀測水鹿啃食頻度的季節變化，分析啃食行為與水鹿生活史、季節的關係，以探討水鹿啃食樹皮的原因；5. 遺傳結構分析部分，今年進一步採集過去缺乏地理連續性地區的樣本，總共新增 108 個水鹿樣本、66 條序列。已取得水鹿粒線體 D-loop DNA 全長序列共 457 條，以 Neighbor-joining、Maximum likelihood、Bayesian 親緣關係樹分析臺灣水鹿分群，並計算分群時間；6. 將臺灣水鹿 D-loop 序列以中性檢測、網狀關係圖、核苷酸錯位分布、貝氏天際線分析其歷史族群變動趨勢。7. 透過蓮花池沉積物中保存的花粉化石研究，試圖建立太魯閣國家公園園區內過去的植被、氣候與環境變遷歷史。

二、重要發現

南湖山區的水鹿持續往外擴散到接近人類活動區域，八通關地區水鹿的分布界線約在乙女瀑布及樂樂山屋附近，在這兩個地區均有觀察到狩獵痕跡；而雪東線未發現水鹿痕跡，需到翠池之後才漸有水鹿出現。不同地區的水鹿族群對棲地的選擇方式不同，南湖山區的水鹿 OI 和與水源距離呈顯著正相關，楠溪林道的水鹿 OI 與坡度呈顯著負相關、與側向開闊度顯著正相關，八通關地區的水鹿 OI 則和與公路距離呈顯著正相關，在雪東線至志樂溪區域目前的資料未顯示水鹿 OI 與環境因子有明顯關聯。

多數的受訪原住民均表示水鹿族群近年明顯增加，各部落每年約獵取數十隻水鹿，但信義鄉的部落一年共可獵取達 3,000 隻，獵獲的水鹿許多部位都有用處。不同區域的獵人所述的水鹿生活史有所差異，可能代表了不同水鹿族群之間的差異。此外，部分受訪者贊成不要狩獵路旁的動物，留給遊客欣賞發展深度旅遊。

雪山志樂溪水鹿在 7 月、9 月與 10 月的族群密度相對比其他月份高，推論可能與繁殖季或季節性移動有關。整體而言雪山志樂溪樹木被水鹿利用的程度相當低。楠溪林道調查結果發現水鹿啃食紅檜樹皮頻度在 4 月及 5 月特別高，可能是因為長角期間，需要透過啃食紅檜樹皮來補充體內的鈣含量。這些結果顯示不同地區的水鹿族群可能因為生理狀況的差異，而對啃食樹皮有不一樣的需求。

粒線體 DNA 序列遺傳多樣性分析方面，今年增加一新 D-loop 單套型，目前共發現 20 個序列單套型 (Haplotype)。重要發現為太魯閣陶塞溪中下游流域、雪霸國家公園所擁有 4 個單套型，其核苷酸取代特徵與臺灣其他地區明顯不同。經數種親緣關係樹分析，可分成陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群，其中，更分析出今年所發現之 RUS05 單套型可能為連接陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群之中間型類群，且目前只發現其分布於太魯閣峽谷中。這結果可以強化太魯閣國家公園內過去可能存有冰河時期動物避難所的可能性。另外，經由分子鐘的計算這兩類群分歧時間為距今 72,500 至 83,750 年間，約在上次冰河時期。而利用 Nested Clade Analysis 顯示地理距離的隔離，也是造成臺灣水鹿族群遺傳分化因素之一。根據本研究成果，在不同地理氣候條件下所採用的保育強度與運用策略上應該與過去不一樣，而開發利用解析度更高的遺傳標記去進行不同區的族群遺傳管理也是必需進行的。水鹿研究的新發現，也需要傳播給大眾，傳輸臺灣自然環境與水鹿族群間的交互影響及遺傳多樣性監控的重要性。

於蓮花池進行兩次沉積物採樣，初步結果顯示蓮花池的自然環境曾經發生變化，在 4600 年前堆積的花粉化石以艾屬花粉和蕨類孢子為絕對優勢，樹種花粉數量極少，說明當時蓮花池的水域較小，環境也較為封閉，相較之下，近代的花粉堆積不僅種類繁多，數量也極為豐富，轉變估計發生在 800 年前左右。透過絕對年代測定，建立蓮花池沉積物的年代架構，估計 1 萬年前的沉積物約在深度 150 公分處，2 萬年前約在 266 公分處，藉由蓮花池中的花粉化石以重建上次冰期以來氣候與環境變遷歷史是值得嘗試的課題。

三、主要建議事項

1. 考慮增加中海拔地區的水鹿族群監測樣區。
2. 研究不同地區水鹿的生理狀況及樹皮成分，以釐清水鹿啃食現象的成因。
3. 增加樣區並開發解析度更高的遺傳標記，進行進一步的族群遺傳研究。

4. 將花粉採樣位置東移至蓮花池水域南側，並利用枯水期鑽取長而連續完整的沉積物芯。

Abstract

The aims of this research project are: 1. to estimate the status of large mammals, the distribution of sambar deer, and the habitat selection of sambar using line transects and camera trapping at Mt. Nanhu, Nanshi forest road, Batongguan area, and East Xue Trail to Zhile river; 2. to investigate aboriginal people's traditional knowledge and use of sambar deer by interviewing with them in Mioli County, Ilan County, Hualien County, Nantou County, Taitung County, and Hsinchu County; 3. To estimate the population density of sambar deer in the upstream area of the Zhile river in Xue Mountain using camera traps and capture-mark-recapture model and also evaluated the status of debarking and antler rubbing by sambar and its impacts on the structure and renewal of forest vegetation; 4. to observe the monthly frequency of debarking by sambar in Taiwan red cypress plantations along the Nanshi forest road and its correlation with its life history and seasons, hoping to reveal why sambar debarks. 5. For the genetic structure analysis of Formosan sambar deer, samples with a total amount of 108 were obtained this year, and 66 sequences were gained. A total amount of 457 sequences of D-loop were analyzed with Neighbor-joining, Maximum likelihood, and Bayesian phylogenetic trees for divergence time between groups. 6. Neutrality test, Nested clade analysis, mismatch distribution, and Bayesian skyline plot were applied to study demographical history.

The sambar deer population at Mt. Nanhu keeps expanding and approaching human settlements. The boundary of the population at Batongguan area is near Yinyu Waterfall. These two areas are under hunting pressure at present. No sambar deer tracks and signs were detected at East Xue Trail. The deer occurred only at Cui pond and West Xue Trail. In addition, the deer populations at the four areas had different types of habitat selection. At Mt. Nanhu, the deer occurrence index estimated by camera trapping was significantly positive correlated with the distance to water. At Nanshi forest road, this index was significantly negative correlated with slope and positive correlated with lateral openness. At Batongguan area, this index was significantly positive correlated with the distance to paved roads. Furthermore, no correlation between the occurrence index and environmental factors was detected at East Xue trail and Zhile river.

Most of the aboriginal people we interviewed that the population size of sambar deer increased year by year. The deer harvest of a village was about dozens per year.

The harvest was higher for villages in Xinyi township where the total harvest could reach 3,000 deer per year. Many parts of deer body are usable for aboriginal people. In addition, the knowledge of deer life history differed among hunters from different regions, which indicated a variation among deer populations. Furthermore, some respondents agreed that hunting near roads should be banned and supported the development of ecotourism.

The sambar deer population density was higher in September and October than earlier months, which could be related to the breeding season or seasonal movement of sambar. The frequency of use of trees by sambar was low in the upstream area of the Zhile river. Debarking frequency was highest in April and May along the Nanshi forest road, probably due to the need for calcium by sambar for the growth of antlers. Our results showed that sambar in different areas may debark for different purposes due to its physiological conditions.

Analyzing 457 D-loop sequences, we found a new D-loop haplotype this year. The total amount of D-loop haplotypes is 20 until now, and they could be further divided into two clades, the Central Mountain major clade and the Taosai-Sheipa major clade (TSSP). The newly found RUS05 haplotype might be an in-between and connecting haplotype of two major clades, and it only existed in the Taroko canyon. This result emphasized the possibility that a refuge existed in the Taroko National Park in the ice age. Besides, the divergence time between two clades was 72,500 to 83,750 years before present, which was at the Wurm ice age. The NCA analysis showed that geographic distance might cause Formosan sambar deer population to differentiate. In this study, we found that the conservation policy for Formosan sambar deer in the wild should be different from which in the past under different geographic and climatic conditions, and to develop new genetic markers with higher resolution to manage sambar deer populations in different areas is important.

In this project, fossil pollen in Lotus Pond sediments was analyzed for the estimation of past vegetation, climate and environmental variations around Taroko National Park. The preliminary study reveals that the changes of vegetation and environment took place in the past. The pollen assemblage in the sample depth 88-90 cm was characterized by *Artemisia* dominant with abundant fern spores. The percentages of tree pollen were relatively low. It is considered to derive from the relative shrinkage of pond water body and confining topography around 4,600 years ago. In contrast, numerous pollen taxa and high abundance of pollen grains in surface

sample imply that a significant change in vegetation probably correlated with a landslide event occurred about 800 years ago. An age model for the Lotus-4 core has been constructed by 3 AMS radiocarbon dates. Based on this age model, the core could be extended back to 10,000 years ago at approximately 150 cm in depth and to 20,000 years ago at 266 cm respectively, with an average sedimentation rate of 11.5 cm/ka. Thus, pollen analyses of a long sediment core recovered from Lotus Pond is indispensable in the future for gaining insight into long term historical climate and environmental variations in the National Park region.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與目標

一、緣起

2012 年度【臺灣水鹿跨域整合研究（一）】以 13 隻水鹿之衛星追蹤資料，對太魯閣國家公園奇萊山區的水鹿空間使用與棲地選擇，進行了深入研究，以自動相機初步了解南湖山區與陶塞溪流域的中大型哺乳動物概況，並收集分析了太魯閣國家公園境內，以及臺灣其他地區的水鹿遺傳樣本，進行族群遺傳親緣分析，對臺灣水鹿之遺傳分化提出可能的假說。

2013 年延續 2012 年之研究，將研究拓展至南湖山區、陶塞溪流域、與玉山國家公園楠溪林道之水鹿族群，遺傳研究部分今年進一步採集 2012 年缺乏地理連續性地區的樣本，探討兩大遺傳類群：陶塞溪中下游類群及中央山脈主要類群分布與地理間的關係，解釋遺傳分群可能原因。研究發現南湖山區、陶塞溪、楠溪林道的水鹿族群都有明顯的增加、擴散的趨勢。以自動相機資料探討水鹿的棲地選擇方式，發現在遊憩壓力較大的南湖山區，水鹿相對豐度主要受人為干擾影響，距離登山路徑、山屋越遠的位置，水鹿相對豐度越高；人為干擾壓力較小的楠溪林道資料則顯示水鹿偏向使用坡度較緩、側向遮蔽較開闊的地點。楠溪林道、南湖山區及竹村的水鹿族群密度皆高於鹿科動物對生態系產生影響的臨界值，但啃食現象侷限於楠溪林道及玉山國家公園內其他地區，顯示啃食現象並非僅與水鹿族群密度有關。未來應釐清不同地區水鹿啃食樹皮現象差異的成因，以利經營管理措施的擬定。在水鹿遺傳結構分析方面，研究結果顯示，過去陶塞雪霸主要類群族群數量相對數量皆較中央山脈主要類群少，過去族群數量擴張時間相對較晚較小。推論過去冰河時期的氣候變遷，除了導致緯度高底影響氣候回暖快慢，進而影響族群擴張時間外，在陶塞雪霸主要類群所處的高山地形，植被垂直降遷、雪線形成與陡峭地形（ $> 60^\circ$ ）等嚴苛的棲地環境因子也形成遺傳交流的阻礙，使臺灣水鹿族群形成顯著的遺傳分化。但在樣本收集、棲地利用與分布方面，雪霸國家公園的水鹿遺傳樣本量相對於其他地區少，且過去與水鹿生活史相關研究在雪霸國家公園也相對少，故增加雪霸國家公園水鹿樣本量與相關研究

實有必要。

近年在玉山國家公園境內如新康山區、觀高、郡大溪流域、楠溪林道及玉山、塔塔加等，臺灣水鹿族群擴張對森林棲地的影響已開始顯現。而在國內其他有水鹿分布的國家公園或保護區內，樹木遭水鹿啃食或磨角的跡象也有漸趨顯著的趨勢。這些水鹿啃食或磨角行為，對中、高海拔園區的森林冠層樹種的更新、徑級結構、演替方向有明顯效應。同時，森林地被層及草地植被的覆蓋度、組成、垂直結構亦受到影響，並改變森林底棲性鳥類的密度，未來可能也會影響棲息於中、高海拔區域的小獸類、中小型食肉目動物及山椒魚等的族群與群聚動態。因此，有必要全面性地了解不同國家公園內臺灣水鹿的族群密度與動態、分布範圍變化、及其對森林演替的效應，建立長期監測方法與網絡，並依其變動趨勢採取適當策略與措施。這將不僅有利於國家公園園區內臺灣水鹿的經營管理，也是保育園區內森林生物多樣性及維繫森林生態系功能的重要關鍵。

研究水鹿的空間使用與棲地選擇方式，有助於了解其與棲地之關係及分布現況，可讓管理部門能將有限的資源投在更需要被關注的區域，進而改善或有效管理棲地環境，於保育與經營管理工作上至為重要。為探討水鹿之棲地選擇與季節性移動，以架設自動相機進行研究是較為可行的方式。自動相機法雖無法像追蹤法如此直接地了解動物個體的活動，點位樣本數也較少，但其具備了其他優勢，使用此法不只能探討目標物種，其他共域的動物只要拍攝樣本數足夠，亦能同時進行分析研究。對於水鹿相關基礎研究較缺乏的雪霸國家公園進行棲地、分布與族群量估算，自動相機法提供一個經濟、有效率的研究方法。

近年來，全球衛星定位系統（Geographic positioning system, GPS）以及地理資訊系統（Geographic information system, GIS）在環境資源管理、野生動物及生物多樣性保育領域中的應用急速增加（戴等, 2011），如應用於研究野生動物行為之追蹤野生動物遷徙路線、劃定棲息範圍等。GIS/GPS 方法藉由將植被類型、海拔高度、水文、物種分布等圖層的空間套疊（overlap）技術，強化圖像整合的能力（林, 2004），可反映出自然、生物及社會各種生態過程在不同空間尺度上相互影響之結果（鍾等, 2005），例如利用 GIS 軟體的路網分析模組推估架設鐵路與公路對當地生態環境與生物多樣性的衝擊（陳, 2009），或是利用生物分布預測模

式鑑定出適合某稀有物種野放的棲地、保護區的劃設等(盧, 2008)。近年, 利用動物排遺純化 DNA 技術變得成熟, 且收集之樣本數可以明顯增加, 若能結合 GPS 與 GIS 等技術, 應可以用來回答水鹿生活史、棲地利用、族群遺傳分化與地理親緣相關問題。

水鹿於亞洲有許多亞種分布, 每個亞種的外觀形態特徵與生態習性各有差異, 隨分子生物技術之發展與進步, 可更加精準地判斷亞種遺傳特性與進一步探討亞種間的關聯性及亞種內族群的關係。過去【臺灣水鹿跨域整合研究】中, 結合遺傳與地理資訊發現臺灣水鹿在遺傳親緣關係上可分為兩大類群: 陶塞溪中下游類群與中央山脈主要類群, 顯示臺灣水鹿在末次冰河時期氣候變遷產生遺傳分化。後續除繼續增加樣本數及樣本收集區域外, 更需分析過去族群歷史變動、氣候變遷、地理空間位置與臺灣水鹿遺傳分化相關性。相對的太魯閣國家公園的古代氣候與植被研究, 亦可以提供臺灣水鹿遺傳分化原因的有力間接證據。

花粉化石研究是探索古代植物地理變遷最為直接的方法之一。植物花粉由於體積小、重量輕、產量大, 分布均勻, 常隨風飛揚形成花粉雨散落至地面, 加上花粉具有堅固的外壁, 能耐酸、耐鹼、耐壓, 很容易成為化石被保存下來的特性, 因此藉由地層中所保存的植物花粉化石, 可以追溯過去植群組合的變化歷史, 並藉由各種植物的生育習性特徵, 對古代氣候波動與環境變遷提出論證(Liew et al., 2006)。近年來學者對南湖大山圈谷及雪山主峰圈谷進行冰河遺跡的研究, 發現無論是辨認擦痕、冰坎等直接証據, 或地貌調查、以古氣候資訊為基礎的雪線重建等間接証據, 都傾向支持臺灣高山區在末次冰期 (Last glaciation) 時, 應發生過冰河。而由於冰河事件在臺灣島嶼地質史上的發生, 導致陸域生物受到此種氣候變化與植被垂直遷徙的影響, 進而發生族群數量的擴張與退縮, 影響物種多樣性及族群遺傳結構。但臺灣水鹿至今尚無相關研究。因此, 利用花粉化石研究建立蓮花池的水文變化歷史、重建蓮花池一帶的古植被紀錄與回推過去的氣候波動, 並與其他地區的資料結合, 建構太魯閣國家公園蓮花池古代氣候變遷史, 在解釋過去臺灣水鹿族群分化上, 講可以提供關鍵證據。

近年來, 學術界與政府管理單位愈來愈重視原住民傳統知識與經驗, 不但藉此獲得新的學術發現, 也有助於擬定、推動自然資源之管理與保育政策 (Sterman

and Redford, 1995; Stevens, 1997; Polfus et al., 2014)。水鹿為大型草食獸，其所具之肉、皮、角等在過去曾是原住民重要的食物來源及生活用具之原料，原民生活與水鹿息息相關。水鹿在過去數十年數量稀少，直至近年才快速回升 (Timmins et al., 2008)，相關研究約在十餘年前開始漸漸受到重視，這些年的研究成果雖已讓我們對水鹿有更多的了解，但與原住民族數百年積累的傳統知識相比，必定還有許多能夠學習之處。太魯閣族、布農族、泰雅族分別是太魯閣國家公園、玉山國家公園、雪霸國家公園鄰近地區內主要的原住民族，本研究欲整理太魯閣族、布農族、泰雅族三個原住民族對於水鹿的傳統知識，除保留這些知識外，更可望向其取經以激發更多研究面向與加強研究深度。

因此今年 (2014) 的研究目標如下：一、調查南湖山區、陶塞河流域、玉山國家公園南二段新康、觀高及雪霸國家公園志樂河流域水鹿族群密度、數量估算、食性收集與棲地生態結構變化、分布現況、棲地利用之評估；二、探討水鹿啃食樹皮的原因，利用觀測水鹿啃食頻度的季節變化分析啃食行為與水鹿生活史、水鹿降遷行為及寄生蟲生活史的關係；三、臺灣水鹿排遺樣本採集及 DNA 純化與保存；四、臺灣水鹿粒線體 DNA 控制區域序列全長增幅與分析；五、臺灣水鹿與大陸及亞洲地區之水鹿親緣關係作比較，建立生物地理分佈之關係；六、針對原住民族與水鹿共存之生態傳統知識進行蒐集整理，建立相關知識庫；七、利用花粉化石研究建立太魯閣國家公園蓮花池的水文變化歷史、重建蓮花池一帶的古植被紀錄與回推過去的氣候波動，並與其他地區的資料結合，建構北臺灣古代氣候變遷史。

二、本年度目標

1. 調查監測南湖山區、楠溪林道、八通關地區、雪東線與志樂河流域中大型哺乳動物概況與水鹿分布範圍，並利用自動相機探討水鹿的棲地選擇。
2. 訪談了解太魯閣國家公園、玉山國家公園、雪霸國家公園內之原住民關於水鹿之傳統知識與利用方式。
3. 進行雪霸國家公園志樂河流域水鹿族群密度估算、樹皮損害現況與啃食對於森林植被結構與更新影響之評估。
4. 觀測玉山國家公園楠梓仙溪林道水鹿啃食頻度的季節變化，分析啃食行為與水鹿生活史、季節的關係，以探討水鹿啃食樹皮的原因。
5. 進行太魯閣國家公園砂山、朝敦山、海鼠山樣線；玉山國家公園大分地區樣線；雪霸國家公園雪山西南峰、大劍山樣線、大鹿林道與大霸線樣線之臺灣水鹿排遺樣本採集及 DNA 純化與保存。
6. 臺灣水鹿粒線體 DNA 控制區域序列全長增幅與分析。
7. 玉山、雪霸及太魯閣等三國家公園園區內臺灣水鹿族群之遺傳親緣距離與分群分析。
8. 鑽取、分析蓮花池池中沉積物芯，建立沉積物芯的基本資料與碳十四年代測定。
9. 與大陸及亞洲地區之水鹿親緣關係作比較，建立生物地理分布之關係。

第二節 文獻探討

一、分類地位

目前世界上的鹿科動物約有 53 種，是偶蹄目動物中物種數目第二多者。早期依據掌骨構造差異，將其區分成 Plesiometacarpalia 及 Telemetacarpalia 兩大類 (Brooke, 1878)，配合地理學資料，大致上以大西洋為界，將美洲、澳洲的鹿歸於 Telemetacarpalia 類；歐洲、亞洲、與非洲的鹿則為 Plesiometacarpalia 類。而後又依據形態及地理分布將鹿科動物中的鹿亞科 (Cervinae) 及鹿亞科 (Muntiacinae) 歸於 Plesiometacarpalia 類；獐亞科 (Hydropotinae) 與美洲鹿亞科 (Odocoileinae) 則歸為 Telemetacarpalia 類 (Grubb, 1993)。近來，以分子標記多型性建構物種類緣關係之研究漸增，已有研究團隊利用粒線體與細胞核之分子遺傳標記，分析包含 15 屬 25 種鹿科動物之 DNA 序列，提供目前為止最大規模之鹿科動物類緣關係建立與分類之參考，其研究結果支持 Brooke 以形態作依據之二分法 (Gilbert et al., 2006)。在建構類緣關係後，為進一步瞭解鹿科動物演化方式，研究團隊利用分子鐘 (molecular clock) 假說，依核苷酸序列之分歧度，推算鹿科動物分歧時間，將結果與化石證據、史前氣候及地形變化比較，藉此推測出鹿科動物的起源在中新世 (Miocene) 亞洲地區，並藉重建鹿科動物祖先形態的研究，窺探新近紀 (Neocene) 在形態學及生物地質學之演化過程。

水鹿 (sambar deer, *Rusa unicolor*) 屬鹿亞科 (Cervinae)，分類上與 *Cervus timorensis* 親緣關係最近。水鹿分布於南亞及東南亞地區，東至臺灣，西至印度，南至蘇門達臘，北至中國西藏。臺灣地理位置為世界水鹿自然分布範圍之最東處，臺灣的水鹿棲地也是世界上水鹿棲地裡緯度與海拔最高的地區之一。過去學者依據形態、繁殖特徵、棲地利用與分布、行為模式、生理與遺傳等特徵，將全世界水鹿 (*Rusa unicolor*) 分為七個亞種，分別為印度水鹿 (India sambar deer)、婆羅洲水鹿 (Bornean sambar deer)、中南半島或越南水鹿 (Indiachina sambar deer)、馬來西亞水鹿 (Malayan sambar deer)、海南水鹿 (Hainan sambar deer) 與臺灣水鹿 (Formosan sambar deer)。臺灣水鹿原被歸為水鹿 (*Rusa unicolor*) 的七個亞種之一。但 Groves & Grubb (2011) 依照親緣種的概念對全世界的有蹄類動物 (Ungulate) 分類重新整理，他們依據形態、染色體核型分析及遺傳親緣

上的差異將水鹿細分成印度水鹿 (*Cervus unicolor*) 及東南亞水鹿 (*Cervus equinus*) 兩個有效種，臺灣水鹿的學名被變更為 *Cervus equinus swinhoii*，屬於東南亞水鹿的一個亞種，也是臺灣特有亞種。但該書亦指出，對於東南亞水鹿各亞種之間、亞種內族群間的親緣關係及形態上的變異，都仍需要進一步的資料釐清。因此，臺灣水鹿目前在分類學上尚有爭議，需要更多研究資料來佐證。野生臺灣水鹿目前被臺灣列為二級保育類野生動物，2012 年國際自然保育聯盟 (IUCN) 資料顯示：臺灣水鹿保育等級被列為易受威脅或影響 (vulnerable) 的物種。

二、空間使用與棲地選擇

水鹿空間使用與棲地選擇為近年對野生水鹿主要的研究之一，也是估算水鹿族群數量與擬定保育策略必須要件 (顏, 2013)。以最小凸多邊形法 (minimum convex polygon) 估算臺灣雄水鹿的年活動範圍最大可達 $1,078 \pm 501$ ha，雌水鹿平均年活動範圍為 $1,001 \pm 346$ ha。活動範圍間重疊度可高達 80.2%。日移動距離，雄鹿平均為 269 ± 90 m，最大日位移可達 6,435 m；雌鹿平均日位移為 317 ± 135 m，最大日位移可達 4,422 m，顯示其具有高移動能力，且可於一日間移動於高海拔與中海拔棲地之間 (王等, 2010；顏, 2013)。

此外亦發現奇萊山區的水鹿具有季節性遷降現象，乾冷季 (11 月至 4 月) 遷移至海拔較低地區 (平均 $2,483 \pm 406$)，偏好使用闊葉林、針闊葉混淆林、開闊地、及鐵杉林；熱濕季 (5 月至 10 月) 則上遷徙至海拔高 (平均 $2,984 \pm 222$) 的地區為主，原因可能與氣溫變化有關 (王等, 2010)，偏好使用冷杉、箭竹草原及鐵杉林。水鹿可廣泛適應各種植被類型。姜博仁 (2011) 於玉山國家公園的自動相機資料也顯示水鹿可能有此行為。

關於水鹿對棲地的選擇，李玲玲 (2003) 與林宗以 (2006) 以穿越帶糞堆估算進行探討，發現箭竹草地與溫帶針葉林鑲嵌的地景水鹿密度最高，檜木林與櫟林密度很低，利用率最高的環境是位於松林與箭竹草原交界的環境、非玉山箭竹的禾草類覆蓋度較高且樹葉類物種數較少的環境。王穎等 (2012) 以項圈追蹤水鹿的結果則顯示箭竹草生地為水鹿最偏好的環境；檜木林、裸露地、松類森林則

是相對較少使用的環境。近年棲地適合度模式 (habitat suitability modelling) 技術發展成熟, 開始被應用於水鹿分布預測上, 包括張慧玲 (2008) 預測玉山國家公園水鹿分布情形、顏士清等 (2009) 預測太魯閣國家公園水鹿分布情形, 以及 Yen et al. (2014) 預測全台水鹿分布狀況, 發現全臺灣約有 7,865 km² 適合水鹿的棲地, 但其中有很多仍無水鹿棲息, 與道路距離越遠與海拔越高之地區, 水鹿的棲地適合度就越高。

三、生物地理學與地理親緣學的發展

生物地理學被定義為研究生物地理分布模式之科學 (Pasoda et al., 2006)。生物本身與其棲地的分布往往並非隨機, 而是過去族群歷史事件 (如: 種化、遷徙、隔離分化等) 或生物與生態環境交互影響下產生的結果。因此, 傳統的生物地理學檢視記錄古代和現生生物的分布, 而近代生物地理學的研究目標, 則擴展到基因、族群、生態系等不同層次的生物多樣性在時空上分布的格局, 並以地質歷史事件 (板塊移動、冰河期) 或生態因素 (棲地分布、食性) 去解釋此時空分布模式產生的原因與過程。生物地理學是生物學與地球物理學 (Geophysics) 研究成果的交集, 構成了人類學、生態學、植物學、動物學、博物學、族群遺傳學、或系統發生學研究中資訊分析的重要環節之一 (Avice, 2004)。由於研究者擁有不同領域的科學背景, 生物地理學的方法與理論假設上也常因學說而異, 有不同的偏好與詮釋, 例如生態地理學 (Ecogeography) 傾向於強調當代、自然非人為的環境選拔對生物性狀的地理分布產生何等影響, 而親緣地理學 (Phylogeography) 則著重於地質歷史因素如何影響遺傳系譜的地理分布格局 (Avice, 1998)。

親緣地理學為生物地理學的分支學科 (Subdiscipline), 探討種內 (intraspecific) 或近緣物種間所構成之遺傳系譜 (lineage) 在地理空間上的分布, 並關注各種因素如何影響系譜分布的原理與過程 (Avice, 1998)。傳統的生物地理學研究層次通常是在科、屬等較高階的分類, 並以生物的形態特徵或化石作為分群的依據。而親緣地理學在關注的分類層次上則強調同種個體或同種族群間的遺傳差異, 以及族群間如何透過系譜的建構, 追溯其共同起源產生的歷史。一般而言, 親緣地理學的研究會先透過分子標記檢視遺傳變異, 然後再進一步建構與解釋遺傳系譜的分佈模式, 因此進行研究需要的不只是分子遺傳學, 還有族群遺

傳學、親緣學、族群統計學 (demography)、生態學、歷史地質學的基礎概念，使得親緣地理學也常被視為一個綜合學科 (integrative discipline)。在探討系譜的分布模式時，考慮到生物的遺傳變異是經由長期演化所產生，親緣地理學通常會試圖區分當下自然環境因子與過去歷史地質事件的影響，以求更精確地去剖析不同時空下物種的演化或族群的遺傳交流情形。同時，藉由比較同一地理區域中，其他物種的遺傳系譜分布模式與研究物種之同異處，也可推論研究物種是否遭遇同樣的族群地質歷史事件。親緣地理學可說是連接族群遺傳 (微演化, microevolution) 與親緣生物學 (宏觀演化, macroevolution) 間的橋樑，分子與族群是兩個不同層次的親緣關係，在研究上不可混為一談，但兩者之間實際存有關聯，因此藉由統計族群特定交替基因在世代間傳遞路徑的分布，能使無法直接檢視的族群親緣關係被數據化 (Awise and Wollenberg, 1997) 進行分析。

早期的族群遺傳學著重於演化造成的生物改變 (型態、行為等)，然而隨著分子遺傳技術的進步，獲得的現生與古生物生物的 DNA 序列資料逐漸累積，族群遺傳學開始透過個體序列的變異，推論共同祖先的基因型、過去族群數量的變動、與發生過的演化事件。這種利用現存生物世系 (descent) 回溯至共同祖先 (common ancestor) 的想法，即為溯祖理論 (coalescent theory) 的概念。溯祖理論的原理是，兩個族群不論在遺傳系譜上是否具有明顯分歧，它們都可追溯回過去的某段歷史中的同一個祖先。以母系遺傳血系 (matrilie) 為例，當世代交替間個體不重疊、個體符合隨機交配原則，且雌性個體產下具遺傳能力之雌性後代的機率為獨立事件，符合卜瓦松分布 (Poisson distribution) (Awise et al., 1984)，則在不考慮突變、遷移、以及選拔等其他影響的狀況下，由於個體得到後代的機率小於 1 (個體產下雌性後代個體數可能為零)，且同一個體要產下越多雌性後代個體的機率會越來越小，隨著世代累積，即使數量族群保持穩定，在經過一百次世代交替之後，僅有最初 2% 的母系基因型能被保留下來，其餘的 98% 母系所攜帶的基因型則在此基因漂變的過程中從基因池 (gene pool) 中消失。根據這樣的統計結果，可以反推出所有後代個體的基因型最後將來自於單一共同祖先的結論，同時，這個過程也說明了族群的歷史數量波動 (historical demographic)，也就是過去每個家族所產下的後代數量平均值與差異值，將會影響族群的遺傳系譜 (Awise, 2009)。因此我們也能利用統計方法，從遺傳系譜去推測族群數量的歷

史數量波動。同時，溯祖理論也勢必考慮到族群的空間結構 (Spatial structure)，因為擴散障礙 (dispersal barrier) 的存在時間長短，跟族群的歷史數量波動一樣會影響系譜的構成模式。尤其是針對擴散能力 (vagility) 受到限制的生物族群。族群之間的距離會導致這些族群的交流受到一定程度的限制，此外，物理性的障礙，例如河流之於陸棲 (terrestrial) 物種，或高山之於低海拔物種，也會增加對族群擴散的限制。有些障礙仍允許一部分的基因交流，但除此之外的障礙則阻斷了族群在演化過程中後續的任何基因交流。屬於後者的地理分隔事件 (Vicariant event)，會導致進行溯祖分析時，最近共同祖先 (the most recent common ancestor, MRCA) 出現在地理分隔產生的時間點之後 (Avise, 2009)。障礙對系譜的影響反映在親緣關係樹的結構上：當某一呈隨機交配的族群遭遇地理分隔，被分為 A 族群和 B 族群後，最初 A 族群的某些個體可能與 B 族群的某些個體屬於同支群 (clade)，B 群反之亦然，此時整個系譜 (包含兩個族群) 呈現多系群 (polyphyletic)。數個(視族群大小決定)世代交替之後，支系排序 (lineage sorting) 使得 A 族群間呈現並系群 (paraphyletic)，即 A 族群的部份個體與 B 族群屬於同支群 (clade)，而 B 族群的所有個體皆屬於同一支群。當地理分隔延續存在，更多個世代交替，支系排序最後會導致 A 族群和 B 族群的個體分別完全屬於各自的支群，兩個族群相互為單系群 (monophyletic)。如果單系群的族群不再和其他族群進行基因交流，則有可能進一步形成新種。但如果地理分隔消失或其他因素使分隔的族群間二次接觸 (secondary contact)，則該族群又會恢復為並系群或多系群 (Avise, 2000)。總而言之，系譜的構成是一個動態的演化過程，同時受到族群數量波動和地理分隔事件的影響 (Avise, 2009)。

地理親緣學此一學術名詞在 1987 年 (Avise et al., 1987) 被造出，之後其在演化遺傳學的文獻中被使用的次數快速成長，到 1996 年為止，至少有 130 篇以上的發表文章在標題或索引關鍵字中採用了 phylogeography 一詞，許多未被發表的研究也以此作為主題 (Avise, 1998)。1990 年後，開始有許多親緣地理學研究使用粒線體 DNA 作為研究工具。然而，考慮到從母系的遺傳系譜無法獲得有性繁殖生物系譜的完整遺傳資訊，形態或行為上的研究在親緣地理學中研究中依舊是被接受的。

四、臺灣氣候變遷、冰河時期雪線與植被降遷

臺灣島雖位於熱帶與亞熱帶（北緯 22 度至 25 度間），而從全球視野觀點，研究熱帶與亞熱帶氣候變遷驅使因素是重要的。在多次冰河時期（glacial period）均藉陸橋（landbridge, Sundaland）與亞洲大陸連接，陸生生物因此而能有機會與亞洲大陸交流；但在間冰期（Interglacial period）形成臺灣海峽，生活於臺灣的生物因此有機會獨立演化，甚至產生分化。臺灣面積約 35,980 平方公里，但全島確有 268 座海拔超過 3,000 公尺高山，佔全島面積約 0.9%；2,000 公尺高山約佔全島 10.3%。3,000 公尺高山大多座落在臺灣北部（1/6 太魯閣國家公園與雪霸國家公園）即占 27+19 座。利用海洋氧同位素 18 推測在 MIS4（marine isotope stage），臺灣北部山區冰川雪線高度介於 3,200 m 至 3,400 m 間；南部山區（玉山國家公園）雪線介於 3,400 m 至 3,600 m 間。在 MIS2（末次冰期晚期），全島雪線高度介於 3,400 m 至 3,600 m 間（Ono and Naruse, 1997）。Bose（2000）利用航空照片與谷地縱剖面推測，臺灣末次冰期雪線高度約在 3,100 m 至 3,400 m 間。另外，利用冰磧剖面位置，推測末次冰期雪線在南湖山區曾降至 2,775 m 至 3,195 m 間，在 MIS3/4 間，雪線降至 3,050 m 以下（Hebenstreit et al., 2006）。氣候變遷導致雪線下降，進而影響植被在山區的分布。

