

食蛇龜復育族群監測與幼龜無線電追蹤研究計畫

委託單位： 行政院農業委員會林務局

執行單位： 國立自然科學博物館生物學組

中華民國112年1月



此成果報告部分資料網路不公開

食蛇龜復育族群監測與幼龜無線電追蹤研究計畫

委託單位： 行政院農業委員會林務局
執行單位： 國立自然科學博物館生物學組
計畫主持人： 林展蔚
研究人員： 陳冠豪、孫雅筠

中華民國112年1月

行政院農業委員會林務局林業發展計畫

111年度單一計畫結案報告書

一、計畫名稱及經費

(一)中文名稱：食蛇龜復育族群監測與幼龜無線電追蹤研究計畫

(二)計畫經費：農委會林務局1,200千元，配合款0千元，合計1,200千元

二、計畫總連絡人

姓名：林展蔚 職稱：研究助理暨兩爬學門負責人

電話：0423226940#506 傳真：

電子信箱：jhanwei.lin@gmail.com

三、執行期限

全程計畫：自 111年3月1日 至 113年12月31日

本年度計畫：自 111年3月1日 至 111年12月31日

目錄

一、前言.....	1
1. 研究背景與緣起.....	1
2. 計畫目標與工作項目.....	4
二、研究方法與步驟.....	5
1. 研究樣地.....	5
2. 族群標放監測與估算.....	5
3. 幼龜移地野放與無線電追蹤.....	6
4. 食蛇龜遺傳分析.....	8
三、結果.....	9
1. ██████████食蛇龜族群標放監測狀況與族群量估算.....	9
2. 幼龜野放後健康狀況、成長與活動模式.....	10
3. 遺傳分析.....	12
四、討論.....	13
1. 食蛇龜族群標放監測與族群量估算.....	13
2. 幼龜健康狀況與成長率.....	14
3. 幼龜活動模式與棲地利用.....	16
五、總結與建議.....	18
六、參考文獻.....	19
附錄一、工作照.....	41
附錄二、2023 年動物行為暨生態研討會發表海報.....	43
附錄三、2023 年動物行為暨生態研討會發表摘要.....	44

圖目錄

圖 1、	.....	23
圖 2、幼龜野放後 (A) 健康狀況 (B) 背甲直線長 (C) 背甲弧長 (D) 背甲寬 變化趨勢.....	.....	24
圖 3、線性混和模型結果.....	.....	25
圖 4、2022 年 7 月 26 日至 11 月 30 日之幼龜活動範圍.....	.....	26
圖 5、2022 年 7 月 26 日至 11 月 30 日之幼龜個別活動範圍與移動路徑.....	.....	32
圖 6、158 筆幼龜躲藏處環境參數所占比例.....	.....	33

表目錄

表一、幼龜野放時體重及無線電發報器重量.....	34
表二、16種標放模型及其模式選擇.....	35
表三、最佳模型S (.) RM (.) p (.) 之族群參數估算值.....	36
表四、幼龜健康狀況及各項形質與天數的相關性檢定.....	36
表五、幼龜健康狀況線性混和模型統計結果.....	36
表六、幼龜活動面積與形質成長幅度.....	37
表七、不同組別幼龜健康狀況、活動面積與成長幅度的Kruskal Wallis Test統計結果.....	38
表八、線性迴歸統計結果.....	38
表九、18隻野放個體PCR-RFLP檢測結果.....	39
表十、本研究與國內其他食蛇龜無線電追蹤研究之比較.....	40

中文摘要

食蛇龜近十餘年來遭受嚴重的棲地破壞與盜獵壓力，野外族群極度受脅，近年來的學術研究以及保育行動等使我們對其族群遺傳、成長狀況、活動模式等有相當的了解，也持續進行移地野放以補充野外族群數量。然而目前食蛇龜移地復育面臨兩大挑戰，一為野外族群與再復育族群的詳細族群狀況未知，在未有參考基準下難以評估移地復育的實際效果。二為移地復育目前以成龜為主，幼龜族群與行為生態各方面資訊皆不明瞭，復育族群的族群結構完整性與持續性可能不足。本研究計畫（1）利用robust-design的標放實驗設計，對中部復育族群進行詳細標放，以了解復育族群之各項族群參數；2）進行野外幼龜追蹤，以了解幼龜的行為模式、棲地偏好、成長與存活情況，以及評估何種體型適合野放。目前首年度之標放分析結果顯示中部復育族群成龜之年存活率為87.35%，遷移模式為隨機遷移，年移出率與移入率分別為54.51%與45.49%，雌雄個體間之存活率與遷移率無顯著差異。2021年繁殖季末、2022年繁殖季初與季末樣地內成龜族群密度分別為每公頃3.35、1.86、2.61隻個體。依據目前族群參數估算值，此復育族群並無異常情況，有待日後持續進行標放實驗，增加估算之準確性以詳細推論復育族群之存續情況。幼龜追蹤近半年的存活率為94.40%，野放後個體狀況良好，本計劃之研究成果將能提供未來評估移地復育成效的基準，以及劃出幼龜適合野放的體型基線，使日後幼龜的移地復育野放也能施行，將能夠自族群基層復育食蛇龜族群，亦能透過幼龜野放稍微紓解各收容所的收容壓力。

關鍵字：食蛇龜、復育族群監測、標放實驗、無線電追蹤

一、前言

1. 研究背景與緣起

龜鱉類物種是全球受脅程度最嚴重的脊椎動物類群，其中亞洲淡水龜的情況尤為嚴重。以地澤龜科 (Geoemydidae) 物種為例，2018年的統計顯示74.2%物種的族群狀況被國際自然保育聯盟認定為瀕危與易危，龜鱉類族群下降的主要原因為棲地喪失、食用與寵物市場的過度利用，以及全球氣候變遷。本研究計畫針對之物種食蛇龜儘管近年已名列為保育重點物種之一，但其野外族群情況仍岌岌可危。

食蛇龜在分類上屬於地澤龜科 (Geoemydidae) 中的亞洲閉殼龜屬 (*Cuora*)。本屬包含12種在亞洲東部與東南部的半水棲或陸棲的淡水龜 (Uetz 2021)，食蛇龜為台灣唯一閉殼龜屬的種類，目前有兩個亞種，分別是指名亞種與琉球亞種。食蛇龜在台灣分布與人類活動頻繁的地區重疊，經濟開發下其族群與棲地受到嚴重分割，加以盜獵與開發嚴重，更使其族群受到嚴重威脅。近十數年來食蛇龜被獵捕的壓力嚴重，捕捉到的龜主要為供應海外（尤其是中國）寵物或食用市場 (Chen et al. 2009)。從2006年至今，國內執法單位查緝到十數次大宗食蛇龜的走私或違法飼養案例，總數已達數千隻，也因此食蛇龜名列我國保育類野生動物名錄。

過去研究著重於個體成長趨勢、野外族群基礎描述、繁殖潛力、族群分布狀態、棲地偏好與移動模式，以及族群遺傳與地理分化。綜合上述研究，目前已知食蛇龜成龜的平均活動範圍約1-2公頃，具有領域性，季節間的活動模式略有不同，冬季之活動範圍較夏季小。微棲地選擇層面，牠們偏好樹徑小但地表植被覆蓋度高的淺山森林環境，也因此分布於全台丘陵與近山麓區的低海拔淺山環境。但大尺度來看，全台灣僅部分區域有稍高的族群量，多數合適之棲地環境族群密

度極低，或是難以發現牠們的蹤跡。繁殖潛力相當受限，雌龜每年可繁殖1至2次，每次產1—5顆，此繁殖力暗示其族群成長的速度相對緩慢。遺傳層面上，粒線體基因型顯示東部和西部兩群有些許差異，詳細族群遺傳分化仍有待深入探究。此外，殼形之型態差異也暗示族群間可能有相當程度的分化。

移地復育是保育瀕危物種的及時手段之一，能夠幫助受脅物種在自然環境下建立穩定族群，以避免可能的滅絕事件。由於體系中已有大量的收容個體，台灣食蛇龜已進行移地復育多年。移地野放時經常使用發報系統來追蹤野放個體了解野放後的各項狀況，也因此有相當豐富的追蹤資料，對其移動模式、棲地偏好，以及野放後生長與存活情況有相當的了解。然而目前移地復育遭遇仍有兩大方向的難題，第一是不論原生或是復育族群，其詳細族群生態參數未明，二為幼龜野外之生態與行為情況幾乎完全未知，此二問題自影響食蛇龜的移地復育以及收容情況甚鉅，以下分述：

(1) 詳細族群生態參數未明

目前評估食蛇龜野外的族群情況的研究中多數以捕捉量來間接推估族群狀況、相對密度與族群結構，前人研究顯示雌雄性比偏差大，而幼龜的捕捉量極低。然而族群生態的其他重要參數，如存活率、族群數量、族群成長率、補充率、遷移率、壽命等都尚未明瞭，族群生態的詳細分析僅使用Jolly-Seber模式估算南仁山地區族群的數量與存活率，其樣區內族群密度為1.1-3.2隻/公頃，月存活率為0.31-1。詳細族群參數未知的情況下，不論原生或是復育族群的族群狀況與趨勢皆不明，族群成載量也未知，難以評估移地復育的效果。由於收容的食蛇龜數量眾多，野外族群又不斷減少，可期移地復育的持續進行，因此我們急需一個詳細族群調查作為日後評估效果之參考。

(2) 幼龜野外情況未知

爬行類幼年期的隱蔽特性使牠們難以捕捉，因此其於野外的族群狀態經常未明（Pike et al. 2008）其中尤以龜鱉類為最，最常被提及的案例為海龜的「消失的年代（the missing years）」現象（Carr 1986）。淡水龜物種也存在這種幼體隱蔽而導致難以研究的問題，幼龜在棲地偏好、移動模式、成長與存活等資訊全都闕如，其族群與行為情況一直是兩爬學中的大哉問（Ernst and Lovich 2009；Micheli-Campbell et al. 2013；Spangler et al. 2021）。然而生活史早期的族群狀態對龜類族群存續是極為關鍵的，僅知成龜而缺乏對幼龜的了解可能會對龜鱉類物種存續做出錯誤判斷（Lovich et al. 2018；Knoerr et al. 2021）。台灣的食蛇龜保育當然也面臨此種研究挑戰，在自然環境下極低的幼龜捕捉量為此現象造成之結果。除了飼養下的成長狀況外，目前我們對食蛇龜幼龜在野外的生態與行為完全不了解，移地復育自然也從未將幼龜納入考量。我們需要開始探究幼龜的野外生態與行為，了解後才可以將幼龜也規劃進移地復育的保育行動，自族群基層補充食蛇龜的數量，讓其族群結構更加完整，增加保育行動的永續性，亦能稍微舒緩各收容單位的收容壓力。

（3）食蛇龜族群遺傳未知

對食蛇龜全台地理區域之族群間之遺傳分化尚無科學研究，欠缺野放區域評估之合理判斷依據，為確認臺灣食蛇龜族群遺傳情形，以供保育單位做為後續該物種保育應用之參考依據，避免後續的保育行動（野放復育、移地保育、保種...等）造成本土食蛇龜族群基因污染。

2. 計畫目標與工作項目

(一)、全程目標:

1. 藉由詳細標放實驗設計，了解██████復育族群的存活率、數量、密度、族群成長率、忠誠性、遷移率、族群補充量等族群參數。由於此復育族群為過去長期經營食蛇龜保育之地區，其族群參數將可以做為日後移地復育成效的參考。
2. 以無線電追蹤技術，了解幼龜的移動模式、棲地偏好、野放成長率與存活率。除此之外，成果將能夠當作「何種體型幼龜適合野放?」的重要研究參考。
3. 以分子遺傳方法，確認國內食蛇龜地區分化情形，並就野放個體之遺傳差異進行分析。

(二)、本年度目標:

1. 藉由詳細標放實驗設計，了解██████復育族群的存活率、數量、密度、族群成長率、忠誠性、遷移率、族群補充量等族群參數。由於此復育族群為過去長期經營食蛇龜保育之地區，其族群參數將可以做為日後移地復育成效的參考。
2. 以無線電追蹤技術，了解幼龜的移動模式、棲地偏好、野放成長率與存活率。除此之外，成果將能夠當作「何種體型幼龜適合野放?」的重要研究參考。本年度將首先追蹤15隻個體，以初步了解幼龜於自然環境下的生態與行為。

二、研究方法與步驟

1. 研究樣地

研究樣區位於 [REDACTED] 過去該區域原本就有穩定的食蛇龜族群棲息在社區周遭的森林內，且近年來也開始推行友善農法，在農耕時盡量少用農藥及除草劑，社區周遭的森林反而因為人口老化的關係而沒有進行大規模的開發，因此仍然適合食蛇龜棲息及繁衍。此地區為吳聲海老師長期經營的食蛇龜野放地點，在2015起即與在地居們展開溝通與接觸，推廣食蛇龜保育觀念，也同時推廣在地居民生態教育，是棲地環境合適且盜獵風險較低的地區，也因此近年陸續野放150隻個體左右，為食蛇龜移地復育族群最佳研究地區之一，可以當作復育且未受干擾的自然族群範例。

