

臺灣水鹿跨域整合研究（二）

太魯閣國家公園管理處委託研究報告

中華民國 102 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

PG10202-0183

臺灣水鹿跨域整合研究（二）

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、廖昱銓、楊書懿、葉川逢、

張郁琦、陳匡洵、方唯軒

太魯閣國家公園管理處委託研究報告

中華民國 102 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
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與目標	1
第二節 文獻探討	5
第二章 研究方法	15
第一節 研究地區	15
第二節 研究方法	16
第三章 結果	27
第一節 棲地選擇與水鹿分布調查	27
第二節 水鹿族群密度估算	31
第三節 水鹿啃食或磨角損害調查	35
第四節 臺灣水鹿遺傳多樣性與族群遺傳結構	40
第五節 臺灣水鹿族群歷史	44
第四章 討論	89
第一節 棲地選擇與水鹿分布調查	89
第二節 水鹿族群密度與啃食磨角調查	92
第三節 臺灣水鹿的遺傳分化與族群歷史	95
第五章 結論與建議	99
第一節 結論	99
第二節 建議	101
附錄一 南湖山區、陶塞溪流域、托博閣溪流域、楠溪林道水鹿棲地選擇研究自動相機站架設位置與相關環境因子	105

附錄二 期中簡報審查會議紀錄	109
附錄三 期末簡報審查會議紀錄	113
參考書目	117

表次

表 3-1	2013 年南湖山區、楠溪林道、陶塞溪、托博闊溪自動相機拍攝成果	48
表 3-2	各樣區自動相機拍攝之水鹿 OI 與環境因子之相關性	49
表 3-3	2013 年楠溪林道、南湖山區及竹村雄性水鹿族群量估算結果	50
表 3-4	楠溪林道地區遭水鹿啃食樹皮與磨角樹種名錄	51
表 3-5	南湖大山地區遭水鹿啃食樹皮與磨角樹種名錄	53
表 3-6	竹村地區遭水鹿啃食樹皮與磨角樹種名錄	54
表 3-7	臺灣水鹿各採樣地區中文名稱與英文縮寫對照表	55
表 3-8	各樣區臺灣水鹿 D-loop 基因單套型分布數量表	56
表 3-9	臺灣水鹿兩大類群遺傳多樣性估計值	57
表 3-10	臺灣水鹿兩兩族群間平均遺傳距離與遺傳分化值(F_{ST})	57
表 3-11	臺灣水鹿粒線體全長 DNA 序列分析表	58
表 3-12	水鹿亞種間遺傳距離與分歧時間	61
表 3-13	臺灣水鹿 D-loop 序列群的中性檢測分析結果	61

圖次

圖 2-1 太魯閣國家公園研究樣區，包括南湖山區、陶塞溪區、托博闊溪區	23
圖 2-2 玉山國家公園楠溪林道研究樣區	24
圖 2-3 南湖大山的臺灣水鹿排遺照攝圖	25
圖 3-1 水鹿 OI 值與坡度之關聯	62
圖 3-2 水鹿 OI 值與樹冠層遮蔽度之關聯	63
圖 3-3 水鹿 OI 值與側向開闊度之關聯	64
圖 3-4 水鹿 OI 值與離公路距離之關聯	65
圖 3-5 水鹿 OI 值與離水源距離之關聯	66
圖 3-6 南湖山區水鹿 OI 值與離登山路徑距離之關聯	67
圖 3-7 南湖山區水鹿 OI 值與離山屋距離之關聯	67
圖 3-8 南湖山區自動相機分布及各相機水鹿相對豐度	68
圖 3-9 陶塞溪區自動相機分布及各相機水鹿相對豐度	69
圖 3-10 楠溪林道自動相機分布及各相機水鹿相對豐度	70
圖 3-11 楠溪林道地區數位紅外線自動相機架設點位	71
圖 3-12 水鹿成體密度估計值與雄鹿、雌鹿與幼鹿佔族群量之百分比	72
圖 3-13 南湖大山地區數位紅外線自動相機架設點位圖	73
圖 3-14 竹村地區數位紅外線自動相機架設點位圖	74
圖 3-15 楠溪工作站前紅檜人造林遭水鹿啃食情形	75
圖 3-16 遭水鹿啃食的紅檜	75
圖 3-17 楠溪林道與南湖山區水鹿出現指數與闊葉草類覆蓋度及禾草類覆蓋度之相關性	76
圖 3-18 楠溪林道地區 9 個輻射穿越帶內樹木受水鹿啃食比例與 OI 值之關係	77

圖 3-19 楠溪林道地區 9 個輻射穿越帶內樹木受水鹿磨角比例與 OI 值之關係	77
圖 3-20 楠溪林道地區 9 個輻射穿越帶內樹木遭啃食及磨角損害與徑級分布比較圖	78
圖 3-21 南湖大山地區 4 個輻射穿越帶內樹木遭啃食及磨角損害與徑級分布比較圖	78
圖 3-22 竹村地區 3 個輻射穿越帶內樹木遭磨角損害與徑級分布比較圖	79
圖 3-23 臺灣水鹿樣本採樣地點位置圖	80
圖 3-24 臺灣水鹿 D-loop 基因單套型 Neighbor-Joining 法親緣關係樹	81
圖 3-25 臺灣水鹿 D-loop 基因單套型 Maximum Likelihood 法親緣關係樹	82
圖 3-26 臺灣水鹿 D-loop 基因單套型貝葉氏親緣關係樹	83
圖 3-27 各族群中主要類群序列數量組成比例示意圖	84
圖 3-28 臺灣水鹿之 Nested Clade Analysis 網狀關係圖	85
圖 3-29 臺灣水鹿族群核苷酸錯位分布分析	86
圖 3-30 臺灣水鹿歷史族群變動事件之貝氏天際線圖	87
圖 4-1 臺灣各地區水鹿族群密度估計值	98

摘要

關鍵詞：水鹿、棲地選擇、族群遺傳

一、研究緣起

臺灣水鹿 (*Formosan sambar, Rusa unicolor swinhoii*) 過去廣泛分布在臺灣的山區，但受到棲地破碎化與狩獵壓力影響，族群數量一度銳減，直到近年來才逐漸回升。為建立將來對臺灣野生水鹿族群的經營管理方針，我們於2012年進行[臺灣水鹿跨域整合研究(一)]研究計畫，研究野生水鹿的棲地選擇方式與族群遺傳結構。本年度(2013)延續前一年度之研究，拓展樣區至南湖山區、陶塞溪流域、與玉山國家公園楠溪林道，先調查水鹿分布狀況，作為長期監測的參考，並嘗試以較節省人力、經費之自動相機法研究這些地區水鹿族群的棲地選擇，最後在這三個地區評估水鹿捕捉追蹤的可行性，以作為未來研究的參考。此外，鑒於水鹿數量的快速增加，且其對森林環境的影響已開始顯現，本研究將再加入對水鹿分布與密度的監測，及其對森林植被影響之現況調查與長期影響評估，建立長期監測方法與資料。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。

二、研究方法與過程

棲地選擇研究部分，以系統性取樣原則架設自動相機監測，並測量相機點位之環境因子，分析水鹿相對豐度與環境因子之相關性；水鹿分布狀況監測則採用自動相機資料及現場穿越線調查資料進行分析；並列出捕捉工作所需注意的要點，評估各區捕捉水鹿的可行性；臺灣水鹿啃食或磨角損害現況調查以及對於森林植被結構與更新影響之評估方面，以輻射穿越帶記錄植物受損狀況以進行評估；水鹿族群密度估算的部分，則大量架設自動相機，藉個體的辨識及捉放法評估其密度；遺傳結構分析部分，目前已蒐集分析出粒線體 D-loop DNA 全長序列，

包括奇萊山區 39 個樣本、磐石山區 16 個樣本、南湖大山陶塞線 85 個水鹿樣本與陶塞溪中下游 56 個水鹿樣本。為了與臺灣其他地區水鹿進行遺傳歧異度分析，我們亦蒐集分析雪霸國家公園翠池與志樂溪流域 25 個水鹿樣本；丹大野生動物重要棲息環境 56 個樣本、雙龍林道與雙龍治茆山共 19 個水鹿樣本、能高阪邊天長共 103 個樣本、七彩湖共 20 個樣本；玉山新康與三叉稜 79 個水鹿樣本；大武山 101 個水鹿樣本。

三、重要發現

於南湖山區回收 58,188 h 的相機資料，其中水鹿 OI 值為 4.78，距離登山路徑、山屋越遠的相機拍攝到越多水鹿， R^2 為 0.371，最靠近登山口的水鹿痕跡發現於松針營地，顯示水鹿範圍有持續向外擴展，本區因水鹿相對較少、較畏懼人、路程較遠等理由，較不適合做為未來捕捉水鹿的地點。於陶塞溪區回收 18,058 h 相機資料，水鹿 OI 為 18.16，本區水鹿 OI 與坡度呈高度負相關，但未達統計顯著水準（ $r=-0.771$, $P=0.072$ ），陶塞溪區的水鹿已擴散至竹村附近活動，但因為道路毀損進出危險，不建議在此進行水鹿捕捉等研究。於楠溪林道回收 33,168 h 相機資料，水鹿 OI 值為 15.53，水鹿 OI 與坡度呈顯著中度負相關（ $r=-0.577$, $P=0.015$ ），本區水鹿已擴散至麟趾山，甚至靠近新中橫公路，欲在本區捕捉水鹿，可嘗試使用籠舍式陷阱或麻醉槍加發報器直接麻醉。在托博闊溪回收 93,945 h 的相機資料，發現超過 12 種中大型哺乳動物，水鹿 OI 值為 9.12，水鹿的 OI 與各環境因子無顯著相關。

在三個樣區估計成體水鹿族群密度，結果發現 6 月楠溪林道水鹿族群密度為每平方公里 19.2 隻，8 月份南湖山區為 28.8 隻，10 月竹村為 45.2 隻。雖然南湖山區與竹村的族群密度較高，但水鹿啃食的情況極其輕微；而楠溪林道的成體水鹿族群密度在臺灣所有調查過的地區中屬於密度較低的地區，但水鹿啃食現象普遍，且新的啃食痕跡集中於紅檜人造林。這些結果顯示水鹿啃食樹皮的現象並非與族群密度直接相關，還有其他因素造成水鹿的啃食行為。雖然目前三個樣區

中，僅有楠溪林道的水鹿啃食行為較明顯，但三個樣區的水鹿族群密度皆高於鹿科動物對共域物種造成影響的警戒值每平方公里 15.5 隻，若啃食行為開始出現在太魯閣國家公園境內，可能會對生態造成連鎖效應。

粒線體 DNA 序列遺傳多樣性分析方面，D-loop 單套型目前共發現 19 個序列單套型 (Haplotype)。以太魯閣國家公園與丹大野生動物重要棲息環境多樣性較多，但無法排除因樣本收集量不同而導致的誤差。重要發現為太魯閣陶塞溪中下游流域、雪霸國家公園翠池與及志樂溪所擁有 4 個單套型，其核苷酸取代特徵與臺灣其他地區明顯不同。經親緣關係分析、bootstrap 顯著性分析與分化指數 (F_{ST}) 可將臺灣水鹿分成兩大遺傳類群。陶塞溪中下游、雪霸國家公園翠池與志樂溪及能高坂邊天長形成一主要類群，這一類群稱為陶塞雪霸類群 (TSSP clade)；而南湖陶塞線、奇萊山區、磐石山區、丹大野生動物重要棲息環境、南投雙龍林道 (除冶荊山兩個樣本)、七彩湖與大武山水鹿形成另一類群，這個類群稱為中央山脈主要類群 (Central Mountain Major clade)。依據 Randi 等人 (1997) 所推論出鹿科動物粒線體 DNA 演化速率 (0.04-0.08 核苷酸取代位置/百萬年)，經由分子鐘的計算這兩類群分歧時間為距今 37,250 至 74,500 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。本研究發現成果對於整個臺灣水鹿的保育策略上，在不同地理氣候條件下所採用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是急迫需要進行的。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急迫性。

四、主要建議事項

建議一

增加對登山客之環境教育：立即可行之建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處

協辦機關：中華民國國家公園學會

南湖山區登山客多、人為干擾較大，未來可增加對登山客的解說教育與環境教育，以期降低對生態的干擾。

建議二

增加研究樣區深入水鹿遺傳研究：立即可行之建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處、雪霸國家公園管理處

協辦機關：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。此外，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樣本，進行更進一步分析與證明。

建議三

研究水鹿啃食樹皮之原因：中長期建議

主辦機關：太魯閣國家公園管理處

協辦機關：屏東科技大學野生動物保育研究所、臺灣師範大學生命科學系、臺灣大學動物科學與技術學系

啃食現象並非僅與水鹿族群密度有關，可能也與族群本身的生理或健康狀況有關。未來應釐清水鹿啃食現象的成因，以利經營管理措施的擬定。

建議四

在地原住民與水鹿共存情況調查：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：中華民國國家公園學會

因應水鹿工作坊規劃近程工作與本案水鹿研究之必要，需針對在地原住民族與水鹿共存之生態相關傳統知識，進行蒐集與整理。

建議五

辦理國際水鹿研討會議：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：中華民國國家公園學會

聯合台灣島、東亞、及其他國家，進行水鹿國際交流研討會議，促進研究成果跨域交流，並整合國際水鹿研究之成果。

ABSTRACT

Keyword : Formosan sambar deer 、habitat selection 、population genetics

The Formosan sambar deer (*Rusa unicolor swinhoii*) was widely distributed throughout Taiwan. Its population size dropped dramatically due to habitat destruction and hunting, and gradually recovered in recent years due to proper protection. A long term project was established in 2012 to study the habitat selection and population genetics of this species in different national park areas. This study was carried out in Mt. Nanhu and Taosai River in Taroko National Park, and Nanshi forestry road in Yushan National Park in 2013. Infrared camera traps were set to study the habitat use of the species. Besides, distribution range was documented and capture sites were evaluated. The result showed that the occurrence index of the sambar was 4.78 in Mt. Nanhu. The deer relative abundance was positively correlated with the distance from hiking trail and from cabin ($R^2 = 0.371$). The new sighting records outside of its former range indicated deer distribution range was expanding. Because of the lower deer population density, and higher vigilance to human, and the site difficulty to reach, we do not recommend to capture and radio-track the deer in this area. In the Taosai River, the occurrence index of the sambar deer was 18.16. The deer also expanded its range to the Chu Village. However, this area is also not suitable for deer capture and tracking because of the deteriorated trail condition. In the Nanshi forestry road, the occurrence index of the sambar deer was 15.53, which was significantly negative correlated with the slope ($r=-0.577$, $P=0.015$). The deer population occurred at Mt. Linzhi and approached the New Central Cross-Island Highway. Deer capturing and tracking is feasible in this area, but the capture method should be changed. Using cage trap and tranquilizer gun with transmitter are probably feasible methods. In addition, camera trap data from the Tuobokuo River,

Taroko National Park showed that more than 12 mammal species occurred in this area, and the occurrence index of sambar deer was 9.12. In conclusion, we suggest that the environmental education to hikers should be enhanced to reduce human disturbance on the sambar deer.

This research estimated population densities of adult sambar in three study sites in 2013. The density was $19.2/\text{km}^2$ in June at Nanshi forest road, $28.2/\text{km}^2$ in August at Nanhu mountain area, and $45.2/\text{km}^2$ in Taosai. Although the densities at Nanhu and Taosai were higher than that at Nanshi, signs of debarking was scarce at these two sites. The sambar density at Nanshi was lower relative to other sites in Taiwan, but debarking by sambar was apparent and new signs of debarking concentrated especially in Taiwan red cypress plantations. These results show that debarking is not directly related with population density. Instead, other factors make sambar feed on barks. Although currently debarking happen mainly at Nanshi, population densities at all the three sites have exceeded the threshold of $15.5/\text{km}^2$, over which cervids may impact coexisting species. Debarking may have a cascade effect on the ecosystem if it started to happen in the Taroko National Park.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與目標

壹、緣起

2012 年度[臺灣水鹿跨域整合研究（一）]以 13 隻水鹿之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河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，進行族群親緣分析，對臺灣水鹿之遺傳分化提出可能的假說。本年度（2013）延續前一年度之研究，把棲地選擇相關研究拓展至南湖山區、陶塞河流域、與玉山國家公園楠溪林道之水鹿族群，收集更多地區之水鹿遺傳樣本進行分析。此外，再進一步增加水鹿族群之分布、密度監測，及其對植被影響之評估。

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，本年度將架設自動相機進行研究。過去雖已在奇萊山區成功捕捉與追蹤水鹿進行相關研究（顏士清 2013），但由於捕捉與追蹤的困難度高，且其所花費的人力與經費亦十分高昂，因此在本計劃中欲嘗試其他實施難度、人力、費用較低的研究方法，未來可在重點區域使用捕捉追蹤法，在其他樣區則採取其他方案，例如本計劃嘗試之自動相機法，使相關研究可應用在更多地區。

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。此外，追蹤定位點的分析上，研究人員很難實際到達每個定位點記錄環境因子，通常是利用遙測技術，使用較巨觀的環境因子，例如海拔、坡向、林相等，有時還可能因圖層老舊或量測問題產生錯誤，若使用自動相機法，除了可以在現場測量前述環境因子外，亦可記錄遙測

無法獲得的微棲地因子，例如天空遮蔽度、側面遮蔽度等進行分析（Chiang et al. 2012）。

近年在玉山國家公園境內如新康山區（翁國精等 2010）、觀高（林良恭等 2009；翁國精等 2011）、郡大溪流域（林良恭等 2010）、楠溪林道（楊國楨等 2010；林宗以，未發表資料）及玉山、塔塔加（姜博仁等 2009；姜博仁等 2010）等，臺灣水鹿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（李玲玲及林宗以 2003；吳海音，私人通訊）。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（翁國精等 2010）。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（翁國精等 2010；林良恭等 2009；林良恭等 2010），並改變森林底棲性鳥類的密度（林良恭等 2009；林良恭等 2010；姜博仁等 2010），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。

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。過去研究發現臺灣水鹿在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（王穎等 2012），顯示臺灣水鹿可能因棲地島嶼化而產生遺傳分化，後續應繼續增加樣本數及樣本收集區域。

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（戴興盛等 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 (林孟龍 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 (鍾玉龍等 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 (陳藝方 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 (盧冠安 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。

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 (朱傲祖 2002) 及雪山主峰圈谷 (楊建夫 2000) 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 (黃啟俊 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 (賴景陽 1989)。臺灣水鹿至今尚無相關研究。

本年度之研究把樣區拓展至南湖山區、陶塞溪流域、楠溪林道，調查水鹿分布情形，評估適合捕捉水鹿之地點以供未來研究參考，並利用自動相機研究臺灣水鹿的棲地選擇、族群密度估算，調查水鹿對森林植被的啃食、磨角損害現況，評估其對植被結構之影響，同時收集水鹿遺傳樣本，分析臺灣島內各水鹿族群親緣關係與遺傳分化，再與其他亞種水鹿作親緣關係比較。

貳、本年度目標

- 一、研究水鹿棲地選擇。
- 二、調查南湖山區與楠溪林道水鹿分布情形。
- 三、評估水鹿捕捉研究地點。
- 四、南湖山區、陶塞河流域及楠梓仙溪地區水鹿族群密度估算。
- 五、森林冠層樹種受到水鹿啃食或磨角損害現況調查。
- 六、水鹿對於森林植被結構與更新影響之評估。
- 七、臺灣水鹿排遺樣本採集及 DNA 純化與保存。
- 八、臺灣水鹿粒線體 DNA D-loop 序列全長增幅與分析。
- 九、玉山、雪霸及太魯閣等三國家公園園區內臺灣水鹿族群之親緣距離與遺傳分化分析。
- 十、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

壹、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) 及麂亞科 (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 (Indochina 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。

貳、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（Yen, 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（王穎等 2010、顏士清及王穎 2011、Yen, 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（王穎等 2010、廖昱銓及王穎 2011），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，李玲玲等(2006)與林宗以(2011)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(2012a)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. (2012)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。

參、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(Avise, 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 (Avise, 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(Avice 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)(Avice 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 (Avice, 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(Avice, 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。

肆、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%。3000 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 3,200m 至 3,400m 間；南部山區（玉山國家公園）雪線介於 3,400m 至 3,600m 間。在 MIS2（末次冰期晚期），全島雪線高度介於 3,400m 至 3,600m 間（Ono and Naruse, 1977）。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 3,100m 至 3,400m 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 3,195m 間，在 MIS3/4 間，雪線降至 3,050m 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(朱傲祖 2002)及雪山主峰圈谷(楊建夫 2000)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(黃啟俊 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(賴景陽 1989)。臺灣水鹿至今尚無相關研究。

利用日月潭 (altitude 750m) 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, 650m 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 1000 公尺，甚至到達 1500 公尺； MIS4 溫度約低於現在的 8-10°C。

伍、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 17000 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 原本被分生科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，包括合歡山區、奇萊連峰（中央山脈北三段北段）、南湖中央尖山區（中央山脈北一段）、中央山脈北二段、陶塞溪流域、清水山及清水斷崖、三棧溪流域等，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。針葉林組成以雲杉、鐵杉、冷杉、二葉松等為主，玉山箭竹矮灌叢除玉山箭竹為優勢種外，亦常有圓柏及杜鵑花科植物（楊遠波及徐國士 2004）。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。本年度研究主要在南湖山區及陶塞溪流域進行（圖 2-1）。南湖山區位於中央山脈主稜，年均溫為 7.7℃，冬季一、二月間溫度常在 0℃ 以下，年雨量在 2,000 mm 以上，夏季多雨，冬季較乾，並可能積雪；陶塞溪發源自南湖山區，下游接立霧溪主流出海，在本研究中針對竹村經陶塞溪至波浪山區域，海拔約從 1,000 m 至 2,000 m。

楠溪林道位於玉山國家公園西界，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）。本研究規劃調查範圍為一般管制區，由塔塔加登山口至 12.5 k 大崩壁（圖 2-2）。

第二節 研究方法

壹、水鹿棲地選擇研究

本年度於南湖山區、陶塞溪流域、楠溪林道架設相機進行研究(圖 2-1、2-2)。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，楠溪林道有 6 格（玉山登山口至 12.5 k 大崩壁）、南湖山區有 12 格（登山口至南湖東峰）、陶塞溪流域有 8 格（竹村附近經陶塞溪往波浪山），並加入 2011 年至 2013 年 3 月於托博闊溪流域架設的相機資料作分析（圖 2-1），架設地點選擇登山路徑外具有獸徑交會處。由於陶塞溪流域之登山路線常因崩坍、溪水暴漲所阻，因此於年初架設後，在年中收回一次資料，颱風季過後則不再進入。而南湖山區與楠溪林道可及性較高，每一季更換一次相機位置，各相機站更換地點選擇同方格但距離 100 m 以上之處。

架設相機時，研究人員會測量相機位置之各項環境因子，以進行後續棲地選擇分析（附錄一）。環境因子將包括：1.坡度，以坡度計測量；2.累積日照時間，以數位高程模型計算而得，與植物資源、濕度、動物熱調節等有關；3.與水源距離，與動物對水的需求有關；4.樹冠層遮蔽度，使用 Spherical densiometer 測量；5.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；6.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。此外，南湖山區由於登山客數量多，再加入兩個因子分析：7.與登山路徑距離，距登山路徑越近則人為干擾越大；8.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。

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。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關聯性，另外三個地區則因為樣本數較少，以 Spearman's rank correlation 進行分析，對於樣本數及環境變因較多的南湖山區資料，則參考賴玉菁 (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。

貳、水鹿分布調查

野外研究過程中，研究人員隨時隨地進行穿越線調查，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、或是各種痕跡例如腳印、排遺、磨痕、鹿角或屍體等，再輔以各自動相機站之水鹿拍攝紀錄，以確認各區水鹿分布範圍的大致界線。進一步再以各相機站所記錄之水鹿 OI，評估路線上各地點水鹿相對豐度。

本調查可做為水鹿族群分布範圍變化之長期監測資料，將有助未來對水鹿的經營管理，也可做為觀賞水鹿之遊憩活動的參考。

參、水鹿捕捉研究地點評估

捕捉與追蹤為研究動物極重要的研究方法，在保育與經營管理上亦貢獻良多。雖然目前對奇萊山區水鹿之追蹤研究已取得成果，未來仍可能需要拓展樣區、增加樣本數，因此本年度將於南湖山區、陶塞溪流域、楠溪林道探訪、評估捕捉水鹿的地點，以作為未來後續研究之參考。

評估重點將包括：1.抵達捕捉點之步行天數，距離若太遠將造成進出樣區、補給上的困擾，使得時間花費在路程上，並需要背負更多食物、走更長時間，增加體力負擔；2.路線上海拔最低點與最高點之海拔差距，海拔落差過大的路線亦將造成體力上的負擔，並可能因此門檻而減少研究志工的數量；3.水鹿豐富度，水鹿數量太少的地區捕捉成功率亦低，因此需找水鹿穩定出現之區域；4.水鹿與人之互動與反應，水鹿對人之警戒程度過高將導致捕捉困難，因此須選擇水鹿較不畏人之區域；5.營地適宜性，舉凡安全性、避風程度、水源距離等，都會是評估重點，以保障研究人員之安全；6.是否具有適合架設陷阱之地形，依照過去捕捉經驗尋找適合架設陷阱之地點；7.人為干擾程度，過去於磐石山區之研究經驗發現，路經之登山客有時會影響研究工作的進行，因此未來將考慮嘗試略為偏離傳統登山路徑以減少干擾。

肆、臺灣水鹿族群密度估算

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6到10月之間臺灣水鹿的硬角期於楠梓仙溪林道、南湖山區及陶塞溪流域各選擇適當樣區架設紅外線自動相機估算水鹿族群密度。

相機之架設原則上採棋盤方格式，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。每個樣區的相機工作時間約一周至兩周，以求得瞬時水鹿族群密度。

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CARE-2估算水鹿族群密度，並選用適當的模式。Otis等(1978)提出下列估計被捕獲率的模式：

M_0 ：每隻動物在每次捕捉期間有相同的被捕獲率。無關動物行為反應、時間變化或捕捉的差異，且每次的捕捉事件是互相獨立的。

M_t ：被捕獲率只隨時間而改變。單次的捕捉回合裡，族群裡的所有個體都有相同被捕捉的機率，但不同的回合可能有不同的被捕獲率。

M_b ：被捕獲率只會隨動物行為而變異。第 1 次的捕捉事件影響了之後的被捕獲率，例如動物經歷過第 1 次的捕捉後，更容易被陷阱吸引而被捕捉，或是刻意避開陷阱而降低被捕捉的機率。此模式假設每次捕捉事件裡，從未被捕捉過的個體和曾被捕捉過的個體有不同的被捕獲率，且從未被捕捉過的個體的被捕獲率在每次的捕捉回合裡都不會改變。

M_h ：個體間有不同的被捕獲率。族群裡的每個個體有獨立的被捕獲率，但不會因為是否曾被捕捉過而改變，亦不會因為時間推移而改變。

M_{tb} ：被捕獲率包含時間和行為的變異。第 1 次捕捉造成之後的被捕獲率改變，而且時間也影響著被捕獲率。

M_{th} ：包含因為時間變化而改變了被捕獲率，以及個體間被捕獲率的差異。不論是時間還是個體造成的捕捉率差異，兩者之間是不互相影響的。

M_{bh} ：被捕獲率包含因捕捉事件所造成的行為變異和個體本身的被捕獲率差異。

M_{tbh} ：被捕獲率因為時間變化、行為反應、個體差異而改變。此模式最貼近現實狀況，因為它將最多的可能因素一併考慮，但也因此而最複雜；需要估計的參數最多，所需的樣本數也最多。

伍、森林冠層樹種受到臺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，於楠溪林道（0-14 km）、南湖山區、陶塞溪竹村附近各選取 3 個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 200 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。

各樣點中心則架設紅外線自動相機，以 OI 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。

陸、臺灣水鹿對於森林植被結構與更新影響之評估

整合上述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），比較各胸高直徑等級受水鹿影響的程度差異。

柒、水鹿遺傳樣本收集

太魯閣國家公園境內遺傳樣本：今年（2013）的蒐集主要以北區及西南區為主。北區以陶塞溪流域中下游與陶塞溪上游上南湖主峰沿線（南湖大山陶塞線）；西南區以奇萊山區與磐石山區為主；東南區以砂山、海鼠山為主。

非太魯閣國家公園境內遺傳樣本：今年主要蒐集地區（從北至南）為雪霸國家公園翠池與志樂溪流域、丹大野生動物重要棲息環境、雙龍林道與治茆山、玉山新康與大武山。目前已蒐集樣本包括奇萊山區 39 個樣本、磐石山區 16 個樣本、南湖大山陶塞線 85 個水鹿樣本與陶塞溪中下游 56 個水鹿樣本。為了與臺灣其他地區水鹿進行遺傳歧異度分析，我們亦蒐集分析雪霸國家公園翠池與志樂溪流域 25 個水鹿樣本；丹大野生動物重要棲息環境 56 個樣本、雙龍林道與雙龍治茆山共 19 個水鹿樣本；玉山新康與三叉稜 79 個水鹿樣本；大武山 101 個水鹿樣本。每個水鹿排遺採樣均照相存證，並記錄 GPS 點位（圖 2-3）。