臺灣島的高山是否存在冰河遺跡，過去學術界的論點正反兩方皆有，近年來學者對南湖大山圈谷（朱, 2002）及雪山主峰圈谷（楊, 2000）進行冰河遺跡的研究，發現無論是辨認擦痕、冰坎等直接證據，或地貌調查、以古氣候資訊為基礎的雪線重建等間接證據，都傾向支持臺灣高山區在末次冰期（Last Glaciation）時，應發生過冰河。而由於冰河事件在臺灣島嶼地質史上的發生，導致陸域生物受到此種氣候變化的影響，進而發生族群數量的擴張與退縮，影響物種多樣性及族群遺傳結構（黃, 2011）。除了島內，亞洲大陸的地質事件亦造成長鬃山羊屬內物種的遷徙，進而分歧演化，過去學者從化石資料的比對提出臺灣長鬃山羊是於更新世冰河期由華南、臺灣海峽，或經由華北、東海遷徙到臺灣，而後演化成臺灣之特有亞種的假說（賴, 1989）。臺灣水鹿至今尚無相關研究。

利用日月潭（altitude 750 m）泥沼沈積物中 *Allnus* 花粉研究，發現在 5-6 萬年前，發現含有 boreal conifer 與 pine 的花粉，顯示溫度下降約 8-11°C。距今 1-5

萬年前，日月潭也是充滿適低溫植物 (Tsukada, 1967)。劉平妹 (Liew et al., 2006)，利用頭社盆地 (Toushe Basin, 650 m above sea level) 花粉，研究過去 96,000 年來臺灣中部氣候變化，估計臺灣最大林線 (maximum ecotone migration) (Tsuga-Picea Zone/Upper Quercus Zone) 最少大於 1,000 公尺，甚至到達 1,500 公尺；MIS4 溫度約低於現在的 8-10°C。

五、遺傳標記--粒線體 DNA

粒線體 DNA (mitochondrial DNA) 是演化早期變形菌門 (proteobacterium) 細菌與真核細胞 (pre-eukaryotic cell) 共生結合後，在漫長的演化過程中所形成一般大小約為 17,000 個鹼基，由 37 個基因組成的環狀 DNA。其中有 2 個基因編碼成 rRNA (ribosomal RNAs)，另外 22 個基因形成 tRNA 中不同的分子 (transfer RNA molecules)，剩下的 13 個基因，則與細胞核編碼的多肽鏈一起構成在電子傳遞與氧化磷酸化作用的路徑中協助細胞能量產生的分子。粒線體 DNA 中亦包含了一段 D-loop 序列，為粒線體 DNA 的複製起始位置，但複製過程與整個細胞分裂並非同步，而且較為頻繁，一個生殖細胞或體細胞通常含有數百到數千個粒線體。動物的粒線體 DNA 在結構上極有效率，不像核 DNA (nuclear genomes) 含有內含子或長片段的非編碼區域，複製所需時間也較短，因此在細胞世代之間的選拔強度比核 DNA 更高。基於其在動物細胞的重要性和在結構上展現的高效率性，粒線體 DNA 原本被分子生物學家推測會有演相對較低的核苷酸演化速率。但 Brown 等人在 1979 年發表的研究卻指出粒線體的 DNA 演化速率反而比核 DNA 高上數倍，而造成此結果的可能原因是 (1) 粒線體的 DNA 修復 (DNA repair) 機制效率較核 DNA 低；(2) 粒線體 DNA 沒有和組蛋白 (histone protein) 結合，且暴露在粒線體此高含氧量的胞器中使 DNA 受損機率增高；(3) 粒線體 DNA 的核苷酸僅會編碼成少數幾種多肽鏈 (polypeptides)，粒線體所含基因所表現的蛋白質也不會直接作用於粒線體的複製、轉錄、轉譯作用，使得粒線體 DNA 的突變較不會受到功能性的限制。快速的演化速率，使得序列在物種間具有高度的變異，因此粒線體 DNA 才可作為親緣關係所使用的分子標記。

粒線體 DNA 的另一特性是母性遺傳，受精卵的細胞質大部分源於卵子，因此受精卵主要會接受母方的粒線體。個體繼承母方的粒線體單套 DNA 時，不像

核 DNA 會受重組作用影響，通常遺傳變異僅來自於核苷酸的突變。由於粒線體 DNA 演化快速，同一物種內同時會擁有許多種不同的線體 DNA 基因單套型 (haplotype)。然而，同一個體中的不同粒線體通常具同質性 (homoplasmy)，擁有相同的核苷酸序列。這可能是因為在減數分裂的過程中，原本細胞中多套數的粒線體經歷了瓶頸效應 (bottle neck)，僅有相對極小的一部分透過生殖細胞傳遞給受精卵，也因此世代交替間造成了遺傳漂變 (genetic drift)，使得個體的粒線體由異質性 (heteroplasmy) 趨向同質性。個體通常擁有專一的粒線體 DNA 基因單套型，在遺傳親緣學的研究中是一個非常重要的前提 (Avice, 2009)。

第二章 研究方法

第一節 研究地區

太魯閣國家公園位於花蓮、臺中及南投三縣境內，其範圍以立霧溪流域、中部東西橫貫公路沿線及其外圍山區為主，面積共約 92,000 ha。高海拔地區植物相以高山針葉林、玉山箭竹矮灌叢等類群為主，林線以上具有大面積的高山草原，中海拔地區植物相極為豐富，以闊葉林及針闊葉混淆林為主（楊遠波及徐國士 2004）。本年度研究主要在南湖山區進行，南湖山區位於中央山脈主稜，年均溫為 7.7 °C，冬季一、二月間溫度常在 0 °C 以下，年雨量在 2,000 mm 以上，夏季多雨，冬季較乾，並可能積雪。

玉山國家公園地跨嘉義、南投、高雄、花蓮四縣市，面積 105,490 ha，本次研究在玉山國家公園西部的楠溪林道與八通關地區進行。楠溪林道總長 34.3 km，起始點位於東埔山莊停車場，由此至塔塔加登山口（2.8 k，海拔 2,610 m）為遊憩區。塔塔加登山口至楠溪橋（14 k，海拔約 1700 m）為一般管制區。由楠溪橋至林道終點梅蘭鞍部，則由行政院於 2008 年 1 月 16 日核定為生態保護區。目前車輛僅能通行至楠溪保育站（11.2 k）。緊鄰生態保護區的林道 7-14 k 區段歷經伐木及造林，目前散佈著人造松林、檜木林、原生的臺灣赤楊林、常綠闊葉林，而形成多種樣貌的森林型態，國家公園設立後已進入自然演替的過程（楊國禎等 2010）。楠溪林道內有大面積的紅檜造林地，且近年間開始出現水鹿啃食痕跡（林務局嘉義林區管理處，私人通訊）。八通關地區為熱門登山路線八大秀馬、南二段、馬博橫斷的前兩日行程，入口處為東埔部落，依據林良恭等（2009）的調查顯示本區潛在原生植被以大葉石櫟、紅檜及鐵杉等林型為主，而在伐木過後的地區則以台灣赤楊及台灣二葉松等林型為主，整體植被處於伐林停止後的持續演替階段。

雪霸國家公園橫跨新竹縣、苗栗縣、臺中市等三縣市，其涵蓋範圍從北邊的樂山到邊吉岩山之稜線為界，到南邊的宇羅尾山和大甲溪中游，面積共約 76,850 ha。本年度研究在志樂溪上游流域進行，志樂溪為大甲溪之支流緣起雪山翠池附近，下至大甲溪德基會合。本次研究範圍從三六九山莊起，向西邊延伸至雪山西稜登山路線的火石山營地與大小劍登山路線的完美谷營地，海拔約從 3100 至

3600m，植物相以針葉樹種與箭竹灌叢為主。

第二節 研究方法

一、水鹿及主要共域動物之調查

(一)、應用自動相機調查太魯閣國家公園南湖山區、玉山國家公園楠溪林道與八通關地區、雪霸國家公園雪東線至志樂溪之水鹿及其他中大型哺乳動物族群狀態，以拍攝張數與 OI 值呈現結果，檢視水鹿及其他中大型哺乳動物相對豐度(表 2-1)。

前一年度(2013 年)之研究計畫曾於南湖地區架設 36 個相機站(其中 3 站相機故障)，本年度在南湖山區新增 12 個相機站(圖 2-1)，在楠溪林道則沿用去年秋季架設的 6 個相機站(圖 2-2)，另增加玉山國家公園八通關地區及雪霸國家公園雪東線至志樂溪流域兩地架設相機進行研究，八通關地區的調查路線自東埔登山口經對關、觀高、至八通關草原共約 16.8 公里，共設置 9 台相機(圖 2-3)，雪東線至志樂溪流域的路線自武陵農場登山口經七卡山莊、369 山莊、雪山主峰、翠池，再到火石山下營地志樂溪源頭附近，共約 12 公里，設置 9 台相機(圖 2-4、2-5)。相機的分布以系統性取樣為原則，根據 TWD97 座標系統之地圖，路徑上經過的每一個方格(1 km²)架設 1 台自動相機，新增之兩區各使用 9 台相機，並於今年中曾回收一次資料及更換相機位置(更換位置後的資料目前尚未回收)，各相機站更換地點選擇在同方格但距離 100 m 以上之處。

以自動相機獲得的資料，計算各相機、各區域所拍攝的水鹿照片總數及 OI (occurrence index) (裴家騏及姜博仁 2002)，以 OI 代表相對豐度，計算 OI 是將相機資料標準化的方法，OI 值即平均每一千小時所能攝得的目標動物照片數量。若在半小時內，連續拍得同種動物，且無法區別個體時，將之視為同一筆記錄；而同一張照片若記錄有一隻以上的個體或一種以上的動物，則每隻個體均視為單一筆記錄(除台灣獼猴以群為單位)。

(二)、以沿線調查法調查前述三個地區及雪霸國家公園之大鹿林道、聖稜線水鹿族群分布狀態(圖 2-5)，調查路線即登山路徑、營地周遭、以及架設自動相機時所行走之偏離登山路徑的區域，記錄水鹿的目擊、聲音、或是各種痕跡，再輔以各自動相機站之水鹿拍攝紀錄，推估目前水鹿分布範圍的大致界線，以作為長期監測的參考。此外並沿路調查各種狩獵痕跡，以初步了解研究樣區目前所受之狩

獵壓力。

二、水鹿棲地選擇研究

架設相機時，研究人員會測量相機位置之微棲地環境因子，並利用地理資訊系統分析其他環境因子，以進行後續棲地選擇分析。環境因子包括：1.坡度，以坡度計現場測量；2.樹冠層遮蔽度，使用 Spherical densiometer 測量；3.側向開闊度，測量方式為一名研究人員身穿顏色鮮豔之衣服（移動者），朝一個方向直直前進，另一名研究人員則站在相機處觀察（觀察者），計算移動者消失於觀察者視線的距離，移動者將行走東、西、南、北四個方向，再計算平均距離（Masse and Cote 2009），數值越大代表側向視野越開闊；4.與水源距離，與動物對水的需求有關；5.與公路距離，距公路越近，受到狩獵壓力或其他人為干擾的可能性就越大；6.與登山路徑距離，距登山路徑越近則人為干擾越大；7.與最近之山屋距離，山屋為登山客聚集之地，可能產生較大的人為干擾使動物不願靠近，但廚餘、排泄物則可能吸引動物靠近。其中楠溪林道非一般登山路線，因此分析時不納入與登山路徑距離、與最近山屋距離兩項環境因子。

棲地選擇的分析，以 Pearson correlation 分析南湖山區各相機點水鹿 OI 與該點各環境因子之相關性，另外三個地區則因為樣本數較少，以 Spearman rank correlation 分析其相關性，南湖山區與楠溪林道的分析均加入前一年度的相機資料以獲得更可靠結果。對於樣本數較多的南湖山區資料，參考賴玉菁（2005）使用的方法，先以前述分析之 R^2 值及顯著性篩選出較能影響 OI 的環境因子，再以多變數逐步迴歸分析，建立本種相對豐度（OI）與環境因子之關係。

共域的草食獸可能會互相競爭食物資源(Brunjes et al. 2006; Whitney et al. 2011)，體型的差異常決定了競爭能力的強弱，體型較小的物種會傾向避開體型較大的物種，但體型較小的物種也可能有較強的環境適應性(Jiang et al. 2010)，因此我們以線性回歸比較三種較常見的大型草食偶蹄目動物(水鹿、山羊、山羌)之 OI(Kelly and Holub 2008)，以探討其是否存在競爭、迴避的情形。

三、原住民傳統知識收集

關於原住民傳統知識的收集，主要選擇於國家公園附近之地區，如太魯閣國

家公園選擇花蓮縣秀林鄉之原住民村落、於玉山國家公園選擇花蓮縣卓溪鄉與南投縣信義鄉之原住民村落、於雪霸國家公園選擇苗栗縣泰安鄉與宜蘭縣大同鄉之原住民村落，進行訪查。另亦視情況選擇其他地區之原住民進行資料收集或實地訪查，以為比較。資料的收集採質性方法，透過深度訪談，探索受訪者關於水鹿的認知與知識，主要面向包括 1. 近數十年水鹿之族群動態(分布、數量)、2. 狩獵方式與狩獵情形、3. 對水鹿之各種利用方式、4. 水鹿生態習性、5. 其他水鹿相關知識。訪查的對象主要針對資深獵人，以非隨機取樣的滾雪球法獲得樣本。訪談的進行，將同時採取開放性回答 (open-ended)、一問一答 (closed) 的方式，由研究人員使用列有關鍵問題的問卷 (附錄 1)，面對面與受訪者對談。訪談時間與次數則視現場狀況與需求而定。

四、水鹿族群密度估算

參考范震華 (2012) 所建立之水鹿族群密度估算方法並稍做修改，於雪霸國家公園志樂河流域上游區域、翠池、完美谷營地、玉山國家公園楠梓仙溪林道及其他可能有水鹿出現之區域選擇適當樣區 (圖 2-6、2-7)，架設紅外線自動相機估算水鹿族群密度。拍攝時間為計畫全程。

相機之架設原則上將採棋盤方格式，相鄰兩相機之間的距離原則上應大於 100 公尺，但視局部地形、獸徑、水池等狀況調整位置。水鹿個體辨識將採用型態上的自然特徵，例如角況、鹿角特徵、耳殼缺刻、毛色、體態等。辨識個體之後以軟體 CARE2 估算水鹿族群密度，將估計每個月的水鹿族群量，而非全年之水鹿族群量。由於本研究以相機“捕捉”水鹿，但相機對於水鹿並沒有明顯影響，故 M_b 模式並不適用，因此僅考慮 M_h 、 M_t 與 M_{th} 模式。而在 M_h 、 M_t 與 M_{th} 模式下各種運算方法中，以 M_h (JK1)(The first-order Jackknife)的平均標準誤最小 (見結果)，因此之後每個月的族群估算都統一採用 M_h (JK1) 的結果。因為自動相機的拍攝並不影響動物的自然行為表現，有效照片數應不受性別與年齡的影響，因此有效照片比例可代表族群中實際的性別與年齡比例。估算密度所需之有效面積的數值以自動照相機所涵蓋的最小凸多邊形面積為計算基準，再向外延伸台灣水鹿平均最大移動距離的一半作為緩衝區。本次研究分別計算從博可爾草原至火石山營地 (之後簡稱火石山) 及從翠池山屋至完美谷營地 (之後簡稱完美谷) 兩條樣線的

水鹿族群密度，火石山相機所涵蓋的最小凸多邊形面積為 0.13km^2 ，而完美谷相機所涵蓋的最小凸多邊形面積為 0.9km^2 。為了避免因樣區面積較小而低估最大移動距離，本研究參考王穎等（2010）無線電追蹤結果所提出的成年雄鹿 8 月活動範圍 8.71km^2 的 $1/2$ 做為緩衝區面積，則火石山與完美谷的有效面積分別為 4.485km^2 與 5.225km^2 (圖 3-2)。

五、森林冠層樹種受到台灣水鹿啃食或磨角損害現況調查

參考翁國精等（2009，2010）所採用之方法，於雪霸國家公園志樂溪流域上游區域選取 6 個相機樣點為輻射穿越帶中心。每個輻射穿越帶中心樣點均距離至少 100 公尺以上，隨機選取第一條穿越帶的行進方向角度，之後進行 3 條長 50 公尺，寬 10 公尺之穿越帶調查，兩條相鄰的穿越帶之間夾角為 120 度。於穿越帶中記錄所有樹種（包含冠層樹種及地被灌木樹種）之種類、數量、胸高直徑等級（分為 5 公分以下、5-20 公分及 20 公分以上等 3 個等級）、水鹿啃食或磨角痕跡、存活狀況等資料。地被植物則於 3 條穿越帶內適當地點各選取 1 個 5 公尺 × 5 公尺的灌木樣方及 2 個 1 公尺 × 1 公尺草本層樣方，灌木樣方分別記錄灌木或幼樹（高度大於 30 公分）及幼苗（高度小於 30 公分）種類、數量、高度、總覆蓋度；草本樣方則記錄禾草類、闊葉草類及蕨類的高度、覆蓋度及總覆蓋度。

各樣點以出現指數（occurrence index，OI 值，裴家騏 1998）作為水鹿族群相對豐富度指標，以評估水鹿出現指數跟森林植被遭水鹿啃食樹皮或磨角痕跡比例的關係。

六、台灣水鹿對於森林植被結構與更新影響之評估

整合第 3 項之輻射穿越帶調查法的調查結果，依胸高直徑等級（分為 5 公分以下、5-20 公分及 20 公分以上等 3 個等級），記錄穿越帶內胸高直徑大於 1 公分的樹木種類、胸高直徑、是否被啃食樹皮、磨角、樹皮受損等級、是否死亡及痕跡新舊等資訊。樹皮受損等級以目視判識，並依樹皮受損周長佔樹幹周長百分比分成 6 個等級，無受損記錄為 0，當受損周長佔樹幹周長在 25% 以下記錄為 1、25-50% 記錄為 2、50-75% 記錄為 3、75% 以上但未環剝記錄為 4，樹幹被環剝記錄為 5。並參考翁國精等（2009）之判斷方式來確認痕跡種類及是否為水鹿所造

成。統計各樹種不同徑級之樹木遭水鹿損害之狀況，並比較每種樹種之原始徑級分佈（包含所有死亡及存活個體）、受水鹿損害之個體徑級分佈（包含死亡及存活個體）、受水鹿損害並死亡之個體徑級分佈，及存活個體之徑級分佈，以瞭解水鹿造成之損害是否改變森林植被結構或影響森林更新。

七、水鹿啃食頻度的季節變化

由於楠溪林道的水鹿啃食現象為近幾年才開始發生，且主要發生於紅檜人造林中，許多林木仍未被啃食，易於追蹤新啃食痕跡的出現時間，為了避免水鹿對樹種的偏好影響啃食頻度變化，因此僅選擇紅檜造林地進行啃食頻度調查。本計畫於楠溪林道的紅檜人造林中以蘭花牌標記 1000 棵紅檜，每月調查發現新啃食痕跡時，以橘色蠟筆沿傷口周圍進行標記(圖 2-8)，以免日後重複計數，並計算新啃食傷口數量及測量面積。由於紅檜樹皮較脆弱，啃食傷口大致呈長條(圖 2-9)，因此面積是以傷口最長及最寬處相乘取得。啃食速率以三種方式呈現，分別以啃食痕跡數 (Debarking signs)、傷口面積 (Debarked area) 或啃食棵數 (Debarked trees) 除以兩次調查之間相隔的天數。

另於楠溪林道 7k 至 12k 沿線，選擇林道外具有水鹿痕跡或獸徑交會處，架設 14 台自動相機。所使用的自動相機廠牌型號包括了 Reconyx HC500(9 台)、Reconyx PC800(1 台)及 Bushnell Trophy Cam (4 台)三種型號。每月定期回收相機記憶卡，分析收集之照片，計算出現指數(Occurrence Index)、同時也會以軟體 CARE2 估算每個月水鹿的族群數量，以了解水鹿活動頻度與族群數量是否與啃食頻度相關。

八、臺灣水鹿遺傳樣本收集、保存與序列分析

1. 樣本收集

2014 年遺傳樣本採集以下列樣區為主：太魯閣國家公園砂山、朝敦山、海鼠山樣線；玉山國家公園大分地區樣線。雪霸國家公園雪山西南峰、大劍山樣線、大鹿林道與大霸線樣線之台灣水鹿排遺樣本採集。至期末報告前，已收集太魯閣國家公園砂山 4 樣本、海鼠山樣線 5 樣本，並增加奇萊山樣線至 57 樣本，磐石山樣線至 18 樣本；雪霸國家公園大鹿林道東線 61 樣本、大劍山 4 樣本；玉山國

家公園八通關古道增加為 80 樣本。所有樣本皆以 GPS 定位，數位相機拍照存證。樣本回研究室後以 70% 酒精於 -80°C 下保存。

2. 臺灣水鹿排遺粒線體 DNA 抽取

排遺 DNA 萃取分兩階段進行，第一階段為樣本淨化處理及 DNA 初步萃取，第二階段則利用套組抽取及純化 DNA。在第一階段，由於排遺樣本所含雜質及粗纖維多，取約 1~2 g 排遺先以 5 mL 酒精 (MERCK, Germany) 及 5 mL 含 1 mM EDTA (SIGMA, USA) 之緩衝液清洗，離心分離雜質後，以 CTAB 溶液 (MERCK, Germany) 及 phenol/chloroform/isoamyl alcohol 混合液 (25:24:1, SIGMA, USA) 進行 DNA 初步萃取，而後進入第二階段由 QIAamp spin column (QIAGEN, USA) 純化 DNA。

將上述混和液加入 QIAamp spin column 後以 $6,000 \times g$ 離心後去過濾液，再加入剩餘混合液，重複上述步驟， $8,000 \text{ rpm}$ 1 分鐘。以 AW1 緩衝液， 8000 rpm 離心 1 分鐘，清洗 column，再加入 AW2 緩衝液，以 $20,000 \times g$ (14000 rpm) 離心 3 分鐘，清洗 column 並去過濾液後換上新的 1.5 ml 微量離心管，加入 AE 緩衝液或去離子水，以 $8,000 \text{ rpm}$ 室溫下離心 1 分鐘，收集過濾液 (沖出液)，以光譜儀檢測 DNA 濃度並經瓊脂膠檢測 DNA 大小及品質。

3. 聚合酶鏈鎖反應 (Polymerase chain reaction, PCR) 擴增 DNA 片段

臺灣水鹿粒線體 D-loop 與 cytochrome b DNA 片段擴增：根據文獻與 NCBI Genbank 上發表之序列 (accession number: NC008414) 設計 2 對引子，每對引子擴增產物長度預計分別約為 1,256 bp 與 1,301bp。擴增臺灣水鹿粒線體控制區 DNA 序列 PCR 反應條件為 50 μL 反應體積，粒線體 DNA 模板、50 mM KCl、10 mM Tris-HCl (pH 8.3)、0.5 mM MgCl_2 、0.2 μM 引子、100 μM dNTP 以及 1 unit Taq 聚合酶。作用條件： 94°C 反應 4 分鐘，接著 94°C 反應 1 分鐘， 60°C 反應 1 分鐘以及 72°C 反應 1.5 分鐘共 28 個循環，最後 72°C 反應 10 分鐘結束作用。PCR 產物在 1.2 % 瓊脂膠體/1x TBE 條件下分析結果。

4. 粒線體控制區 (D-loop) DNA 全長序列分析

DNA 序列分析則以 forward 以及 reverse 兩種引子，雙邊同時進行作用，並以 ABI PRISM™ Dye Terminator Cycle Sequence Kit (Applied Biosystems Division, Perkin-Elmer Cetus) 標定並經 3730 DNA 序列分析儀 (ABI) 分析其 DNA 序列。

5. 粒線體 DNA 序列多態性、遺傳距離、遺傳分化 (genetic differentiation)、與親緣關係資料分析

臺灣水鹿粒線體 D-loop 與 cytochrome b DNA 序列的比對與粒線體 DNA 序列多態性分析則使用 MegAlign multiple alignment 軟體 (DNASTAR Inc.) 進行比對。利用 Jotun Hein Method (Hein, 1990) 將不同序列共同進行排序比對，從中尋找核苷酸變異位置，作為單套型判定與特徵序列辨別之用。個別水鹿之間 D-loop 或 cytochrome b 序列的遺傳距離 (pairwise distance) 則使用 DNA Sequence Polymorphism (DNASP) 軟體進行分析計算 (Librado and Rozas, 2009)。親緣關係樹 (phylogenetic tree) 之建立係根據最大似然法 (Maximum likelihood, ML) (Felsenstein, 2006)。經使用 PHYLIP 套裝程式 [PHYLIP 3.6: Phylogeny Inference Package. University of Washington, Seattle, WA 及 PHYLIP Version 3.66 Executables for PowerMac. University of Washington, Seattle, WA] 計算後而構築。總體 F 統計值 (F-statistic) 計算及族群間 F_{ST} 值 (分化指數) 計算使用 Genepop Version 4 軟體 (Raymond and Rousset, 1995)。

Neighbor-Joining (NJ)、ML 以 MEGA5.0 (Molecular evolutionary genetics analysis) 軟體繪製單基因型之間的親緣關係樹。同時，進行 1000 次靴帶式 (Bootstrap) 重覆計算親緣關係樹上各分歧點的可信度 (Bootstrap value)，Bootstrap value 大於 75% 者表示該分歧有約 95% 的可信度。

Bayesian Inference (BI) 以 Markov chain Monte Carlo (MCMC) 方法進行運算，結合最適演化模型，並以後機率值 (Posterior Probability, PP) 表示各分歧的支持度。設定 1×10^7 世代 (Generations) 進行運算，每 1,000 世代模擬樹取樣一次。取樣結果將前 10% 的取樣樹 (Likelihood 計算尚未達到穩定的取樣樹) 去除 (Burn-in)，剩餘的結果合併後產生共識樹 (Consensus tree)。

關於臺灣水鹿演化上的分歧時間估算，則參考 Douzery and Randi (1997) 所發表之數據，以 $r = 0.4 - 0.8 \times 10^{-7}$ (nucleotide substitutions/site/year) 作為粒線體核苷酸序列發生變異的速率，代入公式 $T = \frac{K}{2r}$ ，以推測不同水鹿族群在演化上出現分歧之可能時間。歷史族群波動分析利用 DnaSP 軟體 Tajima's D test (Tajima, 1989) 及 Fu's F_s test (Fu, 1997) 進行中性檢測 (Neutrality test) 分析，以確定遺傳變異中的遺傳標記是否不受汰擇 (Selection) 的影響而呈現中性。另外，以 DnaSP

軟體 Constant population size model 進行族群內兩兩個體間的核苷酸變異分布 (Mismatch distribution)，以族群內的遺傳多樣性資料，推估族群大小變動之歷史。在過去歷史族群波動分析，以 BEAST 軟體進行 MCMC 方法運算，結合以 jModeltest 0.1.1 軟體以 Akaike information criterion (AIC) 選擇最適合的序列演化模型，以偶蹄目粒線體基因每百萬年 2% 的核苷酸置速率設定 1×10^7 世代 (Generations) 的取樣，每 1,000 世代取樣一次，將前 10% 取樣捨棄。最後以 TRACER ver.1.3 進行貝葉氏天際線點圖之繪製。地理親緣網狀圖之建構，以 ANeCAv 1.2 軟體進行 NCA (Nested Clade Phylogeography Analysis) 建構。TCS 1.2 軟體以基因單套型間的核苷酸差異建構網路分析圖。並計算 clade distance (Dc) 與 nested clade distance (Dn) 是否達統計上的顯著標準後，再以檢索表 (Inference key) 解釋各階層可能歷經的遺傳演化歷史事件。

九、鑽取、分析蓮花池池中沉積物芯，建立沉積物芯的基本資料與碳十四年代測定

一般而言，花粉分析最理想的研究對象是湖泊沉積物，原因是湖泊具有相對恆定的堆積條件，沉積連續，分辨率高，其中所包含的花粉化石也較為豐富，因此湖泊是很好的自然歷史記錄器，長期穩定地記錄著過去湖泊及其周遭地區的水文波動、動植物變遷，乃至氣候與環境的變化。透過湖泊先後堆積的沉積物中所包含的花粉化石研究，將能建構出湖泊周圍過去植群隨著時間的演變過程，進而連結至古代氣候的變遷歷史。

本計畫工作範圍內的天然湖泊並不多，在考量前期之工作成果及本年度工作內容之後，本計劃選定位在花蓮縣秀林鄉的蓮花池進行湖泊沉積物花粉分析研究，旨在建立太魯閣國家公園區域內過去一萬年來的植物地理和氣候變遷歷史。

蓮花池位於立霧溪上游的陶塞河流域，是太魯閣國家公園範圍內唯一的天然高山湖泊，地理位置北緯 $20^{\circ}13'00''$ ，東經 $121^{\circ}29'20''$ ，海拔高度 1180 公尺，昔日太魯閣族人稱它為『gsilung』，意指水潭，中橫公路開通後，因池中開滿蓮花，遂更名為蓮花池。此湖泊外形略呈不規則橢圓形，最大直徑約 200 公尺，面積 1.5 公頃，水深約 1.6 公尺，池水來源為降雨及盆地周圍的逕流，並沒有流出口，因此池水之損失大多源於蒸發，氣候成為蓮花池池水增減的絕對因素，這樣的特性對於利用池中沉積物進行古氣候重建工作極為有利。

表 2-1、2014 年太魯閣國家公園、玉山國家公園、雪霸國家公園自動相機站基本資料。

地區	編號	經度 97	緯度 97	海拔 (m)	架設時間	坡度 (°)	樹冠遮蔽 度 (%)	側向開闊 度 (m)	與路徑距 離 (m)	與道路距 離 (m)	與水源距離 (m)	與山屋距 離 (m)
南湖山區	NH-A	287815	2695712	2711	2013/11/9	23	97	26	197	3300	424	148
南湖山區	NH-B	288309	2695907	2697	2013/11/9	15	100	5	70	3700	529	441
南湖山區	NH-C	288978	2696039	2754	2013/11/9	28	98	13	30	4400	423	1122
南湖山區	NH-D	289344	2696396	2602	2013/11/9	77	99	16	50	4800	197	1077
南湖山區	NH-E	289842	2696664	2494	2013/11/9	40	100	34	80	5300	643	514
南湖山區	NH-F	290179	2696887	2590	2013/11/10	18	99	11	75	5700	453	114
南湖山區	NH-G	291191	2697038	2826	2013/11/10	40	97	11	35	6700	356	942
南湖山區	NH-H	292277	2697210	3118	2013/11/10	5	98	7	33	7800	520	940
南湖山區	NH-I	293339	2697612	3324	2013/11/10	8	76	16	75	8900	832	344
南湖山區	NH-J	294981	2695835	3408	2013/11/11	26	88	14	60	10400	1102	181
南湖山區	NH-K	294721	2694720	3588	2013/11/11	0	76	5	410	10200	1270	1324
楠溪林道	NS-2	239729	2597041	2603	2013/9/12	42	100	5	N/A	1500	958	N/A
楠溪林道	NS-4	239715	2596703	2484	2013/9/12	50	87	10	N/A	1600	1095	N/A
楠溪林道	NS-8	240394	2594955	1917	2013/9/13	30	89	25	N/A	3200	255	N/A
楠溪林道	NS-9	240762	2595147	1997	2013/9/13	34	90	20	N/A	3400	161	N/A
楠溪林道	NS-10	240127	2595736	2133	2013/9/13	57	89	8	N/A	2500	981	N/A
楠溪林道	NS-19	239702	2595529	2251	2013/9/13	15	91	19	N/A	2500	615	N/A

表 2-1 (續)、2014 年太魯閣國家公園、玉山國家公園、雪霸國家公園自動相機站基本資料。

地區	編號	經度 97	緯度 97	海拔 (m)	架設時間	坡度 (°)	樹冠遮蔽 度 (%)	側向開闊 度 (m)	與路徑距 離 (m)	與道路距 離 (m)	與水源距離 (m)	與山屋距 離 (m)
八通關	BT-A	242845	2605944	1339	2014/4/15	5	100	7	65	465	382	3114
八通關	BT-B	245748	2604797	1702	2014/4/12	30	100	30	32	3600	459	60
八通關	BT-C	246098	2604772	1761	2014/4/12	44	100	21	100	3900	626	380
八通關	BT-D	247290	2603372	1937	2014/4/12	67	100	6	73	5600	392	2086
八通關	BT-E	247696	2602493	2055	2014/4/12	28	100	25	53	6400	350	2997
八通關	BT-F	250015	2600009	2582	2014/4/13	34	100	6	89	9800	560	203
八通關	BT-G	248941	2600957	2405	2014/4/14	13	100	19	42	8300	452	1624
八通關	BT-H	250500	2598918	2937	2014/4/13	25	100	20	342	10800	970	1060
八通關	BT-I	249558	2598132	2785	2014/4/13	0	100	17	233	10700	268	1916
雪東志樂溪	SW-A	275377	2698577	3334	2014/5/2	41	0	17	129	8500	595	470
雪東志樂溪	SW-B	272464	2697738	3524	2014/4/30	0	0	20	61	9700	1092	139
雪東志樂溪	SW-C	272260	2698093	3449	2014/4/30	10	43	24	184	10100	1459	502
雪東志樂溪	SW-D	272107	2697613	3390	2014/5/1	15	12	30	62	9900	1001	509
雪東志樂溪	SW-E	271292	2698560	3208	2014/5/1	20	0	4	9	11100	711	1553
雪東志樂溪	SW-F	270790	2698667	3074	2014/5/1	0	0	9	20	11600	306	2042
雪東志樂溪	SW-G	270639	2698458	3075	2014/5/1	0	3	14	30	11600	53	2096
雪東志樂溪	SW-H	271040	2698769	3165	2014/5/1	22	0	30	30	11500	560	1878