2. 族群標放監測與估算

將利用 robust design 的標放設計 (Pollock 1982, Kendall et al. 1995)，此標放設計具有主與次兩階段的標放期，次標放期間隔極短，故可以視為存活率 100% 且無遷入遷出的封閉族群，進而能較準確的估算捕捉率與族群數量等族群參數；主標放期則間隔較長時間，視為開放族群，次標放期中的參數可用於主標期間的存活率、族群增長率、補充量、遷移率等開放族群參數的估算，是以能夠估完整估算標放族群的存活率、族群數量、密度、族群成長率、忠誠性、遷移率以及族群補充量詳細族群參數，也能因為捕捉率的估算而使偵測率的問題大大降低。

考量龜鱉類具有較長的壽命與較高的存活率，本研究計畫設計一年兩次的主要標放期，次標放期則設立為連續四天的標放（即每年兩次連續四天的標放）。

將於春末與秋初進行高強度的族群標放，計將於 111 年 3-4 月與 8-9 月，於野放點周邊半徑 100m 內選擇適合地點設置 90 籠，進行四天三夜設籠調查。採集方式使用市售的捕鼠籠內吊掛水果或肉類誘捕（附錄圖 1），工作天每日上午巡查捕捉結果並更換餌料。若捕獲食蛇龜會掃瞄晶片確定身分，並測量背甲直線長、背甲弧長、背甲寬及體重等資訊，紀錄完畢後原地釋放。若捕獲無晶片之個體，將紀錄測量上述形質，然後植入晶片後釋放。分析將使用 MARK（White and Burnham 1999），將並結合廣義線性迴歸（general linear model, GLM）、模式選擇（model selection）與概似比檢定（likelihood ratio test, LRT），找出估算上述族群參數之最佳模型，並檢驗族群參數是否隨著時間而有所波動，以量化整體族群穩定度的趨勢。

3. 幼龜移地野放與無線電追蹤

本研究計畫共標放 18 隻二至三歲的幼龜，依據背甲直線長將其分成 9 至 12 公分（ $n = 10$ ）及 12 至 12.5 公分（ $n = 8$ ）兩組進行追蹤。進行無線電追蹤的幼龜來源皆為行政院農業委員會特有生物研究保育中心（後續簡稱特生中心）收容之個體，本批主要來自 2019 年臺南地檢署查緝走私案件，當年 5 月份轉由特生中心保育類野生動物急救站與收容中心進行收容。追蹤前先測量其形質，包含體重、背甲長、最大背甲寬等，並植入被動式晶片以利個體辨識。無線電發報器使用 R1680（Advanced Telemetry Systems, Inc.），重 3.6 公克，電池可使用 189-441 天，接收器使用 TR-8（138–235 MHz, Telonics, Inc.）。發報器以環氧樹脂及塑鋼土黏附於第四盾上（附錄圖 2），以減低對交配之影響，其總重不超過追蹤個體的 3%（表一）。

幼龜從收容中心帶出後隨即將發報器安裝完畢，留置一天等待發報器黏著劑固定後，立即帶至野放點進行野放，以避免幼龜留置的時間過長。野放時為避免幼龜在運輸過程中產生緊迫而在釋放後進行長距離移動，因此採軟野放的方式進

行，本研究計畫的軟野放是以塑膠籃將幼龜框於有樹林遮蔭且隱蔽性高的區域 5 天（附錄圖 3），等待幼龜適應周遭環境後才進行野放。追蹤頻度方面，前期將於日間密集追蹤（附錄圖 4），以確定其日間活動模式的高低峰。其後將在活動期每月追蹤個體 2 次，休眠期則每月 1-2 次，每月初將會重新測量追蹤個體的形質特徵（附錄圖 5），以確認其成長情況，若發現身體情況極差之個體，我們將會回收此個體，讓牠在眷養環境下恢復，其追蹤資料將標註狀況極差而停止追蹤，分析上屬未成功適應野放環境之個體。不需測量形質之追蹤期將僅定位與記錄環境特徵，在休眠期間，由於個體可能藏於洞內或土下，為避免過度干擾其棲所與休息狀態，將視狀況搭配晶片式掃描器以減少對食蛇龜躲藏處的破壞。由於小型發報器蓄電量有限之故，追蹤發報器將每半年回收更換一次，以避免追蹤個體的遺失。定位時，每次無線電追蹤到個體後將記錄其座標（GPSmap 60CSx, Garmin Crop.），巨棲地（竹林、闊葉林、檳榔園、茶園、混合林、果園）、食蛇龜躲藏處基質（草叢下、樹根下、落葉下、竹叢下）、空氣溫度與濕度（Lutron LM-8000）等棲地特徵。追蹤個體將每月測量形質，以確認其成長情況。

活動範圍的分析將使用 ArcGIS 及其附加元件 ArcMET 進行計算，利用 100% 最小凸多邊形法（minimum convex polygon, MCP）以及 95%、50% 固定核心估算法（fixed kernel density estimation, KDE）估算追蹤個體的活動範圍，並呈現個體的移動距離及路線。統計分析上，將使用線性混和模型（Generalized Linear Mixed Model）進行分析，檢測何種因子會影響食蛇龜野放後的健康狀況，健康狀況的評估是依據梁瑋（2014）所提出的狀況指數（Condition Index, CI）進行計算，其公式為 $\log(M/M')$ ，其中 M 為體重的實際測量值，M' 則為使用直線背甲長及體重所建立迴歸式得到的體重預測值。線性混和模型使用的反應變數（Y）為個體的状况指數（CI），解釋變數（X）則包含性別、野放時體型（背甲長 9 至 12 公分與 12 至 12.5 公分兩組）、野放天數以及野放時的状况指數，隨機效性（Random effects）則為個體編號。影響活動範圍大小的因子則使用線性迴歸進行檢測，反

應變數為 95% 固定核心估算法所計算出的活動面積，解釋變數則包含性別、野放時體型以及野放時的狀況指數。CI 值與野放天數之間的變化趨勢使用皮爾森相關係數進行分析。不同性別、體型之間的狀況指數、活動範圍大小、移動距離以及成長率是否存在差異，則使用 Kruskal Wallis Test 進行分析。

4. 食蛇龜遺傳分析

過去研究暗示食蛇龜有族群遺傳結構，然而全台地理區域之族群間之遺傳分化尚無科學研究。擬測試同時保有父系與母系遺傳資訊的分子標記——微衛星基因座，進行遺傳檢測。此年度計畫野放之個體將利用 PCR-RFLP（聚合酶連鎖反應-限制酶片段長度多型性）技術，概略性瞭解其遺傳分群狀況。

三、結果

1. 食蛇龜族群標放監測狀況與族群量估算

計畫已於春末（4月25日至28日）及秋初（8月30日至9月2日）完成2次為期4天的族群標放實驗，每次實驗皆於野放點周邊半徑100m內設置90籠陷阱，每日檢視陷阱中籠情況並更換餌料，捕獲個體在標記與測量後即釋放。本年度2次標放分別捕捉9隻次與11隻次食蛇龜，總共10隻個體，平均背甲長為146.09mm

（124.7-175.3mm），其中9隻個體為過去吳聲海教授團隊標記野放之個體，1隻為野生個體。由於robust design標放設計的參數估算需要至少3次的主標放期，因此本計畫納入2021年8月下旬實驗設計相同的標放捕捉資料15隻次，形成14隻個體共35隻次之標放資料，以進行族群參數之估算。

族群參數之估算以MARK軟體中robust design下之Huggins'p and c模型法分析，估算存活率（S）、移出率（ r' ）、移入率（ $1-r''$ ； r'' 為保持境外率）、捕捉率（p）、再遭遇率（c）與族群數量（N）共6個參數，前5者用於建立估算模型，族群數量為衍伸估算值，不參與模型建立與分析。目前本研究標放實驗之主標放期僅3次，捕捉個體數14隻，不同標放歷史之數量有限，不適合估算過多的參數值，再加上實驗陷阱設置一致，標記個體亦有多次重覆捕捉之記錄，因此模型建立首先設定遭遇率為定值且無陷阱反應，意即p為常數且 $p=c$ ，且暫時排除各參數隨時間變動之模型，以降低整體模型之數量，也可有效降低參數估計之變異值。存活率、移出率、移入率設定成定值（.）或隨性別（sex）而有所差異2類型，遷移形式則設定無遷移（NM： $r'' = 1, r' = 1$ ）、隨機遷移（RM： $r'' = r'$ ）、等量遷移（EF： $r'' = 1-r'$ ）與非等量遷移（ $r'' \neq r'$ ）4大類型，總共建立16種不同模型估算族群參數（表二），機率型族群參數之時間尺度設定為年。

模式選擇顯示最支持之模型為雌雄龜有相近的存活率與遷移情況，且遷移模

式為隨機遷移的模型 (S (.) RM (.) p (.) , 表二) 。此模型顯著優於排行第三名以後之模型 (LRT, all $p < 0.05$) , 與較複雜的第二模型無顯著差異 (S (.) RM (.) p (.) vs S (.) EF (sex) p (.) ; $\chi^2 = 2.13$, $df = 1$, $p = 0.14$) , 基於簡約原則, 此為估算族群參數的最佳模型。此模型估算下, 每年食蛇龜之存活率為87.35%, 移出率為54.51%, 由於隨機遷移模型之遷移參數設定為為 $r' = r$, 故移入率 $(1 - r')$ 為45.49%, 略低於移出率, 遭遇率則為0.48, 然而因此為首年度標準化的標放實驗, 其捕捉數量與捕捉歷史有限, 存活率與移出率之估算變異尚高 (表三) 。族群量估算方面, 雌龜3次標放期之族群數量估算值分別為8.18、5.84與3.51隻個體, 95%上下界範圍自3.06至13.97隻個體; 雄龜則為2.34、0與4.68隻個體, 其中第2次標放之族群數量因目前標放數量尚少而無法估算, 第1與第3次標放95%上下界範圍分別為2.03-5.89及4.09-9.29 (表三) 。依據此族群數量估算值與標放陷阱設置面積 (周圍半徑100公尺區域) , 換算後2021年繁殖季末至2022年繁殖季初與季末樣地之食蛇龜族群密度為每公頃3.35、1.86、2.61隻個體。

2. 幼龜野放後健康狀況、成長與活動模式

2022年7月26日進行18隻食蛇龜幼龜的野放, 截至2022年11月30日 (野放第118天) , 幼龜的存活率為94.4%, 僅1隻幼龜 (無線電頻率為218.160) 因天敵捕食關係受傷而停止追蹤, 其餘17隻野放個體目前仍在持續追蹤中。無線電定位及形質測量累計次數方面, 所有個體皆已完成至少9次無線電定位追蹤、4次形質與9次躲藏處環境參數的測量, 共計錄到158筆定位、71筆形質與158筆環境參數的數據。幼龜218.160因遭遇天敵攻擊而停止追蹤, 發現時四肢受傷嚴重, 當天即送至特有生物保育中心收容治療, 但仍於3天後死亡。因此個體之傷勢特殊 (詳見討論) , 可能屬未成功適應野放環境之個體, 因此在後續分析中不會納入。

整體而言, 野放個體健康情形良好。相關性檢定的結果發現CI值 ($r = 0.268$, $p = 0.0121$) 、背甲弧長 ($r = 0.2584$, $p = 0.0157$) 與天數在統計上達顯著正相關

(表四)，顯示野放後追蹤個體的健康及成長隨野放時長的延續而增加，代表野放後追蹤個體適應野外棲地的情況良好。而背甲直線長、背甲寬與天數之間的關係雖未達顯著，但與野放前所測得的各項數值相比皆有所增加(圖2)，與CI值與背甲弧長的趨勢類似，代表野放後適應情況佳。所有個體中僅有一隻個體(216.058)的CI值略有小幅度下降，為未來追蹤時較需注意體重變化的個體。線性混和模型的統計結果發現，野放天數($p < 0.01$)及野放時的CI($p < 0.001$)會對野放後的CI造成顯著且正向的影響，兩變數中又以野放時的CI影響較大，而性別($p = 0.276$)與野放時的體型(0.534)則未對野放後的CI造成顯著影響(表五、圖3)。以上結果顯示無論是CI值、背甲直線長、背甲寬或是背甲弧長皆呈現隨著野放天數增加而提高的趨勢，而統計模型的結果則顯示野放時身體狀況越好的個體在野放後身體狀況提升的現象會越明顯，同時幼龜適應野外的時間越長，幼龜的身體狀況也會變得越好。