捌、臺灣水鹿排遺與組織中粒線體 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 SDS (Sodium dodecyl sulfate) 與 CTAB (Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide) 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 6000 xg 離心後去過濾液，再加入剩餘混合液，重複上述步驟，8000 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 20000 xg (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 8000 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。

玖、粒線體 D-loop 區域與粒線體基因組全長序列增幅、定序

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 1256 bp。擴增臺灣水鹿粒線體控制區 DNA 序列 PCR 反應條件為 50 μ l 反應體積，粒線體 DNA 模板、50 mM KCl、10 mM Tris-HCl (pH 8.3)、0.5 mM MgCl₂、0.2 μ M 引子、100 μ M dNTP 以及 1 unit Tag 聚合鏈。作用條件：94°C 4 分鐘，接著 94°C 1 分鐘，60°C 1 分鐘以及 72°C 1.5 分鐘共 28 個循環，最後 72°C 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。

陶塞溪流域臺灣水鹿粒線體基因體全長 DNA 片段之擴增，根據文獻與 NCBI Genbank 上發表之序列 (accession number: NC008414)，已設計 16 對引子，每對引子擴增產物長度約為 1 kb。擴增臺灣水鹿粒線體基因體全長 DNA 序列反應條件如上段所述。

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 PRISMTM 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。定序所得 seq 格式序列檔案，以 BioEdit(v.7.1.3.0, Hall,1999)讀取 alb 格式檔案觀察定序結果後，進行人工校正，並將重複片段與 D-loop 區域外片段剪輯，以分別得到 D-loop 區域與粒線體全長完整序列。同時，將除去 tandem repeat 的 D-loop 區域 seq 格式檔案另外備份以供分析使用。

拾、親緣關係資料分析

臺灣水鹿粒線體 D-loop 區域與粒線體基因組全長序列多型性分析使用 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，作為單套型判定與序列辨別之用。個別水鹿之間 D-loop 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)。

關於臺灣水鹿演化上的分歧時間估算，則參考 Randi *et al.* (1998) 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 $T = \frac{K}{2r}$ 之公式，以推測不同水鹿族群在演化上出現分歧之可能時間。

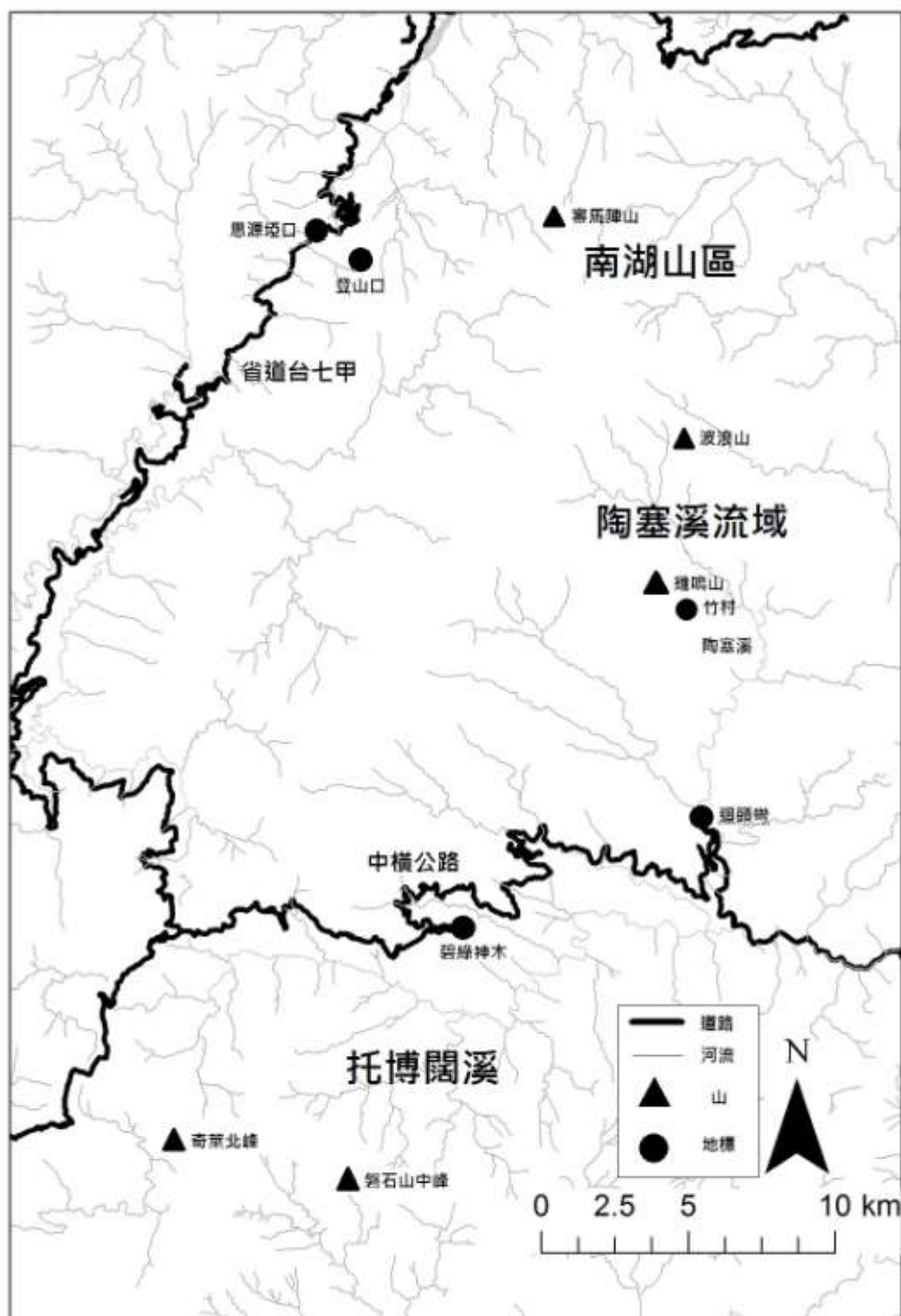


圖 2-1 太魯閣國家公園研究樣區，包括南湖山區、陶塞溪區、托博闊溪區。

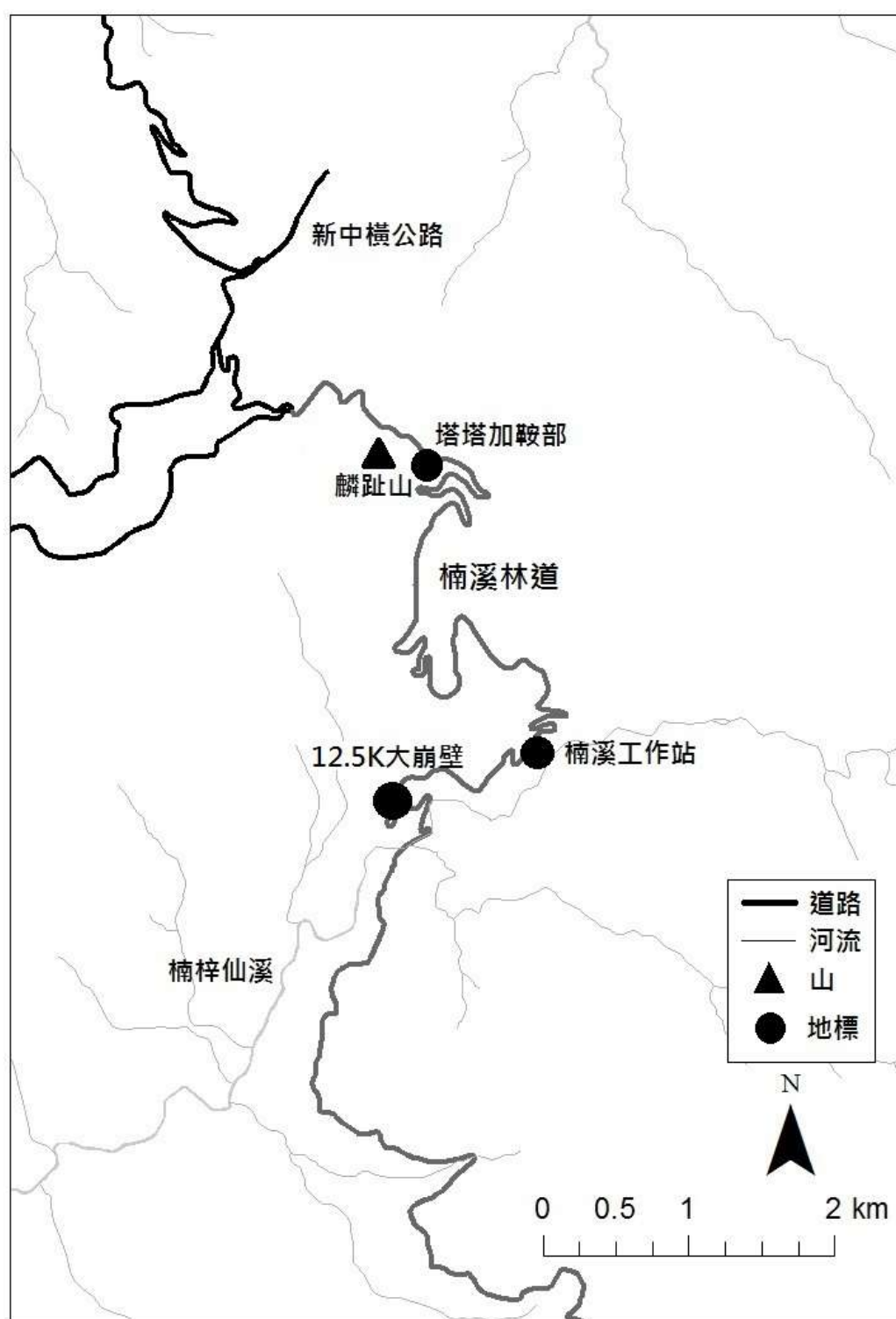


圖 2-2 玉山國家公園楠溪林道研究樣區。



圖 2-3 南湖大山的臺灣水鹿排遺照攝圖。圖下方護貝卡為防水比例尺，比例尺各分段(單色為一段)長度為 1 公分。

第三章 結果

第一節 棲地選擇與水鹿分布調查

壹、各樣區中大型哺乳動物概況

2013 年共於南湖山區架設 36 台次自動相機，回收 33 台次資料，3 台次故障；於陶塞溪架設 8 台相機，回收 6 台資料，2 台失竊；於楠溪林道架設 19 台次相機，回收 17 台次資料，2 台次故障。並加入 2013 年 3 月回收之 12 台托博闊溪自動相機資料分析。

南湖山區相機共工作 58,188 h，山羌是相對豐度最高的動物（OI=21.02），山羊（OI=5.74）與獼猴（OI=5.53）次之，水鹿 OI 為 4.78，此外尚拍到野豬、黃喉貂、黃鼠狼、鼬獾、白面鼯鼠、長吻松鼠等多種哺乳類動物（表 3-1）。

陶塞溪區相機共工作 18,058 h，山羌是相對豐度最高的動物（OI=101.89），水鹿次之（OI=18.16），其他尚有山羊、獼猴、野豬、食蟹獾、鼬獾、白鼻心等動物，也拍到犬隻出沒（OI=3.32）（表 3-1）。犬隻的紀錄大多出現在編號 3 號相機，而該點的水鹿、山羌、山羊、獼猴之 OI 都較其他點位低，更是唯一沒有記錄到野豬的相機點。

楠溪林道相機共工作 33,168 h，山羌是相對豐度最高的動物（OI=49.38），水鹿（OI=15.53）次之，還拍攝到山羊、獼猴、山豬、黃喉貂、黃鼠狼、食蟹獾、白鼻心等多種哺乳類動物（表 3-1），更拍到一次臺灣黑熊（OI=0.03）（相機編號 006，附錄一）。

托博闊溪區相機共工作 93,945 h，山羌（OI=39.35）為相對豐度最高的動物，水鹿（OI=9.12）次之，並拍攝到山羊、山豬、獼猴、黃鼠狼、黃喉貂、鼬獾、食蟹獾、白鼻心、白面鼯鼠、赤腹松鼠等多種哺乳類動物（表 3-1）。本區相機 OI 值最高的兩個點為相機一、相機二、相機九，前兩者距離公路較遠（8200 m、8400 m），所在位置靠近磐石山區的稜線，後者則位在靠近立霧溪的森林內。

貳、水鹿棲地選擇研究

以 Spearman's rank correlation 分析發現，南湖山區的水鹿 OI 和與公路距離 ($r=0.438$, $P=0.011$)、與水源距離 ($r=0.374$, $P=0.032$)、與登山路徑距離 ($r=0.471$, $P=0.006$)、與山屋距離 ($r=0.464$, $P=0.007$) 呈顯著的中低度正相關；陶塞溪的水鹿 OI 與坡度呈高度負相關，但未達統計顯著水準 ($r=-0.771$, $P=0.072$)；楠溪林道的水鹿 OI 與坡度呈顯著中度負相關 ($r=-0.577$, $P=0.015$)、與側向開闊度 ($r=-0.487$, $P=0.048$) 呈顯著低度正相關。托博闊溪的水鹿 OI 則與各環境因子都無顯著的相關性（表 3-2，圖 3-1 到圖 3-7）。

使用逐步迴歸法，以南湖山區相機的水鹿 OI 為應變數，各相機點位的與水源距離、與公路距離、與登山路徑距離、與山屋距離四個環境因子為自變數進行分析，發現與路徑距離、與山屋距離兩個因子為主要影響因子， R^2 為 0.371。

參、水鹿分布調查

在南湖山區，距離登山口最近的水鹿紀錄是位在松針營地附近，但研判 710 林道 6.8k 登山口至松針營地之間應該也會有水鹿使用，此處距離台七甲公路的直線距離約 2.7 km。往後一路至南湖圈谷，偶可在離開步道架設相機時發現水鹿痕跡，但直至圈谷及南湖東峰一帶，水鹿痕跡才變得較為常見，在登山步道附近即可見到。自動相機拍攝結果與穿越線調查結果相似（圖 3-8），由登山口至圈谷的相機均有機會拍攝到水鹿，但以圈谷後的相機拍攝到水鹿的比例及 OI 較高。

在陶塞區，水鹿已經來到竹村一帶活動，村莊附近即可見水鹿排遺與磨痕，最靠近登山口的水鹿痕跡位在陶塞吊橋靠竹村端，此處距登山口直線距離約 5.2 k，步道距離接近 9 k，登山口至陶塞吊橋之間則尚未發現水鹿痕跡。自動相機拍攝結果發現本區所有相機 OI 均大於 1，但以竹村旁的相機 OI 相對較低（圖 3-9）。

在楠溪林道，2.8 k 塔塔加登山口旁的麟趾山步道上沿路都可發現水鹿痕跡，由塔塔加登山口沿楠溪林道下行，沿路除太陡峭的區域外，離開道路進到森林均常可發現水鹿痕跡。此外玉山國家公園管理處排雲站員工表示，在新中橫公

路上亦偶可目擊水鹿，顯示水鹿族群已擴散到新中橫公路旁。以自動相機調查結果則發現，常有遊客的塔塔加登山口附近的相機 OI 為 0 或小於 1，其餘所有遠離遊客常出沒區、及靠近麟趾山頂的相機均有高 OI 值（圖 3-10）。

肆、水鹿捕捉研究地點評估

南湖山區登山口海拔約 1950 m，南湖圈谷海拔約 3550 m，落差 1600 m，進入樣區大部分路程為上坡，在此進行研究的體能需求較高，登山客的干擾亦多，且整體而言南湖山區水鹿相對豐度並不高（OI=1.86），優點則為沿路均有山屋可供住宿休息。以目前相機拍攝狀況來評估，多加屯山屋之後（OI=7.13）、南湖東峰前（OI=5.48）為兩個水鹿相對較多的地方，前者路程約一天，後者約兩天，以後者較易找尋到架設陷阱捕捉水鹿的地點，但南湖山區的水鹿較畏懼人類，兩次調查途中僅曾在圈谷山屋附近目擊，且與人類保持超過 40 m 的距離。整體而言，本區捕捉水鹿進行研究的適合度較低。

陶塞溪具有路程較短、海拔落差小、有研究站可居住、人為干擾較少（無登山客、略有狩獵壓力）、水鹿數量多（王穎等 2012）等多項優點，但本區水鹿十分畏懼人類，且現今路況十分危險，須行經多處崩坍地段及毀損的吊橋，因此將此區評估為不建議進行捕捉。

楠溪林道具有多項優點，包括交通時間短且可通行汽車、有良善的研究站可居住、人為干擾較少（無登山客、略有狩獵壓力）、水鹿數量多（OI = 13.4），但具有一項重大缺點：水鹿很畏懼人類。整體而言在此進行捕捉工作應該可行，但難以使用圍網法，而套腳陷阱易使動物受傷，也不建議使用。建議應嘗試籠舍式陷阱或麻醉槍直接麻醉，籠舍式陷阱可選擇架設在水鹿常出沒的地點，放置大型鐵籠或搭建木製圍籬，配合可自動關閉的閘門，內部放置誘餌吸引水鹿，並每日巡視陷阱。此法由於未曾被嘗試過，可能會在前置作業與初期試誤上花費不少時間與經費，但若能嘗試成功並累積經驗，未來可應用在其他水鹿畏懼人類的地方，更可應用在其他不同種類的動物上。而麻醉槍曾應用在山羊研究上，研究人

員步行尋找水鹿，以麻醉槍擊發針劑投射於動物，麻醉針上附有發報器，可供研究人員尋找被麻醉的動物，根據本團隊過去經驗，以藥物 xylazone (2 mg/kg) 混合 zoletile (4 mg/kg) 可達到很好的麻醉效果，適用於此方法。

第二節 水鹿族群密度估算

壹、楠溪林道地區相機拍攝結果與水鹿族群密度估算

研究團隊於 102 年 4 月中至 102 年 5 月底進入楠溪林道架設總共 33 台自動相機，扣除故障以及未拍攝到水鹿的相機，實際納入估算族群量的相機數量為 17 台。研究團隊於 102 年 7 月 24 日進入南湖山區架設 29 台自動相機，並於 102 年 8 月 28 日回收，扣除故障以及未拍攝到水鹿的相機，實際納入估算族群量的相機數量為 21 台。另外，研究團隊於 102 年 10 月 5 日進入竹村地區架設 19 台自動相機，並於 102 年 10 月 29 日回收，扣除故障以及未拍攝到水鹿的相機，實際納入估算族群量的相機數量為 14 台。

研究團隊於 102 年 4 月中至 102 年 5 月初進入楠溪林道架設第一批共 9 台相機，並於 102 年 5 月 29 日架設第二批共 18 台自動相機。102 年 6 月 13 日研究團隊進入楠溪林道更換相機記憶卡後，再將相機數補至 33 台，並於 102 年 6 月 29 日回收全部相機資料。由於 5 月 29 日之後才有相當數量的相機可供監測，因此計算族群量時採用 102 年 5 月 29 日之後的相片資料。楠溪林道相機的總工作時數為 9198 小時，有效照片張數為 73 張，平均 OI 值為 7.9。相機點位分布見圖 3-11。

總計 5 月 29 日至 6 月 29 日有正常工作且有拍攝到水鹿的相機共 17 台，並拍攝到 11 隻雄性成體。本研究以 CARE-2 軟體運算此 11 隻公鹿的捕捉史(capture history)，所得結果如表 3-3。由於本研究以相機「捕捉」水鹿，但相機對於水鹿行為並沒有明顯的影響，故 M_b 模式並不適用。本次所捕獲的 11 隻雄性成體之捕獲次數為 1 至 8 次，因此個體之間的被捕獲率差異極大，應考慮 M_h 模式。每個捕捉回合（以一天為一回合）所捕獲的個體數為 0 至 2 隻，回合之間的捕獲率差異有限，因此 M_t 模式不一定適用。因此，本研究考慮 M_h 模式或 M_{th} 模式。而在 M_h 模式下的 6 種運算方法及 M_{th} 模式下的 3 種運算方法所得到的估計值中，

又以 $M_h(JK1)$ (the first-order jackknife) 的標準誤最小(表 3-3)，因此本研究採用 $M_h(JK1)$ 的結果，推測在調查範圍內雄性水鹿個體數為 14 隻左右，95%信賴區間為 11 至 17 隻。

根據雄鹿、雌鹿與幼鹿的有效照片數，本研究發現楠溪林道雄鹿、雌鹿與幼鹿各佔全部有效照片數的 40%，42.5%，及 17.5%。因為自動相機的拍攝並不影響動物自然的行為表現，因此有效照片數應不受性別及年齡的影響，有效照片數比例應可代表族群中實際的性別與年齡比例。若雄鹿個體數為 14 隻，則雌鹿約為 15 隻，因此整個監測範圍內的成體水鹿約為 29 隻，而幼鹿則約有 6 隻。以翁國精等（2010）在新康山區的布新營地所估計的緩衝區寬度 200 公尺為準，則有效面積（相機涵蓋面積加上緩衝區面積）約為 1.51 km^2 。以此面積所估計的水鹿成體族群密度為 19.2 隻/km^2 （圖 3-12），遠低於布新營地的水鹿族群密度（ 81 隻/km^2 ；范震華，2012），但高於 Tilghman（1989）所提出的鹿科動物影響共域物種的密度臨界值（ 15.5 隻/km^2 ）。

貳、南湖大山地區相機拍攝結果與水鹿族群密度估算

研究團隊於 102 年 7 月 24 日進入南湖大山架設 29 台自動相機，並於 102 年 8 月 28 日回收資料。扣除 3 台因機械故障無法回收資料以及 5 台未拍攝到水鹿的自動相機後，南湖大山納入估算水鹿族群密度的相機共有 21 台，總工作時數為 15477 小時，水鹿的有效照片數為 241 張，平均 OI 值為 15.67。南湖大山地區相機點位分布見圖 3-13。

總計 7 月 24 日至 8 月 28 日自動相機拍攝到 45 隻雄性成體。本研究以 CARE-2 軟體運算此 45 隻公鹿的捕捉史，所得結果如表 3-3。如同前一節所討論， M_h 模式不適用於自動相機的捕捉資料。而相機所捕獲的 45 隻雄性成體之捕獲次數為 1 至 7 次，因此個體之間的被捕獲率差異極大，應考慮 M_h 模式。每個捕捉回合所捕獲的個體數為 1 至 9 隻，回合之間的捕獲率差異明顯，因此應考慮時間因素。因此，本研究採用 M_{th} 模式估計南湖山區的雄性水鹿族群量。而在 M_{th} 模式

下的 3 種運算方法所得到的估計值中，又以 $M_{th}(SC1)$ (sample coverage 1) 的標準誤最小(表 3-3)，因此本研究採用 $M_{th}(SC1)$ 的結果，推測在調查範圍內雄性水鹿個體數為 61 隻左右，95%信賴區間為 49 至 67 隻。

根據雄鹿、雌鹿與幼鹿的有效照片數，本研究發現南湖大山雄鹿、雌鹿與幼鹿各佔全部隻次的 43.6%，49.8%，及 6.6%。若雄鹿個體數為 61 隻，則雌鹿約為 70 隻，整個監測範圍內的成體水鹿約為 131 隻，而幼鹿約有 9 隻。若以 200 公尺為緩衝區寬度，則南湖山區調查範圍的有效面積約為 4.55 km^2 ，以此面積所估計的水鹿成體族群密度為 28.8 隻/km^2 (圖 3-12)。

由於南湖山區的調查時間已進入雄鹿的硬角期，也進入了交配期的高峰，因此幼鹿的比例較 6 月時調查的楠溪林道低，照片中南湖山區的幼鹿體型也較大，但仍可發現吸乳中的幼鹿。

參、竹村地區相機拍攝結果與水鹿族群密度估算

研究團隊於 102 年 10 月 5 日進入竹村地區架設 19 台自動相機，並於 102 年 10 月 29 日回收資料。扣除 1 台因機械故障無法回收資料以及 4 台未拍攝到水鹿的自動相機後，竹村地區納入估算水鹿族群密度的相機共有 14 台，總工作時數為 7634 小時，水鹿的有效照片數為 463 張，平均 OI 值為 60.36。竹村地區相機點位分布圖見圖 3-14。

總計 10 月 5 日至 10 月 29 日自動相機拍攝到 51 隻雄性成體。本研究以 CARE-2 軟體運算此 51 隻公鹿的捕捉史，所得結果如表 3-3。相機所捕獲的 51 隻雄性成體之捕獲次數為 1 至 7 次，因此個體之間的被捕獲率差異極大，應考慮 M_h 模式。每個捕捉回合所捕獲的個體數為 3 至 38 隻，回合之間的捕獲率差異明顯，因此應考慮 M_t 模式。因此，本研究採用 M_{th} 模式估計南湖山區的雄性水鹿族群量。而在 M_{th} 模式下的 3 種運算方法所得到的估計值中，又以 $M_{th}(SC2)$ (sample coverage 2) 的標準誤最小(表 3-3)，因此本研究採用 $M_{th}(SC2)$ 的結果，推測在調查範圍內雄性水鹿個體數為 60 隻左右，95%信賴區間為 54 至 70 隻。

根據雄鹿、雌鹿與幼鹿的有效照片數，本研究發現楠溪林道雄鹿、雌鹿與幼鹿各佔全部隻次的 43.6%，47.8%，及 8.6%，與南湖山區的比例相當接近（圖 3-12）。若雄鹿個體數為 60 隻，則雌鹿約為 66 隻，整個監測範圍內的成體水鹿約為 126 隻，而幼鹿約有 12 隻。若以 200 公尺為緩衝區寬度，則竹村地區調查範圍的有效面積約為 2.79 km^2 ，以此面積所估計的水鹿成體族群密度為 45.2 隻/km^2 （圖 3-12）。

第三節 水鹿啃食或磨角損害調查

壹、楠溪林道地區森林冠層樹種受到臺灣水鹿啃食或磨角損害現況調查

在臺灣水鹿對森林冠層樹種的損害調查中，本團隊於 102 年 5 月 4 日至 102 年 6 月 1 日於楠溪林道地區進行 9 個輻射穿越帶樣點調查；於 102 年 7 月 25 日至 102 年 8 月 27 日於南湖大山地區進行 4 個輻射穿越帶樣點調查；另於 102 年 10 月 28 日至 102 年 10 月 29 日於竹村地區進行 3 個輻射穿越帶樣點調查。由於此三個研究地區在海拔、植被類型、林相以及水鹿密度等因素都不盡相同，各地區森林受水鹿影響的程度與方向也頗具差異，因此本研究將分別闡述三個研究地區的調查結果。

楠溪林道地區綜合 9 個輻射穿越帶的調查結果，本研究一共紀錄了 51 種樹種，其中有 47 種樹種發現有遭臺灣水鹿啃食樹皮或磨角的痕跡，包含 38 種被啃食樹皮、42 種被磨角(表 3-4)。楠溪林道地區以狹葉櫟(27.2%)、高山新木薑子(27.2%)、細枝柃木(22.8%)及假長葉楠(18.5%)等遭水鹿啃食樹皮情況較為嚴重，而被水鹿磨角情況較為嚴重的有長葉木薑子(28.7%)、假長葉楠(25.9%)、屏東木薑子(25.0%)以及金毛杜鵑(21.1%)。就傷害類型而言，楠溪林道地區冠層樹種受到水鹿磨角的頻率(15.9%)高於被水鹿啃食樹皮的頻率(11.2%)。

楠溪林道地區臺灣水鹿啃食痕跡以舊的占大多數（超過六個月），新的啃食或磨角痕跡不多，且多集中在紅檜造林地內。根據翁國精等(2011)於郡大觀高地區所做的調查結果顯示，針葉樹種中以臺灣鐵杉、臺灣雲杉與紅檜受水鹿啃食與磨角的情況最為嚴重，也顯示出臺灣水鹿對此三種樹種具有高度的啃食偏好性。楠溪林道地區沒有臺灣鐵杉與臺灣冷杉，只有在 7K、11K 以及楠溪工作站周邊有紅檜造林地，其中以 11K 及楠溪工作站周邊的紅檜受到水鹿利用的情況較為嚴重，且每次研究團隊進入楠溪林道都會發現紅檜造林地有新的水鹿啃痕(圖 3-15、圖 3-16)，因此研究團隊選擇在楠溪林道 7K 與 11K 處進行沿線調查。

在楠溪林道 11K 穿越線的調查記錄到了 14 棵紅檜有新的啃食痕跡，其中胸高直徑等級在 5~20 公分的有 6 棵，其餘 8 棵則是屬於胸高直徑大於 30 公分的等級。目前調查到的啃食痕跡大部分都在裸露的樹根上，對樹的影響並不大，因此這 14 棵紅檜都還是存活著。而在楠溪林道 7K 穿越線的調查中只有記錄到兩棵胸高直徑等級為 5~20 公分的紅檜有新鮮啃痕，且這兩棵紅檜已被環狀剝皮而死亡。不過整體而言 7K 紅檜造林地看起來受水鹿啃食的壓力相較於 11K 來的小。