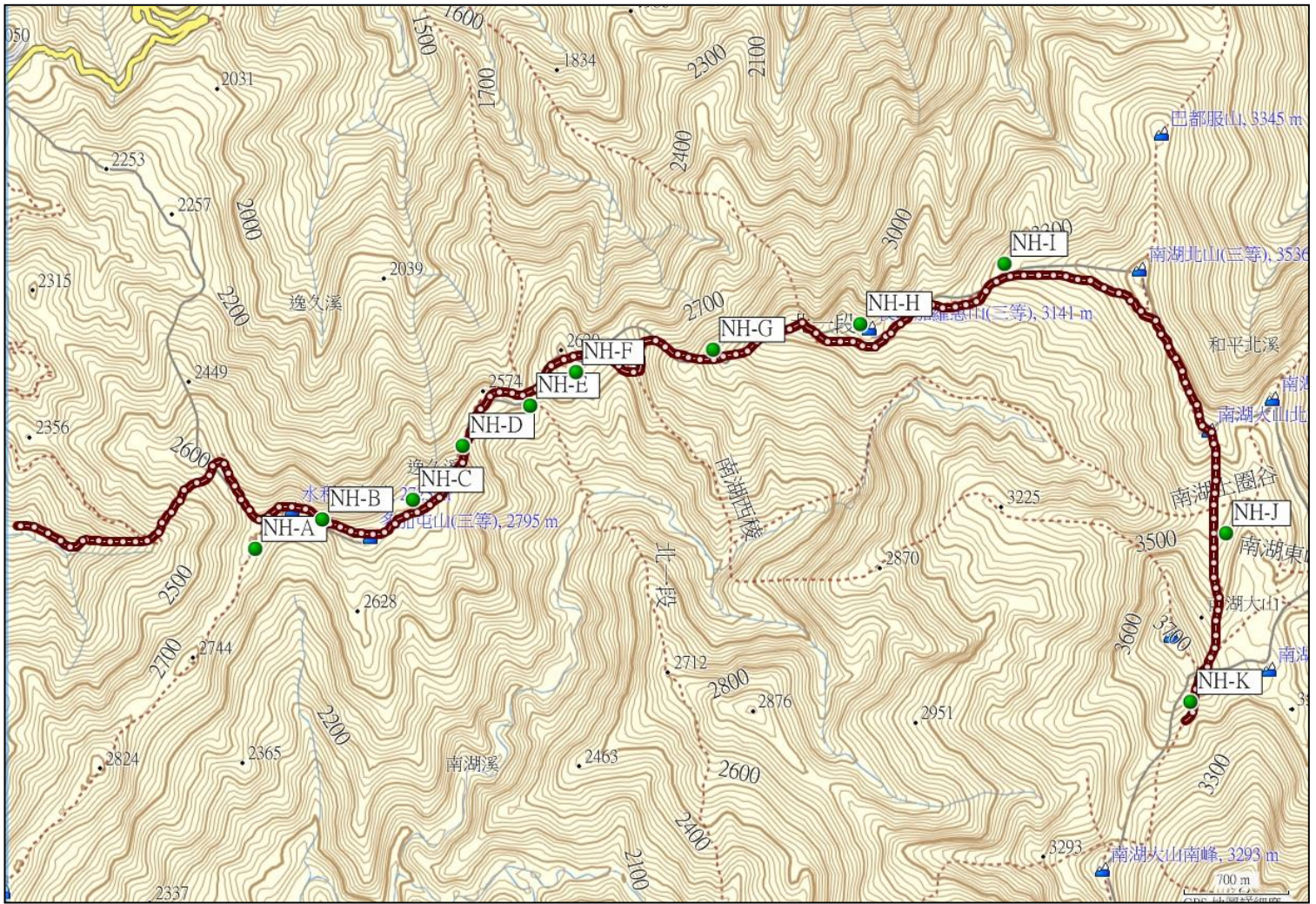


圖 2-1、2014 年水鹿棲地選擇研究，太魯閣國家公園南湖山區調查樣線與自動相機站位置。

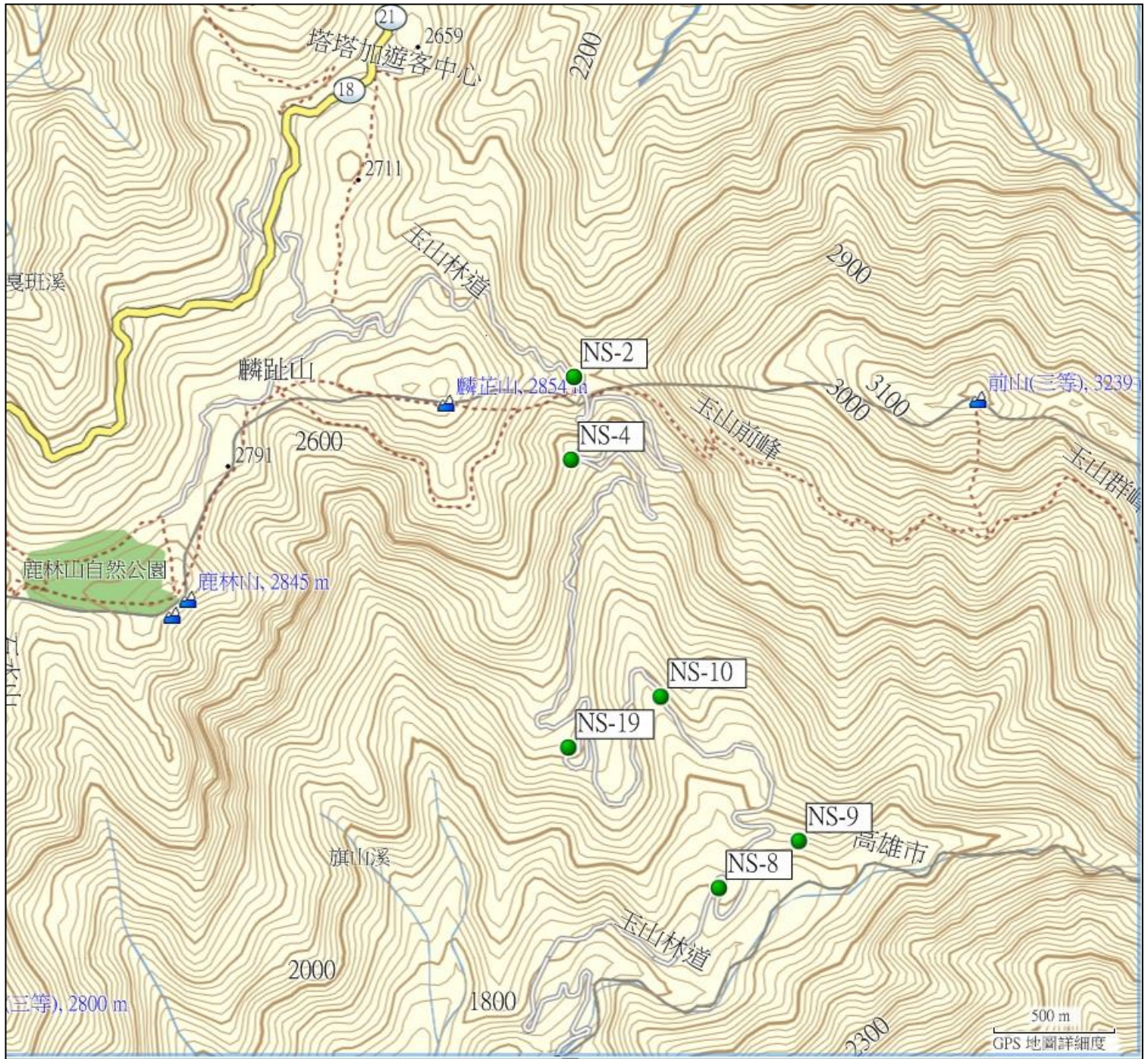


圖 2-2、2014 年水鹿棲地選擇研究，玉山國家公園楠溪林道自動相機站位置。

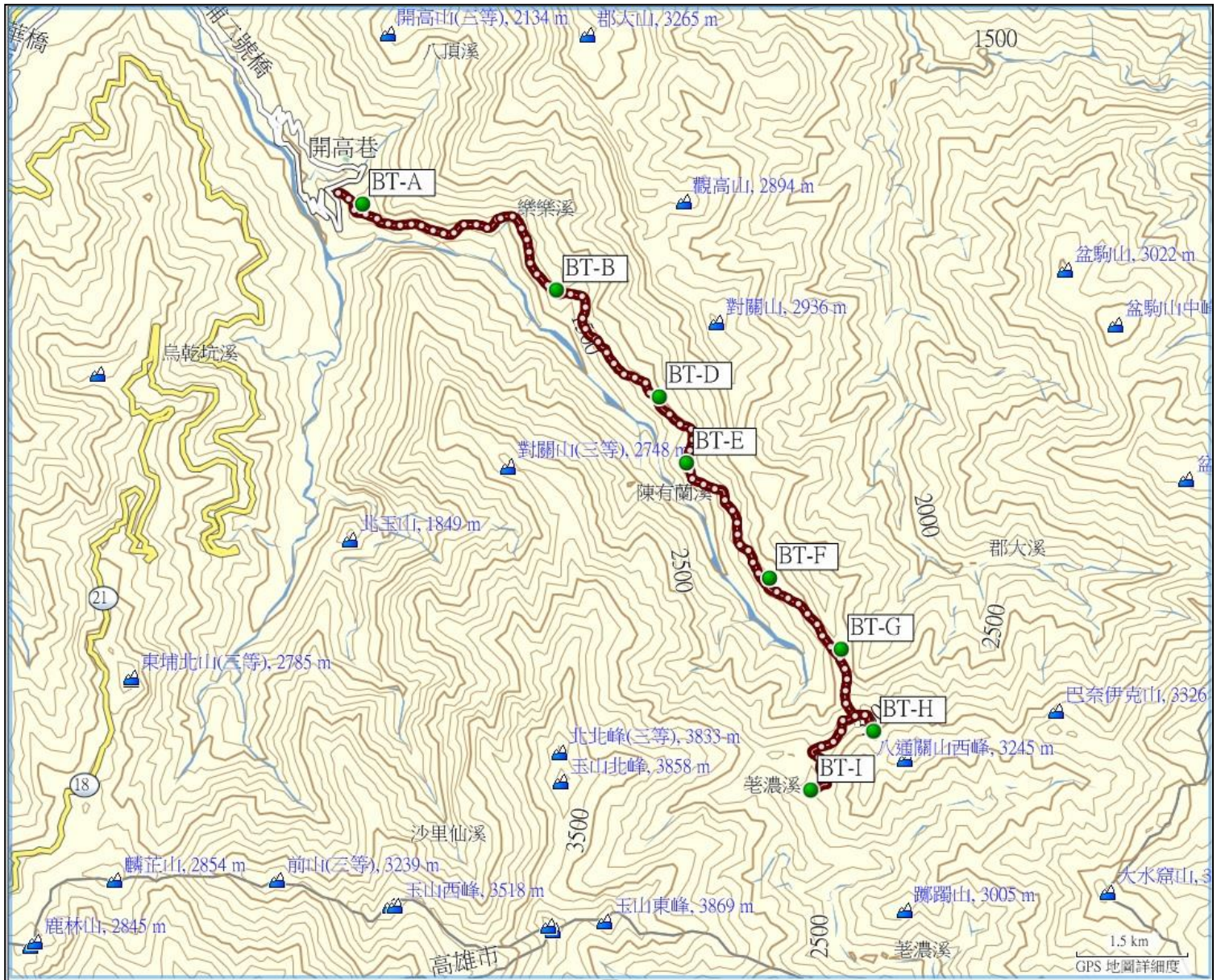


圖 2-3、2014 年水鹿棲地選擇研究，玉山國家公園八通關地區調查樣線與自動相機站位置。

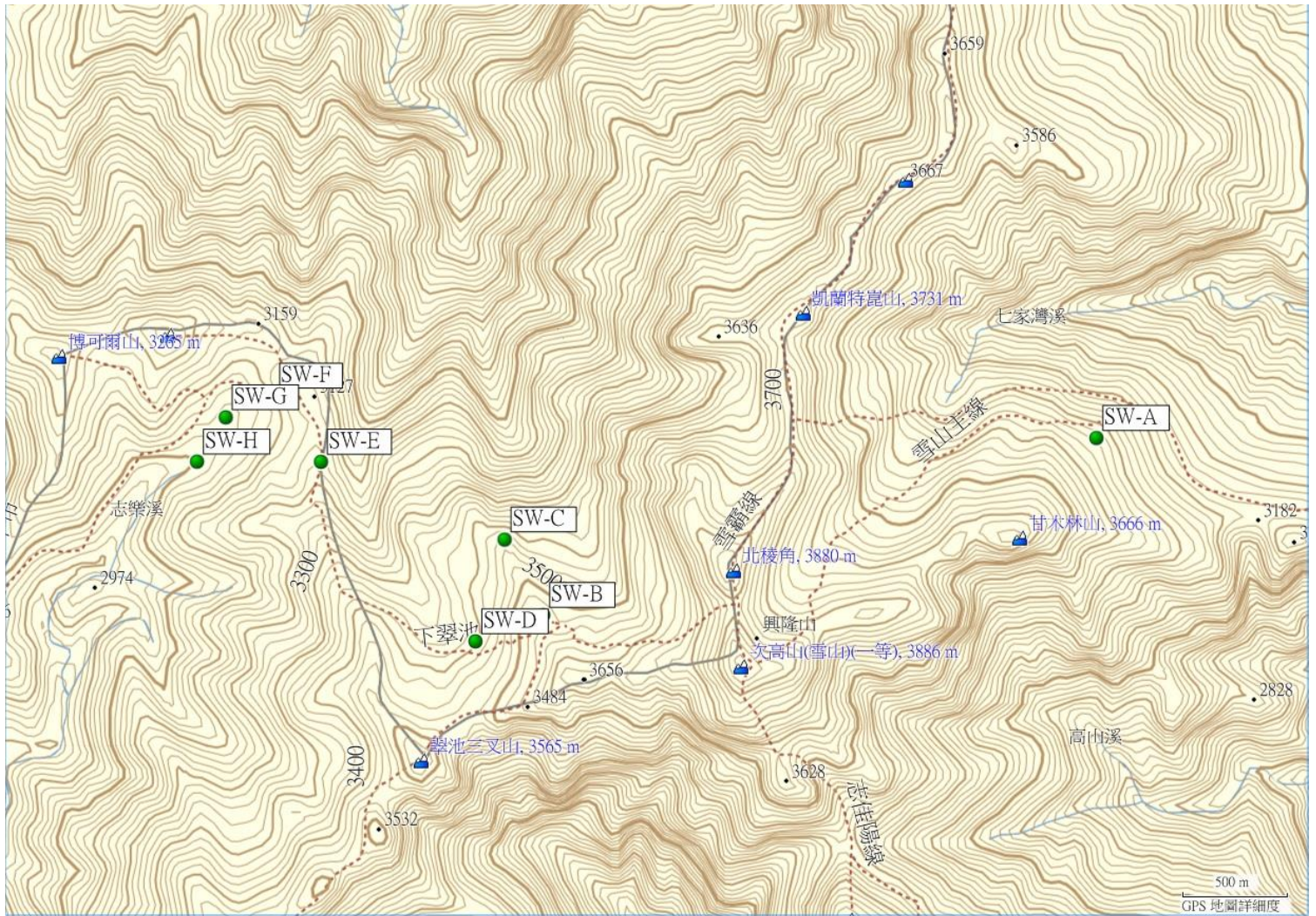


圖 2-4、2014 年水鹿棲地選擇研究雪霸國家公園雪東線至志樂溪自動相機站位置。



圖 2-6、2014 年水鹿對森林植被影響之研究，雪霸國家公園志樂溪上游流域樣區。

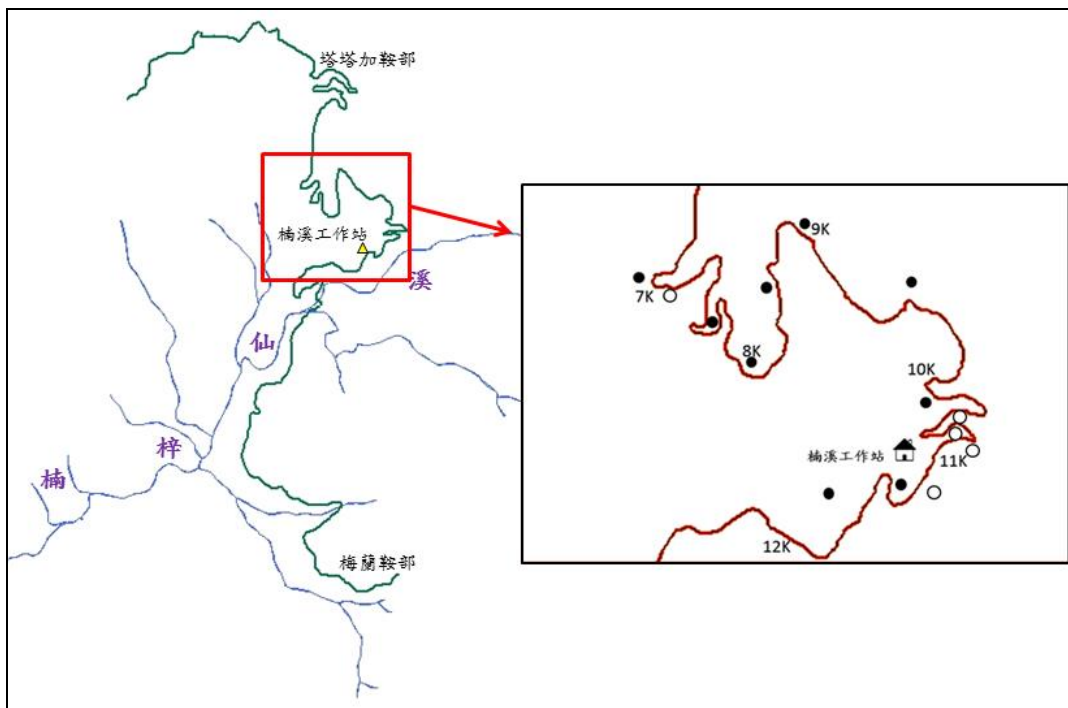


圖 2-7、2014 年水鹿對森林植被影響之研究，左為玉山國家公園楠溪林道研究樣區，右為楠溪林道啃食頻度樣區及相機位置圖(黑點為相機位置，白點為啃食頻度調查樣區位置，每樣區內各架設一台自動相機)。



圖 2-8 新啃食傷口以蠟筆沿傷口周圍進行標記圖。



圖 2-9 台灣水鹿啃食紅檜樹皮造成之傷口。

第三章 結 果

一、水鹿及主要共域動物之調查

(一) 自動相機調查結果

南湖山區的 12 台相機資料(2013 年 11 月架設)於今年 6 月回收，其中 1 台相機故障無資料，其餘 11 台相機共工作 47,575 h，結果顯示山羌是本區相對豐度最高的動物(OI = 26.0)，山羊次之(OI = 3.1)，水鹿 OI 值為 2.4，哺乳類動物種數至少 11 種(表 3-1)。水鹿、山羌、山羊、獼猴均廣泛分布，但其中山羌、獼猴未出現在海拔 3300 m 以上的相機站，此外野豬只出現在海拔 2600 m 以下的相機站。

楠溪林道的 6 個相機站於去年 9 月架設(11 月曾更換一次電池、記憶卡)，今年 10 月回收資料，共工作 47,060 h，相對豐度較高的動物包括山羌(OI = 35.4)、水鹿(OI = 9.2)、獼猴(OI = 7.2)、山羊(OI = 2.3)、野豬(OI = 1.3)，這五種動物也廣泛出現在大多數的相機站，此外有四個相機站拍到黃喉貂，鄰近楠溪工作站附近溪流的一個相機站拍攝到台灣黑熊，哺乳動物種類數至少 13 種(表 3-2)。分析四種較常見中大型哺乳動物的 OI 季節變化，可以發現水鹿在秋冬兩季相對豐度較高，山羌則在春夏兩季相對豐度較高，山羊相對豐度的四季變化不明顯，而獼猴除在夏季較高，其餘三季差異不大(圖 3-1)。

八通關地區於 4 月中旬設置 9 台自動相機，8 月回收資料並更換位置，相機工作時數為 23,261 h，結果顯示山羌(OI = 21.1)、水鹿(OI = 8.1)、獼猴(OI = 3.4)為本區相對豐度較高的物種，廣泛分布在樣區中，此外在觀高水源地拍攝到台灣黑熊出沒，哺乳動物種數至少 12 種(表 3-3)。此外，靠近登山口的相機站偵測到自由活動犬隻與獵人出沒。

雪東線至志樂溪地區於 5 月上旬設置 9 台相機，10 月上旬回收資料並更換位置，其中 1 台相機故障。相機共工作 16,160 h，相對豐度較高的物種為山羌(OI = 6.1)、山羊(OI = 4.8)、獼猴(OI = 2.9)、水鹿(OI = 2.2)，山羊和獼猴是分布最廣泛的物種，哺乳動物至少 7 種，但並未監測到食肉目動物(表 3-4)。

(二) 水鹿分布狀態

以沿線調查評估水鹿族群分布範圍，結果顯示南湖山區在 6.7k 登山口之後可觀察到水鹿痕跡，但據勝光地區的高麗菜農表示，曾於 2013 年冬季目擊水鹿在勝光地區的高麗菜園內活動。本區大多數的相機站都有拍攝到水鹿，但普遍來

講 OI 並不高，僅鄰近多加屯山屋及南湖山屋的兩個相機站具有較高的水鹿 OI(表 3-1)。

八通關地區大約在乙女瀑布後開始出現水鹿痕跡。靠近登山口愛玉亭的相機站並未拍攝到水鹿，樂樂山屋與乙女瀑布的相機站拍攝到水鹿但 OI 不高，此後呈現越往內走水鹿 OI 越高的趨勢(表 3-3)。

雪山山區在過雪山主稜往翠池後開始有水鹿分佈，雪東線(雪山登山口經 369 山莊至雪山主峰)上未發現水鹿痕跡，但一名登山客表示曾在黑森林目擊水鹿。而大鹿林道在林道里程 8k 後開始出現大量水鹿痕跡，此後由登山口上至大霸尖山再往雪山之聖稜線路段中，沿路均有水鹿痕跡均零星出現。雪東線至志樂溪的相機站亦支持前述結果，黑森林的相機拍攝到大量山羌、山羊，但並未拍攝到水鹿，翠池過後的相機才有拍攝到水鹿，但 OI 均不高，僅博可爾草原的相機水鹿 OI 略高(表 3-4)。

(三) 狩獵跡象調查

沿線調查在雪東線至志樂溪、大鹿林道、聖稜線並未發現狩獵痕跡。在南湖山區於登山口附近樹上發現新增被槍擊之彈孔三個，於多加屯山屋附近發現 13 個套索陷阱，並由自動相機拍攝到疑似獵人設置陷阱的影片。在八通關地區則在對關之前約 1 公里處路邊發現水鹿胃內含物，在里程 6k 附近山谷處發現脖子有明顯傷痕的山羊屍骸，從觀高往郡大林道步行約 1.5k 折返，共發現 1 個廢棄套索，2 個獸夾，2 個散彈槍彈殼，1 個喜德釘彈殼，另藉自動相機在樂樂山屋附近拍攝到獵人帶槍的照片，研究人員也曾在樂樂山屋遇到 1 獵人攜帶土製獵槍摸黑上山，於天亮前折返。

表 3-1、2013 年 11 月至 2014 年 6 月，南湖山區自動相機監測結果，OI (occurrence index) 為平均每千小時所拍攝到的動物數量。

相機代號 鄰近地標	NH-A 多加屯 山屋	NH-B 多加屯 山	NH-C	NH-D	NH-E 木杆鞍 部	NH-F 雲稜山 屋	NH-G	NH-H 審馬陣 草原	NH-I 審馬陣 山屋	NH-J 南湖山 屋	NH-K 南湖池	總計
工作時數 (h)	3,965	5,160	4,890	5,160	546	5,145	5,160	5,160	5,032	5,168	2,189	4,7575
水鹿 張數	74	2	8	1	1	4		3	2	19		114
OI	18.7	0.4	1.6	0.2	1.8	0.8		0.6	0.4	3.7		2.4
山羌 張數	93	231	86	313	21	450		41				1235
OI	23.5	44.8	17.6	60.7	38.5	87.5		7.9				26.0
山羊 張數	2	26	10	45		2	2	20	10	23	6	146
OI	0.5	5.0	2.0	8.7		0.4	0.4	3.9	2.0	4.5	2.7	3.1
野豬 張數	2		2			1						5
OI	0.5		0.4			0.2						0.1
獼猴 張數	1	13	6	10	20	16	2	9				77
OI	0.3	2.5	1.2	1.9	36.6	3.1	0.4	1.7				1.6
鼬獾 張數		13	18					4				35
OI		2.5	3.7					0.8				0.7
黃喉 貂 張數		1	1	1				10				13
OI		0.2	0.2	0.2				1.9				0.3
黃鼠 狼 張數		2	2							2	1	7
OI		0.4	0.4							0.4	0.5	0.1
白面 鼯鼠 張數			1									1
OI			0.2									0.1
赤腹 松鼠 張數			2									2
OI			0.4									0.1

表 3-1(續)、2013 年 11 月至 2014 年 6 月，南湖山區自動相機監測結果，OI (occurrence index) 為平均每千小時所拍攝到的動物數量。

相機代號	NH-A	NH-B	NH-C	NH-D	NH-E	NH-F	NH-G	NH-H	NH-I	NH-J	NH-K	總計
鄰近地標	多加屯 山屋	多加屯 山			木杆鞍 部	雲稜山 屋		審馬陣 草原	審馬陣 山屋	南湖山 屋	南湖池	
工作時數 (h)	3,965	5,160	4,890	5,160	546	5,145	5,160	5,160	5,032	5,168	2,189	4,7575
鼠類 張數		10	11							1	18	40
OI		1.9	2.2							0.2	8.2	0.8
鳥類 張數	9	35	14	33	5			1		4	14	115
OI	2.3	6.8	2.9	6.4	9.2			0.2		0.8	6.4	2.4
不明 張數	12	8	17	19	1	9	1	2		3	1	73
OI	3.0	1.6	3.5	3.7	1.8	1.7	0.2	0.4		0.6	0.5	1.5

表 3-2、2013 年 9 月至 2014 年 10 月，楠溪林道自動相機監測結果，OI (occurrence index) 為平均每千小時所拍攝到的動物數量。

相機代號		NS-2	NS-4	NS-8	NS-9	NS-10	NS-19	總計
鄰近地標		塔塔加 登山口	5k	工作站 旁水源	10k		7.5k	
工作時數		1607	9189	9574	9393	7739	9558	47060
水鹿	張數		26	94	90	35	186	431
	OI		2.8	9.8	9.6	4.5	19.5	9.2
山羌	張數		87	755	12	65	640	1559
	OI		9.5	78.9	1.3	8.4	67	33.1
山羊	張數	4	30	31	9	16	16	106
	OI	2.5	3.3	3.2	1	2.1	1.7	2.3
野豬	張數			30	18	5	1	54
	OI			3.1	1.9	0.6	0.1	1.1
獼猴	張數	4	4	134	45	51	63	301
	OI	2.5	0.4	14	4.8	6.6	6.6	6.4
黑熊	張數			1				1
	OI			0.1				0.1
鼬獾	張數		1					1
	OI		0.1					0.1
黃喉貂	張數		1	9		2	1	13
	OI		0.1	0.9		0.3	0.1	0.3
黃鼠狼	張數		3			2	4	9
	OI		0.3			0.3	0.4	0.2
白鼻心	張數		1	2			3	6
	OI		0.1	0.2			0.3	0.1
鼫鼠	張數	1	2			1		4
	OI	0.6	0.2			0.1		0.1
松鼠	張數	1	2	1		1	5	10
	OI	0.6	0.2	0.1		0.1	0.5	0.2
鼠類	張數		2	6		29	2	39
	OI		0.2	0.6		3.7	0.2	0.8
人	張數		3	2				5
	OI		0.3	0.2				0.1
不明	張數		5	16	18	1	4	44
	OI		0.5	1.7	1.9	0.1	0.4	0.9

表 3-3、2014 年 4 月至 2014 年 8 月，八通關地區自動相機監測結果，OI (occurrence index) 為平均每千小時所拍攝到的動物數量。

相機代號		BT-A	BT-B	BT-C	BT-D	BT-E	BT-F	BT-G	BT-H	BT-I	總數
鄰近地標		愛玉亭	樂樂山屋	乙女瀑布		對關	觀高		觀高水源	八通關草原	
工作時數 (h)		2842	2912	2982	2929	2973	590	2926	2923	2184	23261
水鹿	張數		2	2		23	85	3	22	51	188
	OI		0.7	0.7		7.7	144.1	1.0	7.5	23.4	8.1
山羌	張數	232	84	68		82	3		15	6	490
	OI	81.6	28.8	22.8		27.6	5.1		5.1	2.7	21.1
山羊	張數			1	13	1		1	3		19
	OI			0.3	4.4	0.3		0.3	1		0.8
野豬	張數	4	2	3						1	10
	OI	1.4	0.7	1						0.5	0.4
獼猴	張數	4	16	14	1	17			24	2	78
	OI	1.4	5.5	4.7	0.3	5.7			8.2	0.9	3.4
黑熊	張數								2		2
	OI								0.7		0.1
鼬獾	張數		1							10	11
	OI		0.3							4.6	0.5
黃喉貂	張數				3						3
	OI				1.0						0.1
黃鼠狼	張數	1									1
	OI	0.4									0.1
白鼻心	張數			1							1
	OI			0.3							0.1
狗	張數	9									9
	OI	3.2									0.4
赤腹松鼠	張數		3								3
	OI		1.0								0.1
鼠類	張數	1	111	1							113
	OI	0.4	38.1	0.3							4.9
獵人	張數	1	1								2
	OI	0.4	0.3								0.1
不明	張數	2						4	2		8
	OI	0.7						1.4	0.7		0.3

表 3-4、2014 年 5 月至 2014 年 10 月，雪東線與志樂河流域自動相機監測結果，OI (occurrence index) 為平均每千小時所拍攝到的動物數量。

相機代號		SW-A	SW-B	SW-C	SW-D	SW-E	SW-F	SW-G	SW-H	總計
鄰近地標		黑森林	翠池	翠北	下翠池		志樂溪	博可爾 草原	博可爾 草原	
工作時數 (h)		2878	82	884	2081	3839	1008	3842	1546	16160
水鹿	張數				6	4	1	25		36
	OI				2.9	1.0	1.0	6.5		2.2
山羌	張數	83		2		13				98
	OI	28.8		2.3		3.4				6.1
山羊	張數	27	1	9	6	34		1		78
	OI	9.4	12.2	10.2	2.9	8.9		0.3		4.8
獼猴	張數	13		8	1	20	5			47
	OI	4.5		9.0	0.5	5.2	5.0			2.9
白面鼯鼠	張數	1		3						4
	OI	0.3		3.4						0.2
赤腹松鼠	張數					2				2
	OI					0.5				0.1
條紋松鼠	張數					1				1
	OI					0.3				0.1
鳥類	張數	1		1				4		6
	OI	0.3		0.3				1.0		0.4
不明	張數	2		2		10		1		15
	OI	0.7		2.3		2.6		0.3		0.9

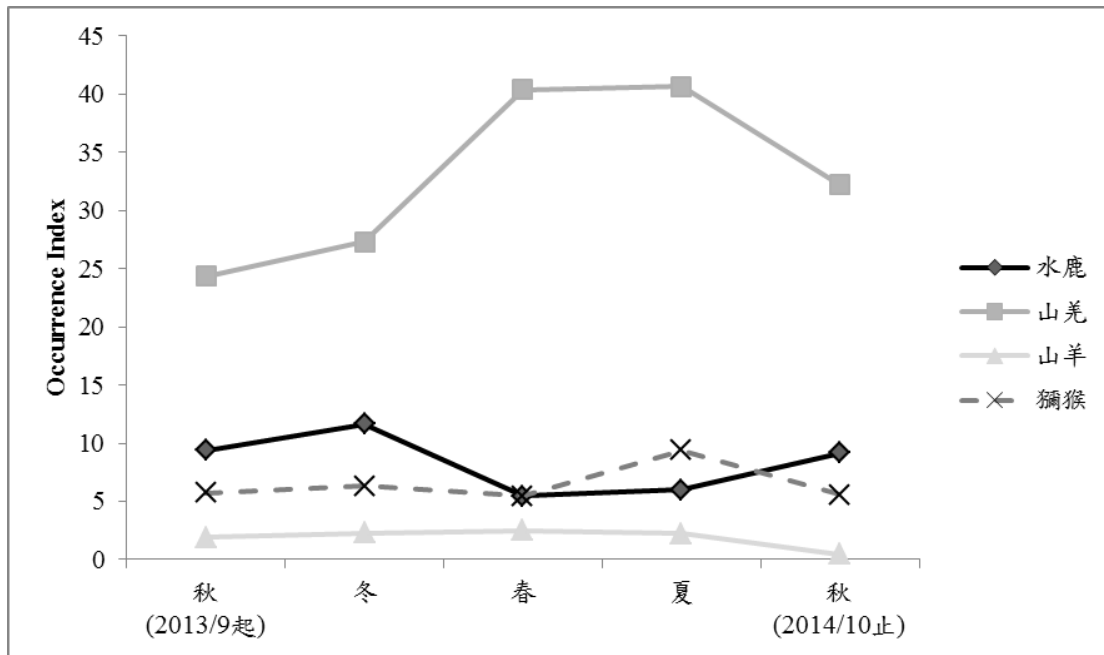


圖 3-1 楠溪林道水鹿、山羌、山羊、獼猴四種動物相對豐度季節變化情形。春季為 3-5 月，夏季為 6-8 月，秋季為 9-11 月，冬季為 12-2 月。相對豐度以 occurrence index 表示，即平均每千小時拍攝到的有效動物照片量。

二、水鹿棲地選擇研究

結合去年度與今年度南湖山區共 44 台相機資料，分析水鹿 OI 值與各環境因子之相關性，結果發現水鹿 OI 僅和與水源距離呈顯著正相關($r = 0.342, P = 0.023$)。楠溪林道兩年共 17 台相機的資料則顯示，水鹿 OI 與坡度呈顯著負相關($r = -0.608, P = 0.010$)、與側向開闊度呈顯著正相關($r = 0.670, P = 0.003$)；分析八通關的 9 台相機資料，結果顯示水鹿 OI 和與公路距離呈顯著正相關($r = 0.762, P = 0.017$)；分析雪東線至志樂溪的 8 台相機資料，結果顯示水鹿 OI 與各項環境因子都沒有顯著相關。

分析三種共域草食獸相對豐度的相關性，在南湖山區、八通關地區、雪東線至志樂溪均未發現顯著相關性，而在楠溪林道，水鹿與山羌($P = 0.032, y = 8.613 + 0.116x, R^2 = 0.271$)、水鹿與山羊($P = 0.033, y = 8.215 + 1.247x, R^2 = 0.270$)、山羌與山羊($P = 0.005, y = 13.467 + 6.93x, R^2 = 0.415$)的相對豐度呈現顯著的正相關。

表 3-5、2014 年各樣區自動相機拍攝之水鹿 OI 與環境因子之相關性。標粗體者為統計達顯著水準 ($P < 0.05$)。

	坡度		樹冠層遮蔽度		側向開闊度		與公路距離		與水源距離		與登山路徑距離		與山屋距離	
	R	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
南湖山區 ^a	-0.052	0.738	-0.053	0.733	0.224	0.145	0.244	0.110	0.342	0.023	0.284	0.061	0.099	0.521
楠溪林道 ^b	-0.608	0.010	0.032	0.903	0.670	0.003	0.332	0.193	-0.426	0.088				
八通關 ^b	-0.259	0.500			-0.042	0.915	0.762	0.017	-0.042	0.915	0.276	0.472	-0.285	0.458
雪東線至志樂溪 ^b	0.364	0.336	-0.477	0.194	0.543	0.131	0.394	0.294	-0.347	0.360	-0.193	0.620	0.511	0.160

^a Pearson correlation.