使用100% MCP、95% KDE以及50% KDE等三種分析方法所計算出來的結果(圖4、圖5)平均活動面積分別為 2.33 ± 4.08 公頃、 0.84 ± 0.21 公頃以及 0.25 ± 0.08 公頃(表六)。將三種分析方法得到的活動面積依體型及性別分為四個不同組別並以Kruskal Wallis Test進行比較，結果發現不管是何種分析法所得到各組間的活動面積皆無顯著差異(100% MCP： $p = 0.1888$, 95% KDE： $p = 0.0451$, 50% KDE： $p = 0.1272$, 表七)，其中95% KDE的活動面積其P值雖然小於0.05，然而使用Dunn's Test進行事後比較卻發現所有組合兩兩相比皆不顯著，代表該組數據在統計上雖然有顯著差異但差異並不大，相當接近不顯著。

由於僅有95% KDE所計算出的活動面積在統計上達顯著，因此選擇該組數據進行線性迴歸分析，結果發現該模型顯著性檢定的P值為0.191、調整後的 R^2 為0.135，顯示此迴歸模型在統計上不顯著，不具有預測能力，此外其各項迴歸係數的邊際檢定P值皆大於0.05(表八)，同樣不具有解釋力，因此幼龜野放時的體型、性別及野放時的CI等三個變數皆無法用來解釋及預測幼龜的活動範圍大小。

除了健康狀態與活動範圍外，幼龜的體型大小與性別與其野放後移動、成長等相關數值皆無顯著相關。當前位置與野放點距離、總移動距離、背甲直線長成長幅度、背甲弧長成長幅度以及背甲寬成長幅度等數值的差異同樣不顯著(表七)。在158筆記錄到的環境參數中，幼龜躲藏處的巨棲地類型主要以闊葉林為主，占總巨棲地選擇的43%，其次為竹葉闊葉混合林(14.6%)、檳榔園(13.3%)與草原(12.7%)，剩餘16.4%則包含檳榔闊葉混合林(5.5%)、茶園(5.5%)、竹林(1.8%)、河床邊坡(1.8%)與人造針葉林(1.8%)(圖6A)。躲藏處的微棲地主要以草叢下為主，占總微棲地的48.2%，其次為落葉下(18.9%)、土表(17.1%)與灌木叢下(9.8%)，剩餘6%則包含石頭下(1.8%)、樹洞內(1.8%)、水中(1.8%)、倒木下(1.8%)與土裡(0.6%)(圖6B)。

3. 遺傳分析

由13組基因座建立之食蛇龜微衛星基因型資料庫，其中8組已測好條件並進行Backman至ABI系統轉換，資料轉換完成度為六成。野放個共計18隻，利用PCR-RFLP技術檢測結果如表九，此結果暗示野放個體可能具有遺傳結構。

四、討論

1. 食蛇龜族群標放監測與族群量估算

本計畫為臺灣首次以robust design標放食蛇龜之研究，其結果可以同時了解存活情形、遷移模式與族群動態，以推論族群未來之趨勢。又此族群為復育族群，族群參數估算之結果可以做為日後復育族群之參考。依據本研究首年度標放資料之估算，此復育族群成龜的年存活率約為87%，遷移模式為隨機遷移，移出率與移入率分別為54.51%與45.49%，2021年繁殖季末至2022年繁殖季初與季末樣地之族群密度分別為每公頃3.35、1.86、2.61隻個體（表三）。目前部分參數之估算變異仍大（表三），例如存活率之估算，此應為標放期程尚短，各種不同標放歷史之個體數尚少所致，待後續族群標放監測的持續進行，族群參數之估算將會更加準確。目前變異仍大之族群參數的指示性尚不足支持肯定的族群趨勢推論，然而所有族群參數除變異尚大以外，其估算值無明顯異常之處，加上整個計畫執行期間皆未發現盜獵陷阱，我們推測此復育族群的族群狀況良好，若日後無盜獵情形發生，成龜的族群應該會穩定存在於此地。稍需注意之處為移出率略高於移入率，若持續標放監測後仍顯示此趨勢，未來成龜之族群量應該會稍微下降。

此復育族群之族群密度於每公頃1.86隻至3.35隻間變動（表三），目前尚無明顯下降的趨勢，此密度介於苗栗地區原生族群（3.81-5.59隻/公頃；吳聲海，2014），與屏東地區原生族群（1.1-3.2隻/公頃；蔡繼鋒，2007）間，顯示族群密度在原生族群的合理範圍之內，未來移地復育計畫可以此族群密度當作參考，搭配其合適棲地面積來估算適合的野放個體數量。目前此族群之密度低於苗栗地區原生族群，暗示其可能尚未到達族群負載量之上限。然而過去原生族群之研究方法與本計畫有些許差異，棲地條件也不全然相同，無法直接比較，未來或可藉由此地釋放個體之時間點與遷移率變動的相關性來推估詳細族群負載量。

此復育族群成龜的年存活率約為87%，雖然其信賴區間之範圍過大(表三)，然而此數值與過去龜鱉類研究的成體存活率相當接近(85-90%;Pike et al. 2008)，加上本團隊對此棲地的了解、無盜獵發生於此族群，以及小龜追蹤之存活情況(半年存活率約94%)，目前我們猜測成龜的存活情況相當良好。過去食蛇龜存活率的標放估算僅蔡繼鋒(2007)對屏東地區原生族群的研究有些許著墨，其實驗設計之時間尺度較細緻，適合偵測月間是否有明顯異常情況之發生，其研究結果也顯示屏東族群有嚴重的盜獵狀況。然而針對食蛇龜未受干擾的年存活率狀況卻仍然相對未知，希望本計畫日後持續標放此族群，所得之標放資料能夠有效降低估算偏誤，以得到相對準確的食蛇龜成體年存活率，能夠當作此保育物種在未受干擾下生存於野外的重要參考依據。

2. 幼龜健康狀況與成長率

雖然目前累積追蹤的天數尚不足半年，但結果顯示背甲長9-12.5公分之幼龜多數能適應野外環境。進行移地野放的龜類在適應新環境的過程中，食物、水以及棲地熱源的尋找是必須面臨的挑戰，移地釋放後很可能因適應不良而導致健康狀況劣化(Lepeigneul et al. 2014)。然而本研究計畫結果顯示釋放的幼龜較無遭遇資源取得的困境，目前仍存活的17隻幼龜中，16隻個體所測得的身體狀況指數及各項身體形質，在與野放後皆增加或持平(圖7A)，代表直線背甲長介於9至12.5公分之間的幼龜，無論性別或體型大小似乎皆能適應野外環境，野放後並無覓食困難的狀況發生。

龜類在圈養狀態下一般被認為會因疾病、食物供給失衡、食物多樣性低等原因而有健康狀況較差的情形(Willemsen et al. 2002)，此情況亦可能影響野放後的健康狀況。本研究計畫釋放的幼龜在野放前有完善的食物供給與疾病檢測，以確保釋放健康的於實驗樣地，以得到正確的野放追蹤結果。所有個體的食物供給以絞肉、多樣蔬菜與虱目魚飼料搭配，餵食頻度為一周兩次，食物量則是稍多於

一餐能吃完的量（約40至60公克），非大量供給。野放前一個月仍然維持此餵食頻度與供給量，虱目魚飼料比重增加，避免幼龜成長幅度過快而超過計畫規劃野放的幼龜體型。疾病檢測部分，野放前飼養幼龜的籠舍進行疱疹病毒、蛙病毒及霉菌菌的抽樣化驗，結果均為陰性，因此可排除疾病導致健康狀況不佳的可能。此外，████████的食物資源豐富，幼龜可取得的食物量不受到限制且食物種類多樣（附錄圖6），在調查過程中也發現多隻追蹤個體的體態逐漸豐腴（附錄圖7）。在真鱷龜（*Macrochelys Temminckii*）幼龜的野放研究中同樣發現幼龜在野放後出現健康狀況改善的現象，顯示幼龜在野外環境獲得了最佳的生長條件（Moore et al. 2013）。綜合上述原因，推測野放後幼龜CI值增加之原因可能是圈養期間提供的食物量並非無上限供應，而野放後於自然棲地中尋找各項資源無虞所致。

除此之外，線性混和模型顯示幼龜野放時健康狀況與野放後健康狀況相關，此相關性可能與體內儲存的能量多寡有關，由於本研究計畫所使用的CI值估算公式並不會因體型增加而使CI值變大（梁瑋，2014），因此野放時CI越高即代表該隻幼龜在野放前儲存的蛋白質及脂肪較多，理論上野放後也有更多的能量可以覓食及尋找品質較高的棲地，使得野放後的健康狀況持續改善。我們的結果符合此趨勢，也代表日後野放時個體的CI值需要被納入評估，以提升食蛇龜幼龜移地復育的成效。

成長速率方面，陳和謝（1988）的研究指出野外食蛇龜雌龜的成長速率高於雄龜，但在本研究計畫中不管是背甲直線長、背甲弧長、背甲寬的成長比率皆未有顯著差異（表七），目前並未發現性別差異之趨勢，與陳添喜（1998）在翡翠水庫測量標放個體的結果類似。野放的幼龜在冬季通常會進行冬眠且食物取得較不穩定，因此成長率會低於人工飼養的幼龜（Daly et al. 2018; Carstairs et al. 2019）。國內過去對食蛇龜幼龜的研究也有發現類似的現象（孫雅筠，未發表資料），因圈養環境一般在冬天會持續提供加溫，圈養龜在野生龜、野放龜的冬眠期也會持續進食，所以圈養個體與野生個體相比會有較高的成長速率。然而目前本研究計

畫以蒐集的資料尚短，因此仍需持續監測才能下定論。

3. 幼龜活動模式與棲地利用

本研究計畫目前結果顯示幼龜的活動面積在不同性別及體型大小間並無顯著差異。性別間活動範圍無顯著差異的結果與過去針對成龜追蹤的部分研究相同（陳帝溶 2011；黃昱凱，2022），但也有公龜活動面積顯著大於母龜的情形（蔡承儒，2019）（表十），然而上述公龜活動範圍大於母龜的原因較可能與交配季節有關（李文瑄，2013；蔡承儒，2019），對於本研究計畫野放的幼龜來說並無繁殖交配的需求，因此性別較不可能是影響幼龜活動範圍的原因。幼龜野放四個月的平均活動面積並未明顯小於成龜（表十），再次顯示體型大小很可能並非主要影響食蛇龜活動範圍的原因。本研究計畫體型與活動範圍不相關的結果與花蓮地區野放族群的追蹤結果類似（黃昱凱，2022），但與雲林林內的野生族群不同（陳帝溶，2011），由於不同地區族群的活動範圍會受到氣候、棲地品質、族群密度、地景組成等因素所影響（陳帝溶，2011；Stickel, 1989；Fortin et al. 2012），因此與國內過去研究的差異部分可能是受到上述原因所致。此外剛野放的食蛇龜因為不熟悉新的環境，常會出現到處探索而有活動面積大於野生族群的現象（黃昱凱，2022），因此目前調查所得的結果有可能高於野生幼龜實際的活動面積範圍。

目前發現食蛇龜位置的棲地類型雖然主要是以闊葉林林下的灌木叢或落葉堆為主（附錄圖10、11），然而這些位置大多靠近森林邊緣，或是處於樹冠層較稀疏的位置，因此較容易曬到陽光，此外在多次的追蹤過程中也發現幼龜的休息位置會在森林與檳榔園、草原等開闊環境的邊緣來回移動，顯示幼龜白天經常會利用這些容易受到陽光曝曬的位置進行溫度調節（附錄圖12），而休息時則會移動至森林中進行躲藏。

4. 幼龜死亡個體之成因推論

掠食者往往是影響幼龜野放存活率最大的因素，如布氏擬龜 (*Emydoidea blandingii*) 幼龜的野放追蹤研發現來自掠食者的捕食是導致幼龜死亡的主要原因，28隻成功追蹤的幼龜僅有12隻存活到實驗結束(存活率0.43) (Carstairs et al. 2019)。此外該研究發現野放第一年的存活率最低，但在經過第一年後月存活率則上升至與野生族群相同達0.98，造成該現象的原因推測即與天敵捕食有關。卡羅萊納箱龜 (*Terrapene carolina*) 幼龜的追蹤研究中同樣發現天敵捕食是導致幼龜死亡的主因，野放的32隻個體中僅有14隻活到第一年的活動期(存活率0.44)，此外該研究也提出透過延長圈養時間使體型增大或許能有效提高存活率 (Tetzlaff et al. 2019)。