研究團隊於楠溪林道地區設置了 9 個輻射穿越帶樣點，其中有 4 個樣點因受限於地形，僅能做 2 條長 50 公尺，寬 10 公尺之穿越帶，因此楠溪林道地區總計有 23 條 50 公尺 x 10 公尺的穿越帶。共紀錄 1324 棵樹木，包括 51 種樹種，其中有 148 棵樹遭水鹿啃食樹皮，被啃食比例為 11.17%，不過有 87.7% 都是舊的啃痕，另外有 210 棵樹有水鹿磨角的痕跡，被磨角比例為 15.86%，其中有 99.5% 都是舊的痕跡。被水鹿啃食或磨角的樹木約占全部的 27.0%，並有 11 種共 18 棵樹因而死亡。

分析闊葉草類、禾草類與蕨類覆蓋度與 OI 值的關係，可發現闊葉草類的覆蓋度與 OI 值呈現正相關(相關係數 = 0.71)，亦即闊葉草類的覆蓋度較高的樣區，水鹿出現指數也較高，但線性迴歸並未達統計上的顯著($r^2 = 0.212$, $p = 0.213$, 圖 3-17 (a))。而禾草類覆蓋度則與 OI 值則呈負相關(相關係數 = -0.46)，禾草類覆蓋度較高的地區，水鹿出現指數較低，且線性迴歸達到統計上的顯著($r^2 = 0.504$, $p = 0.032$, 圖 3-17(b))。蕨類的覆蓋度與 OI 值相關係數較低(相關係數 = 0.36)，線性迴歸亦未達統計上的顯著($r^2 = 0.132$, $p = 0.336$)。

將 9 個輻射穿越帶樣區中樹木遭啃食及磨角的受損比例分別與 OI 值作相關性分析，發現 OI 值越高，則以上兩種受損比例皆越高(圖 3-18、圖 3-19)，不過相關性並不明顯(相關係數分別為 0.30、0.24)，線性迴歸也皆未達統計上顯著。儘管楠溪林道地區樹木受損程度與 OI 值相關性不高，不過仍可看出啃食及磨角的比例隨著 OI 值的增加而提高。此結果與翁國精等(2010)的結果相符，翁國精等(2010)發現自動相機拍攝的水鹿出現指數(OI 值)與鐵杉及冷杉遭啃食或磨角的

比例呈正相關。

貳、南湖山區森林冠層樹種受到臺灣水鹿啃食或磨角損害現況調查

研究團隊於南湖山區設置了 5 個輻射穿越帶樣點，共計有 15 條長 50 公尺，寬 10 公尺之穿越帶，然而其中 1 個樣點的自動相機因機械故障，無法取得相片資料，故在後續有關 OI 值與林下植被覆蓋度或水鹿利用程度的分析上只採用其他 4 個樣點的資料。綜合輻射穿越帶的調查結果，本研究一共紀錄 977 棵共 6 種樹種，其中有 4 種樹種發現有遭臺灣水鹿啃食樹皮或磨角的痕跡(表 3-5)，包含 4 種 9 棵樹木被啃食樹皮(被啃食比例為 0.9%)，4 種 28 棵樹木被磨角(被磨角比例為 2.8%)。南湖山區樹木遭水鹿啃食樹皮的痕跡相當少見，僅有 4 棵臺灣冷杉、2 棵臺灣鐵杉、2 棵玉山圓柏與 1 棵南湖杜鵑有被水鹿啃食。而樹木被水鹿磨角的程度也相當輕微，被磨角比例較高的樹種為玉山圓柏(3.67%)與南湖杜鵑(2.65%)。被水鹿啃食或磨角的樹木約占全部的 3.78%，並有 2 種共 4 棵樹因而死亡。就傷害類型而言，南湖山區冠層樹種受到水鹿磨角的程度高於被水鹿啃食樹皮的頻率，不過整體而言樹木受到水鹿利用的程度相當低。

南湖山區水鹿啃食壓力跟地被植物覆蓋度的關係見圖 3-17，闊葉草類覆蓋度與 OI 值呈現負相關(相關係數為-0.77)，此結果與楠溪林道地區的調查相反，但統計上並不顯著($r^2 = 0.60$, $p = 0.23$, 圖 3-17(a))。禾草類覆蓋度與 OI 值呈現正相關(相關係數為 0.63)，此結果也與楠溪林道地區的趨勢相反，但統計上也不顯著($r^2 = 0.40$, $p = 0.37$, 圖 3-17(b))。而蕨類覆蓋度與 OI 值則沒有明顯趨勢。

在樹木受損程度與 OI 值的相關性方面，由於南湖山區樹木被水鹿啃食的痕跡很少，4 個穿越線樣點中有 2 個樣點沒有記錄到任何水鹿啃食的痕跡，加上樣本數少的原因，因此樹木被水鹿啃食的比例與 OI 值並無明顯的關係。在磨角方面，大致上可以看出隨著 OI 值的上升，樹木被水鹿利用的比例也上升，不過相關性並不顯著(相關係數 = 0.38)。

參、竹村地區森林冠層樹種受到臺灣水鹿啃食或磨角損害現況調查

研究團隊於竹村地區設置了 3 個輻射穿越帶樣點，共計有 9 條長 50 公尺，寬 10 公尺之穿越帶。綜合輻射穿越帶的調查結果，本研究一共紀錄 1209 棵共 24 種樹種，其中並沒有發現樹木遭臺灣水鹿啃食樹皮的痕跡，不過有 6 種共 55 棵樹木有被水鹿磨角的痕跡(表 3-6)，被磨角比例為 4.55%。被水鹿磨角比例較高的樹種為小葉楠(68.57%)，調查到的 55 棵被磨角的樹中小葉楠就佔了 24 棵，比例為 43.6%，其餘被磨角樹種因樣本數太低，故不納入討論。就傷害類型而言，在本團隊的調查過程中，竹村地區冠層樹種並沒有受到水鹿啃食的影響，且受到水鹿磨角的程度也相當輕微。

竹村地區水鹿啃食壓力跟地被植物覆蓋度的相關性分析顯示禾草類覆蓋度與 OI 值呈現高度正相關(相關係數為 0.91)，不過闊葉草類以及蕨類的覆蓋度與 OI 值則沒有明顯趨勢(相關係數分別為 0.23 和 -0.45)。但由於竹村地區僅有 3 個輻射穿越帶，因此相關性的分析無法提供明確的結論。

在樹木受損程度與 OI 值的相關性方面，由於竹村地區樹木並沒有被水鹿啃食的痕跡，因此本研究僅分析受磨角樹木比例與 OI 值的相關性。雖然大致上隨著 OI 值的上升，樹木被水鹿利用的比例也上升，不過相關性並不顯著(相關係數為 0.43)。

肆、臺灣水鹿對於森林植被結構與更新影響之評估

本團隊將輻射穿越帶的調查資料分級，並比較各胸高直徑等級受水鹿影響的程度差異後，發現樹木胸高直徑(DBH)等級與水鹿啃食與否的相關性達到顯著水準(Chi-square test, $p < 0.001$)，也就是水鹿在啃食樹皮的行為上具有 DBH 的偏好性。另外，DBH 等級和水鹿是否磨角的相關性也達到顯著水準(Chi-square test, $p < 0.001$)。然而，3 個研究地區水鹿偏好利用的 DBH 級距結果並不一致，因此以下分研究地區各別探討。

楠溪林道地區 9 個輻射穿越帶樣區的調查結果顯示，水鹿啃食 DBH < 5 公

分和 > 20 公分此兩個等級的頻率低於期望值，而啃食 DBH 5~20 公分的頻率則顯著高於期望值(圖 3-20)，表示水鹿偏好啃食 DBH 5~20 公分的樹木。在磨角部分，水鹿利用 DBH < 5 公分樹木的頻率相當接近期望值，利用 DBH 5~20 公分的頻率高於期望值，而利用 DBH > 20 公分的頻率則小於期望值(圖 3-20)。這表示水鹿偏好選擇 DBH 在 5~20 公分的樹木磨角。

南湖大山地區 5 個輻射穿越帶樣區的調查結果顯示，水鹿啃食 DBH < 5 公分和 5~20 公分的頻率高於期望值，而啃食 DBH > 20 公分的頻率則小於期望值，表示水鹿偏好啃食胸高直徑較小的小樹(圖 3-21)。在磨角部分，水鹿利用樹木的頻率高於期望值，利用 DBH 5~20 公分的頻率相當接近期望值，而利用 DBH > 20 公分的頻率則小於期望值(圖 3-21)。這表示水鹿偏好選擇 DBH < 5 公分的小樹磨角。

竹村地區由於沒有調查到水鹿啃食的痕跡，因此本地區只探討水鹿的磨角行為與樹木 DBH 的關係。結果顯示水鹿利用 DBH < 5 公分樹木的頻率顯著低於期望值，利用 DBH 5~20 公分的頻率高於期望值，而 DBH > 20 公分的樹木並沒有記錄到水鹿的磨角痕跡(圖 3-22)。

由以上對輻射穿越帶的徑級分析結果，顯示水鹿的啃食痕跡主要集中 DBH 5~20 公分的樹木。這樣的結果與翁國精等(2010)的結果相符，翁國精等(2010)發現水鹿偏好啃食鐵杉及冷杉，當 DBH 以 5 公分為一個級距時，小徑級的樹木(DBH < 5 公分)被啃食的比例最高，但合計 DBH 5~20 公分的範圍時，則 DBH 5~20 公分被啃食的比例最高。另外水鹿的磨角痕跡大部分分布在 DBH 小於 20 公分的樹木上，顯示水鹿偏好利用較小徑級的樹木來磨角。

第四節 臺灣水鹿遺傳多樣性與族群遺傳結構

壹、水鹿遺傳樣本採集

目前共收集 5 個大區域 (region)，涵蓋 30 個樣區 (locality)，共 779 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 3-7。參考地理位置與水鹿活動範圍，將臺灣水鹿分成 8 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 3-23。

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 (TRKTS)，共收集 56 個水鹿樣本；祖輪山、朝墩山、海鼠山、砂山與鍛鍊山共收集 40 個水鹿樣本；南湖大山陶塞溪線 (NHTS) 至今共收集 85 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 39 與 16 個樣本；銅門 (TRTM) 4 個、耳無溪 (TREW) 6 個、和平林道 (HLHP) 3 個樣本、闊闊庫溪 (TRKR) 11 個樣本。

雪霸國家公園翠池 (SPCP) 與志樂溪 (SPZL) 共收集 25 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 與雙龍治茆山 (DDZM) 2 個水鹿樣本、能高坂邊天長 (HLBB) 103 個樣本、七彩湖 (DDCT) 20 個樣本；玉山新康 (YSSK) 收集 15 個水鹿樣本大武山共收集 101 個水鹿樣本。

貳、PCR 擴增結果與 DNA 序列分析

目前已成功分析出 379 條粒線體 D-loop 全長序列與 2 條全長陶塞溪中下游水鹿粒線體基因組 (mitochondrial genome) 全長序列。太魯閣陶塞溪中下游類群兩個單套型序列分析結果顯示 (表 3-11)，序列包含共 13 個 tRNA、1 個 12S

rRNA、1 個 16S rRNA、1 個 ND1、1 個 ND2、1 個 COX1 與 D-loop 序列。而 12S rRNA、16S rRNA 與 COX1 在太魯閣陶塞溪中下游類群與中央山脈主要類群基因長度上有不同。tRNA 則長度上完全一樣。

參、序列比對與粒線體 D-loop 單套型分析

成功獲得 D-loop 全長 DNA 序列之 379 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 19 個序列單套型。D-loop 單套型、採樣地點與族群關係如表 3-8。由北至南：南湖陶塞族群 (NTS)：在南湖大山陶塞線 (NHTS)，主要為單套型 SNG02、SNG03、SNG05 與 SNG06；陶塞溪中下游 (TRTS) 為 SNG02、SNG05 與 SNG06。奇萊能高族群 (CLNK)：奇萊樣區 (TRCL)，銅門 (TRTM) 與坂邊天長 (HLBB) 為 SNG06，磐石樣區 (TRPS) 為 SNG06 與 SNG07；雪霸族群 (SP)：雪霸國家公園翠池 (SPCP)、志樂溪流域 (SPCL) 與完美園谷 (SPWM) 為 SNG01，大霸尖山 (SPDB) 為 SNG02；丹大七彩 (DCT) 族群：丹大野生動物重要棲息環境樣區 (NTDD) 主要為 SNG06 與 SNG08；南投雙龍林道 (DDSL)、治茆山 (DDZM) 與七彩湖 (DDCT) 單套型只有 SNG08 一型。北玉山族群：樣區包括南二段 (YSSR)、八通關 (YSBT)、圓峰 (YSYF) 與楠溪林道 (YSNR)，其單套型包括 SNG08 至 SNG15 等。南玉山族群 (SYS)：其樣區包括拉庫音溪 (YSLK)、三叉山 (YSSC)、新康 (YSSC)、向陽 (YSSY)，檢出 SNG08、SNG09、SNG14、SNG15 及 SNG16；而大武山族群：包括有內本鹿樣區 (TTLP)、大武知本溪 (DWJB) 與大武山愛寮溪 (DWAL) 有 SNG08、SNG17、SNG18 與 SNG19 四型單套型，大武山族群主要為單套型 SNG08。整體而言，SNG08 含樣本數比較多且分布也較廣。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 (SNG01、SNG02、SNG03、SNG04) 有 4 個核苷酸取代特徵與其他地區明顯不同。所獲得資料以北玉山之水鹿粒線體單套型最為豐

富；雪霸國家公園水鹿粒線體單套型最為貧乏。由於雪霸區域樣本較少，未來尚須進一步採樣，以釐清雪山山脈是否水鹿粒線體單套型缺多樣性以及與中央山脈水鹿間基因交流狀況。

肆、臺灣水鹿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) (圖 3-24)、Maximum Likelihood (ML) (圖 3-25) 與貝葉氏 (Bayesian) (圖 3-26) 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)。結果顯示南湖陶塞族群、雪霸族群與奇萊能高族群的能高坂邊天長樣區形成一主要類群，包括 SNG01、SNG02、SNG03 與 SNG04。SNG01 只分布在雪霸族群；而 SNG04 只分布在能高坂邊天長 (HLBB) 樣區這一類群稱為陶塞雪霸類群 (Taosai sheiPa major clade)。而 SNG05 至 SNG17 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)。SNG05 分布在南湖陶塞族群；SNG06 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。SNG07 單套型只發現在奇萊磐石樣區。丹大七彩族群只有 SNG06 與 SNG08 兩單套型。北玉山 (NYS) 與南玉山 (SYS) 分布的單套型包括 SNG08 至 SNG16。大武山族群包括 SNG08、SNG17、SNG18 與 SNG19。這兩類群間之 bootstrap value 為 86%/94%/96% (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 SNG06 與 SNG08 分布最廣 (除雪霸國家公園與海岸山脈外)。中央山脈主要類群則又分成兩次類群：subclade I (包括 SNG05 至 SNG07) 與 subclade II (包括 SNG08 至 SNG19)，這兩次類群間 bootstrap value 在貝葉氏為 98.9%。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 SNG04) 與 subclade II (包括 SNG01 至 SNG03) (圖 3-26)。依各類群比率，我們以圓餅圖輔以地理資訊來表示兩大類群在各族群區域分布情形 (圖 3-27)。

為推測臺灣水鹿兩大主要遺傳類群的遺傳多樣性與過去族群演化的歷史，分別計算臺灣水鹿所有族群之基因型歧異度（Haplotype diversity, H ）與核苷酸歧異度（Nucleotide diversity, π ）；再依據親緣關係樹分析結果，將兩大主要遺傳類群進行基因型歧異度（ H ）與核苷酸歧異度（ π ）之計算（表 3-9）。臺灣水鹿所有族群平均基因單套型歧異度為 0.795、平均核苷酸歧異度為 0.00324；中央山脈主要類群平均基因單套型歧異度為 0.685、平均核苷酸歧異度為 0.00113；陶塞雪霸類群其平均基因單套型歧異度為 0.686、平均核苷酸歧異度為 0.00137。顯示族群成經歷瓶頸效益（bottleneck）而後族群迅速擴張（表 3-9）。

以 SAMOVA ver.1.0 軟體進行臺灣水鹿所有族群的最適分群，綜合族群遺傳變異與地理關係為參數進行分析。分別將臺灣水鹿族群進行 2 群至 6 群不等的分群方式分析，用以找出最佳分群。並輔以地理環境因子，最後將臺灣分為 6 個族群，分別為雪霸（SP）、南湖陶塞（NTS）、奇萊能高（CLNK）、丹大七彩（DCT）、北玉山（NYS）、南玉山（SYS）、大武山（DWTT）。

為了瞭解臺灣水鹿各族群間的分化情形，根據上述分群結果，分別計算各族群間的遺傳距離與遺傳分化指數（表 3-10）。以臺灣水鹿 6 個族群間之遺傳距離結果顯示，南湖陶塞（NTS）與其他族群間之遺傳距離介於 0.00336-0.00656；南湖陶塞（NTS）與丹大七彩（DCT）之遺傳距離較近（0.00336），而與雪霸（SP）間的遺傳距離較遠（0.00656）。而 6 個臺灣水鹿族群間之遺傳分化指數相比較，顯示南湖陶塞（NTS）與其他族群遺傳分化指數介於 0.06929-0.66296；南湖陶塞（NTS）與奇萊能高（CLNK）分化指數相對較低（0.06929），而與雪霸（SP）分化指數相對較高（0.66296）。綜合遺傳距離與遺傳分化指數之結果，顯示雪霸（SP）與太魯閣南湖陶塞（NTS）具有較高的遺傳分化。從目前資料顯示，雪霸族群與其他族群基因交流低。丹大七彩、北玉山、南玉山與大武山間基因交流頻繁，且與地理距離有相關性。

第五節 臺灣水鹿族群歷史

壹、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 3-13）。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，其中三項檢測呈現負值，僅 Fu and Li's D 呈現不顯著正選汰（Positive selection）（0.04410, $P > 0.10$ ）；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。

貳、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 3-29），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。

參、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 3-28）。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 與 Clade 2-2 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。

肆、族群成長指數

根據中性檢測與族群核苷酸變異分析結果顯示兩大遺傳類群皆曾歷經族群擴張，因此再以 LAMARC 軟體 Maximum Likelihood Parameter Estimation 進行歷史族群成長指數估算。結果顯示臺灣水鹿所有族群的歷史族群成長指數為 1146.752；而中央山脈主要類群之歷史族群成長指數為 6292.735；陶塞雪霸類群之歷史族群成長指數為 47.30123。皆為正成長（Positive growth；population was smaller in the past and is getting bigger）。而臺灣水鹿的族群成長與遺傳分化是否受過去的氣候變遷所影響，是下一步要探討的議題。

伍、貝式天際線點圖分析

參考 jModeltest 所得到的最適演化模型為 HKY+G 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 3-30）。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 3-30）。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 3-30）。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 3-30）。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。

陸、臺灣水鹿與亞洲水鹿之親緣關係

根據親緣關係樹結果將臺灣水鹿族群分成兩大遺傳類群，依據 Jukes and Cantor model 估算中央山脈主要類群與陶塞雪霸類群間的遺傳距離（Genetic distance, K ），並以演化速率 $r = 0.04-0.08 \times 10^{-7}$ (Nucleotide substitutions/site/year) 進行計算。結果顯示兩大遺傳類群之遺傳距離（ K ）為 0.00598，其分歧時間約為距今 37,250 至 74,500 年間，其時間約落在最後一次冰河期（沃姆冰河期 12,000 至 110,000 年間）。

參考 Randi *et al.* (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，再配合臺灣島內水鹿（陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群兩大類群）與亞洲水鹿（海南島水鹿與印度水鹿）遺傳距離，即可獲得這些不同地區水鹿分歧時間。臺灣島內水鹿（兩大類群）分歧時間約於距今 37,250 至 74,500 年間，約於最近一次冰河時期（沃姆冰河 Wurm ice age：12,000 – 110,000 年前）。臺灣島內水鹿與亞洲水鹿（海

南島水鹿與印度水鹿) 粒線體 D-loop 親緣關係較接近的為海南島水鹿 (遺傳距離為 0.02198)，其次為印度水鹿 (0.05011 ± 0.00986)；分歧時間分別為 138,750 – 277,500 年前與 307,062-614,125 年前 (表 3-12)。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 3-1 2013 年南湖山區、楠溪林道、陶塞溪、托博闊溪自動相機拍攝成果(OI，occurrence index，平均每一千小時所攝得有效動物照片數量)。

		南湖山區	陶塞溪	楠溪林道	托博闊溪
工作時數（時）		58,188	18,058	33,168	93,944
水鹿	張數	278	328	515	857
	OI	4.78	18.16	15.53	9.12
野豬	張數	33	57	32	258
	OI	0.57	3.16	0.96	2.75
山羊	張數	334	124	159	589
	OI	5.74	6.87	4.79	6.27
山羌	張數	1223	1,840	1638	3,697
	OI	21.02	101.89	49.38	39.35
獼猴	張數	322	167	238	225
	OI	5.53	9.25	7.18	2.40
黃喉貂	張數	38	6	7	1
	OI	0.65	0.33	0.21	0.01
黃鼠狼	張數	7	1	4	3
	OI	0.12	0.06	0.12	0.03
鼬獾	張數	53	20		1
	OI	0.91	1.11		0.01
食蟹獾	張數		19	1	2
	OI		1.05	0.03	0.02
白鼻心	張數		5	2	4
	OI		0.28	0.06	0.04
黑熊	張數			1	
	OI			0.03	
松鼠科	張數	24	19	15	5
	OI	0.41	1.05	0.45	0.05
鼠類	張數	216	122	31	7
	OI	3.71	6.76	0.93	0.07
鳥類	張數	194	30	69	48
	OI	3.33	1.66	2.08	0.51
犬隻	張數		60		
	OI		3.32		
人	張數		9	4	
	OI		0.50	0.12	

表 3-2 各樣區自動相機拍攝之水鹿 OI 與環境因子之相關性 (Spearman's rank correlation)。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	0.077	0.672	-0.030	0.869	0.185	0.301	0.438	0.011	0.374	0.032	0.471	0.006	0.464	0.007
陶塞溪	-0.771	0.072	-0.200	0.747	0.486	0.329	0.429	0.397	0.086	0.872				
楠溪林道	-0.577	0.015	0.098	0.708	0.487	0.048	0.319	0.211	-0.142	0.586				
托博闊溪	-0.148	0.647	-0.480	0.115	0.392	0.207	0.322	0.308	0.196	0.542				

表 3-3 2013 年楠溪林道、南湖山區及竹村雄性水鹿族群量估算結果。---表示運算結果無法收斂，因此無估計值；*代表本研究選用之估計值；族群量估計值後的括號內為 bootstrap 方式所產生之標準誤估計值。各模式之內涵詳見方法，括號內為各模式的不同運算方法。

族群量估算模式	雄性水鹿族群量估計值(bootstrap SE)		
	楠溪林道	南湖山區	竹村
M ₀ (CMLE)	12.6 (2.34)	54.5 (4.09)	54.0 (2.15)
M ₀ (UMLE)	11.9 (2.01)	53.7 (3.98)	53.4 (1.86)
M ₀ (EE)	11.7 (1.25)	53.8 (3.79)	---
M _t (CMLE)	12.5 (2.05)	54.0 (4.23)	53.8 (1.82)
M _t (UMLE)	11.7 (1.87)	53.2 (4.08)	53.2 (1.81)
M _t (EE)	11.8 (1.46)	53.3 (3.81)	---
M _b (CMLE)	12.4 (4.18)	53.0 (5.70)	63.2 (10.12)
M _b (UMLE)	11.0 (4.73)	51.1 (6.31)	60.8 (9.90)
M _b (EE)	11.1 (1.38)	50.2 (3.24)	---
M _h (SC1)	14.0 (3.32)	61.0 (6.22)	60.9 (5.63)
M _h (SC2)	13.6 (2.93)	59.8 (5.71)	60.2 (5.39)
M _h (JK1)	13.9 (2.18)*	62.5 (5.50)	65.4 (5.37)
M _h (JK2)	11.0 (2.29)	63.0 (8.68)	67.7 (8.98)
M _h (IntJK)	13.9 (2.41)	62.5 (6.74)	65.4 (6.19)
M _h (EE)	15.1 (4.00)	58.8 (5.61)	58.3 (4.27)
M _{tb} (CMLE)	11.5 (3.00)	56.2 (10.56)	60.2 (17.62)
M _{tb} (UMLE)	---	51.4 (7.67)	57.1 (15.41)
M _{tb} (EE)	11.0 (0.32)	51.8 (6.64)	---
M _{th} (SC1)	14.2 (3.57)	61.4 (6.19)*	61.1 (5.81)
M _{th} (SC2)	13.8 (3.27)	60.2 (6.41)	60.4 (5.44)*
M _{th} (EE)	---	---	---
M _{bh} (SC)	11.0 (0)	45.0 (0.99)	51.0 (0.00)
M _{bh} (JK)	11.0 (0)	45.0 (0.95)	51.0 (0.00)
M _{bh} (EE)	---	---	---

表 3-4 楠溪林道地區遭水鹿啃食樹皮與磨角樹種名錄。六個月以上的磨角或啃食痕跡視為舊的痕跡，六個月以內的痕跡視為新的痕跡。

中名	學名	遭水鹿利用痕跡類型			
		啃食樹皮		磨角痕跡	
		舊	新	舊	新
毛瓣石楠	<i>Photinia serratifolia</i> (Desf.) Kalkman var. <i>lasiopetala</i> (Hayata) Ohashi	✓			
金毛杜鵑	<i>Rhododendron oldhamii</i> Maxim.	✓		✓	✓
臺灣二葉松	<i>Pinus taiwanensis</i> Hayata	✓		✓	
細枝柃木	<i>Eurya loquaiana</i> Dunn	✓	✓	✓	✓
紅檜	<i>Chamaecyparis formosensis</i> Matsum.	✓	✓	✓	
臺灣蘋果	<i>Malus doumeri</i> (Bois.) Chev. C. R. Ac. Sc.	✓	✓	✓	
臺灣赤楊	<i>Alnus formosana</i> (Burkill ex Forbes & Hemsl.) Makino	✓	✓	✓	
尖葉槭	<i>Acer kawakamii</i> Koidzumi	✓		✓	
臺灣老葉兒樹	<i>Pourthiaea beauverdiana</i> (Schneider)				
	<i>Hatusima</i> var. <i>notabilis</i> (Rehder & Wilson)	✓		✓	
臺灣糊櫟	<i>Ilex ficoidea</i> Hemsl.	✓		✓	
紅毛杜鵑	<i>Rhododendron rubropilosum</i> Hayata	✓		✓	
巒大越橘	<i>Vaccinium randaiense</i> Hayata			✓	
大葉溲疏	<i>Deutzia pulchra</i> Vidal	✓		✓	
松田氏女貞	<i>Ligustrum matudae</i> Kanehira	✓		✓	
呂宋莢迷	<i>Viburnum luzonicum</i> Rolfe	✓	✓	✓	
屏東木薑子	<i>Litsea akoensis</i> Hayata	✓		✓	
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i> (Bl.) Kurata	✓		✓	
高山新木薑子	<i>Neolitsea acuminatissima</i> (Hayata)	✓	✓	✓	
	Kanehira & Sasaki				
大葉柯	<i>Pasania kawakamii</i> (Hayata) Schott.	✓	✓	✓	
狹葉櫟	<i>Cyclobalanopsis stenophylloides</i> (Hayata)	✓	✓	✓	
	Kudo & Masam. ex Kudo				
臺灣肉桂	<i>Cinnamomum insularimontanum</i> Hayata			✓	
杜虹花	<i>Callicarpa formosana</i> Rolfe	✓		✓	
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i> Sieb. & Zucc.	✓		✓	

表3-4 (續) 楠溪林道地區遭水鹿啃食樹皮與磨角樹種名錄。六個月以上的磨角或啃食痕跡視為舊的痕跡，六個月以內的痕跡視為新的痕跡。

中名	學名	遭水鹿利用痕跡類型			
		啃食樹皮		磨角痕跡	
		舊	新	舊	新
假長葉楠	<i>Machilus japonica</i> Sieb. & Zucc.	v		v	
青葉楠	<i>Machilus zuihoensis</i> Hayata var. <i>mushaensis</i> (Lu) Y. C. Liu	v		v	
白新木薑子	<i>Neolitsea sericea</i> (Bl.) Koidz.	v		v	
山枇杷	<i>Eriobotrya deflexa</i> (Hemsl.) Nakai			v	
香楠	<i>Machilus zuihoensis</i> Hayata	v		v	
臺灣馬醉木	<i>Pieris taiwanensis</i> Hayata			v	
銳葉高山櫟	<i>Quercus tatakaensis</i> Tomiya	v	v	v	
臺灣華山松	<i>Pinus armandii</i> Franchet var. <i>masteriana</i> Hayata	v		v	
森氏杜鵑	<i>Rhododendron pseudochrysanthum</i> Hayata	v		v	
化香樹	<i>Platycarya strobilacea</i> Sieb. & Zucc.	v		v	
薄葉柃木	<i>Eurya leptophylla</i> Hayata			v	
山香圓	<i>Turpinia formosana</i> Nakai	v			
木荷	<i>Schima superba</i> Gard. & Champ.	v		v	
臺灣糊樗	<i>Ilex ficoidea</i> Hemsl.			v	
杜英	<i>Elaeocarpus sylvestris</i> (Lour.) Poir.	v			
大頭茶	<i>Gordonia axillaris</i> (Roxb.) Dietr.			v	
山櫻花	<i>Prunus campanulata</i> Maxim.	v			
日本女貞	<i>Ligustrum liukiuense</i> Koidz.			v	
台東莢迷	<i>Viburnum taitoense</i> Hayata			v	
長尾栲	<i>Castanopsis cuspidata</i> (Thunb. ex Murray) <i>Schottky</i> var. <i>carlesii</i> (Hemsl.) Yamazaki	v		v	
阿里山榆	<i>Ulmus uyematsui</i> Hayata	v		v	
賊仔樹	<i>Tetradium glabrifolium</i> (Champ. ex Benth.) T. Hartley	v		v	
瓊楠	<i>Beilschmiedia erythrophloia</i> Hayata		v		
巒大越橘	<i>Vaccinium randaiense</i> Hayata	v		v	