^b Spearman correlation

三、原住民傳統知識收集

研究人員於國家公園附近進行部落訪查工作，共前往 9 個鄉鎮(圖 3-2)，分別為 103 年 4 月 13 日訪查宜蘭縣大同鄉樂水村；103 年 6 月 8 日訪查台東縣延平鄉(紅葉村、桃源村)、花蓮縣卓溪鄉卓清村；103 年 6 月 15 日訪查花蓮縣卓溪鄉(卓清村、卓溪村)；103 年 6 月 22 日訪查花蓮縣秀林鄉銅門村；103 年 7 月 19-20 訪查苗栗縣泰安鄉梅園村；103 年 8 月 8-10 日訪查台東縣海端鄉霧鹿村、延平鄉紅葉村、花蓮縣豐濱鄉豐濱村；103 年 8 月 16-18 日訪查花蓮縣秀林鄉和平村、宜蘭縣大同鄉樂水村及崙埤村、台東縣延平鄉紅葉村；8 月 22-23 訪查南投縣信義鄉地利村、潭南村；8 月 30-31 日訪查新竹縣五峰鄉桃山村；訪查對象包含村長、部落會議主席、社區發展協會理事、居民等人(附錄 2)。研究人員採取深度訪談之方式，訪查內容包含近數十年水鹿之族群動態(分布、數量)、狩獵方式與狩獵情形、對水鹿之各種利用方式、水鹿生態習性及相關知識等。除於計畫期間實地訪查外，另收集以往所進行之相關訪查資訊及文獻紀錄做為輔助，茲將各區有關水鹿相關資訊進行初步彙整(表 3-6、表 3-7、表 3-8、表 3-9、表 3-10)。

(一) 水鹿之族群動態

由訪查顯示，花蓮縣卓溪鄉及秀林鄉受訪者均表示，水鹿族群較以往多。卓溪鄉受訪者表示水鹿已出現在南安管理站附近之山區內。秀林鄉有受訪者表示，水鹿數量較以前多出 10 倍。臺東縣延平鄉受訪者表示水鹿族群亦增加，延平林道上的腳印增加，獵人行駛車輛在林道旁即可獵到水鹿。海端鄉受訪者表示，近年來水鹿變多了，大關山隧道、向陽嘉明湖附近水鹿很多。宜蘭縣南澳鄉受訪者表示水鹿數量稀少，部落附近並無水鹿之分布。大同鄉的受訪者亦表示水鹿族群並不多，但鄰近樂水部落之鹿湖去年曾有人目擊水鹿。南投縣受訪者表示，水鹿族群比以往多很多。苗栗縣泰安鄉受訪者表示，水鹿比以前多，最近有人目擊出現在大安溪床上。新竹縣五峰鄉受訪者表示，野生動物族群比以往多，但水鹿被獵捕情形還是不多。花蓮海岸山脈一帶，受訪者均表示目前無水鹿分布，但約 50-60 年前，曾有人獵得水鹿。

(二) 狩獵方式與狩獵利用

各部落獵捕水鹿的方式均包含設阱及使用獵槍，南澳鄉則尚保存製作弓箭的獵捕方

式。就獵捕數量而言，花蓮縣卓溪鄉卓溪村一年不到 10 隻，秀林鄉銅門村一年亦獵捕約 10 隻水鹿。台東延平鄉一年則獵捕約 30-50 隻水鹿，霧鹿約 5 隻，利稻約 30 隻。宜蘭縣大同鄉一年約獵捕 60-70 隻水鹿。南投縣信義鄉一年約獵 3000 隻水鹿，亦有獵人表示，以往以狩獵為生時，一年可獵 1000 隻水鹿。苗栗縣泰安鄉及新竹縣五峰鄉目前以水鹿為主之狩獵不多。

就水鹿利用方式而言，花蓮縣卓溪鄉受訪者表示，獵人在獵捕到水鹿後，會將整隻水鹿帶回與族人分享，然而近年來，發現有狩獵者獵捕水鹿後割取鹿鞭及鹿茸，其餘屍骸棄置，此非傳統之狩獵利用方式。另，水鹿皮可做衣服及鞋子。鹿腳及鹿骨亦可烤乾販售。秀林鄉之受訪者表示，獵捕到的鹿肉先烤乾再帶下山，鹿茸、鹿角、鹿皮均有用處。日據時代有山產店收取鹿皮，現在則沒有收取鹿皮者。另有受訪者表示水鹿內臟可食用，但腸不能吃，因為水鹿吃箭筍，腸會硬硬的，此一說法尚待查證。台東縣延平鄉受訪者表示，獵捕到水鹿後，亦整隻帶回，不浪費，另有受訪者表示，以前和老人家上山打獵，設陷阱會綁一根木頭，當獵捕到水鹿時，由於水鹿力氣大，易將陷阱帶著走，獵人可沿著木棍拖行時沿途留下的痕跡找到水鹿。宜蘭縣大同鄉受訪者表示，有一說法為老人家認為水鹿對族人有恩，不能獵捕。祭儀祭祖時，只能用山豬肉和鹿肉。鹿皮有人收購，可做衣服背架用皮。狩獵使用的弓箭常用墨點櫻桃、檫木等樹木。苗栗縣泰安鄉及新竹縣五峰鄉之受訪者均表示，沒有獵鹿茸的習慣，所以不會在特定的鹿茸期前往狩獵。

(三) 水鹿生態習性及危害情形

由訪查資料，台東及花蓮受訪者表示水鹿鹿茸期在 3-5 月。台東縣延平鄉的受訪者表示，水鹿在茸角期會在水邊照鏡子，看茸角是否有長正，此一說法應屬較擬人化的說法。花蓮縣卓溪鄉受訪者表示，水鹿族群過多時，如果採取獵捕的方式，則以 6 月較適合，因為水鹿在 11-12 月交配，1-3 月懷胎、4-5 月生產。就水鹿危害情形，目前所知，秀林鄉受訪者表示聽說在萬榮鄉有較多樹遭水鹿危害死亡的情形，苗栗縣受訪者表示雪山一帶水鹿較多，可能有危害。苗栗縣泰安鄉受訪者族表示鹿茸期在 5-7 月。新竹縣五峰鄉受訪者表示，水鹿喜歡走山稜線。南投縣信義鄉受訪者表示，獵到的水鹿 9-4 月都有胎，一次一胎。母鹿生產只有幾秒鐘，生下小鹿，舔一舔，就可以行走了，1-5 月帶小鹿，小鹿 2 月走路，約 5 月離開媽媽，2-5 月為鹿茸期。

(四)水鹿欣賞與旅遊

由訪查顯示，目前並未有針對水鹿發展之生態旅遊形成，但有部分部落未來具有發展之潛力，如台東縣的紅葉部落，其曾參與林務局社區林業計畫，成立巡守隊，希望將來有機會發展欣賞動的生態旅遊。花蓮縣的銅門部落受訪者表示，水鹿已逐漸出現在車輛可及之處，贊成不要狩獵路旁的動物，留給遊客欣賞。宜蘭縣大同鄉樂水部落及南山部落則正在開始發展深度旅遊，未來若水鹿族群增加，則有機會欣賞水鹿。苗栗縣泰安鄉則有民宿提供遊客司馬限林道夜間動物觀察活動，聘請獵人擔任嚮導。

表 3-6、花蓮縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料。

內容	花蓮縣卓溪鄉(布農族)	花蓮縣秀林鄉(太魯閣族)
訪查聚落	<ul style="list-style-type: none"> ● 卓清村(南安、清水、卓樂部落) ● 卓溪村(中正部落) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 銅門村(銅門部落)
區域特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 鄰近玉山國家公園 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鄰近太魯閣國家公園
水鹿分布、數量、族群趨勢	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在水鹿多了，出現在家後面的山坡。(卓清 A)。 ● 以前父親祖父需走到南投才有水鹿。(卓清 A)。 ● 水鹿變多了。(卓溪 A)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水鹿數量比以前多 10 倍。(銅門 A)。 ● 奇萊保線道坐車約 10 公里處可發現水鹿。(銅門 A)。 ● 現在在路邊就可以獵到水鹿。(銅門 A)。 ● 對水鹿族群不了解，老人家(老獵人)往生了(和平 A)
狩獵區域、方式、目的、頻度、數量、獵物處理、禁忌與傳說	<ul style="list-style-type: none"> ● 設陷阱。(卓清 A)。 ● 使用獵槍。(卓清 A)。 ● 以前夜間用燈照只打飛鼠，現在打地面的動物。(卓清 A)。 ● 卓溪村一年打不到 10 隻水鹿，山羌一年打約 30 隻。部落附近山羊很少。(卓溪 A)。 ● 水鹿整隻帶回分享。(卓清 A)。 ● 鹿腳可當中藥，先用開水燙，洗乾淨，烤乾。(卓溪 A)。 ● 水鹿皮做衣服、鞋子。(卓溪 A)。 ● 水鹿骨烤乾可賣。(卓溪 A)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 設陷阱。(銅門 A)。 ● 使用獵槍。(銅門 A)。 ● 部落一年約獵捕 10 隻水鹿。(銅門 A)。 ● 太魯閣族狩獵有傳承問題，但銅門還好，有 10 多個青年可以傳承，平時在外工作，假日回來部落會狩獵。(銅門 A)。 ● 日本時代有人收鹿皮，現在沒人收鹿皮，所以可以用火燒皮。(銅門 A)。 ● 鹿肉烤乾、鹿茸、鹿腳、鹿皮都有用。(銅門 A)。 ● 水鹿內臟可以吃，但腸不能吃，因為牠吃箭筍，硬硬的。(銅門 B)。
棲地、食性、繁殖、活動模式、與其他動物互動、危害情形。	<ul style="list-style-type: none"> ● 鹿茸期為 3 至 5 月。(卓清 A)。 ● 6 月比較適合打獵，因為水鹿 11-12 交配、1-3 月懷孕、4-5 月生產。(卓溪 A) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鹿茸期 5 月。(銅門 A)。 ● 聽說萬榮那裏水鹿多，林務局樹死很多。(銅門 A)。
水鹿欣賞、生態嚮導、生態旅遊、嚮導費用、擔任嚮導意願		<ul style="list-style-type: none"> ● 贊成路旁的動物不要打，留給遊客欣賞。(銅門 A)。

表 3-7、台東縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料。

內容	台東延平鄉(布農族)	台東海端鄉(布農族)
訪查聚落	<ul style="list-style-type: none"> ● 紅葉村 ● 桃源村 	<ul style="list-style-type: none"> ● 霧鹿村
區域特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 延平林道 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鄰近玉山國家公園
水鹿分布、數量、族群趨勢	<ul style="list-style-type: none"> ● 水鹿比以前多，延平林道腳印有增加。(紅葉 A)。 ● 延平林道約 28K 開始有水鹿。(紅葉 A)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水鹿變多了。(霧鹿 A)。 ● 大關山隧道、向陽嘉明湖水鹿很多。(霧鹿 A)。
狩獵區域、方式、目的、頻度、數量、獵物處理、禁忌與傳說	<ul style="list-style-type: none"> ● 以前延平鄉一年約獵捕 50 隻水鹿。(紅葉 A)。 ● 延平鄉一年約獵捕 30 隻水鹿。(桃源 A)。 ● 目前打耳祭才開放打水鹿。(紅葉 A)。 ● 狩獵以中年人為主。(紅葉 A)。 ● 獵物整隻帶回，不浪費。(紅葉 A)。 ● 以前和老人家上山打獵，打水鹿，陷阱綁一根木頭，讓水鹿帶著走，再跟著水鹿的痕跡尋找，等木棍卡住。(桃源 B)。 ● 現在打的人少。(紅葉 A)。 ● 早期鹿茸換火藥子彈。(紅葉 A)。 ● 以前在獵區，自己一人去打獵，約設 40 吊子，吊子抓到水鹿多。(紅葉 B)。 ● 水鹿沒有故事。(紅葉 B)。 ● 水鹿布農族名稱意義 Gunmun-住在山上的牛。(紅葉 B)。 ● 鹿角很少用，可掛衣服。(紅葉 A)。 ● 鹿茸賣給漢人。(紅葉 A)。 ● 鹿血配酒喝。(紅葉 A)。 ● 獵人在山上看到陷阱抓到獵物，送到設陷阱人家，主人只拿前後腿，其餘給幫忙的 	<ul style="list-style-type: none"> ● 霧鹿目前一年打 5 隻。(霧鹿 A)。 ● 以前鹿茸鹿鞭可賣。(霧鹿 A)。 ● 利稻一年打 30 隻。(霧鹿 A)。 ● 獵具有槍、陷阱。(霧鹿 A)。

棲地、食性、繁殖、活動模式、與其他動物互動、危害情形。	<p>人，但山豬水鹿太重，不帶下來。拿一隻腿，下山告訴設陷阱的主人。(紅葉 A)。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 上山狩獵時，遇到下山的人，可得後腿一隻。(紅葉 A)。 ● 水鹿吃箭竹。(桃源 A)。 ● 水鹿一次一胎。(紅葉 A)。 ● 2011 年看到水鹿磨樹的現象。(紅葉 A)。 ● 耆老才有能力上山處理水鹿危害的問題。(紅葉 A)。 ● 水鹿公的糞便較圓，母的不圓，小一點。(紅葉 B)。 ● 4-5 月鹿茸期(紅葉 B)。 ● 水鹿磨樹，磨角皮(紅葉 B)。 ● 水鹿腳印分公母 公的橢圓、母細長。 ● 水鹿會在水邊照鏡子，看自己角有沒有長正，5-6 月換角(桃源 C)。 	● 無
水鹿欣賞、生態嚮導、生態旅遊、嚮導費用、擔任嚮導意願	<ul style="list-style-type: none"> ● 參加林務局社區林業計畫，成立巡守隊，希望未來有機會發展欣賞動物的旅遊。(紅葉 A) 	● 無

表 3-8、宜蘭縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料。

內容	宜蘭縣南澳鄉(泰雅族)	宜蘭縣大同鄉(泰雅族)
訪查聚落	<ul style="list-style-type: none"> ● 碧侯村 ● 武塔村 	<ul style="list-style-type: none"> ● 南山村 ● 四季村 ● 樂水村 ● 崙埤村
區域特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 南澳古道 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鄰近雪霸國家公園
水鹿分布、數量、族群趨勢	<ul style="list-style-type: none"> ● 近年來沒有目擊水鹿。(碧侯 A)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水鹿不多。(四季 A)。 ● 鹿湖，有水鹿的水池，離部落約 2 小時，今年初發現有角公鹿。(樂水 A)。 ● 崙埤附近沒有水鹿。(崙埤 A)
狩獵區域、方式、目的、頻度、數量、獵物處理、禁忌與傳說	<ul style="list-style-type: none"> ● 設陷阱。(武塔 A)。 ● 使用獵槍。(武塔 A)。 ● 使用弓箭要安靜的潛行，靠近動物後射獵物。箭三個倒鉤的是獵捕山豬的，兩個倒鉤是獵捕水鹿，沒有倒鉤是獵捕山羌山羊。(武塔 A)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 槍、陷阱、狗。 ● 四季一年獵捕水鹿不超過 10 隻。(四季 A)。 ● 南山一年約獵捕水鹿 20-30 隻。(南山 A)。 ● 樂水一年獵捕水鹿少於 30 隻。(樂水 A)。 ● 以前老人家認為水鹿有恩，不能獵捕。(樂水 A)。 ● 祭儀祭祖只能用山豬肉和鹿肉。(樂水 A)。 ● 以前 5-6 月打鹿茸。(樂水 A)。 ● 母鹿不打。(樂水 A)。 ● 鹿皮有收購，衣服背架用皮。(樂水 A)。 ● 弓箭狩獵，墨點櫻桃、檫木作弓箭。(樂水 A)。
棲地、食性、繁殖、活動模式、與其他動物互動、危害情形。	<ul style="list-style-type: none"> ● 無水鹿危害情形。(碧侯 A)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無水鹿危害情形。(樂水 A)。
水鹿欣賞、生態嚮導、生態旅遊、嚮導費用、擔任嚮導意願	<ul style="list-style-type: none"> ● 贊成欣賞動物，部落附近沒有水鹿，有白鼻心、飛鼠、山羌(碧侯 A)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 部落正在發展深度旅遊，有 8-10 個接待家庭。(樂水 A)。 ● 部落有生態永續發展協會，想發展旅遊。(南山 A)。

表 3-9、南投縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料。

內容	南投縣信義鄉(布農族)
訪查聚落	● 地利村、潭南、雙龍、人和
區域特性	● 鄰近玉山國家公園
水鹿分布、數量、族群趨勢	<ul style="list-style-type: none"> ● 水鹿越來越多。(地利 A)。 ● 現在路上就看的到水鹿。(地利 B)。 ● 日據時代水鹿不多，30 年內，水鹿變多了。(潭南 A)。
狩獵區域、方式、目的、頻度、數量、獵物處理、禁忌與傳說	<ul style="list-style-type: none"> ● 水鹿一年約打 3000 隻。(地利 A) ● 獵物烤乾。(地利 B)。 ● 以往打公鹿多，因為鹿茸，現在 4-5 年沒打鹿茸了(地利 B)。 ● 以前一年打 1000 隻水鹿 一天打 5-6 隻。晚上打得多。(地利 B) ● 早期用弓箭。(潭南 A)。 ● 以前有一家放狗追水鹿。(潭南 A)。 ● 以往鹿茸鹿鞭可賣。(潭南 A)。 ● 水鹿沒有傳說。(潭南 A)。
棲地、食性、繁殖、活動模式、與其他動物互動、危害情形。	<ul style="list-style-type: none"> ● 水鹿 1-5 月帶小鹿，小鹿 2 月走路，約 5 月離開媽媽。(地利 B)。 ● 母鹿生產只有幾秒中，生下小鹿，舔一舔，就走了。(地利 B)。 ● 獵到的水鹿 9-4 月都有胎，一次一胎。(地利 B)。 ● 2-5 月長鹿茸。(地利 B)。 ● 看過水鹿舔岩塊，自己試吃，但不鹹。(地利 B)。 ● 水鹿喜歡到溫泉，老人家說，水鹿喝了很像酒醉。(地利 B)。 ● 公水鹿，眼睛較紅。(地利 B)
水鹿欣賞、生態嚮導、生態旅遊、嚮導費用、擔任嚮導意願	● 沒有發展水鹿欣賞，但自己在其他地方待過遊客，一天 3000 元。(地利 B)

表 3-10、苗栗縣、新竹縣原住民族訪查，水鹿傳統知識與利用方式相關資料。

內容	苗栗縣泰安鄉(泰雅族)	新竹縣五峰鄉(泰雅族)
訪查聚落	● 梅園村(天狗部落)	● 桃山村((清泉部落)
區域特性	● 鄰近雪霸國家公園	● 鄰近雪霸國家公園
水鹿分布、數量、族群趨勢	● 水鹿比以前多，現在出現在大安溪床上。(梅園 A)。 ● 水鹿都下來大安溪。(梅園 B)。 ● 水鹿分布超過 2000 公尺。山羊超過 1500 公尺、山羌少於 2500 公尺。(梅園 C)。	● 動物比以前多，河邊有山羌。(清泉 C)
狩獵區域、方式、目的、頻度、數量、獵物處理、禁忌與傳說	● 20 年前才用燈照打。(梅園 A)。 ● 72 年和岳父去雪山溪，抓到水鹿。(梅園 A)。 ● 這裡獵人不會專門取鹿茸。(梅園 A)。 ● 部落 10 年內都沒聽說打到水鹿。(梅園 A)。 ● 水鹿用醃的，帶鹽和米上山。(梅園 B)。 ● 現在沒有刻意獵水鹿，覺得目前泰安一年打不到一隻水鹿。(梅園 B) ● 最喜歡的獵物，山鹿、山豬、山羊、山羌，因為水鹿比較少打到。(梅園 B)。 ● 老祖先留下的陷阱或經驗，無法複製了。(梅園 C)。	● 水鹿不好吃、烤乾。(清泉 A)。 ● 生活習慣沒有獵鹿茸。(清泉 B)。 ● 去打獵不會在特定的鹿茸期去。(清泉 B)。 ● 10 年前，開始用燈打地上的獵物。(清泉 A)。 ● 現在已打獵為主的，都往生了。(清泉 C)。 ● 用槍打水鹿，前幾年打 2-3 隻。(清泉 B)。
棲地、食性、繁殖、活動模式、與其他動物互動、危害情形。	● 5-7 月茸角期。(梅園 A)。 ● 水鹿 waanuf，公的 Vatinan，母的 Valawie ● 水鹿危害多的地方，雪山。(梅園 B)。	● 水鹿喜歡走陵線，在山上住。(清泉 C)
水鹿欣賞、生態嚮導、生態旅遊、嚮導費用、擔任嚮導意願	● 經營民宿，辦夜遊司馬限林道，獵人 2000 助理 1500。(梅園 C)。	● 目前無發展，但對發展有興趣。(清泉 A)。

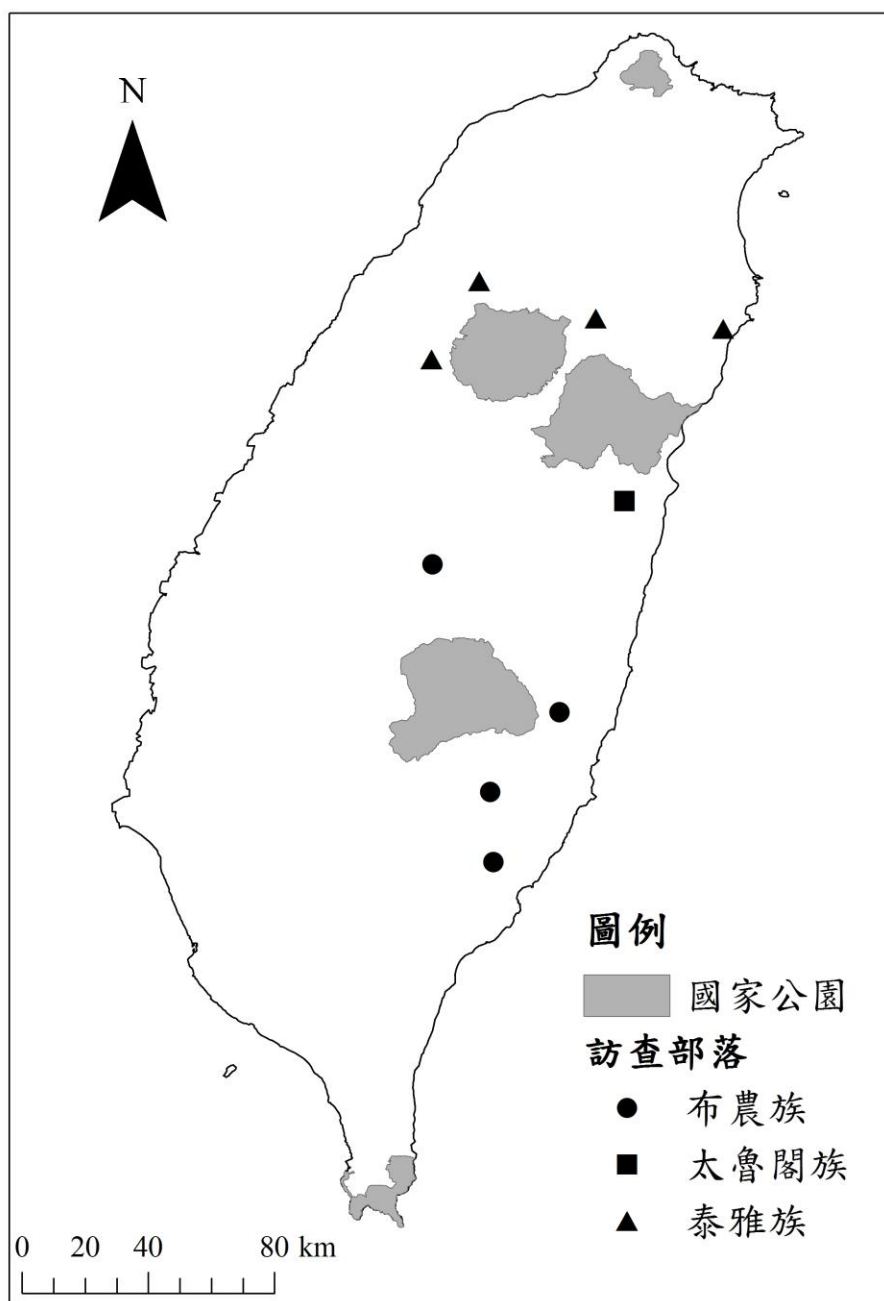


圖 3-2、2014 年原住民之水鹿傳統知識與態度訪查，訪查鄉鎮分布位置。

四、水鹿族群密度與啃食磨角調查

(一)、志樂溪上游區域水鹿族群密度

本研究團隊於 103 年 4 月初至 6 月初在志樂溪上游區域總共架設了 20 台相機(圖 3-3)。103 年 4 月 1 日前往樣區架設自動相機，但因遇雪山主峰結冰，無法通行，僅在三六九山莊附近架設 2 台相機(SP1, SP2)。103 年 5 月 5 日因遇大雨，僅架設第二批共 8 台相機(SP5, SP6, SP15-SP18)。103 年 6 月 4 日將相機補至 20 台 (SP3, SP4, SP7-14, SP19, SP20)，並於 103 年 10 月 31 日回收所有相機。

由於 4 月至 5 月間並沒有拍攝到任何水鹿照片，並且 6 月 4 日之後才有足夠數量的相機可進行監測，因此僅採用從 103 年 6 月 4 日至 10 月 31 日的有效水鹿照片，以估算每個月的水鹿族群密度。由於三六九山莊與黑森林一帶並沒有拍攝到任何水鹿照片，本次研究只分別計算從博可爾草原至火石山營地及從翠池山屋至完美谷營地兩條樣線的水鹿族群密度(圖 3-4)。兩條樣線每月的拍攝與分析結果請見表 3-11。

整體而言，火石山與完美谷的族群密度相差不大，平均而言族群密度在 9 月與 10 月最高，7 月次之，6 月最少(圖 3-4、3-5)。兩地族群密度相關係數達 0.75，但未達顯著($P = 0.14$)。兩地的雌雄比例從 6 月至 10 月都有著明顯轉變，在 6 月時，雌性比例都佔半數以上，而在 7 月後雄性比例緩慢提高，在 8、9 與 10 月時，兩地的雄性比例都明顯比雌性比例來得高。從照片中可了解，監測時期剛好是介於水鹿長角期間。

(二)、森林冠層樹種受到台灣水鹿啃食或磨角損害現況調查

本研究團隊於志樂溪上游區域共設置了 6 個輻射穿越帶樣點(圖 3-3)，共計有 18 條長 50 公尺，寬 10 公尺隻穿越帶。綜合輻射穿越帶的結果，本研究一共記錄了 1012 顆共 4 種樹種包括了玉山圓柏、台灣冷杉、台灣鐵杉與玉山茶藨子，其中只有玉山圓柏與台灣冷杉發現有遭水鹿啃食樹皮或磨角的痕跡，共有 65 棵樹木被磨角(磨角比例為 6.42%)，5 棵樹木遭水鹿啃食樹皮(啃食樹皮比例為 0.49%)。其中僅有台灣冷杉有發現水鹿啃食痕跡，而玉山圓柏(8.35%)與台灣冷杉(4.83%)被磨角的比例也不高，在所有磨角痕跡中，有 43%是 6 個月內的新痕跡，57%是 6 個月以上舊痕跡。被水鹿磨角與啃食的樹木約佔全部的 6.42%。就傷害類型而言，志樂溪上游區域被磨角的程度高於被啃食樹皮的頻率，不過整體而言樹木被水鹿利用的程度相當低。

分析志樂溪上游區域水鹿啃食壓力與地表植物覆蓋度關係（圖 3-6），禾草類覆蓋度與 OI 值呈現負相關，但未達顯著（ $r = -0.22, P = 0.68$ ），而闊葉草類與蕨類覆蓋度則與 OI 值呈正相關，但也未達顯著（相關係數分別為 $r = 0.44, P = 0.39$ 與 $r = 0.27, P = 0.61$ ）。

而在樹木受損程度與 OI 值相關性方面，由於水鹿啃食痕跡很少並且都集中在同一個相機點位（SP20），因此無法進行相關性分析。而針對水鹿磨角方面，雖然在水鹿出現頻率越高的地方，磨角的比例也越高（圖 3-7），但是相關性並不明顯（ $r = 0.53, P = 0.28$ ）。

（三）、台灣水鹿對於森林植被結構與更新影響之評估

綜合志樂溪上游區域 6 個輻射穿越帶樣區的調查結果顯示（圖 3-8），水鹿在 DBH<5 公分的樹木的磨角頻率高於期望值，而對於 DBH5~20 公分的樹木磨角的頻率則接近期望值，顯示了水鹿偏好選擇 DBH<5 公分的樹木磨角，且卡方分析顯示此偏好在統計上達到顯著（ $\chi^2 = 31.56, df = 2, P < 0.001$ ）。而在啃食樹皮方面，由於總共僅五棵樹木遭啃食，因此無法以統計檢驗啃食行為是否具有 DBH 的偏好，但五棵遭啃食樹木的 DBH 皆為 5~20 公分，仍可看出水鹿偏好啃食 DBH 介於 5~20 公分之間的樹木。這樣的結果與王穎等（2012）或翁國精等（2010）的結果都相符，水鹿啃食的痕跡主要集中在 DBH5~20 公分的樹木，而 DBH>20 公分的樹木則並未發現到任何水鹿啃食或磨角痕跡。這些結果說明志樂溪的水鹿並非隨機利用，而是偏好利用較小徑級的樹木。

五、水鹿啃食紅檜頻度的季節變化

（一）、楠溪林道水鹿啃食紅檜頻度季節變化監測樣區

本研究自 2013 年 12 月起，於楠溪林道 7k 及 11-12k 紅檜造林區共設置了 5 個樣區（圖 2-7）進行每月啃食頻度調查，5 個樣區內總共標記了 1000 顆紅檜。監測時間從 2 月開始至今年 10 月止，8 月期間因颱風影響無法進入，因此將 9 月份的啃食頻度數值除於 2，以代表 8-9 月份的啃食頻度變化。

從各月份啃食頻度變化，可看出啃食頻度從 3 月開始上升至 4-5 月達到啃食高峰，在 6 月後則緩慢下降，並且 4 月及 5 月的啃痕數、被啃食棵數與啃食面積數都明顯高於其他

月份 (圖 3-9)。若將啃痕數目、被啃食棵數及啃食面積以速率的方式呈現，依然可發現 4 月及 5 月的各項啃食速率都高於其他月份 (圖 3-10)。

(二)、水鹿族群量與啃食頻度之關係

本研究團隊於 103 年 2 月在楠溪林道 7k 架設 14 台自動相機，相機位置見圖 2-7，分析有效照片中水鹿的每月平均 OI 值，並如同上一節所述，以 CARE-2 軟體運算公鹿捕捉史後，並採用 M_h (JK1) 的公鹿數量估算結果，並以有效照片數中的性別比例，估算每個月的成體水鹿族群量，楠溪林道每個月的平均 OI 值與族群量請見圖 3-11。分析每個月 OI 值與族群量，發現兩者雖然呈正相關，但是並不顯著 ($r=0.506, P=0.16$)，說明在楠溪林道水鹿出現頻度 (OI 值) 並不能完全反映出當地的族群量，因此分別將 OI 值、族群量與啃食頻度進行相關性分析。

分析 OI 值與啃食頻度的相關性，發現台灣水鹿每月的平均 OI 值與每月新啃痕數目 ($r=0.16, P=0.69$)、啃食面積 ($r=0.14, P=0.72$)、紅檜被啃食棵數 ($r=0.18, P=0.63$) 等皆呈正相關，但是相關性都不明顯，而分析 OI 值與啃食頻度速率的關係，啃痕數目 ($r=0.20, P=0.61$)、啃食面積 ($r=0.20, P=0.09$) 與啃食棵數 ($r=0.22, P=0.57$)，依然是不明顯的關係，說明水鹿在監測樣區內活動的頻率與啃食紅檜的頻度無關。另外分析族群量與啃食頻度的相關性，同樣顯示類似結果。啃痕數目、啃食面積、樹木被啃食數與三種啃食速率都具正相關性，但相關性都不明顯，且皆未達統計上的顯著，這結果說明監測樣區內的水鹿成體族群數量也與啃食紅檜頻度無關。

在楠溪林道相機照片中觀察到 1-2 月份的公鹿出現解角情形，一直持續到 3 月大部分公鹿都已完成解角且已開始長茸角，而 3-6 月則介於水鹿的茸角期與硬角期之間，啃食頻度剛好在 4-5 月達到最高峰，因此為了了解水鹿啃食樹皮是否與角週期 (antler cycle) 有關，也將每個月辨認出的水鹿解角個體數與茸角個體數的總和與啃食頻度做相關性分析。結果發現無論新啃痕數目 ($r=0.96, P<0.01$)、啃食面積 ($r=0.89, P<0.01$) 或是紅檜被啃食數 ($r=0.96, P<0.01$) 都與解角與茸角水鹿總和呈現顯著正相關。若觀察新啃痕數目與解角與茸角個體數的變化，更可看出兩者幾乎是呈現同步的狀況 (圖 3-12)。因此在楠溪林道，水鹿啃食樹皮行為很可能與其為了長角有關。

表 3-11、志樂溪上游區域各月份相機分析結果。M^h(JK1)估算結果為成體公鹿族群量，成體水鹿族群量是由成體公鹿族群量與性別比例換算。-N-表示因當月個體數過少，因此無法進行族群估算。

月份	樣區	拍到水鹿的相機編號	工作 時數	有效 照片數	平均 OI 值	性別與年齡比例(%)			成體水鹿 族群量
						雄鹿	雌鹿	幼鹿	
6 月	火石山	SP7,SP8	1296	17	13.12	18.8	81.3	0	13
	完美谷	SP19	648	3	4.62	33.3	66.7	0	-N-
7 月	火石山	SP8,SP9	1488	25	16.8	44.0	52.0	4	22
	完美谷	SP16,SP19	1488	16	10.75	62.5	37.5	0	16
8 月	火石山	SP8,SP9	1488	15	10.08	73.7	26.7	0	11
	完美谷	SP16,SP19,SP20	2232	14	6.27	85.7	14.3	0	7
9 月	火石山	SP6,SP7,SP8,SP9	2880	22	7.64	63.6	36.4	0	22
	完美谷	SP15,SP16,SP17,SP19,SP20	3600	30	8.33	83.3	13.3	3	26
10 月	火石山	SP7,SP8,SP9	2232	9	4.03	77.7	22.3	0	18
	完美谷	SP14,SP15,SP16	2232	61	27.3	60.7	37.7	2	27