本研究目前唯一野放失敗的食蛇龜同樣與天敵攻擊有關。幼龜218.016，9月8日的調查時健康狀況及體態仍相當良好，但於9月23日的調查時發現四肢及尾巴出現相當嚴重的傷口(附錄圖8)，背甲上同樣有多道疑似齧齒類啃咬的痕跡。由於發現該隻幼龜的位置相當靠近馬路及民宅，故推測遭受齧齒類攻擊的機率相當高。發現此情況後研究人員隨即暫停調查工作並將幼龜後送至特生中心進行治療(附錄圖9)，治療過程中發現此個體受到外來刺激後並不會將四肢完全縮入殼內，懷疑其可能存在閉殼能力不全的問題，因此在遭遇天敵攻擊時無法正常閉殼防禦而受傷。該隻幼龜雖經過妥善治療處理，但最終仍在送醫兩天後因傷勢過重而死亡。野放個體的避敵行為是否能正常發揮是決定異地野放是否能成功的重要關鍵之一 (Seddon et al. 2007; Shier 2016)。由此一野放個案可知，野放的體型似乎並不是影響目前幼龜存活的主要因素，反而是幼龜在遭受外來刺激後能否正常閉殼會是決定個體存活的重要關鍵，未來在挑選野放個體時此一行為將會是重要的判斷準則，而幼龜野放體型對存活率的影響則是未來研究可持續測試的重點之一。

五、總結與建議

1. 目前族群參數估算值都落於合理範圍內，其存活情況、遷移模式與族群密度與動態皆無異常狀況，顯示此復育族群狀況良好，然而部分參數估算變異仍大，族群標放監測需持續進行，以得更準確之族群參數，將可成為此食蛇龜未受干擾下於野外存續的重要參考。
2. 本研究計畫共追蹤18隻來自特生查緝收容的幼龜（8雄10雌），截至野放第118天的存活率為94.4%，多數幼龜的健康狀況及身體各項形質皆有所增長，不同體型及性別間的健康狀況及形質成長率變化皆無顯著差異。100%MCP平均活動範圍為2.33公頃，95% KDE的平均活動範圍為0.84公頃，不同體型及性別間的活動範圍大小皆無顯著差異。幼龜利用的躲藏處巨棲地類型主要以闊葉林最為常見，微棲地類型則以草叢下為主。
3. 野放時幼龜本身的CI值是否良好、遇到外來刺激後是否能正常表現出避敵行為等兩項條件將會是未來挑選野放個體的重要判斷準則。可考慮建立一套標準化評估量表，藉此挑選身體狀況及行為條件皆適合的個體進行野放，讓未來執行異地野放計畫的野放存活率提高，使補充野外族群的效益最大化。
4. 未來將持續追蹤幼龜狀況並野放背甲長小於90 mm的個體，找出野放幼龜的最小體形，以建立幼龜適合野放的體型基線。
5. 過去研究指出台灣本島不同地區的食蛇龜族群遺傳上存在明顯的地區變異（吳等人，2012）。未來若要制定一套標準的野放流程，如何快速且準確的辨別出收容個體的基因型屬於台灣哪個地區的族群將會是野放工作的重點。

六、參考文獻

- Anders, G. J. R., B. S. Craig, D. Peter Paul Van et al. 2018. Global conservation status of turtles and tortoises (Order Testudines). *Chelonian Conservation and Biology* 17:135-161.
- Batson, W. G., I. J. Gordon, D. B. Fletcher, and A. D. Manning. 2015. REVIEW: Translocation tactics: a framework to support the IUCN Guidelines for wildlife translocations and improve the quality of applied methods. *Journal of Applied Ecology* 52:1598-1607.
- Carr, A. 1986. Rips, FADS, and little loggerheads. *BioScience* 36:92-100.
- Carstairs, S., Paterson, J. E., Jager, K. L., Gasbarrini, D., Mui, A. B., & Davy, C. M. 2019. Population reinforcement accelerates subadult recruitment rates in an endangered freshwater turtle. *Animal Conservation*, 22(6), 589-599.
- Chen, T.-H., H.-C. Chang, and K.-Y. Lue. 2009. Unregulated trade in turtle shells for Chinese traditional medicine in east and southeast Asia: the case of Taiwan. *Chelonian Conservation and Biology* 8:11-18.
- Chen, T.-H., and K.-Y. Lue. 1999. Population characteristics and egg production of the yellow-margined box turtle, *Cuora flavomarginata flavomarginata*, in northern Taiwan. *Herpetologica* 55:487-498.
- Chen, T.-H., and K.-Y. Lue. 2002. Growth patterns of the yellow-margined box turtle (*Cuora flavomarginata*) in Northern Taiwan. *Journal of Herpetology* 36:201-208.
- Daly, J. A., Buhlmann, K. A., Todd, B. D., Moore, C. T., Peadar, J. M., & Tuberville, T. D. 2018. Comparing growth and body condition of indoor-reared, outdoor-reared, and direct-released juvenile Mojave desert tortoises. *Herpetological Conservation and Biology*, 13(3), 622-633.
- Ernst, C. H., and J. E. Lovich. 2009. *Turtles of the united states and Canada*. JHU Press.
- Fortin, G., Blouin-Demers, G., & Dubois, Y. 2012. Landscape composition weakly affects home range size in Blanding's turtles (*Emydoidea blandingii*). *Ecoscience*, 19 (3), 191-197.
- Kendall, W. L., K. H. Pollock, and C. Brownie. 1995. A likelihood-based approach to capture-recapture estimation of demographic parameters under the robust design. *Biometrics* 51:293-308.
- Knoerr, M. D., A. M. Tutterow, G. J. Graeter, S. E. Pittman, and K. Barrett. 2021. Population models reveal the importance of early life-stages for population stability of an imperiled turtle species. *Animal Conservation* 25:53-64.

- Lepeigneul, O., Ballouard, J. M., Bonnet, X., Beck, E., Barbier, M., Ekori, A., Buisson, E. & Caron, S. 2014. Immediate response to translocation without acclimation from captivity to the wild in Hermann's tortoise. *European journal of wildlife research*, 60 (6) , 897-907.
- Lin, Y.-F., S.-H. Wu, T.-E. Lin, J.-J. Mao, and T.-H. Chen. 2010. Population status and distribution of the endangered yellow-margined box turtle *Cuora flavomarginata* in Taiwan. *Oryx* 44:581-587.
- Lovich, J. E., J. R. Ennen, M. Agha, and J. W. Gibbons. 2018. Where have all the turtles gone, and why does it matter? *BioScience* 68:771-781.
- Lue, K.-Y., and T.-H. Chen. 1999. Activity, movement patterns, and home range of the yellow-margined box turtle (*Cuora flavomarginata*) in Northern Taiwan. *Journal of Herpetology* 33:590-600.
- Martin, T. G., S. Nally, A. A. Burbidge, S. Arnall, S. T. Garnett, M. W. Hayward, L. F. Lumsden, P. Menkhorst, E. McDonald-Madden, and H. P. Possingham. 2012. Acting fast helps avoid extinction. *Conservation Letters* 5:274-280.
- Micheli-Campbell, M. A., H. A. Campbell, M. Connell, R. G. Dwyer, and C. E. Franklin. 2013. Integrating telemetry with a predictive model to assess habitat preferences and juvenile survival in an endangered freshwater turtle. *Freshwater Biology* 58:2253-2263.
- Moore, D. B., Ligon, D. B., Fillmore, B. M., & Fox, S. F. 2013. Growth and viability of a translocated population of alligator snapping turtles (*Macrochelys temminckii*). *Herpetological Conservation and Biology*.
- Nijman, V., and C. R. Shepherd. 2015. Analysis of a decade of trade of tortoises and freshwater turtles in Bangkok, Thailand. *Biodiversity and Conservation* 24:309-318.
- Pike, D. A., L. Pizzatto, B. A. Pike, and R. Shine. 2008. Estimating survival rates of uncatchable animals: the myth of high juvenile mortality in reptiles. *Ecology* 89:607-611.
- Pollock, K. H. 1982. A capture-recapture design robust to unequal probability of capture. *The Journal of Wildlife Management* 46:752-757.
- Rosen, G. E., and K. F. Smith. 2010. Summarizing the evidence on the international trade in illegal wildlife. *EcoHealth* 7:24-32.
- Seddon, P. J., Armstrong, D. P., & Maloney, R. F. 2007. Developing the science of reintroduction biology. *Conservation biology*, 21 (2) , 303-312.
- Shi, H., J. F. Parham, Z. Fan, M. Hong, and F. Yin. 2008. Evidence for the massive scale of turtle farming in China. *Oryx* 42:147-150.
- Shi, H., J. F. Parham, M. Lau, and T.-H. Chen. 2007. Farming endangered turtles to extinction in China. *Conservation Biology* 21:5-6.

- Shier, D. 2016. Manipulating animal behavior to ensure reintroduction success. Pages 275-304 in O. Berger-Tal and D. Saltz, editors. Conservation behavior. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Spangler, S. J., D. M. Thompson, B. M. Fillmore, R. Simmons, K. Graves, D. J. H. C. LIGON, and Biology. 2021. Observations of movement patterns and habitat associations of hatchling alligator snapping turtles (*Macrochelys temminckii*). *Herpetological Conservation and Biology* 16:461-470.
- Stickel, L. F. 1989. Home range behavior among box turtles (*Terrapene c. carolina*) of a bottomland forest in Maryland. *Journal of Herpetology*, 40-44.
- Tetzlaff, S. J., Sperry, J. H., Kingsbury, B. A., & DeGregorio, B. A. 2019. Captive-rearing duration may be more important than environmental enrichment for enhancing turtle head-starting success. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00797.
- Uetz, P. 2021. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org>.
- White, G. C., and K. P. Burnham. 1999. Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* 46:S120-S139.
- Willemsen, R. E., Hailey, A., Longepierre, S., & Grenot, C. 2002. Body mass condition and management of captive European tortoises. *Herpetological Journal*, 12 (3), 115-122.
- 吳聲海。2012。台灣全島食蛇龜族群遺傳與棲地環境調查及復育經營策略研究計畫（行政院農業委員會林務局委託研究計畫成果報告）。國立中興大學。台中。
- 李文瑄。2013。台灣南部食蛇龜（*Cuora flavomarginata*）之溫度調節、微棲地利用與活動範圍。國立屏東科技大學。屏東。
- 孫雅筠。2016。估算台灣食蛇龜年齡之兩種方法比較。國立中興大學。台中。
- 梁璋。2014。食蛇龜（*Cuora flavomarginata*）的身體質量狀況：野生及圈養環境下的變化。國立屏東科技大學。屏東。
- 許心柔。2019。翡翠水庫保護區食蛇龜（*Cuora flavomarginata*）季節性之溫度生態。國立屏東科技大學。屏東。
- 陳帝溶。2011。次生林和半自然環境食蛇龜活動模式、微棲地利用和活動範圍。國立中興大學。台中。
- 陈焱国、谢建军。1988。黄缘闭壳龟生长速度的测定。动物学杂志，23（2），34-35。
- 陳慧娟。2012。台灣食蛇龜在甲殼形態上的地理變異。國立中興大學。台中。
- 黃昱凱。2022。瀕危食蛇龜（*Cuora flavomarginata*）的異地野放：渡冬習性對移動與留存率的影響。國立屏東科技大學。屏東。
- 蔡承儒。2019。翡翠水庫食蛇龜野生動物保護區食蛇龜（*Cuora flavomarginata*）之活動範圍、棲地利用與微棲地選擇。國立屏東科技大

- 學。屏東。
- 蔡學承。2015。釋放月份和釋放後時間對移地野放食蛇龜活動範圍的影響。國立中興大學。台中。
- 蔡繼鋒。2007。台灣南部季風林食蛇龜之日活動模式與活動範圍。國立成功大學。台南。
- 蘇珊慧。2011。台灣地區食蛇龜的分布預測。國立中興大學。台中。