表 3-5 南湖大山地區遭水鹿啃食樹皮與磨角樹種名錄。六個月以上的磨角或啃食痕跡視為舊的痕跡，六個月以內的痕跡視為新的痕跡。

中名	學名	遭水鹿利用痕跡類型			
		啃食樹皮		磨角痕跡	
		舊	新	舊	新
玉山圓柏	<i>Juniperus squamata</i> Buch.-Ham. apud Lamb.	✓		✓	✓
臺灣冷杉	<i>Abies kawakamii</i> (Hayata) Ito	✓		✓	✓
南湖杜鵑	<i>Rhododendron pachysanthum</i> Hayata	✓		✓	✓
臺灣鐵杉	<i>Tsuga chinensis</i> (Franchet) Pritz. ex Diels var. <i>formosana</i> (Hayata) Li & Keng	✓		✓	

表 3-6 竹村地區遭水鹿啃食樹皮與磨角樹種名錄。六個月以上的磨角或啃食痕跡視為舊的痕跡，六個月以內的痕跡視為新的痕跡。

中名	學名	遭水鹿利用痕跡類型			
		啃食樹皮		磨角痕跡	
		舊	新	舊	新
小葉桑	<i>Morus australis</i> Poir.			✓	
山黃麻	<i>Trema orientalis</i> (L.) Bl.			✓	
水麻	<i>Debregeasia orientalis</i> C. J. Chen			✓	
臺灣肉桂	<i>Cinnamomum insularimontanum</i> Hayata			✓	
朴樹	<i>Celtis sinensis</i> Pers.			✓	
杜虹花	<i>Callicarpa formosana</i> Rolfe			✓	✓

表 3-7 臺灣水鹿各採樣地區中文名稱與英文縮寫對照表。

	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
太魯閣國家公園	南湖	NHTS	85	51
	奇萊	TRCL	39	21
	磐石	TRPS	16	12
	銅門	TRTM	4	2
	耳無溪	TREW	6	6
	和平林道	HLHP	3	1
	闊闊庫溪	TRKR	11	11
	陶塞溪	TRTS	56	32
太魯閣陶塞溪中下游	丹大林道	NTDD	56	17
丹大野生動物重要棲 息環境	雙龍步道	DDSL	17	6
	治卯山	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	42	18
	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
	玉山新康	YSSK	15	6
	大分	YSDF	5	1
	向陽線	YSSY	13	6
	大武山知本	DWJB	55	50
	大武山隘寮	DWAL	46	33
大武山自然保留區	大濁水北溪	YLNA	4	4
	內本鹿古道	TTLP	14	5
總計			779	384

表 3-8 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 379 條臺灣水鹿 D-loop 序列所得之 D-loop 基因單套型 SNG01 至 SNG19，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 3-8。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	雪霸 SP (29)				南湖陶塞 (98) NTS				奇萊能高 CLNK (68)				丹大七彩 DCT (31)				北玉山 NYS (37)				南玉山 SYS (28)				大武山 DWTT (88)			
Locality	SPCP SPZL SPDB SPWM				NHTS TRTS TRKR YLNA				TREW TRCL TRPS TRTM HLBB				NTDD DDSL DDZM DDCT				YSSR YSBT YSYF YSNR				YSLK YSSC YSSK YSSY				TTLP DWJB DWAL			
n	6	15	6	2	51	32	11	4	6	21	12	2	27	17	6	2	6	5	17	12	3	4	12	6	6	5	50	33
SNG01 23	6	15	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG02 36	-	-	6	-	1	26	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG03 4	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG04 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG05 40	-	-	-	-	18	4	9	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG06 70	-	-	-	-	28	2	-	-	-	21	11	2	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG07 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG08 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	6	2	6	-	8	3	-	-	12	4	5	-	49	33
SNG09 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-
SNG10 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG11 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG12 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	2	-	-	-	-	-	-	-
SNG13 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SNG14 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	2	-	-	-	-	-	-
SNG15 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	-	1	-	-	-	-
SNG16 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
SNG17 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
SNG18 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
SNG19 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-

表3-9 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379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	85	4	0.686 $\pm$ 0.023	0.00137 $\pm$ 0.00009
Major clade	294	15	0.685 $\pm$ 0.021	0.00113 $\pm$ 0.00006
Total	379	19	0.795 $\pm$ 0.015	0.00324 $\pm$ 0.00016

表3-10 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)。第一欄與第一行為臺灣水鹿七個族群的縮寫，對角線上方標示綠色底色的數值為遺傳距離，對角線下方標示橘色底色的數值為遺傳分化值。

族群	SP (29)	NTS (98)	CLNK (68)	DCT (31)	NYS (37)	SYS (28)	DWTT (88)
SP		0.00656	0.00693	0.00768	0.00843	0.00792	0.00775
NTS	0.66296		0.00368	0.00336	0.00417	0.00366	0.00350
CLNK	0.76966	0.06929		0.00239	0.00319	0.00268	0.00253
DCT	0.97037	0.38832	0.39612		0.00083	0.00032	0.00016
NYS	0.89420	0.34657	0.33961	0.10828		0.00103	0.00090
SYS	0.94188	0.37361	0.37518	0.03749	0.05839		0.00041
DWTT	0.95917	0.38733	0.39429	0.01612	0.08592	0.03557	

表 3-11 臺灣水鹿粒線體全長 DNA 序列分析表。第一欄為分析序列名稱，分別是陶塞雪霸類群的 TRTS26 與來自 NCBI 網站的新化畜試所臺灣水鹿序列(NC008414)。第一欄為分析所獲得 tRNA、12S rRNA、16S rRNA、與基因名稱(包含 D-loop)。其餘各欄依序為各 tRNA、12S rRNA、16S rRNA、與基因序列的起始鹼基位置、終止鹼基位置、序列鹼基長度、反密碼子、起始密碼子、終止密碼子。最後一欄為分析序列為正接或反接之標示。

Gene	TSSP Clade Formosan Sambar Deer (TRTS26)					Major Clade Formosan Sambar Deer (NC008414)							Strand
	Start position	Stop position	Length (bp)	Anticodon	Start codon	Stop codon	Start position	Stop position	Length (bp)	Anticodon	Start codon	Stop codon	
tRNA ^{Phe}	1	69	69	GAA			1	69	69	GAA			+
12S rRNA	70	1035	966				70	1024	955				+
tRNA ^{Val}	1036	1102	67	TAC			1025	1091	67	TAC			+
16S rRNA	1102	2674	1573				1091	2671	1581				+
tRNA ^{Leu(UUR)}	2675	2749	75	TAA			2672	2746	75	TAA			+
ND1	2752	3706	955		ATG	TA-	2749	3703	955		ATG	TA-	+
tRNA ^{Ile}	3708	3776	69	GAT			3705	3773	69	GAT			+
tRNA ^{Gln}	3774	3845	72	TTG			3771	3842	72	TTG			+
tRNA ^{Met}	3848	3916	69	CAT			3845	3913	69	CAT			+
ND2	3917	4958	1042		ATA	TA-	3914	4955	1042		ATA	TA-	+
tRNA ^{Trp}	4959	5026	68	TCA			4956	5023	68	TCA			+
tRNA ^{Ala}	5030	5097	68	TGC			5027	5094	68	TGC			+
tRNA ^{Asn}	5099	5171	73	GTT			5096	5168	73	GTT			+
tRNA ^{Cys}	5204	5271	68	GCA			5201	5268	68	GCA			+
tRNA ^{Tyr}	5272	5339	68	GTA			5269	5336	68	GTA			+

表 3-11 臺灣水鹿粒線體全長 DNA 序列分析表 (續)。第一欄為分析序列名稱，分別是陶塞雪霸類群的 TRTS26 與來自 NCBI 網站的新化畜試所臺灣水鹿序列(NC008414)。第一欄為分析所獲得 tRNA、12S rRNA、16S rRNA、與基因名稱(包含 D-loop)。其餘各欄依序為各 tRNA、12S rRNA、16S rRNA、與基因序列的起始鹼基位置、終止鹼基位置、序列鹼基長度、反密碼子、起始密碼子、終止密碼子。最後一欄為分析序列為正接或反接之標示。

Gene	TSSP Clade Formosan Sambar Deer (TRTS26)					Major Clade Formosan Sambar Deer (NC008414)							Strand
	Start position	Stop position	Length (bp)	Anticodon	Start codon	Stop codon	Start position	Stop position	Length (bp)	Anticodon	Start codon	Stop codon	
COX1	5342	6884	1543		ATG	TA-	5339	6881	1543		ATG	TA-	+
tRNA ^{Ser(AGY)}	6884	6954	71	TGA			6881	6951	71	TGA			+
tRNA ^{Asp}	6960	7027	68	GTC			6957	7024	68	GTC			+
COX2	7029	7712	684		ATG	TAA	7026	7709	684		ATG	TAA	+
tRNA ^{Lys}	7716	7783	68	TTT			7713	7780	68	TTT			+
ATP8	7785	7985	201		ATG	TAA	7782	7982	201		ATG	TAA	+
ATP6	7946	8626	681		ATG	TAA	7943	8623	681		ATG	TAA	+
COX3	8626	9409	784		ATG	TA-	8623	9406	784		ATG	TA-	+
tRNA ^{Gly}	9410	9478	69	TCC			9407	9475	69	TCC			+
ND3	9479	9824	346		ATA	T--	9476	9821	346		ATA	T--	+
tRNA ^{Arg}	9826	9894	69	TCG			9823	9891	69	TCG			+
ND4L	9895	10191	297		ATG	TAA	9892	10188	297		ATG	TAA	+
ND4	10185	11562	1378		ATG	T--	10182	11559	1378		ATG	T--	+
tRNA ^{Pro}	11563	11631	69	GTG			11560	11628	69	GGG			+
tRNA ^{Ser(UCN)}	11632	11691	60	GCT			11629	11688	60	GCT			+

表 3-11 臺灣水鹿粒線體全長 DNA 序列分析表（續）。第一欄為分析序列名稱，分別是陶塞雪霸類群的 TRTS26 與來自 NCBI 網站的新化畜試所臺灣水鹿序列(NC008414)。第一欄為分析所獲得 tRNA、12S rRNA、16S rRNA、與基因名稱(包含 D-loop)。其餘各欄依序為各 tRNA、12S rRNA、16S rRNA、與基因序列的起始鹼基位置、終止鹼基位置、序列鹼基長度、反密碼子、起始密碼子、終止密碼子。最後一欄為分析序列為正接或反接之標示。

Gene	TSSP Clade Formosan Sambar Deer (TRTS26)					Major Clade Formosan Sambar Deer (NC008414)							Strand
	Start position	Stop position	Length (bp)	Anticodon	Start codon	Stop codon	Start position	Stop position	Length (bp)	Anticodon	Start codon	Stop codon	
tRNA ^{Leu(CUN)}	11692	11758	67	TAG			11689	11755	67	TAG			+
ND5	11763	13553	1791		ATA	TA-	11759	13549	1791		ATA	TAA	+
ND6	13567	14094	528		ATG	TAA	13546	14073	528		ATG	TAA	-
tRNA ^{Glu}	14095	14165	71	TTC			14074	14144	71	TTC			+
CYTB	14168	15307	1140		ATG	AGA	14147	15286	1140		ATG	AGA	+
tRNA ^{Thr}	15310	15381	72	TGT			15287	15358	72	TGT			+
tRNA ^{Pro}	15380	15445	66	TGG			15359	15424	66	TGG			+
D-loop	15448	16488	1041				15425	16505	1081	GAA			+

表3-12 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(Randi et al., 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>		125375-250750	293625-587250
<i>R. u. hainana</i> ^a	0.02006		578500-1157000
<i>R. u. unicolor</i> ^b	0.04698	0.04628	

表3-13 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	1.91334 (0.10 > P > 0.05)	0.84089 (P > 0.10)	1.37717 (P > 0.10)	1.974 (P=0.155)
Major clade	-1.33112 (P > 0.10)	-1.17625 (P > 0.10)	-1.48893 (P > 0.10)	-7.603 (P<0.001)***
Total	-0.15262 (P > 0.10)	0.04410 (P > 0.10)	-0.04343 (P > 0.10)	-1.949 (P=0.048)*