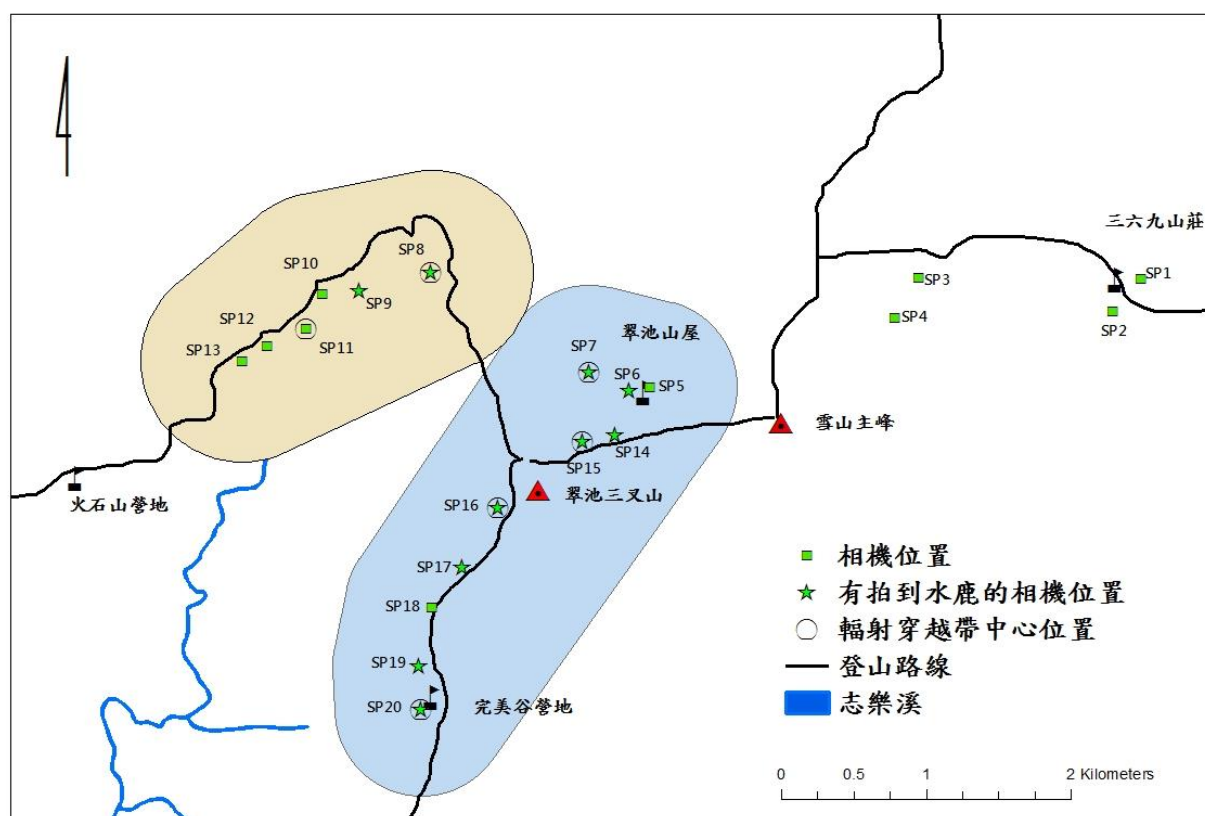


圖 3-3、志樂溪上游區域自動相機架設點位圖(黃色區塊與藍色區塊分別代表火石山樣區與完美谷樣區族群密度估算時的有效範圍)。

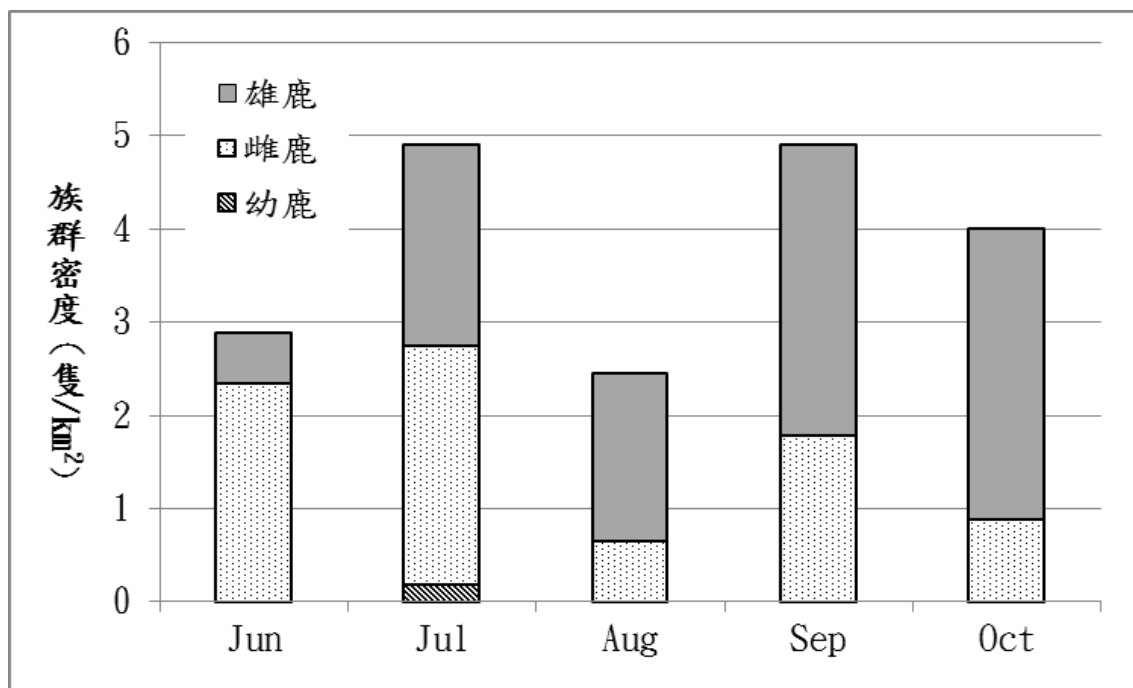


圖 3-4、2014 年火石山樣區 6-10 月水鹿族群密度、年齡與性別比例。

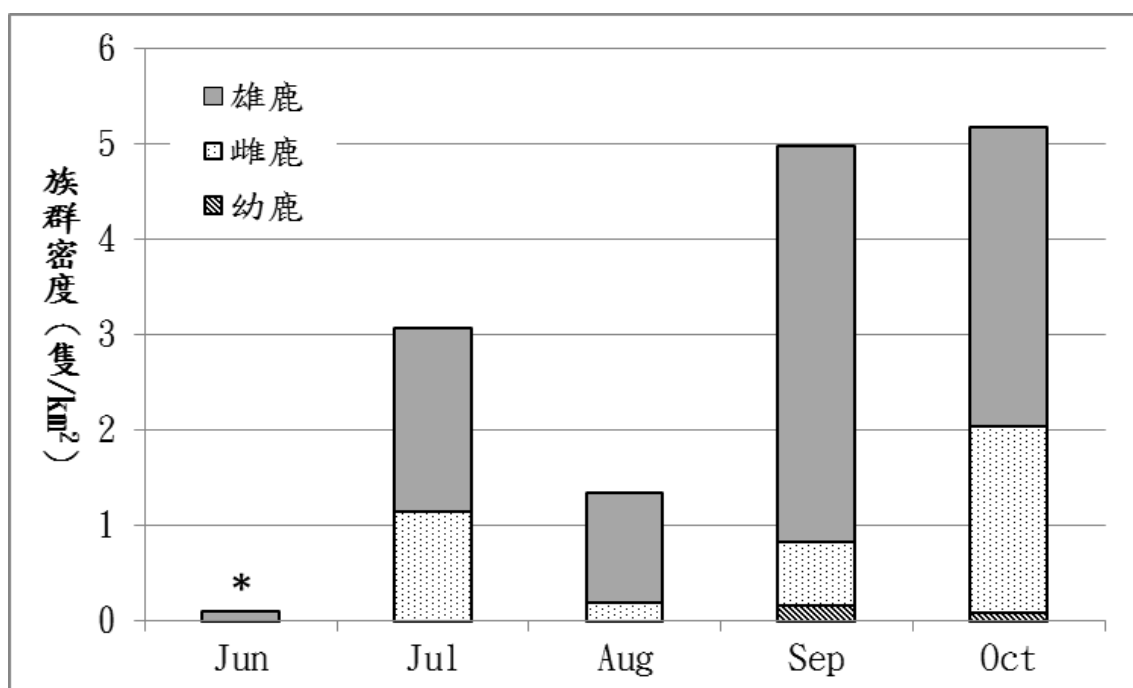


圖 3-5、2014 年完美谷樣區 6-10 月水鹿族群密度、年齡與性別比例 (*表示該月份由於個體數量太少，因此無法進行族群量估算)。

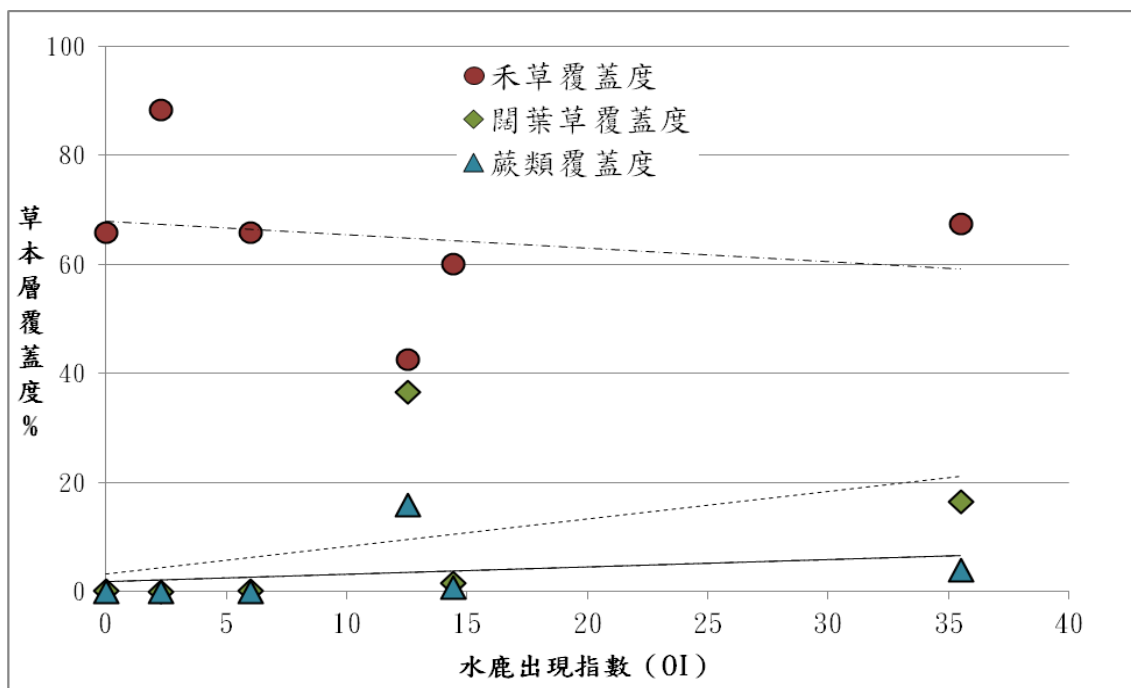


圖 3-6、2014 年 6-10 月志樂溪上游區域水鹿出現指數與禾草覆蓋度、闊葉草覆蓋度與蕨類覆蓋度之關係 (不同類型的線條分別代表不同植被類型之線性迴歸線)。

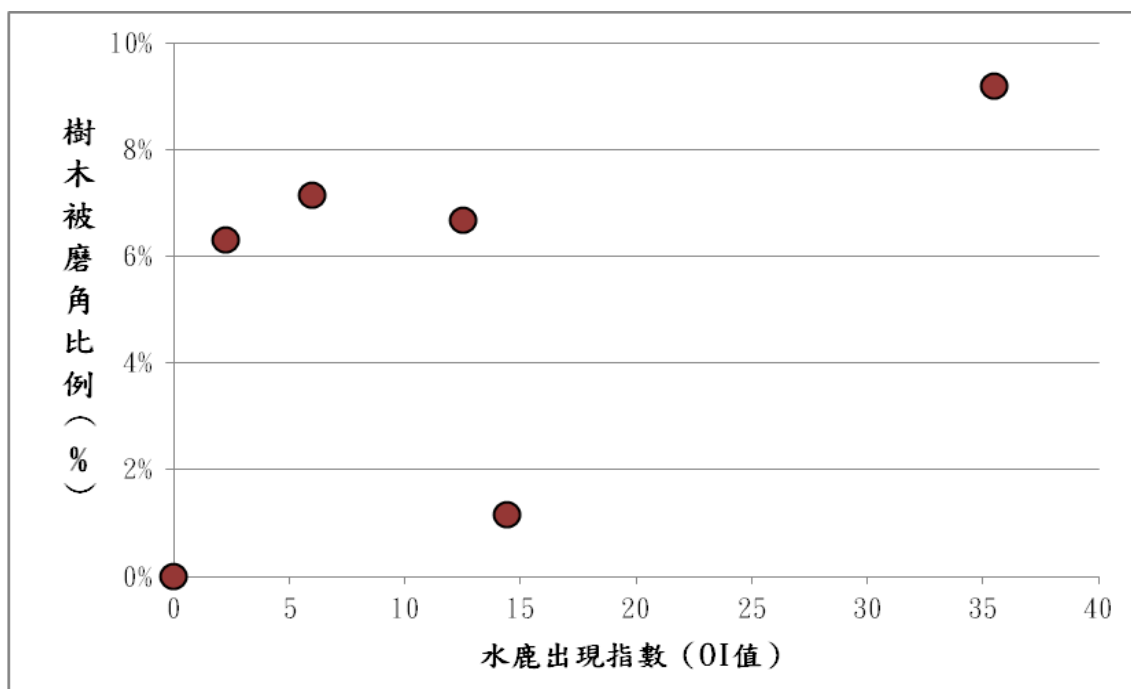


圖 3-7、2014 年 6-10 月志樂溪上游區域水鹿出現指數與樹木被磨角比例之關係。

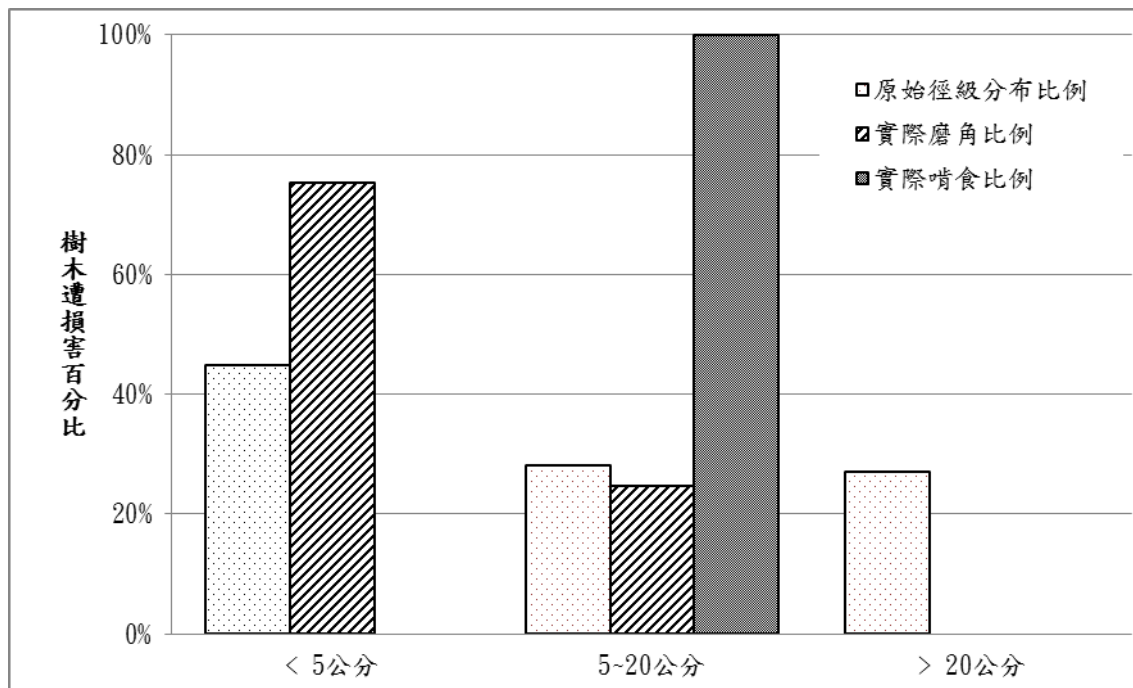


圖 3-8、2014 年志樂溪上游區域 6 個輻射穿越帶內樹木遭啃食及磨角損害與徑級分佈比較圖

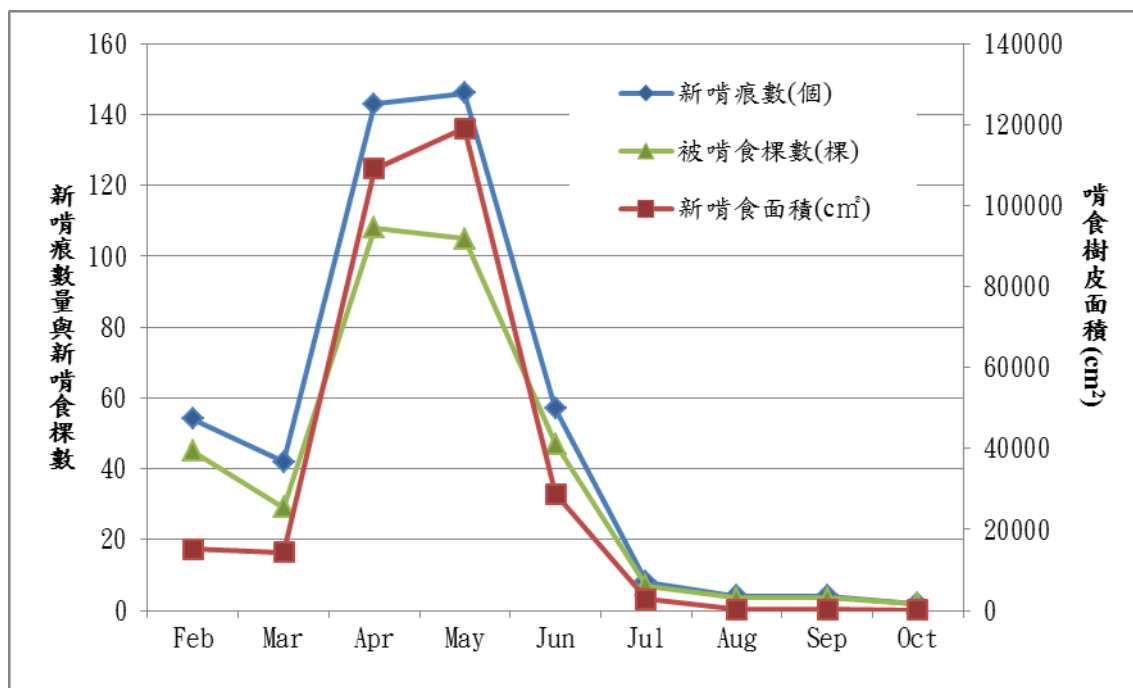


圖 3-9、2014 年楠溪林道紅檜造林地水鹿每月啃食頻度、啃食棵數及啃食面積之變化圖。

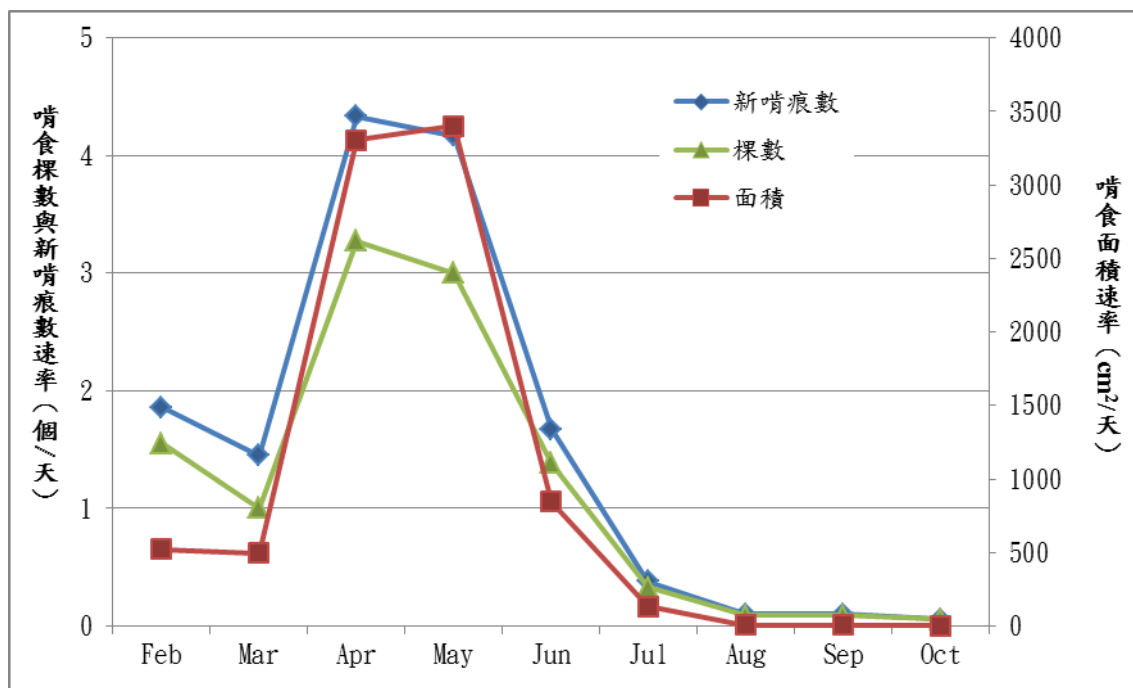


圖 3-10、2014 年楠溪林道紅檜造林地每月啃食速率變化圖。

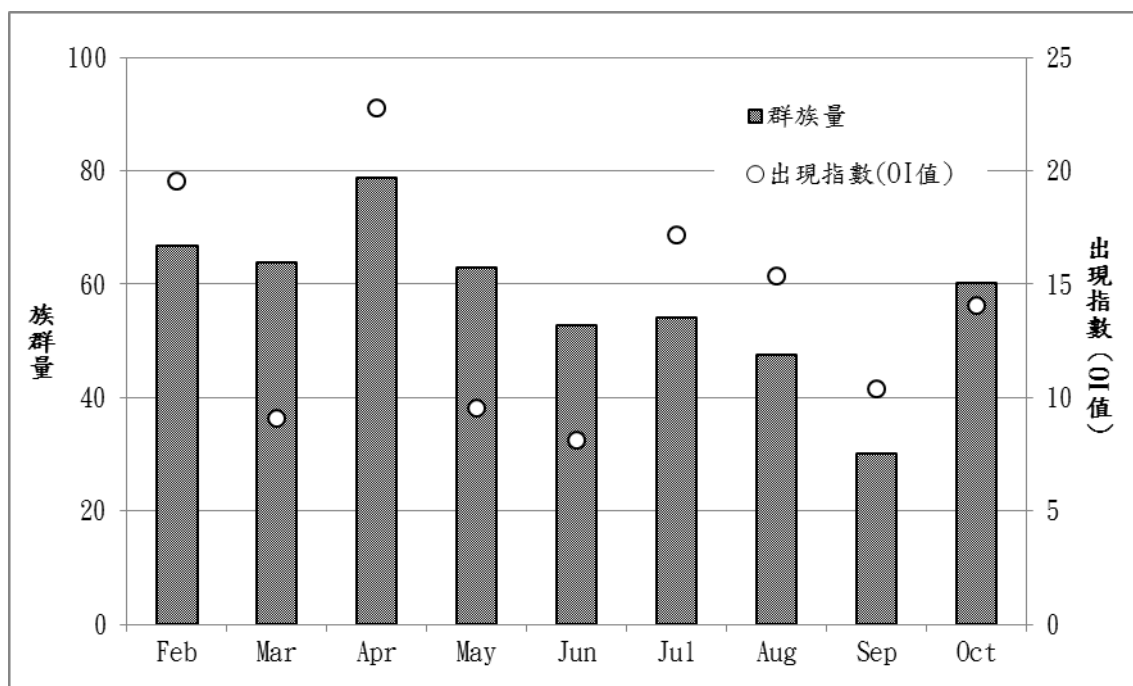


圖 3-11、2014 年楠溪林道成體水鹿每月族群量與平均 OI 值變化。

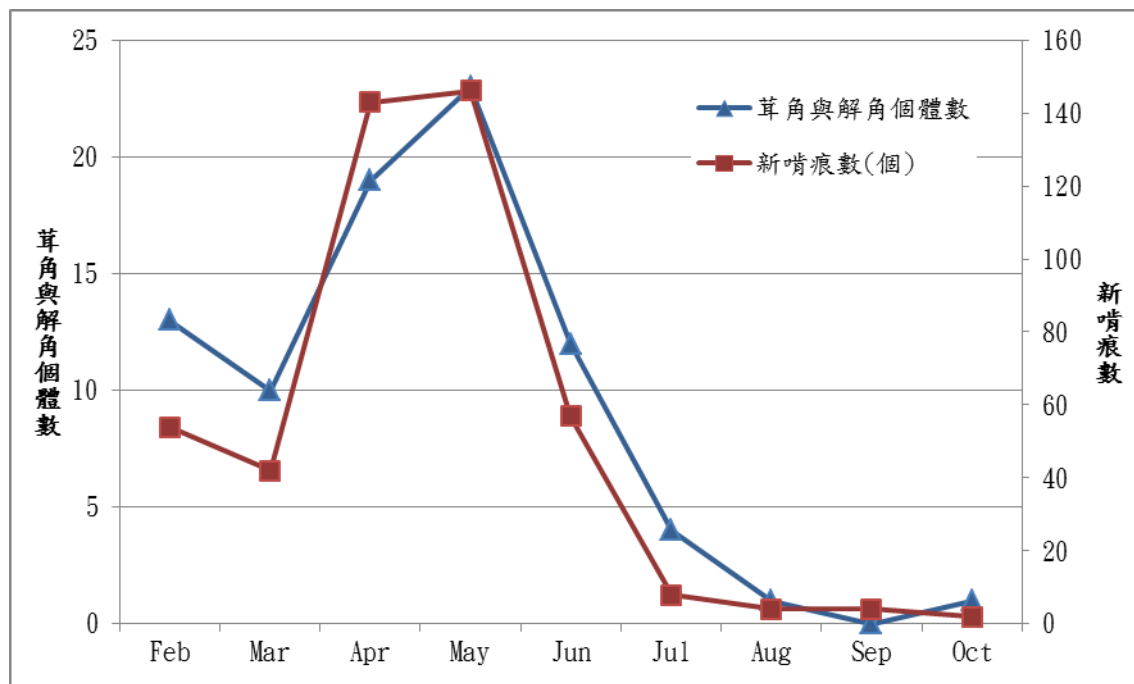


圖 3-12、楠溪林道茸角與解角的水鹿個體數與紅檜造林地內新啃痕數的每月變化圖。

六、台灣水鹿遺傳多樣性與族群遺傳結構

(一)、水鹿遺傳樣本採集現況

目前累積樣本共 907 個，為避免採集同一個體排遺，我們將距離 500 公尺內的排遺視為同一個體，分析過程中予以排除，故最終分析出粒線體 D-loop 序列共 457 個 (表 3-12)。

今年增加奇萊山樣線至 57 樣本，磐石山樣線至 18 樣本，並收集太魯閣國家公園砂山 4 樣本、海鼠山樣線 5 遺傳樣本，這些樣本補足太魯閣峽谷內水鹿樣本，然目前在祖輪山、鍛鍊山、朝敦山與塔山皆無水鹿痕跡。而在雪霸國家公園已收集大鹿林道東線 61 樣本、大劍山 4 樣本。另外在玉山國家公園八通關古道增加樣本為 80 個，而目前在武陵四秀亦無水鹿痕跡。

至今共收集 5 大區域 (region)，涵蓋 30 樣區 (locality)，共 907 個樣本，由北到南包括：雪霸國家公園、太魯閣國家公園、丹大野生動物保留區、玉山國家公園與大武山野生動物自然棲息環境。採樣樣區與採樣數量如表 3-12。參考地理位置與水鹿活動範圍，將臺灣水鹿分成 7 個族群，分別為：雪霸族群 (SP)、南湖陶塞族群 (NTS)、奇萊能高 (CLNK)、丹大七彩湖 (DCT)、北玉山 (NYS)、南玉山 (SYS) 與大武臺東 (DWTT)。排遺樣本地理位置如圖 3-13。

太魯閣樣本：陶塞流域中下游區域 (TRTS) 包括梅園、竹村、雞鳴山南邊與陶塞溪及波浪溪交叉平台 (TRTS)，共收集 56 個水鹿樣本；砂山 (TRSM) 與海鼠山 (TRHS) 共收集 9 個水鹿樣本；南湖大山陶塞溪線 (NHTS) 至今共收集 81 個水鹿樣本；西南區包括奇萊山區 (TRCL)、磐石山區 (TRPS)，分別採到水鹿 57 與 18 個樣本；銅門 (TRTM) 4 個、耳無溪 (TREW) 6 個、和平林道 (HLHP) 3 個、闊闊庫溪 (TRKR) 11 個水鹿樣本。

雪霸國家公園之翠池 (SPCP) 與志樂溪 (SPZL) 共收集 25 個水鹿樣本，大霸尖山 (SPDB) 與完美谷營地 (SPWM) 共收集 10 個水鹿樣本，大劍山 (SPXJ) 收集 4，而大鹿林道 (SPDL) 則收集 61 個水鹿樣本。丹大野生動物重要棲息環境 (NTDD) 收集 56、雙龍林道 (DDSL) 17、雙龍治茆山 (DDZM) 2、能高坂邊天長 (HLBB) 103、七彩湖 (DDCT) 20 個水鹿樣本。玉山國家公園部分，八通關古道 (YSBT) 水鹿樣本增加為 80 個，南二段 (YSSR)、圓峰 (YSYF)、楠溪林道 (YSNR)、拉庫音溪 (YSLK)、石洞 (YSSD)、三叉稜 (YSSC)、嘉明湖 (YSJM)、新康 (YSSK)、大分 (YSDF)、向陽線 (YSSY) 則共收集 165 個水鹿樣本。大武山自然保留區則共收集 119 個水鹿樣本。

(二)、臺灣水鹿粒線體 D-loop DNA 單套型分析

成功獲得 D-loop 全長 DNA 序列之 457 條序列後，為避免後續族群歷史變動時的干擾，我們去除 tandem repeat 序列與序列間的 gap，以長度為 889 核苷酸進行比對 (alignment)，共發現 20 個序列單套型。而在後續分析時只採用 454 條序列，由於 YSSD 分析出 2 條序列便有 2 種單套型，YSDF 只取得 1 條序列，故此三條序列不納入分析。D-loop 單套型、採樣地點與族群關係如表 3-13。

由北至南分析各族群之單套型：雪霸族群 (SP) 單套型為 RUS01 與 RUS02，而在今年於大劍山及大鹿林道所取得 3 及 43 條序列，分別皆為 RUS01 及 RUS02 單套型，並無發現新單套型；在南湖陶塞線 (NTS)，主要為單套型 RUS02、RUS03、RUS05、RUS06 與 RUS07，其中今年在海鼠山發現之 RUS5 為新發現之單套型，此單套型為介於中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群之中間型；奇萊能高線 (CLNK) 單套型為 RUS02、RUS04、RUS06、RUS07 與 RUS08，並在今

年新增奇萊樣區樣本中發現過去未曾於奇萊發現之 RUS04 單套型；丹大七彩族群 (DCT) 單套型主要為 RUS06 與 RUS09；北玉山族群 (NYS) 單套型包括 RUS09、RUS10、RUS11、RUS12、RUS13、RUS14、RUS15、RUS16、及本年於八通關古道新發現之 RUS17 單套型；南玉山族群 (SYS) 單套型包括：RUS09、RUS10、RUS15、RUS16 與 RUS17；而大武山族群 (DWTT) 單套型則包括：RUS09、RUS18、RUS19 與 RUS20 (表 3-13)。

整體而言，RUS09 含樣本數比最多 (147 個)，且分布於丹大以南，最廣。而重要的是雪霸國家公園翠池與及志樂溪中下游流域、南湖大山陶塞採集線、太魯閣陶塞溪及能高坂邊天長 (HLBB) 所擁有單套型 (RUS01、RUS 02、RUS 03、RUS04) 有 4 個核苷酸取代特徵與其他地區明顯不同。所獲得資料以玉山國家公園之水鹿粒線體單套型最為豐富；雪霸國家公園與丹大重要動物棲息環境水鹿粒線體單套型最為貧乏。今年在雪霸國家公園採集樣本，已將雪霸族群樣本序列數擴增至 75 條，但仍未發現新單套型，顯示雪霸族群之水鹿單套型多樣性較低；而丹大族群樣本相對較少 (31 條)，未來可再進一步採樣，以釐清丹大是否水鹿粒線體單套型缺多樣性，以及與其他水鹿族群間基因交流狀況。同時，目前在立霧河流域亦無水鹿樣本，此處水鹿族群之遺傳單套型亦為將來取得之重點。

(三)、臺灣水鹿粒線體遺傳多樣性與族群結構分析

依據臺灣水鹿之 D-loop 各單套型間之遺傳距離建構 Neighbor-joining (NJ)、Maximum Likelihood (ML) 與貝葉氏 (Bayesian) (圖 3-14) 之親緣關係樹，結果顯示，目前所獲得之臺灣水鹿樣本之粒線體 D-loop DNA 序列多樣性可以分成兩大遺傳類群 (clade)。南湖陶塞族群、雪霸族群與奇萊能高族群形成一主要類

群，包括 RUS01、RUS02、RUS03 與 RUS04；RUS01 只分布在雪霸族群，而 RUS04 則分布在奇萊 (TRCL) 及能高坂邊天長 (HLBB) 樣區，這一類群稱為陶塞雪霸類群 (Taosai sheipa major clade, TSSP)。而 RUS05 至 RUS20 單套型則形成另一主要類群，這一類群稱為中央山脈主要類群 (Central mountain range major clade)。RUS05 分布在砂山族群，主要分佈在太魯閣峽谷中；RUS06 與 RUS07 則分布在南湖陶塞溪與陶塞溪中下游樣區、整個奇萊能高族群與丹大七彩族群的南投丹大樣區。RUS08 單套型只發現在磐石樣區。丹大七彩族群只有 RUS06 與 RUS09 兩單套型。北玉山 (NYS) 與南玉山 (SYS) 分布的單套型包 RUS07 至 RUS17。大武山族群包括 RUS09、RUS18、RUS19 與 RUS20。

兩大類群間之 Bootstrap value 為 100%/100%/100% (Bayesian/ML/NJ) 高於 70%，顯示這演化樹樹形在統計上具有意義。中央山脈主要類群分布於臺灣各山區，其中 RUS06 與 RUS09 分布最廣 (除雪霸國家公園與海岸山脈外)。中央山脈主要類群又分成兩次類群：subclade I (包括 RUS05 至 RUS08) 與 subclade II (包括 RUS09 至 RUS20)，這兩次類群間之 Bootstrap value 為 85%/100%/100% (Bayesian/ML/NJ)。另外，陶塞雪霸類群每個單套型均顯著分群，依地理位置分成 subclade I (包括 RUS01 至 RUS03) 與 subclade II (包括 RUS04) (圖 3-15)。

(四)、網狀支序分析

為了進一步探討造成中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群間遺傳分化與地理距離間的關係，結合樣本的 GPS 地理資訊與遺傳變異分析結果，進行 Nested Clade Analysis 分析，同時參考本團隊在奇萊磐石所獲得臺灣水鹿每年平均活動範圍 (home range) (1 公里/年/隻) 為參數，最後可得到遺傳結構與地理關係之 NCA

網絡圖 (圖 3-16)。根據 NCA 網絡圖顯示，臺灣水鹿可分成 Clade 2-1 為陶塞雪霸類群與 Clade 2-2 為中央山脈主要類群。對照 Templeton (2004) 檢索表，顯示 Clade 2-1 曾發生長距離的播遷伴隨或曾發生棲地破碎化的事件 (Long-distance colonisation and/or past fragmentation)。此研究顯示地理距離是造成中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群間遺傳分化的原因之一，但由於這兩類群間遺傳分化值頗大，且無中間型基因型被發現，故相信尚有其他更嚴苛的因子造成這兩大類群的顯著分化。