圖1、與相對位置

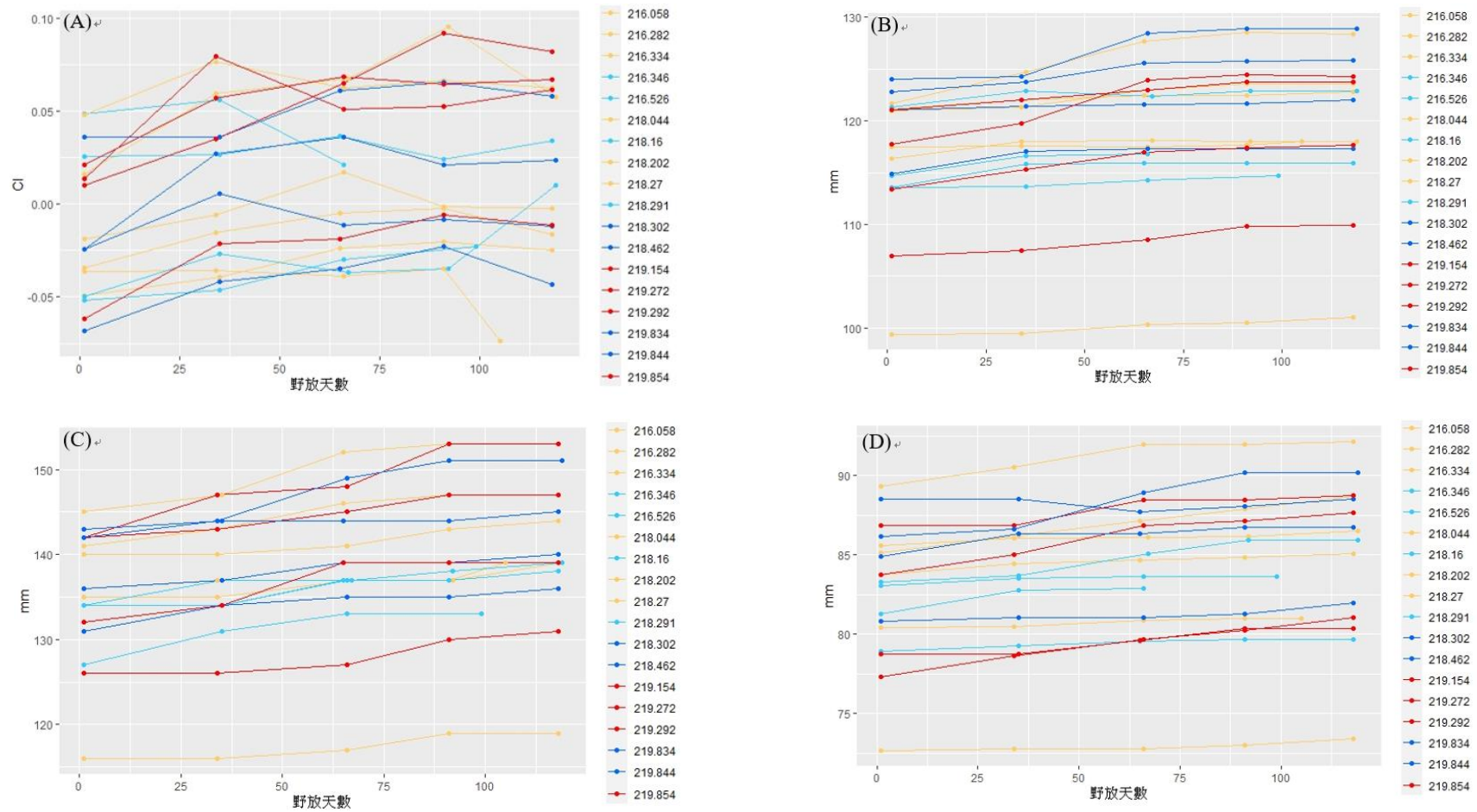


圖2、幼龜野放後 (A) 健康狀況 (B) 背甲直線長 (C) 背甲弧長 (D) 背甲寬變化趨勢。圖中黃色為背甲直線長9至12公分的母龜，淺藍色為背甲直線長9至12公分的母龜，紅色為背甲直線長12至12.5公分的母龜與，深藍色為背甲直線長12至12.5公分的公龜。

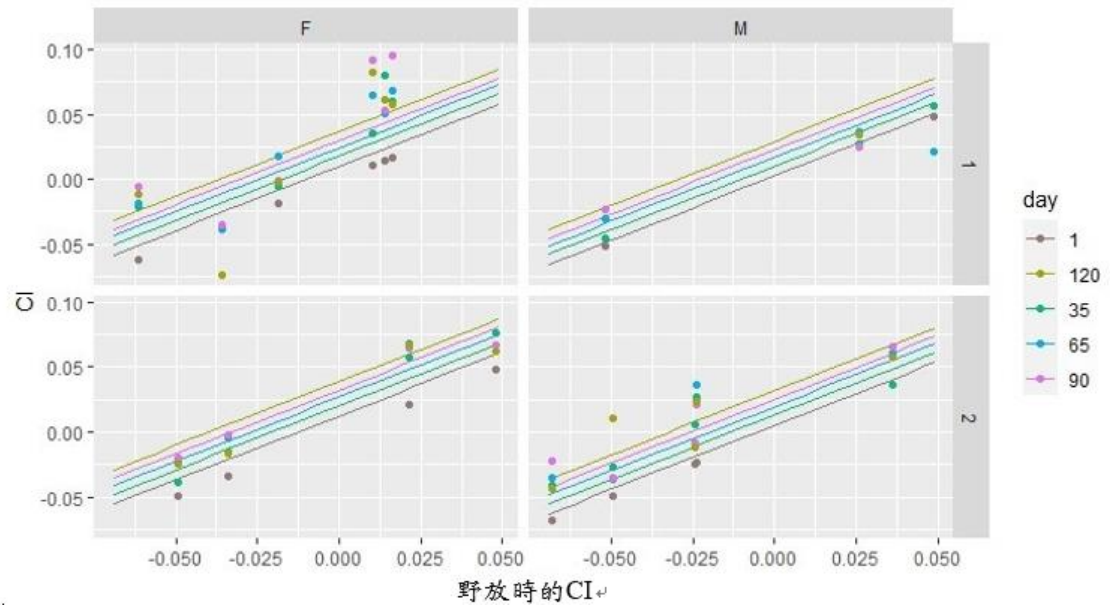


圖3、線性混和模型結果。根據線性混和模型的結果建立預測模型，發現用來分析的4個解釋變數中，僅有野放時的CI及野放天數會對CI造成影響，其中野放時CI的影響力又遠大於野放天數，而性別及體型大小則不會對CI造成影響。

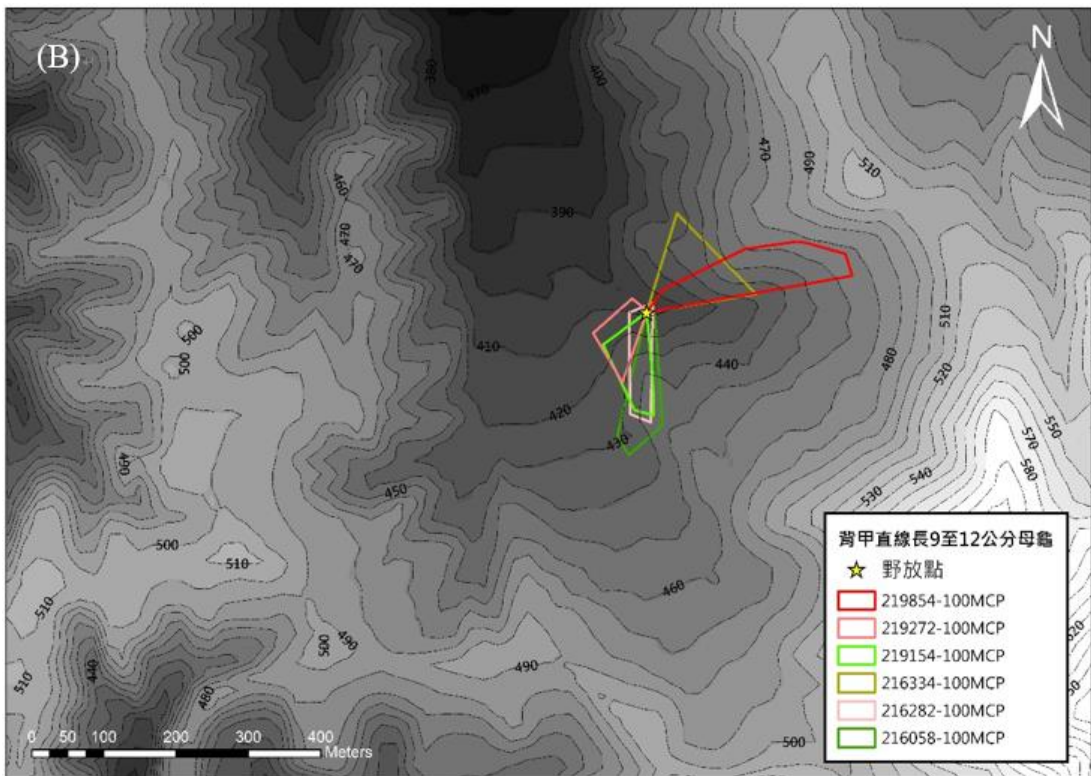
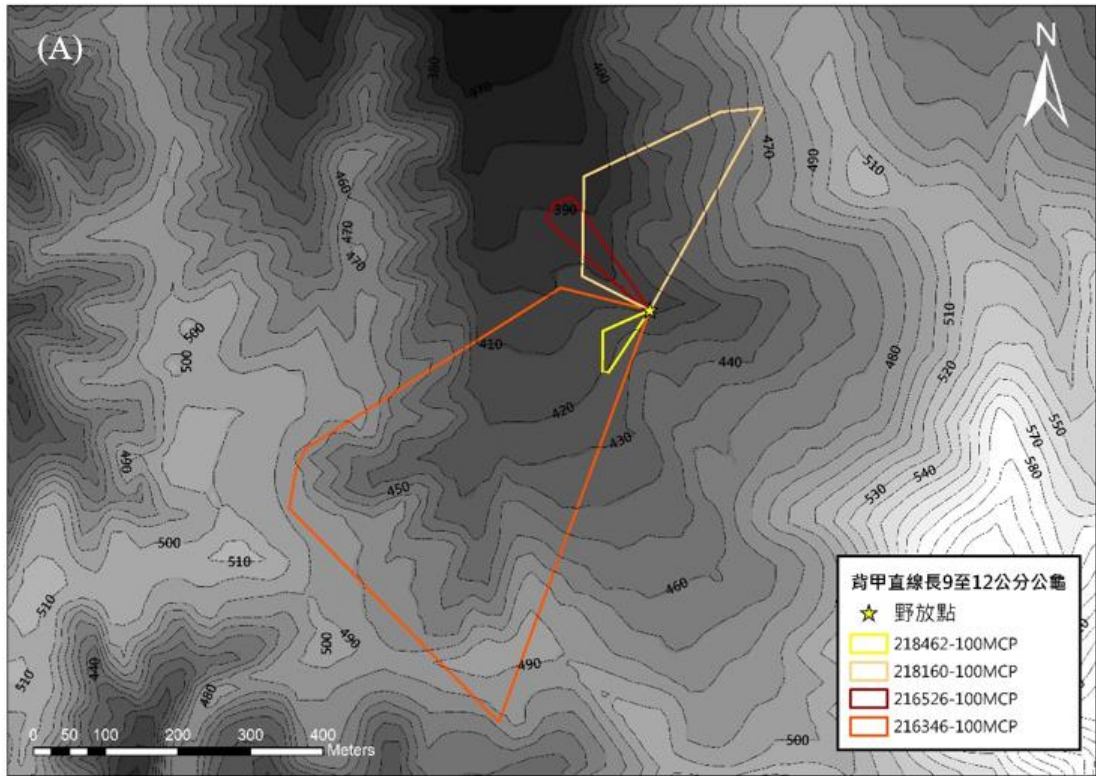


圖4、2022年7月26日至11月30日之幼龜活動範圍。圖中每種顏色皆代表一隻個體以100% MCP估算的活動面積，(A) 背甲直線長9至12公分的公龜 (B) 背甲直線長至12公分的母龜。