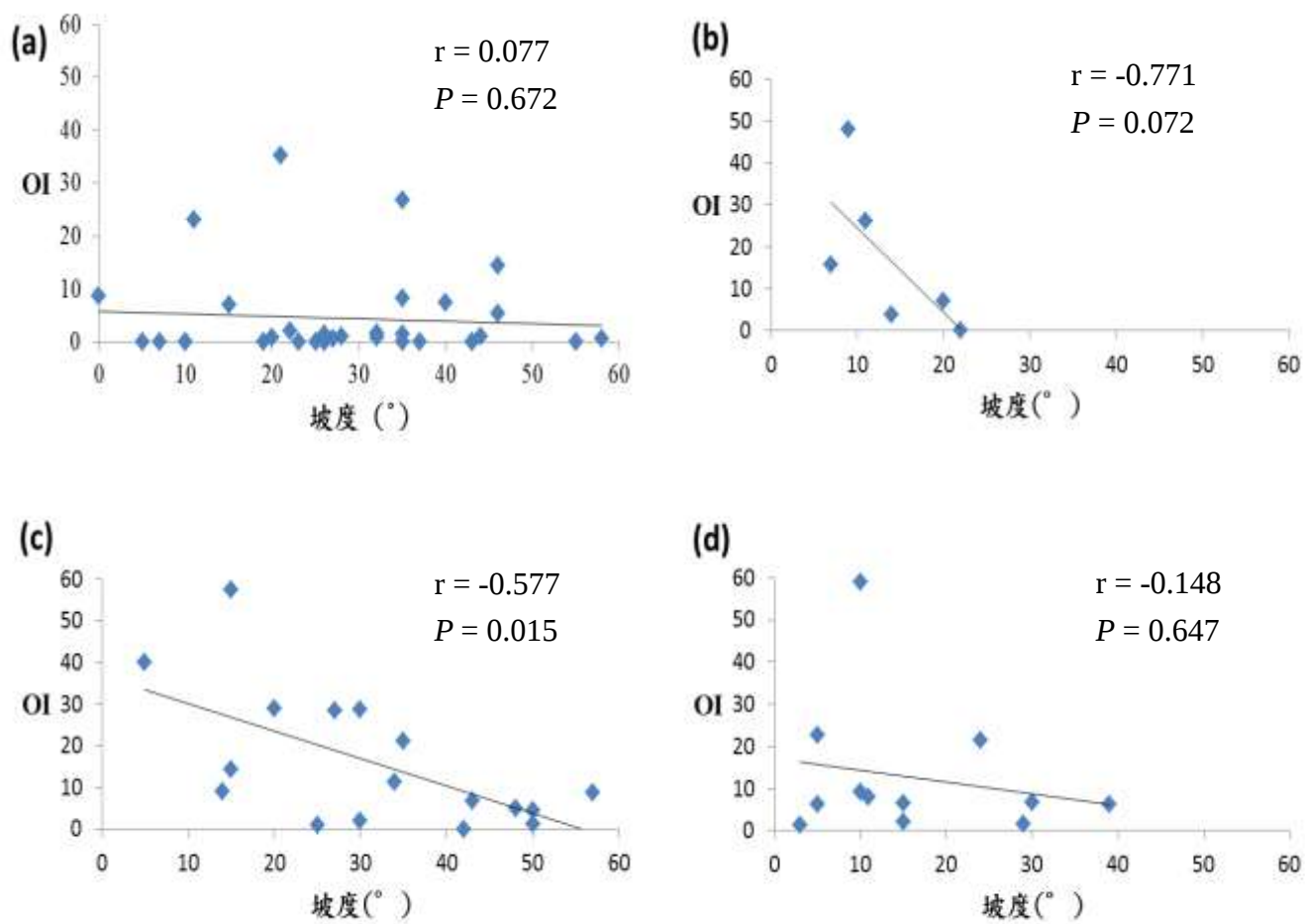


圖 3-1 水鹿 OI 值與坡度之關聯。a：南湖山區，b：陶塞溪，c：楠溪林道，d：托博闊溪。

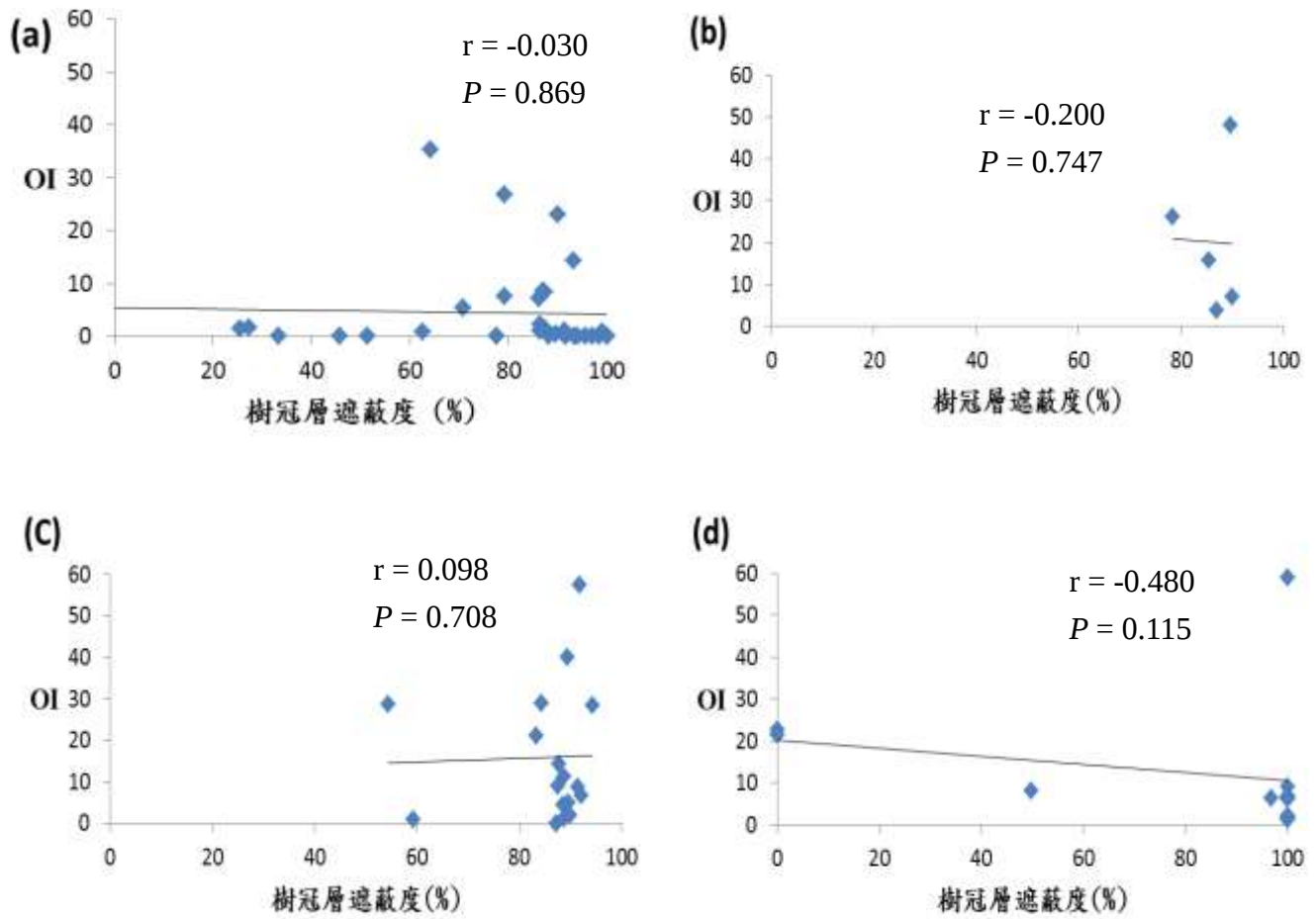


圖 3-2 水鹿 OI 值與樹冠層遮蔽度之關聯。a：南湖山區，b：陶塞溪，c：楠溪
林道，d：托博闊溪。

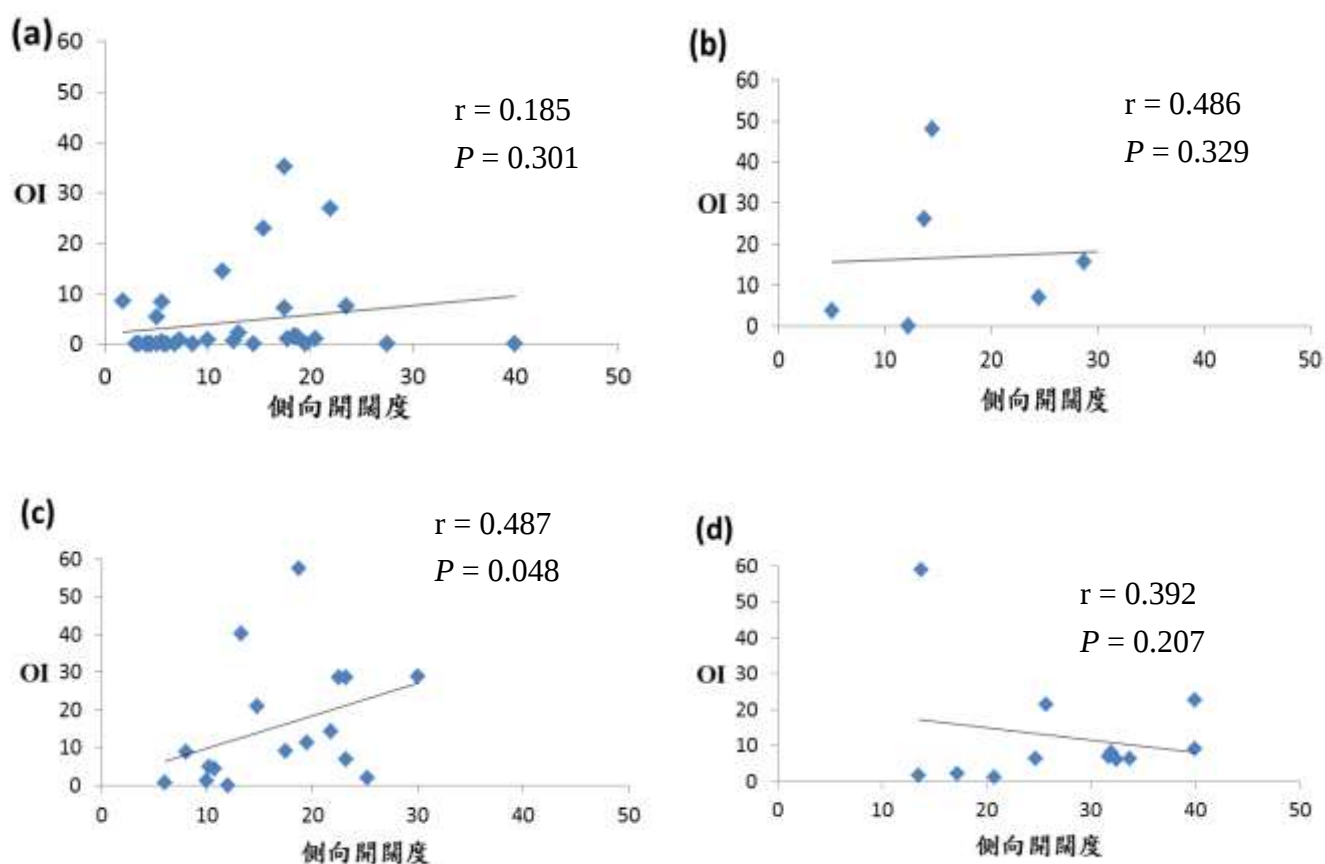


圖 3-3 水鹿 OI 值與側向開闊度之關聯。a：南湖山區，b：陶塞溪，c：楠溪林道，d：托博闊溪。

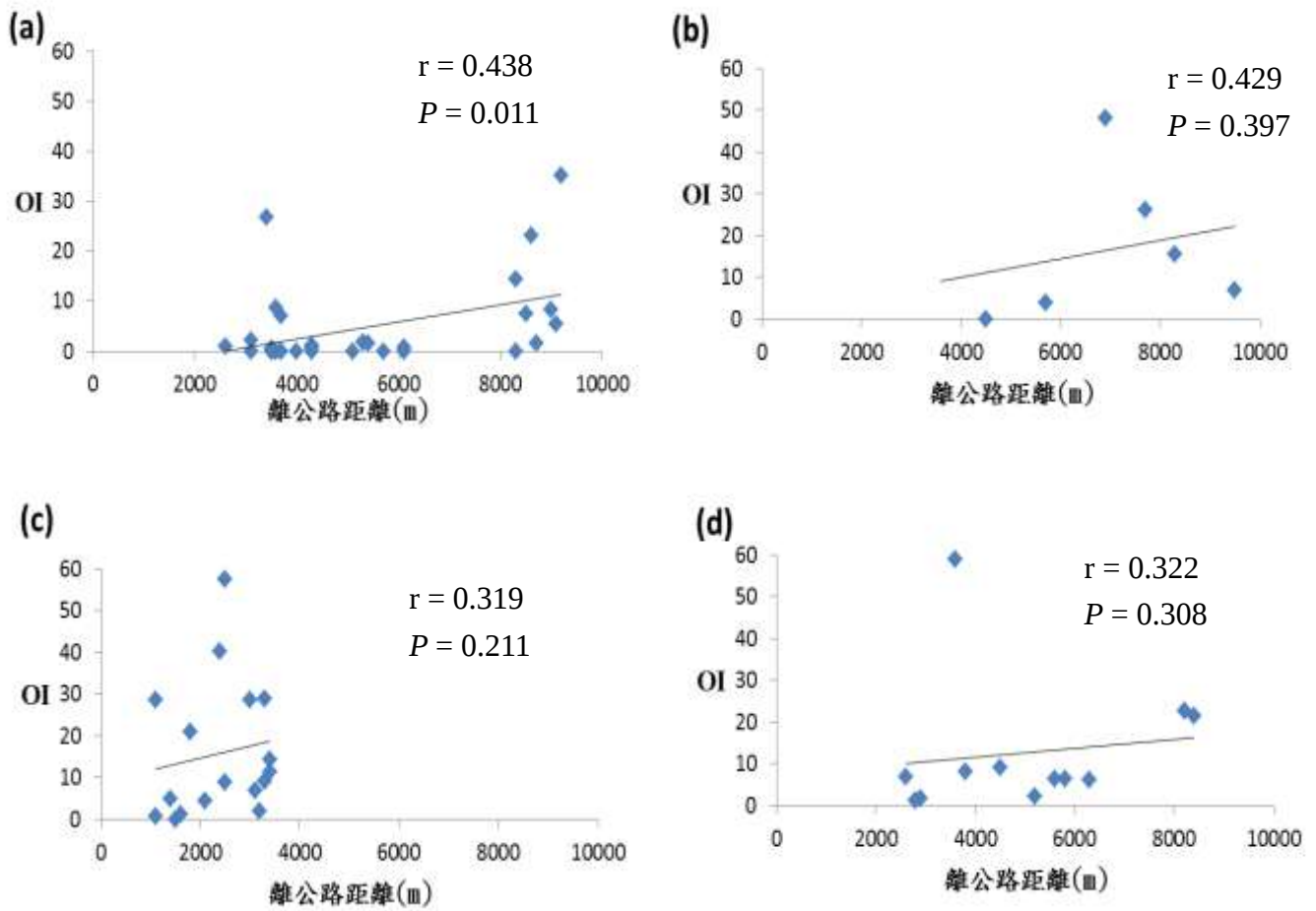


圖 3-4 水鹿 OI 值與離公路距離之關聯。a：南湖山區，b：陶塞溪，c：楠溪林道，d：托博闊溪。

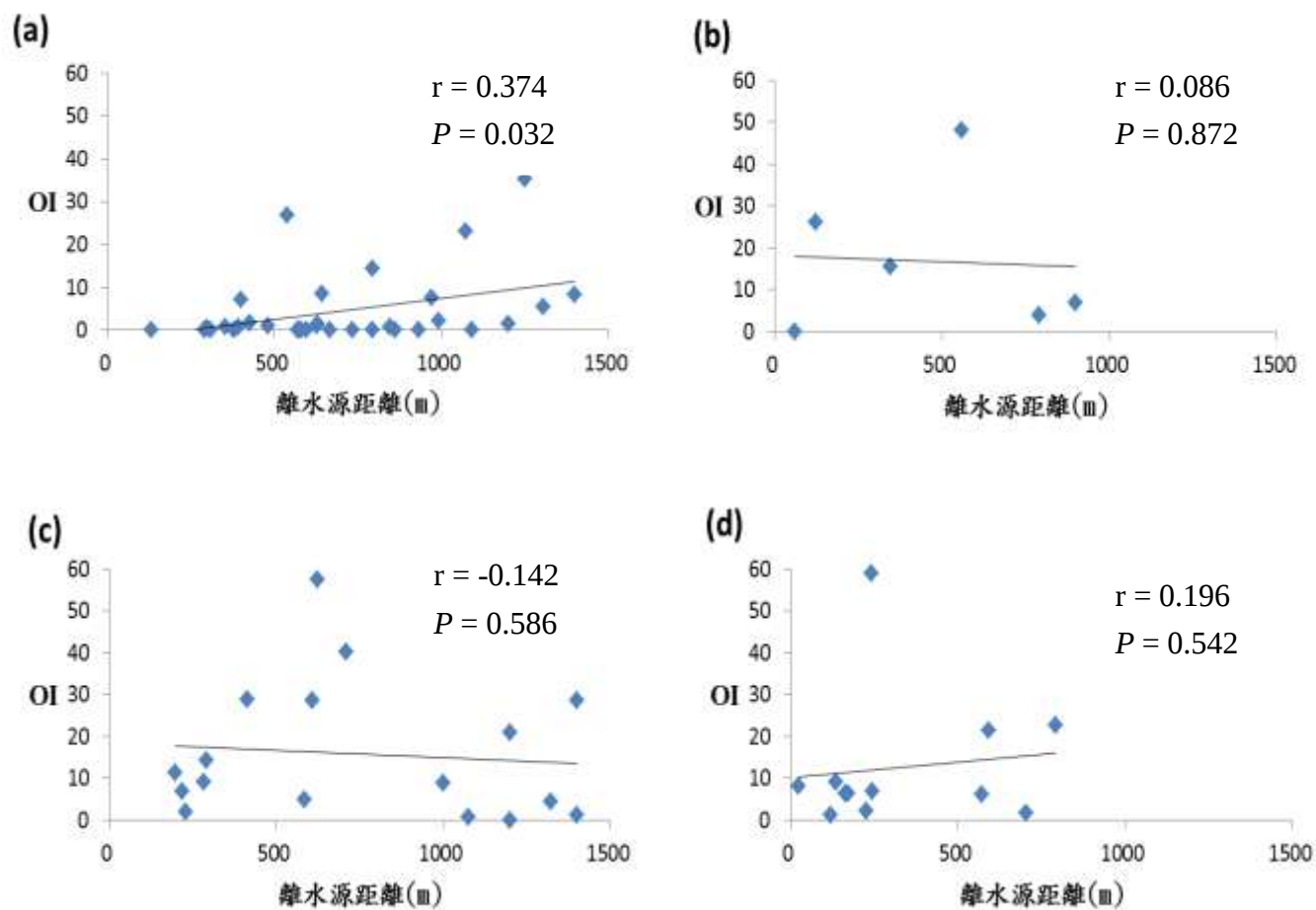


圖 3-5 水鹿 OI 值與離水源距離之關聯。a：南湖山區，b：陶塞溪，c：楠溪林道，d：托博闊溪。

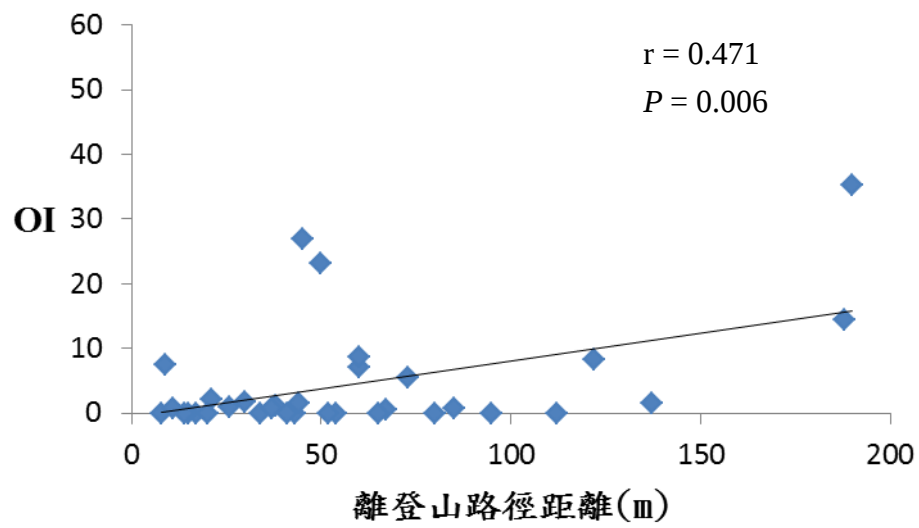


圖 3-6 南湖山區水鹿 OI 值與離登山路徑距離之關聯。

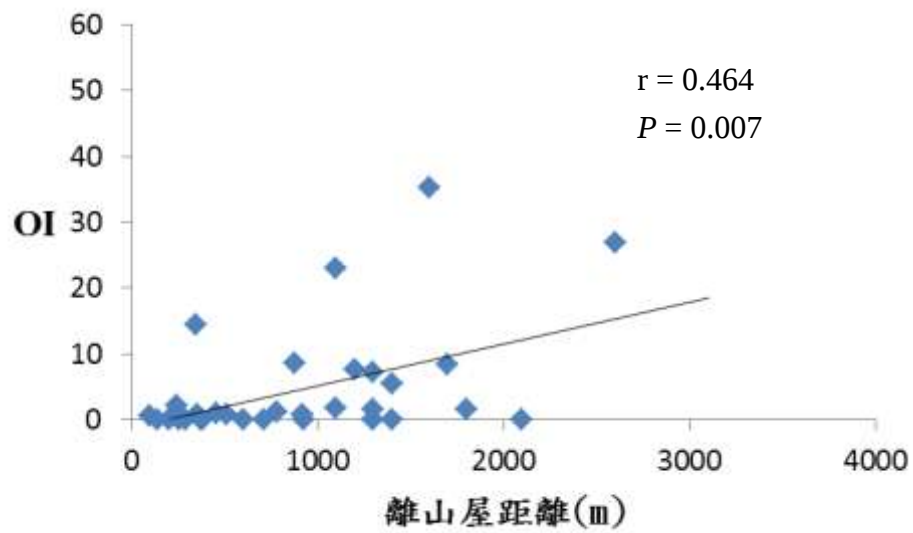


圖 3-7 南湖山區水鹿 OI 值與離山屋距離之關聯。

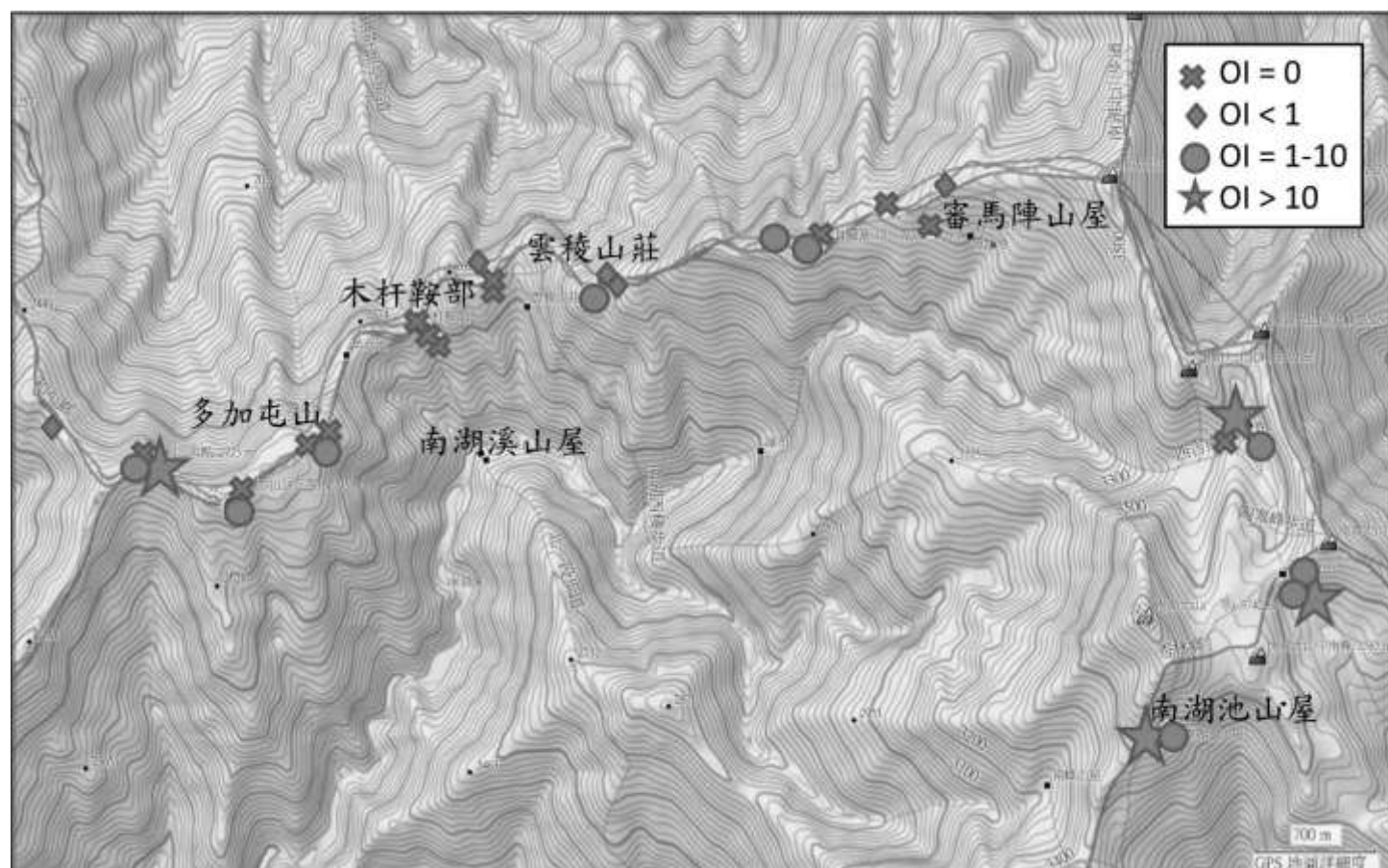


圖 3-8 南湖山區自動相機分布及各相機水鹿相對豐度。

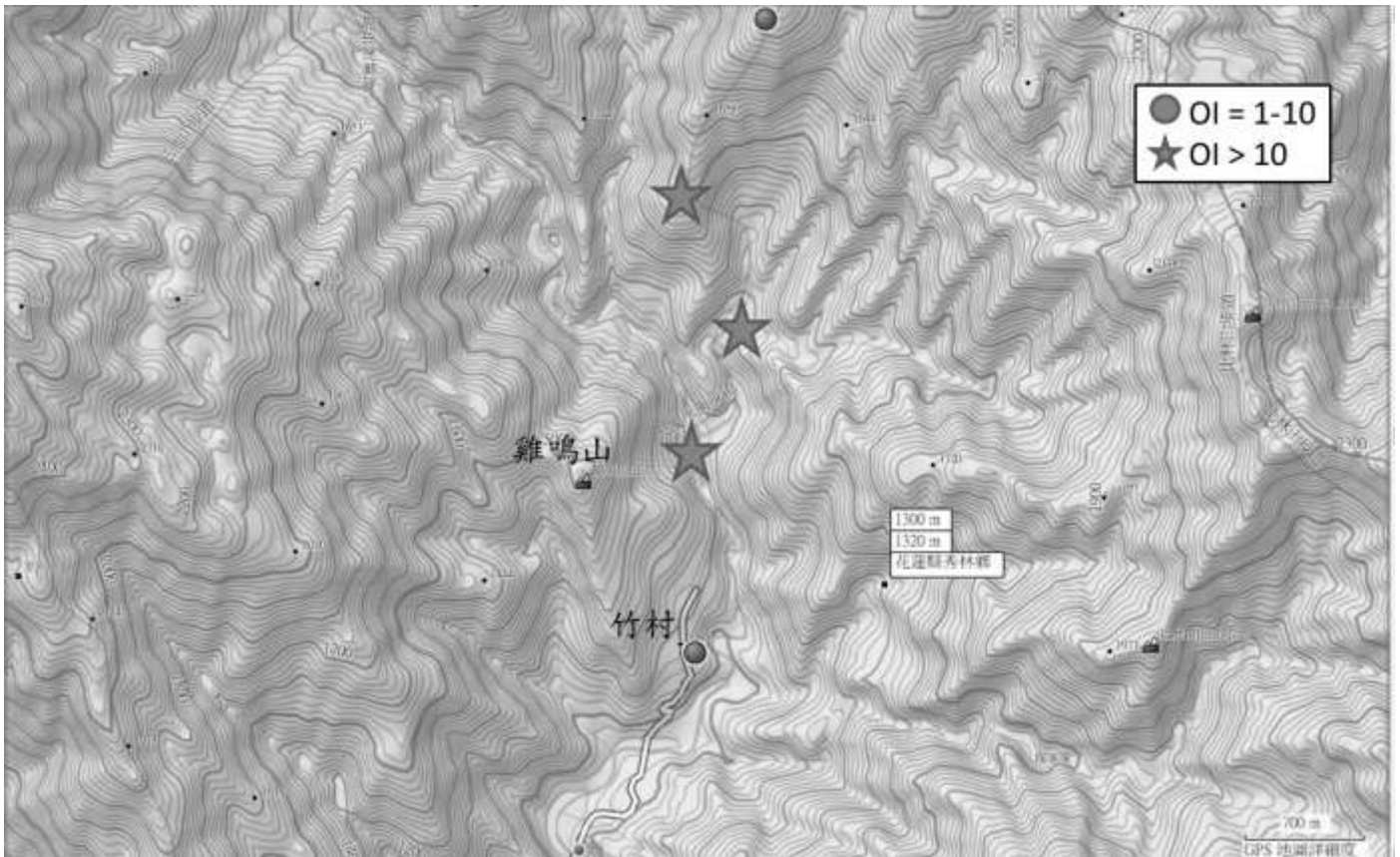


圖 3-9 陶塞溪區自動相機分布及各相機水鹿相對豐度。

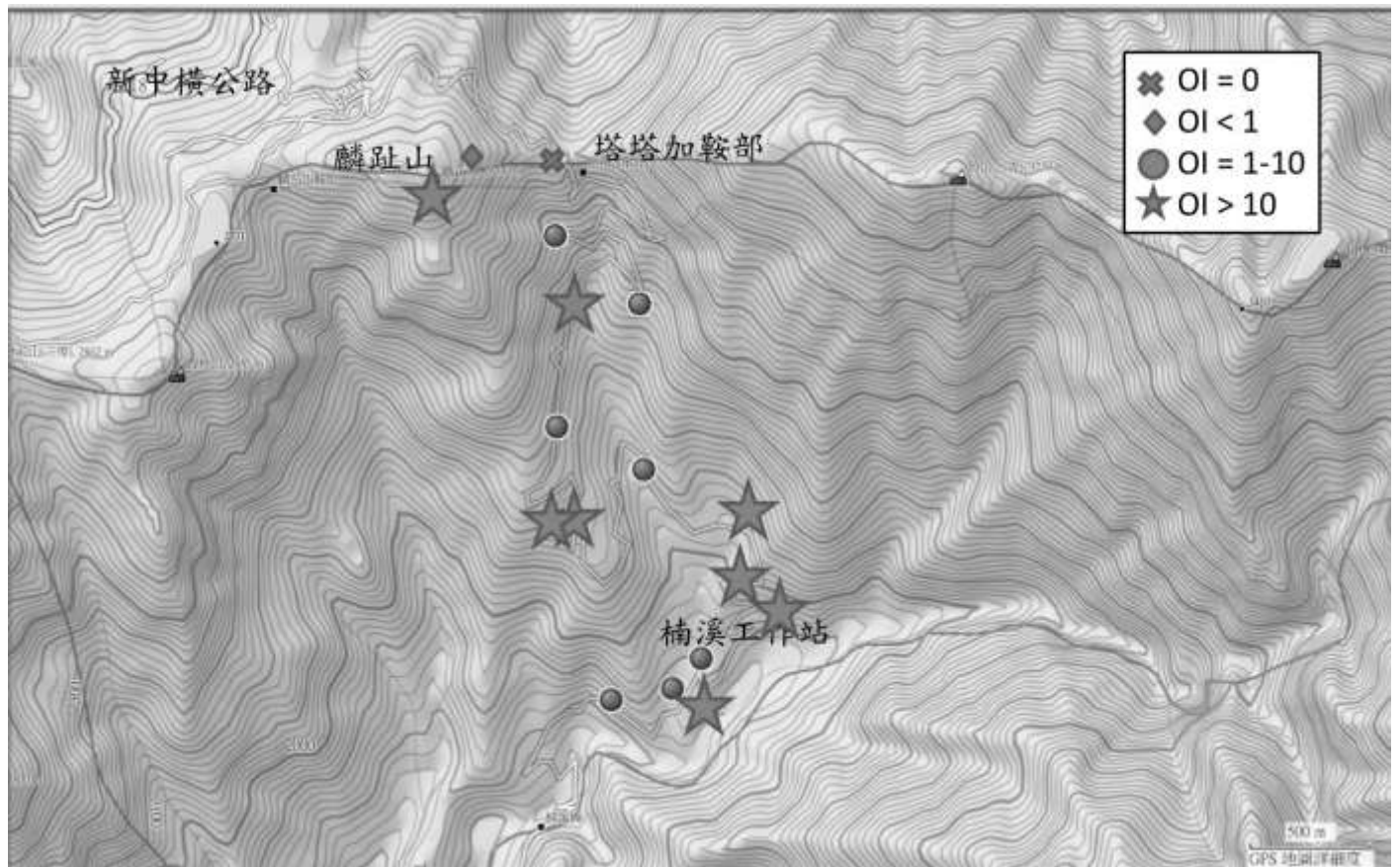


圖 3-10 楠溪林道自動相機分布及各相機水鹿相對豐度。

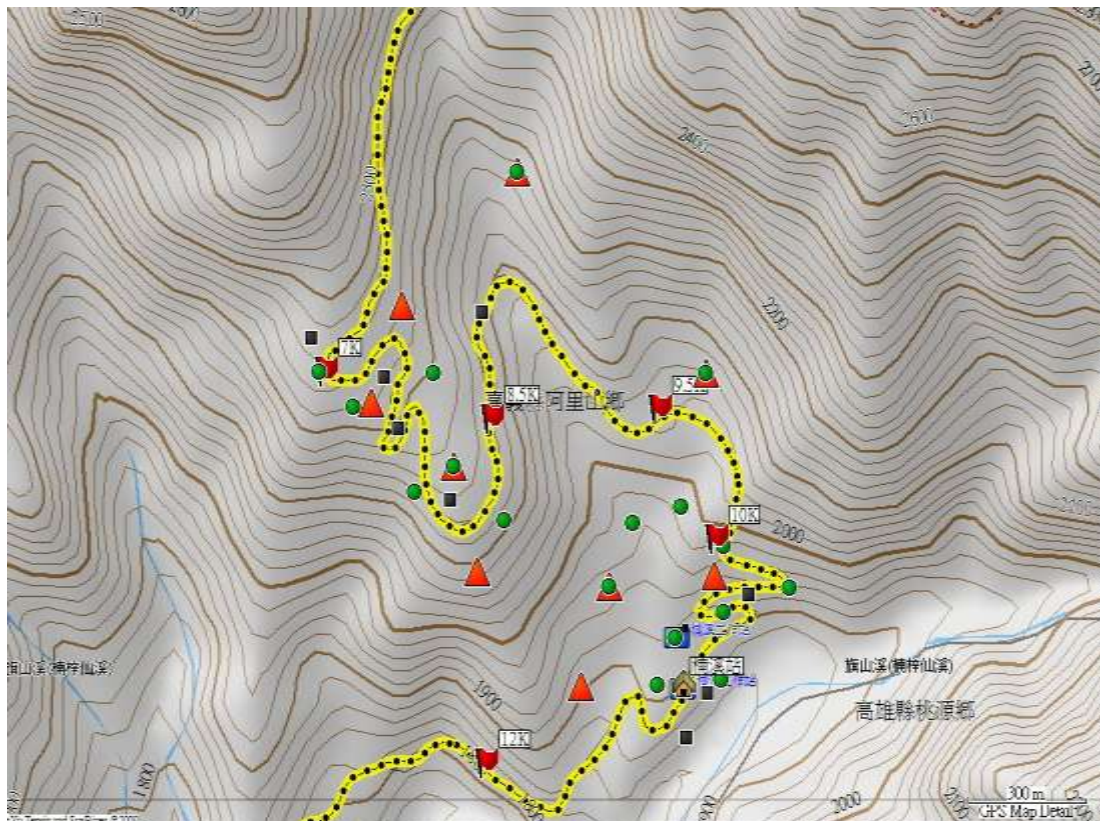


圖 3-11 楠溪林道地區數位紅外線自動相機架設點位圖(圓點圖示為估算水鹿族群密度的自動相機點位；方形圖示為未拍攝到水鹿的自動相機點位；三角形圖示為輻射穿越帶中心位置)。

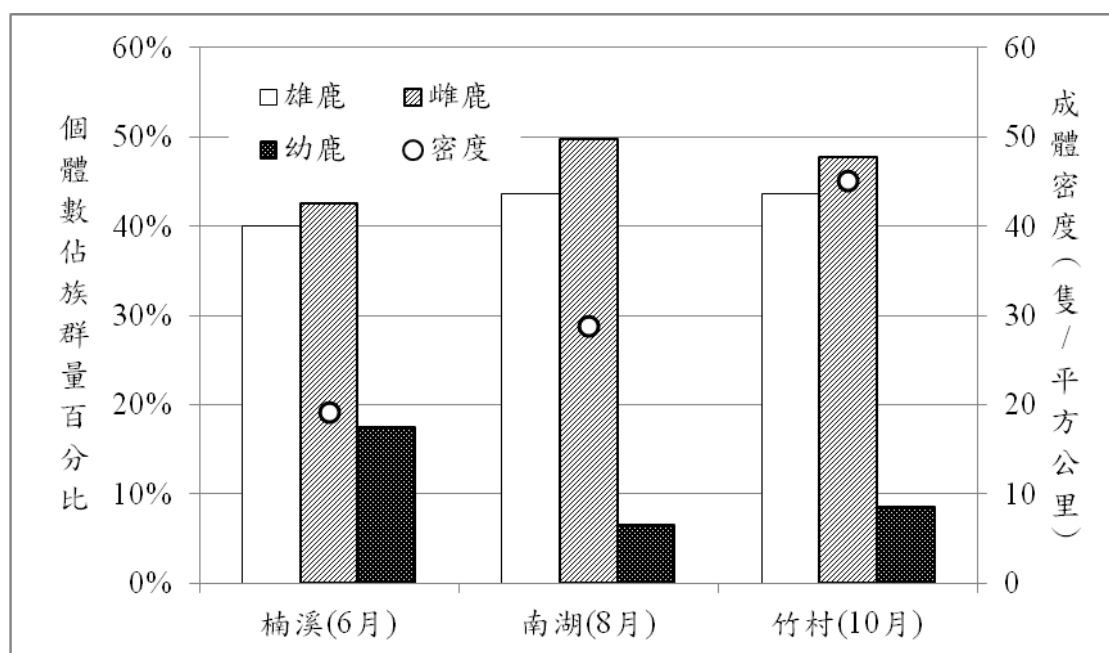


圖 3-12 楠溪林道、南湖山區及竹村之水鹿成體密度估計值與雄鹿、雌鹿與幼鹿佔族群量之百分比。

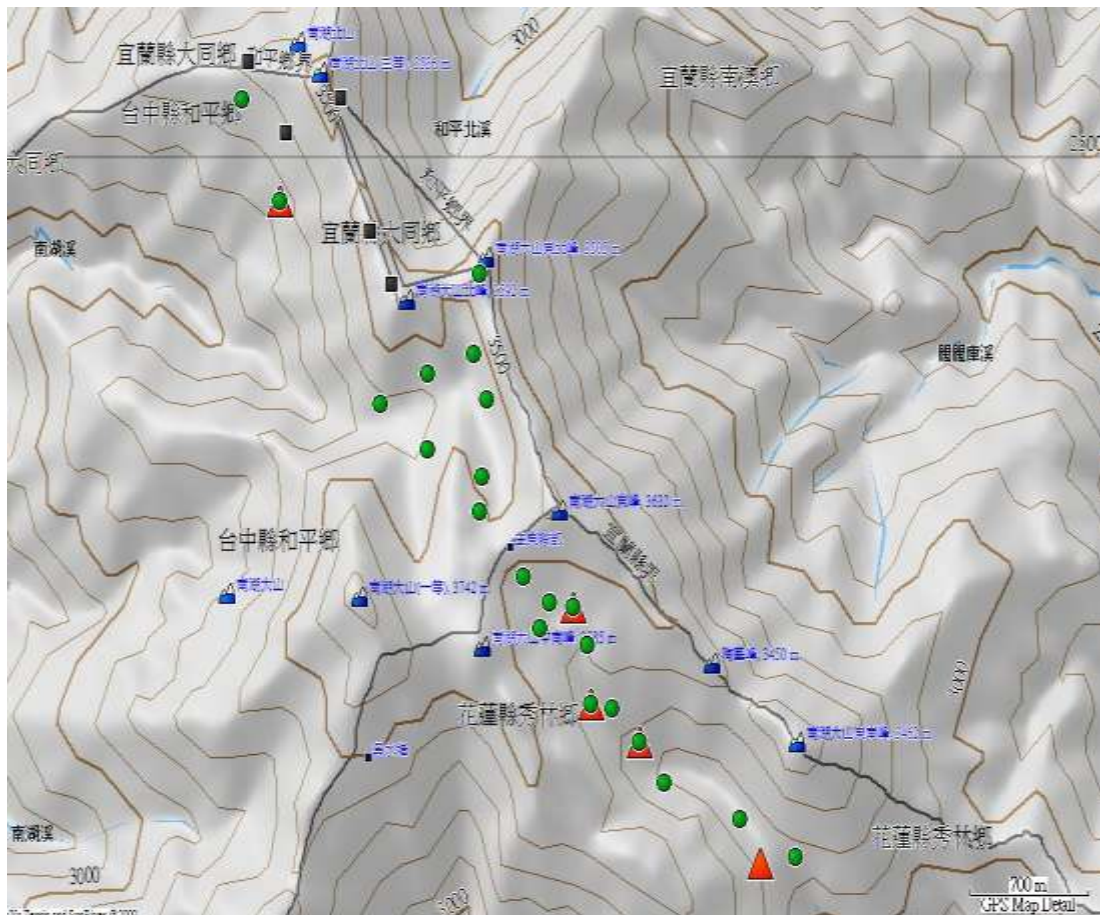


圖 3-13 南湖大山地區數位紅外線自動相機架設點位圖(圓點圖示為估算水鹿族群密度的自動相機點位；方形圖示為未拍攝到水鹿的自動相機點位；三角形圖示為輻射穿越帶中心位置)。



圖 3-14 竹村地區數位紅外線自動相機架設點位圖(圓點圖示為估算水鹿族群密度的自動相機點位；方形圖示為未拍攝到水鹿的自動相機點位；三角形圖示為輻射穿越帶中心位置)。

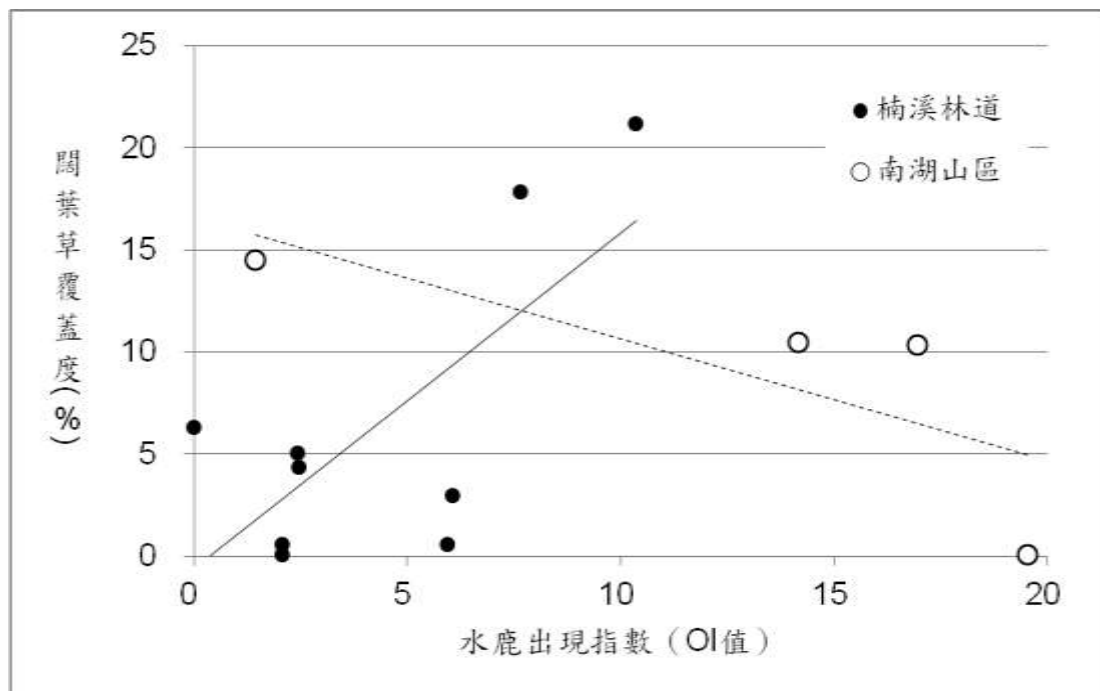


圖 3-15、楠溪工作站前紅檜人造林遭水鹿啃食情形。



圖 3-16、遭水鹿啃食的紅檜。

(a)