表 3-12、臺灣水鹿各採樣地區、中文名稱、英文縮寫對照表、採樣數量與獲得序列數量表。

	採樣地區	英文縮寫	採樣數量	獲得序列
雪霸國家公園	翠池	SPCP	7	6
	志樂溪	SPZL	18	15
	大霸尖山	SPDB	6	6
	完美谷營地	SPWM	4	2
	大鹿林道	SPDL	61	43
	大劍山	SPXJ	4	3
	太魯閣國家公園	南湖	NHTS	81
奇萊		TRCL	57	30
磐石		TRPS	18	14
銅門		TRTM	4	2
耳無溪		TREW	6	6
和平林道		HLHP	3	0
闊闊庫溪		TRKR	11	11
砂山		TRSM	4	4
海鼠山		TRHS	5	5
太魯閣陶塞溪中下游		陶塞溪	TRTS	56
丹大野生動物重要棲 息環境	丹大林道	NTDD	56	17
	雙龍步道	DDSL	17	6
	治卵山	DDZM	2	2
	能高坂邊天長	HLBB	103	27
	七彩湖	DDCT	20	6
玉山國家公園	南二段	YSSR	5	5
	八通關	YSBT	80	26
	圓峰	YSYF	19	12
	楠溪	YSNR	7	3
	拉庫音	YSLK	15	4
	石洞	YSSD	3	2
	三叉稜	YSSC	64	12
	嘉明湖	YSJM	19	0

臺灣水鹿跨域整合研究(三)

	玉山新康	YSSK	15	6
	大分	YSDF	5	1
	向陽線	YSSY	13	6
大武山自然保留區	大武山知本	DWJB	55	50
	大武山隘寮	DWAL	46	33
	大濁水北溪	YLNA	4	4
	內本鹿古道	TTLP	14	5
總計			907	457

表 3-13、各樣區臺灣水鹿 D-loop 基因單套型分布數量表(Haplotypes Inference)。表格第一欄為目前分析 454 條臺灣水鹿 D-loop 序列所得之 D-loop 基因單套型 RUS01 至 RUS20，第二欄為目前已獲得各基因單套型的序列數量。表格第一列為根據水鹿的活動能力範圍與地理屏障所定義七個族群，以不同顏色標示，括號中為該族群所獲得序列數量。表格第二列各族群包含的採樣地區縮寫，縮寫參照表 3-12。表中數字代表各樣區中各基因單套型序列數量分布的情形。

Population Haplotype	SP (75)						NTS (107)					CLNK (79)					DCT (31)				NYS (46)				SYS (28)				DWTT (88)				
	N	SPDB	SPDL	SPZL	SPCP	SPWM	SPXJ	YLNA	TRKR	NHTS	TRTS	TRSM	TRHS	TREW	TRCL	TRPS	TRTM	HLBB	NTDD	DDZM	DDSL	DDCT	YSBT	YSYF	YSNR	YSSR	YSSK	YSLK	YSSC	YSSY	TTLP	DWAL	DWJB
RUS1	26	-	-	15	6	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS2	81	6	43	-	-	-	-	-	2	1	26	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS4	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS6	81	-	-	-	-	-	-	-	-	28	2	1	-	-	29	13	2	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS7	44	-	-	-	-	-	-	4	9	18	4	2	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS9	147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	2	6	6	11	3	-	-	4	-	12	5	-	33	49
RUS10	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
RUS11	10	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-
RUS12	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS13	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-
RUS14	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RUS15	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	2	-	-	-	-	-
RUS16	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	1	2	-	-	-	-	-
RUS17	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
RUS18	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
RUS19	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
RUS20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

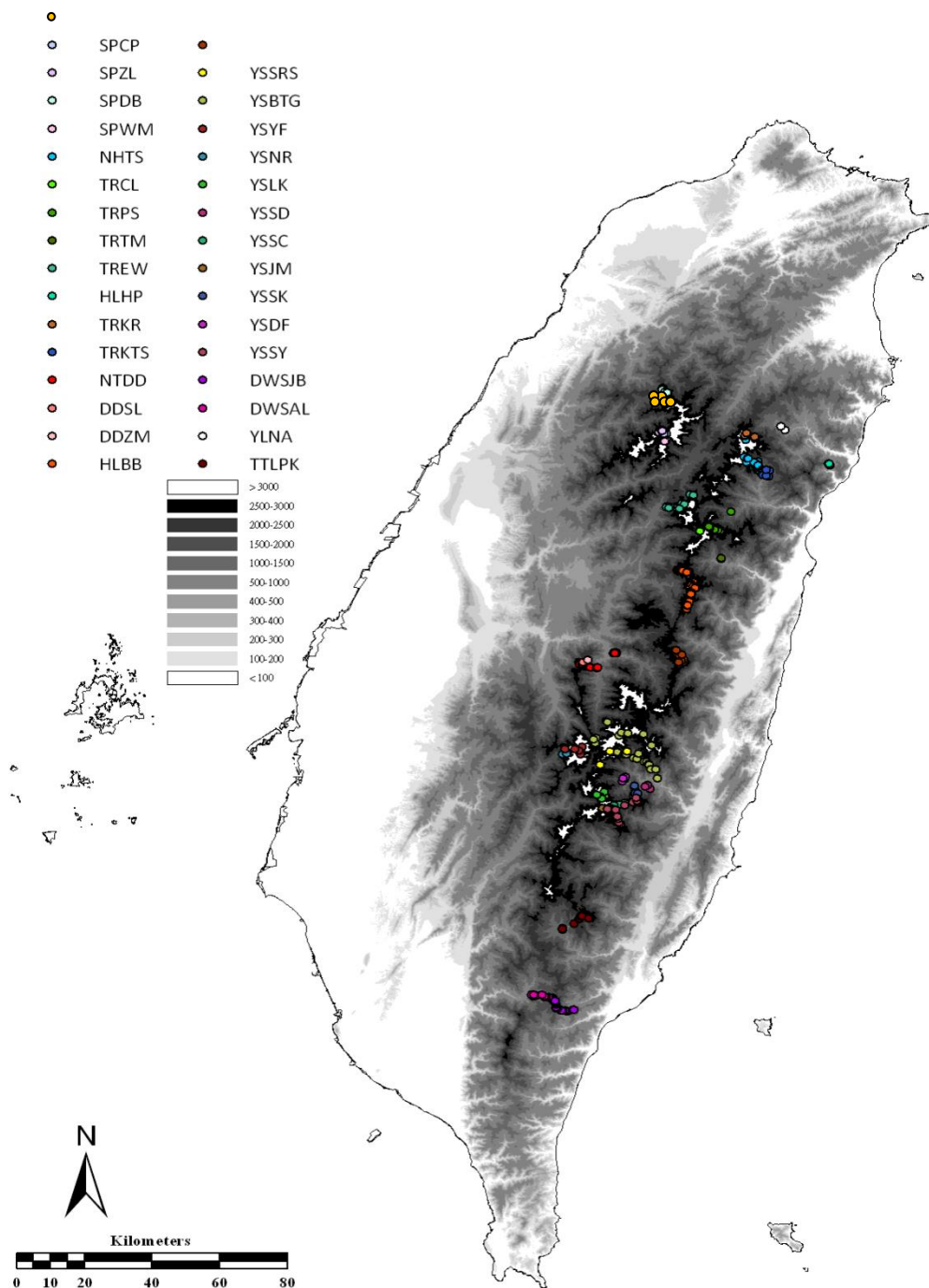


圖 3-13、臺灣水鹿樣本採樣地點位置圖。灰階地圖為臺灣地形海拔高度示意圖，海拔高度對應的顏色深淺程度參照左側圖示。樣本的 GPS 位置以不同顏色圓點在地圖上標示，已獲得 907 個水鹿樣本來自 36 個樣區，各樣區名稱與對應座標圓點顏色參照左上角圖示。

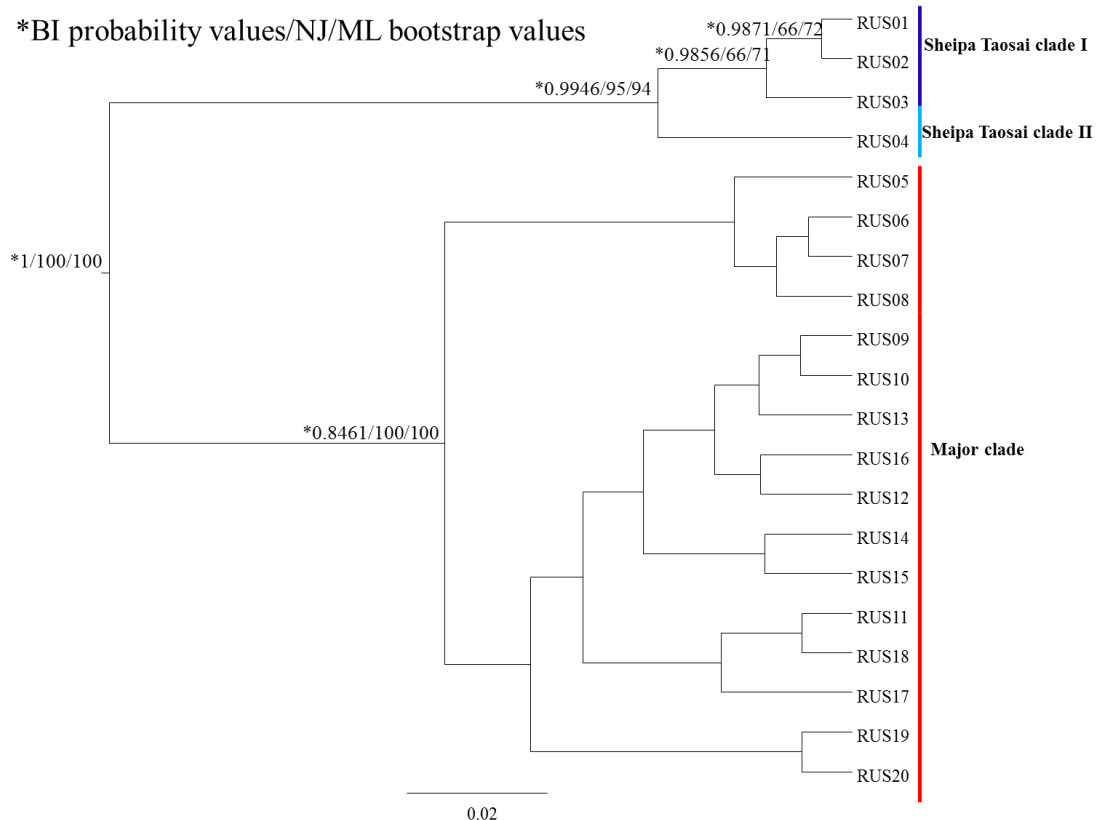


圖 3-14、臺灣水鹿以 D-loop 基因單套型序列以 Maximum Likelihood / Neighbor-Joining 與 Bayesian 方法所繪製之親緣關係樹。RUS01 至 RUS04 為陶塞雪霸類群基因單套型，RUS05 至 RUS20 為中央山脈主要類群基因單套型。比例尺為核苷酸變異比例。分支上的數字代表 1000 個重複下該分支出現之機率。

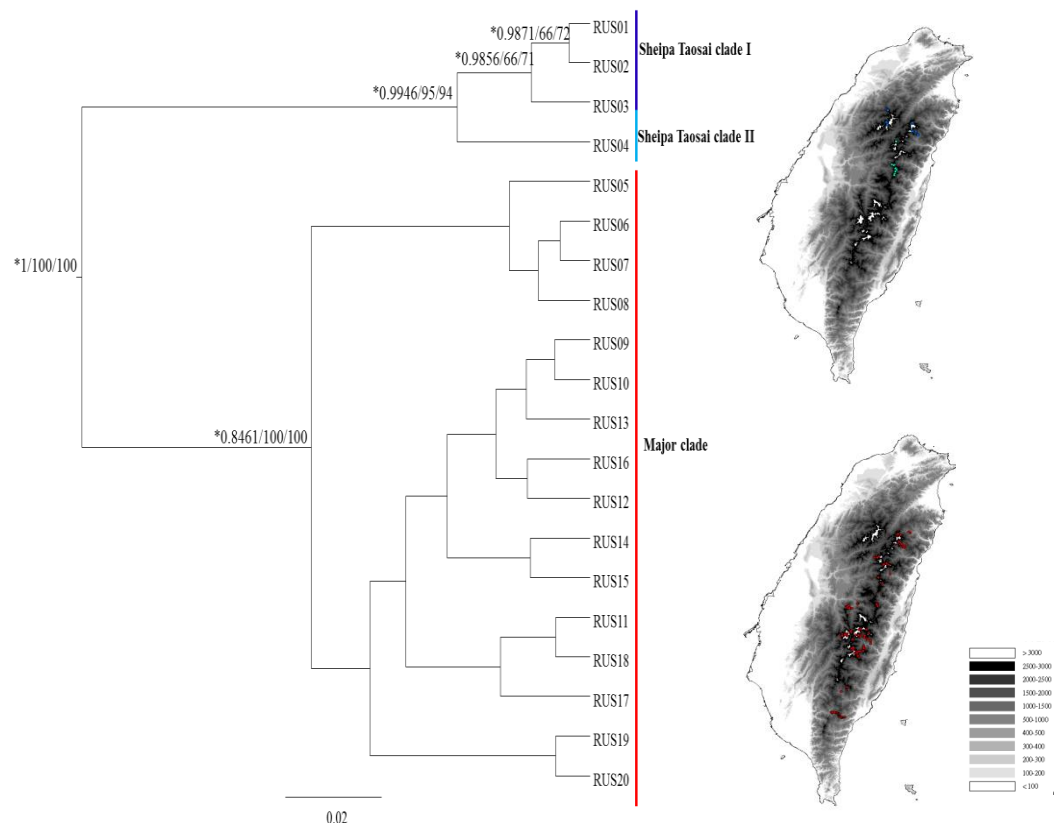


圖 3-15、以臺灣水鹿 D-loop 基因單套型(RUS01-RUS20)序列，使用軟體 BEAST 所繪製之貝葉氏親緣關係樹。在親緣樹右側深藍色直線標示的分支為陶塞雪霸類群基因單套型 RUS01 至 RUS03，淺藍色直線標示的分支為出現在 HLBB 及 TRCL 樣區的陶塞雪霸類群基因單套型 RUS04，紅色直線標示的分支為中央山脈主要類群基因單套型 RUS05 至 RUS20。左下角為序列中各鹼基位置 0.02 個核苷酸變異之遺傳距離長度示意比例尺。各分支上的數字為該分支出現之後驗機率。右側的兩張地圖為兩大類群中所獲得序列的分布地理位置示意圖，以與樹型右側直線相同的顏色標示該類群序列的 GPS 位置。灰階地圖為臺灣地形海拔高度示意圖，海拔高度對應的顏色深淺程度參照右下角圖示。

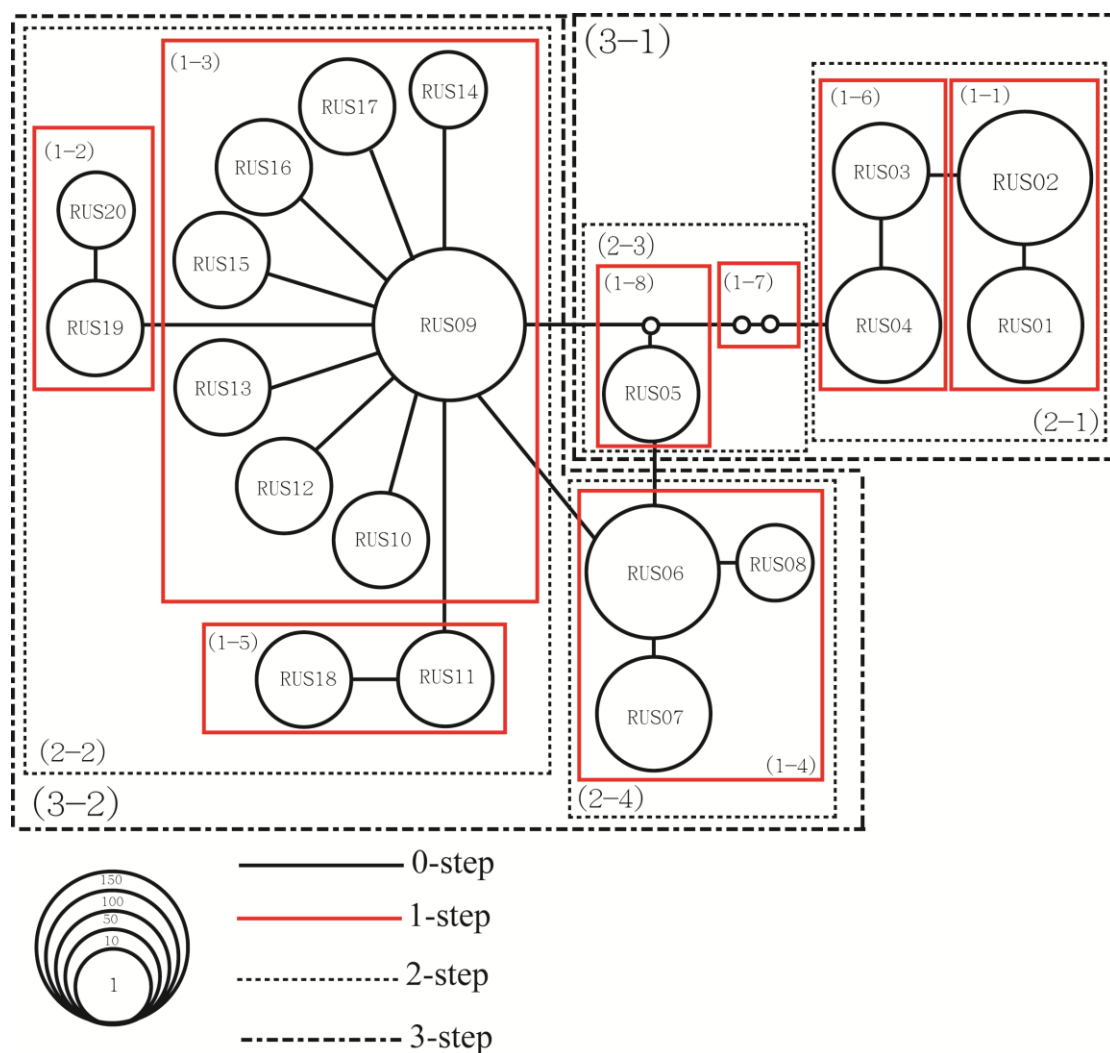


圖 3-16、臺灣水鹿之 Nested Clade Analysis 網狀關係圖(Minimum spanning network)，由 NCA 軟體根據遺傳及地理資訊決定不同階層。圖中各藍框圓圈代表 D-loop 基因單套型，括號內數字代表樣本數量，黑框圓圈代表軟體虛擬基因單套型，兩兩單套型間距離為單一核苷酸取代位置。圓圈大小與序列數量的對應參照右下角圖示。圓圈內數字為基因單套型編號，參照表 3-13。臺灣水鹿共分為兩個階層，方框與同顏色的數字為 NCA 分析之階層編號。根據分析結果，2-1 階層為陶塞雪霸類群，2-2、2-3、2-4 為中央山脈主要類群。

七、臺灣水鹿族群歷史

(一)、中性檢測 (Neutrality test)

為了解臺灣水鹿所有族群、陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群的遺傳標記 D-loop 之遺傳變異是否受選汰 (selection) 影響與檢測族群數量過去的波動，分別以 Tajima's D、Fu and Li's D、Fu and Li's F 以及 Fu's Fs 檢測之 (表 3-14)。結果顯示臺灣水鹿所有族群與中央山脈主要類群之 Fu's Fs test 分析皆呈現顯著負選汰 (Negative selection)，表示臺灣水鹿所有族群與中央山脈主要類群可能歷經明顯的族群擴張現象。臺灣水鹿所有族群四項中性檢測中，除了 Fu's Fs test 外，另外三項檢測皆為不顯著正選汰；中央山脈主要類群四項中性檢測皆呈現負選汰；而陶塞雪霸類群則四項中性檢測皆呈現正選汰，但統計上皆未達顯著水準。這結果與基因型歧異度 (H) 與核苷酸歧異度 (π) 計算結果均顯示中央山脈主要類群曾歷經族群擴張現象，而陶塞雪霸主要類群族群擴張現象則有待進一步研究。

(二)、族群核苷酸錯位分布

以核苷酸錯位分布檢測臺灣水鹿過去族群變動狀況與族群遺傳分化現象，於臺灣水鹿所有族群之核苷酸錯位分布分析圖中 (圖 3-17)，顯示核苷酸錯位分布呈現多峰分布圖形 (Multi-modal distribution)；中央山脈主要類群核苷酸錯位分布則呈現普瓦松分布 (Poisson distribution) 的單峰分布模式；陶塞雪霸類群核苷酸錯位分布則呈現半單峰現象。說明兩大遺傳類群皆有族群擴張的現象，而陶塞雪霸類群所呈現的半單峰狀，表示此族群擴張的現象為較近期間所發生或擴張現象較不明顯。此研究尚須進行統計顯著性與曲線平滑度檢測。

(三)、網狀支序分析

為了進一步探討造成中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群間遺傳分化與地理距離間的關係，結合樣本的 GPS 地理資訊與遺傳變異分析結果，進行 Nested Clade

Analysis 分析，同時參考本團隊在奇萊磐石所獲得臺灣水鹿每年平均活動範圍 (home range) (1 公里/年/隻) 為參數，最後可得到遺傳結構與地理關係之 NCA 網絡圖 (圖 3-16)。根據 NCA 網絡圖顯示，臺灣水鹿可分成 Clade 2-1 為陶塞雪霸類群與 Clade 2-2、2-3、2-4 為中央山脈主要類群。對照 Templeton (2004) 檢索表，顯示 Clade 2-1 曾發生長距離的播遷伴隨或曾發生棲地破碎化的事件 (Long-distance colonisation and/or past fragmentation)。此研究顯示地理距離是造成中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群間遺傳分化的原因之一，但由於這兩類群間遺傳分化值頗大，且無中間型基因型被發現，故相信尚有其他更嚴苛的因子造成這兩大類群的顯著分化。

(四)、貝式天際線點圖分析

參考 jModeltest 所得到的最適演化模型為 HKY 進行估算，推估臺灣水鹿所有族群與兩大遺傳類群之過去族群數量變動的歷史，以配合氣候變遷資訊，來解釋族群擴張因素 (圖 3-18)。結果顯示臺灣水鹿所有族群於過去 10,000 年前至 70,000 年前間，族群數量呈現平穩狀態，且並未於特定時間點發生族群數量擴張或下降等狀況；約於 5,000 年前至 10,000 年前間，族群數量呈現緩慢且持續性的上升；而約 5,000 年前族群數量開始呈現急速擴張直至現今 (圖 3-18)。於中央山脈主要類群結果顯示，10,000 年前至 20,000 年前間，族群數量亦呈現平穩狀態；10,000 年前至現今，族群數量先以緩慢增加，爾後有急速擴張的趨勢 (圖 3-18)。然而於陶塞雪霸主要類群結果顯示，陶塞雪霸主要類群族群擴張時間點約為 2,500 年前，族群數量先以緩慢增加，爾後有族群數量有擴張的趨勢，但相較於中央山脈主要類群，族群數量擴張幅度較小 (圖 3-18)。比較兩大遺傳類群之擴張時間點，中央山脈主要類群之時間點約為 10,000 年前，而陶塞雪霸主要類群之時間點約為 2,500 年前，以陶塞雪霸主要類群的族群擴張為較近之時期，其結果與核苷酸錯位分布結果相符合。此結果顯示，臺灣南部，於上次冰河期後，氣溫回暖較早，族群數量因此也擴張較早；而陶塞雪霸主要類群位於臺灣北部，

緯度較高，氣溫回暖較晚，故族群數量擴張相對較晚。

(五)、臺灣水鹿與亞洲水鹿之親緣關係

根據 NJ、ML 與 Bayesian 法建構三個水鹿亞種間（臺灣水鹿、海南島水鹿、印度水鹿）之親緣關係樹（圖 3-19），結果顯示臺灣水鹿 20 個單套型皆被歸類到同一分支內，其後驗機率與 Bootstrap value 皆達 100%，顯示臺灣水鹿在 D-loop 序列上與海南水鹿、印度水鹿兩個亞種有明顯區別。

依據 Jukes and Cantor model 估算臺灣島內水鹿（陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群兩大類群）間的遺傳距離（Genetic distance, K）後，參考 Douzery and Randi（1997）所發表之數據，以演化速率（粒線體核苷酸序列發生變異的速率） $r = 0.04-0.08 \times 10^{-7}$ （Nucleotide substitutions/site/year）進行計算，可獲得臺灣島內兩大類群水鹿之分歧時間。結果顯示兩大遺傳類群之遺傳距離（K）為 0.00625，分歧時間約為距今 72,500 至 83,750 年間，約落在最後一次冰河期（沃姆冰河期 Wurm ice age 12,000 至 110,000 年間）。

進一步計算臺灣島內水鹿與亞洲水鹿間之遺傳距離後，同樣以 $r = 0.04-0.08 \times 10^{-7}$ （Nucleotide substitutions/site/year）進行計算，即可獲得這些不同地區水鹿之分歧時間。結果顯示臺灣島內水鹿與亞洲水鹿粒線體 D-loop 親緣關係較接近的為海南島水鹿（遺傳距離為 0.01993），其次為印度水鹿（0.04686）；分歧時間分別為 249,125 – 498,250 年前與 585,750 – 1,171,500 年前（表 3-15）。因水鹿為熱帶起源哺乳動物，推測臺灣水鹿應於上上一次冰河時期（里斯冰河 Riss ice age：130000 – 200000 年前）由亞洲大陸藉由陸橋（Sundaland）遷移到臺灣。

表3-14、臺灣水鹿D-loop 序列群的中性檢測分析結果。利用軟體DNASP，分別根據臺灣水鹿所有個體以及兩大類群D-loop序列所計算之Tajima's D、Fu and Li's D、Fu and Li's F、Fu's F數值。結果數值如表格中各欄所示，括號中為各數值對應之P值，*表示 $P < 0.05$ ，**表示 $P < 0.01$ ，***表示 $P < 0.001$ 。正值的數值代表族群可能經歷選拔(selection)或瓶頸效應(bottleneck)，負值的數值代表族群可能經歷族群擴張事件。

	Tajima's D	Fu and Li's D	Fu and Li's F	Fu's Fs
TSSP clade	1.174445 (P > 0.10)	0.80285 (P > 0.10)	1.08490 (P > 0.10)	1.453 (P = 0.192)
Major clade	-1.35976 (P > 0.10)	-0.40481 (P > 0.10)	-0.93904 (P > 0.10)	-8.298 (P = 0.000)***
Total	0.26679 (P > 0.10)	0.56956 (P > 0.10)	0.54069 (P > 0.10)	-1.24 (P = 0.070)

表3-15、利用軟體DNASP，根據D-loop序列計算不同水鹿亞種間遺傳距離與分歧時間。標示灰色底色的數值為遺傳距離(Da)，右上角未標示底色的數值為分歧時間，單位為年。分歧時間的估算根據遺傳距離(Da)與過去文獻(Douzery and Randi, 1997)發表之鹿科D-loop序列演化速率(0.04-0.08個核苷酸/每百萬年)，海南島水鹿(GQ304777)與印度水鹿(AF291884)的序列來自NCBI網站。

	<i>R. u. swinhoei</i>	<i>R. u. hainana</i>	<i>R. u. unicolor</i>
<i>R. u. swinhoei</i>		249,125-498,250	585,750-1,171,500
<i>R. u. hainana</i> ^a	0.01993		578,500-1,157,000
<i>R. u. unicolor</i> ^b	0.04686	0.04628	

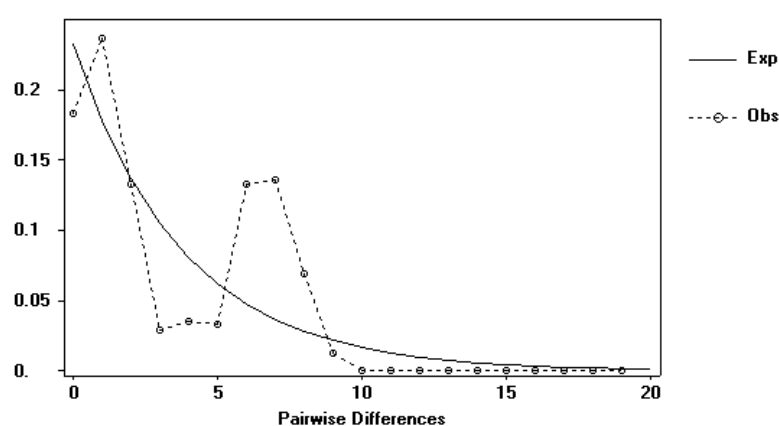


圖 3-17、臺灣水鹿族群核苷酸錯位分布分析(Mismatch distribution)。利用軟體DNASP 根據臺灣水鹿 D-loop 序列間核苷酸差異數量差異與核苷酸數量差異頻率繪製。橫座標表示序列間差異核苷酸數量，縱座標表示對應頻率。虛線為實際觀測值，實線為穩定族群(stable population)模型(Rogers and Harpending, 1992)下的預期分布。a:陶塞雪霸類群 b:中央山脈主要類群 c:臺灣水鹿所有族群。

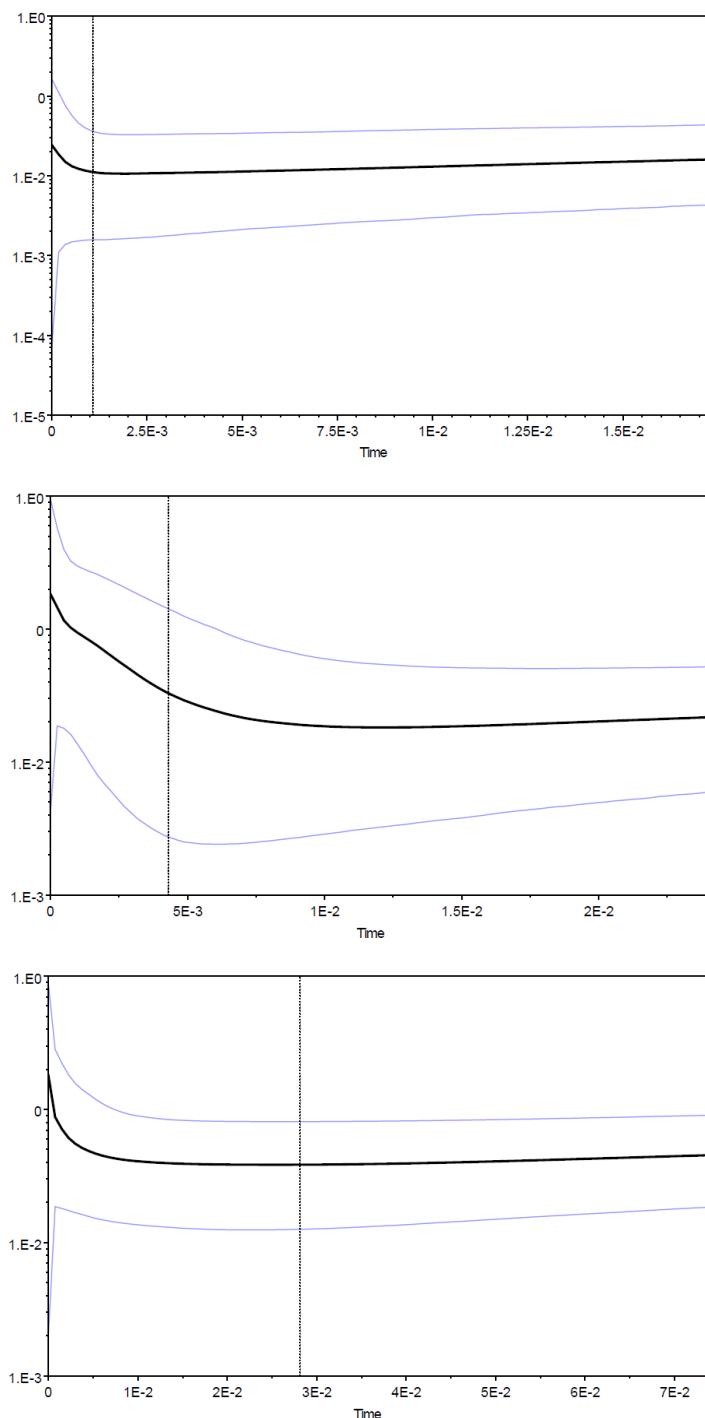


圖 3-18、檢測臺灣水鹿歷史族群變動事件之貝氏天際線圖。利用 BEAST 軟體根據臺灣水鹿 D-loop 序列繪製貝氏天際線圖。橫座標軸表示距今多久前的時間(每百萬年)，主要依據鹿科動物 D-loop 序列每百萬年 0.04 個鹼基置換速率 (substitutions rate per million year)換算而成，橫座標軸表示有效族群數量與世代長度之相乘值。中間黑色實線表示貝氏天際線的估計值，上下兩條淺藍線為 95%信賴區間的標示。垂直虛線為最近共同祖先出現時間(TMRCA)的往下 95%信賴區間。a:陶塞雪霸類群 b:中央山脈主要類群 c:臺灣水鹿所有族群。

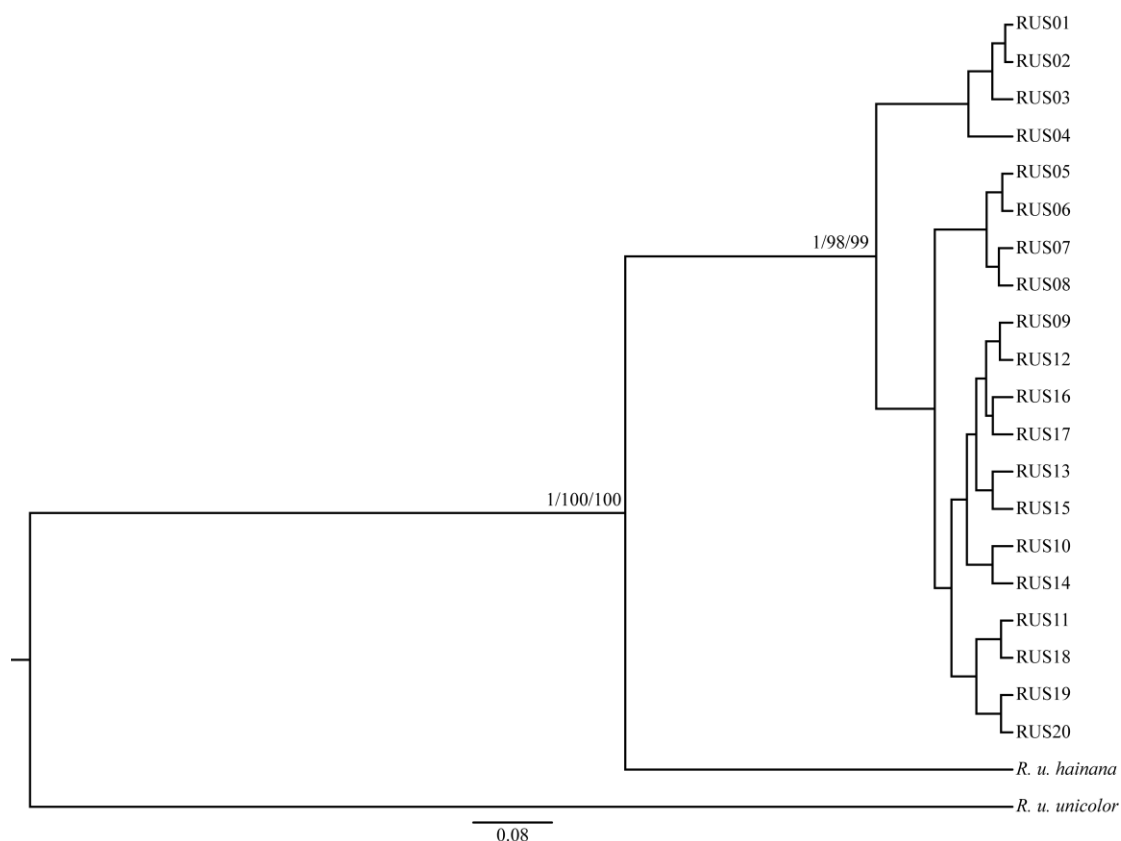


圖 3-19、以臺灣水鹿 D-loop 基因單套型(RUS01-RUS20) 及亞洲水鹿 D-loop 序列(海南水鹿 *R. u. hainana* 與印度水鹿 *R. u. unicolor* 之序列分別擷取自 NCBI 之 GQ304777 及 AF291884)，使用軟體 BEAST 所繪製之貝葉氏親緣關係樹。各分支上的數字為該分支出現之後驗機率與 ML/NJ 親緣關係樹之 Bootstrap value。