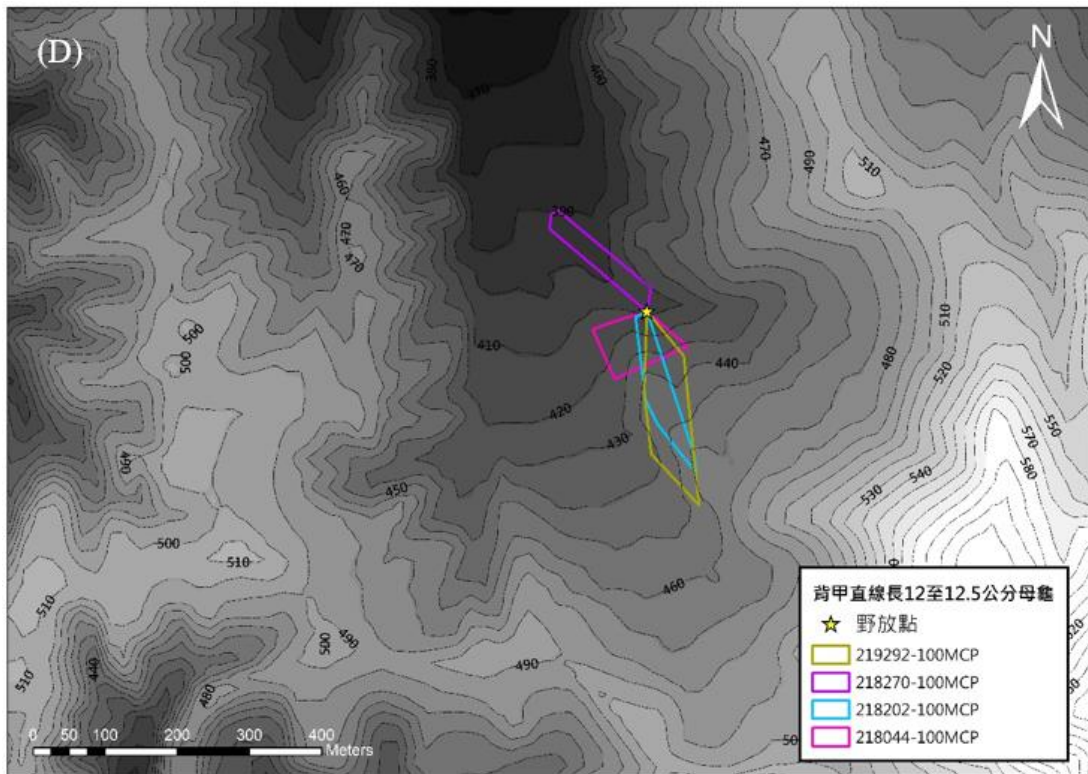
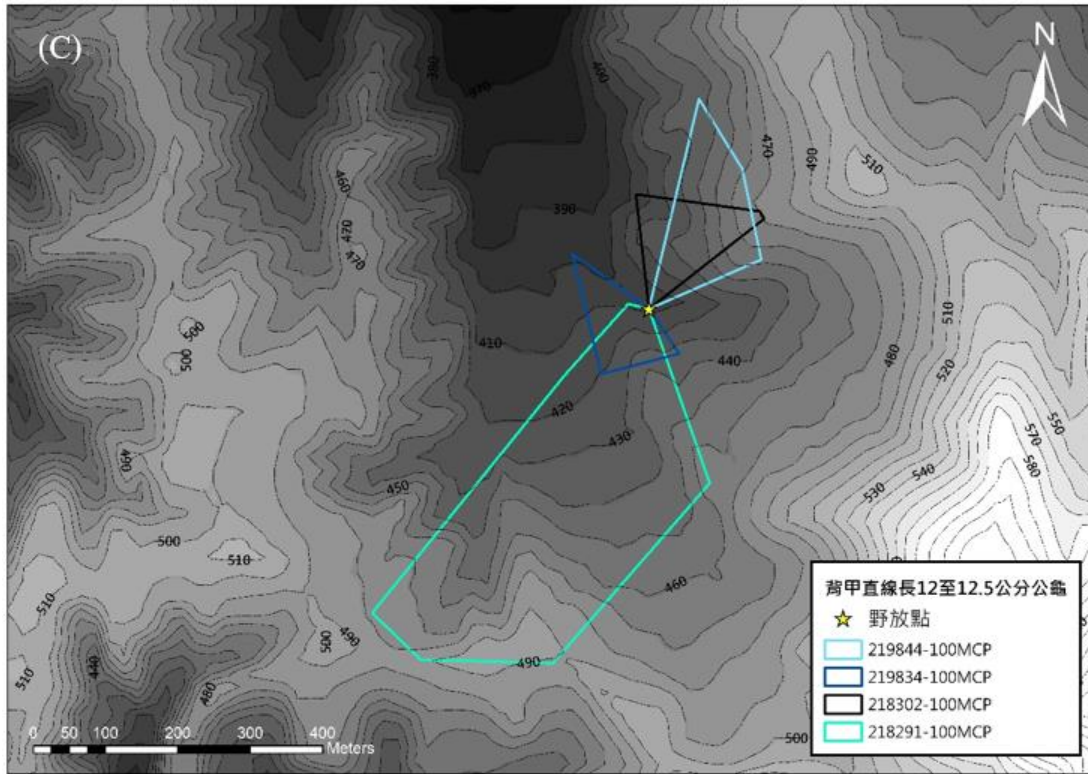