(b)

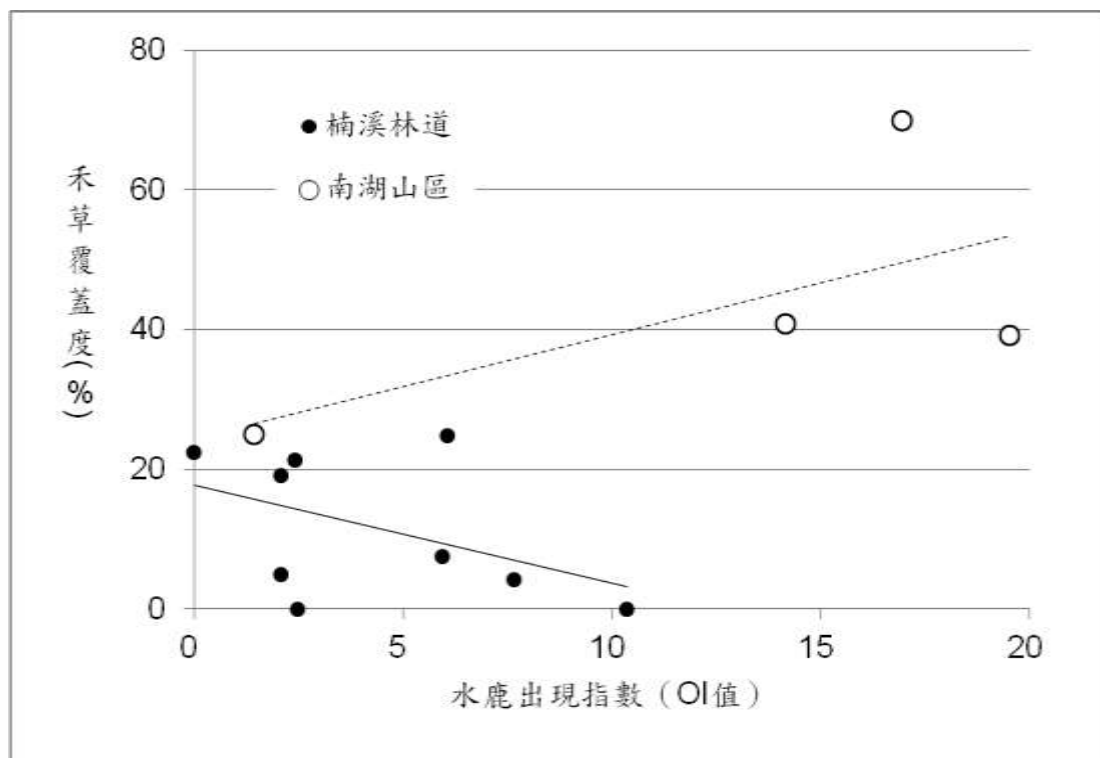


圖 3-17 楠溪林道與南湖山區水鹿出現指數與(a) 闊葉草類覆蓋度及(b) 禾草類覆蓋度之相關性。實線與虛線分別代表楠溪林道及南湖山區的水鹿出現指數與草本層覆蓋度之線性迴歸線。

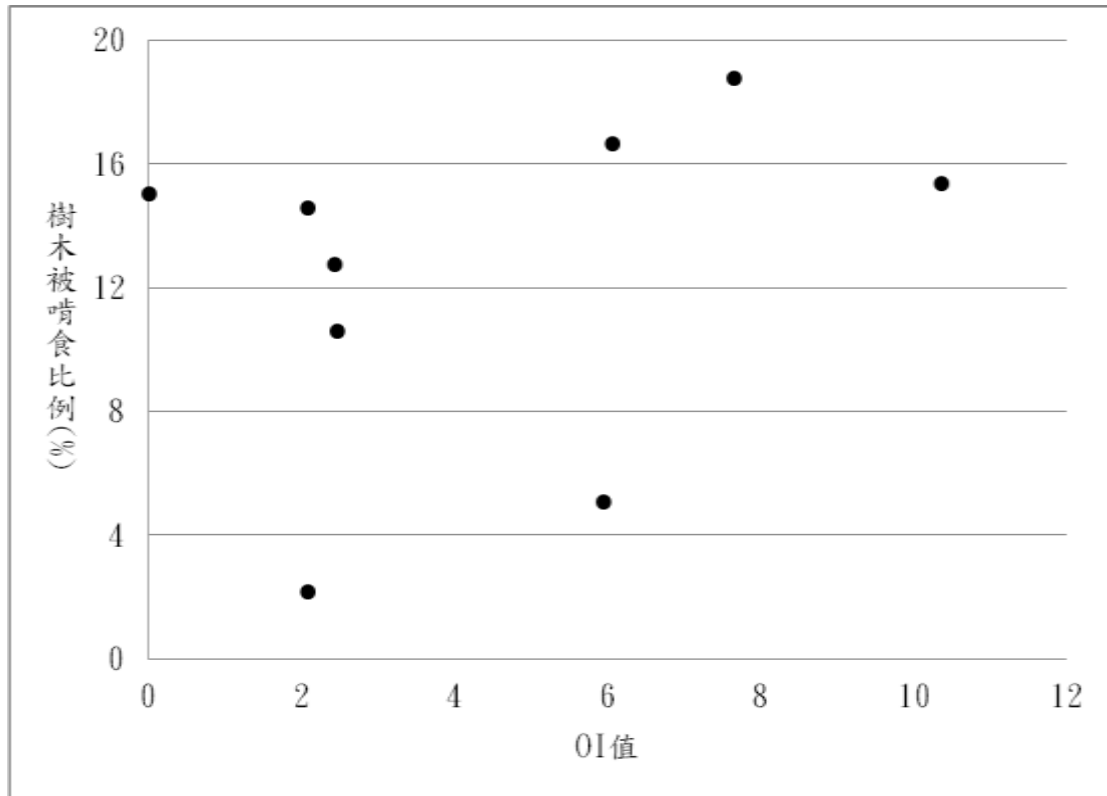


圖 3-18 楠溪林道地區 9 個輻射穿越帶內樹木受水鹿啃食比例與 OI 值之關係。

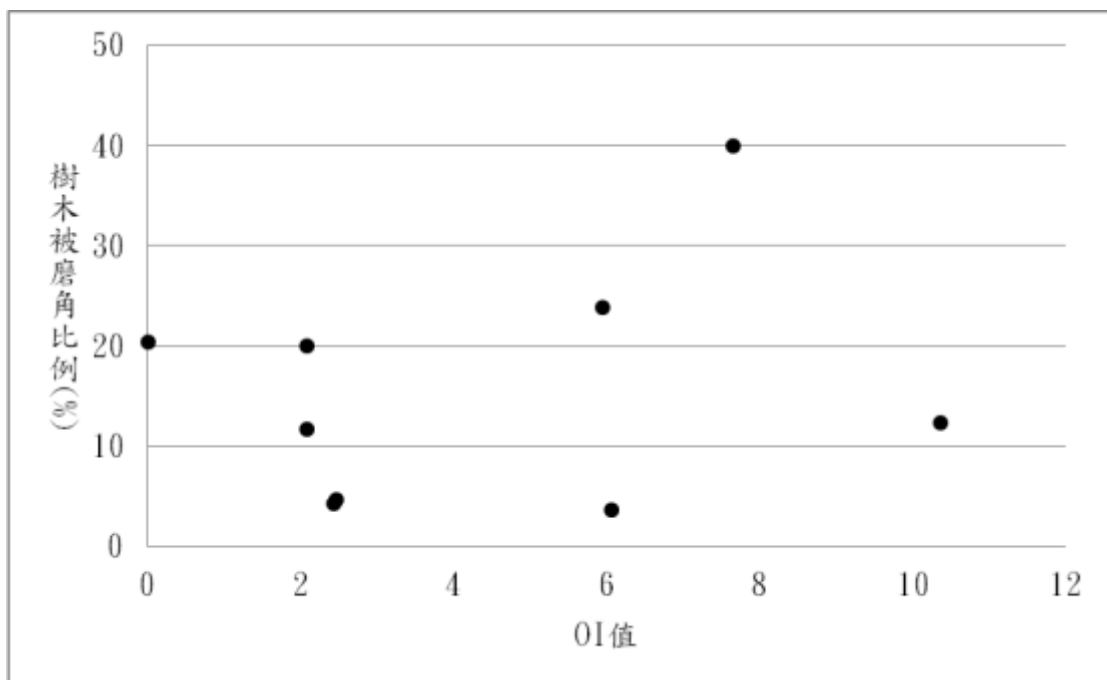


圖 3-19 楠溪林道地區 9 個輻射穿越帶內樹木受水鹿磨角比例與 OI 值之關係。

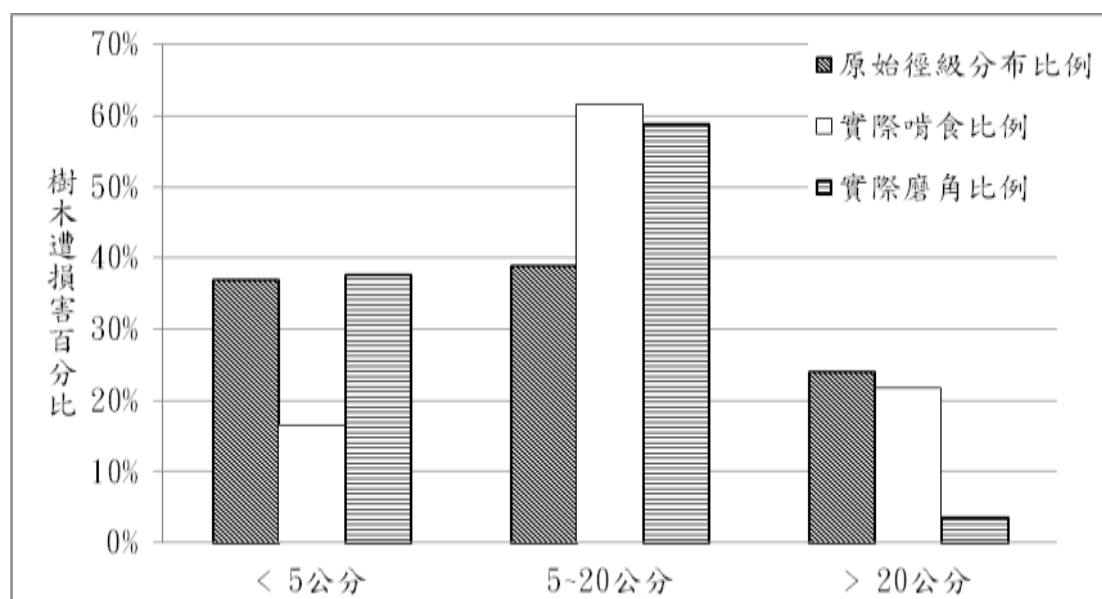


圖 3-20 楠溪林道地區 9 個輻射穿越帶內樹木遭啃食及磨角損害與徑級分布比較圖。

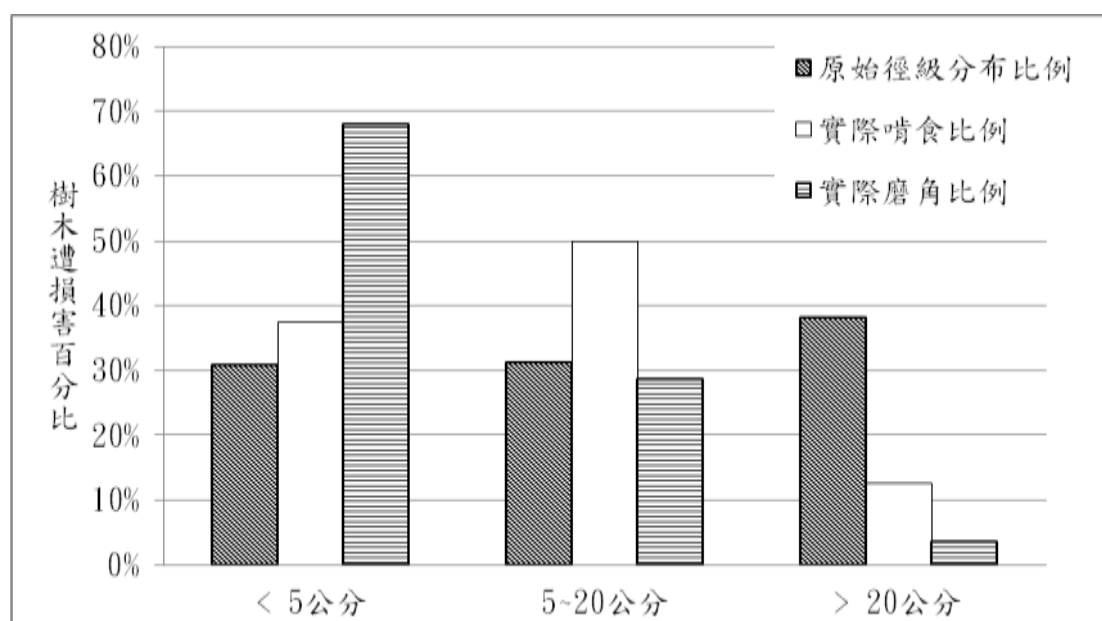


圖 3-21 南湖大山地區 4 個輻射穿越帶內樹木遭啃食及磨角損害與徑級分布比較圖。

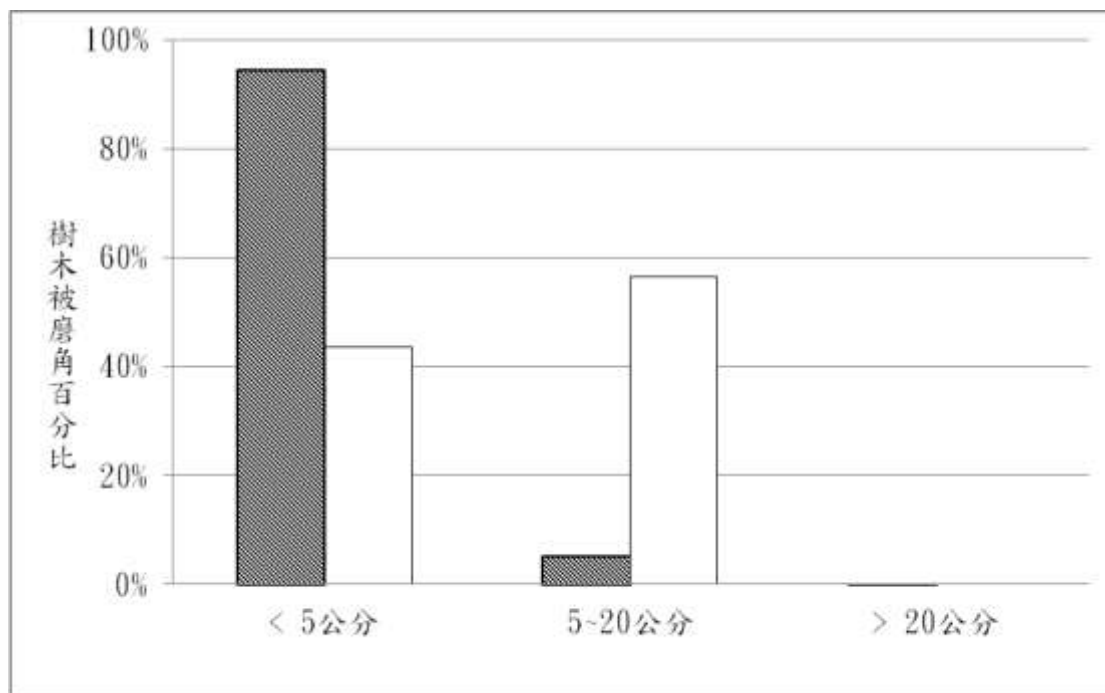


圖 3-22 竹村地區 3 個輻射穿越帶內樹木遭磨角損害與徑級分布比較圖。深色直條圖代表所有樹木在三個徑級類別中的比例，白色直條圖代表被磨角的樹木在三個徑級類別中的比例。

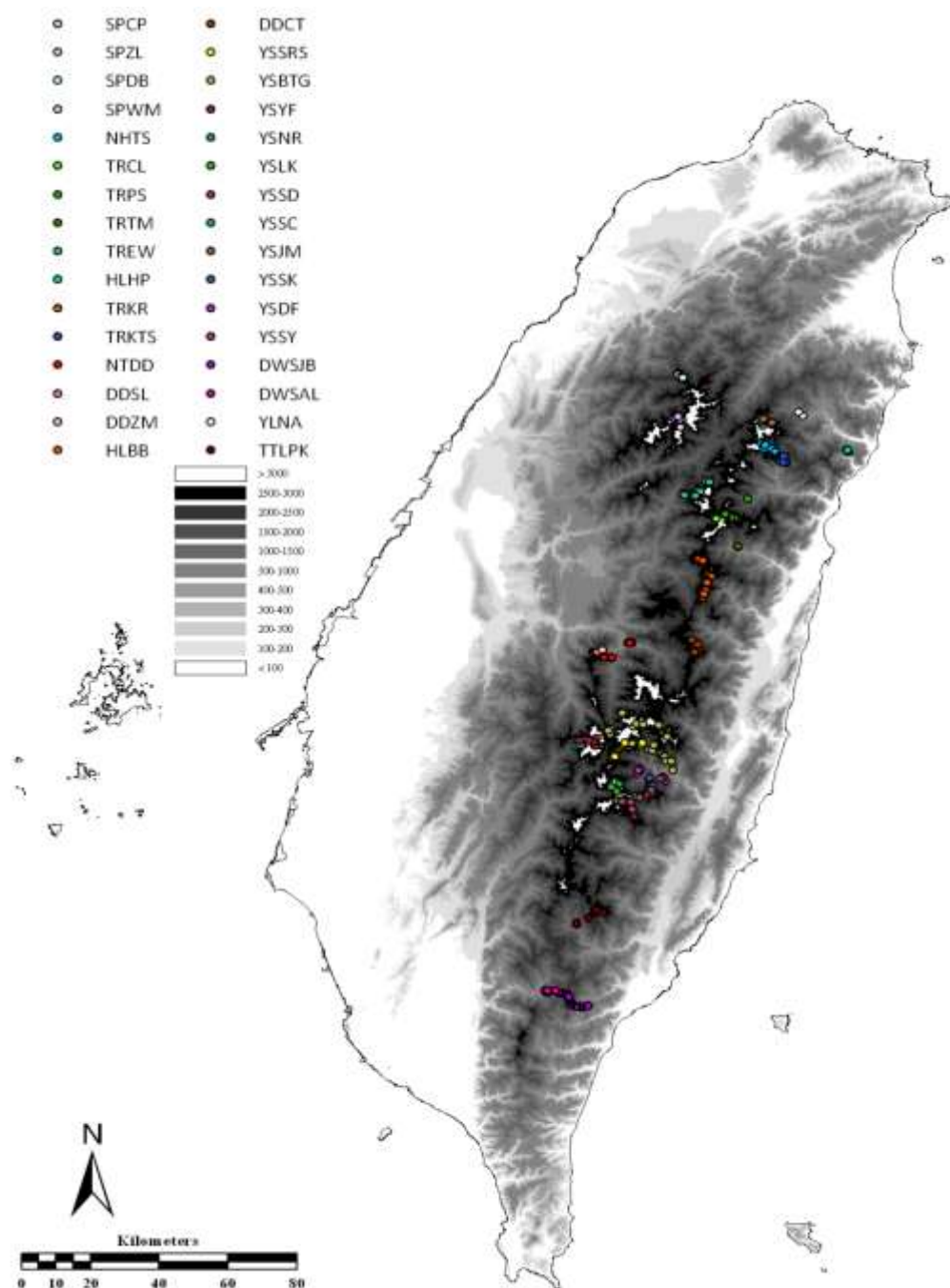


圖 3-23 利用 ArcGISmap 所繪製臺灣水鹿樣本採樣地點位置圖。灰階地圖為臺灣地形海拔高度示意圖，海拔高度對應的顏色深淺程度參照左側圖示。樣本的 GPS 位置以不同顏色圓點在地圖上標示，已獲得 779 個水鹿樣本來自 32 個樣區，各樣區名稱與對應座標圓點顏色參照左上角圖示。左下角圖示為地圖指北針與地圖比例尺。

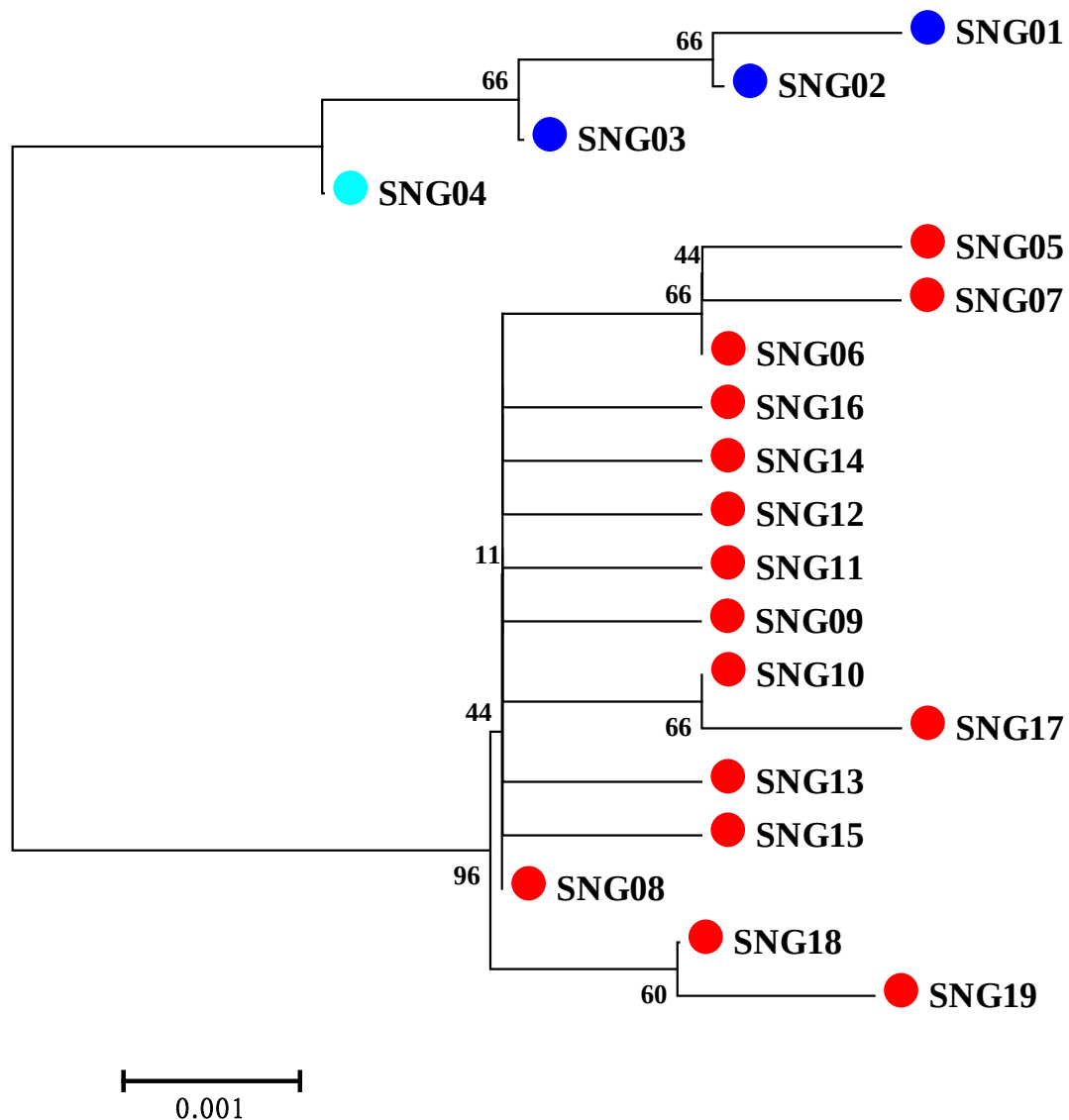


圖 3-24 以臺灣水鹿 D-loop 基因單套型(SNG01-SNG19)序列,使用軟體 MEGA 5 根據 Neighbor-Joining 法所繪製之親緣關係樹。深藍色圓型標示者為陶塞雪霸類群基因單套型 SNG01 至 SNG03,淺藍色圓型標示者為出現在 HLBB 樣區的陶塞雪霸類群基因單套型 SNG04,紅色圓型標示者為中央山脈主要類群基因單套型 SNG05 至 SNG19。左下角為序列中各鹼基位置 0.001 個核苷酸變異之遺傳距離長度示意比例尺。各分支上的數字為 Bootstrap value,代表 1000 個重複下該分支出現之機率百分比。根據分析結果,臺灣水鹿可分為兩大遺傳類群,分別為陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群,且此樹型在統計上具有意義。

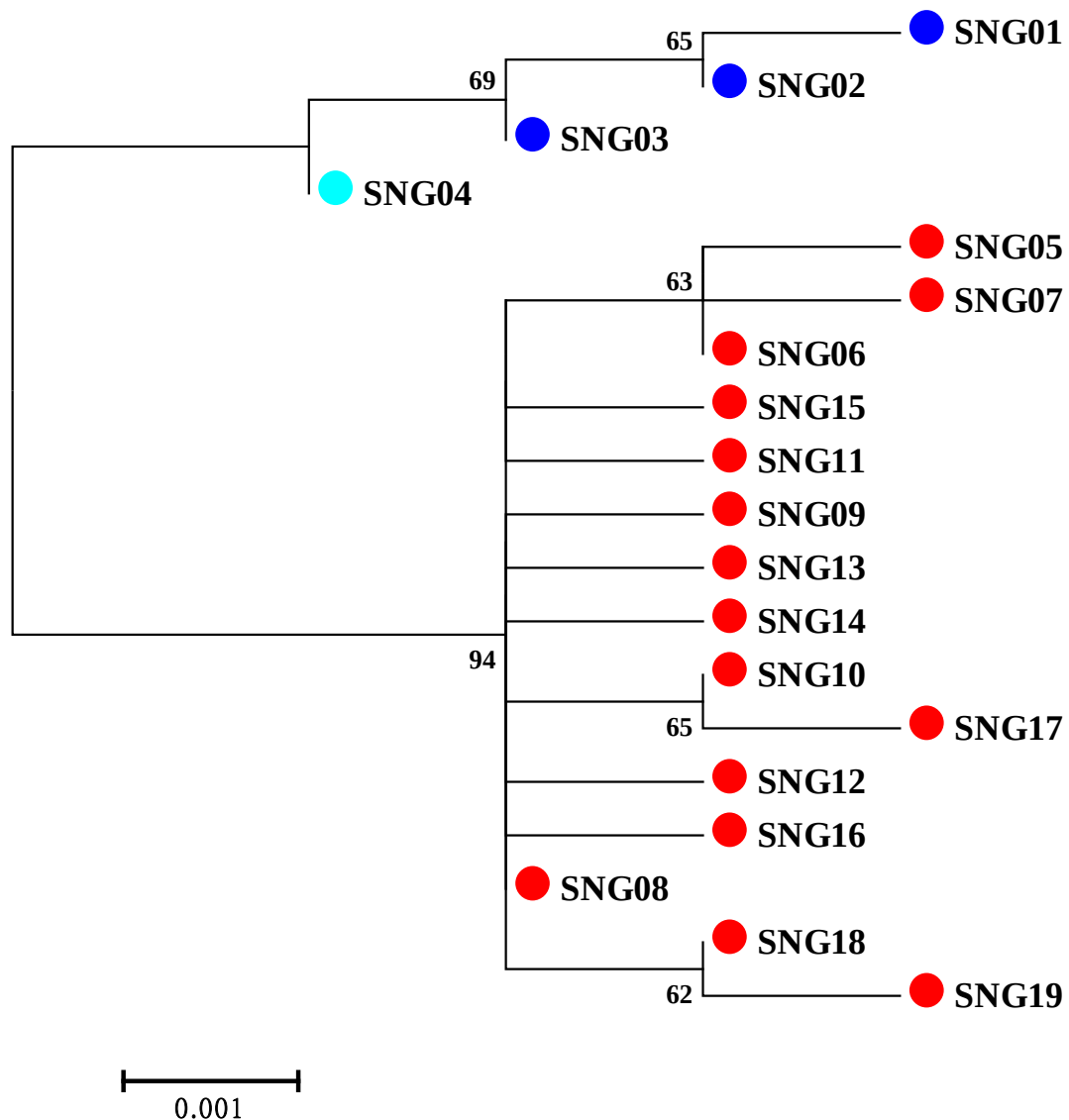


圖 3-25 以臺灣水鹿 D-loop 基因單套型(SNG01-SNG19)序列,使用軟體 MEGA 5 根據 Maximum Likelihood 法所繪製之親緣關係樹。深藍色圓型標示者為陶塞雪霸類群基因單套型 SNG01 至 SNG03,淺藍色圓型標示者為出現在 HLBB 樣區的陶塞雪霸類群基因單套型 SNG04,紅色圓型標示者為中央山脈主要類群基因單套型 SNG05 至 SNG19。左下角為序列中各鹼基位置 0.001 個核苷酸變異之遺傳距離長度示意比例尺。各分支上的數字為 Bootstrap value,代表 1000 個重複下該分支出現之機率百分比。根據分析結果,臺灣水鹿可分為兩大遺傳類群,分別為陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群,且此樹型在統計上具有意義。