七、蓮花池沉積物的花粉分析

(一)、蓮花池沉積物的鑽取過程與基本描述

為取得較佳的沉積物樣品，本計畫先後兩次前往蓮花池進行採樣，第一次日期為 7 月 8-11 日，分別於池中與池岸取得沉積物芯各 1 口，編號為 Lotus-1 及 Lotus-2。今年(2014 年)因颱風來得晚，春雨又少，七月上旬的蓮花池仍在低水位階段，池中採樣較為容易，然因技術與裝備上的不足，成果不如預期，是以規劃第二次的採樣行程，日期為 10 月 9-12 日。十月份的蓮花池水位已明顯高漲，造成池中採樣的難度大為提高，因此除了在池中同一地點試鑽了 3 口管徑不同的沉積物芯(編號為 Lotus-4, 5, 6)之外，也在池岸取了 3 口沉積物芯，分別編號為 Lotus-3、7、8。兩次採樣行程共計取得 8 口沉積物芯，其基本資料如表 3-16 所示，各沉積物芯的空間分布狀況則如圖 3-20 所示。

在進行分析時，編號 Lotus-5、6、7 因取得的沉積物長度較短，為得到長時間的沉積紀錄，本計畫對此三口較短的沉積物芯暫不進行分析，目前僅針對編號 Lotus-1、2、3、4、8 等 5 口進行影像與基本記錄，影像資料如圖 3-21 所示。在這 5 口沉積物芯之中，取自池岸或淺水區的 Lotus-1、3、8 沉積物由於長期或反覆暴露在大氣當中，在強烈氧化作用的影響之下，不僅不利於定年材料和花粉化石的保存，也因離岸較近，之中經常夾雜崩落的石塊，擾動了堆積層序而無法提供連續完整的沉積紀錄，因此本計畫將僅對鑽取自池中且較長的 Lotus-4 進行花粉化石研究。

(二)、花粉分析的初步結果

編號 Lotus-4 沉積物芯取自蓮花池西南側水域，是十月份前往蓮花池取樣時所獲得的標本，取樣當時水深約 175 公分。此沉積物芯全長 90.5 公分，以灰色及灰棕色泥質堆積為主，在深度 44-48 公分處出現一明顯的灰白色薄層，粒徑略粗，在顯微鏡下觀察為純度極高的粉砂級石英砂(圖 3-22)。相同的灰白色石英砂薄層也出現在取自水域南側的另一口沉積物芯 Lotus-2 當中，出現深度與 Lotus-4

大致相當(圖 3-21)，說明此薄層在蓮花池中的分布甚廣。這些石英砂的來源與堆積機制饒富趣味，值得未來深入探究。

沉積物芯 Lotus-4 在實驗室中以 2 公分間隔連續取樣，共得到樣品 51 件以進行花粉化石分析。在分樣過程中也同時尋找可供絕對年代測定的材料，極幸運的在深度 28-29 公分、42 公分、及 90.5 公分處分別取得足夠定年的碳質標本，經委託台灣大學地質科學系加速器質譜定年及宇宙沉降核素實驗室進行碳十四加速器方法年代測定，結果如表 3-17 所示。

碳十四年代測定結果顯示，長度 90.5 公分的 Lotus-4 沉積物大致記錄著蓮花池過去 4750 年以來的變遷歷史，平均沉積速率大約為每千年 11.5 公分。而由深度 28-29 公分的年代測定為近代堆積的結果來看，最上部 30 公分左右的沉積物屬於近代擾動層。由於早期蓮花池中生長著大量布袋蓮，據悉過去太魯閣國家公園管理處為了回復蓮花池的天然樣貌，曾經以人力下池方式對池內的外來植物進行清除，這可能是造成池中表層沉積物受到擾動的因素。若以另外兩筆年代測定數據外差推算，估計表面擾動層的厚度大略是 36 公分，因此未來的分析工作將以表層樣品作為今日現況的代表，而在古植被與古環境重建研究上，將著重在深度 36 公分以下的分析結果。

為配合本計畫的執行時程，花粉分析工作目前僅針對最表層 (2-4 公分，代表今日的花粉組合) 和深度 88-90 公分樣品 (代表 4600 年前的花粉組合) 進行定性比較。

初步結果顯示蓮花池表層沉積物中的花粉組合確實反映著今日水域周圍的植被狀況(圖 3-23a、3-23b)，包括屬於殼斗科的苦槠屬(*Castanopsis*)、青剛櫟屬(*Cyclobalanopsis*)花粉，也有赤楊屬(*Alnus*)、千金榆屬(*Carpinus*)、松屬(*Pinus*)，以及少量生長在較高海拔的鐵杉(*Tsuga*)、冷杉(*Abies*)等花粉，此外也常見今日蓮花池畔的草類，如莎草科(*Cyperaceae*)、禾本科(*Gramineae*)、莧科(*Amaranthaceae*)、蓼屬(*Polygonum*)花粉與蕨類孢子。整體而言，蓮花池表層沉積物中不僅花粉數量豐富，種類也極為多樣。

相較之下，在 4600 年前的堆積樣品中花粉種類極為有限，數量也稀少，似乎指示著當時的植被和環境條件皆與當今大不相同。花粉組合以草類為絕對優勢，佔花粉總數的九成以上，尤其艾屬(*Artemisia*)花粉是最為優勢的種屬，佔全部花粉的 75.8%。木本植物的花粉數量極少，只有花粉總量的 8-9%，種類包括赤楊屬(*Alnus*)、青剛櫟屬(*Cyclobalanopsis*)、杉木科(*Taxodiaceae*)、烏心石屬(*Michelia*)、千金榆屬(*Carpinus*)花粉，另外也有蓼屬(*Polygonum*)、菊科(*Compositae*)和禾本科(*Gramineae*)等草本植物花粉與蕨類孢子(圖 3-24)。

表 3-16、蓮花池沉積物芯之基本資料表。

	Lotus-1	Lotus-2	Lotus-3	Lotus-4	Lotus-5	Lotus-6	Lotus-7	Lotus-8
採樣日期	2014-07-09	2014-07-09	2014-10-11	2014-10-10	2014-10-09	2014-10-09	2014-10-09	2014-10-12
水深 (cm)	岸邊	80	岸邊	175	175	175	岸邊	73
管徑(吋)	2	1	訂製管	2	2.5(加蛋殼器)	1	訂製管	2
岩心長度(cm)	103	54	74	90.5	34	46	61	86

表 3-17、蓮花池 Lotus-4 沉積物芯之碳十四加速器年代測定結果。

depth (cm)	lab no.	material	Age (¹⁴ C yrBP)	Age (cal yr BP) with 2-sigma range
28-29	NTUAMS-1325	plant fragment	145±130	the recent
42	NTUAMS-1326	plant fragment	505±5	517-536
90.5	NTUAMS-1327	plant fragment	4240±50	4609-4877

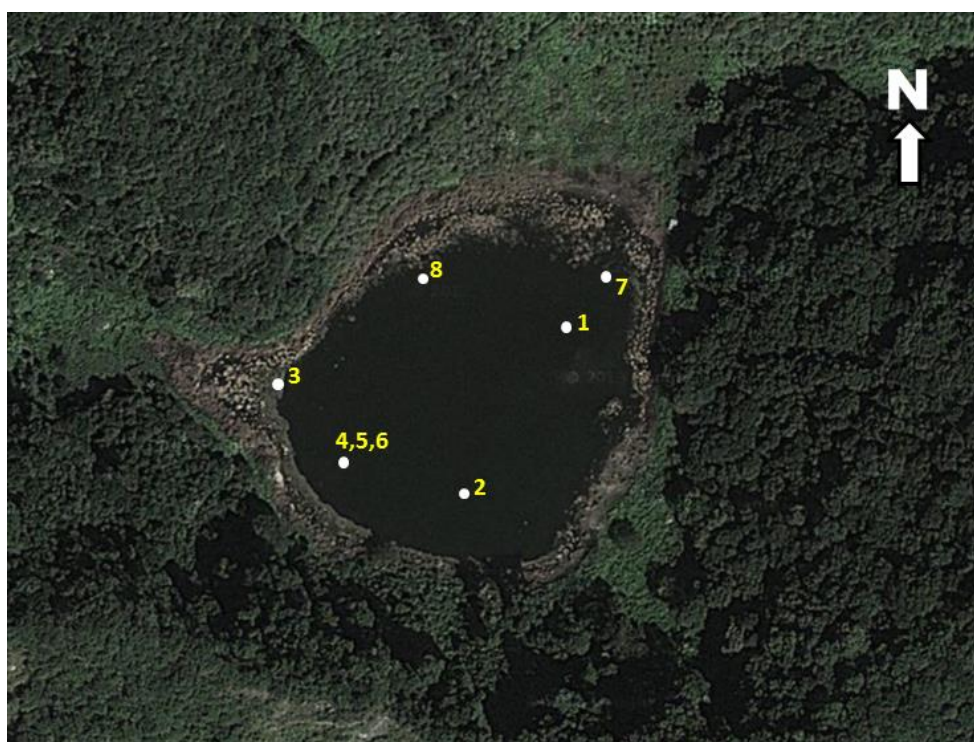


圖 3-20、本計畫所鑽取的 8 口沉積物芯之空間位置分布圖。

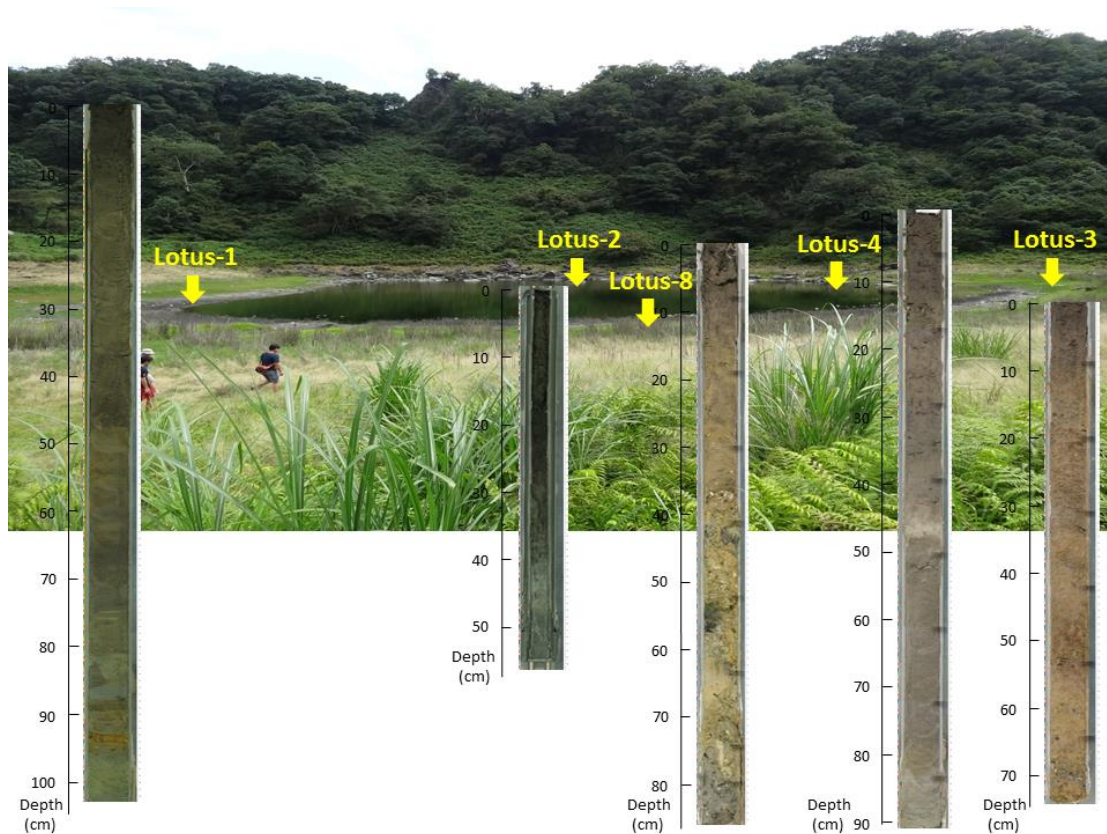


圖 3-21、蓮花池 5 口較長沉積物芯之取樣位置及影像圖。



圖 3-22、沉積物芯 Lotus-4 中深度 44-48 公分的純淨石英粉砂，其來源尚不清楚。
(放大倍率為 80 倍)

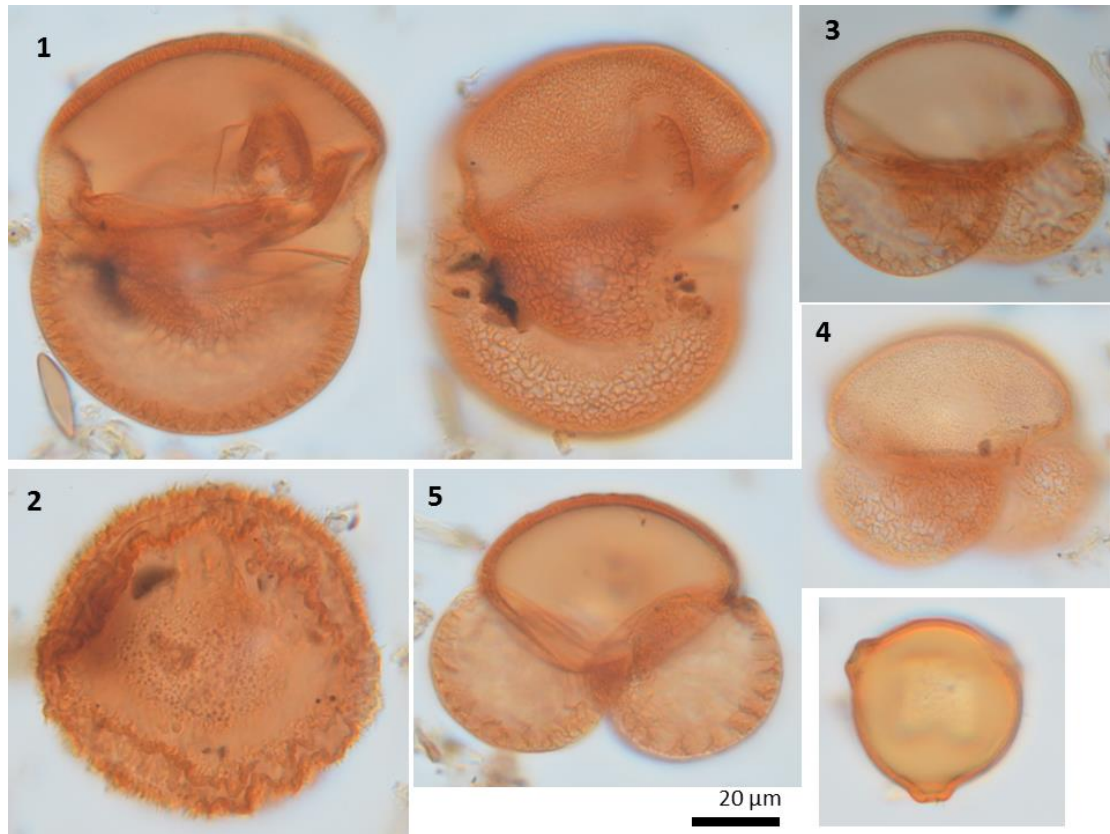


圖 3-23a、蓮花池 Lotus-4 深度 2-4 公分樣品中之花粉照片。1：冷杉屬；2：鐵杉屬；3-5：松屬；6：千金榆屬。

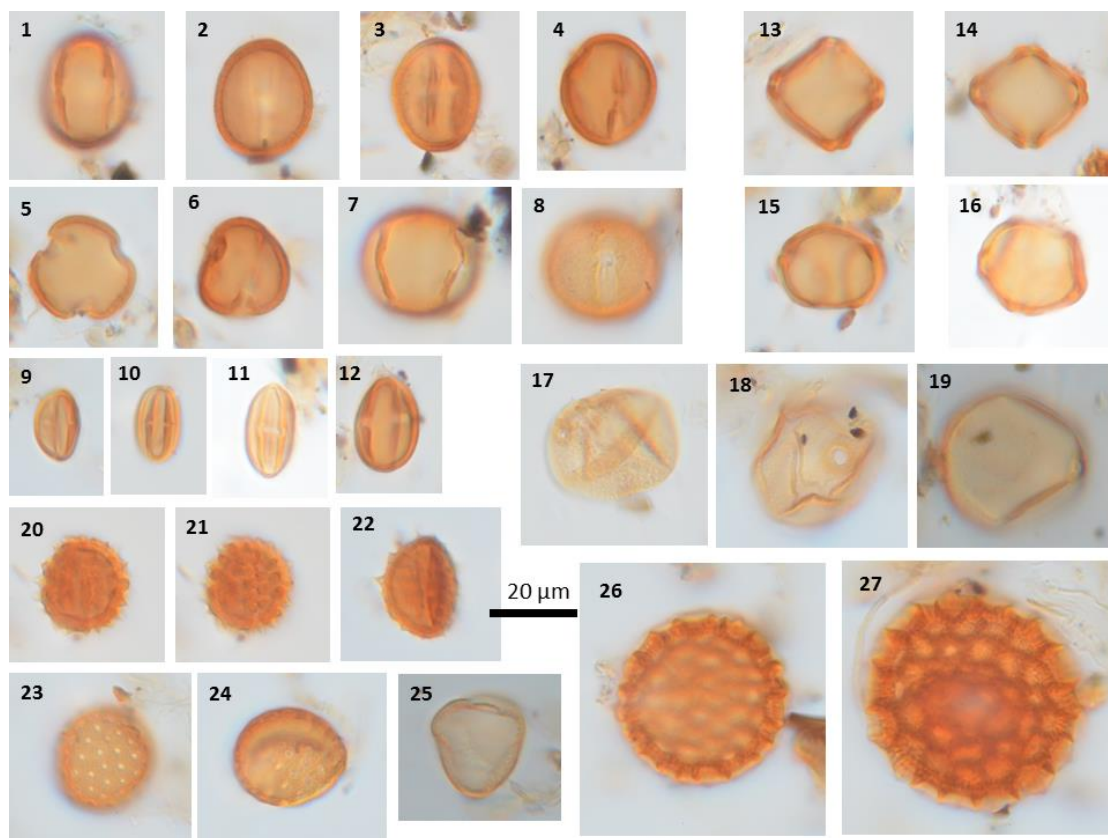


圖 3-24b、蓮花池 Lotus-4 深度 2-4 公分樣品中之花粉照片。1-8：青剛櫟屬；9-12：苦楮屬；13-16：赤楊屬；17-19：禾本科；20-22：菊科；23-24：荳蔻科；25：莎草科；26-27：蓼屬。

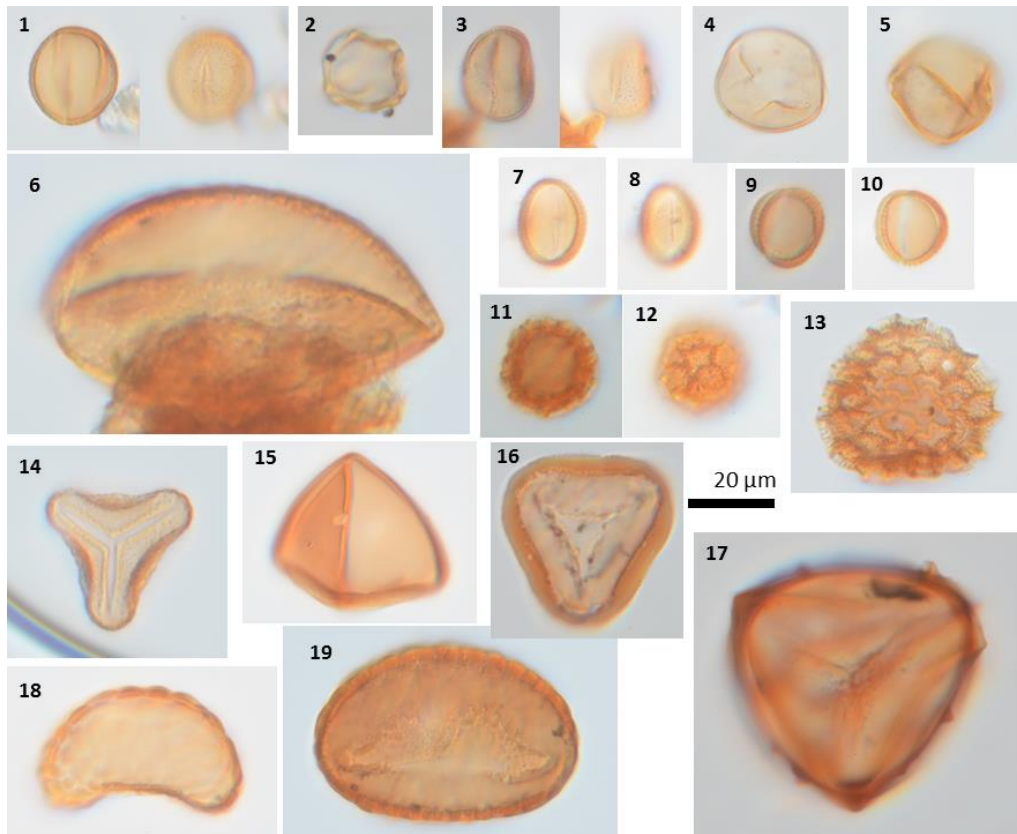


圖 3-24、蓮花池 Lotus-4 深度 88-90 公分樣品中之花粉照片。1：青剛櫟屬；2：赤楊屬；3：青剛櫟屬；4：杉科；5：千金榆屬；6：烏心石屬；7-10：艾屬；11-12：蕁科；13：蓼屬；14-17：蕨類孢子。

第四章 討論

一、水鹿族群概況

本年度南湖山區自動相機監測結果與去年度資料相比較，發現中大型哺乳動物的相對豐度(OI)普遍呈現下降趨勢，這部分可能是導因於本年度資料主要涵蓋冬季至春季，在這兩個氣溫較寒冷的季節動物可能減少活動以致被拍攝的機率隨之降低，動物也可能作季節性遷移使族群數量暫時改變。今年在南湖山區觀察到一些狩獵痕跡，由此可推測另一個可能性是狩獵壓力導致動物數量減少，然狩獵痕跡主要出現在多加屯山屋附近，此處的相機站也正是動物 OI 最高的一站，因此我們認為今年動物 OI 下降應非直接受狩獵壓力所影響。此外，據管理人員指出，多加屯山屋附近在 2014 年初有工程進行，有可能是外來的工人在此狩獵，此狩獵壓力應屬短期。

去年度在南湖山區的調查結果，在松針營地之後開始發現水鹿痕跡，但推測登山口到松針營地之間也有水鹿活動(王穎等 2013)，而今年的調查結果證實了此一推測，甚至收集到訪查資料顯示水鹿於冬季會到勝光地區的農地活動。這些結果代表本區水鹿分布範圍已經漸漸擴散並靠近人類活動區域，未來可能會更加頻繁出現在人類活動區域。

楠溪林道的結果顯示，水鹿在秋冬兩季的相對豐度較高，而山羌在春夏兩季的相對豐度較高，山羊與獼猴則變化不大。由於本區位處中海拔，這樣的季節性變化可能與動物的季節性遷移有關，水鹿夏季常在高海拔地區活動，冬季則降遷到中海拔地區(王穎等 2012，顏士清 2013)。

八通關地區在樂樂山屋、乙女瀑布附近開始有水鹿痕跡，翁國精等(2011)的調查中，各自動相機站的水鹿 OI 範圍為 3.3-51.2，本研究拍攝到水鹿的相機站 OI 範圍為 0.7-144.1，平均 8.1，樂樂山屋和乙女瀑布的相機站 OI 僅 0.7，顯示此處的確為分布範圍的最外圍，未來可持續觀察水鹿族群是否繼續向外擴散，同時也應把狩獵壓力對水鹿族群擴散的影響納入考量。

目前在雪霸國家公園觀察到的水鹿族群狀態，以大鹿林道痕跡最多，未來可

持續觀察是否繼續往觀霧地區擴散。而聖稜線沿線也有水鹿分布，但可能因為地形陡峭，痕跡並不多。雪東線從武陵登山口到雪山圈谷都未發現水鹿痕跡，直到翻過雪山主峰往翠池才開始有水鹿出現，這點與曾彥學等(2012)的調查結果相符，雪東線龐大的登山遊憩壓力或許是使水鹿目前尚不使用此區的原因之一，直到雪山西稜博可爾山附近的草原才出現較多水鹿。

二、水鹿棲地選擇

分析各區自動相機站水鹿 OI 與環境因子的相關性，結果發現四個地區呈現不一樣的結果，顯示不同地區的環境特性、族群狀態，會影響各族群所著重的棲地選擇方式。南湖山區的結果顯示水鹿 OI 和與水源距離呈顯著正相關，亦即離水源越遠水鹿出現頻度越高，但在高海拔地區常有不穩定的看天池、溪澗湧泉等水源，而這些不穩定的水源是難以標繪在地理資訊系統圖層上的，因此對這項結果須設法進一步驗證。此外，本區水鹿 OI 和與登山路徑距離的正相關性接近顯著($P = 0.061$)，顯示水鹿可能傾向遠離人為干擾。在楠溪林道的結果顯示水鹿在較平坦、側向遮蔽較開闊的環境出現頻度較高，前者與過去追蹤定位研究結果相仿(顏士清 2013)，後者則須進一步考量到在不同開闊度下，相機的偵測範圍與拍攝範圍也不同，未來把此一因子納入分析後方可確認水鹿是否喜好較開闊的環境。八通關的結果則顯示距離公路越遠，水鹿出現頻度越高，這一點與現場觀察狀況相符，且根據現場調查顯示狩獵痕跡出現在樂樂山屋附近，亦即較靠近公路處受到較高的狩獵壓力，導致此一結果。雪東線至志樂溪流域的結果則未顯示水鹿 OI 與任何環境因子呈顯著相關，但目前資料僅 8 個相機站，未來可繼續增加樣本數以獲得更可靠的結果。

分析三種草食獸的 OI 值並未發現負相關性，代表原本預期的草食獸間相互競爭並不成立，反倒是在楠溪林道三種草食獸的 OI 具有正相關性，這可能代表不同相機站的棲地品質與偵測率有明顯差異，品質好或偵測率高的相機站同時拍到了更多的各種草食獸。

三、原住民傳統知識收集

由訪查顯示，除海岸山脈無水鹿族群外，水鹿在中央山脈及雪山山脈各地族群均有增加的趨勢，但由於老獵人的凋零及年輕人外移，各族群的狩獵型態逐漸改變，狩獵以往常深入山區長達 1 星期以上，採取設陷阱、弓箭及槍獵的方式，現今年輕族群則為改變為駕車 1-2 天來回槍獵的方式，因此傳統傳統狩獵技巧逐漸式微。建議可由其中一個國家公園管理處匯集原住民族各區域相關之水鹿狩獵工具、獵物標本、傳統利用方式等，協助原住民族保存傳統知識，並使民眾瞭解人類利用野生動物及相互關係等。另由獵人所觀察水鹿之茸角期變化顯示，似乎存在南北差異，北部的茸角期 5-7 月，中南部則為 3-5 月，可能與氣候有關，此亦有待進一步的研究。就水鹿危害而言，目前屬於零星發生，尚不嚴重。另各原住民族群與水鹿相關的傳說故事不多，以往水鹿在其傳統上屬於獵物，並受外來文化影響，有以鹿皮、鹿茸及鹿鞭交易為主的獵人。然而，目前老獵人逐漸凋零，以此維生的人已不多了。

四、水鹿族群密度與啃食磨角調查

本次研究發現在三六九山莊與黑森林並沒有拍攝到任何水鹿，與前人研究結果相符（林良恭，2008），說明水鹿目前仍然只分佈在志樂溪上游一帶。本次研究也連續觀察志樂溪從 6 月至 10 月的水鹿族群數量變化，發現水鹿成體數量從 6 月開始有上升的趨勢，而從相機相片中也可看出調查期間（6-10 月）剛好是介於水鹿的茸角期與硬角期之間，6-8 月可發現有一些茸角與硬角的水鹿，9 月還有少數個體是茸角期，而 10 月的雄性水鹿則所有都是硬角期。因此水鹿從 6 月後上升的原因，可能是水鹿剛好進入硬角期，也進入了交配期的高峰，水鹿為了尋找交配機會，活動頻率上升，所拍攝到的個體數量也會上升。另外從水鹿有效照片中雌雄比例也可看出，從 8 月開始，雄性比例相對都較雌性比例高，因此監測樣區內水鹿族群數量呈現季節變化的原因可能與長角週期或其生活史有

關。此外，廖昱銓(2011)透過無線電追蹤，發現同樣屬於高海拔地區的磐石山山區的水鹿在秋冬時會向中海拔降遷，於隔年的春夏時再回到高海拔，另外透過自動相機分析發現夏秋兩季的水鹿 OI 值明顯高於春冬兩季，提供了水鹿季節性移動的有力證據。而這是否代表志樂溪水鹿同樣具有季節性移動行為，則仍需要更長時間監測才能得知。綜合以上，志樂溪區域水鹿的族群量季節性變化除了與長角週期或其生活史有關外，也可能是一種季節性移動行為的跡象。

志樂溪水鹿啃食樹皮現象並不嚴重，在所有調查樹種中只發現有 5 棵台灣冷杉有啃食痕跡，而在調查範圍內的台灣鐵杉與玉山圓柏都沒有發現任何啃食痕跡，翁國精等(2010)提到台灣冷杉與台灣鐵杉是水鹿最喜歡啃食的樹種，由於在志樂溪上游範圍內，主要優勢樹種是台灣冷杉與玉山圓柏，鐵杉數量只佔少數，而且 DBH 皆 >20 ，水鹿偏好選擇啃食徑級較小的樹木，因此調查範圍內的鐵杉並沒有被啃食，而玉山圓柏因為樹皮過厚原本就不是水鹿偏好選擇的物種。整體而言，志樂溪調查範圍內樹木遭水鹿啃食的比例仍是很低，與王穎等(2012)報告中的南湖山區與竹村地區有相同現象，雖然水鹿族群密度不低，但是啃食比例都很少。顯示了水鹿啃食樹皮可能與特定族群對於樹皮有著特定需求有關。

雖然 OI 值與樹木被磨角程度成正相關，但是相關性不高，在統計上也不顯著。在磨角痕跡中，有 43% 是 6 個月內的新痕跡，調查期間剛好是介於水鹿的茸角期與硬角期之間，水鹿需要將茸皮去除，將角磨尖，因此才會出現一定比例的新磨角痕跡。從目前結果來看，樹木發現有磨角痕跡的比例仍不高，但是由於水鹿偏好選擇在徑級較小的樹木來磨角，因此未來當水鹿族群密度上升時，是否會對森林的結構與更新造成影響，仍需要進行更長遠的研究才能做進一步判斷。

五、水鹿啃食頻度的季節變化

本次研究分析楠溪林道每月平均 OI 值、族群量與啃食頻度之關係後，發現與三種啃食頻度指標雖然都呈正相關，但並不顯著，說明並非水鹿出現頻度越高或是數量愈多的區域，樹木被啃食的頻度就會愈高。因此，水鹿啃食樹皮的主因

有可能是某些個體因生理或健康因素而對於樹皮內含物的需求有關。本計畫建議有必要了解不同地區的水鹿族群生理或健康上的差異，及樹皮與食草內含物的差異，以釐清水鹿啃食樹皮的原因。

本次研究監測了楠溪林道水鹿啃食樹皮頻度月份變化發現水鹿啃食紅檜樹皮頻度在 4 月及 5 月突然大量增加。Ando et al. (2004) 的研究指出雄鹿在鹿茸生長與雌鹿哺乳期都需要攝食大量的鈣，而分析紅檜樹皮鈣含量後也發現，紅檜樹皮的鈣含量高於水鹿的主要食草高山芒及玉山箭竹（葉川逢，未發表資料）。另外，本研究也發現茸角與解角期的水鹿個體數量總和與三種啃食頻度指標皆呈現顯著正相關，因此推測水鹿在 4 月及 5 月啃食頻度突然增加的原因有可能是因為長角期間，需要透過啃食紅檜樹皮來補充體內的鈣含量，而 6 月後由於大部分公鹿的角都已長成硬角，因此啃食頻度在 6 月後開始緩慢下降

六、臺灣水鹿粒線體之遺傳多樣性

本研究收集分析 457 份野生水鹿排遺中的粒線體 D-loop 序列，得到 20 個單套型。經親緣關係樹分析將臺灣水鹿分成兩大遺傳類群，分別為陶塞雪霸與主要中央山脈類群。綜合 SAMOVA、地理與單套型遺傳資訊，顯示陶塞雪霸類群主要分布於阪邊、天長山以北（丹大野生動物重要棲息地北部），陶塞雪霸類群越往臺灣北部所佔有比例越高，以雪霸地區之樣本全部為陶塞雪霸類群單套型；而中央山脈主要類群，除雪霸樣區外則廣泛分布於臺灣各山區（圖 4-1）。在粒線體序列遺傳多樣性分析上，中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群皆具有高基因多樣性與低核苷酸多樣性（ $H > 0.5$ ， $\pi < 0.5\%$ ）（表 4-1）。推測兩大遺傳類群皆曾遭到瓶頸效應（Bottleneck effect）後經歷族群快速擴張（Grant and Bowen, 1998）。

七、臺灣水鹿粒線體之遺傳分化

從遺傳距離研究顯示雪霸族群與其他 6 個族群有明顯的遺傳分化（ F_{IS} ）與遺傳距離分別為 0.94718~0.63046 與 0.00612~0.00792。南湖陶塞與奇萊能高水鹿

與丹大七彩、北玉山與南玉山族群水鹿有次之的遺傳分化 (F_{IS}) 與遺傳距離。而丹大七彩與北玉山、南玉山及大武山則有較小遺傳分化 (0.01612~0.11415) 與遺傳距離 (0.00016~0.00082) (表 4-2)。顯示，雪霸國家公園與中央山脈間水鹿的遺傳交流受到極大限制；另外，南湖陶塞與奇萊能高水鹿與丹大七彩、北玉山、南玉山與大武山族群水鹿間遺傳交流也受到某種程度限制。丹大七彩、北玉山、南玉山與大武山族群水鹿間遺傳交流則較為順暢。