圖4 (續)、(C) 背甲直線長12至12.5公分的公龜與 (D) 背甲直線長12至12.5公分的母龜。

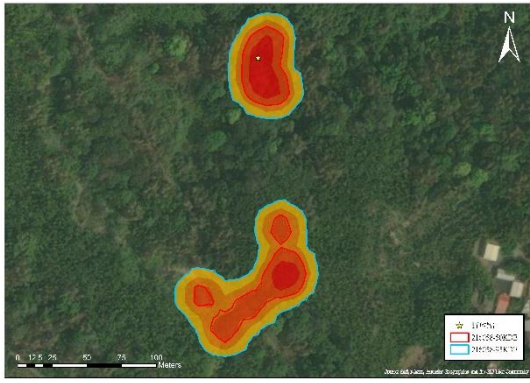


圖5A、216.058之50%與95%KDE結果。



圖5B、216.058之移動路線與100%MCP。

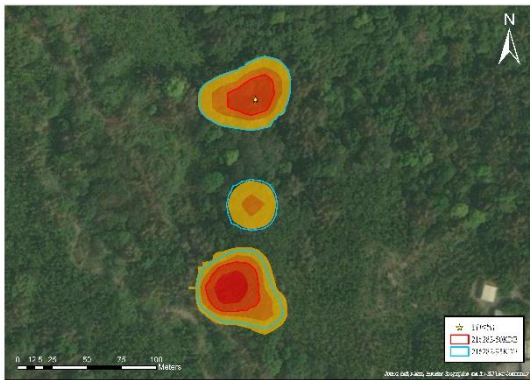


圖5C、216.282之50%與95%KDE結果。



圖5D、216.282之移動路線與100%MCP。



圖5E、216.334之50%與95%KDE結果。

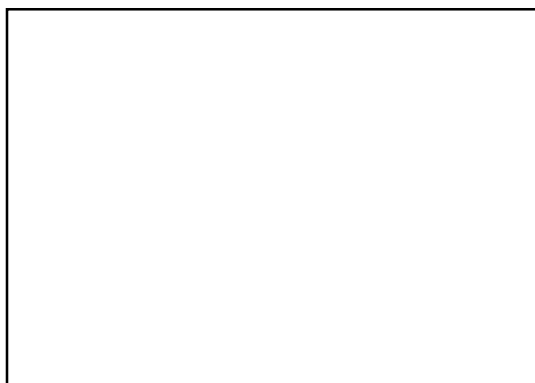


圖5F、216.334之移動路線與100%MCP。

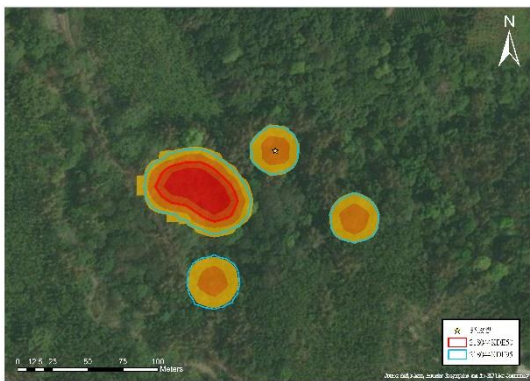


圖5G、218.044之50%與95%KDE結果。



圖5H、218.044之移動路線與100%MCP。

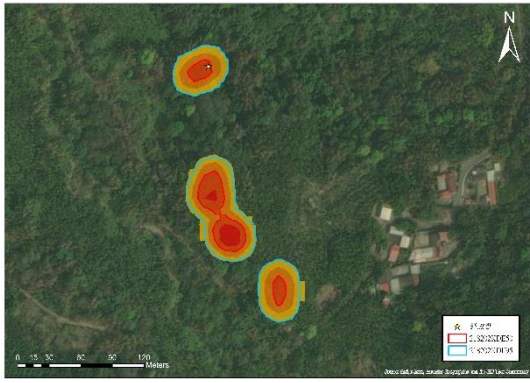


圖5I、218.202之50%與95%KDE結果。



圖5J、218.202之移動路線與100%MCP。

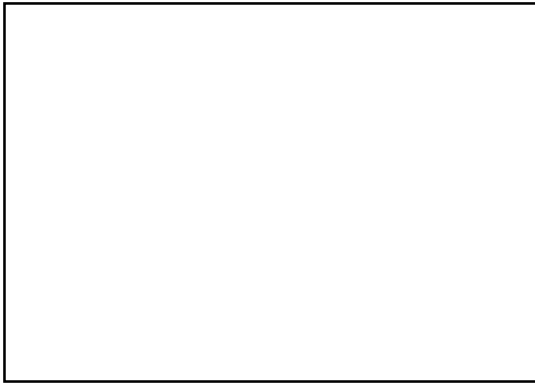


圖5K、218.270之50%與95%KDE結果。

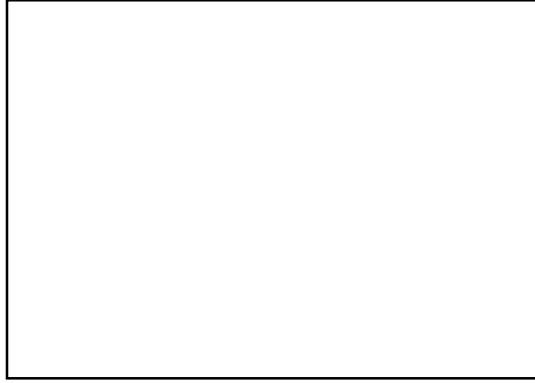


圖5L、218.270之移動路線與100%MCP。

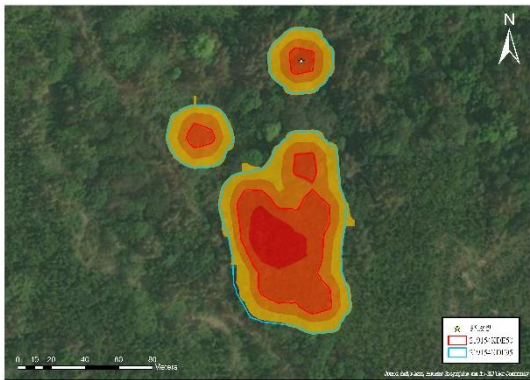


圖5M、219.154之50%與95%KDE結果。



圖5N、219.154之移動路線與100%MCP。

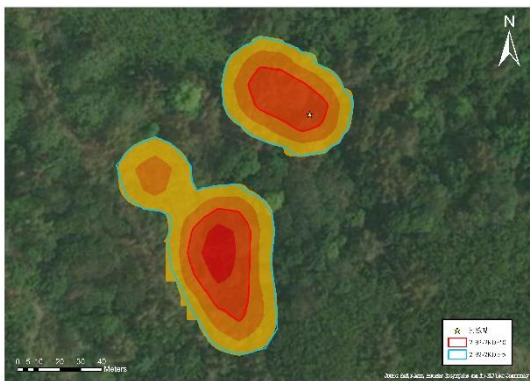


圖5O、219.272之50%與95%KDE結果。



圖5P、219.272之移動路線與100%MCP。

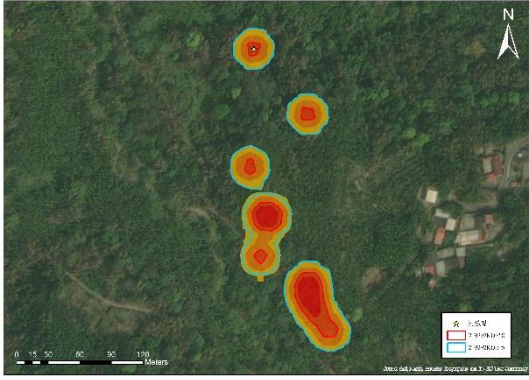


圖5Q、219.292之50%與95%KDE結果。



圖5R、219.292之移動路線與100%MCP。

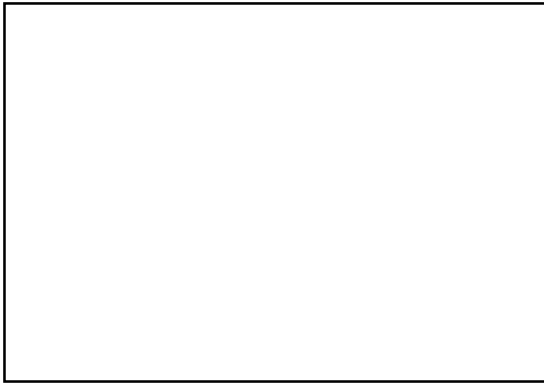


圖5S、219.854之50%與95%KDE結果。



圖5T、219.854之移動路線與100%MCP。

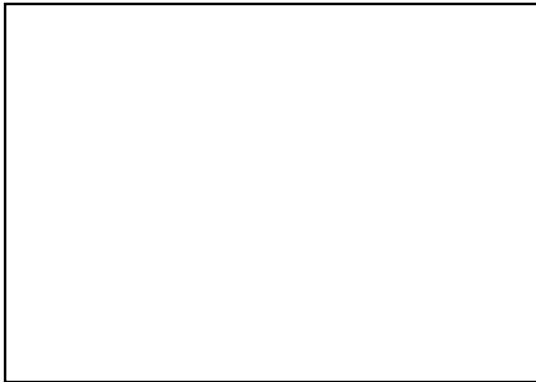


圖5U、216.346之50%與95%KDE結果。

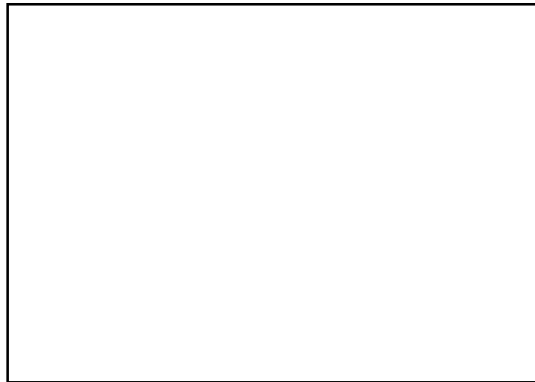


圖5V、216.346之移動路線與100%MCP。



圖5W、216.526之50%與95%KDE結果。



圖5X、216.526之移動路線與100%MCP。



圖5Y、218.160之移動路線與發現受傷的位置，其最後定位點相當接近道路。

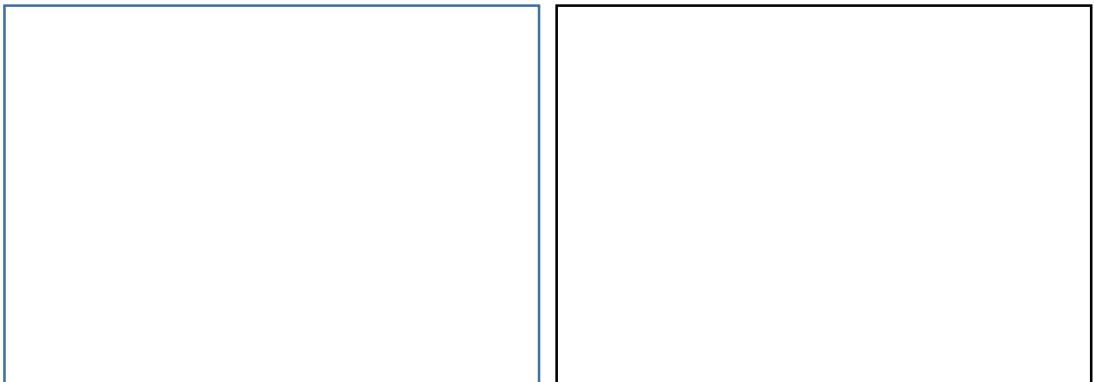


圖5Z、218.291之50%與95%KDE結果。

圖5AB、218.291之移動路線與100%MCP。

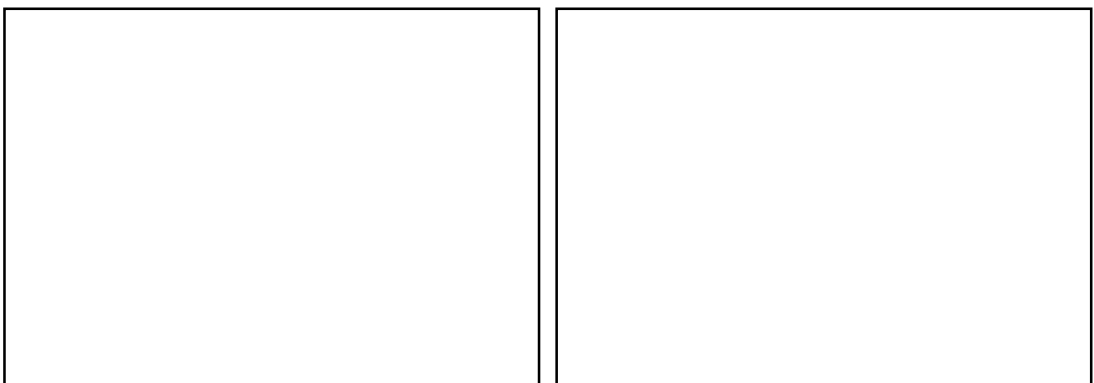


圖5AC、218.302之50%與95%KDE結果。

圖5AD、218.302之移動路線與100%MCP。

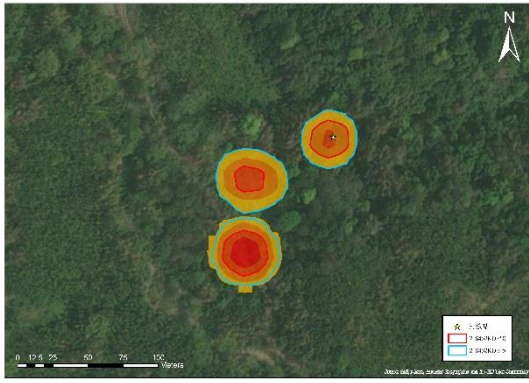


圖5AE、218.462之50%與95%KDE結果。



圖5AF、218.462之移動路線與100%MCP。

圖5AI、219.844之50%與95%KDE結果。 圖5AJ、219.844之移動路線與100%MCP。

圖5、2022年7月26日至11月30日之幼龜個別活動範圍與移動路徑。左側圖中的顏色越深代表出現在該區域的機率越高，紅線代表以50%KDE計算出的活動面積，藍線代表以95%KDE計算出的活動面積，黃色星號則為野放位置。右側圖中的淺藍色代表以100%MCP計算出的活動範圍，白色點為發現該隻個體的位置，紅線代表每次定位點之間直線移動的最短路徑。

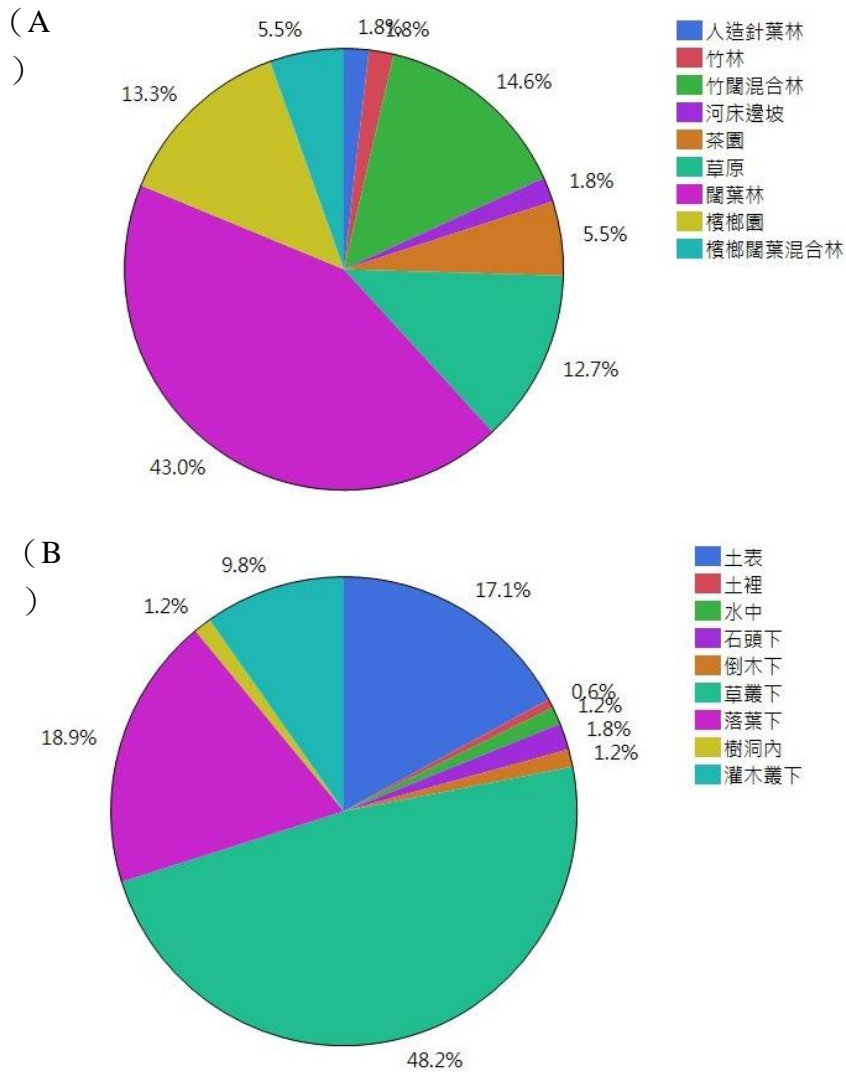


圖6、158筆幼龜躲藏處環境參數所占比例。(A) 躲藏處巨棲地類型、(B) 躲藏處微棲地類型

表一、幼龜野放時體重及無線電發報器重量

晶片編號	發報器頻率	性別	野放體重 (g)	發報器與黏著劑佔體重百分比
73000046947	216.058	F	222.2	2.39
73000046911	216.282	F	139.3	2.87
73000046974	216.334	F	244.2	2.05
73000046990	216.346	M	186.3	2.52
73000046915	216.526	M	223.4	2.19
73000046992	218.044	F	241.4	1.66
138000804583	218.16	M	243.2	1.89
138001121427	218.202	F	296.4	1.55
73000046914	218.27	F	246.4	1.66
138001121331	218.291	M	228.4	1.97
138001121952	218.302	M	277.1	1.77
73000046953	218.462	M	205.2	2.44
138001120354	219.154	F	252.8	1.74
73000046930	219.272	F	186.1	2.47
138001121782	219.292	F	280.2	1.46
138000759094	219.834	M	259.5	1.5
73000046962	219.844	M	226.6	1.9
73000046925	219.854	F	187.8	2.77

表二、16種標放模型及其模式選擇

排名	模型種類	AICc	Δ AICc	Weights	Likelihood	df	-2log (L)
1	S (.) RM (.) p (.)	111.8701	0	0.2341	1	2	107.4951
2	S (.) EF (sex) p (.)	112.1365	0.2664	0.2049	0.8753	3	105.3623
3	S (.) EF (.) p (.)	114.2525	2.3824	0.0711	0.3039	3	107.4783
4	S (sex) r'' (sex) r' (sex) p (.)	114.5352	2.6651	0.0618	0.2638	4	105.2018
5	S (.) r'' (sex) r' (sex) p (.)	114.5352	2.6651	0.0618	0.2638	4	105.2018
6	S (sex) EF (sex) p (.)	114.5799	2.7098	0.0604	0.258	4	105.2465
7	S (sex) r'' (sex) r' (.) p (.)	114.6163	2.7462	0.0593	0.2533	4	105.283
8	S (.) r'' (sex) r' (.) p (.)	114.7326	2.8625	0.0559	0.239	4	105.3993
9	S (.) NM p (.)	115.5178	3.6477	0.0378	0.1614	2	111.1428
10	S (sex) r'' (.) r' (sex) p (.)	115.9181	4.048	0.0309	0.1321	4	106.5848
11	S (sex) RM (sex) p (.)	116.3494	4.4793	0.0249	0.1065	4	107.0161
12	S (.) r'' (.) r' (sex) p (.)	116.4311	4.561	0.0239	0.1022	4	107.0978
13	S (.) RM (sex) p (.)	116.5828	4.7127	0.0222	0.0948	4	107.2495
14	S (sex) EF (.) p (.)	116.8114	4.9413	0.0198	0.0845	4	107.4781
15	S (sex) RM (.) p (.)	116.8282	4.9581	0.0196	0.0838	4	107.4949
16	S (sex) NM p (.)	117.8736	6.0035	0.0116	0.0497	3	111.0994

S：存活率；r''：移出率；r'：保持境外率；p：捕捉率。

sex：隨性別變動；.：常數。

NM：無遷移 (r''=0且r'=1)；RM：隨機遷移 (r''=r')；EF：等量遷移 (r''=1-r')。

表三、最佳模型S (.) RM (.) p (.) 之族群參數估算值

族群參數	估算值	SE	95% CI	
			Lower	Upper
S	0.8735	0.6356	0.0008	0.9999
r''	0.5451	0.2899	0.1081	0.9222
p	0.4753	0.0791	0.3273	0.6278
N _{f,1}	8.1819	1.3311	7.2005	13.9657
N _{f,2}	5.8442	1.0890	5.1212	10.8754
N _{f,3}	3.5065	0.8147	3.0552	7.6413
N _{m,1}	2.3377	0.6531	2.0293	5.8939
N _{m,2}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
N _{m,3}	4.6754	0.9575	4.0863	9.2858

S：存活率；r''：移出率；p：捕捉率；N：族群數量。

f：雌龜；m：雄龜；數字下標代表主標放期。

表四、幼龜健康狀況及各項形質與天數的相關性檢定

	r value	P value
CI	0.268	0.0121*
背甲直線長	0.175	0.1049
背甲弧長	0.2584	0.0157*
背甲寬	0.1672	0.1217

表五、幼龜健康狀況線性混和模型統計結果

	Estimate	Std. error	t value	P value
Intercept	9.783e-03	3.871e-03	2.527	0.01350 *
性別	-7.296e-03	4.800e-03	-1.520	0.13240
野放時的體型	2.629e-03	4.802e-03	0.547	0.58560
野放天數	2.225e-04	6.452e-05	3.449	0.00202 **
野放時的CI	9.872e-01	6.236e-02	15.830	< 2e-16 ***