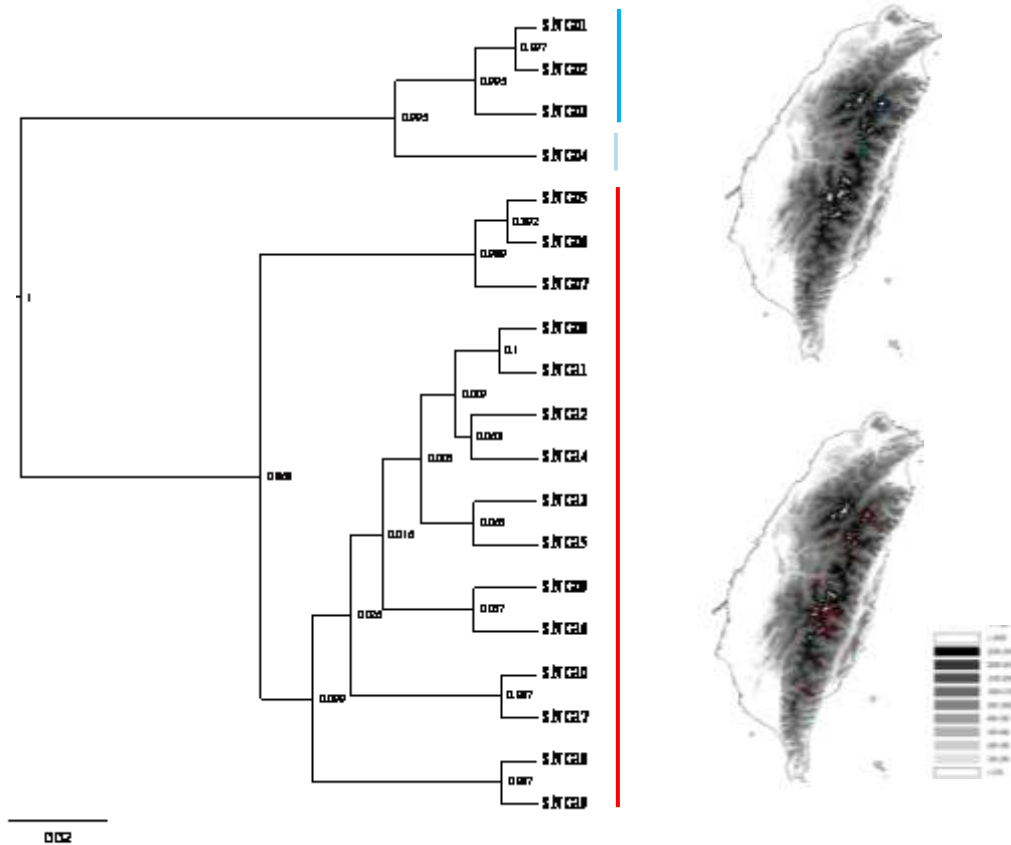


圖 3-26 以臺灣水鹿 D-loop 基因單套型(SNG01-SNG19)序列，使用軟體 BEAST 所繪製之貝葉氏親緣關係樹。在親緣樹右側深藍色直線標示的分支為陶塞雪霸類群基因單套型 SNG01 至 SNG03，淺藍色直線標示的分支為出現在 HLBB 樣區的陶塞雪霸類群基因單套型 SNG04，紅色直線標示的分支為中央山脈主要類群基因單套型 SNG05 至 SNG19。左下角為序列中各鹼基位置 0.02 個核苷酸變異之遺傳距離長度示意比例尺。各分支上的數字為該分支出現之後驗機率。右側的兩張地圖為兩大類群中所獲得序列的分布地理位置示意圖，以與樹型右側直線相同的顏色標示該類群序列的 GPS 位置。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。

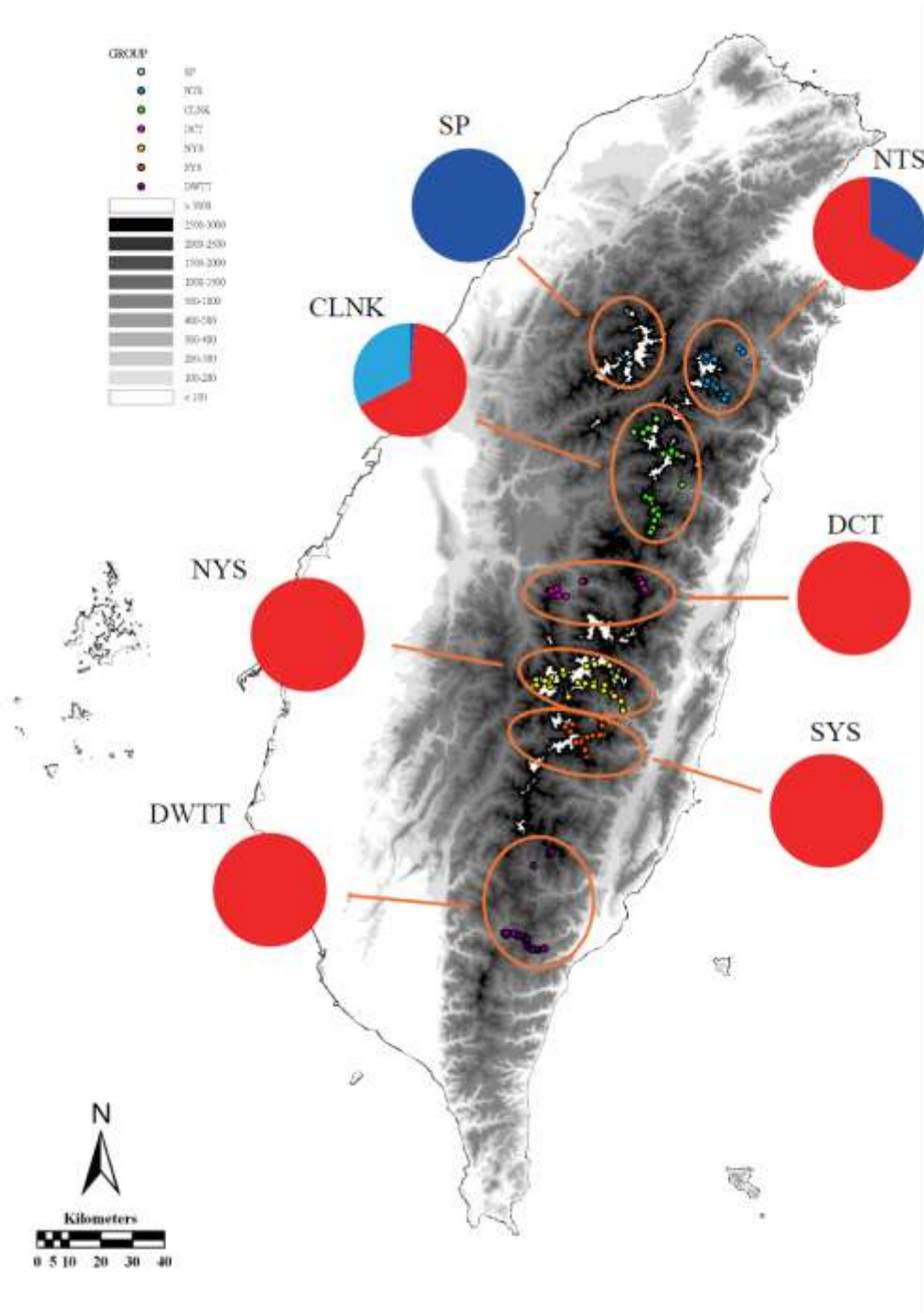


圖 3-27 臺灣水鹿七個族群中，各族群中陶塞雪霸類群與中央山脈主要類群序列數量組成比例示意圖。灰階地圖為臺灣地形海拔高度示意圖，海拔高度對應的顏色深淺程度參照左側圖示。GPS 位置以不同顏色圓點在地圖上標示，各族群對應的座標圓點顏色參照左上角圖示。圓餅圖為各族群中序列所屬類群的組成示意圖。圓餅圖中的深藍色代表陶塞雪霸類群基因單套型(SNG01-03)，淺藍色代表出現在 HLBB 樣區的陶塞雪霸類群基因單套型(SNG04)，紅色代表中央山脈主要類群的基因單套型(SNG05-19)。

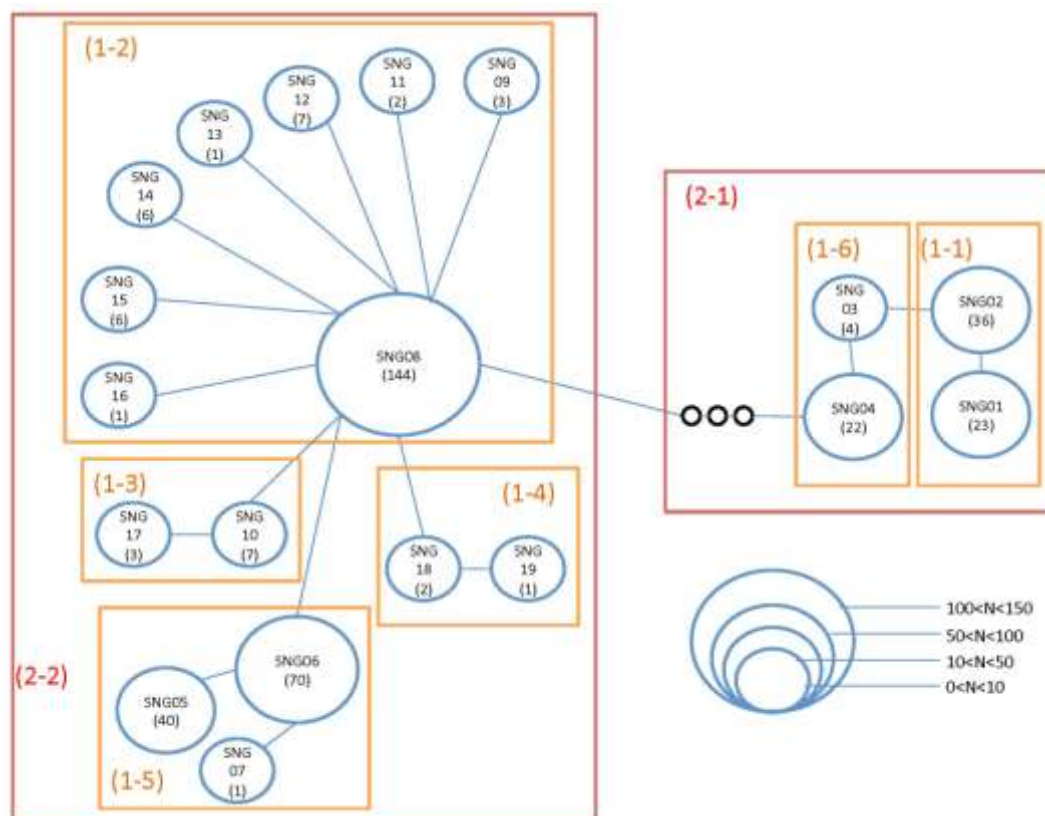
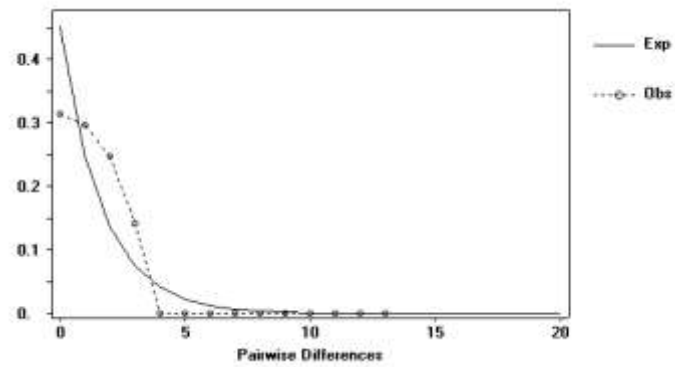
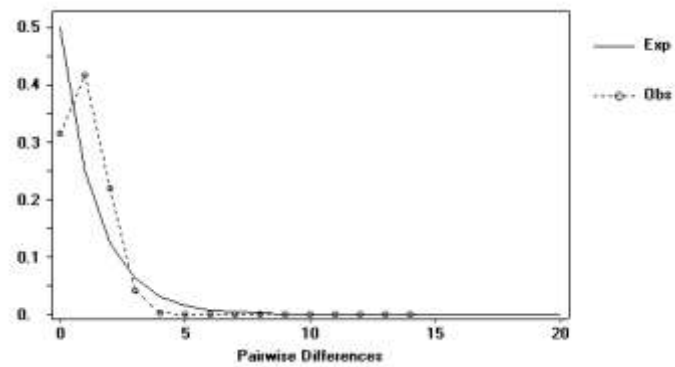


圖 3-28 臺灣水鹿之 Nested Clade Analysis 網狀關係圖(Minimum spanning network)，由 NCA 軟體根據遺傳及地理資訊決定不同階層。圖中各藍框圓圈代表 D-loop 基因單套型，括號內數字代表樣本數量，黑框圓圈代表軟體虛擬基因單套型，兩兩單套型間距離為單一核苷酸取代位置。圓圈大小與序列數量的對應參照右下角圖示。圓圈內數字為基因單套型編號，參照表 3-8。，臺灣水鹿共分為兩個階層，方框與同顏色的數字為 NCA 分析之階層編號。根據分析結果，2-1 階層為陶塞雪霸類群，2-2 為中央山脈主要類群。

(a)



(b)



(c)

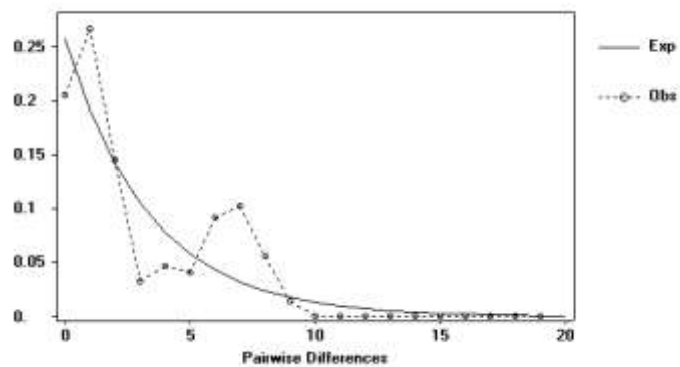


圖 3-29 臺灣水鹿族群核苷酸錯位分布分析(Mismatch distribution)。利用軟體 DNASP 根據臺灣水鹿 D-loop 序列間核苷酸差異數量差異與核苷酸數量差異頻率繪製。橫座標表示序列間差異核苷酸數量，縱座標表示對應頻率。虛線為實際觀測值，實線為穩定族群(stable population)模型(Rogers and Harpending, 1992)下的預期分布。a:陶塞雪霸類群 b:中央山脈主要類群 c:臺灣水鹿所有族群。

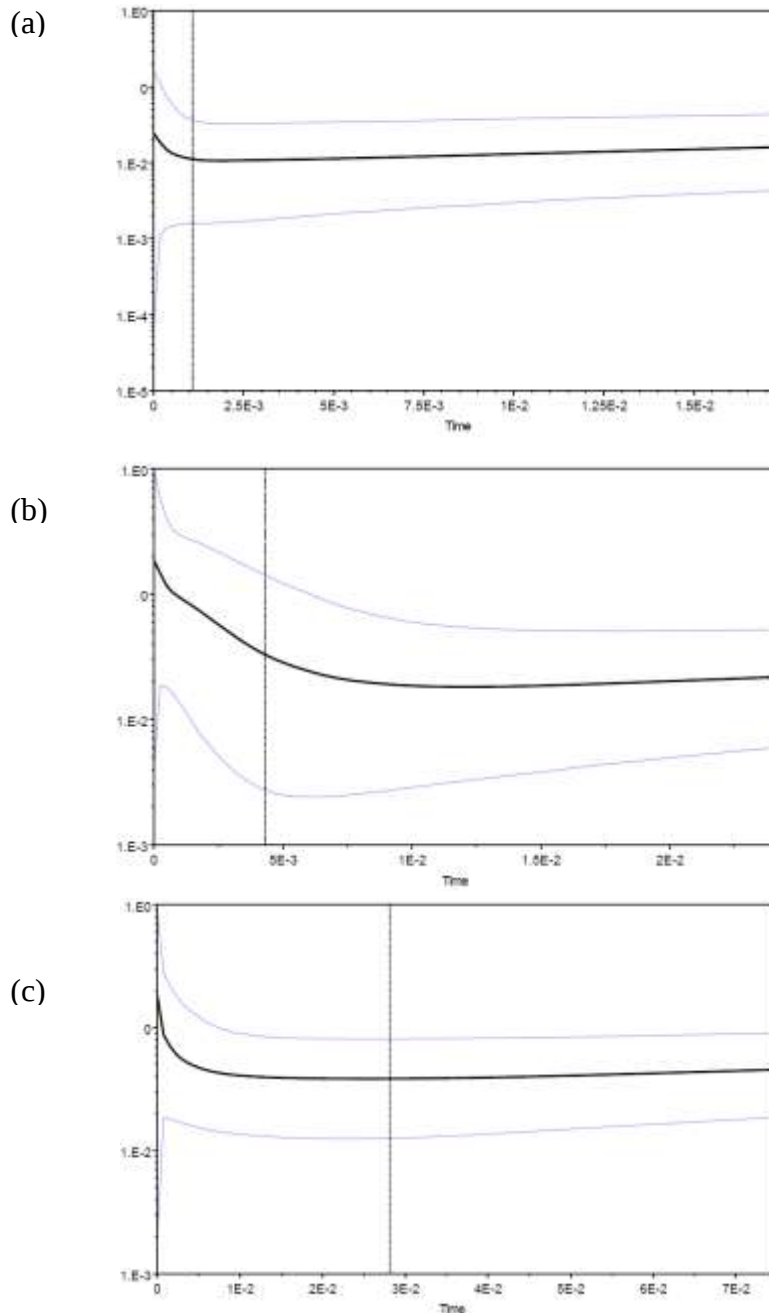


圖 3-30 檢測臺灣水鹿歷史族群變動事件之貝氏天際線圖。利用 BEAST 軟體根據臺灣水鹿 D-loop 序列繪製貝氏天際線圖。橫座標軸表示距今多久前的時間(每百萬年)，主要依據鹿科動物 D-loop 序列每百萬年 0.04 個鹼基置換速率 (substitutions rate per million year) 換算而成，橫座標軸表示有效族群數量與世代長度之相乘值。中間黑色實線表示貝氏天際線的估計值，上下兩條淺藍線為 95% 信賴區間的標示。垂直虛線為最近共同祖先出現時間(TMRCA)的往下 95% 信賴區間。a: 陶塞雪霸類群 b: 中央山脈主要類群 c: 臺灣水鹿所有族群。

第四章 討論

第一節 棲地選擇與水鹿分布調查

過去研究顯示海拔、與道路距離、森林面積、降雨量、坡向等因子都可能影響水鹿的棲地選擇(Kushwaha et al., 2004; Forsyth et al. 2009; Gormley et al., 2011; Yen et al. 2013)，本研究採用尺度較細的環境因子進行探討，其中南湖山區為遊憩壓力最大的地區，以逐步回歸分析發現水鹿 OI 明顯受到與登山路徑距離、與山屋距離所影響，越遠離人類干擾的地方水鹿相對豐度越高，以單變數相關性分析時則發現與公路距離、與水源距離亦與水鹿 OI 呈正相關，整體而言本區水鹿相對豐度亦受人類干擾因子影響，傾向避開人類干擾區。另外三個樣區則都是人為干擾很低的地區，在楠溪林道發現水鹿 OI 與坡度呈負相關，這與過去研究的發現相同，但過去研究使用的是尺度較大的環境整體坡度(王穎等 2012; 顏士清 2013)，本研究所採用的則是相機點位上的微棲地坡度，有效佐證了過去研究的推測，此外水鹿 OI 與側向開闊度呈正相關，顯示水鹿在本區可能因較缺少天敵，不會特別需要遮蔽度高的地方。陶塞溪與托博闊溪樣區則可能因樣本數較少，各因子均未被發現有顯著影響。

在南湖山區，呂光洋等(1983)的調查顯示水鹿分布在南湖溪、中央尖溪、南湖南峰等處，吳海音等(2004)的調查則記載水鹿痕跡主要發現於南湖圈谷及馬比杉山間，王穎等(2008)的調查則顯示水鹿以往外擴散到多加屯山至雲稜山莊之間，本研究目前所發現最外圍的水鹿痕跡則繼續往外拓展到松針營地，距離 710 林道已經很近，意味著本區的水鹿族群正逐年擴張。本區過去缺乏利用自動相機之調查，僅王穎等(2012)有部分相機架設在本區，本研究將提供南湖山區首次的自動相機調查資料。以同為太魯閣國家公園內高海拔地區的奇萊山區自動相機調查資料來比較(王穎等 2010)，該區水鹿 OI 為 7.74，較本區水鹿 OI 值 4.78 更高，表示南湖山區水鹿相對豐度可能低於奇萊山區，也低於玉山國家公園的南二段與新康山區(OI=15.2)(翁國精等 2009)。

在陶塞區，陳怡君等（2009）的調查報導水鹿僅在未受破壞的天然環境即陶塞溪區被拍攝到，水鹿在陶塞溪區的 OI 值為 1.11，竹村附近未記錄到水鹿，但本研究已可在竹村一帶找到水鹿痕跡，整體水鹿 OI 為 18.16，顯示近幾年梅園竹村道路毀損，人為干擾減少後，水鹿分布範圍明顯的向外擴張。

在楠溪林道，王穎等（1996）經過 55 個工作天的調查，僅在林道 10 k 處目擊 1 隻次水鹿，排遺則在林道更深處才發現，多半出現在海拔 2000 m 以上的區域，楊國禎等（2004）調查顯示水鹿在林道 8 k 處開始出現，而黃美秀及簡熒芸（2004）在林道 15 k 之後進行穿越線調查，該年共目擊 3 隻次水鹿，並指出痕跡數量在林道越深處越多，姜博仁等（2010、2011）的研究則發現塔塔加登山口旁的麟趾山步道及新中橫公路附近（OI=0.24）即有水鹿出沒，這些文獻顯示本區水鹿有增加、擴散趨勢。本研究在此區 8 個工作天便目擊了 5 隻次水鹿，也在麟趾山步道上近距離聽到水鹿叫聲，亦為本區水鹿擴散、增加趨勢之佐證。此外，本區過去已進行過數次自動相機調查，包括黃美秀及簡熒芸（2004）的調查在林道 7.5 k 至 28 k 間架設相機，水鹿 OI 為 1.82，楊國禎等（2010）在林道 7 k 至 11 k 間架設相機，水鹿 OI 為 2.7，姜博仁等（2010）在塔塔加區架設相機，水鹿 OI 為 1.41，而本研究之水鹿 OI 為 15.53，顯示水鹿相對豐度可能持續增加，惟須注意不同相機機型可能造成拍攝成果的差異。

此外值得一提的是在楠溪林道約 4.5k 處以自動相機拍攝到黑熊，此處距離塔塔加玉山登山口直線距離僅約 260 m。本區過去發現黑熊的紀錄出現在楠溪橋至梅蘭鞍部間（王穎等 1996；黃美秀及簡熒芸 2004；楊國禎等 2004），但近年陸續在大鐵杉東北方（姜博仁等 2010）、孟祿亭附近（姜博仁等 2011）都發現黑熊活動，顯示黑熊漸漸會使用這個地區。

南湖山區為臺灣岳界極負盛名，吸引許多登山客前往攀登，其中南湖大山為更被列為臺灣五嶽中的北嶽，但是本區的動物資源調查資料很少，本研究提供了本區自動相機調查資料，提供了本區動物資源概況，並可做為未來長期監測的第一步資料。陶塞溪流域的梅園、竹村近幾年因為土地回收、道路毀損，居民漸漸

遷離，遊客也難以進入，與陳怡君等（2009）的調查資料相比，可以發現本區的動物資源越來越豐富，實為保育上的喜訊，但本區仍有大量犬隻活動，並可發現犬隻活動多的處所野生動物明顯較少，未來本區或可做為研究犬隻對野生動物影響的研究樣點。而楠溪林道過去有較多調查紀錄，本研究提供此區最新一次的自動相機調查資料，與過去文獻比較可發現山羌跟水鹿的相對數量增加，水鹿、黑熊的活動區域也往外拓展。托博闊溪為太魯閣國家公園境內人跡最罕至的地區之一，昔有太魯閣族部落位於此區，目前均已遷離，留下大量遺址與極豐富的動物資源，本研究提供了此區第一筆調查資料，發現在此區可找到許多種保育類哺乳動物，研究人員更曾在此目擊三次臺灣黑熊，顯示本區動物資源之珍貴性，未來應加以注重及保護。

根據本團隊的水鹿捕捉經驗，在各高海拔水鹿多且不怕人的地區，如能高安東軍、南二段、嘉明湖等，以現有方法捕捉水鹿應非難事，但若想要把研究樣區拓展到中海拔、水鹿怕人的地區，現有方法則十分不足，必須得嘗試籠舍式陷阱，而楠溪林道所具有的多項優點，令其可做為建立此技術的良好樣區。在南湖山區捕捉水鹿的難度相對較高但尚可嘗試，如欲捕捉建議須配合其他方法，例如以麻醉槍遠距離射擊麻醉，再藉麻醉針上的無線電找到昏睡中的個體，此法應可大幅增加成功機率，但相關設備昂貴，且根據經驗，水鹿對麻醉藥的抗性很強不易進入麻醉第三期，為較不利之缺點。而陶塞溪的路況過於危險，今年五月豪雨之後更是難以通行，以致目前暫時無法回收相機資料，欲在此進行研究，進出樣區路程上的安全性堪慮，因此評估為不建議捕捉。

第二節 水鹿族群密度與啃食磨角調查

到目前為止，臺灣地區水鹿族群密度的估算已經累積了相當的資料，包括玉里野生動物保護區、馬布谷及太平谷、拉庫音溪山屋周邊、新康橫斷上的布新營地，及本研究估計的三個地區（圖 4-1），這些資料的累積有助於我們瞭解臺灣水鹿近年來備受矚目的啃食現象背後的原因。

目前研究人員對於水鹿啃食樹皮的原因還沒有定論，而鹿科動物啃食樹皮的原因主要有四個假說，包括食物替代品假說、營養假說、消化效益假說及自我醫療假說。但不同國家、不同物種甚至同種但不同區域的鹿科動物啃食樹皮的原因都不一致。如日本富士山的梅花鹿於冬季主要食草都被雪覆蓋住時才大量啃食樹皮，因此可推測是屬於食物替代品假說(Jiang, 2005)。不過在日本大苔原山地區的梅花鹿啃食樹皮的高峰卻是在夏季，明顯不適用於食物替代品假說(Ando, 2004)。根據翁國精等人（2010）於玉山國家公園新康山區所做的調查發現，臺灣水鹿啃食樹皮的高峰在夏季(6~8 月)，因此臺灣水鹿也並不適用食物替代品假說。從本研究的調查結果發現，楠溪林道的水鹿族群密度遠較新康山區的布新營地為低(圖 4-1)，樹木被水鹿啃食的百分比為 11.2%，也低於新康山區的 27%（翁國精等，2010），顯示水鹿族群密度與樹木被啃食的程度似乎有某種程度的關聯。

雖然本研究發現 OI 值（代表水鹿活動頻度）與樹木受損程度成正相關，但無論樹木被啃食或磨角的比例與 OI 值之間的線性迴歸皆未達統計上的顯著。從楠溪林道來看，除了紅檜的啃食痕跡之外，大部分樹木受損的痕跡皆相當老舊，顯示水鹿對紅檜以外的樹木的啃食及磨角行為發生在過去，目前相機所獲得的 OI 值是反應當前的水鹿活動頻度，因此 OI 值與樹木受損程度雖然仍呈現正相關，但相關係數不高。

然而，水鹿族群密度顯著高於楠溪林道的竹村以及南湖大山地區(圖 4-1)，水鹿啃食樹皮的程度卻相當輕微，竹村地區甚至沒有紀錄到水鹿啃食樹皮的痕跡。

由此可知，水鹿啃食樹皮的現象並不僅與族群密度相關，還與特定的族群對於樹皮有特定的需求有關。

根據以上的討論，臺灣水鹿啃食樹皮的原因應較適用於營養假說與自我醫療假說。因此，往後對於臺灣水鹿啃食樹皮的調查以及研究的方向應著重於了解玉山國家公園(楠溪林道、新康山區)的水鹿族群與太魯閣國家公園(南湖大山與竹村地區)的水鹿族群是否有生理上或健康上的差異，導致兩族群對於攝取樹皮的需求有如此明顯的不同，以及背後造成此現象的原因。