由根據 NCA 網絡分析結果顯示，臺灣水鹿可分成 Clade 2-1 為陶塞雪霸類群與 Clade 2-2 為中央山脈主要類群。NCA 顯示地理距離事件是造成中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群間遺傳分化的原因之一，但由於這兩類群間遺傳分化值頗大且無中間型基因型被發現，故還有其他更嚴苛的遺傳交流限制因子造成這兩大類群的顯著分化。NCA 網絡分析結果顯示 RUS09 單套型樣本數量最高，位於 1-3 階層中間，其他單套型均由它成星狀 (star-like) 分散出去，故猜測 RUS09 是陶塞雪霸類群的共同祖先。另外，RUS04、RUS06、RUS07、RUS08 單套型局限在奇萊能高 (包括坂邊天長)，RUS06 (81 個樣本) 亦由 RUS09 演化而來，顯示奇萊能高以北水鹿是以 RUS06 單套型為祖先單套型。這結果亦顯示奇萊能高與丹大七彩族群間有遺傳交流限制。

八、臺灣水鹿族群變動歷史

利用中性檢測顯示臺灣水鹿中央山脈主要類群之 Fu's F_s test 分析呈現顯著負選汰。另外，利用族群核苷酸錯位分布分析，顯示中央山脈主要類群核苷酸錯位分布則呈現普瓦松分布 (Poisson distribution) 的單峰分布模式 (uni-model)，在 SSD 與 Raggedness index 檢測均證實中央山脈主要類群顯著偏離族群穩定模式。這結果顯示中央山脈主要類群曾經歷明顯的族群擴張現象。但；陶塞雪霸類群核苷酸錯位分布則呈現趨近單峰現象，在 SSD 與 Raggedness index 檢測均證實陶塞雪霸類群沒有顯著偏離族群穩定模式。中性檢測與族群核苷酸錯位分布分析證實中央山脈主要類群曾經歷明顯的族群擴張現象。為何造成中央山脈主要

類群族群顯著擴張，而陶塞雪霸類群穩定成長？

九、臺灣水鹿族群變動時間與氣候變遷

依據 Jukes and Cantor model 估算中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群間粒線體遺傳分歧時間，估算分歧時間約為距今 72,500 至 83,750 年間，其時間約落在最後一次冰河期內（沃姆冰河期 12,000 至 110,000 年間）。顯示這兩大類群水鹿的遺傳分歧可能與地理、氣候環境或棲地植被變遷隔離有關。利用貝氏天際線點圖推估臺灣水鹿兩大遺傳類群之過去族群數量變動與時間的關係。結果顯示，中央山脈主要類群於 10,000 年前至 20,000 年前間，族群數量亦呈現平穩狀態；10,000 年前至現今，族群數量先以緩慢增加，爾後約於 7,500 年前有急速擴張的趨勢。陶塞雪霸主要類群族群擴張時間點約為 2,000 年前，族群數量先以緩慢增加，爾後至 1000 年前族群數量有擴張的趨勢，但相較於中央山脈主要類群，族群數量擴張幅度較小。族群擴張檢驗結果與核苷酸錯位分布與中性檢測結果相符合。

十、蓮花池的自然概況

為建立太魯閣國家公園園區內過去的植被變化與氣候變遷歷史，本計畫選擇國家公園內唯一的天然湖泊蓮花池，進行沉積物中的花粉化石分析，並藉以探討園區內動植物在冰期和間冰期期間的遷移與擴散過程。

蓮花池位於文山溫泉東北北方約 4 公里處，海拔高度約 1,100 公尺，其四周有海拔高約 1,300-1,500 公尺的山脈屏障，形成山谷地形，在低窪處積水成池。池底地形大致由北向南或西南方傾斜，因此在靠近西南側形成西北—東南走向略呈長形的較深水區，這樣的地形變化很可能與池岸北側的大面積崩積地有關（林宗儀，口頭討論）。蓮花池水位隨著季節性有上下漲落的變化，根據本計畫前往採樣時的經驗，在尚未有颱風來襲時的春末夏初是低水位期，最深處約為 80 公分，然在颱風季節之後的十月份，同一地點的水位已深達 200 公分以上，乾季和

雨季的水位落差極為明顯。

此地氣候屬於山地亞熱帶氣候，溫暖濕潤。在植被方面，蓮花池中並無沉水及挺水的高等水生植物，池水優養化情形相當嚴重。根據呂勝由(1993)的調查結果，環池四周的植物相當豐富，形成明顯的植物分帶，由池邊向山坡依次為草本植物帶、過渡灌叢帶、森林帶。草本植物帶以一年至多年生草本植物為主，大致可再細分為無植物帶→白花霍香、奧地利山芥菜、紫蘇草植被帶→毛蓼、野苧蒿植被帶→芒草、白茅、蕨植被帶；過渡灌叢帶則介於草本植物及森林植物帶之間，主要由陽性的先驅植物所組成；森林植被帶是以山地亞熱帶闊葉樹林的樟櫟群叢為代表，原生森林中的殼斗科植物因受人為砍伐，現存數量極少，相對的楠木數量甚多，其他原生植物較多者有黃杞、江茛、烏心石、山豬肉、墨點櫻桃及長梗芋麻等。

十一、蓮花池沉積花粉化石分析

花粉分析的初步結果顯示蓮花池過去的自然環境曾經發生變化，推測4600年前水域面積較小，當時Lotus-4的採樣地點可能位在岸邊而非今日的水域之中，而且四周地形較為密閉陰濕，所堆積的花粉也因此以草類植物和蕨類孢子為主。近代沉積物中的花粉組合則是樹種花粉的種類與數量皆大幅增加，意味著水域面積擴大，四周地形也較為開闊，是以相對遠距離的森林樹種花粉得以隨風飄散並堆積於池中。大致而言，這樣的轉變發生在深度44公分上下，年代大約是800年前。有趣的是此花粉組合上的轉變正巧緊接在灰白色石英砂薄層堆積之後，似乎暗示著當時因為環境事件的發生因而造成地形與生態環境上的轉變，這是否與蓮花池北側大型崩塌地的形成有關是值得未來深入探究的課題。

此外，艾屬花粉在下層沉積物中數量極多，成為絕對優勢種屬。一般來說，艾屬植物常生長在土壤肥力不佳的碎石土地並成為優勢，性耐乾旱，但在今日蓮花池周圍的植物群落中(呂勝由，1993)，似乎不見以艾屬植物為絕對優勢的生育環境，該如何解釋早期地層中艾屬花粉的大量出現，可能須仰賴現生植物的詳細

調查以尋求答案。

蓮花池Lotus-4沉積物中的花粉紀錄由於以生長在池岸邊的草本植物花粉為大宗，相對遠距離的森林樹種在此沉積紀錄中貢獻較少，因此提供的古代植被變遷訊息相對有限，在重建過去氣候變化歷史的工作上也受到侷限，不過根據呂勝由(1993)的植物調查，蓮花池環池四周有明顯的植物分帶現象，生長在池岸邊的草類也依距離水體的遠近而有所不同，對應於Lotus-4沉積物中的花粉組合，也呈現出不同草類隨著時間變化而興盛衰微的現象，似乎反映著池邊草本植物帶的空間遷移，間接指出池水水域面積的變化歷程。蓮花池目前並無明顯的河流注入與流出，池水的高低單純反映著天水與蒸發量的平衡，尤其雨量變化是主要關鍵，因此蓮花池中的花粉化石紀錄，似乎可以提供過去雨量和氣候變化上的重要訊息。

本計畫進行花粉分析的初衷在於藉由古代植被與氣候資料的重建，以瞭解過去動植物冰期避難所的天然背景，雖然以目前獲得的樣品深度及沉積物年代，尚無法向下推進至冰期年代，但由Lotus-4沉積物所建立的年代架構，假設此地過去的沉積速率大致不變，估計1萬年前的沉積物約在深度150公分處，2萬年前的沉積物則是在深度266公分處，因此若能獲得適當的樣品，藉由蓮花池中的沉積紀錄來重建末次冰期環境變遷歷史仍是值得嘗試的課題。

表4-1、利用軟體DNASP根據臺灣水鹿D-loop序列，計算臺灣水鹿兩大類群遺傳多樣性估計值。各欄數值分別為目前分析454條臺灣水鹿D-loop序列所得序列數量(N)、基因單套型數量(Haplotype)、基因型多樣性(H)、以及核苷酸多樣性(π)。 \pm 符號後為標準差。

	N	Haplotype	Haplotype diversity (H)	Nucleotide diversity (π)
TSSPclade	134	4	0.571 \pm 0.0370	0.00104 \pm 0.00009
Major clade	320	16	0.705 \pm 0.0019	0.00117 \pm 0.00006
Total	454	20	0.817 \pm 0.0100	0.00372 \pm 0.00012

表4-2、利用軟體DNASP根據臺灣水鹿D-loop序列差異，計算臺灣水鹿兩兩族群間平均遺傳距離與遺傳分化值(FST)。第一欄與第一列為臺灣水鹿七個族群的縮寫，對角線上方標示深灰色底色的數值為遺傳距離，對角線下方標示淺灰色底色的數值為遺傳分化值。

族群	SP (75)	NTS (107)	CLNK (79)	DCT (31)	NYS (46)	SYS (28)	DWTT (88)
SP		0.00612	0.00661	0.00718	0.00792	0.00742	0.00726
NTS	0.63046		0.00359	0.00334	0.00414	0.00363	0.00348
CLNK	0.76207	0.07495		0.00225	0.00305	0.00255	0.00239
DCT	0.95896	0.38957	0.39932		0.00082	0.00032	0.00016
NYS	0.88042	0.34909	0.34215	0.11415		0.00103	0.00089
SYS	0.92891	0.37479	0.37749	0.03749	0.06847		0.00041
DWTT	0.94718	0.38865	0.39783	0.01612	0.08889	0.03557	

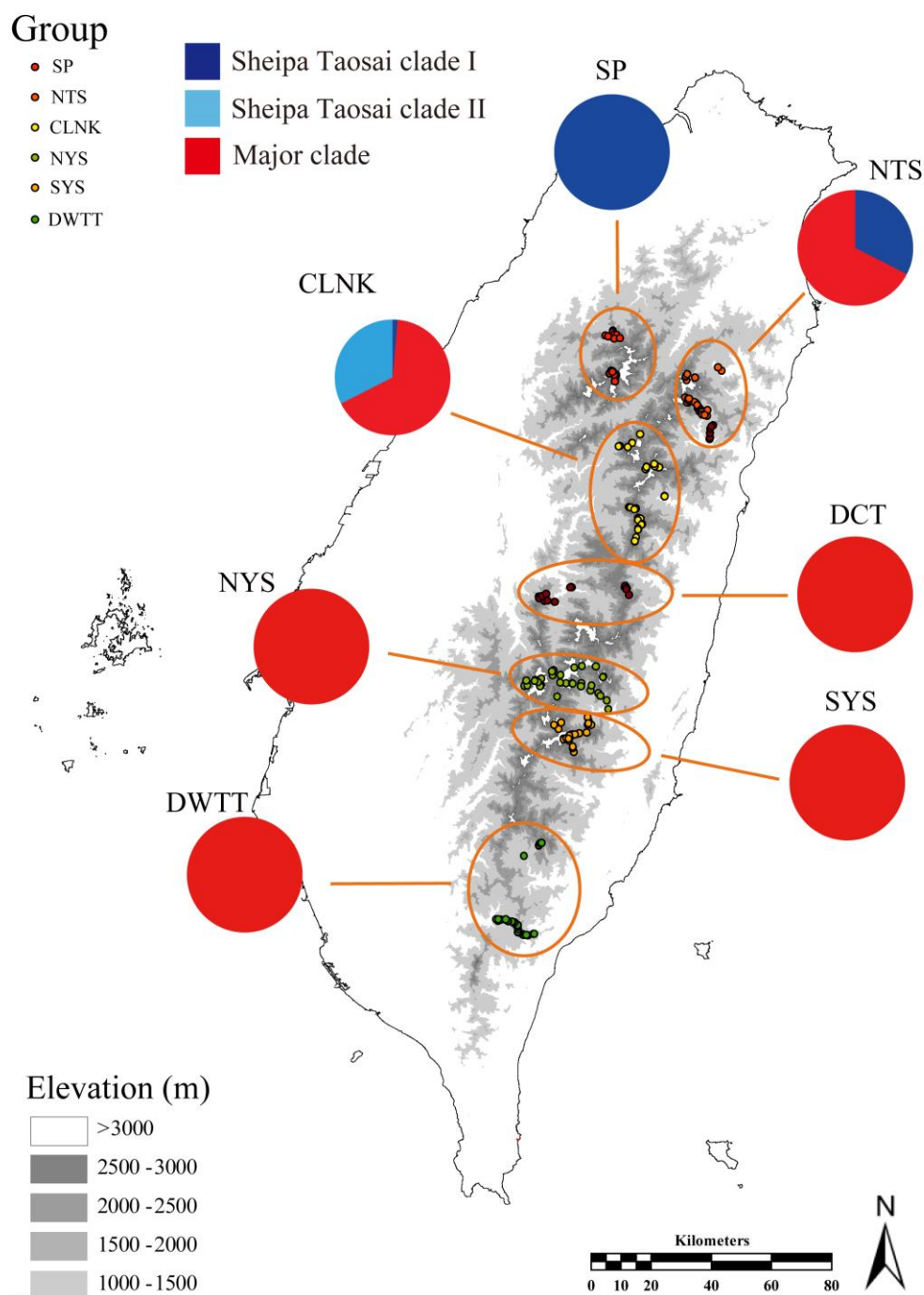


圖 4-1、臺灣水鹿七個族群中，各族群中陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群序列數量組成比例示意圖。灰階地圖為臺灣地形海拔高度示意圖，海拔高度對應的顏色深淺程度參照左側圖示。GPS 位置以不同顏色圓點在地圖上標示，各族群對應的座標圓點顏色參照左上角圖示。圓餅圖為各族群中序列所屬類群的組成示意圖。圓餅圖中的深藍色代表陶塞雪霸類群基因單套型(RUS01-03)，淺藍色代表出現在 HLBB 及 TRCL 樣區的陶塞雪霸類群基因單套型(RUS04)，紅色代表中央山脈主要類群的基因單套型(RUS05-20)。

第五章 建議事項

1. 研究不同地區水鹿的生理狀況及樹皮成分：中長期建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處、玉山國家公園管理處、雪霸國家公園管理處

協辦機關：屏東科技大學野生動物保育所、臺灣師範大學生命科學系、臺灣大學動物科學與技術學系、中華民國國家公園學會

不同地區的水鹿可能因為生理狀況或環境植被的差異，而有著不一樣的啃食模式，啃食原因也不一致，建議擴大調查範圍並長期監測啃食樹皮現象較為嚴重的區域，並研究各地水鹿生理狀況與樹皮成分，釐清水鹿啃食現象的成因，以利經營管理措施的擬定。

2. 拓展水鹿族群狀態監測樣區至中海拔地區：立即可行建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處、玉山國家公園管理處、雪霸國家公園管理處

協辦機關：臺灣師範大學生命科學系、屏東科技大學野生動物保育所、臺灣大學動物科學與技術學系、中華民國國家公園學會

目前已有許多針對高海拔山區(特別是主要登山路線)的中大型哺乳動物狀態監測，但在人跡罕至的中海拔地區資料仍然十分欠缺，未來可將增加中海拔地區的監測地點。

3. 增加太魯閣國家公園、雪霸國家公園、丹大野生動物保留區水鹿遺傳研究：

立即可行建議

主辦單位：太魯閣國家公園管理處、雪霸國家公園管理處

協辦單位：臺灣大學動物科學與技術學系、臺灣師範大學生命科學系、屏東科技大學野生動物保育所、中華民國國家公園學會

太魯閣國家公園中央尖、無明、甘薯峰以西水鹿與雪霸國家公園水鹿粒線體單套型為新發現之單套型且族群數量不明，故建議應加強其族群數量估算、棲地

分布研究與保育強度。南湖陶塞沿線類群只有一個樣本與陶塞中下游水鹿歸於同一類群，其他已分析樣本與中央山脈類群為同一類群。猜測，中央山脈類群可能經由太魯閣國家西側較平緩地勢做為廊道。這個假說，有必要蒐集更多太魯閣國家公園西側、北側與臺灣各地區臺灣水鹿樣本，進行更進一步分析與證明。

4. 開發水鹿微衛星標記：中長期建議

主辦單位：太魯閣國家公園管理處、玉山國家公園管理處、雪霸國家公園管理處

協辦單位：臺灣大學動物科學與技術學系、臺灣師範大學生命科學系、屏東科技大學野生動物保育所、中華民國國家公園學會

由於從排遺中進行 DNA 分析，進而探討族群遺傳歧異度，族群估算與有效族群估算需要判斷排遺是否是由不同個體所排放。因此建立由排遺 DNA 進行個體鑑別方法，是計算臺灣水鹿數量的一個重要技術平台。有效微衛星標記開發是個體鑑別必須工具，因此，建議未來需支持一個多年計劃，開發有效微衛星標記進行太魯閣國家公園境內水鹿族群估算。

5. 蒐集頭骨樣本進行型態學研究：中長期建議

主辦單位：太魯閣國家公園管理處、玉山國家公園管理處、雪霸國家公園管理處

協辦單位：臺灣大學動物科學與技術學系、臺灣師範大學生命科學系、屏東科技大學野生動物保育所、中華民國國家公園學會中華民國國家公園學會

加強蒐集進行太魯閣國家公園境內與臺灣各地水鹿頭骨樣本。進行形態學研究，以銜接遺傳與外觀形態間的關係。

6. 利用枯水期鑽取長而連續完整的沉積物芯：中長期建議

主辦單位：太魯閣國家公園管理處、玉山國家公園管理處、雪霸國家公園管理處

協辦單位：臺灣大學動物科學與技術學系、臺灣師範大學生命科學系、屏東科技大學野生動物保育所、中華民國國家公園學會中華民國國家公園學會、中央研究

院歷史語言研究所

本計畫初步探索以蓮花池沉積物，重建太魯閣國家公園園區內過去植物、氣候與環境變遷歷史的可能性，結果顯示埋藏於蓮花池中的花粉化石確實反映出池邊草本植物帶隨著時間上下遷移的紀錄，間接說明古代水域的大小變化，也證實利用花粉化石重建過去環境變遷史的可行性。根據本計畫絕對年代測定結果，這裡的沉積速率約為每千年 11.5 公分，假設此地過去的沉積速率大約一致，估計 1 萬年前的沉積物在深度 150 公分左右，2 萬年前則大約在 266 公分處，因此若能利用枯水期鑽取長而連續完整的沉積物芯，有望建立上次冰期以來園區內的自然環境變化歷史。

7. 將蓮花池採樣位置東移至水域南側接近 Lotus-2 的位置：立即可行建議

主辦單位：太魯閣國家公園管理處、玉山國家公園管理處、雪霸國家公園管理處

協辦單位：臺灣大學動物科學與技術學系、臺灣師範大學生命科學系、屏東科技大學野生動物保育所、中華民國國家公園學會中華民國國家公園學會、中央研究院歷史語言研究所

本計畫分析的沉積物芯 Lotus-4 鑽取地點位在蓮花池的西南側，接近西側池岸緩坡，在低水位時期岸邊的草類植物可能延伸至 Lotus-4 的鑽取位置，造成早期的堆積紀錄中以草類花粉為絕對優勢，森林樹種花粉的重要性降低，花粉紀錄中所反映的氣候訊號也因此較為薄弱。為獲得良好的古代氣候紀錄，未來或許可考慮將採樣位置東移至水域南側接近 Lotus-2 的位置，一方面在地形上南側的深水區很可能是蓮花池主要的堆積中心，可以保留較為完整的沉積紀錄，另一方面則是這裡岸邊的地形陡峭，腹地狹小，草類植物的生長空間有限，或可避開沉積物中草本花粉比例太高的問題，而保留有較佳的森林變遷紀錄。

參考文獻

- Ando, M., H. Yokota, and E. Shibata. 2004. Why do sika deer, *Cervus nippon*, debark trees in summer on Mt. Ohdaigahara, central Japan? *Mammal Study*, 29, 73-83.
- Avise, J. C. 1998. The history and purview of phylogeography: a personal reflection. *Molecular Ecology*, 7, 371-379.
- Avise, J. C. 2000. Stability, equilibrium and molecular aspects of conservation in marine species. *Hydrobiologia*, 420, 6-7.
- Avise, J. C. 2004. What is the field of biogeography, and where is it going? *Taxon*, 53, 893-898.
- Avise, J. C. 2009. Phylogeography: retrospect and prospect. *Journal of Biogeography*, 36, 3-15.
- Avise, J. C. and K. Wollenberg. 1997. Phylogenetics and the origin of species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94, 7748-7755.
- Avise, J. C., C. A. Reeb, and N. C. Saunders. 1987. Geographic population-structure and species-differences in mitochondrial-DNA of mouthbrooding marine catfishes (Ariidae) and demersal spawning toadfishes (Batrachoididae). *Evolution*, 41, 991-1002.
- Avise, J. C., J. E. Neigel, and J. Arnold. 1984. Demographic influences on mitochondrial DNA lineage survivorship in animal populations. *Journal of Molecular Evolution*, 20, 99-105.
- Bose, M. 2000. Traces of glaciation in the high mountains of Taiwan. *Developments in Quaternary Sciences*, 2, 347-352.
- Brunjes, K. J., W. B. Ballard, M. H. Humphrey, F. Harwell, N. E. McIntyre, P. R. Krausman & M. C. Wallace. 2006. Habitat use by sympatric mule and white-tailed deer in Texas. *Journal of Wildlife Management*, 70, 1351-1359.
- Douzery, E. and E. Randi. 1997. The mitochondrial control region of cervidae: evolutionary patterns and Phylogenetic content. *Molecular Biology and Evolution*, 14, 1154-1166.
- Felsenstein, J. 2006. PHYLIP version 3.66 executables for PowerMac. University of Washington, Seattle.
- Fu, Y. X. 1997. Statistical tests of neutrality of mutations against population growth, hitchhiking and background selection. *Genetics*, 147, 915-925.
- Grant, W. A. S. and B. W. Bowen. 1997. Shallow population histories in deep evolutionary lineages of marine fishes: insights from sardines and anchovies and lessons for conservation. *Journal of Heredity*, 89, 415-426.
- Hebenstreit, R., M. Bose, and A. Murray. 2006. Late pleistocene and early Holocene

- glaciations in Taiwanese mountains. *Quaternary International*, 147, 76-88.
- Hein, J. 1990. Unified approach to alignment and phylogenies. *Methods in Enzymology*, 183, 626-645.
- Jiang, G., J. Ma, M. Zhang & P. Stott. 2010. Multi-scale foraging habitat use and interactions by sympatric Cervids in Northeastern China. *Journal of Wildlife Management*, 74, 678-689.
- Kelly, M. J. and E. L. Holub. 2008. Camera trapping of carnivores: Trap success among camera types and across species, and habitat selection by species, on Salt Pond Mountain, Giles County, Virginia. *Northeastern Naturalist*, 15, 249-262.
- Librado, P. and J. Rozas. 2009. DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*, 25, 1451-1452.
- Liew, P. M., S. Y. Huang, and C. M. Kuo. 2006. Pollen stratigraphy, vegetation and environment of the last glacial and Holocene—A record from Toushe Basin, central Taiwan. *Quaternary International*, 147, 16-33.
- Masse, A. and S. D. Cote. 2009. Habitat selection of a large herbivore at high density and without predation: Trade-off between forage and cover? *Journal of Mammalogy*, 90, 961-970.
- Ono, Y. and T. Naruse. 1997. Snowline elevation and eolian dust flux in the Japanese islands during isotope stages 2 and 4. *Quaternary International*, 37, 45-54.
- Raymond, M. and F. Rousset. 1995. Genepop(version 3.4): population genetics software for exact tests and ecumenicism. *Journal of Heredity*, 86, 248-249.
- Tajima, F. 1989. Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics*, 123, 585-595.
- Templeton, A. R. 2004. Statistical phylogeography: methods of evaluating and minimizing inference errors. *Molecular Ecology*, 13, 789-809.
- Tsukada, M. 1967. Vegetation and climate around 10,000 BP in central Japan. *American Journal of Science*, 265, 562-585.
- Whitney, L. W., R. G. Anthony & D. H. Jackson. 2011. Resource partitioning between sympatric Columbian white-tailed and black-tailed deer in western Oregon. *The Journal of Wildlife Management*, 75, 631-645.
- Yen, S. C., Y. Wang, and H. Y. Ou. 2014. Habitat of the Vulnerable Formosan sambar deer (*Rusa unicolor swinhoii*) in Taiwan. *Oryx*, 48, 232-240.
- 王穎、朱有田、翁國精、顏士清、廖昱銓、楊書懿、葉川逢、張郁琦、陳匡洵、方唯軒。2013。臺灣水鹿跨域整合研究(二)。太魯閣國家公園管理處。121頁。
- 王穎、朱有田、顏士清、張郁琦、廖昱銓。2012。臺灣水鹿跨域整合研究(一)。太魯閣國家公園管理處委託研究報告。70頁。
- 王穎、顏士清、林子揚、陳匡洵、廖昱銓、賴冠榮。2010。奇萊山區台灣水鹿之活動模式與空間使用。內政部營建署太魯閣國家公園管理處。

- 朱傲祖。2002。南湖大山冰河遺跡之新證據。經濟部中央地質調查所年報。九十年
度第 53-55 頁。
- 呂勝由。1993。太魯閣國家公園植物資源。太魯閣國家公園解說教育叢書 5。
- 李玲玲、林宗以。2003。臺灣水鹿的食性研究。行政院農業委員會林務局保育研究
系列第 91-3 號。72 頁。
- 林良恭、姜博仁、徐歷鵬、黃重期。2008。雪霸自然保護區野生動物資源調查志樂
溪流域。行政院農委會林務局。65 頁。
- 林良恭、孫義方、喬雅玲、徐歷鵬、賴伯琦、黃重期。2009。玉山國家公園郡大觀
高地區生物資源調查。內政部營建署玉山國家公園管理處。86 頁。
- 林孟龍。2004。以景觀層級界定生物多樣性保育範圍—中尺度資源衛星 MODIS 影
像的應用。博士論文，國立臺灣大學地理環境資源研究所。
- 林宗以、楊國楨、李玲玲。2006。台灣水鹿啃食樹皮行為對高海拔森林影響初探。
2006 動物行為與生態暨中國生物學會聯合學術年會論文集。第 148 頁。
- 林宗以、楊國楨、李玲玲。2006。台灣水鹿啃食樹皮行為對高海拔森林影響初探。
2006 動物行為與生態暨中國生物學會聯合學術年會論文集。第 148 頁。
- 姜博仁、蔡世超、吳禎祺。2011。玉山地區中大型哺乳動物與生物多樣性之長期監
測計畫。玉山國家公園管理處。99 頁。
- 范震華。2012。以捕捉-標記-再捕捉法估計台灣水鹿 (*Rusa unicolor swinhoii*) 族群
密度。國立屏東科技大學碩士論文。
- 翁國精、林宗以、張書德、范震華。2010。玉山國家公園新康山區中大型哺乳動物
監測暨水鹿族群生態調查。內政部營建署玉山國家公園管理處。83 頁。
- 翁國精、林宗以、楊書懿。2011。玉山國家公園郡大觀高地區臺灣水鹿對森林更新
與結構影響勘查。內政部營建署玉山國家公園管理處。76 頁。
- 翁國精、林宗以、蔡及文。2009。玉山國家公園新康山區暨南二段中大型哺乳動物
調查計畫。內政部營建署玉山國家公園管理處。88 頁。
- 翁國精、林宗以、蔡及文。2009。玉山國家公園新康山區暨南二段中大型哺乳動物
調查計畫。玉山國家公園管理處。88 頁。
- 張慧玲。2008。應用地理資訊系統預測玉山國家公園台灣水鹿之空間分布。國立嘉
義大學森林暨自然資源研究所碩士論文。
- 陳藝方。2009。道路生態工法應用於宜蘭地區生物遷徙模擬及離島留鳥種數研究。
碩士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所。
- 黃啟俊。2011。臺灣高山物種玉山圓柏物種親緣之多基因研究。博士論文，國立成
功大學生命科學系研究所。
- 楊建夫。2000。雪山主峰圈谷群末次冰期的冰河遺跡研究。博士論文，國立臺灣大
學地理學研究所。
- 楊國楨、陳玉峰、鐘丁茂、陳欣一、林笈克、黃江綸、張又敏、蔡智豪、李根政、
王豫煌。2004。玉山國家公園楠梓仙溪林道生態資源與經營管理之研究。玉山
國家公園管理處。87 頁。

- 楊國禎、蘇夢淮、王豫煌、黃江綸、翁其羽。2010。玉山國家公園楠梓仙溪林道地區動植物資源監測調查計畫。玉山國家公園管理處。132 頁。
- 楊遠波、徐國士、2004。太魯閣國家公園高山地區植物資源及基礎調查研究。太魯閣國家公園管理處，89 頁。
- 廖昱銓、王穎。2011。磐石山區台灣水鹿(*Rusa unicolor swinhoii*)的季節性移動。太魯閣國家公園管理處。42 頁
- 裴家騏、姜博仁。2002。大武山自然保留區和周邊地區雲豹及其他中大型哺乳動物之現況與保育研究(一)。行政院農委會林務局研究系列 90-6 號。
- 裴家騏。1998。利用自動照相設備記錄野生動物活動模式之評估。臺灣林業科學 13:317-324。
- 盧冠安。2008。淺談生物分布預測模式。自然保育季刊 61:3-6。
- 賴玉菁。2005。利用地理資訊系統建構六龜試驗林扇平地區中大型哺乳動物巨棲環境棲地模式。中華林學季刊 38(4):465-476。
- 賴景陽。1989。臺灣的哺乳動物化石記錄。臺灣動物地理淵源研討會專集。第 27-50，動物園研討會專集第一號。
- 戴興盛、莊武龍、林祥偉。2011。原住民於何處狩獵?東臺灣太魯閣族某村落之實證研究。地理學報 69:42-59。
- 鍾玉龍、陳朝圳、呂明倫。2005。地景異質性演變之研究-以南仁山生態保護區為例。特有生物研究 7(2):51-61。
- 顏士清、王穎、歐恆佑。2009。太魯閣國家公園台灣水鹿 *Rusa unicolor swinhoii* 分布之預測。生物學報 44:89-96。
- 顏士清。2013。以棲地適合度模式與 GPS 遙測技術探討臺灣水鹿之空間使用及不同尺度下之棲地選擇方式。國立臺灣師範大學生命科學系博士論文。

附錄 1、原住民對水鹿之傳統知識與利用方式訪查，訪查問卷內容

項目	訪問內容
分布、數量、族群趨勢	<ol style="list-style-type: none"> 1. 現在水鹿數量變多還變少?(比較的時間點) 2. 水鹿在哪個地點(國家公園、林道、林班、其他區域)最常看到? 3. 部落附近有沒有水鹿? 4. 其他動物，如山羌、山羊、野豬、飛鼠的變多或變少?
狩獵區域、方式、目的、頻度、數量、獵物處理、禁忌與傳說	<ol style="list-style-type: none"> 1. 獵區在哪裡? 2. 獵區現在是否有水鹿? 獵區以往是否有水鹿? 3. 獵捕水鹿時使用的狩獵方式? 技巧? 4. 自己一年大約獵幾隻水鹿? 5. 部落一年其他動物(山羌、山羊、飛鼠、野豬、猴子)的獵捕數量? 6. 獵捕傳統禁忌? 水鹿的傳說故事? 7. 水鹿的食用方式? 8. 鹿皮的處理方式? 9. 鹿在獵人心中的地位?
棲地、食性、繁殖、活動模式、與其他動物互動、危害情形。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水鹿吃甚麼? 2. 哪些環境比較容易看到水鹿? 3. 哪個時間比較常看到水鹿呢? 4. 水鹿茸角期在何時? 5. 水鹿的繁殖期? 6. 水鹿通常帶幾隻小鹿? 7. 最多同時看到幾隻水鹿? 8. 水鹿是否會與其他動物有互動? 9. 水鹿變多會不會讓山羌變少? 10. 水鹿是否會造成危害? 危害情況及地點在哪裡? 11. 其他水鹿生態習性相關資訊
水鹿欣賞、生態嚮導、生態旅遊、嚮導費用、擔任嚮導意願	<ol style="list-style-type: none"> 1. 假使利用水鹿資源，帶遊客看水鹿，取代狩獵，覺得可行嗎? 2. 哪些地方可以發展這樣的生態旅遊? 3. 前述地點，除了水鹿外還有哪些動植物值得觀賞? 4. 部落是否有可能發展生態旅遊?(部落的配套措施) 5. 你覺得自己有能力與意願作為生態旅遊嚮導嗎? 6. 你認為生態旅遊嚮導一天薪資多少較合理? 7. 生態旅遊欣賞水鹿的活動，一個嚮導帶幾個人比較好?

附錄 2、原住民對水鹿之傳統知識與利用方式訪查，訪查對象基本資料

代號	族群	居住	背景
卓清 A	布農族	卓溪鄉卓清村南安部落	耆老、具狩獵經驗
卓溪 A	布農族	卓溪鄉卓溪村中正部落	具狩獵經驗
銅門 A	太魯閣族	花蓮縣秀林鄉銅門村	耆老、具狩獵經驗
銅門 B	太魯閣族	花蓮縣秀林鄉銅門村	耆老、具狩獵經驗
紅葉 A	布農族	台東縣延平鄉紅葉村	耆老、具狩獵經驗
紅葉 B	布農族	台東縣延平鄉紅葉村	耆老、老獵人
桃源 A	排灣族	台東縣延平鄉桃源村	具狩獵經驗
桃源 B	布農族	台東縣延平鄉桃源村	具狩獵經驗
桃源 C	布農族	台東縣延平鄉桃源村	具狩獵經驗
霧鹿 A	布農族	台東縣海端鄉霧鹿村	耆老
霧鹿 B	布農族	台東縣海端鄉霧鹿村	耆老、意見領袖
地利 A	布農族	南投縣信義鄉地利村	意見領袖
地利 B	布農族	南投縣信義鄉地利村	具狩獵經驗
潭南 A	布農族	南投縣信義鄉潭南村	耆老、具狩獵經驗
碧侯 A	泰雅族	宜蘭縣南澳鄉碧侯村	具狩獵經驗
四季 A	泰雅族	宜蘭縣大同鄉四季村	具狩獵經驗
南山 A	泰雅族	宜蘭縣大同鄉南山村	具狩獵經驗
樂水 A	泰雅族	宜蘭縣大同鄉樂水村	具狩獵經驗
崙埤 A	泰雅族	宜蘭縣大同鄉崙埤村	意見領袖
梅園 A	泰雅族	苗栗縣泰安鄉梅園村	耆老，具狩獵經驗
梅園 B	泰雅族	苗栗縣泰安鄉梅園村	耆老，具狩獵經驗
梅園 C	泰雅族	苗栗縣泰安鄉梅園村	具狩獵經驗
清泉 A	泰雅族	新竹縣五峰鄉桃山村	具狩獵經驗
清泉 B	泰雅族	新竹縣五峰鄉桃山村	具狩獵經驗
清泉 C	泰雅族	新竹縣五峰鄉桃山村	具狩獵經驗
豐濱 A	阿美族	花蓮縣豐濱鄉豐濱村	意見領袖
豐濱 B	葛瑪蘭族	花蓮縣豐濱鄉豐濱村	耆老