表六、幼龜活動面積與形質成長幅度

組別	數量	100%MCP (公頃)	95%KDE (公頃)	50%KDE (公頃)	總移動距 離 (公 尺)	當前位置與 野放點距離 (公尺)	背甲直線 長 (mm)	背甲直線 長成長幅 度 (%)	背甲弧長 (mm)	背甲弧長 成長幅度 (%)	背甲寬 (mm)	背甲寬成 長幅度 (%)
F1	6	0.74±0.32	0.77±0.12	0.25±0.07	387.7±90.3	148.9±73.2	114.8±7.5	1.03±0.01	137±10.3	1.03±0.03	81.7±4.7	1.02±0.02
F2	4	0.74±0.25	0.74±0.13	0.20±0.03	445.8±112.9	177.6±48.5	124.6±2.2	1.03±0.02	147.8±3.3	1.04±0.01	88.7±2.5	1.02±0.006
M1	4	4.81±5.99	0.73±0.23	0.23±0.06	587.7±448.3	278.4±155.9	116.2±1.0	1.02±0.005	136±1.9	1.02±0.01	82.1±1.5	1.01±0.005
M2	4	4.12±4.37	1.11±0.10	0.34±0.07	900.5±285.1	2296±188.6	124.9±2.7	1.021±0.01	143.8±4.8	1.03±0.02	87.9±1.7	1.025±0.02
全部	18	2.33±4.08	0.84±0.21	0.25±0.08	559±327.1	201±134.8	119.54±6.6	1.02±0.01	140.7±8.1	1.03±0.02	84.7±4.5	1.02±0.01

表七、不同組別幼龜健康狀況、活動面積與成長幅度的Kruskal Wallis Test統計結果

	chi-squared	df	P value
CI	5.6791	3	0.1283
50%KDE	5.6991	3	0.1272
95%KDE	8.0458	3	0.0451*
100%MCP	4.7778	3	0.1888
幼龜當前位置與野放點距離	2.1374	3	0.5444
總移動距離	6.8392	3	0.0772
背甲直線長成長幅度	1.1341	3	0.7689
背甲弧長成長幅度	0.5124	3	0.9162
背甲寬成長幅度	2.9214	3	0.4039

表八、線性迴歸統計結果

	Estimate	Std. Error	t value	P value
Intercept	0.1407	1.8101	0.078	0.939
野放時的體型	0.1129	0.1256	0.899	0.385
性別	0.1656	0.1013	1.634	0.126
野放時的CI	0.2908	0.9266	0.314	0.759

表九、18隻野放個體PCR-RFLP檢測結果

流水號	晶片號	分群結果
1	900073000046911	I
2	900073000046914	I
3	900073000046915	I
4	900073000046925	I
5	900073000046930	I
6	900073000046947	I
7	900073000046953	I
8	900073000046962	I
9	900073000046974	II
10	900073000046990	I
11	900073000046990	II
12	900138000759094	II
13	900138001120354	II
14	900138001121331	II
15	900138001121427	II
16	900138001121782	II
17	900138001121952	I
18	900138001121718	II

表十、本研究與國內其他食蛇龜無線電追蹤研究之比較

地點	性別	數量	個體 來源	年齡	追蹤持續時間	平均定位 點數量	100%MCP ^a	95%KDE ^a	50%KDE ^a	MCP範圍	性別間活動面 積是否有差	文獻來源
■	M	8	查緝	幼龜	約4個月	9	4.594±5.3	0.95±0.26	0.29±0.09	0.22-14.95	無顯著差異	本研究
■	F	10	走私				0.739±0.3	0.76±0.12	0.23±0.06	0.41-1.33		
花蓮	M	4	查緝	成龜	約1年至2年	39	13.6±13.04			6.23-33.14	無顯著差異	黃昱凱 2022
	F	5	走私				8.78±10.91			0.89-28.04		
翡翠 水庫	M	8	野生龜	成龜	約1年至2年	24	3.03±0.72			1.75-4.63	公龜顯著大於 母龜	蔡承儒 2019
	F	4					0.87±0.32			0.27-3.03		
台南 楠西	M	4	野生龜	成龜	約5個月至1年	19	1.37±0.34			0.88-1.63	母龜樣本不足 未進行統計	李文瑄 2013
	F	2					0.76±0.47			0.43-1.09		
雲林 林內	M	4	野生龜	成龜	約4個月至1年7 個月	39	1.7±1.12	2.01±0.76	0.34±0.08	0.75-3.61	無顯著差異	陳帝溶 2011 ^b
	F	6					6.33± 6.74	1.6±0.51	0.22±0.07	0.36-17.47		
翡翠 水庫	M	3	野生龜	成龜	約1個月至2年	22	4.22 ± 2.18			0.55-6.39	公龜樣本不足 未進行統計	陳添喜 1998
	F	25					0.61 ± 0.16			0.07-1.34		

^a單位皆為公頃

^b原始文獻未進行統計分析，以該文獻提供之原始數據挑選野生龜進行比較

附錄一、工作照



附錄圖 1、鼠籠皆架設於有植被遮蓋的區域，避免動物中籠後遭陽光直曬



附錄圖 2、裝設發報器於食蛇龜背甲



附錄圖 3、利用塑膠籃暫時限制幼龜活動，藉此適應周遭環境



附錄圖 4、進行幼龜無線電追蹤



附錄圖 5、對食蛇龜進行形質的測量



附錄圖 6、幼龜取食蚯蚓屍體



附錄圖7、追蹤過程中發現體態相當豐腴的幼龜



附錄圖8、四肢及尾部皆遭老鼠啃咬的幼龜 218.160



附錄圖9、將幼龜218.160送至特生中心進行治療



附錄圖10、躲藏於灌木叢下的幼龜



附錄圖11、躲藏於枯落葉下的幼龜



附錄圖12、幼龜經常利用的森林邊緣環境

小龜去哪了？食蛇龜幼龜之野放追蹤

陳冠豪¹、孫雅筠²、蔡繼鋒³、鄭任鈞²、林辰蔚¹

¹國立自然科學博物館、²國立中興大學生命科學系、³行政院農委會特有生物研究保育中心

前言

爬行動物年期的遷徙特性，使其族群生態仍存在諸多未知，其中又以龜類為最。食蛇龜 (*Cuora flavomarginata*) 在台灣屬於瀕臨絕種野生動物，由於繁重的偷獵壓力使其族群持續減少與弱種化，利用人工繁殖個體進行野外族群重建或許是可行的保育策略。然而過去移地復育多以成龜為主，幼龜行為生態各方面資訊尚缺如，本研究進行幼龜野放追蹤，以了解其活動模式、棲地利用、成長與存活情況，藉此評估何種棲地適合野放，結果將有助於未來幼龜的移地復育野放政策之制定，亦能預先瞭解各收容單位的收容壓力。

材料與方法

(一)無線電追蹤

- 標放18隻二至三歲的幼龜，依背甲直線長及性別分成9至12公分 (F_{9-12} ; $n=6$, M_{9-12} ; $n=4$)及12至12.5公分 ($F_{12-12.5}$; $n=4$, $M_{12-12.5}$; $n=4$)四組進行比較。
- 無線電發射器使用R1680，接收器使用TR-8，發射器以環氧樹脂及塑膠土黏附於第四層上，高低對交配之影響，其總量不超過總殼面積的3%。
- 2022年7月放野於中部山區，以2週1次的頻率進行追蹤定位及形質、環境因子的測量。

(二)健康狀況、成長率及活動面積估算

- 健康狀況依梁瑞[2014]提出的狀況指數(Condition Index, CI)公式進行計算。
- 形質成長率以最後一次測量之數值除以野放前之數值進行計算。
- 活動面積使用ArcGIS及ArcMET進行分析，以100% Minimum Convex Polygon(MCP)及95%、50% Fixed Kernel Density Estimation (KDE) 估算。

(三)統計分析

- 以線性混合模型檢測何種因子會影響食蛇龜野放後的健康狀況。
- 以線性混合模型檢測何種因子會影響活動面積的大小。
- 以Kruskal Wallis Test檢測不同性別、體型之間的健康指數、活動範圍、移動距離以及成長率是否存在差異。

(一)野放後健康狀況良好

多數幼龜與野放相比健康情況有所改善(圖一)。截至野放後133天的存活率為94.4%，僅1個體因天敵攻擊受傷而停止試驗，其餘仍在持續追蹤中。線性混合模型顯示野放天數 ($P < 0.01$)及野放時的CI ($P < 0.001$)對野放後的CI造成顯著且正向的影響，性別 ($P = 0.276$)與野放時體型 ($P = 0.534$)則未造成影響。

圖一、幼龜野放後健康狀況變化趨勢

(二)活動面積不受體型、性別及健康狀況影響

活動範圍大致仍圍繞在野放點附近，平均活動面積為2.33公頃(圖二)，典型棲地的巨、微棲地類型分別是闊葉林及灌木叢(圖三、四)。線性模型顯示包含野放時體型 ($P = 0.385$)、性別 ($P = 0.126$)及野放時CI ($P = 0.759$)等變數的模型顯著性檢定P值為0.191， R^2 為0.135，顯示模型包含的變數不具備預測能力。

(三)性別與體型不影響健康狀況、成長率與活動面積

無論性別、體型大小為何，野放後的CI、成長率及活動面積皆無顯著差異($P > 0.05$)。

討論

- 初步結果顯示將甲長9至12.5公分的幼龜適合野放，健康狀況大多隨野放時間增加而改善，唯一停止野放的個體判斷是因體弱異常無法躲避攻擊而受傷。
- 野放時健康狀況是否良好、能否正常開胃將會是挑選野放個體的重要判斷準則。
- 與過往研究相比，幼龜活動面積與野生成龜相近但低於野放成龜(圖一)，此結果很可能與不熟悉環境而到處採食有關，但仍需延長追蹤時間才能下定論。
- 將甲長小於9公分的幼龜將是未來測試的重點，同時將持續追蹤幼龜狀況以確認長期的移地復育成效。

圖二、不同體型、性別的幼龜活動範圍及平均面積

圖三、鄰近處巨棲地、微棲地組成類型

圖一、幼龜活動面積與野生成龜相近但低於野放成龜。

地點	性別	數量	來源	年齡	追蹤持續時間	100%MCP	文獻來源
中部山區	M	8	野放龜	幼龜	約4個月	4.50	本研究
	F	10	野放龜	幼龜	約4個月	0.74	
花蓮	M	4	野放龜	成龜	約1年第2年	13.6	黃景航 2022
	F	5	野放龜	成龜	約1年第2年	8.76	
雙溪水庫	M	8	野放龜	成龜	約1年第2年	1.03	蔡秉博 2019
	F	4	野放龜	成龜	約1年第2年	0.87	
台南柳田	M	4	野放龜	成龜	約5個月至1年	1.37	學文博 2013
	F	2	野放龜	成龜	約5個月至1年	0.76	
靈林林內	M	4	野放龜	成龜	約4個月至1年7個月	1.7	陳海濱 2011
	F	6	野放龜	成龜	約4個月至1年7個月	5.13	
雙溪水庫	M	3	野放龜	成龜	約1個月至2年	4.22	陳海濱 1998
	F	25	野放龜	成龜	約1個月至2年	0.63	

感謝林務局及日月光文獻基金會提供研究經費支持食蛇龜野放行動。

圖四、幼龜活動的漫山遍野

2023 動物行為暨生態研討會大會手冊—摘要集

壁報_AP28

小龜去哪了？食蛇龜幼龜之野放追蹤

陳冠豪^{1,4}、孫雅筠²、蔡繼鋒³、鄭任鈞²、林展蔚^{1,5}

1. 國立自然科學博物館
2. 國立中興大學生命科學系
3. 行政院農委會特有生物研究保育中心
4. 報告者：swear851011@gmail.com
5. 通訊作者：jwlin@nmns.edu.tw

摘要

食蛇龜 (*Cuora flavomarginata*) 是野保法所公告之瀕臨絕種野生動物，雖然政府與企業投入大量資源，其野外族群仍持續減少與弱化。利用人工繁殖個體進行野外族群重建，也許是一個可以同步並行的保育策略。然而，過去的移地復育多以成龜為主，幼龜族群與行為生態各方面資訊皆闕如。本研究進行幼龜野放追蹤，以了解其活動模式、棲地利用、成長與存活情況，藉此評估何種體型適合野放。18 隻幼龜 (直線背甲長：90-125 mm) 於 2022 年 7 月野放於中部山區，以 2 週 1 次的頻率進行追蹤定位及形質、環境因子之測量。目前 4 個月的初步結果顯示，野放前的狀況指數 (Condition Index, CI) 及野放天數會對幼龜野放後之 CI 有顯著正向的影響，體型大小及性別則無。此外，不同性別與體型間的活動範圍並無顯著差異，95%與 50%核密度估計法的平均活動面積各為 0.83 公頃與 0.25 公頃。整體而言，目前幼龜野放後情況良好，未來將持續追蹤幼龜狀況並野放背甲長小於 90 mm 的個體，以建立幼龜適合野放的體型基線。本研究結果將俾益於幼龜的移地復育野放政策之制定。

關鍵字：食蛇龜 (Yellow-margined box turtle)、幼龜 (Juvenile)、移地復育 (Translocation)、無線電追蹤 (Radio-tracking)、狀況指數 (Condition Index)、活動範圍 (Home range)