雖然楠溪林道的水鹿族群密度遠較新康山區為低，但仍有兩點值得注意。首先，楠溪林道的水鹿族群密度已達 Tilghman (1989) 所提出的警戒值，雖然該研究的物種及環境與臺灣不盡相同，但仍須注意楠溪林道水鹿啃食現象的發展。其次，楠溪林道（包含未調查的區域）有多處紅檜造林地，此地又極少水鹿在高海拔地區所偏好的鐵杉、冷杉、華山松等樹種，因此水鹿在楠溪林道啃食紅檜的情況相當明顯，本研究推測可能是因為紅檜樹皮較薄，且容易剝離，因而受水鹿偏好。即使水鹿族群密度維持現狀而不再上升，對於紅檜的持續啃食最終仍會造成這種高經濟價值的樹種損失，本研究建議林木管理單位應考慮採用圍籬等保護措施。此外，水鹿所啃食的樹木胸高直徑明顯偏向 20 公分以內，與過去在南二段及新康山區的發現一致（翁國精等 2009，2010），顯示水鹿的啃食很可能會影響森林的更新。

本研究亦發現南湖山區與楠溪林道之間除了啃食現象的差異之外，水鹿活動頻度（OI 值）高低與地被植物覆蓋度高低之間的關係在兩個樣區呈現相反的結果。在南湖山區，水鹿在禾草覆蓋度高但闊葉草覆蓋度低的環境活動頻度較高，而水鹿在楠溪林道則是在禾草覆蓋度低但闊葉草覆蓋度高的環境活動頻度較高，這種相反的現象很可能與兩個樣區的禾草種類有關。南湖山區為高海拔地區，禾草組成主要為玉山箭竹，亦即水鹿在高海拔地區的主要食草；而楠溪林道屬於中海拔地區，玉山箭竹並非優勢的禾草類，而在此海拔範圍中，水鹿是以闊葉草類為主食的中間偏嫩食者（李玲玲及林宗以，2006）。因此，雖然南湖山區

與楠溪林道的地被植物覆蓋度與水鹿活動頻度的關係呈現相反趨勢，卻同樣顯示水鹿活動頻度與環境中的食草覆蓋度成正相關，而非僅與地被植物覆蓋度有關。

第三節 臺灣水鹿的遺傳分化與族群歷史

壹、臺灣水鹿粒線體之遺傳多樣性

本研究收集分析 379 份野生水鹿排遺中的粒線體 D-loop 序列，得到 19 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板邊、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 3-26）。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 3-9）。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）。

貳、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 0.9517~0.66296 與 0.00656~0.00843。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（0.03557~0.08592）與遺傳距離（0.00016~0.00103）。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野獸到某種程度限制。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 SNG08 單套型樣本數量最高，位於 1-2 階層中間，其他單套型均由它成星狀（star-like）分散出去，故猜測 SNG08 是陶塞雪霸類群的共同祖先。另外，SNG05、SNG06、SNG07 單套型局限在奇萊能高（包括板邊天長），SNG06（70 個樣本）亦由 SNG08 演化而來，顯示奇萊能高以北水鹿是以 SNG06 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。

參、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？

肆、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 37,250 至 74,500 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 年後有急速擴。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。

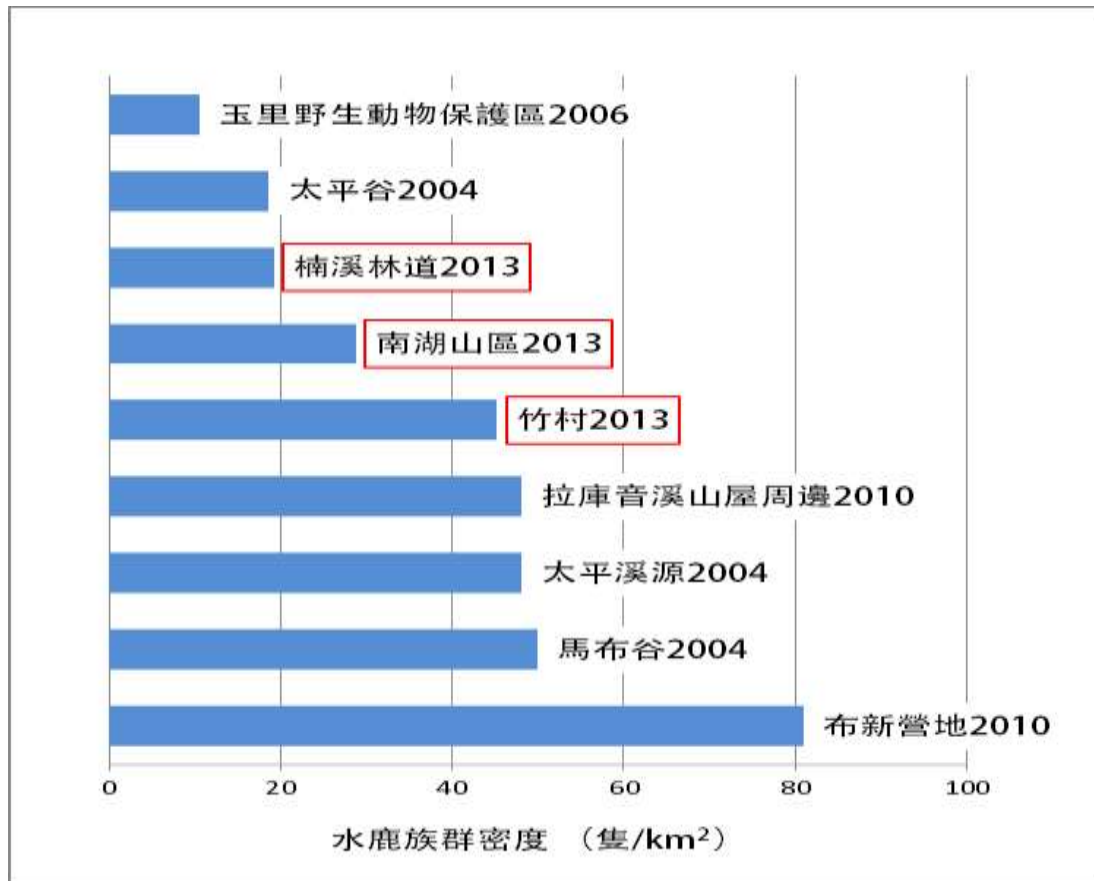


圖 4-1、臺灣各地區水鹿族群密度估計值。

資料來源：玉里野生動物保護區：李玲玲及林宗以，2006；馬布谷、太平谷及太平溪源：李玲玲及林宗以，2004；拉庫音溪山屋周邊及布新營地：翁國精等，2010；楠溪林道、南湖山區及竹村：本研究。其中玉里野生動物保護區、馬布谷、太平谷及太平溪源是以糞堆計數法估計族群密度，其他地區是以自動相機配合捕捉標放法估計族群密度。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究於南湖山區、陶塞溪、楠溪林道、托博闊溪四個樣區進行研究，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，托博闊溪則有極豐富的動物資源。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。未來如欲捕捉水鹿做更深入研究，楠溪林道為較佳之地點，但須嘗試改使用籠舍式陷阱或麻醉槍加發報器直接麻醉。

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，可能也與族群本身的生理或健康狀況有關。未來應釐清水鹿啃食現象的成因，以利經營管理措施的擬定。楠溪林道的水鹿族群密度相對於其他地區雖然較低，但水鹿對紅檜的啃食相當明顯，建議在紅檜造林地設立圍籬，以防止水鹿啃食而造成經濟損失。

至今研究結果亦顯示，緯度較低的臺灣南部於上次冰河期後，氣溫回暖較早，族群數量的擴張因此領先於緯度較高的北部陶塞雪霸族群。此外，奇萊能高以北 2,700 公尺以上為雪線，高山地形與植被降遷的限制，使水鹿的合適棲地往低海拔移動，限制了水鹿的遷徙與棲地範圍。根據分析結果，過去陶塞雪霸主要類群相對數量皆較中央山脈主要類群少，故族群數量擴張相對較晚較小。本研究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，不但限制族群數量擴張，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。

第二節 建議

建議一

增加對登山客之環境教育：立即可行建議

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

協辦單位：中華民國國家公園學會

南湖山區可能因登山客多、人為干擾較大，動物資源豐富度略遜於其他中央山脈的中高海拔地區，未來可增加對登山客的解說教育與環境教育，以期降低對生態的干擾。

建議二

待梅園竹村路況穩定後，再進行後續研究：立即可行建議

主辦單位：太魯閣國家公園管理處

陶塞溪區動物資源豐富，極具研究潛力，更可探討自由活動犬隻對野生動物之影響，但因路況不穩定，在此區進行研究的危險性及不確定性較高，建議未來待路況較穩定後，再於此區進行後續研究。

建議三

持續回收水鹿追蹤資料：立即可行建議

主辦單位：臺灣師範大學生命科學系

協辦單位：太魯閣國家公園管理處

本年度雖已不再捕捉水鹿，改以相機法進行更廣泛的研究，但奇萊山區仍有

數隻水鹿掛有項圈，本研究團隊仍將繼續嘗試回收項圈資料，讓追蹤研究結果更加完整。

建議四

在紅檜造林地設置圍籬防水鹿啃食：立即可行建議

主辦單位：玉山國家公園管理處

楠溪林道的水鹿族群密度相對於其他地區雖然較低，但水鹿對紅檜的啃食相當明顯，建議在紅檜造林地設立圍籬，以防止水鹿啃食而造成經濟損失。

建議五

增加太魯閣國家公園、雪霸國家公園研究樣區，並繼續深入水鹿遺傳研究：

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：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。

建議六

研究水鹿啃食樹皮之原因：中長期建議

主辦單位：玉山國家公園管理處、太魯閣國家公園管理處

協辦單位：中華民國國家公園學會

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，可能也與族群本身的生理或健康狀況有關。未來應釐清水鹿啃食現象的成因，以利經營管理措施的擬定。

建議七

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：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。

建議八

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：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。進行型態學研

究，以銜接遺傳與外觀形態間的關係。

建議九

在地原住民與水鹿共存情況調查：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：中華民國國家公園學會

因應水鹿工作坊規劃近程工作與本案水鹿研究之必要，需針對在地原住民族與水鹿共存之生態相關傳統知識，進行蒐集與整理

建議十

辦理國際水鹿研討會議：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：中華民國國家公園學會

聯合台灣島、東亞、及其他國家，進行水鹿國際交流研討會議，促進研究成果跨域交流，並整合國際水鹿研究之成果。

附錄一、南湖山區、陶塞溪流域、托博闊溪流域、楠溪林道水鹿棲地

選擇研究，自動相機站架設位置與相關環境因子。

地區	編號	架設 季節	經度 (TWD97)	緯度 (TWD97)	海拔 (m)	坡度 (°)	樹冠遮 蔽度 (%)	側向開 闊度 (m)	與公路 距離 (m)	與水源 距離 (m)	與登山 路徑距 離(m)	與山屋 距離 (m)
南湖山區	A	春	286959	2695903	2359	48	85	8	2300	189	17	864
南湖山區	B	春	288037	2695950	2716	22	86	13	3100	993	21	241
南湖山區	C	春	288738	2695830	2765	19	94	4	3500	733	17	924
南湖山區	D	春	289282	2696045	2718	15	86	18	3700	400	60	1300
南湖山區	E	春	289921	2696741	2526	25	88	20	3700	793	34	384
南湖山區	F	春	290192	2697059	2576	27	90	6	3500	298	67	100
南湖山區	G	春	290999	2696897	2791	28	91	21	4300	480	38	781
南湖山區	H	春	292372	2697163	3121	32	27	19	5300	426	30	1100
南湖山區	I	春	292853	2697407	3209	7	51	15	5700	569	80	605
南湖山區	J	春	295093	2696109	3408	43	78	40	8300	931	54	200
南湖山區	K	春	294757	2694647	3545	22	86	9	8500	1254	48	941
南湖山區	L	春	295602	2695371	3516	46	71	5	9100	1306	73	1400
南湖山區	M	夏	287481	2696181	2607	44	86	18	2600	626	26	457
南湖山區	N	夏	288158	2696002	2714	26	94	6	3100	1091	14	376
南湖山區	O	夏	288690	2695729	2778	0	87	2	3600	642	60	879
南湖山區	P	夏	289186	2696118	2724	37	92	5	3500	309	65	1300
南湖山區	Q	夏	289991	2696666	2462	23	98	6	3700	860	52	384
南湖山區	R	夏	290366	2696933	2576	26	96	7	3500	380	41	142
南湖山區	S	夏	291143	2696984	2812	58	91	13	4300	392	11	919
南湖山區	T	夏	292164	2697229	3115	26	26	19	5400	628	44	1300
南湖山區	U	夏	293181	2697282	3194	55	97	3	6100	596	20	258
南湖山區	V	夏	295216	2696250	3454	46	93	12	8300	793	188	348
南湖山區	W	夏	294635	2694486	3531	11	90	16	8600	1073	50	1100
南湖山區	X	夏	295679	2695281	3485	21	64	18	9200	1250	190	1600
南湖山區	Y	秋	288741	2695830	2766	5	100	4	4000	571	43	2100
南湖山區	Z	秋	289862	2696794	2529	43	46	9	3500	580	15	712
南湖山區	AA	秋	288177	2695937	2690	35	79	22	3400	538	45	2600
南湖山區	BB	秋	289294	2696177	2691	10	100	3	4300	131	8	1400
南湖山區	CC	秋	295321	2696102	3418	40	79	24	8500	972	9	1200

附錄一、（續） 南湖山區、陶塞溪流域、托博閣溪流域、楠溪林道

水鹿棲地選擇研究，自動相機站架設位置與相關環境因子。

地區	編號	架設 季節	經度 (TWD97)	緯度 (TWD97)	海拔 (m)	坡度 (°)	樹冠遮 蔽度 (%)	側向開 闊度 (m)	與公路 距離 (m)	與水源 距離 (m)	與登 山路 徑距 離(m)	與山屋 距離 (m)
南湖山區	DD	秋	294755	2694508	3525	35	88	19	8700	1200	137	1800
南湖山區	EE	秋	295561	2695270	3484	35	88	6	9000	1400	122	1700
南湖山區	FF	秋	290330	2697006	2610	35	92	5	3600	291	95	293
南湖山區	GG	秋	292136	2697244	3120	10	33	28	5100	667	112	1300
南湖山區	HH	秋	293237	2697534	3300	32	63	7	6100	845	85	352
南湖山區	II	秋	291058	2697005	2817	20	99	10	4300	353	37	512
南湖山區	JJ	秋	287520	2696285	2617	10		21	2600	484	104	3100
陶塞溪	1	春	299503	2682347	995	30		13	3600	122		
陶塞溪	2	春	300267	2683017	974	22		12	4500	60		
陶塞溪	3	春	301015	2684150	1081	14	87	5	5700	791		
陶塞溪	4	春	300813	2684499	1158	19		30	6100	858		
陶塞溪	5	春	300976	2685347	1055	9	90	15	6900	558		
陶塞溪	6	春	301282	2686064	1166	11	78	14	7700	124		
陶塞溪	7	春	300907	2686803	1513	7	85	29	8300	347		
陶塞溪	8	春	301459	2687824	1924	20	90	25	9500	900		
楠溪林道	13	春	239758	2594779	1861	48	85	24	3000	236		
楠溪林道	19	春	239702	2595529	2251	15	92	19	2500	624		
楠溪林道	24	春	240607	2595547	2085	27	94	23	3000	610		
楠溪林道	27	春	240108	2596421	2377	50	89	11	2100	1322		
楠溪林道	29	春	240417	2594754	1916	15	88	22	3400	292		
楠溪林道	36	春	239335	2597040	2810	25	59	6	1100	1077		
楠溪林道	001	夏	239176	2596879	2839	30	54	23	1100	1400		
楠溪林道	003	夏	239796	2596424	2368	35	83	15	1800	1200		
楠溪林道	005	夏	239780	2595551	2268	5	89	13	2400	709		
楠溪林道	006	夏	238722	2595913	2322	48	90	10	1400	585		
楠溪林道	007	夏	240568	2595296	2037	20	84	30	3300	415		
楠溪林道	079	夏	239975	2594784	1865	43	88	23	3100	284		
楠溪林道	075	夏	240260	2594831	1900	14	92	18	3300	219		
楠溪林道	002	秋	239729	2597041	2603	42	87	12	1500	1200		
楠溪林道	004	秋	239715	2596703	2484	50	89	10	1600	1400		

附錄一、（續） 南湖山區、陶塞河流域、托博闊河流域、楠溪林道

水鹿棲地選擇研究，自動相機站架設位置與相關環境因子。

地區	編號	架設 季節	經度 (TWD97)	緯度 (TWD97)	海拔 (m)	坡度 (°)	樹冠遮 蔽度 (%)	側向開 闊度 (m)	與公路 距離 (m)	與水源 距離 (m)	與登 山路 徑距 離(m)	與山屋 距離 (m)
楠溪林道	008	秋	240394	2594955	1917	30	90	25	3200	230		
楠溪林道	009	秋	240762	2595147	1997	34	89	20	3400	199		
楠溪林道	010	秋	240127	2595736	2133	57	91	8	2500	1000		
楠溪林道	019	秋	239702	2595529	2251	15	92	19	2500	624		
托博闊溪	一	全年	288175	2666119	3017	5	0	40	8200	792		
托博闊溪	二	全年	288066	2665855	2990	24	0	26	8400	593		
托博闊溪	三	全年	287712	2667941	2605	39	100	33	6300	572		
托博闊溪	四	全年	287753	2668513	2546	15	100	34	5800	171		
托博闊溪	五	全年	287764	2668691	2500	5	97	25	5600	163		
托博闊溪	六	全年	287880	2669105	2217	15	100	17	5200	227		
托博闊溪	七	冬	288450	2669747	1768		100	40	4500	136		
托博闊溪	八	冬	289144	2670453	1580	11	50	32	3800	24		
托博闊溪	九	冬	289309	2670739	1653	10	100	14	3600	243		
托博闊溪	十	冬	289188	2671448	2048	29	100	14	2900	704		
托博闊溪	十一	全年	290260	2672109	1485	30	100	32	2600	245		
托博闊溪	十二	全年	290848	2672242	1326	3	100	21	2800	122		

附錄二、期中簡報審查會議紀錄

太魯閣國家公園管理處

「台灣水鹿跨域整合研究(二)」期中簡報審查會議 簽到簿

時 間：102 年 7 月 9 日(星期二)上午 9 點 00 分	
地 點：本處會議室	
主持人：曾處長偉宏	記錄：高欣
報告人：王毅	
出席	簽 到 處
中華民國國家公園學會	翁國精 朱智田 顏士清 廖錫銓
玉山國家公園管理處	◎ 余佩珊
雪霸國家公園管理處	
張副處長登文	
林秘書忠杉	林忠杉
企劃經理課	賴東鵬
環境維護課	
解說教育課	孫的明
保育研究課	陳俊山
遊憩服務課	黃志強
合歡山管理站	高欣 顏清梅
天祥管理站	
布洛灣管理站	
蘇花管理站	

『台灣水鹿跨域整合研究（二）』

期中簡報審查會議紀錄

一、時間：102年7月9日上午9時

二、地點：本處大會議室

三、主持人：曾處長偉宏

記錄：高 欣

四、與會人員：如簽到簿

五、主辦課室報告：依契約第二條規定應於102年6月25日前提出期中報告書，本案中華民國國家公園學會於102年6月24日送達，符合契約規定，並出席本處排定今日之期中審查會議。

六、簡報

七、討論：

1. 本案研究團隊進入陶塞河流域進行調查部分，因梅園竹村步道2.7KM及3.3KM方處較不穩定，潛在風險高，建議調整樣區或待颱風季節過後再行進入做監測工作，相關於族群數量估算，則依研究團隊建議之模式推估。
2. 玉管處余珮珊技士所提出：1. 玉管處水鹿數量增加是否造成山坡地坍方情形。2. 新中橫沿線架設照相機之位置有無遊客干擾之虞。3. 建議以籠舍捕捉水鹿須與相關單位申請。本案研究團隊認為水鹿啃食與磨角確實會造成植被及林相之破壞

但不會是造成山坡崩塌的主要成因。而在新中橫沿線架設照相機之位置應屬公路周邊區域，離公路較遠且隱密之水鹿慣用路徑上架設，無遊客干擾之虞。有關捕捉水鹿之建議部分，本年度之研究僅就現有水鹿分布與環境等捕捉限制因子進行評估，尚無實際捕捉之計畫。

八、結論：

1. 有關101年度各委託（研究）辦理計畫簡報電子檔，會後保存於本處公用區U:\業務資料區\04-簡報區\保育課\102\期中簡報 資料夾中，提供本處各業務課室經營管理參考運用。
2. 本案期中簡報原則通過，相關與會同仁建議請納入計畫執行參考，並請依契約規定辦理第二期款款項請領程序作業及辦理後續調查工作。

九、散會：同日上午9時50分

附錄三、期末簡報審查會議紀錄

太魯閣國家公園管理處

「台灣水鹿跨域整合研究(二)」期末簡報審查會議 簽到簿

時 間：102 年 12 月 5 日(星期四)上午 11 點 00 分	
地 點：本處會議室	
主持人：曾處長偉宏	
紀錄：高欣	
報告人：王毅 朱有田 翁國精	
出席	簽 到 處
中華民國國家公園學會	張郁琦 鄭淑仁 李冠廷
玉山國家公園管理處	吳沛珊
雪霸國家公園管理處	傅國銘
張副處長登文	
林秘書忠杉	
企劃經理課	李惠壽
環境維護課	高曉凱
解說教育課	林茂耀
保育研究課	李佩芳
遊憩服務課	
合歡山管理站	
天祥管理站	鄧月娥
布洛灣管理站	
蘇花管理站	

『台灣水鹿跨域整合研究（二）』

期末簡報審查會議紀錄

一、時間：102年12月5日上午11時

二、地點：本處大會議室

三、主持人：曾處長偉宏

記錄：高 欣

四、與會人員：如簽到簿

五、主辦課室報告：依契約第二條規定應於102年6月25日前提出期末報告書，本案中華民國國家公園學會於102年11月22日送達，符合契約規定，並出席本處排定今日之期中審查會議。

六、簡報

七、討論：

一、 本案請於報告書(簡報)中更明確指出水鹿跨域整合計畫之重要性，研究案欲解答的問題，強化與今日關心之環境變遷、全球暖化、各項國際組織發表公約或倡議等議題之關聯。另本案各區域相關水鹿族群數量部分還請研究團隊更明確估算現有隻數，提供經營管理團隊之重要參考數據。

二、 玉管處吳沛珊技士：

1. 有關啃食行為在玉山處轄區與太魯閣南湖陶塞等區之差異，是否可能為登山客遊憩行為之干擾造成差異。

2. 本案報告書內文及圖表各項數據請重新核對(如I0值等)，以確保內文、圖表數據一致性。

研究團隊回覆：

1. 本案研究團隊認為水鹿啃食之行為應與登山客遊憩行為較無直接關係，而是水鹿族群健康與植物營養成份有關。
2. 報告書內容數據資料會重新核對確認。

三、 雪管處傅國銘技士：

1. 有關捕捉水鹿之方式為何。
2. 項圈是否有自動脫落之設計。

研究團隊回覆：

1. 研究團隊本年度之研究僅就現有水鹿分布與環境等捕捉限制因子進行評估，尚無實際捕捉之計畫，另過去採用霧網圍捕及配合專業獸醫麻醉捕捉之方式，詳細方法仍請查閱研究報告書。
2. 另項圈皆有自動脫落之設計，惟因部分平價項圈妥善率較差，需人力協助。

四、 報告書內容請彙整並依據委託研究規定格式編排，送本處確認無誤後，再依契約規範數量印製。

八、結論：

1. 有關102年度各委託（研究）辦理計畫簡報電子檔，會後保存於本處公用區U:\業務資料區\（04-簡報區）\保育課\102\期末簡報資料夾中，提供本處各業務課室經營管理參考運用。
2. 本案期末簡報原則通過，相關與會同仁建議請納入計畫執行參考，並請依契約規定辦理第三期款請領程序作業及辦理後續調查工作。

九、散會：同日上午9時50分

參考書目

- Ando, M, Yokota, H, and Shibata, E. 2005. Why do sika deer, *Cervus nippon*, debark trees in summer on Mt. Ohdaigahara, central Japan? *Mammal Study*, 29, 73-83.
- Chiang, P.J., Pei, K.J.C., Vaughan, M.R. & Li, C.F. 2012. Niche relationships of carnivores in a subtropical primary forest in southern Taiwan. *Zoological Studies*, 51, 500-511.
- 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.
- Forsyth, D.M., McLeod S.R., Scroggie M.P. & White M. 2009. Modelling the abundance of wildlife using field surveys and GIS: non-native sambar deer (*Cervus unicolor*) in the Yarra Ranges, south-eastern Australia. *Wildlife Research*, 36, 231-241.
- Gormley, A.M., Forsyth, D.M., Griffioen, P., Lindeman, M., Ramsey, D.S.L., Scroggie, M.P. & Woodford, L. 2011. Using presence-only and presence-absence data to estimate the current and potential distributions of established invasive species. *Journal of Applied Ecology*, 48, 25-34.
- Hein, J. 1990. Unified approach to alignment and phylogenies. *Methods Enzymol.* 183, 626-645.
- Jiang, Zhaowen, Ueda, Hironori, Kitahara, Masahiko, and Imaki, Hiroo. 2005. Bark stripping by sika deer on veitch fir related to stand age, bark nutrition, and season in northern Mount Fuji district, central Japan. *Journal of Forest Research*, 10, 359-365.

- Kushwaha, S.P.S., Khan, A., Habib, B., Quadri, A. & Singh, A. 2004. Evaluation of sambar and muntjak habitats using geostatistical modelling. *Current Science*, 86, 1390-1400.
- Librado, P. and Rozas, J. 2009. DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*, 25, 1451-1452 | doi: 10.1093/bioinformatics/btp187.
- 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.
- Otis, D., K. Burnham, G. White, and D. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife monographs*:3-135.
- Randi E. Pierpaoli, M. and Danilkin, A. 1998. Mitochondrial DNA polymorphism in populations of Siberian and European roe deer (*Capreolus pygargus* and *C. capreolus*). *Heredity*. 80, 429-437.
- Raymond, M., and Rousset, F. 1995. Genepop (version 3.4) : population genetics software for exact tests and ecumenicism. *J. Hered.*, 86, 248-249.
- Templeton A. R. 2004. Statistical phylogeography: methods of evaluating and minimizing inference errors. *Molecular Ecology*. 13, 789-809.
- Tilghman, N. G. 1989. Impacts of white-tailed deer on forest regeneration in Northwestern Pennsylvania. *Journal of Wildlife Management* 53: 524-532.
- Yen, S.C., Wang, Y., Ou, H.Y. 2013. Habitat of threatened Formosan sambar deer (*Rusa unicolor swinhoii*) in Taiwan. *Oryx*, in press.
- 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、陳怡君、賴慶昌。1996。玉山國家公園楠梓仙溪地區野生動物族群動態調查

- 與監測模式之建立。玉山國家公園管理處。46 頁。
- 王穎、顏士清、林子揚、陳匡洵、廖昱銓、賴冠榮。2010。奇萊山區臺灣水鹿之活動模式與空間使用。太魯閣國家公園管理處。40 頁。
- 王穎、顏士清、廖家宏、葉建緯。2008。太魯閣國家公園高山生態系--臺灣水鹿棲地使用之研究（一）。太魯閣國家公園管理處。52 頁。
- 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。
- 吳海音、吳世鴻、吳煜慧。2004。太魯閣國家公園高山地區動物資源基礎調查。太魯閣國家公園管理處。66 頁。
- 呂光洋、呂紹瑜、莊國碩。1983。太魯閣國家公園動物生態資源調查。太魯閣國家公園管理處。
- 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、江智民、喬雅玲、徐歷鵬、賴伯琦、黃重期。2010。玉山國家公園郡大溪流
流域地區生物資源勘查。內政部營建署玉山國家公園管理處。51 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。
- 姜博仁、朱祐璽、鄭蕙如、林宗億。2009。玉山國家公園塔塔加地區野生動物自動
化監測可行性評估。內政部營建署玉山國家公園管理處。
- 姜博仁、蔡世超、吳禎祺、林宗億。2010。玉山與塔塔加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。88 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-再捕捉法估計臺灣水鹿（*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。玉山國家公園管理處。88 頁。

陳佳萱。2012 臺灣梅花鹿、水鹿、蘭嶼豬與桃園豬粒線體 DNA 序列與親緣關係之研究。國立中興大學。博士論文。

陳怡君、王穎、賴冠榮、黃敏琪、廖昱銓。2009。代表性生態系經營管理－農業用地回收後生態復育計畫第一期。太魯閣國家公園管理處。72 頁。

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。

黃美秀、簡熒芸。2004。玉山國家公園楠梓仙溪地區中大型哺乳動物之族群監測。玉山國家公園管理處。69 頁。

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。

葉昌憲。1994 臺灣水鹿粒線體 DNA 序列之分析。國立師範大學。碩士論文。

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。

楊國禎、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。
- 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。
- 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。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。